

# ETRI 연구개발 45년사

정보화시대에서 지능화시대까지

1976

2021



Electronics and Telecommunications  
Research Institute

**ETRI**



# ETRI 연구개발 45년사

정보화시대에서 지능화시대까지

---

1976 — 2021

**ETRI**

정보화시대에서

미 래 사 회 를 만 들 어 가 는 국 가 지 능 화 종 합 연 구 기 관

ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE

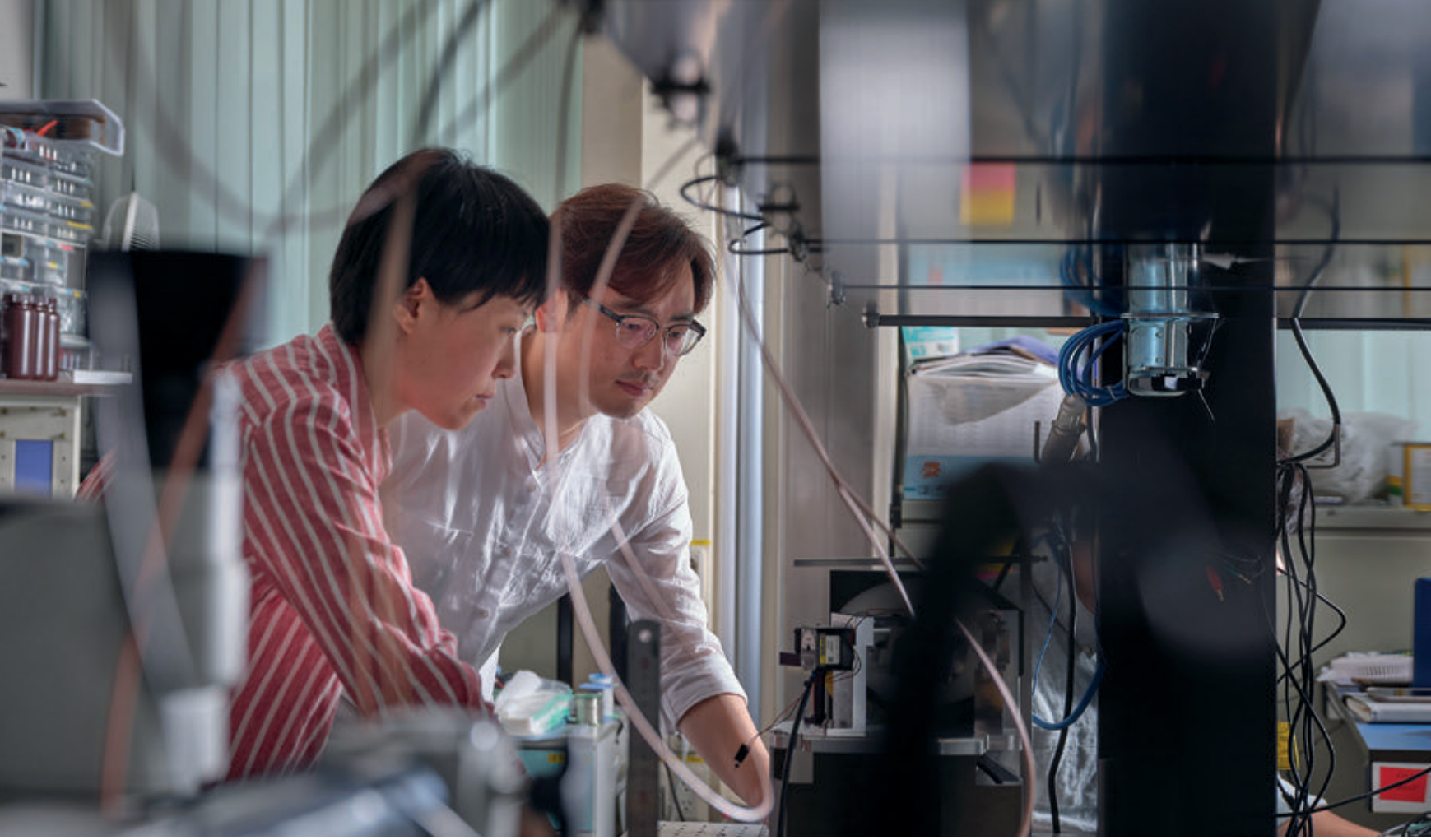
E T R I E T R I

지능화시대까지



















한국전자통신연구원





과거와 현재가, 어제와 오늘이 다르듯  
시대는 조금씩, 부단히 변하고 있습니다.  
이제껏 접해보지 못한 혁신적인 기술이 탄생하고,  
새로운 제품이 개발됨으로써 삶의 모습은 점차 변해갑니다.  
인류는 오랫동안 이러한 방식으로 시대를  
거듭 발전시켜왔을 겁니다. 불가능에 도전하고,  
불확실함에 대한 공포를 극복하면서,  
세상을 조금 더 낮게 만들기 위해 애쓰고,  
사려 깊은 마음으로 더 나은 환경에 대해 고민하면서 말입니다.  
그간 ETRI가 걸어온 시간도 그렇습니다.  
시대를 명확하게 바라보는 통찰과 실패를  
겸허히 받아들이려는 태도, 무엇보다 삶을 이해하려는  
선의를 갖고 시대를 앞서 나아갔습니다.  
지금, 이 순간에도 우리는 미래를 새롭게 써나가고 있습니다.

정보화시대에서

지능화시대까지

하루가 모여 삶이 됩니다.  
인생이라는 말의 안감에는 숱한 일상이 쌓여있습니다.  
좋고 나쁜, 즐겁고 슬픈 순간들이 빼곡하게 모여  
비로소 일생을 이룹니다.  
ETRI의 45년.  
그 아득한 시간 속에도 ETRI가 빚어온  
삶의 여러 모습들이 담겨 있습니다.  
이전에는 상상할 수 없던 일들이 현실이 되고,  
생활의 모습과 환경이 바뀌었습니다.  
전 지구적으로 정보를 주고받으며 소통하고,  
시간과 공간의 제약을 허물며, 그렇게 시대를 정의하고  
삶을 창조해가고 있습니다. ETRI는 앞으로도 잠재된  
가능성을 발견하고, 불가능을 실현함으로써  
보다 나은 삶을 이뤄나가겠습니다.



# ETRI 연구개발 45년사

Electronics and Telecommunications  
Research Institute

## CONTENTS

018	발간사	030	45년 연구개발사
020	ICT 강국의 초석을 다지다		1. 통신
022	ETRI 연혁		2. 방송미디어/콘텐츠
023	ETRI가 만들어 세계를 빛내다		3. SW/컴퓨팅
			4. 반도체/소재/부품
			5. ICT 융합
			6. 기반연구
			7. 부록



# 발간사

국가가 1976년 설립한 ETRI는 지난 45년간 우리나라 정보통신기술(ICT) 발전과 관련 산업 성장에 크게 기여해 왔습니다. ETRI 연구진은 우리나라를 ICT 강국과 전자정부 선도국으로 부상시키고 국가정보화를 실현하는데 큰 공헌을 하였습니다.

ETRI 45년사는 저희가 지나온 발자취이자 흔적입니다. 또한 우리나라 ICT의 역사이기도 합니다. 지난 시간동안 ETRI와 역사를 함께 해주신 자랑스러운 동문과 동료 그리고 저희 성장에 도움을 주신 모든 분에게 먼저 감사의 인사를 드립니다.

ETRI는 과거 45년 동안 이론 연구성과에 안주하지 않고 ‘미래사회를 만들어가는 국가 지능화 종합 연구기관’으로 미래상을 정립하고 완전한 탈바꿈을 하고 있습니다.

이제 ETRI는 지난 45년의 저력을 바탕으로 기술 선구자(First Mover)로서 새로운 시대의 혁신과 발전을 선도할 예정입니다. 아무도 가보지 않은 길을 가기 위해선 많은 노력과 헌신이 필요합니다. 이로써 우리나라가 국가 지능화를 통해 AI를 가장 잘 다루는 나라가 되도록 ETRI가 주도적인 역할을 묵묵히 수행하겠습니다.

ETRI 45년사는 연구개발사로서 전 직원이 피땀 흘려 이룩한 모든 성과를 담으려 노력했습니다. 대분류 6개, 중분류 30개, 소분류 242개로 연구개발의 역사를 정리하였습니다. 그동안 ETRI 임직원이 대한민국 ICT를 일궈온 생생한 흔적들을 찾아 보실 수 있습니다.

연구개발사는 국문 뿐만 아니라 영문으로도 발간해 전 세계 ICT강국을 꿈꾸는 후배 나라에도 배포하여 ETRI의 비결을 널리 알릴 계획입니다. 지난 시간 동안 이룩한 연구성과를 바탕으로 ETRI는 이제 인간중심 가치(humanity)를 만드는 미래기술 개발과 창의 연구에 도전하려 합니다. 이를 통해 국민 생활 문제를 해결하고 국가성장의 새로운 원동력을 만들고자 합니다. 모쪼록 45년사 편찬을 위해 애쓰신 전임 원장님, 선배님, 임직원들과 편찬위원회 위원장과 편찬위원분들에게 그동안의 노고에 박수를 드립니다.

ETRI가 45년을 넘어 50년, 100년 동안 우리나라 국민뿐만 아니라 세계시민으로부터 사랑받고 인정받는 연구기관이 되길 간절히 바랍니다.

고맙습니다.

한국전자통신연구원 원장 김명준



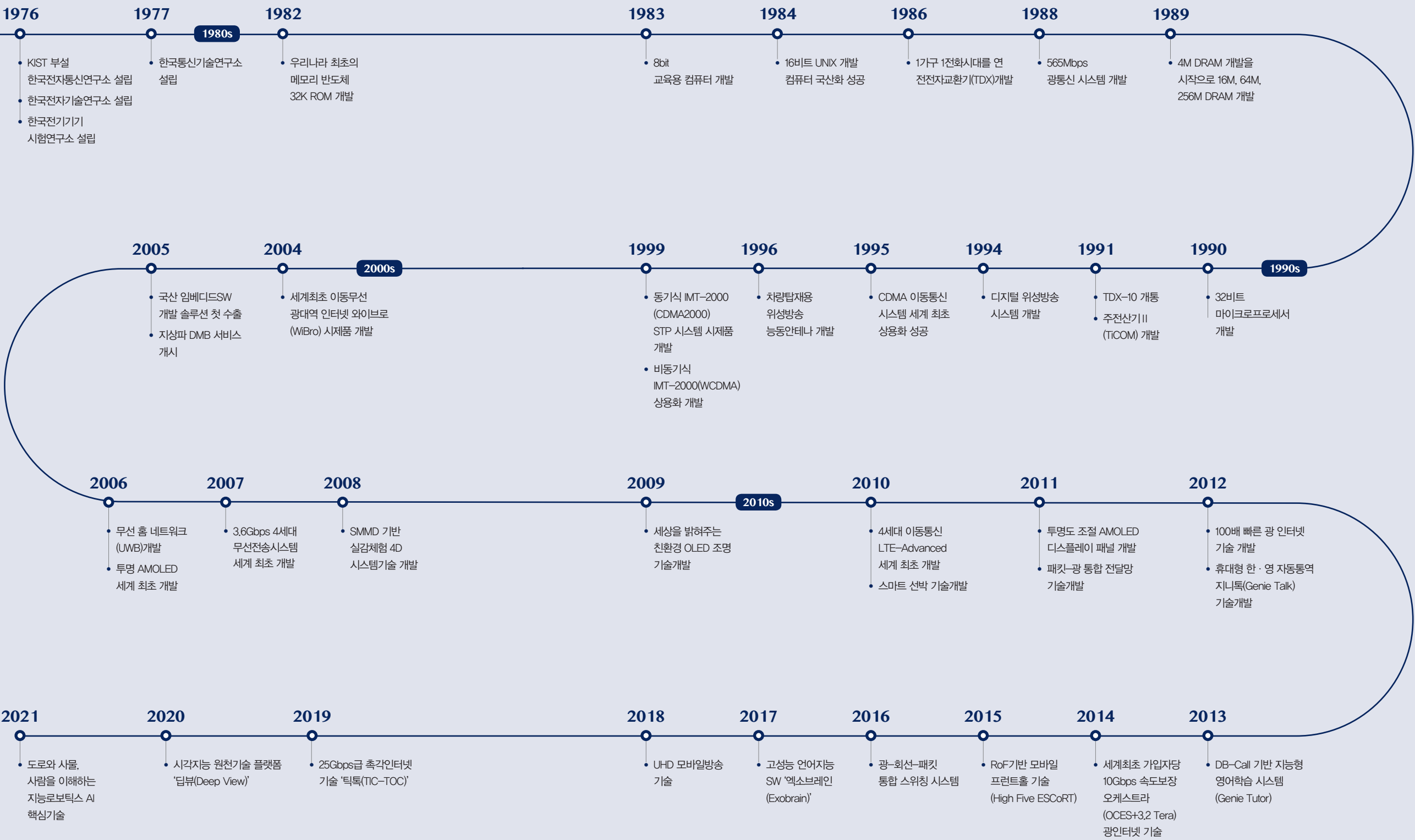


ICT 강국의 초석을 다지다

ETRI는 국내 최고의 ICT 전문연구기관으로서, 지난 45년간 국가 경제발전과 국민의 삶의 질 향상을 위해 쉼 없이 연구해 매진해왔다.

1가구 1전화 시대를 연 전전자교환기(TDX), 반도체 강국의 신화를 창조한 DRAM 반도체, 이동통신 선진국으로의 발판을 마련한 CDMA, 내 손안의 인터넷 세상을 연 WiBro, 전자정부의 기반을 만든 행정전산망용 주전산기Ⅱ(타이컴), 스마트선박기술(SAN), 몰입감을 극대화한 실감미디어, 인간의 언어를 이해하는 SW인 엑소브레인(Exo-Brain), 자율주행용 프로세서 칩 알데바란, 세계 최초의 UHD 모바일 방송기술, 차세대 5G 이동통신, 시각지능 딥뷰(Deep View), 미래 ICT를 선도할 양자컴퓨팅 등 헤아리기 힘들 만큼 많은 최고기술을 개발하였으며, 우리나라를 독보적인 ICT 최강국으로 견인하였다. 이러한 성과를 토대로 우리나라는 세계 10위권의 경제 대국, 국내총생산(GDP) 세계 12위의 선진국으로 굳건히 자리 잡았다.

ETRI는 4차 산업혁명과 전 세계적인 지능화 패러다임을 이끌고자 미래사회를 만들어가는 국가 지능화 종합 연구기관으로의 도약을 새롭게 시작하였다. 지난 45년간 축적한 독보적인 성과들을 토대로 다시금 미래를 향해 힘차게 비상하고 있다.





ETRI 연혁

1981  
1

KTRI-KERTI 통합,  
한국전기통신연구소(KETRI) 출범



1976  
12

- 한국전기기기시험연구소(KERTI) 설립
- 한국전자기술연구소(KIET) 설립
- KIST 부설 한국전자통신연구소(KTRI) 발족

1985  
3

KETRI-KIET 통합,  
한국전자통신연구소(ETRI) 발족



1997  
1

한국전자통신연구원(ETRI)으로  
명칭 변경



1998  
5

시스템공학연구소(SERI) 통합



ETRI가 만들어  
세계를 빛내다

1982



- 32K ROM
- 정부 주도 최초의 국산 반도체 연구개발사업 추진
  - 외산 기술에 의존하지 않고, 국내 최초로 32K ROM 개발
  - 64K ROM(1983년)은 착수 한 달 만에 개발에 성공하는 저력을 보임
  - 본 성과를 토대로 단기간에 세계 7위권의 반도체 생산 기술국으로 급부상



1984

- 16비트 UNIX
- ETRI와 삼성전자가 공동으로 개발한 UNIX 컴퓨터로, 국내 컴퓨터 기술의 초석이 됨
  - 마이크로컴퓨터의 전체 시스템을 자체 설계하고, 컴퓨터 주요 구성요소를 국산화하는 데 성공
  - 국산 상용컴퓨터 1호인 'SSM-16' 개발에 기여



1986

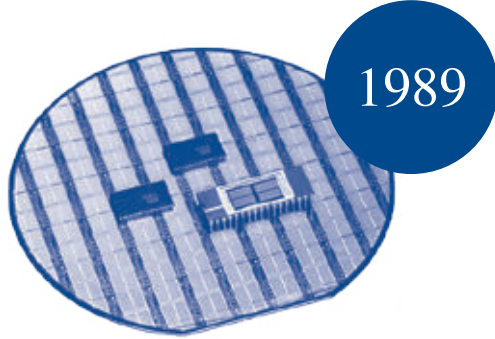
- TDX
- 세계에서 열 번째로 전자교환기 'TDX-1' 개발에 성공
  - 5년간 연인원 1,300명과 총 240억 원의 연구비가 투입된 초대형 연구개발사업
  - 국내 교환 4사를 통해 상용화되어 1997년 말 전화망 구축 1천만 회선 돌파
  - 수입대체 효과 4조 3,406억 원, 수출 1조 458억 원 등 모두 5조 3,864억 원의 경제효과 창출
  - 관련 산업체 육성으로 국내 통신장비산업 도약의 계기 마련
  - 기계식 교환기와 아날로그 교환기 제작과정을 거치지 않고 곧바로 디지털 교환기를 개발 · 생산한 세계 유일한 사례
  - TDX 개발로 국내에 본격적인 '가구 1전화 시대' 도래
  - TDX 사업 총괄책임자였던故 안병성 박사, 한국과학기술한림원이 주관하는 『2020 국가과학기술유공자』에 선정 (2020년 12월)
  - 광복 70주년 과학기술 대표성과 70선에 선정(2015년)



1988

- 565Mbps 광통신 시스템
- 기존 90Mbps 시스템 대비 6배 이상 용량증대, 광섬유 한 쌍으로 음성 8,640회선 동시 전송 가능
  - 유선방송 중계를 위한 장거리 영상전송에 활용
  - 표준규격 제정 및 국내 초고속정보통신망 인프라 구축





1989

4M DRAM

- ETRI를 중심으로 삼성반도체통신, 금성반도체, 현대전자 등이 참여한 초대형 산학연 공동개발과제
- 1988년 4M DRAM, 1991년 16M DRAM 개발로 반도체 선진국 대열 진입
- 1992년 세계 최초로 64M DRAM 개발 성공, 이어서 1994년 세계 최초로 256M DRAM 개발 성공
- 반도체기술 불모지에서 세계 제1의 반도체 수출국으로 단숨에 도약
- 국가 전반의 정보화를 촉진하여 국민의 생활패턴과 유통 구조에 혁신적인 변화 가져옴
- ETRI가 개발한 메모리 반도체의 경제적 파급효과는 약 47조 1,383억 원
- 광복 70주년 과학기술 대표성과 70선에 선정



1990

32비트 마이크로프로세서

- 중앙처리장치(CPU)의 핵심부품으로, 미국과 근접한 수준의 기술력 확보
- 9년간의 노력 끝에 얻은 결실로, 초당 명령어 처리속도 4천 만회에 달함



1991

타이컴

- ETRI를 중심으로 금성사, 대우통신, 삼성전자, 현대전자가 참여한 초대형 산학연 공동개발과제
- 국내 최초로 국산 중형컴퓨터인 '주전산기Ⅱ (타이컴)' 개발
- 이후로 1994년 고속중형컴퓨터인 주전산기Ⅲ (타이컴Ⅲ), 1998년 타이컴Ⅳ인 고속병렬 컴퓨터 시스템(SPAX) 연속 개발
- 독자기술로 전자정부의 기틀 마련
- 국내 컴퓨터시스템 기술을 세계적인 수준으로 끌어올려 외산 컴퓨터의 종속에서 벗어날 계기 마련
- 컴퓨터 관련 전문인력을 다수 양성하여 국내 컴퓨터 산업 고속성장에 기여



1995

CDMA

- 세계 최초로 CDMA 방식의 디지털 이동통신 시스템과 단말기 상용화 성공
- 89년부터 8년간 996억 원의 연구비와 1,042명의 연구인력 투입
- 기존 아날로그 방식 대비 10배, TDMA 대비 3배 이상 가입자 수용
- 세계가 인정하는 이동통신 산업 최강국으로 도약하는 계기 마련
- 96년부터 10년간 약 190조 3,371억 원의 경제 파급효과 도출
- 광복 70주년 과학기술 대표성과 70선에 선정



1999

IMT-2000

- 미국 중심의 동기식 IMT-2000(CDMA2000) 개발
- 2개 기술(OCQPSK, AISMA)이 국제표준에 반영
- 글로벌 기업들로부터 수백억 원의 기술료 취득
- 유럽 중심의 W-CDMA 상용서비스에도 성공(2003년)



2005

지상파 DMB

- 세계 최초로 지상파 DMB 개발에 성공
- 시속 150km 이상의 고속주행 중에도 끊김 없이 깨끗한 TV를 볼 수 있는 '내 손안의 TV, 나만의 방송' 시대 개막
- 2006년부터 10년간 경제적 파급효과 약 2,509억 원 창출

4세대 무선전송시스템(NoLA)

- 4세대 이동통신 최소 요구규격인 1Gbps보다 3배 이상 빠른 3.6Gbps 전송에 세계 최초로 성공
- 유선 수준의 전송속도를 무선으로 구현하기 시작한 계기



2004

WiBro

- 국제표준 기반의 휴대용 인터넷 서비스인 'WiBro 기술' 세계 최초 상용화
- 2005년 APEC, 2006년 토리노동계올림픽에서 시연
- 2008년부터 5년간 기술 및 장비 수출액 30조 9,798억 원
- 생산 유발효과 14조 6,500억 원 규모, 7만 4,900여 개의 일자리 창출
- 후속으로 WiBro Advanced 개발(2008년)
- 광복 70주년 과학기술 대표성과 70선에 선정

2007





2009

## 투명 AMOLED 패널

- 세계 최초로 투명 AMOLED 패널 개발
- 4.7억 원에 이르는 기술료 취득
- OLED 조명과 AMOLED 디스플레이의 경제적 효과는 약 7조 원 규모(2013년~2020년)

2011

## LTE-Advanced

- 진정한 4세대 이동통신인 LTE-A(Advanced) 시스템 개발
- 3세대 이동통신인 HSDPA보다 40배 이상, LTE보다 6배 이상 빠른 성능 구현
- 총 500여 건의 국내외 특허 출원, 핵심 표준특허 24건 확보
- 생산 유발효과 565조 원, 부가가치 유발효과 177조 원 예상(2015년~2021년)
- LTE 및 LTE-A의 경제적 파급효과 27조 7,332억 원으로 추정(2011년~2020년)

2008

## SMMD(Single Media Multiple Devices) 4D 시스템

- 미디어 효과를 극대화하기 위해 사용자 주변의 다양한 디바이스와 연동 재현하는 미디어 서비스
- 장소의 경계를 초월하여, 거실이 극장으로 서재가 사무실로 변신할 수 있는 기술

2010

## SAN(Ship Area Network)

- 국내 대표적인 조선HCT 융합연구과제
- 대양에 운항 중인 선박을 원격으로 모니터링 및 유지·보수할 수 있는 네트워크 기술
- 현대중공업 및 세계 최대 컨테이너 선사인 AP Moller 사의 선박에 SAN 기반 AMS 탑재

2014

## 오케스트라 미디어 기술

- 대용량 NG-PON2 기술을 통하여 기존보다 '100배 빠른 10Gbps 광인터넷 기술' 개발
- 장비 핵심 부품 국산화율을 기존 20%대에서 90%까지 향상
- 국제특허 38건 및 국제 표준특허 1건 출원

## 자동통역 기술

- 1990년대부터 다양한 언어를 대상으로 독보적인 자동 통번역기술 확보
- 모바일 단말용 자동통번역 앱 '지니톡' 개발
- 세계 최초로 '올림픽 공식 자동통번역 서비스' 제공(2018년)
- 현재는 신경망 자동번역 기술로 진화, 2019년 단말탑재형 통역기 '지니톡 고'로 상용화
- 음성인식 및 통번역 기술의 경제적 파급효과 약 1조 9,372억 원 추정(2013년~2022년)

2012

2013

## 무인 발렛주차 기술

- 국내 최초로 스마트폰을 이용해 언제 어디서든 자동차를 주차하고 불러올 수 있는 기술개발
- 카메라 센서, 초음파 센서, 도로면 센서 등을 활용하여 '완전 자동주차' 실현
- 연간 18조 원의 교통 관련 사회적 비용과 7만 5천 리터의 가솔린 절약 효과





2015

High Five ESCoRT RoF 기술

- 모바일 신호를 아날로그 광신호로 직접 변환하여 광섬유를 통해 전송하는 기술
- 모바일 프론트홀의 당면 과제였던 에너지(E), 상면적(S), 비용(Co), 자원(R), 트래픽(T) 문제 해결
- 기존 대비 약 1/15 이하의 비용으로 광전송 기술 기반 이동통신 기지국 구축 가능



2017

언어지능 엑소브레인

- 시스템이 문장 · 문서의 내용을 이해하고 사람의 질문에 맞는 대답을 하는 심층질의응답 기술
- EBS 장학퀴즈에서 큰 점수 차이로 사람과의 퀴즈 대결에서 우승
- 47억 개의 형태소를 학습한 한국어 최고 언어모델 'KorBERT' 개발(2019년)
- 구글이 배포한 한국어 모델보다 평균 4.5% 우수한 성능
- '한국어 기계독해 챌린지(KorQuAD V1.0)' 1위(2019년)

2016



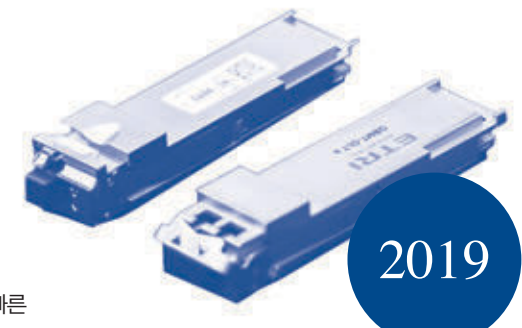
통합 스위칭 시스템

- 데이터 전송을 위해 전화국에 들어가던 광전송, 회선전송, 패킷전송 장비를 하나로 통합한 '광-회선-패킷 통합 스위치(OCES)' 개발
- 기존 네트워크 장비 대비 라우터 부하 80%, 전력 소비 65%, 상면적 68% 감소 효과
- 국내 산업체로 이진(22건, 착수로 18,22억 원)되어 다양하게 상용화

2018

UHD 모바일방송

- 세계 최초의 ATSC 3.0 실험방송
- ATSC 3.0 UHD 방송의 대표 서비스인 'UHD 모바일 방송' 지원
- 방송주파수 자원의 절약효과 70조 원대
- 4K-UHD의 경제적 파급효과 약 1조 4,491억 원 추정(2013년~2022년)



2019

축각인터넷 틱톡

- 1/1,000초 이내에 정보 전달이 가능할 정도로 빠른 네트워크 '틱톡(TIC-TOC)' 개발
- 고속 · 고감도 광송수신 기술과 맥(MAC) 기술을 이용해 25Gbps급의 축각 인터넷 구현
- 레이저 동작 속도 10배 향상, 지연속도는 1/10로 축소

시각지능 딥뷰

- 영상 속에서 사람과 사물을 인식하고 행동을 이해하는 '딥뷰(Deep View) 플랫폼' 개발
- 도심의 다양한 범죄나 사건을 사전에 감지, 예방 가능
- 포즈를 이용한 쓰레기 투기행위 자동탐지 기술은 기존 대비 50% 성능 이득으로 세계 최고 수준
- 행동인식 ActivityNet-1.3@100 기준 세계 최고 수준 성능 74.65% 달성



2020

지능로보틱스

- 레벨4(차량이 스스로 상황을 정확히 인지 · 판단 · 대응할 수 있는 수준) 자율주행 기술개발 중
- 다양한 도로환경(주간, 야간, 우천 등)에서 국내 최대인 누적 10만km의 주행데이터 확보
- SCI 논문 4건 및 국제우수학술대회 논문 3건, 기술이전 7건 등의 성과 도출



2021



PART 1

통신

- 1-1. 개요
- 1-2. 네트워크  
정보통신 최강국의 기반을 닦다
- 1-3. 이동통신  
대한민국 이동통신의 길을 만들다
- 1-4. 위성통신  
통신의 영역을 우주로 확대하다
- 1-5. 전파  
국내 무선산업의 근간을 만들다
- 1-6. 결어





통신

ICT(Information and Communication Technology, 정보통신기술): 정보기술과 통신기술의 합성어로 컴퓨터, 네트워크, 미디어, 영상 등 정보 기기를 운용 및 관리하는 SW와 그로 인해 발생하는 모든 방법을 말한다.

네트워크

1844년 5월 새뮤얼 모스가 미국 워싱턴과 볼티모어 사이에 전신 메시지를 보내면서 유선 통신이 시작되었다. 국내에 유선통신이 도입된 것은 그로부터 41년이 지난 1885년 8월이었다. 한성정보총국이 서울과 인천 사이에 전신을 발송한 것이 대한민국 유선통신의 시초이다. 이후로 1867년 미국의 알렉산더 그레이엄 벨 등 다수의 발명가가 전화를 발명하면서 유선전화서비스가 시작되었고, 우리나라는 1896년 서울과 인천 사이에 전화가 처음으로 개통되었다.

1960년대 국가 경제가 고도성장을 시작하자, 점차 전화는 경제활동의 필수품이자 국가 경제산업 발전의 기반으로 인식되었다. 이에 정부는 1962년 「경제개발 5개년계획」과 함께 「통신사업 5개년계획」을 동시에 추진하였고, 1970년대 들어 국내 통신 시설은 비약적인 발전을 이루었다.

그러나 급증하는 전화 수요를 시설증가가 따라잡지 못해 전화적체 현상이 심각해지자, 1982년 대통령 지시로 이를 해결하기 위한 시분할 전전자교환기 개발사업이 시작되었다. 5년간 연인원 1,300명과 총 240억 원의 연구비가 투입되는 당시로서는 초대형 연구개발 프로젝트였다. 이를 통해 ETRI는 1986년 세계에서 10번째로 전전자교환기 ‘TDX-1’ 개발에 성공하였으며, 이후 몇 차례의 개선작업을 거쳐 1991년에는 TDX-1 용량의 10배가 넘는 ‘TDX-10’을 개발하였다. 이로써 우리나라는 기계식 교환기와 아날로그 교환기 제작 과정을 거치지 않고 곧바로 디지털 교환기를 개발·생산한 유일한 국가가 되었으며, 본격적인 ‘1가구 1전화 시대’를 맞게 되었다.

아울러, 전화기 이용자들의 요구가 점차 다양해지자, 전화기를 통하여 새로운 다양한 부가 서비스들까지 제공하는 IN(Intelligent Network, 지능망)이라는 개념을 도출하고 1988년부터 관련 기술을 개발하였다.

1990년대 들어서는 빛의 파장을 이용하여 정보를 전송·교환하는 광네트워크 기술과 향후 데이터 중심 멀티미디어 서비스에 대비하기 위한 기술개발에 돌입하였다. 특히, 1995년 세계에서 7번째로 ATM 교환기를 생산하는 데 성공한다. 이로써 국내에서도 VOD 서



TDX-1A를 중용량 교환기로 개발한 TDX-1B



비스, 영상회의 및 양방향 영상전화 서비스, 멀티미디어 검색서비스의 제공이 가능하게 되었다.

한편, 21세기 들어 인터넷 보급률이 빠르게 향상되고 방송·통신 융합이 대세로 떠오르자, ETRI는 광신호를 직접 광대역으로 양방향, 실시간 서비스할 수 있는 기가비트 FTTH(Fiber To The Home, 닥내광가입자망) 시대를 개척하였다. 인터넷 기술의 핵심인 고속 라우터 기술개발이 시작된 것도 이때였다. 2010년대가 시작되면서 멀티미디어 서비스의 확산으로 인터넷 데이터 트래픽이 폭증하자, 광기반 패킷 전달망의 한계를 극복하기 위해 패킷 전달 계층과 대용량 광 전달 계층을 단일 체계로 통합하고 제어관리할 수 있는 패킷-광 통합 스위치(POINTS)를, 2016년에는 '광-회선-패킷 통합 스위치(OCES)'를 개발하였다.

아울러, 2017년에는 다양한 응용을 손쉽게 수용할 수 있도록 네트워크 장비의 구성과 동작을 마치 컴퓨터 프로그램을 짜듯 API를 이용해 중앙에서 손쉽게 구성·제어하는 개방형 프로그래머블 네트워킹 기술인 '분산 SDN·NFV 플랫폼 오케스트레이션 기술'을 개발하였다. 2020년에는 촉각 인터넷 시대에 대비하여 1/1,000초 이내에 정보 전달이 가능할 정도로 빠른 광액세스망 기술(TIC-TOC)을 개발하였다. 2020년대에 들어서, 초연결 지능 사회의 기반 인프라로서 컴퓨팅과 네트워킹 및 데이터와 AI가 밀접합된 혁신적 미래인프라로서 '초연결 지능 네트워크' 및 '초저지연 네트워킹' 기술개발에 돌입하였다.

## 이동통신

1895년 이탈리아의 마르코니가 대서양에서 무선 전신전송에 세계 최초로 성공하면서, 무선통신이 시작되었다. 이후로 1947년 벨랩이 혁신적인 셀룰러 개념을 고안하였고, 1983년 미국 시카고의 Ameritech 사가 AMPS(Advanced Mobile Phone System) 상용화 서비스를 제공하며 이동통신 시대가 시작되었다.

1980년대 중반, 국내에서도 아날로그 이동통신 서비스가 시작되었다. 그러나 분단국가의 특성상 국가안보에 민감하여 사용에 제약이 심하였다. 그러다 1988년 서울올림픽을 기점으로 제약이 크게 풀리자 매년 100% 이상 가입자가 급증하였다. 이때부터 자연스럽게 아날로그 방식의 한계를 극복할 2세대 이동통신 즉, 디지털 이동통신 시스템을 자체개발해야 한다는 분위기가 무르익었다.

이에 ETRI는 1988년부터 디지털 이동통신 개발을 추진하여 1996년 세계 최초로 CDMA 방식의 디지털 이동통신 시스템과 단말기 상용화에 성공하였다. 이로써 우리나라는 이동통신 단말기·시스템 전량 수입국에서 수출국으로 쿼텀 점프를 하게 되었다.



CDMA 이동통신시스템 기지국



WiBro 차량시연 모습



ZING 기술 시연

1990년대 중반부터는 3세대 이동통신 개발을 시작하였다. ETRI는 1999년 미국 중심의 동기식 IMT-2000(CDMA2000)을 개발한 데 이어, 2001년에는 유럽중심의 W-CDMA 기술개발에 성공하였고 이를 기반으로 국내에서는 2003년 W-CDMA 시스템 상용서비스를 시작하였다.

21세기에 들어서는 4세대 이동통신 개발에 돌입하여, 2007년 세계 최초로 '3GPP LTE/SAE 요구사항을 만족하는 LTE 이동통신 기술'을 구현하는 데 성공하고, 2010년에는 본격적인 4세대 이동통신인 'LTE-A(Advanced)' 역시 개발한다. 한편, 언제 어디서나 인터넷 접속이 가능한 휴대용 인터넷 서비스인 'WiBro 시스템' 개발에 도전하여, 2004년 11월 27일 IEEE802.16e 국제규격을 만족하는 WiBro 시스템 시제품을 기지국과 단말기를 이용해 세계 최초로 접속하는 데도 성공하였다.

ETRI는 2010년대 들어 다양한 5세대 이동통신 기술개발을 시작하였다. 2013년에는 정부와의 협의를 통해 개별적으로 수행되던 10개의 5G 관련 사업을 '5G 기술선도형'과 '5G 시장지향형' 연구개발과제로 구성된 '5G 통합사업'으로 개편하였다. 기술선도형 과제를 통해서는 이동 엑스홀 네트워크와 초고밀집 네트워크 기술을, 그리고 시장지향형 과제를 통해서는 LTE 소형셀 기지국 기술, 지하철 Wi-Fi 환경을 개선하기 위한 MHN 기술, 초고속 근접통신 기술(Zing), NB-IoT(협대역 IoT) 기술 등을 성공적으로 개발하였다.

한편, ETRI는 향후 이동통신의 보완재로서 무선랜의 중요성이 커질 것이라는 판단에 따라 2001년부터 본격적으로 Wi-Fi 관련 기술을 개발하기 시작하였다. 그 결과, 2007년 세계 최초로 저속이동형 무선전송시스템을 개발하고, 2016년에는 역시 세계 최초로 IEEE802.11ah SoC 칩셋을 개발하는 데 성공하는 등 뛰어난 성과를 거뒀다.

아울러, 2010년대 후반부터는 2030년경에 상용화가 예상되는 6세대 이동통신 핵심 원천기술 선점을 위해 테라헤르츠 무선통신 기술, 3차원 입체통신 기술 등을 개발하고 있다.

## 위성통신

세계 최초의 인공위성은 1957년 10월 (구)소련이 발사한 스푸트니크 1호이다. 이어서 미국은 1958년 1월 익스플로러 1호를 발사하였고, 국가 간 고정 위성통신을 위해 1964년 인텔샷을 그리고 해상통신을 위해 1976년 인마샷을 설립하였다. 이를 통해 국제전화 및 선박통신과 올림픽경기 등 국제경기의 실시간 TV 중계 서비스가 가능하게 되었다. 이후로 위성통신 기술은 비약적인 발전을 거듭하여 정지궤도 위성뿐만 아니라 저궤도위성을 통한 고정 위성통신(FSS)과 이동 위성통신(MSS), 개인 휴대 위성통신, 위성방송 등이 가능해졌다. 우리나라의 본격적인 위성통신 역사는 ETRI로부터 시작되었다. 1980년대 초반 정부는





천리안 위성과 천리안위성관제소

급증하는 통신수요를 충당하고자 통신·방송 위성 보유 및 위성통신 서비스 도입 계획을 세웠다. 그리고 1983년 ETRI가 통신·방송 위성 타당성 연구를 시작하면서 우리나라는 위성통신 개발에 첫발을 내딛게 된다. 이어서 1985년부터 1988년까지 ETRI는 국내 유수의 5개 통신업체와 공동으로 실험실 모델인 위성통신 지구국 시스템을 국내 최초로 개발하였다.

이후로 1989년부터 우리나라도 독자적으로 위성을 개발해야 한다는 의견이 대두되었다. 통신위성은 산간오지와 도서벽지 어디서도 동시에 서비스를 제공할 수 있는 유일한 수단으로, 산업적 측면은 물론 국가안보 측면에서도 매우 중요하였다. 이에 정부는 단독위성 확보 방침을 확정하고, ETRI는 1990년 '위성통신기술개발본부'를 발족하여 본격적으로 위성통신 기술개발을 시작하였다.

위성개발은 위성통신지구국 시스템과 위성체 관련 분야로 나뉘어 추진되었다. 위성통신지구국 시스템 분야는 ETRI 최초로 국제공동연구를 통해 '저속데이터 전용 지구국(VSAT)'과 '도서벽지·행정통신 지구국(DAMA·SCPC)' 시스템을 개발 및 상용화하는 데 성공하였다. 위성체 관련 분야는 지상에서 감시 및 조정하기 위한 위성 관제기술 개발과 더불어 위성과의 지상 간 송수신 장치를 일반 반도체처럼 집적화하는 '초고주파 반도체화 기술'을 적용하여 위성통신이 갖춰야 하는 모든 고려 사항을 만족하는 우수한 탑재체를 개발하였다. 그리고 마침내 2010년 ETRI를 중심으로 개발한 시스템을 탑재한 정지궤도 복합위성 천리안1호가 성공적으로 발사되었다. 이로써 대한민국은 세계 최초의 정지궤도 해양관측 위성 보유국이자, 세계 7번째의 기상관측 위성 보유국이 되었다.

한편, 디지털 위성방송 지구국 기술개발을 1996년 성공적으로 완료함으로써 우리나라가 세계 2번째 디지털 위성방송 서비스 실시가 가능하게 되었다. TDMA 방식의 지구국을 개발하면서 우리나라는 아날로그 방송 시절이던 2004년부터 전국에 24시간 HDTV 위성방송 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 기술은 진화를 거듭하여 최근에는 8K UHD 시험방송을 성공적으로 수행하였다.

또한, 1999년 발사된 다목적 실용위성 1호부터 2호, 3호, 5호에 이르는 위성 관제시스템을 독자적으로 개발하고, 2010년에는 위성항법 기술인 'GPS/갈릴레오 복합수신기 기술'을 개발하였으며, 2019년에는 천리안 2A호 위성의 다채널·고해상도·대용량 관측 자료를 연속적으로 수신·처리·분석·관리하고 이를 서비스할 수 있는 지상국을 개발 및 구축하였다. 앞으로 2021년부터 시작될 공공복합통신위성(천리안위성 3호) 개발을 주도적으로 추진할 예정이다.

## 전파

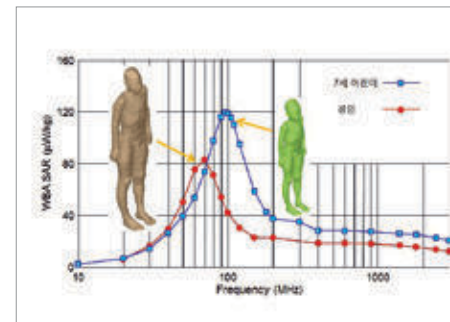
전자파는 1831년 페러데이가 발견한 전자 유도작용을 기초로 하여, 1864년 영국의 수학자 맥스웰에 의해 이론적으로 정립되었다. 그리고 1906년 국가 간 국제무선전신조약이 체결되면서 본격적인 무선통신 시대가 개막되었다. 이후로 1910년 9월 정부의 항로표지감시선인 광제호가 무선전보를 도입하면서 국내에도 전파를 이용한 무선통신이 시작되었다. 1980년대 초반까지 국내 무선 및 전파 기술은 어둠의 시대였다. 남북분단 상황으로 인해 전파이용이 통제되어 안전통신용이나 해상구조용 등 통제된 분야에서만 전파의 이용이 허용되었다. 이러한 상황에서 ETRI는 '특수 통신실'을 조직하고 정부의 정책적 기술지원을 위한 무선전파 기술을 개발하기 시작하였으며, 1980년대 말에는 '무선연구부'를 발족하였다. 이후로 대내외적인 환경이 변하면서 정부는 1990년대 들어 전파산업을 육성하기 위한 정책들을 본격적으로 추진하기 시작하였고, 다양한 무선 서비스(휴대전화, 디지털 텔레비전, 무선랜, 블루투스, RFID, GPS 등)가 등장하였다. 그 결과, 주파수 수요가 급증하자 ETRI는 1993년부터 유한한 전파자원을 효율적으로 관리하기 위한 스펙트럼공학 기술개발을 추진하였다.

ETRI의 전파 기술 연구는 크게 4개의 범주로 분류된다. 새로운 주파수 자원을 발굴하고 주파수의 효율적 이용을 연구하는 '전파자원(스펙트럼 공학, 주파수 공유, 밀리미터파 이용)', 전파이용의 기반이 되는 전파 소재·부품·장비 기술을 연구하는 '전파기반(안테나, 전파전파특성, 잔향챔버)', 전파의 안전성을 확보하기 위한 '전파환경(전자파 인체영향, 전파감시, EMI/EMC)', 전자파 관련 응용기술을 연구하는 '전파응용(전파의료, 드론탐지/식별, 무선전력전송, 자기장통신)'이 그것이다.

전파 기술개발 초기, 정부의 전파 정책과 밀접한 관련성을 가진 스펙트럼 공학 기술개발에 주력하였다. 그러다 전자파의 인체 위험성이 언론에서 뜨겁게 다뤄지기 시작하자, 전자파가 인체에 미치는 다양한 영향을 연구하여 「전자파 인체보호 기준」 등을 마련하였다. 또한, 1990년대 초부터 EMI/EMC 기술을 개발하여 국내의 EMC 제도 구축과 관련 산업의 기반 조성에 이바지하였다.

아울러, 1980년대 중반부터 전파 방향탐지 및 불법 전파 등의 감시를 위한 전파모니터링 기술개발을 단계적으로 추진하여 국산화함으로써 현재는 안전한 대한민국 전파환경을 위한 365일 상시 모니터링을 가능하게 하였다.

2000년대 들어서는 주파수 자원 부족 문제를 해결하기 위한 주파수 공유 기술과 5G 이동통신의 대규모 데이터 트래픽에 대응하기 위한 밀리미터파(71~95GHz) 대역 주파수 자원 활용기술개발을 시작하였다.



어린이에 대한 전자파인체보호기준의 적합성 연구  
(주파수 10MHz ~3GHz 범위에서 7세 어린이와 성인의  
전신평균 전자파흡수율을 비교한 그래프)





무선으로 충전하는 원천기술 개발

한편, 전파를 응용하여 암을 진단하는 전파의료 영상촬영 기술, 전파를 인체 내부의 원하는 위치에 집중적으로 조사하여 난치성 질환을 치료하는 전파치료 기술, 자기공명 기술을 이용한 무선전력전송 기술, 소형 드론 식별/탐지 기술 등 다양한 전파응용 기술개발에도 매진하고 있다.



세계에서 10번째로 전전자교환기 TDX-1 개발



초고속통신망을 이용한 영상전화 시연

### 전화교환기 및 지능망

ETRI의 네트워크 연구에 국가적 이목이 쏠린 것은 1982년 사상 초유의 초대형 연구개발 프로젝트로 ‘TDX-1 개발사업’이 시작되면서부터였다. 당시 급증하는 전화 수요를 시설 증가가 따라잡지 못해 전화 적체 현상이 심각해지자, 대통령 지시로 이를 해결하기 위한 시분할 전전자교환기 개발사업이 시작되었다. 그 결과 ETRI는 1986년 세계에서 열 번째로 전전자교환기 ‘TDX-1’ 개발에 성공하였다. 이후 몇 차례의 개선작업을 거쳐, 1991년에는 TDX-1 용량의 10배가 넘는 ‘TDX-10’을 개발하였고, 이로써 우리나라는 기계식 교환기와 아날로그 교환기 제작과정을 거치지 않고 곧바로 디지털 교환기를 개발·생산한 유일한 국가가 되었으며, 본격적인 ‘1가구 1전화 시대’를 맞게 되었다.

1가구 1전화 시대가 보편화되자 전화기를 통하여 새로운 다양한 부가서비스들까지 제공하는 IN(Intelligent Network, 지능망)이라는 개념을 도출하고, 1988년부터 지능망 서비스 제

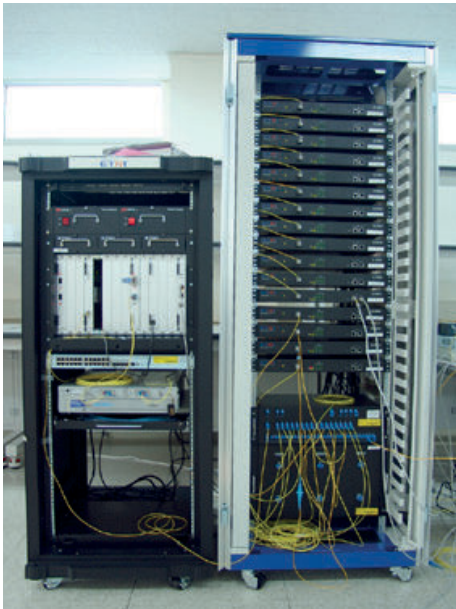




AICPS 개통기념 워크샵



FTTH 시대 개척



10기가급 기가비트 수동형 광네트워크 시스템

어 및 신호 교환 기술(SCP, SMS, STP, SSP 등)을 개발하였다. 이 기술들을 토대로 1990년대 중반부터 우리나라에도 전국대표 번호(1588, 1577), 정보로 수납대행(060), 무료 전화(080), 전화투표(1580), 신용통화(161), 기상예보(131), 평생 번호(0502) 등 다양한 지능망 서비스가 제공되었으며, 단순 통신을 넘어서 부가서비스 사업으로까지 네트워크의 역할이 확대되었다.

한편, 1990년대 말 모뎀(Modem) 기반 아날로그 전화선을 이용한 데이터통신은 인(忍)터넷이라는 말이 나올 정도로 서비스 접속이 안 되거나 느려지는 일이 잦았다. 이에 ETRI는 1998년 AICPS(Advanced Information Communication Processing System, 대용량 통신처리시스템) 개발을 완료하여 600만 명 이상의 데이터통신 사용자들에게 99% 이상의 서비스 접속률을 보장하는 개방형 인터넷 접속서비스 시대를 열었다.

## 광네트워크

광통신 기술은 빛의 파장을 이용하여 정보를 전송·교환하는 기술로, 증가하는 정보통신 데이터 트래픽을 전달하기 위한 가장 핵심이 되는 기술이다. ETRI는 1992년 SDH 방식의 155Mbps 동기식 전송시스템 기술개발 및 상용화에 이어, 2.5Gbps 및 10Gbps 광전송 시스템을 개발하였다. 아울러, 2000년부터 WDM 방식의 160Gbps 및 1.6테라비트급 시스템을 개발하는 등 초고속 대용량 광통신 기술개발을 선도하였다. 이후 새로운 서비스와 시장 수요에 부합하도록 광송수신기 단위 전송속도를 10Gbps, 40Gbps, 100Gbps, 200Gbps, 400Gbps로 고속화시키고 시스템의 주요 기능의 모듈화와 핵심 원천기술 확보에 주력하였다.

한편, 21세기 들어 인터넷 보급률이 빠르게 향상되고 방송·통신이 융합화되면서, ETRI는 2002년부터 초고속 광가입자망 기술개발을 통해 광대역 양방향 실시간 광신호가 집안까지 직접 연결할 수 있는 기가비트 FTTH(Fiber To The Home, 맥내광가입자망) 시대를 개척하였다.

2015년에는 대용량 NG-PON2 기술개발을 통하여 기존보다 '100배 빠른 10Gbps 광 인터넷 기술'을 개발하였으며, 2019년에는 누구나 5G 서비스를 전파 음영 지역 없이 실내 환경에서 맘껏 활용할 수 있도록 해주는 '5G 이동통신용 RoF 기술', 그리고 2020년에는 1/1,000초 이내에 정보 전달이 가능할 정도로 빠른 초각 인터넷을 위한 광액세스기술(TIC-TOC)을 개발하여 5G 이후 유무선 통합 광액세스 시대를 발전시키고 있다.

인터넷 데이터 트래픽의 폭증으로 광전송 기술의 발전이 트래픽 증가속도(7년간 10배)를 따라가지 못하는 '전송용량 부족' 현상이 예고되자, ETRI는 2012년 광전송 장비와 패킷전



인터넷 워크샵 행사



품질보장 액세스라우터(S-20) 세계최초 개발

송 장비를 하나로 통합하여 최적의 경로를 자동설정하는 '패킷-광 통합 스위치(POINTS)'를 개발하였다. 그리고 한발 더 나아가 2016년에는 광전달 장비와 회선전달 장비, 패킷전달 장비를 하나로 통합한 '광-회선-패킷 통합 스위치(OCES)'를 개발함으로써 침체된 국내 네트워크 산업체에 새로운 활기를 불어넣는 역할을 하였다.

## 패킷 및 인터넷 통신

1990년대 들어, 통신 환경은 음성 위주에서 데이터 중심 멀티미디어 서비스로 급격히 전환되었다. 이에 따라, 교환·전송 기술도 회선 교환방식에서 패킷 기반으로 패러다임이 전환되었으며, 이에 발맞춰 ETRI는 ATM 교환기와 MPLS 기술 등을 개발하여 인터넷 시대 진입에 대비하였다.

ETRI는 '21세기 선도기술개발사업(HAN(Highly Advanced National) 프로젝트)'의 일환으로 1992년부터 'ATM 교환기' 연구에 돌입하여, 1995년 세계에서 일곱 번째로 ATM 교환기를 개발하는 데 성공하였다. 이로써 국내에서도 VOD 서비스, 영상회의 및 양방향 영상전화 서비스, 멀티미디어 검색서비스의 제공이 가능하게 되었으나, ATM 기술이 시장에서 성공하지는 못하였다.

한편, ETRI는 2000년대 초반부터 인터넷 기술의 핵심인 고속 라우터 기술개발을 추진하였다. 2001년 20Gbps~80Gbps 처리가 가능한 라우터 시스템(HSR-80)을 국내 최초로 개발하고, 곧이어 플로우별 차별화된 서비스 품질을 제공하는 '품질보장 라우터'를, 2008년에는 6백만 플로우까지 품질차별화를 지원하는 '품질보장 액세스 라우터(S-20)'를 세계 최초로 개발하였다. 이로써 차세대 네트워크에 필요한 거의 모든 기종의 라우터를 확보하는 성과를 이루었다.

## 미래 네트워크

2010년대 이후, 네트워크는 연결과 정보교환이라는 전통적 역할을 벗어나 다양한 융합 서비스를 신속하게 지원하는 플랫폼으로 빠르게 진화하였다. 이에 ETRI는 기존의 하드웨어 중심의 폐쇄적 인프라 장비 산업을 소프트웨어 중심의 개방형 생태계로 전환하는 인프라 혁신기술로써 '개방형 프로그래머블 네트워크 핵심기술' 개발을 추진하였다.

우선, 개방형 스위치를 지원하기 위해 다양한 네트워크 장비에 탑재하여 99.999% 가용도를 보장하는 NOS(Network Operating System, 네트워크 운영체제) 기술을 개발함으로써 전량 해외에 의존하던 네트워크 장비업체의 SW 기술 종속성 문제를 개선하였다. 또한, 고성능 네트워크 가상화 기술과 상용 수준의 SDN 제어기(컨트롤러 플랫폼) 기술, 컴퓨





네트워크 장비 시험센터 개소

팅·네트워킹 밀결합(Tight Coupling) 및 통합 관리를 통해 가상 인프라를 즉각 구성해주는 ‘분산 SDN/NFV(Network Function Virtualization) 플랫폼 오케스트레이션 기술’과 관련 표준을 개발, 배포하였다. 이 기술은 가상화된 인프라에서 유연하고 즉각적으로 서비스를 프로그램할 수 있게 함으로써 사업자의 신규서비스 개발 시간을 1/10 수준으로 줄이고 비용을 대폭 절감할 수 있게 지원하며, 소프트웨어 기반 네트워크 패러다임의 변화에 대응하여 국내 기술력을 확보하는 중심 역할을 수행하였다.

## 1-2-1. 초기 통신단말기

### 공중전화기 고장문제 해결할 방안 모색

우리나라에 국산 전화기가 처음 보급되기 시작한 것은 1960년대 초반이었다. 체신부는 1961년 체신1호 전화기 사양을 제정하였고, 1962년부터 공중전화기 및 자석식 전화기, 공전식 전화기가 국내에서 생산되었다. 당시 백색 전화기의 값은 280만 원 수준으로, 평균적인 서울 집값인 250만 원보다도 고가였다.

공중전화기의 경우에는 1970년대 후반 10원, 100원 2종류의 주화를 사용할 수 있는 시내·외검용 공중전화기 500대를 일본에서 수입해 사용하고 있었다. 그러나 대체부품을 수입하지 못한 탓에 전화기가 고장 나면 다른 고장 난 전화기의 부품을 떼어 수리해야만 했고, 시간이 갈수록 정상적으로 작동하는 전화기 수는 계속 줄어들었다. 또한, 기구부품으로 제어기능을 구현한 탓에 부피가 큰 것은 물론 고장 확률도 높았다.

### 마이크로프로세서를 이용한 DDD 공중전화기 개발

이에 ETRI는 1980년 8월, 마이크로프로세서를 활용하여 제어 논리를 프로그래밍으로 구현하는 새로운 개념의 시내·외 검용 공중전화기 개발을 시작하였다. 마이크로프로세서를 제어 소자로 쓴 공중전화기는 선진국에서도 시도된 바가 없었다.

ETRI는 8비트 싱글 칩 컴퓨터로 쓸 수 있는 인텔 8048 마이크로프로세서로 회로설계를 하였으며, 기계어로 프로그래밍하여 2Kbyte의 ROM에서 작동하게 하였다. 또한, 기구부품 최소화를 위하여 3종류의 주화가 한 슬롯에 축적되었다가 과금되도록 하는 독창적인 방식을 고안하여 2종류의 특허도 취득하였다.

연구 결과, 1983년 마이크로프로세서를 이용한 ‘DDD(Direct Distance Dialing, 장거리 자동전화) 공중전화기’ 개발에 성공하였다. 이로써 공중전화기에 10원, 50원, 100원을 사용할 수 있게 되었고, 공중전화기 구조도 금액 선별기와 주화축적용 모듈 2개로 매우 간단해졌다. 또한, 기구부품을 1/3 수준으로 줄인 결과 고장률이 대폭 줄어들었고, 가격도 1/3로 절감할 수 있었다. 당시 일본에서 수입한 공중전화기가 150만 원대였던 데 반해, ETRI가 개발한 공중전화기는 3가지 동전을 쓸 수 있음에도 불구하고 50만 원대에 제작이 가능하였다. 제조도 쉬워 한때는 제조사가 200여 개를 넘기도 하였다.

특히, 이 공중전화기는 자기 고장진단 기능을 갖추고 있어, 고장 수리요원이 특정 버튼을



DDD(장거리자동전화)  
공중전화기



누르면 미리 기억시킨 프로그램이 동작하여 스스로 고장 부위를 앞면에 표시하였다. 당시로서는 세계적으로 유례가 없는 혁신적인 기능이었다. 개발된 공중전화기는 1980년대 중반부터 전국적으로 보급되어 1990년대까지 주 기종으로 사용되었다.

### 공중전화 잔돈처리에 얽힌 일화

어느 나라 공중전화기에도 잔돈을 거슬러 주는 기능은 없다. 잔돈이 부족하여 전화기를 못 쓰는 일이 일어나서는 안 되기 때문이다. 그러나 이용자의 손해를 최소화할 방안 마련은 엔지니어의 양심이었고, 마이크로프로세서의 채택으로 이 기능을 구현할 수 있게 되었다. 즉 '재발신' 키를 누르면 남은 잔돈을 다른 통화자가 사용할 수 있도록 한 것이다. 이를 위해 전화기에 잔액 표시장치를 마련하였고, 통화할 곳이 없는 경우 잔액을 뒷사람이 쓸 수 있게 양보하는 문화가 만들어졌다. 88올림픽 취재차 방한한 일본 NHK 기사는 이를 세계에 없는 휴머니즘적인 공중전화기라고 소개하기도 하였다.

— 매일경제 1986년 —



카드식 공중전화기(출처: KT Linkus 홍보센터)

### 카드식 공중전화기 개발

정부는 공중전화기의 낙전 문제를 해결하기 위해 1984년 카드식 공중전화기 개발계획을 확정하였다. 이에 ETRI는 DDD 공중전화기의 마이크로프로세서와 프로그램을 개량하여 1986년 '카드식 공중전화기' 개발을 완료하였다. ETRI는 카드식 공중전화기 기술을 국제 전자와 반석산업 등에 이전하였으며, 생산된 공중전화기는 1986년 아시안게임 전에 공항과 경기장 주변, 호텔, 터미널 등에 우선 설치되었다. 당시 전화카드의 액면 금액은 5천 원과 만 원이었으며, 시내 통화는 물론 국제전화까지 가능하였다.

### PC 통신 시대를 연 비디오텍스 개발

비디오텍스(videotex)란 전화와 TV를 컴퓨터에 연결하여 글자나 그림으로 된 각종 정보를 활용하는 단말기 서비스이다. 이와 비슷한 정보시스템으로 컴퓨터와 컴퓨터를 연결하

여 정보를 주고받는 데이터통신 시스템이 있었지만, 당시로서는 값비싼 컴퓨터끼리의 연결이어서 일반인이 사용하기는 어려웠다.

ETRI는 1983년부터 비디오텍스 개발을 시작하였다. 비디오텍스는 컴퓨터 미숙련자를 대상으로 한 기기였기 때문에 이용방법이 간단하고 단순해야 하며, 화면표시는 이해하기 쉽게 그림으로 그려져 있거나 색깔이 입혀져 표시되어야 하였다. 그러나 당시에는 모뎀 속도가 100~2,400bps에 불과해 서버로부터 화면정보를 받는 데 상당한 시간이 걸렸다. 이에 전 세계적으로 큰 그림을 모자이크로 조각낸 뒤, 단위 그림 조각 하나하나를 8비트 부호로 할당함으로써 전송되는 데이터양을 작게 만드는 방식이 개발되었고, 이 부호에 대한 표준이 제시되었다. ETRI는 유럽, 일본, 미국방식 가운데 미국방식을 선택하고 여기에 한글 기능을 추가한 한국형 비디오텍스 표준을 개발하였다. 이 표준에 맞춰 Z-80 CPU HW를 이용해 단말기 시제품을 개발하고, 여기서 터득한 설계 기술을 4개사(삼성, 금성사, 현대, 일진)에 이전하였다.

한국데이터통신은 1986년 아시안게임에 맞춰 '천리안'이라는 이름으로 비디오텍스 서비스를 시작하였다. 비디오텍스 단말기는 주로 공항, 주요호텔, 프레스센터, 경기장 주변 등에 설치되었으며, 뉴스, 관광, 길 안내, 경기성적 등 다양한 정보를 제공하였다.

1989년에는 KTA(KT의 전신)가 '하이텔'이란 이름으로 비디오텍스 서비스를 추진하였다. 당시 KTA는 프로토콜을 간략화시켜 모뎀을 통한 송수신시간 단축을 꾀하였다. 컬러가 아닌 단색 표시에 문자부호만 사용하게 함으로써 데이터 검색시간을 줄여, 오늘날 SNS의 효시가 된 BBS 게시판 서비스 등 소위 PC 통신 전성시대를 이끄는 단초를 제공하였다.

### 텔레텍스, 절반의 성공

1980년대 초 통신에 의한 문서 전송방법은 텔렉스<sup>1)</sup>밖에 없었다. 그러나 당시 텔렉스 단말기는 모두 수입하여 변형(영문 타이프 활자에 한글을 추가)한 것뿐이었고, 텔렉스용 전용선 사용료는 상당히 고가였다.

이에 ETRI는 비싼 전용선 대신 가정에 연결된 전화선을 이용하여 텔렉스처럼 문서작성·전달 업무를 할 수 있다면 엄청난 변화가 올 것으로 판단하고, 1982년 한국형 텔레텍스<sup>2)</sup> 개발과제를 시작하였다. 텔레텍스 단말기는 Z-80 8비트 마이크로프로세서 HW에 CP/M OS, 2개의 FDD(Floppy Disk Driver), 프로토콜 SW, 한글 워드프로세서 SW, 2.4kbps 모뎀 등으로 이뤄졌다. 또한, 미숙련자도 쉽게 이용할 수 있도록 입력하는 글자 모양이 디스플레이에 그대로 표현되도록 하였고, 인쇄도 똑같이 나오는 WYSWYG(What You See What You Get) 방식을 택하였으며, 글자를 확대하거나 축소해도 화면에 그대로 표

1) 텔렉스(telex): 인쇄전신기와 교환장치가 결합된 인쇄전신 교환장치이다.

2) 텔레텍스(teletext): 워드프로세서에 고도의 통신 기능을 첨부한 공중 전기통신서비스이다.



현되도록 전용 HW를 구현하였다. 아울러, 고가의 컴퓨터용 모니터 대신 TV급 저가 모니터를 이용하도록 고안되었다.

ETRI는 1985년 텔레텍스 개발에 성공하고 5대의 시제품을 제작하여 ETRI 연구실과 서울 체신부 사무실 간 시험 운영을 수행하였다. 이후 5년이 넘도록 텔레텍스의 워드프로세싱 기능을 활용하여 작성된 체신부 공문서가 다수 유통된 바 있다. 또한, 개발된 워드프로세싱 SW는 1986년에 금성사, 삼성, 현대, 광림전자 등 4사에 이전되었으며, '장원', '서원' 등의 브랜드로 시판되었다. 그러나 안타깝게도 텔레텍스는 상용화를 포기한 채 사장되었다.

### K-LAN 개발

이더넷 규격이 확정되기도 전인 80년대 초반에 'K-LAN 개발'이라는 한국형 LAN(Local Area Network) 독자 개발 과제가 추진되었다.

당시 와이파이 같은 무선은 커녕, 유선 LAN도 없었던 시기에, ETRI를 중심으로 당시 4대 전자통신 산업체인 삼성반도체통신, 금성전선, 현대전자, 대우통신을 설득하여 각 4명씩의 연구원을 파견 받아 OJT개념의 공동 연구개발이 1984년부터 2년간 추진되었으며, 브로드밴드 LAN 중심으로 시스템 및 요소 기술(NIU[Network Interface Unit], LNOS[LAN NOS], NMS 등)과 호스트에 탑재되는 응용 소프트웨어에 이르는 LAN 기술 일체를 개발하였다.

개발 기간 중에 IEEE 802 이더넷 규격이 확정되면서 초기 규격을 반영하는 시장 지향적인 LAN 시제품을 개발하였다. 이는 컴퓨터간 통신을 가능하게 하는 컴퓨터 통신시대의 상징적인 망기술의 첫 국산화 개발이었다.

또한 실제적인 현장 적용을 위해 연구원에 첫 LAN인 'KETRI-NET'을 구축하여, 당시로는 고가인 컴퓨터 등의 자원 공유와 Videotex, teletex, Fax, CATV 등 다양한 서비스를 LAN에 수용시키는 실험망을 운영하였다.

개발을 마무리하여 'K-LAN'이라 이름을 붙여 기업체에 기술을 공개(무료이전)하였고, 이 기간 LAN의 중요성을 간파하게 된 산업체는 LAN 독자 개발보다는 외국의 제품을 도입하는 사업에 뛰어 들게 되었다.

이후, 후속 연구개발이 이어지지 못하면서 LAN 시장은 외국산의 각축장이 되어버렸다.

## 1-2-2 교환기/지능망

### 전화적체를 해소하라!

1960년대 이후 국가 경제가 고도성장하면서 전화는 경제활동의 필수품이자 국가 경제·산업 발전의 기반으로 인식되기 시작하였다. 이에 정부는 1962년 「경제개발 5개년계획」의 일환으로 '통신사업 5개년계획'을 추진하였고, 1970년대 들어 우리나라 통신 시설은 비약적인 발전을 이루었다. 1961년 12만 대에 불과하던 가입 전화 수는 1976년 약 139만 대로 비약적으로 증가하였다. 그러나 급증하는 통신수요를 통신 시설 증가가 따라잡지 못해 전화적체 현상은 점점 심각해져 갔다. 1972년 1만 건 조금 넘는 적체 수는 1978년 60만 건 가까이 늘어났고, 전화를 신청하면 설치까지 1년 이상을 기다려야 하는 상황이 벌어졌다. 이러한 문제를 해결하려면 교환기 증설 외에는 방법이 없었으나, 외국산 기계식 교환기 증설에는 막대한 재원이 필요하였다. 또한, 당시 해외의 교환기 기술이 기계식에서 전자식으로 이동해가는 추세여서 기계식 교환기 증설은 장기적으로 볼 때 경제적으로나 통신기술의 발전을 위해서도 바람직한 선택이 아니라는 주장이 제기되었다. 이에 정부는 교환기 국산화에 대한 논의를 시작하였고, 1976년 대통령 지시로 경제장관회의에서 시분할 전전자 교환기 국산화 개발이 전격 결정되었다.

### TDX, 연구비 240억 원의 초대형 국책사업

1981년 정부가 '농어촌지역 시분할방식 전자교환기 설치계획'을 추진하면서 'TDX(Time Division Exchange, 한국형 전전자교환기)' 개발에 관한 관심은 점점 커졌다. 정부는 ETRI를 중심으로 기업체 공동개발 형태로 TDX를 개발한다는 기본 방향을 정하였다. 그리고 드디어 1982년 연구 기간 5년(1982년~1986년), 연구비 240억 원, 연인원 1,300명이 투입되는 사상 초유의 초대형 연구개발 프로젝트로 'TDX-1 개발사업'이 시작되었다. 기술개발은 ETRI가 주도하고, 제조업체인 금성반도체, 대우통신, 동양전자통신, 삼성반도체통신이 공동연구업체로 참여하였으며, 공기업이던 한국통신이 사업자 및 교환기 사용자로서 개발비용을 지원하였다.

당시는 군 장비개발 외에는 10억 원대의 연구 프로젝트도 드문 시절이었다. 그런 상황에서 무려 240억 원의 연구개발비를 투입한다는 것은 엄청난 모험이었지만, 정부는 전자산업 육성은 물론 장기적인 국가발전까지 고려해 TDX-1 개발을 전격적으로 추진하였다.



국내 최초 전자교환기 개발의 모체가된 사설교환기 KIST-500개통



그러나 초기에는 반대의견도 상당하였다. 우선, 기존 교환기 수입업체는 물론 학회와 국회에서도 기반기술도 없는 한국이 외국보다 적은 연구비로 전전자교환기를 자체개발하는 것은 애초에 불가능한 일이라는 의견이 팽배하였고, 그 비용으로 한강 다리 하나를 더 건설하는 게 낫다는 사회단체도 있었다. 당시 전전자교환기 기술은 선진국 다섯 나라만 보유한 전략기술이었기 때문에 이러한 반대는 일면 타당하였다. 이러한 불신을 극복하기 위해서라도 ETRI 연구진은 낮과 밤을 가리지 않고 연구에 매진하였다. ETRI에 ‘불이 꺼지지 않는 연구소’라는 별명이 붙은 것도 이때부터였다.

### 굳은 결의를 담은 서약서 제출

1982년 TDX-1 개발을 처음 시작할 때 ETRI의 주요 보직자들이 정부(체신부)에 서약서를 제출한 것은 아주 유명한 일화이다. “연구원 일동은 최첨단 기술인 시분할 전전자교환기의 개발을 위해 최선을 다할 것이며, 만약 실패할 경우 어떠한 처벌이라도 달게 받을 것을 서약한다.”는 내용이 담긴 서약서였다. 무슨 일이 있어도 반드시 개발에 성공하겠다는 절절한 마음을 담아 혈서와 같은 서약을 남긴 것이다.

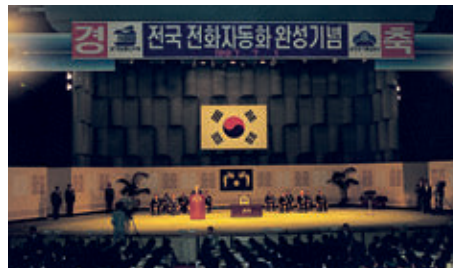
### 세계 열 번째로 전전자교환기 TDX-1 개발 · 상용화 성공

1986년 ETRI 중심의 연구진은 드디어 세계에서 열 번째로 전전자교환기 TDX-1 개발에 성공하였다. TDX-1은 수백 개의 마이크로프로세서가 기능을 분담하는 완전 분산구조로 9,600회선의 용량을 처리할 수 있도록 설계되었다. 또한, 실시간 운영체제, 프로세서 및 주요 장비 이중화에 의한 신뢰도 확보, 용량 증대가 쉬운 안정적인 신호처리, 사용자 친화적인 운용 및 유지보수, 시스템 통합 및 시험 검증 등의 기술적 성과도 거뒀다. ETRI는 시스템에 필요한 모든 하드웨어와 소프트웨어를 자체 개발하였다. 당시에는 외국 교환기에 포함된 기술과 기능들에 대한 구체적인 정보를 알지 못하여 개발자들은 한국통신 교환기 운용자의 다양한 요구사항을 모아 창의적인 상상력을 결합하여 새로운 기술을 개발해 나갔다.

개발방법론(개발지침과 도구)의 개발도 프로젝트의 주요 성과였다. TDX는 전자, 통신, 소프트웨어 등 모든 분야의 기술이 동원되는 종합 기술로, ‘시스템 요구사항→시스템 설계→블록 상세설계→구현실험→종합시험→환경시험’ 등 단계적 개발 업무를 수백 명의 전문인



TDX-1 교환기



전국 전화자동화 완성 기념식(1987. 7. 1.)

력이 체계적으로 수행해야만 성공할 수 있었다. 이를 위해서는 각자 개발한 결과물을 모아 일사불란하게 나아가게 하는 개발방법론이 필수이지만, 당시에는 대규모 연구사업 경험이 부족하여 국내에 체계적인 개발방법론이 부재한 상태였다. 이에 ETRI는 개발방법론도 하나하나 자체 개발하여 적용하였다. 이 방법론은 이후 TDX-10 프로젝트에 적용된 것은 물론, 주전산기 개발, CDMA 개발 등 국내의 굵직굵직한 대형 연구사업에 활용되었다. TDX-1을 개발한 후 가장 시급한 과제는 생산기술을 빠르게 끌어올려 TDX 기술을 조기에 상용화하는 것이었다. 정부가 교환기 자체 개발사업을 추진한 궁극적인 목적은 수입대체를 이루고 더 나아가 이를 수출 산업화하는 것이었기 때문이다. 이에 ETRI는 1984년 5월 TDX-1X 1차 인증시험과 동시에 체신부에 기술 전수 대상업체의 선정을 요청하였고, 최종 확정된 4개 기업을 대상으로 1985년 12월까지 기술을 전수하였다. 기술 전수는 크게 기술문서, 기술훈련, 기술지원의 3개 분야로 실시하였으며, 제공되는 기술의 범위는 생산, 설치, 개통 및 상용시험에 필요한 모든 기술을 포함하였다.

마침내 1986년 3월 가평, 구리, 무주, 칠곡 등 4개 지역에 총 24,000회선 규모의 TDX-1 상용교환기가 개통되었다. 이후 양산 모델인 TDX-1A가 10,240회선의 용량으로 보완 개발되어 1987년부터 공급에 들어갔으나, 용량이 작아 놓여준 지역으로 공급이 한정되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ETRI는 대용량 교환기 개발에 돌입하였고, 개발하는 동안의 수요를 해결하기 위해 8비트 프로세서인 TDX-1A를 업그레이드하여 32비트 프로세서로 교체하고 용량을 22,528회선으로 늘린 ‘TDX-1B’를 개발하였다. TDX-1B는 1989년 말까지 40개 전화국에 36만 7,000회선이 공급되어 주로 중수도시용 교환기로 운용되었다. TDX 시리즈의 개발은 한국전기통신공사의 전전자교환기 보급을 가속하였고, 국내에 마지막으로 남아있던 수동 교환원에 의한 자석식 교환기는 1988년 모두 철거되었다.

### ‘1가구 1전화 시대’ 연 TDX-10

대용량 전전자교환기 개발을 목적으로 한 ‘TDX-10 개발사업’은 TDX-1 개발 직후인 1987년부터 시작되었다. ETRI를 중심으로 1991년까지 5년간 총연구비 560억 원과 2,000명 이상의 연구인력이 투입되었다. 생산업체들이 뒤늦게 참여한 TDX-1 사업과는 달리, TDX-10 사업은 시작단계부터 ETRI 주도하에 TDX-1에 참여했던 4개사가 공동개발에 참여하였으며, 1989년에는 동아전기가 추가로 참여하였다.

연구진은 1991년 TDX-1 용량의 10배가 넘는 11만 가입자 처리가 가능한 전전자교환기를 개발하는 데 성공하였다. TDX-10은 컴퓨터, 반도체, 통신, SW 등 각 분야의 최신 기술을 적용하여 시스템의 규모나 성능, 서비스 가용성 등 모든 부분에서 우수할 뿐 아



— TDX 개발과정과 성능

	TDX-IX (선행개발)	시험인증기	TDX-I 시험생산기	TDX-I 양산기	TDX-IB (용량증대)	TDX-10
개발 기간	1978~1981	1982~1983	1984~1985	1985~1987	1986~1988	1986~1991
용량(회선)	500	1,200	9,600	10,240	22,528	100,000
통합용량대	700	1,200	1,600	1,600	3,600	26,000
호처리 용량(MCA)	30,000	600,000	100,000	100,000	220,000	1,200,000
최초개통일	1982. 7.	1984. 10.	1986. 2.	1987. 2.	1989. 4.	1991. 11.

나라, 구조의 유연성과 모듈화를 기반으로 하는 개방형 구조로 설계되어 기능의 확장이 나 유지보수가 용이하였다.

또한, TDX-10은 음성과 함께 데이터, 화상 등 비음성 서비스도 제공하는 교환기였 기 때문에 기존의 통신망 환경은 물론 미래의 다양한 통신망 환경에도 쉽게 적용되었 다. PSTN(Public Switched Telephone Network, 전화교환망)의 시내 · 중계 · 시외 교 환기, ISDN(Integrated Services Digital Network, 종합정보통신망)의 국내 표준교환 기, 착신 통화 및 신용통화 과금 서비스 등을 제공하는 지능망(Intelligent Network)의 SSP(Service Switching Point, 서비스 교환기) 그리고 후에는 CDMA 이동통신 교환기 로도 활용되었다.

1991년 10월 서울의 천호와 상계, 서대전, 대전, 대구 수성, 북울산 등 6개 시내 전화국 에 6만 2천 회선, 서울 구로와 포항 등 시외 2개 전화국에 5만 회선 등 총 11만 회선의 TDX-10 상용교환기가 개통되었다. 이로써 농어촌, 중소도시 그리고 대도시에 이르기 까지 국내 모든 지역의 TDX 교환기 수요가 해소되었고, 우리나라는 본격적인 ‘1가구 1전화 시대’를 맞게 되었다.

TDX 교환기의 천문학적 개발 효과

ETRI는 10년에 걸친 TDX 개발로 우리나라 통신 역사의 새 장을 열었다. TDX 개발 및 상용화에 성공함으로써 우리나라는 기계식 교환기와 아날로그 교환기 개발과정을 거치지 않고 곧바로 디지털 교환기를 개발 · 생산한 유일한 국가가 되었으며, 세계 열 번째 전자 교환기 생산국인 동시에 여섯 번째 수출국이 되었다. TDX-1은 국가사회 발전에 끼친 막



TDX-1 상용화 ‘광복 70주년 과학기술 대표성과 70선 선정’ 인증패

대한 영향을 인정받아 2016년 정부가 선정한 ‘광복 70주년 과학기술 대표성과 70선’에 선 정되기도 하였다.

또한, TDX 개발은 국내 생산유발, 수출, 수입 대체, 기술료 절감, 고용유발, 신규 기능 업 그레이드에 따른 추가비용 절약, Y2K 문제 등 통신망 관리 및 유지보수 비용 절감, 개발 기 술의 활용을 통한 타 분야 연구개발비 절감, 신규 산업 창출 등 막대한 경제적 · 산업적 이 득을 도출하였다. 국내 생산유발 효과만 4조 원(1985년~1997년)에 달하였고, 수입 대체 효과는 총 41억 달러(1987년~1997년), 1,000만 회선을 TDX 교환기로 대체하여 발생한 기술료 절감효과는 약 4억 달러로 추정되었다. (대한민국의 통신발전 및 성공요인, 글로벌 지식협력단지, 2019, 5.) 또한, 1991년부터 1997년까지 러시아, 중국, 베트남 등 15개국에 수출한 실적은 392만 회선 5억 7천만 달러였다.

TDX 개발 성공의 의미는 여기에 그치지 않는다. 개발에 참여한 연구원뿐만 아니라 모든 분야의 국내 연구자에게 할 수 있다는 자신감과 도전 정신을 심어주었으며, 정보통신 분야 에서 선진국의 연속을 벗어나 독자적인 기술체계를 확보했다는 점에서도 큰 의의가 있다. 우리나라가 1996년 세계 최초로 CDMA 방식의 이동통신 상용화에 성공한 것도 TDX 기 술개발이 선행되었기에 가능한 일이었다.



TDX 200만 회선 개통



TDX 개발시험센터 개관



故 안병성 박사

TDX 성공의 주역, 故 안병성 박사

TDX의 성공적 개발은 수많은 ETRI 연구원의 땀과 헌신 덕분에 가능하였다. 이 가운데 서도 특히 故 안병성 박사의 역할은 지대하였다. 안 박사는 1970년대 미국 GTX와 개발 계약을 맺고 TDX의 모태라 할 수 있는 500회선용 전자식 사설교환기(EPABX)를 국내 에서 처음으로 완성한 연구자로, 이후 TDX 사업의 총괄책임자를 역임하였다. 또한, 국내 최초로 미니컴퓨터 ‘세종 1호’와 TV 리모컨 전자계산기 등을 개발한 대한민국 ICT의 독 보적 선구자이다. ETRI는 안 박사의 연구성과가 수입대체 4조 3천억 원과 수출 1조 400 억 원 등 총 5조 4천억 원의 경제적 효과를 거뒀다고 분석하였다. 2020년 12월 안병성 박사는 ETRI 출신으로는 처음으로 한국과학기술한림원이 주관하 는 『2020 국가과학기술유공자』에 선정되었다.



## 지능망의 필요성 대두

1980년대 중반을 기점으로 전화 서비스는 여러 변화에 직면하였다. 전화 보급률이 높아지면서 신규 전화 가입이 둔화하고, 통신 시장에 자유경쟁이 본격화되었으며, 이용자들은 기존의 서비스 외에 시간대별 수신 위치 변경, 융통성 있는 통화료 부과, 음성에 의한 다이얼링 등 다양한 서비스를 요구하기 시작하였다.

이러한 시장 변화에 대응하기 위해 통신 서비스 사업자들은 기존의 공중전화망(PSTN)과 컴퓨터망을 No.7 공통신 신호 방식으로 결합해 새로운 서비스들을 신속하고 편리하게 생성·관리할 수 있는 지능망(Intelligent Network, IN)이라는 새로운 개념을 만들어냈다. 초기의 지능망은 망 차원의 서비스 제어 로직을 보유한 서비스 제어시스템(SCP)과 서비스 제공에 필요한 데이터를 관리하는 서비스 관리시스템(SMS), 기존의 교환기와 SCP의 접속 기능을 추가한 서비스 교환기(SSP) 그리고 이들을 연결하는 No.7 공통신 신호망으로 구성되었다.

## 다양한 통신서비스 제공하는 IN·AIN 개발

우리나라는 선진국과 비슷한 시기에 비교적 빨리 지능망 개발을 시작하였다. ETRI와 한국통신(KT)은 1988년부터 SCP·SMS와 신호 중계교환기(STP) 개발을, 1990년에는 SSP와 신호망 관리시스템(SIGNOS) 개발을 시작하였다. 국내 지능망은 SSP를 중심으로 음성이나 데이터 등의 통신 정보를 실제로 교환·전송하는 전달 층, 지능망 요소 사이의 제어 신호를 전달하는 STP 중심의 신호 층, 전달 층에서 발생하는 지능망 서비스에 대한 요구를 제어·관리하는 SCP 중심의 서비스 층으로 구성되었다.

ETRI는 1991년 신호 중계교환기인 SMX-1(Signaling Message eXchange-1) 개발을 완료하고, 1992년 3월에는 착신과금 서비스와 신용통화 서비스를 제공하는 서비스 관리·제어 시스템인 NICS(Network Information Control/Management System) 실험 시제품을 개발·시험하였다. NICS를 활용한 착신과금 서비스와 신용통화 서비스는 1995년 3월 1일 서울과 부산지역 가입자를 대상으로 처음 상용화되었다. 또한, 1994년에는 지능망 서비스 교환기인 TDX-10 SSP에 사업자 간 요금 정산 시스템인 IGS(Interconnection Gateway Switch)를 수용한 통합 패키지를 개발하여 3차례에 걸쳐서 현장적용시험을 실시하였으며, 정보로 수납대행 서비스 시제품 확인시험도 진행하였다.

KT는 ETRI가 개발한 지능망 시스템을 기반으로 추가 연구를 수행하여 1997년 가상 사설망 서비스, 1998년 정보로 수납대행 서비스, 개인번호 서비스, 전국 단일 번호 서비스, 여론 조사 서비스를 상용화하였다.

초기 지능망은 사용자에게 새로운 서비스를 제공하는 데는 성공하였으나, 신규서비스를 도입할 때마다 지능망 시스템을 일일이 변경해야 하는 단점이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 KT는 ETRI와 공동으로 1995년부터 1998년까지 기존 서비스에 독립적인 빌딩블록 개념을 적용한 AIN(Advanced Intelligent Network, 차세대 지능망)을 개발하였다. 차세대 지능망은 PSTN, ISDN, PLMN 등 모든 통신망에 적용 가능하며, Multi-vendor 환경에서 서비스·통신망과 독립적으로 서비스를 제공할 수 있는 망 능력을 제공하였다. ETRI는 KT와 함께 서비스 생성환경(SCE), SCP/SMS, SSP, IP(Intelligent Peripheral, 지능형 정보제공 시스템) 등의 차세대 지능망 시스템 개발을 계속해서 추진하였다. 그 결과, KT는 1999년 11월 2일에 가양 전화국에서 차세대 지능망을 개통하였다.

## 다양한 분야로 지능망 서비스 확산

지능망 서비스를 통해 확보하는 수익이 점차 커지자, 통신업체들은 지능망 서비스를 지속적으로 확대해 나갔다. 2005년 2월에는 폰뱅킹 등 지능망 서비스에 이용자가 몰리면서 일부 지역의 시외 전화 시스템이 붕괴되기도 하였다. 이 사건을 기점으로 KT는 지능망을 더욱 확대하여 SCP는 7식 14개 시스템, 통합 IMS(IP)는 14개 시스템, SSP는 70개 시스템을 운영하였다. 이를 통해 전국대표 번호(1588, 1577), 정보로 수납대행(060), 무료 전화(080), 이동전화 번호 이동성(MNP), 전화투표(1580), 신용통화(161), 기상예보(131), 평생 번호(0502), 링고 LE 제어(1931), 링고 SSP 제어(1932) 등의 다양한 지능망 서비스를 제공하였다.



지능망 서비스 시범망 개통(1993. 12. 14. 한국통신)

## 인(忍)터넷 극복할 기술 필요

1990년대 말까지만 해도 가정에서 인터넷과 PC 통신 서비스를 이용하려면 아날로그 전화선을 이용한 모뎀(Modem)을 설치하고, 별도의 사용료를 내는 서비스에 가입해야만 하였다. 더구나 사용자의 급증으로, 인(忍)터넷이라는 말이 화자될 정도로 최번(最繁) 접속시간에는 서비스 접속이 안 되거나 느려지고 끊어지는 일이 잦았다.



## 인터넷 대중화 기반 마련한 AICPS 기술

ETRI는 이러한 문제를 해결하기 위해 1990년대 후반부터 AICPS(Advanced Information Communication Processing System, 대용량 통신처리시스템)을 개발하기 시작하였다. AICPS는 전국 규모의 014XY 기반 번호체계를 제공하는 전화망은 물론, 패킷망, 프레임 릴레이망, 인터넷 등에 접속된 서비스 제공자들의 정보에도 고속으로 접속할 수 있게 해 주는 정보통신 플랫폼이다. 기존에는 인터넷을 이용할 때 특정 ISP에 별도로 가입해야 하고, 접속할 때마다 사용자 ID와 비밀번호를 입력해야 했지만, AICPS를 활용하면 014XY에 전화를 거는 것만으로도 시스템이 모든 절차를 대신해주었다.

ETRI는 우선 일반 사용자의 전화번호를 ID로 처리하고, Point-to-Point Protocol로 IP주소를 할당하여 사용자의 TCP/IP 프로토콜이 동작할 수 있는 사용자 인터페이스 원천기술을 확보하였으며, 인터넷에 연결된 정보 제공자들의 시스템과 효율적으로 연동하는 기능을 개발하였다.

또한, 인터넷 콘텐츠 유료화 확산에 대비하여 정보이용료 회수 대행(웹인포샵) 서비스 기술을 개발하였다. 이는 전화 요금을 청구할 때 유료 콘텐츠 이용료를 합산하여 처리하는 기술로, 당시 세계적인 선도기술에 해당하였다. 이 기술로 정보제공업자는 이용요금 징수에 따르는 각종 부대비용과 인력을 절감하고, AICPS 운영자인 통신사업자는 회수 대행을 통한 부가수익을 창출할 수 있게 되었다. 아울러, 전국 규모의 통계처리·운용관리, 회선·모뎀 단위 서비스 운용관리, 형상관리, 장애 관리 등을 실시간으로 처리할 수 있는 웹 기반 전국망 통합 운용관리 기술과 인터넷과 전화망 간 신속한 IP 기반 전화 서비스를 위한 VoIP 서비스 기술도 개발하였다.

ETRI는 1998년 AICPS 개발을 완료하고, 개발확인시험을 수행하였다. 이로써 600만 명 이상의 데이터통신 사용자들에게 99% 이상의 서비스 접속률을 보장하는 개방형 인터넷 접속서비스 시대가 열렸다. 접속 속도는 일반전화 가입자는 56Kbps까지, ISDN을 이용하면 64Kbps까지 가능하였는데, 이는 당시 최고 수준이었다. 1999년에는 약 6만 회선이, 이듬해인 2000년에는 약 4만 회선이 추가로 공급되었다. 국내 음성통신망을 대표하는 것이 TDX 계열의 교환기였다면, AICPS는 국내 데이터통신망을 대표하는 기술이었다.

1998년부터는 AICPS의 국제적 가격 경쟁력 및 기능 경쟁력을 확보하기 위한 개량·개선 기술개발을 적극적으로 추진하였다. 초기모델(AICPS 10)에 이어, 개량형 모델(AICPS 11) 그리고 회선당 시스템 가격을 획기적으로 절감한 원가 절감형 모델(AICPS 20)을 단기간에 성공적으로 개발하였다. 특히, AICPS 20은 고속 및 고신뢰성 인터넷 스



AICPS(대용량 통신처리시스템)



가입자선로 공동활용을 위한 공청회

위치 기술과 다중 디지털 신호처리 기술 기반의 소프트 모뎀 기술개발 성공을 통해 가격 절감뿐만 아니라 선진국보다 10% 이상 뛰어난 인터넷 접속서비스 성능을 제공하였다. 이러한 지속적인 연구개발을 통해 당시 AICPS 모델들은 선진국의 경쟁시스템보다 13% 정도 우수한 성능을 제공하였다. 또한, 전국 규모의 X.25 기반 패킷망(HiNET-P) 및 프레임 릴레이망(HiNET-F)을 기반으로 조성된 PC통신 서비스와 별도의 가입이 불필요한 개방형 인터넷 서비스를 제공함으로써 인터넷 대중화의 기반을 조성하였다.

## 국내 통신산업 성장의 기폭제 된 AICPS 기술

AICPS 모델들은 삼성전자, LG전자, (구)대우통신에 기술이전 되었으며, AICPS 10과 AICPS 11은 1999년 7월에, AICPS 20은 2000년 8월에 각각 전국 규모로 상용화되었다. ETRI는 AICPS 20 개통 기념 워크숍에서 KT로부터 감사패를 받기도 하였다.

후속 과제로 ETRI는 2001년 초저가형 인터넷 정합 장치인 'AICPS 라이트 시스템'을 개발하여 국내 통신망에 최적화된 원격 접속형 AICPS를 실현했다는 평가를 받았다. 주요 개발 기술로는 고속 전화망 및 ISDN 가입자 회선 집적 기술, 인터넷 가입자 정합 기술, 프로토콜 처리 기술, 운용관리 기술 등이 있으며, LG전자, 다산인터넷, 아론통신기술에 기술이전 되었다.

## 1-2-3. 광네트워크

광통신은 전기적 신호 대신 광신호를 매개로 정보를 처리 및 전송하는 기술로, 전화망의 디지털화와 정보의 대량화, 정보형태의 다양화 등의 추세에 힘입어 빠르게 발전하였다. 광통신 기술은 광섬유, 광소자, 광전송 시스템 등으로 분류되는데, ETRI는 이 가운데 광전송 시스템 연구에 주력하였다.

ETRI는 1978년 PCM(Pulse Code Modulation) 부호화된 전화 신호 96개를 광섬유 2가닥으로 보내는 6.3Mbps 광전송 장치를 개발하여 1979년 2월 대통령 연두순시에서 시험하였다. 이것은 국내 최초의 광전송 시험이었다. 이어서 45Mbps 광섬유 통신시스템을 개발하여 광화문전화국과 중앙전화국 간 국내 최초의 현장시험에도 성공하였다.



국내 최초의 광전송 시험(1979. 2. 6.)



## 장파장 · 동기식 광통신 시스템 개발

1980년대 들어 광통신의 패러다임이 장파장(1.3 $\mu$ m)으로 바뀌면서 ETRI는 1984년부터 45Mbps, 90Mbps, 565Mbps 비동기식 장파장 광전송 시스템을 계속해서 개발하였다. 이 시스템들은 국내 장거리 주요 통신 구간에 기본 통신로로 사용되어 우리나라가 1가구 1전화 시대로 진입하는데 기여하였으며, 특히 시외통화로 인하여 결정적인 역할을 하였다. 또한, 광통신 시스템의 국산화를 높이는 기술적 토대가 되었다.

전송용량 급증에 대응하고, 광대역 서비스 도입에 대비한 초고속 멀티미디어 전송로를 확보하기 위해서는 기존의 비동기식 다중기술만으로는 기술적 · 경제적으로 제약이 컸다. 이에 세계적으로 동기식 광전송 기술이 개발되기 시작하였고, 1998년에는 새로운 동기식 다중방식이 CCITT(국제전신전화자문위원회, 현 ITU-T)에 의해 국제표준화되었다. ETRI도 1988년부터 SDH<sup>3)</sup> 다중방식 기반의 광전송 시스템 개발에 돌입하여, 1992년 155Mbps 동기식 광전송 시스템(SMOT-1)을 국내 최초로 개발하였다. 이로써 우리나라는 세계에서 7번째로 동기식 광전송 기술을 보유한 나라가 되었다. 더욱이, 9종의 대규모 주문형반도체(ASIC)를 자체 개발하여 적용하였으며, OAM 통신기능 개발 및 실장은 세계 최초였다. ETRI는 SMOT-1 관련 기술을 6개 산업체에 이전 · 상용화함으로써 국가 정보통신망의 기반인 광통신망 구축에 중추적인 역할을 담당하였다.

## 기가급 광전송 시스템 개발

1989년부터 1994년까지는 장거리 시외전송로 및 대용량 시내국 간 중계에 활용할 수 있는 2.5Gbps 광전송 시스템을 개발하여 1996년에 상용망에 적용하였다. 이 시스템은 국내에 기반이 거의 없던 초고주파 기술을 사용하여 기가급 광전송으로 나아가는 시발점을 마련하였다.

한편, 종합통신망 기술개발사업인 HAN/B-ISDN 개발사업의 일환으로 1993년부터 1998년까지 10Gbps SDH 광전송 시스템을 개발하여 1999년에 상용시험을 완료하였다. ETRI는 선진국에서도 기술 부재로 상용화되어 있지 않던 GaAs ASIC, 리미팅 증폭기(Limiting AMP) 등의 핵심부품을 개발하여 10Gbps 광전송 시스템을 완성함으로써 경쟁사 제품의 국내 도입을 차단하는 데 기여하였다. 또한, 기존의 2.5Gbps 광전송 시스템보다 채널당 가격을 35%~40%가량 절감할 수 있게 되어 경제적인 전송로 구축이 가능해졌다. 역시 HAN/B-ISDN 사업의 일환으로 1993년부터 WDM<sup>4)</sup> 방식의 160Gbps 광전송 장치도 개발하였다. 이 장치는 2000년 KT의 개발확인시험을 거쳐 상용화 수준으로 개발 완료되었으며, 이후 800G급 및 1.6T급 WDM 광전송 시스템 기술개발에 활용되었다.



2.5Gbps 광전송시스템 상용 시험망 개통식(1996. 1. 30.)

1993년에는 광 CATV<sup>5)</sup> 시스템 연구를 통해 통신 채널 전송장치와 광대역 분배장치, 가입자 접속 · 단말장치 등을 개발하였다. 이 장치들은 국내 광통신 및 유선방송망 기술 선진화의 밑거름이 되었으며, 광가입자망 기반을 조성하는데 기여하였다. 또한, 1996년에는 수작업으로 진행하던 기존의 회선분배 및 분기(DSX-n) 기능을 전자화시켜 소프트웨어에 의해 구동되도록 하는 광대역 회선분배 시스템(BDCS) 개발에도 성공하였다.

## 테라비트급 빛의 통신시대 개척

ETRI는 2000년부터 테라비트급 WDM 광전송 시스템 연구를 시작하였다. 그 결과, 2002년 10Gbps 채널 기반 800Gbps 및 1.6Tbps WDM 광전송 시스템을 개발하였으며, 2003년에는 10G · 40G 채널 기반의 테라급 WDM 광전달망 구현을 위한 핵심 기반 기술을 확보하였다.

또한, 2000년부터 2005년까지 SDH 기반 40Gbps ETDM(Electrical Time Division Multiplexing, 시분할다중) 광전송 핵심기술(광트랜시버, 광트랜스폰더, 클럭복구, 광증폭기, 분산보상, OTU3(Optical Transport Unit 3) 프레이머 FPGA 등)을 확보하였다. 이 기술들은 광전달망 구성 시 노드-노드 간 전송의 핵심 요소기술로 활용되었으며, 기간통신망 국산화에도 기여하였다. 또한, 2006년부터 2007년까지는 SDH보다 한 단계 진보한 OTN<sup>6)</sup> 기반 40G 광전송 기술을 확보하였다.

ETRI는 2008년부터 2011년까지 100G 이더넷 및 광전송 기술개발을 통해 멀티레벨 변복조 기술, 100G 전송 프레이머 기술, 100G 이더넷 트랜시버 기술, 이더넷 핵심 요소기술 등을 개발하여 지식재산권을 확보하였다. 이 기술들을 토대로 데이터센터 내에서 또는 데이터센터 간에 초고속 이더넷 표준인 40G · 100G 이더넷 트래픽을 비용 효율적으로 단거리(~40km) 및 장거리(~1,000km)로 전달할 수 있게 되었으며, 이로써 대용량 트래픽에 대한 수요를 감당할 수 있게 되었다. 또한, 2017년에는 멀티모드 기반의 10km 전송 가능한 공간 다중 광전송 원천기술을 확보하였다.

2018년에는 포토닉 프레임(Photonic Frame) 기반 패킷 스위칭 연구를 통해 전기 스위치 기반 다단 구조의 데이터센터 네트워크를 광스위치 기반 1단 구조로 단순화시키는 데 성공하였다. 이를 통해 에너지 소비를 1/3로 줄이고 네트워크 지연 시간도 1/10로 단축할 수 있는 광스위치 기반 네트워킹 기술을 확보하였다. ETRI는 KT 상용망에 PoC(Proof of Concept, 개념검증)용 테스트베드를 구축하고 광 스위치 기반 네트워킹을 시연하였으며, 이를 기반으로 상용화 요구사항과 일반 네트워크 적용 요구사항을 도출하였다. 데이터센터 네트워킹 기술은 2019년 ‘광에지 클라우드 네트워킹 핵심기술개발’ 과제로 이

3) SDH(Synchronous Digital Hierarchy, 동기 디지털 계층): 고속 디지털 통신을 위한 광전송 시스템의 국제 표준이다. 다양한 전송 기기를 상호 접속하기 위한 광신호와 인터페이스 표준을 제공하고, 고도의 망 운용 · 관리 · 보수(OAM) 기능을 제공한다.

4) WDM(Wavelength Division Multiplexing): 한 가닥의 광섬유에 채널별로 여러 개의 파장을 동시에 전송하는 기술을 말한다.

5) CATV(Community Antenna Television): CATV란 동축 케이블이나 광섬유 케이블 등 광대역을 전송할 수 있는 전송 매체를 이용하여 영상, 음성 등의 정보를 가입자에게 전송하는 시스템이다.

6) OTN(Optical Transport Network, 광수송 네트워크): 전기적 신호 단위가 아닌 광 파장 단위로 전달 · 수송하는 기능적인 광 네트워크이다.



어졌다. 또한, 2018년 100Gbps급 신호를 최대 100km까지 전송할 수 있는 Coherent OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 직교주파수분할) 기반DSP<sup>7)</sup> 기술과 광송수신 기술을 개발하였다.

2019년에는 메트로 액세스 네트워크용 200Gbps급 광트랜시버, 400G 이더넷 광트랜시버, 광송신기 및 광수신기, 직접수신 고차 변복조 방식의 초고속 대용량 광전송 기술 등을 확보하였다. 개발된 광트랜시버 기술은 무선·이동통신 가입자의 광연결과 데이터센터 간 광연결 등 80km 이하의 메트로 액세스 분야에 활용될 것으로 보이며, 광송수신기와 고차 변복조 방식 광전송 기술은 2020년부터 수행 중인 테라비트 이더넷 광전송 원천기술개발에 활용되고 있다.

ETRI는 이러한 고난도 광전송 핵심기술을 적극적으로 이전하여 관련 기업의 신규시장 창출 및 글로벌 사업화에 기여하고 있다. 메트로 액세스 네트워크용 200Gbps 및 400Gbps 이더넷 광트랜시버 기술은 2020년 ‘광통신 미래 핵심 소자/모듈 기술자립을 위한 테라비트 이더넷 광전송 원천기술개발’ 과제와 ‘5G+ 기지국 프론트홀 기술개발’ 과제로 이어졌다. 한편, ETRI의 광전송 핵심기술은 ‘5G 시대 고품질·초실감 인터넷 시대를 열어갈 초고속 광트랜시버 기술’이라는 이름으로 2020년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

6G 시대, 페타급 광통신 원천기술개발에 도전

ETRI는 지금까지 확보된 기술력을 바탕으로 2020년부터 세계 최고 수준을 목표로 실리콘 기반 광송수신 칩 기술, 테라비트급 이더넷 광트랜시버 기술, 테라비트급 이더넷 광전송 및 신호처리 기술, 실리콘 기반 테라비트급 광연결 및 광스위치 기반 네트워킹 기술을 개발하고 있다. 테라비트급 광 원천기술을 개발하여 테라급 광통신 시대를 선도하고, 향후 6G를 위한 페타급 광통신 기술개발에도 도전할 계획이다.

7) DSP(Digital Signal Processing): 디지털 신호를 기계장치가 빠르게 처리할 수 있도록 하는 집적회로이다.

— ETRI의 광전송 기술개발 리스트

개발 연도	광전송 기술 및 장비명
1978	96채널 6.3Mbps 광전송장치 개발
1984	45Mbps 및 90Mbps 다중모드 광통신 시스템 연구
1986	90Mbps 광전송 장치
1989	565Mbps 광전송 시스템
1992	155Mbps급 동기식 광전송 시스템(SMOT-1) 개발 SMOT-1 시스템용 주문용 반도체칩 5종 개발
1993	광가입자용 CATV 개발
1994	2.5Gbps 광통신 시스템 개발
1996	광대역 화선분배 시스템(BDCS) 개발
1997	100Gbps WDM 광링크 개발
1998	10Gbps SDH 광전송 시스템 개발
2000	10Gbps급 고속 광트랜스폰더 개발 160Gbps WDM 광전송 시스템 개발
2002	1.6Tbps WDM 광전송 시스템 개발
2005	10Gbps급 10km XFP 광트랜시버
2007	40Gbps MSA 300pin 광트랜시버 모듈
2008	40Gbps 광트랜스폰더 기술개발
2009	10Gbps급 80km SFP+ 광트랜시버
2011	40G 이더넷 광트랜시버 모듈
2012	100G 이더넷 및 광전송 기술개발 100G급 전송 프레임/FEC 100G OTN 및 이더넷 광트랜시버
2014	100G CFP 광트랜시버
2017	100 Gbps급 Coherent OFDM DSP 정합 광 송수신기
	멀티모드기반의10 km급 공간 다중 광전송 원천 기술 연구
2018	데이터센터 광 네트워킹 핵심 기술개발 Photonic Frame 기반 패킷 스위칭 기술
2019	메트로 액세스 네트워크용 200Gbps 80km 광트랜시버 400G 이더넷 광트랜시버(400GbE-LR8/LR4)

## 트래픽 증대에 따른 광액세스 기술의 발전

광액세스 기술은 2000년을 전후로 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line) · VDSL(Very high-bit rate Digital Subscriber Line) 기술에서, FTTH<sup>8)</sup> (광가입자 망) 기술로 변화하였다. 이에 따라 ETRI도 광가입자망 방식의 광액세스 기술을 개발하기 시작하였다. 최근에는 5G · 6G 모바일 트래픽의 증대에 따라 광액세스의 적용 영역이 프런트홀, DAS(Distributed Antenna System), 테라헤르츠 기술 등으로 확대되면서 그 중요성은 더욱 커지고 있다.

## 방송 · 통신 복합 서비스망 ‘FTTH’ 개발

ETRI는 2002년 ‘초고속 광가입자망 기술개발’ 과제를 시작으로 본격적인 광액세스 연구에 돌입하였다. 과제에는 2006년까지 정부출연금 662억 원과 연구인력 총 894M/Y가 투입되었으며, 삼성전자, KT 등 9개 업체가 공동연구기관으로 참여하였다.

인터넷 보급률이 빠르게 향상되고 방송 · 통신 융합이 대세로 떠오르자, 광대역(고속 · 대용량), 양방향, 실시간 서비스를 가능케 하는 FTTH 기술이 요구되기 시작하였다. ETRI는 FTTH 기술의 선점이 방송 · 통신 융합 초기시장의 승패를 좌우할 것이라는 판단하에 본 과제 수행에 주력하였으며, 한편으로는 2004년 광주광역시와 ‘FTTH 서비스개발 실험사업’을 추진하기로 합의하였고, 2005년에는 KT, 하나로텔레콤 등과 광가입자망 구축 계약을 체결하였다.

당시 FTTH 인프라 구축에는 ETRI가 개발한 E-PON<sup>9)</sup>, WDM-PON<sup>10)</sup>, G-PON<sup>11)</sup> 장비와 ETRI에서 실시한 벤치마킹 테스트를 통과한 장비들이 사용되었다. 특히, 2003년 ETRI가 개발한 1Gbps E-PON 시스템을 적용함으로써 최대 20km 거리에서 DVD 동 영상 영화 1편을 5.6초에 다운로드하거나, MP3 음악 파일을 1초에 333곡 전달하는 것이 가능하였다.

2006년 2월 FTTH 첫 가입자 개통을 시작으로 6월까지 광주광역시 소재 10개 아파트 단지를 대상으로 6,220회선(실가입자 1,759세대)의 FTTH가 개통되었으며, 2008년까지 총 16,000여 회선, 6,000여 세대에 개통이 완료되었다.

ETRI는 FTTH 핵심 원천기술 확보 및 국산화율 제고를 통해 네트워크 산업의 체질 개선을 도모하였다. 또한, 산업적 측면에서는 FTTH 통신 장비와 광부품 및 선로 시장의 활성화로 침체된 통신산업 활성화에 기여하였고, 방송 · 통신 융합과 디지털 정보가전, HDTV



FTTH 인프라 및 서비스 개통식(2006. 7. 27. ETRI)

8) FTTH(Fiber to the home): 전화국에서 가정까지 광선로를 통해 전기적 신호 대신 광신호가 직접 전달되는宅内 광가입자망이다. 이를 통해 광대역(고속 · 대용량), 양방향, 실시간 서비스가 가능해져 방송 · 통신 융합환경을 구축할 수 있다.

9) E-PON(Ethernet Passive Optical Network, 이더넷 수동 광가입자망): 이더넷에 기반을 둔 수동 광가입자망(PON)이다.

10) WDM-PON(Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network, 파장분할 수동 광분배망): 가입자별 파장 할당을 통해 광신호를 분배하는 방식이다.

11) G-PON(Gigabit Capable PON): ATM이나 TDM, Ethernet 등 다양한 멀티 프로토콜들을 가입자에게 전달하는 기술로, 대칭형과 비대칭형으로 상 · 하향 전송 대역을 제공하는 PON 기술이다.

12) RoF(Radio over Fiber): 아날로그 형태의 무선주파수(RF) 신호를 광신호로 변환하여 광섬유를 통해 전송하고, 수신된 광신호를 다시 무선 신호로 변환하여 전송하는 기술이다.

13) DAS(Distributed Antenna System, 분산형 안테나 시스템): 소출력의 안테나를 공간적으로 분산시켜 실내 환경의 높은 트래픽 용량 문제를 해결하는 데 사용되는 안테나 시스템이다.

14) MIMO(Multiple-Input and Multiple-Output): 무선통신의 용량을 높이기 위한 스마트 안테나 기술이다.

단말 산업 성장의 견인차 역할을 하였다. 이러한 성과로 본 연구과제는 2006년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었을 뿐만 아니라, 2020년 12월에는 그동안 선정된 수백건의 우수성과 100선 중에서도 성과가 탁월한 과제에 주어지는 ‘우수사례 10선’에도 선정되었다.

## 100배 빠른 광 인터넷 기술개발

ETRI는 2010년부터 2015년까지 ‘차세대 응용플랫폼을 위한 보급형 대용량 NG-PON2 핵심기술개발’ 과제를 통해 ‘100배 빠른 광 인터넷 기술’을 개발하였다. 대용량 NG-PON2 기술은 전용 광파장을 이용하여 당시 인터넷 가입자 속도였던 100Mbps보다 100배 빠른 가입자당 10Gbps를 제공할 수 할 수 있는 혁신적인 기술이었다. 구체적으로, DVD 1장 분량인 40Gbps 3D 영화 한 편을 다운로드하는데 기존에는 6분 40초 이상이 소요되었으나, NG-PON2 기술을 적용하면 단 4초 만에 가능하였다. 또한, 기존 장비의 경우 MAC 칩 등 핵심 부품의 국산화율이 20%대에 불과하였으나, ETRI의 기술개발로 90%까지 향상되었다.

본 과제 수행을 통해 ETRI는 국제특허 38건 및 국제 표준특허 1건 출원, IEC(국제전기위원회) 국제표준문서 2건 제안, MSF(멀티서비스포럼) 의장 1인 배출, 국제표준 에디터십 2건을 확보하였으며, 13건의 SCI 논문을 발표하였다. 또한, 두 개의 연구소기업이 태동하였는데, 하나는 (주)솔리드 링크(2013년)이고, 다른 하나는 당시 과제책임자가 창립한 (주)옵텔라(2015년)이다.

## 5G 이동통신용 RoF 기반 Indoor DAS 기술개발

이동통신 기술이 5G로 진화하면 기지국은 최대 20Gbps의 전송속도를 제공해야 하며, 이 경우 Indoor 환경에서의 트래픽은 4G 대비 약 100배 이상 급증할 것으로 예상되었다. 이에 ETRI는 예상되는 문제에 선제적으로 대응하고자 2016년부터 2019년까지 ‘이동통신을 위한 아날로그 RoF<sup>12)</sup> 기반 Indoor DAS<sup>13)</sup> 기술개발’ 과제를 수행하였다.

과제의 목표는 밀리미터파의 특성으로 인해 건물 내, 터널, 스타디움 등의 인도어 환경에서 발생할 수 있는 음영 지역을 해소하여, 시 · 공간의 제약 없이 광대역 5G 모바일 서비스를 제공할 수 있는 유무선 융합 액세스 네트워크 기술개발이었다. 5G 이동통신용 RoF 기술은 ETRI가 2014년 세계 최초로 제안한 기술이다.

과제 수행을 통해 ETRI는 4×4 MIMO<sup>14)</sup> 수용이 가능한 5G 분산 안테나 시스템 기술 및 IFoF 기반 광링크 핵심기술을 개발하였다. 이로써 누구나 Indoor 환경에서 전파 음영 지





세계 최초 IFoF 기반 DAS 기술을 활용한 5G 시범서비스(2018년 평창동계올림픽)



통신방송 FTTH 시범서비스 개통

15) SDN(Software Defined Network, SW 정의 네트워크): SW 프로그래밍을 통해 네트워크 경로 설정과 제어 및 복잡한 운용관리를 편리하게 처리할 수 있는 차세대 네트워킹 기술이다.

16) MAC:광섬유로전달되는트래픽이초저지연(LowLatency)으로 처리될 수 있도록 패킷을 관리하는 기술이다.

역 없이 5G 서비스를 맘껏 활용할 수 있는 환경이 구축되었다. 본 과제를 통해 ETRI는 15건의 SCI 논문을 발표하였으며, ITU-T 권고안 G.9803(RoF systems) 제정 및 G.9803 amd.1 개정을 주도하는 등 글로벌 표준 리더쉽도 확보하였다.

또한, Indoor DAS 기술은 중소기업에 이전되어 세계 최초로 상용화되었다. 이 사례는 4G LTE 망 구축 과정에서 성장동력을 상실한 국내 광중계기 및 광모듈 관련 중소·중견기업에 새로운 비즈니스 가능성을 제시하였다.

ETRI는 2018년 2월 평창동계올림픽에서 세계 최초로 IFoF 기반 DAS 기술을 활용한 5G(V2X) 시범서비스를 시연하였고, 4월에는 기가코리아사업의 일환으로 ETRI가 개발한 밀리미터파 기반 GK-5G 이동통신 시스템과 본 과제로 개발한 분산 안테나 시스템을 연동하여 ‘기가급 5G 모바일 서비스’를 성공적으로 시연하였다.

후속 연구로 2019년부터 초고속(~100Gb/s) 무선 데이터 서비스 제공이 가능한 ‘테라헤르츠 근거리(전송 거리 최대 10m) 전송 핵심기술’ 개발이 진행되고 있다. 이 기술은 향후 6G 서비스의 기반기술로 채택될 가능성이 크다.

### 보는 인터넷에서 느끼는 인터넷으로, 25Gbps급 촉각 인터넷 기술(TIC-TOC)

2010년대가 모바일 인터넷 시대였다면, 2020년대는 촉각(Tactile) 인터넷 시대가 될 것으로 전망된다. 인간이 감각을 구분할 수 있는 속도는 귀는 1/10초, 눈은 1/100초, 촉각은 1/1,000초 이내라고 한다. 즉, 촉각 인터넷은 1/1,000초 이내에 정보 전달이 가능할 정도로 빠른 네트워크를 의미한다.

ETRI는 2015년부터 2020년까지 ‘SDN<sup>15)</sup> 기반 유무선 액세스 통합 광네트워킹 기술개발’ 과제를 통해 촉각 인터넷 기술을 개발하였다. 연구진은 기존에 축적하고 있던 채널본딩 기술, 저지연 대역할당 기술, 고감도 광수신 모듈 및 광송·수신 기술 등을 토대로 광대역·초저지연 광액세스망 기술을 개발하고 ‘TIC-TOC(Time Controlled-Tactile Optical aCcess)’이라 명명하였다. TIC-TOC 기술의 핵심은 고속·고감도 광송수신 기술과 맥(MAC)<sup>16)</sup> 기술이다. 이 두 가지를 통해 인터넷 선로로 이용되는 기존 광섬유를 그대로 사용하면서도 레이저 동작 속도를 10배 키워 25Gbps급의 촉각 인터넷을 구현할 수 있게 되었다. 동시에 지연 시간은 1/10로 줄였다.

TIC-TOC 기술은 점차 짧아지는 무선구간과 넓어지는 광액세스를 위한 광인프라 고도화의 현실적인 해결 방안을 제시하는 것은 물론, 가상현실과 증강현실 등 대용량 데이터가 필요한 분야의 발전을 이끄는 촉매가 될 것으로 기대된다.



1G E-PON 개통 시연

17) GMPLS(Generalized Multi Protocol Lable Switchng): 광전송망의 지능화 추세에 따라 MPLS를 확장하여 광파장·타임슬롯·포트·패킷 등 다계층 제어관리가 가능한 기술이다.

본 기술은 ‘보는 시대에서 느끼는 시대로’25Gbps급 촉각 인터넷 기술 TIC-TOC』이라는 이름으로 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

### 전송용량 부족 사태 예측

멀티미디어 서비스의 확산으로 인터넷 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가하자, 머지않아 광전송 기술의 발전이 트래픽 증가속도(7년간 10배)를 따라가지 못하는 ‘전송용량 부족(capacity crunch)’ 현상이 발생할 것이라는 예측이 등장하였다. 이에 따라 통신사업자의 설비 증설이 계속해서 요구되었으나, 통신사업자들의 수익은 오히려 정체 또는 감소하였다. ‘트래픽 증가 대비 수익의 탈동조화(decoupling) 현상’이 발생한 것이다.

또한, 기존의 전달망은 광전송망, 회선망, 패킷망을 계층별로 나눠 개별적으로 설치·운영되고 있어 망 관리가 복잡하고, 장비를 설치하는 상면적이 커서 시설 확장이 쉽지 않으며, 네트워크 장비의 소비전력도 해마다 증가한다는 문제가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 광-회선-패킷 통합전달망 장비의 필요성이 대두되었다.

### ‘패킷-광 통합 스위치(POINTS)’ 개발

ETRI는 2008년부터 4년간 정부출연금 198억 원과 연구인력 연 176.9명이 투입된 ‘패킷-광 통합 스위치 기술개발’ 과제를 수행하였다. ‘패킷-광 통합 스위치(POINTS, Packet-Optical Integrated Network Transport System)’는 광전송 장비와 패킷전송 장비를 하나로 통합한 시스템으로, 최적의 광전송 경로와 패킷 경로를 자동으로 설정 및 제어함으로써 네트워크 구조의 단순화, 제어의 지능화, 용량의 광대역화가 가능한 차세대 네트워크 장비이다. 또한, 네트워크 구축 및 운용비용을 현재의 1/3로 절감할 수 있다는 것도 주요 특징이다.

ETRI는 2008년 POINTS의 핵심기술을 설계하고, 2009년에 핵심기술을 ATCA(Advanced Telecom Computer Association)라는 표준화된 통신장비개발 플랫폼상에서 구현하여 기능 및 성능을 검증하였다. 구현된 핵심기술은 10G급 고품질 전용 회선급 패킷전달 기술, 경로 유지보수 및 장애 시 50ms 이내 타 경로로의 자동 절체 기술, GMPLS<sup>17)</sup>라는 차세대 네트워크 시그널링 기술, 패킷 신호를 직접 광신호로 매핑 및 스위칭하는 광전달 기술, 시스템 소프트웨어 미들웨어 기술 등이다.

연구진은 기술의 상용화를 위하여 2009년부터 코위버 등 3개 업체와 밀착형 공동연구를 수행하였다. 이를 통해, 2011년에는 글로벌 벤더(Alcatel-Lucent, Hwawei 등)와 경쟁 가능한 POINTS 상용시제품 개발에 성공하였다. 이 제품은 480G 용량의 패킷 스위칭 및 40파장 용량의 광스위칭 기능을 단일 시스템으로 통합·수용한 것으로, 최적의 광전송 경로와 패킷 경로를 자동으로 설정 및 제어하는 기능을 세계 최초로 구현한 시스템이다.

개발된 POINTS는 2011년 지식경제부와 산업기술이사회가 뽑은 ‘세계 1등 도전과제’에 선정되었으며, 2010년 ‘지식경제부 100대 전략 품목’에도 선정되었다.

ETRI는 본 과제를 통해 이더넷 링 보호 복구 등 2건의 국제표준기술을 확보하였으며, ITU-T 및 IETF 등 국제표준기구에 102건의 국제표준 기고서를 제안하여 채택되었다. 또한, 국내특허 128건, 국제특허 57건을 확보하였고, 11건의 기술을 14개 국내 산업체에 이전(착수로 10.2억 원, 경상기술료 0.25억 원)하였다.

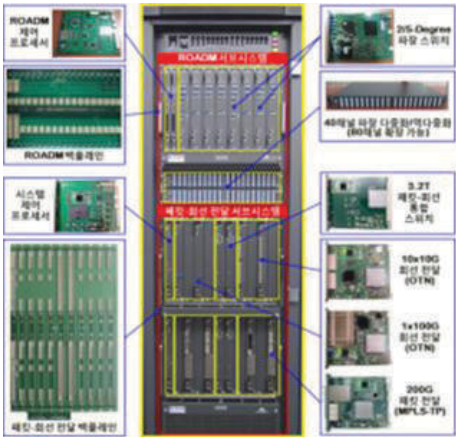
‘광-회선-패킷 통합 스위치(OCES)’ 개발

ETRI는 POINTS 후속 과제로 2012년부터 5년간 정부출연금 346억 원과 연구인력 연 323명이 투입된 ‘차세대 광전달망 구축을 위한 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템 기술개발’ 과제를 시작하였다. ‘광-회선-패킷 통합 스위치(OCES, Optical Carrier Ethernet System)’는 광전달 장비와 회선전달 장비, 패킷전달 장비를 하나로 통합한 시스템으로, 3.2테라비트 패킷처리 용량(1G · 10G · 100G 라인 인터페이스)과 1.6테라비트 회선처리 용량(10G · 100G 광 회선 인터페이스) 그리고 100G · 80채널 파장 스위칭 기능을 탑재하였다. 또한, 최적의 경로를 자동으로 설정 및 제어하는 것이 가능하다.

ETRI는 과제 시작 시점부터 코위버 · 우리넷 · 텔레필드 등 국내 전송 장비 업체를 공동연구기관으로 참여시켜, 2015년에 산업체 상용시스템을 개발하였으며, 2016년 1월에 KOREN(KOrea advanced REsearch Network)<sup>18)</sup>망에 적용하였다. OCES 시스템은 기존 네트워크 장비 대비 라우터 부하 80%, 전력 소비 65%, 상면적은 68%까지 감소시키며, 망 구축 및 운용비용도 60% 이상 줄일 수 있다.

ETRI는 본 과제를 통해 국내특허 141건, 국제특허 63건을 확보하였고, MPLS-TP 국제표준화를 선도하여 MPLS-TP 선형 보호절체 국제표준 승인(ITU-T G.8131, IETF RFC 7271, RFC 7347) 및 국제표준특허를 확보하였다. 또한, OCES는 2014년에 ‘출연(연) 10대 우수성과’ 그리고 2016년에는 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

아울러, OCES 기술은 국내 산업체로 이전(22건, 착수로 18.22억 원)되어 다양하게 제품



광-회선-패킷 통합 스위치(OCES)

18) KOREN(KOrea advanced REsearch Network): 산업체 · 학계 · 연구기관이 미래 네트워크 선도기술 및 장비를 연구 · 시험검증할 수 있도록 국가에서 운영 중인 선도시험망이다.



호남권연구센터 전경

화가 이뤄졌다. 코위버의 UTRANS Series PTN 및 ROADM, 우리넷의 OPN Series POTN 및 APS Series PTN, 텔레필드의 M Series PTN · POTN 등이 그것이다. 2019년 말까지 사업화 누적 매출액은 총 1,824억 원에 이른다. 제품별로는 POTN이 74억 원, PTN이 699억 원, ROADM이 1,051억 원 등의 매출을 올렸다.

호남권연구센터 출범

2000년 광주광역시는 광산업을 지역 경제를 이끌어갈 특화산업으로 선정하고 첨단지구 일원에 집적화 단지를 조성하기 시작하였다. 이에 ETRI는 ‘광주 · 전남 지역의 광산업 분야 인프라 구축 및 핵심기술개발과 실용화 지원’을 목적으로 2001년 5월 ‘호남권연구센터’ (당시 광주 · 전남연구센터, 이하 호남권센터)를 설립하였다. 이후 호남권센터는 중소기업의 기술경쟁력 강화와 애로기술 지원을 위해 광통신 부품 기술, 국제공인시험 기술, 평가업자망 시스템 및 서비스 기술 분야를 집중적으로 육성해 왔다. 최근에는 그동안 축적한 기술과 경험을 기반으로 차세대 광통신 분야는 물론 에너지, 인공지능, 스마트시티, 문화콘텐츠, 의료 및 헬스케어 등 다양한 응용 분야로 기술개발 및 지원을 확대하고 있다.

국내 광응용 및 광산업 견인한 호남권센터

ETRI는 2001년부터 광통신 부품의 해외 시장 진입에 필요한 국제공인시험 지원을 위해 ‘광통신 시험시스템(Test-bed) 구축’ 사업을 시작하였다. 국내 광산업체는 그동안 객관적인 신뢰성 검증이 어려워 해외 시장 진출에 어려움을 겪고 있었다. 이를 돕기 위해 1년간의 준비 끝에 국내에서는 유일하게 미국 국제공인시험인증기구인 A2LA(American Association of Laboratory Accreditation)로부터 광통신 부품 분야 국제공인시험기관 자격을 획득하였으며, 이를 통해 국내 광통신 부품 시험평가 기술 및 인프라를 국제 수준으로 확보하였다. 이 과제는 2007년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

2005년부터는 공인인증이 완료된 광통신 부품 및 시스템을 기반으로, FTTH(Fiber to the home, 대내 광가입자망) 테스트베드 및 IPTV 양방향 멀티미디어 서비스 제공을 위해 광주광역시와 함께 ‘광가입자망 서비스개발 실험사업’을 수행하였다. 이를 통해 광가입자망 부품 및 네트워크 장비 테스트와 BMT<sup>19)</sup>를 위한 테스트베드를 구축하고, 국내기술에 의한 광가입자망 시스템 시험 기술개발 및 운영을 추진하였다. 그 결과, 2009년까지 광주

19) BMT(Bench Marking Test, 벤치마킹 테스트): 실제와 같은 시험환경에서 제품의 성능을 평가하는 것을 말한다.





광통신부품연구센터 기공식

에 소재한 아파트 단지에 총 21,912회선의 FTTH가 개통되었고, 이 망을 통해 국내 최초로 가입자당 최대 1Gbps 통신·방송융합 양방향 서비스 제공에 성공하였다.

2010년부터는 FTTH 부품-시스템-서비스 산업체 간 선순환 생태계 구축을 통해 10G급 PON<sup>20)</sup> 시스템을 개발하기 위하여 '광융합 기술 기반 그린 IT 도시 모델 실험사업'을 수행하였다. 이를 통해 ITU-T 표준의 XG-PON<sup>21)</sup> 기반 광대역 저전력 네트워크 기술 및 XG-PON 시스템 솔루션 핵심기술을 개발하였다.

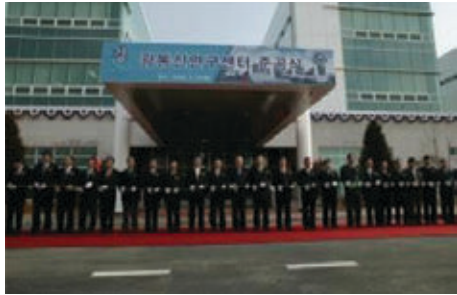
2014년부터는 FTTH 핵심 광부품의 생산효율 증대와 광응용부품 패키징 지원을 위한 '광 기반 공정혁신 플랫폼 구축 및 산업화 지원' 사업을 수행하고, 그 일환으로 '광패키징기술 지원센터'를 구축하였다. 센터의 스마트제조 인프라는 ETRI의 광네트워크 연구개발에 적극적으로 활용되었다.

과제 수행결과, 100Gbps급 광모듈의 핵심부품인 25Gbps급 광원 소자(DFB-LD) 및 수광소자(PIN-PD)가 국내 최초로 상용화되었으며, 저가형 광파장 다중화·역다중화 소자(AWG MUX/DeMUX)도 상용화에도 성공하였다.

ETRI는 이미 구축된 인프라와 축적된 기술력을 바탕으로 2015년부터 '100Gbps급 초소형 광모듈 상용화 기술개발' 사업을 추진하였다. 당시 100Gbps급 광통신 부품에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있었으나, 국내 산업체의 기술은 10Gbps급 수준에 머물러 있었다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 ETRI는 국산화가 시급한 중소기업의 광통신 핵심부품 시제품 제작 및 시험검증 등의 상용화를 집중적으로 지원하였다. 또한, 중소기업이 접근하기 어려운 100Gbps급 광모듈 관련 공백 기술개발을 통해 사업수행 3년 만에 100Gbps급 TOSA<sup>22)</sup>/ROSA<sup>23)</sup> 상용화 기술개발을 완료하였다. 이를 통해 핵심 광부품 대외의존도를 줄이고, 국가의 소재·부품·장비 경쟁력 강화에 이바지하였다. 이 기술은 '100Gbps급 광통신 핵심부품 국산화'라는 이름으로 2019년 '국가연구개발 우수성과 100선'에 선정되었다. 2018년부터는 광통신 관련 사업 외에도 지능형 에지 게이트웨이 기술, 무선광통신(FSO<sup>24)</sup>), 초분광 이미징 시스템 등 새로운 광응용 분야 제품개발을 위해 '호남권 지역산업 기반 ICT 융합기술 고도화 지원사업'을 수행 중이다.

## 광주를 국내 최대 광산업단지로 육성

호남권센터는 A2L4 국제공인시험지원을 통해 2006년부터 2019년까지 534개 산업체에 3,807건의 국제공인시험을 지원함으로써 125억 원의 개발비용을 절감하였으며, 7,759억 원의 매출 증대 효과를 도출하였다. 또한, 광패키징기술지원센터 운영을 통하여 광산업체 시제품 생산과 고부가가치 제품개발을 지원함으로써 직접매출 700억 원, 개발비용 절감



ETRI 광통신연구센터 준공식(2005. 1. 18. ETRI)

113억 원, 매출 증대 3,105억 원의 성과를 올렸으며, 수혜기업 만족도 99점을 확보하였다. 아울러, '100bps급 초소형 광모듈 상용화 기술개발 사업' 수행과 핵심연구 인프라 지원을 통해 2019년 말까지 사업화 13건, 직접매출 237억 원, 간접매출 430억 원의 성과를 달성하였다. 한편, ETRI의 지원을 받은 (주)오이솔루션, (주)우리로, (주)피피아이 등은 매출이 급성장하여 코스닥에 상장되었다.

ETRI는 이러한 노력을 바탕으로 광산업 불모지였던 광주를 국내 최대의 광산업단지로 육성하는데 핵심적인 역할을 하였다. 2000년 기준 47개에 불과하던 광 관련 기업은 2019년 6배가 증가한 284개 사에 달한다.

## 1-2-4. 패킷 및 인터넷 통신

### G7 수준에 도전하는 HAN/B-ISDN 사업 시작

1990년대 초, 정보통신 분야의 패러다임이 음성 위주의 전화망에서 데이터 중심의 광대역 종합정보통신망(B-ISDN<sup>25)</sup>)으로 전환될 것으로 전망되면서, 선진 각국은 다투어 B-ISDN 연구개발을 추진하기 시작하였다. 국제표준화기구인 ITU-T<sup>26)</sup> 역시 B-ISDN 관련 표준화를 본격화하였다.

한편, 우리나라는 국가 과학기술 수준을 선진 7개국(G7) 수준으로 끌어올리는 것을 목표로 1991년 '21세기 선도기술개발사업(HAN(Highly Advanced National) 프로젝트)'을 시작하였으며, 그 일환으로 G7 수준의 B-ISDN 핵심기술 확보를 위한 'HAN/B-ISDN 개발' 사업을 추진하였다. 이는 초고속통신 서비스 제공을 위한 통신망 운용기술과 네트워크의 핵심장치인 ATM<sup>27)</sup> 교환기, 광전송장비, 단말장치, 관련 소자·부품 기술 등을 망라한 국내 최초의 종합통신망 기술개발사업이었다.

### ATM 교환기 개발을 위한 10년의 대장정

ETRI는 HAN/B-ISDN 사업의 일환으로 1992년부터 2001년까지 10년간 'ATM 교환기 개발' 사업을 주관하였다. 공동연구기관으로는 통신사업자인 KT, 기업체인 삼성전자, LG 전자, 한화정보통신, 머큐리, 동아일렉콤 등이 참여하였다. 정부와 기업이 예산을 분담하

20) PON(Passive Optical Network, 수동 광통신망): 광 분배 네트워크를 전원 없이도 동작하는 수동 소자로만 구성된 통신망이다.

21) XG-PON(10G-PON, 10기가급 수동 광통신망): ITU-T G.987과 G.988 표준을 따르는 10기가급 GPON(Gigabit Passive Optical Network)이다.

22) TOSA(Transmitter Optical Sub-Assembly, 광송신 서브 어셈블리): 전기신호를 광신호로 변환하기 위한 광송신 모듈이다.

23) ROSA(Receiver Optical Sub-Assembly, 광수신 서브 어셈블리): 광신호를 전기신호로 변환하기 위한 광수신 모듈이다.

24) FSO(free space optical, 자유공간 광전송): 광대역 통신을 위해 대기 중에 변조된 가시광선 또는 적외선을 이용하는 전송방식이다.

25) B-ISDN(Broadband Integrated Services Digital Networks, 광대역 종합정보통신망): 종합정보통신망(ISDN)보다 더 광범위한 서비스를 제공하는 광대역 종합정보통신망이다. 음성통신 및 고속 데이터통신, 정지화상 및 고해상도의 동영상 등 다양한 서비스를 제공한다.

26) ITU-T(ITU-Telecommunication): ITU의 전기통신표준화 부문이다. ITU(International Telecommunication Union, 국제전기통신연합)는 전기통신, 전파통신, 위성통신, 방송 등의 국제정보통신 분야를 총괄하는 국제연합(UN) 산하 표준화 전문기구이다.

27) ATM(Asynchronous Transfer Mode, 비동기식전송방식): 회선 교환의 실시간성과 패킷 교환의 유연성을 통합시킨 연결지향적 패킷 교환 복합기술이다. ITU-T는 ATM 기술을 B-ISDN의 전송, 교환, 다중화 기술 표준으로 채택한 바 있다.





ITU-T 표준기반의 소형 ATM교환(ACE64)



초고속 정보통신을 위한 B-ISDN 워크숍

여 총연구비 3,740억 원, 연구인력 3,792명을 투입한 거대규모 국가연구개발 사업이었다. ATM 교환기는 데이터와 정보를 셀이라는 패킷 단위로 잘라서 비동기적으로 전송하기 때문에 체계가 다른 네트워크상에서도 바로 대응이 가능한 것이 특징이다. 다양한 전송속도의 서비스를 수용할 수 있고, 음성, 동영상, 인터넷 백본용 교환기로도 활용할 수 있어 초고속 정보통신 핵심기술로 손꼽혔다. 이에 따라 세계적으로 기술 확보 경쟁이 매우 치열하였다. ETRI는 정보통신망 확산·보급 및 기술발전 추세를 고려하여 구현 목표 시스템을 ACE64, ACE256, ACE2000의 3단계로 설정하고 개발을 시작하였다. 1992~1993년에는 주로 기초 선행기술을 연구하였고, 1994년 말에는 ATM PVC(Permanent Virtual Connection) 교환기 연구 시제품을 개발하였다. 그리고 1995년 두 번째 ATM PVC 연구 시제품을 완성하여 기업체에서 생산한 ATM 교환기를 국가선도시험망(National Test Bed)에 설치하였다. 이로써 우리나라는 세계에서 일곱 번째로 ATM 교환기 개발에 성공한 국가가 되었으며, VOD 서비스, 영상회의 및 양방향 영상전화 서비스, 멀티미디어 검색 서비스의 제공이 가능하게 되었다.

이어서 1996년 소형 ATM SVC(Switched Virtual Connection) 교환기 개발에 성공한 ETRI는 이를 바탕으로 1998년까지 대형 ATM 교환기 개발을 추진하였다. 또한, 1997년 8월에는 ITU-T 표준 기반의 소형 ATM 교환기(ACE64)를 서울·부산·광주·대전 등 4개 지역 국가선도시험망에 적용하였다. 그러나 1997년 ATM 포럼 표준화가 진전되면서 ACE64 상용망 적용에 브레이크가 걸렸다. ACE64는 ITU-T 표준을 기반으로 개발되었는데, ATM 포럼이 추가 규격과 가입자 보드 집적도 향상 및 가입자 인터페이스 다양화를 요구했기 때문이었다. 이로 인해, 1997년으로 예정되었던 ACE64 상용화는 연기되었고, 연구진은 ITU-T 및 ATM Forum 기준을 모두 만족하는 상용시제품을 1998년 개발하여 2차 상용시험에서 표준규격으로 확정되었다.

ACE64 교환기는 1999년 정부의 초고속국가망<sup>28)</sup> 2단계 사업 기간에 KT에 16식, 데이콤에 5식이 공급되어 상용서비스를 시작하였고, 2000년 7월 전국 144개 통화권에서 초고속국가망이 일제히 개시되면서 ATM 교환망의 전국적인 상용서비스가 개시되었다. 이후 가입자 회선 및 트래픽 용량 증가에 따라, ETRI는 10Gbps급 ACE64 교환기를 이을 ACE256과 ACE2000 등 새로운 교환시스템을 개발하여 공급하였다. ACE256는 급증하는 인터넷 가입자를 수용하고 망의 경제성을 높이기 위해 개발된 40Gbps급 ATM 교환기로, 2000년부터 초고속국가망에 설치되었다.

또한, ACE2000은 대용량 ATM 교환기로, 음성, 데이터, IMT-2000 등 망 통합과 대규모 트래픽 처리를 위해 시스템의 성능 및 가격 경쟁력을 향상시킨 복합교환기였다.



Telecom'91 전시용 ATM 교환기

MPLS(Multi Protocol Label Switching) 기능을 포함한 멀티미디어 서비스를 완벽하게 지원하는 것을 목표로 2000년에 개발되었으며, ACE2000 개발로 우리나라는 160Gbps급 대용량 중계용 및 가입자 접속용 교환기 기반기술을 확보하게 되었다. 2001년에는 ACE2000 ATM 교환기로 초고속국가망 2단계 상용서비스를 개시하였다. 2001년에는 ATM 망에서 라우터를 추가하지 않고도 고도화된 인터넷 서비스를 직접 제공할 수 있는 ACE64 및 ACE2000 기반의 MPLS를 개발하였다. 이 연구는 정보통신부와 KT의 공동출연사업으로 1999년부터 2001년까지 진행되었으며, ETRI와 삼성전자, LG전자가 연구에 참여하였다. ACE2000 MPLS 시스템은 2002년부터 산업체 주도로 상용화가 추진되었으며, 2002년 하반기에 초고속국가망에 적용되어 시범서비스를 제공하였다.

### 성공의 근원은 탄탄한 기술력

ETRI가 10년에 걸친 ATM 교환기 개발사업을 성공적으로 추진할 수 있었던 이유에는 여러 가지가 있겠지만, 가장 유효했던 것은 축적된 기술력이었다. ETRI는 1980년대 후반부터 스위치망 구조연구 및 성능분석, 가입자 정합 기술 연구, 고속 디지털 신호 동기기술 연구 등 ATM 교환기의 기반이 되는 기술들을 연구개발하고 있었다. 1991년에는 ATM 프로타입 교환기를 개발하여 Telecom'91에 출품하는 등 ATM 교환기 개발의 가능성도 확인하였다. 또한, 직전까지 수행된 TDX 교환기 연구에 참여했던 연구원들을 ATM 교환기 개발에도 그대로 참여시켜 TDX의 기술과 노하우가 ATM 교환기에 연계될 수 있도록 한 것도 성공의 큰 요인이었다.

### 초고속정보통신망의 근간이 된 ATM 교환기

ATM 교환기가 적용된 초고속국가망이 전국에 깔리면서 전국 공공기관과 지방자치단체는 저렴한 요금으로 초고속 네트워크 서비스를 이용할 수 있게 되었다. 특히, 전국 1만여 초·중·고등학교에 인터넷 서비스가 무료 또는 저가에 제공되어 디지털 정보교육의 기반이 구축되었다.

ATM 교환기의 개발은 기술적·경제적으로도 선진국 수준의 광대역 정보통신기술 확보, 통신망의 질적 수준 향상, 수입대체 효과에 의한 외화 절감, 공동개발 기업체의 기술력 향상을 통한 산업경쟁력 강화, 다수의 첨단 기술인력 조기 확보 등의 효과를 냈다. 또한, ATM 원천기술과 제품 확보를 통해 통신 분야의 기초체력이 크게 향상되었으며, 이동통신 분야 고도화를 위한 IMT-2000 기술의 기반이 마련되었다.



초고속국가정보통신망 개통기념행사

28) 초고속국가망: 정부가 공공재원 약 8,000억 원을 들여 전국 144개 지역에 구축한 광케이블 네트워크이다.



— ATM 교환시스템 기능 및 성능

구분	HANbit ACE64	HANbit ACE256	HANbit ACE2000
개발 기간	1992~1998	1998~1999	1999~2001
시스템 용량	10Gbps(5~40Gbps)	20Gbps(10~80Gbps)	40Gbps(40~160Gbps)
단위 스위치 크기	32x32(155Mbps 기반)	64x64(155Mbps 기반)	16x16(2.5Gbps 기반)
스위칭량 규모	32x32~256x256	64x64~512x512	16x16~64x64
제공 신호 방식	Q.2931, B-ISUP, UNI 3.1/4.0 P-NNI 1.0, B-ICI 2.0	Q.2931, B-ISUP, UNI 3.1/4.0 P-NNI 1.0, B-ICI 2.0	Q.2931, B-ISUP, UNI 3.1/4.0 P-NNI 1.0, B-ICI 2.0
정합 종류	DS1, E1, DS3, STM-1/4, FR, CE	DS1, E1, DS3, STM-1/4, FR, CE, N-ISDN/PSTN 정합, xDSL, MPLS	DS1, E1, DS3, STM-1/4c/4/16c, FR, CE, N-ISDN/PSTN 정합, xDSL, MPLS
제공 서비스 종류	CBR, VBR, UBR	CBR, VBR, UBR, ABR	CBR, VBR, UBR, ABR, GFR
랙수	3(10Gbps), 10(40Gbps)	1(10Gbps), 5(40Gbps)	1(40Gbps)
보드당 포트 밀도	STM-1 : 2, DS 3 : 6, DS 1 : 8	STM-1 : 2, DS 3 : 6, DS 1 : 8	STM-16c : 1, STM-4c : 4, STM-1 : 16, DS 3 : 12, DS 1 : 32



HANbit ACE256 시스템



중국과 ATM 교환기술 세미나

1988년 기준으로 우리나라의 B-ISDN 기술개발력 지수는 미국(100) 대비 4.9에 불과하였다. 기술 규모 지수도 9.8이었다. (과학기술처, 1991, 1. 30.) 그러나 프로젝트가 끝난 2001년에는 G7 수준에 도달한 것은 물론, 몇 개 분야는 G7 평균보다 우위였다. (KT, 2001, 12.) 특히, ATM 교환기는 세계 정상급으로 평가되었다.

그러나 ATM 교환기는 IP 기반 패킷 스위칭 기술과의 시장 경쟁에 밀려 산업화에는 성공하지 못하였다. 더구나 저가로 용량 확장이 가능한 저품질의 중국 IP 장비 등에 밀려 결국 사장되었다. 이는 기술의 지속적 발전이 가능하기 위해서는 기술개발 이슈 외에 시장 전략적인 부분까지 고려해야 한다는 중요한 시사점을 남겼다.

인터넷 기술의 핵심인 라우터 기술에 도전

21세기 들어 인터넷의 확산으로 네트워크에서 처리해야 할 트래픽 양이 점차 증가하였다. 이에 따라 실시간으로 멀티미디어 트래픽을 원활하게 처리해주는 인터넷 핵심 기술인 ‘라우터(router)<sup>29)</sup>’의 국산화 필요성이 제기되었다.

이에 ETRI는 2000년부터 2년간 정보통신부 선도기반기술사업의 일환으로 ‘고속 라우터 개발사업’을 수행하였다. 당시는 인터넷 프로토콜(IP)이 막 활성화되던 시기로, 정부는 인터넷 장비 기술 조기 확보를 위해 라우터 개발을 중점적으로 추진하였다. 과제에는 ETRI와 함께 한국네트워크연구조합·LG전자·다산인터넷·성지인터넷 등이 공동연구기관으로 참여하였으며, 2001년 KT와 삼성전자가 추가로 참여하였다. 2000년에 연구비 74억 원과 연구인력 69명이, 2001년에는 연구비 82억 원과 연구인력 100명이 투입되었다.

사업의 목표는 20Gbps에서 80Gbps까지 IP 라우팅이 가능한 에지(edge) 라우터 기술을 확보하는 것이었다. 그러나 IP 라우터 기술은 이전의 회선교환 기술과 완전히 달랐으며, ETRI의 초기 기술력은 매우 낮은 상태였다. 연구진은 기술적 한계를 극복하고자 공동연구기관들과 함께 각고의 노력을 기울였고, 2001년 ‘고속 라우터 시스템(HSR-80)’ 개발에 성공하였다. 세부적으로 라우팅 프로세서, 스위칭 패브릭 및 라인 인터페이스 모듈 등 3개 부분의 하드웨어 기술과 임베디드 리눅스를 기반으로 한 프로토콜, 라우팅 정보처리, 시스템 운용관리, 망관리 등 라우터 시스템 전 분야의 소프트웨어 기술을 보유하게 되었다. 이외에도 고속 라우터 시스템의 상용화를 위한 스위치, 전원, 프로세서 등의 이중화 기술도 확보하였다.

아울러, 고속 라우터 시스템에 탑재되는 소프트웨어(HiROS)를 리눅스 기반으로 개발하였다. HiROS는 시스코 사의 IOS, 쉐니퍼 사의 JunOS와 같이 라우터의 동작 및 운영에 관한 모든 기능을 가진 통합 소프트웨어이며, ETRI가 이를 국내 최초로 개발함으로써 우리나라는 라우터 소프트웨어 분야의 독자기술을 확보하게 되었다.

플로우 기반 품질보장 라우터 국제공동연구

고속 라우터 개발이 성공적으로 마무리되었으나, 고속 대용량 라우터의 경우 글로벌 장비업체들과의 기술 격차가 여전히 큰 상태였다. 특히, 당시 국가망이나 지방자치단체 통신망의 핵심 네트워크 장비는 모두 외산 일색이었다.

이에 ETRI는 대용량 네트워크 프로세서의 원천기술을 보유한 미국 벤처기업 (주)Caspian사와의 공동연구를 전격 결정하고, 플로우별 차별화된 서비스 품질을 제공하는 ‘품질보장 라우터’ 개발에 들어갔다. 고속 대용량 품질보장 라우터 기술의 핵심은 트래픽의 품질을 보장하는 동시에 고속의 데이터를 처리하는 네트워크 프로세서이다. 그러나 당시 독자적으로 네트워크 프로세서를 개발하기에는 기술 기반과 칩 설계·제작 비용문제 등 난관이 적지 않았다. 이러한 문제를 해결하기 위해 네트워크 프로세서 핵심기술을 보유한 (주)Caspian과의 공동연구 추진을 결정한 것이었다.

29) 라우터(router): 서로 다른 네트워크를 연결해 주는 장치이다.

그 결과, 실시간 통계정보 수집, 상태 변화 모니터링, 정책 기반 트래픽 제어 등을 할 수 있는 ‘플로우 기반 서비스 품질보장 라우터’를 개발하는 데 성공하였다. 이 라우터는 기존 Cisco나 Juniper 등 외산 장비보다도 경쟁력 우위의 시스템이었다.

ETRI는 품질보장 라우터를 토대로 2006년부터 2009년까지 기존의 인터넷과 차별화 된 망을 구축할 수 있는 QoS 보장형 패킷 처리 기술 기반의 IPv6<sup>30)</sup> 기술도 개발하였다. 이를 통해 All-IP 시대의 기반을 마련하였다.

### 세계 최초로 6백만 플로우 품질보장 라우터 개발

ETRI는 2008년에 세계 최초로 6백만 플로우별 차별화된 서비스 품질을 제공하는 ‘품질보장 액세스 라우터(S-20)’ 개발에 성공하였다. 기존 플로우 기반의 백본 라우터(S-240), 메트로 라우터(S-80)와 더불어 액세스 라우터까지 개발함으로써 ETRI는 차세대 네트워크에 필요한 거의 모든 기종의 라우터를 확보하게 되었다. 또한, 네트워크 전반을 통합 제어할 수 있는 네트워크 제어 플랫폼 기술을 포함한 토털 솔루션도 확보하였다. 이로써 우리나라는 IPTV 등 융합 인터넷망에 필요한 필수장비에 대한 기술자립을 이룰 수 있게 되었다. 이러한 기술력은 우수한 상용화 성과로 이어졌다. 2007년 중국 차이나텔레콤에 라우터 2대를 설치하였으며, 2011년 3월에는 외산 장비와의 경쟁을 거쳐 국방광대역통합망에 240Gbps급 플로우 에지라우터 42대가 채택되었고, 2011년 9월에는 우정사업 기반망 고도화 사업에 20Gbps급 플로우 에지라우터 148대가 도입되었다.

품질보장 액세스 라우터 기술을 기반으로 2010년에는 DDoS(Distributed Denial of Service, 분산 서비스 거부) 공격으로부터 네트워크를 보호하기 위한 ‘DDoS 공격 탐지 및 대응 라우터 기술’도 개발하였다. DDoS 탐지 및 대응 기술이 탑재된 80Gbps급 플로우 라우터는 서울시청 DDoS 선제 대응 라우터로 2대(2011년 7월), 정부 통합 전산센터 시군구 DDoS 대응시스템 구축용 대피소 우회 라우터로 4대(2011년 11월)가 도입되는 등 사업 화에도 성공하였다.



품질보장 라우터 초기 제품 QSS120

30) IPv6: IP 주소 표현 방식의 하나이다. 거의 무한대의(43억 × 43억 × 43억 × 43억 개) 주소 할당이 가능하다.

## 1-2-5. 미래 네트워크 기술

### 소프트웨어 중심 네트워크로 패러다임 전환

2000년대 후반 네트워크 인프라 산업은 인프라 설비 투자의 한계와 비즈니스 혁신 지체 등으로 인해 심각한 부진을 겪고 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기존의 하드웨어 중심 폐쇄적 인프라 장비 산업을 소프트웨어 중심의 개방형 생태계로 바꾸는 패러다임 전환이 강력히 요구되었다.

### 소프트웨어 기술종속 문제 개선한 MONCP/N2OS 개발

이에 ETRI는 2008년부터 2011년까지 ‘다계층 광네트워크 제어 플랫폼 기술(MONCP)’을 개발하였다. MONCP은 광계층과 패킷계층 전송을 통합하고, 다계층 네트워크의 구성과 토폴로지 · 자원 · 성능 정보를 통합적으로 관리 · 제어함으로써 네트워크 구성 · 운영을 효율화하는 소프트웨어 기술이다. 이와 함께, 액세스부터 메트로, 코어 네트워크 전체를 제어 · 관리할 수 있는 토털 망관리 솔루션도 개발하여 망 관리의 자동화 · 지능화를 통한 인프라 운용비용 절감효과를 도출하였다. 본 기술개발은 3개 산업체와의 공동연구로 진행되었고, 총 119억 원의 예산이 투입되었다.

한편, 2013년부터 2017년까지는 다양한 성능의 네트워크 장비에 탑재 가능할 뿐 아니라 99.999% 가용도를 보장하는 NOS(Network Operating System, 네트워크 운영체제) 개발을 추진하여, 토종 ‘N2OS(Neutralized Network Operating System) 기술’을 확보하였다. 이로써 전량 해외기술에 의존하던 네트워크 장비업체의 소프트웨어 기술 종속성 문제를 개선하였다. 본 기술개발은 5개 산업체와의 공동연구로 진행되었고, 총 118억 원의 예산이 투입되었다.

### 네트워크 가상화를 위한 SDN/NFV 플랫폼 개발

2000년대 후반부터 전 세계적으로 기존 TCP · IP 기반 인터넷의 기술 · 산업적 한계 극복을 위한 미래 인터넷(Future Internet) 연구가 활발해졌다. 이에 ETRI도 2009년부터 ‘미래 인터넷 가상화 플랫폼 원천기술개발’ 과제를, 2010년부터는 ‘미래인터넷 국제협력 연구를 위한 테스트베드 구축’ 과제를 발굴하여 KAIST · GIST · KISTI 등과 함께 네트워크 가상화와 개방형 스위치(Open flow) 등 인터넷 신기술의 가능성을 모색하기 시작하였다.



이후 개방형 스위치와 SDN 기술의 산업화가 급속히 진전됨에 따라 2013년 미래창조과학부는 미래 인터넷 과제들을 ‘캐리어급 서비스 인프라를 위한 SDN 핵심기술개발’ 사업으로 재편하고, 2014년에 다시 3개 중형 과제<sup>31)</sup>를 통합한 ‘스마트 네트워킹 핵심기술개발’ 사업으로 전환하였다. 이 과제는 2017년까지 계속되었으며, 연간 98억 원의 예산이 투입되었다. 본 사업에는 ETRI 내부의 통신·컴퓨팅·미디어 등 4개의 연구 파트가 함께하였으며, KT, SKT, KINX, 다산네트웍스 등 총 18개 기업이 공동연구기관으로 참여하였다. 사업의 목표는 네트워크 인프라를 하드웨어 장비 중심에서 소프트웨어 중심의 개방형 플랫폼으로 전환함으로써 네트워크 장비의 구성과 동작을 마치 컴퓨터 프로그램을 짜듯 API를 이용해 중앙에서 손쉽게 구성·제어하여 신규서비스 개발 시간과 비용을 대폭 절감하는 것이었다.

ETRI는 사업수행을 통해 네트워크 가상화 기술과 상용 수준의 SDN 제어기(컨트롤러 플랫폼) 기술, 컴퓨팅·네트워킹 밀결합을 통해 가상 인프라를 즉각 구성해주는 ‘분산 SDN/NFV(Network Function Virtualization) 플랫폼 오케스트레이션 기술’을 확보하고, 국내외 표준을 개발하였다. 본 기술을 통해 가상화된 인프라에서 유연하고 즉각적으로 서비스를 프로그램할 수 있게 됨으로써 국내 통신 및 클라우드 사업자는 신규서비스 도입 시간을 1/10 이하로 단축할 수 있게 되었다. 아울러, ETRI는 ONOS·ODL·OpenStack 등 글로벌 오픈소스 커뮤니티와의 협력 과제를 발굴·추진하여 오픈소스 생태계 진입의 발판을 마련하였다.

### 네트워크 인프라 혁신의 계기 마련

ETRI가 개발한 소프트웨어 중심 개방형 네트워킹 기술들은 국내 네트워크 인프라 산업이 전송·교환·라우터·운용관리 등 하드웨어 장비 중심의 폐쇄적 시장에서 범용 서버 기반의 소프트웨어 중심의 개방형 산업으로 전환되는 계기를 마련하였다. 이에 5G 이후 다양한 신규서비스들이 단일 물리 인프라 위에서 신속하게 도입 및 최적 운용이 가능해졌으며, 향후 네트워크 기반의 다양한 ICT 융합서비스 실현이 가속화될 전망이다.

### 미래 인터넷(Future Internet)의 등장

50여 년 전에 등장한 TCP/IP 기반의 인터넷 기본구조로는 인터넷에 연결되는 디바이스

수의 폭발적 증가, 네트워크 접속 및 전송 기술의 고도화, 응용 서비스의 다양화 등에 따라 발생하는 새로운 요구사항을 수용하는 것이 점점 더 어려워졌다. 이러한 문제를 근본적으로 해결할 수 있는 완전히 새로운 인터넷 구조의 필요성이 제기되었으며, 2006년 미국의 Future INternet Design(FIND) 프로젝트를 시작으로 전 세계적으로 관련 연구가 활발하게 전개되었다. 우리나라에서도 ‘미래 인터넷(Future Internet)’이란 이름으로 2007년부터 학계를 중심으로 핵심기술 연구가 시작되었다.

### 미래 인터넷 관련 기술력 확보

ETRI는 2010년부터 미래 인터넷 연구를 시작하였다. 연구진은 IP주소가 ID(식별자)와 Locator(위치자)의 의미를 동시에 가지는 중의적인 특성으로 발생하는 이동성, 라우팅 등의 문제를 해결하는 새로운 네트워크 구조 도출에 초점을 맞춰 연구를 진행하였다. 다만, 현재의 TCP/IP 기반 인터넷 구조와의 호환성은 고려하지 않았다.

우선, 2010년부터 2013년까지 연구비 30억 원이 투입된 ‘미래 인터넷에서의 이동환경 및 네트워크 다양성 지원 구조연구’ 과제를 추진하였다. 이를 통해 미래의 네트워크 환경이 급격하게 증가하는 모바일 단말을 효율적으로 수용할 수 있어야 한다는 요구사항을 최우선으로 고려한 MOFI(Mobile Oriented Future Internet) 구조를 연구하였다.

이후 개념을 발전시켜 2013년부터 3년간 연구비 60억 원이 투입된 ‘고품질 미래 인터넷을 위한 식별자 기반 네트워킹 기술 연구’ 과제를 수행하여, 단말기뿐 아니라 사람·데이터·서비스 등 다양한 통신 객체에 부여된 ID를 기반으로 다양한 객체가 통신할 수 있는 ID 기반 통신 기술을 제시하고 개념을 검증하였다.

이러한 연구를 통해 ETRI는 미래 네트워크 인프라 및 구조를 스스로 설계·연구·개발할 수 있는 기술력을 확보하였다. 미래인터넷 연구는 TCP/IP 기반 기존 인터넷과의 호환성을 고려하지 않는 혁신적 연구로서 단기적 상용화 대상 기술은 아니나, 장기적으로 요구되는 새로운 미래 네트워크를 모색하는 원천연구로서 꾸준한 연구개발 투자가 필요하다.

### 초연결 지능 네트워크/에지(edge) 네트워크 개발

2020년대 들어 초연결 지능화 사회의 도래로 네트워크 인프라는 종단간의 연결과 정보교환이라는 전통적인 역할을 벗어나 IoT, 분산 컴퓨팅, 빅 데이터의 공유와 네트워크 기반의 AI, 초실감 응용 등을 통합적으로 지원할 수 있는 혁신적 인프라로의 진화가 요구되고 있다. 이에, ETRI는 초연결 데이터 중심 사회의 기반 인프라에 대한 새로운 구조와 핵심기술 연구개발을 추진 중이다.초연결 지능사회의 연결성·다양성·복잡성·개방성에 대응

31) 통합된 3개 과제: ‘캐리어급 서비스 인프라를 위한 SDN 핵심기술개발’ 과제, ‘고화질 영상 서비스 지원을 위한 컴퓨팅 내재형 미디어 융합 전달 시스템기술개발’ 과제, ‘다수의 이중 클라우드 자원을 통합관리하는 서비스 브로커 및 개방형 빅데이터 분석·협업 플랫폼개발’ 과제가 통합되었다.



초저지연 무손실 보장 시간 통제 네트워크 기술  
(TCN-Time Controlled Network)

하여, 다양한 신산업·신서비스가 창발 될 수 있는 혁신적 인프라 구조를 제시하기 위하여 2017년부터 2021년까지 5년에 걸쳐, 연구비 300억 원, 연구인력 100여 명이 투입되는 ‘초연결 지능 인프라 원천기술개발’ 과제를 진행 중이다.

연구진은 초연결 지능사회의 특징을 분석하고, 기존 연구를 통해 확보한 미래 인터넷에 대한 통찰력을 접목하여 초연결 지능 네트워크를 개발하고 있으며, 네트워크 내에서 자유롭게 지능이 창발 될 수 있도록 데이터의 효율적인 전달·공유·처리·제어·저장을 통합적으로 고민하고 있다. 또한, 정보 중심 네트워킹 기술의 하나인 NDN(named-data networking)을 기반으로 한 네트워크, 현재의 TCP·IP 기반 인터넷에서도 동작할 수 있어 점진적인 마이그레이션(migration)이 가능한 네트워크를 구현하고자 노력하고 있다. 또한, AI 기반 지능화 서비스가 급격히 증가할 것으로 예상되는 미래사회를 대비하여 ‘인공지능 기반 지능형 에지 네트워킹 기술개발’ 과제도 추진하고 있다. 이는 2018년 7월부터 2021년 12월까지 3.5년에 걸쳐, 연구비 70억 원과 연구인력 50여 명이 투입되는 과제로, 응용 서비스들이 언제 어디서든 AI 처리가 가능하도록 컴퓨팅 리소스, 처리 속도 요구, 데이터 위치 등을 고려하여 단말·에지·클라우드가 협력하는 최적의 응용 서비스 AI 수행 환경을 제공하는 기술을 개발하고 있다.

한편, 제4차 산업혁명을 위한 네트워크 핵심기술로서 초저지연 서비스와 고정밀 버티컬 서비스의 안정적 제공이 가능한 “초저지연·무손실 보장 시간 통제 네트워크(TCN: Time Controlled Network)” 기술을 2017년부터 2021년까지 연구 중이다.

아울러, 6G 초실감·고정밀 서비스를 위해 초저지연·무손실 보장 범위를 인터넷 규모의 광역망 종단간으로 확장하는 “종단간 초정밀 네트워크” 기술 연구개발이 2028년 상용화를 목표로 시작되었다.



이동통신연구개발 관련 시연모습



1992년 CDMA방식의 기본 기능 시험 시스템(RTS) 설치

## 2세대 이동통신 기술

디지털 이동통신 시스템 개발에 있어서 가장 중요한 것은 주어진 주파수를 효율적으로 사용하기 위한 접속방식이었다. 당시 미국은 TDMA, 유럽은 GSM 방식을 사용하는 등 접속 방식이 제각각인 데다, 각기 장단점도 커서 우리나라에 가장 적합한 방식이 무엇인지 결정하기 어려운 상황이었다. 그러던 중 ETRI는 1991년 미국의 작은 벤처기업인 쉘컴이 개발한 CDMA 방식을 도입하기로 전격 결정한다. CDMA는 가입자 용량이 아날로그 방식의 10배, TDMA 방식보다도 3배 이상인 신기술이었다.

ETRI는 1996년 4월, 세계 최초로 ‘CDMA 방식의 디지털 이동통신 시스템과 단말기 상





IMT-2000

용화'에 성공한다. 이로써 우리나라는 이동통신 단말기·시스템 전량 수입국에서 수출국으로 궤점점프를 하게 되었다. CDMA 기술개발은 대한민국을 세계가 인정하는 이동통신 산업 최강국으로 끌어올린 것은 물론, 우리나라가 ICT 강국으로 거듭나는 데 기폭제 역할을 하였다.

### 3세대 이동통신 기술

ETRI는 CDMA 상용화 성공과 거의 동시에 3세대 이동통신 기술개발에 전격적으로 뛰어들었다. 당시 3세대 이동통신은 유럽을 중심으로 한 비동기식 W-CDMA 진영과 미국을 중심으로 한 동기식 IMT-2000(CDMA2000) 진영으로 나뉘어 기술개발과 표준화가 별도로 진행되고 있었다. ETRI는 북미 이동통신 시장을 겨냥하여 미국 중심의 동기식 CDMA2000 시스템 개발에 돌입하였으며, 1999년 '동기식 5MHz 광대역 IMT-2000(CDMA2000) STP(System Test Plant) 시스템' 개발에 성공하였다.

특히, 산업체에 기지국 및 제어국 기술을 이전하여 SK텔레콤(주)이 2000년 10월 세계 최초로 CDMA-2000 서비스를 시작할 수 있도록 크게 이바지하였다. 그러나 일본이 유럽 중심의 비동기식 W-CDMA 이동통신 방식에 합세하면서 전 세계 IMT-2000 시장의 70~80%가 W-CDMA 방식을 사용하게 되는 상황이 발생하였다. 이에 ETRI는 CDMA2000 기술개발이 완료되기도 전에 서둘러 W-CDMA 상용시스템 개발에 돌입하였고, 2년여 만에 W-CDMA STP 개발에 성공하였다. 이 기술 또한 산업체에 기술이전하여 2003년 12월 'W-CDMA 상용서비스'에 성공할 수 있었다.

이와 같이 단기간에 W-CDMA 기술 개발에 성공할 수 있었던 것은 우리나라가 1997년 12월 IMF 체제에 들어간 국가 경제의 위기 속에서도 ETRI 주도로 관제와 산업계가 일치 단결한 결과이다. 앞서 언급한 바와 같이, ETRI는 1997년부터 1999년 일정으로 CDMA2000 기술을 개발하고 있는데 비하여, 모뎀은 CDMA 기술을 적용하지만 2세대 GSM 이동 프로토콜을 변경하여 적용하는 유럽 중심의 W-CDMA 진영의 선두 주자인 LM Ericsson이 W-CDMA 기술 개발을 1998년에 시작하고 있었다. 1998년초부터 국내 전분야에 걸쳐서 IMF 구조 조정 요구가 강요됨에 따라 ETRI도 구조 조정 영향을 받아 연구인력 축소가 단행되고 이에 따라 핵심 연구원들이 대기업으로의 이직 요청을 받고 있었다. 이동통신 시장의 규모가 CDMA2000 보다 큰 W-CDMA 시장에도 우리 제품의 W-CDMA 휴대폰을 수출하여 IMF 불경기를 탈출할 국가적인 절실한 요구에 따라서, W-CDMA 기술 연구가 긴급하게 필요하였다. 따라서, CDMA2000 과제 종료 전인 1999년 10월부터 2001년까지 W-CDMA 기술 연구개발을 정책 과제로 지정하여 수행하

였고, 2001년 3월에 W-CDMA STP 개발에 성공하였다. 이로써 CDMA2000 기술 연구 과제 후속으로서 W-CDMA 과제 수행이 급박하게 요구됨에 따라서 CDMA 핵심 인력 이직의 동요도 잠재울 수 있었다. 또한 경영의 개선에 따라, 그 전에는 야근 또는 특근의 연장근무시에 식대를 제공하는 정도의 수당을 지급하면서 연구원들의 열정만을 바래서 연구원 가족들로부터 원성을 샀으나, 근로기준법에 따라 정규외의 근무시에 1.5배 수당 지급을 과감하게 시행하면서 일상 새벽 뿐만 아니라 월화수목금금 주말근무도 연구원 가족들이 응원하는 분위기에 따라 연구 효율이 높았기 때문에 통상의 개발기간을 거의 절반으로 줄일 수 있었다.

한편, ETRI는 2007년 'SDR 기반 다중모드 기지국'을 세계 최초로 개발하였다. 이로써 하나의 HW에 여러 SW를 내려받아 WiMAX 모드나 HSDPA 모드로 기지국의 기능을 자유롭게 전환할 수 있게 되었다.

### 4세대 이동통신 기술

3세대 시스템이 전송속도와 용량의 한계를 드러내자, 3GPP는 2004년 말부터 진화된 무선전송 기술과 IP 기반의 단순화된 이동통신 시스템 네트워크 구조를 통해 높은 전송속도와 저지연을 만족하는 3GPP LTE(Long Term Evolution) 표준규격 작업을 진행하였다.

이에 ETRI는 상용 수준의 LTE 이동통신 시스템 개발에 착수하여, 2007년 세계 최초로 '3GPP LTE/SAE 요구사항을 만족하는 LTE 이동통신 기술'을 구현하는 데 성공하였다. 또한, 2010년에는 본격적인 4세대 이동통신인 'LTE-A(Advanced)' 역시 개발한다. LTE와 LTE-A 시스템 개발로 우리나라는 4세대 이동통신 시대로 진입하였다. 이때부터 국내 이동통신 서비스 사용자들은 실내·외 어디서나, 언제든, 끊임 없이 초고속 인터넷 서비스, Full-HD/UHD급 동영상 및 방송서비스, 3D 입체영상 서비스 등을 누릴 수 있게 되었다. 한편, ETRI는 언제 어디서나 인터넷 접속이 가능한 휴대용 인터넷 서비스인 'WiBro 시스템' 개발에 도전하여, 2004년 11월 27일 IEEE802.16e 국제규격을 만족하는 WiBro 시스템 시제품을 기지국과 단말기를 이용해 세계 최초로 접속하는 데 성공하였다. 이어서 2007년에는 공식 상용화 1년 만에 WiBro 기술이 ITU-R 3G(IMT-2000)의 6번째 표준으로 최종 승인되었다. 국제표준 채택으로 CDMA 기술개발에 이어 우리나라가 다시 한번 세계 이동통신 시장을 주도할 수 있는 계기가 마련되었다. 또한, 2008년 400Mbps 최고 전송속도를 실현하는 완전한 4세대 'WiBro-A' 기술을 완성하였으며, 2012년에는 WiBro-A가 ITU-R 국제표준으로 채택되었다.



3GPP LTE SAE시스템 개발

## 5세대 이동통신 기술

2013년 ETRI는 정부와의 협의를 통해 개별적으로 수행되던 10개의 5G 관련 사업을 '5G 기술선도형'과 '5G 시장지향형' 연구개발과제로 구성된 '5G 통합사업'으로 개편하였다.

5G 기술선도형 과제는 단기적인 기술이전이나 상용화 성과보다는, 장기적으로 이동통신 네트워크의 패러다임을 바꿀 창의 · 도전적인 연구에 주력하여 원천 핵심기술을 개발하는 과제이다. 대표적인 성과로 단말뿐만 아니라 기지국도 이동하는 세계 최초의 무선 네트워크인 '이동 엑스홀 네트워크'와 기지국 중심으로 여러 개의 단말에 무선 링크를 제공하는 기존의 네트워크 구조를 하나의 단말을 중심으로 여러 개의 기지국과 무선 링크를 형성하는 네트워크 구조로 변혁하는 데 필수적인 '초고밀집 네트워크 기술' 등이 있다.

5G 시장지향형 과제는 기술 상용화를 통해 중소기업의 경쟁력 향상을 도모하기 위한 과제로, 소형셀 기지국 기술, MHN 기술, 초고속 근접통신 기술, 협대역 IoT 기술 등이 대표적인 성과이다.

'LTE 소형셀 기지국 기술' 개발은 대형 기지국의 역할을 여러 개의 소형셀이 분담함으로써 다양한 서비스를 효율적으로 구현하고자 추진되었으며, 2018년 LTE-FDD, LTE-TDD, CA, MBMS 등의 핵심기술을 개발하는 데 성공하였다. 개발된 소형셀 SW의 별칭은 'SORAN'으로 정해졌다.

또한, ETRI는 음영 구간이 많고 전송속도가 느린 국내 지하철 Wi-Fi 환경을 개선하기 위하여 'MHN(Mobile Hotspot Network)' 기술을 개발하고, 2016년 서울지하철 8호선(석촌~잠실~송파역)에서 기술시연을 진행하였다. 이어서 2.5Gbps급, 2017년에는 10Gbps급 MHN 시스템을 개발하였다.

세계 최초로 '초고속 근접통신 기술(Zing)'을 개발하는 데도 성공하였다. Zing 기술은 기존 NFC 대비 8,000배 빠른 3.5Gbps급의 기가급 순간전송, NFC 대비 4천 배 개선된 30pJ/bit의 높은 에너지 효율을 구현하였으며, 60GHz 저 복잡도 · 저전력 기술을 적용하여 상용화 가능성이 매우 뛰어난 것으로 평가되었다.

아울러, 2018년에는 이동통신을 기반으로 한 IoT 기술로, 'NB-IoT(협대역 IoT) 기술'을 개발하였다. 이 기술은 앞으로 각종 전기 · 수도 · 가스 계량기에 적용하는 원격검침 서비스, 대기 · 온도 · 습도 센서에 적용하는 환경 모니터링 서비스 등에 적극적으로 활용될 예정이다. 한편, 2018년 밀리미터파(10~40GHz) 대역을 이용한 이동통신 핵심기술을 개발하였다. ETRI 중심의 연구진은 20Gbps급 5G 이동통신 기지국, 평균 1Gbps 최대 5Gbps 지원 5G 모뎀 기술, 20Gbps 5G 엑스홀 허브 및 10Gbps 엑스홀 터미널, 5G 이동통신 규격 등을 개발하고 국제표준화를 추진하였다.

## Wi-Fi

ETRI는 향후 이동통신의 보완재로서 무선랜의 중요성이 커질 것이라는 판단에 따라 2001년부터 본격적으로 Wi-Fi 관련 기술을 개발하기 시작하였다. 그 결과, 2007년 세계 최초로 저속이동형 무선전송시스템을 개발하고, 2016년에는 역시 세계 최초로 IEEE802.11ah SoC 칩셋을 개발하는 데 성공하는 등 뛰어난 성과를 거뒀다. 또한, 2014년에는 Wi-Fi 관련 연구를 하던 무선랜접속제어연구실과 무선랜전송연구실 연구원 28명이 뉴라텍(NEWRATEK)이라는 연구소기업을 창업하였다. 1인 또는 소수의 공동 창업이 아닌, 특정 분야의 연구팀 전체가 창업에 참여한 사례는 뉴라텍이 국내 최초였다.



1-3-1. 2세대 이동통신

2세대 이동통신 자체개발 필요성 대두

1980년대 중반, 국내에서도 아날로그 이동통신 서비스가 시작되었다. 그러나 분단국가의 특성상 국가 안보에 민감하여 사용에 제약이 심하였다. 그러다 1988년 서울올림픽을 기점으로 제약이 크게 풀리자 매년 100% 이상 가입자가 급증하였다. 이때부터 자연스럽게 아날로그 방식의 한계를 극복할 2세대 이동통신 즉, 디지털 이동통신 시스템을 자체개발해야 한다는 분위기가 무르익었다.

세계 최초의 국가 단위 CDMA 이동통신 상용서비스

이에 ETRI는 1988년 ‘디지털 무선통신 시스템 개발’ 과제를 시범적으로 시작하였다. 그리고 1989년에는 ‘디지털 이동통신 시스템 개발’ 사업으로 사업 명칭을 바꾸고 규모를 확대하여 본격적으로 이동통신 개발을 추진하였다. 이 사업의 목표는 ‘디지털셀룰러 서비스에 필요한 시스템 실현 기술개발과 표준규격 개발 및 상용화’였다. 1989년부터 1996년까지 연구 기간 8년, 연구비 896억 원(산업계 출자 353억 원 포함), 연구인력 총 1246M/Y이 투입되는 거대규모 국가연구개발 사업이었다.

사업은 ETRI에서 연구개발을 수행하고, 개발 장비의 조기 상용화를 위해 국내 기업들을 참여시키는 한편, 부족한 기술은 국제 공동연구를 통해 확보하는 형태로 추진되었다. 국제 공동연구 파트너는 CDMA<sup>32)</sup> 이동전화실험시스템을 처음으로 개발한 미국 퀄컴(Qualcomm) 사였다. 퀄컴이 보유한 CDMA 기술특허를 이용하여 ETRI가 단말기 및 MTSO(Mobile Telephone Switching Office)를 설계·개발하는 식이었다. 특히, ETRI에 부족한 기지국과 단말기 부분의 무선접속 기술개발은 퀄컴 주도로 진행되었다. 이와 함께, 국내 이동통신 단말기 공동개발에는 삼성전자, LG정보통신, 현대전자, 맥슨전자가 공동연구기관으로 참여하였다.

ETRI는 1989년에 이동통신 개념연구와 서비스 규격을 작성하고, 1991년부터 퀄컴과의 국제연구를 시작하였으며, 1992년부터 CDMA 단말기, 기지국, 개인 통신시스템 기술개발을 추진하여, 1996년 CDMA 방식의 이동통신 상용화에 성공하였다.

1996년 1월 SK Telecom(전 KMT)은 서울과 인천지역에서 CDMA 서비스를 개시하였다. 이어, 4월에는 ETRI에서 공식적인 CDMA 상용서비스 개통식이 열렸고, 신세기이동



CDMA 상용화 기념식(1996. 4. 1. ETRI)

33) TDMA(Time Division Multiple Access, 시분할다중접속): 하나의 중계기에 여러 사용자가 접속하여 동시에 데이터를 송수신할 수 있게 해 주는 기술이다.

34) GSM(Group Special Mobile): 모뎀을 사용하지 않고도 전화 단말기, 팩시밀리, 랩톱 등에 직접 접속하여 이동데이터 서비스를 받을 수 있는 유럽식 디지털 이동통신 방식이다.

통신(후에 SK Telecom이 인수)이 서울과 대전 지역에서 서비스를 개시하였다. 이로써 ETRI는 국가 단위의 CDMA 상용서비스를 세계 최초로 이뤄냈다.

CDMA 방식 디지털 이동전화 상용서비스 개시

—중략—

1996년 4월 1일은 우리나라 디지털 이동통신의元旦(원단)으로 기록될 것이다. 84년 아날로그 방식의 이동전화가 등장한 지 불과 12년 만의 일이다. CDMA 기술은 아날로그 방식보다 10배, TDMA보다도 3배 이상 가입자를 수용할 수 있다. 서울의 경우 한국이동통신의 주파수 수용한계는 60만 명 정도다. CDMA는 10배 이상 용량이 크므로 신세기통신에 할당할 주파수까지 합치면 1천만 명을 수용할 수 있다는 얘기가.

—중략—

개발업체들은 2년여의 연구 끝에 다소의 시차는 있지만 94년 말을 전후해 CDMA 시스템을 이용 통화에 성공했으며 곧 상용시험에 들어갔다. 작년 5월 LG와 삼성 등은 호환로율, 교환기 최대처리능력 등 1,000여 항목에 걸친 시험에 통과, 9월부터 장비생산을 시작했다. 지금까지 아날로그 방식의 이동전화시스템은 전량 모토로라 등 외국업체 장비로 구성돼 있었기 때문에 호환성 문제로 인해 국산교환기나 기지국 장비를 공급할 수 없었다. 그러나 이제 국내에서 CDMA 시스템을 개발함으로써 이동전화 설비는 오히려 국산이 더 적합하고 값싸게 돼 국내 통신장비 업계의 발전에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

—경향신문, 1996년 4월 20일—

아무도 가지 않은 길에 과감하게 도전

디지털 이동통신 시스템 개발에 있어서 가장 중요한 것은 주어진 주파수를 효율적으로 사용하기 위한 접속방식이었다. 당시 미국은 TDMA<sup>33)</sup>, 유럽은 GSM<sup>34)</sup> 방식을 사용하는 등 접속방식이 제각각인 데다, 각기 장단점도 커서 우리나라에 가장 적합한 방식이 무엇인지 결정하기 어려운 상황이었다. 그러던 중 ETRI는 1991년 미국의 작은 벤처기업인 퀄컴이 개발한 CDMA 방식을 도입하기로 전격 결정한다.

1980년대 후반 디지털 이동통신 접속방식의 주류는 TDMA이었기 때문에 ETRI도 TDMA 방식 도입을 목표로 기본연구를 수행하고 있었다. 그런데 미국의 신생 벤처기업 퀄컴에서 새롭게 CDMA 방식을 들고나오자, 세계 이동통신 업계가 들쭉였다. 당시 CDMA는 아직

32) CDMA(Code-Division Multiple Access, 코드분할다중접속): 주파수 대역 확산 기술을 응용하여 개발한 부호분할 다중접속 방식의 디지털셀룰러 시스템으로, 여러 사용자가 시간과 주파수를 공유하면서 신호를 송수신할 수 있다.



CDMA 상용화 '광복 70주년 과학기술 대표성과 70선 선정' 인증패



4회 CDMA 국제 컨퍼런스

검증되지 않은 기술이었지만, 가입자 용량이 아날로그 방식의 10배, 미국의 TDMA 방식보다도 3배 이상인 신기술이었다. 더구나 전파 효율성과 기지국 배치 면에서도 TDMA 방식보다 뛰어났다.

ETRI 역시 CDMA에 주목하였다. ETRI는 서울 등 대도시에서 조만간 이동통신 수요가 폭발할 것이라는 예측을 토대로 가입자 수용 용량이 더 큰 CDMA 개발을 추진하기로 전격 결정한다. 다른 나라들이 TDMA를 두고 치열한 기술경쟁을 벌이는 동안 과감하게 이보다 한 단계 앞선 CDMA에 뛰어들어 뒤떨어져 있던 이동통신 기술 수준을 빠르게 끌어올리자는 것이 ETRI의 전략이었다.

전략은 적중했다. ETRI는 1996년 4월, 세계 최초로 CDMA 방식의 디지털 이동통신 시스템과 단말기 상용화에 성공한다. 이로써 우리나라는 이동통신 단말기·시스템 전량 수입국에서 수출국으로 퀀텀점프를 하게 된다. 이 기술은 정부가 2016년 선정한 '광복 70주년 과학기술 대표성과 70선'에도 선정되었다.

세계 최초 CDMA 상용화의 성공은 ETRI의 열정과 도전정신, 정부의 일관된 정책지원, 참여기업들의 상용화 노력 등이 복합적으로 작용한 결과였다. 여러 요인 가운데서도 특히 정부의 강력한 정책 의지는 사업 성공에 매우 중요한 역할을 하였다. 당시 정부는 상용제품 개발이라는 분명한 목표를 가지고 기술개발 정책, 표준화 정책, 사업자 허가 정책 등을 하나의 체계 안에서 강력하고 일관성 있게 추진하였다. ETRI 역시 디지털 이동통신 시스템 개발만을 전담하는 '이동통신개발단'을 발족하고 연구원들이 집중할 수 있는 환경을 조성하였다. 또한, TDX 개발을 통해 확보한 기술력과 노하우가 그대로 CDMA 개발에 연계될 수 있도록 이동통신개발단에 TDX 관련 연구원을 대거 참여시키기도 하였다.

#### ETRI가 CDMA 개발을 결정한 이유

“처음에는 미국과 유럽 등지에 연구원을 파견해 TDMA 기술을 이전받을 수 있는 기업을 찾았습니다. 그러나 완제품을 팔겠다는 곳은 많아도 한국에 기술 전수를 해주겠다는 기업은 하나도 없었습니다. 그러다 우연히 퀄컴의 CDMA를 알게 됐습니다.”

“이후, 연구원들에게 CDMA에 대한 자료검토를 지시하기는 했지만, 출연(연) 입장에서 기술도입은 신중해야만 했습니다. 그래서 얼마나 앞선 기술인지, 앞으로 얼마나 더 기능과 생산단가를 개선할 수 있는지, 향후 시장규모는 어느 정도인지를 면밀하게 따져봤습니다. 결국, CDMA의 가능성이 충분하다는 판단을 내렸습니다. 이왕 모험할 거라면 세계

를 제패할 기술을 선택하지는 심정으로 퀄컴과의 공동연구를 결정했습니다.”

“어차피 TDMA든 CDMA든 ETRI에는 생소한 기술이었고, ETRI가 무엇을 개발하든 어렵기는 마찬가지였습니다. 오히려 CDMA의 경우, 개발에만 성공하면 초기에 CDMA 시장을 선점할 수 있으니 더 나을 수도 있다고 판단했습니다.”

— 故 경상현 소장(당시 ETRI 정보통신연구소장, 정보통신부 초대 장관)  
(‘정보통신의 보고 ETRI를 말한다’, 2004) —

#### 제2세대 이동통신의 선두국가로 퀀텀점프

ETRI의 CDMA 방식 이동통신 상용화 성공으로 국내 이동통신 분야는 보통의 산업·기술이 거치는 기술체화기를 거치지 않고 기술도입기에서 곧바로 기술선도전환기로 도약하였다. 그 결과, 국내 이동통신 산업은 질적·양적인 측면에서 획기적인 성장의 계기를 확보하게 된다.

이동통신 가입자가 폭발적으로 늘어나 '1인 1전화 시대'가 열리기 시작하였으며, 삼성전자와 LG전자를 비롯한 국내 휴대전화 제조업체들의 발전 역시 비약적이었다. 또한, 이동통신 통화 품질 개선을 위한 전파중계기 설치는 또 다른 새로운 시장도 창출하였다. ETRI 기술경제연구부의 'CDMA 기술개발 및 산업 성공 요인과 향후 과제' 보고서를 보면 1996년부터 2001년까지 6년간 CDMA의 국민경제 파급효과는 190조 4,000억 원에 달한다. CDMA 기술개발은 대한민국을 세계가 인정하는 이동통신 산업 최강국으로 끌어올린 것은 물론, 우리나라가 ICT 강국으로 거듭나는 데 기폭제 역할을 하였다. 국내에서 시스템을 개발하고 그 기술을 표준으로 채택함으로써 국내 제조업체들은 단순한 제품 생산을 넘어 원천기술까지 확보하며 전 세계와 경쟁할 기반을 마련하였다. 이는 향후 다른 분야로까지 확산되어 국가 전반의 ICT 수준을 향상시켰다.

#### 다윗과 골리앗의 싸움, 퀄컴(Qualcomm)과의 로열티 분쟁

ETRI와 퀄컴이 공동연구를 시작할 당시 둘 사이에는 CDMA 상용화 성공에 대비한 별도의 계약이 체결되어 있었다. 퀄컴이 국내 이동통신 업체들로부터 징수한 기술료의 20%를 매년 ETRI에 지급한다는 계약이었다. 퀄컴은 1996년 첫해에 계약조건대로 이 부분



초기 CDMA 전화기



을 지급했으나, 기술료 규모가 커지자 1997년부터 배분 대상 범위에서 PCS를 제외하고 근거리로 제공 없이 장수 기술료 총액의 11%만을 지급하기 시작하였다.

ETRI는 곧바로 '퀄컴사특별대책반'을 구성하고, 당시 정선중 원장이 대책반 반장을 맡을 정도로 전격적인 대응에 나섰다. 국내 기업·기관이 선진국 기업과의 로열티 분쟁에서 승리한 전례가 거의 없던 데다, 퀄컴은 지식재산권 관리의 귀재로 알려진 상대였기 때문에 이 분쟁은 '다윗과 골리앗'의 싸움으로까지 불렸다.

특별대책반은 미국 샌디에이고 퀄컴 본사를 직접 방문하는 한편 지속해서 서면 항의를 이어갔고, 1998년 10월에는 국제상공회의소 국제중재법원에 퀄컴의 'CDMA 공동개발 합의서 위반'에 대한 중재신청을 하기에 이르렀다. 그러자 퀄컴은 글로벌 소송전문법률 회사 등을 내세워 막강한 대응반을 꾸리고 더욱 강경한 태세를 취하였다. 심지어 ETRI에 이미 지급한 기술료 배분금을 반환하라는 요구까지 해왔다. 결국, 분쟁은 합의에 이르지 못한 채 1년 반에 걸친 긴 재판으로 이어졌다.

2000년 7월 미국 샌디에이고에서 열린 청문회에서 ETRI는 기술료 배분 대상 범위 배분 기술료 산정방식, 기술료 배분 종료 시점 등에 대한 1만 8,000페이지에 달하는 증거 자료를 제시해 승기를 잡았다. 그리고 2000년 12월 국제중재법원은 퀄컴이 국내업체들로부터 기술료를 받는 종료 시점까지 셀룰러뿐만 아니라 PCS, 무선 PABX에 대한 기술료 20%를 ETRI에 지급해야 한다는 판결을 내렸다. 추가로, 국내 지정생산업체 4개사 뿐만 아니라 비지정생산업체의 국내 판매분 기술료에 대해서도 마찬가지로 20%의 기술료를 배분하도록 판정하였다. 이렇게 ETRI의 강한 의지와 철저한 대응 끝에, 긴 분쟁은 ETRI의 승리로 끝이 났다.



동기식 IMT-2000

### 1-3-2. 3세대 이동통신

#### 3세대 이동통신의 필요성 대두

우리나라는 1996년 CDMA 방식을 세계 최초로 상용화함으로써 2세대 이동통신의 선두국가로 올라섰다. 그러나 당시 이동통신 서비스에는 분명한 한계가 있었다. 유럽은

GSM<sup>35)</sup>(TDMA의 일종) 방식을, 일본은 PDC<sup>36)</sup>(TDMA의 일종) 방식을, 미국은 TDMA와 CDMA 방식을 동시에 사용하는 등 국가별로 여러 방식이 혼재된 탓에 휴대 단말기의 글로벌 상호호환이 불가능하였다. 즉, 외국에 나갈 때는 별도의 단말기를 써야만 했던 것이다. 이와 함께, 유선의 인터넷 서비스를 노트북, PC 등에서 무선으로도 사용하고자 하는 요구도 커지고 있었다.

이에 전 세계는 국제적으로 협력하여 3세대 이동통신 기술을 연구하기 시작하였다. 당시 3세대 이동통신은 유럽을 중심으로 한 비동기식 W-CDMA 진영과 미국을 중심으로 한 동기식 IMT-2000<sup>37)</sup> (CDMA2000) 진영으로 나뉘어 기술개발과 표준화가 별도로 진행되고 있었다. CDMA2000은 GPS 위성을 이용하여 음성이나 데이터를 전송하고, W-CDMA는 기지국이나 중계국을 통해 서비스를 제공한다는 것이 가장 큰 차이였다.

#### 세계 최초 CDMA2000 상용서비스

ETRI 역시 CDMA 상용화 성공과 거의 동시에 3세대 이동통신 기술개발에 전격적으로 뛰어들었다. ETRI는 동기식 CDMA2000 개발을 결정하고 1995년부터 1999년까지 '차세대 이동통신 기반기술연구' 과제를 수행하였으며, 동시에 1997년부터 1999년까지 관련 산업체(삼성전자, LG정보통신, 현대전자, 맥슨전자 등) 및 사업자들과 컨소시엄을 구성하여 608억 원 규모의 '기술검증용 표준모델 개발' 사업을 수행하였다.

이를 통해 1999년 '동기식 5MHz 광대역 IMT-2000(CDMA2000) STP(System Test Plant) 시스템' 개발에 성공하였다. 이 시스템에는 음성·영상 단말기, 기지국 및 기지국 제어시스템, 핵심 망 HW, 음성·영상 서비스, 패킷 데이터 서비스 등의 기본 기능과 전력 제어 및 핸드오프 기능이 포함되어 있었다. ETRI는 2000년 2월 관계기관 전문가와 컨소시엄 회원사들이 참석한 가운데 공개적으로 개발확인검증 시험을 마쳤다. 그리고 같은 해 10월 SKT는 CDMA2000 상용서비스를 세계 최초로 개시하였다.

당시 연구진이 특히 주력한 것은 이동통신 모뎀의 독자개발이었다. 우리나라는 CDMA 개발 성공으로 짧은 시간에 세계적인 이동통신 강국의 지위를 확보하였으나, 핵심 기술인 모뎀은 우리 것이 아닌 외국 것(Qualcomm)이어서 아쉬움을 남겼다. 이에 ETRI는 3세대 이동통신 개발과정에서 CDMA2000 시스템의 독자적인 이동통신 모뎀을 설계·구현하고 상용화하는 데 총력을 기울였다. 그 결과, OCQPSK<sup>38)</sup>, AISMA<sup>39)</sup> 등의 기술을 개발하여 지식재산권을 확보하였다.

ETRI는 1999년 독자적으로 동기식 CDMA2000 무선전송규격을 ITU에 제안하였지만,

35) GSM(Group Special Mobile): 모뎀을 사용하지 않고도 전화 단말기, 팩시밀리, 랩톱 등에 직접 접속하여 이동데이터 서비스를 받을 수 있는 유럽식 디지털 이동통신 방식이다.

36) PDC(Personal Digital Cellular): 일본의 TDMA 방식을 미국의 TDMA와 구분하기 위하여 일컫는 용어이다.

37) IMT-2000(International Mobile Telecommunication 2000): 지상이나 위성에서 음성, 고속 데이터, 영상 등의 멀티미디어 서비스를 제공하고, 글로벌 로밍이 가능한 유무선 통합 통신서비스이다.

38) OCQPSK(Offset Quadrature Phase Shift Keying): 다중 채널을 위한 직교복소확산방법 및 그 장치다. 역방향에서 저전력이 소모되는 변조 방식으로 단말 전원의 수명을 연장할 수 있다.

39) AISMA(Acquisition Indication Sense Multiple Access): 부호분할다중접속방식에서 상향공통채널의 임의접속장치 및 방법이다. 패킷의 Acquisition을 알려줌으로써 패킷 부하를 제한하고 throughput을 개선한다.

이미 대세가 비동기식 W-CDMA로 기울어져 있어 세계표준으로 채택되지는 못하였다. 그러나 독자 개발한 OCQPSK 기술과 AISMA 기술은 각각 1998년과 1999년에 IMT-2000 국제표준에 반영되었으며, 이후 애플과 노키아를 비롯한 세계 굴지의 휴대전화 제조사로부터 수백억 원의 기술료를 거둬들였다.

새롭게 W-CDMA 개발에 돌입

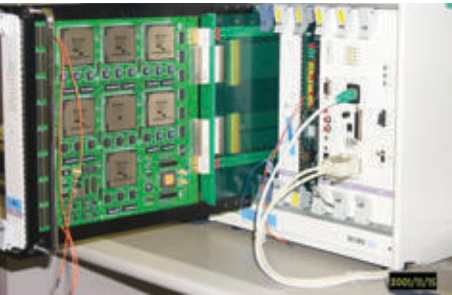
ETRI는 북미 이동통신 시장을 겨냥하여 미국 중심의 동기식 CDMA2000 시스템을 개발하지만, 당시 독자적인 2세대 이동통신 기술을 사용하던 일본이 유럽 중심의 비동기식(W-CDMA) 이동통신 방식에 합세하면서 전 세계 IMT-2000 시장의 70~80%가 W-CDMA 방식을 사용하게 되는 상황이 발생하였다. W-CDMA가 3세대 이동통신의 대세로 자리 잡은 것이다. 우리나라 경제는 수출중심으로 성장하는 구조를 하고 있어, 대세인 W-CDMA 방식을 포기할 수 없었다.

이에 ETRI는 CDMA2000 기술개발이 완료되기도 전에 서둘러 W-CDMA 상용시스템 개발에 돌입하였다. 1999년부터 2001년까지 721억 원(정부 208억 원, 산업체 및 사업자 513억 원)을 투입하여, ‘IMT-2000 비동기 방식 단말기/기지국/제어국/핵심망 공동연구 개발’ 과제와 ‘IMT-2000 단말기/기지국 신호처리 기술연구’ 과제 그리고 ‘IMT-2000 비동기 방식 시스템 시험’ 과제들을 수행하였다.

2년에 불과한 짧은 시간 안에 기술개발을 완성하고자 ETRI는 공동연구기관들과 체계적으로 역할을 분담하였다. ETRI가 핵심기술 및 실용시스템을 개발하고, 기지국은 삼성전자와 현대시스코이, 핵심 망은 삼성전자, LG전자, 현대시스코이 그리고 단말기는 삼성전자, 팬택, 현대큐리텔이 개발하도록 하였다. 또한, 상용서비스는 사업자(SK-IMT, KTICOM, 하나로통신, KTF, 데이콤, 신세기통신, 한솔PCS 등)들이 개발하고, 정부는 핵심 부품 및 기반기술연구를 지원하였다.

밤을 잊은 노력으로 선진국과의 간극 극복

W-CDMA 개발은 ETRI에 상당한 모험이었다. CDMA2000 개발을 통해 이미 CDMA 모뎀 구현에는 자신이 있었지만, 유럽의 GSM 기반 무선프로토콜은 전혀 생소한 분야의 기술이었기 때문이다. 더구나 선진국보다 개발 시작 시점도 늦은 상황이었다. 그러나 연구진



W-CDMA 시험용 단말기



협동연구동 준공식

은 단합된 조직력과 부단한 노력으로 선진국과의 간극을 극복해 나갔다. 시스템 시험과정에서 시도 때도 없이 발생하는 오류를 잡아내느라 새벽 퇴근과 주말 출근이 다반사였지만, 수백 개이던 불합격 항목들이 수십 개 그리고 몇 개로 줄어드는 과정을 겪으며 자신감을 쌓아갔다. 그리고 결국 우리나라는 2003년 12월 W-CDMA 상용서비스에 성공할 수 있었다.

국내업체들의 이동통신 단말 해외시장 개척의 발판 마련

비동기 W-CDMA 개발에 성공하여 비로소 국내업체들이 이동통신 단말의 해외 시장을 본격적으로 장악하게 되었다. 그 후 비동기 W-CDMA 는 WiMax, LTE, 4G,5G 기술로 진화하였으며 2003년 이후 2020년까지 삼성전자는 꾸준히 기술진화를 수렴해 가며 세계 휴대폰 시장을 장악해 현재 세계 1위의 스마트폰 제조업체가 되었다.

다양한 서비스 규격을 소화할 다기능 기지국 필요성 대두

이동통신은 주파수라고 하는 한정된 자원을 사용하기 때문에 제공하고자 하는 서비스의 특성에 맞도록 특화된 규격에 맞춰 사용해야 하므로 서비스의 종류가 달라지면 그 적용 규격도 달라져야 한다. 따라서 다양한 서비스의 요구는 다양한 규격의 제정을 요구하게 되고, 이를 수용하기 위해서는 다양한 기지국이 필요하게 된다.

3세대 이동통신은 동영상 및 멀티미디어 콘텐츠를 주고받을 수 있는 수준이었으나, 점차 이동 중에도 인터넷 서비스를 이용하려는 요구가 커졌다. 이에 4세대 이동통신은 인터넷 기반 서비스로 변화할 것으로 예고되었고, 이를 수용하기 위한 다양한 표준들이 제정되는 상황이었다.

다양한 서비스에 맞춰진 다양한 규격이 혼재하는 상황에서 수요자가 원하는 서비스를 통신사업자들이 국제표준에 맞게 빠르게 제공하기 위해서는 여러 규격을 수용하는 각각의 기지국을 따로따로 설치해야 하는데, 이는 매우 어렵고 돈이 많이 들어가는 일이었다. 해결방법은 SW에 의해 재구성이 가능한, 즉 SW 업그레이드만으로 서비스 간 모드전환이 가능한 기지국 기술을 개발하는 것이었다.





세계최초 SDR 기반 다중모드 기지국 개발

### 세계 최초로 SDR 기반 다중모드 기지국 개발

ETRI는 기존에 축적하고 있던 SW 모뎀 기술을 토대로 SDR<sup>40)</sup> 기반의 다중모드 기지국 개발에 돌입하였다. 2004년부터 2007년까지 정보통신부 선도기반기술개발사업의 일환으로 '다중모드 기지국 개발' 사업을 추진하였다. 연구비 131억 원, 연구인력 연 64명이 투입된 사업이었다.

SW로 기지국의 기능을 실시간으로 재구성하여 동작하도록 하려면 빠른 신호처리 기술이 필요하다. 이에 ETRI는 해외 선진기관의 칩·기지국 개발 동향을 분석하여 영국의 PicoChip이라는 업체의 Multi-Core DSP 칩을 사용하기로 결정하고, 곧바로 국제공동 개발에 착수하였다. Multi-Core DSP 칩은 아주 많은 연산장치를 하나의 칩에 집적하여 그 연산 속도를 상당히 개선한 반도체 칩이다.

마침 PicoChip 사는 자사의 칩을 활용한 솔루션을 개발해서 시장에 진입하려는 상황이었고, 통신분야의 기술 수준이 높은 ETRI와의 공동개발로 HSDPA 등의 통신 솔루션을 확보할 수 있게 되었다. ETRI는 이 칩을 사용하여 SW로 재구성이 가능한 다중모드 기지국 기술을 확보하고 검증할 수 있으니 서로에게 도움이 되는 공동개발이었다.

연구 결과, ETRI는 2007년 SDR 기반 다중모드 기지국을 세계 최초로 개발하는 데 성공하였다. 이로써 하나의 HW에 여러 SW를 내려받아 WiMAX 모드나 HSDPA 모드로 기지국의 기능을 자유롭게 전환할 수 있게 되었다. 본 기지국에는 Multi-core DSP 칩 기반의 고성능 프로세서가 사용되었고, 최신의 기술과 표준규격을 운용자가 쉽게 수정할 수 있으며, 이더넷 LAN 포트를 활용하여 원격 제어관리도 가능하였다.

당시 다중모드로 동작하는 기지국 플랫폼은 상용으로 출시된 바 없었으며, 3G가 어느 정도 성숙 되면 점차 다중모드 시스템이 나올 것으로 예상되는 상황이었다. 그러나 ETRI는 시장 형성기에 있는 기술을 선제적으로 개발하고 시판 중인 상용 단말기를 정합함으로써 기술의 높은 완성도를 증명하였고, 다중모드 기지국이 기존 기지국을 대체할 수 있음을 입증하였다. 이는 ETRI에서 개발한 시제품으로는 처음으로 상용 단말기를 정합한 사례이다. ETRI는 다중모드 기지국 시스템을 RBS(Reconfigurable Base Station)로 명명하고, 시제품의 별칭을 ReMo(Reconfigurable Mobile communication)로 정하였다. 또한, 공동개발업체인 PicoChip 사는 이를 활용하여 현재 소형셀의 초기모델인 PicoCell 기지국 상용제품을 개발하여 국제시장에 시판하였고, 이를 통해 ETRI는 450만 불의 국제경상기술료 수입을 얻게 되었다.

40) SDR(Software Defined Radio): SW로 Radio의 규격을 정하는 기술이라는 의미로, HW의 변경없이 SW 재구성을 통해 다양한 무선통신 규격을 하나의 시스템으로 제공할 수 있는 기술이다.

### 4G와 5G 기지국 기술발전의 토대 만들어

SDR 기반 다중모드 기지국 개발로 통신사업자들은 규격별 기지국을 따로 설치하지 않고 SW 모듈을 기지국에 내려받기하는 것만으로도 새로운 표준을 손쉽게 수용할 수 있게 되었다. 이로써 새로운 기술을 도입하고 시장에 내놓기까지 걸리는 시간과 비용이 크게 줄어들었다. 또한, 산간벽지나 도서 지역처럼 케이블 공사가 어려운 지역에도 손쉽게 기지국을 설치할 수 있게 되었다.

이러한 유연한 기지국 플랫폼 기술은 4G와 5G 이동통신의 소형셀 기지국 기술개발로 이어졌으며, 6G에서는 RAN(Radio Access Network) Slicing을 포함하는 E2E(End-to-End) 네트워크 Slicing 기술로 연계될 것으로 보인다.

## 1-3-3. 4세대 이동통신

### 언제 어디서나 접속되는 WiBro 휴대인터넷 개발

2000년대 초반, 유비쿼터스<sup>41)</sup> 사회로의 진입이 세계적인 이슈가 되었다. 유비쿼터스 환경은 시간적·공간적으로 자유로운 첨단 네트워크 시스템을 기본적으로 필요로 한다. 그러나 당시에는 음성통화나 단문 전달이 가능한 저속데이터 서비스만 보급된 상황이었다.

이에 ETRI는 2003년 WiBro 이동통신 시스템 연구개발에 돌입하였다. WiBro(Wireless Broadband Internet, 무선 광대역 인터넷)는 이름 그대로 언제 어디서나 인터넷 접속이 가능하도록 하는 휴대용 인터넷 서비스이다. 연구사업명은 '2.3GHz대 초고속 휴대용 인터넷(HPi) 시스템 연구개발'이었으며, 2003년부터 2005년까지 360억 원(100% 민간비용)의 연구비와 총 192명의 연구인력이 투입되었다. ETRI가 주관하고, 삼성전자, SKT, KT, KTF, 하나로통신 등이 공동연구기관으로 참여하였다.

본 사업의 목표는 기지국, 단말기, 액세스 라우터 등 WiBro 전체 시스템을 개발하고 TTA(한국정보통신기술협회)를 통한 국내표준화 및 IEEE(국제전기전자공학회)를 통한 국제표준화를 동시에 진행하는 것이었다.

연구진은 WiBro 시스템에 그간 활용이 미미하던 2.3GHz 대역 주파수를 활용하고, 주파수 사용방식은 인터넷의 특징인 비대칭 트래픽을 구현하는 데 있어서 장점이 큰



ETRI-삼성전자, 세계 최초 4세대 이동통신 핵심 무선기술 개발

41) 유비쿼터스(Ubiquitous): 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 환경을 뜻한다.



와이브로 이블루션 연구성과 발표회

TDD(Time Division Access)를 사용하였다. 또한, 국제표준에는 FDD(Frequency Division Duplex)도 포함시켜 국가별 주파수 상황에 따라 TDD와 FDD를 선택적으로 사용할 수 있도록 하였다.

접속방식은 ETRI 자체 규격에 의한 OFDMA<sup>42)</sup> 방식을 새롭게 도입하였다. 기존의 CDMA(코드분할다중접속방식)는 전송속도가 높을 시 확산처리 이득이 작아진다는 단점이 있어 수백 Mbps의 고속전송 환경에는 맞지 않는다고 판단했기 때문이었다. ETRI는 OFDMA 기술이 광대역화가 용이하고, MIMO 등의 용량증대 기술 적용을 통해 차세대 이동통신 시스템이 요구하는 전송용량을 만족시킬 수 있는 핵심 무선전송임을 증명하고 국제 표준화와 실증 및 초기 상용화를 이뤄냈다.

이와 함께, 시스템 전체에 IP를 적용하는 ALL-IP 시스템 기술을 주창하고, ALL-IP를 지원하는 기지국 및 액세스 시스템을 세계 최초로 선보였다. 이때부터 ALL-IP 기술은 이동통신 액세스 시스템의 기본기술로 자리 잡게 된다.

### 세계 최초로 WiBro 상용화

WiBro는 사용 반경으로 따지면 기존 휴대전화용 이동통신과 Wi-Fi의 중간 영역에 있는 통신규격이다. 또한, 느린 속도에 비해 사용요금이 비싼 이동전화 무선 인터넷의 한계와 이동성·장소성의 제약이 있는 무선랜의 단점을 단번에 해소할 수 있는 획기적인 기술로 주목받았다.

연구진은 2004년 11월 27일 IEEE802.16e 국제규격을 적용하여 개발한 WiBro 시스템 시제품을 기지국과 단말기를 이용해 세계 최초로 접속하는 데 성공하였다. 또한, 한 달 뒤 열린 'WiBro 시제품 개발 시연회'에서는 20km로 달리는 버스 안에서 1Mbps 속도로 인터넷 접속 및 실시간 방송서비스를 시연하였다. 아울러, 2005년 11월 부산에서 열린 아시아태평양경제협력체(APEC)에서 처음으로 WiBro를 세계 시장에 선보인 후, 2006년 이탈리아 토리노동계올림픽에서 성공적으로 시연하며 우리의 기술력을 입증하였다. 이러한 기술력과 국가발전에 기여한 점을 인정받아 WiBro 기술은 2016년 '광복 70주년 과학기술 대표성과 70선에 선정되었다.

### 국제표준 규격 승인으로 글로벌 이동통신 주도권 확보

WiBro 시스템 개발을 통해 ETRI는 IEEE802에 120여 건의 기고서를 제출하였으며, 380여 건의 지식재산권을 확보하였다. 2007년에는 공식 상용화 1년 만에 WiBro 기술이 ITU-R<sup>43)</sup> 3G(IMT-2000)의 6번째 표준으로 최종 승인되었다. 국제표준 채택으로

42) OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, 직교 주파수 분할 다중접속): 여러 사용자가 동시에 무선·이동통신 서비스를 받을 수 있도록 한 다중접속방식이다.

43) ITU-R(International Telecommunication Union): ITU를 구성하는 3가지 부문 중에 하나로, 라디오 주파수대역의 통신규약이다.



3GPP LTE SAE시스템 세계최초 개발



WiBro '광복 70주년 과학기술 대표성과 70선 선정' 인증패



WiBro 기술개발 시연회(2005. 3. 31. ETRI)

CDMA 기술개발에 이어 우리나라가 다시 한번 세계 이동통신 시장을 주도할 수 있는 계기가 마련되었다. 당시 정보통신부는 2008년부터 2012년까지 5년간 WiBro 기술 및 관련 장비 수출액이 30조 9,798억 원에 이를 것으로 전망하였고, 관련 산업에 미치는 생산 유발 효과는 14조 6,500억 원, 일자리 신규창출효과도 7만 4,900개에 달할 것으로 추정하였다.

### WiBro-A(Advanced) 시스템으로 연계

WiBro의 후속으로 2006년부터 2008년까지 'WiBro Advanced 이동통신 시스템 개발' 사업이 추진되었다. ETRI가 주관하고 삼성전자가 공동연구기관으로 참여하였으며, 3년간 300억 원의 연구비와 142M/Y의 연구인력이 투입되었다. 사업을 통해 연구진은 10·20·40MHz 대역에서 4×4 MIMO 기술을 적용하였으며, 400Mbps 최고 전송속도를 실현하는 완전한 4세대 WiBro-A 기술을 완성하였다. WiBro-A는 2012년 ITU-R 국제표준으로 채택되었다.

### 이동통신의 패러다임을 바꾼 WiBro

WiBro 이동통신 시스템에 있어서 가장 혁신적인 부분은 OFDMA 방식을 도입한 것이라 할 수 있다. 고속 데이터 전송을 위해서는 CDMA 대신 OFDMA 방식을 적용하는 것이 최선임을 증명하면서 이동통신의 패러다임이 바뀌었고, 대한민국은 새로운 차세대 통신의 종주국이 될 수 있었다.

또한, 기존에는 이동통신 시스템 제조업체가 미국, 유럽 등지에 진출하려 할 때 자국 시스템 우선주의로 인해 시장진입이 매우 어려웠다. 그러나 WiBro 시스템이 국제표준으로 채택되면서 미국의 스프린트 사, 클리어와이어 사, 러시아의 요타 사 등이 WiBro 시스템을 전폭적으로 도입하기 시작하였으며, 일본은 KDDI를 중심으로 삼성의 기지국과 단말기를 도입하였다. 이로써 기존에 우리 기업이 받았던 차별을 일시에 무너트릴 수 있게 되었다. 또한, WiBro 기술개발 과정에서 양성된 수천 명의 엔지니어는 이어진 LTE, 5G 시스템 등의 개발을 주도적으로 이끌며 국내 이동통신 산업의 주역으로 자리매김하였다.

### 4세대 이동통신 시스템 필요성 대두

ETRI는 3세대 이동통신 시스템인 CDMA2000과 W-CDMA를 각각 1999년과 2003



년에 상용화하는 데 성공한다. 그러나 3세대 시스템은 전송속도와 용량의 한계로 고속의 멀티미디어 패킷 서비스를 효과적으로 지원하기 어려웠다. 이에 3GPP<sup>44)</sup>는 2004년 말부터 진화된 무선전송 기술과 IP 기반의 단순화된 이동통신 시스템 네트워크 구조를 통해 높은 전송속도와 저지연을 만족하는 3GPP LTE(Long Term Evolution) 표준규격 작업을 진행하였다.

### 세계 최초로 3GPP LTE/SAE 시스템 개발

이러한 변화에 발 빠르게 대응하여, ETRI는 2005년부터 2007년까지 ‘LTE 이동통신 시스템 연구’ 과제를 수행하였다. 이는 3년간 연구비 445억 원, 연구인력 총 246.88M/Y가 투입되는 대규모 연구사업으로, 고속이동 패킷통신을 위한 3GE(3G Evolution) 무선전송 기술, 단말 기술, 액세스 시스템 기술개발을 목표로 하였다. 또한, KTF, SKT, 삼성전자 등의 대기업이 공동연구기관으로 참여하였다.

ETRI는 3GPP LTE/SAE(System Architecture Evolution) 시스템 개발과 표준규격개발을 동시에 진행하였다. LTE 국제표준화 완료 시점에 채택될 기술을 예측하여 조기에 관련 기술을 확보함으로써 국제적 기술 우위를 확보하기 위한 전략이었다. 그 결과 ETRI는 2007년 표준규격에 포함되지 않은 알고리즘을 독자적으로 개발하여 세계 최초로 3GPP LTE/SAE 요구사항을 만족하는 3GE 기술을 구현하는 데 성공하였다. 3GE 기술은 저속(3km/h) 이동 시 100Mbps 이상, 고속(120km/h) 이동 시 30Mbps 이상의 전송속도를 요구한다. ETRI는 본 과제를 통해 개발·검증한 기술에 대해 300여 건의 지식재산권을 확보하였고, 3GPP에 170여 건의 기고서를 제출하였다. 개발된 기술들은 2008년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에도 선정되었다.

ETRI는 공동연구 기업들의 요구사항을 지속해서 반영함으로써 상용시스템으로서의 완성도를 높이는 데 주력하였으며, 핵심기술을 개발한 뒤 시험시스템을 개발하고 이를 토대로 시제품을 개발하는 체계적인 개발 체계를 갖춰 시제품의 완성도를 높였다. 시제품을 통해 확보한 주요기술은 3GPP LTE/SAE 시스템의 주요 기술인 MIMO(multiple-input multiple-output), H-ARQ(Hybrid ARQ) /ARQ(Automatic Repeat Request), OFDMA(Orthogonal frequency-division multiple access), SC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access) 등이다.

당시 ETRI 연구원들은 날씨가 어떨지, 바깥세상이 어떻게 돌아가는지도 모르고 연구에 몰두하였다. 3GPP LTE/SAE 시스템 통합시험 단계에서는 한 연구원이 부인의 출산 소식을 듣고 병원으로 달려갔다가 연구원 복귀 연락을 받고 갓 태어난 아들의 얼굴도 보지 못한



4세대이동통신\_LTE-Advanced 기술 시연

채 다시 돌아와 시험에 참여한 일화도 있었다. 연구진의 이러한 노력은 세계 최초의 3GPP LTE/SAE 시스템 개발은 물론이고, 우리나라가 이동통신 분야 부동의 세계 1위 국가로 자리매김하는 밑거름이 되었다.

과제 종료 당시 ‘LTE 이동통신 시스템’은 2010년부터 2014년까지 5년 동안 약 13조 원의 생산 유발효과와 6.7조 원의 부가가치 유발효과 그리고 약 6.8만 명의 고용 유발효과를 낼 것으로 예상되었다. (ETRI 신기술정책팀, 2008, 1.)

### 4세대 이동통신인 LTE-A 기술 성공적으로 확보

ETRI는 2007년 세계 최초로 3GPP LTE/SAE 시스템 개발에 성공하였지만, 이는 엄밀히 따지면 4세대가 아닌 3.9세대 이동통신이었다. ITU-R이 4세대 이동통신의 구체적인 표준화 계획을 수립하고 3GPP 등의 단체들이 국제표준화 작업을 시작한 것이 2008년이었기 때문이다.

이에 ETRI는 본격적인 4세대 이동통신인 LTE-A(Advanced) 기술개발을 위해 2006년부터 2010년까지 연구 기간 5년, 연구비 643.5억 원, 연구인력 총 298.28M/Y가 투입되는 ‘LTE-A 이동통신 시스템 연구’ 과제를 추진하였다. 본 사업의 목표는 LTE-A 기반 고속이동 무선전송 기지국·단말 모뎀 및 RF<sup>45)</sup> 개발과 LTE-A 시스템 플랫폼을 개발하는 것이었으며, KT, 가인정보기술, 네스랩, 넷커스터마이즈, 모비안 등이 공동연구기관으로 참여하였다.

연구 결과, ETRI는 3GPP가 정한 LTE-A 표준규격을 만족하는 신호처리 프로토콜 기술, 무선 자원 용량증대를 위한 협력형 다중전송 기술, 시스템 전송속도 및 성능 향상을 위한 반송파 집적 기술, 멀티안테나 기술 등 독자적인 기술들을 새롭게 개발하였다. 이를 통해 총 500여 건의 국제 및 국내 특허를 출원하고, 3GPP에 기고서 400여 건을 제출하여 200여 건이 반영되었으며, 핵심 표준특허 24건을 확보하여 ITU-R의 LTE-A 표준에 반영하는 성과를 이뤄냈다. LTE-A 이동통신 시스템은 2011년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에도 선정되었다.

당시 제작한 LTE-A 시제품은 600Mbps의 데이터 전송속도를 구현하였다. 이는 당시 서비스 중이던 3세대 이동통신 기술인 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)보다 최대 40배 이상 빠르고, LTE보다도 최대 6배 이상 빠른 놀라운 성능이었다. 또한, 실외 이동 중에 측정한 하향 전송속도도 120Mbps를 구현하였다. 이는 고속이동 중에도 끊김 없는 초고속 멀티미디어 서비스가 가능해졌다는 것을 의미하였다.

‘LTE-A 이동통신 시스템’ 개발사업은 2015년부터 2021년까지 566조 원의 생산 유발효

44) 3GPP(3rd Generation Partnership Project): 무선통신 관련 국제표준을 제정하기 위해 1998년 창설된 이동통신 표준화 기술협력 기구이다.

45) RF(Radio Frequency): 무선주파수를 방사하여 정보를 교환하는 통신 방법이다.



LTE-A 기술개발 시연회(2011. 1. 25, ETRI)

과와 177조 원의 부가가치 유발효과 그리고 70만 명의 국내 고용 창출효과를 낼 것으로 예상된다. (ETRI 신기술정책팀, 2008. 1.)

### 언제 어디서든 끊김 없는 이동통신 서비스 시대로 진입

LTE와 LTE-A 시스템 개발로 우리나라는 본격적인 4세대 이동통신 시대로 진입하였다. 이때부터 국내 이동통신 서비스 사용자들은 실내·외 어디서나, 언제든, 끊김 없이 초고속 인터넷 서비스, Full-HD/UHD(Ultra High Definition)급 동영상 및 방송서비스, 파일 다운로드 및 업로드 등의 패킷 서비스, 3D 입체영상 서비스, 고품질의 IP 기반 영상전화 서비스, 모바일 방송서비스, 개인방송 서비스 등을 누릴 수 있게 되었다.

### 국내 최초로 LTE 단말 모뎀 칩셋 기술개발

ETRI는 3GPP LTE/SAE 시스템과 LTE-A 시스템 개발에 성공하면서 글로벌 4G 이동통신 기술·산업을 주도하기 시작하였다. 그러나 상용 이동통신 휴대전화의 모뎀 기술은 모두 수입에 의존하고 있어 국산화 필요성이 대두되었다.

이에 ETRI는 2008년부터 3년간 ‘LTE 단말 모뎀 칩셋 개발’ 과제를 수행하였다. 과제의 목표는 3GPP LTE 규격을 만족하면서 100Mbps급 데이터 전송속도 지원이 가능한 단말 모뎀 기술을 개발하는 것이었으며, 연구비 178억 원(정부 출연금 133억 원, 민간부담 45억 원)이 투입되었다. 단말 기저대역 모뎀 상위·상세설계 및 모뎀 로직 구현은 ETRI가 중점적으로 추진하고, 단말 상위 프로토콜 SW와 ASIC<sup>46)</sup>를 위한 팹(Fab, 반도체 제조공정) 개발은 공동연구기관인 엠티에이치, 엠텍비전 등이 담당하였다.

당시에는 국내에서 이동통신 단말 모뎀 칩을 상용화한 전례가 없었다. 그러나 ETRI는 W-CDMA 모뎀을 개발한 경험과 노하우를 가지고 있었고, 일부 연구원은 3GPP LTE 표준화 경험이 있었다. 이러한 역량을 토대로 연구진은 부족한 지식을 하나씩 습득해가며 연구에 매진하였고, 2011년 드디어 국내 최초로 ‘LTE 단말 모뎀 칩셋’ 개발에 성공하였다. 개발된 모뎀 IP는 1.4/3/5/10/15/20MHz scalable 대역폭 및 1×2 SIMO, 2×2 및 4×2 open loop/closed loop MIMO, Diversity 등 모든 모드에 대해 3GPP conformance test 규격이 제시하는 최소 요구 성능 대비 평균 1dB 이상 우수한 성능을 보였다. 또한, intra/inter frequency 핸드오버 지원 등 3GPP의 LTE 표준규격 Rel.9(2009년 3월)

46) ASIC(Application-Specific Integrated Circuit, 주문형 반도체) : 특정 목적을 위해 설계된 집적회로이다.

47) 5G(Generation): 5세대 이동통신으로, 언제 어디서나 환경의 제약 없이 사람과 사물을 포함한 모든 사용자에게 Gbps급 서비스를 효율적으로 제공하는 통신을 뜻한다. ITU는 5G의 기준으로 ‘4G 대비 20배 빠른 최대 20Gbps 데이터 전송, 전송지연 1ms(밀리초, 1/1000초) 이하, 1㎢ 안에서 최대 100만 개의 기기 연결’ 등을 제시하였다.

버전을 충분히 만족하였다. 본 기술은 그 우수성을 인정받아 2010년 ‘지식경제부 으뜸기술상’을 수상하였다.

### 글로벌 기업인 GCT에 기술이전

LTE 단말 모뎀 칩셋 기술은 세계적인 반도체·이동통신 기업인 GCT 리서치(한국법인) 및 GCT semiconductor(미국법인)에 이전되었다. 이전 이후에도 ETRI는 상용화 현장 지원 프로그램을 통해 GCT에 연구인력을 파견하는 등 지원을 아끼지 않았다. 그 결과, GCT는 2012년 상용단말 모뎀 칩 개발에 성공하여 현재까지 미국, 중국, 유럽, 일본, 한국 등에 판매 중이다.

본 기술개발 경험은 5G 소형셀, 사물인터넷통신, Moving Network 등 5G 이동통신의 다양한 분야에 기반기술로 활용되고 있으며, 2030년경에 상용화가 예상되는 6G 이동통신 시스템 및 모뎀 개발에도 적용될 것으로 기대된다.

## 1-3-4. 5세대 이동통신

### Quadruple ×1000 달성을 위한 5G 핵심기술개발

ETRI는 4G LTE, LTE-A 시스템의 상용화 이전부터 5G<sup>47)</sup> 기술개발을 시작하였다. 그러나 개발 초기에 5G와 관련하여 10개의 핵심기술을 개별적으로 개발하고 있어, 효율성 측면에서 이를 재조정할 필요가 있었다. 이에 ETRI는 2013년에 정부와의 협의를 토대로 10개 과제를 ‘초연결 스마트 모바일 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심기술개발(이하 5G 통합사업)’이라는 하나의 과제로 통합·개편하였다. 5G 통합사업의 세부과제로는 ‘5G 기술 선도형’과 ‘5G 시장지향형’ 과제가 있다.

이 가운데 ‘5G 기술선도형’ 과제는 단기적인 기술이전이나 상용화 성과보다는, 장기적으로 이동통신 네트워크의 패러다임을 바꾸는 창의·도전적인 연구에 주력하여 원천 핵심기술을 개발하고 지식재산권을 확보함으로써 글로벌 5G 기술을 선도하는 것을 목표로 추진되었다. 2014년부터 4년간 정부출연금 335억 원이 투입되었으며, ETRI를 중심으로 독일 프라운호프 HHI 연구소 등 7개 연구기관에서 연 707명의 연구인력이 참여하였다. 과제의



슬로건은 용량, 지연, 디바이스 수 및 전력효율의 4개 성능 항목을 1,000배 이상 달성하겠다는 의지를 담아 ‘Quadruple ×1000’으로 정해졌다.

5G 기술선도형 과제를 통해 연구진은 대용량 안테나 시스템을 활용한 전송용량 증대기술, 축각의 지연 민감도를 만족하기 위한 저지연 무선액세스기술, 초연결 디바이스 접속을 위한 대규모 연결성 제공 기술, 이동성 제공 광대역 엑스홀 네트워크 기술 등 5G 원천 및 표준기술을 연구하였다.

### 미래 네트워크의 모습 제시

2018년 개발을 완료한 ‘이동 엑스홀 네트워크’는 본 과제의 대표적인 성과이다. 이는 단말뿐만 아니라 기지국도 이동하는 세계 최초의 무선 네트워크로, 단말-기지국-중계기에 이르는 네트워크 전 단계를 안정적으로 무선화하면서도 고속의 전송속도를 유지할 수 있는 기술이다. 이로써 지하철같이 빠르게 움직이는 곳에서도 네트워크가 느려지거나 끊기는 일이 사라지게 되었다.

본 기술은 기존의 커버리지 기반 정적 네트워크에서 임무지향형 동적 네트워크로 미래 이동통신 네트워크의 아키텍처 방향을 제시하였다. 아울러, 3GPP가 추진하고 있는 무선통합 액세스·백홀(IAB; Integrated Access and Back haul)의 시발점이 되었다는 점에서도 의의가 크다.

‘초고밀집 네트워크 기술’도 대표성과 중 하나이다. 이 기술은 기지국 중심으로 여러 개의 단말에 무선 링크를 제공하는 기존의 네트워크 구조를 하나의 단말을 중심으로 여러 개의 기지국과 무선 링크를 형성하는 네트워크 구조로 변형하는 데 필수적이다.

### 5G 원천·핵심기술의 완성도 높일 후속 과제 추진

5G 기술선도형 과제를 통해 개발한 기술들은 도전의 완성이라기보다는 가능성 검증이라는 점에서 더 의의가 크다고 볼 수 있다. 이에 ETRI는 도전의 완성을 위해 후속 과제들을 추진하고 있다. 초고밀집 및 초저지연 네트워크 핵심기술의 실현성을 높이는 기술과 노드 이동성을 제공하는 이동 엑스홀 네트워크의 주요 핵심 링크인 프론트홀 인터페이스에 대한 표준 및 시제품을 개발하여 국내 중소·중견기업이 이동통신 산업에서 비중을 확대할 수 있도록 지원하는 사업들을 수행 중이다.

또한, ETRI가 개발한 5G 기술선도형 기술들을 기반으로 포스트 5G를 위해 ‘신호파형 기술 및 채널 부호화 기술’을 연구하는 과제를 핀란드 및 호주 등과 공동으로 추진하고 있다.

### 기가급 지하철 Wi-Fi를 위한 MHN 기술개발

2010년대 초반, 국내 지하철에도 통신사가 제공하는 Wi-Fi가 설치되어 있었으나, 음영 구간이 많고 일부 통신사를 제외하면 데이터 전송속도가 매우 느려 이용에 불편이 컸다. 특히, 승객들이 몰리는 출퇴근 시간대에는 원활한 통신이 이뤄지지 않는 상황이었다.

이러한 문제를 해결하고자 ETRI는 2012년부터 지하철 Wi-Fi 서비스 품질 개선을 위한 ‘기가급 MHN<sup>48)</sup> 기술개발’ 과제를 시작하였다. 통신시스템 기술규격과 핵심기술의 개발은 주관기관인 ETRI가 주도하고, 서울지하철 5~8호선을 운영하는 서울도시철도공사(현 서울교통공사)가 참여하여 시험환경을 제공하였으며, 요소기술개발이 가능한 중소기업들이 공동연구기관으로 함께하였다. 이 과제는 2013년 ETRI 5G 과제들이 통합·개편되면서 ‘5G 통합사업’ 내의 ‘5G 시장지향형’ 과제로 변경되었다.

기존의 지하철은 열차 내부의 Wi-Fi 무선공유기와 지상 기지국 사이의 무선구간을 WiBro 기반 이동무선 백홀로 연결해 10Mbps 속도를 제공하고 있었다. 그러나 ETRI는 세계 최초로 밀리미터파<sup>49)</sup>를 이용한 이동무선 백홀을 제공함으로써 기가급 데이터 서비스를 구현하는 데 성공하였다. 또한, 도달거리가 짧고 비가시선 상황에서 열화가 일어나는 밀리미터파의 단점을 극복하기 위해 기술력이 우수한 중소기업과 함께 RF 및 안테나를 설계하고 시제품을 출시하였다.

### 세계 최초로 지하철 내에서 MHN 시연 성공

ETRI는 2013년 500Mbps급의 MHN 시스템 시제품을 개발하고 성능검증 시연을 한 데 이어, 2016년에는 서울지하철 8호선(석촌~잠실~송파역)에서 기술시연을 진행하였다. 지하철 터널에 5개의 무선주파수 장비를 설치하고, 차량용 단말은 열차 내에 직접 설치하였으며, 객차에 MHN 단말과 연결된 기가급 무선공유기를 달아 초고속 Wi-Fi 서비스를 제공하는 데 성공하였다. 지하철에서 직접 MHN을 시연한 것은 세계 최초의 사례였다. 당시 연구원들은 실제 운행되는 지하철에서 시험을 진행하느라 큰 어려움을 겪었다. 지하철 운행이 끝나는 자정 이후에 터널에 들어가서 청소차와 시설 보수 차량을 피해야 하며 전파 시험을 하고 광케이블 및 통신 장비를 구축한 다음, 낮에는 실제 승객이 탄 열차에서 오류를 수정하고 최종 정상 동작을 끌어내야 해서 이중으로 고생을 해야 했다.

시연 성공과 LTE 시스템 확산에 힘입어 ETRI는 기술 목표를 상향 조정하였다. 과제 시작 단계에서는 밀리미터파 기술에 대한 회의적인 시각이 많아 기가급 MHN 구현도 매우 도



ETRI 5G 기술개발 시연회(2015. 12. 18, ETRI)

48) MHN(Mobile Hotspot Network): 밀리미터파의 광대역 주파수 스펙트럼을 활용하여 고속이동환경에서도 기가급 데이터 서비스 제공을 가능하게 하는 기술이다.

49) 밀리미터파(Millimeter Wave): 파장이 1~10mm, 주파수가 30만~300만 MHz인 전자기파이다. 광대역 전송이 가능하여 위성통신, 이동통신, 무선 항행, 지구 탐사, 전파 천문 등에 다양하게 사용된다.



MHN 개발 시제품

전적인 목표였으나, 점차 이를 상향하여 2016년에는 2.5Gbps급, 2017년에는 10Gbps급 MHN 시스템을 개발하는 데 성공하였다. 이 기술은 2017년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에도 선정되었다.

### 디지털 사회 변혁을 이끄는 촉매제

MHN 개발을 통해 ETRI는 밀리미터파 활용기술 분야 글로벌 선두 주자로 올라섰다. 또한, 회의적인 시각이 많던 밀리미터파 기술도 5G 시대에 당연히 필요한 기술로 인식되기 시작하였다. 특히, MHN은 밀리미터파를 실제 터널 환경에서 사용할 수 있도록 개발한 기술이어서, 사업화 가능성이 매우 높다. 앞으로 순조롭게 사업화가 진행된다면 MHN은 디지털 사회 변혁을 이끄는 촉매제가 될 것으로 기대된다.

### 이동통신 서비스 영역 IoT로 확대

4G로 넘어오면서 이동통신 기반의 서비스 영역이 휴대전화만이 아닌 다양한 센서, 전력·수도 계량기, 무인 자판기 등 무수히 많은 사물로 확대되었다. 사물인터넷(IoT)의 등장으로 우리 삶이 큰 변화를 맞이하고 있다는 데는 이문의 여지가 없다. 문제는 수많은 IoT 기기에서 정기적으로 데이터를 받아오기 위한 통신망과 배터리가 필요하다는 점이다. 예를 들어, 배터리의 수명이 길어야 1년이라면, 접근성이 떨어지는 곳에는 IoT 기기를 설치할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 주목받은 것이 바로 ‘NB-IoT(NarrowBand-IoT, 협대역 IoT)’ 기술이다.

### 초다수 디바이스 수용을 위한 NB-IoT 기술개발

ETRI는 2016년부터 2018년까지 ‘5G 시장지향형’ 과제의 하나로 IoT 구축에 적합한 ‘협대역 IoT(NB-IoT) 기술개발’ 과제를 추진하였다. NB-IoT 기술은 이동통신을 기반으로 저용량, 광역 커버리지, 낮은 단가, 저전력이라는 요구사항을 모두 충족할 수 있는 대표적인 IoT 기술이다. 과제는 NB-IoT 기술의 국산화를 목표로 수행되었다.

주관기관인 ETRI는 단말 및 기지국과 코어 네트워크(Core network) 장비를 포함하는 전체 시스템 구성요소를 설계하고 핵심기술을 자체 개발하였다. 세부적으로, 3GPP Rel-13 표준을 지원하는 저전력 NB-IoT 단말·기지국 L1 및 L2/L3 프로토콜 스택 기술개발,

200kHz 대역폭을 사용하는 저전력 NB-IoT 단말 RF 개발, 코어 네트워크 프로토콜 기술개발, 센서 융합 디바이스를 활용한 NB-IoT 서비스 발굴 등을 추진하였다.

특히, 단말은 ETRI 주도의 ‘NB-IoT 범용 단말’(범용 단말) 개발과 참여 중소기업 주도의 ‘NB-IoT 통신 및 센서 융합 단말’(융합 단말) 개발이 병행 추진되었다. 융합 단말은 통신 기능과 센서를 하나의 칩으로 융합하여 성능을 최적화하고 칩 단가를 낮춤으로써 중소기업이 대기업들 사이에서 틈새시장을 공략할 수 있도록 하고자 개발되었다. 그 결과, 연구진은 세계 최초로 NB-IoT 통신 기능과 센서를 융합한 저전력 통합 칩 생산에 성공하였다. 또한, 범용 단말은 다양한 목적으로 활용 가능한 단말이며, 중소기업이 개별적으로 원하는 다양한 서비스를 구현하기 위하여 개발되었다.

ETRI는 통신사업자인 KT와 협력하여 개발된 단말이 KT 이동통신 네트워크에 사용될 수 있도록 인증시험을 진행하였으며, KT의 ‘IoT Makers’ 플랫폼과 연계하여 KT의 전국망을 활용하는 서비스 검증을 수행하였다. 동시에 과제 결과물들을 Small Cell World Summit 국제 전시회에 소개하는 등 적극적으로 홍보하였다.

성과 논문 중 하나인 ‘An Efficient Small Data Transmission Scheme in the 3GPP NB-IoT System’은 SCI 저널인 IEEE Communications Letters 지에 게재되었으며, 2017년 5월부터 8월까지 가장 많은 다운로드 및 인용을 기록하여 Most Popular Article 로 선정되었다.

### 다양한 분야로 적용·확장

NB-IoT 국산화 개발을 통해 우리나라는 본격적인 IoT 시대에 대비한 기술적 역량을 확보하게 되었다. NB-IoT 기술의 적용 분야는 매우 다양하다. 맥내 설치된 각종 전기·수도·가스 계량기에 적용하는 원격검침 서비스, 대기·온도·습도 센서에 적용하는 환경 모니터링 서비스, 공장 내의 다양한 센서에 적용하는 공정 모니터링 서비스, 어구의 식별에 적용하는 장비 모니터링 및 추적 서비스 등 활용 분야가 무궁무진하다. ETRI가 국산화 개발에 성공하면서 앞으로 국내 중소기업은 NB-IoT 분야에서 사업영역을 크게 확장할 수 있을 것으로 보인다. NB-IoT 개발과제 중 기지국 분야는 과학기술부가 2017년부터 2021년까지 추진하는 ‘셀룰러 기반 산업 자동화 시스템 구축을 위한 5G 성능 한계 극복 저지연, 고신뢰, 초연결 통합 핵심 기술개발’ 과제와 병합되어 진행되고 있다. 이 과제를 통해 ETRI는 2017년 각종 센서가 연결된 Rel-13 NB-IoT 상용단말과 자체개발한 Rel-13 NB-IoT 기지국 및 Core 장비를 한국생산기술연구원의 스마트공장 Model Factory에 구축하여, 스마트공장환경에서의 공정 모니터링 서비스를 국내 최초로 시연하였다.



NB-IoT 통신 및 센서 융합 칩



## 초고속 근접통신 필요성 대두

이동통신 기술의 발전에 따라 Wi-Fi, Bluetooth, NFC(Near Filed Communication) 등 다양한 서비스가 스마트폰의 일반 기능으로 제공되기 시작하였다. 또한, 미디어 파일 크기가 커지고 개인 미디어의 생성·전달·소비가 급증하면서 근접거리에서 빠르게 대용량 데이터를 전송할 수 있는 기술의 필요성이 대두되었다.

## 세계 최초로 초고속 근접통신 기술(Zing) 개발

이에 ETRI는 2013년 4월부터 '5G 시장지향형' 과제의 하나로 '근접거리 무전원 데이터 순간전송(Zing) 기술개발' 과제를 시작하였다. 본 과제에는 근접거리(10cm 이내)에서 60GHz 주파수 대역을 활용하여 기가급의 대용량 콘텐츠를 복잡한 접속 절차 없이 손쉽게 빠르게 송수신할 수 있는 3.5Gbps급의 초고속 근접통신 기술개발을 최종 목표로, 2017년 2월까지(47개월), 연구비 92억 원, 연구인력 연 74명이 투입되었다.

ETRI가 주관기관이 되어 Zing 모델과 태그용 RF 모듈을 개발하고, KETI(전자부품연구원)는 리더용 RF 모듈을 개발하는 한편, 사업화를 위해 (주)코프와 (주)LG이노텍 등이 공동연구기관으로 참여하였다. Zing은 사전적으로 윙윙 소리가 나게 빠르게 이동함을 뜻한다. 연구진은 5G 시대에 맞게 빠르게 전송한다는 의미로 초고속 근접통신 기술에 Zing이라는 이름을 붙였다.

과제 2차 연도에는 IEEE 802.3e의 표준이 시작되어 ETRI가 개발하고 있는 OOK(On-Off Keying) 방식 기반의 저 복잡도 무선전송 기술을 기고하기 시작하였다. 또한, 성능이 검증된 Zing 칩셋을 기반으로 무선저장장치인 태그 및 콘텐츠 서버와 연결된 리더 프로토타입을 제작하였다.

2015년 3차 연도 개발에는 시장지향형이라는 사업의 취지에 맞도록 모델과 RF가 통합된 칩셋 개발에 주력하였으며, 실험실 수준을 넘어 일반 국민에게 기술을 시연하였다. 2015년 12월 18일 첫 시연에서 연구진은 기존 Wi-Fi에서 30초 걸리던 1GB 영화를 3초 만에 다운로드하는 데 성공하였다. 또한, 2차례에 걸쳐 GLS(주)에 Zing 기술을 이전하여 상용화 및 글로벌 기술사업화를 추진하였다.

과제 종료 시점에 Zing 기술은 기존의 NFC(Near Field Communication, 근거리 무선 통신) 대비 8,000배 빠른 3.5Gbps급의 기가급 순간전송, NFC 대비 4천 배 개선된 30pJ/bit의 높은 에너지 효율을 구현하였으며, 60GHz 저 복잡도·저전력 기술을 적용하여 상



근접거리 무전원 데이터 순간전송(Zing) 기술개발

용화 가능성이 매우 뛰어난 것으로 평가되었다. Zing 기술은 2017년 2월 발행된 국제표준(IEEE 802.15.3e: High Rate Close Proximity)에 최종 반영되었다.

ETRI는 다양한 비즈니스 모델을 발굴하고 다수의 설명회를 개최하는 한편, 한국전자전과 ITU Telecomm World, 평창올림픽 강릉 ICT 홍보관 등에 제품을 전시하여 적극적으로 기술마케팅을 추진하였다. 이러한 노력을 인정받아 Zing 개발팀은 2017년 '미래성장동력 챌린지 데모데이'에서 미래창조과학부 장관상을 수상하였다. 또한, 2017년에는 Zing, MHN, 소형셀을 엮어 5G 통합과제 결과물로 제출한 '고속 대중교통 이용자를 위한 실감 인터넷 통신 기술'이 국가과학기술연구회의 '출연(연) 우수연구성과 10선'에 선정되기도 하였다.

## 스마트기기와 IoT로 무한 확장이 가능한 Zing

현재 Zing 기술은 파급효과가 큰 성공적인 기술로 평가되고 있으나, 처음 과제평가를 받을 때는 "Wi-Fi가 있는데 굳이 왜 개발하는가?"라는 질문을 많이 받았다. Wi-Fi만으로 충분하다는 고정관념 때문이었다. 그러나 ETRI는 끈질긴 의지로 초고속 근접통신이라는 새로운 영역을 개척하였다.

특히, 어려웠던 점은 SerDes(Serializer and Deserializer, 고속센서링크)를 확보하는 일이었다. 기존 연구를 통해 축적된 바가 없는 기술이었기 때문에 외부 전문가들을 일일이 찾아다니며 기술을 개발해야 했다. 또한, 모델, SerDes, RF, 안테나를 통합하는 과정에서 초고속 무선전송을 검증하는 것도 쉽지 않았다. 이러한 난관을 극복하고 ETRI는 2016년 10월 세계 최초로 국제표준(Draft) 기반의 초고속 근접통신 기술을 개발하는 데 성공하였다.

Zing 기술의 확산은 날로 증가하고 있는 스마트폰 네트워크의 트래픽을 분산하여 네트워크 제어 능력 향상에 기여할 것으로 보인다. 또한, 스마트폰뿐만 아니라, 스마트TV, AR/VR, 차량 내 엔터테인먼트, 무선저장장치 등 다양한 서비스와 제품에 적용될 수 있어 경제적 파급효과가 매우 크다. 아울러, Zing 기술의 'Touch & Get' UX(User Experience, 사용자 경험)를 IoT에 적용하면 IoT 통신 분야의 획기적인 발전을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

## LTE 기반 소형셀 기지국 SW(SORAN) 원천기술개발

4세대 LTE 이동통신이 확산하면서 이동통신 사업자들은 전국망 커버리지 확보를 위해 중계기보다 고성능인 ‘LTE 소형셀(Small Cell) 기지국’을 요구하기 시작하였다. 그러나 2010년대 초반까지만 해도 소형셀의 모뎀, 통신 프로토콜 스택 등 주요 핵심기술을 모두 외산에 의존해야 하는 상황이었다.

이에 ETRI는 2014년 3월부터 2018년 2월까지 ‘5G 시장지향형’ 과제의 하나로 ‘소형셀 기술개발’ 과제를 추진하였다. 소형셀은 기존 기지국보다 좁은 영역을 지원하는 작은 기지국으로, 대형 기지국의 역할을 여러 개의 소형셀이 분담함으로써 다양한 서비스를 효율적으로 구현하는 것이 가능하다. 본 과제에는 도심이나 빌딩, 가정에서 활용할 수 있는 LTE 기반 소형셀 기지국 SW 국산화를 목표로, 연간 약 54억 원(총 216억 원)의 예산이 투입되었으며, 이노와이어리스, 유캐스트 등의 중소기업이 공동연구기관으로 참여하였다.

연구 결과, LTE-FDD, LTE-TDD(7개의 Configuration 모두 제공), CA (Carrier Aggregation), eMBMS (enhanced Multimedia Broadcast and Multicast Service)그리고 5G의 근간인 이중연결성 기술 등을 개발하는 데 성공하였다. 이 기술들은 ‘언제 어디서나 끊김 없는 초고속 이동통신, 소형셀 핵심기술’이라는 이름으로 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

개발된 소형셀 SW에는 공모를 통해 ‘SORAN(SOftware for Radio Access Network)’이라는 별칭을 붙였다. 소란은 한국어로 밑알이라는 뜻인데, 여기에는 ETRI의 소형셀 SW가 관련 중소기업의 발전에 소중한 밑알이 되기를 기원하는 마음이 담겼다.

## 짧은 시간 안에 세계 최고 수준으로 도약

ETRI는 기존에 LTE, LTE-A 통신 SW를 개발한 경험이 있는 연구원들을 중심으로 과제 시작 1년 만에 LTE 상용단말과 접속 가능한 소형셀 기지국 SW 개발에 성공하였다. 이후 2차 연도에는 다양한 상용단말 접속 시험에 성공하였고, 3차 연도에는 군용에서도 활용이 가능한 LTE-TDD SW 기술을 개발하여 수출 기반을 마련하였다. 또한, 4차 연도에는 서로 다른 여러 개의 주파수 대역을 묶어 하나의 주파수처럼 속도를 끌어 올려주는 CA(Carrier Aggregation) 기술과 eMBMS(enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service, 멀티미디어 방송 다중송출 서비스) 기술을 개발하고, 64개 상용단말 동시접속에도 성공하였다.



LTE-A Pro TDD/FDD 소형셀 SW

LTE 소형셀은 원가절감을 위해 적은 메모리, 낮은 CPU 사양에 최적화된 SW를 개발하는 것이 중요하였다. 특히, LTE Scheduling Time 1ms 안에 모든 작업을 수행하면서 100Mbps 이상의 성능을 내는 것은 매우 도전적인 과제였다.

연구진은 이러한 문제를 해결하기 위해 축적된 기술력(Wireless Channel Emulator, PHY Emulator, 관련 GUI 등)을 바탕으로 윈도우 기반의 SW 개발환경인 ‘SOSIM(SORAN Simulator)’을 개발하여 디버깅이 어려운 타깃 시험 전에 다양한 시나리오를 만들었고, 타깃 시험 시작 1주일 만에 상용단말 접속에 성공하였다. 기존에 외산 SW를 들여와 상용단말 접속에 성공하는 데까지 약 6개월이 소요됐던 것에 비하면 엄청난 성과였다. 또한, SOSIM 기술 기반의 검증 환경인 SODAM (SORAN Diagnostic Monitor)도 구축하여 실시간으로 소형셀의 상태를 감시할 수 있도록 하였다.

과학적인 성과로는 LTE 소형셀 기지국이 많은 환경에서 발생할 수 있는 간섭제어, 강화된 이동성 관리, 이동성을 활용한 부하분산과 관련된 원천기술을 확보하여 다수의 국제특허와 우수 SCI 논문을 작성한 것이다. 예를 들면, LTE 소형셀 기지국은 매크로 기지국과의 간섭 이슈가 중요한 문제 중 하나였다. 이를 해결하기 위해 연구진은 셀 에지의 간섭제어를 가능케 하는 ABS(Almost Blank Subframe)에 적용하는 알고리즘을 개발하였고 국제특허를 확보하였다.

## 배낭형 기지국 등 활발한 상용화

LTE 기반 소형셀 기술들(운용보전, EPC 에뮬레이터 등)은 중소기업에 이전되어 활발하게 상용화되고 있다. 특히, 2018년에는 세계 최대 모바일 전시회인 ‘모바일 월드 콩그레스(MWC) 2018’에 유캐스트와 함께 참가해 배낭형 기지국을 전시하였고, 배낭형 기지국 중 일부인 EPC 에뮬레이터는 상용화되어 KT 재난 망에 납품되는 성과를 거뒀다.

후속 사업으로 ETRI는 2018년부터 2022년 종료 예정으로 SK텔레콤, 콘텔라, 유캐스트 등과 함께 ‘5G 무선접속(NR)기반 지능형 오픈 스몰셀 기술개발’ 과제를 수행 중이다. 또한, 2019년 4월부터는 5G 소형셀 칩셋 분야 최고 기술을 보유한 미국 퀄컴사와 국제공동 연구를 수행 중이다.



## 밀리미터파 기반 5G 기술 확보 필요성

WiBro 서비스가 조기 종료되고 LTE 이동통신망에 클라우드 RAN(Radio Access Network, 무선접속망) 구조가 채용됨에 따라 이동통신용 중계기를 주로 제공하던 국내 중소·중견기업들의 시장 및 기술경쟁력도 지속해서 약화되었다. 한편, 3GPP가 2012년 6GHz 이하의 셀룰러 주파수 포화에 대비하여 밀리미터파 기반 이동통신 표준화 추진을 제안하면서, 밀리미터파 기반 5G 이동통신 핵심 지식재산권을 선제적으로 확보하고 국제 표준화를 선도하기 위한 정부 차원의 연구개발이 필요해졌다.

## 과감한 First Mover형 도전으로 세계적인 성과 거둬

ETRI는 2013년 9월부터 2018년 4월까지 기가코리아사업의 일환으로 '밀리미터파 5G 이동통신 시스템 개발(GK-5G)' 과제를 추진하였다. 이는 정부출연금 615.7억 원과 민간부담금 289억 원이 투입되고, ETRI를 주관기관으로 하여 통신사업자와 장비제조업체를 포함한 16개 연구기관에서 연 240명이 참여한 대규모 연구과제였다.

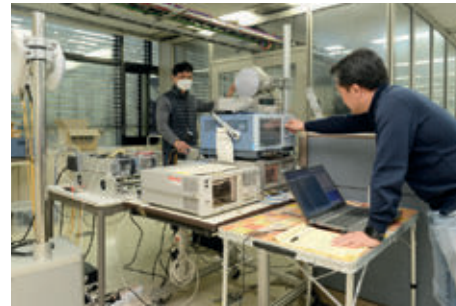
연구진은 '개인별 기가급 모바일 서비스 제공을 위한 밀리미터파(10~40GHz) 기반 광대역 이동통신 핵심 원천기술 및 시스템 개발'을 목표로 밀리미터파 기반 20Gbps급 5G 이동통신 기지국, 평균 1Gbps 최대 5Gbps 지원 5G 모뎀 기술, 20Gbps 5G 엑스홀 허브 및 10Gbps 엑스홀 터미널, 5G 이동통신 규격 등을 개발하고 국제표준화를 추진하였다.

ETRI는 기존의 Fast Follower 연구방식에서 탈피하여, 기술적 병목현상이 예상되는 분야를 선도적으로 해결하기 위한 First Mover 전략에 과감하게 도전하였다.

우선, 1차~3차 연도에는 밀리미터파 대역 신호의 높은 전파 감쇄 및 직진성으로 인한 서비스 커버리지 축소와 음영지역 확대 문제를 해소하기 위한 밀리미터파 채널 사운더(28GHz/39GHz)를 구축하고, 채널 측정을 진행하였다. 또한, 링크 및 시스템 레벨의 시뮬레이터를 개발하여 빔포밍(beamforming)<sup>50)</sup> 기반의 밀리미터파 5G 이동통신의 커버리지 확보 방안을 도출하였다.

아울러, 도출된 핵심기술을 반영한 전송·접속 규격을 개발하고, 이를 적용한 밀리미터파 이동통신 기지국·단말 초기 시제품을 개발하여 빔 스위칭 기반의 기지국-단말 1.2Gbps 무선전송을 성공적으로 시연하였다. 밀리미터파 무선전송을 위한 광대역 IF/RF 트랜시버 및 고이득 안테나 연구개발도 병행하였다.

사업 3차 연도인 2015년에 ITU-R이 5G 기술 요구사항을 확정하고, 3GPP가 5G 표준화



25Gbps급 무선백을 기술 개발

일정을 수립하였으며, WRC(세계전파통신회의)에서 5G 후보 주파수 대역이 확정되었다. 이러한 국제표준화 움직임에 대응하기 위하여 4~5차 연도 연구는 연구소와 학계 중심의 '밀리미터파 5G 이동통신 엑스홀 시스템 개발(Track-1)'과 통신사업자, 장비제조업체 및 산업체 중심의 '밀리미터파 5G 이동통신 액세스 시스템 개발(Track-2)'로 나누어 추진되었다. Track-1에서는 밀리미터파 기반의 새로운 이동성을 제공하는 엑스홀 무선통신 원천기술과 규격을 개발하고, 이를 바탕으로 20Gbps급 5G 이동통신 시스템 엑스홀 허브 및 최대 10Gbps를 지원하는 5G 이동통신 시스템 엑스홀 터미널을 개발하였다. 또한, 개발된 허브·터미널을 상용 LTE 소형셀의 이동 무선 백홀에 적용하여, 차량에 탑재된 LTE 소형셀 기지국과 엑스홀 터미널이 60km/h 이하의 속도로 이동하는 환경에서 상용 LTE 서비스를 제공하는 시험을 완료하였다. 이 기술은 '나를 위한 초실감 서비스, 밀리미터파 5G 이동통신 기술'이라는 이름으로 2016년 출연(연) '우수 연구성과 10선'에 선정되었다.

Track-2에서는 2018년 평창동계올림픽 5G 시범서비스 적용을 위하여 셀 당 최대 20Gbps 5G 이동통신 기지국 시스템, 평균 1Gbps 및 최대 5Gbps를 지원하는 5G 이동통신 모뎀 기술을 개발하고, 개발된 기지국과 단말 모뎀 칩셋이 적용된 단말기기를 이용한 시범서비스를 수행하였다.

본 기술들은 '밀리미터파 기반 이동통신용 액세스 및 엑스홀 시스템 개발'이라는 이름으로 2018년 '국가연구개발 우수성과 100선'에 선정되었다.

## CPDN 융합기술 신규 창출의 원동력 제공

GK-5G 사업은 밀리미터파를 5G 이동통신 네트워크 액세스와 엑스홀에 선도적으로 적용하는 창 의·도전적인 연구수행과 함께, 대학 중심의 원천기술개발, 출연(연) 중심의 표준기술 및 핵심 요소기술 확보 그리고 이동통신 분야 대기업-중소·중견기업 간 모범적 역할을 제시함으로써 단기적인 시장 확보뿐만 아니라 중장기적인 기술경쟁력 확보를 가능케 하였다. 또한, ETRI는 5G 이동통신의 핵심인 밀리미터파 이동통신 액세스 및 엑스홀 핵심 원천기술과 검증시스템을 개발하여 다수의 지식재산권과 표준특허를 확보하였다. 이를 통해 국내 장비제조업체 및 이동통신 사업자가 경쟁력을 가질 수 있게 되었고, 5G 상용화 단계에서 시장 선점의 기반을 마련하였다.

아울러, 밀리미터파 기술을 통한 개인별 기가급 트래픽 제공으로 용량과 속도 제약이 없는 콘텐츠·서비스 개발이 촉진될 것으로 예측되며, 콘텐츠와 서비스의 연동을 통해 시너지를 일으키는 실제적인 CPDN(Contents-Platform-Devie-Network) 융합기술 신규 창출의 원동력을 제공할 것으로 보인다.

50) 빔포밍(beamforming): 스마트 안테나(smart antenna)의 한 방식으로 안테나의 빔이 해당 단말에만 국한하여 비추도록 하는 기술이다.

1-3-5. Wi-Fi

Wi-Fi의 거듭된 진화

Wi-Fi(Wireless Fidelity)는 IEEE가 제정한 무선랜 표준으로, 실내외 공간에서 랜선 없이 자유롭게 인터넷 데이터를 전송하기 위해 개발되었다. 초기에는 사무실이나 집에서 노트북을 쓸 때 주로 사용하였으나, 최근에는 스마트폰, 태블릿, 가전제품, IoT 단말 등으로 사용범위가 크게 확장되어 산업적·기술적·사회적 중요성이 매우 커졌다.

Wi-Fi가 최초로 상용화된 것은 1999년이다. IEEE는 5GHz 대역에서 802.11a, 2.4GHz 대역에서 802.11b 표준을 각각 제정하였다. 최대 속도는 802.11a가 54Mbps, 802.11b가 11Mbps다. 2003년에는 2.4GHz 대역에서도 54Mbps 속도의 802.11g 표준이 상용화되었다. 2009년에는 802.11n 상용화로 최대 전송속도가 600Mbps로 높아졌다. Wi-Fi Alliance(국제 Wi-Fi 협회)는 802.11n을 Wi-Fi4로 명명하였다. 이후 2013년에 802.11ac 규격의 Wi-Fi5가 상용화되면서 5GHz 대역에서 최대 3.5Gbps 속도가 가능해졌다. 2020년 현재 사용 가능한 최신 기술규격은 Wi-Fi6인 802.11ax로, 최대 전송속도는 9.6Gbps다. Wi-Fi7인 802.11be 표준은 2023년 출시 예정이며, Wi-Fi6보다 두 배 이상 빠르고 5G와 비슷한 20Gbps 전송속도를 구현할 것으로 보인다.

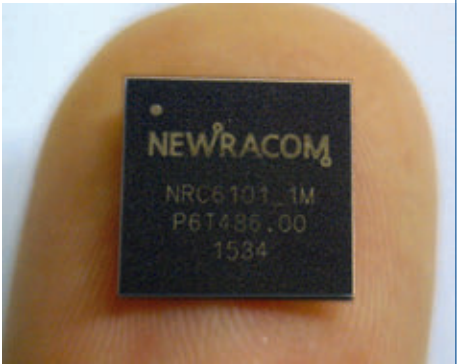
어디서나 끊김 없이 빠른 차세대 Wi-Fi 구축

ETRI는 2001년 ‘5GHz 광대역 무선접속망 정합 장치 개발’ 과제와 ‘60GHz 광대역 무선 LAN 기반기술개발’ 과제를 통해 무선랜 관련 기술개발을 시작하였다. 또한, 2001년 4세대 이동통신 기술개발을 기획하는 과정에서 향후 이동통신의 보완재로서 무선랜의 중요성이 커질 것이라는 판단에 따라 관련 연구계획을 수립하였다. 이에 2002년부터 IEEE802.11a 무선랜 기술개발을 본격적으로 진행하기 시작하였으며, 2006년에는 IEEE802.11n 모뎀 칩셋 개발을 수행하였다.

이후로 ETRI는 Wi-Fi 관련 연구를 크게 ‘핵심 원천기술개발 유형’과 ‘모뎀 칩셋 개발 유형’으로 나눠 추진하였다. 핵심 원천기술개발 유형으로 우선 2006년부터 ‘NoLA(Nomadic/Local Area Wireless Access)’ 과제를 수행하였다. 과제의 목표는 저속이동시스템용 3Gbps급 무선전송 규격과 시험 시제품 개발이었다. 연구진은 연구를 시작한 지 불과 1년 6개월여 만에 세계 최고 성능인 3.6Gbps 무선전송 모뎀을 실시간으로 구현하는 데 성공하였다.



세계 최초 3.6Gbps 4세대 무선전송시스템 개발



국제표준 기반 단말용 저전력·장거리용 와이파이칩 최초 개발

또한, 2007년에는 4세대 이동통신(IMT-Advanced)의 정지·저속(3km/h) 이동 시 최소 요구 규격인 1Gbps보다 3배 이상 빠른 3.6Gbps 전송속도를 제공하는 ‘저속이동형 무선전송시스템’을 세계 최초로 개발함으로써 CDMA, Wibro에 이어 또 하나의 원천기술을 확보하였다.

2009년부터 2011년까지는 ‘IEEE 802.11 VHT 초고속 무선랜 무선전송 연구’를 수행하였다. 이때부터 ETRI는 원천기술개발과 표준화를 동시에 진행하여 개발된 기술을 표준에 대거 반영하는 성과를 거두기 시작하였다.

모뎀 칩셋 개발 유형으로는, 2006년 ‘200Mbps급 IEEE 802.11n 모뎀 및 RF 칩셋 개발’ 과제를 시작하였다. 삼성전자, 텔레칩스, 라온텍, 마이크렐(해외) 등 다수의 기업과 협력하여, ETRI는 270Mbps급 초고속 무선랜 칩 개발에 성공하였다. 기존 무선랜 칩의 전송속도가 11~54Mbps이었던데 반해, 개발된 칩은 전송속도를 5~20배까지 대폭 증가시켜 270Mbps까지 전송 가능하였다.

2012년부터 2014년까지는 스마트폰용 Wi-Fi SoC(System on Chip) 개발을 목표로 ‘Gigabit Wi-Fi 칩셋 기술개발’ 과제를 추진하였다. 여기에는 LG전자, 마이크렐 등이 참여하였다. 스마트폰용 wireless connectivity SoC에는 Wi-Fi 모뎀은 물론 프로세서, 블루투스 모뎀, 다양한 외부인터페이스 등이 포함되기 때문에 개발 난이도가 매우 높다. ETRI는 공동연구기관들과 유기적인 협력 연구를 수행함으로써 세계적인 수준의 Wi-Fi SoC 개발에 성공하였다. 특히, 베이스밴드 및 MAC(medium access control) 계층의 성능은 세계 최고 수준과 동일하였다.

2013년부터 3년간은 ‘미래 사물 지능통신 서비스를 위한 초고속 광역 Wi-Fi 기술개발’ 과제를 수행하였다. IEEE 802.11a/b/g/n/ac과 같은 기존의 Wi-Fi 기술은 보통 수십 미터 반경 이내의 사물 또는 단말에 초고속 데이터통신서비스를 제공하는 수준이었다. 그러나 ETRI는 1GHz 이하의 비면허 주파수 대역 및 TV 유휴 주파수 대역을 사용하여 반경 1km 이내의 사물·단말에 초고속 데이터통신 서비스를 제공하는 Wi-Fi 기술에 도전하였고, 그 결과 세계 최초로 IEEE802.11ah<sup>51)</sup> SoC 칩셋을 개발하는 데 성공하였다. 또한, IEEE802.11 표준화도 적극적으로 추진하여 IEEE802.11ac 및 IEEE802.11ah 관련 다수의 표준특허를 확보함으로써 막대한 로열티 수입을 창출하였다.

국내 최초로 연구팀 전체 참여하여 ‘뉴라텍’ 창업

2014년에는 Wi-Fi 관련 연구를 하던 무선랜접속제어연구실과 무선랜전송연구실 연구원 28명이 뉴라텍(NEWRATEK, 대표 이석규)이라는 연구소기업을 창업하였다. 1인 또

51) IEEE802.11ah: 1GHz 이하의 비면허 주파수 대역을 사용하는 무선랜 표준이다.





NoLA ITU-R 전시회(2008. 10. 서울)

는 소수의 공동 창업이 아닌, 특정 분야의 연구팀 전체가 창업에 참여한 사례는 뉴라텍이 국내 최초였다.

당시 ETRI는 소수 인력으로 창업하는 연구소기업이 초기에 겪게 되는 연구역량 및 인력 부족 문제를 해결하는 차원에서 연구팀 창업을 유도하였다. 또한, ‘창업 아이템 검증→예비 창업 지원→창업 후 자금·인력 지원→시장 성공적 안착→지속적 애로사항 모니터링·지원’으로 이어지는 스타트업 엑셀러레이팅 프로그램을 가동하여 회사 설립 과정을 지원하였다. 그 결과, 뉴라텍은 창업 7개월 만에 국내 투자기업인 밸류인베스트코리아로부터 150억 원의 투자를 유치하는 데 성공하였다.

## 위성 지구국/기상국

‘위성통신 지구국’ 개발은 국내 전자·정보통신 대기업 5개 사가 참여한 가운데, 캐나다의 MPR Teltech사와 이탈리아의 Alenia Spazio사를 공동연구기관으로 선정하여 진행되었다. 그 결과, ETRI는 1994년 저속데이터 전용 지구국(VSAT)과 도서벽지·행정통신 지구국(DAMA·SCPC) 시스템을 개발하고, 상용화하는 데 성공하였다.

한편, 방송의 디지털화가 시작되면서 ‘디지털 위성방송 지구국’ 기술개발에도 착수하였다. ETRI는 TDM 방식을 도입하여 1개의 중계기로 HD급 10개 이상의 채널을 수용하는 기술을 개발하였다. 본 방식은 20여 년이 지난 지금도 최적의 기술로 평가받는다. 이를 토대로 우리나라는 아날로그 방송 시절이던 2004년부터 전국에 24시간 HDTV 위성방송 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 이후로 ETRI는 2세대 표준인 ‘DVB-S2 기반 위성전송 핵심기술’, ‘21GHz 대역 위성방송 전송 기술’, ‘채널 적응형 실감 위성방송 전송 기술개발’ 등을 계속해서 개발 및 표준화하였다. 특히, 2018년과 2019년에는 KT Skylife와 함께 천리안위성을 통해 전송된 8K급 UHD 시험방송을 성공적으로 수행하였다.



위성방송이동수신 능동안테나 해상 시연회

기후변화의 영향으로 자연재해 발생 양상이 대형화·다양화되고 이로 인한 인적·물적 피해가 급증하면서, 전 지구적 기상상태를 관측하여 기후예보에 활용하는 기상위성의 중요성이 커졌다. 이에 ETRI는 2014년부터 2019년까지 천리안 2A호 위성의 다채널·고해상도·대용량 관측 자료를 연속적으로 수신·처리·분석·관리하고 이를 서비스할 수 있는 ‘정지궤도 기상위성 지상국’을 개발 및 구축하였으며, 이를 통해 기상예보의 정확도를 크게 향상하였다.

아울러, 1990년대 말 미국의 위성항법 시스템인 GPS(위성위치확인시스템) 유료화에 대한 논란이 일면서 각국이 독자적인 위성항법 시스템을 구축하기 시작하자, ETRI는 항법 신호 다원화에 대응하기 위해 미국의 GPS와 EU의 갈릴레오 위성항법 신호를 모두 처리할 수 있는 ‘GPS/갈릴레오 복합수신기 기술’과 ‘SW 기반의 GPS/갈릴레오 신호를 생성하고 수신 처리하는 위성항법 환경 시뮬레이터’를 개발하였다. 2011년에는 이 기술을 토대로 ‘GPS 전파 교란 감시시스템’ 및 ‘HW 기반 위성항법 신호 생성기’를 개발하여 GPS 기반 공격대응을 통해 한국형 위성항법 시스템의 초석을 마련하였다.

위성 탑재체 및 RF

위성의 두뇌에 해당하는 ‘위성통신 탑재체 개발’은 1996년부터 시작되었다. ETRI는 2002년까지 아날로그 타입의 위성 탑재체 시스템에 관한 기술 축적을 완료하고, 이를 바탕으로 독자 위성에 탑재할 통신시스템 국산화 연구에 착수하였다. 당시 ETRI는 위성통신 분야 후발 주자였으나, 위성파와 지상파 간 송수신 장치를 일반 반도체처럼 집적화하는 ‘초고주파 반도체화 기술’을 적용하여 위성통신이 갖춰야 하는 모든 고려사항을 만족하는 우수한 탑재체 개발에 성공하였다. 그리고 마침내 2010년 ETRI를 중심으로 개발한 시스템을 탑재한 정지궤도 복합위성 천리안 1호가 성공적으로 발사되었다. 이로써 대한민국은 세계 최초의 정지궤도 해양관측 위성 보유국이자, 세계 7번째의 기상관측 위성 보유국이 되었다. 한편, ETRI는 위성통신에 필요한 높은 주파수 대역의 다양한 위성통신 탑재체용 RF(초고주파) 부품 및 지상단말 RF 부품의 국산화 개발에도 성공하였다.

아울러, 1996년부터는 위성방송용 능동안테나 시스템 개발에도 돌입하였다. 2003년에는 당시 일부 선진국에서 군용 레이더에만 적용하던 능동 위상배열 기술을 세계 최초로 민수용 제품에 적용하여, 차량용 이동 위성인터넷 접속 안테나인 MSIA와 선박 탑재용인 MoBiSAT를 개발하였다.



아시아태평양 위성통신위원회 SG회의



다목적 실용 위성관제 시스템 시연회(1999. 3.)

위성 관제 및 시스템

정부는 1995년 범부처 사업으로 ‘다목적 실용위성 개발’ 사업을 시작하였다. 다목적 실용위성은 고도 685km 상공에서 태양 동기 궤도를 따라 지구 주위를 공전하며 하루 3~4회 한반도 상공을 지나는 저궤도 관측 위성이다. 본 사업은 미국 TRW와 항공우주연구원이 위성체를 공동 제작하고, 관제시스템은 ETRI가 독자기술로 개발하는 형태로 추진되었다. 당시 사업 전체에서 관제시스템 분야만이 유일한 단독 국산화 개발이어서 ETRI 연구원들은 상당한 부담감과 책임감을 동시에 느껴야 했다.

부단한 노력의 결과, 1999년 12월 21일 ETRI의 관제시스템을 이용하여 운용될 다목적 실용위성 1호가 성공적으로 발사되었다. ETRI는 이후로도 다목적 실용위성 2호, 3호, 5호를 위한 관제시스템을 지속해서 개발하였으며, 시스템의 경량화와 객체지향기법 등 신기술 접목을 이루어냈다.

한편, 정부는 2003년부터 2010년까지 다부처 협력으로 정지궤도 복합위성인 ‘천리안위성 개발’ 사업을 시작하였다. 전체 사업에서 ETRI가 담당한 분야는 Ka 대역 통신 탑재체, 시험지구국, 정지궤도 위성 관제시스템이었다. ETRI는 기술개발 시작 시점에 이미 이들 분야에 대한 핵심 원천기술을 보유하고 있었다. 이러한 기술력을 토대로 국내의 여러 전문업체와 함께 통신탑재체 개발을 위한 설계는 물론 시험과정을 원활히 수행하였으며, 그 결과 2010년 천리안위성을 성공적으로 발사 및 운영할 수 있게 되었다.



## 1-4-1. 위성 지구국/기상국

### 독자 위성 확보의 꿈, 위성통신 지구국 개발

1980년대 정부는 급증하는 통신수요를 충당하기 위해 위성통신 서비스 도입을 계획하였다. 이에 ETRI는 1983년 통신·방송 위성 타당성 연구를 시작으로, 1985년부터 1988년까지 금성전기, 대우통신, 동양전자통신(OTELCO), 삼성전자, 현대전자산업 등 5개 업체와 공동으로 ‘위성통신 지상 시스템 기술개발’ 사업을 진행하였으며, Ku 대역(12~14GHz) 사전할당 디지털 SCPC<sup>52)</sup> 방식의 위성통신 지구국<sup>53)</sup> 시험시스템을 개발하였다.

이후, 국내 독자 위성을 개발해야 한다는 의견이 대두되고, 1989년 2월 체신부의 주요업무 대통령 보고를 통해 국내 단독위성 확보 방침이 확정되면서 ‘국내 위성사업 종합 추진 계획’이 수립되었다.

이듬해 7월 정부는 ‘위성사업단’을 발족하고, ETRI를 주관기관으로 하는 ‘위성통신 지구국 개발’ 사업을 시작하였다. 당시 국내 기업들은 위성통신 개발에 매우 큰 관심을 보였다. 내로라하는 전자·정보통신 대기업 5개 사 모두가 위성통신 개발에 뛰어들어 본 사업에 참여할 정도였다. 또한, 국내 위성통신 기술 수준이 매우 낮아 세계적인 선진기업과의 국제공동연구가 필수적이었으므로, 캐나다의 MPR Teltech 사, 이탈리아의 Alenia Spazio 사를 공동연구기관으로 선정하여 협력 연구를 추진하였다. 이에 따라 캐나다 밴쿠버에 4개 기관(ETRI, 금성정보통신, 삼성전자, 현대전자산업), 이탈리아 시칠리아에 3개 기관(ETRI, 대우통신, 동양전자통신)의 대규모 연구진이 파견되었다.

1990년대에 36,000km 상공의 정지위성과 접속하는 위성통신지구국의 SCPC 방식은 음성 위주의 트래픽에 적합한 요구할당방식으로 발전하고 있었으며, 데이터 전송을 위한 VSAT 시스템은 1개의 반송파에 다수의 단말 사용자를 수용하면서 주파수 효율도 뛰어난 TDMA<sup>54)</sup> 방식을 사용하는 매우 도전적인 기술들이었다. 그렇지만 ETRI는 주파수 자원의 부족과 고속 데이터 수요를 고려하여 첨단기술인 요구할당 방식의 SCPC방식과 TDMA 방식의 기술개발을 추진하였다.

이러한 노력을 통해 연구진은 저속데이터 전용 지구국(VSAT)과 도서벽지·행정통신 지구국(DAMA·SCPC) 시스템을 개발하는 데 성공하였다. 특히, ETRI는 위성통신 링크 및 시스템 설계 기술, 디지털 변복조 기술, 위성 자원 할당 및 관리 기술, 위성망 관리 및 채널 적응형 위성전송 기술 등을 확보하였다. VSAT 시범망은 1993년부터 임차위성인 인텔



VSAT 시스템 및 시범서비스 운용환경

52) SCPC(Single Channel Per Carrier): 1개 캐리어 당 단일 채널을 수용하는 통신 기술이다.

53) 지구국: 통신위성이나 우주선 등에 설치된 무선국과 통신하기 위하여 지상에 설치한 무선국을 말한다.

54) TDMA(Time Division Multiple Access, 시분할다중접속): 하나의 중심 지구국에 여러 사용자가 접속하여 동시에 데이터를 송수신할 수 있게 해주는 기술이다.



이동형 광대역 위성 VSAT 시스템 및 단말국

55) DVB-RCS2(Digital Video Broadcast - 2nd Generation DVB Interactive Satellite System): 위성을 통한 디지털 데이터 전송을 위한 2세대 ETSI 표준이다.

샷-3을 통해 운용되었다. 상기 두 기술 모두 ETRI 역사상 최초의 성공적인 국제공동연구 사업이었다.

### 멀티미디어 서비스를 위한 위성통신으로 진화

고정형 위성통신 지상 시스템 개발에 이어, 2003년부터 3년 동안 이동성과 광대역성이 제공되는 ‘이동형 위성 광대역 위성통신 시스템 기술’을 개발하였다. 이를 통해 선박, 항공기, 고속철도, 버스와 같이 고속으로 이동하는 이동체에서도 위성을 이용해 초고속 인터넷과 위성방송, 인터넷 전화 등의 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 환경을 마련하였다. 본 기술은 ‘이동형 광대역 VSAT 시스템’이라는 이름으로 2006년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

또한, 2010년 이후에는 위성통신의 고성능화가 가능한 ‘공공안전 재난 위성통신 전송 지구국 시스템’을 개발하였으며, 2015년에는 국내 최초로 ‘양방향 적응형 2세대 VSAT 시스템’을 개발하고 천리안위성을 이용하여 기술 및 성능검증에 성공하였다. 이는 정지궤도 위성을 이용하여 다수의 VSAT 사용자들을 대상으로 음성, 데이터, 영상 등의 대화형 멀티미디어 서비스를 양방향으로 제공하는 광대역 위성 멀티미디어 접속 서비스 시스템 기술이다. ETRI는 2세대 VSAT 전송 기술 표준화 연구의 일환으로 DVB-RCS2<sup>55)</sup> 표준화에 참여하였으며, 고속 이동체 대상 위성통신 서비스에 대응하는 DVB-RCS2+M 표준기술을 개발하고 지식재산권을 확보하였다. 또한, 2017년에는 해경의 소형 경비정에 DVB-RCS2 단말을 설치하여 천리안위성을 이용한 PS-LTE망 연동을 통해 화상통신 시연을 성공적으로 수행하였다.

### 국내 위성통신 산업 이끈 ETRI

1994년 현대전자와 공동으로 VSAT 시스템을 응용한 ‘무선호출 데이터 전송 지구국 시스템(PAGES)’을 개발하고, 1995년 한국이동통신(현 SKT)에 지구국 시스템을 구축함으로써 VSAT 시스템의 상용화에도 성공하였다.

또한, 2003년에 개발한 국제 개방형 표준인 ‘DVB-RCS 규격 기반 1세대 VSAT 지구국’은 펜타미디어(현 ASAT)에 이전되어 상용화 후 UAE에 수출되었으며, 우리나라 해경에 납품되어 작전에 활용 중이다. 이 기술은 2006년 삼성탈레스(현 한화시스템)에도 4.1억 원에 이전되었다. 이는 당시 단일 기술이전으로는 파격적인 금액이었다.

최근 대규모 재난재해 발생에 대응하기 위한 수요와 해상에서의 군·해경 작전을 위한 위성통신 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 또한, 해상, 공중, 오지 등으로 5G 서비스가 확산하

면서 위성통신의 역할은 점차 증대되는 추세이다. 아울러, 위성발사체의 재사용으로 위성 발사 비용이 낮아지고, 고효율 위성통신(HTS, High Throughput Satellite)으로 통신 비용도 낮아져 앞으로 위성통신의 수요는 급증할 것으로 예상된다.

후속 과제로 2018년부터 2021년까지 ‘재난현장 지원용 소형 운반형 위성중계 장비(SNG) 개발’ 과제를 진행 중이다.

## 세계 2번째 디지털 위성방송 기술 확보

2002년 3월 KT Skylife(전 한국디지털위성방송사)는 전 국민을 대상으로 한 방송서비스의 보편적 제공과 음영지역의 난시청 해소를 위해 위성방송 전파를 발사하였다. 우리나라는 세계 2번째(아시아 최초)로 디지털전송방식을 도입하고, 45cm 안테나와 디지털 방송 수신기인 셋톱박스만 설치하면 전국 어디에서나 동일한 품질로 방송시청이 가능하도록 한 획기적인 기술개발이었다.

이 시도의 기술적 근간은 ETRI의 ‘고선명 TV 전송 기술개발’ 과제였다. 과제는 방송 지구국 송신국과 수신 단말을 통해 시청자에게 고화질 다채널 방송서비스를 제공하는 것을 목표로 1993년부터 1998년까지 진행되었다.

이 과제에서 MPEG-2/4 기반의 디지털 영상처리와 디지털 위성방송 수신기술의 기반을 구축하였고, 이를 토대로 다채널의 고선명(HD) 위성방송 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 또한, 과제를 통해 확보한 위성방송 전송 기술과 2000년부터 2002년까지 수행한 ‘한·일 초고속 위성통신 공동실험’ 결과를 토대로, ETRI는 ‘2002 한일월드컵’에서 실시간 3DTV 방송중계 시범서비스를 제공하는 데 성공하였다. 당시 한국과 일본 정부는 월드컵 공동개최를 기념하며 문화행사와 월드컵 축구경기 실험을 고화질 위성방송으로 전송하도록 합의하였으며, 한국은 3DTV 위성방송, 일본은 3D 파노라마 방송시스템을 구축하고 방송을 송출하였다.

## 다양한 후속 과제로 국내 위성방송 기반 마련

후속 과제로 2004년부터 3년간 ‘광대역 적응형 위성통신·방송 융합기술개발’ 과제를 수행하였다. 이를 통해 2세대 표준인 DVB-S2 기반 위성전송 핵심기술들을 확보하고, DVB-S2 모뎀 ASIC 칩을 성공적으로 개발하였다. 이 기술은 천리안위성을 이용한 실험



2002 한일월드컵 3DTV 위성방송 한·일 중계

방송을 통해 검증 후 상용방송에 활용되었다. 특히, 본 과제로 개발된 ‘다채널 고화질 위성 방송 전송 기술’은 2003년~2005년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

DVB-S2 기반 위성전송 기술을 TTA 표준에 반영하고, 방송업무용 무선설비 기술기준 고시를 통해 다채널 HD 방송이 가능한 환경을 조성하였다. 이때부터 DVB-S2 표준방식에 따라 신속하게 기술을 개발하고, 이를 국내 단체표준으로 채택하여 급변하는 방송 방식 전환에 발 빠르게 대응하는 전략을 추진하였다. 그 결과, DVB-S, S2, S2X 전송 기술개발과 즉시 적용으로 우리나라는 SD, HD, 3D, 4K UHD 방송을 선도적으로 도입할 수 있었다.

이와 함께, 2007년부터 2009년까지 ‘21GHz 대역 위성방송 전송 기술개발’ 과제를 진행하여, Ka 광대역 위성방송에 적합한 방송 방식을 연구하고 강우 감쇠<sup>56)</sup> 등 채널 상태에 적응적인 방송 기술과 고속화 기술을 개발하였다. 그 결과, 중계기 당 100Mbps가 가능한 전송 기술을 확보하였고, 광대역 방송이 가능하게 되었다. 개발된 Ka 위성방송 기술은 TTA 단체표준과 미래창조과학부의 무선설비 규칙에 반영 및 고시되었다.

한편, 광대역 방송 기술을 토대로 한 3DTV 방송을 KT Skylife와 공동으로 천리안위성을 통해 검증하고, 그 결과를 토대로 2010년 6월부터 세계 최초의 24시간 3DTV 위성방송 서비스를 시작하였다.

2011년부터 2014년까지는 ‘채널 적응형 실감 위성방송 전송 기술개발’ 과제를 추진하였다. 이를 통해 ACM(Adaptive Coding and Modulation, 적응형 코딩 변조) 기술과 SVC(Scalable Video Coding, 스케일러블 비디오 코딩) 기술, DVB-S2X 기술을 확보하였다. 또한, 위성 채널 상태에 적응하여 4K-UHD·HD·SD급 방송으로 자동 전환되어 방송 끊김이 줄어드는 기술을 개발함으로써, 강우에 취약한 위성방송의 고질적 문제를 해결하였다. 천리안위성을 이용한 3DTV 및 4K UHD 실험방송을 통해 이 기술들을 검증함으로써 안정적 상용 서비스의 기반을 마련하였다. 이로써 국내에 안정적인 초고화질 4K UHD 위성방송 서비스가 가능하게 되었다.

‘8K 위성방송 서비스 기반기술개발’, ‘평창동계올림픽 대비 8K급 위성방송 서비스 기반기술 연구’, ‘국내 위성방송 서비스 확대를 위한 위성방송 기술환경 분석’ 등의 후속 과제를 통해 계속해서 국내 위성방송의 기술적 토대를 만들어가고 있다. 특히, 2018년과 2019년에는 KT Skylife와 함께 천리안위성을 통해 전송된 8K급 UHD 시험방송을 성공적으로 수행하였다.

56) 강우 감쇠: 파동이나 입자가 물질 통과 시 일부가 흡수·산란해 에너지나 입자 수가 감소하는 현상을 말한다.





천리안 위성

### 천리안 2A호 운용에 따른 기술고도화 필요성 대두

‘정지궤도 기상위성 지상국 기술’은 적도 상공 35,670Km 정지궤도에 기상위성을 배치하여 지구상의 기상상태를 실시간으로 촬영한 영상자료와 지구 주위 정지궤도 상의 우주 기상상태를 탐측한 우주기상자료를 수신·처리·분석·서비스하는 기술이다. 최근 기후변화의 영향으로 자연재해 발생 양상이 대형화·다양화되고 이로 인한 인적·물적 피해가 급증하면서, 전 지구적 기상상태를 관측하여 기후예보에 활용하는 기상위성의 중요성은 더욱 커지고 있다.

현재 한국은 2010년 발사한 통신·해양·기상 복합위성인 천리안1호 위성의 기상관측 임무가 종료됨에 따라 2018년 12월 차세대 기상위성인 천리안 2A호를 발사하여 운용하고 있다. 이에 천리안 1호 위성의 지상국보다 기능 및 성능 측면에서 크게 향상된 기상위성 지상국 기술개발이 요구되었다.

### 정지궤도 기상위성 지상국 개발

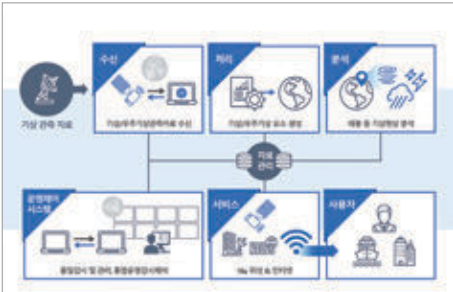
ETRI는 2010년대 초반부터 천리안 2A호 지상국 개발을 위한 전 단계 작업으로, 핵심기술에 대한 사전 조사와 개발 방향을 정립하였으며, 지상국 개발사업에 대한 예비타당성 분석에도 참여하였다. 그리고 이를 바탕으로 2014년부터 2019년까지 ‘정지궤도 기상위성 지상국 기술개발’ 과제를 수행하였다. 본 과제에는 ETRI, 한국항공우주연구원, 한국천문연구원과 18개의 대학, 8개의 중소기업이 참여하였다. 과제의 목표는 ‘천리안 2A호 위성의 다채널·고해상도·대용량 관측 자료를 연속적으로 수신·처리·분석·관리하고, 이를 서비스할 수 있는 지상국 개발 및 구축을 통해 기상예보의 정확도를 향상하고 환경·해양 등 타 위성 자료와의 융합 활용방안을 마련하는 것’이었다.

사업은 설계 단계(요구사항, 규격, 예비설계, 상세설계, 최종설계), 시스템 구축 단계, 시험 및 검증 단계, 운영준비 단계로 수행되었다. ETRI는 각 단계가 종료될 때마다 세계 최고의 기상 전문가들로 구성된 기술검토 회의(SRR, SDR, PDR, CDR 등)를 진행하여, 객관적으로 문제점을 점검하고 보완한 후 다음 단계로 넘어가는 방식을 도입하였다.

그동안 축적해 온 첨단 ICT 기술을 최대한 접목하여 본 과제를 수행하였다. 그 결과 99.4% 이상의 신뢰도를 얻었으며, 기존 대비 1,000배 이상의 대용량 기상자료를 초고속 처리하는 병렬화 처리기법(Open MP, MPI, Hybrid 기법 등), 관측 해상도 그대로 위성을 통해 기상 방송 서비스를 제공하는 중대형 기상방송 수신기(기술이전 2건), 세계 최초의 선박용 소형



천리안위성 궤도내 시험결과 검토회의



기상위성 지상국 개념도

기상방송 수신기, 한반도 및 동아시아 환경에 적합한 세계 최고 수준의 기상자료 처리 알고리즘, 실시간 검·보정 및 품질 비교 감시 기술 등 독자적이고 창의적인 기술들을 개발하였다. 이 기술들은 ‘똑똑한 기상 지킴이, 기상위성 지상국’이라는 이름으로 2019년 ‘출연(연) 우수 연구성과’와 2020년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, 2019년 ETRI 대표 성과 국가·사회 문제해결 성과 분야 최우수상(한국전자통신연구원 원장상)을 수상하였다. 연구진은 천리안 2A호 위성이 발사되기 전, 지상국에 대한 1차 구축 및 통합시험을 완료하여 지상국 운영 가능성을 확인하였고, 2018년 12월 5일 위성이 발사된 후에는 궤도 내 시험을 거쳐 각종 기상 산출물들이 정시에 안정적으로 생산됨을 확인하였다. 2019년 7월 25일, 기상청장은 천리안 2A호 서비스 개시를 공식적으로 선언하였다. 이후 ETRI는 2019년 12월까지 지상국 운영자 교육 및 지상국 시스템 보완작업을 수행하고, 인수인계 시험을 거쳐 기상청에 공식적으로 지상국을 인도하였다.

이와 함께, ETRI는 기상위성을 보유하지 못한 태국, 필리핀 등 동아시아 국가들을 위해 관측 해상도를 그대로 제공하는 위성 기상방송 시스템을 구축하였으며, 현재 서비스를 제공하고 있다.

### 국민의 삶의 질 개선과 관련 산업 진흥

ETRI를 중심으로 개발한 ‘정지궤도 기상위성 지상국 기술’은 기상예보 정확도 향상과 기후변화 예측능력 향상으로 국민의 삶의 질을 개선하였고, 기상정보 활용 관련 업체(항공, 물류, 보험 등)의 비용 절감 및 매출 신장에 기여하였다. 특히, 관련 업체들의 동남아 시장 장비 수출 기대효과는 약 2,500만 달러에 달할 것으로 보인다.

2020년부터 지상국 운영상의 보완점이나 시스템·알고리즘의 성능개선을 위한 ‘지상국 성능 개선사업’과 ‘지상국 유지·관리사업’을 수행하여 더 정확하고 안정적인 지상국 운영이 이루어질 수 있도록 노력하고 있다. 또한, 천리안 2A호 위성을 이을 차기 기상위성 지상국 개발을 위한 기획 연구를 추진할 계획이다.

### GPS/갈릴레오 복합수신기 기술개발

위성항법<sup>57)</sup> 기술은 이동통신, 방송, 교통, 금융, 전력, 농업, 레저 등 국민의 일상과 국가 경제·사회에 없어서는 안 될 핵심적인 역할을 하고 있다. 특히, 자율주행차·드론(무인기)·

57) 위성항법(satellite navigation): 인공위성을 이용한 위치결정 시스템이다.



GPS/갈릴레오 복합수신기

위치기반 서비스(LBS) 등의 등장과 함께 센티미터(cm) 단위까지 구별할 수 있는 초정밀 PN T(Positioning · Navigation · Timing, 위치 · 항법 · 시각) 정보 수요가 급증하고 있다. 1990년대 말 미국의 위성항법 시스템인 GPS(위성위치확인시스템) 유료화에 대한 논란이 일자, 각국은 독자적인 위성항법 시스템을 구축하기 시작하였다. EU는 갈릴레오 프로젝트를, 일본은 미국과 연합하여 QZSS(준천정위성시스템)를, 중국은 COMPASS 시스템 개발을 추진하였다.

이렇게 항법신호가 다원화됨에 따라 다양한 신호를 동시에 처리할 수 있는 수신기 기술이 필요해졌다. 이에 ETRI는 2007년부터 2010년까지 ‘위성항법 지상국 시스템 기술개발 및 탐색구조 단말기 개발’ 과제를 추진하였다.

당시 EU는 갈릴레오 프로젝트를 추진하며 시스템 · 시장 측면에서의 우군을 확보하기 위해 세계 각국에 참여의 기회를 열어두었다. 이스라엘, 중국, 모로코 등 다수의 국가가 참여하였고, 우리나라도 참여를 결정, 2006년 9월에 ‘한-EU 갈릴레오 협정’을 맺었다.

이후 ETRI는 미국의 GPS와 EU의 갈릴레오 위성항법 신호를 모두 처리할 수 있는 ‘GPS/갈릴레오 복합수신기 기술’ 개발에 돌입하였다. 그 결과, 2010년 GPS/갈릴레오 통합위성항법 지상국을 위한 GPS/갈릴레오 수신기, 위성항법 메시지 업로드를 위한 상향링크국 기술, 시스템의 감시제어를 위한 감시제어국과 갈릴레오 서비스 중 하나인 양방향 탐색구조 단말기 기술 등을 개발하였다. 이는 다원화된 항법 신호환경에서 안정적인 위치기반 서비스를 제공할 수 있는 핵심기술을 확보했다는 점과 그동안 수입에 의존해 온 고정밀 위성항법 수신기 산업의 국산화 기틀을 마련했다는 점에서 의의가 컸다.

개발된 기술은 국내의 위치기반 솔루션 제공업체들에 이전되었다. 한 업체는 당시 고가(1,500달러)의 낮은 측위 정밀도의 탐색구조 단말이 주류를 이루던 관련 업계에 저비용(300달러) · 고정밀(2km → 50m), 회신링크를 지원하는 양방향 탐색구조 단말기를 제공하여 30여억 원의 해외 실적을 달성하였다.

### 한국형 위성항법 시스템의 초석 마련

2011년 남북 접경지역에서 대규모 GPS 전파 교란이 발생하자, 정부는 ETRI에 GPS 전파 교란 감시시스템을 신속하게 개발해줄 것을 주문하였다. 이에 ETRI는 상황 발생 2개월 만에 기존에 개발했던 GPS/갈릴레오 복합수신기 기술을 이용하여 방향탐지 및 전파 교란의 원점을 파악할 수 있는 ‘GPS 전파 교란 감시시스템’을 개발하여 접경지역에 시범 설치 · 운영하였다. 이후, 해수부, 과기부, 국방부는 14개소의 공동개발업체를 통하여 이 시스템을 생산 · 설치 및 운용하였다. 2016년에는 본 시스템으로 파악한 북한의 GPS 전파 교란 내

용이 ICAO<sup>58)</sup> 기술회의에서 발표되고, 의장성명에 반영되기도 하였다.

또한, 같은 시기에 공공기술이사회의 연구기관 간 협동연구과제를 통하여 ‘SW 기반의 위성항법 시뮬레이터(GPS/갈릴레오) 개발’이 추진되었다. 본 과제에 참여하여 시뮬레이터 위성항법 신호생성 SW를 주도적으로 개발하였다. 본 기술은 중소기업에 이전되어 RF 위성항법 신호 시뮬레이터로 상용화되었다.

ETRI가 개발한 위성항법 지상국 및 탐색구조 단말기 기술과 SW 기반 위성항법 시뮬레이터 및 RF 시뮬레이터 상용화 실적은 한국형 위성항법 시스템 개발의 초석이 되었다. 또한, 후속 과제로 ‘군 탐색 구조시스템 기술연구’(2010년~2018년), ‘다원화 항법 주파수 감시 및 이용 기술개발’(2011년~2014년), ‘GNSS 전파 혼신 검증플랫폼 기술개발’(2014년~2016년), ‘위성항법 위협에 대한 수신기 시험 및 시험 표준화 기술지원’(유럽 공동과제, H2020 사업, 2016년~2019년), ‘무인 비행체 기반 GPS 전파 교란원 정밀탐지 기술개발’(2017년~2019년) 등의 후속 과제로 이어졌다.

## 1-4-2 위성 탑재체 및 RF

### 통신위성 국산화를 위한 탑재체 개발

정부는 1989년 단독위성 확보 방침을 확정하였다. 이에 ETRI는 1990년 ‘위성통신기술개발본부’를 발족하여 위성개발에 돌입하였으며, 1996년부터 위성의 두뇌에 해당하는 위성통신 탑재체를 본격적으로 개발하여, 2002년 아날로그 타입의 탑재체 시스템에 관한 기술 축적을 완료하였다. 사업에는 썬트랙아이, 대한항공, 코스페이스 등이 공동연구기관으로 참여하였다.

연구진은 이 기술들을 바탕으로 2003년부터 독자 위성인 천리안위성 1호에 탑재할 통신시스템 국산화 연구에 착수하였고, 마침내 2010년 ETRI를 중심으로 개발한 시스템을 탑재한 정지궤도 복합위성 천리안1호가 성공적으로 발사되었다. 사업에는 썬트랙아이, 대한항공, 코스페이스 등이 공동연구기관으로 참여하였다.

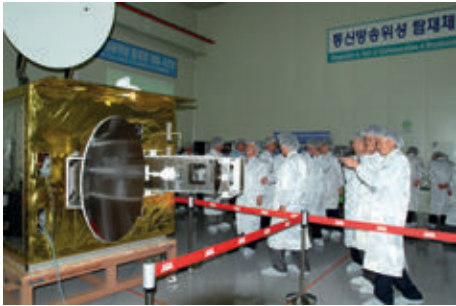
‘위성 탑재체 시스템’은 성능뿐 아니라, 15년 동안 절대 고장이 나서는 안 되는 신뢰성, 위성의 발사 및 우주 궤도 유지비용과 직결되는 무게 · 사용 전력 등을 복합적으로 고려해야 하



위성탑재체 기술 전시회(2009. 4. 27. 국회)

58) ICAO(International Civil Aviation Organization): UN 산하 전문기구로, 국제 항공 운송에 필요한 원칙과 기술, 안전에 대해 연구하고 있다.





통신방송위성 탑재체 시연회

는 고난도의 복합시스템이다. ETRI는 위성통신 분야 후발 주자였으나, 위성파와 지상 간 송수신 장치를 일반 반도체처럼 집적화하는 ‘초고주파 반도체화 기술’을 전 송수신 장치에 적용하여 모든 고려 사항을 만족하는 우수한 탑재체 개발에 성공하였다. 당시 이 기술은 일부 선진국에서만 제한적으로 사용되고 있었다.

또한, 2014년부터 2017년까지는 ‘차기위성 Flexible 통신 · 방송 탑재체 핵심기술개발’ 과제를 수행하였다. 이를 통해 제한된 우주 자원을 효율적으로 활용하기 위하여 높은 출력이 필요한 지역에만 선별적으로 신호의 세기를 조절하는 기술을 개발하였다. 정치궤도는 지구상공 약 36,000km 높이에 위치하기 때문에 위성파와 지상 간의 통신을 위해서는 신호의 출력을 높여야 한다. 기존에는 모든 채널의 신호 출력을 높여야만 원활한 통신이 가능했으나, 본 기술개발로 선별적으로 신호를 조절하는 것이 가능해졌다. 이 기술은 2018년 ‘국가 연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

### 안전 · 안심한 국가 실현과 관련 산업 성장에 기여

ETRI는 미국, 유럽 등 통신위성 선진국들이 50여 년에 걸쳐 축적한 기술개발 전례를 답습하지 않고, 첨단 초고주파 반도체 기술 등을 자체 개발하여 빠르게 선진국과 동등한 수준에 올라섰다.

이러한 기술력을 기반으로 후속 과제도 활발하게 추진 중이다. 2010년 천리안위성 발사 이후에는 통신위성의 처리 용량을 늘리고 사용자 요구에 따라 서비스 지역 및 위성 출력을 가변할 수 있는 ‘플렉시블 디지털 통신 탑재체 핵심기술’ 개발을 수행하고 있다. 이 기술은 2021년부터 개발에 착수하는 공공복합통신위성에 적용될 예정이다. 또한, 위성을 이용해 원격지역 및 해상지역에도 5G 서비스를 제공하려는 수요가 증가하고 유럽을 중심으로 5G와 위성을 연계하는 새로운 국제표준 제정이 진행됨에 따라, 위성에서 5G 사용자를 실시간으로 연결해 주는 ‘디지털 스위칭 위성 탑재체 시스템 기술개발’ 과제도 새롭게 추진하고 있다.

5G 확산 및 위성발사체 재사용 기술의 등장으로 위성 발사비용이 낮아짐에 따라 위성통신 시스템 비용도 낮아져 향후 위성통신 수요는 빠르게 증가할 것으로 예상된다. 2020년 약 300조 원인 세계 위성통신의 시장규모는 2045년경에는 약 3,000조 원으로 증가할 것으로 전망된다. ETRI가 개발한 위성 탑재체 기술은 국내 관련 기업들이 천문학적 규모의 위성통신 시장에서 우위를 점할 수 있는 기반을 마련하였다는 점에서 의의가 크다. 앞으로도 ETRI는 안전한 국가 실현과 재난 시에도 안정적인 통신망을 제공할 수 있는 기술을 확보하여 위성통신 관련 산업의 성장에 기여하고자 위성 탑재체 기술을 더욱 고도화해나갈 계획이다.



2세대 위성통신 모델 핵심기술개발

59) MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit, 고주파 단일 집적회로): Silicon 혹은 GaAs류의 기판 위에 반도체 소자와 함께 각종 수동소자, 부품들을 한꺼번에 찍어낸 회로를 말한다. 안정적인 대량생산이 가능하고 저전력, 작은 크기, 가벼운 무게로 인해 매우 광범위하게 사용된다.

### 초정밀 복합 RF 부품 국산화에 도전

먼 우주 공간에 있는 위성과의 통신을 위해서는 RF(Radio Frequency, 초고주파) 기술 및 정밀부품 기술의 확보가 필수적이다. 위성에서는 지상 시스템에서 잘 쓰지 않는 10GHz 이상의 높은 주파수를 주로 사용하는데, 이 경우 파장 길이가 짧아져 관련 부품 개발에 초정밀 설계 · 분석 기술, 정밀 기계 가공 기술, 정밀 튜닝 및 측정 기술이 필수적으로 요구된다. 그러나 관련 기술이 없어 국내 업체들은 대부분 부품을 수입할 수밖에 없었다.

1990년 이후 정부가 위성통신의 국산화를 강력하게 추진하면서, 높은 주파수 대역의 위성 RF 및 부품의 국산화도 필요해졌다. 이에 ETRI는 1995년 Ka 대역(20~30GHz)의 RF 부품 개발에 착수하였다. 주파수 자원이 포화상태에 이른 Ku 대역(12~14GHz)과 달리 Ka 대역은 광대역 멀티미디어 통신이 가능한 주인 없는 주파수로서, 관련 기술선점으로 인한 경제적 파급효과가 매우 클 것으로 기대되었다.

위성 RF 및 부품의 기술개발에는 수학, 물리학, 전자공학, 재료공학, 기계공학 등 여러 학문 분야의 종합적인 지식이 요구된다. 이에 ETRI는 다양한 전공 분야의 국내 최고 전문가들과 긴밀한 협력체계를 구축하여 연구를 수행하였다. 그 결과, 2004년 능동부품(저잡음 증폭기, 주파수 변환기, 주파수 발생기, 채널 증폭기 등)과 수동부품(광대역 채널 필터, 협대역 채널 필터 등), 안테나 부품(혼(Horn), 편파기, 다이플렉서(Diplexer) 등) 등 다양한 통신위성 탑재체용 RF 및 부품 개발에 성공하였다.

특히, 능동부품의 경우 Ka 대역에 필수적인 MMIC<sup>59)</sup>를 자체 개발하였다. 우주 공간에 있는 위성에 적용되는 RF 및 부품은 오차를 줄이면서 성능의 변화가 작고 높은 신뢰성을 갖도록 개발하는 것이 매우 중요하다. 부품들을 외부와 연결하는 작업을 최소화하여 오차를 줄일 수 있도록 여러 부품을 하나의 기판에 집적하는 MMIC 기술을 개발하여, 우수한 성능은 물론 신뢰성을 높이고 무게 또한 크게 줄일 수 있었다.

아울러, 수동부품에도 혁신적인 기술이 도입되었다. 높은 주파수 대역에서 많은 채널을 사용자 그룹별로 분리하기 위해서는 채널 필터와 멀티플렉서가 필요하다. 이중 모드 필터 기술을 개발하여 기존 필터 크기 및 무게를 절반 이하로 줄였으며, 멀티플렉서를 기존의 단계적 구성과는 달리 병렬접속 형태로 개발하여 성능 · 무게 · 부피를 혁신적으로 개선하였다.

### 통신위성을 넘어 이동통신 분야로 확장 기대

ETRI 중심으로 개발한 RF 부품이 적용된 천리안위성 1호는 2010년 운행을 시작하여 10



Tech Biz Korea 2016(2016. 12. 13. COEX)

년이 넘는 지금까지도 고장 한번 없이 동작하고 있다. 또한, 이 기술은 여러 국내 산업체에 이전되어 세계로 수출되고 있다.

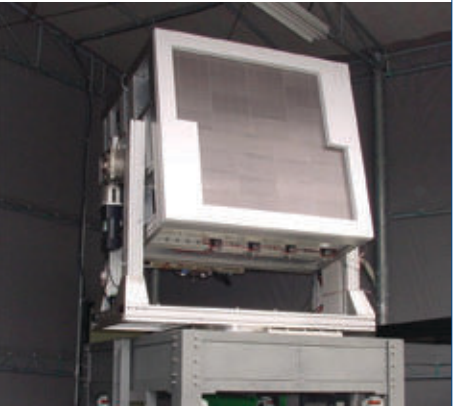
RF 부품 기술은 통신위성뿐 아니라 전파 영상레이더 위성, 위성통신 지상 사용자 단말 및 레이더 등 다양한 분야로 확산·적용할 수 있다. 최근에는 이동통신 주파수가 밀리미터파 까지 높아짐에 따라 이동통신 분야에도 적용되어 산업적 파급효과가 클 것으로 기대된다. 후속 과제로 RF 신호의 크기 및 위상을 디지털적으로 가변하는 ‘플렉시블 RF 및 디지털 RF 기술’ 개발을 추진하고 있다. 이 기술은 2021년부터 개발이 시작되는 공공복합통신위성과 영상레이더 위성개발 및 지상 위성 단말 등에 적용될 예정이다.

### 차량 탑재용 위성방송 능동안테나 개발

1990년대 들어, 이동 중에도 위성방송 수신이 가능한 기술이 해외에서 빠르게 개발되기 시작하였다. 한편, 국내에서도 독자 통신위성 개발이 시작되면서 다양한 이동체를 대상으로 한 위성방송 능동안테나 시스템 개발에 대한 필요성이 제기되었다.

이에 ETRI는 1996년부터 1998년까지 3년간 ‘차량 탑재용 위성방송 이동수신 능동안테나 시스템 개발’ 과제를 시작하였다. 과제에는 안테나기업인 (주)하이게인안테나와 (주)에이스테크놀로지가 공동연구기관으로 참여하였다. 당시 능동안테나의 핵심기술은 일부 해외 선진국이 독점하여 군용으로 사용하고 있었기 때문에 원천기술 확보가 매우 어려웠다. 이에 ETRI는 해외 선도기관과의 공동연구를 적극적으로 추진하였고, 우여곡절 끝에 러시아 국방기술 기업인 Apex 사와 협상을 체결하여 세계 최초로 기계/전자 혼합방식 기술의 능동안테나를 개발하였다.

과제 수행결과, 연구진은 위성방송 수신 안테나로는 최초로 이차원 전전자 빔 조향을 위한 배열 및 제어 기술을 개발하였으며, 위성 추적을 위한 빔 제어 알고리즘 기술과 광대역 안테나 소자 기술 그리고 이를 지원하는 초고주파 회로설계 기술 등을 개발하였다. 특히, ‘위성 추적을 위한 빔 제어 알고리즘’은 ETRI의 독창적인 기술로, 핵심 국제특허 확보에도 성공하였다. 개발된 기술들을 기반으로 실용모델을 개발하고, 국내 언론사 및 다수의 외부 기관이 참관한 가운데 공개적으로 이를 시연하였다. 이를 통하여 버스, 기차, 승용차 등의 지붕이나 선박에 탑재하여 사용할 수 있음을 보였다.



함정용 X대역 위성통신 전자식 안테나 시스템

### 민군겸용 위성 안테나로 발전

위성방송 능동안테나 시스템을 성공적으로 개발한 데 이어, 1998년부터 2002년까지는 민군겸용 기술개발사업으로 ‘통신용 광대역 적응형 안테나 시스템 개발’ 과제를 수행하였다. 본 과제는 이동체에서 X 대역 및 Ka 대역 위성통신을 수행하기 위해 위성을 추적하여 송신·수신을 수행하는 민군겸용안테나 시스템 개발을 목표로 진행되었다.

광범위 이차원 전전자 빔 스캐닝 및 알고리즘 기술, X/Ka 대역 광대역 이중 편파 방사 소자 기술, 고이득 저잡음 MMIC T/R 모듈 기술, 통신용 광대역 적응형 이차원 능동 위상 배열 기술 등을 레이더가 아닌 통신 안테나용으로 새롭게 고안하여 시스템에 적용하였다. 그 결과, 2002년 해상 운항 중인 선박에서도 영상·음성 전화, 화상회의, 대화형 원격교육, 원격의료, 원격제어·감시, 인터넷 접속 등이 가능한 함정용 전자식 위성 송·수신 안테나 시스템을 개발하는 데 성공하였다. 이 시스템은 2005년에 발사된 무궁화 5호 위성을 활용하여 운영되었으며, 인도양에서 하와이까지의 넓은 지역에서 다양한 통신서비스를 제공하였다.

### 위성인터넷 단말용 안테나 개발

2001년부터 2003년까지는 ‘위성인터넷 접속용 안테나 개발’ 과제를 수행하였다. 과제는 차량, 열차, 선박, 항공기 등의 승객이 공용으로 위성방송 시청과 유무선 인터넷 접속을 할 수 있는 위성 추적 안테나 개발을 목표로 진행되었다.

연구진은 당시 일부 선진국에서 군용 레이더에만 적용하던 능동 위상배열 기술을 세계 최초로 민수용 제품에 적용하여, 차량용 이동 위성인터넷 접속 안테나인 MSIA와 선박 탑재용인 MoBiSAT를 개발하였다. MSIA는 2003년에 일본의 위성통신 서비스기업인 JSAT의 협력 요청으로 일본 현지에서 시연되어 찬사를 받았고, MoBiSAT는 원양교육선에 탑재되어 열악한 해상환경에서도 원활한 통신서비스를 제공하는 데 성공하였다.

### 어떠한 이동체도 만족하는 위성 안테나 기술 확보

다양한 위성방송 능동안테나 원천기술개발로, 이제 ETRI는 어떠한 이동체와 사용자의 요구사항도 모두 만족시킬 수 있는 능력을 보유하게 되었다. 특히, 국내 최초로 개발한 ‘민수용 능동 위상배열 안테나 시스템 기술’은 국내 기업에 성공적으로 이전되어 상용화되었고, 그 결과 현재 우리는 이동 중인 고속버스에서도 위성으로 수신된 TV를 볼 수 있게 되었다. ETRI의 위성 추적 안테나 기술은 향후 5G 이동통신 서비스에서도 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.



### 1-4-3. 위성 관제 및 시스템

#### ETRI 독자기술로 다목적 실용위성 관제시스템 개발

정부는 1995년 범부처 사업으로 ‘다목적 실용위성 개발’ 사업을 시작하였다. 다목적 실용위성은 고도 685km 상공에서 태양 동기 궤도(궤도면과 태양이 이루는 각도가 항상 일정하게 유지되는 궤도)를 따라 지구 주위를 공전하며 하루 3~4회 한반도 상공을 지나는 저궤도 관측 위성으로, 4m 해상도의 지구 관측 탑재체를 탑재하고 있다. 본 사업은 미국 TRW와 항공우주연구원이 위성체를 공동 제작하고, 관제시스템은 ETRI가 독자기술로 개발하는 형태로 추진되었다.

ETRI는 1990년부터 1994년까지 관제시스템 실험실 모델을 개발하고, 1995년 다목적 실용위성 사업이 시작되면서 본격적으로 관제시스템 연구에 돌입하였다. 당시 실제 위성에 대한 관제시스템 개발은 국내 최초였기 때문에 개발과정의 모든 부분이 도전이었다. 특히, 사업 전체에서 관제시스템 분야만이 유일한 단독 국산화 개발이어서 연구원들은 상당한 부담감과 책임감을 동시에 느껴야 했다.

ETRI는 관제시스템을 TTC(Track, Telemetry, and Command), SOS(Satellite Operations Subsystem), MAPS(Mission Analysis and Planning Subsystem), SIM(Satellite SIMulator Subsystem) 등 4개의 서브 시스템으로 나누어 개발하였다. (주)현대우주항공과 (주)대우중공업이 공동연구기관으로 참여하였다.

SOS는 위성과의 통신을 통해 위성의 상태를 파악하고 명령을 보내는 역할을 담당하는 서브 시스템으로, 무엇보다 안정성과 프로세스 간 통신의 신속성 및 정확성이 매우 중요하였다. 이에 안정성 강화를 위하여 미들웨어(Middleware)를 사용하기로 하고, 정밀분석 끝에 RT-Works를 도입하였다. 위성 분야에 미들웨어를 사용하는 것은 상당히 모험적인 결정이었으나, 결과적으로 연구진이 보다 상위 SW 개발에 주력할 수 있는 환경을 마련해 주었다. 또한, 정확한 궤도 및 자세 예측을 위해 MAPS를, 위성을 관제하는 운영자들의 훈련 및 이상 상태 분석을 위해 SIM을 개발하였다. 아울러, 기능·설계 단계마다 전문가들을 초청하여 조언을 듣고 기술력을 검증하였다. TTC 안테나는 ETRI의 요구기술에 맞춰 국내 안테나 회사인 (주)하이게인 안테나가 직접 제작한 추적안테나를 사용함으로써 저궤도 위성 추적안테나를 국산화하였다.

이러한 노력의 결과, 1999년 12월 21일 ETRI의 관제시스템을 탑재한 다목적 실용위성 1



아리랑 2호 위성관제시스템, 순수 국내 IT 기술로 개발

호가 성공적으로 발사되었다. 이후로도 다목적 실용위성 2호, 3호, 5호를 위한 관제시스템을 지속해서 개발하였으며, 시스템의 경량화와 신기술 접목을 이루어냈다. 또한, 2003년부터 2010년까지는 천리안 1호 개발과정을 통하여 정지궤도 위성 관제시스템의 국산화에 성공하였다. 아울러, 위성서비스 기업인 KTsat에서 운영하는 상용 정지궤도 위성인 무궁화위성 7호와 5A호 관제시스템도 성공적으로 개발하였으며, 현재는 위성군 관제시스템 개발을 수행하고 있다.

#### 위성 관제시스템 국산화 에피소드

위성 관제시스템을 처음 개발하던 1995년, 미국의 한 시스템 개발 기업이 예비설계가 끝날 때까지도 집요하게 자기들과 함께 개발하자는 요구를 해왔다. 의견을 요약하자면, '아무런 경험도 없는 한국의 연구소가 독자적으로 관제시스템을 개발하는 것은 무리다. 관제시스템은 단 한 가지만 잘못돼도 위성을 못 쓰게 만들 수 있는데, 당신들의 실수로 천문학적인 비용을 들인 위성을 못 쓰게 되면 큰일 아닌가. 그러니 경험이 많은 우리와 함께 개발하자.'는 것이었다.


이들의 주장에도 일리는 있었으나, ETRI는 기술종속 없이 우리 힘으로 위성 원천기술을 개발하는 것이 무엇보다 중요하다고 판단하였고, 독자개발에 주력하였다. 만약 연구원들이 불안을 견디지 못하고 그 업체와 공동개발을 추진했다더라면, 위성 관제시스템의 국산화 개발은 한참 뒤로 미뤄졌을지도 모른다.

정원찬 박사(당시 위성운용서브시스템(SOS) 개발 참여)

#### 축적된 핵심 원천기술을 토대로 천리안위성 개발에 돌입

정부는 2003년부터 2010년까지 ETRI, KARI(한국항공우주연구원), 국토해양부, 기상청 등이 협력하는 다부처 사업으로 해양 및 기상관측 기능을 수행하면서 통신서비스도 제공하는 정지궤도 복합위성인 ‘천리안위성(통신·해양·기상위성, COMS; Communication, Ocean Meteorology Satellite)’을 개발하였다. ETRI는 전체 사업 중 Ka 대역 통신 탑재체, 시험지구국, 정지궤도 위성 관제시스템 개발을 담당하였다. 당시 연구진은 기술개

— ETRI 관제시스템 개발 개요

구분	2000년 이전(과거)	2001년 ~ 2010년 (완료)	2011년~2020년 (현재)			
연구과제	다목적실용위성1호 관제 시스템 개발 (95~99) · 위성운용부 개발 · 임무분석 및 계획부 개발 · 위성시뮬레이터부 개발 · 위성추적안테나 및 통신장 치부 개발	다목적실용위성2호 관제 시스템 개발 (00~06) · 위성운용부 개발 · 임무분석 및 계획부 개발 · 위성시뮬레이터부 개발	통신해양기상위성1호 관제 시스템 개발 (03~10) · 정지위성 실시간운용부 개발 · 정지위성임무계획부 개발 · 정지위성비행역학부 개발 · 정지위성시뮬레이터부 개발 · 위성추적안테나 및 통신장 치부 개발	다목적실용위성3호/5호 관제시스템 개발 (06~13) · 위성운용부 개발 · 임무계획부 개발 · 비행역학부 개발	무궁화위성 7호/5A호 관제시스템 개발(14~18) · 정지위성 실시간운용부 개발 · 정지위성 비행역학부 개발 · 정지위성 통신장치 운영관 리부개발	425 위성군 관제시스템 개발(19~24) · 위성운용부 개발 · 임무계획부 개발 · 비행역학부 개발 · 위성시뮬레이터부 개발
주요내용	다목적실용위성 1호 관제시스템 · 저궤도위성 추적 및 신호 송수신 · 위성상태 감시 및 원격명 령 송신 · 위성 임무스케줄링 · 궤도결정 예측 및 궤도조정 · 위성 시뮬레이터를 이용한 운용자 훈련 및 이상상황 분석 · 유닉스 워크스테이션에 구현	다목적실용위성2호 관제시스템 · 원격측정 데이터 고속처리 구현 · 임무스케줄 결과의 자동화 명령계획 · DGPS를 이용한 1미터급 정밀 궤도결정 · 3차원 위성시뮬레이션 · 워크스테이션 및 PC를 활 용한 다운사이징	통신해양기상위성1호 관제시스템 · 정지궤도위성 추적 및 신호 송수신 · 24시간 위성 접속을 통한 위 성상태 감시(2중화 시스템) · 원격명령 자동 송신 기술 개발 · 통신, 해양, 기상 등 3개 탐 자체의 임무계획 종합 및 최적화 · 자동화된 동서/남북 위치 유지 조정 · 위성시뮬레이터를 통한 모의시험 · MS윈도우 환경에 구현	다목적실용위성3호/5호 관제시스템 · 임무계획부와 비행역학부 분리 · 위성자세프로파일 업로드 긴급활영계획 및 명령기능 구현 · 이중주파수 DGPS와 SLR 을 이용한 0.7 m급 정밀궤 도결정 · 항공연 수탁사업으로 개발 · PC(윈도우/리눅스)환경에 구현	무궁화위성 7호/5A호 관제시스템 · 상업용 통신방송위성 관제 시스템 국내개발 · 위성은 프랑스 텔레스일레 니아 스페이스에서 개발 · 2기의 위성관제 동시개발 · 위성병치 위치유지조정 · 정지위성관제 표준코어를 랫폼활용 · PC/윈도우 환경에서 구현	425 위성군 관제시스템 · 광학 및 레이더 위성군 관제시스템 동시개발 · 자동화된 위성명령절차 수행 · 원격명령/측정데이터 암호화 · 위성군에 통합임무스케줄링 · 위성 자상궤적 유지조정 · 위성정적시뮬레이션 · PC/윈도우 환경에서 구현
활용성과	저궤도위성관제 국산화 및 실용화 · 국내 최초 저궤도 실용급 저궤도 위성 관제시스템 개발 성공 · 항공우주연구원에 설치하 여 위성관제운용에 직접 활용 · 국내업체와 공동개발(현대 우주항공, 대우중공업)	저궤도위성관제 자동화 및 실용화 · 자동화 기능구현을 통한 관제운용 편의 제고 · 정밀궤도결정을 이용한 고해상도 위성영상처리 · 항공우주연구원에 설치하 여 현재까지 위성관제운용 에 직접 활용	정지궤도위성관제 국산화 및 실용화 · 국내 최초 실용급 정지궤도 위성관제시스템 국산화 개발 성공 · 항공우주연구원 및 국가기 상위성 센터에 설치, 현재 까지 위성운용에 직접 활용 · 통신, 해양, 기상 등 3개의 지구국과의 데이터 송수신 을 통한 운용 지원	고해상도 지구관측위성관 제 실용화 · 광학위성과 레이더위성 관제 시스템 동시개발 · 항공우주연구원에 설치하여 현재까지 위성관제운용에 직접 활용	상업용 통신방송 위성관제 상용화 · KTSAT 민간수탁 사업으 로 수행 · 국내최초 상업용 통신방송 위성 관제시스템 개발 · KTSAT 용인/대전 관제센 터에 설치 및 현재까지 직 접 활용	저궤도 관측위성군 관제 실용화 · 시지업체 수탁 사업으로 수행중 · 국내 최초 정찰위성군 관제 시스템 개발중 · 고정 및 이동 관제국 설치 및 활용예정
결과물						

발 시작 시점에 이미 이들 분야에 대한 핵심 원천기술을 보유하고 있었다. 이러한 기술력 을 토대로 국내의 여러 전문업체와 함께 핵심부품 단위의 자체 설계는 물론 부품 및 시스 템 시험과정을 원활히 수행하였으며, 그 결과 2010년 천리안위성을 성공적으로 발사 및 운영할 수 있게 되었다.

천리안 위성 탑재체 및 관제 시스템의 독자 기술 적용

통신 탑재체의 경우 ETRI가 중계기·안테나를 개발하고, 유럽의 우주공학 기업인 에어버 스(구) 아스트리움 사가 탑재체를 기계적·전기적으로 위성체와 결합하여 위성버스체 구 조물에 장착하였다. 이후 탑재체가 발사환경 및 우주 환경에서 요구 성능을 내는지 확인하 고, 궤도 내 시험 검증이 추진되었다.

ETRI가 개발한 Ka 대역 통신 탑재체는 스위칭 중계기와 다중빔 안테나로 구성되었다. 따 라서 기존 무궁화위성에서 한 개의 빔으로 우리나라 전 지역을 서비스하던 방식과는 달리 남북한 지역을 2개의 빔으로 나누어 서비스함으로써 지역에 따라 차별화된 서비스 제공 이 가능하였다. 또한, 위성스위칭으로 지역 간(빔 간) 정보교환 및 채널변경이 가능하며, 서로 다른 지역에 위성통신 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 특히, 통신 탑재체 구성부품 들을 동시 구현한 MMIC를 통해 능동부품(채널 증폭기, 저잡음 증폭기)에서 우수한 성능 을 구현하였다. 또한, 100MHz 대역폭의 채널 3개를 운용함으로써 지상 수요를 대부분 만 족할 수 있었다.

관제시스템 개발은 ETRI와 항공우주연구원이 공동으로 주관하였다. ETRI는 저궤도위성 관제 설계 연구 경험을 바탕으로 국내 최초로 정지궤도 위성 관제시스템의 국산화에 성공 하였다. 특히, 통신 탑재체 구성부품들을 동시 구현한 MMIC를 통해 능동부품(채널 증폭 기, 저잡음 증폭기)에서 우수한 성능을 구현하였다. 또한, 100MHz 대역폭의 채널 3개를 운용함으로써 지상 수요를 대부분 만족할 수 있었다. ETRI는 천리안위성과의 24시간 교 신 및 실시간 감시제어 임무를 고장 없이 우수하게 수행함으로써 국내 위성 관제시스템의 상용급 기술력을 과시하였다.

시험지구국 개발의 경우, ETRI가 요구규격, 예비설계와 상세설계, 시스템 구현 및 시스템 통합시험 과정을 시행하였다. 위성 발사 후 안정적인 서비스 제공이 가능한 개방형 표준기 술을 적용하였으며, 각 개발 단계마다 국내의 위성전문가들의 기술검토 회의를 거침으로 써 결과물에 대한 신뢰도를 검증하였다. 또한, 천리안위성 발사 후에는 본 기술을 실용 공 공서비스에 활용하고 있다.





천리안위성(위성체, Ka 대역 통신 탑재체, 중계기·안테나)

### 위성 탑재체 기술의 세계 10위권 지위 확보

천리안위성 통신 탑재체, 관제시스템, 시험지구국의 국산화 개발과 성공적인 운용을 통해 우리나라는 해외 시스템 설치에 따르는 천문학적인 비용을 절감할 수 있게 되었다. 특히, 통신 탑재체의 국산화로 우리나라는 세계 10번째 통신위성 자체개발 국가의 지위를 보유하였다. 또한, 광대역 위성 멀티미디어 통신을 위한 Ka 대역(20~30GHz) 주파수 이용 기술을 확보함으로써 위성통신 서비스의 품질향상이 기대되며, UHD TV 등 차세대 신규 위성 방송 서비스도 가능해졌다.

ETRI의 기술을 토대로 개발된 통신중계기를 공공기관에 활용 시, 저비용 임대를 통해 약 1,600억 원의 사용 비용 절감효과가 있을 것으로 보인다. 또한, 국가재난 비상통신망에 활용되어 국민의 안전을 도모하고, 국내 난시청 지역에 위성방송 서비스를 제공함으로써 지역 간 정보격차 해소에도 기여할 것으로 기대된다. 정부는 정지궤도 위성 주파수 및 궤도 확보에 따른 경제효과가 약 4천 560억 원에 이를 것으로 추정하고 있다.



20Km 반경 전파방향탐지 기술개발

### 전파자원

초기의 전파자원 연구는 정부의 전파 정책과 밀접한 관련성을 가지고 추진되었다. 1995년부터 개발하기 시작한 스펙트럼 공학기술은 정부의 다양한 주파수 정책 실현과 이동통신 주파수의 적절한 공급이 이루어질 수 있도록 기술적으로 지원하였다. 2010년 이후 정부의 주파수 할당정책이 변화되면서 이동통신 사업자에게 주파수할당 대가를 받고 있다. ETRI 스펙트럼 공학기술의 지원으로 확보된 주파수할당 대가는 다시 연구개발비용으로 재투자되고 있어서 명실상부 우리나라의 ICT 기술이 세계 최고 수준에 올라갈 수 있도록 하는데 크게 기여하고 있다.

또한, 2005년부터는 주파수 자원 부족 문제를 해결하기 위한 주파수 공유 기술개발을 수행하여, 사용하지 않는 유휴 주파수를 활용하는 CR(인지무선통신) 기술을 개발하고 국내외 표준화를 이끌었다. 이를 통해 우리나라는 TV 유휴대역 주파수 분배를 추진할 수 있게 되었고, 제한적이거나 국내 서비스가 진행 중이다.

아울러, 2008년부터는 밀리미터파(30GHz 이상 주파수) 대역 주파수 자원을 활용하기 위한 기반기술개발을 시작하였다. 특히, 100GHz 대역까지 동작하는 MMIC와 새로운 개념의 안테나 기술을 개발함으로써 밀리미터파 시대를 열기 위한 기초를 다졌다. 그리고 2012년 밀리미터파를 이동통신에 적용하기 위한 SHF/EHF 이동통신 연구반을 국내 최초로 구성하여, 우리나라가 밀리미터파 5G 이동통신 기술을 세계적으로 선도하는 기틀을 마련하였다.

## 전파환경

1990년대부터 전자파의 인체 위험성이 언론에서 뜨겁게 다뤄지기 시작하였다. 특히, 1996년 휴대전화가 두피 온도를 상승시킨다는 보도가 나오면서 송전탑, 이동기지국, 휴대전화 등이 배출하는 전자파에 대한 공포가 확산되자, 정부는 전자파로부터 인체를 보호하기 위한 대책 마련에 몰두하였다.

이에 ETRI는 1998년부터 전자파 인체영향연구를 추진하여 「전자파 인체보호 기준」을 마련하고, 어린이를 위한 휴대전화 사용 가이드라인을 개발하는 한편, 전자파가 세포분열, 단백질 발현, 활성산소 생성, 태아 및 정자 등에 미치는 영향을 꾸준히 연구하고 있으며, 글로벌 공동연구인 Mobi-Kids, GERONIMO 등에도 활발하게 참여하고 있다.

또한, 1990년대 초부터 EMI/EMC 기술을 개발하여 국내의 EMC 제도 구축과 관련 산업의 기반 조성에 이바지하였다. 특히, 전자파 측정평가 분야 기술들은 국제표준에 반영되는 등 세계적으로도 인정받고 있다.

아울러, 1980년대 중반부터 국내 최초로 전파 방향탐지 기술 등을 연구하기 시작하여, 안테나, RF 수신기, 디지털 신호처리 등 핵심 HW에서부터 전파측정 및 방향탐지 알고리즘 등의 핵심 SW에 이르기까지 전파모니터링 기술 전체에 대한 기술력을 확보하였으며, 이를 통해 365일 상시 모니터링 가능한 안전한 대한민국 전파환경을 실현하고 있다. 2019년 중앙전파관리소의 분석 결과, 2005년 이후 ETRI가 구축한 전파모니터링 시스템의 비용 절감효과는 R&D 비용을 제외하고도 1,129억 원에 달하는 것으로 나타났다.

## 전파기반

ETRI는 1990년대부터 한정된 전파자원인 스펙트럼 및 주파수를 글로벌 공통 또는 국가별 서비스에 최적으로 할당·분배하기 위한 전파전파특성 기술연구를 시작하였다. 이를 통해 주요 국내환경에서 UHF(극초단파) 대역, 마이크로파 대역 그리고 2010년대 중반 이후에는 6GHz 주파수 대역 이하와 20GHz 대역 이상의 밀리미터파 대역에 대한 전파특성을 측정 및 예측할 수 있는 기술을 개발하였다.

또한, 2000년대 중반부터 전파이용의 기반이 되는 지능형 안테나를 개발하여 '다중대역·다중모드 재구성 안테나 기술'을 성공적으로 구현하였으며, 2018년에는 3D 수치해석 SW를 활용한 전자파전향실 구조(교반기 구조, 위치 포함)설계 기술을 개발하였다. 이 기술은 여러 중소기업에 이전되어, 전자파 노출량 측정장치 등의 상용제품으로 판매되고 있다.

## 전파응용

2000년대 후반 들어 이동통신을 비롯한 전파산업의 급격한 발전과 함께, 전파의 인체영향 등 전자파의 역기능에 대한 우려 또한 증대하기 시작하였다. 이에 정부는 편리성과 유용성 등 순기능을 가진 전파 응용기술을 개발함으로써 국민이 전파에 대한 지나친 우려를 극복하고, 안심하고 전파를 이용할 수 있도록 하는 사업들을 추진하였다.

대표적인 것이 기존의 X선보다 안전한 마이크로 전자파를 이용하여 암을 진단하는 전파의 료용 영상화 기술과 전파를 인체 내부의 원하는 위치에 집중적으로 조사하여 난치성 질환을 비침습적으로 치료하는 전파치료 기술이다. 또한, 자기공명기술을 이용한 무선전력전송 기술개발을 추진하여 2016년 원통형의 3차원 공간 내에서 스마트폰이 어떠한 위치에 있어도 높은 효율로 충전이 가능한 'E-Cup'을 개발하였으며, 국내 최초로 자동차용 무선충전기를 상용화하는 데도 성공하였다.

아울러, 2019년부터는 전파 기술을 드론 식별/탐지에 적용하여, 소형 드론을 이용한 사생활 침해와 보안 위협을 차단하고자 노력하고 있으며, 극한 환경에서도 무선 데이터를 전송할 수 있는 자기장통신 기술에도 새롭게 도전하고 있다.



전자파로 유방암 진단



1-5-1. 전파자원

유한한 전파자원의 효율적 관리 필요성 대두

1980년대 초까지 우리나라는 남북분단 상황으로 인해 전파이용이 통제되어 안전통신용이나 해상구조용 등 제한된 분야에서만 전파의 이용이 허용되었다. 이후로 대내외적인 환경이 변하면서 정부는 1990년대 들어 전파산업을 육성하기 위한 정책들을 추진하기 시작하였고, 다양한 무선 서비스(디지털 텔레비전, 휴대전화, 무선랜, 블루투스, GPS 등)가 등장하였다. 그 결과, 주파수 수요가 급증하자 유한한 전파자원을 효율적으로 관리하기 위한 스펙트럼 공학<sup>60)</sup> 기술개발의 필요성이 제기되었다.

이에 ETRI는 1993년 ‘전파자원 이용 기술개발’ 사업을 시작으로, 2003년~2007년에는 ‘전파자원 이용 기반기술개발’, 2008년~2013년에는 ‘스펙트럼 공학 및 밀리미터파대 전파자원 이용 기술개발’ 그리고 2014년~2016년에는 ‘모바일 빅뱅 시대의 주파수 효율 개선 핵심기술개발’ 사업의 세부과제로 ‘스펙트럼 공학기술개발’ 과제를 추진하였다.

이러한 연구를 통해 우리나라는 800MHz, 900MHz, 1.8GHz, 2.1GHz, 2.6GHz 대역에서 이동통신 주파수 자원을 확보할 수 있게 되었고, RFID<sup>61)</sup>, UWB<sup>62)</sup>, DCP<sup>63)</sup> 등의 새로운 무선 서비스 주파수 분배가 가능해졌다.

또한, 시·공간적 간섭분석 기술을 개발하여 3.4GHz, 26GHz 대역 5G 이동통신 주파수를 확보하였다. 향후 3.7GHz~4GHz 대역의 5G+ 주파수도 확보 가능할 것으로 예상된다. 아울러, 700MHz 대역 통합공공망과 지상파 초고화질방송 간 간섭 및 3.4GHz 대역 위성방송 수신과 5G 간 간섭 등 국내에서 발생하는 다양한 전파간섭 문제를 기술적으로 해결하여 간섭 없는 양질의 무선 서비스가 가능하게 하였다. 특히, 전파자원 이용기반기술은 2007년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

스펙트럼 공학 기술개발에 주력

ETRI의 스펙트럼 공학 기술개발은 전파자원 이용기반 구축을 위한 전파간섭 분석 기반기술연구, 효율적 주파수 이용을 위한 통계적 전파간섭 분석 연구, 선제적 주파수 이용을 위한 3D GIS<sup>64)</sup> 전파간섭 분석연구 등으로 단계적으로 추진되었다.

또한, 일본의 셀룰러 서비스와 국내 TRS<sup>65)</sup>의 간섭 발생을 해결하기 위하여 인접 국가 간 덕트에 의한 간섭분석 기술을 개발하였으며, 3G·4G·5G 등 이동통신 서비스를 포함한



정지궤도 기상위성 지상국 개발

60) 스펙트럼 공학: 한정된 전파 스펙트럼을 합리적으로 효율적으로 활용하여 공공의 이익과 복리 증진은 물론 과학기술 발전에 기여하는 기술·방법·제도 등을 연구하는 학문 분야이다.

61) RFID(Radio Frequency Identification, 무선인식): 반도체 칩이 내장된 태그(Tag), 라벨(Label), 카드(Card) 등에 저장된 데이터를 무선주파수를 이용하여 비접촉으로 읽어내는 인식시스템이다.

62) UWB(Ultra Wide Band): 수 GHz 이상의 전송 주파수 대역을 사용하여, 광대역이면서도 고속 데이터 전송이 가능한 무선기술이다. UWB의 소모전력은 무선랜의 1/10 수준이다.

63) DCP(Digital Cordless Phones): 흔히 DECT(Digital enhanced cordless telecommunications)로 알려진 디지털 고급 무선 전화 시스템이다.

64) GIS(Geographic Information System, 지리정보체계): 일반 지도와 같은 지형정보와 함께 지하시설물 등 관련 정보를 인공위성으로 수집·검색·분석할 수 있도록 한 복합적인 지리정보시스템이다.

65) TRS(Trunked Radio System, 주파수공용통신): 독립된 주파수 채널을 하나로 묶어 여러 사용자가 함께 이용할 수 있게 한 이동전화 주파수 사용방식이다.



WCDMA 기술 개발

66) CR(Cognitive Radio, 인지무선통신): 통신시스템 주변의 전파환경을 측정 및 인지하고 지능적으로 판단해 각 통신시스템을 주변 환경에 맞게 최적화해 동작시키는 기술이다.

다양한 무선 서비스 주파수 할당 및 주파수 경매를 위한 기술적 이용기준을 마련하기 위해 W-CDMA, LTE, 5G 이동통신 간섭분석 기술 및 비면허대역 기기 간섭분석 기술을 개발하였다. 그리고 추가 주파수 확보 및 간섭분석에 필요한 주파수 대역별 새로운 전파모델 개발도 수행하였다.

이렇게 개발된 기술은 국립전파연구원, 한국방송통신전파진흥원, 한국전파진흥협회 등 외부 기관과의 연구 협력을 통하여 정부의 주파수 정책 수립에 반영되었다. 아울러, 개발된 전파모델을 국내의 표준화 기관에 기고하는 등 활발한 표준화 활동도 추진하였다.

정부의 차세대 전파정책 기술적으로 지원

스펙트럼 공학기술은 제품 생산을 통한 직접적인 경제적 파급효과를 거두기는 어렵지만, 정부의 다양한 주파수 정책 실현과 이동통신 주파수의 적절한 공급을 통해 막대한 경제적 파급효과를 도출한다. 이동통신 주파수의 경우 2010년대부터 경매가 추진되었는데, 2018년 6월 경매의 경우 총 낙찰가는 3.62조 원에 달하였다. 이에 따른 신규 이동통신 네트워크 시장은 약 10조 원 규모에 달할 것으로 보이며, 관련 산업 생산 유발효과는 331조 원(2019년~2026년)으로 예상된다. 또한, 정부는 본 기술을 활용하여 국가 공공 자원인 주파수를 원활하게 확보함으로써 국민의 편익을 증진하고 있다.

현재는 더 깨끗한 주파수를 적기에 공급할 수 있도록 모바일 트래픽 측정 데이터를 분석하여 주파수 포화 시기를 과학적으로 예측하는 ‘모바일 트래픽 예측 기술’과 ‘시·공간적 스펙트럼 엔지니어링 기술’을 개발하고 있다.

유휴 주파수 자원 활용 기술

1990년대 후반 세계 각국은 주파수 자원 부족 문제를 해결하기 위해 기존 주파수 자원의 배타적 이용방식에서 탈피하여 통신서비스별로 지능적·탄력적으로 주파수 자원을 활용하는 방식을 집중적으로 연구하기 시작하였다. 이에 1998년 제안된 것이 사용하지 않는 유휴 주파수를 활용하는 CR<sup>66)</sup>이다.

2003년 12월 FCC(미국연방통신위원회)가 교외 지역에서의 통신 수단으로 CR을 사용하기 위한 FCC 규칙개정을 예고하면서 CR을 기반으로 하는 주파수 공유 기술의 실용화가 예고되었다. 이와 함께, 표준화 기구인 IEEE 802는 2004년 10월 IEEE 802.22

WRAN(Wireless Regional Area Network) 표준화 그룹을 만들어 TV 유희대역에서 사용할 수 있는 주파수 공유기반 통신표준제정을 시작하였다.

### 국내 최초의 CR 기술개발 및 표준화

이러한 추세에 맞춰 ETRI는 2005년부터 5년간 CR 기술개발과 IEEE 802.22 표준화를 목표로 한 ‘스펙트럼 사용효율 개선을 위한 Cognitive Radio 기술’ 개발과제를 추진하였다. ETRI가 연구개발을 주도하고, 대학 및 기업이 참여하는 공동연구 형태의 과제였다. 연구진은 가용 채널의 확보·관리를 위해 가용 채널뱅크를 만들고 각 채널이 이용된 경험치를 기반으로 미래에도 유희 채널로 유지될지를 예측하기 위해 인공지능 알고리즘을 적용하였다. 인공지능이 통신시스템에 본격적으로 활용되기 10여 년 전부터 선도적으로 이를 CR 기반의 통신 기술에 적용한 것이다. 이를 통해 ETRI는 CR 기술의 근간이 되는 유희 주파수 탐색, 가용 채널 판정, 가용 채널 DB의 유지, 가변 채널 환경에 적응적인 통신방식 등 핵심적인 기술들을 개발하였다. 본 과제는 2010년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

ETRI는 연구기획 단계에서부터 기술개발과 동시에 연구결과를 IEEE 802.22에 반영하여 국제표준특허를 확보한다는 계획을 세웠다. 이를 위해 국내는 삼성전기, 해외는 필립스 미국연구소, 캐나다 CRC, 싱가포르 I2R 등과 컨소시엄을 구성하고, 주도적으로 표준화 기고문을 개발하였다. 그 결과, 2009년 CR 기술이 적용된 세계 최초의 표준인 ECMA-392에 ETRI가 제안한 핵심 표준특허 7건이 반영되었다. 이 내용은 2011년 표준 제정이 완료된 ISO/IEC<sup>67)</sup> 16504 표준에도 반영되었다.

또한, 2011년에는 핵심 표준특허 5건이 IEEE 802.22 국제표준으로 채택되는 성과를 거뒀다. 채택된 기술은 반경 30km 이상의 넓은 지역에서도 효과적으로 신호를 송수신할 수 있게 하는 신호전송방식에 관한 3건의 특허 기술과 CR 시스템의 핵심기술인 채널 이동 및 채널 분류 기술이다. 이 가운데 ‘다중 주파수 채널 시스템에서 효율적인 스펙트럼 센싱을 이용한 채널 할당방법’은 2010년 특허청의 특허기술상 지식영상을 수상하였다.

표준화를 진행하면서 해당 표준을 반영한 근거리 CR 테스트베드도 세계 최초로 개발하였다. 이 테스트베드는 기술의 효용성 및 성능을 객관적으로 검증하는 데 활용되어 표준기술 채택에 중요한 역할을 하였다.

우리나라는 CR 기술개발과 표준화를 통해 TV 유희대역 주파수 분배를 추진할 수 있게 되었고, 제한적이나마 국내 서비스가 진행 중이다. CR 기술은 이후 Wi-Fi 대역 주파수 공유 기술개발로 이어지고 있다.

67) ISO/IEC: 국제표준화기구(ISO)와 국제전기기술위원회(IEC)의 합동 기술위원회이다.

### 모바일 빅뱅에 대응하기 위한 밀리미터파대 이용 기술개발

‘모바일 빅뱅’으로 불리는 5G 이동통신으로의 진화가 최대 20Gbps의 데이터 전송능력을 요구하면서, 그동안 사용이 저조했던 밀리미터파(71~95GHz) 대역의 주파수 자원을 활용하는 기술이 주목받기 시작하였다.

이에 ETRI는 2008년부터 2013년까지 5년간 최대 10Gbps급 70/80/90GHz대 전송 기술개발을 목표로 하는 ‘밀리미터파대 전파자원 이용 기술개발’ 과제를 수행하였다. 이는 74.4억 원이 투입된 대규모 국가연구개발 사업으로, 밀리미터파 대역 모바일 무선 백홀용 10Gbps급 무선전송 원천기술개발, 전파법 개정을 위한 정책지원, 기술의 실용화를 통한 밀리미터파 산업의 활성화 기반구축을 목적으로 하였다. 본 과제를 통해 기저대역 신호처리 모듈과 RF 모듈 구현을 위한 기초 소자인 밀리미터파 대역 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) 칩 그리고 최종 시연 전송시스템 RF 안테나에 이르기까지 대부분의 단위 모듈을 자체 개발하는 데 성공하였다.

이어서 2014년부터 2017년까지는 50여억 원의 연구비가 투입된 ‘모바일 빅뱅 시대의 주파수 효율 개선 핵심기술개발’을 수행하여 백홀 용량을 증대할 수 있는 OAM(Orbital Angular Momentum, 궤도각운동량)과 LOS MIMO(Line-Of-Sight Multi-Input Multi-Output)라는 새로운 개념을 검증하였다.

지구가 태양 주위를 도는 것처럼 전파가 특정 궤도를 따라 공전하는 것을 ‘OAM’이라 부르는데, 전파의 이러한 속성을 이용해 같은 주파수에서 전파 에너지의 모양에 따라 서로 다른 데이터를 전달하는 데 성공하였다. 기존에는 전파가 수직이나 수평 중 한 가지 방향으로만 움직인다고 생각해서 이 두 방향으로만 데이터를 전송하였으나, 연구진은 OAM 현상을 활용, 전파 에너지를 한쪽 방향으로 집중시키는 반사판 안테나 등을 이용하는 방법으로 전파 회전수와 회전 방향을 달리하였다. 수직 또는 수평 두 가지의 전파 외에도 오른쪽과 왼쪽 그리고 돌지 않는 세 개의 OAM 모드를 동시에 사용하여 최대 3배까지 주파수 이용 효율을 높인 것이다. 이러한 연구성과는 Nature 자매지인 ‘사이언티픽 리포트(Scientific Reports)’ 등 3편의 SCI 저널에 실렸다. 이와 함께, 가시거리에서는 사용이 어렵다고 알려진 MIMO<sup>68)</sup> 기술을 적용한 LOS-MIMO 시스템도 구현 및 시연하였다.

68) MIMO(Multiple-Input and Multiple-Output): 무선통신의 용량을 높이기 위한 스마트 안테나 기술이다.





90GHz 무선 백홀 테스트베드

### 혁신적 미래 무선통신 신기술 창출에 기여

주파수는 국가 경제성장의 핵심이 되는 자원이자 정부에서 확보·관리하는 유한한 공공 자원이다. 5G의 상용화로 모바일 데이터 트래픽이 폭증하고 그에 따라 주파수 확장에 대한 필요성은 점점 높아지고 있다.

ETRI는 100GHz 대역까지 동작하는 송수신 부품과 새로운 개념의 안테나 기술을 개발함으로써 밀리미터파 시대를 열기 위한 기초를 다졌다. 그리고 2012년 밀리미터파를 이동 통신에 적용하기 위한 SHF/EHF 이동통신 연구반을 국내 최초로 구성하여, 우리나라가 밀리미터파 5G 이동통신 기술을 세계적으로 선도하는 기틀도 마련하였다. 앞으로는 밀리미터파 이상인 테라헤르츠 대역을 이용하여 6G 기술에 도전함으로써 국부 창출에 더 크게 기여하고자 한다.

## 1-5-2 전파환경

### 전자파 인체영향에 대한 정책 마련 필요

1990년대부터 전자파의 인체 위험성이 언론에서 뜨겁게 다뤄지기 시작하였다. 특히, 1996년 휴대전화가 두피 온도를 상승시킨다는 보도가 나오면서 송전탑, 이동기지국, 휴대전화 등이 배출하는 전자파에 대한 공포가 확산되자, 정부는 전자파로부터 인체를 보호하기 위한 대책 마련에 몰두하였다.

### 20여 년 지속된 ETRI의 전자파 인체영향 연구

이에 ETRI는 1998년 한국전자과학회와 공동으로 수행한 ‘전자파 환경 영향’ 연구를 시작으로, ‘이동통신 단말기 인체영향 평가’, ‘전자파 생체영향 및 표준화’, ‘전자파 영향 및 표준’, ‘안전한 전자파 환경조성’, ‘생활전자파에 대한 건강 영향 및 보호 대책’, ‘스마트 사회 전자파 노출량 제어기반 구축’ 등의 연구를 20여 년간 지속해서 추진하였다.

과제들은 ETRI가 전체 사업 기획 및 총괄 역할을 맡아 전자파 인체보호 기준 등의 공학적 연구를 수행하고, 한국전자과학회를 중심으로 서울대, 고려대, 단국대, 연세대, 원자력의 학원 등이 의학·생물학·의학 연구를 수행하는 다학제 공동연구로 진행되었다.

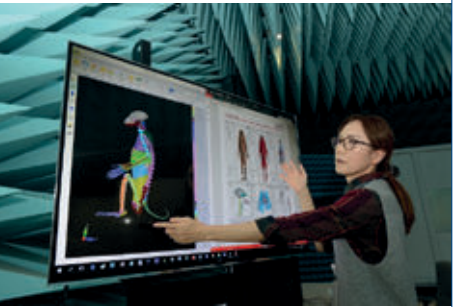
2000년에는 도출된 연구결과들을 토대로 국립전파연구원, 한국전자과학회와 공동으로 국내 「전자파 인체보호 기준」을 마련하였다. 특히, ETRI는 휴대전화에 대한 전자파흡수를 측정시스템과 해석 SW를 개발하고 측정기준을 만들어 정보통신부 고시에 반영하였다. 당시 본 기준은 국제적으로 표준화가 이루어지기도 전에 만든 것이었으며, 2002년 의무적으로 시행한 전자파흡수를 적합성 평가의 기준이 되었다.

또한, 2006년 전자파 노출량 평가에 활용하기 위한 어린이 모델 개발하고, 이를 기반으로 2012년 ‘어린이는 성인보다 특정 주파수 대역에서 전자파를 더 많이 흡수한다.’는 연구결과를 발표하여 사회적으로 주목을 받았다. 그때까지 전자파 노출량 평가를 위한 해부학적 모델은 성인 남자였기 때문에 어린이가 받는 영향은 정확히 판단하기 어려웠다. 이에 연구진은 MRI 기반으로 실제 어린이 모델을 개발하여 전자파 노출량을 정확히 평가하였고, 어린이를 위한 휴대전화 사용 가이드라인을 방송·통신위원회와 공동으로 제작하여 배포하였다.

2007년에는 세계 최초로 ‘다중 주파수 전자파 동시 노출에 대한 생체영향 규명’ 연구를 추진하였다. ETRI는 국내 전자파 인체영향 연구가 선진국 대비 십수 년 늦게 출발했다는 점을 고려해 틈새 연구분야를 기획하였고, 그 결과 CDMA, W-CMDA, Wi-Fi 등에 동시 노출된 환경에서 전자파가 세포분열, 단백질 발현, 활성산소 생성, 태아 및 정자 등에 미치는 영향에 대한 연구를 추진하였다. 이 연구를 계기로 우리나라는 전자파 인체영향 연구 분야 세계 7위권 이내의 우수논문 발표국으로 성장하였다.

2009년부터는 유럽 중심으로 시작된 ‘Mobi-Kids’ 연구에도 참여하고 있다. 당시 WHO가 RF 전자파를 발암 가능 2B 등급으로 설정하면서 관련 연구가 빠르게 추진되었고, EU 중심의 16개국 공동연구인 Mobi-Kids 연구가 시작되었다. ETRI는 발 빠르게 단국대 의대와 팀을 이뤄 이 연구에 참여하였다. Mobi-Kids 프로젝트에서 ETRI는 영국, 프랑스, 일본과 함께 휴대전화 사용에 따르는 노출량 평가를 담당하였으며, 특히 아시아에 대한 평가를 주도하였다. 또한, 후속 연구인 GERONIMO 프로젝트에서도 전자파 노출량 평가의 주요 핵심기관으로 자리를 잡았다.

이러한 노력의 결과 ETRI의 ‘생활 속 전자파에 대한 건강 영향 및 보호 대책 기술’은 2015년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, 2018년에는 ‘무선통신 전자파에 대한 인체영향의 과학적 규명’이 국가연구개발 우수성과뿐 아니라 정보·자본아의 최우수성과로 선정되었다.



전자파 유해성 검증 위한 가상모델 공개

### 복합전파환경에서의 전자파 영향연구 시작

2019년 과학기술정보통신부가「제3차 전파진흥기본계획」을 수립함에 따라 ‘복합전파환경에서의 국민건강 보호 기반구축’ 사업을 신규로 추진하고 있다. 본 사업은 시민이 직접 참여하는 공론화 과정을 거쳐 연구의 우선순위를 정하고 사전기획을 하였으며, 5G 전자파에 대한 인체영향 연구와 휴대전화 발암 가능성 연구 등을 골자로 하고 있다. 연구를 통해 전자파의 잠재적 건강 위험과 심리적 위험으로부터 국민건강을 보호하기 위한 과학적 증거를 확보할 계획이다.

### EMI/EMC에 대한 사회적 관심 증가

전기·전자 장비가 많아지고 여기에서 발생하는 불요 전자기장(unwanted electromagnetic field)이 무선 서비스나 인접 장비에 영향을 줄 가능성이 커지면서 전자파장해(Electromagnetic Interference, EMI)가 사회적 이슈로 등장하였다. 또한, 전기·전자 장비들이 무선 서비스나 인접 장비에 영향을 주지 않고 일정 수준 이하의 전자파 환경에서도 정상 동작하는 전자파적합성(Electromagnetic Compatibility, EMC)에 대한 관심도 커졌다. 우리나라는 1990년부터 EMI 규제를, 2000년부터는 전자파내성(Electromagnetic Susceptibility, EMS) 규제를 시행하고 있다.

### EMC 측정·평가 및 대책 기술개발

ETRI는 국내에 EMC 측정·평가 및 대책 기술을 제공하기 위해 1990년대 초부터 EMI/EMC 기술개발을 시작하였다. 우선, 1991년부터 1998년까지 ‘전자파 장해측정 및 방지대책’ 연구사업을 수행하였다. 연구진은 야외시험장(Open Area Test Site, OATS), 전자파 반무반사실(Semi-Anechoic Chamber, SAC) 등 기준시험시설에서의 측정보다는 대용 시험시설에 관한 연구를 수행하여 4-port TEM Cell, GTEM Cell 등 새로운 측정 장비를 개발하고 국제표준에도 반영하였다.

1999년부터 2000년까지는 ‘이동통신 단말기의 전자파 대책 기술개발’ 과제를 수행하여 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB) 다중선로 모델링, Design-Rule Checker 등을 통해 EMI 해석용 시뮬레이터인 ‘PEMAS’를 개발하였다. 또한, ‘고속정보통신기기의 시스템레벨 EMC 대책 기술개발’ 과제를 통해 2003년부터 2004년까지 다양한 형태의 합

체 차폐특성 해석 시뮬레이터와 전자파 대책 소재·부품을 개발하고 핵심기술을 중소기업에 이전하였다.

이후로 전자파 저감 소재·부품의 중요성이 높아지면서 2004년부터 2006년까지 ‘전자파 저감 소재 및 부품 기술개발’ 과제를 통해 소재·부품 관련 중소기업과 공동으로 Metamaterial을 포함한 전자파 대책 부품을 개발하였고, ‘전자파 기반 진단 및 방호 기술’ 연구사업을 통해서는 EBG (Electromagnetic Band-Gap) 구조를 이용하여 PCB 레벨 EMI 대책, 이동통신 단말기 SAR 저감 및 광대역 전자파 흡수체 기술을 개발하여 산업체에 이전하였다. 특히, EBG 구조를 이용한 전자파 저감 기술은 다수의 논문을 도출하여 SCI에 게재하였으며, 손실성 금속 소재 기반의 EBG 구조를 이용한 광대역 전자파 흡수체도 개발하였다.

EMC 제도 및 표준과 관련해서는 2001년부터 2002년까지 ‘EMC 제도 및 표준화’ 연구와 ‘전자파 영향 및 표준화’ 연구를 통해 국외 EMC 동향을 분석하고 그 결과를 국내 제도 및 표준에 반영하였다. 또한, 2005년부터 2007년까지 ‘EMC 표준’ 개발 사업을 추진하여 EMC 측정 분야 국제표준화에 적극적으로 참여하고 GHz 대역에서의 EMC 측정방법에 관한 연구를 수행하였다.

기존의 제품 중심 EMC를 넘어 시스템 또는 시설에서의 EMC에 관한 사회적 관심이 높아지자, 2008년부터 2012년까지 ‘U-사회 전파환경보호를 위한 전자파 양립성’ 연구를 그리고 2012년부터 2015년까지는 ‘ICT 시설 등 주요 인프라의 전자파 안전성’ 연구를 수행하여 전파 밀집 공간에서의 EMC에 관한 연구를 추진하였다.

### 30년간 EMI/EMC 분야 질적 성장 이끈 ETRI

ETRI는 30년 가까이 EMC 관련 연구를 지속 추진함으로써 국내 EMC 분야의 질적 성장을 이끌었으며, EMC 제도 구축과 관련 산업의 기반 조성에도 이바지하였다. 특히, 전자파 측정평가 분야 기술들은 국제표준에 반영되는 등 세계적으로도 인정받고 있다. 5G 서비스가 상용화되고 다양한 첨단 전기·전자 장비들을 더 근접해 사용해야 하는 환경이 도래함에 ETRI의 EMI/EMC 관련 기술의 중요성은 더욱 커질 것으로 보인다.

앞으로 ETRI는 국가기반시설 등 주요시설의 기능 안전(functional safety)을 고려한 EMC 기술을 개발할 예정이며, 기존의 EMI 허용기준 및 내성 시험 레벨을 재설정하고 적절한 평가 방법을 도출하기 위한 연구를 계속해 나갈 계획이다.



### 체계적 주파수 관리 필요성 대두

우리나라는 1961년 제정된「전파법」에 따라 과학기술정보통신부 산하 중앙전파관리소에서 전파이용 질서의 유지·보호를 위한 전파모니터링 업무를 수행하고 있다. 중앙전파관리소는 1990년 이후 다수의 외국산 시스템을 수입하여 수동으로 불법무선국 모니터링, 전파품질 측정 등 기본적인 전파모니터링 업무를 수행해 왔다.

그러나 2000년대에 들어 IMT 2000, 무선 LAN, DMB, DTV 등 고주파수·소출력·광대역의 디지털 무선통신서비스가 출현하면서 전파간섭·혼신이 증가하자 기존의 노후화된 전파모니터링 장비로는 이러한 전파환경변화에 효과적으로 대응할 수 없는 상황이 되었다. 아울러, 주파수의 경제적 가치가 높아지자 주파수를 체계적으로 관리해야 할 필요성이 더욱 커졌다.

### 전파 모니터링 시스템 독자 상용화 개발

이에 ETRI는 1980년대 중반부터 전파방향 탐지 기술 등을 연구하여 확보한 기술을 기반으로, 2000년대 중반부터 본격적으로 전파모니터링 시스템의 국산화 개발을 시작하였다. 2005년부터 2008년까지 4년 동안 총 495억 원의 예산을 투입하여 전파모니터링 시스템을 개발하고 전국의 중앙전파관리소 본소와 지소에 설치하였다. (지능형 전파관리시스템 70식, 방향탐지시스템 15식) 이로써 국산 기술·장비로 전파관리를 할 수 있는 체제가 완료되었다.

전파모니터링 장비는 독일·프랑스·미국 등 선진국이 독점 생산해 온 고성능 시스템이어서, 개발 초기에는 과연 ETRI가 외산 장비와 동등하거나 그 이상의 고성능 RF 장비를 개발할 수 있을 것인가에 대해 회의적인 시선이 지배적이었다. 또한, 해외 경쟁사들은 수십 년 동안 축적된 기술을 한국과 같은 신흥국에 제공하지 않았으며, 심지어는 벤치마킹을 위한 최신 RF 수신기를 구매하기도 어려웠다.

그러나 ETRI는 한국 정부의 전파모니터링 장비 구축계획을 외산 업체에 적극적으로 설명하여 사업참여를 이끌어 냈으며, 결국 최신의 고성능 RF 수신기를 공급받을 수 있었다. 연구진은 이를 토대로 먼저, 전파 측정 및 방향탐지 알고리즘과 같은 핵심 SW를 국산화하여 외산 수신기와 통합한 후 전체 시스템을 구축하였다. 그런 다음, HW에 해당하는 RF 수신기를 국산화하여 핵심 HW와 SW 모두 자체개발하는 데 성공하였다.

ETRI가 개발한 ‘전파관리고도화 시스템’은 전파측정 시스템과 방향탐지 시스템으로 구성



전파모니터링 시스템 수출(2011. 라오스 우편통신국)

되었으며, 전파모니터링뿐만 아니라 모니터링자료 분석기능과 무인 시스템화 기능, 원격 운용 및 종합제어관리 기능 등을 보유한 복합적인 전파관리 시스템이었다. 특히, 방향탐지 시스템은 국산화를 통해 300억 원의 수입대체 효과와 99억 원의 예산 절감효과를 도출하였다.

2013년부터 2016년까지는 소출력·광대역 무선기기 확산 등 전파이용환경 변화에 신속히 대처하고, 교체가 필요한 고정형 측정장치를 대체하기 위해 이동설치가 용이한 ‘준고정형 전파측정 시스템’을 개발하여 총 14식을 설치하였다. 이 시스템은 대도시 음영지역과 중소도시의 주요 전파모니터링지역에 대한 상시 전파모니터링을 수행하고 있다.

또한, 2017년에는 위성항법 대역에 대한 모니터링·방향탐지뿐만 아니라 항공·선박 등 인명·안전과 관련된 주파수 대역에 대한 혼·간섭 신호 모니터링까지 가능한 ‘전파교란 모니터링 시스템’을 개발하였다. 이는 기존에 전파측정 시스템과 방향탐지 시스템으로 이원화되어 있던 전파모니터링 시스템을 하나로 융합하여 소형화·경량화로 구축비용을 절감하고, 이용 편의성을 극대화한 시스템이다. 넓은 주파수 대역을 커버하면서도 다중 신호에 대한 발신 위치추정이 동시에 가능하며, 안테나에 수신된 신호에 대한 교차상관 추정을 통해 미약 신호까지 탐지할 수 있는 것이 특징이다. 이 기술은 ‘스마트 전파모니터링 융합기술’이라는 이름으로 2017년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

현재 ETRI는 2018년부터 2023년까지 6년간 고정형(70대)과 이동형(11대)을 포함한 총 81대의 전파모니터링 장비를 구축하는 것을 목표로 사업을 진행 중이다.

### 개도국 전파 모니터링 시스템 기술 지원

ETRI는 RF 안테나, RF 수신기, 디지털 신호처리기 등 핵심 HW에서부터 전파측정 및 방향탐지 알고리즘 등의 핵심 SW에 이르기까지 전파모니터링 기술 전체에 대한 기술력을 확보하고 있으며, 이를 통해 365일 상시 모니터링 가능한 안전한 대한민국 전파환경을 실현하고 있다. 2019년 중앙전파관리소의 분석결과, 2005년 이후 ETRI가 구축한 전파모니터링 시스템의 비용 절감효과는 R&D 비용을 제외하고도 1,129억 원에 달하는 것으로 나타났다.

또한, 2019년 UN 산하의 ITU-R SG1(전파관리 부문) 국제회의에 참석하고, 해당 분야 ‘전파모니터링 핸드북’ 개정안에 ‘머신러닝을 활용한 변조 신호 분류 방안’에 대한 기술 기고를 하는 등 전파모니터링 기술 표준화에도 적극적으로 나서고 있다. 아울러, 2013년부터는 과학기술부의 ‘한국형 전파모니터링 시스템 개도국 무상보급사업’에 따라 몽골, 키르기스스탄, 캄보디아 등의 개발도상국에 시스템을 지원하고 있다.

후속 사업으로 2018년부터 과학기술정보통신부의 「I-Korea 4.0: ICT R&D 혁신전략」에 따른 ‘전파모니터링 전문연구실’ 과제를 추진하고 있다. 본 사업은 1단계 탐사형 전파모니터링 기술개발, 2단계 드론형·센서형 전파모니터링 기술개발 그리고 3단계 핸디형 전파모니터링 기술개발로 진행될 예정이다.

1-5-3. 전파기반

무선통신 다변화에 따라 지능형 안테나 필요성 대두

안테나(antenna)는 특정 영역대의 전자기파를 송·수신하기 위한 변환장치로, 무선통신이 가능케 하는 최종단 기반기술이다. 무선통신이 다변화됨에 따라 최근의 안테나는 지능형 안테나 즉, 다중모드 다중채널 무선통신 서비스를 위한 ‘다중모드 재구성 안테나’로 발전해 나가고 있다. 이 기술은 여러 주파수를 효율적으로 사용할 수 있는 기반을 마련하여 궁극적으로 국민 공공 자산인 전파의 가치를 극대화하고 양질의 무선통신 서비스를 제공한다는 점에서 중요성이 크다.

5G를 넘어 6G 기술의 기반이 되는 지능형 안테나

ETRI는 SDR, MIMO, CR 등 모뎀 신호처리 시스템 기술의 발전과 병행하여 요구되는 RF 전단부의 배열 안테나 기술개발을 위해 2007년부터 4년간 ‘지능형 안테나 기술개발’ 사업을 수행하였다. 과제에는 SKT와 안테나 전문기업인 감마누, 에이스테크놀로지, 하이게인안테나, KMW 등이 공동연구기관으로 참여하였다.

이를 통해, ETRI는 차세대 무선통신 다중모드 기지국에서 요구되는 ‘동작 주파수 재구성’을 통한 다중대역 서비스와 안테나 패턴 재구성을 통한 ‘전력효율 증대 및 통화품질 극대화’를 추구하는 기지국용 안테나 시스템 기술을 개발하였고, 궁극적으로 ‘다중대역·다중모드 재구성 안테나 기술’을 성공적으로 구현하였다.

특히, 지능화의 핵심 요소기술인 내장형 가변감쇄기·위상천이기를 통한 출력 및 빔 패턴 제어 기술, 서비스 커버리지 내에서 균일한 통신품질 제공이 가능한 빔 성형 기술, 전파환경을 고려한 최적의 편파 제어·제공 기술, 안테나의 실시간 시스템 제어 기술 등을 확보하

고 핵심특허로 출원·등록하였다. ETRI는 현재의 5G 서비스는 물론, 향후 6G 서비스에 대응하는 지능형 안테나 기술을 지속해서 개발해 나갈 계획이다.

창의적·선제적 도전으로 이뤄낸 지능형 안테나

ETRI는 5G 서비스 이전부터 기지국 안테나의 지능화를 예견하고 있었다. 이에 배열 안테나 구조를 기반으로, MIMO 인터페이스 형태의 멀티 안테나 모드, RF 전파 영역의 범위를 제어하는 전파범위 재구성 모드 그리고 SDR을 지원하는 주파수 재구성 모드 등의 4개 모드 기능을 동시에 제공하는 방안을 정부에 제안하였다. 그러나 이는 당시 매우 도전적인 최초의 시도여서, 정부도 해당 연구에 투자해야 할지 말아야 할지 주저하는 분위기였다.

그러나 ETRI는 국내 안테나 주요업체들을 설득하고 SKT를 직접 방문하여 설명회를 개최하는 등의 노력을 통해 5개 업체가 참여하는 공동연구체계를 만들 수 있었다. 특히, SKT가 자사의 기지국 설비를 아낌없이 제공하여 성능검증에 성공하였다. 통상 기지국 안테나 개발은 시험 테스트베드를 구하기 어려워 난항을 겪기 마련인데, 국내 기업과의 적극적인 협력체제 구축으로 신속하게 기술 상용화 기반을 만들 수 있었다.



기지국용 지능형 안테나 시스템

글로벌 전파 할당·분배를 위한 기술 필요

초고속, 대용량 데이터 제공을 위한 IoT, 차세대 이동통신(LTE, 5G) 서비스가 급속히 발전하면서 한정된 전파자원인 스펙트럼 및 주파수를 글로벌 공통 또는 국가별 서비스에 최적으로 할당·분배해야 할 필요성이 대두되었다. 이에 ITU-R을 중심으로 전 세계는 새로운 서비스가 시작할 때마다 주파수 활용·공동사용을 위해 전파를 측정·예측·분석하는 기술을 연구하고 있다.

5G 주파수대역 전파전파 특성 연구 추진

ETRI는 1990년대부터 이동통신 환경에 대한 전파모델연구를 시작하였으며, 주요 국내환경에서 UHF(극초단파) 대역에 대한 측정·분석이 가능한 초기 전파모델을 개발하였다.



이어 2000년대 초반에는 마이크로파 대역까지 주파수 범위를 확장하고, 대역별 채널사운더를 개발하여 더 깊이 있는 채널 특성 연구를 추진하였다.

2017년 ‘광대역 주파수 확보 및 채널 모델 개발’ 과제를 기점으로 5G 서비스를 위하여 6GHz 주파수 대역 이하와 20GHz 대역 이상의 밀리미터파 대역에 대한 주파수 공유 및 전파특성 예측 모델(경로손실, 빌딩인입 손실, 클러스터 손실) 개발에 박차를 가하였다.

이 과제를 통해 밀리미터파 대역의 전파특성을 측정할 수 있는 ‘광대역 채널사운더’를 개발하였다. 이는 시간·공간적으로 변화하는 신호의 다중경로 특성들을 추가적 후처리 작업 없이 직접 측정함으로써 고분해능의 측정 데이터를 확보하는 장비로, 전 세계적으로 한국을 포함한 일부 국가만이 보유하고 있다. 아울러, 실환경 전파특성 측정 캠페인을 추진하여 28GHz 및 38GHz 대역의 ‘측정기반 전파모델’을 개발하였다.

ETRI 전파모델 국제표준으로 다수 채택

2010년 이후로는 ETRI가 개발한 전파모델을 국제표준으로 만들기 위한 연구도 병행하였다. 2015년 세계전파통신회의(WRC-15)에서 채택된 WRC-19 의제 1.13(IMT-2020을 위한 6GHz 이상의 IMT 추가 주파수 확보와 스펙트럼 계획)에 따라, ETRI는 국립전파연구원, 삼성, 대학 등과 함께 밀리미터파 차세대 전파전달 특성에 관한 표준모델(고주파 경로손실 및 다중경로 전파전달 특성을 반영한 기초기반 모델)을 개발하여 2017년 ITU-R에 기고하였다. 이를 통해 전 세계가 최적화된 전파통신 환경을 누릴 수 있는 기반을 마련하였다.

또한, 전파전달 특성 모델의 사용에 있어 미국, 영국, 유럽 등이 선도적으로 개발한 표준모델을 그들과 많은 차이가 있는 국내의 전파환경에 그대로 적용함에 따라 시행착오가 컸다. 이러한 문제를 해결하기 위해 각 국가의 전파모델을 조화롭게 통합하는 방안을 연구하였다. 그 결과, 0.8GHz~73GHz에 적용할 수 있는 ‘통합된 사이트 일반 경로손실 모델’을 개발하여 국제표준화를 이끌었다. 아울러, 도심, 부도심, 교외 등 지역의 특성과 상관없는 전파특성 예측 모델을 개발하여 ITU-R에 기고하였으며, 의장보고서 채택 및 표준화 권고서 반영 등의 표준화 성과를 이뤄냈다.

5G·IoT·드론·자율주행 등에 대비한 전파전파특성 연구

ETRI의 전파전파특성 기술은 정부가 합리적인 전파 정책을 추진할 수 있는 기반이 되었고, 이를 토대로 국민은 편리하고 안정적으로 이동통신 서비스를 이용할 수 있게 되었다. 앞으로 ETRI는 5G·IoT·드론·자율주행 등 신산업용 신규주파수를 전파간섭 없이 선



전파 채널특성 측정(송수신 채널사운더)

제적으로 확보·공급할 수 있도록 다양한 주파수 대역에서의 고도화된 전파특성 측정·분석 기술과 전파모델 개발을 계속해 나갈 것이다.

실제 환경 정확히 모사하는 전자파잔향실 기술 필요

1990년대 중반부터 전 세계적으로 전자파적합성(EMC) 평가를 위한 기준시험시설로 야외시험장(OATS) 및 전자파 반무반사실(SAC)이 활용되어왔다. 그러나 실제 전자파 환경을 가장 정확하게 모사할 수 있는 것으로 알려진 전자파 시험시설은 전자파잔향실(Reverberation Chamber)이다. 실제 환경에서의 전자파는 주변 산란체에 의해 종종 다중 반사 및 다중경로 효과를 내는데, 전자파잔향실은 이러한 복잡한 환경을 극한의 방식으로 모의실험할 수 있어 정확한 측정이 가능하다. 그러나 설계·제작, 측정방법 등 여러 가지 어려움으로 인해 전자파잔향실은 다른 평가시설보다 먼저 개발되었으면서도 실제로는 사용되지 못하는 상황이었다.

3D 수치해석 SW를 활용한 전자파잔향실 성능개선

이에 ETRI는 2015년부터 2018년까지 ‘전자파 잔향실 기반 실환경 전파 측정 및 평가 기술연구’ 과제를 통해 전자파잔향실에 대한 해석·설계·제작·평가 기술을 개발하고, 이를 기반으로 EMC·무선기기 성능평가 기술을 개선하였다.

특히, 기존에는 전자파잔향실에서 무선기기 성능평가를 하려면 일정 크기 이상의 구조체와 비대칭형 교반기를 설계·제작·설치한 후 계속해서 시행착오를 해가며 구조체의 크기와 교반기 추가 여부, 작업공간 등을 조정해야만 하였으나, ETRI는 대형 구조물 해석에 사용되는 3D 수치해석 SW를 활용하여 미리 전자파잔향실 구조(교반기 구조, 위치 포함)를 설계하는 기술을 개발하였다.

개선된 성능의 전자파잔향실을 이용하여 복사성 방출 및 내성 등 EMC 측정 개선을 위한 연구를 수행하였고, 수신 안테나 교반(Stirring) 기술을 적용하여 전자파잔향실에서 수행한 복사성 방출 측정 결과와 OATS·SAC 등의 기준시험시설에서 측정한 결과와의 상관도 향상을 확인하였다. 또한, 다양한 전자파 환경을 모사할 수 있는 전자파잔향실의 특성을 이용하여 Wi-Fi, Bluetooth, LTE 등 무선기기에 대한 성능평가 기술을 확보하였다.



ETRI 전파파진향실(2017, 12.)

### 전자파잔향실 기술의 뛰어난 확장성

ETRI가 개발한 전자파잔향실 설계 기술은 여러 중소기업에 이전되어, 전자파 노출량 측정장치 등의 상용제품으로 판매되었다. 또한, EMC 측정평가, MIMO 안테나 등 무선기기의 성능평가, 새롭게 등장할 다양한 무선기기의 통신성능 평가 등에 적극적으로 활용될 것으로 보이며, 자동차 등 대형 시스템에 대한 EMC 평가 및 무선기기 실차시험 등에도 활용 가능성이 크다.

후속 사업으로는 2019년부터 ‘스펙트럼 챌린지’를 통한 기존 무선국 보호 및 주파수 공유 기술 개발과제가 추진되고 있으며, 이를 통해 2023년까지 전자파잔향실을 이용한 간섭분석 연구를 수행할 예정이다.

## 1-5-4. 전파응용

### 전파의 순기능을 이용한 전파의료 기술 등장

1990년대 중반 이후 이동통신을 비롯한 전파 산업의 급격한 발전과 함께, 전파 인체영향 등 전자파의 역기능에 대한 우려 또한 증대하기 시작하였다. 이에 정부는 편리성과 유용성 등 순기능을 가진 전파 응용기술을 개발함으로써 국민이 전파에 대한 지나친 우려를 극복하고, 안심하고 전파를 이용할 수 있도록 하는 사업을 추진하였다.

### 전파진단과 전파치료 기술개발

ETRI는 2000년대 중반부터 전파를 이용한 영상진단과 치료 기술 관련 연구를 수행하기 시작하였다. 전파를 이용한 영상진단 기술은 기존의 방사선이나 강한 자기장 대신 인체보호 기준을 만족하는 안전한 미약 전파를 이용하여 인체 내부를 영상화하는 기술로, 생체조직이 가진 서로 다른 전자기적 특성과 그에 따른 다양한 전파산란 해석 연구를 바탕으로 한다.

전자파 해석 원천기술을 확보하기 위하여 2007년부터 2010년까지 ‘전자파 기반 진단 및 방호 기술개발’을 국책 과제로 추진하였다. 세부적으로, 전파진단 연구, 전자파에 의한 일

반 세포 노출에 따른 유전자 발현에 대한 연구, 전자파 제어 신기술을 이용한 다양한 대상에서의 전자파 저감 기술연구 등을 수행하였다. 특히, 전파의료 영상촬영 기술은 이론적 연구뿐만 아니라 직접 실험장치를 제작하여 원천기술을 검증하는 데 성공하였고, 서울대 수의대와 협력하여 개를 대상으로 한 전임상 수준의 실험도 수행하였다.

ETRI가 전파의료 영상촬영 원천기술개발에 성공하자, 정부는 기술의 실용화를 위한 투자를 결정하였다. 이에 ETRI는 2011년부터 2015년까지 서울대병원과 공동으로 병원에서 활용 가능한 진단 의료장비의 시스템 기술개발을 목표로 ‘전자파 이용 조기진단 고정밀 MT 시스템개발’ 과제를 수행하였다. 과제를 통해 개발한 ‘마이크로파 고정밀 유방암 진단 시스템’은 기존의 X선보다 안전한 마이크로 전자파를 이용하여 암을 진단하는 것은 물론, 암 유무 판독 능력도 기존 시스템보다 월등히 뛰어났다. 본 시스템은 한국산업기술시험원의 연구자 임상시험용 의료기기 인증시험을 통과하고, 서울대병원 영상의학과가 실시한 환자 대상 임상시험까지 성공적으로 완료하였다. 또한, 핵심기술은 국제특허로 출원, 등록하였다. 한편, 전파치료 기술은 인체 내부 침투가 용이한 주파수의 전파를 인체 내부의 원하는 위치에 집중적으로 조사하여 암과 같은 난치성 질환을 비침습적으로 치료하는 기술로, 인체와 같은 복합 매질 내에서 특정 위치에만 전파 에너지를 집중하게 하는 전파 합성 기술을 바탕으로 한다.

2016년부터 2018년까지 전파치료를 위한 정밀조사 알고리즘 연구를 수행하였다. 그 결과, 실제 생체조직을 대상으로 하는 마이크로파 집중 정밀조사 시험장치를 제작하고, 전문의, 교수, 의료기기 제조사 임원을 초빙하여 기술을 시연하는 데 성공하였다. 본 기술개발 과정에서 인체 특정 부위에 전파를 집중하여 열을 발생시킬 때 체내 열의 추이를 감시할 필요성이 제기되었다. 이에 2019년부터 2년간 ‘전파영상 기반 가이던스 기술’을 개발함으로써 체내 열 변화를 감시하는 데도 성공하였다.

### 전파 기반 의료기기 신시장 창출

이상의 연구개발 경험을 바탕으로 ETRI는 사용자의 요구에 맞춘 전파영상 및 전파의료 장비개발 역량을 보유하게 되었다. 전파영상 진단 기술은 앞으로 폐암을 비롯하여 뇌, 심장, 골절 연조직, 혈류 등 다양한 질병의 영상진단에 활용될 것으로 보인다. 또한, 전파치료 기술은 수술에만 의존하던 기존의 의료 기술을 획기적으로 진보시켜, 전파를 이용하여 무수술·무혈·무통으로 종양 및 근골격계 질환, 각종 염증 등 퇴행성 질환을 치료할 수 있는 길을 열었다. 특히, 전파영상 기반 가이던스 기술은 조만간 세계 최초의 상용화를 앞두고 있어 새로운 의료기기 시장을 창출할 것으로 기대된다.



서울대병원에 설치된 마이크로파 유방암 진단 시스템



무선전력전송 가능성에 전 세계가 주목

100여 년 전 니콜라 테슬라가 아파트 20층 높이의 방송탑을 이용하여 전 세계로 무선전력 공급을 시도한 이래, 무선으로 에너지를 전송하려는 과학자들의 노력은 계속되어왔다. 그러다 2007년 Science 지에 자기공명(magnetic resonance) 방식을 이용한 무선전력전송 관련 논문이 발표되자, 전기·전자·전파 관련 전문가와 산업체는 무선전력전송에 크게 관심을 보이기 시작하였다. 특히, 2008년 삼성, LG, 애플, 구글, 화웨이 등 세계적 기업이 참여하는 WPC(Wireless Power Consortium, 무선전력전송컨소시엄)의 발족으로 무선전력전송 개발 분위기가 더욱 고조되었다.

자기공명형 무선전력전송 시스템 E-Cup<sup>®</sup> 개발

무선에너지 전송 기술은 전기, 전자 및 전파 분야의 교집합적 성격을 가진다. ETRI는 그간 축적한 관련 기술들을 토대로 2000년대 후반부터 무선에너지 전송 기술개발에 착수하였다. 개발 초기에는 이론 검증과 상용화 가능성에 대해 전문가들 사이에 이견이 있었으나, 2010년 ‘60W급 로봇 무선충전 시스템 개발’에 당당히 성공하여 기술의 상용화에 신호탄을 쏘아 올렸으며, 이때부터 국내·외의 관심과 견제를 받기 시작하였다.

개발과정에 있어서 연구진은 크게 두 가지 난제를 해결하는 데 집중하였다. 첫 번째는 충전 영역의 자유도를 넓히는 것이었다. 무선충전을 위해서는 송신기(패드)의 정해진 위치에 정확하게 스마트폰을 놓아야 하고, 그렇지 않으면 충전이 안 되거나 열이 발생하는 문제가 있었다. 이에 3차원 무선충전 개념을 도입하여 자기장을 발생시키는 부품의 위치와 입력 전력을 조절함으로써 원통형의 3차원 공간 내에서 스마트폰이 어떠한 위치에 있어도 높은 효율로 충전될 수 있고 심지어 2대의 동시 충전도 가능한 기술을 개발하였다. 이는 2016년 당시로서는 매우 획기적인 기술로, ETRI는 이 충전 시스템을 ‘E-Cup<sup>®</sup>(Energy Cup)’이라고 명명하였다. E-Cup<sup>®</sup>은 2017년 1월 미국 라스베이거스에서 개최된 CES<sup>69)</sup>에 전시되어 많은 찬사를 받았다.

두 번째는 무선으로 에너지를 전송할 때 필연적으로 발생하는 전자파를 해소하는 문제였다. 무선전력전송 기술이 실제 제품으로 출시되기 위해서는 전자파 관련 기준을 만족해야 했는데, 특히 자동차와 관련해서는 일반 제품의 수배에서 수십 배 이상의 엄격한 기준을 충족시켜야 하였다.

2015년 세계적인 전원공급기 기술을 보유한 중전기업 동양이엔피(주)로부터 다급한 자문요



3차원 공간 무선충전(E-Cup<sup>®</sup>) 기술개발

69) CES(Consumer Electronics Show, 소비자 가전 전시회): 50년 전통을 가진 세계적 IT 전시회로, 세계적 대기업부터 시작하여 중소기업까지 참여하고 있다.



자기공명형 무선전력전송 시스템 E-Cup<sup>®</sup>

70) KWPF(Korea Wireless Power Transfer Promotion forum, 무선전력전송진흥포럼): 2011년 창립되어 국내외 무선전력전송 관련 표준화, 주파수, 서비스, 제도개선 등에 대해 회원사들과 의견을 나누고 대정부 건의를 하는 등 국내 산업체들이 미래 세계 무선전력전송 시장을 주도할 수 있도록 기반을 마련하고 있다. (www.kwpl.org)

청이 들어왔다. 자동차용 스마트폰 무선충전기를 납품하기 위해서는 자동차 회사에서 제시한 전자파 인증 규격을 만족해야 하는데, 기업 자체적으로는 해결이 불가하고 이 문제를 풀 수 있는 것은 ETRI밖에 없다는 것이었다. ETRI와 동양이엔피(주)의 연구진은 합속까지 감내하며 기술개발에 몰두하였고, 그 결과 2015년 국내 최초로 자동차용 무선충전기를 상용화하는 데 성공하게 된다. 무선 에너지 전송의 가장 큰 난관이었던 전자파 문제를 해결함으로써 중전기업이 현대자동차와 기아자동차 등에 연간 수만 대의 자동차용 스마트폰 무선충전기를 공급하게 하는 성과를 이룬 것이었다.

ETRI의 ‘무선 에너지 전송 기술’은 2014년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’ 선정을 시작으로, 2016년에는 한국경제신문사의 ‘다산기술상 공공부문상’과 삼성전자의 ‘삼성전자 우수신기술상’을 수상하였고, 2017년에는 미래창조과학부의 ‘정보통신·방송 우수성과’에 선정되는 등 대내외적으로 우수성을 인정받았다.

원천기술개발을 넘어 상용화 단계로 기술 진화

개발된 무선 에너지 전송 기술은 지금까지 5개 기업에 6.8억 원 규모로 이전되었고, 이후에도 관련 업계는 높은 관심을 보이면서 기술이전을 요청하고 있다. 현재 무선전력전송 원천기술개발을 넘어 상용화 단계까지 끌어올리는 연구를 수행하고 있으며, 적극적으로 연구결과를 발표함과 동시에 무선전력전송진흥포럼<sup>70)</sup>에서의 분과 활동을 통해 무선전력전송 기술 확산에 힘쓰고 있다.

한편, 2020년부터는 그간 소외되었던 스마트팩토리용 물류로봇(AGV)의 무선충전 연구를 세계 최고 수준으로 개발한다는 목표로 연구개발을 진행하고 있다.

안티드론 기술 필요성 대두

전 세계적으로 드론의 보급과 활용이 보편화되면서 사생활 침해와 보안 위협 등의 역기능 사례 또한 지속해서 증가하고 있다. 특히, 소형 드론의 경우 특별한 전문지식 없이도 원격 조종이 가능하여 안전·보안 위협 같은 범죄에 쉽게 노출되고, 사고 발생 시 추적이나 책임 소재 파악에도 어려움이 따른다.

이에 드론의 역기능에 대응하기 위한 안티드론 기술이 부각되고 있으나, 기존의 대응 기술은 지상 레이더나 적외선 등을 활용한 드론 탐지와 물리적 방법이나 제밍(Jamming)

장치 등을 활용한 드론 무력화 기술에만 초점이 맞춰져 있었다. 그러나 이러한 대응 체계에는 드론 식별 기술이 포함되어 있지 않아 사고 발생 시 책임소재 파악, 보험 처리 등의 후속 조치가 적절히 이뤄지기 힘들고, 드론의 운행 목적이 고려되지 않은 일방적 운용중지 등으로 대응에 한계가 있었다.

소형 드론 식별 및 주파수 관리 기술개발

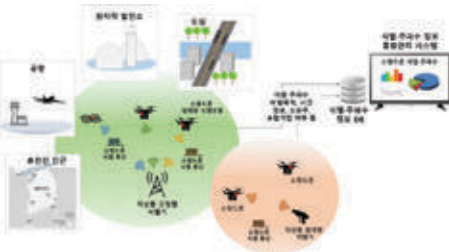
이러한 문제를 해결하고자 ETRI는 2019년부터 5년간 ‘저고도 소형 드론 식별 · 주파수 관리 기술’ 개발을 추진하고 있다. 세부적으로, 소형 드론 식별 표준 및 주파수 연구, 식별용 통신방식 및 접속 프로토콜 개발, 소형 드론 탑재용 식별 모듈 및 지상용 식별기 개발, 소형 드론 식별 · 주파수 정보 통합관리 기술개발 등을 수행하고 있다.

연구진은 특히, 드론 식별 용도에 적합한 주파수를 발굴하여 식별정보를 송수신하는 통신 시스템 개발에 주력하고 있다. 이 시스템은 드론에 탑재하는 식별 모듈과 지상에서 식별정보를 수신 · 분석하는 지상용 식별기로 구성된다. 드론 식별정보는 통합관리시스템에 저장되어 드론의 기체 및 소유자 정보 등과 연계 · 관리되고, 운용자(경찰청, 공항공사 등)는 비행 중인 드론의 현황 · 식별정보를 확인하여 드론으로 인한 사생활 침해나 보안 위협 등의 상황이 발생할 경우 즉각적으로 대응할 수 있다. 2024년 경이면 이러한 기술을 토대로 드론 식별 · 관리체계가 구축될 수 있을 것으로 보인다.

드론 식별 기술 관련 표준화 활동에도 적극적으로 참여하고 있다. 기존의 항공기 무선식별 기술표준은 관제 공역에서 운항하는 유인 항공기나 중대형 드론을 대상으로 ICAO, ISO, JARUS, RTCA, EUROCAE 등의 표준 단체에서 추진하고 있었다. 그러나 최근에는 미국과 유럽을 중심으로 소형 드론의 원격 식별을 포함한 드론 설계 · 운용 규정 개발 및 표준화가 활발하게 시도되고 있다. ETRI 역시 자체 개발한 드론 식별 기술이 국제표준에 반영되도록 노력하고 있다. 소형 드론 무선식별을 위한 통신 기술은 주로 저고도에서 고신뢰 · 저지연 전송이 가능하며 보편적 접속이 용이해야 한다. 이러한 특징을 고려하여 식별 통신 표준인 IEEE 802, 3GPP, ASTM, RTCA, 그리고 식별 체계 표준인 ISO, ICAO 등에 부합하는 기술을 개발 중이다.

안전한 드론 생태계 기반 마련

드론 식별 및 주파수 관리 기술개발이 완료되면 비행 중인 드론의 ID, 위치 등을 누구나 인터넷으로 확인할 수 있어 드론 범죄에 대한 불안감을 해소할 수 있을 것이다. 또한, 불법 비행과 사생활 침해 등의 범죄가 발생할 경우 경찰 등의 운용자가 소유주 및 조종자 개인 정



저고도 소형 드론 식별 · 주파수 통합관리시스템 개념도



드론식별 관리기술개발

보를 확인하여 적절한 조치와 처벌로 대응할 수 있게 된다. 충돌이나 추락 등 사고 발생 시에도 책임 소재 파악과 보험처리 등 효율적 사후 대처가 가능한 안전하고 투명한 드론 생태계가 구축될 것으로 전망된다.

아울러, 드론 식별 · 관리 기술개발로 인해 새로운 드론 융합 서비스가 창출되고, 드론 식별 인프라(드론 탑재용 식별 모듈, 지상용 식별기, 식별 · 주파수 정보 통합관리시스템) 관련 산업이 활성화되어 국내 드론 산업의 경쟁력이 크게 향상될 것으로 기대된다.

극한 환경에서도 통신 가능한 자기장통신

자기장통신 기술은 자기장 영역을 이용하여 금속, 수중, 지중, 건물 붕괴 현장 등 극한 환경에서도 무선 데이터를 전송할 수 있는 기술이다. 국민의 안전 등 공익 관점에서 꼭 필요한 기술이나, 기술 난이도가 높고 개발에 오랜 시간이 소요되어 산업체에서는 개발하기 어려웠다.

이에 ETRI는 2019년부터 2028년 종료 예정으로 ‘10pT급 미소자계 기반 중장거리 자기장 통신 기술’ 개발과제를 시작하였다. 연구비 150억 원, 연구인력 연 110명이 투입되는 ETRI 지원금사업으로, 1단계에서는 ETRI가 원천기술개발을 수행하고, 2단계부터는 기술의 조기 상용화를 위해 국내 기업들을 참여시키는 형태로 추진되고 있다. 또한, 부족한 기술은 국내 대학과의 공동연구를 통해 확보한다는 방침이다.

본 과제를 통해 기존 자기장통신의 단점인 짧은 전송 거리, 좁은 대역폭을 극복한 중장거리 자기장 전송 기술을 개발하고 있다. 기존의 자기장통신은 자기유도를 기반으로 하여 최대 10cm 수준에서 결제, 물류 관리 및 입 · 출입 모니터링 등에 활용되었다. 그러나 ETRI는 미소 자기장 검출을 기반으로 하여 양자자력계(Quantum magnetometer), 중장거리 전송 모드 생성 기술, 소형 안테나를 이용한 광대역 정합 기술 등 완전히 독창적인 원천 기술을 개발하고 있다.

국민의 안전과 신산업 창출에 기여

2028년 중장거리 자기장 전송 기술이 완성되면, 수중 · 지중 시설물 관리, 재난 · 재해 시 인명구조 등에 매우 유용하게 활용될 것이다. 이를 통해 국민의 생명과 안전, 재산을 보호하고 통신 · 탐색 · 국방 등 여러 분야에서 신산업을 창출할 것으로 기대된다.



## 네트워크

ETRI의 네트워크 분야는 지난 40여 년간 발전에 발전을 거듭하여, 전송 · 교환 기술, 제어 · 관리 기술, 유무선 접속 기술, 인터넷 기반의 멀티미디어 서비스 기술 등을 끊임없이 혁신해왔다. 그 결과, 우리나라는 수백기가급의 광액세스와 테라급 광전달망, SDN/NFV 기반의 유연한 네트워크 인프라를 확보하게 되었다.

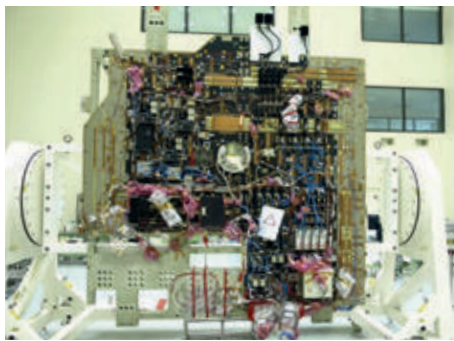
앞으로 ETRI는 테라비트 이더넷 광전송 원천기술을 개발하여 테라급 광통신 시대를 선도하고, 향후 6G를 위한 페타급 광통신 기술개발에도 도전할 계획이다. 또한, 광액세스 분야에서는 1/1,000초 이내에 정보 전달이 가능한 촉각(Tactile) 인터넷 시대로 빠르게 진입할 수 있는 기술을 개발하고, 초고속(~100Gb/s) 무선 데이터 서비스 제공이 가능한 테라헤르츠 근거리(전송 거리 최대 10m) 전송 기술개발에도 주력할 계획이다. 아울러, IoT, 클라우드, 5G 모바일망, 데이터, 인공지능 기술 등과 밀접합된 ‘초연결 지능 네트워크’ 개발을 추진하여 다양한 신산업 · 신서비스가 창발 될 수 있도록 노력할 것이다.

## 이동통신

ETRI는 1988년부터 디지털 이동통신 개발을 추진하여 1996년 세계 최초의 CDMA 상용화, 2006년 세계 최초의 휴대인터넷 WiBro 상용화, 2007년 세계 최초의 LTE 시스템 핵심기술개발, 2010년 4세대 이동통신 시스템 LTE-Advanced 개발, 2018년 5세대 이동통신 기술개발에 이르기까지 이동통신의 진화를 선도하며 우리나라가 자타가 공인하는 세계 최고의 이동통신 강국으로 부상하는데 기여하였다.

이러한 성공을 바탕으로 ETRI는 새로운 기술에 계속해서 도전하고 있다. 국내 중소기업의 5G 소형셀 조기 상용화를 위한 5G NR(New Radio) 소형셀 SW, 5G 성능한계를 극복하는 산업용 IoT, 버스 내의 승객에게 고속의 Wi-Fi 서비스를 제공하기 위한 MN(Moving Network) 등의 기술을 개발하는 중이다.

또한, 2030년경에 상용화가 예상되는 6세대 이동통신 핵심 원천기술 선점을 위해 어떤 극한상황에서도 최소화된 지연분산으로 원하는 시간에 원하는 전송속도를 보장하는 ‘OTOR(On-Time-On-Rate) 기술’, 5G 대비 50배의 데이터 전송속도를 제공하는 ‘테라헤르츠 무선통신 기술’, 기존의 2차원 통신 중심에서 공중 · 위성 등으로 확장한 ‘3차원



위성탑재용 부품기술 개발

입체통신 기술’ 등을 집중적으로 개발하고 있다. 앞으로도 ETRI는 계속해서 대한민국 이동통신 기술을 한발 앞서 이끄는 이동통신의 견인차가 되고자 노력할 것이다.

## 위성통신

우리나라의 본격적인 위성통신 역사는 ETRI로부터 시작되었다. ETRI는 1980년대 초반부터 지금까지 위성통신 지구국 기술, 위성방송 기술, 위성 관제시스템, 위성항법 및 안테나 기술, 위성 탑재용 부품 기술 등을 개발하며 국내 위성통신 기술 발전을 이끌어왔다. 최근 위성 발사체의 재사용이 가능해지면서 발사비용이 낮아지고 고효율 위성통신(HTS) 개발로 통신 비용도 줄어들고 있어, 향후 위성통신의 수요는 급증할 것으로 예상된다.

앞으로 축적된 위성통신 기술을 바탕으로 New Space 시대를 대비한 저궤도 통신위성 기반 전송 기술 및 평판안테나 기술 등의 신기술 개발에 지속해서 도전하고, 2021년부터 시작될 공공복합통신위성(천리안위성 3호) 개발을 주도적으로 추진할 예정이다.

## 전파

전파연구는 ETRI의 역사와 함께 가장 오래된 연구 분야 가운데 하나로, 지난 45년간 이동통신, 방송, RFID, UWB 등의 분야에서 다양한 무선 서비스를 개발할 수 있도록 산실과도 같은 역할을 해 왔다.

그동안 ETRI는 전파자원 연구, 전파기반 연구, 전파환경 연구, 전파응용 연구 등 4개 분야에서 혁신적인 기술들을 개발해왔다. 이를 통해 정부 전파정책의 기술적 토대를 마련함으로써 부족한 주파수 자원을 원활히 확보하는데 기여하였으며, 전자파가 인체에 미치는 영향을 정확히 분석하고 대응방안 등을 마련하도록 하였다. 아울러, 365일 상시 모니터링 가능한 안전한 대한민국 전파환경을 실현하였으며, 전파를 의료와 드론, 무선전력전송 등의 분야에 다양하게 응용한 전파응용 기술개발에도 매진하고 있다.

앞으로도 ETRI는 축적된 전파 기술을 토대로 6G 이동통신용 RF 안테나, 전파 영상 레이더 센서 등 신기술 · 신산업을 계속해서 발굴 · 개발함으로써 국민의 건강과 안전을 도모하고, 관련 산업의 발전을 이끌고자 한다.

PART 2

# 방송미디어 /콘텐츠

- 2-1. 개요
- 2-2. 방송미디어  
초실감 CPND를 구현하다
- 2-3. 콘텐츠  
인간 중심의 디지털 라이프를 실현하다
- 2-4. 결어





## 방송미디어/콘텐츠

### 방송미디어

1927년 2월 경성방송국(라디오 방송국) 개국과 함께 우리나라에서도 방송이 시작되었다. 이어서 TV 방송은 1956년에 미국의 NTSC(National Television System Committee) 표준 기반의 흑백 TV 방식으로 시작되었으며, 1980년 12월에 흑백 TV로도 수신이 가능한 컬러 TV 방송으로 발전하였다.

1990년대 들어 뉴미디어 방송의 등장과 함께 본격적인 다매체, 다채널 시대가 시작되었다. 1995년 3월에는 케이블 TV가 본방송에 들어갔으며, 1996년 7월 KBS가 무궁화 위성을 이용한 위성시험방송을 시작함으로써 기존 지상파방송 외에 케이블 TV, 위성 TV 등이 공존하는 다원화 방송 시대가 열리게 된다. 이 시기에 우리나라는 ETRI를 중심으로 방송의 디지털화를 위한 기술개발 및 표준화를 본격적으로 추진하기 시작하였다.

ETRI는 1993년 디지털 위성방송 시스템개발을 시작으로, 디지털 방송미디어 기술개발에 돌입하였다. 이어서 2001년부터는 지상파 디지털방송 송수신 기술과 중계 기술, 신호처리 기술 등을 빠르게 개발하여 우리나라가 성공적으로 디지털방송으로 전환할 수 있는 기술적 기반을 마련하였다.

한편, 1993년부터 디지털 고선명 TV 방송시스템에서 영상신호의 고효율 압축을 담당하는 '코덱 기술'과 디지털 비디오 신호의 화질 손실을 최소화하면서 데이터양을 줄이기 위한 '비디오 부호화 기술' 그리고 디지털 오디오 신호의 음질 손실을 최소화하면서 데이터양을 줄이기 위한 '오디오 부호화 기술', 방송·통신 융합 환경에서의 멀티미디어 서비스를 위한 'MPEG-21 기반 멀티미디어 프레임워크' 등을 개발 및 표준화하는 데도 집중하였다. 그 결과 다수의 국제특허를 확보하고 수천억 원 대의 기대수익을 창출하였다.

정부는 2002년 고정형 DTV 방송서비스는 미국의 ATSC 방식으로, 이동형 DTV 방송서비스는 지상파 DMB로 시행한다는 내용의 「DAB 기반의 지상파 DMB 기본 계획」을 발표하였다. 이에 따라 ETRI도 DMB 기술개발에 돌입하였다. 이미 ETRI는 2001년부터 DAB 송수신 기술을 축적하고 있어 DMB 개발에 속도를 낼 수 있었고, 2003년 10월 세계 최초로 지상파 DMB 개발에 성공하였다. 그리고 2005년 12월부터 수도권을 중심으로 본격적인 DMB 방송이 시작되었다. 이로써 시속 150km 이상의 고속주행 중에도 끊김 없이 깨끗한 TV를 볼 수 있는 '내 손안의 TV, 나만의 방송' 시대가 막을 올렸다.

2000년대 중반 들어 TV를 시청하며 부가적인 멀티미디어 서비스를 이용하는 데이터 방송서비스와 다채널 환경에서 사용자의 의도에 맞춰 변환할 수 있는 맞춤형 방송서비스에



지상파 DMB 데이터방송기술 세계최초 시연사진



3D TV 기술 개발을 통해 2002년 월드컵 당시 세계 최초로 실시간 방송에 성공했다.

대한 요구가 커지자, ETRI는 ‘데이터 · 맞춤형 방송서비스 개발’에도 뛰어 들었다. 또한, 양방향 및 방송 · 통신 융합서비스가 가능한 IPTV가 태동하자, 관련 기술개발에 주력하여 품질보장형 IPTV 네트워크를 이용한 초고화질 방송을 구현하였다. 이로써 우리나라는 세계가 인정하는 IPTV 강국으로 올라섰다.

한편, 3DTV 방송 기술개발은 1990년대 말부터 시작되었다. ETRI는 양안식 3DTV 방송 기술, 3차원 AV 기반기술, 무안정 다시점 3D 지원 UHDTV 방송 기술 등을 연속으로 개발하였다. 이를 토대로 우리나라는 2013년 11월 세계 최초로 3DTV 지상파 본방송(SBS)을 제공할 수 있게 되었다.

2011년부터는 무안정 다시점 3D 지원 UHDTV 방송 기술과 모바일 완전입체 콘텐츠 기술, 초실감 테라미디어를 위한 AV 부호화 및 LF 미디어 기술 등에 계속해서 도전하였다. 아울러, 2011년부터 디지털 홀로그래피 분야 국가대표과제 3개를 추진하며 홀로그래피 획득생성 · 압축 · 재현 핵심기술들을 개발하였다.

2010년대에 들어서면서 방송미디어 기술은 빠른 속도로 다양한 분야와 융합하면서 기존에 없던 여러 기능을 필요로 하기 시작하였다. 이에 ETRI는 2011년부터 기존의 스마트TV를 뛰어넘는 ‘스마트TV 2.0’ 기술개발에 돌입하여, 전통적 TV 산업을 SW와 콘텐츠를 중심으로 한 신에코시스템으로 전환하는 계기를 마련하였다. 이와 함께, 세상에서 가장 넓고 선명한 TV로 불리는 대화면 파노라마 영상(UWV)에 도전하여 ‘12K×2K급의 UWV 실황중계 기술’을 개발하였다.

또한, 디지털방송 표준인 ATSC의 차세대 버전인 ‘ATSC 3.0’ 표준기술개발을 선도하여, ATSC 3.0 채널 부호화 기술 영역에서 전체 핵심특허 중 1/3이 넘는 특허를 확보하였으며, 기술의 확산과 상용화도 성공적으로 추진하고 있다. 2018년에는 ATSC 3.0 UHD 방송의 대표 서비스인 ‘UHD 모바일 방송 기술’도 개발하였다.

한편, IP에 기반한 OTT(온라인 동영상 제공 서비스)의 성장과 VR/AR과 같은 양방향 실감 콘텐츠의 출현이 본격화하면서 케이블방송도 이러한 패러다임에 부응해야 한다는 요구가 커졌다. 이에 ETRI는 ‘RoIP 기술’과 ‘동일대역 전이중 전송 기술’을 개발하였고, 이를 통해 국내 케이블방송 부품 · 장비 기술은 해외중속에서 탈피할 수 있게 되었다.

## 콘텐츠

콘텐츠(Contents)란 부호 · 문자 · 도형 · 색채 · 음성 · 음향 · 이미지 · 영상 등을 포함하는 자료 또는 정보를 뜻한다. 1990년대 이후 컴퓨터의 보급으로 디지털 형태로 제작 · 처리된 디지털 콘텐츠(이하 콘텐츠)가 급증하였다. 콘텐츠는 복제와 가공이 쉽고 One Source

Multi Use가 가능하여 산업적으로 큰 부가가치를 창출할 수 있는 분야로 주목받았다. 더구나 우리나라는 콘텐츠 산업의 토대인 유무선 통신 인프라가 세계 최고 수준이어서 더욱 성장 가능성이 높은 것으로 평가되었다. 그러나 정작 인프라를 활용할 양질의 콘텐츠가 절대적으로 부족하다는 점이 문제로 부각되었다.

이에 ETRI는 1990년대 말부터 본격적으로 디지털 콘텐츠 기술개발에 돌입하여, 지난 20여 년간 디지털 액터, 3D 게임엔진, 홀로그램 재현 기술, 인터랙티브 VR 기술 등을 개발하며 국내 디지털 콘텐츠 분야를 선도해왔다.

ETRI는 할리우드 영화의 전유물로 여겨지던 CG(Computer Graphics) 기술을 자체적으로 개발하여 국내 영상콘텐츠의 수준을 한층 끌어올렸다. ‘디지털 액터’, ‘유체시뮬레이션 기술’, ‘디지털 크리처 기술’, ‘인터랙티브 리얼 3D 기술’ 등이 대표적인 성과이다. 특히, 2005년에 개발한 디지털 액터는 여러 영화에 활용되었고, 국내 연구기관 최초로 대중상영화제 · 청룡영화제에서 기술상을 받았다.

21세기 들어 게임 트렌드가 오프라인에서 온라인으로, 2D에서 3D로 빠르게 바뀌자 ETRI는 국내 게임산업 발전을 위해 온라인 3D 게임엔진을 본격적으로 개발하기 시작하였다. 게임엔진은 그 특성상 서버 · 네트워크 · 단말기 · CG 등 종합적인 IT 기술이 요구되기 때문에 연구진은 다방면의 핵심기술을 통합적으로 개발하고자 노력하였다. 2003년부터 ‘Dream 3D’, ‘크로스 플랫폼’ 등의 게임엔진을 개발한 데 이어, 2008년에는 ‘비너스 블루’라는 이름의 게임 서버 성능 · 안정성 테스트 솔루션을 세계 최초로 개발하는데 성공하였다.

2004년 EBS의 인터넷 수능방송서비스 개시 이후 이러닝(e-Learning)이 새로운 교육 패러다임으로 자리 잡자, IT와 교육의 융합이 빠르게 진행되었다. 이에 ETRI는 교육 콘텐츠 개발을 본격적으로 시작하여, 2000년대 후반 맞춤형 학습을 위한 ‘3D 인터랙티브 학습 콘텐츠’와 3D 가상공간을 이용한 ‘체험형 동화구연 서비스’ 등 다양한 3D 학습 콘텐츠를 개발하였다. 또한, 2010년대 중반 들어서는 AR · VR · 딥러닝을 이용한 ‘참여형 이러닝 기술’과 학생들의 실내 체육활동을 위한 ‘VR 스포츠 시스템’을 개발 및 확산하였다.

2010년대 들어 네트워크 기술이 고도화되면서, 사람이 직접 눈으로 보거나 체험하는 것 같은 현실감 · 몰입감을 주는 실감체험 콘텐츠에 대한 요구가 커졌다. 이에 ETRI는 AR · VR 기술에 관한 오랜 연구 경험을 토대로 2010년대 초반부터 ‘도심형 VR 테마파크 기술’과 디지털 문화재를 가상과 현실에서 동시에 조립 · 복구해볼 수 있는 다양한 콘텐츠를 개발하였다. 아울러, 2010년대 중반부터는 곧 다가올 5G 시대 기가급 유무선 네트워크 환경에서 누구나 초연결 실감체험(Tele-Experience)을 누릴 수 있도록 초다시점 영상 고속 생



이러닝 시스템



성·처리 기술, 홀로그램 고속 생성 기술, 초다시점·홀로그램 실감 상호작용 기술, 초다시점 영상제작 도구 등을 확보하였다.

스마트폰과 동영상 공유서비스 등의 폭발적 성장과 함께 이미지 검색과 동작인식 기술 등 다양한 형태의 콘텐츠 검색·인식 기술이 등장하자, ETRI는 이의 발전도 견인하였다. ETRI는 앞으로도 첨단 콘텐츠 기술개발로 인간과 문화가 중심이 된 행복한 디지털 라이프를 구현하고자 노력할 것이다.



MPEG

### Content

가치사슬 가운데 먼저 콘텐츠 측면을 살펴보면, 콘텐츠는 대용량화, 고품질화, 실감화 방향으로 진화하고 있다. 사람은 실제 생활하면서 보고 듣는 것과 거의 동일한 품질의 콘텐츠 경험을 원하기 때문이다. 실제로, 2000년대 이전에는 아날로그 TV 방송, 2000년대 초에는 HDTV 방송, 2010년대 초에는 3DTV 방송, 2010년대 중반 이후부터 현재까지는 4K UHD TV 방송으로 서비스가 발전하고 있다. 이러한 발전에 기여한 ETRI의 기술에는 MPEG-2 기반 HDTV 방송 코덱 기술, MPEG 비디오 부호화 기술, MPEG 오디오 부호화 기술, 3D 실감 오디오 기술, 광시야각 비디오(UWV: Ultra Wide Vision) 기술, 3DTV 방송 기술, 다시점/LF(Light Field) 영상 기술, 디지털 홀로그래피 기술 등이 있다.

### Platform

방송미디어 플랫폼은 공급자 주도에서 사용자 주도로 빠르게 변화하고 있다. 인터넷을 통한 미디어의 생산·유통이 본격화하기 전에는 콘텐츠가 제작되어 단말에 전달되는 전 과정을 지상파, 케이블, 위성방송 사업자 등 개별사업자가 관리하는 공급자 주도 미디어 이용환경이 구축되어 있었다. 그러나 IPTV, OTT 서비스가 활성화되고 유튜브 등 온라인 비디오 플랫폼을 활용하는 개인 제작자가 폭발적으로 증가함에 따라 소비자가 원하는 콘텐츠를 자유롭게 선택할 수 있는 사용자 주도의 미디어 이용환경이 주류가 되었다. 앞으로는 사용자의 취향에 맞게 미디어가 사용자를 찾아가는 미디어 주도의 이용환경으로 급속히 진화할 것으로 전망된다. 이러한 발전에 기여한 ETRI의 기술에는 IPTV 방송 기술,

SMART TV 방송 기술, 유료방송 가입자를 위한 제한수신 기술, 방송콘텐츠 보호·관리 기술, MPEG-21 멀티미디어 프레임워크 기술 등이 있다.

### Network

방송미디어 전달을 위한 네트워크는 미디어의 고품질화 추세로 인해 인터넷·위성·케이블·지상파 방송망의 전송효율을 높이고 이동성을 강화하는 방향으로 발전하고 있다. 특히, 2017년 5월부터 실시한 국내 지상파 UHD 본방송은 대용량 미디어 전송과 통신망과의 결합이 가능한 ATSC 3.0 방식을 표준으로 채택하고 있어 미디어 시장의 혁신을 불러오고 있다. 이러한 발전에 기여한 ETRI의 기술에는 디지털 지상파 방송 기술, ATSC 3.0 방송 기술, 디지털 케이블 방송 기술, 디지털 이동방송(DMB) 기술, 디지털 라디오 방송 기술, 디지털 위성방송 기술, 국민의 생명·재산 보호를 위한 재난 방송 기술 등이 있다.

### Device

방송미디어 디바이스는 TV, STB 등 전통적인 미디어 소비 기기에서 스마트폰, 태블릿, HMD(Head-Mounted Display) 등 다양한 스마트 기기로 확산하고 있다. 이에 따라 기기별 특성에 맞는 사용자 경험 제공이 중요하게 되었고, 미디어 기기의 경쟁요소 역시 기술적 기능·성능을 넘어 사용자 편리성과 활용성 충족에 맞춰지고 있다. 또한, TV의 대형화와 고화질화가 진행되고, VR/AR(Virtual Reality/Augmented Reality) 기기 사용도 많아지면서 사용자 인터페이스도 음성, 제스처, 시선추적 등 다양한 멀티모달 인터페이스로 진화하고 있다. 이러한 발전에 기여한 ETRI의 기술에는 데이터·맞춤형 방송 기술, IPTV 방송 기술, SMART TV 방송 기술, 장애인복지 방송 기술 등이 있다.

## 2-2-1. 디지털방송

### 위성방송 전송 ‘디지털 방식’으로 결정

1992년 디지털 위성방송 도입에 대한 논의가 시작되었다. 당시 아날로그방송으로 독점적 지위를 점하고 있었던 방송사들은 1995년 말 무궁화위성 발사 시까지 MPEG-2 방식의 영상압축기와 송신기를 제작하는 것은 불가능하다는 표면적인 이유를 내세워 이에 반발하였다. 삼성전자, LG전자 등 가전업체 역시 방송사의 영향으로 중도적 입장을 취하였다. 그러나 ETRI는 디지털 방식의 위성방송 전송이 일본에 크게 뒤진 아날로그방송에 기술적인 변혁을 가져올 수 있는 절호의 기회라고 분석하였고, 정보통신부 또한 굳건한 의지를 드러냈다.

### 체계적인 디지털 시스템 개발에 돌입

1993년 7월 우리나라 위성방송의 전송방식이 ‘디지털’로 결정되었다. 이에 따라 1993년 초에 시작한 ETRI의 ‘디지털 위성방송 규격연구’ 과제가 ‘디지털 위성방송 시스템개발’ 과제로 확대 개편되었고, 국내 방송 기술에 대변혁을 가져올 디지털방송 기술개발이 시작되었다. 사업은 연구 기간 3년, 연구비 161.5억 원(KT 159억 원, LG 정보통신 2.5억 원), 연구인력 연 114명(ETRI 60명, MPR 40명, LG 정보통신 14명) 규모로 진행되었다.

1차 연도인 1993년에는 시스템의 개념설계 단계로 전송시스템 시뮬레이션을 통한 링크 분석을 수행하였다. 이 결과를 바탕으로 연구진은 「시스템 기능 요구(안)와」 「디지털 위성방송 잠정 기술 기준(안)」을 작성하였다. 또한, 국내 및 국제 공동개발 업체 선정·계약, 수신기 협력개발 등 전반적인 연구개발 체계와 전략을 확정하였다. 대부분 수입에 의존하는 소요자재의 획득성과 짧은 개발 기간, 첨단기술의 획득성 등을 고려하여 캐나다 MPR사와의 국제 공동개발 방식을 택하였고, 국내에서는 LG 정보통신이 참여하였다.

이어 1994년부터 시스템 설계단계에 들어갔다. 기능요구 사항과 시스템 요구규격을 확정하고 시스템 및 서브 시스템 설계, 모듈별 상위·상세 설계를 수행하였다. 또한, 주요 주문 제작 물품에 대한 협상과 계약을 종결하고 대부분의 구성품을 확보하였다.

마지막 1995년에는 HW·SW의 구현과 시스템 조립·시험을 완료하였다. 또한, 시스템 형상고정시험(Dry Run Test)을 시행한 후 송신국 2국에 대한 인증시험을 완료하고, 송신국을 국내에 반입하여 한국통신의 용인 관제소에 설치 및 점검을 완료하였다. 한편, 국내에



서는 RSMS(가입자관리시스템)과 CAS(수신제한시스템) SW를 개발하여 시스템 시험에 투입하였고, 참여 업체들을 대상으로 송수신기 정합성 시험을 시행하였다.

방송 기술 선진화 계기 마련

당시 개발한 디지털 위성방송 시스템은 국내 위성방송의 효시가 되었다. 디지털 위성방송은 영상 품질 면에서 기존의 지상파방송이나 CATV 방송보다 우수하며, 기능 면에서도 기존 방송이 제공하지 못하는 고품격 TV 방송, 스테레오 및 2개 국어 동시 방송, 자막 데이터 방송, 프로그램 안내 방송, 유료채널 방송 및 PPV(Pay Per View) 지원이 가능하다는 장점이 있다. 무엇보다 아날로그 방식으로는 무궁화위성 중계기 당 TV 1채널밖에 전송할 수 없었으나, MPEG-2 영상 압축방식과 통계적 다중화 방식을 적용한 디지털 위성방송 시스템 개발로 중계기 당 4채널에서 8채널까지 전송할 수 있게 되었다. 또한, 전자신문, 각종 영상·오디오 정보, FAX 방송 등 멀티미디어 방송이 가능하게 되었고, 향후 뉴미디어 서비스개발에 대비한 유연한 대응 능력을 갖출 수 있게 되었다.

ETRI는 기술개발과 동시에 이를 국내 표준화함으로써 방송시스템, 기기, 가전기기의 표준화에 기여하였으며, 외국기술의 위성방송 송수신기 시장 잠식을 방지하였다. 또한, 국내 관련 기술의 산업화를 유도하고 국가의 장기적인 방송정책 수립을 지원하였다.

‘송수신기 정합 규격 협의회’ 중심으로 협력시스템 구축

디지털 위성방송 시스템 개발은 업체 간 자율경쟁을 기본 전략으로 하였다. 그러나 자율경쟁으로 인해 개발과정에서 송신기와 수신기의 정합성이 떨어지면 안 되기 때문에 송수신기 개발자 간의 협력체제가 필요하였다.

이에 ETRI는 개발 초기인 1994년 2월부터 국내 9개 업체(LG전자, 대우전자, 삼성전자, 현대전자, 아남전자, 대륜정밀, (주)판텍, 미래통신, 나우정밀)와 4개 방송사(KBS, MBC, SBS, EBS)가 참여하는 ‘송수신기 정합 규격 협의회’를 구성하여 협력을 유도하였으며, 최신 정합 규격을 즉시 제공하는 등 기술을 지원하였다. 이러한 노력의 결과, 1995년 7월 ETRI에서 4개 업체가 제작한 수신기의 기본 기능시험이 진행되었고, 1995년 12월부터는 제작된 수신기의 정합성 시험을 시작하였다. 당시 ETRI가 기업에 이전한 송수신기 설계·제조 기술은 우리나라가 디지털 TV 제조 강국으로 도약하는 계기가 되었다.



디지털 위성방송 헤드엔드



디지털 위성방송 수신기

지상파방송의 디지털 전환 본격화

1990년대 후반 미국과 유럽을 중심으로 디지털 지상파방송을 위한 표준 논의가 시작되었다. 국내에서도 지상파방송을 디지털로 전환하기 위한 계획이 세워졌고, 미국의 ATSC<sup>71)</sup> 방식과 유럽의 DVB-T<sup>72)</sup> 방식 중 한 가지를 선정하는 절차를 밟게 되었다. 그 결과 우리나라는 고화질의 디지털방송 정책에 따라 HD 방송에 최적화된 ATSC를 국내 디지털 지상파 방송 방식으로 선정, 2001년부터 지상파 HD 본방송이 시작되었다.

디지털 전환을 위한 핵심기술개발

디지털 지상파방송은 2001년 서울지역을 중심으로 본방송이 시작되어 2005년에는 전국망 구축이 완료되었다. ETRI는 2001년부터 디지털 지상파방송 분야 기반기술에 관한 연구를 본격적으로 시작하였으며, 특히 2003년부터 3년간 ‘지상파 DTV SFN<sup>73)</sup> 송수신 기술개발’ 과제를 수행하였다. 연구비 110억 원과 연구인력 연 30명이 투입되는, 당시 방송 분야에서는 대형과제에 해당하는 사업이었다. 사업의 주요 목적은 우리나라가 디지털방송 표준으로 채택한 ATSC의 단점을 보완하는 것이었다. ATSC 방식은 NTSC와의 호환성이 높고 고화질 방송에 최적화된 표준이라는 장점이 있었지만, 멀티 패스나 잡음에 상대적으로 취약하고 SFN 구성이 불가능하여 중계소마다 다른 주파수를 사용해야 한다는 단점이 있었다.

연구진은 무에서 유를 창조한다는 굳은 의지로 SFN 기술개발에 도전하였다. ATSC 표준화 회의에 참석하여 기존 ATSC 송신기의 일부 변경만으로도 SFN이 가능하도록 표준 개정안을 제안하였고, 이를 계기로 캐나다 통신연구센터(CRC)와 국제 공동연구파트너가 되어 ATSC 표준화 협력을 시작하였으며 현재까지도 협력관계를 이어오고 있다.

ETRI는 SFN 기술개발 과제에 이어, 2010년까지 지상파 DTV를 위한 동일채널 중계 기술개발, 분산중계 기술개발, 분산주파수망 시범서비스 등을 계속해서 추진하였다. 특히, 송신기를 제외한 중계기를 통해 SFN이 가능하도록 한 등화형 동일채널중계기를 개발하여 2004년 4월 세계 최대 방송장비 전시회인 ‘NAB show’에 선보였다. 동일채널중계기는 같은 해 9월 미국 TV 단일채널 방송망 표준(ATSC SFN)의 기술권고안(Design of Synchronized Multiple Transmitter Networks)으로 채택되었다.

또한, 2006년부터 2008년까지 3년에 걸쳐 ‘지상파 DTV용 분산중계기<sup>74)</sup> 개발’을 완료하였다. 당시 TV 방송의 디지털 전환에 있어서 큰 난관 중 하나는 디지털 전환기 방송주파

71) ATSC(Advanced Television Systems Committee): 디지털 텔레비전방송표준을 연구·개발하는 미국의 비영리 국제표준화위원회로, 1982년 설립되었다. ATSC 표준은 미국, 캐나다, 멕시코, 한국 등에서 방송표준으로 채택되었다.

72) DVB-T(Digital Video Broadcasting-Terrestrial): 디지털 지상파방송을 위한 유럽기반 컨소시엄 표준으로, 1997년 제정되었고, 1998년 영국에서 본방송이 시작되었다.

73) SFN(Single Frequency Network, 단일주파수망): 방송구역 내에 송신기 및 중계기가 서로 다른 주파수를 사용하는 MFN(Multiple Frequency Network, 다중주파수망)과 달리 동일한 주파수를 사용하는 방송망이다.

74) 분산중계기(DTxR: Distributed Translator): 주 송신기의 RF 신호를 입력받아 다른 채널로 재전송하는 기술로, 중계기 간에 동일한 채널을 사용하는 DTV 방송용 중계 기술이다.



강진지역 디지털 TV 방송 개시(2010. 6. 17. ETRI)



지상파 DTV용 분산중계기(좌)와 동일채널중계기(우)

수 부족으로 음영지역 해소를 위한 중계기 설치가 어렵다는 점이였다. ETRI는 중계기 간에 같은 주파수를 사용하는 분산중계기를 개발하여 이러한 문제를 한발 앞서 해결해 나갔다. 아울러, 분산중계기를 활용하면 주파수 재사용률을 크게 높이고 난시청 문제도 개선할 수 있다는 점을 정부에 건의하고, 2009년부터 2010년까지 ‘분산중계기 시범서비스’ 과제를 추진하였다. 이를 통해 ETRI는 2009년 전남 여수와 순천지역에 5개의 분산중계기를 구축하여 97%의 수신 성공률을 확보하였다. 이어서 2010년에는 전남 강진지역의 디지털 TV 방송 개시에 맞춰 분산중계기를 구축 및 활용하여 성공적인 시범서비스 사례를 만들었다.

### 기술력 앞세운 새로운 도약

ETRI는 우리나라가 성공적으로 디지털방송으로 전환할 수 있는 기술적 기반을 마련하였으며, 이 기술들을 적극적으로 국내 기업에 이전하였다. 특히, ATSC 시스템의 핵심기술인 VSB(Vestigial Side Band, 잔류측파대역변조) 기술을 빠르게 확보하였고, 공동주택에서의 수신환경 개선을 위한 DTV 공시청 신호처리기와 관련하여 2004년부터 2011년까지 14개 방송장비업체에 기술을 이전 및 상용화하였다. 이러한 노력을 토대로 국내 지상파 디지털 고화질 방송이 전국으로 확대되었으며, 방송사는 활발한 HD 콘텐츠를 제작할 수 있게 되었다. 또한, 삼성전자와 LG전자 등은 HDTV 내수시장을 발판으로 세계 최고의 TV 가전사로 발돋움하게 되었다.

### ATSC 3.0 논의 본격화

우리나라는 ATSC 방식을 채택하여 2001년부터 디지털 지상파방송을 시작하였다. 당시 사용된 방식은 ‘ATSC 1.0’으로, 디지털방송서비스를 위해 개발된 세계 최초의 표준이었다. 그러나 2010년대에 들어서면서 4K UHD를 비롯한 고화질 부호화 기술의 발달과 모바일 미디어 소비의 증가에 따라 새로운 방식의 방송서비스에 대한 필요성이 대두되었다. 이에 따라 ATSC는 2012년부터 대용량 미디어 전송을 위한 주파수 효율성 증대, 모바일 방송을 위한 수신 성능 향상, 통신망과의 결합을 통한 하이브리드 서비스 및 개인형 서비스 제공 등을 목적으로 하는 차세대 디지털방송 표준 ‘ATSC 3.0’에 대한 논의를 본격화하였다.

### ETRI 기술력 ATSC 3.0 표준으로 채택

ETRI는 2013년부터 4년간 ‘주파수 공유형 지상파방송 기술개발’ 사업을 추진하여 Shannon의 채널 용량에 근접한 고성능·고효율 LDPC<sup>75)</sup> 채널부호 기술과 6MHz 방송 대역에서 4K UHD/모바일 HD 방송을 동시에 제공하는 LDM 기술<sup>76)</sup> 등을 개발하였다. 그리고 이러한 내용을 포함한 차세대 지상파방송 물리계층 전송 기술 초안을 2013년에 ATSC에 제출함으로써 ATSC 3.0 방송 표준개발에 본격적으로 참여하였고, 다수의 기술이 ATSC 3.0 표준 필수기술로 채택되었다. 구체적으로, ETRI는 ATSC 3.0 물리계층 핵심 표준기술인 채널 부호화 기술 영역에서 전체 24개 핵심 특허 중 1/3이 넘는 특허를 확보하였으며, LDM 기술을 포함하여 NUC(Non-Uniform Constellation, 비균등성상 매핑), 시그널링 부호화, 프레임링, TxID(Transmitter Identification, 송신기식별) 기술 등을 ATSC 3.0 물리계층 표준에 최종 반영하였다. LDM 기술은 2020년 ITU<sup>77)</sup> 국제 표준으로도 채택되었다.

그러나 처음부터 표준기술 채택이 순조로웠던 것은 아니다. LDM 기술의 경우, 기존의 TDM·FDM<sup>78)</sup> 다중화 기술과 비교하여 4~9dB의 성능 이득이 있음에도 불구하고 최초로 개발된 생소한 방식이었기 때문에 표준기술로 채택되기가 쉽지 않았다. 이에 ETRI는 LDM의 기술적 우위와 상용 기술로의 활용 가능성에 대한 검증을 이론적·실험적으로 진행하는 한편, 모든 검증 결과를 논문과 기고를 통해 투명하게 공개하여 중국, 유럽, 일본, 북미 등 세계의 관련 기관으로부터 신뢰를 얻었다. 이러한 노력을 바탕으로 LDM 기술은 기존의 다른 표준들과 차별성을 나타내는 ATSC 3.0의 대표 기술 중 하나로 선정되었다. 이 과정에서 ETRI는 SCI 논문을 15편 게재하였고, 국내 및 국제 학술대회에 50편 이상의 논문을 발표하였으며, IEEE 방송 분야 최우수 저널 논문상(2018년)을 비롯하여 IEEE 방송 기술 학회에서 다수의 최우수 논문상을 수상하였다.

ETRI는 ATSC 3.0 표준기술을 선도하며 여러 차례 세계 최초의 기록을 세웠다. 세계 최초의 ATSC 3.0 실험방송을 한국에서 수행하였으며, 미국 방송사들과 함께 북미지역에서도 ATSC 3.0 실험방송을 진행하였다. 아울러, ATSC 3.0 표준기술 및 관련 서비스 전시도 처음으로 추진하였다. 이러한 활동에 힘입어 우리나라는 ATSC 3.0 표준기술을 UHD 지상파방송 전송 기술로 채택하고, 2017년 세계 최초로 ATSC 3.0 방식의 UHD 본방송을 실시할 수 있었다. 미국은 2020년 5월 ATSC 3.0 표준 기반 차세대 방송 서비스를 시작하였으며, 방송 지역을 점진적으로 확대하고 있다.



atsc3.0

75) LDPC(Low Density Parity Check) 채널부호: 물리계층 오류정정 부호화 기술이다.

76) LDM(Layered Division Multiplexing): 하나의 채널로 초고화질(UHD) 방송과 고화질(HD) 이동방송을 동시에 송수신할 수 있는 기술이다.

77) ITU(International Telecommunication Union, 국제전기통신연합)는 전기통신, 전파통신, 위성통신, 방송 등의 국제정보통신 분야를 총괄하는 국제연합(UN) 산하 표준화 전문기구이다.

78) TDM(Time Division Multiplexing)/ FDM(Frequency Division Multiplexing): 서로 다른 방송서비스를 시간/주파수 자원을 달리 할당하여 전달하는 방식이다.



### UHD 모바일 방송 기술개발

2018년에는 LDM 기술과 ETRI가 표준특허를 확보하고 있는 SHVC(Scalable HEVC) 기술을 결합하여 ATSC 3.0 UHD 방송의 대표 서비스인 ‘UHD 모바일 방송’을 지원하기 시작하였다. 기존에는 모바일로 지상파방송을 보다가 터널, 지하, 빌딩 주변 음영지역을 만날 때 방송이 끊기곤 하였지만, 개발된 기술을 활용하면 음영지역에서 방송망이 와이파이, LTE, IPTV와 같은 인터넷 기반 광대역 통신망으로 연결되어 방송이 끊기지 않는다. 즉, 고속의 이동환경에서 방송 신호 수신이 불가능한 상황이 될 때 ATSC 3.0 규격에 맞는 방송 송·수신 칩이 스스로 통신 신호를 찾아 연동함으로써 끊김 없이 콘텐츠를 제공하는 것이다. 이 기술은 ‘UHD 모바일 방송 기술개발’이라는 이름으로 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

2020년 현재 ETRI는 ATSC 3.0 기술개발의 후속연구로 ‘5G와 ATSC 3.0 연동 전송 기술 개발과제’를 수행하고 있다. 과제의 목표는 IP(Internet Protocol) 기반으로 동작하기 때문에 방송 신호와 통신 신호의 공존이 용이한 ATSC 3.0 표준기술을 활용하여 방송망과 5G 네트워크를 연동하는 기술을 개발하는 것이다. ETRI는 본 과제를 통해 방송망과 통신망의 연동에 관련된 핵심기술을 선점함으로써 다시 한번 세계 시장을 선도할 계획이다.

### ATSC 3.0 표준기술 상용화 확산

ETRI는 ATSC 3.0 표준이 적용된 송신기와 다양한 형태의 수신기, 제작 장비를 선제적으로 개발하고 이전하여 국내 기업의 기술경쟁력을 강화하고 관련 장비의 세계 시장 진출에 기여하고 있다. 기존 ATSC 1.0의 경우 표준화부터 상용화까지 대부분 외산 기술에 의존하였지만, ATSC 3.0 국제표준 기술을 국내에서 다수 확보하게 되면서 순수 국산 제품 개발이 가능해졌다. 국내 중소기업을 대상으로 이전한 ETRI의 ATSC 3.0 관련 기술은 15건(11.15억 원)에 달하며, 향후 ATSC 3.0 표준·특허 확보에 따른 특허기술료 수입은 더욱 확대될 것으로 보인다.

또한, ATSC 3.0 기술의 확산과 상용화를 위해 필요한 여러 기반기술을 국내 업체들과 협업하여 개발하였다. 예를 들어, 다양한 시나리오에 맞춰 활용 가능한 수신기설계 기술, 아파트나 연립주택과 같은 공동수신 설비에 활용하여 지상파 직접 수신율을 높일 수 있는 공시청 신호처리 기술, 실제 ATSC 3.0 방송망 구축에 있어 필수적인 SFN 설계·분석 기술 등이 이에 해당한다. 특히, ETRI의 기술을 기반으로 개발된 공시청 신호처리기는 전국 7개의 공공주택에 설치되어 현재 시범서비스 중이며, 관련 기술은 국내 중소기업에 이전되어 1,500대 이상(2020년 6월 기준)의 매출이 발생한 것으로 파악되고 있다. 아울러

SFN 설계·분석 기술은 국내·외 ATSC 3.0 방송망 구축에 직접적으로 활용되고 있다. ETRI는 ATSC 3.0 방송 기술에 기반한 100Mbps급 8K UHD 초고화질 미디어 전송을 실현하기 위하여 채널본딩과 다중안테나 기술 등도 개발하고 있다.

### 양방향·대용량으로 케이블방송 패러다임 변화

2010년대에 들어서 IP에 기반한 OTT(온라인 동영상 제공 서비스)의 성장과 VR/AR과 같은 양방향 실감 콘텐츠의 출현이 본격화하면서 케이블방송도 이러한 패러다임에 부응해야 한다는 요구가 커졌다.

이에 ETRI는 그간 구축해 온 케이블 UHD 방송서비스 및 기가급 초고속 인터넷 기술을 토대로 2016년부터 3년간 ‘광 IP 네트워크 기반 스마트 미디어 양방향 연동을 위한 RoIP(RF-signal over IP) 기술개발’ 과제를 수행하였으며, 추가로 2017년부터 3년 동안은 ‘케이블 방송망에서의 멀티 기가급 서비스를 위한 동일대역 상·하향 신호 동시 송수신 기술개발’ 과제를 추진하였다. 각 과제의 목표는 기존 동축 기반 장비를 유지하면서 광 기반의 양방향 전송이 가능한 시스템 기술을 개발하고, 부족한 상향 전송 대역의 확보를 위한 동일대역 전이중 전송 핵심기술 및 표준규격을 개발하는 것이었다. 과제에는 연구비 88억 원과 연구인력 연 60명이 투입되었다. ETRI가 핵심기술을 연구하고 개발 장비의 조기 상용화를 위해 국내 기업들이 참여하는 동시에, 국제표준화를 병행하는 형태로 추진되었다.



RoIP

### RoIP 기술과 동일대역 전이중 전송 기술개발

RoIP 기술은 아날로그의 RF(Radio Frequency, 초고주파) 신호를 디지털화하여 IP 네트워크로 전달한 뒤 다시 디지털화된 RF 신호를 아날로그 RF 신호로 전달하는 기술로, 기존의 RF 기반 전송 장비 및 단말 장치(셋톱 및 케이블모뎀)를 유지하면서 광 네트워크로 케이블 방송망을 진화시키는 기술이다. 이는 기존에 없던 새로운 개념으로, 매우 정확한 망동기(1us 이하)를 유지하면서도 기존의 동축망을 통해 시간 오차 없이 RF 신호가 전달되어야 한다는 어려움이 있었다. IP 네트워크에서 가장 정밀한 PTP(Precision Time Protocol)를 사용하더라도 구현이 어려운 상황이었다. 그러나 ETRI는 10년 이상 축적한 케이블 전송 기술을 토대로 케이블모뎀에 적용되는 망동기 메커니즘을 IP 네트워크에 적



RoIP 헤드엔드 · 단말 시제품(상),  
동일대역 전이중 전송 헤드엔드 · 단말 시제품(하)

용하여 매우 정밀한 망동기를 얻어냈고, 이를 통해 세계 최초로 동기화된 RF 신호 전송에 성공하였다. 그리고 2018년 말 (주)CJ헬로 북인천방송을 통해 서비스 검증을 완료하였으며, ITU-T<sup>79)</sup>에서 3개의 표준안을 승인받았다.

‘동일대역 전이중 전송 기술’은 제한된 주파수 자원 내에서 상향 전송과 하향 전송을 주파수대역 구분 없이 동일대역에서 동시에 전송함으로써 주파수 사용효율을 2배로 향상하는 기술이다. 이 기술은 최근 5G 무선통신 기술에 적용이 시도되는 등 파급효과가 크지만, 복잡도가 높아 실제로는 구현이 매우 어렵다. 특히, 케이블 방송망에 적용되는 전이중 기술은 192MHz 대역에서 송수신이 동시에 이뤄지는데, 이는 5G에 적용되는 60MHz의 3배가 넘는다. ETRI가 개발한 동일대역 전이중 전송 기술은 비록 유선망이지만, 192MHz의 초광대역 주파수에서 전이중 전송에 성공한 국내 최초의 사례이다. 이는 국내 케이블 방송망에 상·하향 10Gbps의 초고속 인터넷 서비스를 제공할 수 있는 핵심 기반기술을 확보하는 계기가 되었다. 이 기술은 2019년 말 디지털케이블연구원에 구축된 테스트베드를 통해 성능·기능 검증을 완료함으로써 상용화를 위한 기반을 마련하였으며, ITU-T에서 1개의 표준안을 승인받았다.

### 케이블방송 부품·장비 기술종속 탈피

그동안 국내 케이블 장비시장의 해외 업체 시장 점유율은 90% 이상으로 매우 높은 상황이었다. 그러나 ETRI가 RoIP 기술 및 동일대역 전이중 전송 기술개발에 성공하면서, 디지털 케이블방송 관련 장비 및 핵심 부품의 기술종속 탈피가 가능해졌다. 또한, 양방향 스마트 방송서비스 제공을 통해 개인 방송서비스의 활성화, 고품질 멀티미디어 서비스의 보편적 제공이 가능해져 사회 구성원 간 디지털 격차를 해소하고 여가 생활의 질적 수준을 향상할 수 있게 되었다.

### 라디오, 아날로그에서 디지털로

1927년 우리나라 최초의 라디오 방송이 전파를 뒀다. 이후 1965년에 FM 라디오가 개국하여 지금까지 이어지고 있다. 그러나 아날로그 FM 라디오 방송은 잡음에 취약하고, 주파수가 부족해 새로운 사업자에게 방송을 허가하기가 쉽지 않았다.

ETRI는 이러한 문제를 해결하고자 2001년 FM 라디오를 디지털로 전환하기 위한 ‘지상파

디지털 라디오 방송 기술개발’ 과제를 시작하였다. ETRI에서 DAB<sup>80)</sup> 송수신 검증시스템 설계·구축과 디지털 AM 변복조 기술 및 멀티미디어 데이터 전송 프로토콜 기술 관련 연구개발을 수행하고, 지상파 3사(KBS, MBC, SBS)가 DAB 도입 시 요구되는 채널 배치계획을 함께 수립하는 형태의 과제였다. ETRI는 이 프로젝트를 통해 DAB을 통한 멀티미디어 데이터(모바일 TV 및 부가데이터 서비스) 전송 관련 기초연구를 추진하였고, 이는 지능형 방송 및 지상파 DMB 기술개발을 위한 ‘지능형 통합정보방송(SmarTV) 기술개발’ 과제로 연계되어 국내 지상파 DMB 방송 도입의 초석이 되었다.

2009년에는 국내에 적합한 디지털 라디오 방식을 파악하기 위해 ‘디지털 라디오 비교실험 방송’ 과제를 추진하였다. 우리나라는 2001년 국내 디지털 라디오 표준 방식을 DAB 방식으로 채택하였으나, 2004년 지상파 DMB 도입으로 DAB이 백지화되자 새로운 방식에 대한 검토가 필요해졌다. 이에 국내환경에 가장 적합한 기술표준 방식을 검증하기 위한 비교실험방송을 하게 되었다. 공정성과 객관성 확보를 위해 디지털 라디오 전환 이해관계자 및 전문가(방송계, 산업계, 학계, 연구기관 등)로 구성된 ‘비교실험방송추진협의회’도 운영하였다. 2014년에 추진한 ‘USAC 기반 디지털 라디오 송수신 시스템 및 기술개발’ 과제를 통해서도 당시 최신 오디오 코덱이었던 USAC(Unified Speech and Audio Coding) 기술을 적용하여 DAB+보다 성능이 우수한 디지털 라디오 기술개발에 도전하였다. ETRI는 KBS, 한국전자기술연구원, 카이미디어, 진명통신, 마루이엔지, 레드우드컴과 공동으로 USAC 인코더, 다중화기 및 기능검증을 위한 송수신 플랫폼을 개발하였으며, 실제 전파환경에서의 수신 성능을 분석하기 위해 필드 테스트를 수행하였다. 그 결과, USAC 기술이 제공하는 압축 성능을 통해 저 비트율인 48kbps에서도 좋은 음질을 전송하는 기술을 확보하였다. 또한, 개발한 기술을 국내표준에 반영하기 위하여 ‘디지털 라디오 고도화 서비스 표준 개발’ 과제도 동시에 진행하였다.

### 최적의 디지털 라디오 상용화 기반 마련

ETRI의 꾸준한 연구개발과 노력에도 불구하고, 기존 라디오 방송 시장에 미칠 영향에 대한 관계기관 및 사업자 간의 입장 차를 극복하지 못한 채 디지털 라디오 기술은 상용화로 이어지지 못하였다. 하지만 ETRI 연구진의 땀은 헛되지 않았다. 본 연구개발을 통해 세계적인 디지털 라디오 방식인 DAB, HD-Radio, DRM 등 국내에 적용이 가능한 디지털 라디오 핵심기술의 성능 및 장단점을 한눈에 파악할 수 있게 되었고, 관련 성능분석 자료도 확보하였다. ETRI의 축적된 경험과 기술력은 향후 최적의 디지털 라디오 상용화의 기반이 될 것이다.



‘지상파 디지털 라디오 방송 기술개발’ 과제로 도출된  
디지털 라디오 송신 시스템

80) DAB(Digital Audio Broadcasting): 기존 라디오 방송 신호(음향)를 디지털 신호로 변환하여 전송하는 라디오 방송으로, AM과 FM에 이은 제3세대 라디오 방송이라 할 수 있다. 빠르게 움직이는 차량에서도 고품질의 음성을 수신할 수 있고 문자, 이미지 등의 부가 정보도 함께 수신할 수 있다는 장점이 있다.

79) ITU-T(ITU-Telecommunication): ITU의 전기통신표준화 부문이다.





DMB 세계화를 위한 독일 IRT와 협력협정

### 이동식 DTV 서비스 방식 DMB로 결정

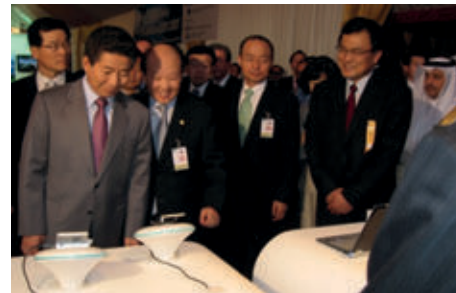
정부는 2002년 12월 고정형 DTV 방송서비스는 미국의 ATSC 방식으로, 이동형 DTV 방송서비스는 지상파 DMB<sup>81)</sup>로 시행한다는 내용의 「DAB 기반의 지상파 DMB 기본 계획」을 발표하였다. 또한, 2004년 2월 TT839 전략을 발표하면서 8대 서비스 중 하나로 지상파 DMB를 포함시켰다. 이때부터 DMB 개발에 대한 정부의 적극적인 정책적 지원이 시작되었다.

### ‘내 손안의 TV, 나만의 방송’ 시대 개막

ETRI는 2001년 ‘지상파 디지털 라디오 방송 기술개발’ 과제를 통해 유럽 디지털 라디오 방식(Eureka-147)의 DAB 기술을 활용한 이동멀티미디어방송 서비스를 기획하였으며, 이를 토대로 2002년 1월부터 ‘지능형 통합정보방송(SmarTV) 기술개발’ 사업의 하나인 ‘지상파 DMB 시스템 기술개발’ 과제를 시작하였다. 과제에는 5년 동안 연구비 284.09억 원(정부출연금 214.87억 원, 민간부담금 69.22억 원)과 연구인력 연 224.35명이 투입되었으며, ETRI를 포함하여 총 16개 기관이 참여하였다.

ETRI를 비롯한 연구진은 지상파 DMB의 서비스 규격으로 당시 최신기술이던 MPEG-4 AVC 비디오 부호화와 MPEG-4 BSAC 오디오 부호화 그리고 Reed-Solomon FEC와 MPEG-2 TS 전송방식을 채택하였다. 또한, DAB 시스템이 제공하는 낮은 BER(Bit Error Rate, 비트오류율)을 해결하고, VCD급 비디오와 스테레오 오디오를 제공할 수 있는 기술 및 표준개발에 집중하였다. 특히, 지상파 DMB 시스템의 핵심 장비인 ‘지상파 DMB 비디오 인코더’의 경우 국내에 관련 솔루션이 모두 구축되어 있어 빠르게 기술개발에 성공할 수 있었으며, 몇 달간 수행한 필드 테스트 및 시범서비스를 통해 안정성을 입증한 뒤 곧바로 본방송 서비스에 활용되었다.

한편, ETRI는 정부가 추진하는 DMB 주파수 연구반, 지상파 DMB 실험방송 전담반과 정책연구반 등의 활동을 통하여 정부의 DMB 관련 정책 수립에 적극적으로 참여하였으며, 지상파 DMB 시스템 및 방송 장비의 해외 진출을 위해 다양한 국제전시회를 추진하였다. 이러한 노력의 결과, 우리나라는 세계 최초로 지상파 DMB 개발에 성공하였으며, 2005년 12월부터 수도권을 중심으로 본격적인 DMB 방송이 시작되었다. 이로써 시속 150km 이상의 고속주행 중에도 끊김 없이 깨끗한 TV를 볼 수 있는 ‘내 손안의 TV, 나만의 방송’ 시대가 막을 올렸다.



‘한국 건설 및 IT 전시회’에 DMB 시스템 전시(2007. 3. 카타르)



‘2010 NAB Show’에서 기술혁신상 수상(2010. 4. 미국 라스베이거스)

DMB 시스템개발에 이어 2006년부터 2009년까지는 지상파 DMB와 역 호환성을 가지면서 전송효율을 높이고, 지상파 DMB 비디오 서비스 대비 4배의 화질을 제공할 수 있는 ‘AT-DMB(Advanced Terrestrial DMB) 기술과 표준’을 개발하였다. 지상파 DMB 방송시스템은 2006년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, AT-DMB 기술은 2010년 ‘NAB show’에서 기술혁신상(Technology Innovation Award)을 수상하였다. 지상파 DMB 개발성과는 ‘ETRI 40년사 대표성과 40선’에 선정되기도 하였다.

### 방송 기술 · 표준 선도국으로 발돋움

그동안 국내 방송 분야는 해외에서 개발한 방송 방식과 표준 그리고 방송시스템을 도입하여 사용하는 수준에 머무르고 있었다. 그러나 ETRI 주도로 방송사와 제조업체 등이 함께 참여하여 개발한 지상파 DMB 방송 기술들은 국내표준은 물론, ETSI(유럽전기통신표준화기구) 표준으로 제정되고, 나아가 ITU-R 권고안으로도 채택되었다. 이러한 성과를 계기로 우리나라는 방송 기술 및 표준의 변방국에서 세계와 어깨를 나란히 하는 선도국으로 자리매김할 수 있게 되었다. 본 과제를 통해 국내 기업체에서 개발한 지상파 DMB 방송 장비는 지금까지도 국내 지상파 DMB 방송사에서 사용되고 있다.

## 2-2-2 MPEG

### 디지털 고선명 TV 방식의 등장

고선명 TV 기술은 1980년대 중반 일본이 세계 최초로 아날로그 방식인 MUSE(Multiple Sub-nyquist Sampling and Encoding, 일명 Hi-Vision) 시스템을 개발한 것으로 시작되었다. 이에 맞서기 위해 유럽은 1980년대 후반 HD-MAC(High Definition Multiplex Analog Components) 방식을 개발하였다. 그러나 1992년 미국이 아날로그 대신 디지털 방식의 고선명 TV를 채택하면서 고선명 TV의 세계적인 흐름은 디지털 방식으로 전환되었다. 우리나라 역시 1993년 말 디지털 방식 채택을 결정하고 관련 기술을 개발하기 시작하였다.

81) DMB(Digital Multimedia Broadcasting): 음성, 영상 등 다양한 멀티미디어 신호를 디지털 방식으로 변조하여 고정 또는 휴대용 수신기에 제공하는 방송서비스다.



MPEG-2 기반 고선명 TV 인코더

82) MPEG(Moving Picture Experts Group): MPEG은 동영상 을 압축하고 코드로 표현하는 방법의 표준을 만드는 것 을 목적으로 하는 동영상 전문가 그룹이다. MPEG-1은 ISO/IEC 11172로 규격화한 영상 압축 기술로 1993년 발표 되었고, MPEG-2는 ISO/IEC 13818로 규격화한 영상 압 축 기술로 1995년 발표되었다.

83) FPGA(Field-Programmable Logic Array) : 설계 가능 논 리 소자와 프로그래밍이 가능한 내부 회로가 포함된 반 도체 소자이다. 설계내용을 재수정할 수 있고 공정기간 이 필요하지 않아 개발 기간이 짧다.

84) ASIC(Application-Specific Integrated Circuit, 주문형 반 도체) : 특정 목적을 위해 설계된 집적회로(Integrated Circuit, IC)이다.

## MPEG-2 기반 HDTV 방송 코덱 기술개발

디지털 고선명 TV 방송시스템에서 영상신호의 고효율 압축을 담당하는 코덱은 가장 중요한 기술 가운데 하나다. 이에 ETRI는 ‘고선명 TV 전송 기술개발’(1993년~1998년), ‘MPEG<sup>82)</sup>-2 소스 코덱 기술연구’(1994년~1995년), ‘지상파 디지털 방송 기술연구’(1997년~1999년) 등의 과제를 통하여 MPEG-2 기반 HDTV 방송 코덱 기술을 개발하였다.

이러한 과제들을 통해 ETRI는 1994년 MPEG-2 표준(초안)에 근거하여 SD(Standard Definition, 표준해상도) 영상처리가 가능한 HDTV 인코딩 모듈(분할화면 처리 가능)을 설계하였으며, 설계한 내용을 기반으로 1995년에는 FPGA<sup>83)</sup>를 이용한 SDTV급 코덱을 개발하였다. 1997년에는 FPGA로 구현한 기술 중에서 주요 모듈들을 ASIC<sup>84)</sup>화하여 5종(전처리기, 1단계 움직임 추정기, 2단계 움직임 추정 및 보상기, 신호변환 및 양자화기, 비트율 가변길이 부호화기)의 MPEG-2 비디오 인코딩 칩셋을 개발하였으며, 이 칩셋을 이용하여 고선명 TV 인코더 시스템을 성공적으로 개발하였다.

ETRI는 개발된 시스템·장비들을 가지고 1999년 6월 MBC와 공동으로 일반인을 대상으로 디지털 지상파 실험방송을 실시하였으며, 10월부터는 KBS, MBC, SBS, EBS 등 방송 4사와 공동 실험방송을 추진하였다. 이를 통해 HDTV 코덱의 성능 확인은 물론, 기존 아날로그방송 신호와의 간섭 여부 등을 실험하였다.

또한, 방송사, 산업체, 학계, 표준화 기구 등의 충분한 의견을 수렴하여 「고선명 TV 위성방송 전송방식 잠정 기술기준」 작성을 주도하였으며, 이 기준이 MPEG-2 국제표준과 호환성을 유지하도록 함으로써 융통성과 국제 호환성을 동시에 해결하였다.

## 국내 디지털방송을 위한 교두보 마련

ETRI가 개발한 MPEG-2 기반 HDTV 방송 코덱 기술은 국내 디지털방송을 위한 기술적 교두보를 마련하였다. 또한, 기술개발 과정에서 확보한 지식재산권은 차세대 멀티미디어 기술인 MPEG-4, MPEG-7 및 MPEG-21 기술의 기초가 되었으며, 이후 ETRI가 MPEG 관련 다수의 국제표준을 확보할 수 있는 토대가 되었다.

ETRI는 후속 과제로 ‘대화형 디지털 방송 기술연구’(1996년~2000년) 과제를 수행하여 디지털방송에서의 양방향 멀티미디어 서비스 기술을 확보하고, 지상파방송의 디지털 전환에 필요한 채널 배치 및 검증연구를 수행하였다. 또한, ‘MPEG-4 기반 멀티미디어 코덱 기술개발’(1997년~1998년) 과제를 통해 MPEG-4 핵심기술을 개발하고 이의 검증을 위한 MPEG-4 SW 코덱을 개발하였으며, 개발된 핵심기술을 MPEG-4 국제표준에 다수 반

영하였다. 아울러, ‘3차원 입체영상(3DTV) 방송중계 시범서비스’(2000년~2002년) 과제를 통해 3DTV 카메라, 3D 비디오 다중화·역다중화기, 3DTV 수신기 등 핵심기술을 개발하고, 개발된 기술들을 통합하여 3DTV 방송중계 시스템을 구축하였다.

## 비디오 부호화 기술의 중요성

디지털방송서비스를 위해서는 디지털 비디오 신호의 화질 손실을 최소화하면서 데이터양을 줄이기 위한 비디오 부호화 기술이 필수적으로 요구된다. 국내 지상파 디지털 TV 방송은 1994년에 제정된 MPEG-2 Video(MPEG-2 Part 2/H.262) 표준기술을, 지상파 DMB 방송은 2003년에 제정된 AVC(Advanced Video Coding, MPEG-4 Part 10/H.264) 표준기술을 비디오 부호화 방식으로 채택하였다.

2000년대 중반 이후 UHDTV 방송서비스와 모바일 비디오 서비스가 등장하면서 새로운 비디오 부호화 표준의 필요성이 제기되었다. 이에 MPEG과 VCEG<sup>85)</sup>는 ‘JCT-VC(Joint Collaboration Team on Video Coding)’를 결성하여 2013년 HEVC<sup>86)</sup>(MPEG-H Part 2/H.265) 표준을 완성하였다.

## HEVC 표준화에 대응한 비디오 부호화 기술개발

ETRI는 HEVC 표준화에 대비하여 핵심기술을 개발하고 관련 지식재산권을 확보하기 위해 2008년부터 2016년까지 3개의 사업을 추진하였다.

2008년부터 2010년까지 수행한 ‘차세대 DTV 핵심기술개발’ 과제는 HDTV 이후 도래할 차세대 DTV 핵심기술개발 및 표준화를 목표로 추진되었다. 이를 통해 ETRI는 무안경 방식으로 3차원 입체영상을 제공하는 3DTV 핵심기술 및 시스템과 HDTV 대비 최대 16배의 해상도를 갖는 UHDTV 핵심기술을 개발하였다. 또한, UHDTV 방송과 대역폭이 제한된 모바일 방송을 목표 서비스로 설정하여 Post-AVC 비디오 부호화 기술개발 및 표준화를 추진하였다.

2011년부터 2013년까지는 ‘무안경 다시점 3D 지원 UHDTV 방송 기술개발’ 과제를 추진하였다. 이 사업의 목표는 스테레오 UHD 콘텐츠를 기반으로 HD급 무안경 다시점 3DTV 서비스와 UHDTV 서비스를 제공하는 UHDTV 방송 핵심기술개발 및 표준화였다. 이 과제를 통해 ETRI는 HEVC 표준 기고서 11건 채택, HEVC 표준기술 12건 반영 등의 성과



HEVC

85) VCEG(Video Coding Experts Group) : 영상 부호화 전문가 그룹으로, 부호화 표준개발 및 관리를 전담하는 ITU-T 제16연구반(Study Group 16) 산하의 연구과제 Q6/16 전담반의 통칭이다.

86) HEVC(High Efficiency Video Coding): 동영상 압축 표준의 하나로 H.264/MPEG-4 AVC의 후속 형식이다.





HEVC 비디오 코덱 하드웨어 플랫폼 모습

를 확보하였다. 특히, HEVC 위원회 표준초안 단계(Committee Draft)에서는 한 회의에 제출한 기술 기고서 4건이 모두 채택되는 성과를 거두기도 하였다.

2014년부터 2016년까지는 ‘초고품질 콘텐츠 지원 UHD 실감방송/디지털시네마/사이니지 융합서비스 기술개발’ 과제를 추진하였다. 이 사업의 목표는 4K, 8K급 초고해상도 디지털콘텐츠 제작, 압축, 전송, 재현 기술 개발 및 표준화였다. 또한, ETRI의 제안을 반영한 특허가 표준특허 풀에 채택될 수 있도록 노력하는 한편, HEVC 기반의 계층적 비디오 부호화 기술인 SHVC(Scalable HEVC) 표준화에도 지속 참여하여 7건의 기술이 반영되도록 하였다. 아울러, 4K UHD 영상을 초당 60프레임의 속도로 실시간 압축하는 HEVC 기반 비디오 인코더의 국산화 개발에도 성공하였다. 본 과제를 통해 확보한 ‘초고품질 콘텐츠 지원 UHD 실감방송 기술’은 2017년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

### HEVC 다음 단계의 부호화 기술에 도전

ETRI는 2016년부터 HEVC 다음 단계의 부호화 기술개발에 돌입하였다. 2016년부터 2019년까지 수행한 ‘초고실감 미디어 서비스 실현을 위해 HEVC/3DA 대비 2배 압축을 제공하는 5세대 비디오/오디오 표준 핵심기술개발 및 표준화’ 과제를 통해 ETRI는 17건의 표준 기고서 채택 성과를 거뒀으며, 36건의 기술이 VVC<sup>87)</sup>(MPEG-I Part 3/H.266) 표준에 반영되었다. 2020년 7월에 표준화가 완료된 VVC는 2021년 10월경 특허 풀에 진입할 것으로 예상되며, 2022년부터 특허기술료 수입이 발생할 것으로 기대된다.

2017년부터는 2021년 종료 예정으로 ‘초실감 테라미디어를 위한 AV 부호화 및 LF 미디어 원천기술개발’ 과제를 통해 기계학습 기반 비디오 부호화 기술개발을 시작하였다. MPEG에서 기계학습 기반 비디오 부호화 표준화에 대한 논의가 2020년 초부터 시작한 상황이어서, ETRI는 추가 후속 과제를 통한 기술개발로 향후 진행될 표준화에 적극적으로 대응할 예정이다.

한편, 미래의 미디어 서비스는 가상과 현실의 경계를 허무는 초실감 기술을 통해 사용자가 3차원 가상공간을 자유롭게 이동할 수 있는 서비스를 추구할 것으로 전망된다. 이에 ETRI는 입체 공간 비디오에 특화된 새로운 초고압축 부호화 기술을 개발하고자 2019년부터 10년간 ‘6DoF 입체 공간 비디오의 초고압축 부호화 기술개발 및 표준화’ 과제를 추진하고 있다. 이를 통해 HEVC 대비 24배 이상 압축(라이트필드, 홀로그래프 등)이 가능한 기술을 개발하고 표준에 반영할 계획이다.

87) VVC(Versatile Video Coding, 다용도 비디오 부호화): 대용량 초실감 서비스 제공을 위한 차세대 비디오 부호화(압축) 표준기술로, 압축 성능이 기존의 HEVC보다 최대 2배에 달한다.



멀티채널 오디오 압축기술

### 비디오 부호화 기술의 파급효과

2008년부터 2016년까지 수행한 HEVC 알고리즘 개발 및 표준화 활동과 2017년부터 2020년까지의 HEVC 특허 풀 채택을 위한 노력을 통해 ETRI는 표준필수특허 43건(패밀리 기준)을 확보하여 MPEG LA/HEVC Advance/AV1/VP9 특허 풀에 각각 394/496/129/57건의 특허를 등재 완료하였으며, 약 313억 원의 HEVC 특허기술료 수입을 달성하였다. 향후 총 기대수익은 500억 원 이상이 될 것으로 예상된다. (ETRI 지식재산경영부 추정)

비디오 부호화 기술은 비디오 서비스가 필요한 방송, 통신, 영화, 영상감시, 교육, 가상체험 등 모든 응용 분야에서 시장 창출이 가능하기 때문에 ETRI가 개발한 부호화 기술은 앞으로 계속해서 엄청난 산업적 파급효과를 낼 것이며, 기술무역 수지 적자 해소에도 상당 부분 기여할 것으로 기대된다.

### MPEG 중심 오디오 부호화 기술의 발전

디지털 오디오 신호의 음질 손실을 최소화하면서 데이터양을 줄이기 위한 오디오 부호화 표준기술은 1980년대 후반부터 MPEG를 중심으로 개발되고 있다. MPEG는 1세대인 MPEG-1부터 5세대인 MPEG-H 3D Audio에 이르기까지 다양한 오디오 부호화 기술 개발과 표준화를 진행하고 있다.

MPEG-1은 오디오 부호화 표준 가운데 가장 잘 알려진 MP3(MPEG-1 Layer III)로, 1992년에 표준화되었다. 이어서 2세대 오디오 부호화 표준인 AAC(Advanced Audio Coding)가 1997년에 표준화되었고, 오디오 신호의 고주파수 대역과 스테레오 정보를 파라미터로 표현하여 압축률을 개선한 3세대 오디오 부호화 표준인 HE-AAC v1과 v2가 각각 2003년과 2006년에 표준화되었다. 이후 음성과 오디오 신호 모두에 대해 우수한 음질을 제공하는 오디오 부호화 표준인 USAC(Unified Speech and Audio Coding)이 2012년에 표준화되었고, UHD 방송과 같이 멀티채널 오디오와 객체 오디오, 장면 오디오를 모두 지원하는 5세대 오디오 부호화 표준인 MPEG-H 3D Audio가 2015년에 표준화되었다.

세계가 인정한 ETRI의 오디오 부호화 기술

ETRI는 2000년대 초반 디지털 오디오 부호화 원천기술연구를 시작한 이후, 2007년 ‘AV 코덱 고도화를 통한 리치미디어 방송 기술개발’ 과제와 2008년 ‘차세대 DTV 핵심기술개발’ 과제를 통해 오디오 부호화 기술개발을 본격화하였다.

또한, 2000년대 중반부터 다채널 오디오 신호를 효율적으로 압축하기 위한 MPEG-Surround 표준화를 시작으로 본격적으로 국제표준화에 뛰어들어, 다객체 오디오 신호를 효율적으로 압축하기 위한 MPEG-SAOC(Spatial Audio Object Coding) 표준 등 의미 있는 기술개발 및 표준화 성과를 창출하고 있다. 특히, 2000년대 후반 음성과 오디오 신호에 대해 모두 우수한 음질을 제공하기 위한 MPEG-D USAC(Unified Speech and Audio Coding) 표준화 과정과 2010년대 MPEG-H 3D Audio 표준화 과정에서 뛰어난 기술력을 국제적으로 인정받았다.

ETRI가 USAC 표준화 과정에서 개발한 기술은 USAC LPD(Linear Prediction Domain) 모드의 TCX(Transform Coded eXcitation) 윈도우를 개선한 것으로, 입력 신호의 특성에 따라 신호 분류기(Signal Classifier)가 FD(Frequency Domain) 모드와 LPD 모드를 선택하는 기존의 USAC 구조에서 탈피하여 LPD 단일 모드로도 음성과 오디오 신호에 대해 우수한 음질을 제공할 수 있는 기술이다.

ETRI는 MPEG-H 3D Audio Phase 1, Phase 2 표준화 과정에서도 우수한 품질평가 결과를 기반으로 FD(Frequency Domain) Binaural 오디오 기술, MPEG-Surround Extension 기술 등 다수의 기술을 표준에 반영하였다.

오디오 부호화 기술의 파급효과

우리나라는 MP3 응용기술을 세계 최초로 개발했음에도 불구하고 MP3 표준기술에 대한 원천기술을 확보하지 못해 해외기관에 막대한 로열티를 지불해왔다. 그러나 2007년부터 오디오 부호화 원천기술을 개발하여 로열티 수입을 올리는 국가가 되었다. 오디오 부호화 기술은 모바일기기뿐 아니라 TV나 영화관 등 다양한 분야에 적용되어 앞으로 막대한 파급 효과를 낼 것으로 보인다.

한편, ETRI는 2018년부터 MPEG 오디오 부호화 기술에 대한 특허료를 관리하는 ‘VIA Licensing’에 Licensor 15개 기관 중 하나로 가입하여 국내 오디오 부호화 기술의 우수성을 세계에 알리고 있다.

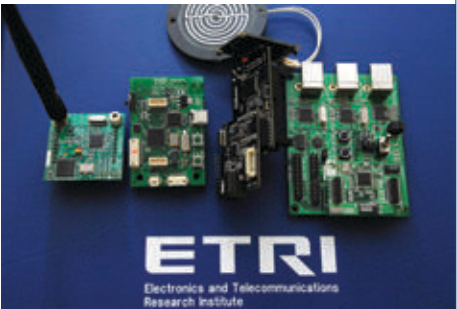
ETRI는 후속 사업으로 2020년부터 10년간 ‘저지연-고품질 동시 지원 공간음향 부호화 기술개발 및 표준화’ 과제를 수행하고 있다. 이를 통해 음성 부호화 기술의 특성인 저지연



MPEG-H 3D Audio 재현 환경



멀티미디어 전문가 워크샵



유비쿼터스 네트워크용 고성능칩

과 오디오 부호화 기술의 특성인 고품질을 동시에 만족하는 차세대 디지털 오디오 부호화 기술을 개발하고 있다.

유비쿼터스 미디어 서비스 환경의 도래

디지털 TV 방송으로의 전환이 시작된 2000년대 초반, 디지털 컨버전스(digital convergence)라는 거대한 사회·문화적 현상과 함께 언제 어디서나 다양한 미디어로 콘텐츠가 서비스되는 ‘유비쿼터스(Ubiquitous) 미디어 환경’을 구축할 필요성이 제기되었다. 이를 위해서는 광대역·위성·모바일·무선랜 등의 이종 네트워크가 다양한 사물 및 플랫폼·단말기와 연결되어야 하며, 어떠한 단말 장치로도 콘텐츠가 유통될 수 있도록 멀티미디어 콘텐츠 운용 가치사슬의 전 과정에서 ‘상호운용성(interoperability)’이 보장된 통합 멀티미디어 프레임워크가 필요하였다.

방송·통신 융합 멀티미디어 프레임워크 구축

ETRI는 2002년부터 3년 동안 방송·통신 융합 환경에서의 멀티미디어 서비스 기술개발 및 국제표준화를 목적으로 ‘MPEG-21 기반 방송·통신 융합서비스 프레임워크 기술개발’ 과제를 수행하였다. 과제에는 4개 대학과 3개 중소기업이 공동연구기관으로 참여하였다.

본 과제를 통해 ETRI는 멀티미디어 콘텐츠의 생성과 소비를 동시에 수행하는 능동적인 주체로서의 ‘User’ 개념을 도입하였다. 이를 통해 방송환경 기반 PC용 디지털 아이템 플레이어와 통신기반 PDA용 디지털 아이템 플레이어로 구성된 단말, 사용자 요구에 의한 콘텐츠 적응변환과 MPEG-2/4 콘텐츠 스트리밍 변환 기능을 제공하는 디지털 아이템 적응변환 서버, 다양한 툴(Tool)의 자동검색 및 다운로드 서비스 기능을 제공하는 툴 서버 등으로 구성된 방송·통신 융합 멀티미디어 프레임워크 테스트베드를 구축하고 관련 핵심 기술을 개발하였다.

또한, 색맹 및 색약 장애가 있는 사람들이 TV, 모니터, 휴대전화 등을 통해 제공되는 멀티미디어 콘텐츠의 색상 정보를 비장애인에 가깝게 인식할 수 있도록 변환해주는 ‘색각장애 색상적응변환 기술’을 개발하고 공동연구개발 업체에 이전하였으며, 2004년에는 삼성전자가 해당 기술이 적용된 파브(PAVV) TV를 출시함으로써 상용화에 성공하였다. 본 과제



는 과학기술부가 2003년부터 2005년까지의 과제들을 대상으로 선정한 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 콘텐츠 서비스의 혁명 분야로 선정되었다.

MPEG-21 기반 멀티미디어 프레임워크 기술은 이후 ‘통방융합 환경에서의 유비쿼터스 콘텐츠 서비스(UCA) 기술개발’, ‘지상파 DTV 방송 프로그램 보호 기술개발’, ‘국가표준콘텐츠 식별체계를 이용한 방송 콘텐츠 유통 서비스 프레임워크 기술개발’ 등의 과제로 이어졌다.

### MPEG-21 전체의 25%에 해당하는 국제표준 채택

ETRI는 ‘MPEG-21 기반 멀티미디어 프레임워크’ 국제표준 제정에 주도적으로 참여하였다. MPEG-21 표준의 DIA(Digital Item Adaptation), File Format, Event Reporting 및 IPMP(Intellectual Property Management and Protection) 분야등에서 활발한 기술 기고 및 표준화 작업을 수행하였고, 그 결과 MPEG-21 DIA(ISO/IEC 21000-7) 분야에서 총 10건의 기술이 국제표준에 채택되었다. 이는 MPEG-21 국제표준기술 전체의 25%에 해당한다. 또한, 표준특허 6건을 출원하는 등 ETRI의 지식재산권 확보에도 크게 기여하였다.

## 2-2-3. 3D 실감 방송미디어

### TV에 부는 3D 바람

1990년대 중반부터 유럽과 일본을 중심으로 3DTV가 본격적으로 연구되기 시작하였다. 1998년 나가노 동계올림픽 3DTV 방송중계 실험을 기점으로, 국내에서도 2DTV의 한계를 넘어 실감 나는 3DTV 방송 기술을 확보해야 한다는 분위기가 무르익었다.

### 세계 최초의 지상파 3DTV 본방송

1990년대 후반, 2002년 월드컵의 한국과 일본 공동개최가 확정되면서 양국 정부는 문화행사 및 월드컵 축구경기 실험을 고화질 방송으로 전송하는 데 합의하였다. 당시 한국은 3DTV 방송을, 일본은 3면 파노라마 방송을 송출하기로 하였다.

이에 1999년 한·일 통신장관 기술협력 합의가 이뤄졌고, ETRI는 ‘3차원 입체영상(3DTV)



3DTV



방송·통신위원회의 ‘세계 최초 고화질 3DTV 실험방송 개시 행사’(2010. 10. 29. 한국과학기술회관)

방송중계 시범서비스’ 사업을 시작으로 3DTV 방송 기술 연구의 닳을 올렸다. 이 사업을 통해 양안식 3DTV 카메라, HD급의 3DTV 비디오 다중화기·역다중화기, HD급 3DTV 수신기 등을 개발하고, 전용망을 통한 HD급 방송중계시스템을 구축한 ETRI는 2002년 한일 월드컵 당시 실시간으로 3DTV 방송중계 시범서비스를 제공하는 데 성공하였다.

이어서 2002년부터 2006년까지는 ‘3차원 AV 기반기술 연구’를, 2007년부터 2010년까지는 ‘무안정 개인형 3D 방송 기술연구’를 수행하면서 안경을 쓰지 않는 다시점 3DTV에 대한 기반기술을 확보하였다. 또한, 2009년 입체영화 아바타(Avatar)의 흥행을 기점으로 안경식 3DTV에 대한 관심이 고조되자, 2010년부터 전파방송산업 기반조성사업으로 ‘고화질 3DTV 실험방송’을 추진하였고, 2011년에는 대구 세계육상선수권대회에서 고화질 3DTV 시범서비스를 제공하였다.

2010년부터 2013년까지는 방송·통신산업기술개발 사업으로 ‘지상파 양안식 3DTV 방송 기술개발 및 표준화’ 사업을, 2011년부터 2015년까지는 ETRI 지원사업으로 ‘무안정 다시점 3D 지원 UHD TV 방송 기술개발’ 사업을 추진하였다.

2010년에 TTA(한국정보통신기술협회) 방송 표준위원회 산하에 3DTV PG가 신설되자 기존의 HDTV 방송과 역방향 호환성이 확보되는 3DTV 방송 표준화가 본격적으로 추진되었다. ETRI는 이 과정에서도 주도적인 역할을 하였다. 그 결과, 2011년 국내 표준안이 완성되었고, 이를 미국 지상파방송 표준화 기구인 ATSC에 제안하여 2013년 초 ATSC의 3DTV 방송표준으로 채택되었다. 이를 토대로 2013년 11월에는 지상파방송사인 SBS가 세계 최초로 3DTV 본방송을 제공하였다.

### 절반의 성공 딛고 미래의 TV 기술로 진화

디지털방송의 부가서비스로 명확한 정책 방향을 설정하고 실험방송, 전송 핵심기술 확보, 국내외 표준화, 기술기준 개정과 지상파방송사의 시범 방송 및 본방송 제공에 이르기까지 안경식 3DTV 방송에 관련된 ETRI의 기술개발 전략은 적중하였다. 디지털방송 서비스와 호환되는 지상파 3DTV 방송시스템 기술은 2012년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정될 정도로 주목을 받았다. 그러나 양질의 콘텐츠 부족과 안경 착용의 불편함 등으로 상업적 성공으로는 이어지지 못하였다.

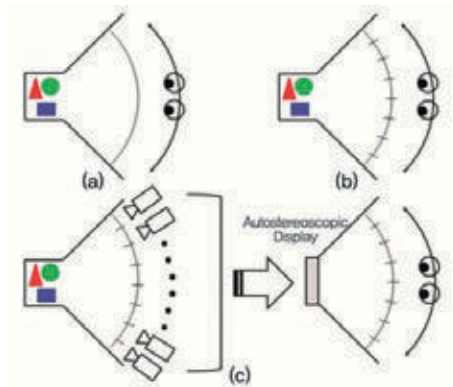
이렇게 ETRI의 3DTV 방송 기술개발은 절반의 성공에 그쳤지만, 미래의 TV 기술에 대한 시청자의 기대치를 한껏 높이는 계기가 되었다. 현재는 증강현실, 가상현실, 전방위 비디오 응용, 궁극의 TV로 불리는 완전입체 TV 분야에서 기술적 한계를 돌파하고 새로운 시장을 열어나가는데 필요한 원천기술 연구가 계속되고 있다.

### 자연스러운 3D 영상 시청을 위한 기술

2013년 세계 최초 양안식 3DTV 방송의 시범적 실시 이후 입체영화가 널리 보급되자, 무안경으로 더 자연스럽게 입체영상을 시청할 수 있는 기술에 대한 요구가 계속되었다. 이와 함께, 초실감 미디어가 새로운 미디어 서비스로 부상하면서 모바일 5G망을 통해 완전 입체영상을 보고자 하는 시청자들의 요구도 점차 커졌다.

### 다시점 3DTV 기술개발

ETRI는 2011년 ‘무안경 다시점 3D 지원 UHDTV 방송 기술 개발’ 과제의 세부 기술로 양안식 비디오 기반의 다시점 TV 기술개발을 시작하였고, 2014년부터는 ‘초고품질 콘텐츠 지원 UHD 실감방송/디지털 시네마/사이니지 융합서비스 기술 개발’ 과제에서 안경 없이도 입체감을 제공할 수 있는 무안경 다시점 3DTV 기술을 본격적으로 개발하게 되었다. 우선, 경북대학교 및 방송 솔루션 벤처기업인 카이미디어와 공동으로 ‘무안경 다시점 3D 영상 재현 기술’을 개발하였다. ETRI는 협소한 시야각, 시점 수 증가에 따른 해상도 감소 등의 한계를 극복하기 위해 다양한 3D 스펙의 무안경 3DTV에 적용할 수 있는 다시점 영상 다중화 및 서브픽셀 SW를 개발하였다. 이로써 자연스러운 무안경 3D 영상의 재생이 가능해졌다. 또한, 시청영역 확장을 위해 적층형의 능동형 lenticular 렌즈를 스위칭할 수 있는 3D 디스플레이 원천기술도 개발하였다. ‘다시점 비디오 부복호화 기술’도 확보하였다. ETRI는 2D 비디오와 압축 성능은 동일하게 유지하면서도 복잡도를 줄일 수 있는 움직임 벡터 예측(Motion vector prediction) 관련 기술을 개발해 3D-HEVC 표준특허를 확보하였다.



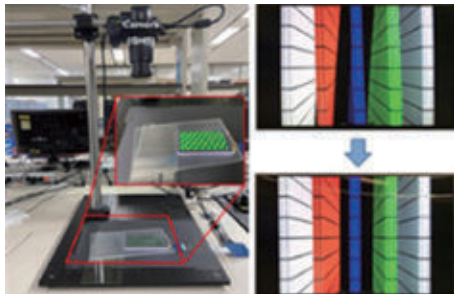
무안경 다시점 3DTV 원리

### 모바일 완전 입체영상 구현 기술개발

2013년 범부처 기가코리아사업이 시작되면서 기가급 모바일 플랫폼상에서 완전입체 실감 미디어를 획득·전송·재현하는 기술에 대한 수요가 제기되자, 2015년 삼성디스플레이 주관의 ‘모바일 완전입체 단말 및 콘텐츠 기술개발’ 사업이 시작되었다. ‘모바일 완전입체’란 실세계의 3차원 사물을 직접 보는 것 같은 깊이감(depth cue)으로 모바일 단말에서 3D 영상을 재현하는 것으로, 기존 안경착용형 3DTV나 수평 시차만을 지원하는 무안경 다시점 디스플레이보다 뛰어난 고품질 3D를 의미한다. ETRI는 이 사업에 참여하여 콘텐츠 제작 및 획득 카메라, 디스플레이 디바이스 관련 기술을 개발하였다.

구체적으로, 테스트 패턴의 왜곡을 모델링하여 LF 디스플레이 정합 오차를 자동으로 측정하고 보정하는 SW를 개발하여 삼성디스플레이 협력사에 이전하였다. 또한, 카메라로 추적한 시청자의 위치를 기반으로 대용량 LF 영상을 실시간으로 재생하는 적응적 서브픽셀 배치 기술을 개발, 실사 LF 영상을 10K 5인치 LF 모바일 단말에서 재생하는 데 성공하였다. 이 기술은 삼성디스플레이의 자체 단말 SW로 이용되었다.

이러한 기술의 확산으로 국내 LF 디스플레이 신규 시장에 대한 수요가 크게 늘고 있다. 자연스러운 입체 디스플레이를 사용하는 VR/AR 및 자동차 등 신규 용도가 증가함에 따라 확산세는 더 빨라질 것으로 보인다.



LF 디스플레이 정합 오차 보정 시스템

### 초실감 테라미디어 기술개발로 연계

한편, ETRI는 2017년부터 수행중인 ‘초실감 테라미디어를 위한 AV 부호화 및 LF 미디어 원천기술 개발’ 사업의 일환으로 그간 축적한 다시점 및 LF 단말 재현 핵심기술개발 경험을 발전시켜 LF 영상 공간정보획득 기술, HMD 기반 전방위 LF 영상 재현 기술 및 HMD 기반 전방위 LF 영상 송·수신 요소기술을 개발 중에 있다. 최종적으로 개발된 LF 미디어 핵심기술은 고도화 및 통합을 통해 6DoF 지원 HMD 기반 LF 영상 서비스 플랫폼으로 검증될 예정이다.

### 홀로그래피 기술 한계 극복에 도전

‘홀로그래피 기술’은 빛의 간섭과 회절현상을 이용하여 3차원 영상 정보를 기록하고 공간상에 재현하는 기술로, 1948년 헝가리 출신의 Dennis Gabor 박사에 의해 최초로 제안되었다. 지금까지 홀로그래피 방식의 3차원 영상 재현 기술은 눈의 피로 및 생리적 불편함 없이 자연스러운 영상을 관찰할 수 있는 최고의 기술로 주목받아왔으나, 시야각이 매우 좁은 평면형 디스플레이 구현이 주를 이뤄 상용화에 어려움을 겪고 있었다. ETRI는 이러한 한계를 극복하고자 디지털 홀로그래피 분야의 국가 대표과제 3개를 2011년부터 수행하고 있다.

### 디지털 홀로그래피 분야 국가 대표과제들 수행

첫 번째는 2011년부터 2014년까지 추진된 ‘디지털 홀로그래피 3D 디스플레이 및 기록 시스템 원천기술개발’ 과제이다. 본 과제는 ETRI를 중심으로 해외 대학교 2개와 삼성전자,



LG전자를 비롯한 11개의 국내 산·학·연 기관으로 구성된 컨소시엄을 통해 진행되었으며, 국내 디지털 홀로그래피 분야의 연구기반을 마련했다는 점에서 의의가 크다. 연구진은 디지털 홀로그래피 3D 영상시스템을 위한 핵심기술로 디지털 홀로그래피 디스플레이/기록/획득·생성 기술을 연구하였다.

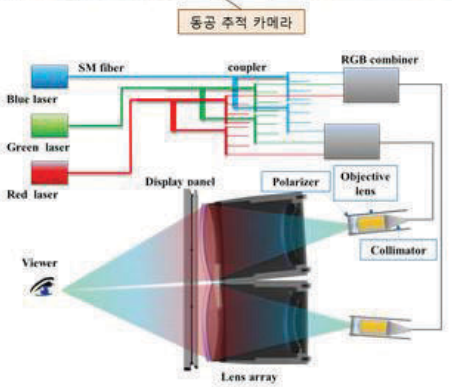
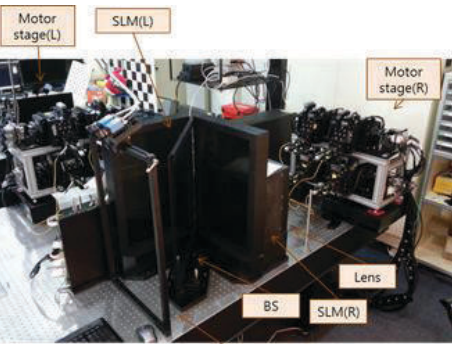
두 번째는 2014년부터 2021년까지 범부처 기가코리아사업으로 추진되고 있는 ‘디지털 홀로그래피 테이블 탐형 단말 기술개발’ 과제이다. ETRI를 중심으로 해외 대학교 1개와 LG 디스플레이, 실리콘웍스를 비롯한 12개의 국내 산·학·연 기관들이 참여하고 있다.

연구진은 본 과제를 통해 세계 최초로 360도 모든 방향에서 복수의 사용자가 5인치 크기의 컬러 동영상 홀로그램을 시청할 수 있는 디스플레이를 구현하였다. 기존 홀로그래피 디스플레이는 TV처럼 정면으로 바라보는 형태의 매우 작은 단색 홀로그램을 재현하는 수준이었으나, 본 디스플레이는 영화 ‘스타워즈’에서처럼 360도 전 방향에서 관찰 가능한 3차원 홀로그램 영상을 재현하는 것이 가능하다. 약 4인치 크기의 실제 물체가 허공에 뜬 것처럼 보이게 해주는 컬러 홀로그램 영상을 동시에 다수의 관찰자가 볼 수 있도록 테이블 탐형으로 구현했다는 점은 매우 획기적인 성과이다. 360도 전 방향에서 시청 가능한 완전입체 디지털 홀로그래피 기술은 2017년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, 세계 최대의 디스플레이 분야 전시 및 학술회의인 ‘SID(Society for Information Display) 2017’ 등 다수의 해외 학술대회에서 우수논문상을 받았다.

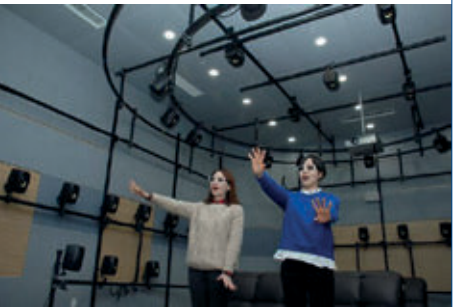
세 번째는 2019년부터 2028년까지 추진되고 있는 ‘홀로그래피 영상 서비스를 위한 Holo-TV 핵심기술개발’ 과제로, 궁극적인 홀로그램 영상 서비스를 위한 홀로그래피 획득·생성·압축·재현 핵심기술개발이 목표이다. 본 과제로 개발된 ‘홀로그램 비디오카메라 기술’은 햇빛, LED 등 레이저를 사용하지 않고 기존의 2D 카메라처럼 실사를 대상으로 직접 컬러 동영상 홀로그램을 획득하는 세계 유일의 기술이다. 또한, FPGA를 이용한 CGH(Computer Generated Hologram)를 실시간 생성하는 기술과 One Source Multi-Use 개념을 적용한 홀로그램 변환합성 기술도 연구하고 있다.

다양한 분야의 신규서비스 창출에 기여

360도 영상 재현이 가능한 홀로그래피 디스플레이 기술과 실시간 촬영이 가능한 홀로그램 비디오카메라 기술은 아직 기술성숙도가 높지 않아 산업화 단계에는 진입하지 못하고 있다. 그러나 앞으로 교육, 훈련, 게임, 엔터테인먼트, 국방, 의료 등의 분야에 적용되어 다양한 신규서비스를 창출할 것으로 보이며, 해당 분야 국내 기업의 기술경쟁력 확보에 크게 이바지할 것으로 기대된다.



대화면 홀로그래픽 디스플레이 시스템 - 4K LCD 대면적 SLM 사용, 풀컬러 10fps 동영상 홀로그램 영상 재현(2014. 7.)



3D 실감 오디오

살아있는 소리를 전하는 기술

‘3D 실감 오디오 기술’은 청취자에게 마치 음원을 획득한 장소에 실제로 있는 것과 같은 현장감을 주는 기술이다. 이 기술을 구현하기 위해서는 더미헤드나 마이크로폰 어레이를 활용하여 스테레오에서 5.1채널, 10.2채널 등 다양한 채널의 오디오 신호를 획득하는 ‘3D 오디오 획득 기술’과 헤드폰·스피커 등 다양한 재생 환경과 사용자의 선택에 따라 최적의 3D 오디오를 재현하는 ‘3D 오디오 재현 기술’이 필요하다.

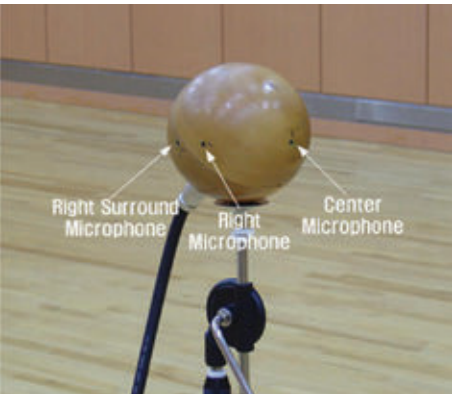
20여 년간 실감 오디오 기술개발에 매진

ETRI는 1990년대 초부터 여러 과제를 통해 오디오 신호처리 원천기술 연구를 꾸준히 추진해왔다. 구체적으로, 2002년 ‘지능형 통합 정보방송(SmarTV) 기술개발’, 2008년 ‘차세대 DTV 핵심기술개발’, 2009년 ‘이용자 창조형 음악 기술개발’, 2011년 ‘무안경 다시점 3D 지원 UHD TV 방송 기술개발’, 2014년 ‘초고품질 콘텐츠 지원 UHD 실감방송 디지털 시네마 사이니지 융합서비스 기술개발’, 2017년 ‘공간음향 원천기술개발’ 등의 연구과제를 통해 실감 오디오 핵심기술을 개발하였다.

이 가운데 ‘객체기반 오디오 기술’은 음원을 구성하는 각각의 오디오 객체를 통해 사용자가 직접 자신만의 새로운 오디오를 구성·제어할 수 있는 기술로, 다양한 응용 분야에 적용이 가능하다. ETRI는 2000년대 초반에 이 기술을 개발하여 특허를 확보하고, (주)오디즈과 함께 2008년 세계 최초로 객체기반 오디오 서비스인 ‘MUSIC 2.0’을 상용화하였다. 또한, 이를 기반으로 MPEG의 국제표준인 IM-AF(Interactive Music Application Format) 표준화를 주도하였다. 그 결과, ETRI의 객체기반 오디오 기술은 2010년대 중반에 개발된 MPEG-H 3D Audio 국제표준과 Dolby AC-4 등에 적용되고 있다.

또한, ‘멀티채널 오디오 기술’은 5.1채널 사운드 시스템을 넘어서는 몰입감을 제공하는 3D 실감 오디오 획득 기술로, 오디오 단독으로도 생생한 현실감을 느낄 수 있게 해준다. 특히, (주)삼성전자와 공동으로 개발한 10.2채널 포맷은 HDMI 2.0 표준에 포함되어 있으며, 국내 UHD TV의 오디오 재현 표준으로도 채택되어 서비스를 제공하고 있다. 아울러, 10.2채널의 실시간 오디오 획득이 가능한 10.2채널 마이크로폰은 (주)킨트에 의해 상용화되어 공연장에서 현장감이 월등한 실감 오디오를 획득하고 있다.

‘멀티채널 오디오 헤드폰 재생 기술’은 UHD TV 등의 차세대 방송환경에서 모바일 단말의 헤드폰을 사용하여 5.1채널 이상의 멀티채널 오디오 콘텐츠를 현장감 있게 재현하는 기술



5.1채널 마이크로폰(2005.)과 10.2채널 마이크로폰(2016.)



맞춤형 방송 플랫폼

로, 2015년 MPEG-H 3D Audio 표준에 채택되었고 국내 UHD-TV 표준에도 채택되어 서비스를 제공하고 있다. 향후 로열티 수입뿐 아니라 음악 플레이어, 게임, 모바일 방송, 가상현실 등 다양한 오디오 응용 분야에 혁신을 불러올 것으로 기대되며, 가상현실 HMD 기기를 위한 오디오 기술로도 활용 가능성이 크다.

‘디지털 시네마 다채널 오디오 재현 기술’은 디지털 시네마 환경에서 3D 실감 오디오를 재현하는 기술로, 국제표준규격인 DCI(Digital Cinema Initiative)에 맞춰 최대 32채널의 오디오 신호를 5.1채널 및 7.1채널로 호환할 수 있도록 전송·재현한다는 장점이 있다. 특히, 기존의 영화관 장비와 호환되어 다양한 형태의 영화관이나 공연장에도 응용 가능하며, 추후 홈엔터테인먼트 VOD 시장과 대형 전시관 등의 분야로 서비스를 확장할 수 있을 것으로 보인다.

가상 환경으로 실감 오디오 기술 확장

ETRI는 지난 20여 년간 3D 실감 오디오 기술을 개발한 경험과 성과를 바탕으로 2020년부터 완전 자유도 공간음향 재현을 위한 ‘저지연-고품질 동시 지원 공간음향 부호화 기술 개발 및 표준화’ 사업을 시작하였다. 이를 통해 가상 환경에서도 사용자의 자유로운 움직임에 따라 고품질·고현장감 오디오를 구현할 수 있는 기술을 개발하고 있다.

2-2-4. 차세대 방송미디어

방송서비스의 전환점, 디지털화

지상파 아날로그 TV 방송이 종료되고 디지털 TV 방송이 시작되면서 국내에서도 고품질·다채널·다기능(대화형) 방송이 가능하게 되었다. 이에 따라 TV를 시청하면서 전자상거래, 주식, 날씨, 게임 등 부가적인 멀티미디어 서비스를 이용할 수 있는 ‘데이터 방송서비스’와 다채널 환경에서 사용자가 자신의 취향에 맞는 방송프로그램을 자동으로 선택·처리할 수 있는 ‘맞춤형 방송서비스’에 대한 요구가 커졌다. 이에 ETRI는 2000년부터 데이터·맞춤형 방송서비스 개발에 본격적으로 돌입하였다.

국내 데이터·맞춤형 방송서비스의 토대 마련

ETRI는 우선, 데이터 방송서비스 도입을 위해 2000년부터 2004년까지 KBS, 삼성전자, LG전자 등과 함께 ‘통합 데이터 방송 기술개발’ 과제를 수행하였다. 지상파, 위성, 인터넷 등 다양한 전송 매체를 통합적으로 지원할 수 있는 데이터방송 송출 및 전송 기술과 디지털 데이터방송 단말 기술을 개발하는 과제였다. 연구진은 장비·단말의 개발과 동시에 미국의 데이터 방송규격인 ATSC DASE 표준화에도 적극적으로 참여함으로써 향후 데이터 방송시장을 선점할 수 있는 위치를 확보하였다. 2003년 5월에는 미국 ATSC 데이터 방송규격과 호환되는 지상파 대화형 데이터 방송시스템을 국내 최초로 개발하였고, 2006년에는 지상파와 케이블방송 매체 간 데이터방송 호환 규격인 ATSC-ACAP 기반의 데이터 방송시스템도 개발하였다.

한편, 2000년 4월에는 ETRI를 중심으로 지상파·위성 데이터방송 관련 산학연이 참여하는 ‘데이터 방송 표준전담위원회’를 구성하여 국내 데이터방송 표준화를 추진하였고, 2001년 6월에는 TTA 데이터 방송 잠정 표준을 제정하였다.

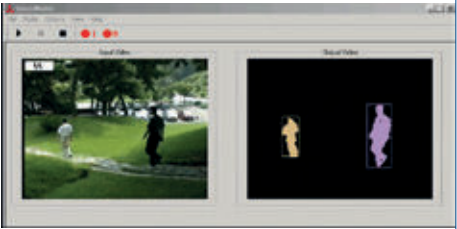
ETRI는 맞춤형 방송서비스 도입을 위해서 2001년부터 2003년까지 ‘MPEG-7 기반 메타데이터 방송 기술개발’ 과제를 추진하였다. 이를 통해 사용자 단말 플랫폼에서 방송 시간과 관계없이 시청자가 원하는 시점에 원하는 방법으로 콘텐츠·서비스에 접근할 수 있도록 하는 MPEG-7 메타데이터 기반의 방송 메타데이터 편집 도구, 전송 서버, 단말 플랫폼 등을 개발하여 맞춤형·지능형 방송서비스의 기반을 만들었다.

또한, MPEG-7 국제표준화에 적극적으로 참여하여 다수의 표준 지식재산권을 확보하였고, 이를 바탕으로 TV-Anytime<sup>88)</sup> 표준화에도 참여하였다. 특히, EBS, (주)마르시스, (주)오픈아이티, (주)베인스 등과의 실험방송을 통해 검증한 비디오 요약 및 세그먼트 메타데이터 기술은 TV-Anytime 표준 특허풀에 필수특허로 등재되었다.

위의 두 과제는 ‘지능형 통합정보방송(SmarTV) 기술개발’ 사업으로 통합되어 2002년부터 2006년까지 계속 수행되었다. ETRI는 이 과제를 통해 데이터·맞춤형 방송서비스를 개념적으로 좀 더 발전시켜 ‘지능형 방송서비스’라고 명명하였다. 그리고 이의 제공에 필요한 지능형 방송콘텐츠 저작, 메타데이터 관리, 지능형 데이터 방송 기술 및 지능형 방송 단말 플랫폼·미들웨어 등의 핵심기술을 개발하였고, 국내외 표준화를 추진하였다.

차세대 미디어 산업의 밑거름

ETRI가 중심이 되어 개발한 데이터·맞춤형 방송서비스 기술들은 세계 최고 수준이었지만, 산업적으로 큰 의미를 부여하기에는 한계가 있었다. 기술의 급격한 발전에 따라 지속



MPEG-7 데이터셋

88) TV-Anytime 표준: Anytime 서비스(사용자가 원하는 멀티미디어 콘텐츠를 원하는 시간에 TV를 통해 볼 수 있게 하는 서비스)를 위한 표준이다.





2002 한일월드컵 기간 중 세계 최초로 ATSC-DASE 기반 지상파 데이터방송 실험(2002. 6. ETRI)

해서 표준이 변하였고, 무엇보다 방송망과 통신망의 융합이 본격적으로 진행되어 IPTV, Smart TV 등 뉴미디어가 빠르게 대체 수단으로 자리 잡았기 때문이었다. 그러나 이러한 과제들을 통해 축적한 기술력, 새로운 서비스에 대한 방송 경험, 노하우를 확보한 인구인력 등은 이후에 출현한 차세대 미디어 산업의 밑거름이 되었다.

### IPTV 자체개발 분위기 무르익어

2000년대 초반의 방송서비스는 지상파 및 케이블 TV를 통한 단순한 실시간 채널 방송시청이 주를 이루었다. 그러나 인터넷을 기반으로 신 디지털 경제가 본격화되면서 양방향 및 방송·통신 융합서비스가 가능한 IPTV<sup>89)</sup>가 태동하였다.

2000년대 중반 들어 차세대 IPTV 시스템을 위한 핵심기술을 자체개발해야 한다는 분위기가 무르익자, 정부는 IPTV 서비스 활성화를 위한 필수기술 개발과 세계 시장 선점을 위한 전략기술 개발 그리고 표준화를 동시에 추진한다는 계획을 세웠다. 정부는 기존 IPTV와 차별화할 수 있도록 언제, 어디서나, 어느 단말에서든 원하는 콘텐츠를 누릴 수 있는 차세대 IPTV 기술을 개발하여 세계 최고 수준의 IPTV 서비스를 제공한다는 비전을 수립하고, ‘이용자 중심의 IPTV 서비스, IPTV 선순환 생태계 체제 구축, IPTV 3대 기술 강국’이라는 목표를 제시하였다.

### CPND 기반의 체계적인 기술개발

ETRI는 정부의 계획에 발맞춰 2008년부터 ‘유무선 환경의 개방형 IPTV(IPTV 2.0) 기술개발’ 사업을 추진하였으며, 2009년에는 ‘IPTV 방송·통신 융합서비스 및 콘텐츠 공유를 위한 개방형 IPTV 플랫폼 기술개발’ 등 6개의 사업을 추가로 수주하였다. 본 과제들에는 2008년부터 2011년까지 4년에 걸쳐 연구비 약 700억 원이 투입되었으며, ETRI가 핵심기술개발과 표준화를 담당하고 개발된 기술의 조기 상용화를 위해 국내 IPTV 사업자와 제조업체들이 참여하였다.

ETRI는 ‘CPND 생태계<sup>90)</sup>’를 기반으로 각 분야의 핵심기술을 선정하였으며, 반드시 확보해야 할 기술개발 및 표준화에 초점을 맞추었다.

‘콘텐츠’ 분야인 헤드엔드 장비는 그동안 많은 부분을 외산에 의존하고 있었는데다, 국내 원천기술 부족 및 표준특허의 취약 등으로 단기간에 문제를 해결하기 어려웠다. 이에 서비

스 소비환경별로 서비스 품질을 자유롭게 조절 가능한 IPTV 초고품질 미디어 적응형 압축 전송 기술과 디바이스에 구애받지 않고 콘텐츠를 전송 및 활용하는 미디어 적응형 보안 기술개발에 주력하였다.

‘플랫폼’ 분야는 유선망을 사용하는 데다, 사업자별로 Walled Garden 형태의 폐쇄적 플랫폼을 갖추고 있어 콘텐츠의 공유가 어렵고 제3의 서비스 사업자가 참여할 수 있는 개방 가능성도 부족하였다. 이러한 문제를 극복하기 위해 ETRI는 유무선 통합망 환경에서 새로운 방송·통신 융합서비스의 창출이 쉽고 콘텐츠 공유가 용이한 표준화된 웹 기반의 개방형 IPTV 플랫폼 개발과 방송·통신 융합서비스 테스트 플랫폼을 구축하였다.

‘네트워크’는 우리나라의 강점 분야로, BcN<sup>91)</sup>으로의 네트워크 진화와 이를 활용한 IPTV 서비스 고도화를 위해 유무선 통합망에서 전 구간의 QoS(Quality of Service)와 QoE(Quality of Experience)를 확보하는 네트워크 기술에 집중하였다. 또한, 이종·동종 망간 이동 중에도 최적의 품질로 콘텐츠를 이용할 수 있는 IPTV 네트워킹 기술을 개발하였다. ‘단말’ 분야는 국내의 IPTV 장비 시장 중 가장 성장성이 높은 시장(전체시장의 약 70% 점유)이 될 것으로 기대됐다. 이에 국내 기업이 선도적 역할을 할 수 있도록 단말의 상호호환성을 위한 미들웨어 및 셋톱박스 기능고도화와 표준화를 추진하였다.

### IPTV 2.0 기술 세계 우위 선점

ETRI는 IPTV 애로기술 및 분야별 차세대 IPTV 핵심기술개발에 성공하면서 IPTV 2.0<sup>92)</sup> 관련 기술에 있어서 세계적인 우위를 선점하였다. 유무선 통합 네트워크 환경에서 단말과 네트워크별로 서비스 품질을 보장하는 ‘환경적응형 미디어 기술’, 사용자 위치 및 단말의 유무선 여부와 무관하게 전송품질과 이동성을 보장하는 ‘품질보장형 4A 네트워킹 기술’, 디바이스에 상관없이 콘텐츠를 전송하고 채널 암호화에 활용하는 ‘적응형 보안 기술 및 보안 플랫폼 기술’을 확보하였다.

또한, 누구나 IPTV 서비스를 쉽게 제작·제공하고 콘텐츠를 공유할 수 있는 프로슈머 개념의 ‘차세대 개방형 IPTV 플랫폼 기술’도 확보하였다. 이로써 서비스·콘텐츠사업자, 제3의 서비스 제작자가 쉽게 개방형 IPTV 플랫폼을 이용하여 IPTV 서비스에 참여할 수 있게 되었고, 원격의료, 원격교육, 맞춤형 광고 서비스, 스마트 콘텐츠 추천 서비스 등 다양한 방송·통신 융합서비스가 가능해졌다.

이러한 기술의 확보는 양방향 방송 비즈니스와 응용서비스 다양화의 기반이 되었으며, 품질보장형 IPTV 네트워크를 이용한 초고화질(UHD) 방송을 가능하게 하는 원동력이 되었다. 그 결과, 국내 IPTV 산업은 질적·양적인 측면에서 획기적으로 성장하였다.



IPTV 2.0개념도

89) IPTV(Internet Protocol Television): 초고속 인터넷망을 이용하여 실시간 방송과 데이터, 멀티미디어, 전자상거래 등의 서비스를 제공하는 양방향 텔레비전 서비스이다. 시청자가 자신이 원하는 시간에 보고 싶은 프로그램을 볼 수 있다는 점이 일반 케이블방송과 다르다.

90) CPND(Content, Platform, Network, Device): 하나의 서비스를 이용자에게 제공하기 위해 서비스를 구성하는 콘텐츠 또는 앱(C), 이러한 서비스를 공통으로 지원하는 SW 플랫폼(P), 이를 전달하는 유무선 네트워크(N), 그리고 이를 소비하는 단말(D)을 의미한다.

91) BcN(Broadband Convergence Network, 광대역통합망): 음성·데이터, 유무선 등 통신·방송·인터넷이 융합된 품질보장형 광대역 멀티미디어 서비스를 언제 어디서나 끊김 없이(Seamless) 안전하게 이용할 수 있는 차세대 통합 네트워크이다.

92) IPTV 2.0: IPTV의 차세대 버전이다. 언제, 어디서나, 어떤 단말로도 원하는 콘텐츠를 최적의 품질로 끊김 없이 사용할 수 있다는 것이 핵심개념이며, 개방형 접속을 지향하는 특징이 있다.



차세대 IPTV 기술을 시스템에 적용한 시연서비스  
(2010. 12. 22. KT)

‘유무선 환경의 개방형 IPTV(IPTV 2.0) 기술개발’ 사업의 성과는 2010년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었고, 개발된 기술들은 국제표준화 활동을 통하여 ITU-T 표준 안 6건, 국제표준특허 9건, TTA 단체 표준안 6건의 성과를 달성하였다.

### IPTV 가입자의 폭발적 증가

ETRI의 차세대 IPTV 기술개발을 토대로 우리나라는 세계가 인정하는 IPTV 강국으로 올라섰다. 가입자도 폭증하여 2014년 ‘1,000만 가입자 시대’에 들어섰고, 2020년 현재 약 1,683만 명이 IPTV 서비스를 이용하고 있다. 또한, 지난 10년간 IPTV의 국내 누적 생산 유발효과는 무려 20조 원에 달한다. (KT경제경영연구소, 2018년) ETRI는 이러한 성과를 토대로 IPTV 이후의 새로운 TV 서비스를 제공하기 위한 대형과제인 ‘Beyond 스마트TV 기술개발’ 사업을 발굴 및 수주하는 데 성공하였다.

### 스마트TV 2.0에 도전

2000년대 후반 스마트폰이 빠르게 확산하면서 TV의 기능에도 변화가 요구되었다. 인터넷과 스마트폰을 경험한 소비자들은 생활 속에서 가장 많이 접하는 기기인 TV가 더 편리하고 똑똑해지기를 바랐다. 또한, 더 큰 화면에서 인터넷에 있는 다양한 콘텐츠를 보고, TV를 보면서 더 많은 일을 쉽게 하고자 하였다. 이렇게 등장한 것이 스마트TV<sup>93)</sup>이다.

ETRI는 스마트TV로의 변화를 선도하고자 기존의 스마트TV(스마트TV 1.0)와 차별되는 ‘차세대 스마트TV(스마트TV 2.0)’ 개념을 도입하였다. 스마트TV 2.0은 TV와 인터넷의 결합을 기반으로 이용자 친화적인 멀티모달 휴먼인터페이스에 의한 화면제어가 가능하고, 멀티스크린 기반으로 방송형, 통신형, 방송·통신 융합형, 컴퓨터형 등의 서비스를 제공하는 차세대 스마트TV이다.

### CPND 기반의 체계적인 기술개발

2011년 ETRI는 ‘Beyond 스마트TV 기술개발’ 사업을 통해 스마트TV 2.0 개발에 돌입하였다. 사업의 목표는 사용자가 다양하고 유익한 맞춤형 콘텐츠를 확보하면서 동시에 편리하게 TV를 제어할 수 있도록 하는 것이었다. 5년간 출연연구비 374억 원(민간부담금 포함 468.7억 원)과 연구인력 643명이 투입되는 대규모 과제였다.

93) 스마트TV: 방송시청뿐 아니라 인터넷에 기반한 쌍방향 서비스도 즐길 수 있는 차세대 TV이다.



Beyond 스마트TV

기술개발은 CPND를 축으로 진행되었다. 콘텐츠·서비스 기술로 ‘지능형 에이전트 및 검색서비스 기술’, ‘양방향 증강현실 서비스 기술’을 개발하는 한편, 플랫폼 기술로는 ‘스마트 방송·광고 플랫폼 기술’과 ‘단말 독립형 콘텐츠 보호 기술’을 개발하고 ‘스마트TV 표준연구’와 ‘스마트TV 경제성 연구’를 수행하였다. 또한, 네트워크 기술로 TV와 다양한 단말 간 OSMU(One Source Multi-Use) 기술인 ‘다중계층 비디오 송/수신 및 TV 기반 멀티커넥션 전송 기술’, ‘다중 단말 그룹관리 및 가상화 제어 기술’을, 단말 기술로는 ‘시선추적 인터페이스 기술’, ‘음성 인터페이스 기술’, ‘스마트TV 제어용 제스처 인식 기술’ 등 다양한 핵심기술을 개발하였다. 또한, 국내외 스마트TV 관련 표준화도 주도적으로 추진하였다. ETRI는 2차 연도인 2012년부터 기술 상용화를 위해 국내 기업들을 공동연구기관으로 참여시켰다. 이 역시 CPND별로 이뤄졌다. 콘텐츠는 한국교육방송공사, 닐슨미디어리서치 등이, 플랫폼은 닌텐도, 솔트룩스 등이, 단말은 가온미디어, 나무가, 쓰리디코어 등이, 네트워크는 넷커스트마이즈, LG전자 등이 참여하는 식이었다. 또한, 국제 공동연구도 추진하였다. 스위스 ETH Zurich와는 ‘증강방송 서비스를 위한 센서 기반 사용자 인터페이스 기술연구’를, 독일 다름슈타드대학(TUD)과는 ‘차세대 융합미디어 서비스 요소기술’을 공동연구하고 현지 테스트베드 구축 및 파일럿 서비스개발을 진행하였다. 이러한 국제 공동연구는 국내 참여 기업들의 해외 진출 기반이 되었다.

### 기존에 없던 다양한 기술과 새로운 문화 제공

ETRI는 ‘Beyond 스마트TV 기술개발’을 통해 국내의 스마트TV 2.0 단말 및 플랫폼을 세계 최고 수준으로 끌어올렸다. 뛰어난 성과를 도출하기 위해 기관 내부의 다양한 분야 전문가들을 ‘차세대 스마트TV 연구단’이라는 하나의 조직으로 묶어 독립적으로 스마트TV 2.0 개발에만 전념할 수 있는 환경을 만들었다. 또한, 기존에 보유하고 있던 기술과 새롭게 개발해야 하는 기술을 사업 기획단계부터 철저하게 조사·분석하여 기술개발이 최대한 체계적이고 효율적으로 진행될 수 있도록 하였다.

ETRI의 스마트TV 2.0 기술은 기술적 측면에서 기존 스마트TV에 없던 다양한 HW·SW 및 응용서비스들을 제공하였고, 산업적으로는 해외 스마트TV 주도기업들의 국내시장 확대를 방어하고 전통적 TV 산업을 SW와 콘텐츠를 중심으로 한 신에코시스템으로 전환하는 역할을 하였다. 또한, 사회·문화적으로 보면 국민에게 기존의 TV 시청 문화에서 벗어나 TV를 통한 인포테인먼트, 영상회의, SNS, 게임 등 다양한 새로운 정보·문화 체험의 기회를 제공하였다.



UWV, 세상에서 가장 넓고 선명한 TV

대화면 파노라마 영상인 UWV(Ultra Wide Vision)는 사람의 시야와 유사한 120도 이상의 광시야각을 UHD 초고화질로 제공하는 실감 영상 기술이다. 시청자는 시야를 가득 채운 영상을 통해 현장에 실제로 와 있는 듯한 실재감과 몰입감을 느낄 수 있다. UHD가 가로세로 3,840×1,920의 해상도로 60도 이내의 시야각을 제공하는 것에 반해, UWV는 UHD의 3배인 11,520×1,920 초고해상도로 120도 이상의 시야각을 제공한다.

ETRI는 2011년부터 UWV 원천기술 확보에 돌입하여 2018년까지 연구비 약 70억 원을 투입, 4K급 초고화질 영상을 기반으로 하는 ‘12K×2K급의 UWV 실황중계 기술’을 개발하였다. UWV 실황중계 기술은 현장에 가지 않고도 스포츠 이벤트나 문화 공연의 실황을 현장감 있게 시청할 수 있는 기술이다. 여기에는 고해상도의 광시야각 영상을 위해 고품질 카메라 여러 대를 연결하여 초점과 색온도를 동일하게 유지·촬영하는 기술(획득), 중복되는 복수의 영상을 끊김 없이 이어붙이고 보정하여 가로로 넓은 파노라마 영상을 형성하는 기술(생성), 대용량 UWV 영상신호를 압축 부호화하고 전송하는 기술(전송), 복수의 프로젝터나 패널 디스플레이를 통해 중첩 없이 고해상도 UWV 영상을 재생하는 기술(재생) 등이 활용된다.

ETRI는 UWV 실황중계를 위한 요소기술로, 실시간으로 카메라 출력을 확인하면서 카메라 자세를 제어하기 위한 ‘실시간 모니터링 시스템’, 영상을 끊김 없이 연결하여 대화면 파노라마 영상을 구현하기 위한 ‘HLoG(High order Laplacian of Gaussian) 기반 스티칭 원천기술’, 고효율 비디오 코딩 표준인 HEVC(High Efficiency Video Coding)를 기반으로 12K×2K UWV 영상을 실시간으로 부호화하는 ‘UWV 실시간 부호화·전송 시스템’, 실시간으로 UWV 스트림을 수신하여 복호화하고 멀티프로젝터, 멀티패널, UHD-TV 등 다양한 디스플레이에서 재생하게 함으로써 현장감 있는 장면을 제공하는 ‘UWV 재생 시스템’ 등을 개발하였다.

ETRI는 이 기술들을 민간기업에 이전하여 2017년부터 2020년까지 총 10건의 기술이전 계약을 체결하였다. (착수기본료 총액 4.6억 원) UWV 실황중계 기술은 이벤트, 전시, 홍보 등 다양한 분야에 적용할 수 있어 향후 산업적 효과는 점점 확대될 전망이다.



UWV



네덜란드-페루 국가대표 축구경기 대륙간중계 실험(2018. 9.)

스포츠 경기, 공연, 영화 등에 적극 활용

UWV는 2000년대 말부터 독일을 중심으로 개발이 시작되었으나, 카메라, 고성능 GPU, 광대역 통신망 등의 부재로 실제 서비스에 활용되기에는 제약이 많았다. 그러나 ETRI는 열정과 집념으로 방송용 4K 카메라와 HEVC 영상 부호화 기술 등 상용화에 필요한 요소 기술들을 모두 개발하여 End To End 시스템을 확보하였다. 특히, 100Mbps 이상의 초고속 이동통신 환경을 제공하는 5G에서 60Mbps 내외의 대역폭으로 차별화된 몰입감을 제공함으로써 통신사업자들에게 매력적인 뉴미디어 서비스로 떠오르고 있다.

ETRI는 기술개발에만 그치지 않고, 각종 스포츠 경기와 K-Pop 콘서트, 관광, 뮤지컬, 영화 등 여러 장르의 콘텐츠를 직접 제작하여 기술을 검증하고 다양한 활용 가능성을 제시하였다. 2018년 평창동계올림픽에서는 과학기술정보통신부와 협력하여 주요 스포츠 경기를 비롯한 ICT 5대 기술 소개와 K-pop 콘서트, 한국의 자연 풍광 등 다양한 UWV 콘텐츠를 제작하여 일반에게 선보였으며, 2018년 2월 19일에는 조직위·강릉시·KT·NIPA·RAPA 등과 협력하여 강릉아트센터에서 진행된 난타 공연을 인천공항 ICT 라운지에서 UWV 실감 영상으로 실황중계 하였다. 또한, 2018년 9월 6일에는 한국 과학기술정보연구원, 네덜란드 TNO, 요한 크루이프 아레나 등과 협력하여 네덜란드 암스테르담 요한 크루이프 아레나(Johan Cruyff Arena) 축구장에서 열린 네덜란드와 페루 국가대표팀 친선경기를 실황 중계하였고, 2019년에는 5G 환경에서 프로야구를 중계하는 SK텔레콤의 ‘5GX Wideview’ 서비스에 UWV를 적용하기도 하였다.

몰입형 미디어 기술로 진화

최근 UWV는 360VR의 발전과 함께 완전한 자유도를 제공하는 ‘몰입형 미디어(immersive media)’로 진화하고 있다. 멀티미디어 국제표준화 기구인 MPEG도 2017년 말 몰입형 미디어에 대한 표준개발 로드맵을 수립한 바 있다. 이에 ETRI는 2018년부터 10년간 미래 몰입형 미디어 원천기술을 확보하기 위한 전문연구실 과제(이머시브 미디어 전문연구실)를 수행할 예정이다. 또한, 2020년 2월 시작된 코로나19의 영향으로 원격회의, 온라인 공연, 텔레프레전스(Telepresence) 등 비대면 미디어 서비스의 중요도가 커지자, 이에 발 빠르게 대응하여 2020년 7월부터 ‘UWV를 기반으로 한 온라인 공연 플랫폼’ 과제를 수행하고 있다.

## 2-2-5. 방송콘텐츠 보호

### DCAS의 특징점에 세계가 주목

케이블방송이 아날로그 방식에서 디지털 방식으로 전환된 이후, 미국 MSO(Multi System Operator, 복수 종합유선방송 사업자)를 비롯한 NCTA(National Cable Television Association, 미국 케이블TV방송통신협회)는 셋톱박스에 보안 모듈을 탑재할 수 있는 DCAS<sup>94)</sup>기술에 대한 검토 및 표준화 움직임을 보이기 시작하였다. CAS(Conditional Access System)는 가입자가 유료방송을 무료로 시청할 수 없게 하고 케이블 사업자의 콘텐츠 보호를 위해 채택하는 조건부 접근 기술을 뜻한다. DCAS(Downloadable CAS)는 여기서 한 단계 더 진화한 개념으로, 셋톱박스나 디지털TV에서 케이블 사업자가 자유롭게 CAS를 변경할 수 있는 기술이다. 이 기술을 이용하면 CAS의 장점을 모두 취하면서도, 저렴한 가격으로 셋톱박스를 공급하는 것이 가능하다.

미국에서 DCAS 기술개발 움직임이 활발해지자, 국내 케이블방송 업계도 가입자 편의 및 비용 절감을 위해 이 기술의 도입을 요구하기 시작하였다.

### 세계 최초로 디지털 케이블 방송용 DCAS 개발

ETRI는 2007년 3월부터 2010년 2월까지 3년간 총 104억 원(정부출연금 73억 원, 민간 출연금 31억 원)의 연구비를 투입하여 'Downloadable 제한수신 시스템 개발' 사업을 진행하였다. ETRI가 연구개발을 주도하고, 개발 장비의 조기 상용화를 위해 국내 기업들이 참여하였다. (주)코어트러스트가 케이블방송용 DCAS 헤드엔드 인증용 서버 개발을 담당하고, (주)디지털스트림테크놀로지는 케이블방송용 DCAS 단말 플랫폼 개발을 담당하였으며, (주)코아크로스는 케이블방송용 DCAS 단말용 보안 모듈 및 디스크램블러 칩 개발을 진행하였다. 한편, 디지털케이블연구원은 실험방송 및 상용화 기술검증을 위해 참여하였다. 이와 함께, 부족한 기술은 진행 중인 국제표준 문서 확보를 통해 보완하였다.

ETRI는 이미 '디지털 위성방송시스템 개발사업'(1995년 종료)을 통해 CAS 기술을 국내 최초로 개발한 바 있었다. 이 기술을 기초 기반기술로 활용하고 공동연구기관들과의 체계적인 협력을 바탕으로 연구진은 2010년 세계 최초로 OpenCable 규격의 DCAS 시스템 기술을 확보하는 데 성공하였다.

기술의 성공에는 ETRI 연구원들의 집념도 중요한 역할을 하였다. 당시 ETRI는 과제 수



DCAS 검증시스템

행을 위해 북미에서 진행 중인 DCAS 표준문서를 조속히 입수해야 했지만, 보안이 중요한 DCAS의 기술 속성상 입수가 매우 어려웠다. 표준문서는 NDA를 맺으면 얻을 수 있는 Public 표준문서와 돈을 지불 해야 얻을 수 있는 Licensed 표준문서가 있다. Public 문서는 입수하였지만, 상당한 액수를 지불하고 License를 체결하여 나머지 문서를 얻기에는 무리가 있었다. 이를 해결하기 위해 ETRI는 DCAS 개념을 도입하여 주도적으로 진행하던 Comcast 사의 Jim Fahrny를 직접 찾아가는 등 북미의 DCAS 표준 핵심 구성원들과 일일이 접촉하며 강력하게 입장을 설명하였다. 이런 과정을 통해 마침내 DCAS 전체 표준문서를 입수하고 관련 요구내용을 과제에 반영하여 세계 최초로 DCAS 시스템 구현에 성공할 수 있었다.

### 케이블방송의 진화에 기여

과제를 통해 개발된 DCAS 시스템은 당시 디지털 케이블방송 도입의 걸림돌이었던 고정형 HW 방식의 케이블카드를 대체하였다. 또한, 케이블방송의 제한수신 서비스를 위한 기본 인프라로 활용됨과 동시에 홈네트워크와 연동하여 DRM<sup>95)</sup>의 요소 기술로 활용될 것으로 기대되었다.

### 디지털 시대, ‘저작권 보호’ 새 이슈로 부상

아날로그방송이 디지털방송으로 전환되어 TV가 멀티미디어 기능을 제공할 수 있게 되자, 부작용으로 고품질 방송콘텐츠의 무단복제와 불법유통 가능성이 커지게 되었다. 특히, 한류열풍의 첨병인 드라마 · 대중가요 · 영화 등 국내 방송 프로그램의 가치가 커지면서 동아시아 일부 국가에서 무단복제 및 불법유통으로 인한 지식재산권 침해 사례가 급증하기 시작하였다. 또한, 초기의 개인형 인터넷TV 방송서비스는 법 · 제도의 미비로 인해 기존 방송 매체와 저작권 침해 관련 마찰을 빚고 있었다. 이에 따라 콘텐츠 저작권 보호 및 불법복제 방지를 위한 DRM 기술이 강력하게 요구되기 시작하였다.

### 콘텐츠 보호 · 관리를 위한 지속적인 노력

ETRI는 2001년부터 꾸준히 방송콘텐츠 보호를 위한 DRM 기술을 개발해왔다. 2001년 ‘디지털 콘텐츠 기술개발’, 2002년 ‘MPEG-21 기반 방송 · 통신 융합서비스 프레임워크



DCAS 헤드엔드 서버구조

94) DCAS(Downloadable CAS(Conditional Access System)): 교환가능형 수신제한시스템으로, 셋톱박스에 사업자가 제공하는 CAS가 미리 설치되어있는 것이 아니라, 네트워크에 연결 시 서버로부터 CAS를 보안이 보장되는 칩(Secure Micro)에 다운로드하는 방식이다. 이때 CAS뿐 아니라 디지털저작권관리(Digital Right Management)나 ASD(Authorized Service Domain)과 같은 다른 보안 모듈도 함께 내려받을 수 있다.

95) DRM(Digital Rights Management, 디지털 저작권 관리): 사용권한 제어, 콘텐츠의 암호화, 신뢰성 있는 유통 프레임워크 제공을 통해 디지털 콘텐츠의 지식재산권을 보호하는 기술이다.





DRM 표준

기술개발, '지능형 통합방송(SmarTV) 기술개발', 2007년 '지상파 DTV 방송 프로그램 보호 기술개발', 2009년 '국가표준콘텐츠식별체계를 이용한 방송콘텐츠 유통 서비스 프레임워크 기술개발' 등의 과제를 통해서였다.

이러한 과제를 통해 ETRI는 기존 DRM 기술의 단점인 상호호환성의 부재 문제를 해결하는 데 주력하였다. 그 결과, 방송콘텐츠 저작권 관리 툴을 패키지 형태로 제공하는 툴팩(ToolPack) 개념을 세계 최초로 정의하고, 디지털 케이블방송, 위성방송, IPTV 등 여러 방송 매체에 모두 적용되도록 상호호환성을 제공하는 핵심 DRM 솔루션을 개발하였다. 툴팩 기술은 기존의 개방형 DRM 구조가 가지고 있던 보안상 취약점을 강화하고, 인터페이스를 간소화하는 것은 물론, DRM 시스템 간 상호운용성을 제공할 수 있다는 장점이 있다. 이 기술은 2005년 8월 세계표준화 단체인 DMP(Digital Media Project)의 기술 표준안으로 채택되었다.

이밖에 ETRI가 개발한 DRM 관련 주요기술로는 '방송콘텐츠 유통 프레임워크 기술', '사용자 및 디바이스 기반의 도메인 기술', '도메인을 이용한 라이선스 기술', '콘텐츠 등록 및 서비스 시스템 기술', '방송용 디지털 콘텐츠 포맷 전송 기술' 등이 있다.

또한, '지상파 DTV 방송 스트리밍 전송 기술', '수신 단말 기술', '방송 프로그램 녹화·저장·복사 제어 및 재전송·재배포 방지 기술', 'UCI(Universal Content Identifier, 국가표준콘텐츠식별체계)에 기반한 아카이빙 시스템 연동 식별정보·메타데이터 변환 및 연동 기술', '방송용 UCI 응용 메타데이터 생성 및 변환 기술', 'HD급 방송영상용 비디오 워터마킹 기술', 'UCI·특징정보 기반 광고 모니터링 시제품', 'Mash-Up 콘텐츠(방송콘텐츠+UCC) 저작권 분리식별 및 분배관리 기술', 'UCI 참조 연계 방송콘텐츠 플레이어 시제품' 등도 ETRI가 개발한 주요기술이다.

2009년에는 방송 4사(KBS, MBC, SBS, EBS)와 함께 지상파방송 프로그램 보호 신호(Program Protection Information)가 적용된 HD 방송콘텐츠를 실험 방송하여 ETRI의 콘텐츠 보호·관리 기술 수준을 검증하였다. 또한, 2010년 말에는 UCI가 디지털 워터마크 형태로 은닉 삽입된 방송콘텐츠를 SBS와 대전방송(TJB)을 통해 수도권과 충남권에서 실험 방송하였다.

### 개방·공유로 기술적·사회적 합의 이끌어

ETRI가 개발한 여러 콘텐츠 보호·관리 기술은 국내 방송시장의 선진화에 상당한 기여를 하였다. 특히, 툴팩 기술은 당시의 독점적·배타적 DRM 기술 시장의 특성을 회피하고, 개방·공유 개념을 반영한 기술로 의미가 크다. 이 기술의 등장으로 셋톱이나 PC, 휴대폰,

PMP, PDA 등 모든 단말에 간단히 SW를 탑재하는 것만으로 콘텐츠 보호는 물론, 상호호환도 가능하게 되었다.

또한, 보편적·공익적 성격이 강한 지상파방송의 특성을 고려하여 정당한 사적 이용권을 보장할 수 있는 기술적 보호조치를 구현하기 위한 다양한 사용자 시나리오를 도출하고, 이에 부합하는 기술개발을 수행함으로써 방송콘텐츠 제작자인 방송사와 TV, 단말제조업체가 모두 공감하는 기술적 범위를 정의한 것도 큰 성과이다. 특히, 방송콘텐츠의 저작권 보호 필요성을 주장하는 방송 4사와 기술적 제약을 지적하는 국내 TV 제조업체(삼성, LG 등) 간의 첨예한 입장 차를 조정하는 일은 ETRI로서는 매우 도전적인 과정이었으나, 최종적으로는 상호이해를 바탕으로 기술개발과 함께 표준화를 모두 완료할 수 있었다.

### 기술적 주도권과 산업경쟁력 확보

ETRI는 국내 방송콘텐츠 저작권 보호 및 표준화 기술개발을 선도함으로써 방송콘텐츠 서비스 산업의 기술적 기반을 구축하는 데 크게 기여하였다. ETRI의 꾸준한 노력을 기반으로 2017년 시작된 지상파 UHD 방송에는 암호화 기술이 적극적으로 적용되어 무단복제 및 불법유통이 원천적으로 방지되었다. 또한, 2000년대 중반까지 외국업체가 장악하고 있던 콘텐츠 보호·관리 분야는 2020년 현재 기술종속으로부터 완전히 벗어날 수 있게 되었다.



대전방송(TJB) UCI-워터마크 실험방송(2010. 1. 21, ETRI/TJB)

## 2-2-6. 재난/복지 방송

### 재난 방송 기술의 중요성 부각

세계 주요국가들은 긴급한 재난 상황에서 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 재난·재해 상황을 신속하게 전달하는 다양한 정보전달체계를 갖추고 있다. 그중에서도 재난 방송은 가장 효율적인 방법으로 손꼽힌다. 특히, 2000년대 이후 지진, 태풍, 화재, 해일 등의 자연재해가 대형화되고 빈번하게 발생하면서 재난 방송 기술의 중요성과 발전 방안에 대한 논의가 더욱 활발해지기 시작하였다.



지상파 UHD 재난정보시스템

### 신속 · 정확한 재난 방송 기술의 고도화

재난 방송의 목적은 국가적 재난 상황에서 모든 국민에게 재난 상황을 신속하게 전달하고 예상되는 재난의 위험과 대처 요령 등을 적극적으로 알림으로써 피해를 최소화하는 것이다. ETRI는 재난 방송이 이러한 목적을 충분히 달성할 수 있도록 기술적 기반을 마련해왔다. ETRI는 2005년 ‘지상파 DMB 기반의 재난경보 방송 기술’을 개발하기 위한 연구와 표준화를 시작하였다. 이를 통해, 무료 보편적인 지상파 방송망을 이용하여 차량에 내장된 DMB 단말과 개인 휴대형 DMB 단말로 긴급한 재난정보를 제공하는 새로운 재난경보 전달체계를 마련하였다. 또한, 2009년에는 재난 시 터널 및 지하 공간 등 특정 지역에 국지적 재난경보 방송을 제공할 수 있는 기술인 ‘터널용 지상파 DMB 재난 방송 기술’을 개발하였다.

2011년부터는 지상파 DMB 단말로 방송을 시청하지 않더라도 별도의 수신기 조작 없이 자동으로 수신기가 켜지고 재난정보 및 방송을 청취하게 되어 조기에 재난 상황을 인지할 수 있도록 하는 ‘자동인지 지상파 DMB 재난 방송서비스 기술’의 개발과 국내표준화를 완료하였다. 또한, 2012년에는 국내 지상파 디지털방송에서도 재난 상황 시 자동으로 TV가 켜지게 하는 ‘자동인지 Wake-up 재난 방송 기술’을 개발하였다. 그러나 지상파 방송수신기에 관련 기술이 적용되지 않아 많은 아쉬움이 남기도 하였다.

‘재난피해 저감을 위한 지상파 UHD 기반 재난 방송서비스’ 과제는 2018년부터 2020년까지 추진되었다. ETRI는 이 과제를 통해 ‘지역별 · 그룹별 · 단말별 맞춤형 재난 방송 기술’, ‘실내 · 외 재난 방송서비스 확장기술’, 멀티미디어 재난정보를 제공하는 ‘리치미디어 재난 방송 기술’, 이동 환경에서 서비스 커버리지를 확대하기 위한 ‘재난 방송서비스 핸드오프 기술’ 등을 개발하였다. 또한, 이 기술들을 토대로 ATSC 3.0 재난 방송표준을 기반으로 하는 ‘지상파 UHD 재난정보서비스’를 개발하고 2019년에 세계 최초로 시범서비스를 시행하였으며, 중소기업에 이전하여 역시 세계 최초로 상용화하는 데 성공하였다. 이 서비스는 현재 국내의 모든 지상파방송사에 적용되어 있다.

한편, ETRI는 미래방송미디어표준포럼 및 TTA 표준화 그룹에서 의장단 역할을 하며 국내 차세대 재난경보 방송서비스 표준화를 주도하고 있다.

### 체계적 공동연구와 사업연계로 시너지 극대화

ETRI는 기술 · 서비스 개발의 기획단계에서부터 방송사, 방송 장비 및 수신 단말 업체 그리고 가전사와 함께 서비스 요구사항을 정의하고, 기술의 표준화 및 송수신시스템 개발 · 검증을 추진하였다. 그 결과, 개발된 기술들은 한국방송통신전파진흥원의 재난정보시범서비스사업, 한국전파진흥협회의 차세대방송장비해외진출사업 등과 연계되어 곧바로 상용

화 단계로 진입할 수 있었다. 또한, 미국과 시범서비스를 공동추진하여 우리 재난 방송 기술의 우수성을 알리고 국내 방송 장비 기업들의 미국 진출을 지원하였다.

### 첨단 재난 방송 기술의 확산

ETRI는 후속 사업으로 지상파 UHD 재난 방송 기술의 확산을 위한 ‘Cable 및 IPTV 등 유료 방송플랫폼을 위한 클라우드 기반의 차세대 재난정보시스템’ 개발과제를 추진하고 있다. 또한, 장애인, 노인 등 사회 취약계층을 위한 재난정보서비스 제공 기술에 대한 신규 과제를 기획하고 있다.

#### 경주 지진에서 시작된 지상파 UHD 재난 방송서비스

2016년 9월 경주에서 규모 5.8의 국내 역대 최강 규모의 지진이 발생하였다. 온 나라가 충격에 빠진 상황에서 우리나라 재난경보 전달체계의 문제점이 그대로 드러나자, 새롭게 도입되는 지상파 UHD 방송에 재난 방송 기술을 도입해야 한다는 논의가 활발히 진행되었다. 이 와중에 2017년 11월에 포항지역에서 진도 5.4의 대형 지진이 또다시 발생하자, 지상파 UHD 기반 재난 방송 기술 과제가 신속하게 수립되어 2018년부터 ETRI 주관으로 진행되었다.

당시 정부는 본 과제를 활용한 재난 방송을 조기에 도입하는 동시에, 기존 재난경보 체계와의 연계도 진행해야 한다는 입장이었다. 부담이 큰 요구였지만, ETRI는 국민의 안전을 위해 앞당겨 과제를 수행하기로 하고 총력을 기울였다. 그 결과, ETRI는 2019년 9월 세계 최초로 ‘지상파 UHD 재난경보’ 시범서비스를 시행하였으며, 현재는 국내 지상파방송 3사의 방송 송출시스템에 이를 모두 적용한 상태이다.



지상파 UHD 재난정보서비스 선포식(2019. 9. 23.)

### 국내 장애인방송의 흐름

우리나라의 장애인방송<sup>96)</sup>은 1996년 정보통신부와 지상파방송 4사, 가전업체가 함께 수행한 자막방송 연구로부터 시작되었다. 이후 KBS, MBC, SBS는 1999년부터, EBS는 2000년부터 자막방송을 서비스하였다. 또한, 수화방송은 1979년 KBS가 최초로 실시하였으며, 화면해설방송은 MBC가 2001년, KBS가 2003년부터 시작하였다.

96) 장애인방송: 장애인의 방송접근권 보장을 위해 방송사업자가 제공하는 자막방송 · 수화방송 · 화면해설방송 등의 시청편의 서비스이다.



초기의 장애인방송은 전체 프로그램 대비 편성률이 낮은 편이었으나, 2011년 방송법 개정으로 장애인방송 제공이 폐쇄자막의 경우 100%, 수화 5%, 화면해설 10%로 의무화됨에 따라, 사업자마다 이에 맞추어 서비스하고 있다.

### 시청각장애인을 위한 방송 기술개발

ETRI는 2013년부터 장애인방송 기술개발을 시작하여, 시각장애인이 리모컨 없이 동작을 통해 TV를 제어할 수 있는 기술과 TTS(Text to Speech)를 이용한 화면해설 저작도구 툴을 개발하였다.

이어서 2015년 ‘시청각 장애인 방송접근권 향상을 위한 디지털자막·음성해설서비스 개발’ 과제를 통해 본격적인 시청각 장애인방송 기술개발에 들어갔다. 시각장애인에게 해설 오디오를 제공하기 위한 감성음성합성 기술과 청각장애인을 위한 감성표현 폐쇄자막을 연구하는 과제였다. 연구 결과, 청각장애인의 간접적 체험 제공을 위한 ‘오디오-진동 체감장치 및 장애인방송’과 온라인 장애인 콘텐츠 접근성 향상을 위한 ‘장애인용 하이브리드 STB’, ‘장애인방송 품질 모니터링 시스템’, ‘장애인방송 콘텐츠 분석 기술’ 등이 개발되었다. 2019년부터 3년간은 ‘시청각 장애인의 방송시청을 지원하는 감성표현 서비스개발’ 과제를 수행하고 있다. 이를 통해 딥러닝 기술을 활용한 ‘감성음성합성 기술’과 이를 적용한 ‘음성자막서비스’, 움직이는 이모티콘 등을 포함한 ‘감성표현 자막서비스 기술’ 및 한국어를 한국 수어로 변환하여 수어 동작과 연결·제공하는 ‘아바타 수어기술’을 개발 중이다. 특히, 한국 수어 변환 기술은 국내에서 처음 시도되는 것으로, 세계적인 주목을 받고 있다.

### 장애인의 방송 소외 막기 위해 노력

ETRI는 장애인방송 기술의 직접적인 수요자인 시청각 장애인 단체를 중심으로 불만 및 개선사항을 수렴하여 기술의 양적·질적 향상을 도모하고 지속해서 문제점을 보완해 나가고 있다. 특히, 방송·통신의 융합과 디지털화·모바일화 등 방송환경이 급변하면서 장애인의 방송 소외와 정보격차가 심각해지고 있다는 점을 고려하여, 이러한 문제를 첨단기술로 극복하는 방안을 마련하고자 노력하고 있다.



코로나19 생활방역 개인지침 아바타 수어 동영상(2020.)



디지털액터

## 컴퓨터 그래픽스

CG(Computer Graphics) 기술 분야의 대표적인 성과는 2005년 개발한 ‘디지털 액터’이다. 디지털 액터는 영화 〈호로비츠를 위하여〉, 〈한반도〉, 〈충천〉 등에서 위험한 장면이나 고난도의 액션을 배우 대신 연기하여 호평을 받았고, 국내 연구기관 최초로 대중상영화제·청룡영화제에서 기술상을 수상하였다. 이어서 2007년에는 물·불 등 유체의 움직임을 사실적으로 재현하는 ‘유체시뮬레이션 기술’을, 2009년에는 어류·조류 등 생명체의 움직임을 자연스러운 그래픽으로 표현하는 ‘디지털 크리처 기술’을 개발하였다. 또한, 2010년에 개발한 ‘인터랙티브 리얼 3D 기술’은 기존에 일방적으로 감상하던 3D 영상을 시청자가 원하는 형태와 시점으로 보고, 마치 게임을 하듯 자유롭게 감상할 수 있도록 하여 3D 영상 감상경험을 한 차원 높였다.

## 게임 콘텐츠

게임엔진은 그 특성상 서버·네트워크·단말기·CG 등 종합적인 IT 기술이 요구되기 때문에 연구진은 다방면의 핵심기술을 통합적으로 개발하고자 노력하였다. 2003년에는 이러한 기술들을 집약한 게임엔진 ‘Dream 3D’를 개발하였고, 2005년에는 ‘크로스 플랫폼’ 게임엔진을 개발하여 PC게임을 콘솔, 모바일기기 등 다른 단말에서도 그대로 이어서 할 수 있는 환경을 만들었다. 또한, 2008년에는 ‘비너스 블루라는 이름의 게임 서버 성능·안정성 테스트 솔루션’을 세계 최초로 개발하고, 2010년에는 이를 개선한 ‘EasyQA’를 개발하였다.

## 실감체험 콘텐츠

ETRI는 사람이 직접 눈으로 보거나 체험하는 것 같은 현실감·몰입감을 주는 실감체험 콘



디지털 애니메이션 연구회 창립



3D 인터랙티브 학습콘텐츠

텐츠 개발 역시 주도하였다. 우선, AR·VR 기술에 관한 오랜 연구 경험을 토대로 2010년 대 초반부터 ‘도심형 VR 테마파크 기술’(에어글라이더 시뮬레이터, 가상 사파리 시스템, 번개 펀치 시스템, 가상 롤러코스터 등)을 개발하여 국내외 테마파크에 실제 적용하였다. 이어서 자신만의 3D 아바타를 이용해 화장·분장 시뮬레이션을 할 수 있는 시스템과 디지털 문화재를 조립·복구 체험해 볼 수 있는 콘텐츠(터치빔, 헤트리스, 엑스탑 등)를 개발하였다. 아울러, 5G 시대 기기급 유무선 네트워크 환경에서 누구나 초연결 실감체험(Tele-Experience)을 누릴 수 있도록 초다시점 영상 고속 생성·처리 기술, 홀로그램 고속 생성 기술, 초다시점·홀로그램 실감 상호작용 기술, 초다시점 영상제작 도구 등을 확보하였다.

### 교육 콘텐츠

2000년대 중반 들어 이러닝이 새로운 교육 패러다임으로 자리 잡자, 교육 콘텐츠 기술개발에도 뛰어들었다. ETRI는 2008년 학습전용 단말기와 휴대전화 등으로 언제 어디서나 맞춤형 학습을 할 수 있는 ‘3D 인터랙티브 학습콘텐츠’를 개발하고, 2009년에는 다양한 동화 속 배경을 3D 가상공간으로 만들어 실제처럼 직접 만져볼 수 있는 ‘체험형 동화구연 서비스’를 비롯한 다양한 3D 콘텐츠를 개발하였다. 또한, 2014년부터 참여형 양방향 콘텐츠 개발에 주력하여 ‘공간증강 인터랙티브 학습 시스템’, ‘체험형 학습 시스템’, ‘맞춤형 창의학습 튜터링 시스템’ 등 AR·VR·딥러닝을 이용한 참여형 이러닝 기술을 확보하였다. 아울러, 학생들의 실내 체육활동을 위한 ‘VR 스포츠 시스템’을 개발하여 전국 초·중·고등학교에 보급하고 있다.

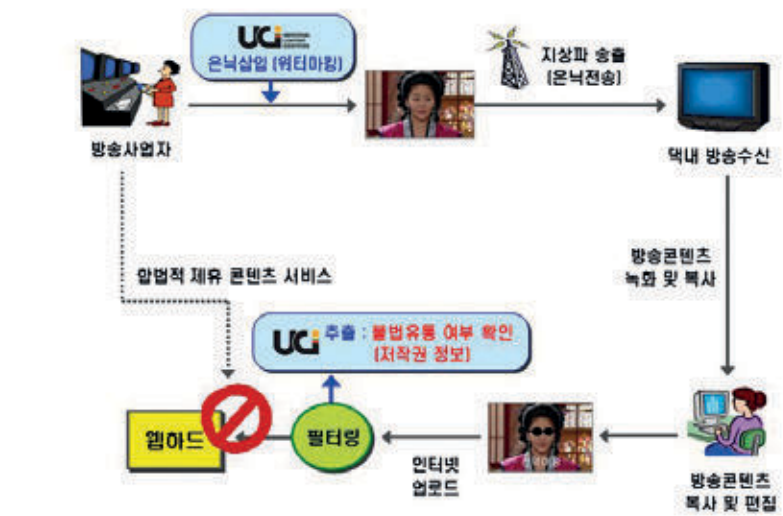
### 콘텐츠 검색/인식

ETRI는 2000년대 후반부터 이미지 검색 기술개발을 시작하여, 2018년 ‘LPIRC(국제저전력영상인식대회)’에서 1위를 차지할 정도로 세계적인 수준의 이미지 검색 기술력을 확보하였다. 또한, 3차원 동작인식 기술개발에 돌입하여 별도의 장비 없이도 동작을 인식할 수 있는 기술을 확보하고 골프와 홈트레이닝 등에 적용하였으며, 사용자의 기분에 따라 음악을 추천해 주는 ‘감성기반 음악추천 기술’도 개발하였다.

### 저작권 보호 기술

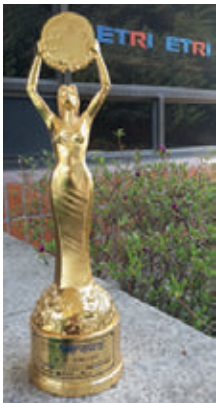
2001년부터는 콘텐츠 저작권 보호를 위한 DRM(Digital Rights Management) 기술개발을 시작하였다. ETRI는 불법 콘텐츠의 최초 유포자를 모니터링 및 추적하는 ‘디지털 워터마킹 기술’, P2P, 웹하드, 포털 등에서 콘텐츠 불법유통을 막는 ‘불법 저작물 필터링 기

술’, 사람의 지문처럼 콘텐츠의 고유한 특성을 추출하여 저작권을 보호하는 ‘디지털 핑거프린팅 기술’ 등을 개발하였다. 또한, DRM 기술의 활용범위도 초기에는 콘텐츠 다운로드 및 스트리밍 형태의 유통환경에 국한되어 있었으나, 점차 스마트폰 및 멀티캐스팅 환경을 넘어 상이한 유통환경을 연동하는 기술로까지 발전하였다. ETRI의 DRM 연동 기술은 2011년 ITU-T 표준으로 채택되었다. 2015년 이후에는 DRM에 인공지능 기술을 도입하여 저작권 기술을 한 단계 업그레이드하고 있다.



저작권보호기술





청룡영화제 수상

97) 군중 애니메이션: 대규모 디지털 엑스트라 애니메이션을 효율적으로 생성하는 SW로, 개인의 다양한 행동양식을 통한 군중 장면 생성이 가능하다.

98) 동역학 시뮬레이션: 기존의 모션캡처 데이터와 자연스럽게 혼합, 자세 제어 기술을 이용하여 다양한 동작 패턴 생성이 가능하도록 한 물리적 시뮬레이션 기술이다.

99) 머리카락 · 옷감 표현: 머리카락 · 옷감의 움직임을 외부 힘의 작용을 고려하여 시뮬레이션하고, 광학적 특성을 반영하는 렌더링 기술이다.

100) 로토스코핑(Rotoscoping): 사용자가 지정하는 임의 객체를 삭제하고 자동으로 배경을 복원하는 기술이다.

101) 영상기반 모델링: 실사 영상을 이용하여 실물이나 가상 의 물체를 컴퓨터가 이해할 수 있는 형태의 3차원 입체로 형상화하는 기술이다.

102) 얼굴 애니메이션: 얼굴의 해부학적 구조에 기반하여 근육의 움직임에 연동하는 얼굴 피부 애니메이션을 제작하는 기술이다.

103) ABCD(Anatomy Based Character Deformation): 근육 기반의 피부 변형을 표현하는 기술로, 피부끼리의 충돌 처리 및 피부 주름 표현이 가능한 기술이다.

104) Blow-Up: 저해상도의 영상을 화질 열화 없이 고해상도의 영상으로 변환하는 기술이다.

105) 기술 카메라 트래킹 기술: 카메라로 촬영한 영상만을 분석하여 실제 촬영 당시 카메라의 움직임을 계산해내는 기술로, 실사와 CG 영상 합성 시 중요한 기술이다.

### 2-3-1. 컴퓨터 그래픽스

#### 배우 대신 연기하는 디지털 액터 개발

2000년대 초반까지만 해도 CG(Computer Graphics) 기술은 미국 할리우드의 주류 스튜디오들이 주도하였고, 외부로는 거의 공개되지 않았다. 국내에서는 CG 기술과 관련하여 일부 세계적인 논문이 발표되긴 했지만, CG 업체들의 영세성으로 인해 기술개발은 엄두도 내지 못하는 상황이었다.

ETRI는 이러한 상황을 극복하고 CG 원천기술을 확보하고자 2003년부터 2007년까지 ‘실사 수준의 디지털 영상콘텐츠 제작 SW 개발’ 과제를 추진하였다. 연구비 241억 원, 연구인력 총 375명이 투입된 대규모 국가연구개발 과제였다.

ETRI는 이 과제를 통해 디지털 액터를 비롯한 고품질 CG 특수효과 제작 핵심기술을 개발하였다. 디지털 액터란 실사촬영본과 거의 같은 수준의 모델링 · 애니메이션 · 렌더링 기술을 적용하여 영화 제작 시 실제 배우를 대체할 수 있는 디지털 캐릭터이다. ETRI가 개발한 디지털 액터 제작 SW는 영상 특수효과 제작 시 필요한 모든 기술 즉, 군중 애니메이션<sup>97)</sup>, 동역학 시뮬레이션<sup>98)</sup>, 머리카락 · 옷감 표현<sup>99)</sup>, 로토스코핑<sup>100)</sup>, 영상기반 모델링<sup>101)</sup>, 얼굴 애니메이션<sup>102)</sup>, ABCD<sup>103)</sup>, Blow-Up<sup>104)</sup>, 카메라 트래킹<sup>105)</sup> 등을 포함하도록 설계되었다.

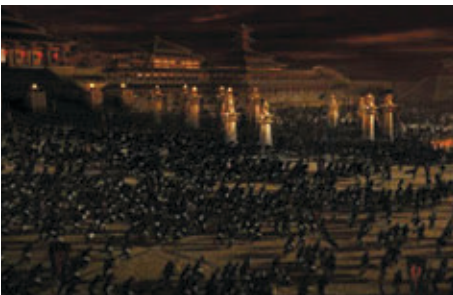
#### 국내 연구기관 최초로 대중상영화제 · 청룡영화제에서 수상

개발된 디지털 액터는 영화 〈호로비츠를 위하여〉, 〈한반도〉, 〈중천〉 등에서 위험한 장면이나 고난도의 액션을 배우 대신 연기함으로써 국내 영상콘텐츠 수준을 크게 끌어올렸다. 세계적인 CG 학회인 ‘Siggraph 2007’에서 영화제작자 및 CG 전문가들로부터 호평을 받았으며, 2007년에는 국내 연구기관 최초로 대중상영화제 영상기술상(6월) 및 청룡영화제 CG기술상(12월)을 수상하였다. 또한, 2005년까지 4건의 기술이전을 통해 6억 3,500만 원의 기술료 수입을 올렸다.

본 과제를 통해 디지털 액터의 중요성을 인식한 정부는 2006년 7월 ‘제17회 과학기술 장관회의’를 통해 ‘디지털 액터 제작사업’을 2007년 대형 국가연구개발 실용화 사업으로 확정 · 발표하였다. 한편, 본 기술을 기반으로 2007년에는 연구소기업인 (주)매크로그래프가 창업하였다.



대역 배우의 얼굴만 실제 배우로 대체한 영화 ‘호로비츠를 위하여’



군중 시뮬레이션으로 탄생한 영화 ‘중천’의 한 장면

#### 영화 〈중천〉에 활용된 디지털 액터

ETRI가 주축이 되어 개발한 디지털 액터는 영화 〈중천〉에서 11개 업체와 함께 무려 750 컷의 CG 장면을 만들어냈다. 전신이 등장하는 본격 디지털 액터는 한국영화에 한 번도 적용된 적이 없었기 때문에 연구진은 반신반의하는 감독을 위해 테스트 장면까지 만들어 제공하였다.

ETRI는 독자적으로 개발한 물리 기반의 동작 시뮬레이션 기술 등을 동원하여 결국 감독을 만족시켰고, 영화 개봉 후 할리우드 수준의 CG 효과라는 평가를 받았다. 디지털 액터와 대규모 가상 군중 등 한국에서 최초로 시도된 고난도 CG 작업에 대한 언론과 관람객의 칭찬은 작업에 참여한 연구원들에게 큰 힘이 되었다.

#### 유체의 자유로운 움직임을 사실적으로 구현

유체시뮬레이션(Fluid Simulation)은 물, 불, 연기처럼 표면이 자유롭게 움직이는 유체의 움직임을 컴퓨터로 계산하여 얻어내는 기술이다. 영화 〈투모로우〉 속 도시 홍수 장면이나, 애니메이션 〈니모를 찾아서〉의 바다 장면 등은 유체시뮬레이션이 적용된 대표적인 사례다. 2000년대 중반, 이미 선진국의 스튜디오들은 자체적으로 유체시뮬레이터를 개발하여 사실적인 콘텐츠를 제작하고 있었으나, 국내 업체들은 기존 그래픽 도구를 이용하여 모방하는 데 그치는 상황이었다.

이에 ETRI는 유체시뮬레이션 원천기술 확보를 목적으로 2004년부터 2008년까지 ‘영상 특수효과용 유체시뮬레이션 기술개발’ 과제를 호주 CSIRO(호주연방과학산업연구기구)와 공동으로 수행하였다.

ETRI는 파티클(particle) 기반의 유체시뮬레이션 기술개발에 주력하였다. 연구진은 기존의 기술들을 정밀분석하는 동시에, 가변해상도 시뮬레이션 기술, 유체 · 증기 · 먼지 · 불 · 비누막 등의 유체 현상표현 최적화 기술, 유체 컨트롤 원천기술 등을 확보하였다. 그 결과, 고품량 데이터 처리 기술에 기반한 시뮬레이션 속도 향상, 상세표현 능력 고도화를 통한 사실성 향상 등의 효과를 거뒀고, 유체 표현 범위를 액체에서 증기, 불, 먼지 등으로 확대할 수 있었으며, 감독의 의도에 따라 제어 가능한 유체 컨트롤 기술개발로 사용자 편의성도 증대하였다.



가스에 의한 버블 생성 시뮬레이션 - 'SIGGRAPH 2007'(SCI) 표지논문

### 디지털 콘텐츠 업계 경쟁력 향상

ETRI는 유체시뮬레이션 SW 개발을 통해 그동안 노동 집약적으로 이뤄지던 영상 특수효과 제작 환경에 자동화 개념을 도입하였다. 그 결과, 관련 업체들은 개발 기간과 투입비용을 절감하여 생산성을 높일 수 있게 되었고, 콘텐츠 품질 역시 크게 향상되었다. 이는 궁극적으로 디지털 콘텐츠 업계의 경쟁력을 강화하는 데 기여하였다.

### 인터랙티브한 리얼 3D 구현

2000년대 들어 TV와 영화에서 기존의 2D에서 3D 영상으로의 재편이 급격히 일어나기 시작하였다. 또한, 3D도 일방적으로 상영·방영되는 형태를 넘어 사용자와 인터랙티브하게 소통할 수 있는 환경이 요구되었다.

이에 ETRI는 2008년부터 6년 동안 '방통융합형 Full 3D 복원 기술개발' 과제를 통해 '인터랙티브 리얼 3D 기술'을 개발하였다. 인터랙티브 리얼 3D는 본 과제를 통해 개발된 다수의 결과물을 통칭하는 대표기술명이다.

ETRI는 핵심기술 확보를 위해 의료용 얼굴 스캐너, 3D 신체 계측, 3D 지도를 위한 이동형 3D 스캐너, 항공사진을 이용한 3D 지도를 구축하는 등 다양한 시도를 진행하는 동시에 상용화를 위한 환경을 분석하고, 표준화도 병행하였다.

우선, 2009년까지 1단계 연구개발을 통해 'Full 3D 복원 기반기술개발 및 Full 3D 전송 포맷 정의'를 추진하였다. 이를 통해 동적 개체의 외형, 모션 복원 기술, 정적배경의 전경, 배경 분리 기술, 멀티카메라 보정 기술 등 기초·요소기술을 개발하였다. 이어서 2011년까지 2단계 연구개발에서는 'Full 3D 복원 원천 기술개발 및 Full 3D 전송 메쉬 코덱 표준화'를 추진하여, 다수의 움직이는 사람을 대상으로 3D 외형 및 모션을 복원하는 기술과 극사실적 표현을 위한 가상화 핵심기술 등을 개발하였다. 또한, 2013년까지 3단계 연구개발에서는 'Full 3D 복원 응용 기술개발 및 레고형 코덱 프레임워크 표준화'를 진행하였다. 이 단계에서는 그간 개발한 기술들을 다양한 응용 분야의 시제품·서비스에 적용하여 검증하는 작업을 추진하였다. 세부적으로, 사람의 신체를 자동으로 계측하고 원하는 가상 의류를 입어 볼 수 있게 하는 '가상 의류 피팅 서비스(리얼핏(RealFit))', 다수의 센서를 이용하여 이동하면서 건물의 3D를 복원하는 '이기중 센싱 스캐너(리얼로드(RealRoad))', 가상 스튜디오에서 실시간으로 촬영이 가능한 '실시간 프리미즈 서비스' 등을 개발하였다.



가상 의류 피팅 기술 리얼핏(RealFit)

### 인터랙티브 리얼 3D의 놀라운 경제적 가치

인터랙티브 리얼 3D 기술은 개발 10년 후에 약 24조 2,494억 원의 생산 유발효과, 약 11조 4,571억 원의 부가가치 유발효과, 약 17만 8,093명의 고용 유발효과를 낼 것으로 예상될 정도로 경제적 파급효과가 컸다. (KOCCA 콘텐츠산업 동향분석보고서, 2011년) 특히, ETRI가 개발한 실사 기반 Full 3D 복원 기술은 현실 세계의 극사실적 디지털 보전, 현장감을 그대로 전달하는 3D 방송, 3D 가상공간, 영화 등 다양한 영상콘텐츠 분야에 적용될 것으로 기대된다.

### 손쉽게 나만의 3D 아바타를 만드는 기술

2009년 개봉된 영화 아바타는 3D 입체영상에 대한 기대감을 고조시켰고, 자연스럽게 3D 영상제작 기술과 공정에도 큰 관심이 쏟아졌다. 또한, 당시 3D프린터 산업이 태동하면서 3D 얼굴 데이터를 이용하여 부가서비스를 창출할 수 있는 좋은 환경이 마련되었다.

이러한 배경 속에서 ETRI는 '아바젠(Avagen)'이라고 명명한 다시점 영상기반 3D 얼굴복원 기술을 개발하였다. 이는 각도를 달리해 촬영한 얼굴 사진 두 장에서 얼굴 윤곽에 대한 정보를 수집해 분석하고 이를 다시 3차원 디지털 이미지로 만드는 것으로, 3D 촬영이나 모델링 없이도 손쉽게 3D 영상을 확보할 수 있는 기술이다.

ETRI는 2대의 저가 USB 웹 카메라를 이용한 스테레오 기반의 얼굴복원 기술과 얼굴의 특징을 살리는 주요 특징점 추출 기술을 개발하고, 이를 토대로 3D 얼굴 모델의 형태변형 기술 및 질감·색조 일치 기술을 개발하였다. 그 결과, 외국 상용시스템 대비 3배 빠른 복원 속도처리와 1/10 정도로 낮은 시스템 생산단가만으로도 완전 자동으로 손쉽게 3D 아바타를 확보할 수 있는 기술 구현에 성공하였다. 또한, 시스템 내에서 수 분 내에 3D프린팅용 출력 파일, 렌티큘라 출력용 이미지, 애니메이션 비디오를 즉각적으로 생성하고 모바일로 출력하는 기능을 탑재하여 다양한 분야로의 응용 가능성을 제시하였다.

### 광범위한 분야에서 상용화 기대

ETRI는 기획단계부터 상용화를 적극적으로 고려해 아바젠 개발을 추진하였다. 당시로는 생소했던 3D프린터와 렌티큘라 프린터를 도입하여 아바젠으로 생성한 얼굴 데이터를 3D 개인 피규어 등으로 제작할 수 있는 환경을 만들었고, 누구나 손쉽게 구할 수 있는 저가 웹





3D 포토부스 아바젠(AVAGEN)



디지털콘텐츠 기술시연

106) MMORPG(Massive Multiplayer Online Role Playing Game): 온라인으로 연결된 여러 플레이어가 같은 가상 공간에서 동시에 즐길 수 있는 롤 플레이 게임이다.

캠으로 이미지를 생성할 수 있도록 했으며, 후처리 과정도 대폭 자동화·단순화하여 즉시성을 높였다.

또한, 다양한 상용화 레퍼런스를 제시하였다. 즉, 나와 똑같은 얼굴을 가진 나만의 3D 아바타를 생성하는 부스(당시 인기를 끌던 스티커 부스와 비슷한 형태) 서비스, 이를 3D프린터와 연동한 캐릭터 출력 서비스, 나의 얼굴을 반영한 3D 동화·애니메이션 서비스, 보는 시점에 따라 입체 효과를 내는 카드 형태의 렌티큘라 프린팅 서비스 등이 그것이다. ETRI는 2012년 미국에서 개최된 세계 최대 테마파크박람회인 'IAAPA'와 2013년 중국에서 개최된 '북경 국제디자인위크 751국제디자인페어' 등의 전시회에 이러한 서비스를 전시하여 큰 호응을 얻었다.

앞으로 아바젠은 스티커형 사진 촬영 시 기존 2D 이미지 대신 3D 얼굴을 적용하거나, 치과나 성형외과에서 수술 전·후 모습을 비교할 때, 그리고 3D 게임·영화·애니메이션 등에 자신의 얼굴을 적용해 직접 주인공이 돼 보는 체험 등 다양한 분야에 광범위하게 활용될 것으로 기대된다.

2-3-2. 게임 콘텐츠

MMORPG에 최적화된 게임엔진 개발

21세기 들어 게임 트렌드가 오프라인에서 온라인으로, 2D에서 3D로 빠르게 바뀌자 ETRI는 국내 게임산업 발전을 위해 온라인 3D 게임엔진을 본격적으로 개발하기 시작하였다. 게임엔진은 그 특성상 서버·네트워크·단말기·CG 등 종합적인 IT 기술이 요구되기 때문에 연구진은 다방면의 핵심기술을 통합적으로 개발하고자 노력하였다.

ETRI는 2001년 '온라인 3D 게임엔진 개발' 과제를 통해 게임엔진 개발을 시작하였다. 사업의 목표는 온라인 및 3D 게임 콘텐츠 통합솔루션을 확보하는 것이었다. ETRI는 상용화를 위해 국내 게임 제작사들을 사업에 참여시키는 한편, '게임기술지원센터' 설립사업을 동시에 추진하여 국내 온라인 게임 업체들에게 게임엔진과 저작도구 등을 적극적으로 지원하였다. 과제 시작 당시, 이미 ETRI는 10여 년간 축적한 렌더링, 사운드, 애니메이션 등 CG 관련 핵심기술들을 확보하고 있었으며, MMORPG<sup>106)</sup> 콘텐츠 개발을 위한 네트워크 및 서

버 기술도 보유하고 있었다. 이러한 탄탄한 기술력을 토대로 2년간 집중적인 노력을 기울여 2003년 MMORPG에 최적화된 게임엔진인 'Dream 3D'를 개발하는 데 성공하였다. Dream 3D는 애니메이션과 음향·음장효과를 엔진 자체에서 제공하고, 실내와 실외 환경으로 분리된 콘텐츠 편집기 그리고 분산처리가 가능한 서버 엔진까지를 통합한 당시로는 유례가 없는 획기적인 솔루션이었다.

모듈별 엔진 개발로 연구효율성 극대화

연구 당시 가장 큰 난관은 사업 기간이 2년에 불과하다는 점이었다. ETRI는 연구의 효율성을 높이기 위해 설계단계부터 게임엔진의 모듈을 분리하여 각각 필요한 기술을 개발하고, 나중에 이를 다시 통합하는 방식을 도입하였다. 이렇게 하면 모듈별로 독립적인 후속 기술을 개발하거나 수정하는 것이 가능하여 기술개발의 효율성과 확장성을 동시에 높일 수 있다.

게임산업 확장·발전 계기 마련

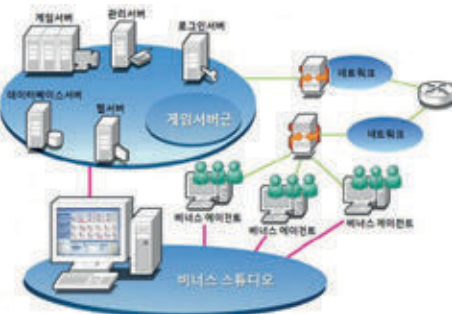
ETRI는 Dream 3D 엔진 기술을 PDA용 게임과 콘솔 게임 시장에 적용하여 계속해서 고도화하였다. 2003년부터 '온라인 게임엔진 기술개발' 등 여러 후속 과제를 추진하였으며, 그 결과 2005년에는 '크로스 플랫폼 게임엔진 기술'을 개발하여 PC 게임을 콘솔, 모바일 기기 등 다른 종류의 단말에서도 그대로 이어 할 수 있는 환경을 만들었다. 이는 그동안 PC에 한정되어 있던 국내 게임산업을 WiBro, DTV, DMB 등으로 확장하는 계기를 마련하였다.



MMORPG 분위기의 데모 콘텐츠(2005)

게임 서버 테스트의 비효율성 문제 부각

게임 개발사·서비스사는 새로운 온라인 게임을 공개하기 전 게임 서버의 성능과 안정성을 충분히 검증해야 하지만, 2000년대 초반까지만 해도 주로 사람이 안정성을 검증하다 보니 많은 시간과 비용이 소요되어 효율성이 떨어졌다. 또한, 베타테스트 중에 오류가 발생하더라도 해당 오류를 재현하기 어려워 문제 발생의 원인을 분석하는 데 애를 먹었으며, 완벽히 검증되지 못한 서버로 인해 온라인 게임 서비스 중에 수차례 패치를 해야 하는 상황도 속출하였다.



비너스블루

비너스 블루와 EasyQA 개발

이러한 문제를 해결하기 위해 ETRI는 2006년부터 2008년까지 ‘멀티코어 CPU 및 MPU 기반 크로스플랫폼 게임기술개발 과제’를 통해 사람이 아닌 SW가 가상의 사용자를 생성하여 인위적인 서버 부하를 발생시킴으로써 성능·안정성을 테스트할 수 있는 기술개발에 돌입하였다. 그 결과, 2007년 온라인 게임 출시 전 서버의 성능·안정성 검증을 위한 테스트 솔루션인 ‘비너스 블루(Virtual Environment Network User Simulation, Blue Edition)’를 세계 최초로 개발하였다.

비너스 블루는 상용화되지 않은 프로토타입 단계에서 해외로 기술이전 되는 독보적인 사례를 남겼다. 개발 첫해에 소니, BBC, 디즈니, 유니버설스튜디오 등 세계적인 기업의 멀티미디어 테스트를 담당하는 글로벌 기업인 Testronic Labs에 기술이전 된 것이다. 기술이전 사실이 알려지면서 국내의 많은 게임사도 비너스 블루를 도입하였으며, 게임 서버 테스트 시간과 비용을 크게 줄일 수 있게 되었다.

이어서 2009년부터 국내 게임 개발사·서비스사의 추가 요구사항을 적극적으로 수렴하여 ‘대규모 가상 유저의 시나리오 기반 제어를 통한 온라인 게임 품질검증 기술개발’ 과제를 수행하였다. 이는 게임 서버의 안정성 테스트 기술만을 전문적으로 개발하는 과제로, 3년간 연구비 70억 원과 연구인력 연 20명이 투입되었다.

과제 수행결과, ETRI는 2010년 비너스 블루를 개선한 ‘EasyQA 솔루션’을 개발하는 데 성공하였다. 이는 게임 클라이언트 소스 코드 공개 없이도 패킷 캡처 및 분석을 통해 게임 클라이언트를 인위적으로 재현하는 시스템이다. 이 기술의 개발로 국내 게임업체들도 게임 QA(Quality Assurance)를 체계화할 수 있게 되었다.

또한, 인공지능 기술을 적극적으로 활용하여 패킷 캡처 중에 얻은 게임 플레이어의 성향을 흉내 내어 마치 사람이 게임을 하는 것 같은 가상의 플레이어를 만드는 기술, 게임 테스트 시나리오를 저장하여 다양한 게임 플레이 상황을 연출하는 기술 등 단순한 게임 서버 부하 테스트를 넘어서는 독보적인 기술도 개발하였다.

과제의 결과물들은 2010년 게임 분야 최초로 ‘국가연구개발 우수과제 100선’에 선정되었다. 한편, 본 과제를 기반으로 2010년 12월에는 연구소기업 ㈜쓰그웨어가 창업하였다.



VR연구개발센터 개소



가상사파리

2-3-3. 실감체험 콘텐츠

실내형 VR 테마파크의 등장

VR(Virtual Reality, 가상현실) 기술은 전투기와 같은 군사용 무기를 개발하고, 전투 조종사 교육 등에 활용하기 위해 개발되기 시작하였다. 그러다 2010년대에 들어 범용성이 높은 콘텐츠 분야에서 재조명을 받게 되면서 그 수요가 폭발적으로 증가하였다. 특히, 기존의 테마파크에 VR 기술을 접목한 실내형 VR 테마파크가 등장하기 시작하자 이와 관련한 핵심기술을 국내에서 자체적으로 개발할 필요성이 커졌다.

한편, 정부는 2013년 국가 ICT R&D 중장기 전략을 위해 15대 미래 서비스를 발굴하였는데, 그중 한 가지가 ‘樂(즐거움 제공)’과 관련한 Join&Joy 서비스였다. 더불어, 4차 산업혁명 생태계 조성을 통한 신성장 동력 확보를 목적으로 ‘AR·VR 융복합 신산업 기반의 고부가가치 첨단기술 산업 육성 지원’에 대한 강한 의지가 담긴 국가 정책도 발표하였다.

체험용 인터랙티브 VR 시스템 개발

ETRI는 AR·VR 기술에 관한 오랜 연구 경험을 토대로 2010년대 초반부터 ‘도심형 VR 테마파크 핵심기술개발’에 돌입하였다. 2011년에는 ‘실감 체험 공간 확장형 Live 4D 콘텐츠 플랫폼 기술개발’ 과제를 추진하여 VR 콘텐츠의 실감적 가시화와 인터랙션에 필요한 일부 핵심 요소기술들을 개발하였다. 이어서 2014년부터 2018년까지 연구비 180억 원이 투입된 ‘원격 사용자 동시 참여 및 경험이 가능한 인스턴트 3D 객체 기반 몰입형 Join&Joy 콘텐츠 기술개발’ 과제를 후속 사업으로 수행하여 실내 VR 테마파크 시범 모델을 구축하였다. 본 사업은 ETRI가 VR 핵심기술개발을 주도하고, 내부구조 설계운영과 콘텐츠 기획 등을 위해 (주)시공테크, EBS, (주)아기월드 등이 참여하는 형태로 추진되었다.

과제 수행을 통해 연구진은 평창의 하늘을 실제 패러글라이딩을 타고 비행하는 듯한 가상 체험을 할 수 있는 ‘에어글라이더 시뮬레이터’, 콘텐츠 내에 등장하는 다양한 동물 객체들과 교감하는 ‘가상 사파리 시스템’, 두 손을 앞으로 교대로 뻗어서 장풍을 만드는 듯한 동작을 통해 대형 프로젝션 콘텐츠 시스템과 상호작용하는 ‘번개 펀치 시스템’, 작은 실내 공간에 설치된 복선의 레일 위를 소형의 시뮬레이터를 타고 움직이면서 중국 관련 테마 콘텐츠를 체험해 볼 수 있는 ‘가상 롤러코스터’ 등 다양한 체험용 인터랙티브 VR 콘텐츠 시스템 개발에 성공하였다.



당시 VR 테마파크용 모션 센서(Motion sensor)는 대부분 다소 큰 몸동작 정보를 획득하는 용도로 사용되었다. 손가락 움직임과 같은 작고 정밀한 모션 획득에 이용되는 몇몇 센서들 역시 움직임에 내포된 사용자의 행위 의도는 파악하지 못하였다. 그러나 VR 테마파크의 이동형 시뮬레이터에서 사용자의 상호작용 순간에 맞추어 콘텐츠를 오류 없이 재생하기 위해서는 탑승자가 취하는 손 혹은 손가락의 모션 인식이 매우 정확하게 이루어져야 한다. 이에 ETRI는 다수의 깊이 카메라<sup>107)</sup>를 이용하여 3차원 공간에서 이동체의 위치와 손가락 등의 정밀한 모션을 인식하는 알고리즘을 자체적으로 개발하고, 이를 통해 VR 콘텐츠 출력장치를 정밀하고 정확하게 반응하는 기술을 확보하였다. 이는 국내 콘텐츠 기업들이 공간 기반 서비스에 관심을 두는 계기가 되었다.

본 과제는 기술력과 산업적 파급력을 인정받아 2014년 미래창조과학부의 R&D 성과확산 대전에서 우수사업으로 선정되어 장관상을 받았으며, 국가연구개발 성과평가에서도 대통령상을 수상하였다.

### 국내외 VR 테마파크에 실제 적용

ETRI가 개발한 인터랙티브 VR 콘텐츠 시스템은 2010년대 중반 이후 국내외 VR 테마파크에 실제 적용되었다. 중국 북경시의 문화공간인 '751D-Park Live Tank'는 2017년에 시범서비스를 통해 본 시스템을 홍보한 후, 현재는 연간 약 22만 명을 대상으로 상용서비스를 진행하고 있다. 국내의 경우에는 2018년 상반기부터 울산시 소재 '번개맨 우주센터'에서 EBS 프로그램인 번개맨과 연계된 콘텐츠를 VR로 체험할 수 있는 코너가 운영되고 있으며, 연간 약 150만 명이 이를 체험하고 있다. 또한, 제주도 '항공우주박물관'은 실내 바닥을 프로젝션 영상으로 화려하게 꾸미고 그 위를 어린이들이 고카트(gocart)를 타고 돌아다니면서 역동적인 VR 체험을 할 수 있도록 한 번개 레이싱 체험관을 개관하고 지역 주력 관광 상품으로 널리 홍보하고 있다.

글로벌 리서치 회사 Markets and Markets의 2019년 시장 보고서에 따르면, VR HW의 세계 시장은 연평균 34.1% 성장하여 2021년에 약 147억 달러, VR 콘텐츠 시장은 연평균 99% 성장하여 2021년에 약 239억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다. 이에 따라 ETRI가 개발한 실내 VR 테마파크 핵심기술들은 앞으로도 매우 큰 파급효과를 낼 것으로 보인다.



울주군 영남알프스 번개맨 우주센터 개관식(2017. 12. 10.)

107) 깊이 카메라: 3차원 거리 정보 측정 장비로, 레이저나 적외선을 객체나 대상 영역에 비추어 되돌아오는 광선을 받아 시간 차이를 계산하는 TOP 방식으로 거리 정보를 계산한다.

### K-beauty 확산을 위한 분장 시뮬레이션 기술개발

최근 'K-beauty'라는 말이 나올 정도로 한국 화장품과 분장 기술 등 뷰티 산업이 전 세계적으로 주목받고 있다. 그러나 메이크업이나 분장을 하기 위해서는 직접 많은 종류의 화장품을 구매해야 하며, 그에 따른 비용이 발생하게 된다. 또한, 초보자의 경우에는 기술적인 어려움도 뒤따른다. 이에 ETRI는 메이크업 간접 체험 시뮬레이션을 이용하여 소비자가 화장품을 직접 얼굴에 발라보지 않아도 자신에 맞는 화장품을 선택할 수 있도록 하는 기술개발을 추진하였다.

ETRI는 2011년 문화체육관광부와 한국콘텐츠진흥원의 콘텐츠산업 기술지원사업에 선정되어 '3D 페이스얼 아바타 기반 실감 분장 시뮬레이션 기술개발' 과제를 수행하였다. 과제의 목표는 자신의 외형과 같은 3D 페이스얼 아바타를 생성한 뒤, 가상의 도구로 분장 시뮬레이션을 할 수 있는 시스템을 개발하여 실제 공연이나 연극, 대학 정규 교과목 등에 적용하는 것이었다. 과제에는 전문 분장사들로 구성된(주)한국분장과 3차원 피부 측정 전문기업인(주)엘리드가 공동연구기관으로 참여하였다.

ETRI는 기존에 보유하고 있던 실감 컬러 재현 기술을 기반으로 3차원으로 복원된 얼굴의 피부 컬러를 정확하게 측정하고, 실제 화장품의 컬러 정보를 분광 정보를 기반으로 정확하게 측정하는 기술을 개발하였다. 또한, 이렇게 획득한 정보를 토대로 피부와 화장품 컬러의 관계를 고려하여 3차원 얼굴에 실제로 화장을 한 것과 같은 효과를 재현하는 시뮬레이션 기술개발에 성공하였다.

분광정보를 이용해 컴퓨터에서 정확한 컬러를 표현하는 기술은 2016년 MPEG-V 국제 표준으로 채택되었다. 이로써 ETRI의 실감 분장 시뮬레이션 기술은 국제적인 인정까지 확보하였다.

### 3D 아바타 기술의 확장

ETRI가 개발한 실감 분장 시뮬레이션 시스템은 컴퓨터그래픽 기술에 컬러과학 기술을 접목한 최초의 시도였다. 또한, 애니메이션, 게임 등 한정된 범주에 적용되던 3D 아바타 기술을 메이크업 및 웨딩 등 뷰티 산업으로 확장했다는 점에서도 의의가 크다.

ETRI는(주)한국분장의 전문 분장사들과 지속해서 시스템을 개선하였다. 2013년에는 본 시스템을 뮤지컬 '살짜기 읍서예의 주인공 분장에 적용하였고, 중국영화TV기술학회 메이크업위원회에서 시연 및 홍보하였으며, 다수의 국내외 전시회에 출품하여 기술을 소개하였다.



실감 분장 시뮬레이션



디지털문화재

또한, 분장 시뮬레이션 시스템을 대전대학교 뷰티건강관리학과와 정규 교과에 적용하여 전공 학생들의 강의 도구로 활용하는 성과를 올렸다. 앞으로 본 시스템은 한국 화장품 및 분장 기술의 우수성을 세계로 알리는 데 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 기술의 우수성을 인정받아 2013년에는 문화체육관광부 과제로는 이례적으로 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되는 쾌거를 거두었다.

### 기존 디지털 문화재의 한계 극복

2000년대 이후, 건축 문화재의 3D 디지털화가 주목받으면서 많은 문화재가 3D 스캔 및 모델링 되었다. 그러나 이러한 디지털 문화재는 겉모습 위주로 제작되어 전통 건축물의 부재<sup>108)</sup>, 내부구조 및 전통기법 등 실제적인 정보가 제공되지 않아 사용이 제한적이었다. 또한, One-Source Multi-Use라는 디지털화의 장점을 살리지 못하였다. 이에 ETRI는 문화재 보존이라는 전문적인 목적은 물론, 콘텐츠 제작용으로도 활용될 수 있는 ‘디지털 문화재 기술개발’에 관심을 기울이기 시작하였다.

### 디지털 문화재 조립·복구 체험 콘텐츠 개발

ETRI는 2013년부터 3년간 ‘전통 건조물 문화재의 체험학습을 위한 디지털 문화재 저작 및 인터랙티브 복구 시뮬레이션 기술개발’ 과제를 수행하였다. 과제의 목표는 건조물 문화재를 대상으로 한 사실적인 체험학습이 가능한 디지털 문화재 콘텐츠의 저작 기술과 전문적인 디지털 문화재 체험을 위한 인터랙티브 복구 시뮬레이션 기술을 개발하고 시범콘텐츠를 제작하는 것이었다. 2016년까지 연구비 56.4억 원(정부출연금 42.3억 원)이 투입되었다.

ETRI는 문화재청 협조로 제공받은 건축문화재 실측도면과 3차원 스캔데이터를 활용하여 한국 고유의 전통건축 부재를 모델링하고 건축물 BIM<sup>109)</sup> 제작 기술을 개발하였으며, 이를 산업현장에서 많이 사용하는 도구와 연결하여 디지털 문화재 저작 파이프라인을 구축하였다. 이 파이프라인은 한국 문화재의 특성정보를 정확히 살린 디지털 문화재를 다양한 형태와 용도로 제작할 수 있는 기반을 만들었다. 또한, 문화재 분야 디지털 트윈<sup>110)</sup>의 프로토타입을 선보임으로써 향후 건축 문화재 디지털 트윈의 구체적인 방향을 제시하였다.

108) 부재: 건축물을 구성하는 건축 요소로서, 기단, 주춧돌, 기둥, 공포, 지붕 등을 의미한다.

109) BIM(Building Information Modeling): 3차원 정보모델을 기반으로 시설물의 형상, 속성 등을 정보로 표현한 디지털 모형이다.

110) 디지털 트윈(digital twin): 현실 세계의 기계나 장비, 사물 등을 컴퓨터 속 가상세계에 쌍둥이처럼 구현한 것이다.



석조건축물 조립체험학습 콘텐츠 ‘엑스탑’(2015.)

111) 공포: 지붕과 기둥 사이의 구조물로, 전통건축에서 말하는 여러 부재가 끼워 맞춰 만들어지는 구조이다.

112) 국내: 광주 ACE fair, 창조경제박람회, 정부 3.0 국민체험마당, 대한민국한옥건축박람회 등 12건국와 Sig-graph2015, Digital heritage Expo 2015 등 5건

이와 함께 ETRI는 국내 기업들과 공동으로 이용자가 인터랙티브하게 디지털 건축 문화재 복구 체험을 할 수 있는 시범콘텐츠 9종을 제작하였다. 대표적인 콘텐츠는 터치빔, 헤트리스, 엑스탑 등이다.

‘터치빔’은 이용자가 직접 조립하는 건축 문화재 시뮬레이션 콘텐츠로, 화면 터치를 통해 국보급 목조 문화재를 거점에서 지붕까지 인터랙티브하게 부재별로 조립해 볼 수 있으며, 원하는 장소와 각도에서 이 과정을 관람할 수 있다. 안동 봉정사 극락전(국보 15호), 안성 청룡사 대웅전(보물 824호), 익산 미륵사지 석탑(국보 11호) 등의 국보급 문화재와 로마 사원, 미얀마의 쉐라무니 사원, 아난다 사원 등 국내외 유네스코 문화재의 조립이 가능하다. ‘헤트리스’는 전통 목조 건축물의 공포<sup>111)</sup>를 조립하는 에듀테인먼트 게임 콘텐츠이다. 공포는 많은 부재를 있고 끼워 맞춰서 입체적으로 조립하는 매우 복잡한 구조를 하고 있다. 헤트리스는 공포를 구성하는 부재를 3차원 테트리스와 유사하게 배치하고 움직여 조립해 봄으로써, 전통 목조 건축에서 가장 이해하기 힘들다는 공포의 구조를 자연스럽게 익히도록 하였다. 또한, 3단계의 난이도를 제공하여 초심자에서부터 전문가까지 공포구조에 관한 본인의 지식을 확인해볼 수도 있다.

‘엑스탑’은 전통 석조건축 문화재 조립체험학습 콘텐츠로, 석가탑(국보 21호) 미니어처를 이용한 석조 건축물(탑)의 실제 조립체험이 가능하다. 실제 공간에서 사용자가 부재를 움직이면 이를 영상 추적하여 가상공간에 바로 실시간 입력하고, 사용자의 조립 결과를 기반으로 물리 시뮬레이션을 제공하는 시스템이다. 엑스탑은 부재를 기반으로 만든 건축 문화재의 현실체험과 가상체험을 동시에 제공함으로써 문화재의 바른 이해와 엔터테인먼트 효과를 동시에 만족시킨다는 장점이 있다.

본 과제 진행 과정에서 ETRI는 17건의 국내외 논문을 작성 및 게재하였으며, TTA 국내표준으로 2건이 제정되었다. 또한, 2015년 1월에는 KOCCA 문화기술 우수지원과제 언론홍보 과제로 선정되기도 하였다.

ETRI가 구축한 BIM 기반 디지털 건축 문화재 제작 파이프라인과 다양한 문화재 조립·복구 체험 콘텐츠들은 낯설고 어렵던 건축 문화재에 대한 정보를 사용자들에게 흥미로운 체험 형태로 제공함으로써 전문성과 재미라는 일석이조의 효과를 달성하였다. 아울러, 개발된 기술과 콘텐츠들은 국내외 유명 전시회<sup>112)</sup>를 통해 소개되어 호평을 받았으며, 과제 종료 후에도 터치빔과 헤트리스는 ETRI 전시관에 전시되어 방문객들에게 디지털 문화재 체험 기회를 지속해서 제공하고 있다.

현재까지 디지털 문화재 체험 콘텐츠 기술은 3개 기업에 이전(착수기본료 0.55억 원) 및 상용화되었다. 한 기업은 한국국토정보공사 홍보관에 콘텐츠를 납품하는 등 3.1억 원의 매출



을 달성하였으며, 다른 기업은 상용콘텐츠 제작에 본 기술을 적용하였다. 또한, EBS 다큐멘터리 ‘천불천탑의 신비, 미얀마’에서 미얀마 사원 건물을 조립하는 장면에서 본 기술이 적용되었고, 이때 만들어진 미얀마 사원의 디지털 데이터는 터치빔 콘텐츠로도 활용되어 누구나 쉽게 가상공간에서 사원을 조립해 볼 수 있는 체험 기회를 제공하고 있다.

### 5G 시대에 대비한 실감 콘텐츠 재현 기술에 주목

2010년대 후반에 5G 이동통신 시대가 열릴 것으로 예상되자, 5G의 특징인 초저지연, 초고속, 초연결 환경에서 새롭게 서비스하게 될 콘텐츠와 이를 재현하는 기술에 관심이 쏠리기 시작하였다.

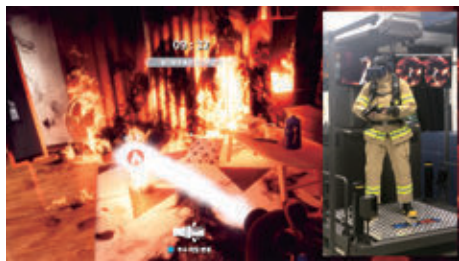
이에 ETRI는 2013년부터 안경 없이 입체영상을 감상할 수 있는 ‘무안경 3차원 입체영상’과 자연스러운 입체감을 통해 콘텐츠를 실체처럼 볼 수 있고 현장감과 몰입감을 제공하는 ‘홀로그램 영상 재현 기술’ 개발에 돌입하였다. 기존 4G 통신망에서는 초다시점 및 홀로그램 콘텐츠의 데이터 용량을 감당할 수 없었으나, 대규모 데이터 저장·이동이 가능한 5G 시대에는 이러한 콘텐츠의 활용이 널리 확산할 것으로 예상되었다.

### 초다시점·홀로그램 영상 고속 생성에서 상호작용까지

ETRI는 범부처 기가코리아사업의 일환으로 2013년부터 ‘기가급 대용량 양방향 실감 콘텐츠 기술개발’ 과제를 수행하였다. 이는 2018년까지 5년에 걸쳐 연구비 214억 원, 연구인력 736명이 투입된 대규모 국가연구개발 사업으로, ETRI가 주관하여 초다시점 및 홀로그램 콘텐츠 핵심기술개발을 수행하고, KIST, KETI, GIST 등의 연구기관(대학)과 시공테크, 로커스, 바이널아이, 코난테크놀로지, 쓰리디팩토리 등의 중소기업이 공동연구기관으로 참여하였다. 과제의 목표는 기가급 유무선 네트워크 환경에서 초연결 실감체험(Tele-Experience)<sup>113)</sup> 서비스를 실현하기 위하여 기가급 대용량 양방향 초다시점·홀로그램 그래픽 콘텐츠 핵심기술과 교육, 의료, 방송·통신 분야에 활용 가능한 실감 콘텐츠 시스템을 개발하는 것이었다.

연구진은 과제를 통해 초다시점 영상 고속 생성·처리 기술, 홀로그램 고속 생성 기술, 초다시점·홀로그램 실감 상호작용 기술, 초다시점 영상제작 도구 등을 개발하였다.

우선, ‘초다시점 영상 고속 생성·처리’ 분야에서는 18개의 카메라를 이용하여 18 시점



실감 VR 소방 훈련 기술

113) 초연결 실감체험(Tele-Experience): 학교, 사무실, 회의장, 경기장에 직접 가지 않아도 현재의 공간에서 실시간으로 느끼고 상호작용할 수 있는 기술이다.



홀로그램 획득 장치 및 고속 생성 결과

114) 햅틱(Haptic): 컴퓨터의 기능 가운데 촉각과 힘, 운동감을 느끼게 하는 기술이다.

영상을 촬영하고 18 시점 CG 영상을 합성한 후, 중간시점 영상 기술을 이용하여 최종 180~350 시점 영상을 준실시간으로 생성하는 기술을 개발하였다. 또한, 상용 게임엔진과 연동되는 GPU 기반 실시간 다중화 기술을 개발하였는데, 108 시점 기준 70fps 이상, 300 시점 기준 30fps 이상의 성능 달성에 성공하여 세계 최초 및 최고 기술이라 할 수 있다. 개발된 기술을 통해 무안경 입체영상을 이용한 실감 원격회의, 실감 원격의료, 실감 방송, 실감 스포츠 중계, 원격 몰입형 교육서비스 등이 가능하게 되었다.

아울러, 개인이 초다시점 영상을 쉽게 만들 수 있도록 휴대 가능한 ‘경량 휴대형 다시점 실사 영상 촬영장치’와 촬영된 실사 영상을 쉽고(자동화율 80%) 저렴하게(분당 100만 원 이하) 초다시점 영상으로 변환할 수 있는 ‘초다시점 영상제작 도구’도 개발하였다. 이를 통해 다시점 영상제작 시간과 경비를 획기적으로 줄임으로써 정체되었던 입체 관련 IT 산업 분야를 활성화할 수 있게 되었다.

연구진은 햅틱(Haptic)<sup>114)</sup> 상호작용이 지원되는 모바일 단말과 81 시점 디스플레이 3대가 실시간으로 연동되는 ‘실감 몰입 체험형 전시·광고 시스템’ 또한 세계 최초로 개발하였다. 이 기술은 2018년 평창동계올림픽에 시범 적용되었다.

‘홀로그램 고속 생성’ 분야에서는 GPU를 이용한 고속 처리를 통해 2K급 컬러 홀로그램을 실시간 생성하는 기술을 개발하였다. 또한, 홀로그램 디스플레이 없이도 영상을 확인할 수 있는 홀로그램 사전 시각화 기술도 개발하였다.

‘초다시점·홀로그램 실감 상호작용’ 분야에서는 사용자가 초다시점 또는 홀로그램 영상을 실제로 보고 만지는 것처럼 느낄 수 있는 기술을 개발하였다. 과제 수행 당시, 홀로그램은 계산 속도가 너무 느려 실시간 상호작용이 불가능하다고 여겨졌었다. 그러나 ETRI는 과감하게 신기술에 도전하였고, 고속 홀로그램 변경기술 기반의 실시간 홀로그램 상호작용 기술개발에 성공하였다. 이를 통해 홀로그램 영상기반의 다양한 응용 서비스를 제공할 수 있는 발판을 마련하였다.

### 기존 영상 기술과 융합하여 관련 산업 성장 유도

ETRI가 주도하여 개발한 ‘무안경 3차원 입체 및 홀로그램 영상제작 기술’은 2017년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, SCI 저널 상위 20%에 속하는 Optics Express에 게재되는 등 기술의 우수성을 국내외에서 인정받았다.

본 기술은 원격회의, 실감형 스포츠 중계, 원격의료·교육, 오락·테마파크, 고품질 방송·통신 등 다양한 분야에서 영상 미디어와 융합·생산되는 특징이 있어, 앞으로 기존 영상 미디어 및 디지털 콘텐츠와 동반 성장이 가능할 것으로 보인다. 또한, 실감 초다시점·홀로그램

램 영상을 이용한 새로운 형태의 사회·교육·문화·예술 활동을 촉진하고, 전시문화산업 부흥에도 기여할 것으로 예상된다.

2-3-4. 교육 콘텐츠

발상의 전환으로 개발한 3D 학습콘텐츠

2004년 EBS의 인터넷 수능방송서비스 개시 이후 이러닝(e-Learning)이 새로운 교육 패러다임으로 자리 잡자, IT와 교육의 융합이 빠르게 진행되었다. 이에 ETRI는 2008년 ‘3D 학습콘텐츠 지원 u-러닝 기반기술개발’ 과제를 시범적으로 추진하였다. 사업의 목표는 VR 기반의 가상세계 체험 원천기술을 개발하여 공공 도서관 및 초·중·고등학교에 적용하는 것이었다.

당시에는 고글처럼 착용하는 무거운 HMD(Head Mounted Display) 기기를 통해 몰입형 콘텐츠를 제공하는 연구가 주를 이루었다. 그러나 ETRI는 HMD를 착용할 경우 실 세계가 보이지 않아 이동에 제약이 있고 위험성이 크며, 콘텐츠의 움직임과 시각 기관이 인지하는 움직임의 정보가 일치하지 않아 어지럼증이 발생할 수 있다고 판단하였다. 결국, ETRI는 발상의 전환을 통해 3D 콘텐츠 안에 참여자가 들어가서 자신의 움직임에 따라 콘텐츠가 구동되는 몰입형 콘텐츠를 개발하기 시작하였다.

사업은 ETRI가 연구개발을 주도하고, 개발 결과물의 상용화를 위해 현대영어사, 천재교육, 동아사이언스 등이 공동연구기관으로 참여하는 형태로 진행되었다. 또한, 국립어린이청소년도서관, 대전교육청, 한국전기연구원과 협력하여 2009년부터 도서관과 대전시 관내 초등학교에 관련 기술을 시범 적용하였다.

연구 결과, ETRI는 2008년 학습전용 단말기와 휴대전화 등으로 언제 어디서나 맞춤형 학습을 할 수 있는 ‘3D 인터랙티브 학습콘텐츠를 개발하고, 2009년에는 다양한 동화 속 배경을 3D 가상공간으로 만들어 실제처럼 직접 만져볼 수 있는 ‘체험형 동화구연 서비스’ 개발하는 등 다양한 3D 콘텐츠를 확보하였다. 특히, 체험형 동화구연 서비스는 100% 자체 SW로 개발한 것으로, 3차원 가상체험의 효과를 높이기 위해 사용자가 손과 발로 가상공간 속 대상을 선택하면 대상물이 사용자의 제스처를 인식할 수 있도록 하는 등 인터랙션 기



3차원 가상체험동화 '이기 돼지 3형제' (2009. 12. 서울 국립어린이청소년도서관)



공간증강 인터랙티브 학습 시스템

반으로 개발하여 실재감과 몰입감을 강화하였다.

본 서비스는 도서관과 학교 등 약 70여 곳에 23편의 콘텐츠를 제공하고 있으며, 서책 위주의 도서 서비스를 3차원 체험 형태로 확장하여 도서관 및 도서관 활성화에 이바지했다는 점에서 의의가 크다.

첨단 ICT 기반의 창의적 교육환경 구축

인터넷, 컴퓨터 등 ICT 기술의 발전으로 인류의 생활상은 크게 변화하였다. 하지만 교실과 학습환경은 다른 분야에 비해 ICT의 활용이 비교적 활발하지 않았다. 이에 정부는 2013년 향후 5년간의 R&D 정책 방향을 담은 ‘10대 핵심기술 15대 미래서비스’를 발표하면서 핵심 기술 가운데 하나로 ‘상호작용 창의교육’을 선정하였다.

이에 ETRI는 첨단 ICT를 토대로 창의적 인재양성을 위한 상호작용 및 참여형 교육환경을 구축하기 위해 2014년부터 ‘참여형 양방향 콘텐츠 및 협력 학습환경 기반 학습자 맞춤형 상호작용 창의학습 튜터링 기술개발’ 과제를 수행하였다. 특히, 이러닝 환경에서의 미래형 첨단 교육서비스를 통해 공교육 활성화, 사교육비 부담 해소, 교육기회 균등 배분, 지역 및 계층 간 위화감 해소, 미래형 인재양성 등 국가 정책 목표를 실현하고자 하였다. 과제에는 2018년까지 연구비 약 80억 원이 투입되었다.

AR·VR·딥러닝 이용한 참여형 이러닝 기술

ETRI는 크게 세 가지 시스템을 개발하였다. 첫 번째는 ‘공간증강 인터랙티브 학습 시스템’이다. 이는 시스템이 공간을 인식하여 가상 콘텐츠를 증강하고 실사 영상을 변형시켜 보다 실감 나는 학습환경을 제공하는 것으로, 특히 3D 모델링에 기반한 가상 객체와 사람 간 인터랙션 기능을 지원하였다. 예를 들어, 실제 공간에 있는 테이블 위에서 가상의 펜권이 걸 으면 학습자가 따라갈 수 있도록 하거나, 가상의 지진에 의해 실제 공간의 바닥이 갈라지도록 하는 등 실사와 가상이 어우러진 여러 콘텐츠를 개발하여 자연스럽게 학습이 이루어 지도록 하였다.

두 번째는 ‘체험형 학습 시스템’이다. 이는 전용 교실 또는 독립 공간의 공간형 디스플레이 환경에서 다수의 학습자가 가상체험에 참여하여 협력을 통해 몰입형 학습을 수행하는 교육서비스 시스템이다. 다른 나라, 동화 속 세상 등 가상의 세상을 꾸민 뒤 여기에 학습자의





공간증강 시스템을 활용한 EBS 땡땡땡유치원 촬영  
(2015. 12, EBS)

실사 영상을 혼합시켜 마치 실제로 그곳에 간 듯 체험하며 학습할 수 있는 환경을 구현하였다. 이 시스템은 국립어린이청소년도서관을 비롯한 전국 40여 개 국공립 도서관에 설치되어 ‘체험형 동화 구연’이라는 제목으로 서비스되고 있다.

세 번째는 ‘맞춤형 창의학습 튜터링 시스템’이다. 이는 학습자의 수준을 인식하여 최적의 학습 콘텐츠를 제공하는 시스템이다. 중·고등학생 중 70% 이상이 수포자(수학포기자)라는 말이 있을 정도로, 특정 수업의 진도를 따라가지 못하는 학생이 많은 것이 현재 교육계의 현실이다. 이러한 문제를 해결하고 맞춤형 교육을 실현하기 위해, ETRI는 기존에 학습자 수준을 진단하는 데 주로 사용된 인지진단모형을 넘어 딥러닝 기술을 활용하여 좀 더 정확한 맞춤형 진단 및 학습이 가능한 엔진을 개발하였다. 당시 개발에 참여한 연구원은 본 기술을 토대로 연구소기업을 창업하였다.

과제를 통해 개발된 기술들은 다양한 교육 현장에 적용되었다. 유치원 누리과정에 가상증강현실 교육 시스템을 적용하였으며, 국내 최초로 증강현실 기술을 EBS 땡땡땡유치원TV 프로그램, 영어교육 라디오 프로그램 등 교육 방송에 활용하는 한편, 제주교대와 협력하여 맞춤형 학습 기술을 영어교육에 적용하였다. 아울러, 개발된 가상증강현실 기술을 교육뿐만 아니라 전시관, 박물관 등의 분야에 적용해 사업화하였고, 중국에도 수출하였다. 현장 적용 과정에서 ETRI 연구원들은 자신이 개발한 시스템 체험을 통해 아이들이 기뻐하는 모습을 보며 더 나은 내일을 위해 일하겠다는 생각에 큰 감동과 보람을 느끼기도 하였다. 본 과제는 2015년 과학의날 미래부 장관상 표창을 받았으며, 2016년 대덕연구개발특구 기술사업화 대상으로 선정된 것은 물론, 2016년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되는 등 우수한 기술력을 인정받았다.

### 청소년용 VR 스포츠 시스템 개발

21세기 들어 식문화의 서구화로 초·중·고등학생의 체격은 커졌으나, 학습 부담, TV 시청, 게임 등으로 운동량이 부족해지면서 체력과 수업능력은 오히려 저하되었다. 특히, 최근에는 미세먼지가 심각한 이슈로 떠오르면서 실외에서의 체육활동이 많은 제약을 받고 있다. 이러한 문제를 해결하고자 ETRI는 2015년부터 2019년까지 문화체육관광부 출연과제인 ‘청소년용 실감 체험형 스포츠 통합플랫폼 기술개발’ 과제를 시작하였다. 4년간 연구비 80억 원, 연 35명의 연구인력 투입되는, 당시 문체부 스포츠산업 분야에서는 최대 기간 최대



VR 스포츠 시스템

연구비가 투입된 국책연구과제였다. ETRI가 핵심기술개발을 수행하고, 개발된 기술이 적용된 시스템과 콘텐츠의 상용화를 위하여 (주)에어패스, (주)알디텍, 모전스랩(주) 등의 국내 스포츠 콘텐츠 제작 기업들이 참여하였다.

연구진은 학생들이 부가적인 장치를 착용하지 않아도 시스템이 축구 스텝, 태권도 자세 등 인체 동작과 스포츠 도구의 3차원 모션 정보를 정밀하게 분석하도록 하는 알고리즘 개발에 주력하였다.

이를 위해 적외선 멀티 고속카메라를 통해 스포츠에 사용되는 공과 도구의 3차원 속도, 회전 및 위치를 정밀하게 인식하는 기술과 적외선 싱글 카메라를 통해 임의의 객체가 스크린에 접촉하는 2차원 위치를 실시간으로 인식하는 기술을 개발하였다. 또한, 360도 전방위에 설치된 최대 8대의 카메라로 일반 의상을 착용한 2인 이상 사용자의 21개 관절을 정밀 추적하는 인공지능 기술도 개발하였다. 그리고 이러한 기술을 종합하여 학교현장에 적용이 가능한 ‘VR 스포츠 시스템’을 완성하였다.

개발된 ‘학교용 및 민간용 가상현실 스포츠실’은 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다. 이는 문화체육관광부가 출연한 체육 분야 연구개발 중 최초의 수상이었다. 또한, ETRI 총괄책임자는 체육발전에 기여한 공으로 2019년 12월 문화체육관광부 장관 표창장을 받았다.

### 학교를 넘어 다양한 환경으로 VR 스포츠실 확대

연구진은 VR 스포츠 시스템을 실제 학교현장에 적용하기 위해 2016년 서울 옥수초등학교(일반 학생 대상), 2017년 서울 신정초등학교(엘리트 선수 대상), 2018년 서울 삼양초등학교(터블 스크린 기술 적용)에 VR 스포츠실을 구축하였다. 특히, 옥수초등학교에서는 평소에 휠체어를 타고 다니는 경증 소아마비 어린이가 비장애인 아이들과 함께 체육활동에 참여하는 사례가 도출되었다. 이로써 VR 스포츠 시스템이 학생들의 체력향상은 물론 장애 아이들에게 새로운 체육활동의 기회를 제공할 수 있다는 것이 증명되었다.

한편, VR 스포츠실에서 체육활동을 하는 학생들의 활동량을 영상으로 분석한 결과, 3.51 MET(Metabolic Equivalent Task, 신진대사 해당치)가 나왔다. 이는 운동장 또는 체육관에서 이루어지는 일반 체육활동의 활동량(4.17 MET) 대비 84% 수준으로, VR 스포츠실이 상당한 수준의 운동 효과가 있다는 것을 과학적으로 증명한 결과였다. 이는 실내 VR 스포츠에 대한 인식 전환의 계기를 마련하였다.

VR 스포츠 시스템의 뛰어난 효용성을 확신한 문화체육관광부는 2017년부터 지방자치단체와 공동으로 ‘가상현실 스포츠실 보급사업’을 시작하여, 2023년까지 전국 600여 개의



VR 스포츠실(2017, 서울 옥수초등학교)

초등학교에 VR 스포츠실을 보급하는 계획을 추진 중이다. 이 사업으로 문화체육관광부와 국민체육진흥공단은 ‘2019 정부혁신 우수사례 경진대회 왕중왕전’에서 행안부장관상(동상)을 수상하였다.

VR 스포츠실은 해외로도 수출되고 있다. 중국 북경·연안·심천, 인도네시아, 자카르타 등에 수출되었고, 베트남 및 중동 등에서도 사업화가 성공적으로 진행 중이다. 또한, 경기·안양 키자니아(어린이 체험형 테마파크)에는 VR 양궁장이, 서울 상암 DMC 홍보관 내에는 VR 태권도와 VR 줄넘기 체험장이 추진되고 있다. 또한, 2020년에는 대전과 서울 발달장애인훈련센터에도 장애인 운동치료를 위해 설치되었다. 이렇게 학교 이외의 다양한 환경으로 시스템이 적용·확산함에 따라 앞으로 VR 스포츠 기술의 파급효과는 매우 클 것으로 기대된다.

ETRI는 후속으로 ‘간접 센싱 기반 실시간 연동 AR 실내 스포츠 플랫폼개발’ 과제를 2020년부터 2022년까지 수행할 예정이다.

## 2-3-5. 콘텐츠 검색/인식

### 건물·음식·의상 등 이미지로 검색

스마트폰과 동영상 공유서비스 등의 폭발적 성장과 함께 이미지 검색<sup>115)</sup>에 대한 수요가 증가하자, ETRI는 2008년부터 이미지 검색 기술개발을 시작하였다.

2011년부터 2년간 영상검색을 위한 식별자를 개발하는 ‘Rich UCC 기술개발’ 과제를, 2012년에는 ‘UVD 기반 Smart Mobile Search 기술개발’ 과제를, 2018년에는 ‘온·오프라인에서의 콘텐츠 비주얼 브라우징 기술개발’ 과제를 수행하여 이미지 검색 기술을 고도화하였다.

ETRI는 이미지 검색 기술개발을 위해 영상 내의 특징점과 주변의 특징을 추출·분석하는 기술과 효율적인 검색구조 설계에 주력하였다. 이후 2010년대 중반부터는 딥러닝을 활용한 영상의 분류 및 검색 기술개발에 집중하고 있다.

이러한 노력을 토대로 100만 장의 DB 내에서 이미지 당 1 Kbyte 이하의 특징점을 추출하여 1초 이내에 이미지를 검색할 수 있는 기술을 확보하였다. 이 기술은 2013년 대통

115) 이미지 검색: 특정 이미지를 이용하여 유사한 이미지를 검색하는 기술로, 영상처리 분야 핵심 응용기술이다.

령 배 아마추어 e-스포츠대회에 적용되어 사용자 참여형 어드벤처 서비스를 선보였으며, ‘Genie eye: 명동’이라는 이미지 검색 내비게이션 기술로도 구현되었다.

특히, ‘Genie eye: 명동’은 스마트폰을 가진 사용자가 목적지까지의 경로·위치 검색 시에 이미지 검색을 통해서 기존의 지도를 보완·발전할 수 있다는 점에서 큰 이슈가 되었다. 실제로 길을 찾다 보면 웹 지도에서 보이는 것과 실제 블록 간 거리 차이가 있거나, 건물의 이름만 있을 뿐 자세한 정보가 나와 있지 않은 경우가 적지 않다. 더구나 명동은 많은 사람과 좁은 건물로 인해서 GPS 등 신호처리 기반의 위치 검색이 매우 어렵다. 이에 ETRI는 복잡한 명동거리 사진을 DB로 구축하여, 이미지로 길을 검색하는 데 성공하였다.

당시 ETRI 연구원들은 대전의 연구실에서 가정한 모든 상황이 실제 명동과 달라 현지에서 검색서비스 시나리오를 변경하고, DB 구축을 위해 명동의 건물을 수작업으로 일일이 촬영하는 등 애를 먹었다. 이 과정에서 시장 상인, 건물주와 마찰이 생겨 스마트폰을 뺏기거나 오해를 사는 일도 많았다. 그러나 실제 상황에 정확하게 부합하는 서비스개발을 위해 연구원들은 수고를 마다치 않았으며, 수준 높은 기술을 완성하였다. 연구진은 Genie eye 관련 기술을 대규모 실내외 환경의 건물 검색을 지원하는 비주얼 브라우징 기술로 확대하여, 강남 가로수길 및 하남 스타필드 등의 건물·상점을 검색하는 기술을 개발하고 있다. 한편, ETRI는 음식과 의상 등에도 이미지 검색 기술을 적용하였다. 음식 검색 기술은 국내에서 열린 ‘NVIDIA<sup>116)</sup> GTCx Korea 2016’에서 1위를 차지하였고, 관련 기술은 공동연구 기관에 이전되어 사업화를 준비 중이다. 또한, 의상 검색은 대학 의상학과와의 협업을 통해 개발한 이미지 검색 기술에 증강현실을 적용한 ‘플라워링 하트’라는 서비스로 출시되었다.

### 세계 최고 수준의 이미지 검색 기술 확보

ETRI는 활발하게 MPEG-7 국제표준화 활동을 펴는 한편, 지속적인 국제 이미지 검색대회 참가를 통해 기술력을 높이고 있다. 그 결과, 2016년 ‘ILSVRC(국제영상인식대회)’ 이미지 분류(Classification) 5위, 이미지 검출(Detection) 3위를 달성하였다. 또한, 딥러닝 기반기술의 경량화 분야에서도 2018년 ‘LPIRC(국제저전력영상인식대회)’ 1위를 차지하였다. LPIRC는 영상 내 객체를 검출하는 성능과 전력을 같이 측정하는 대회로 실제 기술의 적용 가능성을 평가한다는 점에서 의의가 크다. 아울러, 2018년 ‘구글 Landmark 검색대회’에서도 8위를 달성하였다.



건물 이미지 검색 서비스

116) NVIDIA: 비주얼 컴퓨팅 기술 분야의 세계적인 선도기업이다.



### 3차원 동작인식 기술 골프·홈트레이닝 등에 적용

영상으로부터 사람의 동작을 인식하는 동작인식 기술은 컴퓨터 비전(computer vision)의 초창기부터 수행된 매우 중요한 연구 분야로, 영상감시(visual surveillance), 사람-컴퓨터 상호작용(human-computer interaction), 지능로봇(intelligent robot) 등으로 다양하게 적용이 가능하다. 점차 가상현실과 게임 등에서 동작인식을 기반으로 한 인터페이스에 대한 요구가 증가하자, ETRI는 2010년부터 본격적으로 동작인식 기술개발을 시작하였다.

2010년부터 3년간 진행된 ‘차세대 체감형 콘텐츠를 위한 사용자 동작 기반 플랫폼 및 입체 상호작용 기술개발’ 과제에서는 구조광 방식의 3차원 깊이 센싱 기술을 개발하였고, 이를 활용하여 사용자의 스켈레톤을 추출하고 동작을 인식하는 기술을 확보하였다.

이어서 2013년부터 3년간은 ‘인터랙티브 콘텐츠와 상호작용을 위한 고정밀 모바일 및 파노라믹 360도 다수 사용자 동작인식 기술개발’ 과제를 통해 360도 전 방향으로 측정이 가능한 깊이 센싱 기술과 다수 사용자의 스켈레톤 추출을 기반으로 한 사용자 동작인식 기술을 개발하고 이를 스포츠(골프) 분야에 적용하였다. 이 기술은 스크린 골프 시스템 개발업체인 ㈜마음골프에 이전 및 상용화되었다. 이를 통해 스크린 골프장을 이용하는 것만으로도 자신의 스윙을 자동으로 분석할 수 있게 되었다.

2016년부터 4년간 진행된 ‘디지털 라이프를 위한 비접촉식 사용자 상태·의도 인지 기반의 지능형 인터랙션 기술개발’ 과제를 통해서도 기존 기술을 고도화하고, 2차원 컬러영상으로부터 사용자의 동작을 인식하는 기술을 개발하여 홈트레이닝에 적용하였다. 또한, 스마트폰 등에 기본으로 장착되어 별도의 장비 없이 동작인식을 할 수 있는 컬러영상 기반 골격 추출 및 동작인식 기술도 개발하였다. 이 기술은 홈트레이닝 시스템 개발업체인 ㈜카카오VX에 이전되었으며, 운동의 회수와 동작 오류 유무 등을 지능적으로 분석하는 홈트레이닝 시스템으로 상용화가 진행 중이다.

### 무의식적 동작과 생체신호까지 인식

ETRI는 후속 과제로 행동뿐만 아니라, 무의식적으로 나오는 순간 동작과 사용자의 감정에 따라 변화하는 생체신호까지 영상으로 획득하여 감정·상태·의도를 인식하는 연구를 진행하고 있다. 또한, 사용자의 자세 및 착용하려는 옷·액세서리 등을 입력하여 신규 디자인 영상을 합성할 수 있는 인공지능 기술도 개발 중이다.



동작인식 기술을 적용한 골프스윙 자동분석 시스템

### 음악 소비 트렌드의 변화

21세기 들어 오프라인 음악 시장의 축소와 인터넷·모바일을 통한 디지털 음악 시장의 확장 등 음악 소비 트렌드가 크게 변화하였다. 또한, 음악의 신호를 분석하여 감성을 자동으로 분류하고 이를 토대로 사용자에게 음악을 추천하는 음악추천 서비스가 도입되기 시작하였다. 그러나 초기의 음악추천 기술은 음악의 감성 분류를 위한 특징 추출 및 분류 알고리즘 개발에만 초점이 맞춰져 있었다.

### 개인 취향에 맞춘 감성기반 음악추천 기술개발

이에 ETRI는 2010년 문화체육관광부가 지원하는 ‘DRM(Digital Rights Management) 비적용 환경에서의 콘텐츠 보호유통 기술개발’ 과제를 통해 단순한 알고리즘적 접근을 넘어 기계학습을 활용한 음악 감성분류 모델을 생성하는 ‘감성 기반 음악추천 기술’ 개발에 돌입하였다.

딥러닝 기술의 발달로 현재는 대량의 데이터 학습을 통하여 목적에 맞는 기계학습 모델을 생성하는 것이 보편화 되었고 관련된 공개 DB도 많지만, 당시에는 학습 데이터를 확보하는 게 쉽지 않았다. 더구나 음악 데이터는 저작권과 관련되어 있어 더욱 데이터 수집이 어려웠다. 다행히 당시 올레뮤직 서비스를 하던 KT뮤직이 공동연구기관으로 참여함으로써 대규모 음악 데이터를 학습에 활용할 수 있게 되었다.

음악 데이터 수집보다 더 어려운 부분은 각 음악에 대한 객관적 감성 정보를 알아내는 것이었다. ETRI는 음악의 감정을 최대한 객관적으로 추정할 수 있도록 ‘음악-감정 평가 실험’을 세밀하게 설계하고, 다수의 반복 실험을 통해 기계학습에 이용할 음악의 감성 데이터를 확보하였다. 또한, 한국인의 정서에 맞는 형용사와 곡을 대응시켜 확률분포 모델을 개발하고 실험·평가를 거쳐 이를 수정·보완하여 기술을 완성하였다.

개발된 기술은 2011년 올레뮤직의 ‘기분 따라, 느낌 따라 음악을 자동 선곡하는 감성추천 서비스’를 통해 일반인에게 처음 공개되었다. 이 서비스는 사용자가 자신의 감정 상태를 ‘감성컬러’, ‘감성키워드’ 메뉴 선택으로 표현하면, 이에 해당하는 감성 음악을 시스템이 자동선정하여 추천하는 형태로 이뤄졌다. 또한, 날씨와 시간, 거주지역에 어울리는 감성 추천음악도 제공되었다.

이후로 감성 기반 음악추천 기술은 KT뮤직에 이어 벅스뮤직, SKT 뮤직메이트 등 국내의 대표적인 음악 서비스에도 활용되었다. 또한, 2014년 이후 출시된 금영 노래방 반주기기에도 탑재되었다.



감성 기반 음악추천 기술



올레뮤직의 감성추천 서비스(2011.)

ETRI는 후속 과제로 음색, 장르, 템포 등을 자동으로 분석하는 과제를 진행하여 더욱 정교한 음악 분류, 검색 및 추천을 가능케 하였다. 또한, 커버곡을 식별하는 기술을 개발하여 여러 가수가 부른 동일 곡을 분류하는 기능도 제공하고 있다.

## 방송미디어

ETRI는 지난 30년 가까운 기간 동안 우리나라가 HDTV 방송, DMB 방송, 3DTV 방송, IPTV 방송, UHDTV 방송 등 새로운 서비스에 도전할 때마다 필요한 기술을 세계 최고 수준으로 개발하고 국내의 표준화를 이끌어왔다.

모든 것이 네트워크로 연결되는 ICT 기반의 초연결사회, 인공지능 기반의 기술환경, 개인화된 감성 중시, 미디어 소비 및 창조의 일상화 등 최근의 사회 트렌드는 방송미디어 기술·서비스를 점차 다양화·지능화하고 있다. 이에 따라 콘텐츠의 디지털화·실감화, 방송·통신의 융합화, 기기의 모바일화·스마트화 등이 빠르게 진행되고 있다.

앞으로 방송미디어 기술은 UHD, 전방위 VR과 같은 ‘기가미디어’에서 완전입체 홀로그램, LF 영상, 공간미디어 등 초실감 서비스가 가능한 ‘테라미디어’로 발전할 것으로 전망된다. 테라미디어는 현실 세계를 디지털화하여 실생활 수준으로 재현하고 미디어들의 구조적 공간구성을 통해 시공간의 제약을 뛰어넘는 초현실적인 경험을 제공할 것이며, 이를 통해 인간은 소통과 체험의 깊이를 극대화하는 새로운 미디어 시대를 맞이하게 될 것이다.

테라미디어 시대를 맞아 ETRI는 100도 이상의 광시야각을 제공하여 UHD 이상의 현장감을 제공하는 ‘UWV 서비스’, 인간의 오감과 감정, 생체정보를 활용하여 감성을 증진시키는 ‘오감·감성 방송 서비스’, 모든 물리적·광학적 입체요인을 제공하여 사용자에게 현실과 동일한 입체감을 주는 ‘LF·홀로그램 방송 서비스’, 3D 지원 UHDTV를 넘어 VR, AR, 전방위 비디오 응용 등을 활용한 ‘완전입체 TV’, 사용자가 3차원 가상공간을 자유롭게 이동할 수 있도록 해주는 ‘입체공간 비디오 기술’ 등을 계속해서 개발해 나갈 예정이다. 또한, 전통적인 단일·단종 미디어 서비스 형태가 다중·다종 AV 및 그래픽스들이 결합한 새로운 미디어 형태로 진화할 것으로 예상됨에 따라 관련 기술개발에도 역량을 집중하고자 한다. 한편, 미디어 및 통신 기술의 발전으로 일반 개인이 영상물을 제작하거나 유포하는 것이 매우 손쉬워지면서, 점차 개인 방송·미디어 분야가 크게 확대될 것으로 보인다. 이에 따라, ETRI는 인공지능 기술과 빅데이터 분석 기술을 이용하여 개인의 미디어 소비 성향을 분석·예측하고 개인 맞춤형 서비스를 제공하기 위한 기술들을 빠르게 발전시켜 나갈 계획이다.

앞으로도 ETRI는 가상과 현실의 경계를 허무는 초실감 방송미디어 기술개발을 통해 국민에게 더욱 새롭고 즐거운 경험을 제공하고자 노력할 것이다.





동작인식기술

콘텐츠

ETRI는 1990년대 후반부터 가상현실, 컴퓨터 그래픽스, 지능형 인터랙션, 컴퓨터 게임 등을 연구하여 우리 국민에게 기존에 없던 새로운 경험을 선사해왔다. 앞으로 ETRI는 오랫동안 축적한 기술력과 상용화 경험 그리고 콘텐츠 한류 바람을 활용하여 글로벌 콘텐츠 기술·산업을 선도할 차별화된 기술개발을 추진하고자 한다.

ETRI의 첨단 콘텐츠 기술은 그동안 상상에 머물던 다양한 일들을 실제로 가능케 할 것이다. 진짜 배우와 구분되지 않는 정교한 디지털 액터가 영화 산업의 중심이 되고, 자신만의 3D 아바타를 이용해 의류 매장에 있는 옷을 피팅해보거나 성형수술 전·후를 정확히 비교해 볼 수도 있을 것이다. 또한, 게임엔진은 인공지능 기술과 융합하여 더욱 현실감이 커질 것이며, 클라우드 환경을 이용하여 사용자 단말의 용량과 상관없이 언제 어디서나 고사양의 게임을 즐길 수 있게 될 것이다.

아울러, 초다시점·홀로그램 영상을 통해 집에서도 실제 근무지에서 일하는 것과 흡사한 원격근무 환경을 누리거나 마치 경기장에 있는 것 같이 실감 나는 스포츠 경기를 보는 것이 가능해지고, 동작인식 기술의 경우에는 무의식적으로 나오는 순간 동작과 사용자의 감정에 따라 변화하는 생체신호까지 영상으로 획득하여 감정·상태·의도를 인식하는 기술로 진화할 것이다.

앞으로도 ETRI는 인공지능, VR, AR과 오감 콘텐츠 기술 등을 결합한 초실감 몰입형 콘텐츠 기술개발을 통해 인간과 문화가 중심이 된 첨단 디지털 라이프를 구현해 나가고자 한다.

PART 3

# SW/컴퓨팅

- 3-1. 개요
- 3-2. SW  
4차 산업혁명의 기초를 만들다
- 3-3. 인공지능  
인공지능 시대로의 전환을 이끌다
- 3-4. DBMS/빅데이터  
데이터 강국에 도전하다
- 3-5. 서버 컴퓨팅  
컴퓨터 불모지를 세계적 선도국으로 견인하다
- 3-6. 클라우드  
ICT 생태계를 새롭게 재편하다
- 3-7. 단말  
미래의 UI/UX 기술로 나아가다
- 3-8. 결어





SW/컴퓨팅

SW

2020년 과학기술 · 산업의 가장 중요한 화두는 인공지능(AI)이다. 이제 인공지능은 물, 전기, 가스처럼 일상적으로 손쉽게 밸브만 틀면 나오는 상품(Commodity)이 되고 있으며, 기술을 넘어 하나의 패러다임으로 자리잡고 있다. 이러한 인공지능의 밑바탕은 운영체제를 비롯한 SW이다.

ETRI는 1987년부터 중형컴퓨터(타이컴 시리즈) 개발사업과 함께 본격적인 운영체제 개발에 돌입하였다. 이를 통해 독자기술로 다중 처리기용 운영체제를 구현하고, 마이크로커널에 기초한 병렬 운영체제 기술을 세계 최초로 개발하였다. 또한, 임베디드라는 용어가 생소하던 1990년대 말부터 임베디드 운영체제 개발을 시작하여, 20년이 넘는 시간 동안 쿠플러스-T, 쿠플러스-P, 쿠플러스 운영체제 플랫폼, 쿠플러스/Esto, 쿠플러스 Web 등을 연속 개발함으로써 자주적인 'SW 기술 강국'의 위상을 확립하였다. 한편, 1994년부터 2000년대 중반까지는 한국형 SW 개발방법론인 '마르미(MaRMI)' 시리즈 개발을 통해 외산 개발방법론을 완전히 대체하였다.

2000년대 들어 리눅스(Linux) 열풍이 불었다. 이에 ETRI는 국내 공개 SW 표준 플랫폼인 '부요(Booyo)'를 V3.0까지 개발하여 공공기관과 기업에 이전하였다. 이때부터 국내에서도 표준기반의 다양한 리눅스 서버가 출시되기 시작하였다. 또한, 한국형 무선인터넷 플랫폼 표준규격인 'WIFI' 개발을 통해 국내 이동통신 산업이 해외 기술에서 독립하여 발전할 수 있는 기틀을 만들었다.

2010년대 들어서는 정부 차원의 대대적인 'SW 혁신전략'에 따라 매니코어 운영체제 개발을 시작하는 한편, 차세대 SW 핵심 기술인 CPS(사이버 물리시스템) 개발에도 본격적으로 뛰어들었다. 당시 연구진은 CPS의 개념조차 갖춰지지 않은 학계 · 연구계를 설득하며 개발에 주력하였고, 2014년부터는 CPS를 스마트팩토리, IoT, 디지털트윈 등에 지속해서 적용하고 있다.

2010년대 이후 ETRI는 국가와 국민의 안전을 위한 SW 개발에 더욱 큰 노력을 기울였다. 임베디드 SW의 경우, CE 분야는 기업에 맡기고 출연(연)인 ETRI는 국방, 항공, 자동차 등 안전성이 중요한 시스템(SCS) 분야에 주력하였으며, 쿠플러스-에어, 쿠플러스-하이퍼, 쿠플러스-어스 등의 SCS SW를 개발하여 드론 등 새로운 산업에 적극적으로 적용하고 있다.



마르미 매뉴얼



소프트웨어연구부 워크샵

## 인공지능

인공지능 기술은 산업·사회 구조의 광범위한 변화를 불러오는 혁신기술이자 범용 기술로써 국민 삶의 질과 국가경쟁력 제고에 중요한 역할을 한다. ETRI는 인공지능 기술의 초창기인 1990년대 초부터 사람처럼 스스로 보고 듣고 배울 수 있는 인공지능 기술을 장기적으로 확보하는 것을 목표로, 언어지능, 음성지능, 시각지능, 스마트 데이터 분야를 중점적으로 연구하였다.

1996년 일-한, 1997년 한-일 자동번역 시스템을 개발한 것을 시작으로 다양한 언어를 대상으로 한 자동번역 기술을 개발하였으며, 1996년부터 'C-STAR II'이라는 글로벌 컨소시엄을 구성하여 음성인식·언어번역·음성합성 기술을 통합한 '대화체 음성언어 번역시스템'을 확보하였다.

이후로 비교적 작은 규모의 연구를 이어가던 ETRI는 2010년 이후 인공지능에 대한 전세계적 관심이 급증하면서 본격적으로 관련 연구에 몰입하였다. 특히, 2012년부터 모바일 단말용 자동통번역 앱인 '지니톡' 개발을 시작하였다. 지니톡은 2014년 3개국 자동통역 기능을 구현하여 인천아시안게임에서 사용되었고, 2016년에는 5개 국가 언어(영어·일어·중국어·스페인어·불어)에 대한 자동통역을 구현하였다. 또한, 평창동계올림픽에서는 세계 최초로 '올림픽 공식 자동통번역 서비스 제공'이라는 쾌거를 거두었다. 아울러, 2016년부터는 신경망 자동번역 기술을 개발하여 자동통번역 품질을 대폭 개선하였다. ETRI가 국내 최초로 개발한 단말탑재형 신경망 자동번역 기술은 (주)한컴인터프리에 이전되어 2019년 단말탑재형 통역기 '지니톡 고'로 상용화되었다.

한편, 국내에서도 미래 국가경쟁력 확보를 위해 국가 차원의 인공지능 기술개발 프로젝트를 추진해야 한다는 의견이 제기되자, 2013년부터 여러 기업과 함께 심층질의응답 기술인 '엑소브레인'을 개발하기 시작하였다. 엑소브레인은 2016년 11월 장학퀴즈에서 왕중왕전 우승자, 수능만점자 등과 별인 사람과의 퀴즈 대결에서 큰 점수 차이로 우승하는 놀라운 결과를 도출하였다. 또한, 2019년에는 한국어의 의미 최소 단위인 형태소까지 고려하여 한국어 특성을 최대한 반영한 언어모델인 '코버트(KorBERT)'를 개발하여 학계 및 산업계에 배포하고 있다.

2010년부터는 '디지털 원어민 교사 실현'을 목표로, 컴퓨터가 원어민 선생님의 역할을 대체 또는 보완하여 듣고(음성인식·이해), 말하고(대화처리), 가르쳐주는(평가·튜터링) 자유발화형 외국어 학습 기술개발에도 돌입하였다. 개발된 대화형 영어교육 시스템은 여러 기업에 이전되어 민간 및 공공부문 언어교육 산업발전에 기여하였다.

2010년대 중반 이후에는 시각인식 기술개발에 주력하여, 영상에서 사람과 사물을 인식하



한-영 자동통역 앱 지니톡 대국민 시범서비스 개시 행사  
(좌측부터 김홍남 ETRI원장, 방송인 비장카,  
이철 한국관광공사 사장)



연구진이 빅데이터 활성화를 위한 국제표준 견인 모습

고 행동을 이해하는 '딥뷰(DeepView) 플랫폼'을 개발하였다. 딥뷰는 세계 최고의 국제영상인식대회인 '이미지넷 챌린지 대회(ILSVRC)'에서 전 세계의 우수한 탐들과 겨루어 사물종류별 검출 성능 기준 2위를 달성하였고, 현재 서울시와 세종시에서 쓰레기 무단투기 단속 실증연구에 적용되고 있다.

## DBMS/빅데이터

ETRI는 지난 30여 년간 DBMS(데이터베이스 관리시스템)에서 빅데이터 분석에 이르기까지 국내 데이터 분야의 진화를 이끌어 왔다. ETRI가 DBMS 연구를 처음 시작한 것은 1988년이다. 당시 국내의 DBMS는 일부 대학에서 초기 연구를 진행하는 수준이었다. 이러한 상황에서 ETRI는 DBMS 개발에 필요한 요구사항 정의, 설계, 구현, 시험 등 전 과정을 자체적으로 추진하며 2002까지 15년간 일명 '바다(BaDa) 프로젝트'를 추진하였다. 그 결과, 관계형 DBMS인 바다I(1991년)과 바다II(1993년), 멀티미디어 DBMS인 바다III(1997년), 바다IV(2000년), 클러스터 DBMS인 바다V(2002년)를 개발하는 데 성공하였다. 또한, 1991년부터 메모리 기반 DBMS 개발을 시작하여 2000년까지 메인메모리 자료저장시스템인 'Mr.RT'를 3단계에 걸쳐 순차적으로 개발하였으며, 2006년에는 RFID 데이터 처리에 초점을 맞춘 DSMS인 'UbiCore'를 개발하였다. 개발된 DBMS들은 다수의 중소기업에 이전되어 활발하게 상용화되었다. 이에 따라 1980년대 외산 DBMS가 독점했던 국내 데이터베이스 시장에 순수 국내기술의 DBMS가 자리를 차지하기 시작하였다. 한편, 데이터 관리의 효율성 강화를 위해 이종 DBMS 통합기술에 대한 필요성이 제기되자, 'DataBlender'(2003년), 'VISION'(2006년), '트랜잭션/분석 일체형 DBMS'(2019년)를 개발하였다.

2000년대 중반 이후 빅데이터 플랫폼 기술이 태동하면서 ETRI는 그간 축적한 데이터베이스 관련 기술을 토대로 빅데이터를 다루는 플랫폼 및 분석 기술연구를 본격적으로 추진하기 시작하였다. 우선, '빅데이터 에지 분석 기술'을 개발하여 국내 빅데이터 분석 시장이 질적·양적으로 획기적인 성장을 할 수 있는 계기를 만들었다. 또한, 2010년대 중반부터 교통정책, 인구정책, 도시사회 정책 등 공공분야의 의사결정을 지원하는 빅데이터 분석시스템 개발에 돌입하여, 2016년에 '장래 인구 변화 예측·분석 시스템(ABCD)'을, 2019년에는 세계 최초로 클라우드 기반 트래픽 예측 시뮬레이터인 'SALT' 개발하였으며, 2018년부터는 세종시의 과학적 정책 수립을 위한 '도시행정 디지털트윈(가상세종) 기술'을 개발하고 있다.



## 서버 컴퓨팅

ETRI는 국내에 컴퓨터라는 단어가 생소하던 시절부터 컴퓨터 기술을 개발하기 시작하여 최근에는 신개념 컴퓨팅 기술인 메모리 중심 컴퓨팅시스템으로까지 연구영역을 확장하고 있다.

ETRI가 컴퓨터 개발에 본격적으로 나선 것은 1987년 ‘행정전산망용 주전산기Ⅱ(타이컴)’를 개발하면서부터였다. 이어서 1994년 타이컴의 단점들을 보완을 위한 고속중형컴퓨터인 주전산기Ⅲ(타이컴Ⅲ)를, 1998년에는 타이컴Ⅳ인 고속병렬 컴퓨터시스템(SPAX)을 연속으로 개발하였다. 타이컴 시리즈 개발을 통해 우리나라는 전자정부의 기틀을 마련한 것은 물론, 국내 컴퓨터시스템 기술을 세계적인 수준으로 끌어올려 외산 컴퓨터의 종속에서 벗어날 수 있게 되었다. 또한, 컴퓨터 관련 전문인력을 다수 양성하여 국내 컴퓨터산업의 고속성장에도 기여하였다.

이후로도, ETRI는 고성능 멀티미디어 서버, SAN 기반의 ‘SANTopia’, 차세대 인터넷 서버 ‘SMART’, 대규모 글로벌 인터넷 종합솔루션 ‘GLORY’, 유전체 분석용 슈퍼컴퓨터 ‘MAHA’, 저전력 마이크로 서버 ‘KOSMOS’ 등을 지속해서 개발하며 우리나라를 세계적인 컴퓨터 선도국으로 견인하였다.

## 클라우드

컴퓨팅 자원을 공유하는 개념은 1960년대에 등장하였으나, 기술 미성숙으로 널리 사용되지는 못하였다. 그러다 2006년에 클라우드라는 용어가 등장하면서 지능형 컴퓨팅 서비스의 기반기술로서 ‘클라우드 컴퓨팅’이 널리 활용되기 시작하였다. 클라우드란 사용자가 네트워크를 통해 유연한 확장성을 가진 IT 자원들을 빌려 쓰는 컴퓨팅을 뜻한다.

클라우드는 IT 자원에 대한 개념을 소유에서 임대로 바꾼 매우 혁신적인 패러다임이다. 우리나라의 경우에는 2000년대 말부터 클라우드 컴퓨팅 관련 기술개발이 조금씩 싹텄으며, 원격지에서 컴퓨팅 자원을 쉽고 빠르게 사용할 수 있는 클라우드 인프라 서비스 기술이 먼저 시장에 나오기 시작하였다. 한편, 정부는 2009년 「클라우드 컴퓨팅 활성화 종합계획」을 마련하고, 국내 클라우드 시장의 해외 잠식 위협을 극복하기 위한 클라우드 플랫폼 및 응용 서비스 핵심기술 연구개발을 본격적으로 추진하였다.

ETRI는 1980년대부터 축적해 온 서버컴퓨팅, 운영체제, 시스템 SW, 플랫폼 SW, 컴퓨터 응용서비스 관련 기술력을 토대로 2000년대 후반부터 클라우드 컴퓨팅 기술개발에 돌입하였다. 2009년 표준기반 시스템 가상화 관리 SW인 ‘바인(VINE)’을 개발한 것을 시작으로, 클라우드 처리 성능을 높이고 구축비용을 줄이기 위한 ‘클라우드 가상 데스크톱(DaaS)



한국전자통신연구소에서 열린 주전산기Ⅲ 개발보고회  
(좌측부터 경상현 한국전자통신연구소장, 송연중 체신부장관, 정원식 국무총리, 이대엽 국회교통체신위원장, 이해육 한국전기통신공사 사장, 신윤식 데이콤 사장)  
(출처: 전자신문 2012. 9. 17일자 기사)



웨어러블 제스처 기술 시연 모습

기술’, 대규모 사용자 환경을 위해 성능을 강화한 ‘인 메모리 기반 모듈형 가상 데스크톱 시스템 기술’ 등을 연속해서 개발하였다.

2010년대 중반 이후에는 인공지능 분야 딥러닝 알고리즘의 학습 시간을 대폭 줄이는 ‘고속 딥러닝 클라우드 기술’과 다양한 멀티 클라우드의 활용·확산 극대화를 위한 ‘멀티 클라우드 서비스 공통 프레임워크 기술’에 주력하고 있다.

이러한 노력을 통해 외산이 장악하고 있는 국내 클라우드 시장에 국내기술을 확산하고, 우리나라가 클라우드 컴퓨팅 분야에서도 세계 최고의 수준을 확보할 수 있도록 노력하고 있다.

## 단말

우리나라의 컴퓨터 단말은 1982년 ‘특정 연구개발사업’을 시작으로 본격화되어 국가 주도로 진행되었으며, 터미널, 플로피디스크, 프린터 등 주변기기는 정부와 민간이 공동으로 개발하였다. ETRI는 1982년 ‘8비트 교육용 컴퓨터’를 개발 및 보급한 것을 시작으로, 40년 가까운 시간 동안 국내 단말 기술·산업의 발전을 이끌어왔다.

국내에 처음 컴퓨터가 도입되기 시작하던 1980년대에는 PC와 중형컴퓨터를 개발하여 컴퓨터 대중화를 이끌었고, 컴퓨터 보급이 일반화된 1990년대에는 멀티미디어 컴퓨터 개발에 뛰어들어 멀티미디어 워크스테이션인 ‘콤비스테이션I’, 지능형 멀티미디어 워크스테이션인 ‘콤비스테이션II’, 멀티미디어 입출력 전용 휴대용 단말인 ‘핸디콤비III’ 등을 개발하였다.

또한, 1990년대 중후반 개인정보단말기(PDA) 보급이 확대되자 지능형 휴대 클라이언트(IPC) 개발을 선도하였으며, 2000년대 초반 정부가 차세대 PC를 ‘9대 IT 신성장동력’ 가운데 하나로 선정하고 관련 사업들을 집중적으로 추진하면서부터는 손목시계형 PC, 의복형 웨어러블 단말, 웨어러블 제스처 기술 등을 연속으로 개발하며 국내 웨어러블 단말 산업의 저변을 확대하였다.

아울러, 2004년 ‘촉각용 스마트 햅틱 인터페이스’를 시작으로 휴먼 인터페이스 기술개발에 돌입하여 국내에 햅틱 인터페이스 기술과 투명 인터페이스 시스템을 확산하는 계기를 만들었다. 2017년부터는 첨단 ICT를 이용하여 노인·장애인의 신체기능 향상 및 재활을 돕는 ‘신체능력 증강 기술’ 개발에도 힘을 쏟고 있다.

## 서버용 운영체제

ETRI는 1987년 시작된 행정전산망용 주전산기(타이컴) 개발과 함께 SW 운영체제 개발에 돌입하였다. 당시 세계 최고의 기술력을 자랑하던 AT&T Bell 연구소도 단일 처리기용 운영체제 기술밖에 확보하지 못한 상황이었으나, ETRI는 독자기술로 다중 처리기용 운영체제 개발에 도전하였다. 이어서 계속된 타이컴 시리즈의 개발을 통해 마이크로커널에 기초한 병렬 운영체제 기술을 세계 최초로 구현하는 한편, 유닉스의 확장성을 위한 새로운 개념의 구조와 기능들을 개발하였다. 이 기능들은 현재까지도 리눅스 운영체제에서 널리 사용되고 있다.

2000년대 초반 국내에 리눅스(Linux) 열풍이 불자, 정부는 2004년 「공개 SW 활성화 기본계획」을 수립하였다. 이때부터 ETRI는 국내 굴지의 대기업 및 중소기업들과 함께 ‘국내 공개 SW 표준 플랫폼’ 개발에 본격적으로 뛰어들어, 2005년 보급형 서버 기본 표준판인 ‘부요(Booyo) 리눅스 1.0’을 개발하는 데 성공하였다. 이어서 2006년 V2.0, 2007년 V3.0을 출시하고 이를 공공기관과 기업에 이전하였다. 이로써 국내에서도 표준기반의 다양한 리눅스 서버가 출시되기 시작하였다.

한편, 2014년 미래창조과학부가 대대적인 「SW 혁신전략」을 추진함에 따라, ETRI는 국내외 여러 대학과 함께 ‘차세대OS기초연구센터’를 발족하고 새롭게 매니코어 운영체제 연구에 돌입하였다. 이를 통해 개발된 성과들은 연구결과물을 공개하는 ‘공개 SW 과제 1호’로 지정 및 공개되었으며, 260여 편의 우수한 논문을 생산하였다.



ETRI 타이컴 모습



정보가전용 실시간 OS 컨퍼런스



임베디드용 웹 가속 기술 큐플러스 웹



큐플러스 에스토 기술시연

## 임베디드 운영체제

ETRI는 임베디드라는 용어가 생소하던 1990년대 말부터 임베디드 운영체제 개발에 돌입하였다. 2000년 I-TV, D-TV 셋톱박스과 이를 위한 실시간 운영체제인 ‘큐플러스(Qplus)-T’를 개발한 것을 시작으로, 2001년에는 이를 확장한 ‘큐플러스-P’를, 2002년에는 디지털 가전 서비스의 핵심장치인 ‘임베디드 운영체제 기반 홈서버’를, 그리고 2003년부터는 다양한 기능과 규모의 임베디드 시스템을 최적화 지원하기 위하여 3개(표준형, 마이크로, 나노)로 나뉜 ‘큐플러스 운영체제 플랫폼’을 개발하였다. 또한, 시스템 개발도구인 ‘큐플러스/Esto’를 개발하여 그동안 외국 기술에 의존하던 임베디드 개발도구를 국산화하는 데 성공하였으며, 2014년에는 이미지 처리속도가 20배 이상 향상된 웹 기반의 응용 개발환경인 ‘큐플러스 Web’을 개발하였다. 20여 년간 계속된 큐플러스 운영체제의 진화로 우리나라는 자주적인 SW 기술 강국의 위상을 확립할 수 있게 되었다.

경량 운영체제인 ‘나노-큐플러스’는 점차 IoT 디바이스용 통합개발솔루션으로 발전하였으며, (주)누리텔레콤에 이전되어 2015년 1,210억 원 규모의 초대형 해외 사업인 노르웨이의 ‘SORIA 프로젝트’를 수주하는 성과를 거뒀다.

2010년대 들어서는 CE(Consumer Electronics) 분야는 기업에 맡기고, ETRI는 국방, 항공, 자동차 등 ‘안전성이 중요한 시스템(SCS)’ 분야의 임베디드 시스템 SW 개발에 주력하였다. 이를 통해 2010년 무인항공기용 RTOS인 ‘큐플러스-에어(Qplus-AIR)’를, 2015년 하나의 HW에서 두 개 이상의 운영체제를 작동할 수 있는 ‘큐플러스-하이퍼’를 개발하였으며, 2017년에는 큐플러스-하이퍼를 업그레이드한 ‘어스(EARTH)’를 개발하여 드론 시스템에 적용하였다.

## 임베디드 미들웨어

2000년대 이후 컴퓨터 활용 분야가 급증하면서 현실 세계의 다양한 사물을 안전하게 제어할 수 있는 기술에 대한 수요가 발생하자, ETRI는 2010년부터 차세대 SW 핵심 기술인 CPS(사이버 물리시스템) 개발에 본격적으로 뛰어들었다. 당시는 CPS 태동기로, 연구진은 CPS의 개념조차 갖춰지지 않은 학계·연구계를 설득해가며 CPS 개발에 주력하였다. 2014년부터는 CPS를 스마트팩토리, IoT, 디지털트윈 등에 지속해서 적용하고 있다. 아울러, 네트워크 중심의 미래 무기체계에 대응하기 위하여 2012년 국방표준 DDS(데이터 분산서비스) 통신 미들웨어인 ‘EDDS(ETRI-DDS)’를 개발하여 국내 국방 통신 미들웨어를 100% 국산화하였으며, 2017년에는 LVC 전투 훈련체계를 연동하는 LVC 게이트웨이를 개발하는 데 성공하였다. 본 기술은 육군합성전장 훈련체계의 핵심기술로써 2020



년까지의 탐색 개발을 마치고, 2021년부터 5년간 실질적인 체계개발에 활용될 예정이다. 한편, ‘대경권연구센터’는 2006년 발족한 이래로 인공지능 기술 기반 ICT 융합기술 고도화를 통해 지역전략산업과 연계한 미래 산업(스마트시티, 스마트이동체, 스마트의료, 스마트팜 등) R&D 역량을 키우는 데 주력하고 있다. 연구센터를 중심으로 연구소기업 설립도 잇따라, 2014년에는 ADAS 응용을 위한 주행환경 검출 기술을 토대로 ㈜이인텔리전스가, 2015년에는 차량 주행환경 검출과 교통객체 고속검출 시스템을 토대로 컨퍼스트㈜가, 그리고 2018년에는 레이더 응용기술을 토대로 ㈜엔디오에스가 출범하였다. 연구센터가 최근 5년간(2015년~2019년) 출원한 특허 건수는 232건이며, 애로기술지원 및 기술자문을 지원한 건수는 223건에 달한다.

### SW 품질 및 플랫폼

국내 개발 환경에 적합한 SW 개발방법론의 부재로 여러 어려움이 잇따르자, ETRI는 1994년부터 한국형 SW 개발방법론인 ‘마르미(MaRMI)’를 개발하기 시작하여, 구조적 방법 및 정보공학 방법을 지원하는 마르미-I (1997년), 객체지향 방법을 지원하는 마르미-II(1998년), SW 컴포넌트 기반 개발을 지원하는 마르미-III(2003년), 제품계열 기반 개발을 지원하는 마르미-IV(2006년)를 개발하여 국내 180여 기관에 이전하였다. 현재 마르미 시리즈는 외산 개발방법론을 완전히 대체하고 사실상의 국내 개발 표준으로 자리매김하였다.

한편, 2001년부터 ETRI 중심의 ‘한국무선인터넷표준화포럼’이 주체가 되어 한국형 무선인터넷 플랫폼 표준규격인 ‘WIPI’ 개발이 시작되었다. 2001년 개발된 WIPI V1.0이 2002년 TTA 단체표준에 채택된 이후, 연구진은 계속해서 V1.1, V1.2 및 V2.0까지 규격을 추가로 개발하였다. 정보통신부는 2005년부터 국내에서 출시되는 휴대전화 단말기에 WIPI 탑재를 의무화하였으며, 이는 2009년 4월까지 계속되었다. 이로써 국내 단말 제조사들은 신규 단말에 플랫폼을 이식하는 데 드는 시간·비용을 크게 줄였고, 콘텐츠 개발사들도 마찬가지로 거의 수정 없이 이동통신 3사에 콘텐츠를 서비스할 수 있게 되었다. 이는 ETRI가 기술적 지원을 통해 정부 정책의 성공을 뒷받침한 대표적인 사례로 남아 있다.



WIPI 설계 철학

### 3-2-1. 서버용 운영체제

#### 리눅스 열풍과 함께 시작된 공개 SW 개발

2000년대 초반 국내에 리눅스(Linux) 열풍이 불었다. 리눅스는 기존의 유닉스와 달리 소스 코드가 공개된 SW로, 연구자·개발자·학생 등 많은 사람의 관심을 받았다. 그러나 호환성 문제가 대두되어 확산이 어려운 상황이었다.

이에 정부는 2004년 「공개 SW 활성화 기본계획」을 수립하였고, 그 일환으로 ‘공개 SW 핵심기술개발’ 과제가 추진되었다. 이 과제에는 2004년 9월부터 2007년 12월까지 40개월 동안 연구비 총 105.6억 원, 연구인력 연 60명이 투입되었으며, ETRI를 주관기관으로 하여 삼성전자, LG엔시스, SK C&C 등 14개의 대기업과 여러 중소기업이 공동연구기관으로 참여하였다.

사업의 목적은 국내 공개 SW 배포판의 상호호환성 제공, 기술지원 부담의 경감, 공개 SW 도입의 저해요인인 공개 SW 솔루션 부족 문제를 해결하기 위하여 ‘국내 공개 SW 표준 플랫폼’을 개발하는 것이었다.

#### 부요 리눅스 1.0에서 3.0까지 개발

ETRI를 비롯한 여러 기관에서 모인 연구자들은 서울시 가락동 소재 KIPA(한국발명진흥회) 7층에서 공동연구에 몰입하였다. 같은 장소에 ‘공개 SW 지원센터’도 설립되어 기술지원과 보급·확산 측면에서 긴밀한 협력이 이뤄졌다.

연구진은 2004년에 리눅스 서버와 데스크톱 표준규격을 작성하였다. 이어서 2005년에는 리눅스 표준 기초(LSB; Linux Standard Base) 규격을 따르며 웹 기반 기업 사무환경에 적합한 ‘기업업무용 데스크톱 기본 표준판’과 통신기기용(carrier grade) 리눅스 규격을 따르며 웹 응용 및 공공기관의 웹 서버에 적합한 ‘보급형 서버 기본 표준판’을 개발하여 ‘부요(Booyo) 리눅스 1.0’으로 내놓았다. 특히, 부요 1.0의 데스크톱 표준판은 빠른 부팅, 윈도우처럼 익숙한 사용자 환경, USB 및 무선랜 등 장비의 원활한 활용, 인터넷뱅킹 지원 등 편리성 기능이 강조됐다는 점이 특징이었다.

2006년에는 국내표준 컴퓨팅 환경의 확장 규격을 개발하고, 웹 기반 기업 사무환경 및 멀티미디어에 적합한 ‘기업업무용 데스크톱 확장 표준판’과 보안·엔터테인먼트용 서버에 적합한 ‘보급형 서버 확장 표준판’을 개발하여 ‘부요 리눅스 2.0’을 완성하였다. 또한, 리눅스



리눅스 기반 데이터검색 시스템

시스템 동작 중에 파일 시스템을 강제로 제거하더라도 시스템은 종료되지 않고 동작하는 기능 등을 세계 최초로 개발하였다. 한편, 부요 2.0은 리눅스재단으로부터 LSB 3.1 적합성 인증을 획득하였다.

2007년에 플랫폼이 독립적인 웹을 지원하며 HW 장치와 응용서비스를 지원하는 고정기능 단말에 적합한 데스크톱 표준판과 Xen 기능을 개선한 서버 표준판을 개발하여 '부요 리눅스 3.0'을 출시하였다. 또한, 공개 SW 활용 편의성을 지원하는 도구와 표준규격 시험절차를 개발하여 리눅스 비즈니스 업체들의 요구사항을 충족하였다.

국내에 리눅스 관련 산업 촉발

본 과제 수행의 가장 큰 성과는 국내표준의 리눅스 기반 데스크톱과 서버 플랫폼을 상용화하여 관련 산업을 일으킨 것이다. 실제로 대전시청, 국방부 등 총 23개 공공기관에 데스크톱 2,206대, 서버 1,304대 등 총 3,510대를 보급함으로써 공개 SW 활용을 촉진하였다. (2007년 12월 기준) 또한, 국내 최초로 대기업인 SK C&C가 리눅스 배포판(Ginux) 시장에 참여하여 상용화(2006년 10월)를 통해 7억여 원의 매출을 달성하였다. 아울러, 부요 시리즈는 한국리눅스센터, 한글과컴퓨터, 엘지엔시스, 엔티시큐브, SK C&C 등에 이전되어 1억 9,300만 원의 기술료 수입을 확보하였다. (2007년 12월 기준) 대표적인 부요 표준기반 제품에는 '딜고', '이바지'(이상 아이젯리눅스), '와우리눅스'(와우리눅스), '지눅스'(SKC&C), '구스'(엘지엔시스) 등이 있다.

기술적 성과로는 우리나라가 제안한 공개 SW 2건(운영체제 커널 내에서의 데이터 무복제 기술, 네트워크 비동기 입출력 기술)이 당시 OSDL(Open Software Development Laboratory, 현재 리눅스재단)이 제안한 국제 요구기능 규격(OSDL-DCL)에 적합한 기술(PoC; Proof of Concept)로 등록되었다는 점을 들 수 있다.

부요 리눅스는 해외에서도 인기를 끌었다. 2008년 우즈베키스탄은 부요 표준기술을 활용하여 '우즈 부요(Uz-Booyo)'를 개발하였다. 우즈 부요는 우즈베키스탄의 대표적인 IT 대학인 타슈켄트정보기술대학(TUIT)과 현지 실업계고등학교 등에서 활용되었다.

ETRI는 부요의 후속 과제로 '공개 SW 플랫폼 고도화를 위한 리눅스 커널 개발' 과제를 추진하였다. 부요 리눅스가 기존 공개 SW를 이용하여 표준 컴퓨팅 환경을 개발하는 데 초점을 두었기 때문에 기술적인 기여가 다소 부족했던 점을 보완하기 위한 과제였다. 이를 통해 리눅스 파운데이션 활동을 강화하고, 오픈 프로젝트 참여와 커널 메인테이너 및 기술교류 활동 등이 진행되었으나, 사업성 부족을 이유로 중도에 종료되었다.



임베디드 리눅스 탑재 플랫폼 기반 부팅기술



부요(Booyo) 리눅스 로고

‘부요’ 이름의 유래

‘부요’는 전래 민요인 ‘까투리 사냥’에 나오는 단어로, 까투리를 놀라게 하여 하늘로 날아 오르도록 하는 소리인 ‘휘이여’의 중부 지방 발음이다. 리눅스의 상징인 펭귄이 놀라서 하늘로 비상하듯이 리눅스도 크게 활성화되어 비상하길 바라는 마음을 담은 명칭이다.

멀티코어에서 매니코어 시대로 진입

2000년대 중반 프로세서의 전력 한계로 인한 클럭(clock) 속도의 정체가 싱글 프로세서의 성능을 떨어뜨리자, 단순히 속도를 높이는 방향으로 발전하던 HW가 병렬성을 증대하는 방향으로 발전하기 시작하였다. 이는 멀티코어(Multi Core)에서 매니코어(Many Core)<sup>117)</sup> 운영체제로의 전환을 촉발하였다.

차세대OS기초연구센터 중심으로 매니코어 연구

2014년 미래창조과학부는 SW를 새로운 성장동력으로 삼아 국가경쟁력을 강화하고자 대대적인 「SW 혁신전략」을 추진하였다. 그 일환으로 대학과 연구기관을 중심으로 SW기초연구센터를 지정하여 2017년까지 8개 센터에서 1,000명의 핵심연구인력을 양성하고, SW 기초연구를 수행한다는 계획을 발표하였다.

이에 ETRI는 건국대, 국민대, 경성대, 부산대, 서강대, 서울대, 성균관대, 연세대, 충북대, 버지니아 공대, 조지아공대가 참여하는 ‘차세대OS기초연구센터’를 구성하고, 이를 중심으로 ‘매니코어 기반 초고성능 스케일러블 OS 기초연구’ 과제를 수행하기 시작하였다. 과제의 목표는 ‘코어 수 증가에 따라 운영체제의 성능을 증가시키는 매니코어 운영체제 연구’이며, 2014년 4월부터 2022년 2월까지 8년에 걸쳐 연구비 240억 원, 연구인력 연 40명이 투입되고 있다.

운영체제 연구는 두 가지 방향으로 추진되고 있다. 첫 번째는 리눅스의 확장성 연구이며, 두 번째는 새로운 구조의 운영체제인 멀티커널 운영체제 연구이다. 또한, 매니코어 환경에서의 병렬화 기법과 관련된 연구도 진행 중이다. 이를 위해 ETRI는 120코어, 192코어 등의 매니코어 장비를 구입하여 대학과 공동으로 활용하고 있다.

117) 매니코어(Many Core): 단순한 기능을 가진 수백~수천 개 코어를 하나의 CPU에 집적하여 성능을 구현하는 기술이다.



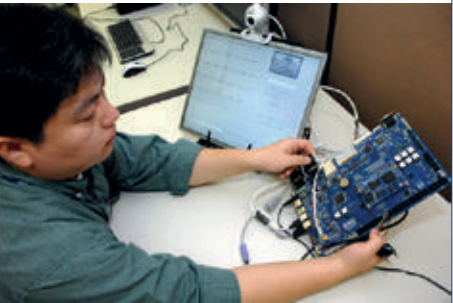
특히, 수백 수천 코어를 대상으로 한 SW의 확장성 연구는 매우 도전적인 것으로 평가된다. 과제를 통해 연구진은 총 300여 개의 확장 기법 및 버그 수정을 제안하였으며, 이를 통해 2015년에 당시 구글도 해결하지 못한 클라우드 환경에서의 운영체제 확장성 문제를 해결하였고, 세계적인 여러 스케일러블(scalable) 잠금(locking) 기법들도 개발하였다. 또한, 멀티커널 운영체제 연구를 통해 멀티커널 구조가 확장성 면에서 리눅스보다 뛰어나고 우수한 성능을 제공할 수 있다는 것을 밝혀냈다.

### 국내 시스템 SW 분야의 빠른 성장 견인

개발된 성과들은 연구결과물을 공개하는 ‘공개SW 과제 1호’로 지정되었다. 이에 ETRI는 30여 개의 SW 결과물을 대표적인 무료 SW 저장소인 깃허브(<https://github.com/oslab-swrc>) 사이트에 공개하였다. 또한, 과제 수행 내용을 토대로 270여 편의 논문을 생산 및 발표하였으며, 특히 시스템 분야 세계적인 학술대회인 ATC, ASPLOS, OSDI, SOSP, EuroSys 등에 총 40여 편의 논문을 발표하는 등 우수한 성과를 거뒀다. 아울러, 개발된 ‘매니코어 SW 기술’은 2017년 한국공학한림원이 뽑은 ‘미래 100대 기술’에도 선정되었다. ETRI가 매니코어 SW 기술을 확보하면서 국내 데이터베이스 등 시스템 SW 분야는 빠르게 진화하기 시작하였다. 또한, 국내의 컴퓨터 운영체제가 인공지능 및 머신러닝(Machine Learning, 기계학습)을 위한 초고성능 시스템으로 고속성장할 수 있는 계기도 마련되었다. 본 과제는 운영체제의 확장성을 위한 연구였지만, 연구한 기법 및 알고리즘은 다른 분야의 SW에도 활용될 수 있다. 향후 매니코어 운영체제는 데이터베이스, 빅데이터 처리 등 수많은 SW로 확산하여 국내 SW 수준의 향상을 견인할 것으로 기대된다.



가스안전 모니터링 시스템\_큐플러스



큐플러스를 의료장비에 탑재, 성능시험

### 3-2-2 임베디드 운영체제

#### 임베디드 시스템 고도화 추세

임베디드(embedded, 내장형) SW는 다양한 산업 분야의 디지털 제품에 내장되어 HW의 제어, 음성·데이터통신, 멀티미디어, 게임, 인터넷 접속, 유비쿼터스 컴퓨팅 등 기본 및 부가기능을 제공함으로써 제품 경쟁력과 부가가치를 높여주는 역할을 한다.

2000년대에 들어서면서 정보가전을 비롯하여 공장 자동화, 텔레매틱스 등 다양한 산업 분야에서 임베디드 운영체제의 사용이 점점 증가하였으며, 그 기능 또한 다양해지고 스마트해졌다. 따라서 기존의 특정 기능만을 수행하는 프로그램 수준에서 탈피하여 더욱 복잡한 기능을 제공하는 임베디드 운영체제가 필요하게 되었다.

당시 국내 임베디드 운영체제 관련 시장은 VxWorks, VRTX, pSOS, QNX와 같은 외산 제품이 장악하고 있었는데, 이들 역시 점점 더 복잡·다양해지는 요구에 신속하게 대응하지 못하고 있었다.

#### 20여 년간 계속된 Qplus 운영체제의 진화

ETRI는 임베디드라는 용어가 생소하던 1990년대 말부터 관련 기술을 개발하였다. 1998년부터 3년간 ‘조립형 실시간 운영체제 개발’ 과제를 수행하며 PC를 모르는 사람도 인터넷에 기반한 다양한 정보서비스를 쉽게 이용할 수 있도록 정보가전용 임베디드 SW를 연구하였으며, 그 결과 I-TV, D-TV 셋톱박스과 이를 위한 실시간 운영체제인 ‘큐플러스(Qplus)-T’를 개발하였다.

이어서 2001년에는 인터넷 정보가전 분야의 다양한 응용서비스를 지원하기 위하여 새로운 프로세스 기반의 임베디드 운영체제인 ‘큐플러스-P’를 개발하였으며, 이를 통해 큐플러스-T의 기능 확장과 안정화를 이뤘었다.

2002년에는 디지털 가전 서비스의 핵심장치인 ‘임베디드 운영체제 기반 홈서버’ 개발에 성공하였다. 정보가전기기 간의 연동과 개별기기 관리는 물론 인터넷 연결과 홈엔터테인먼트 서비스를 제공하는 홈네트워크의 중추 시스템을 완성함으로써 세계 최초로 유·무선 홈네트워크를 지원하는 임베디드 홈서버를 개발한 것이다. 이를 통해 집 안에서 방송, DVD, 전자책, 비디오 등을 보거나 웹서핑을 할 수 있는 ‘홈엔터테인먼트’, 홈네트워크를 통해 정보가전 기기를 연결하고 서로 연동시키며 개별기기 관리·제어 관련 원격서비스를 지원하는 ‘원격제어 미들웨어’, 다른 사람과 공동으로 인터넷을 즐기거나 인터넷 폰을 사용할 수 있는 ‘멀티미디어 미들웨어’ 등의 구현이 가능해졌다.

2003년부터는 ‘임베디드 SW 표준 운영체제 플랫폼’ 연구를 시작하였다. ETRI는 다양한 기능과 규모의 임베디드 시스템을 지원하기 위하여 표준형, 마이크로, 나노로 나누어 큐플러스 운영체제 플랫폼을 개발하였다. 특히, 표준형 큐플러스는 임베디드 리눅스에 기반한 실시간 처리 및 전력관리 기능이 크게 향상된 플랫폼이었다. 아울러, 임베디드 시스템 개발 주기를 단축하기 위하여 타깃 시스템 재설정 도구인 타깃 빌더와 시스템 개발도구인 ‘큐플러스/Esto(Embedded Systems Tool)’를 개발하였다. ETRI는 큐플러스/Esto의

개발로 그동안 외국 기술에 의존하던 임베디드 개발도구를 국산화하는 데 성공하였으며, 상용화된 시스템은 2005년 미국 전자지불시스템 업체에 수출되어 세계 시장으로도 진출하였다.

아울러, 2006년 3월부터 시작된 ‘MCC(Mobile Convergence Computing)를 위한 단말 적응형 임베디드 운영체제 기술개발’ 과제를 통해서 는 모바일 단말을 중심으로 다양한 기기와 연동하여 언제 어디서나 사용자 환경에 따라 최적화된 내장형 시스템을 지원받을 수 있는 기술을 개발하였다.

2010년대에 들어 스마트폰, 웨어러블 장치 등 다양한 형태의 스마트 기기가 출시됨에 따라 안드로이드 플랫폼의 기기별 응용개발 및 유지보수 비용이 지속해서 증가하였다. 이에 ETRI는 2014년 특정 네이티브 운영체제 플랫폼에 종속되지 않는 웹 기반의 응용 개발환경인 ‘큐플러스 Web’을 개발하였다. 그동안 웹 플랫폼은 안드로이드나 iOS보다 앱 실행 성능이 떨어져 외면받아왔으나, 큐플러스 Web은 기존보다 2D · 3D 그래픽 실행속도는 10배, 이미지 처리 속도는 20배 이상 향상되어 다양한 모바일 기기에서 더 빠르고 안정적인 앱 실행이 가능하였다. 이 기술은 2014년 11월 세계 최초로 표준화 기구인 크로노스 그룹의 웹 가속 호환성 테스트(WebCL) 인증을 획득하며 우수성을 인정받았다.

미래 임베디드 SW 기술로 진화

ETRI는 임베디드 운영체제 핵심기술을 조기에 확보하여 자주적인 ‘SW 기술 강국’의 위상을 확립하였다. 개발된 기술들은 국내 업체에 이전되어 지능형 로봇과 텔레매틱스 단말기용 국산 임베디드 SW 솔루션 등으로 상용화되었다. 향후 큐플러스 운영체제를 중심으로 하는 임베디드 SW 기술은 디지털홈, IPTV, 차세대 PC, 지능형 로봇, 텔레매틱스, 차세대 이동통신 등의 핵심 솔루션으로 활용될 것으로 보인다. 앞으로 ETRI는 산업과 생활 전반에 인공지능 기술을 확산하기 위한 미래 임베디드 SW 기술개발에 박차를 가할 계획이다.

IoT 디바이스용 ‘나노-큐플러스’ 개발

ETRI는 다양한 기능과 규모의 임베디드 시스템을 최적화 지원하기 위하여 3개(표준형, 마이크로, 나노)로 나뉜 ‘큐플러스 운영체제 플랫폼’을 개발하였다. 이 가운데 ‘나노-큐플러스(Nano-Qplus)’는 IoT 분야에 적합하도록 개발된 경량 운영체제이다.

나노-큐플러스 기술개발은 2006년부터 ETRI와 유럽 6개 기관(스페인 ETRA, 이탈리아 피아트 자동차, 영국 TRW, 뉴캐슬 대학, 독일 본 대학, 폴란드 ITTI)과의 국제 공동연구로 추진되었다. 과제 최종연도인 2009년에는 유럽 평가기관으로부터 ETRI가 가장 우수한 연구실적을 확보했다는 평가를 받기도 하였다.

나노-큐플러스는 운영체제로 개발이 시작되었으며, 점차 스케줄러와 같은 커널은 물론이고 신뢰성 높은 MAC 및 라우팅 프로토콜 기술, 실행 중인 태스크가 없으면 자동으로 슬립 모드로 전환되는 저전력 기술, 원격 업그레이드 기술, 웹 기반 개발도구, 에뮬레이션 기반 시뮬레이터 등 IoT 서비스개발에 필요한 필수기술을 모두 지원하는 ‘IoT 디바이스용 통합 개발솔루션’으로 발전하였다.

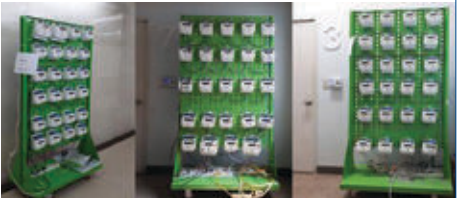
특히, 국제표준을 준수하는 동시에 해외 기술보다 성능 면에서 우수한 ‘IoT용 고신뢰 무선 통신 프로토콜 기술’의 개발은 나노-큐플러스가 다양한 IoT 서비스에 적용될 수 있는 기반을 마련하였다. ETRI는 나노-큐플러스를 토대로 2008년 ZigBee<sup>118)</sup> 표준을 준수하는 라우팅 프로토콜을 개발하여 서울 지하철 4호선 가스 모니터링 시스템, 노원구 실버타운의 노인 위치 인식시스템 등 다양한 IoT 시범사업에 적용하였다. 또한, 타 시스템과의 상호운용성을 위해 CoAP, 6LoWPAN, IPv6 등 다양한 관련 국제표준 프로토콜을 구현하였으며, 2014년에는 IPv6 Ready<sup>119)</sup> 국제인증 을 획득하였다.

한편, 2007년 나노-큐플러스 2.3버전부터는 소스 코드를 공개하여 다양한 사용자 그룹의 피드백을 받으며 빠르게 성능을 개선하였고, 여러 대학의 임베디드 SW 강의 및 실습에도 폭넓게 활용되었다.

2010년대 초반에는 대규모 고신뢰 IoT 서비스 상용화를 위해 TSCH(Time-Slotted Channel Hopping) 국제표준을 준수하는 고신뢰 라우팅 프로토콜을 개발하였다. 나노-큐플러스 운영체제와 TSCH 무선통신 기술을 이전받은 (주)누리텔레콤은 2015년 1,210억 원 규모의 초대형 해외 사업인 노르웨이의 ‘SORIA 프로젝트’를 수주하였으며, 이를 통해 2019년 1월까지 110만대의 무선 원격검침기를 노르웨이 베르겐 지역에 설치하였다. 뿐만 아니라, 국내 한국전력의 AMI 실증서비스에도 적용되어 무선기술의 상용화 사례를 확보하였으며, (주)누리텔레콤은 디바이스 납품으로 56억 원의 매출을 올렸다. ETRI의 ‘산업용 IoT 무선 플랫폼의 핵심기술개발 및 국내의 사업화 성공’은 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

자동차용 실시간 운영체제 ‘ROSEK’ 개발

나노-큐플러스 경량 운영체제 개발 초기에 공동연구기관으로 참여한 바 있는 (주)현대오토



노르웨이 무선 원격검침기 현장모사 설치 사진

118) ZigBee: 소형, 저전력 디지털 라디오를 이용해 개인 통신망을 구성하여 통신하기 위한 표준기술이다. IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 만들어졌다.

119) IPv6 READY: IPv6는 인터넷 프로토콜 스택 중 네트워크 계층의 프로토콜로서, 버전 6에 해당하는 차세대 인터넷 프로토콜이다. IPv6 READY는 IPv6를 사용할 수 있으며, IPv6를 탑재하는 디바이스 적합성 및 디바이스 간 상호운용성 테스트를 인정하는 국제 공인 인증이다.



나노 큐플러스



에버는 운영체제의 안정성을 확인하고, 이를 자동차 ECU(Electronic Control Unit, 전자제어유닛)용 실시간 운영체제로 사용할 수 있도록 수정·개발해 줄 것을 ETRI에 요구하였다.

ETRI는 소스 코드 공개를 통해 수많은 피드백을 받으며 운영체제의 안정성을 확보한 경험을 토대로 자동차용 실시간 운영체제 'ROSEK(Reliable OSEK)'을 개발하고, 2009년 독일 Mercedes-Benz Technology 사로부터 국내 최초로 자동차용 운영체제 국제표준(OSEK/VDX) 인증을 획득하였다.

(주)현대오토에버는 이후 4년간 ROSEK에 대한 안전성 검증 테스트를 진행하였다. 그 결과, ROSEK는 독일산 운영체제와 비교하여 동등 또는 우수한 성능을 보이는 것으로 평가되었다. ROSEK는 자동차에서 요구되는 실시간 제어기능뿐 아니라 멀티 태스크 관리, 자원 관리, 이벤트 관리, 알람 관리, 에러 추적 및 디버깅 등의 기능도 갖추고 있어 향후, 하이패스 단말기, 신호등 제어, 실시간 기능이 필요한 로봇, 공장 제어 등 다양한 임베디드 시스템 분야에 적용될 수 있을 것으로 보인다.

(주)현대자동차는 2013년 엑센트 신형 차부터 ECU에 ROSEK 운영체제를 탑재하였으며, 현재 현대자동차 아반떼와 기아자동차 모닝의 엔진제어 ECU에도 ROSEK 운영체제가 탑재되어 판매되고 있다.

### 안전한 임베디드 시스템 SW 개발에 주력

ETRI는 1990년대 후반부터 국내 임베디드 시스템 SW 분야를 견인해왔다. 그러나 2010년대 들어 기업들이 자체적으로 홈서버, 스마트 기기 등 CE(Consumer Electronics) 디바이스 기술경쟁력을 보유하게 되자, CE 분야는 기업에 맡기고 출연(연)인 ETRI는 국민의 안전확보를 위한 '안전한 시스템 SW' 개발에 주력해야 한다는 의견이 제기되었다.

이에 ETRI는 2010년 이후 국방, 항공, 자동차 등 안전성이 중요한 시스템(Safety Critical System) 분야의 임베디드 시스템 SW 개발에 주력하였다. 특히, 안전성 레벨이 각기 다른 여러 개의 응용이 안전하게 동작할 수 있는 IMA(Integrated Modular Avionics, 통합 모듈형 항공전자) 구조의 RTOS(Real Time Operating System, 실시간 운영체제) 기술개발과 기존의 운영체제를 사용하는 여러 시스템을 플러그인할 수 있는 가상화 기반의 시스템 SW 플랫폼 기술개발에 중점을 두고 연구를 진행하였다.

### 큐플러스-에어/큐플러스-하이퍼/어스로 이어지는 기술개발

ETRI는 2010년부터 3년간 '무인기용 표준 SW 솔루션 및 Test-bed 개발' 과제를 통해 안전한 시스템 SW 중에서도 가장 난이도가 높은 것으로 평가되는 항공분야 기반 SW 개발에 돌입하였다. 그 결과, 2010년 무인항공기용 RTOS인 '큐플러스-에어(Qplus-AIR)' 개발에 성공함으로써 그동안 전적으로 외국기술에 의존하던 항공 운영체제의 국산화가 가능해졌다. 큐플러스-에어는 항공 기술 관련 국제표준인 ARINC-653을 준수한 최초의 국산 운영체제로, 2012년 12월 미국 항공 SW 안전인증 최고 수준인 'DO-178B Level A'를 획득하였다. 또한, 2013년 2월에는 한국항공우주산업(주)의 무인기 시스템에 큐플러스-에어를 탑재하여 실시한 두 차례의 비행시험에도 성공하였다. 이 SW는 2013년 12월 연구소기업인 '알티스트' 창업과 함께 본격적인 기술 상용화에 들어갔으며, 이후 멀티코어용으로 버전업하였다. 한편, 큐플러스-에어는 2013년 ETRI 5대 대표성과 및 1등 기술에 선정되기도 하였다.

2015년에는 '초소형·고신뢰(99.999%) OS와 고성능 멀티코어 OS를 동시 실행하는 듀얼 운영체제 원천기술개발' 과제를 통해 하나의 HW에서 두 개 이상의 운영체제를 작동할 수 있는 '큐플러스-하이퍼'를 개발하였다. 이로써 자동차·항공·선박·로봇 등에서 사용하는 다수의 운영체제를 손쉽게 하나의 시스템으로 통합해 경량화하고, 비용을 절감하는 것은 물론, 고장 시 신속하게 수리하여 위험을 막을 수 있게 되었다. 예를 들어, 자동차를 구성하는 엔진·브레이크·내비게이션 등 각기 다른 장치들의 동작은 그대로 보장하면서 하나의 시스템으로 통합하는 게 가능해진 것이다. ETRI는 공동연구업체와 함께 큐플러스-하이퍼에 대한 국산 자동차 실차 적용 테스트를 완료하였으며, 기술 상용화를 위해 2016년 자동차 도메인의 품질 인증인 'Automotive SPICE Level 3'을 획득하였다.

2017년부터는 '안전한 무인 이동체를 위한 ICT 기반기술개발' 과제를 통해 큐플러스-하이퍼를 '어스(EARTH; ETRI Advanced Real-Time Hypervisor)'로 버전업하고, 이를 드론시스템에 적용하였다. 드론에는 비행을 제어하는 SW와 주어진 임무를 수행하는 SW가 필수인데, 기존에는 안전을 위해 각기 다른 HW에 각각 SW를 탑재하였다. 같은 HW에 탑재할 경우 하나의 SW가 고장나면 다른 SW 기능에도 문제가 생길 수 있기 때문이다. 그러나 이렇게 하면 기체가 무거워지고 전력소모도 많아지는 단점이 있었다. ETRI는 가상화 기반의 시스템 SW 플랫폼 기술을 적용한 어스를 통해 하나의 HW에 두 SW를 탑재하고도 안전성을 확보하는 데 성공하였다. 어스는 2020년 미국 연방항공청(FAA) 심사관(DER)의 안전성 시험과정을 거쳐 'DO-178C Level-A' 인증을 확보하였다.

ETRI는 이 기술을 중소기업에 이전하고 해당 업체와 함께 민군과제를 수주하여 최근 관



큐플러스-에어가 탑재된 기체 비행 모습



큐플러스-하이퍼 실차 적용 M 시험

심이 집중되고 있는 UAM(Urban Air Mobility, 도심 항공 모빌리티)에 어스를 적용하기 위한 기술을 개발하고 있다. 2021년 국산 상용 UAM 적용이 목표이다.

국방, 항공, 자동차 분야의 시스템 SW는 외산 의존도가 매우 높고, 잠금 효과<sup>120)</sup>도 큰 분야이다. 그러나 ETRI의 큐플러스-에어, 큐플러스-하이퍼, 어스의 개발로 국내 관련 기업들은 글로벌 기술경쟁력을 확보하게 되었다. 특히, 자동차, 드론, 로봇 등에 활용되는 시스템들을 효율적으로 통합하면서도 높은 안전성을 확보할 수 있게 되었고, 제조비용 절감과 함께 높은 부가가치 창출효과를 도출하였다.

3-2-3. 임베디드 미들웨어

CPS, 컴퓨터를 통한 실세계의 지능 제어

2000년대 이후 컴퓨터 활용 분야가 급증하면서 현실 세계의 다양한 사물을 안전하게 제어할 수 있는 기술에 대한 수요가 발생하였다. 이에 실세계의 사람·운영환경·기계장치와 같은 물리 시스템(Physical System)을 네트워크로 통합하여 신뢰성 있게 자율 제어하는 차세대 SW 핵심 기술인 Cyber-Physical Systems(CPS 事物智能制御 시스템, 사이버 물리시스템) 기술이 본격적으로 연구되기 시작하였다. 특히, 2010년대 중반 이후 초지능, 초연결 사회를 지향하는 제4차 산업혁명이 시작되면서 스마트팩토리, 미래국방, 스마트시티, 자율주행 자동차 등 다양한 산업 분야에서 CPS 기술을 적용하고자 하는 요구가 커지고 있다.

디지털트윈을 구현하는 CPS 기술개발

ETRI는 CPS 기술의 태동기인 2010년부터 5년간 ‘고신뢰 자율제어 SW를 위한 CPS(Cyber-Physical Systems) 핵심기술개발’ 과제를 수행하며 본격적으로 CPS 연구를 시작하였다. 당시 학계·산업계는 CPS의 개념조차 이해하지 못하는 상황이었기 때문에 과제 수행 과정에서 “CPS가 무엇인가요?”라는 질문을 수없이 들어야만 했다. 그러나 조만간 CPS의 수요가 급증할 것으로 판단한 연구진은 산업·공공 분야에서 실제 활용할 수 있는 수준의 결과물을 목표로 CPS 기술개발에 매진하였다.



CPS연구진

120) 잠금 효과(lock-in effect): 기존 제품을 사용하던 소비자가 더 좋은 신제품이 나오더라도 계속해서 기존 재화나 서비스를 이용하는 현상이다.



스마트공장을 위한 디지털트윈 개념도

CPS는 연산(Computation), 통신(Communication), 제어(Control) 기술로 구성되는 대규모·융·복합시스템 구축을 위한 다학제적 학문이다. ETRI는 CPS 연구를 위해 다양한 분야 전공자가 함께하는 산학연 협업형 연구개발 추진체제를 도입하였고 연구원들은 타 분야와의 상호교류를 통해 불가능할 것 같았던 분량의 학습을 소화하며 연구를 진행하였다. 과제를 수행하는 5년간 불철주야 노력한 결과로 CPS 원천기술인 디지털트윈을 위한 실세계 모델링 및 하이브리드 시뮬레이션 기술, 대규모 시스템 연동을 위한 통신 미들웨어 기술, 실세계 시스템의 신뢰성 향상을 위한 고신뢰 자율제어 기술 등을 개발하는 데 성공하였다. 본 과제에서 개발한 기술들은 ‘고신뢰 자율제어 SW를 위한 CPS(Cyber-Physical Systems) 핵심기술’이라는 이름으로 2014년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

CPS 핵심 원천기술개발을 완료한 2014년부터는 CPS 기술을 다양한 분야에 적용하기 위한 연구를 추진하였다. 2014년 시작한 ‘Industry 4.0을 위한 CPS 기반 스마트팩토리 기반기술연구’는 스마트팩토리 분야에 CPS를 적용하는 과제였다. 특히, ETRI는 인터스트리 4.0을 제안한 독일과의 기술 협력을 위해 한국 유일의 해외 연구소인 KIST-EU와 함께 독일의 자브뤼겐시 잘란트대학교(Saarland Univ.) 캠퍼스 내에 ‘ETRI-KIST Europe Smart Factory Joint Research Lab.’을 개소하여 주도적으로 협력 연구를 추진하였다. 이를 통해 CPS 원천기술을 제조 분야에 적용한 ‘가상-실제 제조설비 연동형 IoT 기반 CPS 플랫폼과 사이버-물리 생산시스템 구현을 위한 ‘생산설비 연동 미들웨어’를 개발하였다.

또한, 2017년부터는 대규모 디바이스가 존재하는 복잡한 산업현장에서 실시간 제어를 가능하게 하는 ‘5G 기반 MEC(Multi-access Edge Computing, 다중접속 엣지컴퓨팅) 기술개발’을 통해 CPS의 실세계 구축사례인 디지털트윈 구현 기술을 개발하고 있다. 디지털트윈(Digital Twin)은 현실 세계의 기계나 장비, 사물 등을 컴퓨터 속 가상세계에 실제와 동일하게 구현한 것으로, 실시간 동기화 및 시뮬레이션을 통해 실제 자산의 특성 정보를 얻을 수 있고 물리적인 자산의 현재 상태, 운영 방식, 생산스케줄 등 다양한 특성을 파악할 수 있으며 미래의 상태를 예측하고 새로운 비즈니스 모델을 수립하는 등 실세계의 모든 과정의 효율성을 향상시킬 수 있는 기술이다.

다양한 분야로 CPS 기술 적용

2021년 현재 ETRI는 CPS 기술을 스마트팩토리, 5G, 스마트시티, 조선해양, 자율주행자동차 등 다양한 분야에 적용하기 위한 과제를 진행하고 있다. 특히, 국가 경제에서 가장 큰



비중을 차지하는 제조업에 CPS를 적용하여 제조업 전주기 통합이 가능한 기반기술을 확보함으로써 빠르게 진행되는 4차 산업혁명에 대응하고자 노력하고 있다. 또한, 코로나19로 인해 비대면·언택트 기술의 중요성이 부각되면서 가상의 공간에서 실세계를 정밀하게 지능 제어하는 CPS 기술에 관대한 관심이 커지고 있다는 점을 고려하여, 더욱 다양한 분야로 CPS 기술을 적용해나갈 계획이다.

EDDS 개발로 통신 미들웨어 100% 국산화

미래의 무기체계가 빠른 정보공유를 기반으로 승리를 쟁취하는 네트워크 중심 전장환경(NCW; Network Centric Warfare)으로 변화함에 따라 무기체계 사이에서 인터넷 같은 역할을 하는 통신 미들웨어의 중요성이 점차 커지고 있다. 그러나 2010년 이전에는 선진국 이 기술의 해외 유출을 막고 있어, 우리나라는 전량 외산 제품에 의존해야 하는 상황이었다. 이에 ETRI는 2010년부터 추진한 ‘고신뢰 자율제어 SW를 위한 CPS(Cyber-Physical Systems) 핵심기술개발’ 과제를 통해 실시간 DDS(Data Distribution Service, 데이터 분산서비스)와 모델링, 시뮬레이션 핵심기술을 개발하였으며, 이를 토대로 2012년 국방표준 DDS(Data Distribution Service, 데이터 분산서비스) 통신 미들웨어인 ‘EDDS(ETRI-DDS)’ 개발에 성공하였다.

EDDS는 함정이나 전차, 비행기 등에 탑재된 무기체계를 연동하는 통신 미들웨어로, 적의 공격 시 즉각적으로 정확한 대응을 할 수 있도록 감시정찰, 지휘 통제, 타격무기체계 등을 유기적으로 통합하는 역할을 한다. 기존의 통신 미들웨어 대비 두 배 이상의 응답 속도와 초당 3백 만개 이상의 메시지 및 이벤트를 처리하는 능력을 갖춰, 세계 최고 수준으로 인정받았다. 또한, EDDS의 개발로 우리나라는 국방 통신 미들웨어를 100% 국산화할 수 있게 되었다.

LVC 게이트웨이 개발

그동안 군에서의 전투 훈련은 LVC(Live(실기동훈련), Virtual(모의장비훈련), Constructive(전투지휘훈련))가 각각 진행되었다. 이를 통합한 입체적인 훈련체계의 필요성이 강력하게 제기되었으나, 각기 다른 훈련 조직체계와 프로토콜을 사용하고 있어 통합이 어려운 상황이었다.



LVC 게이트웨이 기반의 통합 전투모의 훈련시스템 구성도

이에 ETRI는 2014년부터 4년간 DDS 기반의 LVC 연동 게이트웨이 개발을 추진하였다. LVC 전투 훈련체계를 연동하고 전체적인 상황을 하나의 상황판에서 보면서 실시간으로 지휘 통제함으로써 훈련의 효과를 배가시키기 위한 사업이었다.

LVC 게이트웨이는 DDS 데이터 타입의 송수신 데이터 처리기와 밀결합으로 구성되어 상위 프로토콜 계층으로 넘어가는 데이터 처리 시간을 최소화함으로써 성능을 향상시키는 구조로 개발되었다. 또한, LVC 각각의 훈련체계에서 사용하는 시뮬레이션 데이터 형식(FOM; Federation Object Model)의 표준 양식을 만들어 표준 프로토콜로 쉽게 건너 전할 수 있도록 하였다. 아울러, 새로운 종류의 전투 장비가 개발되어 LVC 훈련체계에 확장·편입될 경우 매우 손쉽게 시스템에 연동될 수 있도록 인공지능을 사용한 FOM 자동 편집 및 변환장치도 개발하였다. 정부가 2019년부터 LVC 기반의 육군합성전장훈련체계(Build-I) 구축을 본격적으로 추진하고 있어, 앞으로 전군의 LVC 모의 훈련 통합수행은 물론, 사단급 이하 작은 부대의 소규모 통합훈련도 가능할 것으로 보인다.국방 기술은 최첨단 기술이 집약된 분야이다. 앞으로도 ETRI는 ICT와 국방 기술의 융합을 활성화하여 점차 정보 중심, 고성능 네트워크 중심, 무인 자동화 중심으로 진행되는 미래전에 대응한 국방력 강화에 기여하고자 한다.

대경권연구센터 발족

ETRI는 지난 2006년 9월 정보통신부의 「지역특화 IT 클러스터 지원계획」에 따라 ‘임베디드 SW’가 전략 산업분야인 대구·경북 지역에 ‘ETRI 임베디드SW기술지원센터’를 설립하였다. 이어서 2008년 ‘대구임베디드SW연구센터’로 명칭을 바꾸고, 2009년에는 조직을 확대하면서 다시 ‘대경권연구센터’로 변칭을 변경하여 현재에 이르고 있다. 연구센터의 목표는 ‘지역 ICT 산업 및 주력산업의 연구역량 강화, 기술경쟁력 강화 및 부가가치 창출 등 대구·경북 지역전략산업 육성을 위한 R&D 허브 역할 수행’이다. 2011년에는 대구테크노폴리스에 센터 건물을 신축하여 지금까지 활용하고 있다.

연구센터는 인공지능 기술 기반 ICT 융합기술 고도화를 통해 지역전략산업과 연계한 미래 산업 R&D 역량을 키우는 데 주력하고 있으며, 주요 연구영역은 스마트시티, 스마트이동체, 스마트의료, 스마트팜 등이다.



대구 임베디드SW기술지원센터 개소식

## 스마트시티 기술개발

연구센터는 지역민의 삶의 질과 직결되는 교통·안전·방범 분야의 스마트시티 인공지능 응용서비스 기술을 개발하고 있다. 대표적인 것이 교차로 교통량정보를 자동으로 수집하는 ‘지능형 교통정보수집시스템’이다. 이 시스템은 딥러닝 기반의 교통객체 검출 및 추적 기술을 이용하여 교차로 진입 차량 대기열, 방향별·차종별 차량 통행량 그리고 횡단보도 보행자 통행량을 자동으로 산출하고 서버에 저장하여 시간대별, 요일별, 계절별 데이터를 제공한다. 센터는 2020년 대구시의 17개 주요 교차로를 대상으로 한 지능형 교통정보 수집 인프라 구축을 지원하였으며, 수집된 데이터는 최적 신호 운영체계 수립, 실시간 차량흐름 정보제공 그리고 실시간 신호제어 등의 교통서비스에 활용되고 있다.

또한, 생활 속 방범 이벤트를 자동으로 감지하는 ‘지능형 영상분석 시스템’을 개발하였다. 지능형 영상분석 시스템은 보안용 CCTV 영상에서 다중객체 인식 및 추적 기술을 바탕으로 방범 이벤트(침입, 배회 등)를 탐지하고, 이벤트나 객체(차종, 차 색, 보행자 의복 등)의 속성을 기반으로 검색 기능을 제공한다.

아울러, 주차 공간을 효율적이고 편리하게 관리하며, 서비스 품질을 증대시키기 위한 ‘스마트 파킹 기술’을 개발하였다. 이 기술은 실외 특성상 여러 대의 카메라 설치가 어려운 점을 보완하여 최소한의 카메라만으로 여러 대의 차량을 동시에 인식하고, 재식별 기술을 접목하여 차량을 추적, 주차 여부와 위치 정보 및 여유 주차 공간에 대한 정보를 추출하는 기술이다. 추후 스마트 모빌리티 서비스의 한 부분으로 통합될 수 있을 것으로 보인다.

2018년에는 ‘스마트 교통관제용 차량인식 기술’을 주제로 세계 최대 영상보안학회인 ‘AVSS 2018 챌린지’ 첨단교통감시 분야에서 1위를 차지하여 그 기술력을 인정받았다. 당시 2위는 독일의 크라운호퍼였다. 본 시스템은 딥러닝 영상 기술을 기반으로 혼잡한 교차로와 도로에서 촬영한 CCTV 영상으로부터 차량의 분류, 위치를 찾아내는 것으로, 이를 적용하면 교차로에 진입한 차량의 좌우 회전, 직진, 1·2차로 진행 방향 등을 매우 정확하게 알 수 있으며, 혼잡한 도로가 획기적으로 개선될 수 있다. 이 기술은 향후 대구광역시 추진하는 ‘스마트 시티 국가전략프로젝트’에 활용되어 ‘지능형 교통 운용체계’의 개발을 지원하게 된다. 또한, 경북 김천시에서 운영하는 ‘스마트 보행 안전 및 방범 시스템’에도 적용할 예정이다.

## 스마트팩토리 기술개발

연구센터는 ‘머신비전(machine vision) 검사 기술’ 개발에도 주력하고 있다. 이 기술은 스마트팩토리의 기초기술로, 제조업의 자동화와 지능화가 가속화되면서 세계적으로 연평균 약 20%씩 성장하고 있다.



ETRI 스마트팩토리 연구

센터는 2018년 ‘오일씰 비전 검사 기술’을 개발하였다. 카메라를 이용하여 얻은 오일씰 부품 영상을 머신비전 검사 기술로 분석하여 오일씰 부품의 품질을 분석하는 기술이다. 오일씰은 자동차 부품 가운데 하나로, 누유를 막기 위해 고무와 철로 구성된 제품으로써 정형과 비정형에 대한 검사가 모두 가능한 기술을 사용해야 한다. 본 기술은 내정부에서 고무의 상태, 측면부에서 고무와 철 표면의 상태·치수, 상단부에서는 고무 표면·스프링의 상태에 해당하는 15개의 항목에 대하여 1.2초 안에 검사를 완료하고 분류하는 성능을 확보하였다. 이 장비를 이용하면 하루에 8시간씩 검사하는 인력을 대신하여 24시간 동안 7만 2천 개의 제품을 자동으로 검사하고 일정한 품질을 유지할 수 있다. ETRI는 평화오일씰공업(주), (주)평화이엔지와 함께 개발한 오일씰 비전 검사 시스템의 안정성과 신뢰성을 확보하기 위한 시험을 지속해서 진행하고 있다.

## 스마트이동체 기술개발

연구센터는 대구지역의 종합 농기계 생산업체인 (주)아세아텍과 함께 기존의 기계식 이앙기를 전자식으로 업그레이드하기 위해 전자제어 플랫폼을 개발하고, 이를 토대로 2017년 ‘전자제어식 승용 이앙기 제어 기술’을 개발하였다. 개발된 이앙기는 이앙기 제품의 선두를 달리고 있는 일본 제품보다 수평, 깊이 승 하강 제어 성능이 우수하다. 연구센터는 후속 과제로 자율주행이 가능한 ‘자율주행 무인방제기 기술’을 개발하여 실증 테스트 중이며, 향후 농업 분야에 센서 및 자율주행 기술을 접목하는 데 집중할 계획이다.

한편, 대구·경북 지역의 기반 산업인 자동차 부품산업을 고도화하기 위해 자율주행 차량용 ADAS(Advanced Driver Assistance Systems) 기술을 개발하고 있다. 특히 핵심 센서인 레이더 모듈과 관련하여, 레이더 송수신의 핵심이 되는 안테나 제작 기술, 시스템 기술, 신호처리 기술 등의 선도기술을 개발하고 있다. 수년간 24GHz, 77GHz, 79GHz 대역 순으로 주파수 대역을 높이는 기술고도화 작업을 진행하고 있으며, 2019년에는 중거리·근거리 탐지용인 77GHz 레이더 모듈과 근거리 탐지용인 79GHz 모듈의 시제품 개발을 완료하였다. 또한, 24GHz 대역의 보행자 탐지 기술, 도로 차량 감지 기술 등의 ITS(지능형 교통체계)에 적용 가능한 레이더 센서를 개발 중이다.

물류 및 제조환경에서 활용될 수 있는 AGV(Automated Guided Vehicle) 형태의 물류 로봇과 관련된 기술도 개발 중이다. 제조환경에서 다중 물류로봇을 운영하기 위한 스케줄러와 함께 작업환경에 적합한 AGV 대수 및 물동량을 산출하기 위한 시뮬레이터를 개발하여 기술이전에 성공하였다. 이를 시작으로 물류로봇 운용에 필수적인 지도제작 및 위치 추정 기술, 장애물 인지 기술, 이동궤적 계획 및 추종 기술 등 다양한 요소기술들을 개발



지능형교통시스템 정보통신기술 워크숍 및 전시회



2014년 부산백스코 ITU전권회의 WIS에서 시연 모습



하고 있으며, 특히 작업자와 함께 협업이 가능한 휴먼 추종 물류로봇 개발에 박차를 가하고 있다.

### 스마트의료 기술개발

연구센터는 경북대학교병원 모발이식센터와 대구에 소재하는 오대금속(주) 등과 함께 수술 시간을 절반으로 줄이고 수술 의사의 팔 움직임도 10분의 1로 줄인 '자동 식모기'를 세계 최초로 개발하여 상용화 중이다. 아울러, 중간단계인 수동식 단발 형 식모기의 단점을 개선한 연발형 식모기도 개발 완료하여 2019년에 미국 FDA 품목허가 승인을 획득하였다.

한편, 병원 내에서 주기적으로 측정하던 환자 생체신호를 의료진과 환자가 비대면 환경에서 실시간 측정할 수 있도록 하는 '비대면 실시간 감염병 환자 생체모니터링 시스템 기술'을 지역기업인 (주)트라이벨랩과 공동으로 개발하였다. 이는 코로나19 팬데믹 환경에서 병원 내 발생할 수 있는 의료진의 2차 감염을 최소화하고, 부족한 의료인력 문제를 해결해줄 수 있는 기술이다. 실제로 연구진은 국내 코로나19 발생 초기, 서울대학교병원 문경 생활치료센터에서 서울대병원 본원 의료진과의 협업을 통해 이 기술을 코로나19 경증환자에게 적용하였으며, 2020년 7월 의료기기 품목인증을 획득하였다. 아울러, 서울대학교병원 노원구 생활치료센터에도 기술을 적용하였다.

의료 3D 프린팅 기술 분야에서는 대구지역 특화 분야인 치과 소재·기기 분야에 대한 기술개발에 집중하고 있다. (주)메가젠임플란트와 공동으로 시술 가이드 소재, 치조골 3D 프린팅 소재 및 프린터를 개발하여 현재 상용화를 진행 중이다. 또한, 세라믹 소재를 적용한 두개골 이식을 위한 소재 및 프린팅 기술도 개발하고 있다. 이 밖에도 지역기업들의 수요를 기반으로 스마트 약상자, 정제 약품 계수 시스템, 환자 생체신호 실시간 모니터링 시스템을 개발하였다.

연구센터는 최근 인공지능을 적용한 의료서비스 개발에도 연구 역량을 집중하고 있다. 인공지능 기반 환자 조기경보 시스템과 다양한 부정맥을 진단할 수 있는 기술을 개발하고 있다. 또한, 지역 병원 및 기업체의 수요에 부응하여 의료·보건·복지 분야에 ICT 기술을 융합하는 연구도 지속할 계획이다.

### 스마트팜 기술개발

연구센터는 '농업용 알파고' 개발을 목표로 2013년부터 스마트팜 기술 분야를 집중적으로 연구해왔다. ICT를 적용하여 안정적으로 작물을 재배하는 스마트팜 기술에 대한 관

심이 커지고 있으나, 농가에서는 네덜란드 등의 외산제품을 운용하고 있어, 시스템 운용 및 유지보수의 어려움뿐만 아니라 높은 가격 대비 낮은 시스템 신뢰성 등의 문제를 겪고 있었다.

연구센터는 국가과학기술연구회(NST) 융합연구단 사업에 참여하여 '스마트팜 복합환경제어 솔루션' 기술을 발전시켜 현재 국내 60개 농가에 스마트팜 기술을 상용화하였다. 이 솔루션은 세계 최고 수준의 외산제품과 동급 기능을 제공하면서도 가격은 50% 정도 저렴하다. 또한, 외산제품을 설치하기 힘든 소규모 국내 온실 구조에 적합하도록 이중화 및 분산 시스템을 채택함으로써 신뢰성 관점에서도 우수성을 확보하였다. 이를 통해 고가의 해외 스마트팜 제품의 수입을 줄이고, 농가의 편의성과 생산성을 높였으며, 해외 시장 진출을 통해 스마트팜 시스템의 국가경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

향후, 이 솔루션에 IoT, 로봇, 빅데이터, 인공지능 등 4차 산업혁명의 핵심기술을 적용하여 더욱 다양한 농업용 서비스 기술들을 개발하고 최종적으로는 사람의 개입 없이 스스로 농사를 짓는 인공지능기반 자율형 온실 기술을 완성할 예정이다.

### 대구·경북 지역의 산업경쟁력 강화에 기여

연구센터가 개발한 기술들을 기반으로 연구소기업 설립도 잇따랐다. 2014년에는 ADAS 응용을 위한 주행환경 검출 기술을 토대로 (주)이인텔리전스가, 2015년에는 차량 주행환경 검출 및 교통객체 고속검출 및 감시시스템 기술을 토대로 컴퍼스트(주)가, 그리고 2018년에는 레이더 응용기술을 토대로 (주)엔디오에스가 출범하였다.

이러한 가운데, 모발 자동 식모기, 스마트팜 복합환경제어 통합솔루션 기술 등은 2015년 이후 매년 7~10건의 기술이전에 성공하여, 4~6억 원의 착수기본료와 4천만 원 정도의 경상기술료 수입을 올리고 있다. 연구센터가 최근 5년간(2015~2019) 출원한 특허 건수는 232건이며, 애로기술지원 및 기술자문을 지원한 건수는 223건이다.

이 밖에도 연구센터는 오대금속(주)의 다연발 모발 식모기 터키 진출, (주)제윤메디컬의 실시간 복막모니터링 시스템 모로코 진출, (주)렉스젠의 교통객체 추적기반 신호 위반 단속 시스템 필리핀 진출 등을 지원하였다. 또한, 2019년에는 이수그룹과 함께 중국 신장성에 위치한 5ha 규모의 대형 온실에 스마트팜 솔루션을 수출하였는데, 이는 국내 최초의 대규모 해외 스마트팜 구축 사례이다. 현재 필리핀과 베트남 등으로도 수출을 계획하고 있다.



ETRI 대경권연구센터 전경



ETRI 대경권연구센터 연혁

### 3-2-4. SW 품질

#### SW 위기를 극복하기 위한 개발방법론 필요

SW 개발은 HW와 달리 눈에 보이는 유형의 것이 아니기 때문에 여러 문제점을 동반한다. 프로젝트 대부분이 계획했던 일정보다 지연되거나 예상했던 비용을 초과하고, 개발된 SW 산출물의 유지보수가 어려워 HW와 SW의 생산성에 차이가 발생하는 이른바 'SW의 위기'가 온다는 것이다.

선진국에서는 이미 오래전부터 SW의 위기를 극복하고, 시스템 개발의 생산성과 품질 저하를 해결하기 위해 'SW 개발방법론'을 연구해왔다. 한편, 국내에서도 1980년대 후반부터 방법론을 도입하였고, 특히 시스템 통합 사업의 팽창으로 1990년대부터는 도입이 더욱 활발해졌다. 그러나 국내에서 활용되는 대부분의 방법론이 외국에서 만들어져 우리의 개발 문화와 상이한 점이 많았으며, 방법론의 확장이나 특성에 따른 변경이 어렵다는 문제가 제기되었다. 또한, 중소기업들은 자체적인 개발방법론 개발 여력이 부족한 것은 물론이고 고가의 외산 방법론을 도입하는 것도 어려운 실정이었다.

#### 한국형 SW 개발방법론 '마르미' 개발

ETRI는 국내 현실의 어려운 상황을 인식하여 1994년부터 1997년까지 당시 국내에서 널리 사용되고 있는 구조적 방법과 정보공학 방법에 기반한 한국형 SW 개발방법론 '마르미(MaRMI; Magic and Robust Methodology Integrated)'를 개발하였다. 이는 체계적인 구성을 갖추지 못한 개념, 방법, 기법, 절차 및 경험적 지식을 쉽고 편리하게 사용할 수 있도록 재구성하여 우리의 개발 여건에 적합하도록 만든 SW 개발방법론이다. 마르미는 '자신의 몸에 적합한 옷을 만들기 위해 재단한다.'는 우리말 '마름질'에서 착안한 명칭이다.

'마르미 개발방법론'은 매우 상세하고 쉽게 기술되어 있다. 기존의 개발방법론이 SW의 생명주기(software life-cycle) 가운데 개발 영역(category)을 중심으로 수행할 작업(task)이 무엇인지(what) 정도만 기술했던 것에 비하여, 마르미는 개발 영역뿐만 아니라 프로젝트 관리 및 지원 영역의 공정을 포함한 작업의 세부 절차까지 상세하게 정의함으로써 매뉴얼만으로도 내용을 충분히 습득할 수 있도록 하였다. 또한, SW의 개발 공정을 정의한 절차서 외에도 작업을 효율적으로 수행할 수 있는 다양한 기법을 정의한 기법서, 산출물



마르미 보급 설명회

의 양식을 정의한 양식 정의서와 다양한 적용사례를 함께 제공하여, SW 개발 프로젝트를 직관적으로 수행할 수 있도록 하였다.

ETRI는 SW 개발 기술의 발전에 따라 개발방법론의 개발 및 보급 사업을 지속해서 추진하여, 1998년 10월에는 객체지향 방법을 지원하는 '마르미-II', 2003년 9월에는 SW 컴포넌트 기반 개발을 지원하는 '마르미-III', 2006년에는 제품계열 기반 개발을 지원하는 '마르미-IV' 개발방법론을 발표하였다.

#### 국내 SW 개발 표준으로 자리매김

ETRI는 한발 더 나아가, 2010년 10월에 정보통신부와의 협의를 통해 「국내 SW 산업의 경쟁력 확보 및 신인도 향상을 위한 마르미 보급 활성화 정책」을 시행하였다. 이 정책은 공공기관 및 대학 등 비영리 기관에 마르미 개발방법론 무상보급, 기술이전 계약에 따른 착수기 본료의 대폭 감면 및 대상 기관 확대, 제품 매출이 아닌 용역 매출의 경우 로열티 면제, 마르미 개발방법론 교육 정례화 등의 내용을 담고 있다.

마르미 개발방법론은 현재 국내 180여 기관에 이전이 완료되어 다양한 SW 개발 프로젝트에 활용되고 있다. 국내의 개발 여건을 반영한 양질의 국산 개발방법론 보급을 통하여, 외산 개발방법론을 완전히 대체하고 사실상의 국내 개발 표준으로 자리매김하였다.

### 3-2-5. SW 플랫폼

#### 표준 모바일플랫폼 개발의 필요성 대두

2000년대에 들어서면서 국내 이동통신 응용·서비스는 폭발적인 성장세를 보였다. 그러나 당시에는 통신사마다 단말에 탑재하는 플랫폼이 모두 달라 응용콘텐츠 및 서비스의 발전에 어려움이 컸다. 이는 응용 및 콘텐츠 개발사뿐만 아니라 단말 제조사에도 비효율적인 환경이었는데, 한 개의 단말을 출시하고자 할 때마다 통신사별 플랫폼을 각각 구현해야 했기 때문이다. 대표 단말일수록 많은 플랫폼을 지원해야 해서 5개의 플랫폼 구현팀이 구성된 적도 있었다.

한편, 1990년대 중반 우리나라가 미국 퀄컴(Qualcomm) 사의 CDMA 방식 이동통신을



한국 무선인터넷 표준화 포럼 창립총회



도입하기로 하면서 퀄컴이 국내 이동통신 시장의 강자로 부상하였다. 이러한 국내시장에서의 강한 입지를 기반으로 당시 퀄컴은 무선인터넷플랫폼인 BREW를 출시하며 새롭게 SW 플랫폼 시장에 진출하겠다는 야심을 보였다. 이는 CDMA 칩셋 시장이 종속되어 있는 상황에서 SW 플랫폼 시장까지 퀄컴에 종속될 수 있다는 심각한 우려를 낳았다.

### 한국형 무선인터넷플랫폼 표준규격 ‘WIPI’ 개발

이러한 배경 속에서 2001년 ETRI 주도로 한국형 무선인터넷플랫폼 표준규격인 WIPI (Wireless Internet Platform for Interoperability) 개발이 시작되었다. 시작단계에서는 이동통신연구소(소장 한기철)가 WIPI를 담당하였으나, WIPI가 SW 플랫폼 기술인 만큼 전문성을 고려하여 컴퓨터·SW연구소(소장 김명준)로 담당부서를 변경하여 대응하게 되었다.

WIPI 개발의 주체는 이동통신 3사(SKTelecom, KTF, LGTelecom)가 출자하여 설립한 한국무선인터넷표준화포럼<sup>121)</sup>이었다. 포럼에는 통신 3사뿐만 아니라 삼성전자, LG전자 등 단말 제조사, SW 솔루션·콘텐츠 개발업체들이 참여하였고, ETRI가 포럼 의장 및 WIPI 규격 개발을 실질적으로 담당하는 모바일 플랫폼 분과장을 맡아서 개발을 진행하였다.

WIPI의 규격 초안은 민간기업이 선행 개발하는 방식을 취하였고, 이에 따라 2001년 12월 초안 개발을 위한 컨소시엄이 구성되어 3개월간 운영되었다. 그러나 이 과제를 수행한 주관기업이 Java 전문기업이어서, Java API에 비해 C API는 상대적으로 매우 빈약하였고 수정할 부분도 많았다. 표준 채택 후 상용화로 가는 일정이 매우 촉박한 상황이었기 때문에 결국 ETRI 연구원들이 밤을 새워 단기간에 C API까지 모두 완성, 일정에 맞출 수 있었다. WIPI는 2001년 7월 필요성에 대한 논의가 시작된 이래 WIPI V1.0이 개발되어 2002년 5월 한국정보통신기술협회 단체표준으로 채택되었다. 그로부터 3년 후인 2005년, 정보통신부는 전기통신설비의 상호접속기준 고시에 따라 4월 1일부터 출시되는 국내 휴대전화 단말기에 WIPI 탑재를 의무화하였다. 2009년 4월 WIPI 탑재 의무화가 해제될 때까지 V1.1, V1.2 및 V2.0까지 규격이 추가로 개발되어 표준화된 응용·서비스 개발 인터페이스를 제공하였다.

한편, WIPI를 탑재한 단말은 2003년 6월 LG전자가 처음으로 출시하였고, 2005년 3월 기준 64종류의 모델(SK-T 48, KTF 14, LG-T 2)에 V1.x이 탑재되었다. 이로써 단말 제조사들은 신규 단말에 플랫폼을 이식하는 시간·비용을 줄일 수 있었고, 콘텐츠 개발사들도 마찬가지로 거의 수정 없이 이동통신 3사에 콘텐츠를 서비스할 수 있게 되었다. 또한, 퀄컴의 지배력이 SW 플랫폼 및 응용 시장으로 확산하는 것을 차단하는 효과도 얻었다.



무선인터넷플랫폼 표준규격 공동개발 협약식

121) 한국무선인터넷표준화포럼(Korea Wireless Internet Standardization Forum, KWISF): SKTelecom, KTF, LG-Telecom이 공동대표로 2001년 5월 설립한 비영리표준화단체이다.

### 세계 최초로 C 및 Java API 모두 지원

WIPI는 모바일 플랫폼으로는 세계 최초로 C 및 Java API를 모두 지원하였다. ANSI(American National Standard Institute) C 및 JCP(Java Community Process) 국제표준을 지원하였고, 특히 당시 모바일에서 많이 활용되던 Java는 JCP의 J2ME(Java™ 2 Platform, Micro Edition) 표준규격과 완전한 호환성을 제공(V2.0)하였다. 또한, WIPI는 단말 제조사의 HW에 대한 추상화 계층인 HAL(Handset Adaptation Layer)을 정의하여, 모바일 단말에서 운영체제 역할을 하는 모바일플랫폼이 단말 HW에 대한 표준화된 인터페이스를 가지도록 하였다. 당시 구동 환경이 매우 제한적이던 휴대전화용 SW로는 파격적인 아키텍처 설계였다.

ETRI는 WIPI 개발 과정을 통해 휴대전화의 확장 가능성을 확인하고, 조만간 SW 플랫폼의 역할이 매우 커질 것이라는 점을 확신하게 되었다. 그리고 리눅스에 주목하여 휴대전화용 리눅스 플랫폼 즉, ‘리눅스 모바일플랫폼’을 시범 개발하였다. 이는 Apple 사가 iPhone으로 돌풍을 일으킨 2007년보다 약 2년 앞선 시점이었다. 연구진은 개발된 리눅스 모바일 플랫폼 기술을 토대로 삼성전자가 리눅스 기반 이동통신 단말 개발을 본격 추진하던 시점에 기술협력 지원을 제공하였다.

### 한국을 대표하는 SW 기술전문가로서 ETRI의 역할

2002년 WIPI V1.0이 단체표준으로 채택된 후 탑재 의무화가 시행되기 전까지, 퀄컴은 미국 정부를 통해 WIPI 의무화를 저지하고자 노력하였다.

미국 정부는 한미통상협상 의제에 WIPI를 올렸고, 결국 한미 무역 대표부(USTR)와 정기적인 협상이 진행되었다. 한미통상협상은 분기별로 서울과 워싱턴에서 번갈아 가면서 개최되었다. 이 협상이 2004년 4월 타결되어 마침내 WIPI는 한국 시장에서 의무화될 수 있었다. 협상이 진행되는 동안 ETRI는 한국의 기술전문가로서 처음부터 끝까지 참여하였으며, USTR의 요구로 퀄컴과 별도의 기술전문가 협의 회의를 진행하였다. 또한 Sun Microsystems 사와의 Java 표준규격에 대한 지식재산권 논쟁을 해결하는 데도 주도적인 역할을 수행하였다.

협상 과정 중 2004년 4월 워싱턴에서 개최된 통상협상회의에서 있었던 일이 특히 기억에 남는다. 당시 ETRI는 “퀄컴이 한국 단말 제조사들에게 필요한 정보를 충분하게 제공하지 않고 있는 만큼, SW 플랫폼에서도 같은 상황이 벌어질까 우려스럽다. 따라서 한국에서 WIPI를 의무화하는 것이 타당하다.”고 주장하였다. 그러자 미국 측 USTR 부대표의 얼굴이 순식간에 어두워졌다. 미국이 WIPI 문제를 제기한 기본 원칙이 ‘미국 업체가 한국 내에서 차별 대우를 받아서는 안 된다.’였는데, 차별 대우는 커녕 오히려 퀄컴이 한국에서 소위 갑질을 한다는 얘기를 듣자 당황한 것이다. 부대표는 급히 퀄컴에 연락해 확인 지시를 내렸고, 퀄컴은 한국과의 사차 때문에 곧바로 확인하는 것이 어렵다는 궁색한 답변을 내놨다. 물론, 이후에도 확인 답변은 오지 않았다. 결국, 다음 날 오전에 합의서 최종 서명이 이루어졌고, WIPI 탑재 의무화가 가능해졌다.

— 김선자 박사(당시 ETRI SW플랫폼연구팀장)



음성정보기술연구센터 현판식



한일 자동통역 시연

## 언어처리 기술

‘언어처리 기술’은 사람의 언어에 대한 분석, 이해, 생성, 지식화 등을 다루는 기술로써 대표적인 응용 분야는 정보검색 · 질의응답, 대화처리, 자동번역 등이 있다.

자동번역 분야에서는 1996년 일-한, 1997년 한-일 자동번역 시스템을 개발하였으며, 1998년부터는 영-한, 한-영, 한-중 자동번역 기술개발도 본격적으로 추진하였다. 또한, 특허청과 함께 특허문서 자동번역시스템을 개발하여 2005년 상용화하는 데 성공하였고, 2008년부터는 구어체 처리 기술, TV 드라마 자동번역 기술 등을 개발하였다. 아울러, 2016년부터는 신경망 자동번역 기술을 개발하여 자동통번역 품질을 대폭 개선하였다. ETRI가 국내 최초로 개발한 단말탑재형 신경망 자동번역 기술은 (주)한컴인터프리에 이전 되어 2019년 단말탑재형 통역기 ‘지니톡 고’로 상용화되었다.

질의응답 분야에서는 2013년부터 ‘엑소브레인’ 과제를 통해 시스템이 문장 · 문서의 내용을 이해하고 사람의 질문에 맞는 대답을 하는 심층질의응답 기술을 개발하고 있다. 이 시스템은 2016년 11월 장학퀴즈에서 왕중왕전 우승자, 수능만점자 등과 벌인 사람과의 퀴즈 대결에서 큰 점수 차이로 우승하는 놀라운 결과를 도출하였다. 2019년부터는 학습시킨 한국어 딥러닝 언어모델(KorBERT)을 학계 및 산업계에 배포하고 있다.

## 시각인식 기술

‘시각인식 기술’은 시스템이 이미지 혹은 동영상상을 처리하여 그 대상을 이해하고, 목적에 맞는 대응을 하도록 하는 기술이다. ETRI는 2014년부터 영상에서 사람과 사물을 인식하고 행동을 이해하는 ‘딥뷰(DeepView) 플랫폼’을 개발하고 있다. 딥뷰는 세계 최고의 국제영상인식대회인 ‘이미지넷 챌린지 대회(ILSVRC)’에서 전 세계의 우수한 팀들과 겨루어 사물 종류별 검출 성능 기준 2위를 달성하였고, 현재 서울시와 세종시에서 쓰레기 무단투기 단속 실증연구에 적용되고 있다.

## 음성인식 기술

‘음성인식 기술’은 크게 자동통역 기술과 언어교육 기술로 나뉜다. 이 가운데 자동통역 분야의 기술개발은 1993년 ‘신경제 5개년 계획을 위한 미래복합형 기술개발’ 과제에 통역기 연구가 포함되면서 시작되었다. ETRI는 1996년부터 미국 카네기멜론대학교, 일본의 ATR, 독일의 지멘스 등과 함께 ‘C-STAR II’이라는 컨소시엄을 발족하고 자동통역 연계 · 협력연구를 추진하였다. 이후 컨소시엄에는 이탈리아, 중국 등이 추가적으로 참여하였다. ETRI는 이 연구를 통해 음성인식 · 언어번역 · 음성합성 기술을 통합하여 우리말 5,000여 단어를 영어 · 일어 · 프랑스어로 자동통역하는 ‘대화체 음성언어 번역시스템’을 개발하고, 1999년 7월 미국, 일본, 프랑스와 함께 자동통역을 시연하였다. 화면을 보며 외국어의 현지인에게 우리말로 질문하면 스피커를 통해 곧바로 상대방 외국어가 우리말로 통역돼 나오는 시연이었다.

2009년에는 말 한마디로 원하는 콘텐츠를 찾을 수 있는 음성인식 IPTV 시스템을 개발하였다. 이로써 리모컨 키패드 검색의 불편함을 해소할 수 있게 되었다. 또한, 2010년에는 세계 최초로 수십만 개의 행선지명을 음성으로 검색할 수 있는 ‘단말기 내장형 한국어 대어휘 음성인식 기술’을 개발하는 데 성공하였다.

2012년부터는 모바일 단말용 자동통번역 앱인 ‘지니톡’ 개발을 시작하여, 2014년 아시안 게임과 2018년 평창동계올림픽의 성공적 개최에 기여하였다. 특히, 터치 없이도 통역할 수 있는 ‘Zero UI 동시통역 개념’을 세계 최초로 제안하고 국제표준화하였으며, 평창동계올림픽에서는 역시 세계 최초로 ‘올림픽 공식 자동통번역 서비스’를 제공하였다.

언어교육 분야에서는 2010년부터 ‘디지털 원어민 교사 실현’을 목표로, ‘대화형 영어 말하기 교육 기술개발’ 연구를 추진하였다. 이를 통해 컴퓨터가 원어민 선생님의 역할을 대체 또는 보완하여 듣고(음성인식 · 이해), 말하고(대화처리), 가르쳐주는(평가 · 튜터링) 자유 발화형 외국어 학습 기술을 개발하였다.



외국어 음성 DB연구



단말탑재형 자동통역 시연





음성언어번역 국제공동 시연회



자동통역 지니톡

### 3-3-1. 인공지능

#### 모바일 단말용 자동통역 앱 ‘지니톡’ 개발

자동통역 기술은 모국어로 외국인과의 의사소통을 가능하게 해주는 고난도 첨단기술로, 다국어 음성인식·자동번역·음성합성 기술로 구성되며, 구글, 마이크로소프트, IBM 등 세계적인 IT 대표기업 간 시장선점을 위한 기술경쟁이 치열한 분야이다.

ETRI는 1990년 초반부터 자동통역 핵심기술을 개발해 왔으며, 2008년에 모바일 단말용 자동통역 앱인 ‘지니톡(GenieTalk)’을 본격 개발하기 시작하여, 2012년에 한-영 자동통역 대국민 시범서비스를 실시한 바 있다. 이후로 지니톡은 중국어, 일본어 등 대상언어를 확장하여 2014년 인천아시안게임에 서비스되었으며, 이 서비스는 2018년 평창동계올림픽 자동통역서비스를 성공적으로 실시하는데 큰 경험이 되었다.

#### 언어장벽 없는 평창동계올림픽 성공

ETRI는 2016년부터 ‘언어장벽 없는 평창동계올림픽’이라는 슬로건 아래, 올림픽 공식지원업체로 지정된 한글과컴퓨터와 함께 다국어 자동통역 기술개발에 본격 착수하였다. 세부목표는 세계 최고의 여행·관광 분야 한-7개 국어 자동통역 기술개발, 국내 최초 8개 국어(영어, 중국어, 일어, 불어, 스페인어, 독일어, 러시아어, 아랍어) 대화체 연속어 음성인식 기술개발, 한-7개 국어 언어 대화체 자동번역 기술개발 등이었다. 정부는 ETRI의 세계적인 ICT 기술을 토대로 언어장벽을 해소함으로써 언어장벽 없는 평창동계올림픽을 성공적으로 개최할 수 있도록 적극적으로 사업을 지원하였다.

올림픽 이후 ETRI는 한층 진화된 기술인 터치 없이도 통역할 수 있는 ‘Zero UI 동시통역 개념’을 세계 최초로 제안하였다. 그동안 자동통역 앱을 사용할 때는 스마트폰 화면을 터치하고 말해야 해서 불편이 컸다. 연구진은 이러한 불편함을 없애주는 Zero UI 동시통역 개념을 제안 및 구현하는 데 성공하였다. 이로써 사용자들은 앱만 실행하면 스마트폰에 손을 대지 않고도 자연스럽게 대화하듯 자동통역 서비스를 활용할 수 있게 되었다. 이 기술은 2017년 12월 특허기술상 충무공상을 수상하였으며, 2018년 2월에는 ISO·IEC JTC1·SC35 국제표준화 그룹에서 ‘Face-to-Face Speech Translation’이라는 명칭으로 국제표준에 채택되었다.

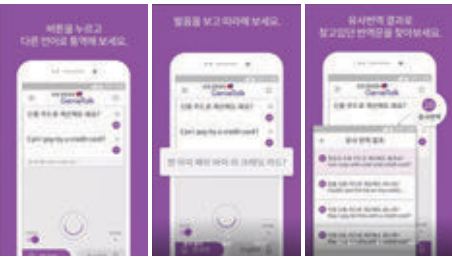
이러한 ETRI의 기술력을 기반으로 우리나라는 2018년 평창동계올림픽에서 세계 최초로

‘올림픽 공식 자동통역 서비스’를 제공하였다. 이는 대한민국에 주목하는 전 세계인을 대상으로 한국 ICT 기술의 우수성을 널리 알리는 계기가 되었다. 당시 한국어·중국어 음성인식은 구글보다 우수하였으며(한국어는 1.5% 이상 우위, 중국어는 1% 이상 우위), 영어·일본어·스페인어·불어·독어·러시아어는 구글과 동등 수준의 성능을 보였다.

전 세계로 확산되는 지니톡

지니톡은 2020년 현재 전 세계 20여 개국에서 사용하는 대표적 통번역 앱으로 성장하였다. ETRI는 8개국어 이외의 다양한 언어(베트남, 인도네시아어, 힌디어 등)로 자동통역의 범주를 확대하고 있으며, Open API 지원을 통하여 응용 SW 개발자와 수요 업체가 자사의 제품에 자동통역 기술을 손쉽게 적용할 수 있도록 지원함으로써 자동통역의 대중화에 앞장서고 있다. 또한, 지니톡의 우수한 기술력을 토대로 국내 굴지의 SW 업체인 한글과컴퓨터는 2015년 자동통역 분야로의 진출을 전격 선언하고, 자동통번역 전문기업인 한컴인터프리를 연구소기업으로 창업하였다.

앞으로 ETRI의 자동통역 원천기술은 대화형 인공지능, IoT, 지능형 로봇, 스마트기기 등 휴먼인터페이스가 필요한 신성장동력 산업 분야에 활발하게 적용되어 관련 산업의 국제경쟁력을 강화할 것으로 기대된다.



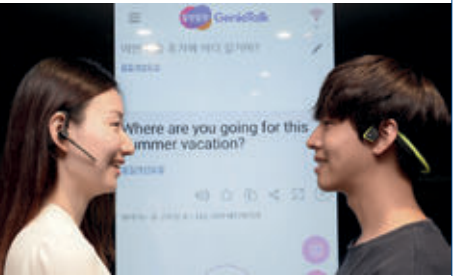
2018 평창동계올림픽 지니톡 자동통번역 서비스 화면

글로벌경쟁력과 직결되는 자동번역 기술

자동번역 기술은 언어장벽에 의한 글로벌 의사소통 문제를 해결하기 위해 한 언어를 다른 언어로 자동으로 번역해 주는 기술이다. 급격한 세계화로 국가 간 인적·물적 교류가 활발해지면서, 자동번역 기술의 확보는 국가 글로벌경쟁력과 직결되고 있다.

새롭게 신경망 자동번역에 도전

그동안 자동번역은 구글, MS, Baidu 등 글로벌 ICT 기업이 세계 시장을 주도해왔다. 이들 기업은 2016년부터 다국어 확장성은 높지만, 번역 품질이 낮은 ‘통계기반 자동번역(SMT; Statistical Machine Translation)’ 방법론을 버리고, ‘신경망 자동번역(Neural Machine Translation)’ 기술을 본격 적용하여 번역 품질을 대폭 개선하기 시작하였다. 인공지능망은 인간이 생각을 하는 최소 단위인 뉴런의 집합체(신경망)를 SW적으로 구현



신경망 자동통역 지니톡

하고 이 신경망에 번역 능력을 학습시키는 기술로, 단어가 문맥에서 가지는 미묘한 의미 차이까지도 분석할 수 있다.

ETRI도 2016년부터 ‘지식증강형 실시간 동시통역 원천기술개발’ 과제를 통해 기존에 개발하던 규칙기반 자동번역 기술 대신 신경망 자동번역 기술을 개발하기 시작하였다. 기술개발의 일차적인 목표는 2018년 2월 평창동계올림픽에서 8개 국어 자동통번역 서비스를 선보이는 것이었다. 과제에는 시스트란인터내셔널(現 엘솔루), 한컴인터프리, 솔트룩스, 에버트란 등이 공동연구기관으로 참여하였다.

과제 수행을 통해, 첫째로 딥러닝 기술을 적용한 신경망 자동번역 기술을 개발하는 데 성공하였다. 이로써 기존 자동번역 기술보다 번역 성능은 물론 다국어 확장성도 뛰어난 원천기술을 확보하게 되었다. 현재는 베트남어 등 동남아권 언어로 자동번역 대상을 확대해 나가고 있다. 둘째로 국내 최초로 네트워크 없이 실행 가능한 단말탑재형 신경망 자동번역 기술을 개발하였다. 양방향 신경망 자동번역을 140M 이하의 실행 메모리로 최적화하여 단말탑재가 가능한 크기로 개발한 것이다. 연구진은 Large network의 정보를 Small network로 전달하여 학습하는 증류학습 기술을 기반으로 신경망 자동번역 모델의 성능 저하를 최소화하고 경량화하는 데 성공하였다. 셋째로 비정형 연속발화 입력에 대한 의사소통 단위 분절기술 등 실시간 자동번역 원천기술을 개발하였다. 이 기술을 기반으로 실시간·실환경 동영상 강연 통역, 화상 전화 통역, 회의 통역 등에 관한 시제품을 개발하였으며, 추가로 완성도를 높여 공동연구 전문기업들과 상용화를 준비하고 있다.

언어장벽 없는 평창동계올림픽

ETRI는 2017년 한컴인터프리의 ‘말랑말랑지니톡 자동통역 서비스’에 신경망 자동번역 엔진들을 탑재하는 데 성공하였으며, 번역 품질 또한 크게 끌어올렸다. 그리고 짧은 시간 안에 자동번역 엔진들을 빠르게 개선하여 평창동계올림픽에서 8개 국어 자동통역 서비스가 성공적으로 진행되도록 하였다. 대회 기간 중 일 평균 다운로드는 약 3만 건, 통역 처리는 약 30만 건이었다. 이 서비스는 ‘내 손안의 통역기, 언어장벽 해소를 위한 다국어 자동통역 기술’이라는 이름으로 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

ETRI는 동계올림픽 이후 KT 기가지니, SKT NUGU 인공지능 스피커에 다국어(영어, 중국어, 일본어) 자동번역 기능을 탑재하였다. 또한, 국내 최초로 개발한 단말탑재형 신경망 자동번역 기술은 (주)한컴인터프리에 이전되어 단말탑재형 통역기 ‘지니톡 고로’ 상용화되었다. (2019년 4월 출시)





(취한컴인터프리 단말탑재형 통역기 '지니톡 고')

### 다양한 비즈니스 모델로 영역 확장

ETRI의 노력으로 우리나라는 MS, 구글 등 다국적 기업과 경쟁할 수 있는 자동번역 원천 기술을 확보하였으며, 특히 한국어 관련 자동번역 기술을 세계 최고 수준으로 끌어올렸다. 또한, 단말탑재형 신경망 자동번역 기술은 법률, 특허 등 전문분야 문서 자동번역은 물론, 다국어 통역 서비스, 한류 방송 콘텐츠 통역 등의 B2C 비즈니스 모델로 영역을 확장해 나갈 것으로 예상된다. 아울러, 연속 자유발화 실시간 자동번역 원천기술은 스마트폰에서의 단문 단위 통역 환경을 넘어 실시간 동시통역 서비스와 관련된 신규 시장을 창출할 것으로 기대된다.

### 국가 차원의 인공지능 프로젝트 필요성 대두

2011년 IBM의 슈퍼컴퓨터 왓슨이 '제퍼디 퀴즈쇼'에 출전하여 사람을 이기고 우승하는 사건이 벌어졌다. 이를 기점으로 구글 등 글로벌기업을 중심으로 사람처럼 지식을 처리하는 인공지능 기술이 빠르게 진화하기 시작하였다.

국내에서도 미래 국가경쟁력 확보를 위해 국가 차원의 인공지능 기술개발 프로젝트를 추진해야 한다는 의견이 제기되었다. 이에 미래창조과학부는 2013년부터 10년에 걸친 '엑소브레인(Exobrain, 몸 바깥에 있는 인공두뇌를 의미)' 과제를 시작하였다. 과제는 언어를 이해하고 지식을 학습하여, 전문가 수준의 지식을 서비스하는 언어지능 SW 개발을 목표로 하였으며, 1단계에서는 일반분야 대상 분석형 엑소브레인 SW 기반기술을, 2단계에서는 전문분야 대상 엑소브레인 SW 응용기술을, 그리고 3단계에서는 설명 가능한 심층질의 응답 엑소브레인 SW 상용기술을 개발한다는 계획으로 추진되었다. ETRI는 엑소브레인 전체 과제를 총괄하고 1세부과제 즉, '사람과 같이 언어를 이해함으로써 전문가와 해당 전문분야에 대한 질의응답이 가능한 기술'의 개발을 담당하였다.

### 인간의 질의응답 능력 뛰어넘은 엑소브레인

ETRI는 1단계 사업을 통해 사람이 언어를 이해하는 체계를 단위 축과 깊이 축으로 정의하였으며, 단위를 어휘 · 문장 · 문맥으로 구분하고, 이해하는 깊이는 기호처리 · 문법처리 · 의미처리로 구분하여 각 단위 및 깊이에 따라 7종의 언어분석 태스크(형태소분석 · 어휘의미분석 · 개체명인식 · 의존구문분석 · 의미역인식 · 상호참조해결 · 생략어복원)

를 정의하였다. 또한, 표준국어대사전을 기본으로 U-Win, KorLex, 우리말샘, 법률 · 특허 용어를 연결하여 총 509,076건의 WiseWordNet 어휘 의미망을 구축하였다. 그리고 이를 토대로 사람처럼 질문의 의미를 이해하는 질문이해 기술, 대규모 문서로부터 올바른 정답 후보를 추출하는 기술, 질문 및 정답 후보로부터 정답 여부를 검증하는 기술을 개발하였다.

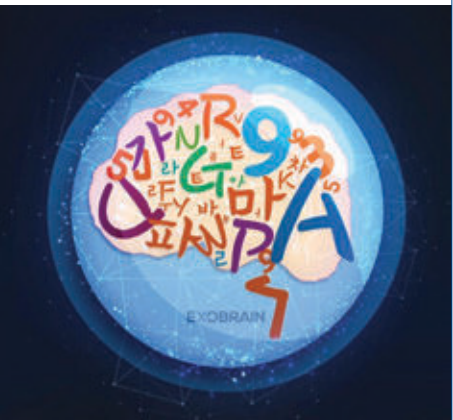
특히, 심볼릭 기반 질의응답 기술과 딥러닝 기반 질의응답 기술의 장점을 결합한 기술을 개발하는 데 주력하였다. 빠르고 정확하게 정답을 찾을 수 있는 문제에 대해서는 정의형 및 지식베이스 기반 질의응답 기술을 개발하고, 질문과 문서의 내용을 심층적으로 이해해야 답변할 수 있는 질문에 대해서는 딥러닝 기반 단락 스캔(Scan) 및 단락 독해(Read) 모델을 이용하여 정답을 제시하도록 한 것이다. 이를 통해 단일 접근방법보다 우수한, 실세계 적용이 가능한 수준의 성능을 구현하였다.

ETRI가 개발한 심층질의응답 기술인 엑소브레인은 2016년 11월 'EBS 장학퀴즈' 프로그램에 출전하여, 왕중왕전 우승자 및 수능 만점자들을 큰 점수 차이로 이기고 우승하는 쾌거를 이루었다. 엑소브레인은 단순히 문서를 찾아주는 웹 검색이나 단답형으로 응답을 하는 수준을 넘어 고난도 서술형 질의에 대한 높은 수준의 응답까지 실현하였다.

이어진 2단계 사업을 통해 ETRI는 빠르게 발전하는 딥러닝 기술을 적극적으로 도입하는 한편, 1단계에서 개발한 언어이해 및 질의응답 기술을 법률 · 특허 등 전문분야를 대상으로 고도화하였다. 2019년에는 한국어의 의미 최소 단위인 형태소까지 고려하여 한국어 특성을 최대한 반영한 언어모델인 '코버트(KorBERT)'를 개발하여 공개하였다. 코버트는 '버트(BERT)' 언어모델을 기반으로 한국어의 교착어 특성까지 반영하고, 구글 대비 더 많은 한국어 데이터를 학습하여 개발한 언어모델이다. 성능을 확인하는 5가지 기준에서 코버트는 구글이 배포한 한국어 모델보다 성능이 평균 4.5%가량 우수하였으며, 특히 단락 순위화(Passage Ranking) 태스크에서는 7.4%나 높은 수치를 기록하였다. 또한, 2019년 10월 '한국어 기계독해 챌린지(KorQuAD V1.0)'에 출전하여 1위를 기록하기도 하였다. 현재 코버트는 학계 및 산업계의 주요 언어모델로 자리매김하였다.

### 기술공개 · 표준화 · 사업화로 엑소브레인 확산

ETRI는 2017년 10월부터 Open API 사이트를 통해 엑소브레인 과제로 개발한 언어 분석, 질의응답, 딥러닝 기술을 공개하고 있다. 2020년 10월 기준으로 약 1,300여 기관에서 총 2천 4백만 건 이상의 API를 활용하였다. (일 평균 약 2만 8천 건) 또한, 엑소브레인 세부기술 7건이 TTA 국내표준으로, 4건이 ISO 및 ITU-T<sup>122)</sup> 국제표준으로



한국형 인공지능 엑소브레인

122) ITU-T(ITU-Telecommunication): ITU(국제전기통신연합)의 전기통신표준화부문이다.



엑소브레인 EBS 장학퀴즈 우승(2016, 11.)

채택되었다. 아울러, 2017년부터 2019년까지 총 22건의 기술이전이 성사되어 착수기 본료 18.1억 원을 달성하였으며, 사업화 실적은 17건, 매출액은 38억 원을 기록하였다. 특히, 마인즈랩은 이전받은 기술을 이용한 '마음 AI 서비스'를 출시하여 2017년 '대한민국 ICT 대상' 지능정보 부분 대상을 받았으며, 데이터솔루션은 2018년 'SW 기술대상' (과기부 장관상)을 수상하였다.

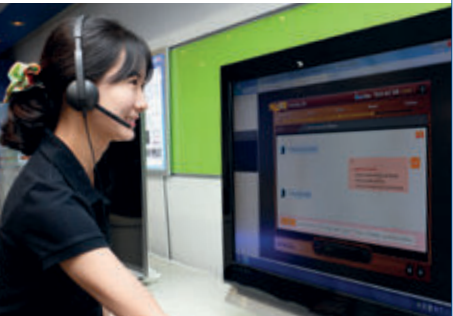
ETRI의 엑소브레인 법령 분야 심층질의응답 시스템은 국회도서관과 국가과학기술연구회 (NST)로부터 우수성을 인정받아 2020년부터 양 기관의 법무 서비스를 위한 SW로 활용 되고 있다. 또한, 국립국어원이 2019년부터 추진 중인 200억 원 규모의 국어 빅데이터 구축사업에도 엑소브레인 언어분석 기술이 활용되고 있다.

앞으로 연구진은 다중 문서로부터 복합 추론이 가능한 질의응답 기술과 텍스트뿐 아니라 음성을 통해서도 질의응답을 진행하고, 사용자와 더욱 밀접하게 소통할 수 있는 '인공지능 지식 아바타'(가칭) 관련 기술개발에 주력할 계획이다.

### 디지털 원어민 교사 실현

ETRI는 축적된 음성인식 기술을 활용하여 2010년부터 '디지털 원어민 교사 실현'을 목표로, '대화형 영어 말하기 교육 기술개발' 연구를 추진하였다. 이를 통해 컴퓨터가 원어민 선생님의 역할을 대체 또는 보완하여 듣고(음성인식 · 이해), 말하고(대화처리), 가르쳐주는 (평가 · 튜터링) 자유대화형 외국어 학습 기술을 개발하였다. 언어교육에 적합한 기술을 개발하기 위해 초기부터 산 · 학 · 연 공동연구 형식으로 연구를 수행하고 있다.

세부적으로 보면, 외국어 말하기 연습이 가능한 '비정형 자연어 음성대화 기술', 비원어민 발성에 대한 '문법 · 발음 · 표현 오류교정 및 유창성 평가 기술', 영어 격차(English Divide) 해소를 위한 '음성대화 원천기술', '언어교육 SW' 등을 개발 중이다. 특히, 기존의 CALL(Computer Assisted Language Learning) 시스템이 원어민 데이터로 개발되어 다양한 국적의 영어학습자가 활용하기 어렵다는 점을 개선하기 위해 한국인을 비롯한 다양한 국적의 영어학습 관련 데이터를 꾸준히 구축하고 있으며, 소규모 데이터로 적응학습을 수행하는 기술을 연구하여 비원어민의 영어 음성인식 성능을 개선하는 데 집중하였다. 이를 통해 문법 · 표현 오류가 포함된 비원어민 구사 영어에 대해서도 문맥을 이해하여 자유대화 처리가 가능한 시스템 개발에 주력하고 있다.



대화형 영어학습시스템 지니튜터

### 시스템과 자유롭게 대화하며 영어학습

ETRI는 2010년부터 2014년까지 수행한 '모바일 플랫폼 기반 대화모델 적용 자연어 음성 인터페이스 기술개발' 과제를 통해 대화형 영어교육 시스템인 '지니튜터(GenieTutor)'를 개발하고 자체 시범서비스를 수행하였다. 지니튜터는 컴퓨터와 대화하면서 자연스럽게 영어를 공부하는 시스템으로, 학습자가 영어로 말을 걸면 컴퓨터가 표현 · 문법 · 발음 등의 오류를 지적하고 교정해주는 형태로 구현된다. 이 시스템은 2016년 원어민 교사가 절실한 울릉군 지역의 초 · 중학교를 대상으로 시범서비스를 수행하여 유용성을 입증한 바 있다. 2015년부터 2018년까지 수행한 '언어학습을 위한 자유대화형 음성대화처리 원천기술개발' 과제를 통해서도 공동연구기관인 동아출판과 함께 'inClass 서비스'를 개발 및 시범서비스 하였다. inClass는 영어 발음 유창성(분절음, 억양, 강세, 발성 속도 등)을 평가하는 서비스이다. 영어평가 전문가의 점수와 inClass의 유창성 점수의 상관도는 0.77로, 이는 ETS의 Speech Rater와도 유사한 수준이다. 특히, inClass는 목적지향 대화 모델과 딥러닝 기반의 자유대화 챗봇을 통합하여 시스템과 학습자가 높은 자유도로 대화하며 학습할 수 있도록 한 것이 특징이다. 문법 · 표현 오류가 포함된 비원어민 구사 영어와 주제를 벗어난 자유발화에 대해서도 자연스러운 응답이 가능하다.

2019년부터 수행 중인 '준지도학습형 언어지능 원천기술 및 이에 기반한 외국인 지원용 한국어 튜터링 서비스개발' 과제를 통해서도 최근 전 세계적으로 수요가 급증하고 있는 한국어 학습 시스템을 개발하고 있다. 연구진은 모델 학습 및 대화 저작 등에 준지도 · 비지도 기술을 적용하여 소규모 수작업 데이터로부터 높은 성능을 확보하는 원천기술을 연구하고 있다.

### ETRI의 튜터링 서비스 공공부문으로 확산

대화형 영어교육 시스템은 여러 기업에 이전되어 민간 및 공공부문 언어교육 산업발전에 기여하였다. 대표적인 기술상용화 사례는 NC소프트가 개발한 MMORPG 기반의 대화형 영어 게임 서비스인 호두잉글리시, EBS 초목달 스피킹 서비스, 네이버 · 스노우 Cake 학습 앱, LGU+ AI 스피커 YBM 영어 말하기, 삼성출판사 셀레나 선생님, 아이스크림에듀 홈런영어 등이 있다.

ETRI는 개발된 튜터링 서비스를 공공부문으로 확장하고자 노력하고 있다. 2020년 EBS 주관으로 교육부가 추진한 'AI 영어 말하기 연습 시스템 구축' 사업에 본 기술이 채택되어 시범서비스 중이며, 2021년에는 전국 초등학교로 서비스될 계획이다. 또한, 문화체육관광부 산하 세종학당재단의 '인공지능 기반 한국어 학습지원 서비스 구축' 사업에도 ETRI의



기술이 적용되어 시스템을 개발하는 중이며, 2021년 전 세계 60개국 180개 이상의 세종 학당 오프라인 교실에 활용될 예정이다.

### 시각지능 수요의 급증

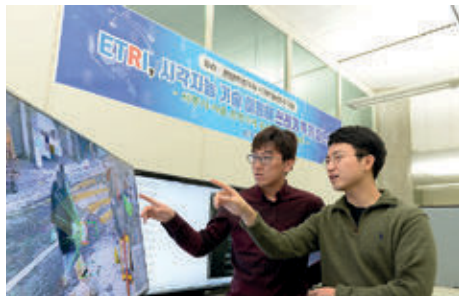
2010년대 초반부터 인공지능, 빅데이터 등 디지털 기술을 기반으로 초지능, 초연결 사회를 지향하는 패러다임이 시작되었으나, 시각지능<sup>123)</sup> 관련 기술은 부족한 상황이었다. 그러나 사람은 인지하는 정보의 80% 이상을 시각에 의존하기 때문에 영상을 사람처럼 이해하는 기술에 대한 수요는 계속해서 증가하였다.

### 딥뷰(DeepView) 플랫폼 개발

ETRI는 2014년 ‘실시간 대규모 영상 데이터 이해·예측을 위한 고성능 비주얼 디스커버리 플랫폼 개발’ 과제를 통해 영상에서 사람과 사물을 인식하고 행동을 이해하는 ‘딥뷰(DeepView) 플랫폼’을 본격적으로 개발하기 시작하였다. 이는 2014년부터 2023년까지 10년에 걸쳐 연구비 450억 원, 연구인력 1,000여 명이 투입되는 대규모 국가연구개발 사업으로, 산·학·연 연계 형태로 진행되고 있다. ETRI가 딥뷰 플랫폼의 핵심기술을 개발하고, 서울대, KAIST, 충북대로 이뤄진 대학 컨소시엄은 영상 빅데이터 처리 관련 연구를 추진하며, 관련 기술의 조기 사업화를 위해 코난테크놀로지, 이노렙, 와이즈넷 등이 참여하고 있다.

기술개발을 시작할 당시 학계에는 전통적인 영상인식 기술과 딥러닝 기반의 기술이 혼재되어 있었으며, ETRI 역시 2가지 방식의 연구를 병행하였다. 그러다 2015년 GPU 기술의 발전과 더불어 특징점 학습 분야에서 딥러닝의 가능성을 확인하면서 ETRI는 딥러닝 중심의 기술개발로 빠르게 전환하였다. 이후로 사물을 이해하는 기술과 행동을 이해하는 기술로 확장하여 연구를 추진하고 있다.

‘사물 이해’는 사물이 가지는 외형적 차별점을 인식하는 기술이다. ETRI는 기존의 1,000종을 확장하여 1,500종의 사물을 의미적으로 분류(시각 텍사노미)하고, 이를 바탕으로 종속관계를 표현한 ‘사물 인식 네트워크(ObjectNet)’를 개발하였다. 이는 기존 기술(ResNet-101) 대비 3배 빠른 속도와 더 뛰어난 인식성능을 보유했던 것으로, 대규모 CCTV 영상분석에 시각지능 기술을 도입할 수 있는 기반을 마련하였다.



시각지능 딥뷰(Deep View)

123) 시각지능: 영상에서 사람과 사물의 움직임을 인지하고 사공간적으로 분석하는 인공지능이다.

한편, ‘행동 이해’는 사람과 사물 간 관계를 분석하고 행동의 의미를 추론 및 분석하는 기술이다. 연구진은 언어학적 어휘 분류, 객체 간 동적 관계 속성, 객체 간 상호작용을 기반으로 ‘행동인식 네트워크(ActionNet)’를 개발하고, 사람의 세부 행동 이해에 이를 적용하고 있다.

ETRI는 실세계 사회문제 해결에 딥뷰 플랫폼 기술을 적용하기 위해 세종시, 은평구청, 대전시 등 지자체와 연계하여 기술의 고도화 및 실증 연구를 추진하고 있다. 특히, 포즈를 이용한 쓰레기 투기행위 자동탐지 기술은 기존 행동탐지 방식 대비 50% 성능 이득으로 세계 최고 수준을 달성하였고, 관련된 핵심원천 기술도 자체적으로 확보하였다. 관련 기술은 현재 서울시 은평구청과 세종시에서 쓰레기 무단투기 단속 실증 연구에 적용되고 있다. 2018년부터는 시각지능 분야 산업 활성화를 위해 오픈 API, 오픈 데이터, 오픈소스를 추진하고 있으며, 이를 통해 ETRI의 우수한 기술력을 널리 확산하고 있다.

### 딥뷰의 성공요인

딥뷰 플랫폼의 성공은 ETRI의 열정과 도전 정신, 정부의 일관된 정책지원, 참여기업들의 상용화 노력 등이 복합적으로 작용한 결과이다. 특히, 정부의 강력한 정책 의지가 큰 역할을 하였다. 정부는 10년 후 세계 시장을 선도할 글로벌 미래 핵심기술 개발형 ‘SW 그랜드 챌린지’ 프로젝트를 추진한다는 분명한 목표를 가지고 10년간의 기술개발 지원정책을 일관성 있게 추진하고 있다. ETRI 역시 빅데이터, 컴퓨터 비전, 인공지능 분야의 연구인력을 모아 능동형 조직을 구성하고 연구원들이 연구에 집중할 수 있는 환경을 조성하였다. 또한, 서비스 중심이 아닌 핵심기술 확보에 연구 역량을 집중하여 기술력을 쌓고 이를 바탕으로 실증 연구를 하는 체계를 구축하여 R&D 효율성을 극대화하였다.



쓰레기 무단투기 단속 실증 연구(서울시 은평구청, 세종시)

124) ILSVRC(ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge): 컴퓨터 비전 분야의 최고 국제영상인식대회로 구글, 마이크로소프트, 페이스북 등 유수의 글로벌 기업과 대학이 참여한다.

### 안전한 미래사회 실현에 기여

딥뷰 플랫폼 기술은 2017년 컴퓨터 비전 분야 세계 최고의 국제영상인식대회인 ‘이미지넷 챌린지 대회(ILSVRC)<sup>124)</sup>에서 전 세계의 우수한 팀들과 겨루어 사물종류별 검출 성능 기준 2위를 달성하였다. 또한, 2019년에는 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었고, ETRI 내부 우수성과 평가에서도 대상을 받았다. 앞으로 딥뷰 기술은 교통, 치안, 범죄(어린이) 등 사회 안전과 관련된 분야에서 위험을 분석하는 기술로 수요가 급증할 것으로 예상된다.

다양한 노력들				
이름	개발연도	특징	개발기관	상용화
KOREID	1989	관계형 DBMS	인하대	
IM	1990	관계형 DBMS	KAIST	
바다I	1991	관계형 DBMS	ETRI	대우통신
바다II	1992	관계형 DBMS	삼성전자	삼성전자
바다III	1993	관계형 DBMS	ETRI	대우통신
SRP	1995	관계형 DBMS	서울대	
SOP	1995	객체지향 DBMS	서울대	
Odyssey	1995	객체지향 DBMS	KAIST	
바다III	1997	멀티미디어 DBMS	ETRI	
OMEGA	1998	GIS 전용 OO DBMS	KAIST	

DBMS 연구들



Ubicore 전시회



Vision 워크샵



일체형 DBMS 워크샵

## DBMS

DBMS(데이터베이스 관리시스템)는 여러 사람이 각자의 응용 SW를 통하여 공동으로 사용하는 데이터에 동시에 접근해 정보를 검색하고 저장할 수 있도록 지원하는 시스템 SW이다.

ETRI는 1988년부터 2002년까지 15년간 진행한 일명 ‘바다(BaDa) 프로젝트’를 통해 국내 DBMS 기술발전을 주도하였다. DBMS 불모지와 다름없던 당시의 국내 상황에서, ETRI는 DBMS 개발에 필요한 요구사항 정의, 설계, 구현, 시험 등 전 과정을 자체적으로 추진하여 관계형 DBMS인 ‘바다I’(1991년)과 ‘바다II’(1993년)를 개발하는 데 성공하였다.

1990년대 초 인터넷 사용이 활성화되면서 HTML 기반 인터넷 문서를 효율적으로 관리할 수 있는 DBMS 기술에 대한 요구가 급증하자, 1994년부터는 새롭게 멀티미디어 DBMS 개발에 돌입하였다. 그 결과, 1997년 멀티미디어 DBMS인 ‘바다III’를, 2000년에는 XML, 이미지 저장·관리를 지원하는 ‘바다IV’를 개발하였으며, 2002년에는 클러스터 DBMS인 ‘바다V’를 성공적으로 확보하였다.

한편, 실시간 처리가 요구되는 분야에 활용할 수 있는 DBMS도 필요하였다. 이에 ETRI는 1991년부터 메모리 기반 DBMS 개발을 시작하여 2000년까지 메인메모리 자료저장시스템인 ‘Mr.RT(Real-Time Main-memory Resident)’를 3단계에 걸쳐 순차적으로 개발하였다. 또한, 스트림 데이터를 적시에 활용할 수 있도록 관리하는 DSMS(데이터 스트림 관리시스템)에 대한 요구가 커짐에 따라 2006년에는 RFID 데이터 처리에 초점을 맞춘 DSMS인 ‘UbiCore’를 개발하였다.



빅데이터 애지 분석 전시회

### — ‘바다’ 시리즈 개발 요약표

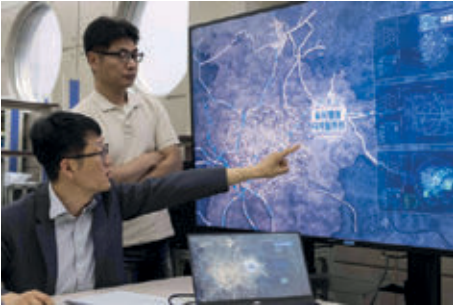
제품명	개발 기간	연구비/인력	특징	활용 현황
바다 I	1988. 7.~1991. 6.	18억 원/60명	· 관계 DBMS · SQL 지원	· 주전산기 사업 일환 · 참여 4사에 기술이전 · 대우통신 ‘한바다’ 상품화
바다II. FRASH	1991. 7.~1993. 12.	12.5억 원/28명	· 바다 I 개량 · SQL2 지원	· 타이콤 II 사업 일환 · 한바다 2.0 상품화
바다III. Mr.RT1.0 Mr.RT2.0	1994. 1.~1997. 12.	59억 원/55명	· 객체지향 DBMS · 전문(full-text) 저장 및 검색	· 1996. 8. 국제 DB쇼 참석 · 대신정보통신 등 7개 업체에 기술이전 · 체신금융시스템에 공급
바다 IV. Mr.RT3.0	1998. 1.~2000. 12.	57.6억 원/55명	· 객체관계 DBMS · 인터넷 멀티미디어 문서 DBMS · 이미지 저장 및 검색 · 테라바이트급 자료 저장시스템	· 원베이스 등 3개 업체에 기술이전 · 알티베이스 등 3개 업체 창업
iBASE (바다 V)	2001. 3.~2002. 12.	26억 원/25명	· 클러스터 기반 DBMS · 데이터베이스 통합 미들웨어	· Linux Expo Korea 전시 · 공동연구업체 3개 참여
합계	15년	173.1억 원/223명		기술이전 건수 : 21건(2003년말 기준) 착수기술료액수 : 14.5억 원

## 빅데이터

2010년대 들어 빅데이터와 인공지능 등 4차 산업혁명 핵심기술들이 전 세계적으로 급성장하기 시작하였다. 이에 ETRI는 1980년대부터 축적해 온 데이터베이스 관련 기술을 토대로 빅데이터를 다루는 플랫폼 및 분석 기술 연구를 본격적으로 추진하였다.

우선, 기존의 서버 집중 처리방식의 한계를 극복하기 위한 ‘빅데이터 애지 분석 기술’을 개발하여 다수의 중소기업에 이전하였다. 이로써 국내 빅데이터 분석 시장은 질적·양적인 측면에서 획기적인 성장의 계기를 확보하였다.

아울러, 2010년대 중반부터 교통정책, 인구정책, 도시사회 정책 등 공공분야의 의사결정을 지원하는 빅데이터 분석시스템 개발에 돌입하여, 2016년에 ‘장래 인구 변화 예측·분



빅데이터를 이용한 디지털트윈 연구





인구변화 예측 분석기술 워크샵



클라우드 기반 트래픽 예측 시뮬레이터 전시회

석 시스템(ABCD)’을, 2019년에는 세계 최초로 클라우드 기반 트래픽 예측 시뮬레이터인 ‘SALT’를 개발하였으며, 2018년부터는 세종시의 과학적 정책 수립을 위한 ‘도시행정 디지털트윈(가상세종) 기술’을 개발하고 있다.

### 3-4-1. DBMS

#### 독자 DBMS 개발 필요성 대두

1980년대 중반 행정전산망 주전산기 개발이 시작되면서 한글 정보의 저장·관리를 위한 DBMS 기술을 독자적으로 개발해야 한다는 의견이 제기되었다. 당시 국내 DBMS 기술은 인하대, KAIST 등 일부 대학교에서 초기 연구를 진행하는 수준이었다. KAIST는 WiSS 라는 단일 사용자용 자료저장시스템을 개량하여 다중 사용자용 자료저장시스템을 개발하고 있었고, 인하대는 한글 데이터베이스 언어 KSQL을 설계하고 이를 처리하는 DBMS 연구를 추진하고 있었다. 해외에서는 IBM, Oracle, Informix 등 미국 업체를 중심으로 관계형 DBMS 제품이 DBMS 시장을 점유한 상황이었다.

이러한 배경 속에서 ETRI는 1988년 관계형 DBMS 독자 기술개발을 시작하였다. 일차적으로는 행정전산망에 탑재할 DBMS를 개발하는 것이 목적이었고, 국내 DBMS 시장을 외산 SW가 독점하는 것을 방지하는 것이 두 번째 목표였다.

당시 ETRI는 행정전산망에 탑재할 한글 지원 DBMS를 제공하기 위해 Informix 사의 원천 코드를 구매하여 이를 분석하고 한글화하는 작업을 수행하고 있었기 때문에, DBMS에 대한 기본적인 기술·노하우는 습득한 상태였다. 그러나 대규모 패키지 SW를 자체 개발하는 것은 상당한 모험이었다. 데이터베이스 시스템을 구성하는 핵심 요소기술인 질의 최적화 기술과 동시성 제어 및 회복 기술 확보도 문제였고, 다양한 세부 요소기술을 통합하여 하나의 시스템으로 동작할 수 있도록 데이터베이스 시스템을 구성하는 것도 큰 도전이었다. 그러나 연구원들은 독자적으로 DBMS를 개발한다는 사명감 하나로 밤을 새우는 노력 끝에 관계형 DBMS인 바다I과 바다II 개발에 성공한다.

#### 관계형 DBMS ‘바다I·바다II’ 독자개발 성공

관계형 DBMS 개발은 두 차례에 걸쳐 추진되었다. 1차 연구개발은 ‘행정전산망용 주전산기 개발’ 사업의 일환으로 진행된 ‘관계형 데이터베이스 관리체계개발’ 과제(책임자: 김명준)를 통해 추진되었다. 1988년 7월부터 3년간 ETRI가 주관기관으로, 그리고 삼성, 금성, 현대전자, 대우통신 등 4개 기업체가 공동연구기관으로 참여하였으며, 연구비 18억 원과 연구인력 60명이 투입되었다.

본 과제로 개발된 관계형 DBMS가 ‘바다I’이다. 바다I은 자체적으로 설계하고 구현한



인터넷 멀티미디어 문서 DBMS 바다I 워크샵

관계형 DBMS로, 국제표준기구 ISO에서 1987년 표준으로 제정한 SQL1(1987년 제정)을 지원하였다. 바다는 3개의 서브시스템으로 구성되었는데, 자료를 디스크에 저장하고 그 자료에 대한 색인을 관리하는 다중 색인자료 접근 서브시스템 MiDAS(Multi-index Data Access Subsystem), 데이터베이스 언어인 SQL을 처리하는 서브시스템 DBLP(DataBase Language Processing subsystem) 그리고 사용자 인터페이스와 각종 응용개발 도구가 그것이다. 응용개발 도구로는 폼 이용 질의기, 데이터베이스 스키마 관리기, 메뉴 관리기, 대화형 질의어 처리기, 보고서 작성기 그리고 C프로그래밍 언어 안에서 SQL을 쓸 수 있게 하는 ESQL/C(Embedded SQL in C)를 개발하였다.

2차 연구개발은 ‘고속중형 컴퓨터 공동연구개발’ 사업의 일환으로 진행된 ‘대용량 DB 서버 개발’ 과제(책임자: 김명준)를 통해 진행되었으며, 1991년 7월부터 1993년 12월까지 2.5년 동안 연구비 12.5억 원과 연구인력 28명이 투입되었다.

본 과제를 통해 ETRI는 바다를 클라이언트 서버 구조로 재설계하여 개량한 ‘바다II’를 개발하였다. ISO는 1992년 기존의 SQL1을 확장한 SQL2를 표준안으로 제정하였다. SQL2는 기존의 ASCII 코드 기반 문자 외에도 Unicode를 기반으로 National character(NCHAR)라는 새로운 데이터 타입을 정의하여 한글과 같은 2바이트 코드 문자에 대한 지원을 제공하였으므로, 바다II는 SQL2 지원을 주요 목표로 개발되었다.

또한, 다중 사용자 환경에서 효율적인 동시성 제어 및 회복 기능의 개선을 위해 기존의 WiSS 기반 자료저장시스템 대신 IBM에서 제안한 Aries 알고리즘 기반의 자료저장시스템을 새롭게 재구현하였다. 이 시스템 개발을 위해 당시 연구진이 참조할 수 있는 것은 기존에 발표된 논문들뿐이었다. 논문 분석만으로 새로운 개념의 저장시스템을 개발하는 것은 매우 모험적인 도전이었으나, 당시 연구진은 과감한 시도와 부단한 노력 끝에 뛰어난 성능의 시스템을 개발하는 데 성공하였다. 이 시스템은 이후로 후속 과제들의 데이터베이스 하부 시스템으로 지속해서 활용되었다.

### ‘바다’ 명칭의 의미

‘바다(BaDa)’라는 명칭은 당시 과제책임자인 김명준 박사(현 ETRI 원장)가 제안한 것으로, 영어 Data Base와 라틴계열 용어 Basede Donnes(Base of Data)의 첫머리 문자를 따서 만들어졌다. 또한 우리말 바다(海)가 상징하는 거대한 저장 능력의 의미도 중의적으로 담았다. ETRI는 1992년 7월 ‘바다’를 SW 상표 이름으로 등록하였다.



‘바다 DBMS를 중심으로 한 데이터베이스 관리시스템 구조’(1997.)

### 바다I · 바다II의 파급효과

ETRI는 관계형 DBMS 개발에 필요한 요구사항 정의, 설계, 구현, 시험 등 전 과정을 자체적으로 추진함으로써 국내 데이터베이스 기술 수준을 한 단계 끌어올렸다. 개발 종료 후 바다I · 바다II는 공동연구업체들에 기술이전되었다. 대우통신은 ‘한바다’라는 DBMS를 상용화하여 상업은행 정보계 업무에 200카피를 공급하였고, 금성은 기능을 단순화한 PC용 DBMS를 상용화하였으며, 삼성은 Coda라는 데이터베이스 시스템 개발을 추진하였다.

또한, 과제 수행 과정을 통해 데이터베이스 시스템을 구성하는 복잡한 요소기술에 대한 전문가가 대량으로 양산된 것도 바다I · 바다II의 주요 성과였다. ETRI는 1997년 바다 DBMS 개발 경험을 바탕으로 데이터베이스 시스템 기술을 서술한 ‘바다 DBMS를 중심으로 한 데이터베이스 관리시스템 구조’라는 책을 발간 · 보급하였고, 바다I 목적 코드를 제공하는 사이트를 구축하여 국내 대학이 바다 DBMS를 데이터베이스 시스템 기초 교육에 활용할 수 있도록 하였다.

바다I · 바다II 개발 성공을 기반으로 객체지향 DBMS, 멀티미디어 DBMS, 주기억장치 기반 DBMS 등 차세대 DBMS 기술개발이 후속 과제로 추진되었다. 이러한 과제들은 국내 시스템 SW 발전에 크게 기여하였다.

### 미래를 내다본 멀티미디어 DBMS 개발

1990년대 초 인터넷 사용이 활성화되면서 HTML 기반 인터넷 문서를 효율적으로 관리할 수 있는 DBMS 기술에 대한 요구가 급증하였다. 기존의 관계형 DBMS는 정형 데이터 기반의 트랜잭션 처리를 위주로 하여 인터넷 문서 지원에는 한계가 있었다.

이에 ETRI는 1994년부터 새롭게 멀티미디어 DBMS 개발에 돌입하였다. 당시 멀티미디어 DBMS에 대한 수요는 크지 않았지만, ETRI는 몇 년 앞 시장을 예측하고 미리 준비하여 국내 기업들의 경쟁력 확보에 도움을 주고자 선제적인 개발에 들어갔다.

### 바다III · 바다IV · 바다V 개발 성공

ETRI는 1994년부터 1997년까지 4년간 연구비 59억 원과 연구인력 55명을 투입한 ‘데이터베이스 서비스 시스템 개발사업’(책임자: 허대영)을 통해 멀티미디어 DBMS인 ‘바다III’와 메인메모리 DBMS인 ‘Mr.RT’를 개발하였다. 바다III는 기존의 데이터베이스 시스템과



정보검색 시스템을 밀결합하여 원문정보 저장과 검색을 하나의 시스템으로 관리할 수 있는 데이터베이스 시스템이다.

1990년대 초 ODMG(Object Data Management Group)는 산업 표준으로 데이터베이스 언어 OQL과 C++ 바인딩 규격을 채택하였다. 이에 따라 ETRI는 바다Ⅲ를 새로운 데이터 타입 및 처리 기능으로의 확장이 용이한 객체지향 데이터베이스 엔진과 객체지향 프로그래밍 언어에 데이터베이스 언어가 바인딩된 C++ 바인딩 시스템으로 구성하였다. C++ 바인딩과 객체지향 커널은 새롭게 개발하였고, 자료저장시스템은 바다Ⅱ의 것을 확장하여 사용하였다. 당시 객체지향 언어로 시스템 SW를 개발하는 것은 아직 무리라는 시각이 만연한 상황에서 C++ 바인딩 시스템 개발을 결정한 것은 매우 도전적인 일이었다. 이어서 1998년부터 2000년까지 3년간 연구비 57.6억 원과 연구인력 총 55명을 투입한 ‘인터넷 멀티미디어 문서 DBMS 기술개발사업’(책임자: 김명준)을 통해 XML, 이미지 저장 관리를 지원하는 멀티미디어 DBMS인 ‘바다Ⅳ’를 개발하고 메인메모리 DBMS인 Mr.RT를 개선하였다.

바다Ⅳ는 인터넷 문서처리기능을 더욱 강화하여 XML(eXtensible Markup Language) 확장표시언어 양식 문서를 저장·관리·검색하는 기능을 특별하게 지원하고, 문양이나 로고 등 이미지 자료를 관리하는 기능을 통합하는 특성화 전략을 구현한 데이터베이스 시스템이다. 또한, 멀티미디어 자료를 처리 및 저장하는 데 필요한 테라바이트급 자료저장시스템도 개발하였다. 아울러, 이미지 특징 추출 기술 확보를 위해 한양대와 협력연구를 추진하였다.

2001년부터 2002년까지는 ‘클러스터 기반 통합 멀티미디어 DBMS iBASE 개발사업’(책임자: 김명준)을 통해 ‘바다Ⅴ’를 개발하였다. 바다Ⅴ는 유무선 인터넷 환경에서 다수의 사용자가 정보저장 위치에 상관없이 무정지 서비스를 지원받을 수 있는 환경을 제공하는 클러스터 DBMS이다. 세부적으로, 유무선 환경에서 이기종 백엔드 서버에 산재한 데이터들을 XML 모형을 기반으로 통합관리하고 검색하는 미들웨어, 여러 노드에 탑재한 DBMS를 논리적으로 하나의 DBMS처럼 동작하며 무정지·고성능으로 거래처리를 지원하는 클러스터 구조 기반의 DBMS 그리고 멀티미디어 통합정보 검색을 안정적이고 빠르게 지원하는 고성능 멀티미디어 DBMS를 개발하였다. 개발된 바다Ⅴ는 공동연구업체인 한국컴퓨터통신의 UniSQL에 요소기술로 통합되었다.

### 바다 시리즈의 파급효과

멀티미디어 DBMS 사업의 성과들은 여러 업체에 이전되었으나, 사업화에 성공했다고 보



바다Ⅴ 전시회

기는 어렵다. 바다Ⅲ·바다Ⅳ·바다Ⅴ를 사업화할 만한 역량을 갖춘 국내 전문가와 전문기업이 부족했기 때문이었다. 실제로 약 40만 줄에 달하는 원천 프로그램을 유지·보수·개량하려면 적어도 20명 이상의 전문가가 동시에 투입되어야 하는데, 당시 국내에는 그 정도 규모의 업체가 없었다. 다만, 멀티미디어 DBMS의 핵심 기술인 자료저장시스템은 업체들이 보유한 기존 기술과의 결합을 통해 제품 경쟁력을 향상시키는 역할을 하였다. 한편, 멀티미디어 DBMS 기술을 바탕으로 코난테크놀로지, 알티베이스 그리고 리얼타임테크가 창업한 것은 큰 결실이었다.

### 메모리 기반 DBMS의 필요성 대두

인터넷이 활성화되면서 통신서비스와 같이 실시간 처리가 요구되는 분야에 활용할 수 있는 DBMS가 필요해졌다. 이에 ETRI는 1991년 ‘Intelligent Network 개발사업’(책임자: 홍진표)의 세부과제로 디스크 기반 DBMS인 바다Ⅰ을 통신서비스에 필요한 실시간 DBMS로 개량하는 연구를 추진하여 시제품을 개발하였으나, 디스크 기반 DBMS로는 실시간 요구사항을 만족할 수 없다는 결론을 얻었다. 그러면서 자연스럽게 메모리 기반 데이터베이스 시스템에 대한 필요성이 제기되었다. 당시 해외에서도 메모리에 모든 데이터를 적재하여 관리하는 인메모리 DBMS 기술에 대한 관심이 조금씩 커지고 있었고, HP는 본격적인 연구를 추진하는 상황이었다.

### Mr.RT1/Mr.RT2/Mr.RT3 개발

ETRI는 1994년부터 4년간 수행한 ‘데이터베이스 서비스 시스템 개발’ 사업의 한 줄기로 메인메모리 DBMS 기술개발을 시작하여 메인메모리 자료저장시스템인 Mr.RT(Real-Time Main-memory Resident)를 두 개 버전으로 개발하였다. 연구는 ETRI가 시스템을 설계하고 서울대, 충남대, 강원대, 인하대 등이 구현·시험하는 협력연구 방식으로 추진되었다.

Mr.RT1은 메모리에 데이터를 저장·관리하는 자료저장시스템이고, Mr.RT2는 Mr.RT1에 동시성 제어 및 회복 기능 등을 더하여 다중 사용자 환경을 지원하도록 개발된 시스템이다. 또한, 1998년부터 3년간 수행된 ‘인터넷 멀티미디어 문서 DBMS 기술개발’ 사업을 통해서 SQL을 이용한 데이터관리 기능을 더하여 Mr.RT3를 개발하였다.

개발 과정에서 ETRI는 실시간 처리를 위해 데이터 처리 속도를 획기적으로 개선하는 데 주력하였다. 메모리 내에 최적으로 데이터를 배치·운영할 수 있도록 시스템을 설계하였고, 메모리 데이터의 손실을 방지하기 위해 디스크 기반 DBMS 기술개발 경험을 바탕으로 디스크 기반 로깅 기술을 개발하였다.

순수 국내기술을 이용한 DBMS 제품 확산

ETRI의 연구소기업인 알티베이스는 2000년 Mr.RT DBMS를 상용화하여 고성능 DBMS인 ‘Altibase’를 생산하였으며, ETRI의 위탁연구를 수행하던 충남대 연구진이 창업한 리얼타임테크는 1999년에 기술을 이전받은 후 내비게이션 등 실시간 시공간 정보서비스에 특화된 메인메모리 DBMS인 ‘Kairos’를 상용화하였다.

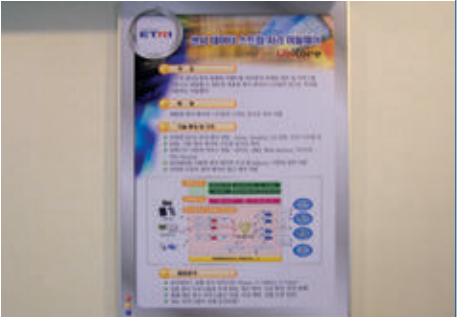
이러한 상용화 결과로, 외산 DBMS가 독점하던 국내 데이터베이스 시장에 순수 국내기술의 DBMS가 자리를 차지하기 시작하였다. 2010년 기준 국내에서 판매되는 DBMS의 약 7.3%가 국산 제품(알티베이스, 티맥스데이터, 리얼타임테크 등)이었다. 이 제품들은 중국, 일본 등 해외 시장으로도 빠르게 진출하였다. 또한, Mr.RT 연구에 참여했던 서울대는 개발 경험을 토대로 ‘PTime’이라는 메인메모리 DBMS 기술을 개발하였다. 이후 PTime은 Hana DBMS에 인수·합병되어 활용되고 있다.

ETRI는 Mr.RT 후속으로 비휘발성 메모리에 데이터를 탑재·운영하는 기술개발을 추진하였으나, 중도에 과제가 중단되었고, 이후 차세대 HW에 최적화된 메인메모리 DBMS 기술개발이 추진되었다.

스트림 데이터 관리시스템의 등장

2000년대 초반 컴퓨팅과 인터넷을 물이나 공기처럼 언제, 어디서나, 누구나 이용할 수 있다는 의미에서 ‘유비쿼터스 컴퓨팅’이라는 키워드가 유행하였다. 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 인터넷에 연결된 다양한 기기로부터 끊임없이 생성되는 스트림 데이터를 적시에 활용하기 위한 스트림 데이터 처리 기술이 필요하게 되었고, 이러한 요구를 충족시키기 위한 시스템들이 DSMS(Data Stream Management System, 데이터 스트림 관리시스템)라는 이름으로 등장하였다.

기존 DBMS가 저장된 데이터에서 사용자 질의를 만족하는 정보를 찾아 제공했던 반면에,



Ubicore 특징

DSMS는 저장된 데이터가 아닌 흘러가는 스트림 데이터 중 사용자의 관심 정보를 찾아서 제공하는 시스템이었다. 즉, DBMS에서는 질의를 수행하기 위해 먼저 데이터를 저장소인 데이터베이스에 저장하고 다시 불러오는 과정을 거쳐야 하지만, DSMS에서는 데이터가 사용자가 미리 등록해둔 질의를 거치고 난 뒤, 저장소에 저장되거나 버려졌다.

유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 UbiCore 기술개발

ETRI는 2004년부터 2006년까지 ‘스마트 객체 처리 프레임워크 기술개발 과제’(코드명 UbiCore)를 통해 유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 센서 데이터, 특히 RFID 데이터 처리에 초점을 맞춘 DSMS 기술을 개발하였다. 연구진은 스트림 데이터에 질의하는 신개념 시스템을 개발하기 위해 연구 스케치부터 새롭게 하며 치열한 토론을 거듭하였다. 특히, DSMS의 관건인 ‘어떻게 준실시간(near-real-time)으로 사용자의 요구사항에 만족하는 결과를 제공할 수 있는가.’라는 문제를 해결하는 데 집중하여, 불필요한 데이터가 연속 질의의 대상이 되는 것을 방지하는 프리필터링 기술과 질의 평가 시 중간결과를 재사용하는 기술을 개발하였다.

또한, 매년 기술전시회를 열고 참가자들의 다양한 의견을 수집하여 결과물에 반영하였다. 전시회를 통한 홍보 효과로 인해 과제 1차연도부터 기술이전에 관한 문의가 이어졌고, UbiCore 기술은 포스테이터㈜, 한울 주식회사, 유비테크 등 7개 기업에 이전되었다. (11건, 기술료 총액 2억 7천만 원) 기업들은 주로 RFID 기반 물류·자재·자산·생산 관리, RFID 기반 전시물·관광 안내 등에 UbiCore 기술을 적용하였다. 2008년에는 기술이전 업체인 유비테크의 요구사항을 반영하여 RFID·USN(Radio Frequency Identification·Ubiquitous Sensor Network) 환경에서 다양한 센서 연동이 가능하도록 기술을 개량하는 ‘센서 데이터 스트림 처리 개량 기술개발’ 과제를 추가로 수행하여 결과물의 상용화를 도왔다.

이후, 2010년부터 다양한 형식(정형, 비정형)의 스트림 데이터와 확장성을 위한 분산처리를 고려한 범용 DSMS를 개발하고자 ‘데이터플로 연속처리 기술개발 과제(코드명 iFlow)’를 추진하였으나, 중도에 중단되었다.

그러나 2012년부터 ‘차세대 메모리 기반의 빅데이터 분석 관리 SW 원천기술개발’(2012년~2013년)의 세부과제로, API 기반인 iFlow에 연속 질의 언어지원과 HW 가속장치 활용 개념을 추가한 ‘폭증 스트림 인타임 분산 연속처리 기술’ 개발이 다시 추진되었고, 일체형 DBMS 기술을 개발하는 ‘대규모 트랜잭션 처리와 실시간 복합분석을 통합한 일체형 데이터 엔지니어링 기술개발’(2015년~2019년) 과제도 진행되었다.



### 3-4-2 이중 DB 통합/분석

#### 이중 DBMS 통합기술 연구 본격화

1990년대 들어 기업들은 조직 내 정보를 통합하여 접근성을 높이는 ERP(Enterprise Resource Planning, 전사적 자원 관리)와 같은 정보서비스 구축이 경쟁력 확보의 필수 요건임을 인식하기 시작하였다. 그로 인해 기존의 관계형·멀티미디어·메인메모리 DBMS 등의 시스템을 활용한 통합 DB 구축 기술이 주목받기 시작하였고, 1998년 XML이 데이터 교환 표준으로 인정되면서 XML을 활용한 DB 통합환경 구축을 위한 연구가 본격화되었다.

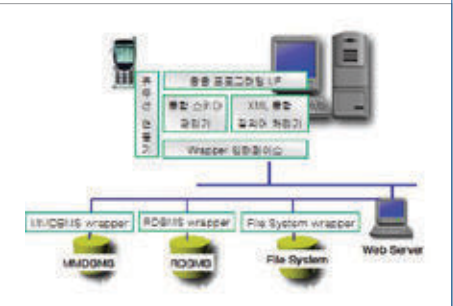
#### DataBlender 시스템 개발

ETRI는 두 차례에 걸쳐 이중 DBMS 통합기술을 개발하였다. 첫 번째는 ‘클러스터 기반 통합 멀티미디어 DBMS 개발’ 사업의 세부과제로 2002년부터 2년간 수행한 ‘XML 기반 데이터베이스 통합 미들웨어 개발과제’(책임자: 이미영, 코드명 DataBlender)를 통해서였다. 연구진은 바다IV 개발을 통해 축적한 XML 기반 문서 저장·검색 기술을 토대로 DataBlender 시스템을 개발하였다.

DataBlender는 XML 모델을 활용해서 인터넷에 분산된 파일 시스템, RDBMS, MMDBMS, 웹 페이지 등 다양한 이질 데이터베이스를 하나의 모델로 통합하여 가상의 DB를 구축하고, 유무선 환경의 사용자가 DB를 검색하도록 하는 미디어이터·랩퍼 기반의 이중 DBMS 통합 시스템이다. 통합 스키마 정의 언어와 WWW 표준화 기구(W3C)에 제안된 XQuery 질의어 처리를 지원하였으며, 검색 결과는 XML 문서 형태로 생성하였다. 또한, 결과 XML 문서 접근을 원활히 하기 위하여 표준 DOM 인터페이스를 제공하였다.

아울러, 지역 DB의 데이터 변경이 잦은 상황에서도 항상 최신의 통합 DB 서비스를 제공하도록 하였으며, XML 모델을 통합 데이터 모델로 채택하여 기존의 관계형 모델 기반 DB 통합 시스템이 갖는 반 구조적 데이터 통합의 어려움을 해결하였다. 이로써 본 기술은 인터넷 서비스 구축(ISP)이나 콘텐츠 구축(CP) 등의 새로운 인터넷 포털서비스와 전자상거래 등에 폭넓게 사용되었다.

두 번째 연구는 ‘차세대 인터넷 서버 기술개발’ 사업의 세부과제로 2004년부터 2006년까지 수행된 ‘스마트 객체 처리 프레임워크 기술개발 과제’(책임자: 이미영, 코드명 VISION)



XML 기반 DB 통합 미들웨어 DataBlender의 구성도

를 통해 추진되었다. VISION은 2000년대 초반부터 급격히 확산한 스마트 객체<sup>125)</sup>의 상세 정보까지 통합 제공하는 시스템으로, DataBlender와 마찬가지로 미디어이터·랩퍼 구조를 채택하였으며 미디어이터 블록, 랩퍼 블록, EPC 정보서비스 블록, 관리 도구 블록으로 구성되었다.

#### 빅데이터 기반 분산 DBMS 기술로 이어져

이중 DBMS를 가상으로 통합하는 이중 DBMS 통합기술은 2006년 무렵 Hadoop을 포함하는 빅데이터 플랫폼 기술이 태동하면서 위축되기 시작하였다. 이에 ETRI는 2006년 ‘저비용 대규모 글로벌 인터넷 서비스 솔루션 개발’ 사업의 세부과제로 ‘클러스터 기반 분산 데이터 처리 및 저장 기술개발’을 추진하여 빅데이터 기반의 분산 DBMS 개발에 새롭게 도전하였다.

#### 일체형 DBMS 기술의 필요성 대두

2010년대 들어 빅데이터 시대가 열리기 시작하였다. 그러나 기존의 데이터 관리는 트랜잭션 중심의 OLTP(OnLine Transaction Processing) 시스템과 분석 중심의 OLAP(OnLine Analytical Processing) 시스템으로 양분되어 실시간 데이터 분석에는 한계가 있었다. 이에 두 방식의 한계를 극복할 기술의 필요성이 제기되었다.

#### 트랜잭션/분석 일체형 DBMS 개발

ETRI는 2015년부터 2019년까지 연구비 161억 원, 연구인력 연 80명을 투입하여 ‘대규모 트랜잭션 처리와 실시간 복합분석을 통합한 일체형 데이터 엔지니어링 기술개발’ 과제를 추진하였다. 과제의 목표는 글로벌 비즈니스 수준의 대규모 트랜잭션 처리를 지원하면서, 동시에 데이터의 이동 없이 단일 시스템상에서 실시간 복합분석이 가능한 일체형 데이터 플랫폼을 개발하는 것이었다.

ETRI가 연구개발을 주도하고 서울대, 전북대가 알고리즘 기술개발을 지원하였으며, 기술의 상용화를 위해 중소기업인 티맥스데이터와 비아이매트릭스가 공동연구기관으로 참여하였다. 연구진은 티맥스데이터에 공동연구센터를 개소하고 적극적으로 진행 상황을 공유하며 공동연구의 효율성을 높였다.

<sup>125)</sup> 스마트 객체: RFID 태그 등을 부착하여 컴퓨터가 인식할 수 있는 객체가 된 물건이나 사람 등을 뜻한다.

과제에서 ETRI는 트랜잭션/분석 동시 지원 시 발생하는 문제 해결을 위해 차세대 HW의 이점을 최대한 활용하는 기술을 개발하고, 공동연구를 통합·조정하는 역할을 담당하였다. 또한, 금융 이상거래 실시간 탐지 서비스와 지능형 공격(APT; Advanced Persistent Threat)의 징후를 탐지하는 APT 공격징후 탐지 시범서비스를 수행하였다.

트랜잭션/분석 일체형 DBMS 기술의 핵심 관건은 서로 다른 데이터 처리방식을 어떻게 잘 융합하고, 어떻게 성능 문제를 해결할 것인가 였다. 당시 미국을 비롯한 기술 선진국의 연구개발은 데이터 처리 방식을 하나로 정하고 메인메모리를 활용하여 성능 문제를 해결하는 방식, 그리고 서로 다른 데이터 처리 방식을 혼용하여 동기화하는 방식 두 가지로 대별되어 있었다. 메인메모리를 활용하는 방식은 성능 문제 해결에는 용이하지만, 데이터의 용량 한계에 봉착할 수 있었다. 이에 연구진은 서로 다른 데이터 처리 방식을 혼용하되 즉시 동기화하고, 새롭게 등장하는 HW를 최대한 활용하여 성능 문제를 해결하는 방향으로 일체형 DBMS를 설계하기로 하였다.

그 결과, 연구진은 HTM(Hardware Transactional Memory) 재시도 정책 및 트랜잭션 특성별 선택적 적용 방식을 개발하여 트랜잭션 처리 성능을 향상했으며, JIT(Just-In-Time) 컴파일 기술, 벡터 연산 및 GPGPU 활용기술, NUMA(Non-Uniform Memory Access) 구조 인지 최적화 기술을 개발하여 분석 성능을 높일 수 있었다.

### 실시간 데이터 처리로 산업경쟁력 향상

그동안 기업들은 트랜잭션 처리에서 발생한 데이터를 데이터웨어하우스에 복제한 후 다시 이를 분석하여, 실시간 데이터 활용이 어려웠다. 그러나 ETRI 중심으로 개발한 일체형 DBMS로 인해 다양한 비즈니스 상황에서 대규모로 발생하는 트랜잭션 데이터를 실시간으로 분석하고 이를 토대로 즉각적인 의사결정을 내릴 수 있는 환경이 마련되었다.

이 기술은 공동연구기관과 리얼타임테크 등의 기업에 이전되어 기존 제품의 성능을 개선하거나 신제품의 상용화에 활용되었고, 향후 금융, 보안, 유통, 제조, 통신 등 거의 모든 산업에 적용될 것으로 기대된다. 또한, 국내 업체의 경쟁력을 향상시켜 현재 10% 수준에 머무는 국내 기업의 DBMS 시장 점유율을 끌어올리고, 더 나아가 글로벌 시장으로 진출할 수 있는 교두보를 마련하였다.



일체형 DBMS 개념도



빅데이터 에지분석 개념도

## 3-4-3. 빅데이터

### 컴퓨팅 기술과 함께 발전하는 빅데이터 분석

데이터 분석환경은 컴퓨팅 패러다임의 변화에 맞추어 진화하고 있다. 기존에는 서버에서 수집된 데이터를 통해 통계적 분석을 수행하여 서비스를 제공하는 방식이었다면, 클라우드 컴퓨팅이 보편화하면서 다양한 컴퓨팅 자원을 활용하여 확장성 있는 데이터 분석이 가능하게 되었다. 또한, 하둡(Hadoop)<sup>126)</sup>과 같은 병렬분산 컴퓨팅이 자리 잡으면서 대용량/정형-비정형/고속의 데이터 분석을 제공하는 형태로 바뀌었다. 현재는 클라우드 컴퓨팅에서 점차 에지 컴퓨팅(Edge computing)<sup>127)</sup> 환경으로 진화하면서, 클라우드의 ‘누적 데이터 분석’과 에지의 ‘고속·즉시 대응이 가능한 분석’이 결합하는 기술로 발전해 나가고 있다.

### 경량 빅데이터 에지 분석 기술개발

ETRI는 2010년대 중반부터 다양한 빅데이터를 다루는 플랫폼 및 분석 연구를 시작하였다. 2015년에는 단순한 플랫폼의 빅데이터 저장·관리 시스템 개발을 넘어, 클라우드-에지 환경에 맞게 ‘ICBMS(IoT, Cloud, Big data, Mobile, Security) 핵심 기술개발 사업 총괄 및 엑사스케일급 클라우드 스토리지 기술개발’ 과제에 참여하여, ‘CoT(Cloud of Things) 환경에서 실시간 반응성 향상을 위한 계층적 데이터 스트림 분석 SW 기술개발’을 수행하였다.

본 과제의 목표는 실시간 빅데이터 분석 및 빠른 대응을 위하여 기존의 서버 집중 처리방식의 한계를 극복하고, 4A(Actionable, Agile, Accurate, Anonymous) 특징을 만족하는 ‘에지-서버 간 계층적 협업 분석 방식의 Fast Data 스트림 분석 기술’을 개발하는 것이었다. 연구진은 클라우드를 기반으로 빠르게 스트림을 처리하기 위하여 에지 기반의 기존 통계적 분석 알고리즘과 신경망 기반의 고도화된 딥러닝 알고리즘을 복합적으로 적용하여, 에지에서 수행 가능한 경량 에지 분석 기술을 개발하였다. 특히, 국내의 다양한 경량 기기에 바로 적용이 가능한 신경망 가지치기, 양자화·이진화세부 기술개발에 주력하였다. 또한, 단순히 사업 및 기술 적용에 그치지 않고 세계적인 인공신경망 학회에서 개최하는 경량 신경망 챌린지 대회에 참가하여, 상위권에 입상하는 성과를 거뒀다.

2018년부터는 더욱 경량화된 에지 기반의 분석을 위하여 ‘부하분산과 능동적 적시 대응을 위한 빅데이터 에지 분석 기술개발’을 추진하고 있다. 이를 통해 클라우드-에지 환경을

126) 하둡(Hadoop): 여러 개의 저렴한 컴퓨터를 마치 하나인 것처럼 묶어 대용량 데이터를 처리하는 기술이다.

127) 에지 컴퓨팅(Edge computing): 중앙 집중 서버가 모든 데이터를 처리하는 클라우드 컴퓨팅과 다르게 분산된 소형 서버를 통해 데이터를 실시간으로 처리하는 컴퓨팅 방식이다.





빅데이터 예지분석 전시회



도로교통 혼잡도 예측가능 시뮬레이션 SW개발

128) 교통혼잡비용: 교통혼잡으로 발생하는 사회적 손실 규모를 화폐가치로 환산한 지표이다.

에서 빅데이터 분석의 정밀도와 속도를 높일 수 있는 구체적인 대안과 실행 방안을 마련하고 있다.

### 실시간 의사결정이 필요한 모든 분야에 적용 가능

빅데이터 예지 분석 기술개발을 통해 ETRI의 빅데이터 분석 연구는 보통의 산업·기술이 거치는 기술 체화기를 거치지 않고 기술 도입기에서 곧바로 기술 선도전환기로 도약하였다. 그 결과, 국내 빅데이터 분석 시장은 질적·양적인 측면에서 획기적인 성장의 계기를 확보하게 되었다.

본 과제에는 빅데이터 플랫폼 및 분석 서비스가 가능한 중소기업이 다수 참여하여, 이들을 중심으로 실시간 반응성을 크게 높인 빅데이터 분석 솔루션의 사업화가 활발하게 진행되었다. 특히, 제층적 Fast Data 스트림 분석 기술을 토대로 철도 설비, 빌딩에너지 모니터링, 전력, 광통신 모니터링 등의 기존 인프라 설비에 빅데이터 분석시스템이 시범적으로 구축되었다. 앞으로 빅데이터 예지 분석 기술은 빅데이터 분석을 통한 실시간 의사결정이 필요한 다양한 산업 분야에 광범위하게 활용될 것으로 보인다.

### 교통혼잡비용 문제 과학적으로 해결할 필요성 대두

교통혼잡비용<sup>128)</sup> 문제가 사회적 이슈로 떠오르면서 AI·빅데이터·클라우드 SW 기술을 활용하여 교통혼잡문제를 통합적으로 해결할 방법이 모색되기 시작하였다. 실제로 국내 교통혼잡비용은 2015년 기준 33조 4천억 원에 이르며, 매년 빠르게 증가하고 있다. 특히, 인구집중 현상으로 인해 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산 등 7대 도시의 교통혼잡비용은 전체의 60%를 넘는 상황이다.

### 세계 최초로 클라우드 기반 트래픽 예측 시뮬레이터 ‘SALT’ 개발

ETRI는 2017년 ‘도시 교통문제 개선을 위한 클라우드 기반 트래픽 예측 시뮬레이션 SW 기술개발’ 과제를 시작하였다. 과제의 목표는 공공·민간 교통정보 데이터를 통합 활용하여 도심의 교통 상황을 예측하고, 클라우드 인프라 확장성을 갖춘 아키텍처를 도입하여 동적 규모로 교통 신호체계 개선 방법 및 교통정책을 사전 검증할 수 있는 ‘트래픽 예측 시뮬레이션 기술’을 개발하는 것이다.



AI기반 교통예측 시스템

본 과제는 과학기술정보통신부와 서울시 교통운영과, SKT가 2017년 6월 ‘교통혼잡문제 해결을 위해 교통 데이터 및 기술을 협력한다.’는 내용의 양해각서(MOU)를 체결하고, ETRI가 기술개발을 위한 산·학·연 컨소시엄을 구성하면서 시작되었다.

연구진은 서울시가 제공한 공공 교통 데이터와 SKT가 제공한 민간 교통 데이터를 활용하여, 2019년 세계 최초의 클라우드 기반 트래픽 예측 시뮬레이터인 ‘SALT(Simulation for Analyzing Loads in Traffic)’를 개발하였다. SALT를 활용하면 지자체에서 기존에 수입해서 사용하던 AIMSUN, VISSIM 등이 할 수 없는 대규모(서울시 4개 구 규모 동시 실행) 교통 분석이 가능하다. 이 정도 규모를 시뮬레이션할 수 있는 시스템은 SALT가 세계 최초이다. 특히, 계산이 빠른 ‘거시(Macro) 모델’의 장점과 정확한 계산이 가능한 ‘미시(Micro) 모델’의 장점을 모두 가진 ‘메소(Meso) 모델’을 채용하여 오픈소스 교통 시뮬레이터 ‘SUMO’ 대비 18배 이상 빠른 성능을 구현하였다.

아울러, SALT로는 인공지능 기계학습이나 딥러닝이 할 수 없는 교통 환경분석도 가능하다. 신호체계 변경 등 변수가 나타나면 기계학습, 딥러닝 방식은 매번 새로운 모델을 생성해 적용하지만, 연구진이 개발한 모델은 매번 다른 입력값이 제공되어도 보편적으로 활용할 수 있다. 따라서 서울시뿐 아니라 다른 지자체까지 손쉽게 확대 적용할 수 있을 것으로 보인다.

ETRI는 서울시 강남구, 서초구, 송파구, 강동구에서 SALT의 성능을 실증하였으며, 시뮬레이터를 활용한 신호체계 효과도 검증하였다. 또한, 서울시의 축 개선 효과 검증에 활용되어 과학적 교통문제 해결이 가능함을 입증하였다.

이어 후속 과제로 2020년부터 ‘클라우드 엣지 기반 도시 교통 브레인 클라우드 엣지 기반 도시교통 브레인 핵심기술 개발’ 과제가 시작되었다. 클라우드-엣지 기반 실시간 교통 상황 분석 및 대규모 교통 시뮬레이션 분산처리를 통하여 교통제어 지능을 제공하는 ‘도시 교통 브레인 시스템’을 개발하는 것을 목표로, 2023년까지 연구비 106억 원, 연구인력 연 55명이 투입될 예정이다.

ETRI는 본 과제를 통해 SALT를 개선·확장하여, 교차로 인근의 예지에서 실시간 교통 상황을 분석하고 중앙 클라우드 서버에서는 대규모 교통 시뮬레이션을 분산처리함으로써 도시 전체에 교통제어 지능을 제공하고자 노력하고 있다. 연구 결과는 대전광역시와 세종특별자치시에서 실증할 계획이다.



도시교통 브레인 개념도

## 정보화시대에서 지능화시대까지

교통 최적화로 국민 삶의 질 개선

교통 신호체계 변경은 풍선효과와 같아서 한곳이 개선되면 다른 지역은 상황이 나빠질 수 있다. 그러나 SALT를 통해 변경대상과 연결된 다른 지역까지 그 효과를 넓게 시뮬레이션하여 사전검증하는 것이 가능해지면서, 과학적 교통정책 수립에 한 발 더 다가갈 수 있게 되었다.

SALT는 앞으로 교통정책의 사전 검증뿐만 아니라 교통사고 감지 및 예측, 기상 영향 예측 등 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것으로 보인다. 이를 통해 지방 자치 단체의 도시 계획과 경찰청의 신호체계를 개선하여, 대도시 교통 최적화로 국민 삶의 질을 높이는 데 도움을 줄 전망이다. 또한, 교통 혼잡으로 발생하는 사회·경제적 비용을 낮추는 것은 물론, 교통 분야에서의 선도적인 SW 개발로 수입 대체 효과도 상당할 것으로 기대된다.

## 국가 정책 결정에 빅데이터 활용

2010년대 들어 국내에서도 주요 국가 정책 결정에 빅데이터 분석 기술을 활용하려는 시도가 이어졌다. 특히, 장래 인구 변화를 정확하게 예측·분석하여 관련된 다양한 정책을 더 빠르고 효율적으로 추진함으로써 정책 실패로 인한 사회적 비용과 국민 불편을 최소화하기 위해 빅데이터를 활용할 필요성이 제기되었다.

## 장래 인구 변화 예측·분석 시스템(ABCD) 개발

ETRI는 2013년 ‘실시간 인구 현황 파악 및 전망과 경제·사회 현상의 분석·예측을 위한 분산병렬 다차원 인구 마이크로 시뮬레이션 기술개발’ 과제를 시작하였다. 과제의 목표는 다양한 경제·사회 현상 모델링과 대규모 미시 모델링·시뮬레이션 엔진 핵심 원천기술을 개발하고, 인구 변화에 영향을 주는 다양한 요인들(임신, 출산, 양육, 소득, 고용, 교육 등)을 반영하여 중·장기 인구 변화를 예측함으로써 ‘인구·복지 관련 사회정책 수립·집행에 관한 의사결정을 최적화’하는 것이었다.

과제에는 2016년까지 연구비 68억 원과 연구인력 연 52명이 투입되었으며, 중소기업인 클루닉스와 모두텍이 공동연구기관으로 참여하였다. 또한, 인구 변화 예측과 복지정책 모델링 및 관련 정책개발을 위하여 한국보건사회연구원과 한국사회보장정보원도 함께 하였다. 연구 결과, ETRI는 천만 에이전트 규모 ABMS(Agent-Based Modeling and Simu-



인구변화 예측 분석기술



## 디지털트윈을 이용한 도시적용-세종시

## 도시사회 정책수립을 위한 ICT 기술

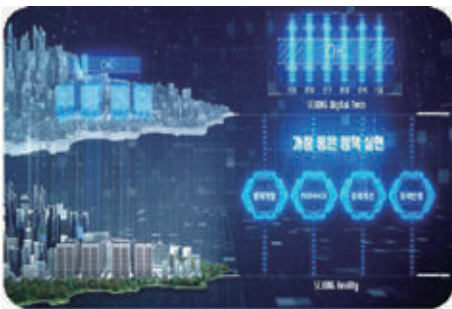
교통, 교육, 부동산 등 도시사회 문제 해결을 위해 국가와 지방자치단체는 관련된 데이터를 기반으로 현황을 파악하고 정책을 수립 및 시행한다. 그러나 데이터 편차가 커 정확한 현황 분석이 어려우며, 데이터를 시뮬레이션할 수 있는 기술적 역량도 부족하여 효과적인 정책 수립이 힘들다는 문제가 제기되었다. 이에 ICT 분야의 데이터 정제·처리 기술, 통계적인 분석 기술, 모델링·시뮬레이션 기술 등을 활용하여 실시간 현황파악·분석·예측을 함으로써 도시사회의 현실적인 문제점을 해결할 방안이 모색되었다.

## 가상 세종 디지털트윈 개발

ETRI는 2018년 2월부터 2022년 12월까지 5년간 ‘과학적 정책 수립을 위한 도시행정 디지털트윈<sup>129)</sup> 핵심기술개발’ 과제를 수행하고 있다. 과제의 목표는 도시의 실데이터 기반 모델링

129) 디지털트윈(digital twin): 현실 세계의 기계나 장비, 사물 등을 컴퓨터 속 가상세계에 쌍둥이처럼 구현한 것이다.





가상도시 디지털트윈 개념도

으로 디지털트윈 가상도시를 구축하고, 이를 통해 신규 정책을 선제적으로 시뮬레이션하는 ‘도시 행정 디지털트윈 핵심기술’을 개발하여 이를 실제 도시에 실증하는 것이다. 주관기관인 ETRI를 중심으로 세종특별자치시, KAIST, (주)다음소프트, 서울대학교 행정대학원, 한밭대학교, (주)바이브컴퍼니(구, 다음소프트)가 공동연구기관으로 참여하고 있으며, 연간 정부출연금 37억 원과 59명의 연구인력(세종시 공무원 4명 포함)이 투입될 예정이다. 최종 결과물은 세종시의 도시사회 문제 해결을 위한 정책 수립 시 해당 공무원의 의사결정을 지원하는 데 활용될 예정이다.

ETRI는 우선 세종시의 이동수단과 관련된 정책 수립을 지원하기 위하여 인구이동 중심의 디지털트윈을 개발하고 있다. 이를 위해 2018년에는 데이터를 지리공간 인프라(도로 네트워크, 생활권역 등), 퍼실리티 인프라(건축물, 주차장, 버스노선, 공유자전거 등), 도시사회(성별, 연령, 거주지역, 소득 등), 상호작용(교통카드, 카드 소비, 유동인구 등)으로 분류하고, 분류된 데이터에 대한 세부 데이터를 수집하여 정제한 뒤 디지털트윈 시스템 구축을 위한 설계를 진행하였다. 또한, 2019년에는 약 50만 에이전트(시민, 승용차, 버스 등)로 가상 도시를 표현할 수 있는 디지털트윈 프로토타입을 개발하였다. 이어서 2020년에는 디지털트윈 구축을 통해 이동수단 정책 수립을 지원하기 위한 구체적인 요구사항 4가지를 도출하였다. 공영자전거(어울링) 운영 및 재배치 효율화, 전동킥보드(PM) 신규 도입 시 운영 방안과 효과 예측, 광역급행버스 노선 신설 시 관련 법령에 따른 정류장 위치와 효과, 교량 신설 위치 제안과 효과 예측이 그것이다.

디지털트윈 구축을 위해 ETRI는 1분 단위의 정밀한 시계열 이동데이터(시뮬레이션 결과)를 생성하는 기술을 개발하고 있다. 이를 통해 방대한 데이터를 식별·분석하여, 논리적인 추론이 가능한 모델을 구성하고 시뮬레이션함으로써 도시의 이동 현상에 대해 1분 단위로 하루를 예측할 수 있도록 할 예정이다. 또한, 분산 시스템 환경 기반으로 대규모 시뮬레이션을 고속으로 지원하는 엔진을 개발하고 있다. 이 엔진은 2020년 천만 에이전트를 동시에 실행할 수 있는 수준에 도달하였으며, 과제의 종료 시점인 2022년에는 1억 에이전트를 동시에 시뮬레이션할 수 있을 것으로 기대된다.

### 과학적인 정책 수립의 성공사례 마련

‘가상세종 디지털트윈 기술’을 토대로 세종시 도로과는 2020년 7월 공영자전거(어울링) 개선 정책을 발표하였다. 향후 과제가 완료되면, 세종시 공무원들은 이동수단 이외의 다양한 정책 결정을 디지털트윈을 기반으로 더 정확하고 빠르게 할 수 있을 것이다.

데이터와 데이터 분석 기술이 가치를 결정하는 데이터 경제 사회가 도래하면서 민간과 공

공을 막론하고 모든 분야에서 데이터의 중요성이 부각되고 있다. 그러나 데이터를 실제 의사결정에 활용한 사례는 매우 부족한 실정이다. 이러한 가운데 가상 세종 디지털트윈은 데이터 분석을 통한 과학적인 정책 수립의 성공적인 사례로 손꼽힌다. 본 기술은 앞으로 타 지방자치단체로도 확산되어 시민들에게 실질적인 혜택을 줄 수 있을 것으로 기대된다.



ETRI 32비트 UNIX 컴퓨터 시스템

주전산기

1985년 정부는 행정망·금융망·교육연구망·국방망·공안망 등 다섯 개 기간전산망 설치를 기본 골격으로 하는 ‘국가기간전산망사업 계획’을 발표한다. 여기에는 국내 독자기술로 중대형컴퓨터를 개발하여 주전산기(하나의 컴퓨터에 여러 대의 컴퓨터가 연결된 시스템에서 중심이 되는 컴퓨터)로 활용한다는 내용이 포함돼 있었다.

당시 중대형컴퓨터를 만들 수 있는 나라는 미국·일본·프랑스 등 손에 꼽을 정도밖에 없었다. 그러나 ETRI 역시 1987년 국내 최초의 표준형 컴퓨터인 32비트 유닉스 컴퓨터를 개발할 정도로 저력이 있었고 연구원들의 열정도 뜨거웠다. 1987년 ‘주전산기 국산화 개발사업’ 주관기관으로 선정된 ETRI는 국내 4대 컴퓨터 기업과 함께 본격적으로 연구에 돌입하였다. 그 결과, 1991년 드디어 ‘행정전산망용 주전산기Ⅱ(타이컴)’ 개발에 성공하면서 우리나라도 중대형컴퓨터 생산국 대열에 합류하였다. ETRI는 1994년에 ‘주전산기Ⅲ(타이컴Ⅲ, 고속중형컴퓨터)’를, 1998년에는 ‘주전산기Ⅳ(타이컴Ⅳ, 고속병렬컴퓨터)’를 연속 개발하였다.

중대형컴퓨터 개발을 통해 축적된 기술은 그대로 컴퓨터산업 전반으로 녹아 들어가 국내 ICT 수준을 획기적으로 끌어올렸다. 이는 PC 생산·조립과 OEM 생산 정도에 머물던 우리나라 컴퓨터산업이 세계 최고 수준으로 성장하는 계기가 되었다. 또한, 전자정부의 기틀을 마련한 것은 물론, 컴퓨터 관련 전문인력을 다수 양성하여 국내 컴퓨터산업의 고속성장을 견인하였다.

고성능 서버

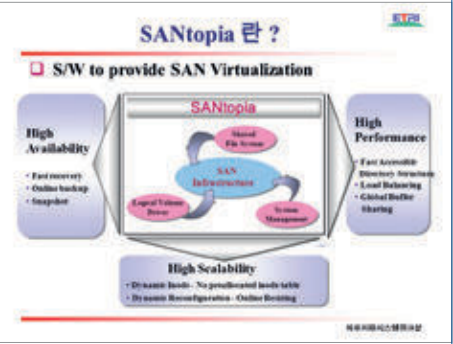
ETRI는 정보화 사회로의 빠른 변화에 대응하기 위해 멀티미디어 컴퓨터 개발에도 힘을 쏟았다. 1990년부터 그래픽·음성·동영상 등 멀티미디어 정보처리를 종합적으로 할 수 있는 지능형 컴퓨터를 개발하고, 시스템 SW의 활성화에도 큰 노력을 기울였다.

2000년에는 스토리지 구축비용을 대폭 줄일 수 있는 SAN 기반의 스토리지인 ‘SANTopia’를 순수 국내기술로 개발하여 외산 중심의 국내 스토리지 관련 시장에서 국내 기업이 성장할 수 있는 기반을 마련하였다. 이는 2006년 객체 기반 클러스터 파일 시스템 ‘OASIS’로 고도화되었다. 또한, 2005년에는 1,000명의 사용자에게 HDTV급 고품질 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있는 미디어 서버 ‘SMART’를 개발하였으며, 2000년대 후반부터는 컴퓨터와 주변기기 작동에 소모되는 전력을 줄이고 탄소배출을 최소화하는 그린 컴퓨팅 기술에 집중하였다.

한편, 2005년 유튜브 창립 이후 개인방송국 시대가 막을 열자, 저비용·대규모 글로벌 인터넷 서비스 기술개발에 돌입하여 2007년부터 2011년까지 글로벌 인터넷 서비스 종합솔루션인 ‘GLORY’를 완성하였다.

2012년에는 ‘맞춤형 슈퍼컴퓨터’라는 새로운 개념을 만들어내고, 2016년까지 유전체·단백질 구조 등에 관한 빅데이터를 분석하는 바이오 특화형 슈퍼컴퓨터 ‘MAHA’를 개발하였다. MAHA는 고성능 GPGPU를 장착해 무려 36,000개에 달하는 코어를 지원하면서도(이론 성능 최대 105테라플롭스) 전력 소모량은 기존 시스템 대비 50%에 불과한 저전력·고성능 슈퍼컴퓨터로, CPU만을 사용한 기존의 유전체 분석시스템 대비 최대 150배 빠르게 분석을 수행할 수 있다. 이로써 ETRI는 그간 불모지나 다름없던 슈퍼컴퓨터 분야에서 우리나라가 세계 강국과 어깨를 나란히 할 수 있는 계기를 만들었다. MAHA 시스템은 ‘국제암유전체컨소시엄(ICGC)’의 세계 6대 데이터센터 가운데 하나로 선정되어 2014년부터 컴퓨팅 자원을 제공하고 있다.

아울러, 2017년에는 ATOM 및 ARM 기반으로 집적도를 10배 이상 높은 저전력 마이크로 서버인 ‘KOSMOS’ 개발에도 성공하였다.



ETRI 네트워크 연결형 자료저장 시스템



## 3-5-1. 주전산기

### 행정전산망용 주전산기 개발에 돌입

정부는 1985년 외국제품(IBM)에 의존하고 있던 국가기간행정망 메인 컴퓨터를 우리 기술로 만든 컴퓨터로 대체하기 위한 ‘국가기간전산망 사업’을 체신부 주관으로 추진하였다. 또한, 공공기관의 전산화를 촉진하여 행정효율을 높이고 국민의 편익을 증진하는 것을 골자로 한 「전산망보급 확장과 이용촉진에 관한 법률」을 제정하였다.

주전산기<sup>130)</sup>는 경제성, 기술의 독자성 확보, 파급효과, 기술개발 성패에 따른 위험 부담 등을 고려하여 단기적 수요에 대해서는 외국 기종을 도입하여 국내 생산 및 유지보수 기술을 확보하고, 중장기적으로는 국내 독자 시스템을 개발하는 방법으로 추진되었다. 외국 기종 도입 프로젝트는 주전산기 기술 보유기업인 톨러런트 사로부터 원천기술과 생산판매권을 이전받아 국산화하는 ‘주전산기Ⅰ 개발사업’으로 진행되었다.

ETRI는 독자 시스템 개발의 주관기관으로 선정되었다. 이에 1985년 7월 과학기술처의 요청에 따라 국가기간전산망 구축을 위한 「컴퓨터 국산화 개발계획」을 작성하였으며, 1986년에는 「행정전산망용 컴퓨터 개발계획(안)」을 수립하였다. 이후 대통령의 승인을 받아 1987년 6월 1일 ‘행정전산망용 주전산기Ⅱ 개발’ 사업, 즉 ‘타이컴(TiCom) 프로젝트’가 시작되었다.

#### ‘타이컴’ 이름의 유래

‘타이컴(TiCom)’은 1987년 주전산기 개발을 처음 시작할 당시, 공동연구 업체를 포함한 모든 사업 참여자를 대상으로 한 공모를 통해 선정되었다. 이 이름에는 두 가지 의미가 있는데, 하나는 주전산기 컴퓨터시스템 구조인 ‘Tightlycoupled multiprocessor Computer’를, 다른 하나는 88올림픽의 상징물인 호돌이(호랑이) 이미지를 적용한 ‘TigerComputer’를 의미하였다.

### 슈퍼미니급 행정전산망용 주전산기Ⅱ(타이컴) 개발

타이컴 프로젝트는 1987년부터 1991년까지 335억 원의 예산과 총인원 932명이 투입된 대규모 연구개발사업으로, 단순한 기술개발을 넘어 행정 혁신을 목표로 출발하였다. 즉,

독자적인 주전산기 개발을 통해 권력 측면에서는 ‘작은 정부’이면서, 민원·행정 등 국민 서비스 측면에서는 ‘큰 정부’를 구현하고, 당시 이슈이던 금융실명제와 종합토지세제 등을 실현하여 정의로운 사회로 거듭나고자 하였다.

기술적으로는 ‘중형(슈퍼미니)급의 유닉스 컴퓨터시스템 개발’을 목표로 하였다. 사업에는 ETRI를 주관기관으로 하여 국내 전자산업 분야 대기업인 금성사, 대우통신, 삼성전자, 현대전자가 공동연구기관으로 참여하였다.

ETRI는 주전산기Ⅱ(타이컴)의 HW와 SW는 물론, 모토로라 처리기를 4개까지 지원하는 운영체제 동시 수행 기술, 대칭적인 커널 동작 기술, 동적 부하 균형 기술, 진화도 기반 처리기 스케줄링 기술, 병렬 라이브러리 및 한글 지원 기술 등을 개발하였다.

4년간의 연구 과정을 거쳐, 1991년 드디어 타이컴이 출시되었다. 당시 타이컴은 고성능 시스템버스를 바탕으로 20개의 CPU 칩을 밀접합한 다중프로세서(tightly-coupled multi-processor) 구조로 이뤄져 있었으며, 여러 개의 시스템을 이용하여 분산 시스템 구성이 가능하였다. SW에는 다중처리, 한글처리, 분산처리 기능을 보유한 운영체제가 탑재되었으며, 다양한 프로그램 언어와 병렬처리 라이브러리(library)가 지원되고, 통신 SW, 데이터베이스 관리시스템, 온라인 거래(transaction) 처리, 그 밖에 지능형 SW를 포함한 응용 프로그램을 제공하도록 설계되었다.

또한, HW에는 2개에서 최대 20개까지 확장 가능한 프로세서 기판, 64MB부터 512MB에 이르는 메모리가 사용되었다. 입출력 부분은 표준 32bit VME 버스(IEEE P-1014)를 서버버스로 사용하고, 이 기종과 통신이 원활하도록 Ethernet LAN(Local Area Network)과 X.25 공중망 통신 HW를 제공하였다.

타이컴 개발을 통해 우리나라는 PC의 조립생산과 OEM 방식 생산을 넘어 중형컴퓨터를 독자적으로 설계할 수 있는 역량을 확보하게 되었고, 선진국들의 컴퓨팅 핵심기술 이전 회피 및 기술 무기화에도 대응할 수 있게 되었다. 또한, 순수 국산 기술로 개발·보급된 중형 컴퓨터가 전국 곳곳 공공기관에 공급되면서 행정 전산화가 급속도로 진행되었다. 아울러, 기술개발 과정에서 양성된 컴퓨터 전문인력과 관련 산업체는 국내 컴퓨터산업의 저변 확대에 크게 기여하였다.

1993년까지 타이컴의 국내 판매 실적은 200대, 1994년까지는 280대 규모에 달하였다. (컴퓨터연구조합) 그러나 프로세서의 처리 능력보다 입출력 성능이 부족하다는 시스템의 문제점이 발견됨에 따라 개량모델의 공급이 시급해져 바로 후속 시스템(타이컴Ⅲ) 개발이 시작되었다.



주전산기Ⅲ(타이컴)

130) 주전산기: 하나의 컴퓨터에 여러 대의 컴퓨터가 연결된 시스템에서 중심이 되는 컴퓨터이다.

고속중형컴퓨터 주전산기Ⅲ(타이컴Ⅲ) 개발

ETRI는 1991년부터 1994년까지 타이컴의 단점들을 보완하기 위한 주전산기Ⅲ(타이컴Ⅲ) 개발을 추진하였다. 공동연구기관은 타이컴Ⅱ 개발 당시와 동일하였으며, 4년간 약 300억 원(정부 110억 원, 기업 190억 원)의 연구비가 투입되었다.

타이컴Ⅲ는 고성능 다중처리 구조로 개발되었다. 당시 세계 최고의 컴퓨터 분야 연구기관인 AT&T Bell 연구소가 단일 처리가용 운영체제 기술만 가지고 있던 상황에서, ETRI 중심의 연구진이 독자적으로 다중 처리가용 운영체제를 개발한 것은 매우 뜻깊은 성과였다. 다중처리가 가능해지면서 타이컴Ⅱ에 비해 처리 속도는 10여 배(1,000 VAX MIPS)나 빨라졌다.

또한, 클라이언트-서버 모형의 분산처리 기능이 강화되었으며, 국제표준을 따른 개방형 구조를 채택하여 다양한 SW 선택이 가능하였다. 최대 2GB의 주기억장치 용량, 200GB의 디스크 용량, 1,024대의 지원 단말기 수, UNIX SVR4.0 다중프로세서 운영체제 지원, 대용량 데이터베이스 시스템 지원 등도 주요한 특징이었다.

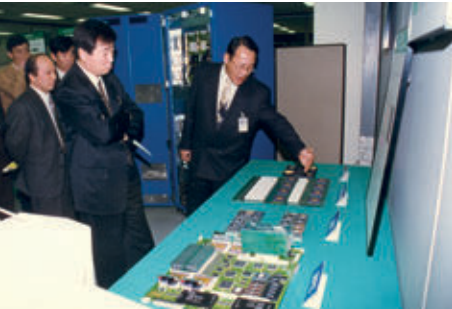
특히, 타이컴Ⅲ는 기존에 최대 10개의 보드에 20개까지 장착할 수 있던 CPU의 숫자를 줄여서 메모리 보드와 입출력 보드를 증설(최대 4장 장착)함으로써 향후 주 응용 분야인 트랜잭션 처리가 원활할 수 있도록 규격을 대폭 개선하였다. 1994년 개발 완료된 이후 10여 년 동안 타이컴Ⅲ는 공동연구업체들에 의해 생산되어 수백 대가 판매되었다.

고속병렬 주전산기Ⅳ(타이컴Ⅳ)

타이컴Ⅱ · 타이컴Ⅲ의 성공에 힘입어 1994년부터 1998년까지는 병렬컴퓨터인 주전산기Ⅳ(타이컴Ⅳ)개발에 매진하였다. 공동연구기관은 타이컴Ⅱ · 타이컴Ⅲ 개발 당시와 동일하였다.

ETRI는 당시 세계적인 기술추세에 따라 수백 개까지 병렬 프로세서를 장착할 수 있는 MPP(Massively Parallel Processor) 구조로 타이컴Ⅳ인 ‘고속병렬 컴퓨터시스템 (SPAX; Scalable Parallel Architecture computer based on X-bar network)’을 개발하였다. 또한, 크로스바(cross-bar) 스위치를 이용한 초병렬 버스시스템 설계, 마이크로커널 기술을 이용한 병렬 운영체제 등 다수의 원천기술을 확보하였다.

특히, 초병렬 버스시스템 설계에 관한 미국특허를 확보하고, 2014년 미국 업체로부터 20만 달러 상당의 계약기술료를 받는 등 세계적으로 기술력을 인정받았다. 그러나 개발 완료 시점에 세계 시장에서 MPP 시스템에 대한 선호도가 급격히 떨어짐에 따라 참여기업들이 시스템 상용화에 적극적이지 않았고, 실제 판매에도 이르지지는 못하였다.



주전산기 4 성과시연회

국내 컴퓨터산업 고속성장 이끌어

1987년부터 1998년까지 타이컴 시리즈 개발을 통해 우리나라는 전자정부의 기틀을 마련한 것은 물론, 국내 컴퓨터시스템 기술을 세계적인 수준으로 끌어올려 외산 기술의 종속에서 벗어날 수 있게 되었다. 또한, 컴퓨터 관련 전문인력을 다수 양성하여 국내 컴퓨터산업의 고속성장에도 기여하였다.

— 주전산기Ⅱ · Ⅲ · Ⅳ의 성능 및 특징 비교

비교항목	주전산기Ⅱ	주전산기Ⅲ	주전산기Ⅳ
별칭	타이컴(TICOM)	고속중형컴퓨터(TICOMⅡ)	고속병렬컴퓨터(SPAX)
시스템구조	다중처리형	다중분산처리형	병렬처리형
프로세서	MotorolaMC68030/40	Intel Pentium	Intel P6/P7
최대 프로세서 수	20개	10개	256개
성능 (VAX-MIPS 기준, TPC 기준)	16MIPS 40tpsA	1,000MIPS 200tpsA	20GIPS 10,000tpmC
주기억장치 크기	최대 512MB	최대 2GB	최대 64GB
연결구조(전송속도)	버스(100MB/sec)	버스(264MB/sec)	크로스바(34GB/sec)
입출력구조	단일입출력 보드	순차 입출력과 블록입출력 분리	병렬 입출력
운영체제	UNIX SVR 3.1	UNIX SVR 4.0MP	MISIX(UNIXWARE2/MK)
상용화 시기	1992	1995	1998

3-5-2 고성능 서버

인터넷에 최적화된 멀티미디어 서버 개발에 돌입

1990년대 말, 국내에 인터넷이 확산하기 시작하면서 인터넷방송, 전자상거래 등 인터넷 서비스에 최적화된 대용량 멀티미디어 데이터를 처리할 수 있는 고성능 서버에 대한 필요성이 제기되었다. 이에 ETRI는 1998년 2월부터 2001년 1월까지 정부출연금 214억 원이 투입된 ‘고성능 멀티미디어 서버 개발’ 과제를 추진하였다. 삼성전자(주), (주)유니와이드테크놀러지가 공동연구기관으로 참여하였다.





IA-64 서버시스템



광채널 스토리지 시스템

131) IA-64(Intel architecture-64): 인텔 사에서 만든 64비트 CPU를 의미한다.

132) SAN(Storage Area Network): 스토리지 트래픽만을 단독으로 처리할 수 있는 스토리지 전용 네트워크이다.

과제의 목표는 초고속 정보통신망에 사용될 세계 최고 수준의 고성능 멀티미디어 서버를 국내 독자기술로 개발하는 것이었다. 구체적으로, IA-64<sup>131)</sup>를 기반으로 한 고성능 컴퓨팅 처리 구조와 최대 10TB(TeraByte)의 데이터 저장용량을 가진 서버를, HDTV 수준의 동영상을 지원하며 최대 2,000명의 멀티미디어 서비스 사용자 동시처리가 가능한 수준으로 개발하는 것이 목표였다.

### 세계 최고 수준의 멀티미디어 서버 개발에 성공

연구 결과, ETRI는 국내 최초로 ‘IA-64 서버시스템’을 개발하였으며, 국내 최초 세계 4번째로 ‘광 채널 스토리지 시스템’(FC-HiPSS; Fiber-Channel Hi Performance Storage System)을 독자기술로 개발하는 데 성공하였다.

IA-64 서버시스템은 인텔의 최신 프로세서(이타늄) 4개를 탑재한 메인보드를 이터넷으로 여러 개 연결하여 클러스터로 구성한 국내 최초의 중대형 컴퓨팅시스템으로, 리눅스 운영체제를 탑재하였다. 또한, 광 채널 스토리지 시스템은 최대 10TB의 데이터 저장용량을 가진 상용 저장장치로, 실시간 운영체제를 탑재한 대용량 · 고성능의 디스크 어레이 시스템이다. 연결망으로 광 채널을 사용하여 고속으로 안정되게 자료를 처리할 수 있는 것은 물론, 다중 오류복구 기능 등 당시로서는 최첨단 기능을 다양하게 탑재하고 있었다. 개발된 기술들을 토대로 2000년 9월에는 연구소기업 미디어코러스(주)가 창업하였다.

### 독자기술로 SANtopia 개발

고성능 멀티미디어 서버의 후속 과제로 2000년 2월부터 2002년 12월까지 정부출연금 29.79억 원이 투입된 ‘네트워크 연결형 자료저장 시스템 SW 개발과제(코드명 SANtopia)’가 추진되었다. 과제에는 유니와이드테크놀로지, 서울SW, (주)KGI, 매크로임팩트, 케이스 카이비가 공동연구기관으로 참여하였다.

과제 수행을 통해 ETRI는 ‘SANtopia’를 순수 국내기술로 개발하는 데 성공하였다. SANtopia는 언제 · 어디서나 · 누구나 인터넷을 통하여 대량의 멀티미디어 데이터를 효율적으로 저장 · 검색 · 변경 · 관리할 수 있는 SAN<sup>132)</sup> 기반의 스토리지 시스템으로, 여러 대의 서버가 동일한 저장장치를 공유할 수 있게 함으로써 유연하고 경제적인 데이터 서비스가 가능하였다. 또한, 시스템 운영 중에도 온라인상에서 필요한 저장공간을 임의로 추가해주는 온라인 리사이징(Resizing) 기능, 일반 데이터 서비스를 진행하는 동시에 백업까지 안전하게 해주는 온라인 스냅샷(Snapshot) 기능, 데이터의 변경사항을 실시간으로 기록해두었다가 데이터 오류복구 시에 활용함으로써 서버의 재부팅 시간을 최저 1,000분의



고성능 저전력 마이크로 서버

1로 줄여주는 저널링(Journaling) 기능, 여러 개의 저장장치를 하나처럼 넓게 쓰도록 해주는 SW 레이드(RAID) 기능 등을 제공하였다. 특히, 윈도우즈(Windows) 클라이언트 모듈을 개발하여 윈도우즈 사용자가 인터넷망을 통해 SAN 저장장치를 자신의 PC에 설치한 하드디스크처럼 이용할 수 있도록 한 것이 큰 특징이었다.

SANtopia 개발로 외산 중심의 국내 스토리지 관련 시장에서 국내 기업이 성장할 수 있는 기반이 마련되었다. 이후, 초고속 인터넷이 발전함에 따라 인터넷 데이터센터, 전자상거래, 인터넷 포털 등이 활성화되면서 ETRI의 SANtopia 기술은 관련 산업의 기반기술로써 중요한 역할을 하였다.

### 고품질 인터넷 서비스에 대한 요구 급증

21세기 들어 이러닝(e-learning), IPTV, UCC(User Created Contents) 등의 동영상 서비스가 급증하고, 전자인식 기술(RFID)과 센서 망의 보급으로 유비쿼터스 서비스가 등장함에 따라 인터넷뿐만 아니라 컴퓨터시스템 SW에도 대량의 이벤트 정보를 실시간으로 처리하는 기술이 필요해졌다. 이에 정보통신부는 2002년 고품질의 인터넷 서비스를 구현하고 인터넷 신산업을 육성한다는 내용의 ‘차세대 인터넷 서버 기술개발계획’을 수립하였다.

### 차세대 인터넷 서버(SMART) 개발에 성공

ETRI는 2002년 정보통신부의 5대 국책과제 중 하나로 ‘차세대 인터넷 서버(SMART)’ 개발에 돌입하였다. (책임자: 임기욱, 김명준) 본 과제에는 2006년 12월까지 정부출연금 535억 원이 투입되었으며, 다수의 국내 서버업체와 한국건설기술연구원이 공동연구기관으로 참여하였다.

과제의 목표는 ‘방송 · 통신 융합시대에 대응하는 디지털 케이블 방송용 미디어 서버와 인터넷을 통한 VoD(Video on Demand) 서비스용 서버를 리눅스 서버로 특화하여 개발’하는 것이었다. ETRI는 1980년대부터 타이컴 시리즈, 고성능 멀티미디어 서버, SANtopia 등을 개발하며 축적한 기술력을 토대로 과제를 추진하였다.

연구 결과, ETRI는 확장성이 우수한 대형 인터넷 서버의 구조 설계와 차세대 인터넷 환경에 적합한 원격 진단 · 관리 기술, 10Gbps 전송속도와 최대 6만 5,000여 노드를 연결할 수 있는 고속 시스템 연결망인 인피니밴드 기술, 다중프로세서와 64비트 처리를 지원하고

리눅스에 기반한 대용량 데이터 센터급 운영체제, 최대 1만 개의 HDTV급 동영상을 동시 처리하고 MPEG-4, MPEG-21의 국제표준 규격을 만족하며 인터넷과 연동되는 실시간 스트리밍 처리 SW인 멀티미디어 미들웨어, IP 기반 블록 입출력 지원 기술, 페타바이트급 정보저장과 검색, 그리고 1,000개 스토리지 노드를 클러스터링할 수 있는 인터넷 기반 네트워크 스토리지 등을 개발하였다.

2005년에는 이러한 성과들을 토대로 지역망을 사용하는 빌딩·대학·아파트 등에 20Mbps 통신망 환경에서 1,000명(동시 사용자 200명 지원)의 사용자에게 HDTV급 고품질 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있는 ‘미디어 서버(SMART; Server for Multimedia Applications for Residence communiTy)’를 개발하는 데 성공하였다. SMART는 초고속 인터넷 환경이 구축된 밀집 주거환경에서의 HDTV급 동영상 스트리밍 기능에 특화된 계층형 서비스 구조를 갖는 한국형 인터넷 서버이다.

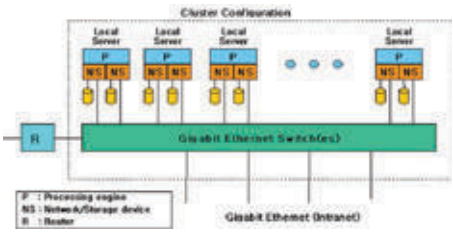
또한, 2006년에는 객체 자동인식을 통한 연속이동 서비스를 지원하는 ‘유비쿼터스 서비스 플랫폼’을 개발하였다. 특히, 연구 과정에서 ‘객체 기반 클러스터 파일 시스템(OASIS)’ 개발에 성공하였다. OASIS는 ETRI가 2002년 개발한 자료저장 시스템인 SANtopia의 후속 기술로, 이기종(리눅스, 윈도우) 호스트 간 파일 공유 접근을 지원하는 대규모 사용자 클러스터 컴퓨팅 환경에서 최적의 저장공간을 제공하는 고확장성·고가용성 클러스터 파일 시스템이다.

### 국내 서버 기술 발전의 토대 마련

SMART는 세계에서 참조 유형을 찾을 수 없는 독특한 컴퓨팅시스템으로, 지상파 DMB, 와이브로, 양방향 IPTV 등에 다양하게 적용되었다. 또한, 코아브리드 등의 전문기업에 이전되어 강남 케이블TV, 울산 케이블TV 등에 납품하는 성과를 거두었다. 한편, 2006년 개발한 유비쿼터스 서비스 플랫폼은 2007년부터 개발되기 시작한 대규모 글로벌 인터넷 종합솔루션인 GLORY의 기술적 밑거름이 되었다.

### 개인방송국 시대의 도래

2005년 유튜브 창립 이후, UCC(User Created Content)가 급부상하며 사상 유례없는 글로벌 인터넷 서비스, 그것도 비디오를 대상으로 하는 개인방송국 서비스 시대가 도래하



미디어 서버(SMART) 구성도



CATV/IPTV 서비스 구성도



GLORY 소프트웨어 구조도

였다. 이러한 서비스를 위해서는 대규모의 데이터 저장공간을 포함한 인터넷 서비스 인프라를 매우 낮은 비용으로 구축·운영할 수 있어야 하는데, 이미 구글은 2004년 Google File System과 Map Reduce로 알려진 대규모 분산병렬컴퓨팅 기술을 이용하여 인프라의 경제성확보가 기술적으로 가능하다는 것을 보여주었다. 이러한 상황 속에서 정부와 국내 3대 인터넷 포털서비스 사업자 간에 저비용·대규모 글로벌 인터넷 서비스 기술을 자체 개발해야 한다는 분위기가 무르익었다.

### 글로벌 인터넷 서비스 종합솔루션 ‘GLORY’ 개발

ETRI는 2007년 ‘저비용 대규모 글로벌 인터넷 서비스 솔루션 기술개발사업’(책임자: 김명준·남궁한, 코드명 GLORY)을 시작하였다. 이는 정보통신부가 2006년에 공모하여 선정한 두 개의 SW 플래그십(Software Flagship) 사업 중 하나로, 2011년까지 5년간 연구비 338억 원, 연구인력 연 100명이 투입되었다. ETRI가 연구개발을 주관하고, 네이버, 다음, KT, SKT 등의 포털 사업자와 스토리지 전문기업인 피스페이스, 매크로임팩트, 글루시스가 공동연구기관으로 참여하였다.

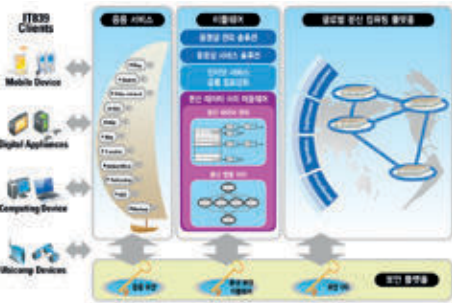
본 과제를 통해 연구진은 UCC, IPTV, 웹 동영상 페이지 검색 등 동영상 기반 대규모 인터넷 서비스를 개발하고, 이를 지원하기 위한 정보 및 컴퓨팅 자원 보안체제를 구축하였으며, 대규모 글로벌 분산컴퓨팅 플랫폼을 저가 노드와 공개 SW 기반으로 개발하여 글로벌 인터넷 서비스 종합솔루션인 ‘GLORY(GLObal Resource managements Ystem for future internet service)’를 완성하였다.

결과물 가운데 하나인 ‘저비용 대규모 글로벌 파일 시스템(코드명 GLORY-FS)는 당시 사전 속에만 존재하던 저장 단위인 페타바이트(PB; petabyte, 10<sup>15</sup>)를 다룰 수 있는 스토리지 기술로, SK텔레콤, LG유플러스, KT하이텔 등 국내 12개 업체(대기업 4, 중소기업 8)에 이전되었다. GLORY-FS는 세계 경쟁제품과 겨뤄도 뒤지지 않는 최고 수준을 유지하였는데, 이는 바다 I·II·III·IV를 개발하면서 자료저장 시스템(특수파일 시스템) 기술을 축적하고, 2000년대 들어와서는 리눅스 파일시스템 개발과제인 Content Container와 OASIS를 개발해 본 경험 덕에 가능한 일이었다.

### 상용화를 위한 발 빠른 전략

GLORY 사업을 시작할 당시, 국내에서도 동영상 서비스 사업자가 우후죽순으로 출현하고 있었고, 그에 발맞춰 외산 스토리지 제품이 빠르게 국내에 자리 잡기 시작하였다. 이에 연구진은 신제품 출시 시기가 중요하다는 판단하에, 초기 시제품을 1차 연도 말까지 서둘러





글로벌 인터넷 서비스 종합솔루션 'GLORY' 개념도 및 테스트베드

개발 완료하고 인터넷 서비스 사업자와 시장 진입을 위한 접촉에 나섰다. 그러던 중 2008년 포털서비스 '파란'의 사업자인 KT하이텔로부터 기술 소개를 요청받아 급히 실서비스에 파일럿 시스템을 적용하였다. 그 결과, 불과 일주일 만에 안정적인 스토리지 서비스가 가능하다는 것을 검증하고 기술이전 및 사업화에 성공하였다. 당시 파란은 사진과 영상 등의 개인 콘텐츠를 다수의 사용자가 공유하도록 지원하는 대표적인 서비스였으며, 2012년 서비스가 종료될 때까지 ETRI의 GLORY 시스템을 메인 스토리지로 활용하였다.

한편, 연구진은 외산 기술과의 차별성을 위해 POSIX 파일 시스템 표준을 그대로 준수하기로 전격 결정하였다. 표준이 규정한 제약조건을 준수하려면 매우 복잡한 과정이 필요하기 때문에 당시 Google과 Hadoop의 파일 시스템은 표준을 지원하지 않았다. 그러나 ETRI는 부담을 무릎 쓰고 표준성능을 내기 위한 모험을 시도하였다. 이 선택은 결과적으로 옳은 것이었다. 표준을 준수한 덕분에 파란 서비스를 위한 일주일간의 적용 테스트 중, 스토리지 전환은 단 하루 만에 간단히 완료되었다. 이 점은 KT하이텔이 ETRI 기술을 신뢰하고 전격적으로 도입한 결정적인 계기가 되었다. 이후로 개발 연차가 지남에 따라 GLORY는 표준을 지키면서도 외산 제품 대비 성능마저도 우월하게 되었다.

### 약 300억 원의 수입대체 효과 창출

GLORY는 2009년 최초 상용화 이후 클라우드 서비스, 공공기관, 교육기관, 방송사, 디자인, 게임포털, CDN 사업자, 유전체 분석 사업자 등을 대상으로 빠르게 확산되었다. 이로써 글로벌 업체들(HP, Dell, EMC 등)의 국내시장 독점을 완화할 수 있게 되었다. GLORY는 총 100PB 규모의 스토리지 구축, 26건의 기술이전, 24억 원 규모의 기술료 수입을 달성하였으며, 수입대체 효과는 약 300억 원에 달할 것으로 추산된다.

이후, GLORY는 2020년 현재까지 총 13년간 6개 후속 과제를 거치며 고도화되었다. 유전체 분석용 슈퍼컴퓨팅 시스템 개발을 통해 세계 최고 수준의 입출력 성능을, 사용자 10,000명 수준의 가상 데스크톱 서비스용 파일 시스템 개발을 통해 가상화 환경 지원을, 빅데이터 분석 스토리지 개발을 통해 오픈소스 빅데이터 생태계 지원을, 엑사스케일 스토리지 개발을 통해 독창적인 Torus 기반 엑사급 확장성을 확보하였으며, 현재는 메모리 중심 운영체제 연구를 통해 새로운 비휘발성 메모리 소자 융합기술개발을 시도하고 있다.

### 유전체 분석을 위한 MAHA 프로젝트 추진

1990년에 시작된 글로벌 연구사업인 인간유전체프로젝트(Human Genome Project)가 2003년 봄 인간유전체 염기서열을 완전해독하면서, 인간유전체 정보를 토대로 각종 질병을 진단 및 치료하는 기술이 획기적으로 발전하기 시작하였다. 그러나 인간유전체 염기서열 해독에 소요되는 비용의 무려 80%가 컴퓨팅 비용이라는 점은 해결해야 할 문제였다. 이에 ETRI는 이 분야에 특화된 컴퓨팅 기술개발을 목표로 2011년 '유전체 분석용 슈퍼컴퓨터 개발사업'(책임자: 최완)을 시작하였다. 본 과제에는 2016년까지 정부출연금 287억 원이 투입되었으며, 한국과학기술정보연구원(KISTI), KAIST, 인하대가 공동연구기관으로 참여하였다.

### 세계 최고 수준의 MAHA 슈퍼컴퓨터 개발

유전체 분석용 슈퍼컴퓨터의 핵심은 전체 시스템을 운영하고 대용량 데이터를 저장·처리하는 시스템SW의 개발이었다. 세계적으로 HW는 이미 상용제품으로 보편화 되어있어 새롭게 개발해도 경쟁력이 크지 않았다. 이에 연구진은 '계산 가속 기술'을 이용하여 고확장성 시스템 버스에 기반을 두고 이기종 다수 코어(many-core)를 탑재하는 시스템 연결망을 개발하였고, '입출력 가속 기술'로는 SSD(Solid State Drive)에 기반하여 저장장치의 성능을 가속하고 전력을 절감하는 기술을 확보하였다. 또한, 이기종 자원을 관리하고 성능 가속 자원을 통합하여 실행하는 '성능 가속 시스템 SW'와 고성능 바이오 응용과 이를 지원하는 '병렬처리 SW'를 개발하였다.

연구진은 이러한 기술들을 토대로 'MAHA(MAny-core Hpc system for bio-Applcation)' 시스템을 구축하는 데 성공하였다. MAHA는 자체개발한 분산파일 시스템, 클러스터 통합 관리 SW, 이종자원 관리 SW, 그리고 바이오 워크플로우 관리 SW 등으로 구성되었으며, 36,000여 코어와 104.5페타플롭스 성능을 구현하였다. 특히, 분산파일 시스템은 동시에 수백 명의 개인 유전체 정보를 처리할 수 있도록 수십 PB급 저장공간을 제공하는 기술로, 값비싼 전용 스토리지 서버가 아닌 상용 스토리지 서버를 사용해 구현함으로써 저장공간 구축비용을 경쟁제품 대비 50% 이하로 대폭 줄였다. 또한, 저전력 기술을 활용, 운영비용도 절감할 수 있도록 개발되었다.

연구진은 2014년부터 MAHA 시스템을 세계암유전체컨소시엄(ICGC; International Cancer Genome Consortium)에 제공하였다. 이를 통해 ICGC의 세계 6대 데이터센터



ETRI 마하 슈퍼컴퓨터



100테라플롭스급 MAHA 시스템 및 연구시제품

가운데 하나로써 역할을 하고 있다. 당시 ICGC에 제공한 자원은 1,3PB 스토리지와 800 코어 규모의 CPU이다. 연구에 참여했던 ETRI 연구원들은 암 유전자 지도 완성 공로자로, 2020년 2월 6일 Nature 지에 등재되기도 하였다. 아울러, MAHA 시스템은 국내외 38개 암 종양 유형의 2,658명의 암 유전체 데이터를 분석하는 데도 사용되었다.

엑사급 슈퍼컴퓨터 개발을 위한 토대 마련

MAHA 시스템은 기술개발의 우수성이 인정되어 2014년과 2015년 연속으로 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, 특히 2016년에는 100선 과제 중 정보전자 분야 최우수 과제로 선정되어 미래창조과학부 장관상을 수상하였다.

개발된 기술을 토대로 2014년 연구소기업 (주)신테카바이오가 창립한 것도 성과 중 하나이다. (주)신테카바이오는 대규모 대용량 유전체 빅데이터 저장·관리를 통해 신약개발에 드는 시간·비용을 줄이고 성공률을 높이는 기술을 개발하고 있으며, 2019년 코스닥에 상장하였다.

MAHA 시스템 개발 과정에서 축적된 기술들은 향후 엑사급 슈퍼컴퓨팅 시스템 개발의 중요한 기반기술로 사용될 것으로 보인다. 또한, 슈퍼컴퓨팅 역량을 암 진단, 개인 맞춤형 치료, 신약개발 등에 활용할 수 있는 터전을 마련함으로써 미래 의학의 발전에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

3-5-3. 신개념 서버

고집적·저전력 서버개발 필요성 대두

4차 산업혁명 시대로 진입하면서 IoT, 빅데이터 분석 등 엄청난 양의 데이터를 축적·활용하는 산업이 확산되자, 컴퓨터 서버의 고집적과 저전력에 대한 요구가 날로 커졌다. 특히, 외국계 글로벌 기업이 전체의 95% 이상을 차지하고 있는 국내 서버 시장에서 국산제품의 비중을 높이기 위해서는 정부 차원의 고집적·저전력 서버 기술개발에 필요하였다.

ATOM/ARM 기반 마이크로 서버 ‘KOSMOS’ 개발

이에 ETRI는 2014년 ‘ATOM/ARM 기반 512코어 규모 고집적 마이크로 서버 기술개발’ 과제를 시작하였다. 과제의 목표는 컴퓨팅·네트워킹을 통합 제공하는 초절전형 마이크로 서버시스템 개발이었다. 2018년까지 정부출연금 77.8억 원이 투입되었으며, (주)케이티엔에프, (주)에프에이리눅스, (주)글루시스, 한국컴퓨팅산업협회가 공동연구기관으로 참여하였다. 2017년 연구진은 ATOM(인텔 저전력 프로세서) 및 ARM(차세대 저전력 프로세서) 기반으로 집적도를 10배 이상 높인 저전력 마이크로 서버인 ‘KOSMOS(Korea Supreme Micro Server)’ 개발에 성공하였다. 여기에는 성능당 전력 특성이 우수한 저전력 프로세서를 고집적(512코어 이상)하고 이들 프로세서를 고속의 시스템 연결망(256Gbps 이상)으로 통합하는 ‘초절전형·고집적 서버 HW 기술’, 노드 내의 수천 개 멀티코어(4,096코어 이상) 및 TB급 메모리의 통합 운영을 지원하는 ‘가상화 기반 시스템 SW 기술’ 그리고 ‘ATOM·ARM 기반의 프로세서 시스템’ 등이 활용되었다.

KOSMOS는 1개의 서버 새시(Chassis, 너비 48cm × 높이 22cm)당 최대 64개의 서버를 탑재할 수 있어 기존 보급형 x86 서버보다 집적도가 10배 이상 높았다. 따라서 서버가 차지하는 공간을 획기적으로 줄이는 것이 가능하였다. 또한, 전력 소비량은 x86 서버보다 최대 1/7까지 낮으며, 와트당 성능은 3배, 데이터 입출력 속도 역시 기존 이더넷보다 10배 정도 빠르다. 아울러, 별도의 시스템 연결망(SRIO)을 통해 서버 간 내부 통신속도도 10배 정도 향상시켰다.

연구진은 본 과제를 통해 CPU를 제외한 서버 보드, 베이스 보드 등 대부분의 HW와 SW 그리고 드라이버 및 관리 도구까지 모두 자체 설계·제작하였다. 또한, 오픈스택(Open Stack) 기반 가상화 기술을 적용하여 클라우드 서비스를 제공하고, 응용서비스로 가상 데스크톱(IM-VDI)과 전자정부를 위해 국내에서 개발한 개방형 클라우드 플랫폼인 파스타(PaaS-TA)를 탑재하여 시험·검증하였다.

앞으로 KOSMOS는 국내 서버 산업 활성화를 위한 촉진제로 작용할 것으로 보이며, 외산 주도의 국내 서버 시장에서 국내 업체들이 저전력·고집적 서버 영역의 주도권을 확보하는 계기가 될 것으로 기대된다.

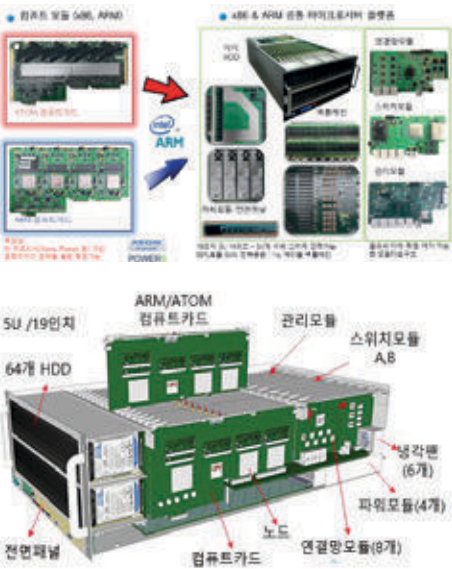
탄탄한 기술력을 토대로 후속 과제 이어져

ETRI는 KOSMOS 개발로 축적된 기술력을 기반으로 계속해서 후속 과제를 추진하고 있다. 2018년부터 ‘메모리 중심 차세대 컴퓨팅시스템 구조연구(코드명 모카(MOCA))’를 2025년 종료 예정으로 수행 중이다. 연구비 135억 원이 투입되고, (주)케이티엔에프, (주)테



ETRI 코스모스 사업





ATOM/ARM 기반 마이크로 서버(KOSMOS) 시제품 및 형상

라텍, 한국컴퓨팅산업협회가 공동연구기관으로 참여하는 과제이다. 이 연구를 통해 ETRI는 CPU와 메모리 간 병목 현상을 줄여 연산성능을 높이는 ‘메모리 중심 컴퓨팅’에 새롭게 도전하고 있다. CPU-메모리-스토리지 구조로 되어있는 현재 컴퓨터 구조를 CPU-스토리지클래스메모리(SCM)로 전환하는 것이 골자이다. 메모리 중심 컴퓨터는 여러 컴퓨터가 데이터를 교환하는 방식이 아니라, 메모리 풀을 서로 나눠 공유하는 방식이기 때문에 대용량 데이터 처리가 가능할 뿐만 아니라 데이터 이동이 빠르고, 처리해야 할 데이터의 양이 많아질수록 효율이 높아지는 것이 특징이다.

아울러, 2020년부터 2024년까지 총연구비 104억 원을 투입하여 ‘초병렬 프로세서 기반 슈퍼컴퓨터 계산 노드 기술개발’ 과제를 추진하고 있다. 독자적인 CPU 기술을 포함한 글로벌 수준의 슈퍼컴퓨터 기술을 자체 개발하여 과학계산뿐만 아니라 데이터 기반 응용·서비스 분야를 고도화함으로써 국내 슈퍼컴퓨팅 산업생태계를 확대하는 것이 연구의 목표이다.

ETRI는 2009년 클라우드 컴퓨팅 기술의 기반단계로, 표준기반 시스템 가상화 관리 SW인 ‘바인(VINE)’을 개발하며 본격적으로 클라우드 기술개발에 돌입하였다. 바인은 유휴 컴퓨팅 자원을 더 많은 자원이 필요한 다수의 사용자가 저비용으로 사용할 수 있도록 지원하는 시스템이다.

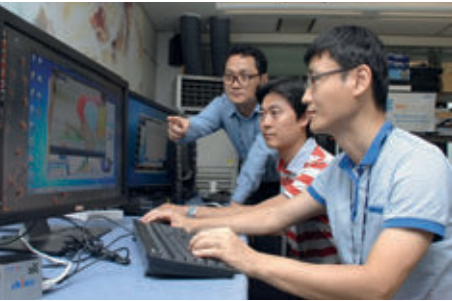
이어서 클라우드 처리 성능을 높이고 구축비용을 줄이기 위해 ‘클라우드 가상 데스크톱(DaaS) 기술’을 개발하여 국내 클라우드 산업의 기반을 다졌으며, 2016년에는 대규모 사용자 환경을 위해 성능을 강화한 ‘인 메모리 기반 모듈형 가상 데스크톱 시스템 기술’을 개발하였다.

아울러, 2011년에는 중소기업에 SW 온라인 서비스를 제공하기 위한 ‘SaaS 플랫폼’을 개발 및 확산하여, 국내 중소기업의 클라우드 플랫폼 활용도를 크게 끌어올렸다. 또한, ASP 기반이던 국내 SW 온라인 서비스를 SaaS 기반으로 한 단계 격상하는 계기를 마련하였다. 2016년 이후 인공지능망 기반의 기계학습법인 딥러닝 기술이 빠르게 발전하자, 딥러닝 클라우드 기술개발에 돌입하였다. 그 결과, 2019년 딥러닝 분산학습에 최적화된 ‘고속 딥러닝 클라우드 기술’을 개발하여 최대 4배까지 딥러닝 학습 시간을 줄이는 데 성공하였다.

한편, 2019년부터는 다양한 멀티 클라우드의 활용·확산 극대화를 위한 ‘멀티 클라우드 서비스 공통 프레임워크 기술개발’에 뛰어들었다. ETRI는 공개 SW 커뮤니티인 ‘Cloud-



클라우드 가상 데스크톱 개발



가상 데스크톱 국산화

Barista’를 구성하고, 이 커뮤니티를 통해 다수의 참여자가 함께 기술을 개발하고 수요자 누구나 과제 결과물을 사업화에 활용할 수 있도록 하는 새로운 형태의 오픈 SW 사업을 추진하고 있다.

### 3-6-1. 클라우드 인프라/플랫폼

#### 공개 SW 확산 방안 본격 논의

공개 SW란 저작권자가 소스 코드를 공개하여 누구나 그 코드를 자유롭게 수정 및 재배포할 수 있는 SW를 뜻한다. 국내에서는 ETRI가 2005년 ‘부요(Booyo) 리눅스’를 개발하면서 본격적으로 확산하기 시작하였다. 그러나 당시 리눅스 운영체제 외에 통합자원 관리 기술, 이기종 환경 지원 기술 등 이 분야에 특화된 공개 SW 솔루션은 개발되지 않아, 공개 SW가 중요 기간업무나 데이터센터 시장에 진입하지 못하고 있었다. 이 때문에 국내 SW 시장을 외국 리눅스 업체나 대형 SW 벤더에 내줄 위험성이 큰 상황이었다.

#### 유휴자원 공동활용을 위한 가상화 기술 ‘바인’

이러한 문제를 해결하고자, ETRI는 2006년부터 IT성장동력기술개발사업의 일환으로 ‘분산 이기종 서버 환경을 위한 공개 SW 기반 가상 인프라 구현 기술개발’ 사업을 수행하였다. 2009년까지 3년 동안 총연구비 56억 원(정부출연금 42억 원, 연구기관부담금 14억 원)과 연구인력 130명이 투입된 과제였다.

인터넷 데이터센터나 기업 업무환경에서 대부분의 서버는 피크타임을 제외하고는 25% 정도의 자원만 사용된다. 본 사업은 사용하지 않는 나머지 유휴자원을 공동활용하기 위한 가상화 기술<sup>133)</sup> 개발을 목표로 하였다. 이는 기종이 각각 다르며, 여러 곳에 분산된 컴퓨팅 자원을 국제표준시스템 관리 환경을 통해 하나의 자원처럼 활용할 수 있도록 하는 기술로, 유휴 컴퓨팅 자원을 더 많은 자원이 필요한 다수의 사용자가 저비용으로 사용할 수 있도록 해준다.

본 과제를 통해 ETRI는 국제표준인 DMTF(Distributed Management Task Force)와 Linux Foundation의 DCL(Data Center Linux)에서 규격화한 공개 SW를 기반으로 하는 가상 인프라 환경 구현 기술개발을 추진하였다. 그리고 2009년 표준기반 시스템 가상화 관리 SW인 ‘바인(VINE; Virtual INfrastructure Environment)’ 개발에 성공하였다. 바인의 세부기술로는 분산 이기종 자원 관리 프레임워크 SW, 필요한 때에 필요한 만큼의 자원을 할당받아 사용하도록 해주는 다중 시스템 워크로드 관리 SW 등이 있다. 바인을 활용하면 다수의 컴퓨팅 자원을 서비스 부하에 따라 최적으로 관리할 수 있는 것은 물론, 윈도우, 리눅스 등 다양한 운영체제를 통합 지원함으로써 유지비용을 절감하고 시



클라우드 서버 시연

133) 가상화 기술: 하나의 물리적인 컴퓨팅 자원을 논리적으로 분할하여 마치 여러 개의 자원이 존재하는 것처럼 만들어 주는 SW 기술이다.



스택 구축에 필요한 시간과 노력을 최소화할 수 있다. 아울러, 시스템 관리자는 사용자 인터페이스를 통해 미리 자원 관리정책을 설정하고 컴퓨팅 자원을 자동으로 할당하거나 회수함으로써 IT 자원 이용을 극대화할 수 있으며, 가상 데스크톱 환경 구축에 적용할 경우 사용자 PC에 데스크톱을 설치하지 않고도 중앙 서버로부터 데스크톱 환경을 제공하는 것이 가능하다.

클라우드 컴퓨팅의 기반기술로 활용

ETRI는 바인 기술을 토대로 TTA에 다수의 표준규격을 기고하였으며, 활발한 표준화 활동을 통해 국제 표준화 커뮤니티인 OpenDRIM([www.opendrim.org](http://www.opendrim.org))을 리드하였다. 또한, TTA 시험인증센터의 기능 및 안정성 시험을 통해 성능을 인정받았다. 바인은 공동연구기관으로 참여한 중소기업들에 이전되어 전산실 서버 통합, 가상 인프라 환경 구축, IDC 인프라 구축 등에 활용되었다. 또한, 국내 데이터센터의 에너지 효율성을 높이는 데도 기여하였다. 특히, 바인은 2010년대 이후 빠르게 발전한 클라우드 컴퓨팅의 기반기술로 활용되었다는 점에서 큰 의의가 있다.

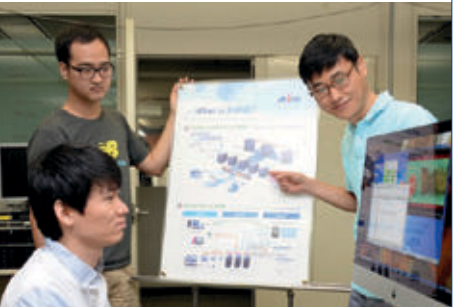


클라우드 컴퓨팅 연구

클라우드 기술의 태동

컴퓨팅 자원을 공유하는 개념은 1960년대에 등장하였으나, 기술 미성숙으로 널리 사용되지는 못하였다. 그러다 2006년에 클라우드<sup>134)</sup> 라는 용어가 등장하면서 지능형 컴퓨팅 서비스의 기반기술로서 ‘클라우드 컴퓨팅’이 널리 활용되기 시작하였다. 클라우드는 IT 자원에 대한 개념을 소유에서 임대로 바꾼 매우 혁신적인 패러다임이다. 우리나라의 경우에는 2000년대 말부터 클라우드 컴퓨팅 관련 기술개발이 조금씩 싹트었으며, 원격지에서 컴퓨팅 자원을 쉽고 빠르게 사용할 수 있는 클라우드 인프라 서비스 기술이 먼저 시장에 나오기 시작하였다. ETRI는 1980년대부터 축적해 온 서버컴퓨팅, 운영체제, 시스템 SW, 플랫폼 SW, 컴퓨터 응용서비스 관련 기술력을 토대로 2010년부터 본격적인 클라우드 컴퓨팅 기술개발에 돌입하였다.

134) 클라우드(cloud): 사용자가 네트워크를 통해 유연한 확장성을 가진 IT 자원들을 빌려 쓰는 컴퓨팅 서비스이다.



DaaS 국제표준에 선정

135) DaaS(Desktop as a Service): 언제 어디서나 사용 가능한 내만의 클라우드 PC 서비스를 제공하는 클라우드 인프라 기술이다.

DaaS 시스템/가상 데스크톱 기술개발

ETRI는 클라우드 인프라 기술 확보를 위하여 2010년부터 2014년까지 ‘클라우드 DaaS<sup>135)</sup> 시스템 및 단말 기술개발’ 사업을 시작하였다. 과제의 목표는 글로벌 솔루션 대비 기술경쟁력이 있는 클라우드 인프라 서비스를 위한 가상 데스크톱 시스템 기술을 개발하고, 관련 기술의 국제 표준승인을 통하여 표준특허를 확보하는 한편, 국내 기업을 통해 개발된 기술을 상용화하는 것이었다. ETRI가 주도적으로 기술을 개발하고, 기술의 조기 상용화를 위해 중소기업들이 공동연구기관으로 참여하는 형태로 사업이 진행되었다. 과제는 두 단계로 추진되었다. 우선, 2010년부터 2년간 에너지 절감을 위한 ‘랙형 그린 PC 시스템’을 개발하여 국내 기업 6곳에 이전 및 상용화하고, 2012년부터 2년간은 ‘원격 PC 기술개발’을 통해 클라우드 DaaS 기술 확보 및 상용화를 추진하였다. 개발된 DaaS 기술은 고속 IOV, 고품질 프로토콜, 데스크톱 가상화 기술을 적용하여, FHD 처리 성능 2배, 구축비용 30% 절감, 서버당 50명 사용자 지원이라는 목표를 달성하였다. 또한, ETRI는 DaaS 사업을 통하여 국내특허 26건과 국제특허 11건을 확보하였으며, ITU-T SG13의 클라우드 분야 국제표준회의를 주도하고 국제표준 기고서 47건을 제출하였다. 본 기술은 ITU-T Y.3503 국제표준으로 승인되었으며, 2014년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에도 선정되었다. 2014년부터 2016년까지는 확보된 DaaS 시스템의 성능을 높이기 위한 연속 사업으로 ‘고속 클라우드 서비스를 위한 인 메모리 기반 모듈형 가상 데스크톱 시스템 기술개발’ 과제를 진행하였다. 과제를 통해 개발한 가상 데스크톱 기술은 9초대의 부팅속도, 서버당 150명 사용자 지원, 이미지 3초 이내 생성 등 글로벌 솔루션보다 높은 기술력을 달성하였다. 또한, SK Broadband 등 국내 기업 4곳에 이전 및 상용화되었다. ETRI는 본 사업을 통해 국내외 특허 18건을 확보하였으며, 2014년에는 ITU-T Y.3503 국제표준을 승인받고, 이를 기반으로 클라우드 국제표준특허 6건을 확보하였다. DaaS 과제와 가상 데스크톱 과제를 통해 ETRI는 클라우드 인프라 원천기술을 확보하였으며, 국내 기업이 클라우드 시장에 진입할 수 있는 발판을 마련하였다. 두 과제에는 2010년부터 2016년까지 7년 동안 총연구비 166억 원과 연 35명의 연구인력이 투입되었다.

분할실행 SW 서비스 기술개발

한편, ETRI는 2010년부터 2013년까지 ‘서버 기반 SW 서비스의 분할실행 기술개발’ 과제를 수행하였다. 3D 그래픽 렌더링이 필요한 AutoCAD와 같은 응용서비스의 경우, 서비스당 고가의 전용 GPU · 서버 및 전용 솔루션이 필요하여 비용부담이 크다. 본 과제는

이러한 문제를 해결하기 위해 응용 SW는 서비스로 제공되지만(원클릭 구동 서비스), 응용 SW 상에서 진행되는 3D 그래픽 렌더링은 클라이언트의 GPU를 통해 제공하는 '분할 실행 SW 서비스 기술'을 개발하는 것을 목표로 하였다. 2010년에 7억 원의 연구비로 과제를 시작하였으나, 그 중요성을 인정받아 2011년부터 11억 원의 연구비와 연 30여 명의 연구인력이 투입되었다.

연구진은 2010년에 기술의 실행 가능성을 검증하고, 2011년에는 현장에서 사용되는 설계 SW인 ArchiSpace LT, AutoCAD 그리고 3D 게임인 Mass Effect 등에 실제 적용할 수 있는 기술을 개발하였다. 하나의 환경에서 수행되던 작업을 서버와 클라이언트 환경에서 분할 실행하기 위해서는 윈도우 내부의 실행구조를 알아야 한다. 그러나 MS사에서 구조를 공개하지 않아, 당시 연구진은 장님이 코끼리 다리를 더듬듯 윈도우 내부를 하나씩 파악해가며 끈기 있게 연구를 진행하였다. 그 결과, ETRI는 비교적 늦은 시기에 기술개발을 시작했음에도 불구하고 MS사 remoteFX 기술보다 단일 서버 환경에서 두 배 이상의 사용자를 동시에 고성능으로 서비스할 수 있는 기술을 개발하는 데 성공하였다.

### 국내 클라우드 산업의 기반을 닦은 ETRI

클라우드 환경이 보편화하면서 ETRI가 개발한 클라우드 인프라 원천기술들은 국내 클라우드 산업의 중요한 기반으로 활용되고 있다. 클라우드 시장이 매년 23.7%씩 고속성장하고 있는 데다, 코로나19로 인한 재택근무 확산 등으로 원격 클라우드 서비스의 활용이 급증하고 있어 ETRI의 클라우드 인프라 기술은 영향력이 더욱 커질 것으로 보인다. ETRI는 가상 데스크톱의 후속 과제로 2017년부터 2019년까지 연구비 45억 규모의 '온프레미스 스토리지와 퍼블릭 클라우드 스토리지 간 데이터 통합 관리 및 신뢰성 보장 기술개발' 사업을 진행하였다. 또한, 2020년부터 4년간 연구비 123억 규모의 '10msec 미만의 서비스 응답 속도를 보장하는 초저지연 지능형 클라우드 에지 SW 플랫폼 핵심기술개발' 사업을 추진하고 있다.

### 정부 차원의 클라우드 컴퓨팅 활성화 정책 추진

2010년을 전후로 국내에서도 클라우드 컴퓨팅이 IT 업계의 중요한 화두로 떠올랐으나, 당시 국산 클라우드 컴퓨팅 플랫폼 시장은 결음마 수준이었다. 반면, 아마존을 비롯한 구글,

HP, IBM, 오라클, MS 등의 글로벌 IT 기업들은 앞다퉈 국내시장 공략에 나서고 있었다. 이에 정부는 2009년 「클라우드 컴퓨팅 활성화 종합계획」을 마련하고, 국내 클라우드 시장의 해외 잠식 위협을 극복하기 위한 클라우드 플랫폼 및 응용서비스 핵심기술 연구개발을 본격적으로 추진하기 시작하였다.

### 빅 가상 클라우드 플랫폼 기술개발

이러한 정부 정책에 따라, ETRI는 2013년 '서버당 100Gbps급 I/O로 적응형 클라우드 서비스를 백만 사용자에게 제공하는 빅 가상 플랫폼 기술개발' 사업을 시작하였다. 과제의 목표는 가상 데스크톱 서비스와 같은 적응형 클라우드 서비스를 제공하기 위해 가상 API 브릿지 기반 다중 플랫폼 응용 프로그램 구동기술을 개발하여 백만 모바일 및 경량 단말 사용자에게 '사용자 중심형 가상 플랫폼'을 서비스하는 것이었다. 2015년까지 3년간, 총연구비 54억 원, 연구인력 연 36명이 투입되었으며, (주)엔키아, 스마트큐가 공동연구기관으로 참여하였다. 또한, 한국클라우드컴퓨팅연구조합이 기능 실증을 위한 시범서비스를 담당하였다.

클라우드 플랫폼 기술개발에 있어서 가장 중요한 것은 대규모 사용자에게 대한 동시 접속성 보장 및 구축비용의 절감이었다. 연구진은 우선, 동시 접속성 보장을 위해 다양한 하이퍼바이저(hypervisor)<sup>136)</sup> 기반으로 가상화 플랫폼 서비스를 제공할 수 있는 '클라우드 플랫폼 확장 및 제어 기술'을 구현하였으며, 이를 기반으로 네트워크 무 병목을 지원하는 'HW 직접할당 기술'과 '경량 전송 프로토콜 기술'을 개발하였다. 또한, 가상화 솔루션 및 윈도우 기반 가상 데스크톱 서비스의 라이선스 비용 절감을 위해 공개 SW 운영체제인 리눅스 기반의 가상 플랫폼을 제공하고, 해당 플랫폼 위에서 윈도 기반 응용 프로그램이 구동할 수 있는 '가상 API 브릿지 솔루션'을 개발하였다. 이를 통해 사용자는 운영체제 라이선스 비용은 지불하지 않고, 오피스 응용 프로그램 라이선스 비용만으로 해당 서비스들을 사용할 수 있게 되었다. 당시 클라우드 가상 데스크톱 구축비용의 80% 이상이 MS의 라이선스 비용이었다. 아울러, 사용자가 가상 API 브릿지 기반 윈도우 응용 프로그램을 손쉽게 설치·관리할 수 있도록 가상화 플랫폼 앱센터 및 인터페이스도 개발하였다.

빅 가상 플랫폼 기술은 2016년 한-EU 공동연구사업으로 진행된 '모바일 사용자 및 애플리케이션을 위한 지역 간 클라우드 인프라 연동 기술개발' 사업을 통해 고도화되었다. 본 과제를 통해 ETRI는 다양한 모바일 응용과 사용자의 예측 불가한 동적 자원 요구에 대하여 안정적으로 클라우드 인프라 자원을 제공할 수 있는 혁신적인 클라우드 인프라 연동 플랫폼 기술을 개발하였다. 특히, 한-EU 연동 클라우드 기반 모바일 가상 데스크톱 서비스

136) 하이퍼바이저(hypervisor): 호스트 컴퓨터에서 다수의 운영체제(operating system)를 동시에 실행하기 위한 논리적 플랫폼(platform)을 말한다.



사용자의 이동 지원을 위해 기존의 베어 메탈(bare metal)<sup>137)</sup> 서버가 아닌 가상 머신 기반의 모바일 가상 데스크톱 서비스를 구현하고자, 중첩적 가상화 기반 클라우드 플랫폼 기술을 개발하였다.

### 클라우드 플랫폼 발전의 기반 마련

ETRI는 2010년부터 클라우드 DaaS 시스템과 인 메모리 기반 모듈형 가상 데스크톱 시스템을 연속 개발하여 독자적인 기술력을 확보하는 중이었다. 빅 가상 플랫폼 기술은 이러한 기술을 대규모 모바일 사용자 환경에 최적화할 수 있도록 고도화했다는 데 큰 의미가 있다.

빅 가상 플랫폼 기술의 결과물인 대규모 클라우드 플랫폼 및 모바일 가상 데스크톱 기술은 기술 상용화를 위해 2017년부터 2년간 한위드정보기술과 공동연구로 진행된 ‘OpenStack을 이용한 In-Memory IaaS 기반 무중단 고속 가상 데스크톱 서비스 통합 인프라 시스템 기술개발’ 사업으로 이어졌다. 또한, 2017년부터 3년간 진행된 ‘오피레미스 스토리지와 퍼블릭 클라우드 스토리지 간 데이터 통합관리 및 신뢰성 보장 기술개발’ 사업과 2020년부터 4년간 진행될 ‘10msec 미만의 서비스 응답 속도를 보장하는 초저지연 지능형 클라우드 에지 SW 플랫폼 핵심기술개발’ 사업의 기반기술로 활용되고 있다.

### 클라우드 기반 SW 온라인 서비스 등장

2000년대 중반 클라우드 컴퓨팅 가운데 SW에 대한 온라인 서비스가 막 시작되었다. 국내에서도 KT가 중소기업을 대상으로 하는 비즈메카 서비스를 통해 국내시장을 개척하고 있었다. 당시 SW를 구매하는 대신 필요한 만큼 빌려 쓰고 이용한 만큼만 비용을 지불하는 클라우드 기반 SW 온라인 서비스는 중소기업에 매우 매력적이었으나, SW 실행을 통해 사용자의 정보가 서비스 제공업체에 저장되는 특징에 따른 거부감으로 인해 KT의 큰 노력에도 불구하고 시장 확산에 어려움을 겪고 있었다.

### SaaS 플랫폼 개발 및 확산

ETRI는 2009년 중소기업에 SW 온라인 서비스를 제공하기 위한 ‘SaaS(Software as a Service) 플랫폼 기술개발’ 과제를 시작하였다. 이는 2011년까지 3년간, 연구비 71억 원

(출연금 기준)이 투입되는 국가연구개발사업으로, 국내의 SW 온라인 서비스 활성화를 통해 중소기업의 SW 구매, 유지, 보수에 대한 비용부담 문제를 해소함과 동시에 중소기업 보유정보의 외부 보관에 대한 거부감을 해소할 수 있는 핵심 요소기술개발을 목표로 추진되었다. 중소기업 전체를 대상으로 SW 온라인 서비스를 제공한다는 측면에서, 공동연구기관의 참여를 배제하고 ETRI가 모든 연구개발을 주도한 후 연구 결과물에 대해 국내 중소기업에 무상으로 기술을 이전하는 방식으로 과제를 추진하였다.

연구진은 SW 온라인 서비스 사용자별로 서로 다른 SW를 설정할 수 있는 SaaS 플랫폼 Multi-tenant 기술과 사용자 데이터의 안전한 관리를 위한 핵심기술개발에 주력하였으며, 한편으로는 SW 온라인 서비스의 필요성을 중소기업에 확산하는 데에도 노력을 기울였다.

당시 전 세계적으로 무역환경이 자유무역협정(FTA; Free Trade Agreement) 체제로 급격히 바뀌면서, 모든 기업은 원산지관리시스템을 갖춰야만 하였다. 그러나 재정적 여유가 없는 중소기업들은 원산지관리시스템을 개발할 수도 없고, 시장에서 구매하는 것도 어려웠다. 이에 ETRI는 2011년 6월 15일 한국무역협회 산하 한국무역정보통신(KTNET), 삼정회계법인 등과 MOU를 체결하고 원산지관리시스템을 SaaS 플랫폼에 무료로 시범 적용함으로써 자연스럽게 중소기업들이 SW 온라인 서비스를 사용하도록 유도하였다.

### 국내 SW 온라인 서비스를 세계적 수준으로 향상

개발된 SaaS 플랫폼은 국내 최초로 Multi-tenant 기반의 사용자 SW 설정이 가능한 온라인 서비스를 제공하는 플랫폼으로써, ASP(Application Service Provider) 기반이던 국내 SW 온라인 서비스를 SaaS 기반으로 한 단계 격상하는 계기를 마련하였다. 사용자 측면에서는 서비스 제공방식이 SaaS이든 ASP이든 큰 차이가 없겠으나, 실제 운용 단계 및 경제적 측면에서 둘은 확연히 다른 기술이다. ASP는 SW를 단순히 온라인으로 제공하는 단계에 머물지만, SaaS는 온라인으로 제공되는 SW에 대해 사용자의 편의에 따라 정해진 범위 안에서 임의의 설정이 가능하기 때문에 온라인 사용 편의성을 최대화할 수 있고, 서비스 공급자 측면에서는 Multi-tenant 기술을 통해 플랫폼 운영비용을 획기적으로 절감할 수 있다. 아울러, 대규모 사용자를 고려한 확장성까지 갖추고 있었다.

한편, 원산지관리시스템 무료탑재 효과로 국내의 수많은 온라인 서비스 제공업체로부터 SaaS 플랫폼 기술이전 요청이 쇄도하였는데, 일시에 너무 많은 기술이전 요청으로 기술 지원에 큰 어려움을 겪을 정도였다.



FTA 원산지관리서비스 구축·운영을 위한 업무협약 체결식(2011. 6. 15.)

137) 베어 메탈(bare metal): 운영체제를 간섭하지 않고 논리 HW에 직접 명령을 실행하는 컴퓨터를 의미한다.

### 딥러닝 기술의 등장

딥러닝(Deep Learning)이란, 사람의 신경세포(Biological Neuron)를 모사하여 기계가 학습하도록 하는 인공신경망(Artificial Neural Network) 기반의 기계학습법으로, 이미지 인식, 음성인식, 자연어 처리의 발전에 크게 기여하고 있다. 세계 각국은 차세대 신산업(자율주행 자동차, 이미지 인식, 자연어 처리 등) 분야에서 대규모 인공지능 연구개발 프로젝트를 추진하며, 딥러닝 기술을 빠르게 도입 및 발전시키고 있다. 최근에는 구글, 아마존, 페이스북, 바이두, IBM 등 인공지능의 선두 기업들을 중심으로 응용의 정확성을 높이기 위한 대규모 딥러닝 모델 개발을 활발하게 추진하고 있다.

ETRI는 지난 40여 년간 타이컴(TiCOM)부터 바다(BaDa) DBMS, 고속병렬 파일 시스템, 유전체 분석을 위한 슈퍼컴퓨터 MAHA 등을 개발하며 축적한 고성능 HW 및 시스템 SW를 토대로, 2010년대 중반부터 딥러닝 클라우드 기술개발에 돌입하였다.

### 딥러닝 분산학습에 최적화된 고속처리 기술개발

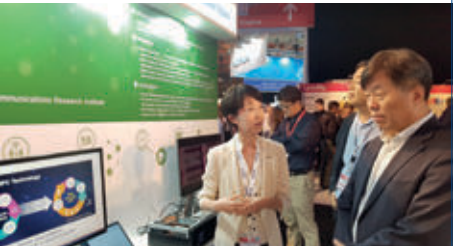
컴퓨터가 딥러닝 기술을 이용해 대규모 영상·이미지·음성 데이터나 모델을 학습하는 데는 많은 시간이 걸린다. 이에 여러 대의 컴퓨터에 학습 분량을 나눈 뒤 동시에 실행하면서 하나의 모델을 만드는 기술을 사용하곤 하는데, 이때 심각한 ‘통신 병목 현상’이 발생한다.

ETRI는 이를 해결하기 위해 2016년부터 2019년까지 미래창조과학부의 ‘대규모 딥러닝 고속처리를 위한 HPC 시스템 개발’ 과제를 수행하였다. 과제의 목표는 인공지능 분야 딥러닝 알고리즘의 학습 시간을 획기적으로 줄이기 위해 딥러닝 분산학습에 최적화된 ‘고속 딥러닝 클라우드 기술’을 개발하는 것이었다. 4년간 연구비 74억 원이 투입되었으며, ETRI를 주관기관으로 하여 KAIST와 중소기업 등 6개 공동연구기관이 참여하였다. 과제는 ETRI와 KAIST가 딥러닝 고속처리를 위한 핵심 HW와 SW를 개발하여 플랫폼으로 구축하고 민간 클라우드 기업이 클라우드에 적용하는 방식으로 진행되었으며, 매년 전문시험기관(TTA)의 공인시험을 통해 개발된 기술의 성능과 품질을 검증하였다.

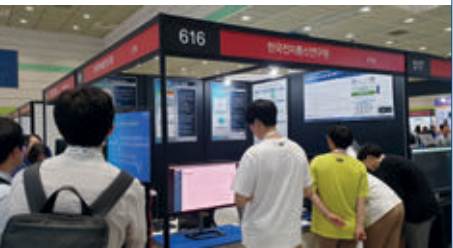
과제 수행을 통해 연구진은 ‘컴퓨터시스템의 공유메모리 기술과 다수의 컴퓨터 중심에서 컴퓨터들이 학습한 것을 공유하도록 돕고 통신량을 줄여주는 ‘메모리 박스(Memory Box)’ 장치를 개발하여 분산학습 시 발생하는 통신 병목을 해소하였으며, 이를 통해 최대 4배까지 기계학습 시간을 줄이는 데 성공하였다. 이는 세계 최고 딥러닝 고속처리 플랫폼들(TensorFlow, PyTorch, Horovod, Caffe 등)보다 우수한 성과이다.



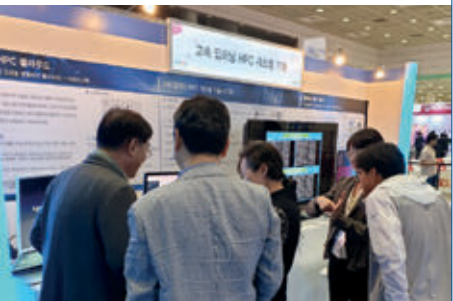
고속 딥러닝 클라우드 기술



IFA 2019 01



2019 AI EXPO KOREA



2019 ICT 기술사업화페스티벌

138) 쿠버네티스(Kubernetes) 컨테이너화된 애플리케이션의 자동 디플로이, 스케일링 등을 제공하는 관리시스템이다.

139) 멀티 클라우드: 국내외 다양한 퍼블릭 클라우드를 연계·운영·활용·관리하는 기술이다.

ETRI는 과제를 통해 SCIE 논문 2편, 최우수 국제학회 논문 2편, 우수 국제학회 논문 4편 등 국내외에서 총 24편의 논문을 발표하였으며, 국제특허 등록 1건, 국제특허 출원 4건, 국내특허 19건을 확보하였다. 또한, 유럽 최대 가전 전시회인 ‘독일 IFA 2019’, ‘ETRI ICT 기술사업화 페스티벌’, ‘AI Expo Korea’ 등 국내외 총 10차례 전시회에 참가하여 관계자들로부터 큰 관심을 받았다.

### 인공지능 컴퓨팅 발전의 기반 마련

ETRI는 고속 딥러닝 클라우드 기술을 5개 업체에 이전하였으며, 이를 토대로 2개의 연구소기업(㈜딥인스펙션, ㈜인튜웍스)이 창립하는 등 계획을 초과하는 기술사업화 성과를 달성하였다. ㈜딥인스펙션은 터널이나 교량 등 공공시설물 안전점검의 자동화를 위한 고성능 영상분석에 본 기술을 활용하였고, ㈜인튜웍스는 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 기반 딥러닝 모델 개발환경기술을 이전받아 자사의 동영상 처리 기술에 접목하였다. 본 기술은 앞으로 인공지능 분야 초고속 컴퓨팅시스템을 개발에 있어서 중요한 기반기술이 될 것으로 기대된다.

### 국내 클라우드 산업 활성화 방안 필요

Xen, KVM 등 서버 가상화 기술로 시작한 클라우드 컴퓨팅 기술은 점차 수십~수천 대의 대규모 서버들을 가상화한 클라우드 인프라 기술과 쿠버네티스<sup>138)</sup> 등 클라우드 기반의 응용서비스를 제공하기 위한 기술로 확대되었다. 그러나 국내 클라우드 시장은 여전히 해외 사업자가 주도하는 상황이어서, 국내 클라우드 사업자의 시장 참여 기회를 확대할 방안이 필요하였다. 이에 ETRI는 2019년부터 멀티 클라우드<sup>139)</sup> 공통플랫폼 기술개발을 시작하였다.

### Cloud-Barista 커뮤니티를 통한 멀티 클라우드 플랫폼 개발

ETRI는 2019년 다양한 멀티 클라우드의 활용·확산 극대화를 위한 ‘멀티 클라우드 서비스 공통 프레임워크 기술개발’ 과제를 본격적으로 시작하였다. 사업의 목표는 개방형 API를 제공하는 멀티 클라우드 서비스 공통 프레임워크 기술을 개발하는 것으로, 2022년까지 4년간, 연구비 90억 원과 연구인력 연 44명이 투입되었다.





Cloud-Barista 1차 공개행사  
(2019. 11. 22. 세라톤강남팔레스호텔)

본 과제는 공동으로 연구하고 결과물도 공유하는 공개 SW 과제로 기획되었다. 주관기관인 ETRI는 공개 SW 커뮤니티인 ‘Cloud-Barista’<sup>140)</sup>을 구성하고 국내 클라우드 인프라 사업자들이 언제든지 과제에 참여할 수 있도록 문을 개방하였다. 기존에는 공개 SW 과제라 하더라도 기술개발을 완료한 후에 결과물을 공개하는 수준이었으나, 본 과제는 개발 단계부터 커뮤니티 중심으로 다수의 참여자가 함께 기술을 개발하고 수요자 누구나 과제 결과물을 사업화에 활용할 수 있도록 하는 매우 도전적인 형태로 추진되고 있다. 현재 이노그리드, 메가존클라우드, 아콘소프트, 한국클라우드산업협회, 한국클라우드컴퓨팅연구조합 등이 참여하고 있다.

Cloud-Barista 커뮤니티가 개발하는 ‘멀티 클라우드 서비스 공통플랫폼’은 다수의 퍼블릭 클라우드 인프라 서비스를 통합 운용하고, 멀티 클라우드 인프라 상에서 클라우드 응용의 유연한 배치 및 운용을 가능케 하는 멀티 클라우드 서비스를 위하여 공통으로 요구되는 SW이다. 2019년 11월에 첫 번째 버전인 ‘Americano’<sup>141)</sup>를, 2020년 6월에는 두 번째 버전인 ‘Cappuccino’를, 2020년 11월에는 세 번째 버전인 ‘Espresso’를 공개하였다. Espresso를 통해 아마존웹서비스(AWS)와 마이크로소프트(MS), 구글, 오픈스택, 클라우드잇(이노그리드), 알리바바, 도커 등 국내외의 주요 클라우드 인프라 7종이 연동되었다. 2022년 ‘Handdrip’ 버전까지 총 8번의 공개가 예정되어 있으며, 이후에는 지속가능한 커뮤니티 운영 주체로 점진적 이관을 추진함으로써 자생 가능한 커뮤니티로의 전환을 계획하고 있다. 최종 목적은 전 세계 모든 클라우드를 연동할 수 있는 기술개발이다. ETRI는 Cloud-Barista를 주도하는 동시에, 큰 비용을 들이지 않고도 대규모 멀티 클라우드 인프라 가상 시험환경을 제공할 수 있는 에뮬레이션 기술 등을 개발하여 멀티 클라우드의 기반기술로 제공하고 있다.

순수 국내 클라우드 기술 활성화 기대

멀티 클라우드 기술은 단일 클라우드 서비스의 한계를 극복하여 4차 산업혁명을 견인하는 새로운 미래 서비스의 확산을 촉진할 것으로 보인다. 또한, 외산이 주도하는 클라우드 시장에서 순수 국내기술로 개발되는 멀티 클라우드 공통플랫폼은 국내 클라우드 사업자가 다양하게 활용할 수 있는 기반기술로써 그 파급효과가 매우 클 것으로 기대된다.

140) Cloud-Barista: 멀티 클라우드 서비스·솔루션을 만드는 데 반드시 요구되는 기반으로, 공통 SW 기술인 멀티 클라우드 서비스 공통플랫폼을 지칭하며, 공개 SW 커뮤니티 이름이기도 하다.

141) Americano: Cloud-Barista가 개발하는 멀티 클라우드 서비스 공통플랫폼의 첫 번째 공개 버전이다. Americano→Cappuccino→Espresso→...→Handdrip 등 2022년까지 총 8번의 공개가 계획되어 있다.

PC 및 휴대형 컴퓨터 단말

ETRI는 1982년부터 1984년까지 ‘8비트 교육용 컴퓨터 개발사업’을 주관하는 것으로 컴퓨터 단말 기술개발에 돌입하였다. 당시 이 사업을 통해 기술력을 축적한 삼보컴퓨터, 삼성전자, 금성사 등은 발 빠르게 다양한 제품을 출시하였고, 이로써 국내에도 컴퓨터 대중화 시대가 시작되었다. 이후로, 1987년부터는 행정전산망용 주전산기Ⅱ(타이컴) 개발을 통해 중대형컴퓨터 개발을 본격화하였다.

컴퓨터 보급이 일반화되고 정보화 사회로의 변화가 급속하게 진행되자, 1990년부터는 멀티미디어 컴퓨터 개발에 뛰어들었다. ETRI는 1993년 멀티미디어 워크스테이션인 ‘콤비스테이션I’을 시작으로 지능형 멀티미디어 워크스테이션인 ‘콤비스테이션II’와 멀티미디어 입출력 전용 휴대용 단말인 ‘핸디콤비II’를 연속으로 개발하였다. 이 기술들은 국내 멀티미디어 컴퓨터 시장의 초기 단계에 국내 제품이 선진국 제품들과 경쟁할 수 있는 기반을 마련했다는 점에서 큰 의의가 있었다.

1990년대 중후반에 들어서면서 인터넷 정보서비스의 주요 수단이 PC에서 개인정보단말기(PDA)로 확대되기 시작하였고, 인터넷 정보가전 산업이 급부상하자 정부는 2000년에 「인터넷 정보가전 산업육성 종합계획(안)」을 수립하였다. 이러한 배경 속에서 ETRI는 2001년 ‘지능형 휴대 클라이언트(IPC)를, 2002년에는 ‘유무선 통합 홈 서비스 정보단말(UIA)’을 개발하여 지능형 휴대 단말 분야를 견인하였다.



멀티미디어 컴퓨터에서 휴대형 단말까지  
(①화상회의 콤비스테이션 ②핸디콤비 ③시계형PC)



웨어러블퍼스널스테이션

웨어러블 단말

21세기 들어 Post-PC에 관한 관심이 급증하면서 국내에서도 웨어러블 컴퓨터 개발이 시작되었다. 정보통신부는 2004년에 차세대 PC를 '9대 IT 신성장동력' 가운데 하나로 선정하고 관련 사업들을 집중적으로 추진하였다. ETRI는 이러한 정부 정책에 부응하여 2004년부터 '웨어러블 퍼스널 스테이션' 개발에 돌입하여 기술을 표준화하고 손목시계형 PC를 개발하였다. 이어서 2010년대에 들어서는 의복형 웨어러블 단말인 '웨어러블 퍼스널 컴패니언'과 생체신호 기반의 제스처 인식 단말인 '웨어러블 제스처 기술'을 연속해서 개발하며 국내 웨어러블 단말 산업의 저변을 확대하였다.

한편, 2017년부터는 첨단 ICT를 이용하여 노인·장애인의 신체기능 향상 및 재활을 돕는 신체능력 증강 기술개발을 시작하였다. 이를 통해 청각장애인을 위한 '위험 상황 예측 기술', 청각장애인을 대상으로 소리를 촉각으로 전달하는 '감각치환 기술', 노약자를 대상으로 한 '근력보조 시스템' 등을 개발하고 있다.

휴먼 인터페이스

ETRI는 2004년 '촉각용 스마트 햅틱 인터페이스' 개발을 시작으로 휴먼 인터페이스 기술 개발에 돌입하였다. 터치스크린을 장착한 스마트폰, 스마트패드 등의 휴대 단말에 촉각 정보를 표현하기 위한 핀 배열 형태의 소형 촉각 모듈, 햅틱 펜, 필름형 촉각 디스플레이 장치 등을 개발 및 표준화하여 국내에 햅틱 인터페이스 기술을 빠르게 확산시키는데 기여하였다.

한편, 2012년부터는 'ETRI 창의연구실 사업'을 통해 필름형 투명 디스플레이, 투명 터치 센서, 투명 액추에이터로 구성된 '투명 인터페이스 시스템'을 개발하고 있다. 본 기술은 기존의 시각과 청각에 집중된 사용자 인터페이스 기술을 한 단계 발전시켜 사용자에게 새로운 인터페이스 경험을 제공할 것으로 기대된다.

3-7-1. PC

국내 컴퓨터 개발사업의 태동

컴퓨터는 인류가 산업사회에서 정보화 사회로 진화하는 결정적인 계기를 제공하였다. 정보화 기반의 새로운 산업을 형성하고 개인 삶의 모습까지 송두리째 변화시킨 촉매제이기도 하다.

국내에서는 1970년대 후반부터 대기업 중심으로 외산 컴퓨터를 국내에 수입·유통하기 시작하였다. 1980년대 들어와서는 국산 컴퓨터 시장이 본격적으로 형성될 것으로 내다보고 여러 기업이 수입 유통과 국산 제품개발을 동시에 추진하였다. 당시 벽산그룹, 동아무역, 금호실업, 대한전선이 판매대행사업을 시작하였으며, 선경은 1977년 일본전기(NEC)와 합작사 설립을 추진하였다. 금성통신, 삼성전자, 동양정밀, 대우그룹, 쌍용그룹도 컴퓨터 공동연구를 수행할 해외 파트너를 모색하였고, OB 그룹은 미국 DEC 사와 손잡고 컴퓨터 조립생산에 돌입하였다. 이처럼 국내 컴퓨터 시장이 급속한 확산 조짐을 보이는 가운데 1981년에 첫 국산 PC가 선보였다. 대한민국 1호 벤처기업인 삼보전자엔지니어링(현 삼보컴퓨터)이 생산한 'SE-8001'이 그것이었다.

한편, 정부는 「기술개발촉진법」을 근거로 1982년부터 국가과학기술능력의 배양과 핵심산업기술의 고도화 촉진을 위한 '특정연구개발사업'을 추진하였다. 이를 기점으로 국가 차원의 컴퓨터 기술개발이 본격화되었다. 1980년대 초기에는 개인용 컴퓨터나 소형 마이크로 컴퓨터 기술개발이 주를 이뤘고, 1987년부터는 중형컴퓨터인 행정전산망 주전산기 기술개발이 시작되었다.

PC산업 급성장의 기폭제 된 교육용 컴퓨터 사업

ETRI는 1982년부터 1984년까지 '8비트 교육용 컴퓨터 개발사업'을 주관하였다. 사업의 일차적인 목표는 실업계 중·고교에 저렴한 소형 컴퓨터를 대량 보급하는 것이었으며, 궁극적으로는 국내에 컴퓨터산업 기반을 조성하고 향후 도래할 정보화 사회에 대비하기 위한 사업이었다. 삼보컴퓨터, 삼성전자, 금성사, 동양나이론, 한국상역 등 5개 기업이 공동연구기관으로 참여하였다.

본 사업은 국산 컴퓨터산업 급성장의 기폭제가 되었다. 과제를 기반으로 기술력을 축적한 공동연구 참여기업들은 발 빠르게 다양한 제품을 출시하기 시작하였고, 이로써 컴퓨터 대



8비트 교육용 PC



중화 시대가 시작되었다. 1983년에는 25개 기업이 창업할 정도로 컴퓨터 생산이 본격화되었다.

이때부터 국내 PC산업은 연평균 60%씩 성장하여 1989년에는 전체 전자산업 생산의 11.8%, 수출의 13.1%를 차지할 정도로 커졌다. 연간 PC 생산량의 80%를 수출하는 PC 강국 대열에 올라서기도 하였다. 수많은 벤처기업이 PC를 기반으로 새로운 사업모델을 선보였으며 PC방, 소호 등의 신규 산업 분야도 생겨났다. 이후 1987년 행정전산망 주전산기 개발사업과 교육용 컴퓨터 보급 확대 정책으로 대기업들이 잇달아 컴퓨터 사업에 뛰어들면서 관련 시장은 더욱 빠르게 확대되었다. 8비트에서 16비트, 32비트 PC가 시장에 꾸준히 등장하였고, 해외 우수 기업들과 경쟁하는 수준으로 성장하였다.

### 3-7-2. 멀티미디어 컴퓨터

#### 멀티미디어 워크스테이션 ‘콤비스테이션’ 개발

1990년대에 컴퓨터 보급이 일반화되고 정보화 사회로 급속하게 변화하면서, 수치 계산이나 텍스트 처리 같은 단순 작업을 넘어 그래픽, 음성, 동영상 등 멀티미디어 정보처리까지 가능한 컴퓨터에 대한 요구가 증대하였다. 이에 정부는 새로운 컴퓨터 기술개발의 필요성을 인식하고 1990년 7월 ETRI를 총괄 연구기관으로 산·학·연 공동개발사업인 ‘PC급(486급 이상, MS-DoS) 지능형 컴퓨터 개발’ 사업을 시작하였다. 이후로 정부가 연구개발 목표를 워크스테이션급으로 상향 조정하면서 1992년에 ‘멀티미디어 컴퓨터 개발’ 과제로 사업명칭이 변경되었다. 이 과제에는 1994년까지 연구비 193억 원(체신부 65억 원, 과학기술처 50억 원, 민간 78억 원)이 투입되었다.

과제의 목표는 멀티미디어 컴퓨터를 개발하는 것이었다. 멀티미디어 컴퓨터란, 디지털화된 동영상 처리와 음성 및 펜 입력에 의한 사용자 인터페이스를 통해 컴퓨터 비서 및 그룹웨어와 같은 공동작업 환경을 지원하기 위해 컴퓨터 메인보드·그래픽, 오디오·비디오 통합 HW가 장착된 워크스테이션급 데스크톱 컴퓨터를 말한다.

연구진은 과제 수행을 통해 멀티미디어 SW와 HW 원천기술, 멀티미디어 정보 검색 원천기술 등을 확보하였고, 이를 토대로 1993년 펜티엄 CPU 칩과 고속 로컬버스인 PCI, 확장



콤비스테이션 시제품



핸디콤비II 시제품

버스인 EISA를 채택한 멀티미디어 워크스테이션 ‘콤비스테이션(ComBiStationI)’을 개발하는 데 성공하였다.

#### ‘콤비스테이션II’ 및 ‘핸디콤비II’ 개발

ETRI는 후속 사업으로 1994년부터 1998년까지 ‘지능형 멀티미디어 워크스테이션 개발’ 사업을 추진하였다. 과제의 목표는 국제경쟁력이 있는 고성능 워크스테이션 및 멀티미디어 단말 기술을 확보하고, 이를 초고속정보통신망과 연계하여 다양한 응용 서비스를 고도화하는 것이었으며, 123억 원(체신부 78억 원, 과기처 45억 원)의 연구비가 투입되었다.

본 과제를 통해 ETRI는 인텔 펜티엄(P5) CPU와 PCI 로컬버스, 자체 개발한 그래픽 가속기와 멀티미디어 전용 처리칩 그리고 확장 운영체제인 COSMOS 등을 탑재한 지능형 멀티미디어 워크스테이션 ‘콤비스테이션II’와 지능화된 사용자 인터페이스 기능이 있는 멀티미디어 입출력 전용 휴대용 단말인 ‘핸디콤비II(HandyComBi II)’를 개발하였다. 핸디콤비II는 인터넷상에서 다양한 멀티미디어 응용 서비스를 어디서든지 쉽게 이용할 수 있는 휴대형 컴퓨터 비서 개념의 단말이다.

기존의 멀티미디어 컴퓨터가 오디오, 비디오 등 입출력 기능이 한곳에 탑재된 중앙집중식 컴퓨터였다면, 본 과제로 개발한 지능형 멀티미디어 워크스테이션은 ‘서버-클라이언트 구조’의 컴퓨터였다. 컴퓨팅 자원과 대량의 데이터가 요구되는 기능은 서버(콤비스테이션II)에 두고, 클라이언트(핸디콤비II)는 이를 이용할 수 있는 최소한의 미디어 입출력 기능(음성, 펜 등 멀티모달 인터페이스 및 실시간 멀티미디어 입출력기)만 탑재하는 형태로 구성되었다. 이를 통해 사용자는 더욱 편리하게 통신망을 이용해 다양한 멀티미디어 서비스를 제공받을 수 있게 되었다.

특히, 핸디콤비II에 탑재된 멀티미디어 HW인 저 전송률 H.263 비디오 코덱은 128×96 해상도의 SQCIF(Sub Quarter Common Intermediate Format) 영상 크기로 초당 30프레임의 성능을 확보하였다. 또한, H.323 표준 영상회의 서비스 지원을 위한 H.263 비디오 코덱과 H.225, H.245 서비스 모듈은 저가의 영상회의 시스템 구축에 매우 용이한 기술이다. 이러한 기술을 토대로 콤비스테이션과 핸디콤비 시스템은 각각 데스크톱 영상회의시스템과 영상전화기 등의 제품으로 상용화되었다.

#### 외산 제품과 경쟁할 수 있는 탄탄한 기반 마련

ETRI 주도로 1990년부터 1998년까지 9년간 개발한 멀티미디어 워크스테이션 기술들은 국내 멀티미디어 컴퓨터 시장의 초기 단계에 국내 제품이 선진국 제품들과 경쟁할 수 있

는 기반을 마련했다는 점에서 의의가 크다. 개발된 콤비스테이션과 핸디콤비는 공동연구 참여기업인 (주)금성사, 대우통신(주), 삼성전자(주), 현대전자(주) 등에 이전 후 상용화되었으며, 1995년에는 청와대와 정부종합청사에 구축된 정부 기관 영상회의 시스템 단말기로 활용되었다. 또한, 본 과제를 통해 1995년 연구소기업 (주)옥성전자가 창업하여 영상회의 시스템과 ISDN 영상전화기 등을 상용화하였다. 한편, 멀티미디어 워크스테이션 사업의 성공을 토대로 1998년 ‘지능형 휴대 클라이언트 기술개발사업’이 추진되었다.

### 3-7-3. 휴대형 컴퓨터

#### 지능형 휴대단말의 확산

1990년대 중후반에 들어서면서 인터넷 정보서비스의 주요 수단이 PC에서 개인정보단말기(PDA; Personal Digital Assistant)로 확대되기 시작하였다. 초기의 PDA는 외부와의 통신 접속 기능 없이 계산기나 주소록 검색 등의 역할을 하는 단순한 개인정보관리시스템(PIMS; Personal Information Management System) 위주였다. 그러나 점차 CDMA, 디지털카메라, MP3 플레이어 모듈 등을 탑재한 다양한 용도의 무선 인터넷 정보단말로 진화하였고, 가정 내 홈 네트워크와 홈 서비스를 지원하는 디지털 홈 산업의 중심 단말로 발전하였다.

#### 내 손안의 전자비서 ‘지능형 휴대 클라이언트(IPC)’ 개발

ETRI는 1998년 7월부터 2001년 6월까지 총 65억 원이 투입된 ‘지능형 휴대 클라이언트(IPC; Intelligent Personal Client) 기술개발’ 사업을 추진하였다. ETRI가 주관하고, 개인정보 단말 관련 국내 1호 기업인 제이텔 외에 사람과 기술, 한정문, 하이퍼정보통신 등이 공동연구기관으로 참여하였다. 사업의 목표는 유무선 복합망 환경에서 업무수첩 크기의 지능형 휴대 정보 단말기를 사용하여 언제 어디서나 멀티미디어 정보서비스를 편리하게 활용할 수 있는 기술을 개발하는 것이었다.

ETRI는 IPC 구현을 위하여 펜, 음성, 제스처 기반의 멀티모달 사용자 인터페이스를 통한 지능화 기술, 그래픽·음성·영상 정보처리 엔진 개발을 위한 정지영상(JPEG)·동영상

(H.263) 코덱, 호스트 및 오디오·비디오 입출력 인터페이스, 저 비트율 오디오 코덱 기술 등 휴대 정보단말에 최적화된 저전력 멀티미디어 처리 기술, 데이터 동기화 및 개인정보 관리 응용 SW 등을 개발하였다.

또한, 2가지 형태 즉, 정보단말의 사용 목적 및 용도별로 다양한 응용 서비스를 제공할 수 있는 손바닥(palm) 크기의 소형 개인정보 단말과 태블릿 크기의 멀티미디어 정보 단말을 동시에 개발하는 전략을 수립하였다. 하나의 시스템 구조 설계로 2종의 플랫폼을 동시에 개발하는 이러한 개발방식을 사용해, 개발 기간 내에 서로 다른 형태의 정보단말 플랫폼을 개발하는 데 성공하였다.

#### ‘홈 서비스 정보단말(UIA)’ 개발

가정 내 인터넷 보급이 확산하고 지역·연령·계층 간의 정보격차 해소를 위한 인터넷 정보가전 산업이 급부상함에 따라, 정보통신부는 2000년 9월에 「인터넷 정보가전 산업육성 종합계획(안)」을 수립하였다.

ETRI는 이러한 정부 정책에 부응하여 ‘유무선 통합 홈 서비스 정보단말(UIA; Universal Information Appliance) 기술개발’ 사업을 2000년 9월부터 2002년 12월까지 추진하였다. 과제에는 다양한 유무선 통신망을 지원하는 가정 내 홈 네트워크를 구현하기 위한 UIA 개발을 목표로, 2년간 총 72억 원(정부 36억 원, 민간 36억 원)이 투입되었다. ETRI가 주관하고, 여러 통신단말 사업자와 모바일 기기 및 SW 솔루션 관련 기업들이 공동연구기관으로 참여하였다.

연구진은 다양한 유무선 통신망 지원을 위하여 데이터의 저 신뢰성, 저 전송률, 지연 시간 등을 보상하면서 이동성을 지원하는 프로토콜 개발에 주력하였고, 그 결과 모바일 TCP/IP, 블루투스 프로토콜, 무선 응용프로토콜(WAP; Wireless Application Protocol) 기술 등을 개발하였다. 그리고 홈 네트워크에 유무선으로 접속하여 정보기기들의 동작 제어, 구성 관리, 예약 관리 등을 처리할 수 있는 손바닥 크기의 소형 정보단말과 인터넷에 접속하여 멀티미디어 데이터 처리와 응용 서비스를 지원하는 웹 패드 형태의 정보단말을 개발하였다. 또한, 기술의 세계선도 및 표준기술의 조기 적용, 세계 시장 진입의 적시성 확보를 위하여 저전력 프로세서 및 HW 개발환경 등은 미국 모토로라, 영국 ARM 사와 기술 협력체계를 구축하였으며, 무선환경에서의 데이터베이스 활용 및 응용 인터페이스 분야는 오라클 및 사이베이스 등과 협력하였다.

ETRI는 확보한 기술력을 토대로 휴대 정보단말의 데이터 동기화 기술표준인 SyncML에 새로운 응용 프로파일(InstantUpdate)을 제안하였으며, 국제상호운용성 시험



지능형 휴대 클라이언트(IPC) 브라우저와 블루투스 모듈



응용별 유무선 통합 홈서비스 정보단말(UIA)



(SyncFest)을 통해 공식 인증을 획득하는 성과를 거두었다. 당시에는 정보단말과 호스트 간에 데이터 동기화만을 지원하는 제품뿐이었으나, ETRI의 InstantUpdate 기술은 응용 프로그램의 동기화 기능을 추가하여 타제품과 차별성을 제공하였다.

아울러, SyncML 표준을 준수하고 새로운 기능을 추가함으로써 기술의 경쟁력을 확보하고, 적용대상 기기 및 응용 범위를 확대하는 효과를 거두었다. 이 밖에도, 기존 제품들은 유선으로 접속하여 동기화 기능을 제공하지만, ETRI 기술은 하부구조에 블루투스와 같은 무선방식을 도입하여 편리하게 데이터와 응용 프로그램의 동기화를 제공하였다. 블루투스 기술이 2010년대 이후에야 정보기기 간의 자료 전송과 프로그램 교환에 핵심적인 기반기술로 적용됐다는 점을 고려하면, 이러한 도전은 당시로서는 매우 획기적인 것이었다.

### 3-7-4. 웨어러블 컴퓨터

#### Post-PC의 필요성 대두

21세기 들어 PC의 다음 단계로 Post-PC에 관한 관심이 급증하면서 국내에서도 웨어러블 컴퓨터 개발이 시작되었다. 정보통신부는 2004년에 차세대 PC를 ‘9대 IT 신성장동력’ 가운데 하나로 선정하고 관련 사업들을 집중적으로 추진하였다.

#### 웨어러블 퍼스널 스테이션(손목 PC) 개발

ETRI는 이러한 정부 시책에 부응하여 2004년 3월부터 2008년 2월까지 ‘웨어러블 퍼스널 스테이션 개발’ 사업을 수행하였다. 기존의 PC와는 다르게 사용자 중심의 직관적인 인터페이스를 제공하고, 이동 중에도 넓은 화면의 멀티미디어 정보 표현이 가능하며, 언제 어디서나 네트워킹이 가능한 게이트웨이 기능을 제공하는 ‘웨어러블 퍼스널 스테이션(Wearable Personal Station)’을 개발하는 것을 목표로, 4년 동안 연구비 160억 원과 연구인력 연 50명이 투입되었다. ETRI가 연구개발을 주도하고, (주)유브릿지 등의 중소기업 그리고 충남대학교와 포항공과대학이 공동연구기관으로 참여하였다. 제스처 인식 기술과 직물 기반의 인터페이스 기술은 미국 조지아공대가 그리고 사용자 인터페이스 기술은 ICU(현 KAIST로 통합)가 위탁연구 형태로 개발하였다.



웨어러블 퍼스널 스테이션(손목 PC)



웨어러블 패션쇼  
(2005. 11. 3. IT-SoC 2005 & 차세대PC 산업전시회)

142) API(Application Programming Interface): 응용 프로그램에서 사용할 수 있도록, 운영체제나 프로그래밍언어가 제공하는 기능을 제어할 수 있게 만든 인터페이스이다.

ETRI는 우선, 웨어러블 컴퓨터 기술의 체계적인 연구를 위해 ‘웨어러블 퍼스널 스테이션 기술개발 로드맵’을 작성하였다. 웨어러블 PC란 다양한 크기와 모양의 디바이스가 네트워크로 연결된, 몸에 착용하는 형태의 디바이스를 뜻한다. 당시 국내에는 이에 대한 막연한 개념만 잡혀있을 뿐 발전 방향에 대한 로드맵은 부재한 상황이었다. 이에 ETRI는 미래에는 감촉을 느끼고, 냄새를 맡고, 맛도 볼 수 있는 ‘오감 미디어’가 개발될 것이며, 이를 위한 웨어러블 PC가 빠르게 확산할 것으로 예측하고, 웨어러블 PC를 스마트 액세서리 형태에서 의복형 입는 컴퓨터로, 이후에는 먹는 컴퓨터로 발전시킨다는 로드맵을 제시하였다. 이러한 로드맵을 기반으로 초소형·초절전 시스템 기술, 사용자 인터페이스 기술, 무선 연동 기술 등 각종 첨단기술을 종합적으로 적용한 웨어러블 퍼스널 스테이션 기술, 레고 블록처럼 기능 조합이 가능하여 확장성이 큰 모듈형 퍼스널 모바일 게이트웨이 시스템 그리고 제스처와 손가락 접촉음, 음성 등을 이용해 손쉽게 장치를 제어할 수 있는 멀티모달 사용자 인터페이스 기술 등을 개발하였다.

연구진은 이러한 기술들을 토대로 2004년에 손목시계형 PC를 개발한 것을 시작으로, 2005년에는 분리형 입는 컴퓨터를, 2006년에는 제스처 인터페이스를 지원하는 손목 착용형 플랫폼과 퍼스널 모바일 게이트웨이를, 2007년에는 상용화를 위한 시제품을 개발하였다.

새로운 형태의 단말은 표준을 수립하는 것이 매우 중요하다. 이에 ETRI는 차세대PC산업협회와 협력하여 ‘차세대PC 표준포럼’을 발족하고 「차세대PC용 시스템 SW API<sup>142)</sup> 표준규격(안)’을 제시하였다. 이 규격안은 국내 단체표준으로 다수 채택되었다.

#### 국내 웨어러블 시장 활성화의 초석 다져

ETRI의 웨어러블 퍼스널 스테이션 개발은 당시 학계와 산업계에 상당한 주목을 받았다. ETRI는 기술개발뿐만 아니라 차세대 PC에 대한 국민적인 인식 전환을 위하여 ‘IT-SoC 2004 & 차세대 PC 산업전시회’에서 1회 ‘웨어러블 PC 패션쇼’를 추진한 것을 필두로, 매년 국내외 전시회를 통하여 기술을 홍보하였다. 이러한 노력을 통하여 국내에 ‘인간중심의 컴퓨팅 환경’이란 어떤 것인가라는 이슈가 주목을 받기 시작하였으며, 여러 개로 분산된 디바이스 연결을 위한 네트워크 접속성에 관한 연구가 확대되었다.

‘웨어러블 퍼스널 스테이션 기술’은 당시에는 제대로 꽃피지 못했지만, 관련 부품 산업과 콘텐츠 수요의 증대를 촉발하였으며 스마트워치, 스마트밴드, HMD 등 현재 국내 웨어러블 시장 활성화의 초석을 다졌다. 특히, 국내 중소기업들이 레드오션이 되어가는 휴대전화 시장을 벗어나 새로운 신시장을 개척할 수 있는 새로운 도전의 기회가 되었다.

의복형 웨어러블 단말에 새롭게 도전

2000년대 초반 웨어러블 컴퓨터가 크게 주목받았으나, 커다란 크기와 무게로 인하여 곧 사용자에게 외면받았다. 그러나 ETRI는 웨어러블 컴퓨터·디바이스 기술의 미래 가능성에 주목하여 관련 연구를 포기하지 않고 계속해서 이어갔다.

2011년에는 ‘u-컴퓨팅 공간 협업을 위한 Wearable Personal Companion 기술개발’ 과제를 새롭게 기획 및 추진하였다. 과제의 목표는 더 가볍고 신체와 근접하여 항시 서비스를 제공할 수 있는 의복형 웨어러블 단말을 개발하는 것이었다.

직물회로 보드와 웨어러블 사용자 인터페이스 기술개발

ETRI는 소재 및 부품 기술은 물론, 의류·봉제 기술, 컴퓨터 기술 등에 대한 전반적인 이해를 토대로 학제 간의 융합을 통한 웨어러블 단말 개발에 돌입하였다. 미국 조지아공대와 국제공동연구를 진행하여 당시 웨어러블 컴퓨터 기술을 주도하고 있던 미국 학계의 흐름을 파악하고, 섬유 및 의복 관련 연구소와의 기술 협력을 통하여 다양한 직물과 의복 제작 공정을 깊이 이해하는 한편, 학계와 산업계에 공동연구기관을 선정하여 깊이 있는 학문적 성과를 달성하였다.

공동연구기관인 KAIST는 직물형 회로보드에 특화된 웨어러블 SoC 개발에 주력하였고, 중소기업인 비트컴퓨터와 유브릿지는 생체신호 측정과 응급상황 모니터링 등 응용개발에 매진하였다. ETRI는 공동연구기관들의 연구결과를 통합하여 SoT(System on Textile) 기술, 의복형 웨어러블 컴퓨터 기술 등을 개발하였다.

당시 직물 혹은 의복에 IT 기술을 접목하는 ‘SoT 기술’은 개발 초기 단계였기 때문에 관련 자료나 연구개발 역량이 부족하였다. 특히, 직물형 회로보드를 구현하기 위해서는 열변형 없이 치수 안정성 및 가공성이 높은 소재를 선정하고, 내구성이 높은 회로 패턴 형성 방법을 개발하는 등 소재에서부터 제작 공정까지 완전히 새로운 방법의 도출이 필요하였다. ETRI는 인쇄전자 기법과 릴리패드와 같은 웨어러블 프로젝터 등을 참고하면서, 다양한 시도 끝에 FPCB 공정을 이용하여 제작한 동박을 직물에 전사하여 회로 패턴을 구현하는 ‘직물회로보드 기술’을 개발하였다. 이 기술은 기존 공정을 그대로 활용하면서도 기존 Flexible PCB보다 뛰어난 내구성이 확보되며, 기존 전자부품을 그대로 사용할 수 있다는 것이 큰 장점이었다.

또한, 웨어러블 환경에서는 기존 컴퓨터에서 사용하는 키보드, 마우스, 모니터와 같은 전



동박전사 직물형 회로보드(상) 및 직물 시계(하)



행동예측 안경

통적인 입출력 장치를 원활하게 이용할 수 없어, 새로운 형태의 사용자 인터랙션 방법을 모색해야 했다. 이에 연구진은 웨어러블 사용자 입력 기술에 집중하여, 직물 기반 멀티터치 패드, 광피드백 내장 직물 버튼, 직물 디스플레이 등 직물 사용자 인터페이스와 손목착용형 Bare-Hands Posture·Cue 인식 장치 등을 개발하였다.

웨어러블 관련 기술의 저변 확대에 기여

ETRI는 본 과제를 통해 웨어러블 단말 전 분야에서 독창적인 기술력을 축적하였다. 개발된 기술들은 직접적인 파급 효과는 적었으나, 당시 취향했던 국내 웨어러블 관련 기술의 저변을 확대하고 개발 방향을 제시하는 등 미래 웨어러블 단말 시장으로 나아가는 토대를 만들었다.

재조명된 웨어러블 디바이스

2010년대에 들어 스마트폰이 폭발적으로 보급되면서, 2000년대 초 주목받았던 웨어러블 디바이스가 재조명되기 시작하였다. 그러나 기존의 웨어러블 디바이스는 사용자 가치보다 제품 자체의 사양과 기능에만 치중하여 사용성 및 착용성 문제를 개선해야 할 필요가 있었다. 이에 따라 유연하고 신축성이 커 형태를 쉽게 바꿀 수 있는 웨어러블 디바이스에 대한 요구가 커졌다.

신축성 있는 스킨패치형 웨어러블 시스템 개발

ETRI는 다양한 웨어러블 상황에 적합하도록 착용성을 개선한 HW와 새로운 사용 방법에 대한 원천기술을 확보하고자 2012년부터 ‘신축성(30% 이상 인장)이 있고 피부에 탈부착 가능한 Smart Skin Patch 시스템 기술개발’(2015년 종료) 과제를 수행하였다.

먼저, 이전의 의복형 PC 과제에서 개발한 SoT 기술을 토대로 신축 회로 연구에 돌입하였다. 당시 신축 회로의 연구 흐름을 주도하던 재료 및 소재 관련 선진연구들은 대부분 미세 회로에 집중하고 있었고, 회로보드 연구들은 기존 전자부품을 그대로 이용하면서 부품 간 연결선을 말굽 패턴의 FPCB로 제작하여 응력을 분산하는 구조를 사용하였다. 그러나 ETRI는 전기전도성 섬유사의 다발구조와 꼬임 특성을 이용한 전자부품 간 신축 연결 기술에 새롭게 도전하여, 기존 기술들이 가진 인장 내구성을 훨씬 뛰어넘는 성과를 도출하였



다. 본래 길이의 2배(100%)까지 인장이 가능한 신축 회로를 개발하고 2만 회의 내구성을 확보한 것이다. 이 기술은 피부에 부착할 수 있는 패치형 심전도 장치 및 무선 이어셋 장치로 구현되었다.

형태변형이 가능하고 신체 탈착이 편리한 착용형 디바이스 개발

2014년부터 ‘형태변형이 가능하고 신체 탈착이 편리한 착용형 디바이스 및 UI·UX 개발’ 과제를 추진하여 착탈 편의성이 높고, 자연스러운 사용자 상호작용이 가능한 웨어러블 디바이스를 구현하고자 하였다. 이를 통해 ETRI는 2014년 상반기에 ‘웨어러블 제스처 기술’을 조기 개발하는 데 성공하였다. 웨어러블 제스처 기술은 웨어러블 환경에 적합한 생체신호 기반의 손가락 또는 손 제스처 기술로써, 손목착용형 제품에 적용할 수 있도록 개발되었다.

ETRI는 웨어러블 산업의 활성화를 위해 ‘사용 편의성’의 혁신이 무엇보다 중요하다는 점을 일찍이 파악하고, 새로운 형태의 입력 방법을 지속해서 고민하였다. 당시 다양한 형태의 웨어러블 디바이스가 등장하였지만, 손목시계 형태의 디바이스가 시장의 주류를 이룰 것으로 예측하고 이를 위한 웨어러블 제스처 기술을 개발한 것이다. 이 기술은 공동연구기관에 이전되어 스마트워치형 디바이스로 상용화되었다.

한편, 연구진은 기술개발 효율성을 높이고, 개발된 기술의 활용을 확대하기 위해 기관 내 타부서와의 긴밀한 협업을 추진하였다. ‘개방형 스마트 홈 기술개발 및 실증’ 과제를 통해 확보된 IoT 표준 서비스 프로토콜 기반의 Open API를 적용하여 웨어러블 시스템이 IoT 디바이스 연동을 지원하도록 하였으며, 웨어러블 시스템을 다시점 입체콘텐츠의 상호작용 인터페이스 장치로 적용하여 활용 가치를 입증하였다.

‘제6회 전국지방선거 MBC 개표 생방송’에 적용

ETRI는 웨어러블 제스처 기술의 활용성을 높이기 위하여 2014년 6월 4일에 있었던 ‘제6회 전국지방선거 MBC 개표 생방송’에 본 기술을 직접 적용하였다. 이 방송은 ETRI의 기술력에 대한 국민적 신뢰를 확보하는 계기가 되었으며, 정보통신기술진흥센터(IITP)의 ‘2014년 ICT R&D 사업 우수성과 90선’에도 선정되었다.



제6회 전국동시지방선거 개표 생방송 적용(2014. 6. 4.)



촉각피치시스템

143) 감각치환 기술: 손상되거나 저하된 감각의 정보를 다른 형태의 감각으로 전환하여 전달 또는 사용하는 기술이다.

노인·장애인의 신체기능 향상 기술 필요

2010년대에 들어 급속한 노령화로 인한 생산가능 인구의 감소와 노동 생산성 및 잠재성장을 하락이 사회적 이슈로 떠올랐다. 이에 첨단 ICT를 이용하여 노인·장애인의 신체기능 향상 및 재활을 돕는 신체능력 증강 기술을 개발하여 노인·장애인의 삶의 질을 개선하고, 동시에 국가의 산업역량을 강화하려는 움직임이 일기 시작하였다.

감각치환 기술과 근력보조 시스템 개발

ETRI는 2017년 ‘신체기능의 이상이나 저하를 극복하기 위한 휴먼 청각 및 근력 증강 원천 기술개발’ 과제에 돌입하였다. 연구 효율성 확보를 위해 ETRI 내부의 여러 부서가 공동으로 기획하고 참여하는 융합과제 형태로 추진되고 있으며, 5년간 150억 원 규모의 연구비가 투입될 예정이다. 과제의 목표는 청각장애인을 위한 ‘위험 상황 예측 및 감각치환 기술’과 고령자를 위한 ‘근력증강 기술’ 개발이다.

청각장애인을 위한 ‘위험 상황 예측 기술’은 음원의 방향과 거리를 추정하는 기술, 실시간으로 음향 이벤트와 음향 장면을 인식하는 기술, 사용자 활동 인식(HAR; Human Activity Recognition) 기술, 사용자 활동·위치 등의 정보와 주변 음향 정보를 이용한 상황 인지·예측 기술 등으로 구성되어 있다. ETRI는 딥러닝 기술을 활용하여 위험 음향 인식, 사용자 행동 정보 분석 성능을 획기적으로 향상하고, 이를 생활필수품으로 자리 잡은 스마트폰과 웨어러블 장치에 적용하는 방안을 마련하고 있다.

또한, ‘감각치환 기술<sup>143)</sup>’ 중에서도 청각장애인을 대상으로 모든 소리를 촉각으로 전달하는 기술을 개발하고 있다. 연구진은 개발 초기부터 강남대학교 사회복지학과를 통해 관련 분야 전문가와 청각장애인을 대상으로 한 심층 설문과 인터뷰를 진행하여 니즈를 파악하고, 필요 기술개발에 주력하고 있다. 2019년에는 주위 소리와 자기 목소리의 음높이를 분석해 촉각 패턴으로 변환해주는 ‘촉각 피치 시스템’을 개발하여 사용자 테스트를 진행하였다. 시제품을 이용한 훈련(15시간) 결과, 음에 대한 개념이 전무한 청각장애인이 자신의 목소리에서 나오는 음의 높낮이를 조절하는 것은 물론, 정확한 멜로디로 노래까지 할 수 있다는 것이 증명되었다.

‘근력보조 시스템’은 근력이 부족한 고령자를 대상으로 한 기술이기 때문에 부피가 작고 가벼우며 혼자서도 입고 벗을 수 있어야 하였다. 이에 ETRI는 여러 기술을 고려한 끝에 전기자극으로 근육을 인위적으로 수축시키는 기능적 전기자극 기술을 이용하여 근육을 제어

하는 방식을 선정하였다. 또한, 자연스러운 동작 보조를 위해 전기자극을 인가하는 중에도 근 활성도를 바탕으로 사용자 스스로 움직이려고 하는 동작 의도를 실시간으로 파악할 수 있는 핵심기술을 개발하였다.

그 결과, 복잡한 근 활성 신호로부터 자발근 활성 신호검출 정확도를 98%까지 높은 알고리즘 개발에 성공하였다. 이를 토대로 사용자의 동작 의도에 따라 전기 자극을 제어하여 근육을 수축시킴으로써 관절을 움직이게 하는 무게 950g의 보행보조 시스템을 구현하였다. 원하는 근육 위치에 패치를 붙이고 활동하면 시스템이 사용자의 동작 의도를 파악한 뒤, 자연스럽게 동작을 제어해 자유도가 높고 편한 활동이 가능하다. 연구진은 개발된 시스템의 신체활동 보조 효과를 알아보기 위하여 고령인을 대상으로 보행 기능 개선을 위한 탐색 임상 시험을 2년간 진행하고 있다. (삼육대학교 물리치료학과 위탁)

ETRI는 2017년 6월부터 로봇연구원(KIRO) 주관으로 8개의 산·학·연이 공동으로 추진하는 ‘노인의 낙상 예방을 위한 연구’ 과제에도 참여하고 있다. 이 과제에서 ETRI는 낙상 진행 중, 더는 균형을 유지할 수 없는 PONR(Point of No Return) 지점을 디퍼닝을 통하여 검출하는 알고리즘 개발을 담당하고 있다. 하지만 노인에게서 직접 낙상 데이터를 수집하는 것은 위험한 일이므로, 대표적인 3가지 낙상 타입(미끄러짐, 걸림, 헛디딤)을 유발하는 트레드밀 방식의 낙상 재현 장치를 자체 제작하고, 건강한 성인 연구대상자로부터 데이터를 수집하여 연구하고 있다.

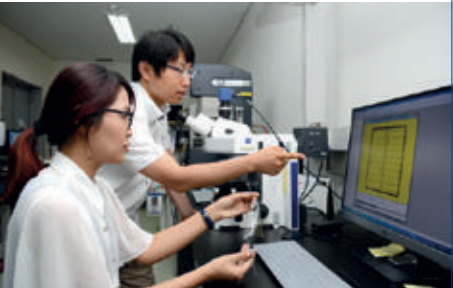
### 다양한 분야로 신체기능 향상 기술 확산

ETRI가 개발한 ‘감각치환 기술’로 인해 고가의 인공 와우 수술을 받지 못한 많은 청각장애인에게도 소리를 느낄 수 있는 길이 열렸다. 연구진은 지속해서 기술을 고도화함으로써 청각장애인과 청각 손실이 없는 사람 사이에 존재하는 의사소통의 벽을 낮추는 데 기여할 계획이다. 2019년부터는 ‘인간의 감각·지각 능력을 증강하는 다중감각 융합기술’을 추가로 발굴하여, 시각장애인을 위하여 시각 정보를 청각이나 촉각으로 변환하는 기술을 개발하고 있다.

‘보행보조 시스템’은 특정 동작에 국한되지 않고 모든 신체활동에 적용할 수 있어, 고령인의 근 감소증이나 보행 장애 개선에 큰 도움이 될 것으로 보인다. 이로써 고령인의 활동성을 강화하여 삶의 질을 높이는 것은 물론, 향후 헬스 및 홈 트레이닝 분야로도 기술을 확장할 수 있을 것으로 기대된다. 후속으로 와이어 구동 등 다른 근력 증강 및 보조 방식 등을 복합적으로 이용하는 연구를 진행하고 있다.



사용자 동작의도가 반영된 보행보조시스템



햅틱 인터페이스

## 3-7-5. 휴먼 인터페이스

### 촉감을 느끼게 하는 인터페이스의 필요성 대두

2000년대 들어 컴퓨터 단말은 개인이 휴대 및 착용 가능한 형태로 빠르게 변화하였다. 이에 따라 인간과 컴퓨터의 상호작용을 위한 직관적이고 현실감 있는 새로운 사용자 인터페이스에 대한 필요성이 커졌다. 특히, PDA, 스마트폰, Tablet PC 등 터치 센서 기반의 디스플레이가 등장하면서 촉감을 느끼게 하는 ‘햅틱 인터페이스 기술’에 대한 요구가 증대하였다.

### 작고 얇은 다양한 햅틱 인터페이스 기술개발

ETRI의 햅틱 인터페이스 기술개발은 2004년 정보통신 선도기반기술개발사업으로 ‘착용용 스마트 햅틱 인터페이스 장치 개발’ 과제를 수행하면서 시작되었다. 당시 국내에는 햅틱 기술 분야 특히 실적이 거의 없었다. 이에 ETRI는 햅틱 인터페이스 관련 SW 원천기술 확보와 표준화 및 상용 모델 개발을 동시에 추진하는 전략을 세웠다. 또한, 햅틱 인터페이스 기술이 촉감 모델링, 렌더링 SDK 등의 SW 기술과 촉감 생성 구동 모듈, 햅틱 기구 설계 및 임베디드 제어 등의 HW 기술의 통합기술인만큼, 관련 기술을 보유한 산·학·연 기관들과 공동연구를 수행하였다.

연구진은 터치스크린을 장착한 스마트폰, 스마트패드 등의 휴대 단말에 촉각 정보를 표현하기 위한 핀 배열(Pin-array) 형태의 소형 촉각 모듈, 햅틱 펜, 필름형 촉각 디스플레이 장치, 근육형 소프트 액추에이터 등을 개발하였다.

우선, ‘핀 배열(Pin-array) 형태의 소형 촉각 모듈’은 모바일 기기에 내장할 수 있는 작은 크기(두께 12mm, 최대 수직변위 1.5mm, 핀 간격 3mm)의 모듈로, 촉감과 점자 표현이 가능하였다. 또한, ‘햅틱 펜’은 터치스크린을 장착한 전자기기에서 다양한 촉감을 느낄 수 있도록 하는 Stylus 형태의 햅틱 인터페이스로, 시각·청각·촉각 정보를 연동하여 전달할 수 있도록 개발되었다. 단말기의 그래픽사용자인터페이스(GUI)를 조작하는 동안 접촉력, 충돌감, 진동, 표면무늬의 촉각 정보를 제공함으로써 터치스크린 상에서 GUI 조작 시에 높은 조작감과 정확도를 구현하였다. 햅틱 펜은 2008년 휴먼 컴퓨터 상호작용 및 그래픽 기술 분야의 세계 최대 학술대회인 ‘SIGGRAPH’의 New Technology Demo 프로그램에 선정되어 ‘wUbi-Pen’이라는 이름으로 출품되었다.





햅틱 펜



필름형 촉각 디스플레이 장치

‘필름형 촉각 디스플레이 장치’는 부피가 작고 두께가 얇으며 사용자가 접촉하는 곳에만 국부적인 촉각 출력이 가능한 필름 형태로 개발된 촉각 출력장치이다. 이 장치는 기존 선형 모터 기반의 촉각 소자와 달리 능동형 전기활성 고분자를 이용하여 빠른 반응속도와 넓은 주파수 대역폭 생성이 가능하였으며, 버튼 클릭감을 비롯한 다양한 촉감 패턴을 생성할 수 있었다.

아울러, 연질 소재인 기능성 고분자(EAP; Electro-active Polymer)와 유연 전극을 결합하여 전기적 자극으로 정적 또는 동적으로 물리적 변형을 발생시킬 수 있고, 변형량·구동력 제어가 가능한 ‘근육형 소프트 액추에이터’를 개발하였다. 이는 인공 근육, 유연 촉각 출력 소자, 능동 광학 소자 및 다양한 소형 경량 기능성 장치로 응용할 수 있다.

한편, ETRI는 산·학·연 햅틱 기술 연구자 간 최신 연구정보 공유를 위해 ‘한국햅틱스연구회’를 발족하고, 신기술 발표 워크숍과 다양한 오픈랩 행사를 개최하였다. 이를 통해 햅틱 기술을 교류하고 연구 현황을 공유함으로써 햅틱 기술의 발전을 도모하였다.

### 햅틱 인터페이스 기술의 국제표준화 견인

ETRI는 기술개발과 함께 촉각 상호작용 기술의 국제표준화를 위하여 ISO 표준화 기구에 다수의 표준화 문서를 기고하는 등 적극적인 표준화 활동을 펼쳤다. 그 결과 ‘ISO TC159/SC4 : ISO/WD 9241-910 Framework for Tactile and Haptic Interaction’ 표준 규격 작성의 Editorship을 확보하여 한국이 WG9에서 핵심 비중을 차지할 수 있는 기틀을 마련하였다. 또한, 2011년에는 이 표준규격을 완성·제정하여 햅틱 인터페이스 기술의 국제표준을 선도하였다. 아울러, 국내 TTA 단체표준의 햅틱 인터페이스 기술 표준안 도출에도 큰 기여를 하였다.

한편, ETRI는 햅틱 관련 핵심기술의 지식재산권을 다수 확보하고 기업에 이전하여, 스타일러스 햅틱 펜 등 다양한 제품으로 상용화하였다. 이를 통해 스마트폰과 스마트패드를 포함한 스마트 단말에서 햅틱 인터페이스 기술이 널리 확산하는 계기를 마련하였다.

### UI/UX 기술개발 필요성 대두

터치스크린이 휴대전화, 컴퓨터 등에 탑재되면서 사용자들은 기존의 시각과 청각 외에 촉각 등의 새로운 경험에 익숙해지기 시작하였다. 이러한 경험은 사용자 인터페이스(UI;

User Interface)와 함께 사용자 경험(UX; User Experience)을 고려한 인터페이스 기술을 요구하게 되었다.

### 사용자 체험형 투명 시·촉각 입출력 시스템 개발

ETRI는 2011년부터 2020년까지 ‘투명 액추에이터 및 UX 인터페이스 기술개발’ 과제를 통해 투명 필름 기반의 시·촉각 입출력 기능을 갖는 새로운 사용자 인터페이스를 위한 연구를 수행하였다. 본 과제는 ‘ETRI 창의연구실 사업’을 통해 기관 내 햅틱, 광학, 센서 기술 관련 연구자들이 각각의 기술을 기반으로 협력 연구를 추진한 것으로, 약 9년이라는 연구 기간과 연구비가 보장되었다.

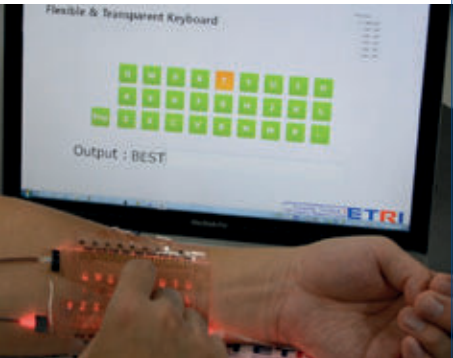
연구진은 연구기획 단계부터 최종 결과물에 대한 충분한 논의 및 합의를 거쳐 각자가 맡은 소자를 개발하였으며, 개발된 소자들을 결합하여 최종적으로 필름형 투명 디스플레이, 투명 터치센서, 투명 액추에이터로 구성된 투명 인터페이스 시스템을 개발하는 것을 목표로 연구를 수행하였다.

햅틱 효과를 극대화하기 위해서는 투명하면서도 유연한 필름 형태의 디스플레이 소자가 요구된다. 연구진은 폴리머 재료 기반의 광도파로 기술을 이용하여 수십 마이크로 두께의 ‘필름형 투명 및 유연 디스플레이’를 개발하였다. 이 디스플레이는 광원에서 발생한 빛이 광도파로를 따라 진행하면서 산란패턴에 의해 원하는 신호를 디스플레이 하는 수동형 방식과 산란패턴 대신 발광물질을 이용하여 빛을 흡수하여 새로운 파장의 빛을 발생하는 능동형 방식으로 구현되었다.

‘투명 터치센서’ 역시 유연하고 투명한 특성을 내기 위해 폴리머 광도파로 기술을 토대로 개발하였다. 개발된 센서는 광원에서 발생한 빛이 광도파로를 따라 진행하면서 센싱하는 부위에서 발생하는 광 손실의 양을 측정함으로써 터치하는 힘의 세기 및 위치를 동시에 감지한다. 또한, 투명하고 유연하여 구부러질 수 있는 구조를 가지므로 인체 표면과 같은 부드러운 인터페이스 위에서도 성능의 저하 없이 사용할 수 있다는 것이 특징이다.

‘투명 액추에이터’는 우수한 유연성을 가진 연질 소재인 기능성 고분자와 유연 전극이 결합한 형태로 구현되었다. 전기적 자극으로 정적 또는 동적인 물리적 변형을 발생시킬 수 있고, 변형량과 구동력 제어가 가능하여 인공 근육, 유연 촉각 출력 소자 등 다양한 소형 경량 기능성 장치로 응용할 수 있다.

연구진은 개발된 입출력 소자들을 결합하여 휘어져도 우수한 성능과 안정성을 갖는 ‘사용자 체험형 투명 시·촉각 입출력 시스템’을 제작하는 데 성공하였다. 본 시스템은 경량의 박막형 구조로 제작되어 인체의 팔과 같은 곡면형 연질 면에 부착하여도 오작동 없이 안정적



투명하고 유연한 시촉각 입출력 인터페이스 시스템

터치 인식 및 촉각 피드백 기능 구현이 가능하다. 관련 연구결과는 Advanced Materials, IEEE Transactions on Industrial Electronics 등 세계적인 저널에 다수 게재되었다.

사용자에게 새로운 인터페이스 경험 제공

개발된 투명 UI/UX 기술은 기존의 시각과 청각에 집중된 사용자 인터페이스 기술을 한 단계 발전시켜 사용자에게 새로운 인터페이스 경험을 제공할 것이다. 특히, 시·촉각 소자의 유연하고 투명한 특성은 곡면이 요구되는 웨어러블 전자기기뿐만 아니라 신체에 붙여 의료기기용으로도 활용이 가능할 것으로 기대된다. ETRI는 투명 UI/UX 기술 상용화를 위해 현재도 계속 연구를 진행 중이다.

SW

ETRI는 1980년대 중반부터 국내 SW 기술발전을 견인하여 ‘SW 기술 강국’의 기틀을 마련하였다. 앞으로 ETRI는 인공지능, 빅데이터 분석, IoT 등 4차 산업혁명 핵심기술의 고도화를 위하여 더욱 새롭고 혁신적인 SW를 개발해 나갈 것이다.

현실과 가상이 공존하는 디지털 트랜스포메이션 시대를 맞아, 앞으로 현실 세계의 다양한 사물을 사이버상에서 안전하게 제어할 수 있는 CPS(사이버 물리시스템) 개발에 주력하고, 이를 스마트팩토리, IoT, 디지털트윈 등의 분야에 계속해서 적용하고자 한다. 특히, 코로나19로 인해 언택트 기술의 중요성이 부각하면서 CPS에 관한 관심이 급증하고 있어, 이의 확산과 고도화에 더욱 힘을 쏟을 계획이다.

아울러, 국가와 국민의 안전을 위한 ‘안전성이 중요한 시스템(SCS)’ 개발에 주력하여 항공 분야 SCS인 ‘큐플러스-어스’를 드론에 적용하였고, 최근 관심이 집중되고 있는 UAM(도심 항공 모빌리티)에도 이를 적용하기 위한 기술을 개발하고 있다. 2021년 국산 상용 UAM 적용이 목표이다.

ETRI는 이러한 노력을 통해 우리나라가 4차 산업혁명 선두국가의 위상을 확보하고, ‘인공지능 강국’으로 도약할 수 있는 기반을 마련하고자 최선을 다할 것이다.

인공지능

ETRI는 1990년대 초부터 언어·음성·시각지능과 이들을 서로 연계하는 복합 인공지능을 연구해왔다. 앞으로는 ‘엑소브레인 과제’(2013년~2022년)를 더욱 고도화하여 지금까지 개발한 언어이해 및 질의응답 기술을 법률·특허 등 전문분야를 대상으로 확대하고, 한국어 특성을 최대한 반영한 언어모델인 ‘코버트(KorBERT)’의 확산과 상용화에도 주력할 계획이다. 또한, 텍스트뿐 아니라 음성을 통해서도 질의응답을 진행하고, 사용자와 더욱 밀접하게 소통할 수 있는 ‘인공지능 지식 아바타(가칭) 관련 기술개발에도 집중한다는 방침이다. ‘신경망 자동번역 기술’은 법률, 특허 등 전문분야 문서 자동번역은 물론, 다국어 통역 서비스, 한류 방송 콘텐츠 통역 등의 B2C 비즈니스 모델로 영역을 확장하고, ‘인공지능 튜터링 기술’은 전국 초등학교와 세종학당 등에 확대 적용해 나갈 것이다. 아울러, 시각지능 ‘딥뷰(DeepView) 플랫폼’의 성능을 끌어올리고 다양한 분야에 실증함으로써 점차 요구가 커지고 있는 시각지능 분야를 선도해 나가고자 한다.

또한, 20여 년간 축적한 음성인식, 언어지능, 시각지능 등 다양한 단일지능 원천기술을 토



대로 시각·청각·촉각 등 다양한 감각(멀티모달)을 동시에 처리하는 ‘자율성장형 복합지능’ 개발에도 새롭게 도전한다. 이는 인간의 지식습득 방법·과정을 이해하고 모방하여 스스로 문제 해결을 위한 절차 지식을 학습하는 ‘자율성장’, 사용자의 경험·상황을 파악하고 행동과 감정의 연관성을 학습하여 사용자의 상태를 예측하는 ‘휴먼 이해’, 인간처럼 상황변화에 스스로 적응하는 ‘자가적응’, 모든 사람·시스템과 자연스럽게 소통할 수 있는 ‘대화형 AI’ 구현을 최종 목표로 추진된다.

앞으로도 ETRI는 인공지능 기술 분야를 선도하여 우리나라가 ICT 강국을 넘어 인공지능 강국으로 거듭날 수 있도록 최선을 다할 것이다.

## DBMS/빅데이터

ETRI는 지난 30여 년간 DBMS에서 빅데이터 분석에 이르기까지 국내 데이터 분야의 진화를 이끌어왔다. 앞으로는 ‘장래 인구 변화 예측·분석 시스템(ABCD)’을 인구·복지뿐만 아니라 대규모 행위자 기반 시뮬레이션이 필요한 모든 분야에 확대·적용하여, 정부와 지자체가 정확하고 효과적인 정책을 빠르게 수립함으로써 국민 삶의 질을 개선할 수 있도록 지원할 예정이다. 또한, ‘도시행정 디지털트윈(가상세종) 기술’ 역시 타 지방자치단체로의 활용을 확대하여, 데이터 분석을 통한 과학적인 정책 수립이 일상화되고 이를 통해 시민들이 실질적인 혜택을 누릴 수 있도록 노력할 것이다. 아울러, 출연(연)과 대학 등에 집중되어 있던 데이터와 데이터 분석 기술을 전 산업 분야 기업들이 고루 잘 활용할 수 있도록 지원하여, 국가 전반의 빠른 성장을 견인하고자 한다.

ETRI는 앞으로도 빅데이터 분석 분야의 새로운 기술을 선제적으로 개발하고, 적극적으로 확산하여 우리나라가 데이터를 잘 쓰는 나라, 데이터 강국으로 거듭날 수 있도록 노력할 것이다.

## 서버 컴퓨팅

ETRI는 40년 가까운 시간 동안 우리나라를 세계적인 컴퓨터 선도국으로 견인하였다. 앞으로는 다양한 미래 컴퓨팅 수요에 대응할 수 있는 고성능 클라우드 기술 확보와 컴퓨터 스스로 자율운영하는 컴퓨팅 인프라 구축에 집중하며 국내 컴퓨팅 분야를 계속해서 고도화해 나갈 것이다.

우선, 2018년 시작한 ‘메모리 중심 차세대 컴퓨팅시스템 구조연구’에 주력하여 CPU-메모리-스토리지 형태의 기존 컴퓨터 구조를 CPU-스토리지클래스메모리(SCM)로 전환함으로써 컴퓨팅 분야에 새로운 패러다임을 열어갈 계획이다.

또한, 유전체 분석용 슈퍼컴퓨터인 ‘MAHA’ 개발과정에서 축적된 기술들을 토대로 2020년부터 새롭게 추진하는 ‘초병렬 프로세서 기반 슈퍼컴퓨터 계산 노드 기술개발’ 과제를 통해 독자적인 CPU 기술을 포함한 글로벌 수준의 슈퍼컴퓨터 기술을 자체 개발하는 데 집중할 것이다. 이를 통해 계산과학뿐만 아니라 데이터 기반 응용·서비스 분야를 고도화함으로써 국내 슈퍼컴퓨팅 산업생태계를 확대하고, 향후 엑사급 슈퍼컴퓨팅 시스템 개발의 기반을 만들고자 한다.

ETRI는 이러한 도전을 통해 우리나라 컴퓨팅 기술 및 산업이 기존의 한계를 뛰어넘어 세계 최고의 경쟁력을 확보할 수 있도록 최선을 다할 것이다.

## 클라우드

ETRI는 2000년대 후반부터 DaaS 시스템, 가상 데스크톱 기술, 빅 가상 클라우드 플랫폼, SaaS 플랫폼, 고속 디러닝 클라우드 기술 등을 개발하며 국내 클라우드 기술·산업의 발전을 이끌어왔다.

2020년부터는 클라우드 에지 SW에 새롭게 도전하여 ‘10msec 미만의 서비스 응답 속도를 보장하는 초저지연 지능형 클라우드 에지 SW 플랫폼 핵심기술’을 개발하는 한편, 인공지능 분야 초고속 클라우드 컴퓨팅시스템 개발에 주력할 계획이다. 또한, Cloud-Barista 커뮤니티를 중심으로 다양한 멀티 클라우드의 활용·확산 극대화를 위한 ‘멀티 클라우드 서비스 공통 프레임워크 기술’ 개발에 집중하여 2022년까지 세계 모든 클라우드를 연동할 계획이다.

## 단말

ETRI는 1980년대 초부터 지금까지 시대의 흐름에 따라 새롭게 요구되는 단말 기술을 선제적으로 개발하며 관련 산업의 발전을 견인해왔다.

앞으로는 휘어져도 우수한 성능과 안정성을 갖는 ‘사용자 체험형 투명 시·촉각 입출력 시스템’을 계속해서 고도화해 나갈 계획이며, 첨단 ICT를 이용하여 노인·장애인의 신체기능 향상 및 재활을 돕는 ‘신체능력 증강 기술’ 개발에도 주력하여, 청각장애인을 위한 ‘위험 상황 예측 기술’, 청각장애인을 대상으로 소리를 촉각으로 전달하는 ‘감각치환 기술’, 노약자를 대상으로 한 ‘근력보조 시스템’ 등을 확보하고 이를 다양한 분야로 확대해 나갈 예정이다. ETRI는 시각과 청각에 집중돼 있던 기존의 사용자 인터페이스 기술을 촉각 등 다양한 감각으로 확대하면서 미래 단말 기술로 나아가고자 한다. 이를 통해 이전에 없던 첨단 UI/UX를 제공함으로써 국민의 삶의 질 향상에 기여하고자 노력할 것이다.

PART 4

# 반도체 /소재/부품

- 4-1. 개요
- 4-2. 반도체  
대한민국 반도체 신화를 쓰다
- 4-3. 디스플레이  
디스플레이를 넘어서는 디스플레이로 진화하다
- 4-4. 에너지  
지속가능한 에너지 소재부품에 도전하다
- 4-5. 센서/액추에이터  
지능정보사회의 핵심기술로 거듭나다
- 4-6. 광  
광산업 성장의 씨앗이 되다
- 4-7. RF/테라헤르츠  
RF/테라헤르츠로 소재부품을 혁신하다
- 4-8. 양자  
양자로 ICT의 한계를 넘어서다
- 4-9. 결어





## 반도체/소재/부품

### 반도체

1970년~1980년대는 전 세계적으로 반도체 기술경쟁이 매우 치열한 시기였다. 미국, 일본 등 기술 선진국들은 반도체가 미래산업의 중심이 될 것을 확신하고 집중적으로 반도체에 투자하였고, 반도체 칩 보호법을 제정하는 등 기술보호주의 정책을 펴 후발 국가의 진입을 막았다.

우리나라에서도 1970년대 초 KIST 반도체장치연구실이 신설되며 반도체 기술개발이 시작되었다. 이 연구실은 1976년 ETRI의 전신인 한국전자기술연구소(KIET)로 공식 출범하였으며, 이때부터 MOS 기술, VTR용 Bipolar IC 기술, ROM 칩 그리고 반도체 설계 기술 및 생산지원 기술개발이 본격적으로 진행되었다.

점차 반도체의 중요성을 인식한 정부는 1986년 「4M DRAM 공동개발 계획」을 수립하고, ETRI를 중심으로 삼성반도체통신·금성반도체·현대전자 등 대기업이 참여하는 '초고집적 반도체 공동개발사업'을 시작하였다. 이를 통해 우리나라는 4M DRAM, 16M DRAM을 개발하고, 1992년과 1994년에는 각각 세계 최초로 64M DRAM과 256M DRAM 개발에 성공하였다. 또한, 사업수행 과정에서 축적한 경험과 기술은 우리나라가 반도체 신화를 이루는 데 중요한 밑거름이 되었다. 이후로 현재까지 한국은 세계 메모리 반도체 시장 점유율 1위 자리를 고수하고 있다.

1982년부터는 시스템 반도체 개발에 착수하였다. ETRI는 1982년 5 $\mu$ m 실리콘 게이트 nMOS 공정개발을 시작으로, 1983년 우리나라 마이크로컴퓨터 칩 설계의 출발점이 된 '8비트 마이크로프로세서(K8048)' 개발, 1992년 TDX-1/TDX-10/ISDN 및 광 CATV 시스템용 ASIC 개발, 2001년 CDMA Cellular 및 PCS 용 RF CMOS 칩 개발, 2004년 세계 최초로 모바일 방송서비스용 DMB 칩셋 개발, 2010년 임베디드 DSP 개발, 2012년 인체통신 기술 국제표준 채택, 2014년 HEVC 코덱 SoC 기술개발, 2020년 드론 탐지용 지능형 레이더 칩 개발 등의 성과를 거두었다.

아울러, 1997년부터 전력반도체 기술개발에 착수하여 약 20년간 실리콘(Si) 전력반도체(VDMOS, TDMOS, IGBT) 소자와 탄화규소(SiC) 전력반도체(SiC Diode 및 MOSFET) 소자 등을 개발하였다. 2005년 모트 금속-절연체 전이(Mott MIT) 현상을 세계 최초로 검증한 데 이어, 2010년대 중반부터는 기존 실리콘 소재의 한계를 극복할 이차원 소재를 발굴하고 이를 대면적으로 제조할 수 있는 '이차원 반도체' 기술개발에 뛰어들었다. 또한, 2010년대 후반에는 'CNT(탄소나노튜브) 기반 디지털 X선 소스'를 개발하여 세계 최초로 상용화하였다.

2010년 이후 인공지능 시대가 도래하자, ETRI는 ‘인공지능 반도체’ 개발에 돌입하였다. 에너지 소모량 자동 제어가 가능한 고성능 인공지능 임베디드 프로세서, 일명 ‘인공두뇌(Artificial Brain, AB)’ 개발을 시작하여, 2016년 무인차 전용 인공지능프로세서인 AB3를, 2017년에는 자율주행차용 인공지능프로세서인 AB5를 개발하는 데 성공하였다. 2020년 2월에는 이를 발전시켜 딥러닝 연산에 특화된 인공지능프로세서인 AB9 칩을 개발하였다. ETRI는 AB를 계속해서 고도화하여 2029년까지 1,000테라플롭스급 프로세서를 개발할 계획이다.

## 디스플레이

ETRI는 1995년부터 차세대 디스플레이 개발에 선제적으로 뛰어 들었다. LCD가 막 산업적으로 확산하던 시기에 미리 LCD 이후의 평판 디스플레이 연구를 시작하여, 단기간에 OLED와 무기 EL·FED 관련 세계 최고의 기술력을 확보하였다.

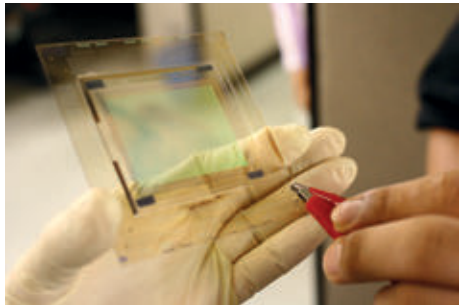
2000년에 들어서는 투명 및 플렉시블 디스플레이 연구에 돌입하여, 현재의 투명 디스플레이와 접는 스마트폰, 롤러블 TV의 기술 기반을 마련하였다. 이어서 2010년대 이후에는 홀로그래픽 디스플레이 기술연구를 시작하여, 2017년 세계 최소 피치인 3μm 픽셀의 16K급 위상변조형 공간광변조기 패널 개발에, 2019년에는 1μm 픽셀 피치의 공간광변조기 소자 개발에 성공하였다. 이러한 기술은 머지않아 AR·VR 형태의 홀로그래픽 디스플레이 제품으로 구현될 것으로 예상된다.

한편, 2010년대 중반 이후에는 감각을 느끼고 사람의 생체신호를 인지할 수 있는 새로운 개념의 디스플레이 구현에 새롭게 도전하고 있다. 이 연구의 성과는 2030년 즈음 촉각·오감 디스플레이와 생체신호 인지 디스플레이로 제품화될 것으로 보인다.

## 에너지

ETRI는 축적된 반도체 기술을 바탕으로 1995년부터 리튬 이차전지, 태양전지, 체열 에너지 변환 기술 등 에너지 소재부품 기술개발에 착수하였다.

리튬 이차전지로는 휴대 단말기, RFID 센서태그, USN 센서노드, 유비쿼터스 단말용 리튬 이차전지와 플렉시블 초박형 필름 이차전지, 고체 전해질을 적용한 바이폴라 전고체 리튬 이차전지 등을 개발하였다. 이어서 21세기 들어서는 태양광 기술에 새롭게 도전하여, 염료감응 태양광 기술, 투명·컬러·양면 발전 실리콘 태양광 기술, 무독성 버퍼층이 적용된 컬러·투명 CIGS 태양광 기술 등을 개발하였다. 또한, 2012년부터는 체열 에너지 변환 기술개발을 시작하여 체열 기반 전력 생산용 열전복합 모듈을 개발하였다. ETRI는 개



투명 AMOLED 테스트 모습



테라헤르츠 무선통신시스템 시제품

발된 기술들을 19개 기업(총 23건)에 이전하였으며, 이를 통해 국내 에너지 소재부품 산업의 성장을 견인하였다.

## 센서/액추에이터

ETRI는 반도체, MEMS 및 나노 기술의 융복합을 통해 초소형·저전력·고성능 센서와 액추에이터를 개발해왔다. 또한, HW뿐만 아니라 새로운 알고리즘 개발에도 집중하여 센서의 지능화와 액추에이터의 다양한 응용에 있어서 성과를 거두고 있다.

센서 분야에서는 비냉각형 고성능 적외선 영상 센서, 디지털 High-SNR MEMS 마이크 로폰, 음장보안 센서, 복합환경 센서, 비접촉식 초고감도 습도 센서 등을, 액추에이터 분야에서는 초박형 압전 세라믹 스피커와 인체 피부를 통한 초음파 무선전력전송 기술 등을 개발하는 데 성공하였다. 이러한 기술개발을 통해 국내 센서 및 액추에이터 기업들이 글로벌 시장에서 경쟁 우위를 확보할 수 있도록 노력하고 있다.

## 광

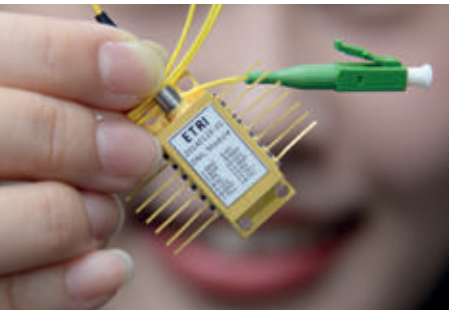
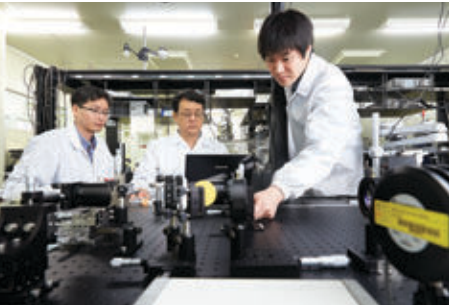
ETRI는 1980년대 초반 광통신용 반도체 레이저 개발을 시작으로 광 소재부품 기술개발에 착수하였다. 당시 ETRI는 정보화 사회가 도래할 것에 대비하며 광통신 기술을 선제적으로 확보하는 것이 매우 중요하다는 판단하에, 이른 시기에 광 기술개발에 돌입하였다. 이후로 1984년 결정성장 장비인 LPE 장치와 1998년 고품위 결정성장과 대량생산에 절대적으로 유리한 MOCVD 장치를 전격 도입하며 관련 인프라를 구축하였고, 2000년대 들어서는 파장가변 반도체 레이저와 고해상도 시각안전 라이다 등을 개발하였다.

한편, 광소자 부분에서는 2006년에 WDM-PON 시스템을 개발한 이후, 400Gbps급 코히어런트 광검출 기술, 프론트홀용 25G C-band EML 칩 기술, 프론트홀용 25G O-band EML 칩 기술, 400Gbps 광송수신 엔진 등을 연속 개발하며 세계 최고 수준의 기술력을 증명하였다.

## RF/테라헤르츠

무선통신 기술·산업의 지속 발전을 위해서는 핵심 기술인 RF 및 마이크로파 반도체의 개발이 뒷받침되어야 한다. 이에 ETRI는 1991년 국내 최초로 3인치 청정 화합물반도체 실험실을 구축하고, 1980년대부터 축적한 실리콘 반도체 기술을 토대로 RF 소자 연구에 돌입하였다. 그리하여 GaAs, InP, GaN 등의 화합물반도체 기반의 RF 소자를 개발하여 무선통신 및 밀리미터파 대역 시스템용 RF 소자·부품 국산화의 토대를 마련하였다. 또





테라헤르츠파를 이용한 계측분석을 할 수 있는 모듈

한, 독자적으로 밀리미터파 대역 MMIC 기술을 확보하였으며, 국내에서 유일하게 S-대역~Ka-대역 주파수에서 동작하는 GaN 기반 고출력 전력소자 및 집적회로를 개발하는데 성공하였다.

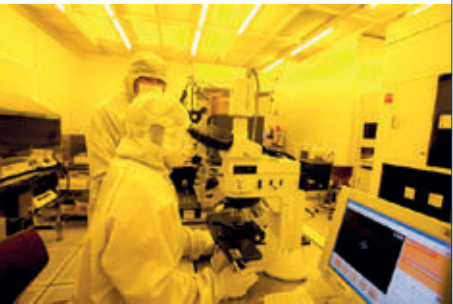
한편, ETRI는 2000년대 후반부터 테라헤르츠(THz)파 연구를 시작하였다. THz포토닉스 창의연구센터(현 테라헤르츠연구실) 발족을 기점으로 핵심 부품개발을 본격화하여 소재부터 소자·모듈·시스템에 이르기까지 모든 THz파 발생·검출 기술을 자체적으로 확보한 세계 유일의 기관으로 자리매김하였다. 특히, 포토닉스 기반의 THz 송수신의 핵심 부품과 0.2~1.5THz까지 광대역의 THz파를 발생시킬 수 있는 THz 연속파 기술개발에 성공하였다. 2010년대 중반부터는 THz파를 비파괴 검사 등의 분야에 적용하는 데 주력하고 있다.

## 양자

21세기 들어 기존 정보통신의 기술적 한계를 극복할 미래 ICT 기술로 양자정보통신이 주목받기 시작하였다. 이에 ETRI는 40년 가까이 축적한 세계 최고 수준의 반도체 기술력과 광검출기 기술, 실리콘 포토닉스 기술들을 토대로 2000년대 중반부터 양자정보통신 기술 개발에 돌입하였다.

양자암호통신 분야에서는 2005년 국내 최초로 25km 유선 양자키분배 기술을 시연한 것을 시작으로, 얽힘광원, 단일광자검출기, 양자 난수 발생기 등 핵심 요소기술들을 연구하고 있다. 그 결과, 2017년 ‘집적형 4편광 분할·결합기 칩 및 모듈’을 개발하고, 2018년에는 국내 최초로 300m의 거리에서 태양광이 강한 낮의 실환경에서도 안정적으로 무선 양자암호통신이 가능함을 증명하였다. 이어서 무선 양자암호통신 기술을 이동체에 적용하는 기술과 광섬유 기반의 유선 양자암호통신 기술 등을 계속해서 개발하고 있다.

양자컴퓨팅 분야에서는 2015년부터 양자 컴파일 및 가상 양자머신 기술과 양자컴퓨팅 시스템 설계·분석·평가·검증·시각화 기술을 개발하고 있으며, 반도체 양자점 기반의 양자컴퓨팅 플랫폼도 구축 중이다. 이러한 기술력을 토대로 2017년부터 본격적으로 양자 광 집적회로 개발에 뛰어들어 양자 광원과 양자 신호 검출기, 양자 게이트 소자 등을 개발하고 있다.



16M DRAM 공동개발 경과 보고회

## 메모리 반도체

우리나라 반도체 기술개발의 모태는 1976년 출범한 ETRI의 전신 한국전자기술연구소(KIET)였다. 이때부터 ETRI는 MOS 기술, VTR용 Bipolar IC 기술, ROM 칩 그리고 반도체 설계 기술 및 생산지원 기술개발을 본격적으로 진행하였으며, 1982년 10월 메모리 소자인 32K ROM 개발에 성공하였다. 이로써 한국의 반도체산업은 획기적인 전환점을 맞이한다.

정부는 반도체의 중요성을 인식하고 1986년 「4M DRAM 공동개발 계획」을 수립하고, ‘초고집적 반도체 공동개발사업’을 시작하였다. ETRI가 연구개발을 총괄하고, 삼성반도체통신·금성반도체·현대전자 및 서울대 부설 반도체공동연구소가 공동연구기관으로 참여한 초대형 공동개발 과제였다. 이를 통해 우리나라는 1988년 4M DRAM을, 1991년 16M DRAM을 개발하며 당당히 반도체 선진국 대열에 진입하였다. 이어서 1992년에는 세계 최초로 64M DRAM 개발에 성공하며 일본의 기술력을 따라잡았고, 1994년에도 역시 세계 최초로 256M DRAM 개발에 성공하였다. 그 이후로 현재까지 한국은 세계 메모리 반도체 시장 점유율 1위 자리를 고수하고 있다.

ETRI가 세워놓은 기반 위에서 한국은 반도체 기술 불모지에서 세계 제1의 반도체 수출국으로 도약하였고, 반도체는 1995년 이후 지속해서 우리나라 수출 품목 1위를 차지하며 경제 성장의 견인차 역할을 하고 있다.

## 시스템 반도체

ETRI는 1982년부터 40년 가까이 시스템 반도체 기술을 개발해왔다. 1982년 5μm 실리콘 게이트 nMOS 공정을 개발한 것을 시작으로, 1983년 우리나라 마이크로컴퓨터 칩 설계의 출발점이 된 ‘8비트 마이크로프로세서(K8048)’ 개발, 1992년 TDX-1/TDX-10/ISDN 및 광 CATV 시스템용 ASIC 개발, 2001년 CDMA Cellular 및 PCS 용 RF



고성능 자율주행 프로세서 알데바란

CMOS 칩 개발, 2004년 세계 최초로 모바일 방송서비스용 DMB 칩셋 개발, 2010년 임베디드 DSP 개발, 2012년 인체통신 기술 국제표준 채택, 2014년 HEVC 코덱 SoC 기술 개발 등의 성과를 거두었다. 아울러, 2020년에는 다중 타깃인 드론을 탐지하는 지능형 레이더 칩을 개발하였으며, 그를 기반으로 재난환경에서 인명을 탐지할 수 있는 특수 레이더 칩 기술을 현재 개발하고 있다. 이러한 ETRI의 노력은 국내 시스템 반도체 산업을 세계적 인 수준으로 끌어올렸다.

인공지능 반도체

2010년 이후 인공지능 시대가 도래하자, ETRI는 인공지능 반도체 개발에 돌입하였다. 에너지 소모량 자동 제어가 가능한 고성능 인공지능 임베디드 프로세서 기술 확보를 목표로 독자구조의 CPU 개발에 착수하고, 이를 ‘인공두뇌(Artificial Brain, AB)’으로 명명하였다. 연구 결과, 2016년 무인차 전용 저전력 고성능 인공지능프로세서인 AB3를, 2017년에는 자율주행차용 프로세서인 AB5를 개발하는 데 성공하였다. 2020년 2월에는 이를 발전시켜 딥러닝 연산에 특화된 인공지능프로세서인 AB9 칩을 개발하였다. AB9 칩은 15W의 적은 소비전력으로 40테라플롭스(1초당 40조번 부동소수점 연산) 수준의 연산이 가능하다. 이는 기존 상용제품보다 전력당 연산 능력이 최대 25배 높고 전력소모량은 20배 정도 낮은 우수한 성능이다.

한편, 2019년 모바일 에지 및 IoT용 저전력 시각인지 고속 추론 프로세서인 ‘VIC(Visual Intelligence)’ 칩을 개발하였다. VIC 칩은 0.5W의 전력으로 초당 30회씩 사람 수준의 인지 정확도로 100종의 사물을 인식하고 위치를 추출할 수 있는 성능을 보유했다.

차세대 반도체

ETRI는 1997년부터 전력반도체 기술개발에 착수하여 약 20년에 걸쳐 실리콘(Si) 전력 반도체(VDMOS, TDMOS, IGBT) 소자와 탄화규소(SiC) 전력반도체(SiC Diode 및 MOSFET) 소자 등을 개발하였다. 특히, SiC 반도체 Diode 및 MOSFET 개별소자 기술은 상용화 가능성이 커 수입에 의존하던 SiC 전력소자 부품의 국산화에 크게 이바지할 것으로 기대된다. ETRI는 축적된 Si·SiC 전력반도체 소자 기술로 ‘전력반도체 플랫폼’을 구축하고, 이를 중심으로 전력반도체 관련 국내 중소기업에 시제품 제작, 애로기술 해결 등의 지원을 수행하고 있다.

2010년대 중반부터는 기존 실리콘 반도체의 한계를 극복할 수 있는 신소재로 주목받는 이차원 소재를 발굴하고 이를 대면적으로 제조할 수 있는 ‘이차원 반도체’ 기술개발에 뛰어들



CNT기반 디지털 X선 소스 개발

었다. 안정성이 우수한 이차원 산화물 반도체와 응용 소자 기술을 연구하고, MoS<sub>2</sub>를 비롯한 MoSe<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, WSe<sub>2</sub>, VSe<sub>2</sub>, Cu<sub>2</sub>S 등 다양한 이차원 소재들을 대면적으로 제조하였다. 이 결과들은 앞으로 미래반도체 응용기술개발에 매우 유용하게 쓰일 것으로 기대된다. 또한, 2018년 세계 최초로 소금(NaCl)을 첨가, Na 양이온을 이용하여 이차원 소재를 수용액에서 고효율로 박리(剝離)함으로써 이차원 반도체 소재로 쓸 수 있는 나노시트를 만드는 데 성공하였다.

2010년대 후반에는 ‘CNT(탄소나노튜브) 기반 디지털 X선 소스’를 개발하여 세계 최초로 상용화하였다. 이는 고온의 필라멘트 대신 CNT를 이용한 전기신호만으로 전자빔을 보다 효율적으로, 오랫동안 만들 수 있는 기술이다. 기존의 X선 튜브 및 관련 영상장비는 미국, 일본, 독일의 특정 기업체가 독점하고 있었으나, ETRI가 디지털 X선 기술 상용화에 성공하면서 국산화의 길이 열렸다. 앞으로 의료영상, 산업용 비파괴 검사, 보안 검색 등에 디지털 X선 기술을 적용할 경우 관련 산업의 패러다임을 크게 바꿀 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 2005년 모트 금속-절연체 전이(Mott MIT) 현상을 세계 최초로 검증한 데 이어, 현재까지 관련 기술개발에 매진하고 있다. 2016년에는 NDR-MIT 스위칭을 구현하고, MIT 트랜지스터를 세계 최초로 개발하였다. 이를 통해 2016년에는 기존 상용제품 대비 1/10 크기에 광효율도 14% 이상 높은 ‘고효율 LED 구동보드’를 개발하는 데 성공하였다.



4-2-1. 메모리 반도체

메모리반도체 강국으로 나아가는 초석 다져

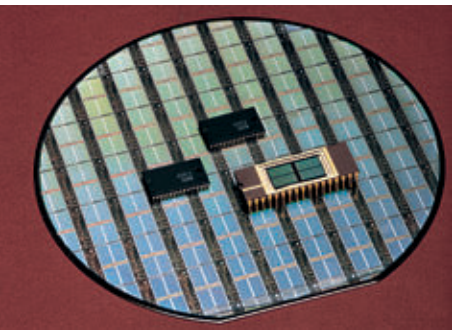
1970년~1980년대는 전 세계적으로 반도체 기술경쟁이 매우 치열한 시기였다. 미국, 일본 등 기술 선진국들은 반도체가 미래산업의 중심이 될 것을 확신하고 집중적으로 반도체에 투자하였고, 반도체 칩 보호법을 제정하는 등 기술보호주의 정책을 펴 후발 국가의 진입을 막았다.

한편, 한국의 반도체 기술개발은 1970년대 초 KIST의 반도체장치연구실로부터 시작되었다. 반도체장치연구실은 이후 반도체기술센터로 확대 개편되었고, 1976년 12월에는 한국전자기술연구소(KIET)로 공식 출범한다. KIET는 1985년 한국전자통신연구소(KETRI)와 통합하여 한국전자통신연구소(ETRI)로 출범하였다.

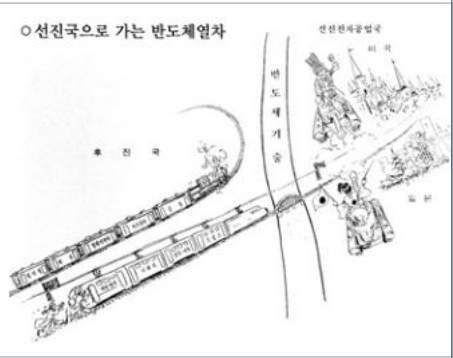
KIET(이하 ETRI) 발족과 함께 MOS 기술, VTR용 Bipolar IC 기술, ROM 칩 그리고 반도체 설계 기술 및 생산지원 기술개발이 본격적으로 진행되었다. 1982년에는 미국 VTI 사로부터 32K 기억 용량 ROM 개발을 위해 필요한 기술을 도입하고 이를 바탕으로 ROM을 설계하였으며, 대량생산을 위한 공정과 시험 분야 기술을 개발하였다. 그 결과, 1982년 10월 메모리 소자인 32K ROM 개발에 성공하였다. 32K ROM은 반도체 기판에 약 4천여 단어의 기억이 가능한 고정 기억소자를 집적한 것으로 전자게임, 마이크로컴퓨터, 가전제품 그리고 산업용 로봇 등에 광범위하게 적용되었다.

이로써 한국 반도체 산업은 획기적인 전환점을 맞이한다. ETRI는 이듬해인 1983년 64K ROM 개발에 성공하고, 계속해서 128K ROM과 256K ROM을 개발하였다. 연속된 개발 성공은 반도체에 대한 투자를 망설이던 국내 기업들이 기술개발 가능성을 확신하는 계기가 되었다. 특히, 삼성반도체통신(현 삼성전자)은 본격적으로 반도체 산업에 뛰어들어 1983년에 64K DRAM을, 1984년에는 256K DRAM 개발에 성공한다.

이 외에도 ETRI는 수작업으로 진행하던 반도체 설계 시스템의 개선을 위해 1983년부터 반도체 설계 자동화 시스템을 개발하고, K8048 저전력 CMOS 단일 칩 마이크로컴퓨터와 K1000 ICU 칩을 설계함으로써 반도체 설계 기술의 초기 정착 기반을 마련하였다. 이러한 과정에서 축적된 ETRI의 연구개발 경험과 기술은 한국이 반도체 신화를 이루는 데 중요한 밑거름이 되었다.



4M DRAM 반도체 시제품



16M DRAM 반도체 시제품

만화책 '반도체란?' 제작해 정부 설득

자금은 반도체 산업이 한국경제발전의 일등 공신임을 누구도 부인할 수 없지만 처음부터 정부의 지지를 받았던 것은 아니다. 선진국이 앞다퉀 반도체 개발에 열을 올리던 1980년대 초반에도 국내 반도체에 대한 인식은 매우 열악하여 경제 부처 관계자들마저도 반도체가 무엇인지에는 관심이 없고 수출에 도움이 되느냐, 경제에 위험부담이나 부작용은 없느냐는 질문만 던지곤 하였다.

이에 ETRI는 반도체에 대한 이해를 돕고자 세계의 반도체 시장 상황을 쉽게 설명한 〈반도체란?〉이라는 만화책을 제작하였다. 미국과 일본은 선두에서 이미 치열한 반도체 전쟁을 벌이고 있고 영국과 독일은 막 열차에 올라탔는데, 갓을 쓴 우리나라 선비는 열차에 타려고 열심히 뛰어가고 있는 장면을 묘사하는 등 우리의 상황을 쉽게 설명한 만화책이었다. 대통령뿐 아니라 정부 관계자, 대기업 총수들에게까지 배포된 반도체 만화의 효과는 상당히 컸으며, 반도체 산업의 파급효과와 중요성을 알리는 데 중요한 역할을 하였다.

한국을 반도체 최강국으로 이끈 ETRI

1980년대 중반, 정부도 반도체가 ‘산업의 쌀’로 비유될 정도로 미래 산업발전을 위해 꼭 필요한 기술임을 인지하게 된다. 정부는 선진국과의 기술격차를 줄이기 위해서는 기업이나 연구소 단위의 기술개발이 아닌 공동연구 체계가 필요하다고 판단하고, 산·학·연 전문가들과 함께 1986년 4월 「4M DRAM 공동개발 계획」을 수립하였다. 그리고 같은 해 8월에는 과학기술처, 체신부, 상공부 3개 부처가 공동명의로 작성한 「초고집적 반도체 기술 공동개발안」을 확정하였다. 이로써 4M DRAM의 공동개발이 정부 방침으로 최종 확정되었다. 이에 따라 1986년 초대형 정부 연구개발사업인 ‘초고집적 반도체 공동개발사업’이 시작되었다. ETRI가 연구개발을 총괄하고, 삼성반도체통신·금성반도체·현대전자 및 서울대부설 반도체공동연구소가 공동연구기관으로 참여하였다.

연구진은 반도체 설계 및 소자, 공정 기술을 중심으로 핵심기술과 주변 기술에 대한 우선순위를 결정하고, 연구개발·평가·관리에 이르는 일련의 과정에 대한 체계를 확립하였다. ETRI가 설계·생산·기술개발을 주도하고, 기업은 설계 생산과 기본기술개발을 담당하되, 참여 기업의 역량에 따라 독자적으로 제품을 개발하는 방식으로 과제가 진행되었다. 이와 함께 효율적인 운영을 위하여 자문위원회, 평가위원회, 기술협의회, 기술교류회 등 다

양한 공동추진 협의 체계도 마련되었다. 특히, 기술교류회는 ETRI 주도하에 각 기업의 실무 담당자가 모여서 기술적 문제점을 토의하고 해결하는 자리가 되었는데, 이는 참여 기관들이 경쟁과 협동을 통해 효율적으로 연구를 추진할 수 있는 환경을 만들어 좋은 반응을 얻었다. ETRI는 대량생산 초기 수율을 높이는 데 문제가 있으나, 기술적으로는 우수한 트렌치(Trench) 방식과 대량생산의 강점을 가진 스택(Stack) 방식, 이 두 가지를 기업별로 배분하여 연구개발을 진행하였다. 이러한 효율적인 체계에 연구진의 사활을 건 노력이 더해져, 예정보다 한 달 빠른 1989년 2월, 드디어 0.8 $\mu$ m 선폭의 4M DRAM을 개발하는 데 성공하였다. 이어서 3월에는 공정 개선을 통해 20% 수율의 양산 시제품을 개발하고, 검사·조립 기술도 함께 개발 완료하였다. 4M DRAM의 초기 개발로 우리나라는 미국, 일본과의 반도체 기술격차를 6개월 정도로 좁힐 수 있었다. ETRI는 이를 축하하기 위하여 연구원들에게 4M DRAM이 달린 넥타이핀을 제작하여 선물하기도 하였다.

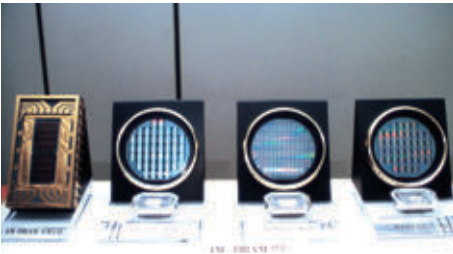
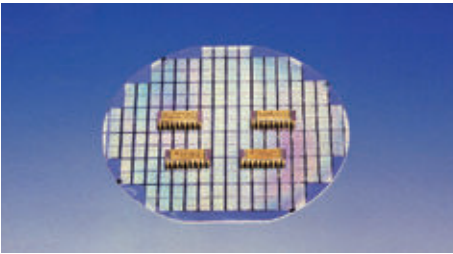
한편, 연구진은 4M DRAM 개발이 완료되기 전인 1988년부터 당시 반도체 선도국들이 개발하고 있던 16M DRAM과 64M DRAM에 대한 개발 타당성을 검토하고 있었다. 그 결과, 4M DRAM 개발 완료 시기에 곧바로 연구에 착수해야 선두그룹을 따라잡을 수 있다는 결론을 내렸고, 신속하게 다음 단계의 DRAM 개발에 대한 계획을 수립하였다.

— 우리나라 DRAM 기술 발전 추이

시기	1983년	1984년	1986년	1988년	1991년	1992년	1994년	1995년	2001년
집적도	64Kb	256Kb	1Mb	4Mb	16Mb	64Mb	256Mb	1Gb	4Gb
선진국과의 기술격차	4년 6개월	3년	2년	6개월	동시	최초	최초	최초	최초

— '초고집적 반도체 공동개발사업' 개요

개발 배경	외국산 반도체 등 대외 의존도 증가 및 제품 설계 기술 제고 필요성 대두
연구 목표	세계 반도체 시장의 주도권 확보 및 선진국과의 기술격차 해소
연구 기간, 연구비, 투입인력	1986년 10월~1993년 3월 (총 연구 수행기간 6.5년) 총연구비: 2,779억 원 투입인력: 2,172명(M/Y) * 4M DRAM, 16M/64M DRAM 개발
참여기관	주관: ETRI 참여: 금성반도체, 삼성전자, 현대전자 등
기술료 수입	1995~2002년까지 773억 원 기술 실시업체: 삼성전자, 현대전자(現 하이닉스반도체), LG반도체
경제적 파급효과	총 16조 6,719억 원(1989~1998년, 2011년 할인율 적용)



1989년에 개발된 4M DRAM



DRAM 메모리 반도체 '광복 70주년 과학기술 대표성과 70선' 선정 인증패

그리하여 1990년부터 16M DRAM 공동개발이 시작되었다. ETRI가 다시 한번 공동개발을 총괄하고, 4M DRAM에 참여했던 3개 기업 외에 6개 업체와 2개의 출연(연), 19개 대학이 공동연구기관으로 참여하였다. 연구진은 1차 연도인 1990년 3월, 500~600nm 선폭의 16M DRAM 1차 설계를 완료하고 다음 해에 16M DRAM 시제품 개발을 시작하여, 1991년 3월 드디어 16M DRAM 시제품을 개발·검증·평가 완료하였다. 당시 반도체 최고 기술국이던 일본과 비슷한 시기에 16M DRAM 개발에 성공한 것이다.

이로써 한국은 당당히 반도체 선진국 대열에 진입하였다. 1992년에는 세계 최초로 64M DRAM 개발에 성공하며 일본의 기술력을 따라잡았고, 1994년에는 세계 최초로 256M DRAM 개발에도 성공하였다. 그 이후로 현재까지 한국은 세계 메모리 반도체 시장 점유율 1위 자리를 고수하고 있다. 개발된 DRAM 기술은 2015년 '광복 70주년 과학기술 대표성과 70선' 및 '국민 공감 대표기술'로 선정되었다.

국가 경제 성장 견인차 된 반도체

ETRI는 기술력도 재원도 시설도 부족하던 우리나라 반도체 산업을 불과 10년 만에 세계 최고로 끌어올렸다. ETRI가 세워놓은 기반 위에서 한국은 반도체 기술 불모지에서 세계 제1의 반도체 수출국으로 도약하였고, 반도체는 1995년 이후 지속해서 우리나라 수출 품목 1위를 차지하며 경제 성장의 견인차 역할을 하고 있다. 또한, 국가 산업구조를 기술집약형으로 변모시키고, 국가 전반의 정보화를 촉진하여 국민의 생활 패턴과 유통 구조에도 혁신적인 변화를 불러일으켰다.

4-2-2 시스템 반도체

선도적으로 시스템 반도체 기술개발 시작

시스템 반도체(System on Chip)란, 통신 기기, 스마트 가전, 산업기기 등 주요 시스템 기기나 부품의 핵심 기능을 반도체 집적회로에 반영하여 개발한 제품을 통칭한다. 기술개발의 시대별·시장별 기준에 따라 집적회로, 주문형 반도체, 비메모리 반도체 등으로 불려왔다. 최근 주목받고 있는 지능형 반도체 역시 시스템 반도체의 새로운 한 범주로 분류할 수





주문형반도체 기술개발 확보

있다. 메모리 반도체는 공정 기술이 중요하지만, 시스템 반도체는 상대적으로 설계 기술이 더 중요하다. 또한, 메모리 반도체가 소품종 대량 생산, 대기업형 산업인 반면, 시스템 반도체는 다품종 소량 생산으로, 중소벤처 기업에 적합한 산업이라 할 수 있다.

시스템 반도체 산업의 중요성을 일찌감치 파악한 일본과 대만 등은 1970년대 중후반부터 투자에 착수하였다. 우리나라의 경우에는 ETRI가 1982년부터 시스템 반도체 관련 기술 개발에 착수하였으며, 정부 차원의 적극적인 투자가 시작된 것은 1990년대 초반부터이다.

### 국내 시스템 반도체 기반 만들어

ETRI는 1982년에 5μm 실리콘 게이트 nMOS 공정을, 1983년에는 4μm CMOS<sup>144)</sup> 공정을 확보하였다. 이 기술은 곧바로 4비트 SRAM, 32K/64K ROM, 8비트 마이크로컴퓨터 제작에 적용되어 성공적인 결과를 도출하였다. 특히, 1983년 4월에 개발한 '8비트 마이크로프로세서(K8048)'는 우리나라 마이크로프로세서 칩 설계의 출발점이 되었다.

한편, ETRI는 당시 현안이던 미국 VTR 사의 반도체 칩 국산화를 위한 5종의 바이폴러 칩셋 개발에도 성공한다. VTI 사와의 협력을 통해 확보한 반도체 자동설계 기술(CAD; Computer Aided Design)은 K8048칩 개발에 적용되었으며, 이는 우리나라 CAD 연구의 토대가 되었다.

1985년 9월에는 한국통신으로부터 333억 원의 출연금을 받아 '통신 시스템용 주문형 반도체(ASIC; Application Specific IC)' 기술개발에 착수하였다. 7년간의 사업수행을 통해, TDX-1, TDX-10, ISDN, 광 CATV 시스템용 ASIC를 개발하고 산업체에 이전하였다. 또한, 1989년에는 0.8μm CMOS 표준공정(4M DRAM 급)을 자체 기술로 개발하였다. ETRI는 이 기술을 기반으로 다양한 부품을 조합해 제조하던 CDMA RF 부품을 CMOS에 의한 단일 칩으로 구현하는 혁신적인 방식을 도입하였다. 그 결과, RF CMOS 기술에 의한 Rx, Tx 칩을 개발하였으며, 이들 칩을 적용하여 1999년과 2001년에 각각 CDMA Cellular 및 PCS용 RF CMOS 칩을 개발하고 세계 최초로 통화시험에 성공하였다. 이로써 우리나라 RF · Analog 반도체산업 활성화의 전기가 마련되었다. 이 기술은 반도체 제조사를 비롯한 다수의 민간업체에 이전되었으며, 관련 기술의 일부는 외국기업에 실시권을 판매하기도 하였다.

1993년에 'ETRI 주문형반도체개발센터'가 설립되면서 CMOS 표준공정은 기업들이 요청하는 ASIC 제작을 지원하는 데 활발하게 활용되었다. 본 센터는 1994년부터 1998년까지 기업의 인력이 직접 참여하여 ASIC을 개발할 수 있도록 지원하였다. 이를 통해 ASIC 설계 및 칩 제작을 포함한 총 109종의 의뢰품 중에서 약 72종의 ASIC가 상용화에 성공하였



ASIC 지원센터 개소

다. 이는 국내 시스템 반도체 기술 확산의 기반이 되었다.

ETRI는 1997년 시스템 반도체 기반확충 및 저변 확대를 위하여 'ETRI ASIC 지원센터'를 설립하였다. 본 센터는 이후로 'IT-SoC 지원센터'를 거쳐, 2012년 '서울SW-SoC융합 R&BD센터'로 명칭을 바꾸었으며, 지금까지 시스템 반도체 신생기업 육성 및 지원의 전초기지 역할을 하고 있다.

### ICT에서 인공지능까지 다분야 시스템 반도체 개발

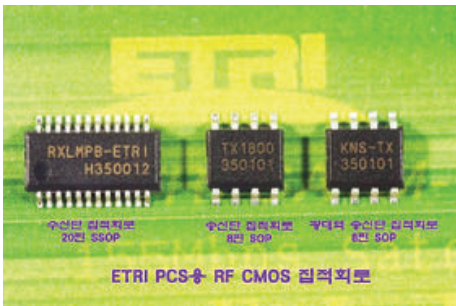
2000년대 이후, ETRI는 정보통신부 지원을 통해 이동통신, 네트워크, 멀티미디어 등 다양한 ICT 분야의 시스템 반도체 개발에 집중하였다.

2004년부터 정보통신부의 'IT 839 전략'에 따라 '지상파 DMB 수신 SoC 기술개발' 과제에 돌입하였다. 과제의 목표는 RF 수신 회로와 디지털 회로를 하나의 칩 상에 집적하는 것이었다. 당시에는 RF 수신 회로와 디지털 회로를 별개의 칩으로 제작하는 것이 통상적이었다. ETRI는 RF 수신 회로의 고주파 잡음이 디지털 회로 쪽으로 전달되지 않도록 하는 새로운 설계 기술을 고안하고, VHF 대역 RF 수신 모듈, OFDM 기반 베이스밴드 모듈, H.264/BSAC 기반 멀티미디어 처리 모듈 등을 모두 단일 반도체 칩에 집적하는 기술을 세계 최초로 개발하였다. 이는 시스템 반도체 분야의 대표적인 성공사례로 꼽힌다. 지상파 DMB는 ETRI가 국제표준 승인을 받은 세계 최초의 모바일 방송서비스 기술이다.

ETRI는 개발된 'DMB SoC 기술'을 이용해 저전력 · 저비용의 지상파 DMB 단말기를 구현하였으며, 이를 통해 지상파 DMB 서비스가 국내에 정착 · 확산하는 기반을 마련하고, 통신 · 방송 융합서비스 실현에 이바지하였다. 이 기술은 10여 개 기업으로 이전되어 관련 초기시장을 선도하였다. 또한, 2006년 '대덕특구 혁신기술사업화대상' 우수상 수상, 2007년 '국가연구개발 우수성과 100선' 선정, 2008년 '대한민국 반도체설계대전' 대상 수상 등 대외적으로도 뛰어난 기술력을 인정받았다.

이어서 2006년부터는 '임베디드 DSP 기술' 개발에 착수하여, 초저전력 임베디드 DSP 코어뿐 아니라 컴파일러와 소프트웨어 개발환경을 동시에 개발하여 상당한 수입대체 효과를 거뒀다. 개발된 DSP 코어는 칩 면적을 최소화한 터치센서와 오디오 음장효과 구현 제품 등으로 상용화되었다.

2007년에는 다양한 멀티미디어 코덱(SVC, VC-1, AVS, H.264, MPEG4 등)을 동일 환경에서 구현할 수 있는 '멀티코어 SoC 플랫폼' 개발을 시작하였다. 이를 통해 4GOPS/mW 급의 멀티코어 SoC 설계 기술을 확보하였으며, 총 14건의 기술이전을 통해 국내 멀티미디어 코덱 시스템 반도체 기술 발전에 이바지하였다.



CDMA PCS용 송수신 RF칩

144) CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor): 상보형금속산화반도체로, 소비 전력이 매우 적다는 이점을 가지며 휴대용 계산기, 전자시계, 소형 컴퓨터 등에 널리 사용된다.



지상파 DMB 수신 SoC 및 본 기술을 적용한 DMB 단말기



인체통신 기반 상부위장관 모니터링용 캡슐내시경 상용화

2011년에는 H,264에 비해 약 2배의 압축률을 갖는 고난도 ‘HEVC(High Efficiency Video Coding) 코덱 SoC 기술’ 개발에 착수하여 2건의 기술이전 성과를 올리고, 국제 표준화 활동을 통해 총 11건의 국제표준 기고서를 제출하였다. 본 기술은 메모리 사용량 과 데이터통신량을 줄이는 것이 매우 중요한 자동차, 드론, 로봇 탑재용 영상 장치에 활용 되었다.

한편, 인체를 매질로 하는 새로운 통신방식인 ‘인체통신 기술’을 2007년부터 고안 및 개발 하기 시작하였다. 본 기술은 신체 중 일부가 접촉하고 있는 전자기기로부터의 데이터 신호가 우리 몸을 따라 전달될 수 있는 특성에 착안하여 인체 주변의 통신 기기 간 또는 센서 간에 손쉬운 데이터통신이 가능하도록 한 기술이다. ETRI가 개발한 ‘인체통신 칩 기술’은 2012년 2월에 IEEE의 BAN(Body Area Network) 국제표준으로 채택되었다. 인체통신 기술은 캡슐내시경, 실버케어 서비스 등으로 상용화가 계속되고 있다.

또한, RF · Analog 설계 분야의 성과로, 1.5km 이상 떨어진 다중 타깃인 드론을 탐지하는 지능형 레이더 칩을 2020년에 개발하였고, 그를 기반으로 재난환경에서 인명을 탐지할 수 있는 특수 레이더 칩을 구현하는 중이다.

### 인공지능 반도체로의 도약

ETRI는 1982년부터 40년 가까이 시스템 반도체를 개발하였다. 관련 연구는 대부분 국내에서 최초로 시도되는 것이었고, 세계 최초의 성과도 다수 도출되었다. 이러한 ETRI의 노력은 국내 시스템 반도체 산업을 세계적인 수준으로 끌어올리는 견인차 역할을 하였다. 앞으로도 저전력 고성능 인공지능프로세서 기술, 임플란터블 능동소자를 위한 생체신호 처리 기술, 반영구적 배터 전지 모듈 및 배터 소스를 이용한 특수 암호 칩 기술 등 다분야 시스템 반도체 기술을 지속해서 고도화해 나갈 것이다.

최근 정부는 시스템 반도체를 혁신성장 전략 분야로 정하고, 「인공지능 반도체산업 발전전략」을 발표하였다. 이는 2030년까지 인공지능 반도체 시장에서 20%의 점유율을 달성하고, 20개의 혁신기업과 3천여 명의 고급인재를 양성하여 인공지능 반도체 선도국가로의 도약하는 것을 목표로 한다. 이에 따라 ETRI의 시스템 반도체 기술개발에도 가속도가 붙을 것으로 보인다.

## 4-2-3. 인공지능 반도체

### 인공지능프로세서의 눈부신 발전

인공지능 기술이 급성장하면서 사회 · 경제 모든 분야가 빠르게 지능화되고 있다. 일부 기능의 경우에는 인간의 능력을 뛰어넘는 인공지능 사례도 발표되어, 기술의 활용에 대한 기대감도 매우 커지는 상황이다.

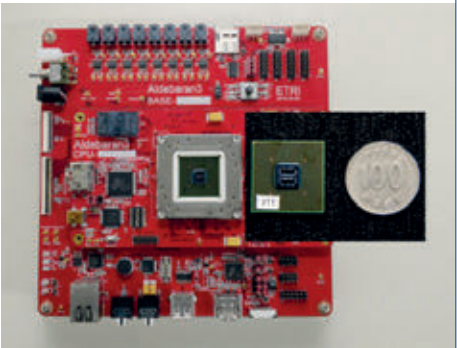
인공지능이 요구하는 매우 많은 연산량, 엄청난 양의 데이터, 복잡한 심층신경망을 적은 소비전력으로 실시간 처리하기 위해서는 매우 높은 성능의 인공지능프로세서<sup>145)</sup>가 필요하다. 현재 인공지능프로세서 시장은 폭발적으로 성장하는 추세이다. 엔비디아, 구글, 아마존, AMD, 마이크로소프트, IBM, 삼성 등의 글로벌기업이 이 분야를 선도하고 있으며, 국가 주도 또는 국가 · 기업 간 협동 연구로 인공지능 시장 창출과 선점에 매진하는 경향도 보인다. Allied Market Research에 따르면, 2025년 인공지능프로세서 시장은 2018년 대비 약 14배 증가한 910억 달러로 예측된다.

우리나라는 최근 범부처 협력으로 ‘인공지능 반도체 1등 국가’를 목표로 하는 ‘차세대 지능형 반도체 기술개발’을 기획하였으며, 인공지능 반도체 설계 분야에 10년간 총 2,475억 원을 투자하는 계획을 추진하고 있다. 2020년 첫해부터 288억 원을 투입하여 서버, 모바일, 에지 및 공통분야에서 높은 연산능력과 전력효율을 갖는 인공지능 반도체(NPU) 10종을 상용화하는 것을 목표로 유례없는 대규모 연구개발사업이 진행 중이다.

ETRI는 오랜 기간 다양한 응용 분야의 핵심 반도체를 설계한 경험과 ASIC · FPGA용 초고속 저전력 하드웨어 설계기법은 물론 알고리즘, 컴파일러, 펌웨어, 드라이버 등을 포함한 소프트웨어 그리고 시스템 기술까지 보유하고 있다. 이러한 기술력을 토대로 세계 최고 수준의 지능형 프로세서를 자체적으로 개발하는 중이다. 특히, 시장 활성화가 가장 먼저 일어나리라 예상되는 자율주행 자동차와 중대형 서버용 가속기에 사용될 반도체 칩 개발을 1차 응용목표로 추진하고 있다.

### 저전력 고성능 인공지능프로세서 ‘인공두뇌’ 개발

ETRI는 2010년부터 에너지 소모량 자동 제어가 가능한 고성능 임베디드 프로세서 기술 확보를 목표로 독자구조의 CPU 개발에 착수하고, 이를 ‘인공두뇌(Artificial Brain, AB)’으로 명명하였다. 연구 결과, 2016년 무인차 전용 저전력 고성능 인공지능프로세서인



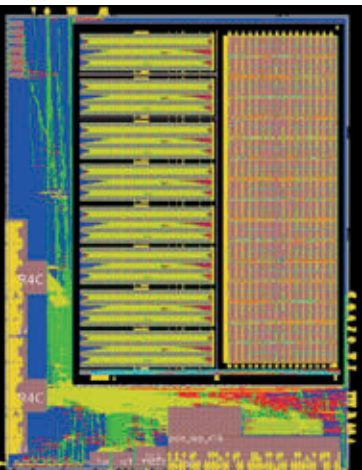
알테라 프로세서가 내장된 보드

145) 인공지능프로세서: GPU(Graphics Processing Unit), TPU (Tensor Processing Unit) 및 NPU(Neural Processing Unit)를 포함하는 인공지능 반도체 군을 말한다.





고성능 인공지능프로세서(AB9) 칩



AB9 레이아웃

146) 시스톨릭 배열(systolic array): 시스톨릭이란 심장의 박동 원리를 나타내는 말로, 같은 기능을 가진 셀들이 연결망을 구성하여 전체적인 동기 신호에 맞추어서 하나의 연산을 수행할 수 있도록 설계된 특수한 배열구조이다.

AB3를, 2017년에는 자율주행차용 프로세서인 AB5를 개발하는 데 성공하였다. AB5는 최소 저전력 수준인 1W 내외만으로도 자율주행차가 필요로 하는 영상인식은 물론 제어기능을 통합해 실행할 수 있는 칩으로, 기가헤르츠(GHz)급 역량을 보유하여 초당 90억 회 수준의 연산 수행이 가능하다. 이는 ISO가 정한 자동차의 기능 안전 국제표준인 ISO 26262를 만족하는 세계 최초의 기술이기도 하다. 한편, AB3 설계 기술은 2016년 ‘대한민국 반도체설계대전’에서 대상(대통령상)을 받았다.

2020년 2월에는 이를 발전시켜 딥러닝 연산에 특화된 인공지능프로세서인 AB9 칩을 개발하였다. AB9 칩은 15W의 적은 소비전력으로 40테라플롭스(1초당 40조번 부동소수점 연산) 수준의 높은 연산성능을 보여준다. 이는 기존 상용제품보다 전력당 연산 능력이 최대 25배 높고 전력소모량은 20배 정도 낮은 우수한 성능이다. 이렇게 연산효율이 높은 것은 칩 내부에 신경망 연산 전용 고속 128×128 시스톨릭 배열(systolic array)<sup>146)</sup>을 탑재하여 반복적인 행렬연산을 병렬처리하고 패턴화하였기 때문이며, SPARC ISA 기반 AB CPU 쿼드코어를 채용하여 범용성을 높였다. 또한, 메모리 대역폭을 확보하기 위해 170Gbps의 LPDDR4 채널 2개를 사용하고, 호스트 시스템과의 통신을 위한 PCIe x16 Gen3 인터페이스, 시각인지 AI 처리를 위한 HDMI 비디오 입출력 인터페이스, 피처맵과 신경망 하이퍼 파라미터용 저장장치 및 효율적 제어장치는 물론, 특별히 자율주행 응용을 위한 CAN 인터페이스가 내재 되어 있다. 아울러, 성능 저하 없이 소비전력 절감을 위해 파워 게이팅(Power Gating) 기법으로 누설전류를 차단하고, 시스톨릭 배열의 전원공급을 16영역으로 나누어 병렬 제어가 가능하도록 설계하였다.

무인자율주행차의 핵심 두뇌 역할을 하는 AB9은 실시간 초고화질(UHD) 영상정보 처리는 물론 차량, 보행자, 차선, 신호등 등 필수 요소에 대해 실시간 인식이 가능하며, 전자장치 고장으로 인한 오작동 사고 등에 대비하여 오류 방지율 99% 이상을 충족하는 안전에 관한 국제표준을 만족하고 있다. 향후 운전자 친화적인 자율주행이 가능하도록 온칩 학습 능력을 가진 인공지능프로세서를 개발하는 것이 궁극적인 목표이다.

AB9은 현재 국내 한 통신업체 데이터 센터에서 지능형 CCTV 및 음성인식 서비스를 위해 실제 환경에서 기능시험을 진행하고 있다. 향후 AI 스피커, 무인자율차, 고성능 서버, 원격진료, 금융 서비스, 안면·행동 인식 등에 광범위하게 활용되어 딥러닝 적용 제품의 국산화율을 높이고 고부가가치를 창출할 것으로 기대된다.

시각인지 인공지능프로세서 ‘VIC’ 개발

인공지능이 현실에 적용되기 위해서는 아주 적은 소비전력만으로 방대한 연산량을 고속으로 처리할 수 있는 프로세서가 필수적이다. 그러기 위해 기존대비 수십 배의 연산량을 처리하면서 소형인 저전력 칩이 필요하다. 이에 ETRI는 2019년 모바일 에지 및 IoT용 저전력 시각인지 고속 추론 프로세서인 ‘VIC(Visual Intelligence)’ 칩을 개발하였다. TSMC 40nm LP 공정에서 칩 면적 5×5mm<sup>2</sup>로 제작된 VIC 칩은 0.5W의 전력으로 초당 30회씩 사람 수준의 인지 정확도로 100종의 사물을 인식하고 위치를 추출할 수 있다. 연구진은 VIC 칩 구현을 위해 기존 기술대비 1/10 미만의 적은 신경연산을 통해서 동일 성능을 확보할 수 있는 ‘시냅스 컴파일러 기술’, 기존 디지털 회로 기반 연산기와 두뇌 뉴런의 동작을 모방한 아날로그 회로를 융합한 ‘초저전력 하이브리드 뉴런 회로 기술’, 그리고 ‘시각지능칩 아키텍처’ 등을 개발하였다.

VIC 칩은 VGG16, ResNet-101, ResNet-50, MobileNet, SqueezeNet, VGG16+SSD300, GoogLeNet, Inception\_v1, Inception\_v3, AlexNet 등 전 세계적으로 널리 활용되는 다양한 신경망으로 검증되었으며, 신경망을 구성하는 다양한 계층과 연산 커널 구조를 모두 지원한다. 연구 결과물은 지능형 CCTV, 드론 기술과 결합하여 새로운 응용 분야로의 활용을 모색하고 있다.



알테라 프로세서가 내장된 보드

2024년 1,000테라플롭스급 프로세서에 도전

AB9은 에프에이리눅스(주, 주한화 등과의 협력을 통해 지능형 CCTV 및 정찰감시 분야에 적용되고 있으며, 국방 분야에서는 국방과학연구원과 국방 감시정찰 시스템에 적용할 인공지능 기술협력을 위한 협약을 체결하였다. 또한, VIC 칩은 2018년, 2019년 그리고 2020년에 각각 1건씩 핵심 설계 기술을 이전하였다.

현재 ETRI는 세계 최초로 칩당 1Peta FLOPS, 즉, 초당 1×10<sup>15</sup> 연산이 가능한 ABK 인공지능프로세서를 개발 중이다. 이 인공지능프로세서는 국가적으로 엑사스케일(10<sup>18</sup>)급 AI 슈퍼컴퓨터를 위한 이정표가 될 것이다. 또한, 시장요구에 따라 강화 학습, 비지도 학습, 온칩 학습이 가능한 이동 및 에지용 저전력 인공지능프로세서 등 다양한 사용 환경에 적합한 인공지능프로세서를 개발하여 국내 인공지능 기업들이 글로벌 시장을 선점할 수 있는 기반을 마련하고자 노력하고 있다.

4-2-4. 차세대 반도체

전력반도체 기술개발 전진기지 ETRI

전력반도체는 전력을 변환·처리·제어하는 반도체 소자로, 에너지를 효율적으로 공급하고 변환하는 장치에 사용된다. 1990년대 후반 정보통신 사회로의 급격한 변환에 따라 각종 시스템의 자동화, 소형화, 경량화 및 에너지 효율 향상을 위한 전력반도체 소자의 중요성이 부각하기 시작하였다.

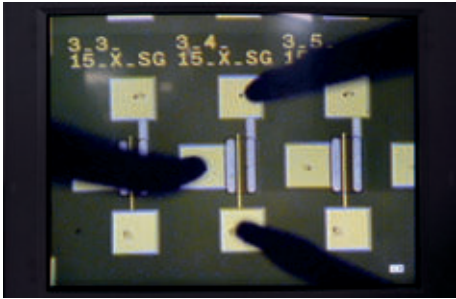
ETRI의 전력반도체 소자 연구도 이때부터 시작되었다. ETRI는 CMOS 일괄공정이 가능한 국내 정부출연연구소 유일의 반도체실험실과 1980년대부터 다양한 반도체 소자를 연구하며 축적한 기술·인력을 바탕으로 20여 년간 전력반도체와 관련한 다양한 국책 연구과제를 수행하였다. 이로써 국내 전력반도체 개발의 전진기지 역할을 담당하고 있다.

20여 년간 Si·SiC 전력반도체 기술 축적

ETRI는 1997년 정보통신부 선도기술개발사업의 하나인 ‘300V DMOS(고전압소자) 및 고속 BCD<sup>147)</sup> 전력소자 기술개발’ 과제를 통해 전력반도체 연구를 시작하였다. 1999년까지 연구비 46,28억 원과 연구인력 34명이 투입된 과제였다. 연구진은 이를 통해 5V CMOS 소자와 양립하는 PDP(Plasma Display Panel) 디스플레이 구동용 100V급 data 및 300V급 scan 구동 IC 기술을 개발하였다.

2010년부터는 ‘BLDC<sup>148)</sup> 모터용 고전압·대전류 파워모듈 및 ESD 기술개발’ 과제를 수행하였다. 과제에는 2014년까지 연구비 167.5억 원과 연구인력 83명 투입되었으며, 가전용 및 자동차용 100V·100A급 파워소자 및 모터 구동 회로가 집적화된 1칩 BLDC모터 구동용 파워 모듈을 개발하였다.

2000년대에 들어 에너지 사용량이 급증함에 따라 전력이용 효율의 중요성이 더욱 크게 부각하였다. 이에 ETRI는 실리콘(Si) 전력반도체의 전력이용 효율 한계를 극복하기 위해 탄화규소(SiC) 전력반도체 연구과제들을 수행하였다. 대표적인 과제는 2015년 착수한 ‘SiC 기반 트랜치형 차세대 전력소자 핵심기술개발’ 과제로, 2017년까지 연구비 27억 원과 연구인력 15명이 투입되었다. 연구를 통해 국내 최초로 6인치 기반 1,700V급 SiC Diode 및 Trench MOSFET<sup>149)</sup>가 개발되었다. 이 기술들은 최근 이슈화되고 있는 전기자동차 및 태양광발전 등에 실제 응용이 가능한 수준이다.

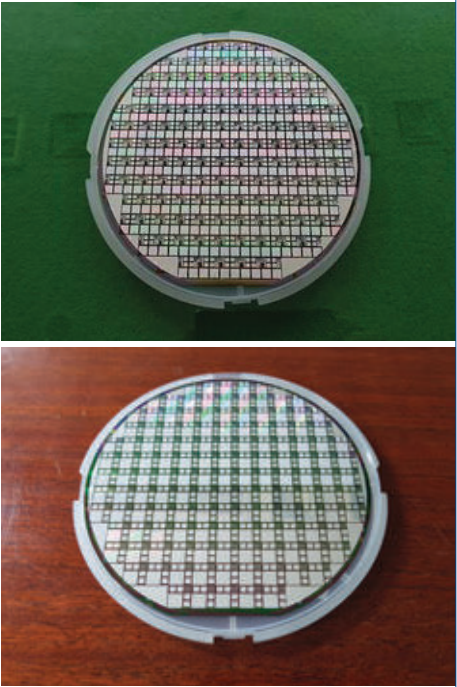


연구진이 개발한 산화갈륨 전력반도체 모스펫(MOSFET)

147) BCD(Bipolar-CMOS-DMOS): 아날로그 신호 제어를 위한 Bipolar 공정과 디지털 신호 제어와 고전력 처리를 위한 CMOS-DMOS 공정을 하나의 칩에 구현한 공정 기술이다.

148) BLDC(Brushless Direct Current): 내부에 브러시가 없는 직류 모터로 내구성이 높고 고속 회전에 유리하다.

149) MOSFET(metal oxide semiconductor field effect transistor): 금속산화물을 이용해 각종 회로에서 스위치 역할을 담당하는 트랜지스터(Transistor)이다.



6인치 트랜치형 Diode(상) 및 MOSFET(하) 시제품

150) 이차원 물질: 1 nm 이하의 원자층이 겹겹이 쌓여있고, 층 단위로 쉽게 박리되는 물질이다.

ETRI는 지난 20여 년간 개발한 Si·SiC 전력반도체 소자 기술로 ‘전력반도체 플랫폼’을 구축하고, 이를 중심으로 전력반도체 관련 국내 중소기업에 시제품 제작, 애로기술 해결 등의 지원을 수행하고 있다.

4차 산업혁명 견인기술로 도약

ETRI가 처음 전력반도체 기술개발을 시작했을 당시 우리나라와 선진국의 전력반도체 기술격차는 약 10년 정도였다. 그러나 현재는 세계적인 수준으로 기술력이 향상되었고, 특히, SiC 반도체 Diode 및 MOSFET 개별소자 기술은 상용화 가능성이 커 수입에 의존하던 SiC 전력소자 부품의 국산화에 크게 이바지할 것으로 기대된다.

4차 산업혁명 시대의 도래로 자율주행차, 사물인터넷(IoT), 스마트카, 5G 이동통신 등 관련 산업이 성장함에 따라 전력반도체 수요가 급격히 증가할 것으로 보인다. 이에 ETRI는 SiC CMOS 소자와 군수용·우주용 고온·고신뢰성 전자소자 등 고난도 연구를 추진함으로써 미래산업 발전을 위한 전력반도체 전진기지 역할을 계속해서 수행하고자 한다.

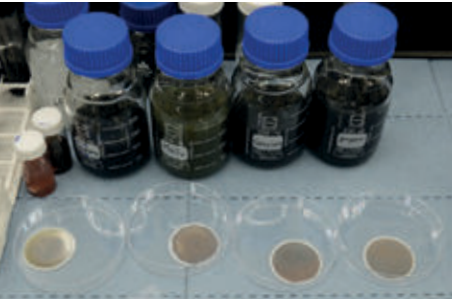
이차원 반도체의 등장

반도체 고집적화의 급속한 진행으로 기존의 실리콘 반도체는 더 이상 작아지기 힘든 단계에 직면하였다. 실리콘 반도체는 수 nm까지 두께가 얇아지면 밴드갭이 커지고 이동도가 급격히 감소하는 등 특성이 급격히 나빠진다. 이러한 한계를 돌파하기 위해 세계적으로 이차원 반도체가 주목받기 시작하였다. 이차원 반도체란, 이차원 물질<sup>150)</sup>로 만든 반도체로, 수 개 이하의 원자층 또는 화합물층(수 nm 이하의 두께)으로 구성되고, 한 층 내의 구성 원자들 사이에는 강한 공유결합이 유지되는 반면, 층 간에는 약한 반데르발스 인력만 작용하여 쉽게 박리되며, 한 층 내에서 전하의 탄도수송이 이루어져 높은 이동도를 얻을 수 있는 반도체이다. 초박형 구현이 가능하여 높은 광 투과도와 유연성을 가지므로 차세대 스마트 기기에 유용하게 사용될 수 있다는 것도 큰 장점이다.

대면적 이차원 반도체 원천기술개발

ETRI는 대한민국 반도체 신화를 쓴 기술력을 바탕으로 2016년 ‘차세대 스마트 디바이스 플랫폼을 위한 대면적 이차원 소재 및 소자 원천기술개발’ 과제를 시작하였다. 과제의 목





물과 나트륨 혼합해 이차원반도체 소재 나노시트 개발



이차원반도체 소재 나노시트 개발

표는 안정적인 이차원 소재를 발굴하고 이를 대면적으로 제조할 수 있는 이차원 반도체 기술을 개발하는 것으로, 2019년까지 4년에 걸쳐 연구비 76억 원과 연구인력 65명이 투입되었다.

ETRI는 성균관대학교와 함께 그동안 이차원 반도체 소재로 집중적으로 연구되어 온 고이동도의  $\text{MoS}_2$ (전이금속 칼코겐<sup>151)</sup> 화합물)와 이보다 더 안정한 소재인 이차원 산화물들의 저온 대면적 제조 기술을 개발하고, 이차원 소재를 이용한 트랜지스터와 신기능성 소자 관련 연구를 수행하였다.

우선,  $\text{MoS}_2$ 와 관련해서는 성장 온도를 낮추기 위해 별도의 영역, 즉 열 크래킹(cracking) 영역에서 에너지가 큰 칼코겐 활성 입자를 생성하고, 이를 리액터에 공급하여 금속 극초박막 전구체를 칼코겐화하는 기술을 개발하였다. 대면적 기판 위에 균일하게 증착된 금속 박막을 칼코겐화하면 금속이 모두 칼코겐화한 후 완료되는 포화 반응으로 진행되며, 대면적 균일 제도가 가능하다. 이 방법으로  $350^\circ\text{C}$  이하에서도 n-type  $\text{MoS}_2$  막이 제조 가능함을 입증하였다. 연구진은  $\text{MoS}_2$  대량제조 기술을 이용하여  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{WS}_2$ ,  $\text{WSe}_2$ ,  $\text{VSe}_2$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$  등의 다양한 이차원 소재들을 대면적 제조하는 데에도 성공하였다.

아울러,  $\text{MoS}_2$ 보다 안정성이 우수한 이차원 산화물 반도체와 응용 소자 기술을 연구하였다. 특히, 대표적인 이차원 산화물 반도체인  $\text{TiO}_2$ 를 트랜지스터의 반도체 채널 층으로 적용하여 구조가 매우 간단한 광 민감형 비휘발성 메모리 소자, 장기기억 시냅스 소자, 금속 절연체 전이 특성 기반 시냅스 소자 개발에 성공하였다. 연구결과 중 일부는 Advanced Electronic Materials에 표지논문으로 소개되었다.

ETRI는 이차원 소재의 폭넓은 산업적 활용을 위해 고효율 액상 박리 기술개발도 함께 수행하였다. 그 결과, 2018년 세계 최초로 소금( $\text{NaCl}$ )을 첨가, Na 양이온을 이용하여 이차원 소재를 수용액에서 고효율로 박리(剝離)함으로써 이차원 반도체 소재로 쓸 수 있는 나노시트를 만드는 데 성공하였다. 이 공정 기술은 소금을 물에 녹여 사용하는 매우 환경친화적이고 저렴한 기술로, 안전하고 효율적으로 이차원 소재 나노 플레이크 수분산액을 제조할 수 있다는 것이 특징이다. 본 연구결과는 나노소재 분야 국제학술지인 ‘Small’에 표지논문으로 실렸다.

ETRI의 이차원 반도체 관련 연구들은 SCI 저널 57편, 국내특허 출원 27건(등록 2건), 미국 특허 출원 24건(등록 5건) 등의 성과를 거뒀다. 특히, SCI 저널 논문 중 5편은 표지논문으로 선정되기도 하였다. 개발된 기술들은 앞으로 반도체 소자 뿐만 아니라 전기자동차의 고용량 축전지, 이차전지, 유연하고 투명한 전자기기 등에 광범위하게 활용될 것으로 기대된다.

151) 칼코겐(chalcogen): 주기율표 제16족에 속하는 원소로 산소(O), 황(S), 셀렌(Se), 텔루르(Te) 및 폴로늄(Po) 5 원소의 총칭이다.

### 세계 최초로 디지털 X선 소스 개발

X선은 의료진단과 산업용 제품 검사 등에 쓰이는 전자기파이다. X선은 진공도가 높은 공간에서 높은 에너지를 지닌 전자빔을 금속과 충돌시켜 만든다. 구체적으로, 텅스텐 등으로 된 필라멘트를  $2,000^\circ\text{C}$  정도의 고온으로 가열할 때 발생하는 전자로 만드는데, 전자 발생량을 정밀하게 조절할 수 없고 즉각적인 제어가 불가능하여 불필요한 방사선 피폭 가능성이 있다는 단점이 있었다. 또한, 움직이는 물체를 촬영하면 영상이 흐려지는 탓에 선명도를 개선하거나 검사 시간을 줄이는 데에도 한계가 있었다.

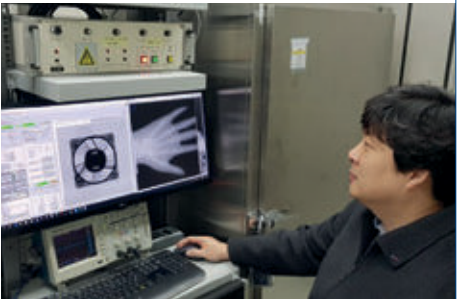
ETRI는 ‘CNT(탄소나노튜브) 기반 디지털 X선 소스’를 개발하여, 2016년 세계 최초로 상용화하였다. 고온의 필라멘트 대신 CNT를 이용한 전기신호만으로 전자빔을 보다 효율적으로, 오랫동안 만들 수 있는 기술을 개발하고 상용화하는 데 성공한 것이다.

기술의 핵심은 ‘CNT 전계방출 전자원(源) 제작 기술’, ‘진공밀봉 X선 튜브 설계 및 제작 기술’, ‘전계방출 디지털 X선 소스 구동을 위한 능동전류 제어 기술’ 등이다. ETRI는 이러한 기술들을 이용해 CNT 전자빔의 수명을 결정짓는 근원적인 메커니즘을 규명하고, 특화된 고온 진공밀봉 기술을 통해 세계 최초로 상용수준의 X선 튜브를 개발하였다.

이 X선 튜브는 전기신호로 전자가 방출되는 정도를 직접 제어할 수 있다. 이에 필요한 순간에만 전기를 걸어 X선을 방출함으로써 방사선 노출 수준을 기존대비 50%, 최대 10%까지 낮출 수 있게 되었다. 또한, 수백 나노초(ns) 수준으로 전류 제어가 가능해 수십 밀리초(ms) 수준으로 제어하는 기존 아날로그 방식보다 최대 1만 배 이상 빠른 속도로 정밀한 촬영을 할 수 있다. 그 결과, 물체의 움직임에 따라 촬영 속도를 유연하게 조절하는 것은 물론, X선 영상촬영의 잔상을 줄이고 더 선명한 영상을 얻을 수 있게 되었다. 아울러, 가열이 불필요하여 건전지(AA) 크기로도 제품화가 가능하다.

### FED 원천기술을 X선 튜브에 적용

ETRI가 디지털 X선 소스 개발에 성공할 수 있었던 것은 2000년대 중반부터 축적해 온 FED(Field Emission Display, 전계방출표시장치) 기술 덕분이었다. FED는 하나의 전자원 대신 픽셀마다 장착된 전자방출원으로 형광체를 여기(勵起)하여 화면을 표시하는 장치로, ETRI는 금속 마이크로팁 대신 CNT 기반의 전계방출 나노전자원을 개발하여 2001년 9월 세계 최초로 능동구동형 FED 시제품을 개발할 정도로 우수한 기술력을 확보한 바 있다. 그러나 LCD의 비약적 발전으로 인해 FED 기술은 상용화에 이르지 못하였다.



디지털X선소스 기술개발

ETRI는 FED 기술을 사장하는 대신, 다른 분야에 새롭게 적용하는 방식을 선택하였다. FED 개발을 통해 확보한 CNT 기반의 진공 전자소자 원천기술을 포기하지 않고 계속 발전시켰으며, 의료영상 등에 널리 쓰이는 X선 튜브에 적용하여 세계 최초로 디지털 X선 소스 기술개발에 성공한 것이다.

### X선 관련 패러다임 바꿀 기술

ETRI는 ‘CNT 기반의 완전 진공밀봉 소형 디지털 X선 튜브 기술’을 2015년 국내 중견기업에 이전하여 상용화에 성공하였고, 2019년 말 기준 200억 원이 넘는 국내외 누적 매출 실적을 달성하였다. 또한, 다수의 기업에 디지털 X선 기술 10건을 이전하여 현재 또 다른 상용화 제품개발을 진행 중이다. 아울러, 국내외에 관련 특허를 100여 건 이상 등록하였다. 기존의 X선 튜브 및 관련 영상장비는 미국, 일본, 독일의 특정 기업체가 독점하고 있었으나, ETRI가 디지털 X선 기술 상용화에 성공하면서 국산화의 길이 열렸다. 앞으로 의료영상, 산업용 비파괴 검사, 보안 검색 등에 디지털 X선 기술을 적용할 경우 관련 산업의 패러다임을 크게 바꿀 수 있을 것으로 기대된다.



CNT 기반 디지털 X선 소스를 이용한 치과 영상진단장비와 고에너지 제전장치

### 세계 최초로 Mott MIT 현상 규명

모트 금속-절연체 전이(Mott MIT; Metal-Insulator Transition) 현상은 구조 상전이(SPT; Structural Phase Transition)를 겪지 않으면서 부도체가 금속으로 또는 금속이 부도체로 바뀌는 현상 즉, 절연체에 전기가 통하는 현상이다. 1949년 영국 물리학자 모트(Mott)가 처음으로 이론적 모델을 제시한 것을, 2005년 ETRI MIT연구실에서 바나듐옥사이드에서 MIT와 SPT를 동시에 측정하여 구조 상전이 없는 Mott MIT를 세계 최초로 실험으로 검증하는 데 성공하였다.

MIT 현상을 이용하면 기존의 한계를 넘어서는 고감도 센서 및 스위칭 소자를 만들 수 있다. 예를 들어, 기존의 과전류 차단기는 도선 온도가 올라가면 바이메탈 금속판이 달아올라 끊어지면서 과전류를 차단했지만, MIT 소자를 이용하면 도선이 임계온도인 67~85℃에 도달할 때 전자적으로 과전류가 자동 차단되기 때문에 소요 비용을 절반 가까이 줄일 수 있다. 또한, MIT 현상을 이용하는 스위치는 반도체보다 저저항인 금속과 절연체(혹은 반도체) 사이를 스위칭하므로 반도체에 비해 큰 전류를 제어하는 장점이 있다. 이 스위치는 Si 소자로도 만들 수 있다.

### MIT 응용기술과 대량생산 기술개발

ETRI는 2001년부터 현재까지 지속해서 MIT 현상 관련 연구를 추진하고 있다. 초창기에는 현상규명과 함께 신소재 개발을 수행하였고, 이후에는 응용기술과 대량생산 기술개발과 차세대 신소자 연구에 주력하고 있다.

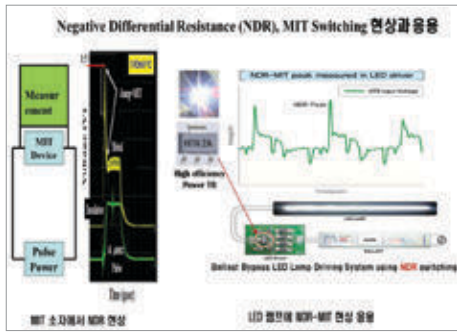
그 결과, 2016년 바나듐 산화물 MIT 소자 확산을 위한 대량생산 기술개발에 성공하였다. 연구진은 안정화된 물질인 AlN(질화알루미늄)을 이용하여 실리콘 기판 위에 MIT 물질을 올렸을 때 중간에 격자불일치<sup>152)</sup> 현상이 일어나는 것을 조절함으로써 8인치 웨이퍼에 최대 20만 개 이상의 소자를 만들어냈다. 기존에는 2인치 웨이퍼로 1만 6천 개의 소자밖에 만들 수 없었다. 본 기술개발은 MIT 소자의 생산단가를 떨어뜨려 상용화 가능성을 높였으며, 에피(Epitaxy) 박막으로 생산하여 불량소자 제조 확률도 크게 줄였다.

또한, Si 기반의 MIT 트랜지스터에서 NDR-MIT<sup>153)</sup> 스위칭을 구현하고, MIT 트랜지스터를 세계 최초로 개발하였다. 이를 통해 2016년에는 기존 상용제품 대비 1/10 크기에 광효율도 14% 이상 높은 ‘고효율 LED 구동보드’를 개발하는 데 성공하였다. 2020년 현재 50만 개 이상의 MIT LED 드라이버가 제품화되었으며, 심장박동기에도 쓰이고 있다. 현재는 Si-MIT 트랜지스터의 상용화를 위한 응용 및 제조 기술을 개발하고 있다.

### IoT 시대를 이끌 핵심기술로 부상

ETRI의 MIT 물질 및 소자 설계·제조 기술은 세계 최고 수준이다. 연구진이 발표한 약 20편의 핵심논문은 연간 1,000편 정도 피인용 되고 있으며, 국내특허 79개와 국제특허 244개를 확보하였다. 미국 등록 특허만 55개에 이른다. 또한, 2008년 특허청 최고상인 발명대왕상을 수상하였고, 2017년에는 ‘8인치 대면적 MIT 웨이퍼 제조 및 MIT 소자 기술개발’이라는 이름으로 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

개발된 기술들을 토대로 열·빛·전기가 있는 곳에 두루 쓰이는 임계온도 센서·스위치, 조도 센서, 인체 온도감지 센서, 보호회로가 내장된 트랜지스터, 전력도선 감시용 스위치, 리튬이온전지 등에 MIT 소자 적용이 가능해졌다. 특히, MIT 소자 기술을 적용한 센서는 기존 반도체 센서보다 감도가 최대 1천 배 이상 뛰어나다. 이에 따라 앞으로 MIT 관련 기술은 첨단 센서를 기반으로 하는 IoT 분야를 이끌 핵심기술로 부상할 것으로 보인다. 아울러, 차세대용 신경망 소자인 뉴로모픽 소자 및 양자컴퓨터용 상온 큐비트를 만들 수 있는 차세대 소자 핵심기술로도 주목받고 있다.



NDR-MIT 스위칭과 응용

152) 격자불일치 현상: 물질 성장 시 기반 물질의 원자와 원자 사이의 거리, 성장하려고 하는 물질의 원자와 원자 사이의 거리가 서로 다른 현상이다.

153) NDR(Negative Differential Resistance) MIT: 일정한 전류에서 MIT 현상이 일어날 때 저항 감소로 전압이 작아지는 현상을 뜻한다.





고휘도 저전력 QLED 기술개발

이러한 기술들은 머지않아 AR/VR 형태의 홀로그래픽 디스플레이 제품으로 구현될 것으로 예상된다.

2015년이 지나면서 디스플레이 기술에도 새로운 변화의 바람이 불었다. ETRI는 보는 것을 만족시키는 기술을 넘어 감각을 느끼고 사람의 생체신호를 인지할 수 있는 새로운 개념의 디스플레이를 구현하는 연구를 시작하였다. 이 연구의 성과는 2030년 즈음 촉각 · 오감 디스플레이와 생체신호 인지 디스플레이로 제품화될 것으로 보인다.

디스플레이는 다양한 정보를 인간이 볼 수 있도록 화면으로 구현해 주는 영상표시장치로, 디스플레이 산업은 디스플레이 패널 · 모듈뿐만 아니라, 디스플레이 표시기기와 연동된 입력장치, 사용자 인터페이스 및 이와 관련된 소재부품, 장비의 생산에 필요한 모든 활동을 포함한 거대한 산업이다.

디스플레이는 동작 원리, 형태 · 모양, 응용 분야에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 동작 원리로 보면 LCD<sup>154)</sup>처럼 빛의 투과 또는 반사를 조절하는 디스플레이와 OLED<sup>155)</sup>처럼 디스플레이 화소 내에서 빛을 생성하는 디스플레이로 구분되며, 형태 · 모양으로 보면 사용하는 기판에 따라 평판 · 플렉시블 · 마이크로 디스플레이 등으로 구분된다. 또한, 응용 분야로 보면 융복합 분야에 따라 퍼블릭 · 임베디드 · 공간 · 모바일 · 웨어러블 디스플레이 등으로 구분할 수 있다. 이처럼 디스플레이는 매우 다양한 분류가 가능하며, 그만큼 수많은 기술의 발전이 필요한 영역이다.

ETRI는 LCD가 산업적으로 활발하게 발전하기 시작한 1990년대부터 LCD 이후의 차세대 평판 디스플레이를 연구하기 시작하였다. 대표적인 것이 OLED와 무기 EL · FED이다. 당시 확보한 기술은 2020년 현재 디스플레이 산업의 중심에 있는 OLED TV 및 OLED 스마트폰 개발의 기반이 되었다.

2000년부터는 새로운 기능을 가진 투명 디스플레이와 자유로운 형태로 변형 가능한 플렉시블(Flexible) 디스플레이 연구를 시작하여 대한민국의 디스플레이 기술을 한 단계 끌어올렸다. 이러한 기술적인 진보는 현재 활발하게 진행되고 있는 투명 디스플레이 제품, 접는 스마트폰, 롤러블 TV 개발의 기반이 되었다.

또한, 2013년부터는 디스플레이를 입체화할 수 있는 홀로그래픽 디스플레이 기술연구를 시작하였다. 그 결과, 2017년 세계 최소 피치인 3 $\mu$ m 픽셀의 16K급 위상변조형 공간광변조기 패널 개발에, 2019년에는 1 $\mu$ m 픽셀 피치의 공간광변조기 소자 개발에 성공하였다.

154) LCD(Liquid Crystal Display, 액정디스플레이): 전기장을 이용하여 액정의 분자배열을 변화시켜 외부 입사광을 산란, 간섭, 변조시키는 원리를 이용한 화상 표시장치이다.

155) OLED(Organic Light Emitting Diode, 유기발광다이오드): 형광성 유기화합물에 전류가 흐르면 빛을 내는 전계발광 현상을 이용해 스스로 빛을 내는 자체발광형 유기물질이다.

## 4-3-1. LCD 이후 평판 디스플레이

### LCD의 대항마로 등장한 FED

1990년대 중반 그동안 TV, 모니터 시장을 장악하고 있던 CRT(Cathode Ray Tube, 브라운관)를 대신하여 노트북을 중심으로 평판(Flat Panel) LCD의 시장 진입이 본격화되고 있었다. 당시 LCD는 평면이라는 장점에도 불구하고, 낮은 휘도, 좁은 시야각, 느린 응답속도 등으로 인해 CRT보다 화질이 떨어지는 디스플레이로 인식되었다. 그러나 대화면에 대한 요구가 급증하고 평판 모니터와 노트북 시장이 커지고 있어, CRT로 이러한 요구를 충족할 수 없다는 것은 분명하였다.

여러 약점으로 인해 LCD가 CRT를 대체할 수 있을까에 대해 의문이 계속되는 상황에서 LCD의 대항마로 등장한 것이 FED(Field Emission Display, 전계방출표시장치), 무기 EL(Inorganic Electro-Luminescence), PDP(Plasma Display Panel, 플라스마 디스플레이) 등이었다. 특히, FED는 당시 가장 이상적인 표시장치였던 CRT를 평판화 하는 개념으로, 하나의 전자원 대신 픽셀마다 장착된 전자방출원으로 형광체를 여기(勵起)하여 화면을 표시하는 장치였다. 평면으로 만들 수 있다는 장점과 함께, 이론적으로는 기존 CRT의 화면 수준을 재생할 수 있다는 점이 부각되어 국내·외 다양한 기관에서 연구가 진행되었다.

### 단기간에 세계 최고의 FED 기술 확보

ETRI는 1995년 내부 TF를 구성하여 차세대 평판 디스플레이 소자인 FED에 관한 기초 기술연구를 진행하였다. 그리고 이를 바탕으로 1996년부터 1998년까지 ‘정보통신용 FED 기술’을, 1999년부터 2001년까지는 ‘300cd/m<sup>2</sup>급 고휘도 저전력 FED 기술’을 정보통신부 주관으로 개발하였다. 이후 ‘고신뢰성 저가격의 AM-nFED 기술’ 후속 연구를 진행하였다. 기술개발에는 ETRI를 비롯하여 한국과학기술연구원(KIST)과 전자부품연구원(KETI) 등의 출연(연)과 서울대, 경희대 등의 대학 그리고 삼성전자와 오리온전기 등 기업이 참여하였다.

ETRI는 초기에 1인치 규모의 작은 소자 개발에 집중하였다. 주로 연구원 Fab.을 이용한 silicon tip을 기반으로 기업과 패키징 기술을 공동개발하였으나, 수명 문제를 해결하기 어려워 당시 가장 일반적이던 Mo tip을 전자방출 소자로 이용하고 대신 본격적으로

active matrix(잔존(殘存) 현상이 적은 고해상도 액정표시 방식의 하나) 방식을 도입하기 시작하였다. 또한, CNT(탄소나노튜브) 전자원과 active matrix 방식을 결합한 연구도 진행하였다.

연구 결과, 1999년 1월 3.5인치 컬러 FED 시제품을 오리온전기가 개발하였다. 2001년 9월에는 ETRI가 세계 최초로 능동구동형 FED 시제품을 개발하였고, 2001년 11월에는 세계 최초로 7인치 CNT FED 시제품을 삼성에서 개발하였다. 이후 우리나라는 단기간에 FED 관련 세계 최고 수준의 기술력을 확보하였다.

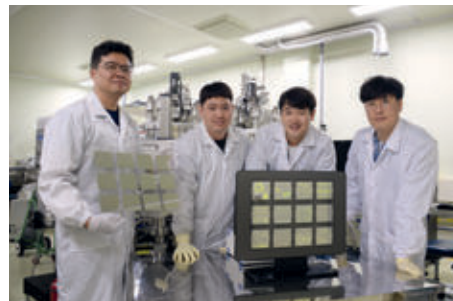
### LCD에 밀려 역사의 뒤편길로 사라진 FED

그러나 LCD 기술의 비약적 발전으로 인해 FED 기술은 상용화에 이르지 못하였다. 전자방출원으로 사용하는 Mo tip이나 CNT의 수명이 문제가 되었고, 대형화에 약점을 보이면서 기술은 더 이상 진행되지 않았다. 상용화에는 실패하였으나, FED 기술은 ETRI 디스플레이 기술개발의 시작점으로써 의의가 크다. 이후 전자종이, OLED, MicroLED 등의 디스플레이 기술개발의 초석이 되었다. 또한, FED 개발과정에서 수행한 CNT 전자방출원에 대한 연구결과는 이후 디지털 X선 소스 개발로 이어졌다.

### 무한 응용이 가능한 OLED 디스플레이 기술

ETRI는 LCD 이후 새로운 평판 디스플레이 기술의 하나로 OLED에 주목하였다. OLED는 액정 소자를 사용하기 때문에 반드시 백라이트가 필요한 LCD와는 달리 자체적으로 빛을 발산하여 더욱 얇은 디스플레이를 구현할 수 있다. 또한, 특수 유리나 플라스틱을 이용해 구부리거나 휘 수 있는 디스플레이 기기로도 제작이 가능해 차세대 디스플레이로 각광받았다. 국내 OLED 기술개발은 ETRI가 1994년 Synthetic Metals 지에 국내 최초로 OLED 관련 연구논문을 게재하면서 시작되었다. 이후 기초연구를 계속해오다 2000년 ‘플렉시블 PM-OLED’ 개발을 시작으로 OLED 연구를 본격화하였다.

ETRI의 OLED 연구개발 핵심 방향은 다양한 플랫폼 기술과 고효율 특성을 가지는 소자 기술개발이었다. 특히, 플렉시블 응용, 새로운 전극소재 기술, 기판 기술 등을 토대로 ‘OLED 조명 기술’, ‘플렉시블 AMOLED’, ‘OLED 마이크로 디스플레이 패널 공정 기술’ 등을 처음으로 국내에 선보였다.



그래핀 투명전극으로 OLED 디스플레이 개발





6인치 트랜지형 MOSFET(상) 및 Diode(하) 시제품

OLED 조명은 얇고 유연하여 기존에 불가능하던 디자인을 무한한 형태로 만들어 낼 수 있고, 자연에 가까운 빛이라 피로감이 적으며, 중금속을 함유하지 않아 환경친화적이다. ETRI는 ‘고효율 조명용 백색 OLED’와 ‘투명 및 플렉시블 OLED 조명 기술’ 등을 개발하여 국내 OLED 조명 기술의 토대를 마련하였다. 특히, 2008년부터는 ‘OLED 조명 디자인 공모전’을 시작하여 대중이 OLED 조명을 감성조명으로 친근하게 받아들일 수 있는 계기를 만들었다.

또한, 2018년에는 미래 카본 소재로 알려진 CVD(Chemical Vapor Deposition) 그래핀 소재를 활용한 ‘플렉시블 AMOLED(Active Matrix Organic Light-Emitting Diode, 능동형 유기 발광 다이오드) 패널 기술’을 개발하여 선진국과의 차세대 디스플레이 기술 경쟁에서 한발 앞선 기반을 마련하였다. 그래핀 응용 OLED 패널 기술은 2016년 ‘국가 우수연구개발 성과’로 선정되었다. 또한, ETRI가 개발한 ‘그래핀 나노소재 투명전극기술’은 2017년 ‘10대 나노 기술’로 뽑히기도 하였다.

아울러, 초실감 디바이스 기술 중 하나인 가상증강현실 기술에 도전하여 ‘OLED 마이크로 디스플레이 패널 공정 기술’을 개발하였다. 특히, 군사용 마이크로 디스플레이 기술과 32:9 스케일의 저시력 약자를 위한 마이크로 디스플레이 기술 등을 확보하여 초실감 OLED 미래기술을 선도하였다.

ETRI는 고효율 특성을 가진 OLED 소자 개발에도 주력하였다. ‘녹색 OLED 소자’를 개발하여 세계 최고 수준의 전력효율을 달성하였고, ‘OLED 광효율 향상을 위한 유기나노렌즈 형성 기술’을 개발하여 4.5억 원의 기술이전에 성공하기도 하였다.

### 핵심 4대 기술요소 중심의 개발

ETRI의 OLED 디스플레이 기술은 소재, 소자, 패널, 구동의 핵심 4대 기술요소를 보유하고 있다. 소재의 성능평가를 기반으로 적색, 녹색, 청색, 백색 등 OLED에 필요한 다양한 색깔을 고효율로 구현할 수 있는 소자를 개발하였으며, 이 소자를 유리기관부터 플라스틱 기관에까지 광범위하게 적용하였고, 여기에 다양한 구동기술을 접목하여 시장이 요구하는 기술 트렌드를 최적으로 맞췄다. 또한, 개발된 시제품들을 국내·외 학술대회와 전시회에 공개하여 OLED의 저변을 확대하였다.

### OLED 세계 선도의 기반 다져

현재 세계 디스플레이 시장에서 OLED는 프리미엄 디스플레이로서 LCD를 대신하고 있다. ETRI는 플렉시블 및 투명 디스플레이, 마이크로 디스플레이 등 다양한 시장에 적합한

요소기술들을 개발하고 제안하였다. 이로써 삼성과 LG 등 국내 유수의 기업들이 세계 디스플레이 시장을 선도할 수 있는 기반을 만들었고, 소재·부품·장비 개발기업들의 연구성과물 평가 지원 플랫폼을 설립하여 국가 기간산업 발전에도 기여하고 있다.

## 4-3-2 평판 그 이상의 디스플레이

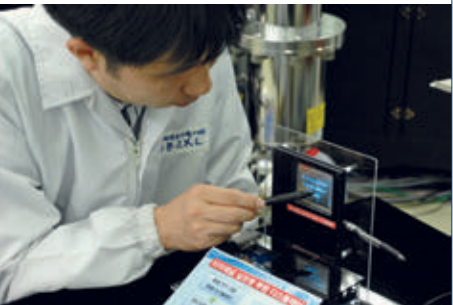
### 세계적으로 구현된 적 없는 신기술에 도전

ETRI는 평판 그 이상의 디스플레이 기술개발을 위해 2006년 내부적으로 산화물 반도체 기반의 투명 디스플레이 및 투명 전자소자 응용을 목표로 하는 사업을 기획하였다. 그리고 이를 바탕으로 정보통신부로부터 ‘투명 전자소자를 이용한 스마트창’ 정책지정과제를 수주하였다. 2006년부터 2011년까지 연구 기간 5년, 연구비 184억 원, 연구인력 총 260명에 달하는 중대형 국가연구개발 사업이었다.

산화물 TFT(Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터) 관련 대규모 국책연구과제로는 최초였던 만큼, 많은 기관이 참여하였다. 기업으로는 LG전자(업체 사정으로 도중하차), 나노신소재, 실리콘디스플레이, 네오뷰코오롱, 주성엔지니어링이, 위탁연구로는 고려대, 광주과학기술원, 한양대, 항공대, KAIST, 호서대, 연세대 등이 참여하였다.

투명 디스플레이는 전 세계적으로 구현된 바가 없는 기술이었기 때문에 ETRI는 기본 개념, 응용 분야, 구현방법, 특징 등을 자체적으로 정립하면서 기술개발을 진행하였다. 특히, 투명 디스플레이 입사광에 대한 산화물 TFT의 안정성을 연구하다 발견한 ‘NBIS(Negative Bias Illumination Stability) 현상’을 ETRI Journal을 통해 세계 최초로 발표하였다. 또한, 2008년 세계적인 디스플레이 학회인 미국 SID(Society for Information Display, 국제정보디스플레이학회)에 발표한 ‘ZnO TFT 투명 디스플레이’ 논문은 현재까지 약 640회, 2009년에 Advanced Materials 지에 게재한 투명 디스플레이 관련 논문은 약 333회 인용되는 등 국제적으로 실력을 인정받고 있다. (2020년 Google Scholar 기준)

아울러, 일본이 보유한 IGZO 계열의 원천 특허를 피하고자 소재를 탐색한 결과, Ga(갈륨) 대신에 Sn(주석)을 포함하는 새로운 조성의 산화물 반도체 소재를 발견하기도 하였다.



투명 스마트 창 기술개발

이 신조성 반도체는 IGZO 대비 내화확성이 강하고 이동도도 높아서 향후 IGZO를 대체 할 소재로 평가되었다.

세계 최초로 ‘산화물 TFT 구동 AMOLED’ 발표

투명 디스플레이 연구개발은 넓은 스펙트럼으로 추진되었다. 산화물 반도체 소재 개발, 산화물 반도체 TFT 소자구조 개발, 산화물 반도체 TFT를 이용한 투명 전자회로 개발, 산화물 반도체 TFT와 투명 OLED를 이용한 투명 AMOLED 패널 개발 등이었다. 이러한 성과들을 통해 ETRI는 2006년 SID에서 세계 최초로 ‘산화물 TFT 구동 AMOLED’를 발표하였고, 2009년에는 ‘국가연구개발사업 100대 우수성과’에 선정되기도 하였다. 참여 기업의 성과도 뛰어났다. LG전자는 본 과제의 성과를 기반으로 2007년 일본 IDW(국제디스플레이워크숍)에서 국내 기업으로는 최초로 컬러 AMOLED 디스플레이를 발표하였다.

우수한 기술적 성과를 토대로 투명 디스플레이의 응용 분야 탐색도 활발히 진행되었다. ETRI는 단순한 투명 디스플레이를 넘는 기능성 디스플레이로 ‘양면 터치가 가능한 투명 디스플레이’, ‘투명 RFID가 포함된 투명 디스플레이’ 등을 제시하였다. 특히, ‘스마트창’이라는 용어를 창안하여 기존의 창호에 투명 디스플레이 혹은 투명 입력장치를 내장하여 스마트 기능을 수행하는 창을 스마트창이라고 정의하였다.

FED · EL 선행연구로 다져진 기초체력

투명 디스플레이 및 산화물 반도체 TFT 기술개발의 성공을 뒷받침한 것은 ETRI가 1990년대 후반부터 디스플레이 분야에서 축적한 탄탄한 기술력이었다. 그중의 하나가 FED 기술이다. 비록 상용화에는 실패한 기술이지만, 연구 과정에서 TFT 분야 비정질 실리콘 및 폴리실리콘 TFT에 대한 기반기술을 축적해 둔 덕분에 채널 층으로 사용되었던 실리콘 반도체를 산화물 반도체로 바꾸어서도 빠른 기술개발이 가능하였다. 또한, 박막 EL 개발과정에서 ALD를 이용한 절연막 기술을 확보하고 있었던 것도 큰 도움이 되었다. ALD를 통해 우수한 특성의 Al2O3 절연막을 게이트 절연막 및 반도체 보호막에 활용함으로써 개발 초기에 불안정하던 산화물 반도체 특성을 안정화할 수 있었다.

투명 디스플레이 분야 눈부신 발전

본 과제의 성공적인 수행을 바탕으로 LG, 삼성 등 국내 굴지의 기업들은 10여 년간 눈부신 발전을 거듭하여 디스플레이 분야 세계 최고 기업으로 자리매김하였다. 또한, 정부는 대



투명 플렉시블 디스플레이

형 국책과제인 ‘투명 플렉시블 디스플레이’ 개발과제를 기획하였으며, 여기에 본 과제의 연구진이 다수 참여하였다.

ETRI의 기술은 계속 확장되어, 플렉시블 및 스트레처블 디스플레이, 홀로그램용 초고해상도 디스플레이, 대면적 터치패널 기술, 투과도 가변 디스플레이 기술 등으로 응용 분야를 넓히며 기술을 축적하고 있다. 최근에는 산화물 TFT가 실리콘 반도체와의 하이브리드 형태인 LTPO로 응용 범위를 확대하고 있다. 향후 산화물 TFT는 디스플레이 분야에 실리콘 반도체를 대체해 나갈 것으로 전망된다.

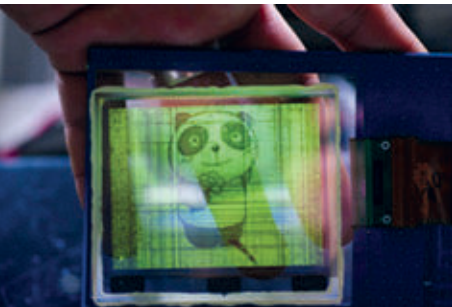
우리 기술로 반도체 신소재(ZnSnO)를 개발하던 순간

“산화물 반도체를 이용한 TFT 및 투명 스마트창을 개발한다 해도 일본이 특허를 보유한 IGZO 계열 소재를 쓰면 특허료로 너무 큰 비용을 지불하게 됩니다. 그래서 안 되겠다. 새로운 산화물 반도체 물질을 개발해보자. 라고 뜻을 모았습니다. 그때 눈에 들어온 것이 In, Ga 등 비싼 원소가 포함되지 않은 ZnSnO라는 물질이었습니다. ZnSnO은 공정온도가 너무 높아 실용성이 없다고 알려져 있었지만, 안정성이 좋다는 장점이 있었습니다.”  
“연구원들은 ZnSnO에 대해 Si를 도핑하고 증착 조건 및 후속 열처리 공정을 최적화하여 공정온도를 300℃ 이하로 낮추는 데 성공했습니다. 우리의 공정은 선행 논문이나 특허에서 찾아볼 수 없는 것이었습니다. 값싼 원소로 구성되어 있으면서도 안정성이 뛰어난 산화물 반도체 신소재를 개발한 순간이었습니다. 이 결과는 산화물 반도체 주주국이던 일본의 IDW에서 처음 발표되었고, 최우수 논문상을 받았습니다.”

— 조경익 박사(‘투명 전자소자를 이용한 스마트창’ 개발사업 책임자)

급변하는 차세대 디스플레이 환경

ETRI는 1999년 플렉시블 OLED의 기반기술들을 연구하기 시작한 이래로, 구부러질 수 있는 밴더블(bendable), 두루마리처럼 말리는 롤러블(rollable)을 거쳐 완전히 접히는 폴더블(foldable) 수준의 디스플레이를 개발하고 있으며, 플렉시블을 뛰어넘어 자유롭게 늘어나는 스트레처블(stretchable) 디스플레이를 위한 연구도 활발하게 추진하고 있다.



세계 최초의 투명 AMOLED 패널





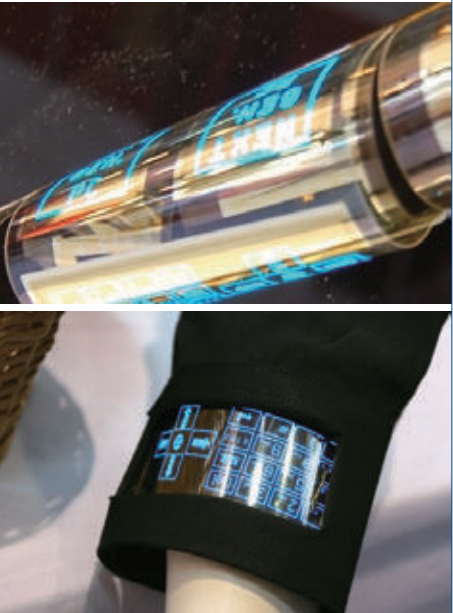
연구진이 개발한 다양한 디스플레이

### 플렉시블에서 스트레처블까지

ETRI는 2000년 국내 최초로 1.8인치급 수동형 OLED를 선보였다. 이후 2003년부터 정보통신부의 지원으로 ‘플렉시블 디스플레이’ 연구과제를 시작하였다. 사업의 목표는 ‘구부릴 수 있는 OLED 기반의 모바일 디스플레이 및 컬러 전자종이’ 개발이었다. 2008년까지 5년간 수행된 이 과제에는 LG전자 등 8개 산업체가 공동연구기관으로 참여하였으며 연구비 340억 원, 연구인력 연 30여 명이 투입되었다.

ETRI는 이 사업을 통해 초기 단계에 있던 플렉시블 OLED 패널과 전자종이의 핵심소재, 소자구조, 집적화 공정 및 신뢰성 향상 등 각종 요소기술을 폭넓게 확보함으로써 상용화를 위한 터전을 마련하였다. 또한, 플라스틱 기반의 고효율 장수명 OLED, 유·무기 복합 스위칭 소자, 저온 폴리실리콘 스위칭 소자와 이들을 집적하는 패널 공정 기술을 개발하여 4인치 컬러 플렉시블 능동 OLED 패널을 시연하였다. 아울러, 국내 최초로 컬러 전자잉크 제조 및 캡슐화 기술을 개발하고 이를 이용한 A4 크기의 플렉시블 다색 전자종이 기술을 선보였다.

2008년부터 2013년까지는 지식경제부 지원으로 연구비 129억 원 규모의 ‘모바일 플렉시블 입출력 플랫폼’ 개발과제를 수행하였다. 본 과제는 디스플레이 패널 자체의 기술개발에 주력했던 이전 사업에서 한발 더 나아가 모바일 기기와 연동하여 입력과 출력의 기능을 모두 수행하는 신개념의 플렉시블 정보 입출력장치 개발을 목표로 하였다. 그 결과 출력장치인 능동구동형 컬러 전자종이와 입력장치인 대면적 태블릿 그리고 이들을 구동하기 위한 입출력 회로 및 배선 연결부를 플렉시블한 형태로 일체화한 복합기능의 통합 모듈을 시연하였다. 이는 향후 ETRI가 플렉시블 전자소자 연구를 디스플레이 외의 다양한 응용 분야로 확장할 수 있는 토대가 되었다. 본 과제를 통해 도출된 ‘플라스틱 기반 능동구동 컬러 전자종이 기술’은 2013년 과학기술부 ‘국가연구개발사업 우수성과 100선’에 선정되었다. 2012년부터 2017년까지는 미래창조과학부의 지원으로 약 390억 원 규모의 ‘환경적응 I/O(Input/Output) 플랫폼’ 기술개발 과제를 수행하였다. 한쪽으로는 구부러지는 밴더블 수준을 넘어 주위환경에 맞게 임의의 방향으로 늘어날 수 있는 신축성 디스플레이 원천기술 확보가 과제의 목표였다. 이를 위해 신축이 가능한 새로운 기판 및 배선 구조, 늘어나도 전기적 특성이 변하지 않는 배선 소재, 기계적 변형에 강한 TFT 소자, 신축성 기판으로의 회로 전사 기술 등 기존의 플렉시블 전자회로에서 요구되지 않던 새로운 기술들을 개발하였다. ETRI는 이러한 성과를 바탕으로 2017년 SID에서 ‘3.5인치 크기의 신축성 능동 OLED 패널 제작’ 결과를 발표함으로써 신축성 디스플레이 개발의 선도적 위치를 공고히 하였다.



플렉시블 OLED 시제품(2006. 11.(상), 2007. 12.(하))



플렉시블 컬러 전자종이(2006. 11.)

한편, 본 과제를 통해 개발된, 빛이나 공간과 같은 환경의 변화에 따라 에너지 소모를 최소화하고 최적의 품질을 제공하는 ‘초절전 환경적응(LASA; Light Adaptable Space Adaptable) 디스플레이 기술’은 2014년 과학기술부 ‘국가연구개발사업 우수성과 100선’과 2017년 국가과학기술연구회의 ‘국가연구개발 우수성과’에 선정되었다.

ETRI는 일련의 대형사업을 통해 기초 수준에 머물러 있던 플렉시블 디스플레이 기술을 한 단계 끌어올리고 관련 응용기술 및 상용화의 방향을 제시했으며, 후속연구를 위한 연구인프라를 구축하였다.

### 디스플레이 산업 부동의 세계 1위 굳혀

2000년대에 들어 디스플레이 산업 세계 1위 자리에 오른 우리나라는 ETRI의 플렉시블·스트레처블 디스플레이 기술개발을 통해 그 자리를 더욱 확고히 하였다. 디스플레이 산업은 패널을 중심으로 전후방 연관 효과가 높은 플랫폼 사업으로, 소재·부품·장비-패널-모듈의 전주기적 기술개발이 필요하다는 특징을 가지고 있다. ETRI는 대형 개발과제를 주도하여 기업-연구소-학계 사이의 긴밀한 협업체계를 구축하고, 우리나라가 계속해서 디스플레이 세계 최강국의 지위를 유지할 수 있도록 기반을 닦았다.

또한, 연구개발 과정에서 축적된 플렉시블·스트레처블 전자소자 원천기술은 디스플레이 뿐만 아니라 전자피부, 생체보안, 뇌신경 인터페이스 등 전혀 새로운 분야로까지 확장되어 ETRI R&R의 한 축을 담당하고 있다.

ETRI의 스트레처블 디스플레이 연구성과는 이후 산업자원부의 지원을 받은 ‘자유곡면 자동차 윈도우용 해상도 200ppi 이상 투명도 70% 이상 능동구동형 Micro-LED 디스플레이 핵심기술’ 개발, ‘스트레처블 디스플레이용 다중 모드 입력 UI 모듈 기술’ 개발, ‘스트레처블 패널 제품화를 위한 20% 이상 연신 가능한 12인치급 연신 패널 및 모듈 공정 기술’ 개발 등 다양한 후속 과제들로 연계되어 추진 중이다. 또한, 2019년 일본 수출규제에 대응하고 디스플레이의 소재·부품·장비 자립도를 높이기 위해 출연(연) 중심의 정책지정사업으로 기획된 과학기술정보통신부의 ‘초고해상도·초유연 디스플레이’ 사업도 주관하고 있다. 한편, 플렉시블·스트레처블 전자회로 기술은 압력·촉각센서 어레이, 광센서, 진동소자, 뇌신경 인터페이스 기술 등과 결합하여 기존의 시각 디스플레이를 뛰어넘는 감각 디스플레이 분야로 확장되고 있다.

4-3-3. 실감 디스플레이

초미세 픽셀의 홀로그래픽 디스플레이에 도전

세계 최고 수준의 디스플레이 기술력을 확보한 ETRI는 다음 세대의 디스플레이를 주도하고자 3차원 입체 디스플레이(홀로그래픽 디스플레이)에 관심을 두었다. 이에 2013년 범부처 기가코리아사업인 ‘디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술’ 개발사업을 시작으로 홀로그래픽 디스플레이 개발에 본격 착수하였다. 연구 기간 8년, 연구비 약 552억 원이 투입된 대규모 국가 연구개발 사업이었다.

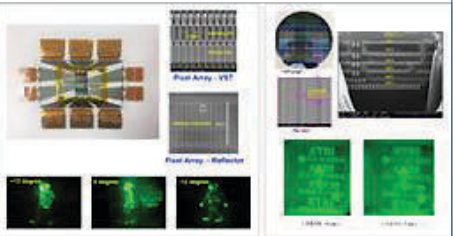
ETRI는 이 과제를 통해 디지털 홀로그래픽 디스플레이의 핵심부품인 SLM(공간광변조기)<sup>156)</sup> 패널 기술개발에 집중하였다. 공간광변조기는 재현하려는 입체영상의 회절 패턴을 디지털화하여 표시하는데, 여기에 레이저와 같은 결맞음 광을 조사할 경우 회절현상에 의해 입체영상이 재현된다. 이 기술의 가장 큰 난관은 입체영상의 시야각이 공간광변조기의 픽셀 피치에 의해 제한된다는 점이었다. 따라서 초미세 픽셀 피치의 디스플레이 패널 개발이 연구의 핵심이 되었으며, 이를 위하여 디스플레이 구동 백플레인의 고집적화에 연구 역량을 집중하였다. 또한, 넓은 시야각과 큰 화면 면적을 만족하는 디스플레이 구현을 위해 실리콘 반도체 공정 비보다 더 고난도의 기술을 요구하는 유리기판 기반의 초고해상도 공간광변조기 개발을 추진하였다.

연구 결과, ETRI는 2017년 세계 최소 피치인 3μm 픽셀의 16K급 위상변조형 공간광변조기 패널 개발에 성공하여, SID에 발표하였다. 또한, 기술을 더 발전시켜 2019년에는 1μm 픽셀 피치의 공간광변조기 소자를, 2020년에는 세계 최초로 상변화 물질을 이용하여 1.5μm 피치의 능동 매트릭스 기반 공간광변조기 소자를 개발하는 데 성공하였다.

한편, 2015년에는 삼성디스플레이 주관의 ‘모바일 완전입체 단말 및 콘텐츠 기술’ 개발사업에도 참여하였다. 이 과제를 통해 ETRI는 액정 물질을 이용하는 소자의 집적화 한계를 극복하기 위해 초박형(7nm)의 상변화 물질을 적용하는 새로운 개념의 소자를 제안하고 소자구조 시뮬레이션부터 집적화 공정까지를 체계적으로 개발하였다.

내부 융합을 통한 시너지 효과

홀로그래픽 디스플레이 기술개발은 ETRI 내부의 역량 융합을 기반으로 추진되어, 뛰어난 성과를 빠르게 도출할 수 있었다. 디스플레이 패널을 개발하는 ICT창의연구소와 입체



1μm 픽셀 피치(해상도 16K급)의 공간광변조기와 홀로그램 재현 영상(좌), 상변화 물질 기반 1.5μm 픽셀 피치(해상도 15K급)의 공간광변조기와 홀로그램 재현 영상(우)

디스플레이 시스템 및 미디어를 개발하는 통신미디어연구소의 협업이었다. 또한, ETRI가 2006년부터 꾸준히 축적해 온 산화물 반도체 TFT 기반의 디스플레이 백플레인 기술도 주요한 성공 요인이었다. 정부 역시 기가코리아사업이라는 거대 프로젝트를 기반으로 장기간에 걸친 안정된 지원을 지속하여 ETRI의 기술개발에 힘을 실어주었다.

포스트 코로나 시대 핵심기술로 기대

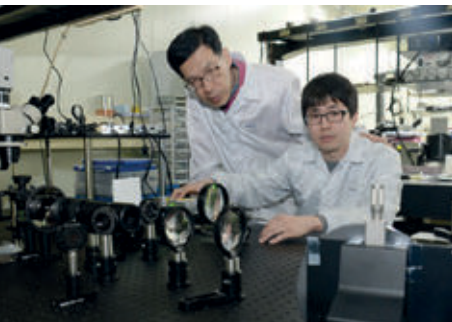
ETRI의 홀로그래픽 디스플레이 기술개발 성과들은 2020년 ‘초고해상도/초유연 디스플레이 백플레인 핵심소재’ 개발사업과 ‘초고해상도 디스플레이를 위한 비평면 TFT 구조 및 공정 기술’ 개발사업 등으로 이어지고 있다. 또한, 홀로그래픽 디스플레이 기술에 공간·축각 기술을 결합하여 새로운 UI/UX를 제공하는 ‘비접촉 공간 축각 인터랙션 기술’의 연구와 사업화도 추진하고 있다.

홀로그래픽 디스플레이 기술은 디스플레이 선도국으로써 후발국의 추격을 뿌리치고 기술 격차를 벌릴 수 있는 핵심기술이다. 특히, 2020년 코로나19 사태 이후 비접촉 교류의 중요성이 커지면서, 멀리 떨어진 상대방과의 실재감 있는 교류를 지원하는 초실감 홀로그래픽 기술은 그 중요성이 더욱 커지고 있다. ETRI가 개발한 기술들은 이러한 비접촉 교류를 위한 초실감 미디어 플랫폼으로 역할 할 수 있을 것이다.

4-3-4. 디스플레이를 넘어서는 디스플레이 기술

디스플레이를 넘어서는 디스플레이 개발에 돌입

2015년이 지나가면서 기존 디스플레이의 한계를 넘어서는 새로운 개념의 디스플레이에 대한 소비자들의 요구가 증가하였다. 이에 ETRI는 시각을 만족시키는 것을 넘어 촉감·오감을 느끼게 해주고 사람의 생체신호까지 인지하게 해주는 디스플레이 즉, ‘디스플레이를 넘어서는 디스플레이’ 개발에 들어갔다. 이 기술들은 세계적으로 개념조차 거의 정립되지 않은 신기술이어서 ETRI는 기본 개념과 구현방법 등을 자체적으로 정립하며 기술개발을 진행하고 있다.



홀로그래픽 디스플레이로 3cm 홀로그램 구현

156) SLM(Spatial Light Modulator, 공간광변조기) : 입사광에 대해 공간적으로 변화하는 어떠한 형태의 변조(위상 또는 진폭 등)를 만드는 소자로 입체영상을 재현하는 디지털 홀로그래픽 디스플레이의 핵심이 되는 디스플레이 패널 소자이다.



촉감 · 오감을 느낄 수 있는 디스플레이

ETRI는 2017년 과학기술정보통신부 지원으로 ‘Skintronics<sup>157)</sup>’를 위한 감각 입출력 패널 핵심기술’ 개발과제를 시작하였다. 인간과 사물의 감각 교감을 가능하게 하는 Skintronics 핵심 원천기술개발을 목표로, 2022년까지 6년간 연구비 139억 원, 연구인력 연 126명을 투입하는 원천기술형태의 국가연구개발사업이다.

ETRI는 촉감 · 오감을 느낄 수 있는 대면적 · 고해상도 신축성 감각 입출력 패널 기술을 개발하기 위해 ETRI 선행기술인 신축성 전자소자 기술, 산화물 TFT 기술, 센서/액추에이터 소자 기술, 입출력 회로 기술 등을 유기적으로 연계하였으며, 이를 통해 신축성 능동소자 어레이 기술, 어레이 집적을 위한 감각 입 · 출력 센서 및 액추에이터 소자 기술, 어레이 구동을 위한 신축성 회로 · 부품 기술 등 분야별 핵심 원천기술을 확보하였다. 특히, 고해상도(25ppi) 20% 신축이 가능한 촉감을 감지하는 디스플레이 어레이와 고해상도(25ppi) 하이브리드 구조의 신축이 가능한 촉감을 주는 디스플레이 어레이 시제품을 개발하였다.

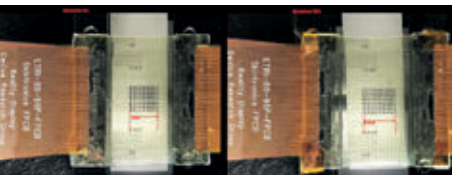
인간의 생체신호를 디스플레이에 표현

2018년부터는 ‘디스플레이 일체형 투명 플렉시블 복합 생체인식 디바이스 핵심기술’ 개발과제를 통해 인간의 생체신호를 디스플레이에 표현할 수 있는 기술을 개발하기 시작하였다. 2020년까지 3년간 연구비 60억 원, 연구인력 연 36명을 투입하는 원천기술형태의 국가연구개발사업이다. 이 과제는 인간의 지문과 정맥 신호를 이용하여 인증 · 보안 등에 사용할 수 있는 플렉시블 투명 디스플레이 기술을 개발하는 방향으로 진행되었다. 그 결과, 투과도 77%의 256×256 투명 광지문 디스플레이 센서 어레이 및 물체의 미세한 표면을 보여주는 압력 디스플레이 시제품을 개발하였다.

촉각 · 후각 · 감성을 만족시키는 기술로 진화

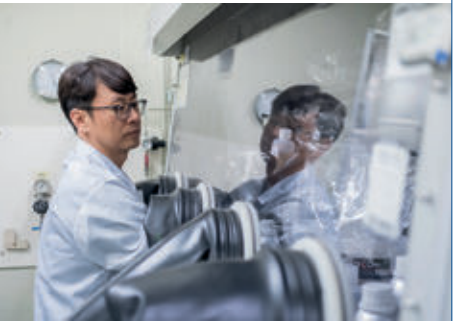
ETRI가 개발한 촉감 · 오감 디스플레이와 생체신호 인지 디스플레이를 기반으로 국내 디스플레이 산업은 치열한 글로벌 경쟁에서 우위를 점할 수 있게 되었다. 또한, 현재 TV와 휴대폰 등 디스플레이 주력 시장이 포화된 상황에서 새로운 응용 분야 발굴을 통해 신시장을 창출할 가능성도 높였다. ETRI는 2019년부터 이 기술들에 대한 국제표준화를 추진하고 있다.

앞으로 ETRI는 이 기술들을 더욱 확장하여 촉각 · 후각 · 감성을 만족시킬 수 있는 초실감 미디어 서비스를 위한 ‘홀로그램 오감 디바이스 기술’, 생체인식 기능으로 편의성 · 보안성이 극대화된 ‘지능형 보안 초신뢰 디바이스 기술’ 등으로 나아가고자 한다.



고해상도(25ppi) 20% 신축이 가능한 촉감을 감지하는 디스플레이 어레이

<sup>157)</sup> Skintronics(Skin Electronics, 피부부착 전자소자): 전자기기나 인간의 피부 어디에나 부착되어 실감 입출력 기능을 수행하는 UI/UX 인터페이스를 위한 소자로, 유연신축성 감각 입출력소자 · 구동 · 신호처리부를 포함한다.



전자관련 기술개발중인 연구진

ICT 분야의 에너지 소재부품 기술은 휴대 단말기 등 ICT 전자기기를 구동하는 정보전원 기술로, 태양광과 실내광을 전기에너지로 변환하는 광소자, 체열을 전기에너지로 변환하는 열전소자, 압력을 전기에너지로 변환하는 압전소자, 그리고 전기에너지를 저장하여 필요할 때 사용하는 리튬 이차전지와 커패시터 같은 에너지 저장소자 등으로 나뉜다.

ETRI의 초기 정보전원 연구는 주로 리튬 이차전지 등 에너지 저장소자에 집중되어 있었다. ETRI는 축적된 반도체 기술을 토대로 1995년 리튬 이차전지의 양전극 및 음전극에 관한 화학소재 연구를 시작하였다. 이후로 리튬 이차전지를 구성하는 소재기술(전극 활물질 기술, 전해질 기술, 부자재 기술 등)과 이 소재들을 조합하여 리튬 이차전지를 조립하는 공정 기술(플렉시블화 기술, form-factor free 전지 조립 기술, 안전성 · 신뢰성 확보 기술 등)을 꾸준히 개발해왔다.

2000년대 들어서는 태양광 기술에 새롭게 도전하여, 2001년부터 컬러 구부림이 가능한 독립전원으로써, 염료감응 태양전지를 개발하기 시작하였다. 그 결과, 2005년에 에너지 변환 효율이 5%가 넘는 세계 최고 수준의 컬러 플렉시블 염료감응 태양광 기술을 개발하는데 성공하였다. 당시 발표된 최고기술이 에너지변환 효율 2% 내외였던 것에 비하면, 두 배 이상을 달성한 것이었다. 이어서 2008년부터는 고효율 박막 태양전지 개발에 뛰어들어, 투명 · 컬러 · 양면 발전 실리콘 태양광 기술과 무독성 버퍼층이 적용된 컬러 · 투명 CIGS 태양광 기술 등을 개발하였다.

2012년부터는 열전효과를 이용한 체열 에너지 변환 기술개발에 돌입하였다. 그 결과, 2019년에 건식접착 유연소자와 고효율 열전소자, 고방열 인체모사 히트싱크, 고효율 전력 관리 회로 등으로 구성된 ‘체열 기반 전력 생산용 열전복합 모듈’을 개발하였다. 본 모듈 기술은 4차 산업혁명의 핵심 기술인 웨어러블 소자나 IoT 시스템의 무한전원으로 활용되어 차세대 스마트 기기 산업의 성장을 이끌 것으로 기대된다.



ETRI의 에너지 소재부품 분야 기술발전 흐름

### 4-4-1. 태양광 소자

#### 차세대 컴퓨터 구현을 위한 태양광 기술

통신 및 디스플레이 기술이 빠르게 발달하면서, 2000년대에 들어 자유자재로 휘어지면서 신체에 탈부착할 수 있는 플렉시블 컴퓨터가 등장하였다. 이를 위해서는 다양한 색상 구현과 구부림이 가능하고, 디자인이 자유로우면서도 외부 전원 없이 스스로 발전하여 전원을 공급할 수 있는 ‘컬러 색상 구현과 구부림이 가능한 독립전원’이 필요한데, 대표적인 것이 ‘염료감응 태양전지’이다. 염료감응이란, 가시광선이 특정 염료에 반응하는 성질을 이용하여 에너지를 발생시키는 방식을 뜻한다.

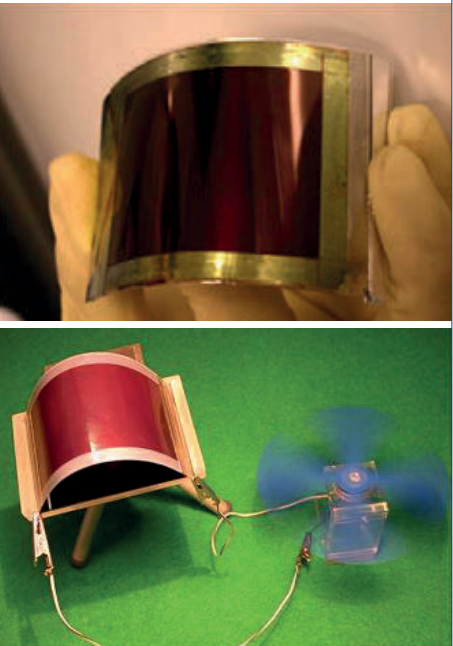
#### 발상의 전환으로 세계 최고의 기술개발

ETRI는 정보통신부 선도기반기술개발사업의 일환으로 2001년부터 ‘T839 차세대 PC 개발’ 과제와 ‘차세대 PC용 이온닉스 소자 개발’ 과제를 수행하였다. 과제들의 목표는 차세대 PC 구현을 위한 독립전원으로, 컬러 구부림이 가능한 태양광 기술 및 저장 리튬 이차전지를 개발하는 것이었다. 2005년까지 5년에 걸쳐 연구비 120억 원과 연구인력 연 15여 명이 투입되었으며, ETRI가 주요기술을 개발하고 한국화학연구원 이 소재 개발을 위한 공동 연구기관으로 참여하였다.

과제 초기 기술개발의 핵심은 고온이 아닌 저온(150℃ 이하)에서 구부림이 가능한 고분자 기판에 전자전달이 우수한 나노입자 산화물 박막을 형성하는 것이었다. 당시 전 세계 연구자들이 저온 박막을 형성하기 위하여 고분자기판에 다양한 시도를 하고 있었으며, ETRI도 마찬가지였다. 하지만 기존 방법으로는 차세대 PC에서 요구하는 성능을 구현할 수 없음을 3년의 연구 끝에 확인할 수 있었다.

연구진은 깊은 몰입 과정과 토론을 거쳐 새로운 구조로 문제를 해결하기로 하였다. 고분자기판을 사용해야 한다는 기존 고정된 사고방식에서 벗어나 금속기판 구조의 새로운 태양광 구조를 설계한 것이다. 이는 획기적인 발상의 전환으로, 아무도 시도하지 않은 방법이었다. 연구 결과, ETRI는 2005년에 에너지변환 효율이 5%가 넘는, 세계 최고 수준의 컬러 플렉시블 염료감응 태양광 기술을 개발하는 데 성공하였다. 당시 발표된 최고기술이 에너지변환 효율 2% 내외였던 것에 비하면, 두 배 이상을 달성한 것이었다.

차세대 PC용 독립전원 연구결과는 수십 편의 SCI급 논문으로 발표되었으며, SCOPUS에



염료감응 플렉시블 태양전지





녹색성장 우수기술로 초청된 ETRI의 염료감응 태양광 기술 (2008. 9. 11. 청와대)

서 검색되는 ETRI 저자 논문 총 23,002편(2020. 7. 6. 기준) 가운데 피인용 100위 안에 드는 논문도 6편이나 된다. 또한, ‘종이처럼 얇고 쉽게 휘어지는 차세대 태양전지’라는 이름으로 ‘국가연구개발 우수성과 100선’(2003년~2005년)에 선정되었으며, ETRI 연구인력이 3년간 파견되어 상용화를 지원한 ㈜상보는 ‘대면적 유연 기판 염료감응 태양전지 모듈 제조 기술개발’로 2015년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

### 투명 태양전지 창호 등으로 상용화

ETRI는 우리정도(2006년), 일진소재산업(2006년), 선테크(2007년), 상보(2008년), 동진썬미켐(2012년), 이진창호(2012년) 등에 ‘컬러 플렉시블 염료감응 태양광 기술’을 이전하고 인력 파견 등을 통해 기술사업화를 지원하였다. 그 결과, 동진썬미켐과 이진창호는 협력하여 투명 태양전지 창호를 개발하였으며, 동진썬미켐은 2016년 세종특별자치시 대평동 수질복원센터에 관련 제품을 실증하고 상용화를 추진하였다.

### 얇고 유연한 태양광 기술에 도전

화석 연료의 지속적인 사용은 원유 등 자원의 고갈뿐만 아니라 대기오염에 의한 지구 온난화와 난분해성 플라스틱의 환경누출로 인한 토지 및 해양오염을 야기하여 자연생태계를 파괴하고 있다. 이를 극복하기 위한 신재생에너지의 중요성은 점차 커지는 추세이다. 그 중에서도 가장 가능성이 큰 분야로 주목받는 것이 ‘태양광 기술’이다. ETRI는 기존의 두껍고 단단한 고가의 실리콘 웨이퍼 기반의 태양광 기술에서 탈피하여, 저렴하고 유연한 태양광 기술을 선점하기 위해 ‘박막 태양전지 개발’에 도전하였다.

### 세계적 수준의 CIGS 박막 태양전지 개발

ETRI는 그동안 축적한 세계 최고 수준의 반도체·디스플레이 기술을 토대로 다양한 태양전지 소재 가운데 갈코겐 기반의  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ (CIGS)를 활용한 고효율 박막 태양전지 개발에 뛰어들었다. 2008년부터 2020년까지, ‘차세대 태양광 발전기술 기획연구’를 시작으로, CIGS 박막형 태양전지 기술 및 모노리식 집적 CIGS 태양전지 모듈 기술 등 관련 과제 14개를 수행하였다. 여기에는 총연구비 140억 원과 연구인력 연 56명이 투입되었다. 연구 결과, ETRI는 초박막 CIGS 흡수층을 제작하고, 미국 델라웨어대학교와의 공동연

구를 통해 버퍼층 및 투명전극층의 공정 최적화를 이용한 ‘고효율의 박막 태양광 기술’을 개발하였다. 또한, (주)태양금속, (주)제이몬과의 공동연구를 통해 ‘유연 기판을 활용한 플렉시블 태양전지 기술’을, (주)에스엔텍과 함께 ‘친환경 소재 적용 소자에 필요한 저손상 투명전극 공정’을, 그리고 (주)아스와는 ‘조정량 유연기판 박막 모듈 공정 장비’ 등을 개발하였다. 이러한 가운데 2012년에는 ‘고내열성 버퍼층 기술을 이용한 고효율 탠덤형 소자 원천기술’ 연구를 진행하였다. 그 결과, 고온에서의 태양전지 성능 저하 원인 규명과 이를 극복할 수 있는 버퍼층 기술을 개발하여 탠덤형 소자에 적용하였다. 또한, 2011년에는 삼성SDI와 함께 황화법을 이용한 무독성 버퍼층 건식 제조 기술을 연구하여 ‘무독성 버퍼층이 적용된 고효율 CIGS 태양전지’를 개발하였다. 이는 기존에 버퍼층으로 사용된 황화카드뮴( $\text{CdS}$ )을 아연( $\text{Zn}$ )이 함유된 무독성 소재로 대체하는 연구로, 무독성 버퍼층 습식 공정뿐만 아니라 진공 연속공정에 적합한 건식 공정 기술도 함께 개발하였다. 특히, 건식 공정 버퍼층 기술이 적용된 소자의 계면 분석을 통해 열적 안정성을 규명하였으며, 물 위의 기름띠가 무지개색으로 보이는 빛의 간섭 현상에 착안하여 버퍼층과 윈도우층의 두께를 조절함으로써 여러 색깔을 구현하는 데도 성공하였다. 즉, 추가 공정이나 비용 없이도 태양전지에 보라, 녹색, 청색 등 7가지 이상의 색깔을 구현하였으며, 박막의 두께를 세밀하게 조절할수록 스펙트럼 내의 색상을 다양하게 나타낼 수 있다는 것을 증명하였다. 이로써 ETRI는 무독성 버퍼층이 적용된 CIGS 박막 태양전지 분야에서 국내 최고 수준의 기술력을 확보하였으며, 상용화에 한 걸음 더 다가섰다는 평가를 받고 있다. 또한, 광펄핑 테라헤르츠 분광법을 이용한 새로운 태양전지 분석법으로 무독성 버퍼층이 적용된 태양전지 효율 향상 메커니즘을 규명하였다. 그동안 학계는 태양전지가 태양 빛에 장시간 노출될수록 변환효율이 향상하는 현상의 원인을 정확하게 규명하지 못한 상태였다. 그러나 ETRI 연구진은 광펄핑 테라헤르츠 분광법을 이용하여 광펄핑 후 여기(勵起)된 태양전지 내 전하의 움직임을 측정한 끝에 시상수(Time constant)를 도출해냄으로써 변환효율이 향상되는 직접적인 원리를 세계 최초로 설명하였다.

### 미래 에너지 시스템으로 활용 확대

최근 에너지 분야에서 분산형 발전시스템이 주목받고 있다. ‘건물적용형 태양전지’는 분산형 발전시스템의 대표적인 분야이다. 여기에는 ‘발전’이라는 태양전지의 기본 기능뿐만 아니라, 친환경적인 요소와 심미적인 요소도 함께 요구된다. 그런 이유로 ETRI의 무독성 버퍼층 기술과 컬러 구현 기술이 핵심이 되리라 예상된다.

ETRI는 앞으로 친환경 컬러 CIGS 박막 태양전지 제조 기술을 태양광 모듈은 물론, 도심



친환경 컬러  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  박막 태양전지

형 건축물 전자재와 이동체 및 휴대용 기기 등에 적용하기 위한 비즈니스 모델을 개발하고 상용화 지원에 나설 계획이다. 이를 통해 컬러가 구현된 고부가가치 태양전지 제품생산과 차세대 응용 분야를 창출하여 도시형 태양광 발전에 기여하고자 한다.

축적된 반도체 기술로 박막 태양전지 개발

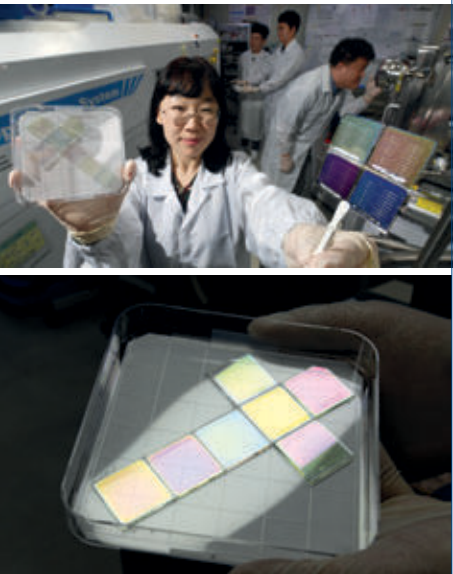
태양전지 중에서 실리콘(Si) 태양전지는 소재 가격이 저렴하고 환경적 안정성이 매우 우수하며, 인체에 무해하여 장기적으로 유리하다는 평가를 받는다. 그중에서도 비정질 Si 박막은 1um 이하로 매우 얇아서 소재의 소비가 적고 투명 태양전지의 제조가 가능하여 BIPV(Building Integrated PhotoVoltaic 건물 일체형 태양전지)용 투명 창호로 응용할 수 있다는 점에서 매우 유망하다.

ETRI는 30년 이상 반도체를 연구하며 확보한 'Si 반도체 소자 및 공정 기술'을 바탕으로 2008년부터 'Si, 게르마늄(SiGe) 박막 태양전지 원천기술' 개발을 시작하였다.

다층 투명전극과 투명 태양광 창호 기술개발

ETRI는 2008년부터 2010년까지 한국에너지기술평가원의 'Si, SiGe 박막 태양전지 원천기술개발' 과제를 통해 기술 기반을 확보하였다. 이후 2010년부터 2013년까지 발전효율 6%와 투과도 25%의 투명 태양광 기술개발을 목표로 '박막 실리콘 기반의 투명 태양광 기술개발' 과제를 수행하였다. 연구진은 대면적에서 면저항이 낮고 투과도가 높은 고성능의 투명전극 개발에 주력하여, 150nm의 다층투명전극(seed layer)을 개발하고 세계 최고 수준의 FOM(Figure Of Merit, 성능지수)을 구현하였다. ETRI는 이 기술을 미래형 전기자동차의 성에 제거를 위한 투명히터 개발과제(산업부 과제, KCC 주도)에 적용하였다. 이 과정에서 ETRI의 실리콘 박막 태양전지 기반 태양광 창호 기술은 투과도 20% 이상을 확보하고, 양면 발전효율은 모듈 기준 6.5%, 셀 기준 8% 이상을 얻어 세계 최고 수준에 도달하였다. 또한, 세계 최초로 다양한 색상을 구현하는 데도 성공하였다.

이 과제의 후속으로 2016년부터 2019년까지 '다양한 색을 구현하는 투명 창호형 태양광 기술개발' 과제를 추진하였다. 이를 통해 다층투명전극을 실리콘 기반의 태양광 창호에 적용하여 다양한 색상을 구현하였으며, 적외선을 효과적으로 차단하여 창호의 요구사항인 단열 기능도 확보하였다. 이 기술은 세계에서 가장 큰 태양광 학회인 '유럽 태양광 학회'에



친환경 컬러 박막 태양전지

서 4년 연속 구두 발표되었고, SCI급 논문 10여 편을 도출하였다. 또한, 3건의 기술이전(총 2억 5천만 원 규모)을 달성하였다.

ETRI는 다층투명전극을 박막 실리콘뿐 아니라 페로브스카이트 태양광과 스마트 윈도우에 적용하는 연구를 수행하고 있다. 이를 통해 향후 다층투명전극을 다양한 디스플레이와 터치패널에도 적용할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 세계 최초로 박막 실리콘 기반의 투명 실내광 발전기술을 연구하여 세계 최고 수준인 36%의 효율을 달성하였다. 이 기술은 2020년 'ACS Materials & Interfaces' 저널의 표지논문으로 발표되었다.

한편, 2012년부터 2014년까지는 네덜란드와의 국제공동연구과제를 통해 '유연한 스테인레스 스틸 기반 위에서의 유연성 Si/SiGe 다중접합 태양전지 기술'을 확보하였다. 스테인레스 스틸 기판 위에서 제조하는 유연한 태양전지는 후면 전극의 광 캡처 및 반사 기능이 고효율을 얻는 데 있어서 매우 중요하다. ETRI는 기존의 은 전극에 알루미늄을 첨가하여 공정온도를 200℃ 이상 낮추고, 고분자와의 하이브리드 태양전지를 개발하는 등의 노력으로 '다중접합 태양전지 기술' 개발에 성공하여 국제특허를 확보하고 관련 논문을 SCI 저널에 12편 게재하였다.

디스플레이 씬루프 등 다양한 분야로 확장

ETRI가 개발한 다층투명전극은 향후 다양한 종류의 유연·투명 태양전지는 물론, BIPV와 실내광 태양전지에도 적용될 것으로 기대된다. 또한, 유리와 스테인레스 스틸뿐 아니라 플라스틱 기판에서도 제조가 가능한 상온 공정을 확보하여 유연 소자 및 웨어러블 소자에도 적용할 수 있다.

앞으로 ETRI는 다층투명전극을 건물용 발전 창호, 커튼월, 자동차용 선루프, IoT 센서, 실내 가전의 발전용 코팅 막 등으로 광범위하게 활용할 수 있는 기술을 계속해서 개발해 나가고자 한다.



4-4-2 이차전지

1995년부터 리튬 이차전지 기술개발에 매진

리튬 이차전지, 특히 현재 상용화되어 있는 리튬이온전지는 고에너지밀도의 경량 소형 전원으로, 1990년대 초반 소형 전자기기의 전력원으로 주목받았다. 2000년대에 들어와서는 전기자동차(electric vehicle) 및 에너지 저장 시스템(Energy Storage System, ESS)과 같은 중대형 응용처의 확산으로 그 수요가 급증하는 추세이다. 이에 따라 에너지 밀도의 증대는 물론 안전성 강화와 급속충전 기능성까지 겸비한 리튬 이차전지의 소재 및 공정에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

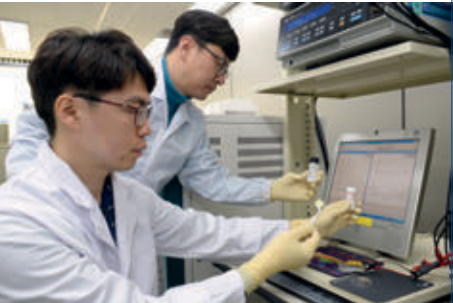
이에 ETRI는 리튬이온전지의 상용화 초기인 1995년에 리튬 이차전지의 양전극 및 음전극에 관한 화학소재를 연구한 것을 시작으로 현재까지 리튬 이차전지 관련 연구를 꾸준히 진행하고 있다. ETRI의 리튬 이차전지 기술개발 사업은 리튬 이차전지를 구성하는 소재 기술(전극 활물질 기술, 전해질 기술, 부자재 기술 등)과 이 소재들을 조합하여 리튬 이차전지를 조립하는 공정 기술(플렉시블화 기술, form-factor free 전지 조립 기술, 안전성·신뢰성 확보 기술 등)로 나뉜다.

전극 활물질 기술

ETRI는 1995년부터 이차전지용 소재의 필수요소인 전극 활물질의 기초 전기화학적 특성부터 고성능화를 위한 특성 향상에 이르는 연구를 지속해서 진행하고 있다. 특히 리튬 이차전지의 양전극 활물질 소재로써 전이금속 산화물계 소재(LiCoO<sub>2</sub>, LiMnO<sub>2</sub>, LiNiO<sub>2</sub>, Li(Ni-Co-Mn)O<sub>2</sub>), 스피넬 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, 올리빈 LiFePO<sub>4</sub> 등과 흑연, 리튬, 실리콘 등 음전극 소재의 전기화학적 특성 고도화를 집중적으로 연구하였다. 연구를 위해 X선 회절법, 투과 전자주사 현미경 등 고도 분석 장비를 전용화하여 고효율·고해상도 특성 분석을 진행하였고, 활물질의 성능 향상에 기여하였다. ETRI는 이와 관련한 국내의 특허 10여 건을 확보하였으며, 연구논문 20여 편을 SCI 학술저널에 게재하였다.

전해질 기술

ETRI는 2000년부터 진행한 poly(vinylidene fluoride)계 고분자 겔 기반 유기 고체 전해질 연구에 이어서, 2015년부터는 본격적으로 리튬 이차전지용 무기 고체전해질(산



리튬이차전지 고체전해질 제조기술

화물계 및 황화물계) 소재를 연구하고 있다. 특히, 0~3차원(0차원 구형, 1차원 섬유형, 2차원 평판형, 3차원 입체형)에 걸치는 형상 제어된 무기 고체전해질(Li-La-Zr계 산화물(LLZO), Li-Al-Ti-인산계(LATP), Li-P-S계(LPS))의 합성을 통해 고효율 계면친화성 고체전해질 적용기술을 개발하였다. 이러한 성과로 국내외 특허 10여 건을 확보하였으며, 연구논문 15여 편을 SCI 학술저널에 게재하였다. 본 기술들은 2017년 ‘고안전성 리튬 이차전지용 고체전해질 제조 기술’이라는 이름으로 ‘국가연구개발사업 우수성과 100선’에 선정되었다.

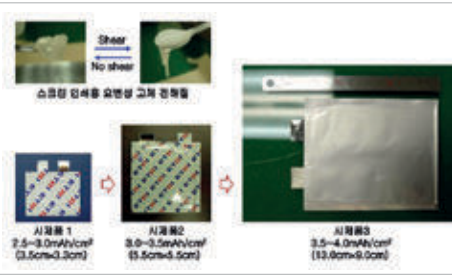
한편, 2020년에는 대구경북과학기술원과 함께 기존의 전고체 이차전지 개발 구조에서 벗어나 활물질과 바인더로만 구성된 새로운 형태의 전고체 전극구조를 제안하였다. 이 구조를 적용하면 전극 내 활물질 함량이 98wt%에 달할 정도로 구성을 극대화할 수 있어, 에너지밀도를 일반적인 흑연 복합 전극 대비 약 1.5배까지 높일 수 있다.

부자재 기술

2019년부터는 일본의 무역 규제조치에 대응한 소재 국산화 노력의 하나로, 리튬 이차전지 소재 중 대일 의존도가 높은 SBR/CMC(styrene-butadiene rubber/carboxymethyl cellulose)수계 바인더의 고성능화 기술개발에 착수하였다. 또한, 분리막 강화용 바인더 소재로, 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 분산형 아크릴레이트 계열 현탁액의 고효율 합성과 응용 연구를 통해 관련 핵심부품 및 소재의 국산화를 추진하고 있다. 특히, 수계 바인더 및 분리막 강화용 바인더 소재를 실제 생산현장에 직접 접목 가능한 수준으로 검증하는데 전력을 기울이고 있다.

초박형 플렉시블화 기술

ETRI는 2014년 기존의 양전극·전해질·음전극으로 구성되는 리튬 이차전지 제조방식을 습식에서 ‘건식-습식 하이브리드 형태로 변화시켜 초박형 플렉시블 필름형 리튬 이차전지를 제조하는 기술을 개발하였다. 구체적으로, 파우치 필름 내면에 탄소계 집전체를 코팅하지 않고 집전체 금속(양극에 Al, 음극에 Cu)을 열증착시켜 그 위에 스크린 프린팅 기법으로 전극 슬러리를 코팅한 후, 양전극 상부에 겔 고분자 전해질을 스크린 프린팅 기법으로 도포하고 음전극을 겹쳐 초박형(파우치 포함 총 두께 300mm 이하) 플렉시블 리튬 이차전지를 제조하였다. 이 플렉시블 전지는 충전심도 70% 상태에서 파우치 셀의 구부림, 당김, 접힘을 반복적으로 실시하여도 셀의 개방 회로 전압에 큰 변화 없이 안정한 성능을 유지하는 등 탁월한 유연성을 확보하였다. 이와 관련된 연구논문 2편이 SCI 학술저널에 게재되었으며, 국내 중소기업 2개 업체에 기술이전되었다.



플렉서블 전고체 리튬이차전지 기술

## Form-factor free 전지 조립 기술

다양한 디자인의 소자에 적합한 전력원으로써 폼팩터(form-factor)<sup>158)</sup>가 자유로운 리튬 이차전지 제조 및 조립 공정 기술(Form-factor free 전지 조립 기술)도 확보하였다. 또한, 전극 소재의 혼합부터 전해질 요소와의 결합, 포장재 밀봉 등 후공정에 이르기까지 모든 단계를 단일화하는 롤투롤(R2R) 공정의 기본 유닛 개발을 완료하였다. 향후 전지제조용 일관공정 과제를 진행할 예정이다.

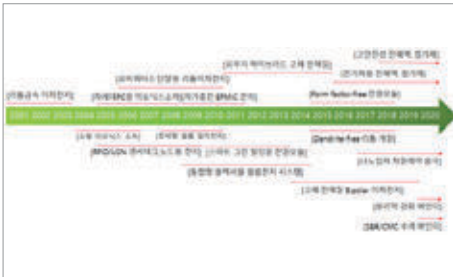
안전성 · 신뢰성 확보 기술

ETRI는 제조된 리튬 이차전지 내 전해질 소재의 자체 가연성으로 인한 화재사고를 방지하기 위해 셀 레벨에서의 안전성 확보와 신뢰성 향상 기술을 개발하고 있다. 기존에 ETRI가 보유하고 있던 안전성 시험평가 장비들을 활용하여 이차전지 개발 시 전기적 충격(과충전·과방전, 순간 고출력 등), 환경 특성(고온·저온, 습도, 장기 저장성), 기계적 충격(압출, 압괴, 관통 등) 등에 대한 시험을 진행 중이다. 이를 통해 고안전성, 고성능, 고신뢰성 리튬 이차전지 개발에 주력하고 있다.

## 에너지 산업의 지속성장성 강화

ETRI가 개발한 리튬 이차전지 관련 소재 및 공정 기술은 단계적으로 고성능 리튬 이차전지 개발을 위한 공유·협업 플랫폼 구축 및 이를 통한 소재·부품·장비 기술경쟁력 제고라는 효과를 도출하였다. 중장기적으로는 관련 신기술 개발을 통해 지속성장이 가능한 차세대 리튬 이차전지 산업 생태계 구축에 기여할 것으로 기대된다.

앞으로 ETRI는 에너지 저장 성능의 향상뿐만 아니라 에너지 생성(태양전지 등), 에너지 변환(연료전지, 수소전지 등), 에너지 저장(이차전지) 시스템을 계통적으로 관리할 수 있는 에너지 생태계를 확보하여 에너지 산업 전반의 지속적인 성장을 강화해나가고자 한다.



2000년 이후 ETRI의 리튬 이차전지 관련 주요 연구과제

158) 폼팩터(form-factor): 제품 외형이나 크기, 물리적 배열을 의미한다.

### 4-4-3. 체열

## 체열 에너지변환 기술에 주목

제4차 산업혁명의 도래로 디지털 헬스케어와 IoT 시스템이 보편화되면서, 이러한 기기에 끊임 없이 전원을 공급하는 것이 이슈로 떠올랐다. 현재는 주로 배터리가 사용되고 있으나, 배터리는 주기적으로 교체 및 충전이 필요하여 불편한 것은 물론, IoT 시스템이 생산하는 데이터가 끊길 수 있다는 한계가 존재하였다. 이러한 문제를 해결하기 언제 어디서나 사용자 주위환경에서 에너지를 얻을 수 있는 기술, 그중에서도 체온의 열에너지를 전기로 변환하는 기술이 등장하였다.

## 체열변환 모듈 개발 및 확산

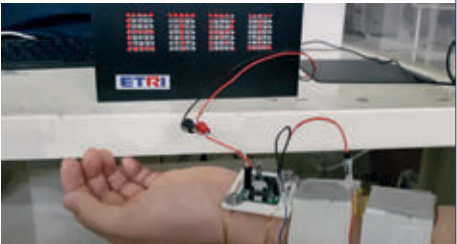
ETRI는 2012년부터 열전효율<sup>159)</sup>를 이용하여 사용자의 체열을 전기로 변환하는 기술개발을 추진하였다. 우선 2012년부터 3년간 기관 고유사업으로 '실리콘 기반 이중접합형 다차원 열전소자 기술개발' 과제를 수행하여, 사람의 체온으로 전기를 생산하는 열전소자 기반 기술을 개발하였다. 과제에는 연구비 42억 원과 연구인력 연 23명이 투입되었다.

이후로 2014년부터 2020년까지 KIIST, 한국화학연구원과 함께 창의형 융합연구사업으로 '웨어러블 소자용 유연 열전발전 시스템 핵심기술개발' 과제를 추진하였다. 과제에는 연구비 120억 원과 연구인력 연 60명이 투입되었다.

건설및착유연구조체, 열저장 매칭된 열전 에너지변환 소자의 설계 및 제작, 고방열 인체 모사 히트싱크<sup>160)</sup>, 고효율 전력관리 회로·모듈의 연구개발은 ETRI가 수행하고, 벌크형 열전 소재와 나노 카본 열전 소재, 3D 프린팅 열전 소재는 KIST가, 그리고 유연 열전 소재와 유연 기판은 화학연이 개발하는 형태로 추진되었다.

연구 결과, ETRI는 2019년에 건식접착 유연소자와 고효율 열전소자, 고방열 인체모사 히트싱크, 고효율 전력관리 회로 등으로 구성된 ‘체열 기반 전력 생산용 열전복합 모듈’을 개발하였다. 이 모듈은 기존의 세계 최고 체열 기반 열전발전 소자(출력밀도  $20\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 미국 NCSU)보다 약 1.5배 이상 높은  $35\mu\text{W}/\text{cm}^2$  수준의 출력밀도를 확보하였다.

열전복합 모듈에 사용된 '긴직접착 유연소재'의 경우, 기존에는 화학적인 부착 과정에서 잔여물이 남아 재사용이 불가능하였으며, 지나치게 얇은 두께로 인해 기계적 강성이나 신뢰도가 떨어진다는 한계가 있었다. 이에 ETRI는 소재의 마이크로·나노 계층 구조를 이용



체온으로 전기만드는 열전소자

159) 열전효과: 온도 차가 있는 소재에서 전기가 발생하는 효과로, 1821년 독일의 제백에 의해 발견되었다.

160) 인체모사 히트싱크: 사람 피부의 땀샘을 흉내 내어 체온을 발산하고 흡수하는 구조체 기술이다,



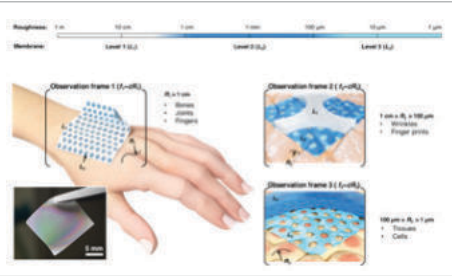
하여 세포 수준의 거칠기에서 빈틈없이 접촉하면서도 우수한 기계적 안정성을 유지하는 소자를 개발하였다. 아울러, 인체 땀샘을 모사하여 온도에 따라 땀의 양을 조절함으로써 주위 온도에 따른 가변형 방열이 가능한 ‘고방열 인체모사 히트싱크 소자’도 개발하였다. 두 기술은 다양한 응용 가능성을 인정받아 세계적인 재료공학 분야 학술지인 ‘Advanced Materials’의 표지논문으로 선정되었다.

또한, ‘체열 열전소자용 고효율 전력관리 회로’는 낮은 전압에서도 효율이 80% 이상 유지되며, 충전이 가능한 전압으로 키워 변환시켜 주는 회로이다. ETRI는 전력관리 회로를 원칩화하여 초소형으로 개발하고, 최대 파워를 전달할 수 있도록 하여 웨어러블 소자에 적용하였다. 이 기술은 ‘인체 열해석 기반 연성 열전모듈설계 및 시스템 패키징 기술’이라는 이름으로 2018년 ‘국가연구개발사업 우수성과 100선’에 선정되었다.

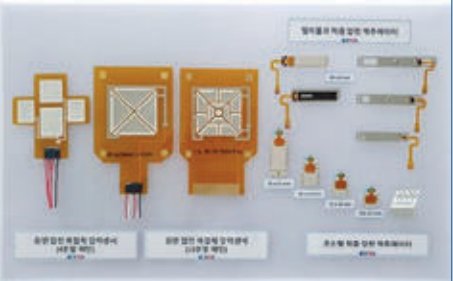
다양한 스마트 기기에 무한전원으로 활용 가능

‘체열 기반 전력 생산용 열전복합 모듈’ 개발로 인해 배터리를 쓰지 않고도 팔목에 밴드형 파스처럼 붙여 사람의 체온을 이용하여 에너지를 얻고, 정보를 표현하는 것이 가능해졌다. 소자 6개를 묶어 모듈화하면 최대 2~3mW까지 출력을 할 수 있어 2~3년 이내에 상용화가 가능할 것으로 보이며, 웨어러블 기기의 폭발적 증가에 따라 활용성이 매우 클 것으로 기대된다. ETRI는 관련 기술들로 6편의 SCI 논문을 발표하고 6건의 특허를 출원하였다. 그리고 3건의 기술이전을 통해 상용화에 박차를 가하고 있다.

본 모듈 기술은 4차 산업혁명의 핵심 기술인 웨어러블 소자나 IoT 시스템의 무한전원으로 활용되어 차세대 스마트 기기 산업의 성장을 이끌 것으로 기대된다. 열전소자 기반 냉각소자 특성 향상을 통해 직수형 정수기, 전기차 배터리 온도 조절기, 열전 냉장고, 열전 에어컨 또는 AR/VR 서비스를 위한 냉온감 액추에이터 등 관련 산업의 신시장 개척이 가능할 것으로 보인다. 또한, 이 기술을 체온이나 맥박 센서 등과 결합한 소자로 개발하여 무선 데이터 수집에 활용하면 영유아 및 환자의 모니터링이나 애완동물의 위치 모니터링 등에 적용할 수 있으며, 디지털 헬스케어 분야로도 확장이 가능하다.



비선형 구조체의 계층구조 이미지와 실제 사용된 구조체의 실물 사진



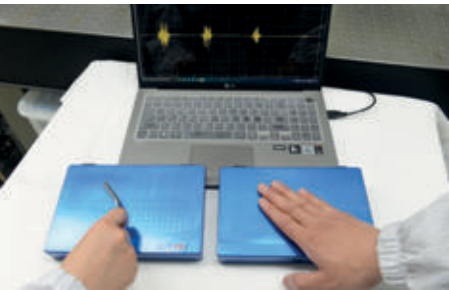
연구진이 개발한 압전소재

센서는 온도, 이미지, 소리, 가스와 같이 주변 환경, 오감 등의 정보를 감지하여 전기적 신호로 변환하는 소자이다. 액추에이터는 주로 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 소자인데 흔히 정보를 출력하고 에너지를 전달하는 용도로 이용된다. 예를 들어, 마이크로 폰과 스피커, 터치센서와 햅틱 소자는 각각 소리(공기의 진동), 촉각과 전기적 신호를 변환하는 센서와 액추에이터이다. 이처럼 센서와 액추에이터는 상호 연관성이 높아서 함께 연구개발하면 시너지가 창출되는 기술 분야이다.

지능정보사회의 도래로 무수히 많은 IoT 디바이스가 필요해졌다. 센서와 액추에이터는 이러한 ICT 기기에서 정보의 수집과 출력을 담당하는 핵심요소로써 중요성이 커지고 있다. 센서는 산업용 벌크(bulk)형 센서에서 모바일용 초소형·저전력 센서 그리고 IoT 및 로봇용 스마트센서로 발전하고 있다. 초소형·저전력 센서로는 CMOS 센서, MEMS 센서, 복합센서 등이 개발되었고, 스마트센서는 출력신호의 디지털화를 바탕으로 MCU(Micro Controller Unit) 및 SW 도입을 통한 지능화를 추진하고 있다. 액추에이터도 소형화·저전력화·고효율화·고출력화를 목표로 발전하는 중인데, 특히 압전 액추에이터와 MEMS 액추에이터가 시장의 주목을 받고 있다. 나노 기술은 아직 센서 감지 소재 등 극히 일부에만 적용되고 있지만, 향후 센서 및 액추에이터 분야에 가장 큰 영향을 끼칠 기술로 인식되고 있다.

ETRI는 반도체, MEMS 및 나노 기술의 융복합을 통해 초소형·저전력·고성능 센서와 액추에이터를 개발해왔다. 또한, HW뿐만 아니라 새로운 알고리즘 개발에도 집중하여 센서의 지능화와 액추에이터의 다양한 응용에 있어서 성과를 거두고 있다.

우선, 센서 분야에서는 2001부터 반도체·MEMS 융복합 기술을 이용한 비냉각형 고성능 적외선 영상센서 개발에 돌입하여 2010년 세계에서 6번째로 비냉각형 적외선 카메라를



촉감으로 소통하는 텔레햅틱

개발하는 데 성공하였으며, 2006년부터 MEMS 마이크로폰을 개발하여 2017년 디지털 High-SNR MEMS 마이크로폰의 핵심기술인 MEMS 음향센서 칩, CMOS ROIC 칩을 동시에 보유한 유일한 연구기관으로 거듭났다. 또한, 2010년 음장보안센서라는 개념을 처음으로 고안하고 기술을 개발하여 사각지대 없는 고신뢰도의 음장센서 기술을 확보하였으며, 2015년에는 온도, 습도 및 두 종류의 가스(HCHO, CO<sub>2</sub>)를 동시에 측정할 수 있는 복합 환경 센서 연구 시제품을 세계 최초로 선보였다. 아울러, 2020년에는 나노 신소재를 기반으로 세계 최초로 ‘이차원 신소재 기반 비접촉식 초고감도 습도센서’를 개발하였다. 이 센서는 기존 상용 센서보다 감도가 660배 뛰어나고, 감지 반응 속도는 최대 12배까지 빠르다. 액추에이터 분야에서는 2000년대 후반 초박형 압전 세라믹 스피커 핵심기술을 독자적으로 개발한 데 이어, 2012년에는 이중복합 진동판 구조를 세계 최초로 개발하여 압전스피커가 서브우퍼 대역까지 응용될 수 있음을 증명하였다. 또한, 2010년 초반 인체 피부를 통한 ‘초음파 무선전력전송 기술’을 개발하기 시작하여 2017년에는 초음파 에너지를 피부로 83% 매칭하는 데 성공하였다.

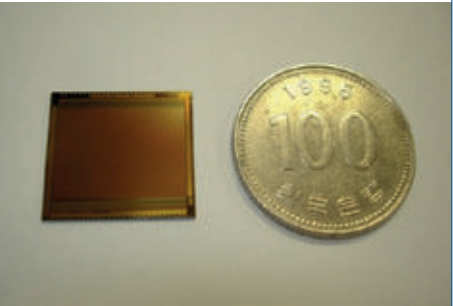
4-5-1. 센서

비냉각형 적외선 영상센서 개발에 돌입

모든 물체는 자체 온도에 따라 열복사에 의해 적외선을 방출하는데, 높은 온도의 물체는 단파장을 낮은 온도의 물체는 장파장을 방출한다. ‘열화상 카메라’는 이 적외선 파장을 이용한 영상장비로써, 군수용은 물론 보안, 안전, 의료, 자동차용 Night-Vision 등 다양한 민수용으로도 사용된다.

열화상 카메라의 핵심부품인 ‘적외선 영상센서’는 양자형(quantum)과 열(thermal)형으로 구분된다. 열형은 상온에서 동작 가능한 비냉각형으로, 작고 가격대가 낮다는 장점이 있어 군수용은 물론 민수용으로도 활용도가 높다. 열형은 다시 초전(pyroelectric)형과 볼로미터형(bolometer)으로 나뉘는데, 이 가운데 볼로미터형 적외선 영상센서는 CMOS ROIC(Read-Out Integrated Circuit, 판독 집적회로) 기관으로부터 적외선 파장(8~14μm) 1/4 두께의 일정한 공간(air-gap)을 두고 형성된 MEMS(Micro-Electro Mechanical Systems) 센서를 pre-CMOS post-MEMS의 집적공정으로 제조하는 iMEMS(integrated MEMS) 센서이다.

ETRI는 2001년 3월부터 2년간 정보통신부의 정보통신원천기술개발사업으로 ‘MEMS 기술을 이용한 초전형 적외선 어레이 센서 기반기술’ 과제를 수행하였다. 이를 통해 기존의 냉각 장치가 부착된 적외선 센서의 여러 단점을 극복하고 생산비용을 절감하였으며, 전력 소모의 최소화화 소형화 및 경량화가 가능하여 휴대용 전자기기에 부착할 수 있는 집적화된 적외선 센서 어레이 소자 기술을 확보하였다. 과제에는 아이쓰리시스템(당시 한꿈엔지니어링)이 공동연구기관으로 참여하였다.



적외선 영상 카메라용 핵심칩

국내 최초 비냉각형 고성능 적외선 영상센서 개발

이후로 2006년부터 5년간 지식경제부의 IT원천기술개발사업으로 ‘유비쿼터스용 CMOS 기반 MEMS 복합센서’ 과제를 진행하였다. 과제는 ETRI가 주관기관으로 MEMS 센서를 개발하고, 공동연구기관인 아이쓰리시스템이 ROIC, 진공 패키지 및 카메라 시스템 개발을 담당하는 형태로 진행되었다.

연구진은 1차 연도에 MEMS 센서와 ROIC 기초기술을 확보하고, 2차 연도에 MEMS 센서와 ROIC를 와이어 본딩하여 16×2 어레이를 제작한 후 실험용 진공 패키지에서 연동



성능을 평가하였다. 3차 연도에는 ETRI Silicon 팹을 통해 상용 CMOS 파운드리에서 제작한 8인치 ROIC 웨이퍼에 MEMS 센서를 집적하였다. 그 결과, 국내 최초로 ‘비냉각형 QVGA급 적외선 영상센서’를 제작하여 적외선 카메라에 탑재하는 데 성공하였다.

4차 연도에는 온도정밀도를 향상하기 위하여 적외선 감지재료로 기존의 PECVD(Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) 비정질 실리콘(a-Si) 대신 sputtering 안티모니(Sb) 화합물을 세계 최초로 개발해 사용하였다. 이 화합물은 비정질 실리콘보다 훨씬 우수한 적외선 감지 특성을 보이면서도 가격이 저렴하며, 일반 스퍼터링 장비로도 제작이 가능하다는 장점이 있다.

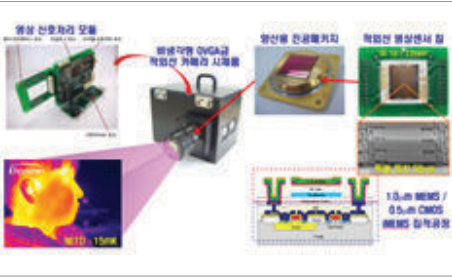
새로운 화합물을 적용한 결과, 2010년 연구진은 비냉각형 적외선 카메라로는 세계 최고 수준인 NETD(Noise Equivalent Temperature Difference, 잡음 등가 온도차) 15mK의 선명한 열화상을 촬영하였다.

적외선 영상센서의 성능은 소형 화소를 위한 작은 픽셀 피치(pixel pitch), 고화질 영상을 위한 많은 어레이(array) 개수, 높은 온도정밀도를 위한 낮은 NETD로 대표된다. 본 과제 수행결과 연구진은 50μm 픽셀 피치를 갖는 QVGA(320×240 어레이)급 NETD 15mK의 우수한 성능을 갖는 볼로미터형 적외선 영상센서를 개발하고, 이를 탑재한 카메라 시제품을 제작하여 선명한 열화상을 촬영하는 데 성공하였다.

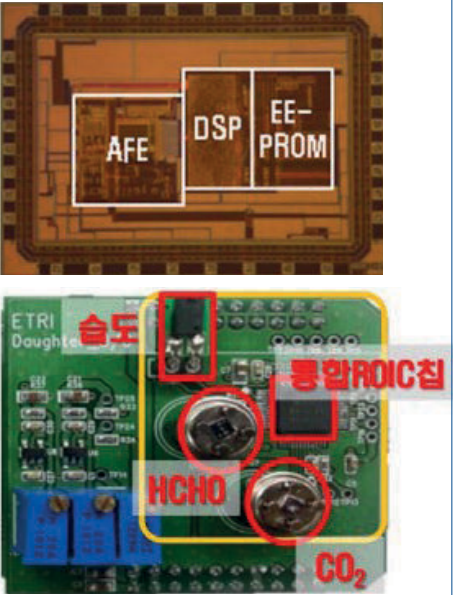
MEMS 센서 분야 기반 마련

본 기술의 개발로 우리나라는 2010년 세계에서 6번째로 비냉각형 적외선 카메라를 개발한 국가가 되었다. 이전까지 이 비냉각형 적외선 영상센서를 생산할 수 있는 국가는 미국, 영국, 프랑스, 이스라엘, 일본 5개국 밖에 없었다. 이러한 경험은 이후 ETRI가 MEMS 센서 분야 연구를 확대해나가는 근간이 되었다.

비냉각형 적외선 카메라 세계 시장은 2017년 29억 달러에서 연평균 10% 성장하여, 2022년에 47억 달러에 도달할 것으로 전망된다. 공동연구기업인 아이쓰리시스템은 2015년에 코스닥에 상장하였고, 세계 시장에서 점유율 우위를 다투는 적외선 카메라 전문기업으로 성장하고 있다.



비냉각형 QVGA급 고성능 적외선 영상센서를 이용한 열화상 카메라 시제품



MEMS 마이크로폰 칩(상)과 센서(하)

MEMS형 음향센서의 빠른 확산

ECM(Electret Condenser Microphone) 음향센서는 2010년대에 접어들어 스마트폰, 태블릿 PC와 같은 모바일 스마트 기기가 대중화되면서 MEMS형으로 대체되기 시작하였다. MEMS형은 ECM형에 비해 음향센서의 핵심인 멤브레인(membrane)의 크기가 10%로 매우 작고, 멤브레인 소재로 폴리머 대신 내열성이 우수한 세라믹·금속을 사용하기 때문에 높은 온도(약 260℃)의 리플로 솔더링(reflow soldering) 공정을 이용한 표면실장 기술(Surface-Mount Technology) 기반의 자동화 패키징이 가능하다. 또한, 수작업이 필요한 조립공정 대신 반도체 공정으로 제조되어 대량생산 및 품질관리에도 유리하다. 세계적으로 MEMS 마이크로폰 연구개발은 2000년대 초반부터 본격화되었다. MEMS 마이크로폰은 MEMS 음향센서 칩과 신호처리용 CMOS ROIC 칩이 하나의 패키지로 일체화된 SiP(System in Package) 형태이다. 이 가운데 MEMS 음향센서 칩은 소리에 의해 진동하는 멤브레인과 이로부터 일정한 공간(air-gap)을 두고 형성된 백플레이트(back-plate)로 구성된다. 소리, 즉 공기 압력의 변화는 둘 사이의 공간 두께 변화를 유도하고, 이는 정전용량(capacitance) 변화로 나타난다. 또한, ROIC 칩은 MEMS 음향센서에 바이어스를 인가하기 위한 차지 펌프(charge pump), 정전용량 변화를 검출하는 회로, 검출된 신호를 증폭하는 증폭기(amplifier), 신호 변조기 및 인터페이스 등의 회로로 구성된다. MEMS 마이크로폰은 출력신호에 따라 크게 아날로그형과 디지털형으로 구분되고, SNR로 대표되는 성능에 따라 Low-end급(SNR <59dB), STD급(59≤ SNR <64dB) 및 High-end급(SNR ≥64dB)으로 세분된다.

MEMS 마이크로폰 핵심기술 동시 보유에 성공

ETRI는 2006년부터 MEMS 마이크로폰 개발에 돌입하였다. 우선, 2006년부터 2010년까지 지식경제부 산업기술개발사업인 ‘유비쿼터스 단말용 부품/모듈 기술개발’ 과제를 통해 MEMS 음향센서와 센서 신호처리를 위한 PCB(Printed Circuit Board) 모듈에 대한 기초연구를 수행하였다. 당시 ETRI는 기존의 복잡한 몸체가공(bulk-micromachining)형 대신, 제조 용이성이 우수한 표면가공형 제조방식을 도입하였다. 이는 국내 MEMS 팹 여건에서 나름대로 제조 장비·공정의 제약을 최소화하는 도전적인 시도였다.

이어서 2010년부터 2015년까지는 미래창조과학부 ETRI연구개발지원사업인 ‘스마트&그린 빌딩용 자가충전 지능형 센서노드 플랫폼 개발’ 과제를 수행하였다. 이 과제에서는

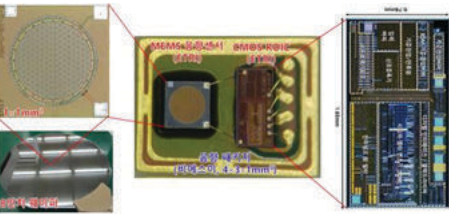
MEMS 음향센서 칩을 몸체가공형으로 전환하여 기술개발을 수행하고, 센서 신호처리 회로도 PCB 모듈이 아닌 CMOS ROIC 칩으로 개발하였다. 이 기술은 ECM 마이크로폰 전문기업인 비에스이(BSE)에 이전되어 음향 패키지를 적용한 MEMS 마이크로폰 모듈로 발전하였다.

2015년부터 2017년까지 수행한 ‘환경 및 사용자 적응형 MEMS 마이크로폰 솔루션 개발’ 과제를 통해서 MEMS 음향센서 집적공정을 SiO<sub>2</sub> 희생층 기반으로 전환하고, 멤브레인과 백플레이트 둘 다 고온(≥800℃)에서 LPCVD(Low - Pressure Chemical Vapor Deposition)으로 형성하여 잔류응력을 안정적으로 조절하는 데 성공하였다. 또한, 독자적인 Semi-Floating 멤브레인 구조를 이용하여 High-SNR(≥64dB)의 우수한 성능을 확보하였다. 그리고 연구개발용 6인치 ETRI 실리콘 팹이 아닌 나노종합기술원(NNFC)의 MEMS 팹을 이용하여 8인치 웨이퍼에서 MEMS 마이크로폰을 제작함으로써 양산 가능성을 확인하였다. 한편, ROIC 칩은 디지털형으로 업그레이드되어 세계 최고와 대등한 수준으로 발전하였다.

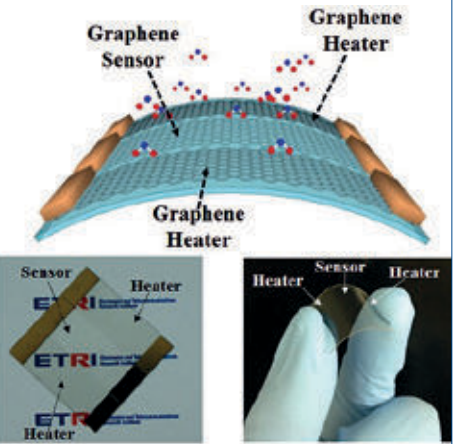
이러한 과제 수행결과, ETRI는 MEMS 마이크로폰의 핵심기술인 MEMS 음향센서 칩 및 CMOS ROIC 칩을 동시에 보유한 유일한 연구기관으로 거듭났다.

VR · AI · IoT 등으로 응용 분야 확대

MEMS 마이크로폰은 MEMS 센서 중에서 단일품목으로는 가장 큰 세계 시장 규모를 갖고 있는데, 그 규모는 2018년 12.1억 달러에서 연평균 14.4% 성장하여 2025년 31.0억 달러에 도달할 것으로 전망된다. MEMS 마이크로폰의 가장 큰 응용 분야인 스마트폰은 대부분 High-SNR 성능을 요구하기 때문에 High-end급의 점유율은 이미 2019년에 64%에 육박하였다. 그리고 디지털형의 점유율도 2015년 11%에서 2019년 24%로 빠르게 성장하고 있다. 향후 시장 성장을 주도할 VR(Virtual Reality)와 AI 스피커와 같은 IoT 스마트 기기에서도 디지털 High-SNR 제품이 사용될 것이다. 한국은 미국, 중국에 이어 MEMS 마이크로폰 소비국 3위를 차지하고 있어서 MEMS 마이크로폰용 칩이 국산화될 경우 산업적 및 경제적 파급효과는 막대하다.



High-SNR 디지털 MEMS 마이크로폰 시제품



그래핀 이용한 투명한 휘는 가스센서

복합환경센서에 대한 시장의 요구 증가

공기 질을 결정하는 중요한 인자에는 온도, 습도, 가스, 먼지 등이 있다. WHO의 보고에 따르면 전 세계 사망자의 1/8이 대기오염에 영향을 받았으며, 특히 실외보다 실내공기 오염에 의한 사망자가 더 많은 것으로 밝혀졌다. 이러한 연구결과가 등장하면서 실내공기 질을 측정하는 센서 기술에 대한 관심이 높아졌다. 특히, 어느 하나의 인자만을 측정하는 단위 센서를 넘어 소형, 저가격, 장착의 편리성 등의 장점이 있는 ‘복합환경 센서’에 대한 시장의 요구가 증가하였다.

세계 최초로 초소형 · 저전력 · 디지털 온도 · 습도 · 가스 복합환경센서 개발

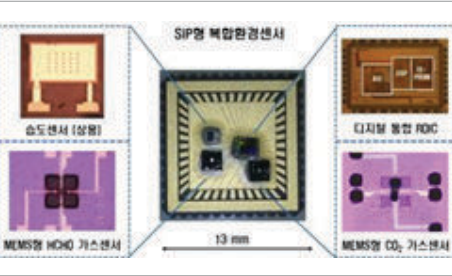
ETRI는 2006년부터 2010년까지 ‘유비쿼터스 단말용 부품/모듈 기술개발’ 과제를 통해 MEMS형 CO, CO<sub>2</sub> 가스 센서와 센서 신호처리용 PCB 모듈을 개발하였다. 이어서 2010년부터 2015년까지는 ‘스마트&그린 빌딩용 자가충전 지능형 센서노드 플랫폼 개발’ 과제를 수행하여, 온도, 습도 및 두 종류의 가스(HCHO, CO<sub>2</sub>)를 동시에 측정할 수 있는 복합환경센서 연구 시제품을 세계 최초로 선보였다.

이 시제품은 습도센서, HCHO 가스센서, CO<sub>2</sub> 가스센서 및 온도센서가 내장된 통합 ROIC의 4개 칩이 하나의 패키지로 일체화된 SiP 형태로 되어있다. 기존의 모듈, 즉 단위 센서 제품들을 PCB 위에 일체화한 모듈에 비해 이 시제품은 크기와 소모전력이 각각 10%(189mm<sup>2</sup>), 20%(77mW) 수준으로 매우 작다는 것이 특징이다. 또한, 센서 신호는 보정연산을 거쳐서 다양한 형태의 디지털 신호로 출력되어 모바일, IoT 제품 등으로 활용이 가능하였다.

연구진은 특히 MEMS형 가스센서 개발에 주력하였다. MEMS 가스센서는 초소형 · 저전력 · 고내구성 MEMS 히터 소자와 고감도 · 고선택성 나노 감지소재 기술이 융합된 고난도 기술이다. 센싱 인자로는 실내 공기질 저하에 미치는 영향력과 제품의 시장성을 고려하여 폼알데하이드(HCHO)와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 선택하였다. HCHO는 새집증후군의 주요 원인으로 실내에서 흔히 검출되는 대표적인 VOC(Volatile Organic Compound) 가스이고, CO<sub>2</sub>는 사람의 호흡에 의해 생성되어 불쾌감, 피로, 졸림, 두통 등을 유발하는데, 둘 다 실내공기 질 관리 대상에 포함되는 대표적인 가스이다.

ETRI가 초소형 · 저전력 · 디지털 온도 · 습도 · 가스 복합환경센서를 세계 최초로 개발할 수 있었던 가장 큰 요인은 ETRI가 나노 기술, MEMS 기술, 시스템 반도체를 융합하는 기





초소형 · 저전력 · 디지털 SIP형 온도 · 습도 · 가스 복합환경센서 시제품

술을 기획하고 개발할 수 있는 전 세계적으로도 몇 안 되는 종합적 연구기관이었기 때문이다. 이러한 역량을 토대로 연구진은 가스 감지 나노 소재, MEMS 히터, 디지털 CMOS ROIC를 융합하여 상용 수준의 시제품을 개발할 수 있었다. 개발된 복합환경센서 핵심기술들은 4개 국내 중소기업에 이전되었다.

### IAQ 모니터링용 등으로 응용 확대

가스센서 세계 시장은 2019년 10억 달러에서 연평균 6.4% 성장하여 2024년 14억 달러에 도달할 것으로 전망된다. 특히, IAQ(Indoor Air Quality) 모니터링 용도의 가스센서가 시장 성장을 주도할 신제품으로 주목받고 있다. ETRI가 개발한 복합환경 센서는 IAQ 모니터링용 초소형 · 저전력 가스센서로 향후 시장의 요구가 증가할 것으로 예측된다.

### 1인 가구 시대, 신뢰성 높은 센서 필요성 대두

혼자 활동하고 혼자 지내는 ‘나홀로족’은 21세기 현대 사회에서 보편적인 삶의 방식으로 자리 잡았다. 1인 가구 증가에 있어서 가장 우려되는 문제는 ‘안전’이다. 무단침입 위험은 물론 화재 발생 우려도 크다. 그런데 기존의 침입 및 화재감지 센서는 사각지대의 침입이나 구석진 곳의 초기 화재는 감지하지 못하는 한계가 있어, 이러한 문제를 해결할 신뢰성 높은 센서 개발에 대한 요구가 점차 증가하였다.

### 세계 최초로 음장보안센서 개발

ETRI는 2010년부터 시작된 ‘스마트&그린 빌딩용 자기충전 지능형 센서노드 플랫폼 개발’ 과제를 통해 세계 최초로 음장보안센서를 개발하였다. 이 센서는 보안 공간 내부의 스피커에서 발생한 음장(Sound Field, 음파의 분포)이 침입 및 온도 변화(화재)에 따라 변화되는 것을 마이크가 감지 · 구분함으로써 사각지대 침입 및 화재감지가 가능한 센서로, ETRI가 처음으로 개념을 고안하고 기술을 개발하여 음장보안센서라는 이름을 붙였다. ETRI는 2010년부터 현재까지 한국, 미국, 독일, 영국, 중국 등 5개국에 음장보안센서 기술 관련 10여 건의 특허를 출원 및 등록하였다.

음장 변화를 이용하면 소리의 반사 및 회절 현상으로 인하여 사각지대가 없는 보안이 가능하다. 또한, 다양한 주파수를 갖는 멀티톤 음원을 이용하여 디지털 방식으로 음장 스펙트



소리이용 침입 화재 감지하는 음장센서

럼의 변화를 감지하기 때문에 정확도와 신뢰도가 높다. 아울러, 한 개의 센서로 침입과 화재 등 여러 위협을 감지할 수 있어 설치 비용을 크게 줄일 수 있으며, 기존 블랙박스뿐만 아니라 CCTV 그리고 AI 스피커 등에 칩이나 SW로 적용할 수 있다는 것도 큰 장점이다. ETRI는 초기의 음장보안센서 기술을 (주)엠씨빅스에 이전하고, 공동으로 실시간 도난감시가 가능한 스마트 블랙박스 제품개발을 시작하였다. 그런데 편차를 이용하는 초기 알고리즘의 약점으로 인하여 신뢰성이 확보되지 못해 제품화가 어려운 상황에 처하였다. 당시 연구진은 포기하지 않고 음장 스펙트럼의 상관관계를 이용한 알고리즘을 새롭게 제안 및 적용하여 이 문제를 해결하였다.

또한, 2018년에는 음장보안센서 기술을 기반으로 연구소기업인 (주)시큐웍스가 창업하여, ETRI와 함께 기술 상용화를 추진하였다. (주)시큐웍스는 2019년 사각지대에서도 화재를 50초 이내에 파악할 수 있는 스마트센서를 제품화하는 데 성공하였다.

### AI 스피커 등으로 적용 확대

2019년 일본의 무역규제로 인해 소재 · 부품 · 장비 분야 연구개발의 중요성이 강조되고 있으나, 센서 분야는 아직 취약하여 국내 제품의 세계 시장 점유율은 1~2%에 불과한 실정이다. 특히, 방법 및 화재 관련 센서인 PIR센서, 초음파센서, 열화상카메라 등에 사용되는 압전 · 초전소재는 아직도 대부분 일본에서 수입하고 있다.

ETRI가 개념을 만들고 개발한 음장보안센서는 이러한 국내 센서 산업에 새로운 활력을 불어넣고 있다. 앞으로 상가 · 아파트 · 공장은 물론 LIG넥스원과 함께 군수시설 보안 · 안전 분야에도 음장센서를 적용할 계획이다. 또한, AI 스피커와 보안카메라로도 다양하게 음장 센서의 적용 범위를 확대해 나갈 예정이다.

### 초고감도 센서의 필요성 대두

최근 헬스케어 및 IoT 시스템 등의 발전으로 다양한 분야에서 센서의 활용이 급증하고 있다. 특히, 습도센서는 에어컨이나 냉장고, 가습기, 공기청정기 등의 가전제품과 자동차 부품에 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 대부분의 습도센서가 세라믹 소재로 제작되어 센싱 감도와 반응 속도가 낮아, 원전 냉각수 누설 감지 등 초고감도 센싱이 필요한 분야에 적용하기에는 어려움이 있었다.

세계 최초로 2차원 신소재 기반 비접촉식 초고감도 습도센서 개발

ETRI는 2018년부터 한국에너지기술평가원이 주관하는 원자력핵심기술개발사업의 일환으로 ‘초고감도 센서 기술’ 개발을 시작하였다. 원전 냉각수 라인 미세 파단의 원인이 되는 극미량의 냉각수 유출을 감지하기 위해서는 매우 빠른 반응 속도로 습도를 감지하는 센서가 요구된다. 본 과제는 이러한 초고감도 센싱을 위한 압력·온도·습도 복합센서 개발을 목표로 2022년까지 추진될 예정이다.

초고감도 습도 센싱을 위해서는 기존 소재의 한계를 극복할 나노 신소재가 필요하였다. ETRI는 그간 축적해 온 2차원 소재 원천기술을 바탕으로 순도 높은 저차원 나노소재를 확보하기 위한 정제 기술개발에 주력하여, 뛰어난 흡착성능을 보유하여 센싱 소재로 적합한 소재 기술을 확보하였다. 또한, 분자 흡착을 극대화하기 위해 비표면적을 최대한 끌어올리는 나노 구조체를 도입하여 저차원 나노소재 기반의 벌집 구조체를 제작하였다. 이를 위해 연구원들은 실제 벌집에 대한 문헌을 조사하고 분석하며 수십 차례 실험을 반복하였고, 그 결과 안정적인 저차원 나노 소재 기반의 벌집 구조체를 제작하는 데 성공하였다.

나노 신소재를 기반으로 ETRI는 2020년 세계 최초로 ‘이차원 신소재 기반 비접촉식 초고감도 습도센서’를 개발하였다. 이 센서는 기존 상용 센서보다 감도가 660배 뛰어나고, 감지 시간도 0.5초에 불과하다. 이는 5~6초씩 걸리던 기존 센서보다 최대 12배까지 빠른 반응 속도이다. 연구결과는 2020년 3월 나노 분야 유수의 국제학술지인 미국화학회(ACS)의 ‘AMI’에 등재되었다.

코로나19로 필요성 커진 비접촉식 제품에도 활용

개발된 비접촉식 초고감도 습도센서는 다양한 분야로 적용이 확대될 것으로 보인다. 특히, 손으로 직접 터치하지 않고도 피부의 수분량과 운동 전후 땀 배출량 및 호흡량의 차이 등을 감지하는 것이 가능하여 피부의 습도와 관련된 디지털 헬스케어, 뷰티·미용 보습 제품, 공기청정기 등에 활용될 가능성이 크다.

ETRI는 본 센서를 엘리베이터 버튼스위치에 적용하여, 2020년 5월 손가락으로 직접 접촉하지 않고도 1cm 떨어진 거리에서 스위치를 작동하는 시연을 선보였다. 이는 코로나19로 비접촉 기술에 대한 요구가 큰 상황에서 이뤄진 것이어서 주목을 받았다. 생활 속 위생 방역과 비접촉·비대면 기술에 관한 관심이 날로 높아지고 있어, 앞으로 이 기술은 출입문, 엘리베이터 버튼 등 터치식 제품의 대안 기술로 사회 전반에 활용될 것으로 기대된다.



초고감도 습도센서의 비접촉식 엘리베이터 버튼 적용 사례

4-5-2 액추에이터

초박형 압전스피커 기술개발에 도전

2000년대 후반, ETRI는 IT 전자부품의 경박단소화 트렌드에 부합하는 초박형 압전 세라믹 스피커 핵심기술을 독자적으로 개발하였다. 당시 100년 이상의 전통을 자랑하던 VCM(Voice Coil Motor) 방식의 스피커는 모바일 적용에 있어서 두께, 무게, 소모전력의 한계에 직면하였고, 이를 극복할 새로운 대안이 절실한 상황이었다. ETRI는 3mm 이상의 두께를 갖는 VCM 스피커로는 스마트 기기의 슬림화가 어렵다고 판단하고, 기존 방식을 탈피한 획기적 방식의 초박형 압전스피커 기술을 개발하였다.

얇으면서도 음질 뛰어난 초박형 스피커 개발

기술개발 이후, 모바일 및 TV 디스플레이의 슬림화 추세가 빨라지면서 ETRI의 초박형 압전 스피커 기술을 공동연구 및 사업화하려는 기업이 줄을 지었다. 이에 ETRI는 추가적으로 부품소재기술개발사업, 산업융합원천기술개발사업, 대덕특구기술사업화사업 등을 기업들과 공동수행하며 다양한 비즈니스 모델에 최적화된 초박형 스피커 기술을 개발하기 시작하였다. 2010년부터 스피커 분야 우수 기업인 (주)블루콤과 함께 모바일에 적용 가능한 압전스피커 핵심소자를 개발하였고, 2011년부터는 (주)와이솔과 함께 압전스피커의 구동 전압을 낮추기 위한 저전압 구동형 적응 압전 세라믹 소재를 개발하였다. 또한, 2012년부터는 (주)범진시엔엘과 이중복합 진동판 구조를 이용한 초박형 압전 세라믹 스피커를 개발하였다.

초박형 압전스피커 기술개발 및 사업화에 있어서 가장 큰 난제는 매우 얇으면서도 전통적 방식의 VCM 스피커 수준의 음질을 확보하는 것이었다. 이에 ETRI는 당시 개발 중이던 단판형 압전스피커를 탈피하여 구동 전압을 5Vrms 수준으로 현저히 낮추면서도 출력특성을 크게 개선할 수 있는 ‘멀티몰트 적층형 압전 세라믹 구조’를 고안하였으며, 동일한 크기의 기존 적층형 압전 세라믹 대비 약 11배까지 변위를 개선할 수 있음을 증명하였다. 이로써 초박형 압전스피커의 출력 음압 특성을 기존 VCM 스피커와 동등한 수준까지 확보할 수 있게 되었다.

또한, ‘이중복합 진동판 구조’를 세계 최초로 고안함으로써 저음(1kHz 미만의 저주파수 대역)에서 기존 압전스피커 대비 10dB 이상 출력성능을 향상하는 데 성공하였다. 이는 압전 스피커가 서버우퍼 대역까지 응용될 수 있음을 보여준 첫 사례가 되었다.



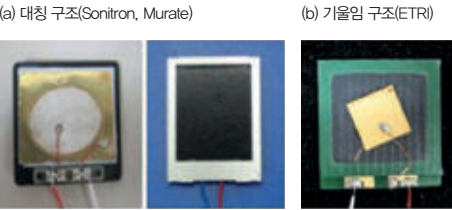
저전력 초박형 압전스피커



초박형 압전스피커 기술 상용화 견인

ETRI는 2009년부터 2016년까지 확보한 초박형 압전 세라믹 스피커 관련 다수의 기술을 기반으로 총 4건의 기술이전 실적을 달성하였고, 모바일, TV, 이어폰, 의료기기 등에 적용되는 다양한 사업화 모델을 발굴하였다. 또한, 과제 종료 후에도 상용화 현장연구 프로그램, 1실 1기업 지원 프로그램 등을 통해 수요기업의 기술사업화 추진을 지속해서 지원하였으며, 세트업체의 자체개발 프로젝트에도 공동참여하여 제품화 및 시생산 검증을 지원하는 등 초박형 압전스피커 기술 상용화를 이끌었다.

저음 보강형 초박형 압전스피커 기술은 현재 상용화된 모바일뿐 아니라 태블릿, 자동차 등 다양한 분야에서도 적용을 검토 중이다. 아직은 전통적 방식의 VCM 스피커가 대부분 적용되어 있으나, 앞으로는 음향을 재생하는 수많은 정보전자 기기에 초박형 압전스피커 기술이 무한 응용될 것으로 보인다. 또한, 연평균 19.75%로 빠르게 성장하고 있는 햅틱 기술에도 활발하게 적용되고 있다.



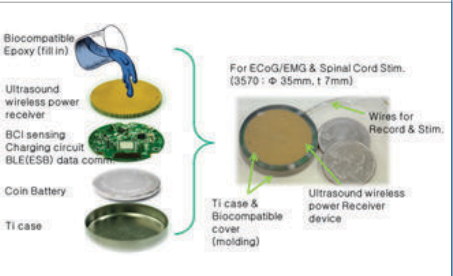
모바일용 초박형 압전스피커 시제품

삽입형 의료기기의 자가충전 필요성 대두

인구 고령화와 복지증진 정책에 따라 뇌심부자극기나 삽입형 심장 제세동기 등 인체 삽입형 의료기기 시장이 급성장하고 있다. 그러나 일차전지로 구동되는 삽입형 의료기기는 일정 기간 사용 후 전원교체를 위한 추가적인 수술이 불가피하여 환자들의 심리적 고통과 추가적인 비용부담이 큰 것이 현실이다. 이에 피부를 통해 무선으로 재충전이 가능한 무선충전 기술에 대한 요구가 커지기 시작하였다.

세계 최초로 고효율 초음파 무선전력전송 기술개발

ETRI는 2006년 시작된 ‘유비쿼터스 단말용 부품 모듈 개발’ 과제를 통해 주변에 존재하는 작은 진동에너지를 모아 전기에너지로 바꾸는 고효율의 압전 에너지변환 소자 기술을 확보하였다. 또한, 2010년부터 시작된 ‘스마트&그린 빌딩용 자가충전 지능형 센서노드 플랫폼 개발’ 과제를 통해 초음파를 이용하여 빌딩 내부에 있는 센서노드로 선 없이 전력을 전송하는 기술에 도전하였다. 당시 연구진은 진동에너지를 강제로 발생시켜 일정 거리를 무선으로 보낸 뒤, 이를 수확하여 전기에너지로 변환함으로써 센서를 구동하는 방법을 고안하였다.



초음파 무선충전 소자가 일체화된 Brain Computer Interface 모듈

이러한 과제들을 통해 축적된 기술을 토대로 ETRI는 2010년 초반 인체 피부를 통한 ‘초음파 무선전력전송 기술’을 개발하기 시작하였다. 이는 초음파가 인체조직 내에서 흡수율이 낮고 고효율로 전달된다는 특징을 이용하여, 무선으로 인체 내부로 전력을 전송하는 기술이다.

인체삽입형 의료기기에서 요구되는 무선충전의 중요한 성능은 피부에서 열이 발생하지 않도록 하는 높은 전송효율과 삽입된 의료기기의 이차전지를 2시간 이내로 완충할 수 있는 무선전력 전송량이다. 고성능의 전송효율을 제공하는 초음파 전력 송수신 소자는 소재의 우수성, 복합소재를 이용한 압전-진동 방향 일체형 소자, 초음파가 피부로 매칭될 때의 매칭 효율 극대화, 시간과 공간의 함수인 초음파 구동주파수 최적화 및 이를 구동하는 회로 최적화 기술이 핵심이다. ETRI는 이러한 요구 성능을 만족하는 기술들을 꾸준히 개발해 나갔다.

2014년에는 한국산업기술진흥원의 국제공동연구사업을 통해 ETRI의 초음파 무선충전 기술을 차세대 인체 삽입형 의료기기인 BCI<sup>161)</sup> 모듈에 적용하는 과제를 제안하고, 미국의 University of Washington, San Diego State University 및 MIT로 구성된 CSNE(Center Sensorimotor for Neural Engineering)팀과 국제공동연구를 수행하였다. 4년간의 국제공동연구를 통하여 ETRI는 BCI 장치가 요구하는 무선충전 성능 사양을 만족하는 고효율 무선전력전송 소자를 개발하고 최대 42.5%의 무선전력전송 효율을 보고하였다.

특히, ETRI는 무선전력전송 소자를 압전-진동 방향이 일치하도록 1-3복합 구조체로 제작하여 압전 효율 및 전력전송 효율을 극대화하였다. 또한, 초음파 소자와 인체 사이의 큰 임피던스 차이를 조화평균을 통하여 매칭하는 매칭층 설계 기술을 개발하였으며, 초음파 송신 소자와 초음파 수신 소자를 광대역으로 설계하여 무선 전력전송이 매칭되는 초음파 주파수 영역을 확대하였다. 그 결과, 매칭층을 통해 초음파 에너지를 피부로 83% 매칭하는데 성공하였다. 이는 세계 최고 수준의 성능이다.

다양한 의료기기와 유속센서 등으로 기술 확산

본 기술개발로 앞으로 삽입형 의료기기의 난점인 전원교체 문제가 점차 해결될 것으로 보이며, 이를 토대로 국내 의료기기 업체들은 국제 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 초음파 무선전력 전송에 활용된 고효율 압전 소자는 현재 녹조예측을 위한 도플러 방식의 유속센서에 활용되고 있다. 향후 광초음파 방식의 혈당센서, 고성능 초음파 의료기기 및 지하 매설물 분석 등에도 다양하게 활용될 전망이다.

161) BCI(Brain Computer Interface): 인간의 생각이나 심리 작용만으로 컴퓨터를 작동시킬 수 있는 기술이다.



WDM-PON용 RSOA칩

162) 인터넷 경제의 3원칙 가운데 하나로, 마이크로칩의 밀도가 24개월마다 2배로 늘어난다는 법칙이다.

광기술은 빛을 만들고 제어하여 특정한 기능을 수행하도록 하는 기술로 우리 생활에 밀접한 영향을 준다. 특히 광통신의 경우 무어의 법칙<sup>162)</sup>을 뛰어넘는 용량 증대로 기술개발 속도가 매우 빠른 분야이다.

ETRI는 1980년대 초반 광통신용 반도체 레이저 개발을 시작으로 광 소재부품 기술개발에 착수하였다. 당시는 국내에서 반도체 기술개발이 시작된 지 얼마 되지 않은 시기로, 반도체 레이저 연구 관련 시설과 인력 등 인프라가 거의 전무한 상황이었다. 그러나 ETRI는 정보화 사회가 도래할 것에 대비하며 광통신 기술을 선제적으로 확보하는 것이 매우 중요하다는 판단하에, 이른 시기에 광통신용 레이저 기술개발에 돌입하였다.

ETRI는 초기 연구를 통해 단파장 45Mb/s 및 90Mb/s 시스템을 개발·상용화한 데 이어, 1984년에는 국내 최초로 결정성장 장비인 LPE 장치를 도입하여 광통신용 광원 및 광검출기 기술의 기반을 다졌다. 또한, 1998년에는 고품위 결정성장과 대량생산에 절대적으로 유리한 MOCVD 장치를 전격 도입하여 고품위의 다중양자우물(MQW) 성장을 가능하게 하였다. 2000년대 들어 대용량 WDM 시스템이 주목받기 시작하자, 이 시스템의 핵심 광원인 파장가변 반도체 레이저를 개발 및 상용화하였다. 아울러, 그동안 축적한 광통신 및 핵심 광부품 기술을 기반으로 라이다 기술개발에 돌입하여 2012년 스테드 방식을 이용해 세계 최초로 240픽셀의 고해상도 시각안전 라이다 개발에 성공하였다. 2018년에는 CES에 세계 최초의 드론용 라이다 시제품을 전시하여 큰 관심을 받기도 하였다.

한편, 2000년대 초반 FTTH(가입자망) 시대가 도래하자, 각 가입자에게 별도의 파장을 분배할 수 있는 WDM-PON 광부품을 개발을 시작하여 2016년 세계 최초로 기기급 WDM-PON 시스템 상용화에 성공하였다.

2010년대 들어 고품질의 비디오전송과 실시간 스트리밍, 클라우드, 소셜 미디어 등 대용량 데이터 서비스의 급성장으로 인해 통신트래픽이 폭증하자, ETRI는 초고속 광 송수신

을 위한 광소자 및 광부품 기술개발에 주력하였다. 그 결과, 400Gbps급 코히어런트 광검출 기술(2018년), 프론트홀용 25G C-band EML 칩 기술(2018년), 프론트홀용 25G O-band EML 칩 기술(2019년)을 개발하였으며, 2019년 말에는 4개의 광원 및 광검출기 소자 그리고 광송신부 및 광수신부 등이 단일 패키지 케이스에 집적된 '400Gbps 광송수신 엔진'을 세계 최초로 개발하였다.



## 4-6-1. 레이저/라이다

### 국내 광통신 기술개발 주도한 ETRI

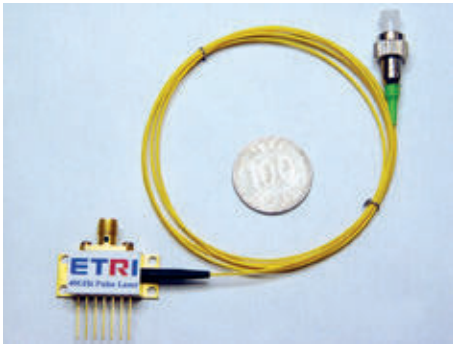
ETRI는 1980년대 초반부터 광통신용 반도체 레이저 기술개발을 시작하였다. 당시는 국내에서 반도체 기술개발이 시작된 지 얼마 되지 않은 시기로, 반도체 레이저 연구 관련 시설과 인력 등 인프라가 거의 전무한 상황이었다. 그러나 ETRI는 정보화 사회가 도래할 것에 대비하며 광통신 기술을 선제적으로 확보하는 것이 매우 중요하다는 판단하에, 이른 시기에 광통신용 레이저 기술개발에 돌입하였다.

초기 연구에서 단파장 45Mb/s 및 90Mb/s 시스템을 개발·상용화한 ETRI는 1984년 국내 최초로 결정성장을 위한 LPE(Liquid Phase Epitaxy) 장치를 도입, 광통신용 광원인 장파장 반도체(InP계) 레이저를 개발하고 광통신용 1.3μm LD 칩의 펄스 동작 구현에 성공하였다.

이어서 1985년에는 1.3μm LD 칩의 연속 동작 및 1.55μm LD 칩의 펄스 동작을 구현하였고, 1986년에는 BH(Buried Heterostructure) 구조의 1.3μm LD 칩을 개발하였다. 이와 함께 통신용 광검출기인 InGaAs PIN-PD photodiode를 시험 제작하였고, 화합물 반도체 수광소자 제작 기술과 광소자 칩 모듈화를 위한 광패키징 기술을 개발하여 광통신용 광원 및 광검출기 기술의 기반을 다졌다.

1988년에는 반도체 레이저 칩의 성능을 높이고 웨이퍼 상 균일성과 재현성의 한계를 극복하기 위해 고품위 결정성장과 대량생산에 절대적으로 유리한 MOCVD(Molecular Organic Chemical Vapour Deposition) 장치를 전격 도입하였다. 반도체 레이저 제작 공정에는 3~4차례의 결정성장이 요구되는데, ETRI는 1차 성장에 새로 도입한 MOCVD 장치를 사용하고, 식각된 패턴이 형성된 웨이퍼 위에 전류 차단층 등을 재성장하는 데는 기존의 LPE 장치를 병행하여 사용함으로써 효율성을 극대화하였다.

ETRI는 이러한 방식을 통해 반도체 레이저의 기본 에피 구조인 MQW(Multi Quantum Well, 다중양자우물)의 성능을 업그레이드함으로써 1995년에 2.5 Gbps 광통신 시스템용 1.55 μm 단일 파장의 PBH-DFB-LD 칩을 개발하였다. 이후 재성장 기술개발을 지속하여 모든 에피 공정을 MOCVD로 대체할 수 있게 되었다. MOCVD 장치는 30여 년이 지난 지금까지도 광통신용 광소자 기술개발의 핵심 장비로 활용되고 있다.



광신호처리용 모듈



광신호처리 시연

### 열정 하나로 일군 광통신 독자 기술

ETRI 연구원들은 광통신용 반도체 광소자 핵심부품을 국산화하겠다는 일념으로 밤낮으로 연구에 매진하여 기술 선도국과 경쟁할 수 있는 수준의 성과들을 일궈냈다. 당시 국내에는 참고할만한 기술 기반이 전혀 없어 미국 Bell-lab 및 일본 동경공대의 연구를 벤치마킹 하였으나, 기술의 핵심인 설계, 공정 및 성능 분석 등의 과정은 모두 ETRI가 독자적으로 구축하였다. 이때부터 ETRI는 국내 광통신용 광소자 개발을 주도하게 되었다.

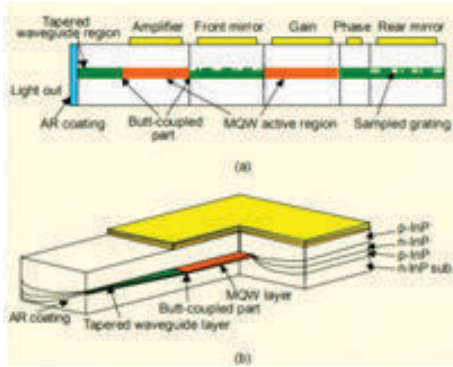
### 선진국 수준의 파장가변 반도체 레이저 기술 확보

ETRI는 1990년대 말까지 탄탄한 광통신용 반도체 레이저 기술 기반을 구축하였다. 이후로 2000년대 들어서 대용량 WDM<sup>163)</sup> 시스템이 주목받기 시작하자, 이 시스템의 핵심 광원인 파장가변 반도체 레이저의 상용화를 목표로 2001년부터 2004년까지 ‘광출력 안정화 Tunable LD 모듈 기술개발’ 과제를 수행하였다. 그 결과, 고출력 tunable LD 구조 설계, MOCVD를 이용한 InP계 MQW 박막 결정성장, 무반사(반사율;  $3 \times 10^{-4}$ ) 코팅을 위한 TiOx/SiOx 증착, 소자 제작을 위한 InP계 건식 및 습식 식각, 홀로그램을 이용한 sampled grating 제작 등의 기술들을 확보하였다.

그리고 이 기술들을 기반으로 광출력 증폭을 위한 반도체 증폭기(SOA; Semiconductor Optical Amplifier)부, 광섬유 결합 효율 및 무반사를 위한 측면 테이퍼형 도파로부, 파장가변을 위한 Sampled Grating부 및 MQW 층의 신호 발진부 등을 입체적으로 단일 집적화하는 데 성공하였다.

당시에는 광소자 시뮬레이션에 의한 세부 설계가 불가능하여, 이러한 복잡한 구조의 집적소자를 구현하기 위해서는 수없이 시행착오의 과정을 반복하는 수밖에 없었다. 연구원들은 오로지 열정과 끈기로 연구와 실험을 계속하였고, 그 결과 광출력이 안정화된 30nm급 tunable LD 모듈의 시제품 개발에 성공할 수 있었다. 시제품은 33nm의 파장가변 범위 내에서 50GHz 간격으로 40개 채널의 스펙트럼과 전체 튜닝 범위에서 35dB 이상의 사이드 모드 억제 비율, 11dBm 이상의 광섬유 결합 광 출력의 성능을 보였는데, 이는 당시 상용화된 선진국 제품과 동일한 성능이었다.

163) WDM(Wavelength Division Multiplexing): 한 가닥의 광섬유에 채널별로 여러 개의 파장을 동시에 전송하는 기술로, 증가하는 인터넷 트래픽에 효과적으로 대응할 수 있는 기술이다.



SG-DBR 레이저의 측면 개략도(a) 및 SOA 영역 주변의 입체 개략도(b)

### 다양한 광소자 개발의 기반 마련

ETRI가 WDM용 파장가변 반도체 레이저 기술을 확보함으로써 반도체 레이저는 WDM 방식의 테라바이트급 국간 광통신용 파장가변 광원, WDM 네트워크용 임의 파장 설정 광원, 파장 선택형 코히어런트 광수신기의 여기 광원 등 다양한 응용 분야의 파장가변 광원으로 활용이 가능해졌다. 또한, 향후 DWDM<sup>164)</sup> 시스템 개발의 기반이 마련되었다.

### 세계 최초의 ‘스터드 방식’ 라이다 기술개발

라이다(Lidar)는 레이저 펄스를 발사하고, 그 빛이 주위의 대상 물체에서 반사되어 돌아오는 것을 받아 물체까지의 거리를 측정함으로써 주변의 모습을 정밀하게 그려내는 장치로, 최근 ‘자율주행차량의 눈’으로 불리며 중요성이 커지고 있다.

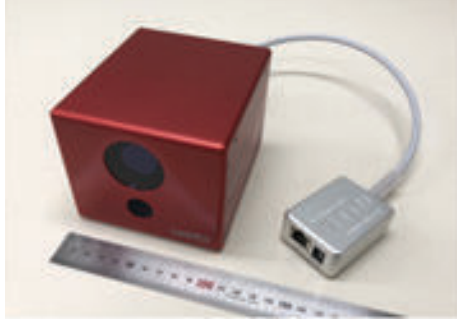
ETRI는 2000년 초반 레이저를 이용한 원격측정과 관련된 국방 기술연구로 라이다 기술 개발을 시작하였다. 연구는 ETRI가 오랜 기간 축적해 온 광통신 및 핵심 광부품 기술을 최대한 활용하여 진행되었다.

당시 라이다 기술은 여러 한계를 안고 있었다. 크게 두 가지 방식으로 개발되었는데, 64개의 레이저와 광검출기를 하나의 원통형 센서 모듈에 넣어 한 번에 64개 지점의 거리를 측정하는 ‘회전형’과 내부의 MEMS 미러를 사용하거나 빔을 퍼트린 후 반사되는 이미지를 활용하는 ‘고정형’이 그것이었다. 그러나 회전형은 내구성과 안정성이 떨어지고, 고정형은 고해상도를 구현할 수 있으나 가격이 높다는 단점이 있었다.

ETRI는 2009년 이러한 문제를 동시에 해결할 수 있는 우리나라 고유의 ‘스터드(STUD, Static Unitary Detector) 방식’ 라이다 기술을 세계 최초로 개발하기 시작하였다. 이는 기존의 라이다 기술보다 높은 분해능의 3차원 영상을 보다 저렴한 비용으로 제공하는 혁신적인 방식이었다.

2012년 스터드 방식을 이용해 세계 최초로 240픽셀의 고해상도 시각안전 라이다 개발에 성공하였다. 연구개발 초기 글로벌 라이다의 최대 수직 해상도가 64픽셀 수준이었던 것에 비하면, 엄청난 성과였다. 이 기술은 2012년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에도 선정되었다. 이후로 인티페이스를 포함한 시스템 집적화 및 모듈화에 성공한 ETRI는 2018년 1월 ‘CES(International Consumer Electronics Show, 국제가전전시회)’에 크기, 무게, 전력 소모까지 모두 획기적으로 소형화시킨 세계 최초의 드론용 라이다 시제품을 전시하

164) DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing): 한 가닥의 광섬유를 통해 40~80개의 채널을 보내는 기술이다.



CES 2018에 전시한 고해상도 라이다 시제품

165) PON(Passive Optical Network, 수동 광 분배망): 전기를 인가하지 않는 수동소자를 이용하여 광신호를 분배하는 방식이다.

166) TDM(Time Division Multiplexing)-PON: 시간 분할 수동 광 분배망으로, 가입자별 시간 할당을 통해 광신호를 분배하는 방식이다.

167) WDM(Wavelength Division Multiplexing)-PON: 파장 분할 수동 광 분배망으로, 가입자별 파장 할당을 통해 광신호를 분배하는 방식이다.

였다. 당시 ETRI의 라이다 시제품은 구글 라이다 팀을 포함한 다양한 글로벌 메이커와 관련 기관들로부터 큰 관심을 받았다.

### 라이다 시장 기술선점을 위해 노력

2020년 현재 ETRI는 현대차, 현대모비스 등 국내 상용차 기업뿐만 아니라 구글 라이다 Simon Verghese 박사팀과도 교류와 협력을 진행하며 기술을 고도화하고 있다. 또한, 국내 대표적인 라이다 기업과 새로운 기술이전 계약을 체결하고 후속 연구를 추진하고 있으며, 향후 더욱 다변화되고 확대될 라이다 시장의 기술선점을 위하여 지속적으로 노력하고 있다.

## 4-6-2 광소자

### 세계 최초로 기가급 WDM-PON용 광부품 기술개발

2000년대 초반 본격적으로 가정 내에 인터넷이 보급되기 시작하였다. 이에 따른 데이터 전송량의 급격한 증가를 수용하기 위해 기존 장거리 통신에만 활용되던 광통신 서비스를 가입자에게 도입하는 FTTH(Fiber-To-The-Home, 가입자망) 시대가 개막되었다. 초기 가입자망 구축에는 다양한 기술이 검토되었다. 이 가운데 우리나라는 수동소자를 이용하여 신호를 분기하는 방식(PON<sup>165)</sup>)을 채택하고, 시간 분할 방식(TDM-PON<sup>166)</sup>) 기반의 가입자망 기술을 도입하였다. 시간 분할 방식은 상대적으로 저렴한 비용으로 네트워크를 구축할 수 있다는 장점이 있으나, 전송 속도에 한계가 있었고 보안상으로 취약하였다. ETRI는 이를 보완하기 위해 2002년부터 각 가입자에게 별도의 파장을 분배할 수 있는 파장 분할 방식(WDM-PON<sup>167)</sup>)의 광부품을 개발하기 시작하였다. WDM-PON 방식을 도입하려면 각기 다른 16개 또는 32개의 광원을 개발·보유하고 있어야 하는데, 이는 초기 설치와 유지·보수에 큰 비용이 든다는 단점이 있었다. 이에 ETRI는 가입자에게 할당되는 파장과 관계없이 사용할 수 있는 파장 무의존형 광원 기술을 개발하기로 결정하고, 반사형 광증폭기를 사용하는 고유의 구도를 설계하였다. 여기에는 ETRI가 기존에 축적하고 있던 반도체 광증폭기 및 이를 이용한 다양한 응용소자 기술이 적용되었다.



연구 결과, ETRI는 2004년 1.25Gbps 신호 전송이 가능한 광송수신 모듈을 개발하였고, 2006년에는 시스템 부서와의 협업을 통해 세계 최초로 기가급 WDM-PON 시스템 상용화에 성공하였다. 이후 ETRI는 KT와 함께 시험망 사업을 성공적으로 수행하였다.

### 세계적 광소자 기술의 시발점

반사형 광증폭기를 이용한 WDM-PON 광부품 기술은 당시 가입자당 기가급 서비스를 제공할 수 있는 세계에서 유일한 기술일 정도로 우수한 것이었으나, 가격 경쟁력을 이유로 실 적용에는 채택되지 못하였다. 그러나 이 기술은 ETRI 광소자의 기술력을 세계 수준으로 끌어올리는 시발점이 되었고, 특히 세계 최고 수준의 100G · 400G 광송수신 모듈과 5G 프론트홀 광소자 기술의 초석이 되었다.

### 400G급 광트랜시버 개발에 도전

기존 데이터센터들은 25Gbps 동작용 레이저 다이오드 광원 및 광검출기 4개를 이용한 100G급 광트랜시버를 주로 사용하였다. 그러나 대용량 데이터 트래픽의 급증으로 데이터센터가 요구하는 데이터 처리용량도 폭발적으로 증가하였다. 머지않아 400G급 광트랜시버가 필요해질 것으로 예측되면서, 2017년 하반기에 400G 이더넷 표준화가 이뤄졌고, 2019년에는 해외 메이저 업체가 400G급 광트랜시버 샘플을 출시하였다.

이러한 흐름에 선제적으로 대응하기 위해 ETRI는 2018년부터 ‘데이터센터 통신용량 증대를 위한 저전력 On-Board 집적 400Gbps 광송수신 엔진 기술개발’ 사업을 시작하였다. 사업목표는 광송신과 광수신 기능을 모두 갖춘 세계 최고 수준의 400G급 광송수신 모듈을 선도적으로 개발하는 것이었으며, 2020년까지 3년간 연구비 62.8억 원, 연구인력 25명이 투입되었다. ETRI는 기존에 확보된 초고속 레이저 다이오드 설계 기술, 초고주파 신호선 설계 및 패키징 기술, 광신호 결합 기술 등을 십분 활용하여 100G급 광트랜시버의 전송 속도를 4배 끌어올리고, 데이터 처리용량도 8배가량 증가시키는 기술적 도전을 시작하였다. 광송수신 모듈의 전송속도를 높이는 가장 쉬운 방법은 송신부와 수신부를 구성하는 광원 및 광검출기의 개수, 즉 채널 수를 늘리는 것이다. 그러나 이렇게 하면 집적도를 확보하기 어려울 뿐 아니라 전력 소모 등의 운용비용이 추가로 증가하는 단점이 있었다. 가격 경쟁력 확보가 급선무라고 판단한 ETRI는 채널 수를 기존의 100G급 광트랜시버와 동일하게

4개로 유지한 채 속도를 높이기 위해, 단일 광원의 전송 속도를 4배로 대폭 개선하기로 결정하였다. 즉, 채널당 100Gbps 전송이 가능한 초고속 광원 및 광검출기 소자를 개발하기로 한 것이다.

또한, 라인카드의 실장 밀도 향상을 위해 교체형으로 장착 가능한 On-Board 집적 광송수신 엔진을 개발하기로 하였다. On-Board 집적형으로 광학 엔진을 스위치 ASIC 주변에 위치시켜 데이터통신속도는 4배, 실장 밀도는 2배 향상시킴으로써 스위치 라인카드의 데이터 처리 용량을 기존 최대 3.2Tbps에서 25.6Tbps로 8배 증가시키는 전략이었다.

### 세계 최초로 400Gbps 광송수신 엔진 개발

각고의 노력 끝에 2019년 말 연구진은 4개의 광원 및 광검출기 소자 그리고 광송신부 및 광수신부 등이 단일 패키지 케이스에 집적된 ‘400Gbps 광송수신 엔진’을 세계 최초로 개발하였다. 400Gbps는 10만 명이 동시에 고화질 유튜브 영상을 스트리밍할 수 있는 속도이다.

이 엔진은 어른 손가락 한 마디 크기의 광트랜시버에 실장이 가능하도록 되어있어 기존의 100Gbps 광트랜시버 대비 4배의 전송용량과 2배 이상의 실장 밀도를 구현할 수 있다. 향후 상용화가 이뤄지면 광송수신 엔진은 라인카드 하나에 64개가 장착 가능하다. 그렇게 되면 총 데이터 처리용량이 최대 8배로 늘어나 기존의 3.2Tbps에서 25.6Tbps까지 증가할 것으로 보인다.

또한, 개발된 광송수신 엔진은 CWDM(Coarse WDM) 파장 대역에서도 2km 및 10km 전송을 할 수 있어, 기존의 400G급 광트랜시버 대비 가격 경쟁력 측면에서도 경쟁 우위를 보일 것으로 예상된다. 연구진은 대규모 데이터센터의 도입으로 데이터센터 내부의 통신 거리가 10km까지 확장될 것이라는 예측을 토대로 가격 측면에서 유리하며 기술적으로도 한 단계 앞선 CWDM 파장 대역을 광송수신 엔진에 적용하였다.

ETRI는 400G 광송수신 엔진을 개발하면서 채널당 100Gbps로 동작할 수 있는 초고속 레이저 다이오드 설계 및 제작 기술 그리고 광소자와 이를 구동하는 전자소자 간의 초고주파 신호선 연결 및 집적 기술도 확보하였다. On-Board 집적 광송수신 엔진 기술은 기존 100G급 TOSA/ROSA가 요구하던 고가의 Gold Box가 필요치 않아 고밀도 집적 및 저가격화를 가능케 한다는 장점이 있다.

아울러, 단일 패키지 케이스에 광송신기와 광수신기를 함께 실장할 경우 발생할 수 있는 송수신기 간 누화율(Crosstalk)을 최소화한 신호선 설계 및 배치 기술과 라인카드에 교체형으로 부착할 수 있는 112Gbps급 초고속 전기신호선 연결 기술도 확보하였다.



400G 광송수신 엔진이 평가보드에 장착된 모습

앞으로는 400G 광송수신 엔진의 신뢰성 확보를 통해 기술을 안정화하고, 한발 더 나아가 1Tbps급 광송수신 모듈 개발에도 도전할 계획이다.

### 축적된 기술을 바탕으로 5G 광소자 부품에 도전

ETRI는 2000년대 중반 1.25G 및 2.5G 광소자 칩 기술을 삼성전자에 이전하는 한편, 세계 최초로 기가급 WDM-PON 상용화에 성공함으로써 2010년대의 주요 화두인 ‘100배 빠른 인터넷 기술’을 현실화하는 데 이바지하였다. 특히, 액세스용 부품 기술은 ETRI 내부의 시스템·부품 부서와의 협력, 그리고 산업체와의 지속적 협업의 결실로 국내 이동통신용 광부품 산업발전의 원동력이 되었다.

2010년대 후반 본격적으로 5G 시대가 열릴 것으로 예측한 ETRI는 2015년부터 5G 광소자 부품에 대한 검토를 시작하여, 2016년 범부처 기가코리아사업의 일환으로 시작된 ‘5G 지국을 위한 디지털 프론트홀<sup>168)</sup> 기반 광 링크 기술개발’ 과제에 참여하였다. 과제의 목표는 파장당 25G 기반의 광 링크 핵심기술개발이었으며, 네트워크 시스템 업체인 HFR이 주관하고 ETRI와 통신 사업자인 SKT, 광모듈 업체인 OES가 공동연구기관으로 참여하였다. ETRI는 5G에 적용 가능한 25G 프론트홀 광소자 칩 개발을 담당하였고, OES는 25G 프론트홀 광트랜시버, HFR은 5G 프론트홀용 채널 카드, SKT는 5G 연동시험을 담당하였다.

### 5G 핵심기술인 25G급 프론트홀 광소자 개발

2010년대 중반에는 10G급 광 송수신 부품이 주를 이루었고, 25G 광소자는 기술과 시장성이 미성숙한 상태여서 25G급 이상의 프론트홀 광소자 기술에 대해서는 부정적 견해가 우세하였다. 또한, 25G 기반의 eCPRI<sup>169)</sup> 표준 규격이 완성되지 않은 상황이었던 것은 물론, 설계·제작·테스트에 필요한 25G 프론트홀 광소자 칩 시작품도 구하기 어려웠다. 게다가 다가올 2018년 평창올림픽에서 5G 상용서비스를 선보이는 것을 목표로 했기 때문에 시간적 여유가 부족하여 연구진으로서는 부담이 클 수밖에 없었다.

이러한 난관에도 불구하고 연구진은 오랫동안 축적한 광소자 칩 기술을 토대로 연구에 매진하였고, 참여 업체인 OES와 HFR의 사업화 의지도 강했으며, 무엇보다 사업전담기관인 기가코리아사업단을 비롯한 참여기관 간의 유기적이고 긴밀한 협력으로 개발은 순조롭게 진행되었다.

5G 프론트홀망에 25G 광소자 칩을 적용하는 데 있어 가장 큰 난제는 기술성숙도를 끌어올리는 것과 향후 부품 가격을 낮춰 망 구축 부담을 줄이는 것이었다. ETRI는 높은 스펙의 복잡한 소자 구조를 택했던 종전의 방식에서 탈피하여, 공정 단계를 줄이고 최대한 구조를 단순화함으로써 제품이 가격 경쟁력을 가질 수 있도록 하였다. 또한, 4G에서 5G로 진화하면서 폭발적으로 증대되는 광 파장(주파수) 자원의 확장성을 고려하였으며, 광섬유 분산 특성<sup>170)</sup>으로 고속 송수신에 제약이 클 것이라는 통념을 무릅쓰고 25G급 기반의 C-band EML<sup>171)</sup> 칩과 DFB<sup>172)</sup> 칩 개발을 추진하였다.

그 결과, 2018년에 프론트홀용 25G C-band EML 칩 기술을, 2019년에는 C-band 기술을 기반으로 한 프론트홀용 25G O-band EML 칩 기술을 개발하는 데 성공하였다. 이후로 ETRI는 산업체에 기술을 이전하고, 적극적으로 인적·기술적 교류를 지속하며 기술사업화를 지원하였다. ‘25G 프론트홀 광소자 칩 및 광트랜시버 기술’은 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, 같은 해 우수성과 유공 과학기술정통부 장관 표창을 수상하였다.

ETRI가 개발한 25G급 프론트홀용 광소자 칩은 2019년 4월 세계 최초로 한국이 5G 서비스를 시작하는 데 있어서 핵심적인 역할을 하였다. 또한, 공동개발에 참여한 기업들은 수백 억대의 매출을 기록하는 등 가시적 성과를 도출하였다. 이는 국내 5G 이동통신 산업뿐만 아니라 넘어 광 네트워크 산업 전반에 획기적인 성장의 계기가 되었다.

프론트홀망에 적용되는 파장대역은 O-band을 넘어 E-band, C-band로 빠르게 확장하고 있으며, 본격적인 28GHz 이동주파수의 사용으로 더욱 광범위하고 큰 규모의 광부품 시장을 형성할 것으로 예측된다.

### 트래픽 폭증에 대응하기 위한 초고속 광소자의 필요성 대두

ETRI는 2000년대 초반부터 초고속 데이터 송수신 및 신호처리용 소자·부품 연구를 수행하였다. 최근 들어 고품질의 비디오전송과 실시간 스트리밍, 클라우드, 소셜 미디어 등 대용량 데이터 서비스의 급성장으로 인해 통신 트래픽이 폭증하자, ETRI는 초고속 광 송수신을 위한 광소자 및 광부품 기술개발에 주력하고 있다.

168) 프론트홀(Fronthaul): 이동통신의 무선 접속망에서 디지털 데이터 처리 장치(DU: Digital Unit)와 원격 무선 신호처리 장치(RU: Radio Unit) 사이를 연결하는 링크이다.

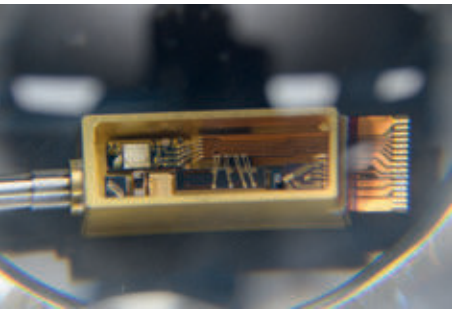
169) eCPRI: CPRI 구간의 트래픽 경감을 위해 제정된 이더넷 기반의 글로벌표준이다.

170) 광섬유의 색 분산 등으로 C-band 대역에서는 고속 동작에 불리하지만, 많은 파장 자원을 활용해야 하는 DWDM 방식을 활용하기 위해서는 C-band 대역에서 동작하는 고속 및 장거리(~20km) 전송이 가능한 광소자가 필요하다.

171) EML(Electro-absorption Modulated Laser): 전계 흡수에 의한 외부 변조 레이저 다이오드의 일종이다.

172) DFB(Distributed Feedback Laser): 전류 주입에 의한 직접 변조 방식 레이저 다이오드의 일종이다.





100G급 광소자 기술 개발

173) 코히어런트(coherent): 복수광파의 주파수와 위상이 같을 때 그 광파를 코히어런트 광이라고 한다.

100Gbps급 코히어런트<sup>173)</sup> 광소자 기술개발

ETRI는 2008년부터 2013년까지 ‘차세대 대용량 코히어런트 광 OFDM 기술’ 과제를 통해 ‘광 전달망용 초고속 코히어런트 광소자’를 개발하였다. ETRI가 주관한 이 사업에는 세계 최고의 광통신 기술력을 보유한 미국의 Bell Labs과 다수의 국내 중소기업이 공동 연구 파트너로 참여하였다. 과제는 ETRI가 초고속 광소자·부품을 개발하여 국내 기업과 시제품을 제작하고, 미국 Bell Labs과 협업하여 성능 검증 및 실환경 전송 시험을 진행하는 형태도 진행되었다.

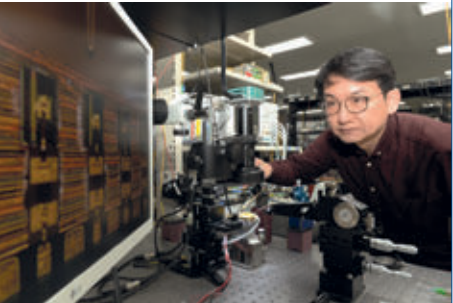
초고속 코히어런트 광소자 기술은 빛의 고유한 성질인 편광, 위상, 진폭 모두를 신호로 이용하는 초고속 장거리 인터넷 통신 소자 기술로, 빛의 진폭만을 변조하던 기존 기술에 더해 편광을 분할하고 위상을 변조함으로써 네트워크 속도의 한계를 극복하기 위한 기술이다. ETRI는 국내에 전무하던 빛의 편광을 분리하는 소자와 위상 변조 신호를 복조하는 90°광 하이브리드 기술을 독자적으로 개발하여 단일 집적하고, 광 검출기 어레이 칩과 결합한 집적형 광소자 기술과 부품을 확보하였다.

그 결과, 빛의 고유한 성질을 제어하는 것만으로 1초에 1,000억 비트(100Gbps)의 대용량 콘텐츠를 전송하는 신개념 인터넷 전송 기술 및 소자를 개발하였다. 이로써 인터넷 트래픽이 2.5배 이상 증가하여도 기존 광통신 인프라를 활용해 막힘없이 데이터를 송수신하는 것이 가능해졌다.

2013년 2월에는 한국정보통신진흥원의 미래 네트워크 연구시험망(KOREN)에 본 기술을 적용하여 서울과 대전 간 왕복 거리 총 510km 길이의 광케이블로 100Gbps급의 데이터를 송수신하는 데 성공하였다. 한국과 미국을 연결하는 장거리 전달망인 해저 광케이블이 최대 40Gbps급이었던 것을 100Gbps급으로 확장한 것이다. 이 기술은 ‘차세대 고효율 광노드용 핵심 부품 개발’이라는 이름으로 2017년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

400Gbps급 코히어런트 광소자 기술개발

ETRI는 기존의 기술을 계속해서 고도화하여, 2018년 2월에는 HD급 영화 50편을 1초 만에 전송할 수 있는 400Gbps급 코히어런트 광검출 기술을 개발하였다. 기존의 광통신은 광케이블을 추가로 깔아야 데이터통신량을 확장할 수 있었으나, 이 기술의 개발로 광케이블의 추가 매설 없이 송수신 장비 교체만으로 통신용량을 기존 대비 4배나 증대할 수 있어 수천억 원에 달하는 광케이블 매설 비용 절감효과가 도출되었다.



400G 광송수신 엔진개발 시연

테라급 광소자 기술에 도전

ETRI는 저비용으로 장거리 광 인터넷 속도를 증대하는 핵심소자·부품 기술을 개발하는데 성공함으로써 국가 통신 기간망의 부품 기술을 세계적 수준으로 끌어올렸다. 글로벌 IP 트래픽은 2017년 연간 1.5ZB에서 연평균 26%의 성장률로 증가하여 2022년에는 4.8ZB에 도달할 전망이다. 이에 ETRI는 지금까지 개발한 코히어런트 광수신 소자·부품 기술을 기반으로 테라급 전달망 광소자 부품 개발에 박차를 가하고 있다.



테라헤르츠파 기술개발

## RF 기술

ETRI는 1991년 국내 최초로 3인치 청정 화합물반도체 실험실 등 공정 장비 인프라를 독자적으로 구축하고, 본격적으로 무선통신용 RF 소자 연구에 돌입하였다. 이 실험실은 2000년에 4인치 기반으로 업그레이드되었다.

무선통신 및 밀리미터파 대역 시스템에서 요구되는 RF 소자의 개발에는 주로 고속 고주파 특성과 고출력 특성이 장점인 GaAs(갈륨비소)와 InP(인화인듐) 등의 화합물반도체가 사용된다. ETRI는 RF 소자 개발 초기에 GaAs 기반의 무선통신용 RF 소자인 MESFET, HEMT, HBT 등을 개발하는 데 주력하였으며, 이를 통해 휴대전화기용 MESFET 전력소자, 저잡음 PHEMT 소자, 피코셀 통신 및 무선 LAN용 40GHz · 60GHz 송수신 MMIC, 광통신용 10Gbps · 20Gbps HBT IC 등을 개발하였다.

1990년대 후반부터는 InP 기반의 HEMT와 HBT 소자 기술을 토대로 밀리미터파 대역 MMIC 개발에 주력하였다. 그 결과, InP 기반의 MHEMT 기술로 77GHz 대역의 차량 충돌 방지 레이더용 MMIC 및 94GHz 수동 영상 라디오미터용 저잡음 증폭 MMIC를, InP HBT 소자 기술을 이용해서는 40Gbps급 광통신용 초고속 InP HBT IC를 개발하였다. ETRI가 InP 기반 밀리미터파 대역 HEMT · HBT 소자 기술개발에 성공함으로써 우리나라는 독자적으로 밀리미터파 대역 MMIC 기술을 확보할 수 있게 되었다.

2010년대 이후 기존의 반도체 웨이퍼 소재로 쓰이던 Si와 GaAs의 한계를 극복할 수 있는 차세대 소재로 질화갈륨(GaN)이 주목받기 시작하자, ETRI는 관련 연구에 주력하였다. 그 리하여 S-대역 및 Ku~K-대역 GaN 전력증폭 소자, 5G 이동통신용 Ka-대역 GaN 전력증폭 MMIC, 국방 무기체계용 S-대역 150W GaN 전력 증폭 소자 등을 개발하였다. 이

러한 기술들을 통해 전량 수입에 의존하던 GaN 기반의 무선통신용 고출력 RF 반도체 소자를 단기간에 자체개발할 수 있게 되었다.

## 테라헤르츠 기술

ETRI는 2009년 기관 내 창의연구실사업 프로그램 일환으로 THz포토닉스창의연구센터(현 테라헤르츠연구실)를 조직하고 ‘꿈의 주파수’라 불리는 테라헤르츠파(THz, 주파수 0.1~10THz) 발생 · 검출 소자에 관한 연구를 지속해서 추진하고 있다. 광통신용 레이저 다이오드 기술을 이용해 소형화가 가능한 THz 연속파용 집적형 이중모드 비팅 광원 소자를 자체개발한 것을 시작으로, THz 포토믹서, Schottky Barrier Diode(SBD) 등을 개발하며 소재부터 소자 · 모듈 · 시스템에 이르기까지 모든 THz파 발생 · 검출 기술을 자체적으로 확보하였다.

이러한 기술을 기반으로 2010년대 중반부터는 THz파를 비파괴 검사 등의 분야에 적용하는 데 주력하고 있다. 현재 대기업의 생산라인 적용 테스트를 진행 중이며, 조만간 세계 최초로 자동차 양산에 THz파 비파괴 검사를 실제 적용하는 성과를 거둘 것으로 예상된다.

한편, ETRI는 급증하는 데이터 수요와 빠르게 개발되는 새로운 통신 서비스들을 수용하기 위하여 전통적인 포토닉스 기반 통신 기술과 함께 THz 통신의 핵심소자 · 부품 개발에 주력하고 있다. 연구진은 광대역 신호생성이 용이하고 유선망과 직접적인 연동이 가능한 ‘포토닉스 기반의 THz 통신 기술’을 중점적으로 개발하고 있으며, 안정적인 주파수 발생이 가능하고 기존의 통신 기술 · 방식을 활용할 수 있는 ‘전자소자 기반의 THz 통신 기술’과의 융합을 통해 더욱 발전적인 방향을 모색하고 있다.



테라헤르츠파이용한 비파괴검사 기술개발



## 4-7-1. RF 반도체

### 무선통신의 핵심 요소인 RF 반도체 기술

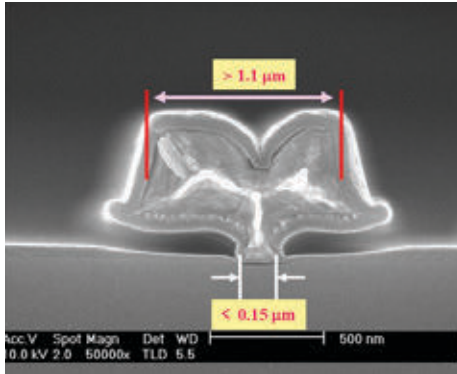
무선통신 기술 · 산업의 지속 발전을 위해서는 핵심기술인 RF<sup>174)</sup> 및 마이크로파<sup>175)</sup> 반도체의 개발이 뒷받침되어야 한다. 무선통신 및 밀리미터파 대역 시스템에서 필요로 하는 RF 소자의 개발에는 주로 고속 고주파 특성과 고출력 특성이 장점인 GaAs(갈륨비소)와 InP(인화인듐) 등의 화합물반도체<sup>176)</sup>가 사용된다. ETRI는 1980년대 중반부터 실리콘 반도체 기술 · 산업을 선도하며 축적한 역량을 바탕으로 1990년대 초반부터 화합물반도체를 이용한 무선통신용 RF 반도체 기술개발에 돌입하였다.

### 1990년대 초부터 무선통신용 RF 소자 개발

ETRI는 1991년 국내 최초로 무선통신용 RF 소자 연구를 위한 3인치 청정 화합물반도체 실험실 등 공정 장비 인프라를 독자적으로 구축하였다. 이 실험실은 2000년에 4인치 기반으로 업그레이드되었다.

ETRI는 이러한 인프라를 바탕으로 GaAs 기반의 무선통신용 RF 소자인 MESFET<sup>177)</sup>, HEMT<sup>178)</sup>, HBT<sup>179)</sup> 등을 개발하기 시작하였다. MESFET 소자의 경우에는 1992년 이온주입형 GaAs MESFET 소자 개발에 성공하고, 1994년에는 MBE 장비로 성장한 MESFET 기판을 사용하여 3.3V GaAs MESFET 전력소자를 세계 최초로 개발하여 삼성전자에 이전하였다. 한편, 1993년에 0.5um MESFET 라이브러리 기술을 구축하고, 1995년 CDMA/AMPS 이중모드 휴대전화기용 송신 MMIC<sup>180)</sup> 개발, 1998년 휴대전화기용 송수신 MMIC 개발 등의 성과를 거뒀다.

PHEMT 소자의 경우에는 1993년 독창적인 T-gate 공정 기술을 개발하여 저잡음용 0.25um GaAs PHEMT 소자를 개발하고, 1995년에는 세계 최고 수준의 잡음 특성을 갖는 0.13um GaAs PHEMT 소자를 개발하여 반도체 소자 분야 유수의 학술지인 IEEE EDL에 게재하였다. 또한, 1999년 0.25um GaAs PHEMT 소자 기술을 활용한 LMDS용 27GHz 전력증폭 MMIC를 개발하고, 2001년에는 0.25um GaAs PHEMT 라이브러리 기술을 구축하여 40GHz/60GHz 대역 MMIC를 개발하였다. 이어서 2007년에는 정보통신부의 지원으로 0.12um GaAs PHEMT 라이브러리 기술을 구축하여 60GHz 피코셀 통신용 송수신 MMIC와 60GHz WLAN용 RF switch MMIC를 개발하였다.



ETRI의 독창적 특기술로 개발한 고주파 RF 소자용 Wide-head T-gate 공정 기술

한편, HBT 소자는 1993년에 AlGaAs/GaAs HBT 소자를 국내 처음 개발한 것을 시작으로, 1998년 에미터폭 1.5um인 AlGaAs/GaAs HBT를 이용한 10Gbps급 LD 드라이버, 제한증폭기(Limiting amplifier) 및 전치증폭기(Pre-amplifier)를 개발하여 광통신용 전자소자로 활용하였다. 이후로 2000년 InGaP/GaAs HBT 소자를 새롭게 개발하여 20Gbps 광통신용 제한증폭기 제작에 활용하고, 2002년에는 InGaP/GaAs HBT 라이브러리 기술을 구축하여 IMT-2000 단말기용 전력증폭기(PA)를 개발하였다. 이어서, 산업자원부의 지원으로 2008년부터 2011년까지 무선통신 및 무선 LAN용 InGaP/GaAs HBT 전력증폭 MMIC를 개발하였다.

### 국내 무선통신산업 독자 성장 기반 마련

ETRI가 RF 소자 · 부품 개발에 성공함으로써 국내 무선통신 산업은 외국 기술 의존에서 벗어나 독자 성장의 기반을 마련할 수 있었다. 또한, 연구결과로 확보한 21개 기술은 산업체에 이전되어 다양한 제품으로 상용화되었으며, ETRI의 화합물반도체 실험실은 FCI, 해빛정보 등 12개 벤처 창업의 산실이 되었다.

### 초고속 · 초고주파 소자 필요성 대두

무선통신 기술이 발전하면서 마이크로파 대역의 주파수는 주로 이동통신과 위성통신용으로 사용되고, 차세대 무선통신 서비스와 차량 충돌방지 시스템, 이미지 시스템 등을 위한 주파수는 30GHz 이상의 밀리미터파 대역으로 확장되었다. 이와 함께, 초고속 인터넷의 출현으로 테라비트급 초고속 광통신용 전자소자 및 집적회로 부품과 밀리미터파 이상의 주파수에서도 사용 가능한 초고주파 소자 · 부품 기술이 요구되었다.

### InP 기반 HEMT/HBT 소자 기술개발

밀리미터파 대역 초고속 · 초고주파 소자에 사용되는 대표적인 화합물반도체는 InP과 GaAs이다. 특히, InP를 기반으로 한 InP HEMT, InP HBT 소자는 초고주파와 고속 신호전달 특성으로 인해 밀리미터파 대역의 핵심소자로 폭넓게 이용되고 있다.

ETRI는 1990년대 후반부터 InP 기반의 HEMT와 HBT 소자 기술을 토대로 밀리미터파 대역 MMIC 개발에 착수하였다. 개발 당시 무선통신용 RF 소자는 전량 수입에 의존하

174) RF(Radio Frequency): 방사주파수(고주파)를 이용하여 무선통신을 하는 시스템을 말한다.

175) 마이크로파(microwave): 파장의 범위가 1mm~1m 사이의 전파를 가리킨다.

176) 화합물반도체: 두 종류 이상의 원소로 구성되어 있는 반도체이다.

177) MESFET(Metal Semiconductor FET): 금속-반도체 간의 접촉 특성을 지닌 소자이다.

178) HEMT(High Electron Mobility Transistor): 이종 반도체 접합 특성을 이용하여 높은 전자이동도 특성을 지닌 소자이다.

179) HBT(Heterojunction Bipolar Transistor): 이종 반도체 간의 접합 특성을 지닌 소자이다.

180) MMIC(Monolithic Microwave IC): 단일 반도체 기판에 능동 및 수동소자를 집적화한 초고주파 집적회로이다.

고 있었고 선진국에 비해 기술 수준도 매우 낮은 상황이었다. 게다가 선진국들은 해당 품목을 수출 통제 전략 품목으로 지정하고 있어 기술 확보에 많은 어려움이 있었다. 여러 난관에도 불구하고 ETRI는 20년 이상 축적한 반도체 개발 경험으로 연구개발에 매진하였고, 그 결과 선진국에 버금가는 InP 기반의 밀리미터파 대역 소자와 부품 기술을 개발하는데 성공하였다.

이후로 2002년부터 2006년까지 ‘테라비트 통신용 InP RF 집적회로 기술 및 40G 모듈 개발’ 과제를 통해 0.15um MHEMT 소자 기술로 차량 충돌방지 레이더용 77GHz 송수신 MMIC를 국산화하고, 이를 차량 충돌 방지용 77GHz 레이더 모듈에 적용하여 MMIC의 성능을 검증하였다.

2007년에는 밀리미터 대역 및 테라급 MMIC 개발에 필요한 핵심기술로 ‘밀리미터파 수동 이미지 센서용 50nm급 InP계 HEMT 소자’를 개발하였다. 이와 함께, 에미터폭 1.0um인 InP DHBT 소자를 개발하여 40Gbps 광통신용 TIA, 제한증폭기 및 모듈레이터 드라이버(Modulator driver) MMIC 제작에 성공하였다. 이어서 2010년에는 0.1um MHEMT 소자 기술을 개발하여 밀리미터파 수동 영상 라디오미터용 94GHz 저잡음 증폭 MMIC를 제작하였고, 2019년에는 방위사업청의 선도기술 과제를 통해 탐색기용 94GHz 저잡음 증폭 MMIC와 주파수 체배기, 혼합기, 하향 변환기 등을 개발하였다.

### THz 대역급 InP 소자 기술로 진화

ETRI가 InP 기반 밀리미터파 대역 HEMT · HBT 소자 기술개발에 성공함으로써 우리나라는 독자적으로 밀리미터파 대역 MMIC 기술을 확보할 수 있게 되었다. 앞으로 이 기술은 민수용 밀리미터파 대역의 차량 충돌방지 시스템과 공항 검색 시스템, 군수용 영상 라디오미터 시스템의 산업화에 기여할 것으로 전망된다.

차세대 B5G · 6G 이동통신은 기존 밀리미터파보다 더 높은 대역(Sub-THz 대역)의 주파수를 요구한다. 이에 ETRI는 밀리미터파 대역의 InP HEMT 소자 기술을 활용하여 THz 대역급 InP 소자 기술개발에 주력하고 있으며, 이를 차세대 이동통신, 스마트 검색 시스템, 레이더 등 다양한 분야의 부품개발에 적용할 계획이다.

### GaN 반도체의 등장

2010년대 이후 기존의 반도체 웨이퍼 소재로 쓰이던 Si와 GaAs의 한계를 극복할 수 있는 차세대 소재로 질화갈륨(GaN)이 주목받기 시작하였다. GaN은 Si 소재 대비 3배 이상 높은 항복 전압 특성으로 고전압 전력반도체에 적합하고, GaAs 대비 7배 이상 높은 전력 밀도 특성으로 통신시스템의 소형화 및 고효율화에 유리하며 고속 동작에서 발생하는 열에 강하다.

### 다양한 대역의 고출력 전자소자 개발

ETRI는 2010년 현대중공업과 함께 수행한 ‘선박의 안정 항해를 위한 근거리 · 원거리 레이더 시스템 개발 및 상용화’ 과제를 시작으로 본격적으로 GaN 기반 전력 증폭 소자 개발에 착수하였다. 과제의 목표는 선박에서 필수적으로 요구되는 장거리(S-대역, 2~4GHz) 및 단거리(X-대역, 8~12GHz) 레이더를 기존 마그네트론 방식<sup>181)</sup>이 아닌 GaN 전력소자를 이용한 SSPA 방식<sup>182)</sup>으로 국산화 개발하는 것이었다. 현대중공업, 현대 BS&C, 울산 중소기업지원센터, 신동디지텍 등이 공동연구기관으로 참여하였다.

사업수행 결과, 연구진은 국내 최초로 S-대역 100W급 전력소자와 X-대역 30W급 전력소자를 개발하고, 이를 기반으로 레이더 송신부에 적용되는 S-대역 200W 반도체 전력증폭기(SSPA; Solid-State Power Amplifier)와 X-대역 100W SSPA를 개발, 선박 레이더 시제품에 적용하였다. 당시 연구진은 GaN 전력소자 분야 세계 최고 기업인 미국 Cree 사에서 수입 · 제작한 SSPA를 ETRI의 SSPA로 대체하여 시연하였으며, 그 결과 동일한 레이더 성능을 확인하였다. 이 기술은 이후로 성산전자통신, 엘이디팩, 기가레인 등에 이전되었다.

이어서 2014년부터는 민군겸용개발사업인 ‘GaN 트랜지스터 기반의 Ku-대역(12~18GHz) 고출력증폭기 개발’ 과제를 통해 Ku~K-대역(18~27GHz)까지 동작하는 GaN 전력소자와 Ka-대역에서 동작하는 GaN 전력소자를 개발하였다. 특히, Ka-대역 GaN 전력소자를 이용해 28GHz 대역에서 12W급의 출력전력 특성을 갖는 전력증폭기 집적회로(MMIC)를 성공적으로 개발 완료하였다.

한편, 2012년부터 2015년까지는 지식경제부 SW융합형부품개발사업의 일환으로 X-대역 50W GaN 전력소자 모듈을 개발하였고, 2015년부터는 ‘5G 이동통신에 적용되는 RF 집적회로 기술’을 개발하였다. 아울러, 2015년부터 2019년까지 ADD, 웨이비스와 함께

181) 마그네트론(magnetron): 자기장 속에서 대출력 전력의 마이크로파를 발진하는 2극 진공관이다.

182) SSPA(Solid State Power Amplifier): 진공관 대신 고체형 반도체 소자(FET, BJT)를 이용하여 만든 전력증폭기이다.



국방 무기체계에 적용되는 ‘S-대역 150W급 GaN RF 전력증폭소자 개발’ 과제를 추진하여 S-대역에서 200W급의 출력전력 특성을 갖는 소자를 성공적으로 개발하였다.

B5G · 6G 이동통신용 GaN RF 소자 기술로 진화

ETRI는 우수한 연구인력과 국내 최고의 시설 · 장비를 활용하여 국내에서 유일하게 S-대역~Ka-대역 주파수에서 동작하는 GaN 기반 고출력 전력소자 및 집적회로를 개발하는데 성공하였다. 이로써 우리나라는 전량 수입에 의존하던 GaN 기반의 무선통신용 고출력 RF 반도체 소자를 단기간에 자체개발할 수 있게 되었고, 그 결과 군사용 레이더를 국내 기술로 개발하는 것은 물론, 2019년 시작된 일본의 수출 규제에도 대응할 수 있게 되었다.

2020년부터는 5G 이동통신에 적용되는 28GHz 및 39GHz 대역 GaN 집적회로(MMIC) 기술을 개발하고 있으며, B5G · 6G 이동통신을 위한 Sub-THz 대역용 GaN RF 소자 기술개발에도 주력하고 있다. Sub-THz는 5G용 기존 밀리미터파보다 대역폭이 넓어 초고속의 대용량 전송을 구현할 수 있는 주파수로, B5G · 6G 이동통신, 스마트 검색 시스템, 레이더 등 다양한 분야에서 요구되고 있으나, 아직은 국내에 소자 공정 기술이 전무한 상황이다. 더구나 해외 부품 도입에도 제한이 있어 국산화가 필수적인 분야이다. ETRI는 앞으로 이 분야에 집중하여 미래 이동통신 소재부품을 선도적으로 확보할 예정이다.

4-7-2. 테라헤르츠

미래사회의 핵심으로 부상한 THz 소재부품 기술

테라헤르츠(THz)파<sup>183)</sup>는 인류의 미개척 전파 대역으로 ‘꿈의 주파수’라 불리며 전 세계적으로 경쟁적 연구가 한창이다. 밀리미터파보다 파장이 짧아 높은 해상도의 이미징이 가능하며, 가시광이 투과하지 못하는 플라스틱, 세라믹 등을 잘 투과하여 비파괴 검사 기법으로 응용할 수 있다. 또한, 다양한 화학물질 및 바이오 물질의 공진 주파수들이 THz 대역 내에 존재하므로 첨단 센서 기술로도 응용할 수 있다. 아울러, 5G 상용 이동통신 기술에 28GHz 대역 활용 기술이 포함되어 있고, 최근 이를 위한 국가적인 방안들이 제안되고 있어 THz

183) 테라헤르츠(THz)파: 가시광과 마이크로 전자기파 사이의 파장(주파수 0.1~10THz)을 갖는 전자기파이다.

주파수 대역에 관한 관심은 점차 커지고 있다. 이처럼 THz파는 보안, 통신, 의료 등의 분야에 적용되는 대표적인 미래기술로 인식되고 있다.

THz파 소재 · 소자 · 모듈 · 시스템 개발

THz파 생성을 위해서는 초고속으로 빛을 전기로 변환시키는 ‘전류 스위칭 · 변조 기술’이 필수적이다. 특히, 광을 흡수하여 전류를 생성하는 반도체 물질이나 소자의 변조 속도가 평균 전하 수명 시간(수 나노초) 이하인 피코초(pico second, 1조분의 1초) 수준으로 빨라지도록 하는 것이 핵심이다. 이렇게 하려면 크게 두 가지의 접근법을 적용해야 한다. 특별한 특성을 갖는 광전도 소재를 개발하거나, 소자구조의 설계를 통해 초고속 특성을 얻는 것이다.

ETRI는 2009년 기관 내 창의연구실사업 프로그램 일환으로 THz포토닉스창의연구센터(현 테라헤르츠연구실)를 조직하고 THz파 발생 · 검출 소자에 관한 연구를 지속해서 추진하고 있다. 초기에는 상용 펨토초(femto second, 1000조분의 1초) 레이저와 비팅(beatting, 맥놀이) 광원을 활용하여, 초고속 특성을 갖는 광전도 물질에 관한 연구를 수행하여 다수의 성과를 창출하였다. 이후로 점차 영상, 분광, 통신 등 응용기술을 위한 소자, 모듈 및 시스템 기술연구를 수행하였다. 이 과정에서 초고속 특성, 즉 피코초 수준의 전하 수명 시간을 갖는 소재들(저온 성장 GaAs, 다결정질 GaAs, 저온 성장 InGaAs 등)과 저온 성장 InGaAs · InAlAs 다층 구조 등을 개발하였다. 특히, 성장 반도체 물질 성장을 위해 국내 기업과 협업하여 일부 물질들을 확보한 것은 대표적인 산 · 연 협력 사례로 손꼽힌다. ETRI는 초소형 THz 연속파 발생 모듈의 핵심인 반도체 비팅광원을 개발하고, 이어서 초고속 광검출 소자인 Uni-Traveling Carrier Photodiode(UTC-PD)를 토대로 광대역 THz 발생에 필수적인 안테나 집적형 ‘THz 광원(photomixer, 포토믹서)’을 개발하였다. 또한, 개발된 포토닉스 기반의 THz 핵심 모듈을 활용하여 1THz 이상의 광대역 특성을 확보하였으며, 이를 기반으로 개발한 몇몇 비파괴 검사시스템을 산업체에 이전하며 국내 THz 연구 분야의 중심으로 자리 잡았다.

핵심 부품개발 이후, 산업체로부터 안정적이고 컴팩트한 시스템요구가 점차 증가하자 연구진은 THz 응용시스템의 크기를 획기적으로 줄일 수 있는 광대역 안테나가 집적된 초고속 정류 소자인 ‘Schottky Barrier Diode(SBD)’를 개발하였다. 현재는 어레이형 소자 및 위상 특성 측정이 가능한 ‘Sub-harmonic MIXER’를 자체 기술로 개발하여 THz 무선 근거리 신호 전송 기술 분야에서 세계적인 차별화 확보를 위한 연구개발을 진행 중이다.



테라헤르츠연구로 국제광전자공학회 석학회원된 박경현 박사



2017년 'ALT 2017' 국제 학술대회 개최

### 연구 시작 10년 만에 구체적 성과 도출

초고속 물질 및 THz 소자들은 피코초 수준의 매우 짧은 전자 거동을 효율적으로 제어하여야 하는 매우 까다로운 제조 과정 개발이 필수적이며, 기술의 속성상 진입장벽도 매우 높다. ETRI는 초기부터 체계적인 기술 로드맵을 수립·추진하여 비교적 짧은 시간 내에 괄목할 만한 성장을 보여, 소재부터 소자·모듈·시스템에 이르기까지 모든 기술을 자체적으로 개발하는데 성공하였다.

이러한 성장을 토대로 2017년에는 러시아를 중심으로 한 광기술·레이저 분야 국제 학술회의인 'ALT(Advanced Laser Technology) 2017'을 부산에서 개최하였으며, 미국(Beckman Laser Institute), 일본(NICT, Osaka 대학), 러시아(GPI, Moscow 대학) 등 전 세계 선도 연구진과도 활발한 교류를 이어가고 있다.

최근에는 포토닉스 기술을 확대하여 THz 전자소자 분야 진출을 앞두고 있다. 앞으로 THz 전자소자 기반 보안 검색 시스템, 차세대 차량용 THz 라이다, 빌딩 간 자유공간 통신 기술 등을 자체적으로 개발하여 누구도 가보지 못한 새로운 길을 개척해 나가고자 한다.

### 비파괴 분야에서 두각 나타낸 THz파

THz파의 대표적인 응용 분야는 비파괴 검사<sup>184)</sup>이다. THz파를 이용하면 기존의 비파괴 검사와 달리 실시간, 비접촉, 3차원 영상 및 분광 정보제공 등이 가능하다. 특히, 2003년 NASA의 우주 왕복선 재난 사건과 관련하여, 우주선에 사용된 단열재의 내부 결함을 THz 파를 이용하여 비파괴적으로 검출할 수 있다는 것이 알려지면서 전 세계적으로 큰 관심을 불러일으켰다. 특히, THz파는 X-ray보다 광자 에너지가 현저히 낮아서 물질의 원자·분자를 이온화시키지 않아 인체에 무해하다는 것이 큰 장점이다. 아울러, 긴 파장으로 정렬 오차, 먼지 등의 외부 환경에 영향을 받지 않고 물질 특성 분석 등이 가능하다는 차별화된 장점이 있어, 기술 성능이 만족된다면 곧바로 산업 적용을 할 수 있는 대표적인 미래기술로 인식되어 각국에서 경쟁적으로 기술개발이 진행되고 있다.

### 다수의 상용화 성공사례 도출

2009년 ETRI가 THz파의 발생·검출 소자 연구를 시작한 이후, 대기업과 중소·중견 기업을 막론하고 다양한 제조업체가 THz 비파괴 검사 기술을 도입하고자 문의를 해왔

184) 비파괴 검사: 구조물 제품 검사법의 일종으로, 제품의 형상이나 기능의 변화 없이 결함을 검출한다거나 품질이나 형상을 확인하는 등 사용 가부를 판정하는 방법이다.

다. 이에 ETRI는 2014년과 2015년에 2개 기업에 원천기술을 확보하고 있던 이중 모드 레이저 기술을 이전한 것을 시작으로, 2016년 비파괴 측정용 THz 발생 기술을, 2018년에는 고속 비파괴 이미징 기술을 기업이 이전하여 THz 비파괴 검사 기술의 상용화를 추진하였다.

특히, 2016년부터 현대자동차 의왕연구소와 함께 자동차 내 누수 발생 시 눈에 보이지 않는 내장재 밀을 확인할 수 있는 시스템과 자동차 생산라인에서 커넥터 미체결을 확인할 수 있는 고속 이미징 시스템, 롤투롤 생산라인의 필름 두께 모니터링 시스템 등 다양한 주제에 대한 기술개발을 공동으로 진행하고 있으며, 이 중 일부는 생산라인에 적용하기 위한 최종 테스트를 진행 중이다.

특히, ETRI는 반도체 레이저 소자, 이로부터 THz파를 생성하는 소자, 대상물을 맞고 돌아오는 파의 검출 소자와 이들을 조정하는 회로판 등이 약 10cm×10cm 크기에 들어간 초소형 스캐너를 구현하였다. 이 스캐너는 자동차 품질 및 안전관리를 위한 다양한 비파괴 검사 용도로 활용되고 있다. 외국산 스캐너의 경우 크기도 몇 배로 크고 값도 수억 원대로 비싸 활용이 어렵지만, ETRI가 개발한 스캐너는 소형인 데다 저가로도 보급이 가능하여 활용도가 클 것으로 기대된다.

### 기술력은 물론 상용화 역량까지 확보

테라헤르츠연구실은 THz 비파괴 시스템과 관련한 모든 부품과 기술을 자체개발 및 해결할 수 있는 국내 유일의 연구조직이다. 특히, 휴대 가능한 초소형의 누수검출 시스템과 단일 발생 및 검출 소자를 이용한 저가의 2차원 고속 이미징 시스템 등은 아직 전 세계에서 상용화되지 않은 선도적인 기술이다.

ETRI는 뛰어난 기술력을 산업체가 활용할 수 있도록 하는 데도 큰 노력을 기울이고 있다. 그동안에는 국내 THz 전문가 대부분이 학교·연구소에 종사하고 있어 산업체가 개별적으로 THz파를 활용하는 것은 매우 어려운 일이었다. 이에 ETRI는 핵심 개발인력들이 산업체의 제품 기획에서부터 상용제품개발 단계에까지 적극적으로 관여하고 기업의 요구를 수용함으로써 국내 기업이 THz파를 활용할 수 있는 기반을 구축하였고, 다수의 상용화 성공사례를 만들어냈다.

앞으로 ETRI의 THz 비파괴 검사 기술은 4차 산업혁명 시대의 제조업 혁신에 크게 기여할 것으로 기대된다. 구체적으로, THz 분광 특성을 활용한 태그형 독성가스 센싱 분야, THz 영상 기반 생산 제품의 결함 조사 분야, 자동차 업계 핵심 수요기술 중 하나인 수밀 결함 검사 분야, 누수·누유·가스누출 계측을 위한 포터블 고감도 계측 기술 분야 등에 적극적으



휴대용 테라헤르츠 누수검출 시스템



로 활용될 것으로 보인다. 또한, 여러 질병 진단 등에 적용되어 THz 의료기기라는 신산업 분야를 창출할 것으로 예상된다.

다음 세대의 무선통신으로 주목받는 THz 통신

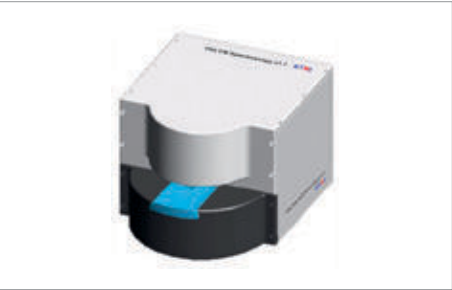
THz파는 높은 주파수로 인해 대용량 고속 정보전송이 가능하다는 특성이 있어 전 세계적으로 다음 세대의 무선통신을 위한 주파수 대역으로 주목받고 있다. 특히, 다가올 6G 통신 시대에는 주파수 대역이 최대 1THz까지 높아지고, 데이터의 최대 전송 속도도 1Tbps 수준으로 높아질 것으로 보인다. 이에 IEEE 802.15와 같은 표준화 단체는 THz 통신에 관한 기술 표준을 활발하게 논의하고 있다.

포토닉스 기반의 THz 통신 기술 집중적으로 개발

ETRI는 급증하는 데이터 수요와 빠르게 개발되는 새로운 통신 서비스들을 수용하기 위하여 전통적인 포토닉스 기반의 통신 기술과 함께 THz 통신을 위한 핵심소자 및 부품개발에 주력하고 있다. 특히, 포토닉스 기반의 THz 부품은 종래의 포토닉스 기반 유선통신 기술과 자연스럽게 융합할 수 있고, 높은 주파수 대역의 도달과 넓은 대역폭 확보가 용이하여 유·무선이 혼재될 것으로 예상되는 6G 통신을 위한 핵심기술로 떠오르고 있다.

ETRI의 THz 통신 기술은 2000년대 중반부터 시작되었으며, 독자기술의 개발은 2012년 ‘테라헤르츠 창의연구센터’ 발족을 기점으로 본격화하였다. 연구진은 광대역 신호생성이 용이하고 유선망과 직접적인 연동이 가능한 ‘포토닉스 기반의 THz 통신 기술’을 중점적으로 개발하고 있으며, 안정적인 주파수 발생이 가능하고 기존의 통신 기술·방식을 활용할 수 있는 ‘전자소자 기반의 THz 통신 기술’과의 융합을 통해 더욱 발전적인 방향을 모색하고 있다.

우선, 포토닉스 기술을 기반으로 RF 기술을 접목하여 광대역 THz파를 발생시키고, 이를 검출하기 위한 핵심소자를 포함한 다양한 THz 통신용 소자를 독자적인 기술로 개발하고 있다. 아울러, THz 대역에 적합한 렌즈와 안테나 등 수동 광학 부품을 설계·제작하고, 어레이형 모듈과 집적형 모듈 등의 개발을 포함한 THz 통신용 Tx, Rx 연구를 진행 중이다. ETRI는 2010년 광통신 분야에서 이미 안정적으로 성숙한 통신용 반도체 레이저 기술에 주목하여, 0.2~1.5THz까지 광대역의 THz파를 발생시킬 수 있는 THz 연속파 기술을 개



포터블 테라헤르츠 분광시스템



테라헤르츠파이용 자동차 품질검사 스캐너

발하였다. 또한, 이 해에 THz 발생의 소형화와 효율화를 위하여 두 파장의 독립 튜닝이 가능한 반도체 레이저 DML(Dual-Mode Laser, 이중 모드 비팅 광원레이저)를 독자기술로 개발, 원천 특허를 보유하였으며, 다양한 타입의 비팅 광원을 개발하여 기존의 고가의 펄스레이저를 통한 THz파 발생 방식의 단점을 극복하고 연속파 기반의 작고 가벼운 THz파 발생 원천기술을 확보하였다.

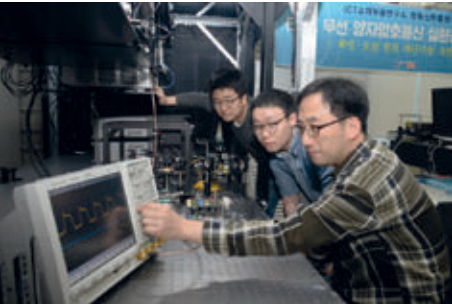
이어서 2011년 이후부터 UTC-PD(Uni-Traveling Carrier Photo Diode)와 LTG(Low-Temperature Grown) 포토믹서, 나노 전극 포토믹서 등의 THz 발생 소자와 SBD(Schottky-Barrier Diode) 검출기, 포토믹서 검출기 등의 THz 검출 소자를 직접 개발·제작함으로써 포토닉스 기반의 THz 송수신의 핵심 부품을 자체 기술로 확보하는데 성공하였으며, 이후 꾸준한 성능 개량을 통하여 매년 핵심 부품의 성능을 고도화하고 있다. 최근에는 포토닉스 소자에 RF 안테나와 도파로 기술을 접목하는 방향으로 진화하여 점차 전자소자로까지 영역을 넓혀가고 있다.

THz 통신용으로는 DML과 UTC-PD 기반의 Tx 모듈과 SBD 기반의 SHM(Sub-Harmonic Mixer) Rx 모듈을 개발 중이며, 고이득 안테나, 빔포밍을 위한 파면 제어 기술 등을 개발하고 있다. 이를 통하여 2018년 2.5Gbps 속도의 THz 무선전송을 시연하였으며, 현재는 2023년까지 100Gbps급 THz 무선통신 기술을 개발하기 위한 부품개발을 수행하고 있다.

6G 시대 핵심기술로 진화

ETRI는 THz 통신 기술을 소재부터 시스템에 이르기까지 하나의 연구팀에서 자체적으로 개발하고 있다. 포토닉스 반도체의 설계와 공정은 물론, 모듈 패키징과 광학계 및 안테나 도파로 등의 수동부품 역시 자체적으로 설계·제작한다. 이러한 개발 시스템은 다양하고 유연한 시도를 통하여 차별적인 기술을 발전시킬 수 있는 기반이 되고 있으며, 산업체의 기술수요에 대해서도 유연하게 대응할 수 있는 강점으로 작용하고 있다.

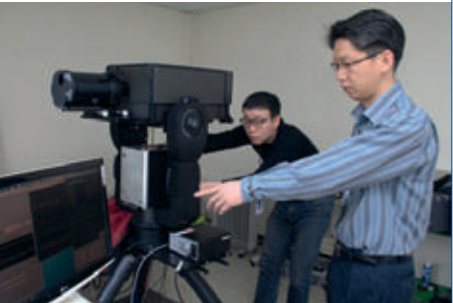
THz 통신 기술은 앞으로 압축 없는 홀로그래ムの 전송, 이동 속도의 제한이 없는 데이터 전송 등 5G 다음 단계의 데이터통신을 가능케 하는 기술로 성장할 전망이다. 이 외에도 높은 신뢰성을 갖는 THz 부품 기술과 THz 데이터 처리 기술을 타 분야에 접목하여, 산업용 비파괴 기술과 보안 기술, 의료용 이미징 기술 등으로 응용 분야를 확대해 나가고자 한다.



무선 양자통신 연구

‘양자암호통신 기술’은 양자의 특성을 이용하여 송수신자 간 무조건적인 안전성을 보장하는 기술이며, ‘양자 센서 · 계측 기술’은 전자기장, 중력, 빛 등의 영향에 따른 초미세 양자 상태 변화를 이용하여 초정밀 계측을 가능케 하는 기술로, 측정 정밀도나 민감도 등을 현재보다 대폭 증가시킬 수 있다. 또한, ‘양자컴퓨팅 기술’은 양자 상태의 중첩성과 얽힘 현상을 이용하여 양자비트(qubit, 큐비트)를 기반으로 초고속 · 대용량 연산을 가능케 하는 기술이다. ETRI는 2005년 국내 최초로 25km 유선 양자키분배 기술을 시연한 것을 시작으로, 얽힘 광원, 단일광자검출기, 양자 난수 발생기 등 양자암호통신 핵심 요소기술들을 연구하고 있다. 2015년부터 본격적으로 무선 양자암호통신 기술개발에 뛰어들어, 2017년에 ‘집적형 4편광 분할 · 결합기 칩 및 모듈’을 개발하고, 2018년에는 국내 최초로 300m의 거리에서 태양광이 강한 낮의 실환경에서도 안정적으로 무선 양자암호통신이 가능함을 증명하였다. 이어서 2019년부터 근거리 이동형 양자암호통신을 위한 소형 이동형 무선 양자키분배 송수신부 기술을, 2020년부터는 초소형 유선 양자키분배 양자채널 송수신부 집적화칩 및 모듈 기술을 개발 중이다.

한편, 양자컴퓨팅 기술연구도 2010년대 중반부터 시작하였다. 2015년부터 양자컴퓨터 연구를 보다 효과적으로 수행하기 위한 양자 컴파일 및 가상 양자머신 기술을 개발하고, 반도체 양자점 기반의 양자컴퓨팅 플랫폼을 구축하고 있다. 아울러, 양자컴퓨터의 여러 구성요소(컴파일러, 시스템 합성기, 빌딩블록 합성기 등) 기술, 이러한 구성요소들을 최적 설계 · 분석 · 평가하는 기술, 양자적 특성을 갖는 구성요소의 기능 · 성능을 검증하는 기술 그리고 설계 · 분석 · 평가 · 검증하는 과정에서의 접근 용이성을 위한 시각화 기술 등도 개발 중이다. 이러한 기술적 기반 위에서 2017년부터 본격적으로 양자 광집적회로 기술개발에 나서, 양자 광원과 양자 신호 검출기, 양자 게이트 소자 등의 개발에 속도를 내고 있다.



양자암호통신 100미터 성공



4-8-1. 양자암호통신

무조건적인 안전성 보장하는 양자암호통신

정보화 사회가 고도화됨에 따라 점차 통신 보안의 중요성이 커지고 있다. 그러나 RSA 알고리즘 같은 현재의 암호들은 소인수분해로 풀 수 있어 성능이 좋은 양자컴퓨터가 나오면 무용지물이 된다. 이에 따라 세계 각국은 자연의 양자 물리학적 현상을 이용하여 무조건적인 안전성을 보장하는 양자암호통신 기술개발에 큰 노력을 기울이고 있다.

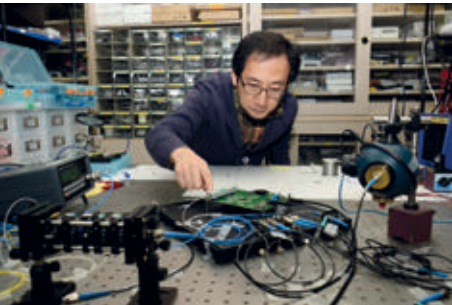
주간 300m 무선 양자키분배 실험 성공

ETRI는 2005년 국내 최초로 실험실에서 25km 광섬유를 이용한 유선 양자키분배 기술을 시연한 것을 시작으로, 지금까지 얽힘광원, 단일광자 검출기, 양자 난수 발생기<sup>185)</sup> 등 양자암호통신 요소기술 연구를 지속하고 있다.

2015년에는 ETRI 내부 사업으로 ‘편광 변조 기반의 무선 양자암호통신 송수신부 핵심 부품 및 시스템 제어 선행기술개발’ 과제를 통해 무선 양자암호통신 기술개발을 시작하였다. 이를 통해 3년간 무선 양자키분배용 핵심 부품 및 제어 기술, 단일광자를 정확하게 송수신하는 데 필요한 초정밀 광정렬 기술, 광잡음을 제거하여 주간 환경에서도 양자암호키의 생성을 가능케 하는 초고수준 잡음 제거 기술 등을 확보하였다.

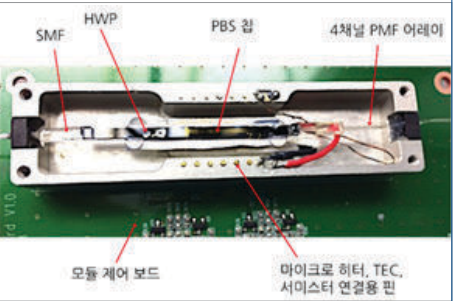
연구진은 이 기술들을 활용하여 양자암호통신에 필요한 네 종류의 편광을 분리하거나 합치는 ‘집적형 4편광 분할·결합기 칩 및 모듈’을 개발하였다. 양자암호통신에서는 신호로 사용되는 광자의 편광 빛이 완벽히 같은 경로로 이동하도록 정렬하는 것이 매우 중요하다. 연구진은 개별 광부품을 잘 정렬하여 사용하는 일반적인 방법 대신, 평판형 광도파로 기술을 이용하여 2018년 4편광 분할·결합기 칩을 세계 최초로 설계 및 제작하여 양자암호통신에 적용하는 데 성공하였다. 아울러, 단일광자 수준의 펄스를 발생시키는 ‘양자통신용 광원 모듈’과 785nm 파장 대역 단일광자를 수신할 수 있는 ‘실리콘 APD(Avalanche PhotoDiode) 기반 단일광자 검출기 모듈’ 등의 핵심부품을 개발하였다.

2018년에는 자체 제작한 모듈로 구성된 송수신부 테스트베드를 ETRI의 두 건물에 각각 설치하여 무선 양자키분배 실험을 성공적으로 시연하였다. 낮에는 외부에서 들어오는 빛이 잡음으로 작용하여 통신이 어렵다는 점을 고려하여, 공간적, 시간적, 스펙트럼 세 영역에서 광잡음 차지감 기술을 동시에 적용하였다. 그 결과, 햇빛이 내리쬐는 환경에서도 300m 떨어진



양자암호통신 연구

185) 양자 난수 발생기: 양자 역학의 특성을 이용하여 난수를 만들어내는 장치 또는 알고리즘을 말한다.



세계 최초의 무선 양자통신용 4×1 편광부호화 집적화 칩 및 모듈

186) Global Quantum Cryptography Market 2019

어진 송수신부 간에 안정적인 무선 양자암호통신이 가능함을 증명하였다. 현재는 장거리 전송을 위한 기반기술을 연구하고 있다. 또한, 송수신부의 구성에 더욱 많은 광집적회로 기술을 적용하여 안정성, 소형화, 양산성 측면에서도 큰 개선을 이루고자 한다.

양자암호통신 산업발전의 토대 마련

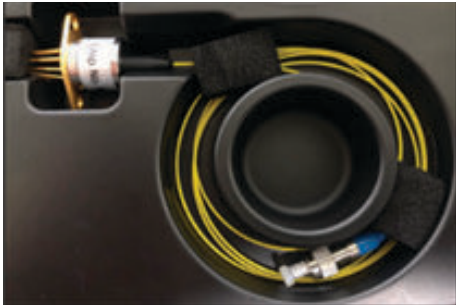
양자암호통신 시장은 ICT 기술의 비약적인 발전과 양자컴퓨터 구현 가시화 움직임에 따라 향후 크게 성장할 것으로 전망된다. 해외의 시장 동향보고서<sup>186)</sup>에 의하면 2021년 글로벌 양자암호통신 시장은 약 1조 3천억 원 규모에 이를 것으로 예상된다. 이 중에서 양자암호통신 및 부품 시장은 상당한 부분을 차지할 것이다. 구체적으로, ATM기와 모바일 단말기 간의 단거리 양자암호통신과 드론, 국방 통신, 스마트 자동차, 해상 통신과 같은 수 km 이내의 단·중거리 양자암호통신, 그리고 인공위성을 이용한 수천 km 이상의 초장거리 양자암호통신 시장을 형성할 것이다. 이에 따라, ETRI가 개발한 관련 기술들은 산업적 가치가 매우 클 것으로 보인다.

ETRI는 본 과제의 후속으로 무선 양자암호통신 기술을 이동체에 적용하는 ‘근거리 저속 이동형 양자암호통신을 위한 편광기반 무선 양자키분배 송수신부 집적화 모듈 기술개발’ 과제를 2019년부터 수행하고 있다. 아울러, 2020년부터는 광섬유 기반의 유선 양자암호통신 과제로 ‘초소형 유선 양자키분배 양자채널 송수신부 집적화칩 및 모듈 기술개발’ 사업을 추진 중이다.

초고감도 단일광자 검출 가능한 단일광자검출기

양자정보 및 양자암호통신에는 극도로 미약한 신호인 단일광자를 검출할 수 있는 초고감도 단일광자검출기 소자가 요구된다. 단일광자검출기에는 광전증배관, 가이거 모드 애벌런치 포토다이오드(APD; Avalanche PhotoDiode) 기반 단일광자검출기, 초전도 나노와이어 단일광자검출기 등 여러 종류가 있다. 양자암호통신에서는 1.55μm 광통신 파장 대역에서 단일광자 검출이 가능한 InGaAs/InP APD 단일광자검출기와 초전도 나노와이어 단일광자검출기가 주로 연구되고 있다.

ETRI는 2005년부터 유선 양자암호통신 시스템 기술과 함께 유선 양자암호통신 수신부의 핵심 요소기술인 InGaAs/InP APD 기반 단일광자검출기 성능 측정 및 평가 기술, 고속



InGaAs/InP 단일광자검출기 광모듈

단일광자검출기 모듈 제작 및 회로기술 연구를 수행해 왔다. 그리고 2015년부터 가이저 모드 InGaAs/InP APD 칩 자체의 에피 구조 및 특성 연구로 연구 영역을 확대하였다. ETRI는 이미 1990년대부터 광검출기 기술을 개발하여 통신용 및 센서용 2.5Gbps, 10Gbps, 20Gbps 애벌런치 광검출기와 3차원 레이저 레이다용 APD 어레이 소자 기술을 확보한 바 있다. 연구진은 이러한 통신 및 센서용 선형 모드 APD 설계 · 제작 · 측정 기술을 토대로 1.55 $\mu$ m 광통신 파장 대역에서 단일광자 검출이 가능한 ‘InGaAs/InP APD 단일광자 검출기’ 연구를 중점적으로 추진하고 있다. 또한, 무선 양자암호통신을 위해 0.7 $\mu$ m 파장 대역에서 검출이 가능한 ‘실리콘 APD 단일광자검출기’ 기술도 연구하고 있다.

특히, 단일광자검출기의 광자 검출효율을 높이고 암전류 특성 등을 고려한 최적의 조건을 확보하기 위해 DBR<sup>187)</sup>을 이용하여 내부 반사율을 증가시키는 방법을 개발하고 있으며, 에피 구조 최적화 등 에피 성장 및 소자 제작 공정의 최적화를 진행하고 있다.

### 양자정보 분야의 핵심기술

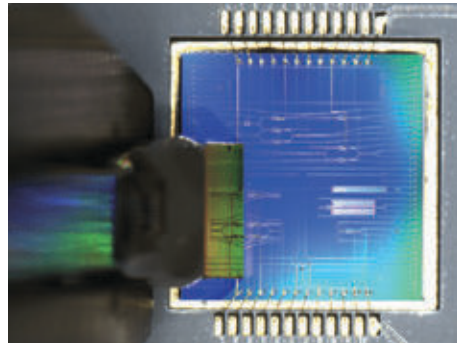
앞으로 단일광자검출기는 양자정보 분야의 핵심기술로써 양자컴퓨터와 양자암호통신 기술뿐만 아니라 자율주행차량, 레이저 레이다, 바이오 등 여러 분야에 적용이 가능할 것으로 보인다. 이 분야들의 시장 성장률이 높다는 것을 고려할 때, 핵심 기술인 단일광자검출기 기술은 성장성이 매우 뛰어나갈 것으로 전망된다. ETRI는 2019년부터 근거리 저속 이동형 양자암호통신을 위한 편광기반 무선 양자키분배 송수신부 집적화 모듈 기술과 2020년부터 초소형 유선 양자키분배 양자채널 송수신부 집적화칩 및 모듈에 적용할 어레이형 단일광자검출기 개발을 새롭게 진행하고 있다.

## 4-8-2 양자컴퓨터

### 양자 광집적회로 원천기술 확보에 돌입

양자컴퓨터 개발을 위해서 그동안 전자의 상태를 이용하는 초전도와 이온트랩 그리고 만물의 근원인 광자(빛)를 이용하는 광자회로 기술이 시도되어왔다. 아직 어느 기술이 더 실용적으로 양자컴퓨터를 구현할 수 있는지는 알 수 없으나, 광자의 경우에는 전자와 달리

187) DBR(Distributed Bragg Reflector, 분산브래그반사기): DBR 쌍의 수를 늘리면 거울 반사율이 증가하고, Bragg 쌍의 재료 사이 굴절률 대비가 증가하면 반사율과 대역폭이 모두 증가한다.



양자 광원소자 및 광집적회로 개발

188) Qubit(Quantum bit): 양자컴퓨터의 최소 연산 단위이다. 고전컴퓨터와는 달리 0 또는 1의 중첩 상태를 가질 수 있으며, n 개의 큐비트는 2<sup>n</sup> 개의 고전 비트에 대응되는 정보를 가질 수 있다.

189) SK growth(Stranski-Krastanov growth): 반도체 결정성장 방식 중 하나로, 일반적으로 반도체 양자점을 얻을 때 사용된다.

190) SAG(Selective Area Growth): 패터닝 리소그래피 공정과 병행한 성장 방법으로 원하는 위치에 반도체를 성장할 때 사용된다.

주변 온도, 진동, 전파 등에 간섭받지 않고 양자 상태를 유지할 수 있다는 큰 장점이 있다. 다만, 전자회로의 트랜지스터처럼 양자컴퓨터 회로도 큐비트<sup>188)</sup>들이 상호작용하여 연산을 수행하는 양자 게이트(CNOT) 소자가 필요한데, 광자는 이 소자를 구현하는 것이 전자회로에 비해 상대적으로 어렵다.

ETRI는 2017년부터 ‘양자 광집적회로 원천기술 연구’ 과제를 통해 광자를 이용한 양자컴퓨터 연구를 본격적으로 시작하였다. 확장형 양자 광집적회로 원천기술을 확보하여 양자컴퓨터 선도국가에 진입하는 것을 목표로, 단일광자광원, 단일광자검출기 그리고 큐비트 연산을 위한 광자 큐비트 게이트 소자 등을 연구하고 있다.

### 단일광자광원 개발

ETRI는 2000년대 초반 반도체 양자점 레이저 과제를 수행하고, 이때 쌓은 기술력을 토대로 2011년 ‘저밀도 InAs 양자점 에피 성장기술’을 확보한 바 있다. 이러한 기술적 기반 위에서 2017년부터 ‘양자 광집적회로 원천기술 연구’ 과제를, 2019년부터는 ‘근거리 저속 이동형 양자암호통신을 위한 편광기반 무선 양자키분배 송수신부 집적화 모듈 기술’ 과제를 수행하며 반도체 양자점 기반 단일광자광원을 연구하고 있다. 또한, 최근에는 ‘양자센서의 고신뢰도 동작을 위한 양자광원 기술개발’ 과제와 ‘광섬유 · 집적 광학 회로와 결합된 확정적 양자 광소자 개발’ 과제를 통해 양자센서 응용을 위한 반도체 양자점 기반 단일광자광원 및 얽힘광원 개발을 추진하고 있다.

ETRI의 단일광자광원 연구는 오랜 시간 자체적으로 쌓아온 반도체 기술 및 인프라를 토대로 빠르게 진화하고 있다. 또한, 다양한 분야의 연구원들이 에피 성장부터 공정, 측정에 이르는 전 연구 과정을 협력하여 진행함으로써 시너지 효과를 창출하고 있다.

연구 결과, 연구진은 InAs/InP 양자점을 이용하여 1,300nm에서 1,600nm에 이르는 광통신 파장 대역 단일광자광원을 확인하였다. 또한, 무작위로 형성되는 반도체 양자점의 위치 제어를 위해 기존의 SK growth<sup>189)</sup> 방식 대신 도전적으로 SAG<sup>190)</sup> 방식을 도입하였으며, 이를 통해 패턴된 위치에만 국소적으로 InAs 양자점을 형성시키는 기술을 개발하였다. 아울러, 생성된 양자점을 광섬유나 광회로에 고효율로 접속시키기 위해 나노광학 구조와 광회로를 결합하는 구조를 새롭게 제안하고, 기존에 시도해보지 않은 micro transfer 기술을 도입하였다. 특히, 피에조 물질과 나노광학 구조를 결합한 고효율의 얽힘광원 소자 제작은 세계 최초로 시도되는 것이다.

이러한 노력을 통해 ETRI는 화합물반도체 양자점 에피 기술, 단일광자광원의 고효율 집속을 위한 나노광학 구조 설계 기술, 나노 공정 기술 등을 확보하였다. 특히, 양자점 기반

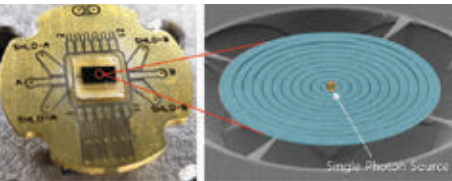


단일광자광원의 집속 효율을 벌크 광학계에서는 90% 이상, 광섬유에서도 66%까지 확보할 수 있게 되었다.

개발된 단일광자광원이 실제로 적용되면 양자암호통신의 보안성과 효율성이 현저히 개선될 것이다. 또한, 양자이미징과 분광 등 양자 센서 기술은 고전 계측 기술의 한계를 뛰어넘어, 고분해능 이미징, 고감도 이미징, 고스트 이미징 등 새로운 패러다임의 양자 계측을 가능케 할 것으로 보인다.

양자 게이트 소자 개발

ETRI는 자체적으로 2000년대 중반부터 축적해 온 실리콘 포토닉스<sup>191)</sup> 기술을 토대로 양자 게이트 소자를 개발하고 있다. 양자컴퓨터의 연산을 위해서는 전자회로의 트랜지스터처럼 하나의 광자 큐비트가 다른 큐비트에 작용하여 큐비트의 상태를 조절하는 게이트 소자가 필요하다. 이에 연구진은 실리콘 포토닉스 칩 상에 가해지는 전류에 따라서 큐비트의 위상(phase)을 조절하는 양자 게이트 소자를 구현하였다. 현재 ETRI의 기술은 단일 및 이중 큐비트 연산 양자 게이트의 제작 · 검증까지 가능한 수준이다.



단일광자광원 나노 광학 구조물 및 단일광자광원 칩

양자컴퓨팅 관련 기술의 급속한 발전

양자컴퓨팅은 1994년 현대 암호의 기반 문제인 큰 수의 소인수분해를 빠르게 수행할 수 있는 Shor의 알고리즘이 알려지면서 유명해졌지만, 아직 양자 알고리즘을 실행할 수 있는 양자컴퓨터는 만들어지지 않았다. 그러나 최근 양자 칩 관련 기술과 양자컴퓨터를 만드는 데 필요한 여러 요소기술이 빠른 속도로 발전하고 있다. 그중 하나로 ETRI는 양자컴퓨터 연구를 보다 효과적으로 수행할 수 있는 가상 양자머신(이하 가상머신) 기반의 양자컴퓨팅 기술<sup>192)</sup>을 개발하고 있다. 이는 현재의 디지털 컴퓨터를 이용하여 양자컴퓨팅을 시뮬레이션하는 기술이다.

가상머신 기반 양자컴퓨팅 기술 독자 개발

ETRI는 2015년부터 2019년까지 기관 고유사업으로 ‘양자컴퓨팅 플랫폼 및 비용 효율성 향상에 대한 연구개발’ 과제를 통해 양자 컴파일 및 가상머신 개발을 수행하였다. 과제의 목표는 효율적인 양자컴퓨팅을 위한 핵심 요소로 컴파일러, 가상머신, 시스템 합성, 운영

체제, 빌딩블록 및 양자점 큐빗 등의 기술을 개발하는 것이었다.

양자컴퓨터 개발을 위해서는 우선 양자 알고리즘을 프로그래밍하는 과정이 필요하며, 이를 양자컴퓨팅의 기본적인 게이트들로 분해하여 표현하는 양자 컴파일 과정이 필요하다. 이 과정에서 양자컴퓨팅 필요 자원은 한 차례 급증한다. 또한, 오류에 민감한 양자 상태를 이용하는 양자컴퓨팅에서 유용한 대규모의 양자 알고리즘을 실행하기 위해서는 결합허용 양자컴퓨팅 기술이 필요한데, 이를 적용하면 필요 양자컴퓨팅 자원이 아주 많이 증가하기 때문에 이를 줄일 방안이 절실하였다.

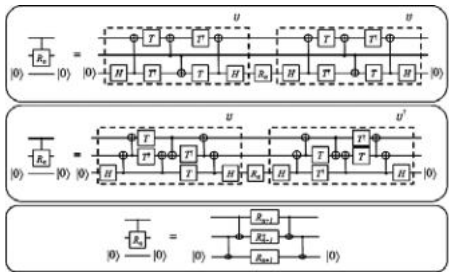
이에 ETRI는 필요 컴퓨팅 자원을 줄이기 위해 조건부 회전 게이트(Controlled-Rn)라는 기본적인 양자 연산에 대해 세 가지 효율적인 컴파일 방법을 개발하였다. 이 방법들을 적용하면 오류보정에 들어가는 부하량이 크게 줄어 양자컴퓨터의 성능 동작을 빨라지게 할 수 있다. ETRI는 본 기술의 핵심 내용에 관한 특허를 2019년 미국에 등록하였고, 사이언티픽 리포트(Scientific Reports) 저널에도 게재하였다.

한편, 가상머신 기술도 개발하였다. 이는 주어진 양자 어셈블리 코드를 비트 기반 컴퓨터로 전산 모사하는 기술이다. 슈퍼컴퓨터를 이용하지 않는 일반적인 가상머신은 30큐빗 수준이나, 이를 40큐빗 수준으로 끌어올렸고 계속해서 확장 및 고속화하고 있다. 또한, 단순한 양자회로 시뮬레이션 수준을 넘어 실제 양자컴퓨터에 가깝게 모델링할 수 있도록 가상머신 구조를 개선하고 있다.

ETRI는 오류보정 시간을 크게 줄인 양자 컴파일 방법들과 가상머신 기술을 결합하여 자체적으로 ‘가상머신 기반의 양자컴퓨팅 기술’을 구현하였다. 또한, 양자 합성기, 양자 운영체제, 결합허용 처리기 등 양자컴퓨팅 구성요소를 개발하여, 이를 가상머신 기반 양자컴퓨팅에 적용하고 있다. 향후 양자 칩만 결합하면 양자컴퓨터를 구현할 수 있도록, 필요한 기술 기반을 마련해 나가는 중이다.

세계 양자컴퓨팅 시장은 연평균 31.5% 성장하여 2023년에는 64억 달러에 달할 것으로 보인다. 이러한 거대 시장에서 ETRI가 개발한 ‘가상머신 기반의 양자컴퓨팅 기술’은 세계적인 경쟁력을 가질 것으로 전망되며, 향후 양자 칩 기반의 양자컴퓨팅으로 나아가는 발판이 될 것으로 보인다.

ETRI는 본 과제의 후속으로 2019년부터 2028년까지 ‘양자컴퓨팅 시스템 기술의 고도화 및 차세대 양자컴퓨팅 시스템 기술개발’ 과제를 수행하고 있다.



ETRI가 고안한 조건부 회전 게이트 회로도

191) 실리콘 포토닉스: 현재 케이블에 주로 이용되는 구리선 대신 실리콘 광집적회로 기반으로 데이터를 주고받는 기술이다. 속도가 빠르고, 전력소모량이 적은 것이 특징이다.

192) 가상 양자머신 기반의 양자컴퓨팅 기술: 현재의 디지털 컴퓨터를 이용하여 양자컴퓨팅을 시뮬레이션하는 기술이다.

40년 축적한 반도체 기술력 양자컴퓨팅에 접목

ETRI는 1980년대부터 축적해 온 세계 최고의 반도체 기술 역량을 양자컴퓨팅 분야에 적용하여, 2015년부터 기관 고유사업으로 '반도체 양자점 기반의 양자컴퓨팅 플랫폼 구축'을 추진하고 있다. 반도체 양자점은 집적도 측면에 장점이 커 향후 결합허용 양자컴퓨팅을 수행할 수 있는 플랫폼 중 하나로 평가된다.

이후로 2019년 과학기술정보통신부가 5년간 445억 원을 투자하는 「양자컴퓨팅 기술개발 사업 추진계획」을 발표하고, 집중 투자기술 가운데 하나로 '반도체 양자점 기반 양자컴퓨팅'을 선정하면서 관련 기술개발에 더욱 힘이 실리게 되었다. ETRI는 현재 한국연구재단의 '양자컴퓨팅 기술개발' 과제를 통해 서울대, 부산대, 전북대, 광주과학기술원 등 공동연구기관들과 함께 '반도체 맞춤형 양자컴퓨팅 플랫폼'을 제작하고 있다. 이를 위해 반도체 양자점 맞춤형 양자 회로 분석, 다중 양자칩 간 연결성 분석, 신속 정확한 반도체 양자점 큐비트의 제어 등을 연구하는 중이다.

반도체 맞춤형 양자컴퓨팅 플랫폼 개발에 도전

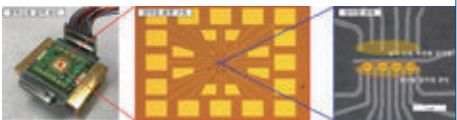
ETRI는 2015년부터 게이트 기반의 반도체 양자점을 설계·제작·측정하는 연구를 추진하고 있다. 축적된 양자 기술의 교류 및 고순도 시료의 확보를 위해 2016년부터 일본 이화학연구소(RIKEN)와 협력하고 있다. 이화학연구소는 세계적인 수준의 반도체 양자점 기술을 보유한 기관이다. 2018년부터는 국제 공동연구사업을 통해 반도체 양자점 기반의 큐비트 제작 및 활용에 관한 협업연구를 추진하는 중이다.

ETRI는 현재 양자점 배열로 4개의 큐비트로 사용 가능한 양자점을 설계한 상태이다. 이를 Si와 GaAs 기반의 반도체 기판을 이용하여 시험하고 있으며, 큐비트로 활용 가능한 단일 전자를 양자점에 포획하고 측정하는 기술력도 이미 확보하였다. 2020년에는 큐비트의 제어 환경 구축을 위해 소자의 물리적 온도를 10mK 이하까지 떨어뜨릴 수 있는 냉각기를 도입하였다. 이를 기반으로 약 10GHz 대역에서 나노 초 단위로 큐비트를 제어할 수 있는 저잡음 신호선로를 구축하고 있으며, 최대 10개의 큐비트 사용이 가능한 양자컴퓨팅 시스템을 연말까지 구축 완료할 예정이다.

이러한 연구를 통해 ETRI는 양자점 큐비트, 초전도 큐비트 등 다양한 양자 칩 구동이 가능한 '반도체 양자점 기반 개방형 양자컴퓨팅 플랫폼'을 구축 중이다. 이 플랫폼을 활용하면 큐비트 수준의 게이트 오류 분석 및 허용 계산 시간뿐만 아니라, 소자의 허용 연산에 맞추어 양



양자컴퓨팅 SW 핵심기술 시연



4개의 양자점 큐비트의 양자신호 입력보드(좌), 양자칩 표면구조(중), 양자점 큐비트(우)

193) 양자 우월성(quantum supremacy): 양자컴퓨터가 기존 디지털 컴퓨터의 성능을 일부 넘어서는 것을 말한다.

자 알고리즘을 구현하도록 양자 게이트 분해 및 최적 배치를 수행할 수 있다. 또한, 큐비트가 수행하는 양자 게이트 연산을 10억분의 1초 내지는 1조 분의 1초 단위로 제어하여, 오류가 적고 신속한 양자 계산이 가능하다. 아울러, 대규모 양자컴퓨팅을 수행하는 측면에서는 다수의 극저온 제어 신호선과 넓은 대역폭을 갖춘 것은 물론, 결합허용 양자컴퓨팅을 수행할 수 있도록 양자컴퓨팅 측정결과에 따른 신호 인가도 가능하다. 이러한 통합형 양자컴퓨팅 플랫폼 개발은 국내 양자컴퓨팅 산업의 기반을 조성하고 질적·양적 성장을 촉진할 것으로 기대된다.

4차 산업혁명 주도할 양자컴퓨팅

양자컴퓨팅은 기존의 컴퓨팅 시스템이 보조하여 운행되는 형태로 개발되고 있다. 따라서, 기존 CMOS 체계의 시스템과 다양한 기능이 탑재된 반도체 큐비트의 집적화 기술이 실현될 경우, 양자컴퓨팅 관련 알고리즘과 SW는 다수의 산업에 광범위하게 활용될 것으로 전망된다. 또한, 4차 산업혁명을 주도하면서 새로운 산업군을 창출할 가능성도 크다.

ETRI는 앞으로 반도체 맞춤형 양자컴퓨팅 플랫폼 개발과 함께 2021년 8큐비트, 2024년 16큐비트 등 국내 최고 수준의 양자 칩 개발에도 주력할 계획이다.

양자컴퓨터 최적화를 위한 기술개발에 돌입

IBM과 구글 등 거대 ICT 기업을 중심으로 양자 우월성(quantum supremacy)<sup>193)</sup>을 구현하기 위한 노력이 경쟁적으로 진행되고 있다. 하지만 현재까지 개발된 양자컴퓨팅 시스템은 수십 큐비트 수준의 규모로 유의미한 계산 난제를 해결하기에는 턱없이 부족한 상황이다. 반면, 대중은 양자컴퓨팅이 머지않은 시기에 실생활 문제를 해결할 수 있기를 기대하고 있다.

양자컴퓨팅 HW의 규모를 확장하기 위해서는 여전히 많은 투자와 노력이 필요하다. 여기에는 양자컴퓨터의 여러 구성요소(킴파일러, 시스템 합성기, 빌딩블록 합성기 등) 기술, 이러한 구성요소들을 최적 설계·분석·평가하는 기술, 양자적 특성을 갖는 구성요소의 기능·성능을 검증하는 기술 그리고 설계·분석·평가·검증하는 과정에서의 접근 용이성을 위한 시각화 기술 등이 요구된다. 이에 ETRI는 2015년부터 관련 연구들을 진행하고 있다.



양자컴퓨팅 시스템 설계 · 분석 · 평가 · 검증 · 시각화 기술개발

‘양자컴퓨팅 시스템 설계 · 분석 · 평가 기술’은 특정 양자 알고리즘을 실행하기 위해 요구되는 양자컴퓨팅 시스템의 양자 자원량(양자 게이트 및 물리 큐비트의 양)을 분석하고, 해당 자원량을 투입할 때 예상되는 양자컴퓨팅의 성능(양자컴퓨팅 소요시간 등)을 분석하는 기술이다. 이를 통해 양자컴퓨팅의 성능 향상을 위해서 중점적으로 해결해야 할 기술적 난제를 사전에 파악할 수 있다.

ETRI는 양자컴퓨터의 일부 구성요소를 결합하여 본 기술을 개발하였다. 기존의 성능 분석 기술들이 양자컴퓨팅 성능 분석에 통계적으로 접근한 것과 달리, ETRI가 개발한 기술은 실제 양자컴퓨팅 구동 상황을 반영하는 방식으로써 기존 기술보다 정밀도 측면에서 우수하다. 또한, 대상의 규모를 소규모 NISQ에 한정하지 않고, 대규모 시스템까지 확장하여 연구개발을 진행하였다. 대규모 시스템에 대한 ETRI의 양자컴퓨팅 시스템 설계 · 분석 · 평가 기술은 현재 세계 최고 수준의 정확성을 확보한 것으로 평가된다.

‘양자컴퓨팅 개별 구성요소 검증 기술’은 개발된 구성요소들의 기능과 성능이 원하는 목표 수준을 달성하고 있는지를 확인하는 기술이다. ETRI의 검증 기술개발은 아직 초기 단계이다. HW 성능 검증 기술은 기존에 제시된 기술을 자체적으로 구현하고 성능을 검증하는 수준이며, SW 성능 검증 기술은 컴파일 기술, 시스템 합성 기술을 검증할 수 있는 기술을 자체 개발한 상태이다. ETRI는 이러한 결과를 토대로 앞으로 지속해서 기술고도화를 진행할 계획이다.

‘양자컴퓨팅 시각화 기술’은 사용자에게 양자컴퓨팅을 구성하는 요소들에 대해 시각적으로 유용한 정보를 제공하도록 개발된 기술이다. 이를 통해 대규모 양자컴퓨팅 시스템의 설계 · 구동 · 평가 · 검증 과정에 직관적으로 접근할 수 있다. 현재 ETRI는 소규모 양자 회로를 단순 도시하는 수준을 넘어, 대규모 양자 회로를 효과적 및 효율적으로 시각화하는 기술을 구현하고 있다. 또한, 양자 회로뿐만 아니라 양자컴퓨팅 연구의 다양한 과정에 시각화 기술이 적용되도록 연구를 진행하고 있다. 관련 기술개발은 현재 국내에서 ETRI가 유일하게 선도적으로 추진 중이다.

양자컴퓨터 기술 가속화를 위한 기반 마련

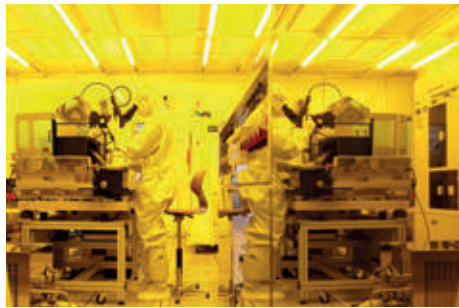
개발된 기술들은 양자컴퓨터 기술을 실제 활용 가능한 수준으로 고도화하는 데 중요한 역할을 할 것이다. 먼저, 양자컴퓨팅 시스템의 설계 · 분석 · 평가 기술을 이용한 사전 성능 분석을 통해 대규모 양자컴퓨팅 시스템의 여러 성능 병목 지점들을 선제적으로 파악 및 해결하는 것이 가능하다. 또한, 개별 구성요소 검증 기술을 통해 양자컴퓨팅의 각 부분을 정확

히 평가하여 이를 토대로 효과적으로 기술고도화를 진행할 수 있으며, 양자컴퓨팅 시각화 기술은 연구자와 대중이 양자컴퓨팅 시스템에 쉽게 접근할 수 있도록 해준다. 이러한 기술들은 양자컴퓨팅 산업을 활성화하고 시장을 키우는 데 큰 도움이 될 것이다.

ETRI는 후속과제로 2028년까지 ‘결합허용 양자컴퓨팅 시스템 프로그래밍, 구동, 검증 및 구현을 위한 요소기술개발’을 추진하고 있다.



양자컴퓨팅 시스템 설계/분석/평가/검증/시각화 기술의 발전



ETRI 반도체 랩

## 반도체

ETRI는 지난 45년간 대한민국의 반도체 신화를 만들어왔다. 앞으로도 저전력 고성능 인공지능프로세서 기술, 임플란터블 능동소자를 위한 생체신호 처리 기술, 반영구적 베타 전지 모듈 및 베타 소스를 이용한 특수 암호 칩 기술, 이차원 반도체 기술, 전력반도체 기술, MIT 소자 대량생산 기술 등 다분야의 반도체 기술을 지속해서 고도화해 나갈 것이다. 특히, 인공지능프로세서(‘인공두뇌’,AB)의 경우, 개발된 40테라플롭스급인 AB9을 더욱 발전시켜 2024년까지 세계 최초로 칩당 1페타플롭스, 즉, 초당  $1 \times 10^{15}$  연산이 가능한 ABK 인공지능 프로세서를 개발할 예정이며, 이는 국가적으로 엑사스케일( $10^{18}$ )급 AI 슈퍼컴퓨터를 위한 이정표가 될 것이다. 또한, 시장요구에 따라 강화 학습, 비지도 학습, 온칩 학습이 가능한 이동 및 예지용 저전력 인공지능프로세서 등 다양한 사용 환경에 적합한 인공지능프로세서를 개발하여 국내 인공지능 기업들이 글로벌 시장을 선점할 수 있는 기반을 마련하고자 한다. 이러한 노력을 통해 미래반도체 기술 · 산업의 글로벌 주도권을 확보함으로써 국가 발전에 기여할 것이다.

## 디스플레이

ETRI의 디스플레이 기술은 평판 그 이상의 디스플레이에서, 디스플레이를 넘어서는 미래 디스플레이로 진화하고 있다. 플렉시블 · 스트레처블 전자회로 기술은 압력 · 촉각센서 어레이, 광센서, 진동 소자, 뇌신경 인터페이스 기술 등과 결합하여 기존의 시각 디스플레이를 뛰어넘는 감각 디스플레이 분야로 확장되고 있다. 또한, 초실감 홀로그래픽 디스플레이 기술은 계속해서 기술고도화를 추진하는 동시에 공간 · 촉각 기술과 결합하여 새로운 UI/UX를 제공하는 비접촉 인터랙션 기술로 진화하고 있다.

아울러, 시각을 만족시키는 것을 넘어 촉감 · 오감을 느끼게 해주고 사람의 생체신호까지 인지하게 해주는 디스플레이 개발에도 주력하여, 촉각 · 후각 · 감성을 만족시키는 ‘홀로그램 오감 디바이스 기술’과 생체인식 기능으로 편의성 · 보안성이 극대화된 ‘지능형 보안 초신뢰 디바이스 기술’ 등을 선제적으로 개발할 계획이다. 이러한 도전을 통해 앞으로도 ETRI는 우리나라가 디스플레이 산업 부동의 세계 1위 국가로 굳건히 자리매김하는 데 기여하고자 한다.

## 에너지

4차 산업혁명 시대를 맞아 앞으로 IoT 시스템과 디지털 헬스케어 기기 등은 계속해서 빠르게 증가할 것으로 보인다. 또한, 신재생에너지 등 친환경 정보전원에 대한 요구도 지속적으로 늘어날 것이다.

ETRI는 이러한 요구에 발맞춰 그동안 개발한 고효율 박막 태양전지, 체열 에너지 변환 기술 등을 다양한 분야로 확산하는 데 주력할 계획이다. 또한, 에너지 저장 성능의 향상뿐만 아니라 에너지 생성(태양전지 등), 에너지 변환(연료전지, 수소전지 등), 에너지 저장(이차전지) 시스템을 계통적으로 관리할 수 있는 에너지 생태계를 확보하여 에너지 산업 전반의 지속성장성을 강화해나가고자 한다.

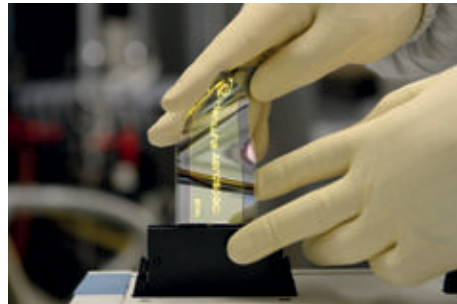
## 센서/액추에이터

우리나라의 센서 및 액추에이터 산업은 중소기업 위주로, 아직은 글로벌 기업과의 경쟁에서 힘에 부치는 실정이다. ETRI는 국내 중소기업이 신제품 개발로 이러한 상황을 극복할 수 있도록 앞으로도 센서 및 액추에이터 분야 신기술을 지속해서 연구하고, 이를 상용화하기 위한 노력도 꾸준히 이어갈 것이다.

특히, 최근 지능정보사회의 도래로 무수히 많은 IoT 디바이스가 필요해짐에 따라, 기존의 초소형 · 저전력 센서를 넘어 출력신호의 디지털화를 바탕으로 MCU(Micro Controller Unit) 및 SW를 도입한 지능형 센서 개발에 주력할 계획이다. 또한, 액추에이터 기술은 소형화 · 저전력화 · 고효율화 · 고출력화를 가속하는 한편, 나노 기술을 적극적으로 도입하여 기존 기술의 한계를 극복하고자 한다. 이러한 노력을 통해 국내 중소기업이 글로벌 시장에서 경쟁 우위를 확보할 수 있도록 최선을 다할 것이다.

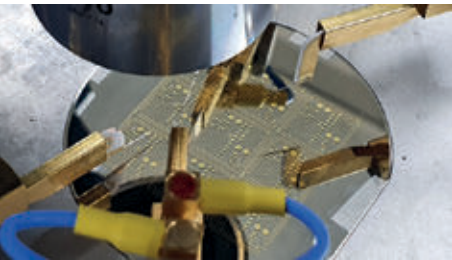
## 광

글로벌 IP 트래픽은 2017년 연간 1.5ZB에서 연평균 26%씩 증가하여 2022년에는 4.8ZB에 도달할 전망이다. ETRI는 이러한 환경에 대응하기 위해 앞으로도 초고집적, 저전력, 초고속 광소자 기술 확보 및 응용기술개발을 지속해나갈 것이다. 특히, 1Tbps급 광송수신 모듈 개발에 도전하고, 프론트홀 용 광소자 칩은 활용도를 강화한다는 방침이다. 아울러, 단순한 데이터 전달을 넘어 여러 분야와 융합하여 인공지능, 의료, 바이오, 스마트 시티 구현 등으로 빠르게 응용 분야를 넓혀갈 것이다.



유연 OLED 패넬 시험





2인치 수직형 질화갈륨 전력반도체

## RF/테라헤르츠

ETRI는 1990년대 초부터 개발해 온 GaAs, InP, GaN 화합물반도체 기반의 RF 소자 기술을 토대로 2020년부터 5G 이동통신에 적용되는 28GHz 및 39GHz 대역 GaN 집적회로 기술을 개발하고 있다. 또한, B5G · 6G 이동통신이 요구하는 Sub-THz 대역용 GaN RF 소자 기술개발에도 주력할 계획이다. Sub-THz는 5G용 기존 밀리미터파보다 대역폭이 넓어 초고속의 대용량 전송을 구현할 수 있는 주파수로, B5G · 6G 이동통신, 스마트 검색 시스템, 레이더 등 다양한 분야에서 요구되고 있으나, 아직은 국내에 소자 공정 기술이 전무한 상황이다. 이에 ETRI는 앞으로 이 분야에 집중하여 미래 이동통신 소재부품을 선도적으로 확보할 예정이다.

이와 함께, 테라헤르츠(THz)파 분야에서는 그동안 축적한 THz파 기술을 통신은 물론 금속, 암세포, 유해 화학물질 및 흥기 · 폭탄 등을 검출하는 등 비파괴 검사와 보안, 의료, 분광 등의 분야에 적용하는 데 주력할 계획이다.

## 양자

ETRI는 2000년대 중반부터 국내 양자정보통신 기술력을 세계적 수준으로 견인하고자 노력해왔다. 앞으로 양자암호통신 분야에서는 개발된 무선 양자암호통신 기술을 이동체 등 다양한 분야로 적용하는 기술과 광섬유 기반의 초소형 유선 양자암호통신 기술 등을 계속해서 개발할 계획이다.

양자컴퓨팅 분야에서는 양자 광원과 양자 신호 검출기, 양자 게이트 소자 등을 지속해서 개발하고, 2021년 8큐비트, 2024년 16큐비트 등 국내 최고 수준의 양자 칩 개발에도 주력할 방침이다. 아울러, 양자컴퓨팅 시스템 설계 · 분석 · 평가 · 검증 · 시각화 기술을 고도화하는 한편, 다양한 양자 칩 구동이 가능한 개방형 양자컴퓨팅 플랫폼을 구축하여 국내 양자컴퓨팅 산업의 기반 조성에 기여하고자 한다. 이러한 도전을 통해 양자정보통신 기술이 통신과 컴퓨팅은 물론 화학, 의료, 기상 예측 등 다양한 분야로 확산하여 관련 산업의 경쟁력을 한 단계 끌어올릴 수 있도록 노력할 것이다.

PART 5

ICT 융합

- 5-1. 개요
- 5-2. IoT  
자율형 IoT 시대를 앞당기다
- 5-3. 지능로보틱스  
인간-로봇 공존사회를 만들어가다
- 5-4. 바이오/의료  
ICT 융합기술로 바이오/의료의 새 지평을 열다
- 5-5. 우정물류  
SMART Post를 선도하다
- 5-6. 에너지/안전/국방  
국민의 안전과 삶의 질 향상에 앞장서다
- 5-7. 국가 아젠다 해결형 융합연구  
융합으로 국가적 아젠다를 해결하다
- 5-8. 결어





ICT 융합



개인 맞춤형 IoT 서비스 및 기술(스마트홈)

IoT

1999년 MIT의 케빈 애시턴에 의해 처음으로 등장한 개념인 ‘사물인터넷(IoT; Internet of Things)’은 2000년대 들어 유비쿼터스<sup>194)</sup> 사회로의 진입이 세계적인 이슈가 되면서 빠르게 발전하기 시작하였다.

ETRI는 ‘초연결 사회 실현’이라는 비전을 세우고, 2004년부터 IoT의 전신이라고 할 수 있는 RFID, WSN, USN, M2M 등의 핵심 원천기술개발에 돌입하였다. 이어서 2010년대 이후로는 ‘IoT 공통 SW 엔진(SLICE)’, ‘IoT 단말 SW 프레임워크(IoTware)’ 그리고 ‘IoT 디바이스 개발환경(IoTware-IDE)’을 개발한 것은 물론, 스마트시티 구현, 녹조 모니터링, 산사태 탐지, 중국어선 원격 식별 등 다양한 분야에 IoT 기술을 적용하였다. 또한, 사람의 제한된 신체 능력을 증강하는 증강 IoT 기술개발에도 주력하였다. 앞으로도 ETRI는 IoT 기술을 고도화하고 다양한 분야로의 응용을 확대하여 국가 전반의 디지털 전환(Digital Transformation)을 가속하는데 기여하고자 한다.

지능로보틱스

1961년 세계 최초의 산업용 로봇인 유니메이트(Unimate)가 공장에서 전격 가동된 이후, 로봇은 주로 인간의 노동력을 대체하는 수단으로 개발되었다. 이후로 1990년대에 접어들면서 로봇은 공장을 넘어 다양한 생활공간으로 들어와 사람에게 직간접적인 서비스를 제공하는 형태로 발전하기 시작하였고, 특히 인공지능 및 빅데이터 분석 기술과의 접목을 통해 인간과 상호 작용을 하는 친근한 존재로 변모하였다.

ETRI는 2004년부터 로봇에 첨단 ICT 기술과 인공지능 기술을 융합한 지능로보틱스 기술개발에 매진하였다. 언제 어디서나 사용자에게 필요한 서비스를 제공하는 ‘URC(Ubiquitous Robotic Companion) 기술’ 개발을 시작으로 ‘인간-로봇 상호작용(HRI) 기술’, ‘실내외 로봇 자율주행 기술’ 등을 개발하고 있다. 이와 동시에 인간의 이동 보조를 위해 스스로 상황을 인지하여 자율적으로 안전하게 주행하는 자율주행 기술개발을 시작하여, 로봇 자율주행 기술, V2X 통신 기술, 무인 발렛주차 기술, 그리고 자율주행 AI 기술 등을 꾸준히 개발하고 있다.

바이오/의료

ETRI는 1998년 단순 X선 영상분석을 통해 ‘골다공증 진단 기술’을 개발한 것을 시작으로

194) 유비쿼터스(Ubiquitous) 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 환경을 뜻한다.

ICT와 바이오/의료의 융합연구를 꾸준히 추진해 왔다. 의료영상을 분석하는 컴퓨터보조 진단 기술, 암 진단 SW 컴포넌트, 바이오 셔츠 등의 생체신호처리 기술, 스마트 진단 기술, 개인주도형 헬스플랫폼과 인공지능 주치의 Dr.AI, 현장진단용 비침습 바이오센서, 바이오인식 시스템, 질병진단 전자코, 레이저 기반 입자빔 발생 기술 등을 잇달아 개발하며 국민의 건강과 삶의 질 향상에 기여하고 있다. ETRI는 빠르게 개인화·지능화·일상화되고 있는 헬스케어 패러다임 변화에 발맞춰 앞으로도 의료지능, 현장진단 기술, 영상진단 기술, 환자 맞춤형 정밀 치료 기술 등의 연구를 계속해 나갈 것이다.

우편물류

ETRI는 1999년부터 ICT 기술을 우편물류(접수, 구분, 운송, 배달 등) 분야와 융합하여 국가 우정사업 발전을 견인해왔다. 순로구분기와 여기에 탑재할 한글주소 인식시스템(도로명주소 포함) 등의 개발을 통해 총 26건의 핵심기술과 227개의 특허를 확보하였고, 이를 중소기업에 이전하여 총 1조 3,000억 원 규모의 경제적 효과를 창출하였다. 또한, 2005년에는 ‘등기통상 자동구분기’를 개발하여 처리기 1대당 연간 1억 원의 우편물 처리비용이 절감효과를 도출하였다. 이후로 2010년대에 들어서는 무인우체국, 집배업무용 모바일 내비게이션, 물류 드론 배송 기술 등을 개발함으로써 우편물류 선진화에 기여하고 있다.

에너지/안전/국방

ETRI는 2000년대 후반부터 ICT 기술과 에너지·안전·국방 등 다양한 분야와의 융합에 가속도를 붙이기 시작하였다. 2009년부터 에너지 ICT 융합기술에 돌입하여 ‘에너지거래 기술과 신재생에너지 ‘전력중개 플랫폼’ 등을 개발하였으며, 2010년 이후 정부가 재난관리 기조를 기존의 ‘대응 중심’에서 ‘예측 중심’의 스마트 재난관리 체계로 변경하자, 2013년부터는 ‘원클릭 재난정보 전달체계’와 복합재난 예측 확산 플랫폼 ‘K-MDDS’ 등을 개발하였다. 또한, 2013년 국방부의 ‘IT 신기술 전문기술지원기관’으로 지정된 이후로는 ‘가상훈련시스템(ODM-I)’과 ‘매체 다중경로 적응적 네트워크 기술(MMMP)’ 등을 개발하였다.

융합연구단

국가과학기술연구회(NST)는 2014년 국가사회의 현안을 해결하기 위해 출연(연), 산업계, 학계 연구진이 함께 참여하는 일몰형 ‘융합연구단 사업’을 시작하였다. 일몰형 연구는 여러 기관의 연구자가 한 공간에 모여 특정 주제를 연구하고, 과제가 끝난 뒤 각각 원래의 소속 기관으로 돌아가는 연구방식이다. ETRI는 NST 최초 1호 융합연구단인 UGS(Under



KSB 융합연구단 현판식

Ground Safety) 융합연구단을 시작으로 KSB(Knowledge-converged Super Brain) 융합연구단, SDF(Smart Defense for FMD(Foot and Mouth Disease) 융합연구단, 그리고 DMC(Defense Materials and Components) 융합연구단을 주관하고 있으며, 총 9개 출연(연)과의 협력연구를 통해 개방형 R&D 활성화의 중추적인 역할을 담당하고 있다.





사물인터넷(IoT) 기기 SW 프레임워크 'IoT웨어(ware)'

세상 모든 것이 서로 연결되어 사물끼리 정보를 주고받고, 사람들에게 최고의 서비스를 제공하는 초연결 시대가 눈앞에 다가왔다. 자동차와 세탁기가 대화를 주고받고 필요에 따라 주인에게 정보를 전달하는 IoT 세상이 이미 펼쳐졌으며, 이제 사물을 연결하는 것을 넘어 지능을 장착한 사물이 스스로 유익한 정보를 만들고 인공지능과 소통하며 인간을 위한 서비스를 제공하는 자율형 IoT 단계로 넘어가고 있다.

ETRI는 이러한 시대적 변화를 예측하고 2004년부터 IoT의 전신이라고 할 수 있는 RFID(Radio Frequency IDentification), WSN(Wireless Sensor Network), USN(Ubiquitous Sensor Network), M2M(사물지능통신망), IoT 플랫폼 등 핵심원천 기술을 꾸준히 확보해왔다. 이러한 기술을 토대로 2008년에는 SAN 기술을 선박 유지보수에 적용하는 대규모 과제를 추진하였다.

또한, 2010년대 중반 이후로는 'IoT 공통 SW 엔진(SLICE)', 'IoT 단말 SW 프레임워크(IoTware)' 그리고 'IoT 디바이스 개발환경(IoTware-IDE)'을 개발한 것은 물론, 스마트 시티 구현, 녹조 모니터링, 산사태 탐지, 중국어선 원격 식별 등 다양한 분야에 IoT 기술을 적용하였다. 또한, 사람의 제한된 신체 능력을 증강하는 기술개발에 주력하여 '생체정보 수집 및 분석 기술', '증강인지 헬멧 시스템', '소방관용 스마트 헬멧', '위치 공간 인지증강 기술' 등 다양한 증강 IoT 기술을 개발하였다.



스마트선박기술이 탑재된 선박

195) SAN은 Ship Area Network의 약어로, 선박 내의 설비 및 기  
자재를 네트워크로 연결하는 기술이다

## 5-2-1. IoT

### 2000년대 초반부터 IoT 기술개발 시작

ETRI는 2000년대 초반부터 센서 노드, 센서 네트워크, 센서 통합플랫폼 등 연결형 IoT 원천기술개발을 시작하여, IoT 노드, 게이트웨이, 네트워크, 플랫폼에 이르는 기술을 지속 해서 축적해왔다. 그리고 이러한 기술을 토대로 2008년 SAN 기술을 선박 유지보수에 적용하는 과제를 시작하였다.

### SAN 기반 원격 선박 유지보수 기술개발 성공

1990년대 중반부터 세계 선박 시장을 석권해오던 국내 선박 건조산업은 2000년대 들어 중국에 조금씩 자리를 내주기 시작하였으며, 2008년 글로벌 금융위기를 겪으면서 크게 위 청였다. 특히, 조선기자재 분야는 열악한 수준이었다.

ETRI는 이러한 상황을 극복하고자, 2008년부터 3년간 현대중공업, 울산대학교와 함께 '선박용 토털 솔루션 기술개발' 과제를 추진하였다. 과제의 목표는 알람모니터링시스템 (AMS; Alarm Monitoring System)에 적용할 'SAN<sup>195)</sup> 기반 원격 선박 유지보수 기술' 을 개발하는 것이었다.

당시에는 선박 AMS에 문제가 발생할 경우, 장치 제조업체의 유지보수 요원이 선박에 직접 승선하여 문제 원인을 파악하고 조치를 취하는 형태로 유지보수가 진행되었다. 그러나 요원을 파견해 수리하는데 한 번에 최소 3,600달러의 비용이 소요되는 데다, 요원의 전문 성도 보장되지 않아 어려움이 컸다.

이에 연구진은 실시간성을 보장하는 이더넷 기반의 UDP·IP 기술, 값비싼 상용 위성통신 을 최소한으로 이용하기 위한 데이터 압축 기술, 육상의 선주가 손쉽게 선박을 모니터링할 수 있도록 지원하는 웹 기반 선박 모니터링 기술, 수많은 선박을 관리할 수 있는 웹서버 기 술 등을 개발하였다. 그 결과, 2010년 SAN 기술을 기반으로 대양에 운항 중인 선박을 원격(육상의 오피스)에서 감시하고, 고장 유무를 판단하며, 소프트웨어적인 고장을 원격에서 수리하는 'SAN 기반 원격 선박 유지보수 기술'을 개발하는데 성공하였다. 이는 SAN 기술 을 선박에 적용한 세계 최초로 사례이다.

이 기술의 핵심 프로토콜은 IEC TC80의 61142-450 표준에 기반하고 있다. ETRI는 표 준화 활동에도 적극적으로 참여하여, 국제표준특허를 확보하였다.

조선산업의 수장과 ICT 국가대표 기관의 융합 시너지

2008년 당시는 ICT와 산업계의 융합이 정부 정책으로 막 추진되기 시작하던 초창기였다. 이러한 시기에 본 과제는 조선산업의 수장과 ICT 국가대표 기관의 만남이라는 상징적인 의미가 컸다. 그러나 서로 다른 분야 간 융합은 용어와 일 처리 스타일 등의 이질성으로 인해 많은 혼선과 오해를 낳았다. 제대로 된 의사소통을 하는 데만 반년 이상의 시간이 필요할 정도였다. 결국, 원격 선박 유지보수 기술개발은 6개월간의 소통을 위한 예열기, 6개월간의 요구사항 정의 과정, 6개월간의 시스템 개발 완료, 1년 6개월간의 시범 선박 적용 및 실증 과정을 거쳐 완성되었다고 볼 수 있다.

여러 어려움이 있었지만, ETRI와 현대중공업의 융합은 상당한 시너지 효과를 창출하였다. 과제 종료 시점인 2012년에는 총 117척의 선박에 SAN 기술이 적용된 AMS가 선적되는 계약이 성사되었다. 또한, 세계 최대 컨테이너 선사인 덴마크 AP Moller 사의 선박 40여 척에도 해당 AMS가 탑재되었다. 아울러, ETRI는 본 기술을 현대중공업의 ICT 전담기업인 현대비에스앤씨(주)에 3억 원에 이전하였으며, 그 후로 7년간 약 9천만 원의 지속적인 경상 로열티 수입을 올렸다. 현대중공업은 현재까지도 해당 AMS를 자사의 선박에 탑재하고 있다.

한편, SAN 기반 원격 선박 유지보수 기술은 2011년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되고, ‘대한민국 기술대상 동상’을 수상하며 그 성과를 국가적으로도 인정받았다.

ICT 기반 전통산업 고도화의 대표 사례

본 과제는 첨단 ICT 기술을 접목하여 보수적인 전통산업을 고도화한 대표적인 성공사례로 손꼽힌다. 또한, 선박 내 기자재 네트워크는 SAN 이전과 SAN 이후로 구분될 만큼, 본 기술은 선박 분야에 새로운 패러다임을 제시하였다. 지금도 대양을 누비는 수많은 선박이 본 기술을 토대로 모니터링 및 유지·보수되고 있다.

지능형 사물인터넷 필요성 대두

1999년 MIT의 케빈 애시턴(Kevin Ashton)이 자사 제품에 RFID<sup>196)</sup>를 부착하면서 ‘사물인터넷(IoT; Internet of Things)’이라는 용어가 처음으로 등장한 이후, IoT 디바이스 수는 폭발적인 증가 추세를 보이고 있다. 전문가들은 IoT가 1단계 연결형(connectivity), 2



선박 네트워크 토폴로지 및 선박용 통합 게이트웨이

196) RFID(radio frequency identification): 반도체 칩이 내장된 태그, 라벨, 카드 등에 저장된 데이터를 무선주파수를 이용하여 비접촉으로 읽어내는 인식시스템이다.



IoT SW 프레임워크 IoT웨어

단계 지능형(intelligence)을 거쳐 최종적으로 3단계 자율형(autonomy)으로 진화할 것이며, 현재는 1단계를 거쳐 2단계로 접어드는 상황이라고 판단하고 있다. 이러한 흐름을 선도하기 위해 지능형 IoT 디바이스를 초소형으로 빠르게 개발할 수 있는 기술이 요구되었다.

SLICE/IoTware/IoTware-IDE 연속 개발

ETRI는 2010년대 중반부터 IoT SW와 프레임워크 등을 본격적으로 개발하기 시작하였다. 2017년에는 사물이 사용자의 행위와 상황변화를 능동적으로 인지하고 실시간 판단 및 대응할 수 있는 ‘IoT 공통 SW 엔진(SLICE)’을 개발하였다. SLICE는 온라인-실환경 학습을 통한 추론 및 지능의 최적화를 수행할 기반기술로 활용될 것으로 기대된다.

아울러, ETRI는 지능형 IoT 사업 컨소시엄(ETRI, KAIST, (주)달리웍스, 광운대)을 통해 다양한 지능형 IoT 연구결과물을 통합하여 시험할 수 있는 ‘통합융합환경’을 개발함으로써 기존에 약 6개월이 소요되던 IoT 통합시험을 2개월 이내로 단축하였다.

한편, ETRI는 ‘IoT 단일 SW 프레임워크(IoTware)’를 개발하여 2020년 10월 공개하였다. IoTware는 경량형 운영체제(OS) 5종, 센서·통신 등 펌웨어, 자원관리 및 저전력관리 모듈 등을 제공하는 프레임워크로, 초보 개발자도 변경과 조합이 가능한 마이크로서비스를 손쉽게 만들고 이를 연결해 프로그램을 완성할 수 있도록 해준다. 또한, 전문가 역시 필요한 프로그램을 불러와 일부 과제만 수정하면 수백~수천 행의 프로그래밍 입력 수고를 덜 수 있다. 연구진은 IoT 기기 경량화 추세에 맞춰 초소형 기기 프로그래밍에 적합한 IoTware Lite 버전도 함께 공개하였다. Lite 버전은 실행 파일이 17.9KB, 실행 메모리 크기가 8.1KB에 불과하여 저가·저전력에서 동작이 가능하며 프로그램 탑재가 쉽다는 장점이 있다.

이와 함께, ETRI는 나모웹비즈사와 함께 클라우드 기반의 ‘IoT 디바이스 개발환경(IoTware-IDE)’을 개발하였다. IoTware-IDE는 다수의 개발자가 클라우드를 통해 IoT 디바이스 설계 및 검증 과정을 협업할 수 있고, 디바이스 라이브러리와 에뮬레이터를 자유롭게 활용할 수 있으며, IoTware를 사용하여 마이크로서비스를 자율 구성할 수 있는 개발 환경이다. IoTware-IDE 개발로 디바이스 개발자들은 기존에 서너 달 걸리던 프로그램 개발을 일주일로 단축할 수 있게 되었다.

IoT 시장 활성화 기반 마련

ETRI가 개발한 IoT SW 엔진(SLICE)과 프레임워크(IoTware) 그리고 디바이스 개발환경(IoTware-IDE)을 활용하면 IoT 디바이스의 성능을 획기적으로 끌어올리는 것은 물



론, 개발 시간도 크게 줄일 수 있다. 이러한 인프라를 통해 창의적인 아이디어를 가진 개인, 스타트업, 중소기업이 쉽고 빠르게 저비용으로 디바이스를 개발하게 되면, IoT 시장이 크게 활성화될 것으로 기대된다. 개발된 기술들은 소스 코드 공유사이트인 깃허브(github)를 통해 공개되고 있다.

### 첨단 ICT로 녹조 문제 해결에 나서

강 또는 호수 등에 발생한 녹조는 인간의 삶에 심각한 피해를 주는 고질적인 문제이나, 아직은 뚜렷한 해결책이 없는 상황이다. 특히, 녹조는 매우 복합적인 요인에 의해 발생하는 현상이어서 문제 해결을 위해서는 오염원 관리, 기계, 정보통신, 수문, 기상, 농업, 방제 등을 종합적으로 고려한 기술 및 시스템이 필요하다.

ETRI는 이러한 문제를 해결하기 위해 2018년부터 지역현안문제해결형 창의형 융합연구사업인 ‘낙동강 녹조 제어 통합플랫폼 개발 및 구축’ 과제에 참여하고 있다. 이는 한국건설기술연구원 주관으로, ETRI, 한국과학기술연구원, 한국수자원공사, 구미전자정보기술원, KT, 디엔샤인이 공동연구기관으로 참여하는 과제이다.

본 과제는 경상북도가 강력하게 제안하여 시작되었으며, ‘낙동강 녹조의 효과적인 제어를 통한 영남 지역주민의 식수원 안정성 확보’를 목표로 사전예방 기술, 조밀형 실시간 녹조 모니터링 기술, 녹조 제어 통합플랫폼 및 의사결정 시스템 등을 개발하고 있다. 1단계(2018~2021) 사업에서 필요 기술을 개발 및 검증하고, 2단계(2022)에서는 녹조지원센터를 구축하여 1단계 연구결과물을 실증화할 계획이다.

### 조밀형 실시간 녹조 모니터링 기술개발

ETRI는 본 과제에서 ‘실시간 녹조 모니터링 시스템’을 개발을 담당하고 있다. USV(Unmanned Surface Vehicle, 무인선박) 기반의 이동형 센서 시스템을 이용하여 녹조 데이터를 실시간 모니터링할 경우, USV 운항으로 인한 수면파 롤링으로 무선전송의 신뢰성이 저하되는 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 ETRI는 USV의 저전력 장거리 통신 모듈에 탑재된 소형 안테나의 전파 수직 빔 폭을 확장하여 ‘수면파 롤링 강건형 전송 기술’을 개발하였다. 또한, 이 기술의 신뢰성 향상을 위하여 IoT 네트워크를 구성하는 게이트웨이와 단말 간 멀티채널 기술 그리고 무선 데이터 속도를 동적으로 변경할



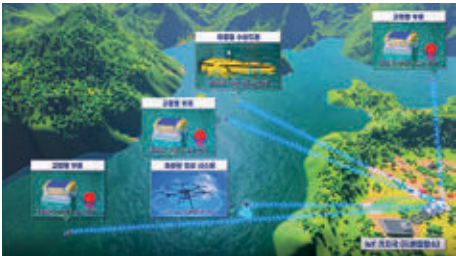
USV 기반 이동형 센서 시스템

수 있는 알고리즘 등을 개발·적용하였다. 그 결과, 900MHz 대역의 저전력 장거리 통신 방식을 적용, 6Km(기존 300m) 떨어진 거리에서도 USV 제어가 가능하여 안정적으로 데이터를 모니터링할 수 있는 시스템을 구현하는데 성공하였다. 아울러, USV가 원거리 운항 중 장애물을 회피해야 하는 상황이 발생하거나 긴급 복귀가 필요할 때에도 실시간으로 제어가 가능해졌다.

한편, 조밀형 녹조 데이터를 수집하기 위해 지리 정보 기반으로 USV의 자율운항 경로를 설정하고, USV 속도와 녹조 정보 측정주기 및 데이터 전송주기 등을 제어하여 10m×10m 이하 간격으로 면 단위의 상세 정보를 획득하는 데도 성공하였다. 이를 통해 큰 비용을 들여 부이 기반의 고정형 센서를 다수 설치한 것과 같은 효과를 거뒀다.

### 녹조 피해 최소화와 수처리 비용 절감효과

낙동강 녹조 제어 통합플랫폼 개발로 녹조 발생을 사전에 감지하여 신속하게 대응함으로써 피해를 최소화하는 것은 물론, 녹조가 발생한 뒤에도 주민들이 안정적으로 용수를 확보할 수 있는 길이 열렸다. 이로써 낙동강 물을 식수로 이용하는 1,300만 영남주민의 불안감을 줄이고, 수처리 비용을 절감할 수 있게 되었다. 이 기술은 향후 다른 식수원의 녹조 문제 해결에도 활용되어 국민의 건강과 삶의 질 향상에 도움을 줄 것으로 기대된다.



녹조탐지하는 초분광기술



대전시 3차원 도시시설물 관리시스템 구축 시범사업 완료보고회

### 도시공간에 ICT 기술 접목 활발해져

현대사회는 급속한 도시화에 따른 인구의 증가와 고령화로 인해 인프라 부족, 교통혼잡, 환경오염, 범죄, 재난 등 점점 더 복잡하고 다양한 문제에 직면하고 있다. 최근 이러한 문제의 해결 방안으로 첨단 ICT 기술을 도시 전반에 적용한 스마트시티가 주목받고 있으며, 5G, 인공지능, 빅데이터, 실감형 3D 공간정보 등 첨단 ICT 기술들을 융합하여 디지털트윈(digital twin)<sup>197)</sup> 기반으로 다양한 도시 인프라를 운영·관리하는 기술도 부상하고 있다.

### 스마트시티 서비스 기술과 공간정보 기술개발

ETRI는 2018년부터 범부처 기가코리아사업의 일환으로 ‘5G 기반 스마트시티 서비스 기술개발 및 실증’ 사업(5G-스마트시티 사업)을 시작하였다. 대구시와 대전을 실증지역으로 선정하고, ETRI가 주관하여 5G 기반의 다양한 센서(지능형 CCTV 단말, 드론시스템,

197) 디지털트윈(digital twin): 현실 세계의 기계나 장비, 사물 등을 컴퓨터 속 가상세계에 구현한 것을 말한다.



지능형 CCTV로 범죄예측

IoT 센서 등) 기술과 서비스 지원을 위한 인프라 기술, 통합서비스 플랫폼을 개발 및 실증하는 사업이다. 본 사업의 목표는 초고속·초저지연·초연결 특성을 활용한 5G 핵심 요소 기술을 다양한 스마트시티 서비스에 적용하여 더욱 지능적이고 지속가능한 도시 인프라를 구축하고, 이를 기반으로 도시경쟁력을 향상하는 것이다.

ETRI는 도시문제 중에서도 시급성이 큰 보안·안전서비스 분야에서 기존 유선 인프라 환경의 제약점인 구축비용, 사각지대(음영지역) 문제를 해결하기 위하여 5G 기반의 고해상도·저지연 무선 영상전송이 가능한 지능형 CCTV를 개발하고 있다. 특히, 도시의 다양한 위험 상황을 지능적으로 인지하고, 무선구간 내 주변 장치를 통해 상황을 즉각 전달함으로써 안전사고를 예방 및 실시간 대응할 수 있는 ‘On-Device AI CCTV 기술’을 개발하였다. 또한, ‘5G 기반 드론 서비스 시스템’을 통해 4K급 이상의 고해상도 영상을 원격지의 비가시권 지역으로 저지연 전송함으로써 사람이 접근하기 어려운 위험시설을 포함한 다양한 지역을 원격관제할 수 있는 서비스를 구현하고 있다.

한편, 2016년부터 다부처공동기획연구지원사업인 ‘공간정보<sup>198)</sup> 기반 실감형 콘텐츠 융복합 및 혼합현실 제공기술개발’ 과제에 참여하고 있다. 본 과제는 국토부·행안부·산업부·문체부가 함께 5년간 총 416억 원을 투입하여 급증하는 고정밀 3차원 공간정보 활용 수요에 대응하고 실감형 콘텐츠산업의 경쟁력 확보를 위한 기술을 개발하는 것을 목표로 추진되고 있다.

ETRI는 과제 초기에 건물 위주의 실감형 공간정보 구축 기술을 개발하였으며, 점차 이를 도로, 시설물 등 도시 전체로 확대하고 있다. 또한, 개발된 기술을 재난관리, 이동체 가상훈련, 실감형 관광콘텐츠 분야 등으로 적용하는 방안도 마련 중이다.

아울러, 시각장애인에게 보편적 보행 이동권을 제공하기 위하여 ‘블루투스 비콘(iBeacon)<sup>199)</sup>을 활용한 음성기반 경로 안내서비스’를 개발하였으며, 서울메트로의 지원으로 을지로 3가 지하철 역사에서 스마트폰 기반 경로 안내서비스를 실증하고 장애인 접근성을 위한 MA(Mobile Accessibility, 모바일 접근성) 인증을 받았다.

### 도시경쟁력 강화를 위한 기술적 기반 마련

ETRI는 그동안 이동통신은 물론, 공간정보, 실감 콘텐츠, LBS, USN, IoT, 인지 교통 등에 관한 고도의 기술력을 축적해 왔고, 5G 기반 초고속·초저지연·초연결 서비스 지원을 위한 정보전송 기술과 세계 최고 수준의 스마트시티 인프라 및 센서 처리 기술을 확보하였다. 이러한 기술력을 토대로 스마트시티 서비스 기술과 공간정보 기술을 개발하여 우수한 성과를 도출하고 있다.



5G 스마트시티 실증 통합관제센터 화면(대전)

특히, 5G 기반 스마트시티 센서 및 인프라를 통해 수집된 정보를 지능적으로 분석·제어하는 5G 융합서비스 플랫폼과 AR·VR을 지원하는 실감형 공간정보 기술을 확보함으로써, 도시를 보다 효율적으로 관리하고 지능화하여 경쟁력 있는 도시로 개선하는 데 앞장서고 있다. 이러한 기술은 앞으로 도시의 복잡하고 다양한 문제를 해결하는데 기여할 것이며, 제조, 건설, 재난 안전, 환경, 교통, 가상훈련, 관광 등 다양한 분야에서도 활용될 것으로 기대된다.

### 재난·재해 피해 최소화하는 ICT 기술

최근 예측범위를 넘어선 국지성 집중호우의 증가로 산지 토사 재해 피해 규모가 점차 커지고 있다. 특히, 대도시지역 및 산림휴양 시설에서 산사태와 토석류 발생으로 인한 인명피해가 급증하는 상황이다. 더구나 지난 30년간에 비하여 21세기 말에는 강수량이 약 20% 정도 증가할 것으로 예측되어 피해는 더 커질 것으로 보인다.

### 산사태 신속탐지 모니터링 시스템 개발

ETRI는 이러한 문제를 해결하고자 한국지질자원연구원이 주관하는 ‘기후변화 적응 산사태 조기경보 기술 및 지질환경재해 리스크 제어 기술개발’ 과제(2014년~2017년)에 참여하여, ‘산사태 신속탐지 모니터링 시스템’을 개발하였다.

우리나라는 세계적인 수준의 인터넷과 이동통신 보급률에도 불구하고 국토의 70%가 산악지형으로 이루어져 유무선 통신이 지원되지 않는 통신 음영지역이 많은 편이다. 그러다 보니 산사태 발생 예측을 위해 산속 곳곳에 설치한 센서들이 생성한 정보를 수집하는 것이 매우 어려웠다. 이에 ETRI는 저전력으로 운영 가능한 LPWA(Low-Power Wide Area, 저전력 광대역) 기반의 자가망 시스템과 전원공급이 이루어지지 않는 산악환경에서 안정적으로 기기를 운용하기 위한 에너지 하베스팅(Energy Harvesting)<sup>200)</sup> 기반 저전력 센서 플랫폼 운영 기술을 개발하였다. 또한, 산사태 발생 시 기존에 구축되어 있던 기간망이 유실될 것에 대비하여 드론과 같은 UAV(unmanned aerial vehicle, 무인 항공기) 기반 이동형 게이트웨이를 활용한 데이터 수집 기술도 개발하였다. ETRI는 이러한 기술들을 토대로 ‘산사태 신속탐지 모니터링 시스템’을 구현하여 설악산, 속리산, 지리산에 설치하였다.

198) 공간정보: 공간상에 존재하는 자연적·인공적인 객체에 대한 위치정보 및 이와 관련된 공간적 인지 및 의사결정에 필요한 정보를 뜻하며, 보통 지도 형태로 표현된다.

199) 비콘(Beacon): 블루투스 4.0(BLE) 프로토콜 기반의 근거리 무선통신 장치이다.

200) 에너지 하베스팅(Energy Harvesting): 진동, 하중, 빛, 열 등 일상에서 버려지는 에너지를 수집해 전기로 바꾸는 기술이다.





산사태 신속탐지 모니터링 시스템(지리산)

본 기술개발로 산지의 토사 상태를 실시간으로 모니터링하고 이를 신뢰성 있게 원격 전송할 수 있게 되어, 산사태로부터 국민의 생명과 재산을 더 안전하게 보호할 수 있게 되었다.

### 무허가 중국어선 문제 심각

1994년 UN의 200해리 배타적 경제수역(EEZ) 발효와 2001년 한·중 어업협정에 따라 한국과 중국은 서해에서 조업하는 어선들에 대해 상호허가제를 실시하고 있다. 그러나 2000년대 중반부터 중국 어선들의 무허가 불법 어업이 계속되면서, 급기야 단속 과정에서 무력충돌로 인해 인명피해가 발생하는 상황에 이르렀다. 이에 인접하지 않고도 원거리에서 불법조업 어선들을 식별 및 단속할 수 있는 기술의 필요성이 제기되었다.

### 전자허가증 원격식별시스템 개발

ETRI는 2015년부터 3년간 ‘중국어선 전자허가증 원격식별시스템 구축’ 과제를 수행하였다. 과제는 ETRI가 주관하고 개발 장비의 상용화를 위해 국내 해양 ICT 관련 기업들을 참여시키는 한편, 어업관리단 및 해양경찰청의 실증 지원을 받는 형태로 추진되었다.

ETRI는 그동안 RFID·USN, IoT, 초연결을 위한 통신 및 네트워크 기술개발을 수행하면서 사물의 위치 인식 및 식별 기술을 축적해 왔으며, 이러한 기술력을 토대로 원격식별 시스템 개발에 돌입하였다.

연구진은 해양 전파환경 분석을 통해 30km에 달하는 저전력 장거리 통신 기술과 안테나 기술 그리고 멀티채널 무선 제어 기술, ADR(Adaptive Data Rate) 기술 등을 개발하였다. 또한, 원거리 식별 통신 프로토콜과 전자어업허가증 등 소형단말 통신 장치의 위변조를 막는 보안 기술도 함께 개발하였다. 특히, 저전력 장거리 통신 기술을 해양 전파환경에 적합하게 개선하는 데 주력하였다.

그 결과, 2018년 원거리에서 사물의 특성과 고유번호, 상태 변화를 감지할 수 있는 ‘원거리 전자어업허가증 원격식별시스템’을 구축하는 데 성공하였다. 그동안 해양 환경과 같이 열악한 무선전파 환경에서 선박 정보를 인식하기 위해서는 AIS, VTS, V-Pass 등 고가의 장비가 이용되어왔으나, 본 기술의 개발로 전자허가증 형태의 저전력·저가의 소형 장치를 기반으로 비허가 주파수를 활용하여 매우 효과적으로 선박 정보를 빠르고 정확하게 파악하여 신속하게 대처하는 것이 가능해졌다.



중국어선 불법조업 단속 시스템 구성도

### 다양한 분야로 원격식별시스템 확산

본 기술개발로 원거리에서도 전자허가증이 없는 무허가 조업 어선을 식별할 수 있게 되면서, 실제로 중국어선의 불법조업이 크게 줄어들었다. 앞으로 이 기술은 인식대상 사물을 확장하여, 양식장 원격 관리와 어구·어망 등의 사물을 식별하는 기술로 다변화될 것으로 보이며, 더 나아가 해양과학탐사나 해양환경 개선을 위한 기술개발에도 적용될 전망이다.

### 증강 IoT 시대의 도래

ETRI는 2014년부터 방대한 데이터를 활용하여 사람의 제한된 신체 능력을 증강하는 ‘증강 IoT’ 기술개발을 시작하였다. 증강 IoT는 사람의 인지, 감각, 기억, 판단 능력을 증강하기 위하여 사람과 사람을 둘러싼 주변의 데이터를 정확하게 확보하는 기술과 이를 활용한 인간-디바이스 간 상호작용 구현 기술로 구성된다.

### 다양한 산업에 증강 IoT 기술 적용

ETRI는 2014년부터 지금까지 ‘생체정보 수집 및 분석 기술’, ‘증강인지 헬멧 시스템’, ‘소방관용 스마트 헬멧’, ‘위치 공간 인지증강 기술’, ‘스마트 안마의자 플랫폼’, ‘객체 위치 추적 기술’ 등 다양한 증강 IoT 기술을 개발하였다.

연구진은 데이터 수집의 기본인 센서 모듈 개발부터 데이터 운용관리, 서비스용 플랫폼에 이르기까지 자체적인 토털 솔루션을 확보하고, 이를 모듈화한 ‘레고형 기술 트리’를 구현하였다. 그리고 이 모듈을 다양한 시장의 요구사항과 운영 환경에 맞게 재구성하여 짧은 시간 내에 여러 분야에 증강 IoT 기술을 적용하였다.

특히, 화재진압과 구조 활동을 수행하는 재난 대응 요원들을 위한 ‘증강인지 헬멧 및 스마트 헬멧 기술’은 해당 분야에서 최초로 시도한 증강 IoT 기술로써 이후 지속적인 연구개발을 위한 기폭제가 되었다. 또한, 사용자의 신체 상태를 분석하여 최적의 안마 프로그램을 제공하는 스마트 안마의자 솔루션은 2018년 ㈜바디프랜드 사에서 상용화되었다. 아울러, 운동선수의 경기력 향상을 위해 선수의 행동과 자세를 분석하여 새로운 대안을 제시하는 기술도 확보하였다.



소방관용 스마트 헬멧

현대사회 주요 아젠다 해결하는 기술로 진화

개발된 기술들은 그 우수성이 인정되어 다수의 수상을 하였다. 위치 공간 인지증강 기술은 2018년 평창동계올림픽 기간에 선수단을 지원한 공로로 개인 훈장 및 표창을 받았다. 또한, ETRI의 기술을 이전받은 (주)바디프렌드는 생체신호 측정·분석을 통한 사용자 맞춤형 힐링 마사지를 세계 최초로 선보였으며, 해당 기술은 2020년 국가연구개발 우수과제로 선정되었다.

증강 IoT 기술은 데이터 기반의 재난 예방, 사람 중심의 안전사회 구현, 일과 삶의 가치 확보 등 현대사회의 주요한 아젠다를 해결하는 필수적인 기술로 진화하고 있다.



지능로보틱스 휴먼케어로봇

ETRI는 2004년 언제 어디서나 사용자에게 필요한 서비스를 제공하는 ‘URC(Ubiquitous Robotic Companion) 기술’을 시작으로 지능로보틱스 분야 기술개발에 돌입하였다. URC 프로젝트는 네트워크 기반 서비스 로봇의 개념을 세계 최초로 제시하고, 새로운 블루오션 시장 창출을 위한 산업육성 전략을 마련했다는 점에서 의의가 컸다. 또한, 로봇 산업의 영역을 기계·전자 산업에서 콘텐츠·서비스 산업으로 넓힘으로써 시장 참여자를 늘리고 전체시장의 규모를 크게 확대하였다.

2008년부터는 인간과 로봇 간 안전하고, 자연스러우며, 효율적이면서도 지속가능한 상호작용을 위한 ‘HRI(Human-Robot Interaction) 기술’ 개발에 주력하여, 얼굴·성별·연령 인식 기술, 얼굴 영상 기반 심박 추출 기술, 휴먼 동작 인식 기술, 동작 평가 및 2D 포즈 추정 기술, 물체 검출·자세 추정 기술, 대용량 학습을 위한 가상 학습셋 생성 기술 등을 상용화 수준으로 확보하는 데 성공하였다.

한편, URC 프로젝트의 일환으로 서비스 로봇의 효과적인 이동을 지원하는 ‘실내의 로봇 자율주행 기술’ 개발에 착수하여 핵심기술들을 확보하고 20여 개 기업에 이전하였다. 특히, ETRI가 개발한 ‘동적 객체 인식·추적 기술’은 2015년 국제컴퓨터비전학회(ICCV)와 2016년 유럽컴퓨터비전학회(ECCV)의 비디오 객체 추적기 경진대회에서 실시간 분야 1위와 2위를 차지하며 우수성을 인정받았다. 현재는 멀티모달 데이터를 기반으로 사전에 학습되지 않은 비정형 환경에도 적용할 수 있는 로봇주행 기술로 발전하고 있다.

또한, 2007년부터 V2X(Vehicle to Everything, 차량-사물 통신) 기술을 개발하여 국민의 안전과 편의를 도모하고 있으며, 2013년에는 스마트폰을 이용해 언제 어디서든 자신의 자동차를 주차하고 불러올 수 있는 ‘무인 발렛주차 기술’ 개발에 성공하였다. 아울러,



2015년부터는 자율주행에 인공지능 기술을 접목하여 다양한 도로 환경(정형 · 비정형 환경, 터널, 비포장도로 등)과 기상환경(주간 · 야간, 우천 · 우설 등)에서도 안전하게 자율주행이 가능한 레벨4 수준의 인공지능 자율주행을 실현하고자 노력하고 있다.



스마트폰으로 부르는 무인자율주행차

5-3-1. 로봇

ICT 융합서비스 로봇의 효시

1961년 최초의 산업용 로봇인 유니메이트(Unimate)가 공장에서 전격 가동되었다. 이후 수십 년에 걸쳐 공장 자동화의 주역으로 활동하던 로봇은 1990년대에 접어들면서 다양한 생활공간으로 들어와 사람에게 직간접적인 서비스를 제공하는 형태로 발전해왔다. 그러나 제공되는 서비스에 비해 가격이 높아 상용화에 난항을 겪자, 이를 극복할 대안으로 떠오른 것이 ICT를 접목한 ‘ICT 융합서비스 로봇’이었다.

2004년부터 정보통신부는 신성장동력산업 육성전략의 하나로 ‘URC(Ubiquitous Robotic Companion) 연구개발’ 사업을 추진하였다. 기존의 독립형 로봇은 모든 기능을 자체적으로 구현하여 기술적 제약과 단가 상승 등의 한계가 있었으나, URC는 네트워크와 고성능 서버를 활용하여 주요 프로세스를 외부에서 분담함으로써 이러한 제약조건을 해소하는 동시에 사용자 서비스의 유용성을 강화할 수 있는 혁신적인 개념의 로봇이다. URC를 기점으로 로봇과 ICT를 융합하는 새로운 개념의 연구개발이 활발하게 진행되기 시작하였다.



연구진이 개발한 지능형로봇 웨버

로봇 산업의 영역을 확장한 URC

URC 프로젝트는 URC 인프라 시스템과 로봇 내장형 컴포넌트 기술, 유비쿼터스 로봇 공간기술 등 핵심기술은 ETRI 주관으로 산학연 공동연구를 추진하고, 동반자 서비스를 위한 가정용 정보콘텐츠 로봇과 공공용 정보도우미 로봇 HW 플랫폼 등은 산업체에서 주관하여 개발하도록 기획 · 실행되었다.

이 가운데 ‘URC 인프라 시스템 기술개발’은 2004년 1월부터 2008년 말까지 5년간 진행되었으며, 그 결과 URC 서버와 클라이언트 로봇 간의 네트워크 커뮤니케이션 기술, 상황인지 미들웨어 CAMUS 및 능동형 · 감성형 서비스를 지원하는 URC 서버 기술, 다양한 네트워크 간의 상호운용성 기술 등이 개발되었다. 이 기술들은 삼성전자, LG-CNS, 포스데이터 등 15개 기업에 이전되어 10억여 원 상당의 사업화 실적을 거뒀다.

‘URC 내장형 컴포넌트 기술개발 및 표준화’는 2004년 2월부터 4년간 진행되었으며, 그 결과 URC 내장형 HW 기술, URC 내장형 SW 아키텍처 기술, 시청각에 기초한 인간-로봇 상호작용 기술, 자율주행 기술(매핑, 자기위치 추정, 주행제어) 등이 개발되었다. 이 기술들은 삼성전자 외 25개 중소기업에 이전되어 13,31억 원의 기술료를 확보하는 뛰어난 사업화 실적을 확보하였다.

한편, 센서 네트워크를 지원하는 ‘유비쿼터스 로봇 공간 기술개발’은 2005년 3월부터 3년간 진행되었으며, 그 결과 적외선 LED RF 태그 및 광각 카메라를 활용한 자기 위치추정 기술, 이동성 지원 센서 네트워크 기술, 사무실 환경 응용기술 등이 개발되었다.

URC 프로젝트의 결과물은 2005년부터 실제 가정과 공공장소에서 이뤄진 시범사업들을 통해 유용성이 입증되었다. 가정에서는 서버에서 수시로 갱신되는 교육, 오락 등 정보콘텐츠 서비스와 생활 속 방법 서비스가 주목받았고, 공항이나 우체국 등 공공장소에서는 안내 및 보안 서비스에 대한 사용자 만족도가 90%를 넘어서는 등 호응도가 상당히 높았다.

로봇 산업의 범주 확대

URC 프로젝트는 네트워크 기반 서비스 로봇의 개념을 세계 최초로 제시하고, 새로운 블루오션 시장 창출을 위한 산업육성 전략을 마련했다는 점에서 의의가 크다. 또한, 로봇 산업의 영역을 기계·전자 산업에서 콘텐츠·서비스 산업으로 넓힘으로써 시장 참여자를 늘리고 전체시장의 규모를 크게 확대하였으며, URC 로봇 핵심기술개발을 통하여 로봇 기술 선진국인 미국과의 기술격차를 4년(2003년)에서 2,2년(2006년)으로 단축하였다. 또한, ETRI가 개발한 핵심 컴포넌트 기술들은 5종의 로봇(서빙·포터·안내·패트롤·홍보)으로 구현되어 2009년 ‘인천세계도시축전’이 열리는 80일 동안 송도 투모로우시티(Tomorrow-City) 등 여러 행사장에서 24시간 안정적으로 운영되었으며, ETRI의 로봇 기술을 전 세계에 홍보하는 성과를 거두었다.

그러나 URC 기술은 사용자 유용성 부족으로 인해 실제적인 제품과 서비스로 이어지지는 못하였다. 절반의 성공에 그친 것이다. 게다가 정부 연구개발 주무부처가 정보통신부에서 지식경제부로 바뀌면서 관련 연구가 지속되지 못하는 상황에 이르렀다. 이는 최종 수요자를 대상으로 한 구체적인 활용성 분석이 없이 서비스 로봇을 개발 및 실용화하는 것은 결국 한계에 부딪힐 수밖에 없다는 시사점을 남겼다.



URC로봇 테스트베드 개소식



ETRI가 개발한 다양한 URC



연구진의 로봇연구 모습



연구진이 개발한 코비와 래비

인간-로봇 상호작용 기술의 필요성

지능 기술의 발전으로 로봇과 사람이 작업공간뿐 아니라 생활공간도 공유하게 되면서 인간과 로봇 간 안전하고, 자연스러우며, 효율적이면서도 지속가능한 상호작용을 위한 ‘HRI(Human-Robot Interaction, 인간-로봇 상호작용) 기술’ 연구의 필요성이 대두되었다. 이에 ETRI는 2008년부터 HRI 기술을 개발하기 위한 다양한 과제를 추진하였다. 여기에는 2021년까지 총 771억 원의 연구비가 지속해서 투입되고 있다.

2008년부터 HRI 기술개발에 주력

ETRI는 우선, 2008년부터 2012년까지 ‘HRI 솔루션 및 핵심소자 기술개발’ 과제를 통하여 시청각 융합 HRI SW 기술과 로봇 시각처리 알고리즘의 수행 속도를 높이기 위한 검출소자 등 HRI 핵심소자 및 가속기 기술을 개발하였다.

또한, 같은 기간에 진행된 ‘인간-로봇 상호작용 매개 기술개발 과제’에서는 기존 영상·음성 중심 HRI 기술의 제약을 보완하기 위해 매개장치 기반 사용자 제스처·동작 및 생체신호 인식 기술을 실버케어 로봇과 연계한 핵심 서비스로 개발하여 뉴질랜드의 실버타운인 셀윈빌리지와 국내 초경노인요양원에 시범 적용하였다. 연구진은 ㈜이디, 유진로봇 등 로봇 기업과 함께 4종 35대의 로봇을 제작하여 실버타운의 단독 주거공간, 공용 주거공간, 병실 등에서 다수 고령자를 대상으로 적용실험을 하였고, 이 과정에서 실버케어 로봇의 기술적·절차적 장점과 위험요소를 확인하였다.

2012년부터 2017년까지 수행된 ‘인지 센서 네트워크 기반 지능형 로봇의 사용자 정보 자동추출 및 인식 기술개발’ 과제를 통해서도 지능형 로봇과 주변 센서 정보를 융합하여 사용자의 신원·행동·위치 등의 정보를 실시간으로 인식하는 기술을 개발하였다. 이와 동시에 ‘복합지식 기반 판단 및 의미기반 로봇표현 기술개발’ 과제에서는 인간과 로봇 간 자연스러운 상호작용을 지원하는 인식-판단-표현 연동 소셜 HRI 프레임워크 기술을 개발하였다. 한편, 2017년부터 2021년까지 추진되는 ‘고령 사회에 대응하기 위한 실 환경 휴먼케어 로봇 기술개발’ 과제를 통해서도 고령자를 이해하고 정서적으로 반응하면서 상황에 맞는 맞춤형 서비스를 제공하는 휴먼케어 로봇을 위한 지능정보 원천기술을 개발하고 있다. 특히, 이 과제에서는 로봇 환경에서 고령자 일상행동 인식을 위한 3D 영상 데이터셋, 로봇 발화 제스처 생성을 위한 제스처 데이터셋, 고령자 특화 대화체·낭독체 음성 데이터셋 등 고령자에 특화된 대규모의 데이터셋을 구축하고 실환경에 강한 기술을 개발하는 데 주력하고



있다. 데이터셋과 관련 알고리즘의 소스 코드는 2019년부터 연구자 및 관련 기업들에 공개되어 기술 고도화와 상용화를 촉진하고 있다.

HRI 연구 프로젝트는 우수한 과제 품질관리 역량을 인정받아 2014년 말 출연(연) 중 최초로 ISO SPICE Level 3 인증을 획득(관련 과제: ‘인지 센서 네트워크 기반 지능형 로봇의 사용자 정보 자동 추출 및 인식 기술개발’)하였으며, 로봇과의 상호작용을 위한 사용자 얼굴인식 기술은 2017년 4월 국내 공인기관(한국인터넷진흥원)에서 국내 최초로 딥러닝 기술을 기반으로 한 인증서를 획득하였다.

### 미래 AI 기반 HRI 기술로 진화

ETRI는 10여 년간 여러 과제를 통해 집중적으로 HRI 기술을 연구한 결과, 얼굴 · 성별 · 연령 인식 기술, 얼굴 영상 기반 심박 추출 기술, 휴먼 동작 인식 기술, 동작 평가 및 2D 포즈 추정 기술, 물체 검출 · 자세 추정 기술, 대용량 학습을 위한 가상 학습셋 생성 기술 등을 상용화 수준으로 확보하는 데 성공하였다.

이를 토대로 현재는 마스크를 착용한 상태에서 얼굴을 인식하는 기술과 2D 영상에서 3D 얼굴을 자동생성하는 기술, 3D 헤드 포즈 추론 기술, 영유아의 위험 상황 인식 기술 등을 개발 중이다. 또한, 로봇이 사람과의 상호작용을 풍부하게 하는 데 필요한 확장 단서로써 의상 속성, 의상 착용에 대한 코멘트 생성, 헤어스타일 관련 정보 인식 기술과 로봇의 자연스러운 제스처 · 행동 생성을 위한 발화 제스처 생성 기술도 개발하고 있다. 이들 기술은 기존 HRI 연구에서는 잘 다뤄지지 않고 있었으나, ETRI는 인간이 로봇과 친밀감을 형성하는 데 꼭 필요한 요소라고 판단하고 선도적으로 개발에 나서고 있다.

아울러, 2020년부터 4년간 사용자 반응에 스스로 적응하면서 경험기반 지능을 확장하는 클라우드 기반 학습 기술개발’ 과제를 진행할 계획이다.

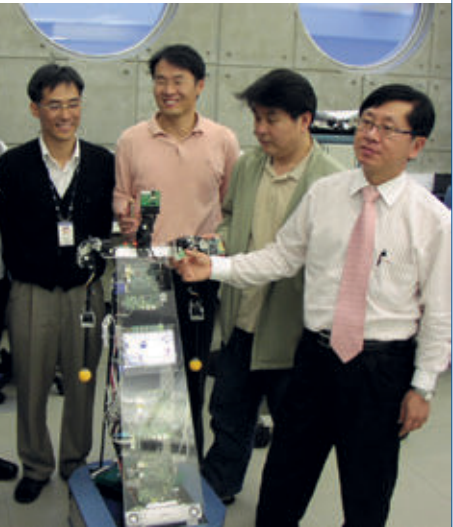
## 5-3-2. 자율주행

### 사람과 공존하는 로봇 자율주행 기술

산업용 로봇은 일반적으로 특정 위치에 고정되어 주어진 작업을 고속으로 정확하게 수행



ETRI의 인간-로봇 상호작용 기술



연구진의 URC로봇연구 모습

하는 역할을 한다. 반면에 서비스 로봇은 사람과 같은 공간에서 안내, 안전모니터링, 이동 보조, 배송 등의 작업을 수행하기 때문에 무엇보다 사람의 안전을 최우선으로 고려해야 한다. 즉, 충돌을 피할 수 있어야 하며, 위치 인식 실패로 금지구역에 진입하는 등의 오류가 없어야 한다. 따라서 ‘실내외 로봇자율주행 기술’은 로봇이 움직이는 공간에 대한 지도작성 기술, 특정 목적지까지 이동 경로를 계획하는 기술, 현재 로봇이 어디 있는지를 파악하는 위치추정 기술, 이동 중 정적 · 동적 장애물을 안전하게 피하기 위한 주행환경인지 및 장애물 회피 기술, 다양한 노면에서 안정된 주행을 하기 위한 자세 추정 및 주행제어 기술 등으로 구성된다.

### 국내 자율주행 로봇의 토대 구축

ETRI는 URC 연구개발 사업의 일환으로 서비스 로봇의 효과적인 이동을 지원하는 ‘실내외 로봇자율주행 기술개발’ 과제를 추진하여, 센서 기반 위치 인식 기술인 ‘StarLite’와 로봇의 지도작성과 수동조작을 용이하게 하는 ‘Navi-guider’, 그리고 실내 공간을 대상으로 빠르게 지도를 작성할 수 있는 통합형 고속 환경지도 작성시스템인 ‘QMap(Quick-Map)’과, QMap을 확장한 저가의 3차원 라이다 장비를 활용하여 대면적 공간에 대해 빠르게 지도를 구축할 수 있는 ‘LION(LiDARandInertial Odometry Mapping)’ 등을 개발하였다. 아울러, 다양한 경로계획 및 주행제어 알고리즘을 손쉽게 개발 및 적용할 수 있는 범용 자율주행 프레임워크인 ‘uRON(universal Robot navigation)’을 개발하여 로봇을 잘 모르는 기업도 손쉽게 자사의 제품에 자율주행 로봇 SW를 적용할 수 있는 환경을 마련하였다.

특히, 로봇과 같이 제한된 컴퓨팅 환경과 실시간성을 요구하는 서비스에서 필수적인 ‘동적 객체 인식 · 추적 기술’은 2015년 국제컴퓨터비전학회(ICCV)와 2016년 유럽컴퓨터비전학회(ECCV)의 비디오 객체 추적기 경진대회에서 실시간 분야 1위와 2위를 차지하였다. 또한, 자율주행 로봇의 안전한 주행과 모션에 관련된 국제표준인 ISO 13482를 준수하기 위한 로봇 안전 평가 기술을 개발하여 KS 표준으로 제정함으로써 로봇 산업의 활성화와 국제화에 기여하였다.

ETRI는 로봇 자율주행 핵심기술들을 고도화하여 20여 개의 기업에 이전하였으며, LG전자, 네이버랩스, 현대로보틱스 등의 기업과 공동연구 및 기술교류를 지속하면서 국내 로봇 산업 활성화에 기여하고 있다. 또한, ETRI가 보유한 인공지능 기술을 로봇의 다양한 자율주행 핵심기술에 적용하여 새로운 도약을 시도하고 있다.

### 인간-로봇 공존 사회를 위한 기술

과거 로봇주행은 정적인 인식·제어·판단을 기반으로 한 기술이었지만, 현재는 환경에서 습득한 멀티모달(multi-modal) 데이터를 기반으로 사전에 학습되지 않은 비정형 환경에도 적용할 수 있는 로봇주행 기술로 발전하고 있다. 또한, 미래의 로봇 기술은 사회규범 및 지식체계에 대한 이해를 바탕으로 사람과 공존하는 기술로 진화할 것이며, 부족한 노동력의 대체와 코로나19와 같은 팬데믹 상황에 따른 비대면 작업 처리 등 다양한 사회문제 해결을 위한 주요 수단으로 그 중요성이 빠르게 확대될 것이다.

ETRI는 이러한 로봇의 발전 패러다임에 발맞춰 포털(portal)의 지도와 거리뷰 이미지를 그대로 활용하여 비대면 배송 로봇을 원하는 목적지까지 인도하는 ‘로봇 길안내 인공지능 기술’과 노동력 부족에 직면한 농가를 위한 ‘자율 방제기 로봇 기술’, 우편집중국이나 물류 환경에서 배송과 상·하역을 지능적으로 수행하는 ‘로봇 작업지능 기술’ 등을 개발하고 있다. 또한, 인공지능 로봇의 지능을 지속해서 증강하기 위한 핵심기술개발도 시작하였다. 기존 2D 영상데이터와 함께, 3D 라이다 및 레이더, 음성, 3D 영상, 온도, 속도, 6자유도 자세 데이터 등 다양한 멀티모달 데이터를 수집하고 전처리하여 ‘파괴적 망각(Catastrophic Forgetting)’<sup>201)</sup>을 극복하고 지속해서 학습을 수행하도록 하는 클라우드 기반 ‘로봇지능 증강 프레임워크’를 개발하고 있다. 앞으로도 ETRI는 사람 중심의 로봇 공존 사회를 위해 필요한 안전하고 편리한 인공지능 로봇 기술개발을 계속해서 추진해나갈 예정이다.



uRON이 적용된 로봇들

### 교통안전을 지키는 첨단 ICT 기술

2000년대 초 첨단 ICT 기술을 이용하여 늘어나는 교통사고를 막고 교통환경을 개선하려는 연구가 미국과 유럽을 중심으로 활발히 진행되었다. 우리나라에서도 차량용 무선통신 기술을 도로 환경에 적용하는 방안이 새롭게 제시되었으며, 하이패스로 널리 알려진 차량용 통신 기술이 고속도로 자동요금징수에 적용되기 시작되었다.

### VMC 기술의 계속되는 진화

ETRI는 차량용 통신 기술의 기능과 성능을 획기적으로 개선하고자 2007년부터 ‘VMC(Vehicle Multi-hop Communication, 차량간 멀티홉 통신) 기술개발’ 과제를 추진하였다. 과제의 목표는 WAVE<sup>202)</sup> 표준이 포함된 국제표준인 IEEE802.11p<sup>203)</sup>을 만

족하는 차량용 통신 기술개발이었으며, 4년간 연구비 136억 원이 투입되었다. 현대자동차, LG전자 등의 대기업과 아이티텔레콤, 라닉스 등 다수의 중소기업이 공동연구기관으로 참여하였다.

과제를 통해 ETRI는 WAVE 표준 기반 V2X<sup>204)</sup> 통신 기술과 핵심 특허를 확보하고 통신 장치를 개발하였다. 미드애플을 적용하여 고속이동 환경에서 채널을 추정하는 기술, 타임슬롯 기반의 MAC 기술, 노변 기지국 간 Seamless 핸드오버기술 등을 확보하고, 이를 기반으로 WAVE 표준기술의 단점인 고속이동 환경에서의 페이딩 채널로 인한 성능 저하, 다수 사용자 환경에서의 패킷전달 시간 지연 등을 극복하는 데 성공하였다. 또한, 개발된 기술들을 국내 표준과 통신모뎀 칩 회로에 반영하였다.

VMC 핵심기술 및 특허를 확보한 ETRI는 계속해서 기술을 확장해 나갔다. 2009년에는 개발된 기술들을 국토교통부의 ‘스마트 하이웨이 개발사업’에 적용하여 차량용 통신 장치와 모뎀칩을 개발하였으며, 2010년에는 아이티텔레콤 업체와 협력하여 ‘제17회 부산 ITS 세계대회’ 행사의 하나로 벅스코 인근 도심지에서 V2X 통신 서비스를 시연하였다. 또한, 부산과 온양 간 고속도로 구간에서 스마트 하이웨이 서비스를 시연함으로써 국내 기술력을 세계에 널리 알리는 계기를 마련하였다.

2012년에는 ㈜라닉스와 함께 ‘도심 주행환경에서의 차량 통신/DSRC(Dedicated Short Range Communication, 근거리 전용 고속 패킷통신 시스템) 통합 칩 기술개발’ 사업을 추진하여, NLOS<sup>205)</sup> 환경에서도 통신이 가능한 개량된 통신모뎀을 개발하였다. 아울러, 2014년에는 메타빌드 업체에 차량용 통신 기술들을 이전하고 개선된 노변 기지국 통신 장치 개발을 이어나갔다. 또한, ANT 연구소와의 민간수탁 사업을 통해 차량 통신에 필요한 상위 SW 스택 개발을 완료함으로써 WAVE 기술의 완성도를 높였다.

한편, 자율주행 자동차 기술의 발전으로 차량용 통신 기술에 대한 요구가 점차 커지자, 2016년부터 3년간 자율주행 자동차의 실시간 제어를 위한 ‘고속 V-link 통신 기술개발’ 과제를 수행하여 100Mbps급의 대용량 데이터 전송 모뎀 기술과 초저지연을 위한 Self-organizing TDMA<sup>206)</sup> 기반기술을 확보하였다. 또한, 2017년에는 유럽의 ‘Horizon 2020 AUTOPILOT’ 국제공동연구 컨소시엄에 참여하였고, 그해 6월부터 3년간 한국산업기술진흥원과 공동으로 ‘자율주행을 위한 교차로 안전서비스 개발’ 과제를 수행하고 있다. 이 과제를 통해 ETRI는 원내와 K-City(자율주행 실험도시)에 파일럿 사이트를 구축하고, IoT 디바이스와 플랫폼 기반의 차량 신호 위반 경고 시스템과 보행자 경고 서비스에 대한 인증시험을 수행하였다.



차량간 멀티홉 통신

204)V2X(Vehicle to Everything, 차량-사물 통신): 차량과 차량(V2V), 차량과 인프라(V2I), 차량과 사람(V2P), 차량과 네트워크(V2N) 등의 다양한 형태로 존재하는 통신링크를 일컫는 용어이다.

205)NLOS(Non-Line Of Sight, 비 가시거리): 목적지(가장애물) 등에 의해 가려져 전파의 회절이나 반사파가 발생하는 비 직진성을 표현하는 용어이다.

206)TDMA(Time Division Multiple Access, 시분할다중접속): 하나의 중계기에 여러 사용자가 접속하여 동시에 데이터를 송수신할 수 있게 해주는 기술이다.

201) 파괴적 망각: 인공지능의 신경망이 새로운 작업을 수행하기 위해 이전의 작업에서 익힌 지식과 수행방법을 스스로 삭제하거나 재설정해야 하는 특성을 뜻한다.

202)WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment, 차량용 무선통신): 200km/h의 고속으로 주행하는 환경에서 최대속도 27Mbps의 데이터 전송속도 및 100ms 이하의 지연 시간을 제공하는 차량용 무선통신 기술이다.

203)IEEE802.11p: 차량 이동환경에서의 무선액세스(WAVE)를 추가한 IEEE 802.11 표준 수정판이다.





차량용 G-WAVE 통신모뎀 칩(2020. 7. ㈜라닉스)

다양한 분야로 확장하는 V2X 통신 기술

ETRI가 개발한 V2X 통신 기술은 C-ITS<sup>207)</sup> 서비스 실증사업에 활용되고 있으며, 향후 자율주행 서비스, 스마트 시티 등에도 활용 가능성이 크다. 또한, IoT 센서 기술, 빅데이터 기술, 인공지능 기술과의 관련성이 커 산업적인 파급효과 및 서비스 시장의 잠재성이 매우 크다고 할 수 있다.

최근에는 후속 과제를 통해 V2X 통신 기술을 스마트 가로등에 접목하여 교통사고 다발 지역의 안전을 강화하는 서비스를 연구 중이다. ETRI는 앞으로도 계속해서 V2X 통신 기술을 교통 인프라, 차량, 보행자 등과 연결함으로써 국민의 안전과 편의를 도모하고자 노력할 것이다.

완전 자동주차를 실현한 무인 발렛주차 기술

2009년 4월 지식경제부가 발표한「신성장동력 기술로드맵(IT 융합시스템)에 ‘지능형 그린 자동차’가 6대 스타 브랜드 중 하나로 선정되면서, 전략 품목인 ‘자동 발렛파킹 기술’ 개발이 추진되기 시작하였다. 자동 발렛파킹은 차량 장착형 센서와 인프라 센서 등을 이용하여 출발지에서 주차 공간까지 차량을 자동으로 유도하는 기술로, 주차 시 불필요하게 소모되는 시간과 에너지를 절약함으로써 소요 비용과 환경오염을 최소화하는 공공성이 강한 기술이다. ETRI는 2010년 ‘자동 발렛파킹을 위한 센서 기반 공간인지 및 자동주행에 관한 기술개발’ 과제를 시작하였다. 이는 2010년부터 2013년까지 연구비 85억 원과 연구인력 연 71명이 투입된 과제로, ETRI에서 핵심 SW 연구개발을 진행하고, 자동차 관련 기술은 국내 중소 기업들과 공동연구를 통해 확보하는 형태로 추진되었다.

과제 수행을 통해 연구진은 센서퓨전 기반 공간형태 및 장애물 인식 기술, 환경인지의 강인성을 위한 인프라 상황인식 플랫폼 기술, 자동 발렛주차 서버 및 단말 기술, 차량 경로 제어 로직 및 고안전 주행기술, 차량·인프라 구축 및 시스템 신뢰성 검증·평가 기술 등을 개발하였다. 특히, 도로 마커 등을 포함한 정밀지도를 구축하고, 그 지도와 차량에 장착된 카메라 영상을 매핑하여 정확한 위치를 파악하는 영상 기반 위치 인식 기술은 이후로 ETRI 자율주행 기술이 타 기관의 기술들보다 우위를 점할 수 있는 핵심기반이 되었다.

개발된 기술들을 토대로 ETRI는 2013년 스마트폰을 이용해 언제 어디서든 자신의 자동차를 주차하고 불러올 수 있는 ‘무인 발렛주차 기술’ 구현에 성공하였다. 이는 차량에 5개

207) C-ITS(Cooperative Intelligent Transportation Systems, 협력-지능형교통체계): 통신시스템을 이용해 도로교통 시스템 구성요소 간 정보를 연계함으로써 위험 상황에 미리 대처할 수 있도록 하는 미래형 교통체계이다.

의 카메라 센서와 10여 개의 초음파센서를 장착하고 주차면에도 미리 센서를 설치하여 ‘완전 자동주차’를 실현한 것으로, 운전자가 페달이나 브레이크 등을 작동할 필요가 전혀 없다는 점에서 기존의 주차보조시스템(PAS)과 차별된다. ETRI는 무인 발렛주차 기술 확산을 통하여 미숙한 주차로 인한 교통사고로 발생하는 연간 18조 원의 사회적 비용과 주차 공간을 찾느라 소비하는 연료(가솔린) 연간 7만 5천 리터를 절약할 수 있을 것으로 전망하였다.

미래를 예측한 선제적 연구가 주요 성공 요인

처음 연구개발을 시작할 당시, 무인 발렛주차는 먼 미래의 일로 치부되는 등 부정적인 시선이 많았다. 특히, 안전과 신뢰성을 우선으로 하는 자동차 분야의 특성상, 사람이 직접 조작하지 않고 IT 기술이 이를 대신하는 무인주차에 대한 신뢰도는 매우 낮았다. 그러나 ETRI는 통신 기술과 HW 기술이 빠르게 발전하는 상황에서 선제적으로 무인 발렛주차 기술개발에 뛰어들었다. 그리고 성공적인 기술개발을 위하여 3개의 핵심 파트(인식, 판단, 제어) 기술을 집중 개발하고, 이를 유기적으로 융합하였다.

클라우드와 AI 기반의 자율주행 기술로 진화

최근 자동차산업은 전통적인 기계 중심 산업에서 통신과 다양한 SW 기술의 융복합을 통한 ‘IT 융합 SW 기반 이동 서비스 산업’으로 스펙트럼을 확대하고 있다. ETRI는 무인 발렛주차 기술개발을 통하여 이러한 패러다임 변화를 견인하는 역할을 하고 있다.

ETRI는 후속연구로 2015년 3월부터 2018년 4월까지 총 93억 원을 투입하여 ‘클라우드 기반의 점진적 정밀 진화형 맵 생성 및 주행상황인지 SW 기술개발’ 과제를 수행하였다. 그 결과, 클라우드연계를 통하여 동시다발적으로 최신의 주행환경 데이터를 수집하고, 이를 기반으로 더욱 진화된 정밀 맵 생성 기술과 자율주행 상황인지 및 주행상황 판단 핵심 기술을 개발하였다.

또한, 2017년 1월부터 2020년 12월까지 총 121억 원이 투입된 ‘운전자 주행경험 모사 기반 일반도로 환경의 자율주행 4단계(SAE)를 지원하는 주행판단 엔진 개발’ 과제를 진행하였다. 이는 인공지능 기술을 기반으로, 복잡하고 예측 불가능한 일반도로 환경에서 차량 흐름을 반영한 주행경험 정보를 수집·분석하여 주행환경에 지능적으로 대처하는 ‘주행판단 지능 엔진’을 개발하는 과제이다. 이 연구개발로 ETRI는 한 단계 더 진화된 자율주행 인공지능 기술을 확보하게 되었다.



무인 발렛주차 시스템 개요도

전 세계적으로 자율주행 기술개발 시작

‘자율주행 기술’은 운전자 부주의로 인한 교통사고 사망률을 줄이기 위해 개발되기 시작되었다. 미국 네바다주는 2011년 세계 최초로 무인자동차의 시험운행을 위한 법률을 통과시켰고, 2012년 구글이 시험 면허 획득에 처음으로 성공하였다. 이를 기점으로 세계 각국은 자율주행 기술개발과 관련 법·제도 마련에 주력하기 시작하였다. 국내에서는 2016년에 국토교통부 고시 제2017-198호 「자율주행 자동차의 안전운행요건 및 시험운행 등에 관한 규정」이 신설되었고, 이 법령에 근거하여 일반 공로에서 자율주행을 시험할 수 있는 기본제도가 마련되었다.

국내 최고 수준의 자율주행 기술 확보

ETRI는 2015년부터 자율주행을 안전하게 수행하기 위한 인지·판단·제어 핵심기술들을 개발하기 시작하였다. 특히, 인공지능은 자율주행을 완전 자율주행 레벨까지 높이기 위한 핵심기술이다. ETRI는 다양한 주행환경 인지 및 예측 인공지능 기술을 자율주행에 적용하기 위하여 대규모 학습 자료를 수집하고 기계학습을 수행하고 있으며, 이를 통해 자율주행 차량의 위치를 높은 정확도로 인식하는 기술과 3D 이동객체 인식 기술, 국내환경에 맞는 신호등 인식 기술, 차량 후미등 인식에 의한 회피 주행기술 등을 개발하고 있다. 이러한 기술들을 토대로 ETRI는 2017년 국토교통부의 ‘자율주행 임시운행허가 면허’를 획득하였다. 이는 국내 7번째 면허 획득이었으나, 점수는 가장 높았다. 타 기관들 대부분이 GPS에 의존하여 기술 시험을 통과한 것과 달리, ETRI는 인공지능이 접목된 위치인식 기술을 이용하여 GPS 오차가 큰 지역에서도 문제없이 자율주행을 할 수 있어 높은 점수를 획득할 수 있었다.

빅데이터 기반의 데이터 학습

자율주행차는 기술개발뿐만 아니라 안전확보를 위한 테스트도 매우 중요하다. ETRI는 2018년 12월 ‘K-City 자율주행 모의도시 준공식’에서 국무총리를 태우고 4km 구간을 자율주행한 데 이어, 광화문, 대덕연구단지, 청계광장, ETRI 원내에서 지속적인 테스트를 수행하면서 기술의 안전성과 완성도를 높이고 있다. 또한, 인공지능의 핵심인 데이터를 충분하게 확보하기 위해 데이터 수집 차량을 직접 제작하고, 여기에 카메라, 라이다, GPS를 장착하여 대전과 세종 사이의 도로를 계속 주행하며 데이터를 수집하는 중이다. 연구진은 수



자율주행차 연구



‘K-City 자율주행 모의도시 준공식’에서 자율주행차 시연 (2018. 12. 11.)

집한 데이터를 토대로 기계학습을 수행하고 기존의 인지·판단·제어 SW와 통합하여 한 단계 높은 수준의 자율주행 기술을 구현하고 있다. ETRI는 신생기업 및 대학이 자율주행 기술개발을 활성화할 수 있도록 구축된 인공지능 학습 데이터를 공개하고 있다.

자율주행 레벨4에 도전

글로벌 탑인 웨이모나 테슬라의 자율주행 기술력은 현재 우리나라보다 5년 이상 앞선 상황이다. 그러나 ETRI는 글로벌 기업과 동일한 방향으로 기술개발을 진행하고 있어 어깨를 나란히 할 수 있는 시기가 멀지 않았다고 판단하고 있다.

정부는 2021년부터 7년간 총사업비 1조 974억 원 규모의 범부처 ‘자율주행기술개발혁신사업’을 추진하여 현재 레벨2 수준인 국내 자율주행 기술을 레벨4까지 끌어올린다는 계획을 수립하였다. 레벨4는 차량이 스스로 상황을 정확히 인지·판단할 수 있어 비상시에도 운전자의 개입이 불필요한 완전 자율주행 수준을 뜻한다. 이를 위해서는 차량이나 부품뿐 아니라 ICT와 도로교통 등도 혁신적으로 바뀌어야 해서 범부처 통합사업으로 연구개발이 추진되고 있다. ETRI는 이러한 정부 정책에 발맞춰 앞으로 다양한 도로 환경(정형·비정형 환경, 터널, 비포장도로 등), 기상환경(주간·야간, 우천·우설 등)에 강인한 레벨4 수준의 자율주행 인공지능 핵심기술을 확보해 나갈 계획이다.





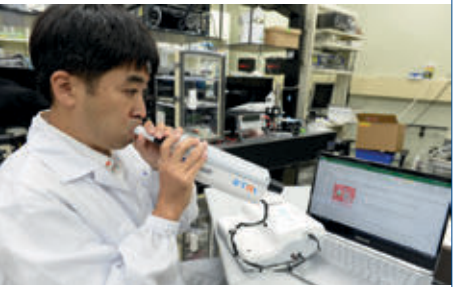
방사능 물질없이 암진단

컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 의료분야에서도 환자데이터 관리, 의료영상 관리 등에 ICT가 적용되기 시작하자, ETRI는 1998년 단순 X선 영상분석을 통한 ‘골다공증 진단 기술’ 개발을 시작으로 ICT와 바이오/의료 융합연구를 시작하였다.

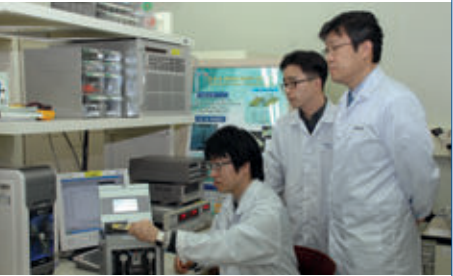
이어서 2000년대 들어 인간 유전체 정보를 밝히는 게놈 프로젝트가 완료되고, 과학기술계의 화두였던 유비쿼터스를 헬스케어에 적용한 유헬스케어(u-healthcare, ubiquitous healthcare) 개념이 등장하자, 융합연구의 폭을 크게 확대하였다.

ETRI는 2000년대 초반 ‘PACS(의료영상저장전송시스템) 탑재용 폐암 자동검출 기술’ 등의 컴퓨터보조진단 기술을 개발한 데 이어, ‘바이오 데이터마이닝 및 통합관리 핵심 SW’ 개발로 국내에서 수요가 급증하고 있던 생물정보학 분석에 필요한 핵심 SW 컴포넌트 개발을 이뤄냈다. 또한, 언제 어디서나 간편하게 생체신호를 측정할 수 있는 웨어러블 형태의 신체측정 장비개발에 돌입하여 2006년 국내 최초로 ‘바이오 셔츠’를 제작하는 데 성공하였다. 이후로 웨어러블 생체신호 측정기 기술을 바이오인식 분야로 확대하여, 2020년에는 신체 내부의 구조적 특성을 활용, 원천적으로 복제가 불가능한 ‘인체 전달특성 기반 바이오인식 시스템’을 개발하였다.

한편, 질병을 발병 현장에서 곧바로 진단할 수 있는 기술에 대한 요구가 커지자, 2000년대 초반부터 비침습 바이오센서 개발에 착수하여 ‘현장진단용 비침습 바이오센서’를 개발하였고, 2011년에는 관련 기술을 토대로 연구소기업인 아큐젠헬스케어(현 수젠텍)가 창립되었다. 수젠텍은 2019년 ETRI 연구소기업 최초로 코스닥 상장에 성공하였다. 이 기술은 지속해서 고도화되어 2019년 호흡(날숨)을 이용해 폐암을 간단하게 진단할 수 있는 의료용 ‘전



전자코로 폐암진단 성능확인



연구진이 개발한 암진단 바이오 칩

자코’ 개발로 이어졌다. 또한, 2015년에는 관련 기술을 토대로 PCR 기기 및 시약 전문 연구소기업인 진시스템이 창립되었다. 진시스템은 2021년 코스닥 상장 예정이다.

또한, 2006년부터 체액 내에 함유된 질병과 연관된 다양한 바이오마커(Biomarker)를 손쉽게 검출하여 일반인도 어디서나 질병을 간편하게 검사할 수 있는 스마트 진단 기술개발에도 돌입하였다. 이를 통해 ‘현장진단용 초고속 혈액 전처리 칩’과 심근경색증을 발병 현장에서 진단할 수 있는 ‘현장진단 검사센서 기술’ 등을 개발하였다.

2010년대 들어 개인의 건강관리에 ICT 기술을 적용하려는 시도가 활기를 띠기 시작하자, 2017년에는 개방화된 환경에서 개인 주도로 건강정보를 관리하는 ‘개방형 헬스플랫폼(힐링 플랫폼)’을 개발하였다. 또한, 고성능 클라우드 기반으로 다기관 의료지능을 학습하여 질병을 조기에 진단하는 인공지능 주치의 ‘Dr.AI’ 개발에도 성공하였다. 코로나19 사태로 인한 비대면 의료서비스의 확산은 인공지능 주치의 시대로의 진화를 더욱 가속할 것으로 보인다. 한편, 2017년부터 통증과 후유증 없이 암을 치료할 수 있는 레이저 기반 입자빔 치료기 핵심 원천기술개발에 돌입하였다.

5-4-1. 바이오/의료

의료영상 분석 기술의 발전

1980년대 들어 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 의료분야에서도 환자데이터 관리, 의료영상 관리 등에 ICT가 적용되기 시작하였다. 특히, 1990년대 중반부터 X-ray, CT, MRI, 초음파 등의 의료영상을 저장·전송하기 위한 의료영상저장전송시스템(PACS)<sup>208)</sup>이 국내에서도 사용되었다. PACS를 통해 디지털 의료영상 데이터에 대한 접근성이 좋아지면서 관련한 분석 기술의 개발도 속도를 내기 시작하였다.

골다공증 및 폐암 컴퓨터보조진단 기술개발

ETRI의 의료영상 연구의 시발점은 1998년 단순 X선 영상 분석을 통한 ‘골다공증 진단 기술개발’이었다. 이는 X선 영상에 내포된 골다공증 징후를 자동으로 찾아내는 컴퓨터 알고리즘을 개발하는, 일종의 컴퓨터보조진단(computer-aided diagnosis) 기술개발이었다. ETRI는 충남대병원 영상의학과와 도움을 받아 X선 영상에서 직접 골밀도를 측정하는 방식으로 골다공증 진단 기술을 개발하였다.

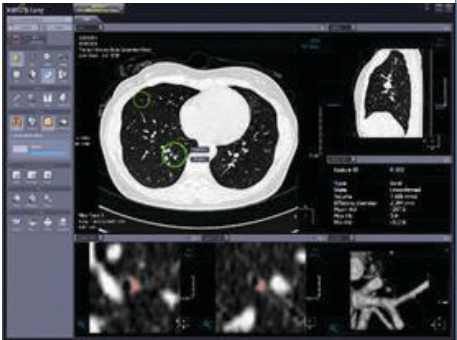
그러나 병원마다 X선 촬영 조건이 다르고 X선 필름의 현상 조건도 일정하지 않아, 얻어지는 X선 영상을 정량적으로 분석하기가 매우 어려웠다. 이에 X선 영상을 정량화할 수 있는 보정 기법을 개발하였고, 병원 간 측정의 편차를 바로잡는 기법도 확보하였다. 이 방법은 고가의 골밀도 측정기를 기준으로 r=0.97 이상의 상관도가 있음이 확인되었다. 연구진은 기술 상용화 과정에서 드러난 여러 결함을 꾸준히 해결해가며 2003년까지 성능개량을 진행하였다. 그 결과, 상용화된 제품은 수백 곳의 병원에 납품되고, 건강보험 의료수가에도 등재되었다.

한편, ETRI는 2002년부터 흉부 CT 영상에서 폐암 여부를 자동으로 검출하는 기술을 개발하며 진정한 의미의 컴퓨터보조진단 기술개발에 본격적으로 돌입하였다. 본 기술개발은 서울대병원 영상의학과 의료진과 함께 진행하였으며, 폐암의 영상의학적 특징을 추출하는 전통적인 영상처리 기법을 사용하였다. 요즘에는 잘 정제된 데이터가 충분히 있으면 인공지능이 기계학습을 통해 폐암의 영상의학적 특징을 정밀하게 분석하는 것이 어렵지 않으나, 당시에는 다양하고 주요한 폐암의 영상의학적 특징 검출 알고리즘을 일일이 개발해야만 하였다. 따라서 최대한 다양한 특징을 찾아내는 알고리즘을 확보하는 험난한 과정이 수



날숨 성분 분석해 폐암진단 돕는 시스템

208) PACS(Picture Archiving and Communication System, 의료영상저장전송시스템): 환자의 의료영상 데이터를 저장·전송하기 위한 SW로, 이를 통하여 의료영상을 보거나 다양한 응용 SW에 활용하는 것이 가능하다.



폐암 여부 자동검출 SW(Xelis® Lung)

209) 데이터마이닝: 대규모로 저장된 데이터 안에서 체계적이고 자동으로 통계적 규칙이나 패턴을 찾아내 분석한 뒤, 다양한 자료로 활용하는 기술이다.

반되었으며, 의사들이 설명하는 특징을 컴퓨터가 이해할 수 있는 언어로 표현하기 난해한 경우도 많았다. 그러나 연구진은 끈기 있게 의학이라는 낯선 분야에 ICT 기술을 적용하는 어려운 작업을 진행하였고, 성공적으로 폐암 여부를 자동으로 검출하는 기술을 개발하였다. 개발된 기술은 임상과의 상호 보완적인 관계를 보여, 함께 사용하면 시너지 효과가 높은 것으로 확인되었다. 또한, 2006년 (주)인피니트헬스케어에 이전 및 상용화되어, Xelis® Lung이라는 브랜드로 PACS에 탑재되어 시판되고 있다. ETRI 컴퓨터보조진단 기술의 개발 및 상용화는 다른 기관 연구자들로부터 큰 관심을 받았으며, 특히 2000년대 초반 ICT 벤처 창업 분위기와 맞물려 해당 분야 기술 사업화를 촉진한 것으로 평가된다.

국내 헬스케어 ICT 분야 견인

골다공증 및 폐암에 대한 컴퓨터보조진단 기술을 개발한 것을 시작으로, ETRI는 바이오/의료 분야 대형과제를 지속해서 수주·수행하였다. 이는 국내 헬스케어 ICT 분야의 발전에 있어서 중요한 촉매 역할을 하였다.

생물정보 융합연구 필요성 대두

2001년, 30억 개의 염기서열로 구성된 인간 유전체 정보가 인류 역사상 최초로 밝혀졌다. 바이오 선진국인 유럽과 미국 등은 이 대규모의 생물정보로 인간 질병의 비밀을 알아내기 위한 연구를 활발히 진행하였다. 이와 함께, 생명 현상을 밝히기 위해 전통적인 생명과학에 ICT 기술을 접목한 생물정보학에 대한 관심도 급증하였다. 국내에서도 바이오 분야에서 생물정보학 접근이 필수적인 시대라는 공감대가 형성되었으며, 분야 간 융합연구를 통해 국내에 필요한 생물정보학 분석 도구를 개발하려는 시도가 시작되었다.

바이오 데이터마이닝 및 통합관리 핵심 SW 개발

ETRI는 2003년 ICT와 BT 융합 프로젝트로 ‘바이오 데이터마이닝 및 통합관리 핵심 SW 컴포넌트 개발’ 과제를 시작하였다. 과제의 목표는 바이오 데이터마이닝<sup>209)</sup> 및 통합관리를 통하여 미지의 유전자와 단백질의 패스웨이 핵심 정보를 예측할 수 있는 바이오 SW를 개발하는 것이었으며, 2006년까지 연구비 120억 원과 연구인력 연 188명이 투입되었다. 또한, 인간 유전체 기술을 보유한 (주)마кро젠과 (주)라이브캠이 공동연구기관으로 참여하였



다. 연구는 ETRI가 바이오산업 및 연구 현장에서 필요로 하는 핵심 SW들을 설계·개발하면, 공동연구기관이 생물학적 유용성 검증을 수행하는 식으로 진행되었다.

연구 결과, ETRI는 2003년 인간 유전체 서열 정보에 대한 핵심 SW를 개발하였고, 2004년에는 유전체 서열의 발현 정보인 유전자 칩을 분석하여 암을 진단할 수 있는 SW를 개발하고 이를 (주)이즈텍을 통해 상용화하였다. 유전자 칩은 한 개의 작은 칩 위에 수천, 수만 개의 유전자가 올려져 있는 형태로, 이를 해석하기 위해서는 IT-BT 융합기술인 고성능 SW 분석 기술이 필수적이다. ETRI는 유전자 군집 및 판별 분석 기술, 지능형 알고리즘과 유전자 사이의 상호관계를 이용한 자동 주석기술을 활용하여 본 기술(제품)의 수준을 끌어올렸다.

아울러, 2005년에는 단백질 사이의 상호작용 네트워크와 단백질 3차원 구조 분석이 가능한 SW를 개발하고, 2006년에는 문헌에서 바이오 정보 및 상호관계를 분석하는 SW와 이질적이고 분산된 바이오 정보를 통합관리하고 공유할 수 있는 시스템을 개발·완료하였다.

### 국내 생물정보학 분야 핵심 SW 컴포넌트 개발

‘바이오 데이터마이닝 및 통합관리 핵심 SW’ 개발로 ETRI는 국내에서 수요가 급증하고 있는 생물정보학 분석에 필요한 핵심 SW 컴포넌트 개발을 이뤄냈다. 이로써 생물정보학 분야를 연구할 때, 매년 새로 SW를 개발할 필요 없이 표준화된 SW 컴포넌트를 활용하여 빠르게 다양한 응용연구를 추진할 수 있는 기반이 마련되었다.

개발된 기술들은 신약 개발을 위한 예측 시스템을 구축하거나 바이오 데이터와 의료데이터의 유기적 통합을 통한 차세대 의료 진단 및 예측, 환경 미생물 개발, 유전자 조작을 통한 동식물 품종 개량 등 다양한 생물정보학 관련 연구 추진을 위한 기반기술로 활용되었다.

본 과제의 성과를 토대로 ETRI는 2011년 인간유전체 염기서열 해독에 특화된 컴퓨팅 기술을 개발하는 ‘유전체 분석용 슈퍼컴퓨터 개발’ 사업을 추진하였다. 이를 통해 36,000여 코어와 104.5페타플롭스 성능을 구현하는 MAHA(MAny-core Hpc system for bio-Application) 시스템이 구축되었으며, 연구소기업 (주)신테카바이오가 창립되었다. (2019년 코스닥 상장)



유전체분석용 슈퍼컴퓨터 마하



제87회 김천 전국체전 당시 바이오 셔츠 착용 선수들(2006.)

### 유헬스케어 시대의 도래

2000년대에 들어서면서 정보통신 강국의 면모를 갖추게 된 우리나라는 자연스럽게 ICT를 활용한 의료서비스 영역의 문을 열게 되었고, 유헬스케어의 토대를 만들었다. 유헬스케어(u-healthcare, ubiquitous healthcare)는 2000년대 초반 과학기술계의 화두였던 유비쿼터스 개념을 헬스케어에 적용한 것으로, 언제 어디에 있던 의료서비스를 받을 수 있는 환경을 의미한다. 유헬스케어를 위해서는 몇 가지 조건이 선행되어야 하는데, 그중 하나가 환자의 생체신호 측정 장비·기기가 병원 안은 물론 인체와 밀접한 곳에 언제나 있어야 한다는 것이었다. 이에 ‘웨어러블 측정 장비’의 필요성이 제기되었다.

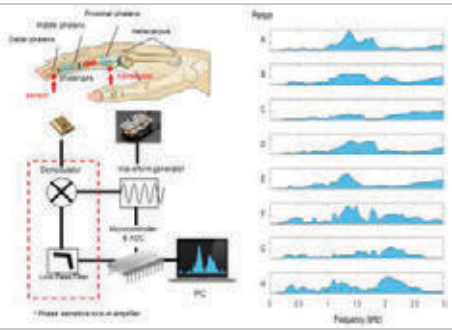
### 셔츠 및 패치 형태의 웨어러블 생체신호 측정기 개발

초기의 웨어러블 타입 생체신호 측정기기는 조끼 형태로 개발되었다. 주머니가 달린 조끼에 포터블 형태의 생체신호 측정기기를 넣고 조끼 내부로 선을 연결하여 만든 그야말로 원시 형태의 모습이었다. ETRI는 이를 실제로 착용하는 것처럼 만들기 위해서 무게를 줄이고 착용감을 좋게 하는 방향으로 연구를 진행하였다.

특히, 여러 생체신호를 측정하는 대신 가장 중요한 정보가 포함된 심전 신호 측정으로 장치를 특화하고, 편안한 착용감을 위해 조끼 형태 측정기를 스판 소재의 언더웨어 형태로 바꾸었다. 여기에서 가장 중요한 것이 전극인데, 기존의 조끼 측정기에서 선으로 연결된 일회용 전극을 사용했던 것을 개선하여 전도사를 이용한 전극을 직접 개발 및 제작하고 무봉제 방식으로 집적시키는 방법을 사용하였다.

연구진은 섬유 전극 개발을 위해 섬유 관련 연구소와 공동연구를 진행하는 한편, 봉제 기술을 확보하기 위해 봉대문을 돌아다니고, 전극 샘플 개발을 위해 여러 시도에 흠어져 있는 공장들을 찾아가 어렵게 제작 의뢰를 하기도 하였다. 이러한 노력 끝에 2006년 드디어 국내 최초의 ‘바이오 셔츠’가 제작되었다.

개발된 바이오 셔츠는 2006년 대구광역시 지자체 사업의 일환으로 지역 독거노인들에게 시범적으로 제공되었으며, 6건의 기술이전 실적을 올렸다. 아울러, 스포츠용품 업체인 키카와 함께 육상복 형태로 제작하여 2006년 김천 전국체전에 출전하는 선수들에게 적용하였다. 이후로 바이오 셔츠가 경기력에 영향을 주지 않으면서도 운동 시 생체정보를 획득할 수 있는 매우 좋은 장비라는 내용이 각종 방송프로그램에 소개되었고, ETRI가 참가하는 기술전시회마다 주요 성과물로 전시되었다.



인체 전달특성 기반 바이오인식 시스템

연구진은 바이오 서츠 기술을 계속해서 고도화하였다. 그 결과, 모듈은 더욱 작고 가벼워졌으며, 무선전송 형태가 아닌 자체 저장형 모델도 개발되었다. 의복의 형태는 언더웨어에서 등산복, 환자복, 아동복, 여성의 브라 형태 등으로 다양하게 변형되어 그 스펙트럼을 넓혔다. 또한, 의복 없이 측정 모듈을 피부에 바로 접촉하는 ‘바이오 패치’ 기술도 개발하였다. 바이오 서츠와 바이오 패치는 서로의 장단점을 보완해주는 하나의 세트로 인식되고 있다.

인체 전달특성 기반의 바이오인식 시스템 개발

ETRI는 웨어러블 생체신호 측정기 기술을 바이오인식 분야로 확대하여, 2020년에는 신체 내부의 구조적 특성을 활용, 원천적으로 복제가 불가능한 ‘인체 전달특성 기반 바이오인식 시스템’을 개발하였다.

인체를 이루고 있는 뼈 · 근육 · 지방 · 혈관 · 혈액 등은 개인마다 구조가 모두 다르고 매우 복잡한 형태를 하고 있다. 따라서 작은 진동이나 미세한 전류를 인체에 흘리면 각기 다른 신호가 취합되며, 이를 딥러닝 기술로 분석하면 특정 개인을 정확하게 인증할 수 있다. 예를 들어, 손가락의 구조적 특성 정보를 획득해 놓은 다음, 인증이 필요할 때마다 손가락에 미세 전류를 흘려 특정 개인이 맞는지 확인하는 식이다. 신체 어떤 부위든 미리 정보를 등록해 두면 바이오인식이 가능하며, 인식 정확도는 99% 이상이다.

의료서비스 패러다임의 변화

삶의 질 향상에 대한 욕구와 고령화 사회로의 진입은 의료서비스 패러다임을 질병의 ‘진단과 치료’에서 ‘예방과 관리’로 자연스럽게 변화시켰으며, 언제 어디서나 누구든지 의료서비스를 받을 수 있는 유헬스케어에 관한 관심도 커졌다. 이와 함께, 질병과 관련이 있는 일상 생활 습관을 관리하는 라이프케어 기술에 대한 요구가 커지면서, 스마트 진단 기술개발이 활발하게 추진되기 시작하였다.

본격적으로 스마트 진단 기술개발에 돌입

ETRI는 2006년 ‘Pervasive 라이프케어 건강모니터링 시스템 · 모듈 개발’ 과제로 스마트 진단 기술개발을 시작하여, 2009년 ‘프로그램 가능한 바이오 CMOS<sup>210)</sup> 전계형 소자 개발’

210) CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor): 상보형금속산화반도체로, 소비 전력이 매우 적다는 이점을 가지며, 휴대용 계산기, 전자시계, 소형 컴퓨터 등에 널리 채용되고 있다.



생체신호측정 복합센서

과제, 2010년 ‘모바일 기기 탑재형 광응답형 바이오센서 어레이 칩 개발’ 과제, 2014년 ‘조기암 진단용 고감도 모바일 바이오센서 개발’ 과제와 ‘고감도 바이오마커 감지를 위한 신개념 나노 광전자 트랜스듀스 개발’ 과제 등을 수행하였다.

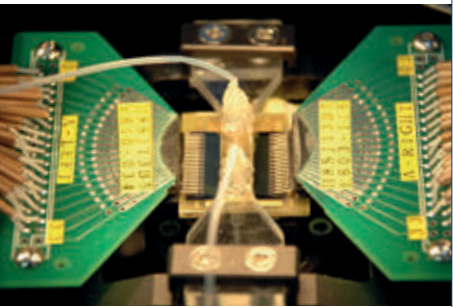
이 과제들의 목표는 인체의 체액(혈액 등) 내에 함유된 질병과 연관된 다양한 바이오마커(Biomarker)를 손쉽게 검출하여 일반인이 가정, 직장, 요양원 등 어디서나 질병을 간편하게 검사하고 개인 건강을 상시 모니터링할 수 있는 ‘스마트 진단 기술’을 개발하는 것이었다. 과제들은 ETRI가 주관하고, 국내기업들을 공동연구기관(주)에스디, (주)웅진코웨이, (주)제이엠아이 등)으로 참여시켜 상용화를 추진하는 한편, 분당서울대병원 등 국내 대학병원들과 함께 임상시험을 추진하는 형태로 진행하였다.

다중 검사 바이오센서 칩 및 자동검출 시스템 개발

대표적인 성과로는 2009년 개발된 ‘다중 검사 바이오센서 칩 및 자동검출 시스템’을 들 수 있다. 이는 다종의 식품 독소나 암 진단을 위한 바이오마커를 반도체 칩 하나로 검출할 수 있는 시스템으로, 세계 최초로 개발되었다. 여기에는 거대전하 나노입자를 이용한 무전하 · 저분자 검출용 바이오마커 신호 증폭 기술과 반도체 CMOS 기술이 이용되었다. 연구진은 반도체 고집적 기술을 활용하여 100개의 나노센서로부터 개별적으로 측정된 값들을 통계적으로 처리함으로써 재현성과 수율(transport number)을 높이고 진단의 정확도를 높이는 데 성공하였다.

본 시스템의 핵심은 ‘현장진단용 초고속 혈액 전처리 칩’이다. 전처리 칩을 이용하면 일반인도 혈액 한두 방울에서 30초 안에 혈구와 혈장을 분리해 혈액 진단검사를 할 수 있어 암과 같은 질병을 쉽게 조기 진단할 수 있다. 또한, 이 칩을 이용하면 혈액뿐만 아니라 미량의 식품에서도 빠른 독소 검출이 가능하다. 지금까지 식품 독소 분석은 시료 준비에 오랜 시간이 걸릴 뿐만 아니라 숙련된 전문가가 고가장비를 이용해야 했으나, 이 휴대형 바이오칩을 이용하면 일반인도 간편하게 식품 독소를 감지할 수 있다. 이 기술은 검역소를 비롯한 요식업소, 급식소, 일반가정에서 식품 안전성을 확인하는 현장 검사기에 적용될 것으로 보인다. ETRI는 장기간 연구를 통해 축적된 샘플(혈액, 타액, 소변 등) 전처리 기술, 광학 측정 기반의 바이오 포토닉 센서 기술, 나노선 채널을 이용한 전계효과 트랜지스터 센서 기술, CMOS 공정 기술, 바이오칩 어레이 기술, 항체 고정화 기술, 신호처리 기술, 시스템 기술들을 기반으로 본 기술을 구현할 수 있었다.

초고속 혈액 전처리 기술은 20여 건의 국내의 특허 출원을 완료하고 다수의 중소기업에 이



다중 검사 바이오센서 칩 및 자동검출 시스템



도 게재되었다. 또한, 의료서비스는 물론 식품 위생서비스, 반도체 시장에도 새로운 성장 동력을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

현장진단 검사센서 개발

ETRI는 후속 연구로 2017년부터 ‘인공지능주치의를 위한 현장진단 검사센서 기술’을 개발하고 있다. 현재 심근경색증은 대형병원에서 혈액 검사를 통해 진단하는데 평균 2시간이 소요되며, 고가의 장비를 필요로 한다. 그러나 사망률을 낮추기 위해서는 발병 후 병원으로 이송하는 과정에서부터 적절한 치료행위가 이뤄질 수 있어야 한다.

현장진단 검사센서 기술은 갑작스러운 발병으로 돌연사 가능성이 매우 큰 심근경색증을 발병 현장에서 신속하고 정확하게 검사 및 진단하기 위해 개발된 것으로, 원심력 기반의 혈액 전처리 기술, 심근경색 마커 고감도 감지를 위한 금 나노입자 기반의 광학 신호 증폭 기술 및 공정 자동화 기술 등을 기반으로 혈액 내 존재하는 심근경색 관련 바이오마커를 신속·정확하게 검출할 수 있다. 본 기술은 2019년 ETRI 대표성과 미래선도 부문에서 우수상을 받았으며, 연구 시제품은 ‘사물인터넷(IoT) 국제전시회’에 전시되었다. 또한, 본 기술은 2020년 11월에 MBC, YTN 사이언스 등의 방송과 전자신문 등 10개 신문에 홍보되었다.

ICT·BT 융합 분야 개발 필요성 대두

2000년 초 게놈프로젝트 완성 이후, BT와 ICT의 융합 속도가 빨라지면서 다양한 신산업 및 서비스가 창출되기 시작하였다. 특히, 유헬스케어 개념의 확산으로 현장에서 곧바로 활용할 수 있는 비침습 바이오센서의 필요성이 대두되었고, 미국 등에서는 현장진단용 헬스케어 장치들이 분자진단 기기와 면역진단 기기 등으로 일부 상용화되기 시작하였다. 이에 우리나라도 BT와 ICT의 융합 분야에서 국가경쟁력을 조기 확보하기 위한 대규모 연구개발사업을 추진해야 한다는 분위기가 무르익었다.

현장진단용 비침습 바이오센서 개발

ETRI는 2002년 ‘초미세 생체신호 통신용 마이크로 소자 핵심기술개발’ 사업을 시범적으로 시작하였으며, 2003년 사업 명칭을 ‘바이오 정보통신 기술개발’로 바꾸고 규모를 확대하였다.



현장진단용 암마커 감지 반도체바이오칩과 리더기

그리고 2006년 ‘유비쿼터스 건강관리용 모듈·시스템 개발’ 과제를 통해 본격적으로 ICT·BT 융합형 현장진단용 바이오센서 칩 및 화학센서 연구개발을 추진하기 시작하였다. 과제의 목표는 ‘유비쿼터스 환경에서 전문적인 건강관리가 가능한 휴대형 건강모니터링 모듈 및 시스템 개발’이었으며, 2009년까지 연구비 461억 원과 연구인력 약 50명이 투입되었다. ETRI가 주관하고 국내 대학 및 출연(연), 기업들이 공동연구기관으로 참여하였다.

ETRI는 ICT·BT의 융합 가능성이 큰 분야로 유전자 증폭을 위한 PCR<sup>211)</sup> 기술, 유비쿼터스 바이오칩 리더기 기술, 전자코 기술 등을 선정하고 관련 기술을 집중적으로 개발하였다. 우선, 2006년 현장에서 곧바로 질병을 진단할 수 있는 ‘현장진단용 비침습 바이오센서’를 개발하였고, 2011년에는 관련 기술을 토대로 연구소기업인 아큐젠헬스케어(현 수젠텍)가 창립되었다. 수젠텍은 2019년 ETRI 연구소기업 최초로 코스닥 상장에 성공하였으며, 2020년에는 코로나19 항체 진단키트를 상용화해 전 세계에 수출함으로써 진단키트 시장에서 414억 영업 매출을 낸 기업으로 성장하였다. 또한, 2015년에는 휴대형 초저전력 소모 PCR 장치 기술을 기반으로 연구소기업인 진시스템(PCR 기기 및 시약 전문)이 창립되었다. 진시스템은 2020년 코로나19 PCR 진단 장비를 상용화해 남아프리카공화국 등 전 세계에 수출하여 130 억원 이상의 매출을 올렸으며, 2021년 3월에 예비심사승인을 득하여, 2021년 5월말에 코스닥 상장하였다.

호흡 이용해 폐암 발견하는 ‘전자코’

2019년에는 현장진단용 비침습 바이오센서 분야에서 축적된 기술을 토대로 호흡(날숨)을 이용해 폐암을 간단하게 진단할 수 있는 의료용 ‘전자코’를 개발하였다. 전자코는 사람의 코가 신경세포를 통해 냄새를 맡는 것처럼, 호흡 가스가 들어오면 전자소자를 이용해 냄새를 맡은 다음 이를 전기적 신호로 바꿔 질병 유무를 판단하는 시스템이다. 날숨을 통해 폐 속 암세포가 만드는 휘발성 유기화합물을 감지하는 의료용 센서와 이렇게 획득한 데이터를 분석하여 폐암 환자를 판별하는 인공지능 기계학습 알고리즘 기술로 구현되었다. 전자코 개발로 앞으로 방사선 위험 없이 간단하면서도 저렴한 비용으로 폐암을 조기에 진단하고 예방하는 것이 가능해질 전망이다. 이 기술은 국제학술지 ‘센서&액추에이트 B’에 게재되어 그 우수성을 인정받았으며, 관련 기술을 토대로 연구소기업 설립이 추진 중이다. (2021년 설립 예정)

211) PCR(polymerase chain reaction, 중합효소 연쇄반응): DNA를 수백만 배로 증폭하는 기술이다.

### 의료 ICT 서비스의 새로운 성장동력 창출

ETRI는 현장진단용 비침습 바이오센서 기술개발로, 국내 의료 ICT 서비스의 새로운 성장 동력을 창출하였다. 개발된 기술들은 다수의 중소기업에 이전되었으며, 연구소기업 설립 및 코스닥 상장 등의 가시적인 효과를 도출하였다. 특히, 전자코 기술은 폐암 이외의 여러 질병의 진단은 물론, 유해성분 탐지가 필요한 식품 · 의료 · 환경 · 안전 등의 분야에 다양 하게 적용될 수 있을 것으로 보인다.

### 개인 주도형 헬스플랫폼(힐링 플랫폼) 개발

2010년대 들어 국민의 삶의 질을 향상하고 국가 의료 재정을 절감하려는 목적으로 개인의 건강관리에 ICT 기술을 적용하려는 시도가 활기를 띠기 시작하였고, 이에 따라 다양한 헬스 서비스를 연동할 수 있는 표준기반의 헬스플랫폼 기술이 요구되었다.

ETRI는 2013년 차세대 헬스플랫폼 기술개발을 기획하고, 이듬해인 2014년 ‘개인 건강정보 기반 개방형 ICT 힐링 플랫폼 기술개발’ 과제에 착수하였다. 이는 2017년까지 연구비 122억 원, 연구인력 연 113명이 투입된 과제로, 개방화된 환경에서 개인 주도로 건강정보를 관리하는 개방형 헬스플랫폼(힐링 플랫폼) 개발을 목표로 하였다. ETRI를 주관기관으로 하여 유리클, 라이프스맨틱스, 블루와이즈 등의 헬스 서비스 기업과 서울대학교병원, 국민건강보험공단, 한국정보통신기술협회, 그리고 가천대학교와 이화여자대학교가 공동 연구기관으로 참여하였다.

헬스플랫폼을 구축하기 위해서는 여러 장소에 흩어져 있는 개인의 건강 데이터를 효율적으로 관리하고 다양한 헬스 서비스를 연계해야 하지만, 법 · 제도상 건강 데이터를 한곳으로 통합하는 것이 쉽지 않았다. 이에 ETRI는 법률자문 결과를 토대로 병원과 PHR<sup>212)</sup> 업체, 건강보험공단 등이 제공하는 건강정보를 개인이 개별적으로 원하는 저장소에 관리하면서 필요할 때마다 헬스 서비스에 적절히 제공하는 ‘개인 주도 건강정보 관리 플랫폼’을 설계 및 개발하였다.

연구 결과, ETRI는 2017년 자체 개발한 개방형 플랫폼과 헬스 빅데이터를 이용한 지능형 서비스 API에 공동연구기관들이 개발한 기술을 통합하여 힐링 플랫폼을 개발하는데 성공하였다. 참여 기업들은 완성된 플랫폼을 토대로 다양한 헬스 서비스를 개발하였고, 이로써 누구나 자신에게 가장 적합한 맞춤형 서비스를 받을 수 있게 되었다. 특히, ㈜유리클은 ‘힐

212) PHR(Personal Health Record, 개인건강기록): 의료기관에 흩어져 있는 진료 · 검사 정보와 스마트폰 등으로 수집한 활동량 데이터, 스스로 측정한 체중 · 혈당 등의 건강정보를 뜻한다.



인공지능 주치의



인공지능 주치의 'Dr.AI' 개념도

213) EMR(Electronic Medical Record, 전자의무기록): 디지털 형태로 체계적으로 수집되어 전자적으로 저장된 환자 건강정보를 뜻한다.

214) 마이데이터(MyData): 개인이 자신의 정보를 적극적으로 관리 · 통제하는 것은 물론, 이러한 정보를 신용이나 자산 관리 등에 능동적으로 활용하는 일련의 과정을 말한다.

링 플랫폼 기반 리본 서비스’를 개발하여 인천 송도 주민 300명 대상으로 실증하는 데 성공하였고, 건강보험공단은 ‘건강IN’이라는 자체 플랫폼에 개인 주도 건강정보 관리 기능을 적용하여 일반에 제공하고 있다.

### 인공지능 주치의 ‘Dr.AI’ 개발

2017년부터는 ‘심혈관질환 환자를 위한 인공지능 주치의 기술개발’ 과제에 착수하였다. 과제의 목표는 개인의 건강 상태를 현장에서 모니터링하고 고성능 클라우드 기반으로 다기관 의료지능을 학습하여 질병을 조기에 진단하는 인공지능 주치의 ‘Dr.AI’를 개발하는 것이며, 2021년까지 190억 원이 투입될 예정이다.

Dr.AI는 EMR<sup>213)</sup>의 통합 없이 각 의료기관의 의료지능이 서로 협진하여 환자의 미래 건강 상태를 예측하는 다기관 의료지능 협진형 양상을 딥러닝 기술이다. 서울아산병원이 공동연구기관으로 참여하고 울산대학교병원과 충남대학교병원이 위탁연구로 참여하고 있으며, 현재 의료진이 심혈관질환 관련 EMR에 대한 IRB(Institutional Review Board)와 Dr.AI의 성능을 검증하고 있다. Dr.AI가 상용화되면 전국 모든 병원이 전문의 의사결정 지원시스템으로 이를 활용하여 의료수준을 높일 수 있을 것으로 보인다.

### 의료 인공지능의 새로운 패러다임 열어

생활과 산업 전 분야에 걸쳐 인공지능의 활용이 보편화되면서 헬스 서비스도 빠르게 지능화되고 있다. 더욱이 코로나19 사태로 인한 비대면 의료 서비스의 확산은 개인의 건강을 전주기적으로 관리해주는 인공지능 주치의 시대로의 진화를 더욱 가속할 것으로 전망된다. 이에 IBM, Google, Apple, 삼성 등 세계적 기업들은 발 빠르게 지능형 헬스 서비스 기술개발에 돌입하였고, ETRI 역시 이러한 추세에 발맞춰 힐링 플랫폼과 Dr.AI를 개발함으로써 4차 산업혁명과 포스트 코로나 시대의 의료 인공지능 패러다임을 견인하고 있다.

정부가 2020년 데이터 3법을 개정하고 데이터 뉴딜 프로젝트를 추진하면서 마이데이터<sup>214)</sup> 산업에 관한 관심이 높아지고 있어 ETRI의 개인맞춤형 인공지능 의료 기술은 더욱 빠르게 확산할 것으로 보인다. 특히, 고품질 의료서비스를 향한 수요의 폭발적 증가로 ETRI의 힐링 플랫폼과 Dr.AI는 의료 자원의 부족, 의료인의 실수, 서비스의 불균형 등의 문제를 해결할 핵심 솔루션으로 각광받을 것으로 기대된다.



혁신적인 암 치료 기술개발에 착수

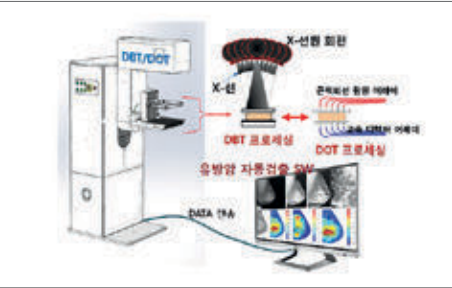
2017년 국가 암 등록 통계에 따르면 우리나라 국민이 기대수명까지 생존할 경우 암에 걸릴 확률은 37%에 달한다. 그러나 수술과 약물치료 없이 암을 치료하는 기법들은 아직 효과가 미약하거나 부작용에 대한 우려가 가시지 않은 상황이다. 양성자와 탄소이온 등을 이용한 입자빔 치료가 등장하면서 통증과 후유증 없이도 암을 치료할 수 있는 길이 열렸으나, 이 치료는 상당히 높은 비용으로 인해 대형병원조차도 도입을 주저하고 있어 보편적 표준 치료로는 자리 잡지 못하고 있다. 이에 ETRI는 기존의 가속기 기반 입자빔 암 치료기보다 성능이 우수하면서 크기와 가격은 획기적으로 낮출 수 있는 레이저 기반 입자빔 치료기 기술개발에 착수하였다.

2030년까지 총 4단계에 걸친 장기연구 추진

ETRI는 2010년부터 ‘레이저 기반 입자빔 발생 기술’ 개발에 돌입하였다. 그 1단계 사업으로 2014년까지 200억 원이 투입된 ‘종양 치료용 레이저 이온 가속 시스템 원천기술개발’ 과제를 수행하여 고출력 레이저의 기반 구축과 양성자 발생 원천기술을 개발하였다.

ETRI는 전통적 강점인 반도체 공정 기술과 진공 장치 개발 경험을 바탕으로 2010년 울산과학기술원, 한양대학교, 아주대학교와 공동으로 레이저 기반 양성자 발생 연구에 착수하였다. 2010년에 양성자 발생 기초연구를 위한 실험실을 설계하고, 2011년에는 프랑스 Amplitude 사의 200TW급 고출력 레이저를 도입 및 설치하고 지하에 10m×20m 규모의 양성자 발생용 차폐실험실을 구축하였다. 그리고 2015년에는 자체 기술로 레이저 시스템을 500TW로 업그레이드하였으며, 재현성은 미비하지만 넓은 에너지 스펙트럼을 갖는 양성자 발생에 성공하였다.

이어서 2단계 사업으로 국가과학기술연구회로부터 100억 원의 연구비를 지원받아 2016년부터 ‘암 치료기용 레이저 가속 기반 다중입자빔 발생을 위한 핵심 원천기술개발 과제’를 추진하고 있다. 과제의 목표는 레이저로 발생시킨 입자빔이 치료에 적합한지 검증하고, 치료에 용이하도록 입자빔의 공간 분포와 에너지를 조절할 수 있는지 확인하는 것이다. 연구진은 자체 보유한 양성자 발생 기술과 한국전기연구원의 전자빔 발생 기술을 융합하여 입자빔의 암 치료 가능성을 타진하고 있다. 같은 공간에서 전자빔과 양성자 빔을 순차적으로 발생시키기 위해서는 진공 상태에서 지름이 20cm가 넘는 대구경 광학계를 정밀하게 움직이는 기술이 필요하다. 이에 ETRI는 진공 상태에서 레이저가 양성자 발생 타겟으로



DBT DOT 영상 기반 유방암 자동 검출



레이저 기반 다중입자(양성자+전자) 발생 장치

전달되는 과정을 모니터링하고 양성자 발생의 최적 조건을 빠르고 간편하게 찾아내는 기술을 개발하였다. 그 결과, 세계 최초로 양성자와 전자빔을 한 공간에서 스위칭하며 발생시킬 수 있는 원천기술을 확보하였다. 이는 중력파를 측정하는 LIGO 또는 인공위성에 탑재된 레이저 광학계 등을 원격으로 조정하고 운영하는 수준의 기술이다.

이와 함께, 발생과 동시에 사방으로 퍼져나가는 특성을 보이는 양성자 빔을 한곳으로 모으는 집속장치를 포항가속기연구소와 공동으로 개발하고, 한국원자력의학원과 입자빔 치료의 생물학적 효과를 검증하고 있다.

앞으로 ETRI는 3단계 연구를 통해 안정된 출력 특성을 갖는 입자빔 발생 기술을 확보하고 이를 치료실로 전달하는 부품 및 모듈을 개발한 뒤, 마지막 단계에서는 개발된 핵심 요소기술들을 융합하여 레이저 기반 입자빔 암 치료기 시제품을 개발할 계획이다.

입자빔을 이용한 암 치료 시대 주도

최근 들어 입자빔의 순간 선량이 높을수록 정상 세포에 미치는 영향이 급격하게 줄고 선택적으로 암세포만 괴사시킬 수 있음을 증명하는 연구결과가 쏟아져 나오고 있다. ETRI의 레이저 기반 입자빔 발생 기술은 기존 가속기가 구현할 수 없을 정도의 높은 순간 선량(기존 가속기 40Gy/s, 레이저 가속기 10<sup>9</sup>Gy/s)을 가지고 있어, 해당 기술이 상용화될 경우 파급효과가 매우 클 것으로 기대된다.



우정기술연구센터 개소식



드론을 이용한 배송시스템

통신 서비스의 뿌리인 우편업무가 국내에서 시작된 것은 1884년이었으나, 우편량이 폭발적으로 늘어난 것은 1990년대에 이르러서였다. 급격한 산업화와 통신·보험업의 성장에 따라 우편물이 폭증하자, 우편물의 자동처리 및 정보 시스템을 통한 데이터 처리 등의 서비스 변화가 요구되었다.

ETRI는 1999년 ‘우편물 순로구분기 국산화 개발’을 시작으로 우편물류 분야 연구에 돌입하였다. 순로구분기와 여기에 탑재할 한글주소 인식시스템(도로명주소 포함) 등의 개발을 통해 총 26건의 핵심기술과 227개의 특허를 확보하였고, 이를 중소기업에 이전하여 총 1조 3,000억 원 규모의 경제적 효과를 창출하였다. (2013년 기준, 우정사업본부) 또한, 2005년에는 ‘등기통상 자동구분기’를 개발하여 처리기 1대당 연간 1억 원의 우편물 처리비용이 절감효과를 도출하였다.

2011년부터는 한국우정의 비전인 ‘SMART Post 구축’을 위한 요소기술개발을 시작하여, 2014년 창구직원 없이도 우편물 접수·배달 서비스와 금융서비스를 제공하는 ‘무인우체국’ 개발에 성공하였다. 아울러, 2010년대 중반 이후에는 집배원별 최적 배달경로를 탐색 및 안내하는 ‘집배업무용 모바일 내비게이션’과 ‘물류드론 배송 기술’ 등을 개발하며 집배효율화를 추진하고 있다.



한글주소인식시스템이 탑재된 우체국 순로구분기

## 5-5-1. 시스템 자동화

### 순로구분기 국산화 필요성 대두

우정사업본부는 증가하는 우편물의 효율적인 처리를 위해 1995년 「우편물처리 자동화 계획」을 세우고 전국에 22개의 우편기계화 국사를 건설하는 등 우편물 자동처리 체계 구축에 힘을 쏟았다. 그러나 우편물 중 대다수를 차지하는 서장(Letter)의 집배순로 구분은 전량 수작업에 의존하는 상황이었다. 집배원 한 명당 하루에 1,500~2,000통의 우편물이 배달되는데, 이를 순서대로 배열하는 데 보통 2시간 정도가 소요되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 국내 기술로 순로구분기를 개발할 필요성이 제기되었다. 순로구분기는 한글 주소를 자동으로 인식하고, 주소 DB에 등록된 집배원의 배달 지점별 이동경로에 따라 우편물을 정렬하는 장비이다.

### 순로구분기 및 등기통상 자동구분기 개발

이에 ETRI는 우정기술연구개발사업의 일환으로 1999년부터 ‘우편물 순로구분기 국산화 개발’에 돌입하였다. 초기의 연구는 해외의 서장 자동구분설비 공급 업체인 Siemens ElectroCom 사와의 국제공동연구를 통해 순로구분기에 탑재되는 ‘한글 주소 고속인식 시스템’을 개발하는 데 집중되었다. 한글주소 인식시스템은 영상분석, 문자 인식, 주소해석 등의 기술을 통해 다양한 형태로 우편물에 인쇄되거나 수기로 기재된 한글 주소를 빠르고 정확하게 인식하는 시스템으로, 한글의 서체, 크기는 물론 인쇄 품질 등 다양한 조건을 고려해야 하는 매우 까다로운 기술이다. 또한, 시간당 3만 통 이상을 정확하게 구분하기 위해서는 일부 잘못 인식된 문자가 있더라도 주소해석을 통해 정정된 결과로 인식결과를 제공할 수 있는 기술도 필요하였다.

ETRI는 우편 영상으로부터 문자코드 추출, 문자코드 검증, 주소해석을 통해 배달점 코드를 획득하는 기술을 순차적으로 개발하여 한글주소 자동인식 기술을 확보하고, 국내 우편 장비 개발기업들과 공동으로 자동구분을 위한 이송장치 등의 HW를 개발하여 2004년 드디어 순로구분기 국산화에 성공하였다. 이로써 수작업 대비 집배순로 구분시간이 16배 이상 빨라져 시간당 8,000여 통의 우편물을 배달경로별로 구분할 수 있게 되었다. 이 기술을 집배원별 포괄 구분에 사용하면 시간당 3만 2,000통까지 구분이 가능하였다. 순로구분기는 2005년 시흥우체국과 노원우체국을 시작으로 점차 전국으로 확대되었다.





순로구분기(우체국)

ETRI는 순로구분기 국산화 경험을 토대로 2004년부터 ‘등기통상 자동구분기’ 개발을 추진하였다. 등기우편물은 두께와 내용물이 다양하여 자동구분이 어려운 데다, 빠르고 안전한 배달이 보장되어야 한다는 특성이 있어 개발이 쉽지 않았다. 그러나 ETRI는 등기바코드를 자동으로 판독하고 우편물류시스템(PostNet)을 통해 수신된 우편번호와 비교해 구분하는 자동화 설비 기술과 오구분 및 우편물 훼손이 발생되지 않도록 이송하는 기술을 결합하여 2005년 등기통상 자동구분기를 개발하는 데 성공하였다. 이로써 시간당 24,000통 이상의 등기를 자동으로 구분할 수 있게 되었다.

등기통상 자동구분기 개발로 하루 2시간 이상의 우편물 처리시간이 단축되었다. 이에 따라 1대당 연간 1억 원의 우편물 처리비용이 절감효과를 도출하였으며, 국민에게 더 빠르고 완벽한 중·추적 정보를 제공할 수 있게 되었다.

한편, 2010년대 초반 정부가 도로명주소 도입을 결정함에 따라, 새로운 우편번호 체계에 적합하도록 기존의 한글주소 인식시스템을 개선해야 할 필요성이 대두되었다. 이에 ETRI는 2011년부터 ‘스마트 포스트 구축기술개발’ 과제를 통해 기존의 지번주소 체계 인식시스템을 도로명주소까지 인식할 수 있는 시스템으로 업그레이드하고 순로구분기에 탑재하여, 2013년 상반기 중에 전국 우체국에 공급하였다.

### 전문학적인 경제적 효과 창출

ETRI는 1999년부터 순로구분기와 여기에 탑재할 한글주소 인식시스템(도로명주소 포함) 등의 개발을 통해 총 26건의 핵심기술과 227개의 특허를 확보하였고, 이를 중소기업에 이전하여 총 1조 3,000억 원 규모의 경제적 효과를 창출하였다. (2013년 기준, 우정사업본부) 이후로도 ETRI는 순로구분기의 성능을 지속해서 개선하고 있다.

### 소포구분기 국산화 필요성 대두

택배 물량이 늘어나면서 우정사업본부는 1999년부터 우편집중국에 소포구분기를 도입하기 시작하였다. 당시 도입한 소포구분기는 Tilt-Tray 타입으로, 루프형의 트랙에서 접시를 회전시켜 소포를 구분구로 방출하는 방식을 이용해 시간당 최대 4,000통을 처리하는 장비였다. 이후 2002년에는 직선형인 Slide Shoe 타입의 구분기를, 2012년에는 루프형인 Crossbelt 타입의 구분기를 도입하였으나, 모든 장비가 전량 수입한 것이었다. 이에 도입비용과 유지·

보수 비용이 많이 들고, 고장 발생 시 해외의 엔지니어가 도착할 때까지 장비 가동을 멈춰야 하는 등 여러 가지 문제가 발생하자, 소포구분기 국산화 개발에 대한 요구가 커졌다.

### 소포구분기 및 소포 인입 자동화 기술개발

이에 ETRI는 우정기술연구개발사업의 일환으로 2012년부터 3년간 약 51억 원의 연구비를 투입하여 ‘소포구분 자동화 기술개발’을 추진하였다. 연구진은 부산우편집중국에 테스트베드를 구축하고, Crossbelt 타입의 소포구분기 개발에 들어갔다. 2012년 51m의 트랙과 2개의 인덕션(소포 공급부)을 설치하여 실험용 시제품을 개발하였으며, 2013년에는 트랙을 73m로 확장하여 운영용 시제품을 개발하고 명절 특별소통기간에 시범운영을 실시하였다. 이어서 2014년에는 인덕션 제어 기술을 고도화하여 시간당 처리량을 제조사 최대치인 3,000통에서 5,000통까지 확대할 수 있는 기술력을 확보하고, 고장진단 등 운영 모니터링 기능도 추가로 개발하였다. 한편, 인덕션, 트랙, 모터 등의 HW는 국내에 생산업체가 전무하여 해외 기업으로부터 구성품 및 구조물을 재료로 수입하였다.

ETRI는 2014년 드디어 소포구분기 국산화에 성공하였다. 개발된 기술은 중소기업에 이전되어 약 2억 원의 기술료 수입을 창출하였고, 장비는 현재 부산우편집중국과 동서울우편집중국 등에서 사용되고 있다.

소포구분기에 이어, 2016년부터 2년간 소포를 자동으로 투입하여 소포구분기 인덕션에 공급하는 ‘소포 인입 자동화 기술’을 후속으로 개발하였다. 기존에는 차량 하차 후 롤파렛에 담겨진 소포를 작업자가 용기를 열고 수작업으로 소포구분기 공급 컨베이어에 투입하였으나, 본 기술개발로 롤파렛에서 쏟아진 소포(티퍼)를 3D에서 2D로 분리시키고(디스택) 한 줄로 정렬(싱글레이터)하여 인덕션으로 자동 공급하는 것이 가능해졌다.



부산우편집중국에서 운영되고 있는 ETRI의 소포구분기

## 5-5-2 집배/배송 기술

### 무인우체국의 필요성 제기

우정사업본부는 1990년대 말부터 우편자동접수기 보급을 시작하여, 2013년 기준으로 우체국, 지하철역, 대형빌딩 등의 공공장소에 154대의 우편자동접수기를 운영하였다. 그러



무인우체국

나 대부분 건물 안에 설치되어 있어 공휴일과 영업 외 시간에는 이용이 어렵다는 한계가 있었다. 또한, 우정사업 경영환경 개선을 위해 기존 우체국을 폐국하거나 신도시가 들어서 인구가 급증하는 지역에 원활한 우편서비스를 제공할 방법도 필요하였다. 이러한 문제를 해결하고자 2010년대 초반 무인우체국 설립을 위한 기술개발이 시작되었다. 무인우체국이란, 우편서비스에 ICT 기술을 적용하여 창구직원 없이도 우체국 업무를 편리하게 볼 수 있도록 한 시설이다.

### 무인우체국 개발과 안정적 정착

ETRI는 2011년부터 ‘SMART Post 구축기술개발’ 과제를 통해 무인우체국 구축을 위한 요소기술개발 및 구축방안 수립연구를 시작하였다. 본 과제는 한국우정의 비전인 ‘SMART Post 구축’을 위한 요소기술개발을 목표로 추진된 국가연구개발사업으로, 2015년까지 연구비 244억 원이 투입되었다.

ETRI는 과제 초기에 무인화 장비개발에 집중하였다. 접수업무 자동화를 위한 우편자동접수기(다량)에 적용할 등기바코드 발행·부착 모듈과 무인우체국과 콜센터 간 연계지원 시스템을 개발하였으며, 우편자동접수기, 원격지원콜센터, 안내·관제 서버로 구성된 ‘도시형 무인우편 자동화 코너’ 테스트베드를 여의도우체국에 구축 및 운영하였다.

2013년에는 무인우체국 고객 편의 향상과 운영·관제 시스템 구축을 위해 등기라벨 자동부착 모듈 탑재형 우편자동접수기를 개발하고, ‘무인우체국 구축계획’을 수립하였다. 아울러, 2014년에는 (주)웰텍, (주)포스트큐브, (주)헤드 등의 기업과 공동으로 ‘무인자동 접수·배달 통합장비’를 개발하였다.

이러한 연구결과를 바탕으로, 2014년 5월 드디어 국내 최초의 무인우체국인 ‘김포이젠 무인우체국’과 ‘하남아이데코 무인우체국’이 개국하였다. 무인우체국은 07시부터 23시 30분까지 일반우편, 등기통상 및 소포우편물에 대한 접수·배달 서비스와 금융업무 및 각종 우편물 조회 서비스를 제공하고 있다.

이어서 2015년에는 무인우체국의 안정적 정착을 위한 ‘무인우체국 인증 방안·지침’과 인증을 위한 표준 플랫폼 기술을 개발하였으며, 서비스의 확대를 위한 ‘모바일 연계 무인우체국 운영·제어 기술’과 ‘등기통상 재배달 우편물 무인 보관·교부 기술’도 함께 확보하였다. 또한, 연구개발단계에서 미처 고려하지 못한 고객(우정사업본부, 우정사업정보센터, 서비스 이용자 등)의 다양한 요구사항과 새롭게 드러난 오류들을 반영하여 기술을 개선하는 작업도 수행하였다. 이러한 노력 끝에, 현장지원 종료 후 장애발생률은 최초 대비 11% 수준으로 대폭 감소하였다.



무인우체국에 도입된 무인 우편접수·배달 통합기  
(김포이젠 무인우체국)

### 계속해서 SMART Post 기술개발에 도전

ETRI의 기술이 적용된 무인우체국은 2020년 현재 전국에 9개소가 설립 및 운영되고 있다. 또한, 개발된 기술은 중소기업에 총 5건 이전되었으며, 서비스 이용자들의 만족도는 무려 92%에 달하고 있다.

기술개발의 성공에 힘입어 ETRI는 2016년부터 2017년까지 ‘SMART Post 확산 기술개발’ 과제를 수행하였으며, 2018년에는 경쟁을 통해 ‘우편물류 인프라 기술개발’ 과제를 수주하는 데 성공하였다. (2022년 종료예정) 앞으로도 ETRI는 세계 최고의 우편 기술을 확보하여 국민의 편리를 도모하고자 노력할 것이다.

### 집배효율화 기술 필요성 제기

ETRI는 20여 년 동안 첨단 ICT 기술을 우편물류 분야에 적용하여 RFID 기반의 식별기술과 접수자동화, 구분자동화 등 다양한 자동화 기술들을 개발해왔다. 일반적으로 기술자동화가 일정 수준을 넘으면 효율화에 대한 요구가 등장하는데, 이는 우편배달 영역도 마찬가지여서 2010년대 중반 이후 집배효율화 연구의 필요성이 제기되기 시작하였다.

### 집배업무용 모바일 내비게이션 개발

ETRI는 2017년 ‘SMART Post 확산 기술개발’ 과제를 통해 ‘집배업무용 모바일 내비게이션’을 개발하였다. 이는 집배원별 당일 배달해야 하는 100군데 이상의 방문지점을 분석하고 최적 배달경로를 탐색 및 안내하는 우편배달용 내비게이션으로, 집배원의 노동 강도를 높이는 대표적 사례로 꼽히는 겸배(집배원 부재 시, 해당 구역의 집배업무를 대신 처리하는 형태)나 지리적 숙련도가 높지 않은 신규 집배원의 업무를 지원하기 위해 개발되었다. 보통의 차량용 내비게이션은 단일목적지에 대한 최단 경로 탐색·안내가 주된 용도이며, 중간경유지 안내 기능도 5곳 이하인 경우가 대부분이다. 그러나 집배업무용 내비게이션에는 하루 평균 100군데 이상을 방문하는 집배원이 활용할 수 있도록 다(多)지점 경유지 안내기능이 필요하였다. 또한, 집배원이 배달을 출발하기 전에 경로탐색이 완료돼야 하므로, 30분에서 1시간 이내에 전국 수천 명에 달하는 집배원들의 당일 배달경로를 탐색하고 최적 경로를 제시하는 기술이 필요하였다.

ETRI는 이러한 요구를 충족하는 기술을 개발하기 위해 기본적인 내비게이션 모듈은 이미





집배업무용 모바일 내비게이션

상용화되어 있는 맵퍼스 社의 모듈을 활용하고, 집배업무에 맞는 추가적인 기술들을 개발하였다. 우선, 집배원별 스캐닝된 우편물의 주소정보를 획득하는 주소정보획득 모듈을 개발하고, 기존에 ETRI가 개발했던 한글주소 인식 기술 중 주소해석 모듈을 내비게이션에 적용하였다. 우편물에 기입된 주소정보는 정확도가 낮은 경우가 많아, 주소해석을 제대로 하지 못하면 내비게이션이 엉뚱한 이동경로를 생성하여 오히려 집배효율을 떨어뜨릴 수도 있다. ETRI는 기존의 주소해석 모듈을 고도화하여 본 시스템에 적용함으로써 고객이 입력한 주소의 품질 문제를 해결하였다.

이와 함께, 지오코딩 모듈, 라우팅 엔진, 경로안내 모듈 등 세부 요소기술과 콘텐츠 서버, 주소 DB, POI(Points of Interest) DB, 지도 DB, 도로 네트워크 DB 등 다양한 DB 서버 그리고 여러 모듈을 관리하기 위한 통합제어 서버 및 사용자 모바일 단말용 내비게이션 앱을 융합하여 최종 결과물을 완성하였다.

### 집배업무의 노동 강도 줄여

집배업무용 모바일 내비게이션은 검색 문제와 최소 몇 달의 시간이 소요되는 신규 집배원의 통구훈련(담당 구역의 지리를 익히는 업무) 등을 지원하여 집배업무의 어려움과 노동 강도를 덜어주는 역할을 하고 있다. 특히, 내비게이션 서비스에 익숙한 젊은 집배원들에게 선호도와 신뢰도가 높다. 앞으로 본 기술은 커스터마이징 과정을 거쳐 타 산업 및 분야에서도 폭넓게 활용될 것으로 기대된다.



에너지거래시스템을 통해 분산자원의 등차 등록결과 시연

ETRI는 2009년 국가 녹색성장위원회 TF 참여를 기점으로 에너지 ICT 융합기술을 개발하기 시작하였다. 이후로 2010년대 들어 국제적인 에너지 원가 상승이 계속되며 스마트그리드(Smart Grid, 전기의 생산·운반·소비 과정에 IT를 접목해 효율성을 높인 지능형 전력망시스템)가 사회적 이슈로 떠오르자, K-MEG(Korea Micro Energy Grid) 사업과 스마트그리드 실증사업 등을 본격적으로 추진하였다. 그 결과, 2015년에는 시스템 제공자 중심의 스마트그리드를 사용자 중심으로 전환할 수 있는 ‘개인별 에너지 소비량 측정·전달 기술’과 일반인도 손쉽게 전기에너지를 사고팔 수 있는 ‘에너지거래 프로토콜 기술’ 등을 개발하였다.

2017년 문재인 정부가 들어서면서 신재생에너지의 확대, 에너지 수요 효율화 그리고 에너지 관련 신산업 창출이 주요 정책으로 추진되었다. 이에 ETRI는 재생에너지(태양광) 활성화를 위한 기술적 난제를 해결하고 에너지 경제성 확보 및 새로운 BM 창출을 위한 플랫폼 비즈니스 기술개발을 중점적으로 추진하고 있다. 대표적인 것이 태양광발전소의 발전량 예측부터 모니터링, 자동복구, 폐기진단까지 전 단계에 걸쳐 운영관리를 최적화하는 ‘태양발전소 관리 및 유지보수를 위한 모니터링 플랫폼’, 전력중개 사업자들이 태양광, 풍력 등 분산 에너지 자원을 모아 전력시장에서 거래할 수 있도록 지원하는 ‘전력중개 플랫폼’, 태양광발전 전력을 전기에너지 저장장치와 연계하여 최적의 경제성으로 운영할 수 있도록 지원하는 ‘태양광발전-에너지저장장치(ESS) 최적 연계 기술’ 등이다.

한편, 2010년대 들어 정부는 재난 피해를 최소화하기 위해 재난관리 기초를 기존의 ‘대응 중심’에서 ‘예측 중심’의 스마트 재난관리 체계로 변경하고, 국가 차원에서 관련 기술 및 시

스텝 개발을 진행하기 시작하였다. 이러한 정부 방침에 따라 ETRI는 2013년부터 ‘재난으로부터 국민의 안전을 보장하여 안전한 대한민국을 건설하는 것’을 목표로 관련 연구에 착수하였다. 이를 통해 모든 국민에게 사각지대 없이 신속 정확한 재난정보를 전달하기 위한 ‘원클릭 재난정보 전달체계’ 구축, 국내 최초의 복합재난 예측 확산 플랫폼인 ‘K-MDDS’ 개발, 건축물의 화재나 재난 발생 위험을 관리하는 ‘재난관리융합정보플랫폼’ 개발 등의 성과를 도출하였다.

아울러, ETRI는 「국방정보화 기반조성 및 국방정보자원관리에 관한 법률 제24조」를 근거로 2013년 국방부의 ‘IT 신기술 전문기술지원기관’으로 지정되어, 국방 정보화 IT 신기술 정책 수립 지원, IT 신기술 국방분야 조기도입을 위한 기술 발굴 및 지원, 우수 IT 신기술에 대한 전문적인 기술 자문, IT 신기술 교육 지원 등의 임무를 수행하고 있다. 이와 함께, 세계 최고 수준의 가상훈련시스템인 ‘ODM-I’와 고신뢰·고생존성을 지원하는 ‘매체 다중경로 적응적 네트워크 기술(MMMP)’ 등의 ICT와 국방 분야 간 융합기술개발에도 집중하고 있다.



가상훈련시스템

5-6-1. 에너지 시스템

태양광발전소 유지·관리 기술 필요성 대두

친환경 에너지가 사회적 이슈로 부상하고 정부의 태양광발전소 보조금 정책이 시행되면서 전국에 중소규모 태양광발전소의 보급이 확대되었다. 태양광발전소가 전주기에 걸쳐 발전 성능을 최대로 유지하려면 실시간 모니터링과 적절한 관리가 필요하지만, 중소규모 태양광발전소의 경우 유지보수는 물론, 현황 파악조차 어려운 실정이었다.

태양광 원격 모니터링 및 유지관리 플랫폼 개발

이에 ETRI는 2017년부터 ‘태양광 보급 확대를 위한 국내 태양광발전시스템 빅데이터 기반의 유지관리 비용 저감 기술개발’ 과제에 착수하였다. 연구의 목표는 빅데이터를 기반으로 태양광발전소의 발전량 예측부터 모니터링, 자동복구, 폐기진단까지 전 단계에 걸친 운영·관리를 최적으로 수행할 수 있는 지능형 플랫폼 기술을 개발하는 것이다. ETRI가 원격 모니터링 및 유지관리 플랫폼 개발을 주도하고, 기술개발과 사업 경험이 있는 산학연 기관들이 공동연구기관으로 참여하였다.

본격적인 기술개발에 앞서 전국에 산재한 태양광발전설비에 대한 정보 수집이 선결과제였다. 연구진은 태양광 설치와 유지보수를 담당하는 중소기업들의 도움으로 전국 2,900여 개 태양광발전소의 7,000여 개 태양광발전설비에 관한 정보를 확보하고, 수집된 데이터를 바탕으로 실시간 모니터링 인프라를 구축하여 한눈에 설비 현황을 파악할 수 있는 ‘e-지도 시스템’을 개발하였다. 또한, 위성사진을 활용하여 ‘태양광발전 예측 기술’을 개발 및 고도화하였으며, 예측 발전량과 실시간으로 모니터링되는 실제 발전량을 비교하여 원격지에서 고장을 진단하고 문제를 파악할 수 있도록 하였다. 아울러, 기존 인버터 위주의 데이터 수집 방식에서 벗어나 태양광 패널과 접속반에서도 데이터를 수집할 수 있도록 시스템을 구성하였으며, 각 태양광 설비가 설치된 거리 및 규모에 따라 LoRa, Wi-Fi, Wi-SUN 등 다양한 무선 방식을 효율적으로 활용하여 데이터를 수집하는 기술도 개발하였다.

연구진은 이러한 기술들을 토대로 2019년 원격지에서 고장진단, 자동복구, 리페어(Repair) 프로세스, 폐기진단 등을 할 수 있는 플랫폼을 구축하였다. 이어서 전국 3,000여 개 태양광발전소를 대상으로 개발된 모니터링 기술에 대한 실증작업을 수행하였고, 현재 각 발전소의 운영현황 데이터를 실시간으로 수집하고 모니터링하며 빅데이터 분석을 수행 중이다.



태양광 원격 모니터링 기술





태양광 모니터링 및 유지관리 운영시스템 관제

에너지 손실 줄여 환경·사회 문제 해결

태양광발전 예측은 오랫동안 연구되어 온 분야로, 과거의 통계적 기법부터 최근의 인공지능을 활용한 기법까지 다양한 시도가 있었다. 본 과제에서는 기존의 방법과는 다르게 위성 사진을 활용하여 구름의 움직임으로 발전량을 예측하거나, 기존의 방법을 개선하여 대규모 데이터를 기반으로 발전량 예측 정확도를 끌어올리는 데 집중하였다.

그 결과로 개발된 ‘태양광 원격 모니터링 및 유지관리 플랫폼’은 태양광발전설비의 유지보수와 관리 비용을 절감하고 에너지 손실을 줄이는 효과를 가져왔으며, 전문기업 육성과 그에 따른 고용 창출까지 기대할 수 있게 되었다. 특히, e-지도 시스템은 국내 태양광 설비 지도 시스템으로 확장하여 태양광 공공 데이터 포털로도 활용할 수 있을 것으로 보인다. 아울러, 확보된 폐기진단 기술은 태양광재활용센터와 연계하여 에너지 재사용과 재활용을 촉진함으로써 생산비용 절감을 넘어 환경·사회 문제 해결에도 큰 도움을 줄 것으로 기대된다.

「소규모전력중개사업 제도」의 시행

21세기 들어 온실가스 증가로 인한 기후변화가 국제 사회의 핵심 의제로 대두되면서 화석 연료를 태양광이나 풍력 등의 신재생에너지로 전환하려는 세계적 노력이 가속화되고 있다. 한국도 이에 동참하여 재생에너지 비중을 2030년까지 20%까지 확대하는 계획을 수립하고, 태양광과 풍력을 중심으로 신재생에너지 보급 확대 정책 추진과 함께 관련 인프라 기술 개발에 노력을 기울이기 시작하였다.

이러한 움직임의 하나로, 2018년 12월 소규모 전력자원의 효율적 모집·관리로 전력 계통 안정성을 확보하기 위한「소규모전력중개사업 제도」가 시행되었다. 제도의 시행과 함께 소규모전력중개사업자의 1MW 이하 전력자원 모집·관리, 그리고 생산 전력과 신재생에너지공급인증서 거래 대행에 필요한 소규모 전력자원 중개거래 기술의 개발과 관련 산업 활성화 방안이 요구되었다.

소규모 전력자원 중개거래 기술 상용화 기반 마련

ETRI는 지난 10여 년간 K-MEG(한국형 마이크로그리드), 태양광 열화 진단 및 성능향상 기술, 가상발전소 기반 통합에너지관리 기술, 빌딩·단지 에너지통합관리서비스 및 에너지거래 기술, 제로 에너지 커뮤니티 실현을 위한 에너지 공유 네트워크 핵심기술, 태양

광발전시스템 빅데이터 기반 유지관리비용 저감 기술 등을 개발하며 에너지 ICT 분야에서 우수한 연구성과를 거뒀었다.

이러한 기술력과 노하우를 기반으로 소규모전력중개시장이 개설되기 전인 2016년, ‘소규모 분산자원 전력거래 활성화’를 위한 중개시스템 개발 및 BM 발굴’ 과제를 시작하였다. 소규모 전력자원 중개거래 사업자용 운영지원 기술과 전력 중개거래 관련 부가서비스 기술을 개발·검증하는 과제였다. 에너지 ICT 분야의 기술개발 경험이 있는 ETRI가 연구개발을 주관하고, 소규모전력중개시장 도입 주체인 한국전력거래소(KPX)와 한국전기연구원, 충북대학교, (주)루트에너지, (주)파워큐브, 충북테크노파크가 공동연구기관으로 참여하였다.

본 과제를 통해 연구진은 소규모전력중개사업자 운영지원시스템 프로토타입과 분산자원 관리를 위한 백엔드 시스템 기술 그리고 태양광 발전량 예측 기술 및 에너지 저장장치 최적 운영 기술을 개발하였으며, 한국전력거래소의 거래시스템을 모델로 테스트베드를 구축하였다.

이어서 2018년 10월부터는 후속 과제로 ‘소규모 분산자원 중개시장서비스 상용화 기술개발 및 실증’ 연구를 수행하고 있다. (2021년 9월 종료예정) 본 과제의 목표는 선행 과제에서 개발된 기술을 보완하여 2019년 2월 본격적으로 개설된 소규모전력중개시장에서 기술을 실증하고, 소규모전력중개사업제도를 개선함으로써 시장 활성화 방안을 모색하는 것이다. 역시 ETRI가 연구개발을 주관하고 한국전력거래소, 충북대학교, 중소기업들이 공동연구기관으로 참여하고 있다.

1·2단계 과제 수행을 통해 ETRI는 소규모전력중개사업자를 위한 전력 및 신재생에너지 공급인증서 중개거래 프로세스 운영관리 시스템 기술과 함께 태양광 발전량 예측 기술, 에너지저장장치 최적 운영 기술, 태양광 유지관리 서비스 기술, IoT·클라우드·빅데이터·모바일·보안(ICBMS) 기반 분산전원 관리 기술, 분산전원 계량 데이터 무선전송 기술 등의 소규모 전력중개거래와 관련된 제반 요소기술들을 개발하였다. 또한, 발전자원소유자, 중개사업자, 시장운영자 간 중개거래의 투명성을 보장하기 위해 중개거래 데이터 블록체인 적용기술을 개발하고 있다.

소규모 전력 중개시장 활성화 기대

소규모 전력자원 중개거래 기술은 SCI 논문 2건과 ITU-T 국제표준 기고 29건, 표준특허 2건, 국제특허 2건, 국내특허 14건을 확보하는 등 뛰어난 성과를 도출하였다. 또한, 2020년까지 소규모 전력중개거래 사업자용 운영시스템 4개와 분산 전력자원 원격관리시스템 1개를 중소기업에 이전하였다.



소규모 전력거래 기술



소규모전력자원 중개시장 서비스 기술 개념도

최근 국가적으로 신재생에너지의 비중을 확대하려는 중장기 정책이 추진되고 있고, 발전량 예측 정산금 제도가 도입 및 정착되는 2021년 이후에는 소규모전력중개시장이 더욱 활성화될 것으로 예상된다. 이러한 상황에서 ETRI가 개발한 소규모 전력중개거래 기술은 신규 사업자의 진입 장벽을 크게 낮춰줄 수 있을 것으로 기대된다.

### CES 시설 기반의 새로운 BM 개발에 착수

1987년 유엔개발계획(UNDP; UN Development Program)에 의해 서울에 지역난방<sup>215)</sup>이 도입되자, 정부는 소규모 에너지 공급센터를 통해 냉난방과 전기를 생산하고 일괄 공급하는 집단에너지(CES<sup>216)</sup>) 사업을 추진하였다. 그러나 2000년대 들어 개별난방이 확대되며 CES 사업은 점차 사업성을 잃었다.

이후, 2010년대에 들어서 신재생에너지 관련 기술이 빠르게 발전하고 분산형 전원 및 마이크로그리드 기반의 에너지 패러다임이 각광을 받으면서 다시 한번 CES 사업이 주목받기 시작하였다. 이에 ETRI는 CES 시설에 태양광발전시설을 구축하고 에너지저장장치(ESS)와 연계하여 에너지 수요 공급을 최적화하는 한편, 여기에 계통연계 및 독립운전 모드 지원 기술 등의 다양한 에너지 신기술을 적용하여 새로운 비즈니스 모델(BM)을 발굴하는 과제를 시작하였다. 2016년 5월부터 2019년 3월까지 3년에 걸쳐 연구비 71억 원과 143명의 연구인력이 투입된 ‘커뮤니티에너지공급(CES) 시설기반 분산자원 활용 마이크로그리드 BM 개발 및 실증’ 사업이 그것이다.

ETRI가 신재생 및 에너지 최적화 기술개발과 과제 총괄을 담당하고, CES 사업자인 (주)집코와 서강대학교 산학협력단, 한국스마트홈산업협회 그리고 (주)제니스텍, (주)두드윈 등의 중소기업이 공동연구기관으로 참여하였다.

### CES-마이크로그리드 통합 플랫폼 구축

ETRI는 그동안 에너지 ICT 기술개발을 통해 스마트홈·스마트빌딩·공장 등의 다양한 환경에서 에너지를 통합·관리할 수 있는 xEMS 기술, 에너지 데이터를 빠르게 분석하고 적용하는 기술, 태양광발전 모니터링 기술, 발전량 예측 기술 등을 확보해왔다. 연구진은 축적된 기술력을 토대로 CES 시설에 기반한 새로운 BM을 개발하였으며, 2019년 태양광 발전 전력을 전기에너지 저장장치와 연계하여 최적의 경제성으로 운영할 수 있도록 하는



CES 연계 마이크로그리드 실증 환경 구축

‘태양광발전-에너지저장장치(ESS) 최적 연계 기술’을 개발하는 데 성공하였다. 이는 태양광발전 용량에 따라 적절한 에너지저장장치 용량을 산출하고 출력 에너지가 전력망에 얼마나 영향을 미치는지 안정도를 평가하는 기술이다.

태양광 발전기는 발전량이 들쭉날쭉해서 안정적인 운영이 어렵기 때문에 에너지저장장치와 연계하여 잔여 전력을 저장해 필요한 시점에 공급하는 것이 중요하다. 그동안에는 이 장치가 고가인 데다 종류도 다양해 구축이 힘들었으나, 본 과제를 통해 출력을 안정화하기 위한 관련 지표와 운영 방안 설계 구조 및 평가 틀이 개발되어, 그러한 어려움이 크게 개선되었다.

또한, 연구진은 그동안 개발한 에너지 요소기술(미터링, 센서 네트워크, 에너지 수요 및 발전 예측, 에너지 절감 최적 제어 등)과 시스템 통합 및 서비스 기술(xEMS 통합관리, 마이크로그리드 운영, 수요반응 관리, 빅데이터 처리, 에너지거래 등)을 통합하여 ‘CES-마이크로그리드 통합 플랫폼’을 구축하고 3,000여 세대를 대상으로 실증하였다.

이 플랫폼이 열병합 발전으로 확대 보급되면 20~30%의 에너지 절감효과 30~40%의 온실가스저감 효과를 가져올 수 있을 것으로 보인다. 기존의 에너지 정책이 태양광발전, 풍력 발전, AMI 인프라, 에너지 저장장치 등을 단순 보급·확산하는 데 집중되어 있었다면, 향후에는 CES와 연계한 마이크로그리드 구축과 통합 운영 플랫폼이 인구 밀집 지역에서 에너지 절감의 새로운 모델로 자리 잡을 것으로 기대된다.

## 5-6-2. 국방시스템

### 고신뢰·고생존성 국방 네트워크 개발

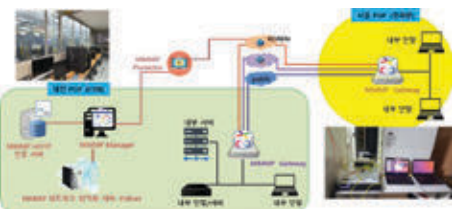
정부는 민수와 국방 분야에서 공동 활용이 가능한 원천핵심기술의 개발로 산업경쟁력과 국방력을 동시에 강화하려는 목적으로 2014년 과학기술정보통신부, 방위사업청, 국방부가 협력하는 민군기술협력사업을 시작하였다.

그 일환으로 ETRI는 2017년부터 ‘다매체 다중경로 적응적 네트워크 기술(MMMP; Multi-Media Multi-Path)개발’ 과제를 수행하였다. 이는 국방 정보통신망에 활용되는 TRL7 (기술성숙도 7단계) 수준의 기술을 개발하는 과제로, 국방망과 같이 절대적 연결 생존성과

215) 지역난방: 일정 지역의 건물에 열병합발전소 등 대규모 열 생산 시설에서 생산된 열(온수)을 지하에 매설된 배관을 통하여 일괄적으로 공급하는 난방 방식이다.

216) 집단에너지(CES; Community Energy Supply System) 사업: 건물 밀집 지역의 일정 건물군을 대상으로 소형 열원에서 생산된 열과 전기를 통합 생산·공급하는 선진형 집단에너지 사업이다.





MMMP 연구 시제품 광화문-대전 구간 연동시험  
(2019. 10.~11.)

보안성을 요구하는 동적 임무 중심 네트워크 환경에서, 모든 통신 인프라를 지능적으로 동시에 활용하여 고신뢰·고생존성을 지원하는 신뢰 네트워크 기술개발이 목표이다. 2020년까지 연구비 112.5억 원이 투입되었으며, 기업과 대학이 공동연구기관으로 참여하였다. 보통의 연구과제는 마지막 연차에 결과물을 도출하는 것이 일반적이지만, 국방 분야의 특수성을 감안하여 일부 기술은 과제 기간 안에 실험과 실증을 거쳐 적용 가능성을 검증받는 패스트 트랙(Fast Track)으로 추진되었다.

ETRI는 과제를 통해 모든 통신 자원의 통합 이용을 가능케 하는 정합 시스템 기술, 동적인 임무 중심의 네트워크 환경에서 활용 가능한 동시 다매체 다중경로 데이터 전달 기술, 응용·사용자 요구사항에 따라 다중망을 선택하는 네트워크 최적화 기술, 임무·그룹별 인프라 자원의 분할 및 용도·등급별 다차원적인 데이터 보호 기술 등을 개발하였다.

이로써 정책(비용, 속도, 안전성 등)에 따라 우선순위에 부합하는 통신 매체를 선택할 수 있는 사용자 맞춤형 네트워크 최적화 서비스가 가능해진 것은 물론, 허가된 사용자·장치·서비스에만 데이터를 분산 전송함으로써 하나의 매체가 탈취되더라도 전체가 탈취되는 일은 막을 수 있게 되었으며, 매체나 경로의 일부가 단절되더라도 다른 네트워크와 경로로 생존성과 가용성을 제공할 수 있게 되었다.

국방·민간에서 활용성 큰 신뢰 네트워크

ETRI가 개발한 ‘신뢰 접속 보호 솔루션’ 기술은 현재 4개 기업에 이전되어 상용화를 위한 실증과 시범 사업, 그리고 보안적합성(CC) 시험을 준비하고 있다. 현재 국방부와 국군지휘통신사령부의 ‘군 네트워크 접속 통제체계 구축 u-실험 사업’과 대전시 상수도사업본부의 ‘지능형 물관리체계 구축 실증사업’ 등에 적용되고 있다. 기술을 이전받은 기업 중 하나는 코로나19 언택트 패러다임에 맞춰 공공기관의 재택근무자가 엔터프라이즈망에 안전하게 접속할 수 있는 솔루션을 개발하여 무료로 제공하고 있다.

앞으로 ETRI의 신뢰 네트워크 기술은 차기 M-BcN(국방광대역통신망)과 Microwave 사업 그리고 신규 Military-IoT 구축사업에 활용 가능할 것으로 전망되며, 모바일과 클라우드 환경에서도 안전한 국방 보안 솔루션을 제공할 것으로 기대된다. 2021년부터는 국방 분야에의 활용을 검증하기 위해 국방 u-실험 사업의 일환으로 ‘다매체 다중경로 적응적 네트워크 기술의 함정 적용 검증’(약 8억 원 규모) 과제를 수행할 계획이다.



가상훈련 플랫폼

가상훈련 기술 이슈로 부각

최근의 전투 현장은 소부대 중심의 도심 작전이나 대테러 및 해외 파병이 증가하고 있어서, 병사들이 미지의 작전 지역에서 시간적·공간적 제약을 넘어 실전과 같은 전투 능력을 갖추는 가상훈련을 경험하는 것이 중요한 과제로 부각되고 있다.

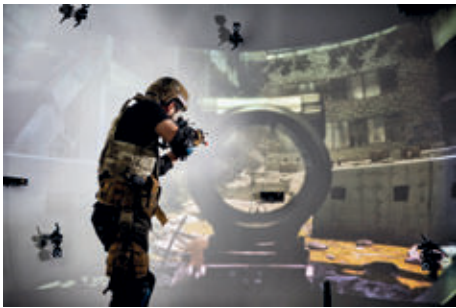
세계 최고 수준의 가상훈련시스템 ‘ODM-I’ 개발

이에 ETRI는 2013년부터 2016년까지 연구비 107억 원 규모의 ‘병사들에게 실전과 같은 가상훈련 환경을 제공하는 전방향 이동지원 상호작용 SW 기술개발’ 과제를 수행하였다. 이는 ETRI가 주관하고 출연(연)과 기업, 대학이 공동연구기관으로 참여한 범부처 ICT 융합사업으로, 기존의 소규모 군 전술 시뮬레이터 및 상용게임 SW와 연동하여 병사들에게 실전과 같은 가상훈련 효과와 재미를 동시에 제공하는 기술개발을 목표로 하였다.

실전과 같은 몰입감 구현을 위해 ETRI는 VR 훈련 기술의 물리적·기술적 한계를 넘어 기존에 시도되지 않았던 혁신적 기술을 연구하고 현장 소요군의 의견을 청취하여 세계 최고 수준의 초실감 가상훈련시스템을 개발하였다. 구체적으로, 훈련자와 무기류의 다 대 다(多對多) 상호작용을 위한 멀티모달 센서 기반의 정밀자세 인식·예측 기술, 기계학습 기반 행동 인식 기술, 훈련자 위치 인식 기술, 상용게임·전술 모의 훈련 시뮬레이터와의 인터페이스 기술 등을 개발하였다.

특히, VR 훈련 시스템의 핵심인 훈련자에 대한 정보를 3D-스켈레톤으로 추출하고, 이로부터 훈련자의 자세, 위치, 행동을 인식하는 HW인 전방향 이동장치 개발과 훈련 콘텐츠 내에서의 행법을 보다 정밀하게 제어하는 기술개발에 주력하였다. 그 결과, 세계 최고의 ICT 국방 기술력을 자랑하는 미 육군 NSRDEC(Natick Soldier Research, Development and Engineering Center)의 Virtual Reality Dome을 뛰어넘는 인터랙션 SW 기술을 확보할 수 있었다.

ETRI는 개발된 기술들을 토대로 ‘ODM-I(Omni-Directional Movement based Interaction) 훈련 시스템’을 구현하였다. ODM-I는 360도 전 방향 무한 이동이 가능한 트레드밀 위에서 수행하는 가상훈련 시스템으로, 미지의 작전 공간에서 걷고, 달리고, 기는 등의 물리적인 훈련과 팀 전술 훈련이 동시에 가능하다. 또한, 총 3대가 실험실 3개에 별도로 분리 설치되어 있어 시스템 간의 네트워킹을 통한 연동 훈련을 할 수 있으며, 훈련에 사용되는 총도 실제 총과 무게가 같고 사격에 의한 총의 반동도 실제와 유사하게 구현되었



가상훈련시스템 'ODM-I'

다. 본 기술은 과제 종료 후 관련 기업에 이전되어 1.8억 원의 기술료 수입을 창출하였으며, 2019년에는 국방부와 과학기술정보통신부 장관을 대상으로 기술을 시연하기도 하였다. ODM-I는 ETRI 내에서도 쉽게 찾아보기 어려운 규모의 대형 HW 구조물과 기존 상용 게임과 연동된 화려한 볼거리를 제공하여 방문객과 VIP들의 단골 방문 코스가 되었다. 시연 시에는 ODM-I 돔 안에서 실제로 걷고 달리면서 배틀필드4와 같은 FPS 게임을 수행해야 하는데, 이를 위해 연구실 내에서 배틀필드4를 제일 잘하는 연구원이 시연을 도맡곤 하였다.

### 스포츠 · 엔터테인먼트 등의 분야로 기술확산

ETRI는 앞으로 ODM-I 시스템을 활용해 우리 군의 전투력을 향상하는 것은 물론, 가상 현실과 연동한 스포츠 훈련과 재활, 엔터테인먼트 산업, 호화 선박 및 대형 구조물의 가상 설계 등의 민간 분야로도 기술의 적용을 확대하여 더욱 큰 산업적 파급효과를 도출하고자 노력할 계획이다.

## 5-6-3. 재난 · 안전

### 사회재난의 복합화 · 대형화

20세기 후반 들어 급속한 산업화와 사회 · 환경의 변화로 자연재난과 사회재난이 복합화 · 대형화되면서 기존 대응 중심의 재난관리체계가 한계에 부딪히기 시작하였다. 복합재난<sup>217)</sup>의 대표적인 사례로는 2013년 동일본 대지진에 의한 원전 폭발을 들 수 있는데, 대지진을 원인으로 원전이 폭발되고 주변 지역이 오염되는 연쇄적 재난으로 인해 막대한 인명 피해와 경제적 피해가 유발되었고 그 피해는 아직도 진행 중이다. 한국의 경우 자연재난과 대형 사회재난으로 인해 지난 10년간 사망 234명, 실종 48명, 부상 175명 등 총 457명의 인명 피해와 7.3조 원의 경제적 피해가 발생한 것으로 집계되었다.

### 국내 최초 복합재난 예측 확산 플랫폼 'K-MDDS' 개발

2010년대 들어 정부는 재난 피해를 최소화하기 위해 재난관리 기조를 기존의 '대응 중심'

에서 '예측 중심'의 스마트 재난관리 체계로 변경하고, 국가 차원에서 관련 기술 및 시스템 개발을 진행하기 시작하였다. 이러한 정부 방침에 따라 ETRI는 2013년부터 '재난으로부터 국민의 안전을 보장하여 안전한 대한민국을 건설하는 것'을 목표로 관련 연구에 착수하였다.

2013년부터 3년간 '지능 맞춤형 통합정보시스템 연구개발'(연구비 22.85억 원, 연구인력 연 72명 투입), 2018년부터 2021년까지 '다매체 기반의 멀티미디어 재난정보전달 플랫폼 개발'(연구비 60억 원, 연구인력 연 75명 투입), 2018년부터 2020년까지 '시나리오 기반 대형 복합재난 확산예측 기술개발'(연구비 48억 원, 연구인력 연 115명 투입) 과제를 수행하였다.

이러한 과제들을 통해 도출한 대표적인 성과에는 2020년 개발한 K-MDDS(Mega Disaster & Damage estimation System)'를 들 수 있다. 이는 한국의 환경을 고려한 최초의 복합재난 확산예측 플랫폼으로, ICT 기술과 인문 · 사회 및 공학 기술을 융합하여 개발한 12종의 자연재난(지진, 산사태, 홍수, 호우 등) 및 8종의 사회재난(감염병, 가축 질병 등) 모형과 복합재난 시나리오 자동생성 및 복합재난 통합모형, GIS 엔진 등 다양한 예측 모델이 탑재되어 있다.

복합재난 확산을 예측하기 위해서는 자연재난이나 사회재난을 통합 · 분석하기 위한 통합 모델링 기술과 재난의 연계 발생을 예측하는 시나리오 생성이 가장 중요하나, 국내에는 해당 기술이 전무하거나 있더라도 초보적 수준에 머물러 있는 상황이었다. 이에 ETRI는 미국 연방재난관리청의 HAZUS-MH<sup>218)</sup>와 EU의 RASOR<sup>219)</sup>을 분석하여 참조 플랫폼으로 활용하고 한국시설안전공단, 홍익대 등 17개 기관이 참여하는 대규모 연구진을 구성하여 K-MDDS를 개발하였다.

### 원클릭 재난정보 전달 체계 구축

ETRI는 모든 국민에게 사각지대 없이 신속 정확한 재난정보를 전달하기 위해 연구에도 매진하였다. 재난정보 전달 시스템의 상호 연계를 위해 외부 연계 인터페이스를 분석하고, 공통 표준 프로토콜(CAP)을 활용한 표준 인터페이스를 만들어 표준화를 추진하였다. 이로써 재난정보를 신속 정확하게 전달할 뿐 아니라 정보 전달의 사각지대를 해소하고, 기존에 매체 단위로 개별적으로 전달하던 재난정보를 한 번의 클릭으로 모든 매체에 동시다발적으로 전달할 수 있게 되었다.

또한, 기존의 문자 중심이던 재난정보를 음성, 영상, 지도 등 다양한 미디어로 전달하는 체계와 기술을 개발하여, 시각 · 청각장애인과 외국인 등의 재난 약자를 포함한 모

217) 복합재난: 자연재난과 사회재난이 연쇄 혹은 동시다발적으로 발생하는 재난으로, 인명 · 재산 · 기반시설 마비 등 피해가 극심하여 범부처의 통합적 대응이 필요하다.

218) HAZUS-MH(HAZard US Multi-Hazard): 미국 연방재난관리청에서 운영하는 다중재난 손실 평가 SW이다.

219) RASOR(Rapid Analysis and Spatialisation Of Risk): 전주기 재난관리를 지원하는 복합재난 위험분석 플랫폼이다.





디지털트윈기반 공동구 안전기술

든 국민이 효과적으로 재난에 대응하고 궁극적으로 재산과 인명 피해를 최소화할 수 있도록 하였다.

디지털트윈 기반 지능형 재난·안전관리 융합기술로 발전

재난·안전관리를 위한 ICT의 중요성이 날로 커지고 있음에도 불구하고 실제 현장에 ICT를 적용하는 것은 여전히 어려운 숙제로 남아있다. 현장 관계자로부터 ‘ICT보다 방화 장갑 하나 사는 게 더 시급하다’는 말을 들곤 하는데, 이는 관련 기술의 개발과 현장 사이의 괴리를 잘 보여주는 말이다. 그러나 사회 전반에 ICT 기술이 보편화 되면서 재난 현장에서도 점진적으로 ICT에 대한 인식이 전환될 것이고, 그와 함께 재난의 예방·예측, 재난의 감지, 지능형 재난대응 지원 등 ICT의 도움을 필요로 하는 분야도 계속 확대될 것이다.

앞으로 ETRI는 자체 보유한 첨단 ICT 기술들을 융합하여 가상세계에 재난환경을 구현한 트지털트윈을 통해 지능적으로 재난·안전을 관리하는 기술을 지속해서 개발해나갈 계획이다. 2020년부터는 2024년 종료예정으로 연구비 60억 원, 연구인력 연 21명을 투입하는 ‘5G 기반 긴급재난문자 서비스 고도화 기술개발’ 과제를 수행하고 있다.

화재의 예방·대응에 ICT 접목

재난현장에 적용되는 기술은 생명과 직결되는 것이어서 기술의 기획부터 개발, 적용에 이르는 모든 단계마다 면밀한 검증이 필요하다. 이러한 이유로 기술개발·활용이 매우 까다로워 그간 소방청 등 관련 기관의 요구사항을 충실히 반영한 연구개발 사례가 드문 상황이었다.

그러나 ETRI는 생체·환경 센서 모듈, 재난대응 지원 이동형 단말, 웨어러블 장비와 같은 HW 기술과 재난·안전 데이터관리 및 서비스 연계 기술, 재난 관련 주체 간 연결을 위한 플랫폼 기술, 정보 공유와 관리를 위한 애플리케이션 기술 등 다양한 영역의 첨단 ICT 기술을 재난현장에 적용하여 피해를 줄이기 위한 연구를 끊임없이 추진해왔다.

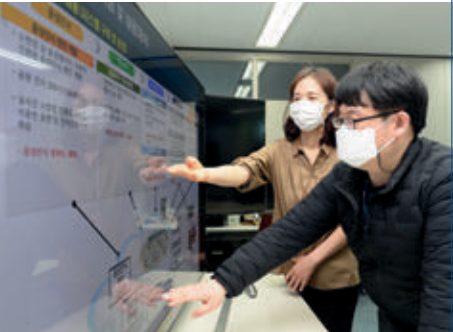
스마트 헬멧과 재난관리융합정보플랫폼

ETRI는 초기에 소방관 지원에 초점을 맞춰 화재 현장과 ICT를 접목하였다. ‘연결형 (connected)·스마트 헬멧 기술’은 소방대원의 재난 상황 진압과 인명구조를 지원하고자

개발한 기술이다. 이 기술의 개발로 생체신호를 기반으로 한 위치탐색과 영상 및 데이터 통신, 현장 상황의 공유 및 시각화 등이 가능해져 소방관의 재난대응 능력이 향상되었다. 시간이 지나면서 재난을 예방하고 재난관리 효과를 높이는 데 ICT를 활용하고자 하는 요구가 늘어났다. 이에 ETRI는 ‘건축물 화재 및 재난관리 플랫폼 기술개발’ 과제를 추진하여 건축물의 화재나 재난 발생 위험을 관리하는 재난관리융합정보플랫폼을 개발하고 있다. (2022년 완료 예정) 이는 공간정보를 기반으로 한 소방시설 점검, 소방활동 정보, 신변안전 정보 등 건축물의 재난관리 정보를 효과적으로 습득·보관하고 관련 주체와 공유할 수 있도록 지원하는 플랫폼이다. 이와 함께 건축물의 공간정보 생성 기술, 공간정보를 활용한 소방시설물 관리 기술, 가상 재난훈련 시뮬레이션 기술 등 건축물 내에서의 재난 대응력을 높이기 위한 다양한 기술을 개발하고 있다. 재난관리융합정보플랫폼은 2019년 서울시에 서 시작한 3D 기반 Virtual Seoul 프로젝트와 연계되어 활용되고 있다. 한편, 세계 최초로 연기의 원인을 파악하여 화재 여부를 판단하는 ‘화재감지 기술개발’ 과제에도 착수하였다. 향후 이 기술이 적절한 가격으로 실용화된다면 건축물 화재 안전 확보에 기여하는 것은 물론, 국내외 화재감지 산업에 지대한 영향을 끼칠 것으로 기대된다.

인공지능·증강현실·로봇 적용한 화재 대응으로 발전

재난관리를 위한 ICT 기술은 현행 법령의 한계로 현장에 적용되기 어려운 경우가 많다. 이에 ETRI는 기술의 실용화 기반 마련을 위한 법·제도 개선연구도 꾸준히 진행하고 있다. 아울러, 인공지능을 이용한 재난의 예측 및 예방, 지능형 안전 상황관리, 지능형 재난 대피 지원 등 ICT 적용에 적합한 분야를 발굴하는 데도 힘쓰고 있다. 특히, 인공지능 기술을 활용하여 사람의 집중력 저하나 돌발 실수로 인한 피해를 원천적으로 줄일 수 있는 기술과 재난관리 영역에 물리·인지 증강 기술, 로봇 기술, 초실감 콘텐츠 등을 적용하는 방안도 적극적으로 마련할 계획이다.



재난안전 플랫폼기술

UGS(Underground Safety) 융합연구단은 융합연구단 사업 첫해에 선정되었으며, ETRI, 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국지질자원연구원으로 구성되어 2017년까지 운영되었다. 2010년대 들어 잇단 도심지 싱크홀 사고의 발생으로 국민의 불안감이 증가하면서, 지반침하 가능성에 대한 종합적 분석 및 예방 기술에 대한 요구가 커졌다. 이에 UGS 융합연구단은 땅 꺼짐의 예측·방지를 위해 상수관로의 누수탐지, 지하수 위 그리고 도시철도 구조물 안전을 상시 관리하는 'IoT 기반의 지하공간 그리드 시스템'을 개발하였다. 이 시스템은 NST의 2017년 '출연연 10대 기술'로 선정되었다.

KSB(Knowledge-converged Super Brain) 융합연구단은 ETRI, 한국에너지기술연구원, 한국원자력연구원, 한국표준과학연구원으로 구성되었다. 연구단은 '사물지능통신 (IoE) 시대 도래에 대응하기 위한 인간중심 초연결사회 구현 기술 확보'라는 현안을 해결하기 위해 조직되었으며, 2015년부터 2021년까지 운영될 예정이다. 2019년에는 세계 최초의 인공지능 서비스 프레임워크인 'KSB 인공지능 프레임워크(BeeAI, 바아이)'와 BeeAI의 실효성을 검증할 수 있는 다양한 인공지능 솔루션을 공개하였다. 현재 다수의 기업·기관·대학에서 BeeAI SW를 실제 인공지능 서비스개발에 활용하고 있다.

SDF(Smart Defense for Foot and mouth disease) 융합연구단은 ETRI 주관으로 한국생명공학연구원이 참여하는 연구단으로, 2018년부터 2021년까지 운영될 예정이다. 인공지능과 빅데이터 등의 ICT 지능정보 기술을 활용하여 가축질병의 발생 모니터링, 구제역의 진단·방역·차단 등 전 단계에 걸쳐 종합적인 대응을 할 수 있는 '바이오 시큐리티 (Biosecurity, 차단방역) 시스템(일명 ADiOS)' 구축에 주력하고 있다.

DMC(Defense Materials and Components) 융합연구단은 '국방 무기체계용 핵심반도체 부품 자립화 플랫폼 개발'을 목표로, 2020년부터 3년간 연구를 수행할 예정이다. 나

노종합기술원 및 한국나노기술원과 공동으로 팹(Fab) 인프라를 구축하고, 한국기계연구원, 부경대학교, 충남대학교와 기술 협력을 통해 국방용 소재·부품을 개발하고 있다. 아울러, 참여기업들과 방산 분야 공급체인망을 구축하여 관련 산업경쟁력 확보에도 주력하고 있다. 현재 '고주파 전력 소자 및 단일 고주파 집적회로(MMICs, Monolithic Microwave Integrated Circuits)'와 '고전압스위치·광센서 국산화 및 플랫폼' 등을 개발하는 중이다.



연구회 융합연구단 업무협력협정





싱크홀 방지 융합연구

## 5-7-1. 지하공간 안전 융합연구

### UGS(Underground Safety) 융합연구단 출범

국가과학기술연구회(NST)는 2014년 국가사회의 현안문제를 해결하기 위해 출연(연), 산업계, 학계 연구진이 함께 참여하는 일몰형 ‘융합연구단 사업’을 시작하였다. 일몰형 연구는 여러 기관의 연구자가 한 공간에 모여 특정 주제를 연구하고, 과제가 끝난 뒤 각각 원래의 소속 기관으로 돌아가는 방식이다. NST는 사업 첫해에 2개의 연구단을 선정하였는데, 그 가운데 하나가 ‘UGS(Underground Safety) 융합연구단’이었다.

UGS 융합연구단은 ETRI, 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국지질자원연구원으로 구성되었으며, ETRI가 주관하였다. 또한, SK텔레콤 등 7개의 국내 기업이 참여하였으며, 2014년 12월부터 2017년 12월까지 3년간 연구비 315억 원, 연구인력 연 100명 정도가 투입되었다.

### IoT 기반 지하공간 그리드 시스템 개발

2010년대 들어 잇단 도심지 싱크홀 사고의 발생으로 국민의 불안감이 증가하면서, 지반 침하 가능성에 대한 종합적 분석 및 예방 기술에 대한 요구가 커졌다. 이에 UGS 융합연구단은 땅 꺼짐의 예측·방지를 위해 상수관로의 누수탐지, 지하수위 그리고 도시철도 구조물 안전을 상시 관리하는 ‘IoT 기반의 지하공간 그리드 시스템 개발’을 목표로 사업을 추진하였다.

각 기관에서 파견된 연구원들은 3년간 ETRI에 모여 융합연구를 수행하였으며, 대전시와 서울시 등 지자체와 협력하여 테스트베드를 구축하고 시험하면서 현장의 니즈를 충실히 반영한 기술을 개발하기 위해 노력하였다. ETRI는 IoT 기반의 지하공간 3차원 가시화 기술과 무선통신 칩 개발에 주력하고, 한국건설기술연구원은 상·하수관로 모니터링 및 탐사 기술개발, 한국철도기술연구원은 도시철도 시설물 모니터링 기술개발, 한국지질자원연구원은 지하수 및 지반환경 분석 기술개발에 집중하였다.

연구 결과, ETRI는 ‘UGS FSK<sup>220)</sup> 무선통신 기술’, 지하공간의 센싱 정보를 지상의 IoT로 연결하기 위한 ‘맨홀 커버형 전방향성 안테나 기술(900MHz, 2.4GHz 대역)’, 도시 지하공간의 입체적인 분석을 위한 ‘지하공간 정보통합 및 3D 가시화 기술’ 등을 개발하였다. 이 가운데 ‘UGS FSK 무선통신 기술’은 세계 최초로 IEEE802.15.4g SUN FSK 규격과

IEEE802.15.4k LECIM FSK 규격을 통합 구현한 고신뢰 LPWA(저전력 장거리 무선통신) 기술로, 12.5~200Kbps 전송속도로 국내 900MHz 비면허 대역에서 1km 이상의 서비스 반경을 제공하였다. 900MHz 비면허 대역은 2.4GHz 비면허 대역보다 주파수 혼잡도가 낮고 전파 특성이 우수하여 저전력 장거리 통신에 유리하다. 또한, 이 기술은 배터리로 장시간 운용이 필요한 저전력 환경에서 1Km 이상의 서비스 반경을 제공할 수 있어 무선통신망 구성의 단순화와 설치 비용 및 운용비용 절감효과도 뛰어나다.

ETRI는 개발된 기술들을 토대로 ‘IoT 기반 지하공간 그리드 시스템’을 구현하였다. 이 시스템은 지하 매설물인 상수도, 하수도, 도시철도, 지하수 등을 상시감시하고, 지상에서는 위험한 지역을 확인·감시함으로써 지하공간 상황을 조기에 감지하고 예측·대응하는 시스템이다. 이 시스템 기술은 NST의 2017년 ‘출연(연) 10대 기술’로도 선정되었다.

### 지하공간의 다양한 시설물 관리로 확대 적용

IoT 기반 지하공간 그리드 시스템을 활용하면 도시의 ‘땅 꺼짐 위험도 지수’를 도출하여 지역별 위험 수준을 예측할 수 있다. 또한, 소규모의 지상 AP(access point)를 가지고 IoT망을 구축하여 광역시 전체를 커버할 수 있으며, 맨홀 매립형 안테나를 통해 땅을 파지 않고도 양방향 150m까지 상수관로의 누수를 탐지할 수 있다. UGS 융합연구단은 이러한 연구성과의 확산을 위해 「지하 안전관리에 관한 특별법」의 법제화를 추진하였다. 이 법은 2018년 1월 1일부터 시행되고 있다.

개발된 요소기술들은 지하공간의 안전관리뿐만 아니라 지하에 있는 다양한 시설물을 관리하는데도 적용할 수 있다. 전방향성 안테나 기술은 맨홀 매립형으로 개발되어, 지하공간의 가스관, 전력선, 송유관, 난방관 등 다양한 지하 매설물의 상태를 원격 탐지하는 분야에 활용도가 클 것으로 보인다. 또한, 지하공간의 정보를 통합하여 3차원 공간지도로 가시화하는 기술은 향후 지자체로 확산하여 하수관로를 포함한 다양한 시설물의 안전을 관리하는 시스템에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.



IoT 기반 지하공간 그리드 시스템 개념도

220) FSK(Frequency-Shift Keying, 주파수 편위 변조): 반송파(carrier wave)의 이산 주파수(discrete frequencies) 변화를 통해 디지털 정보가 전송되는 주파수 변조 기술이다.

5-7-2 슈퍼브레인 융합연구

KSB(Knowledge-converged Super Brain) 융합연구단 출범

NST는 2015년 새로운 융합연구단으로 'KSB(Knowledge-converged Super Brain) 융합연구단'을 출범하였다. 이 연구단은 '사물지능통신(IoE) 시대 도래에 대응하기 위한 인간중심 초연결사회 구현 기술 확보'라는 국가사회 현안을 해결하기 위한 일몰형 조직으로, ETRI를 주관기관으로 하여 한국에너지기술연구원, 한국원자력연구원, 한국표준과학연구원 등이 참여하였다.

연구단의 목표는 사회적 비용을 절감하고 커뮤니티 특화 웰니스(안전, 환경, 건강, 편의 등)를 보장하기 위한 고품질 연결을 지원하고, 이를 통해 최적화된 서비스·환경을 제공하는 '자가학습형 지식융합 슈퍼브레인 핵심기술'을 개발하는 것이다. 사업에는 2015년 12월부터 2021년 11월까지 연구비 564억 원과 연구인력 276명이 투입될 예정이다.



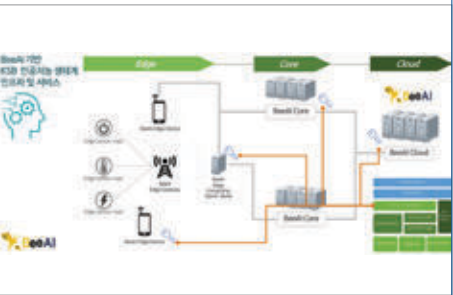
ETRI 연구진이 KSB 인공지능 플랫폼을 소개하는 모습

자가학습형 지식융합 슈퍼브레인 핵심기술개발

KSB 융합연구단 사업은 2단계로 나누어 수행되고 있다. 1단계(2015년 12월~2018년 11월) 사업을 통해 ETRI는 IoT, 빅데이터, 기계학습 및 분야별 지식을 융합하여 다양한 데이터 수집부터 인공지능 서비스 제공까지 전 주기적 솔루션을 제공하는 '지식융합 인공지능 프레임워크 기술'과 '전이학습 딥러닝 알고리즘', 'IoE 에지 컴퓨팅 기술' 등을 개발하였다. 또한, 다른 협동연구기관들은 건물의 에너지 수요를 예측하고 관리 효율을 최적화하는 '건물·에너지 최적화 기술', 산업현장에서 플랜트 배관의 누출을 감시·진단하는 '플랜트 누출 진단 기술', 고령자의 일상생활 생체신호를 측정하여 뇌졸중을 모니터링하는 'IoE 기반 고령자 뇌졸중 사전 감지 기술' 등을 중점적으로 개발하였다.

이어진 2단계(2018년 12월~2021년 11월) 사업에는 IoT 기반의 다양한 인공지능 융합서비스에 관심이 있는 50여 개 기업이 참여하고 있다. KSB 융합연구단은 1단계 사업에서 개발한 기술을 참여기업들이 자사의 비즈니스 모델에 맞게 상용화할 수 있도록 기술을 이전하고 사업화를 지원하고 있다.

연구단은 개발된 기술들을 통합하여 2019년 10월 세계 최초의 지능형 IoT 서비스 프레임워크인 'KSB 인공지능 프레임워크(BeeAI, 바아이)'와 BeeAI의 실효성을 검증할 수 있는 다양한 인공지능 솔루션을 공개하였다. BeeAI는 IoT를 통해 실시간으로 수집되는 데이터



KSB 인공지능 생태계 기술

를 학습·분석하여 다양한 분야의 인공지능 서비스를 개발할 수 있도록 하는 프레임워크로, 멀티모달 데이터처리·동시학습·추론, 자동기계학습, 분산 병렬처리, 학습모델·도메인지식 탑재 및 연동을 워크플로우 기반으로 자유롭게 선택·조합·실행·서빙·재활용할 수 있도록 해준다. 현재 다수의 기업·기관, 대학 등에서 BeeAI SW를 다운로드하여 실제 인공지능 서비스개발에 활용하고 있다. KSB 인공지능 플랫폼은 정의된 워크플로우에 따라 구성된 엔진을 배포하고 운영하기 위한 실행 및 제어기능을 제공하며, 에지(Edge)노드로부터 클라우드에 이르는 인공지능 생태계 구성을 위해 KSB 인공지능 엣지 플랫폼과 KSB 인공지능 클러스터/클라우드 플랫폼으로 구분되어 구축 및 운영된다. KSB 에지 디바이스 인공지능 기술은 매우 빠른 추론이 가능하고 학습정확도가 높아 저사양 HW 플랫폼과 실시간 IoT 분야에도 쉽게 적용할 수 있으며, 학습모델 경량화도 용이하다.

아울러, 본 과제성과를 기반으로 ETRI, SKT, 국립전파연구원 등 한국이 주도하여 개발한 에지 컴퓨팅 기술이 2108년 제네바 ITU 국제회의에서 전 세계 표준으로 채택되는 성과도 도출되었다.

현재 3개의 협동연구기관은 BeeAI를 토대로 한 '자율형 분산 빌딩 에너지 관리 시스템 및 응용서비스', '지능형 플랜트 누출 예방 시스템 및 응용서비스', 그리고 'IoE 기반 고령자 건강(뇌졸중) 모니터링 시스템 및 응용서비스' 등 실효성 제시를 위한 연구개발에 집중하고 있다. 한편, KSB 융합연구단 기술출자 연구소기업인 (주)인투와이즈가 2021년 1월 창립하여, 향후 관련 기술의 사업화를 지속해서 지원할 예정이다.

국내 지능형 IoT 생태계 발전의 계기 마련

전문 연구 분야가 상이한 4개 출연(연)이 융합연구단을 구성하고, 단일 기관에서는 풀 수 없는 난제를 On-Site에서 협력연구로 풀어나가는 것은 새로운 도전이다. ETRI는 출연(연) 상호 소통·개방을 통한 융합문화 환경조성 및 공유·협력을 위한 융합연구 수행체계 구축을 위해 노력하는 한편, 대외적으로는 잠재적 수요자와의 협력 네트워크 형성 및 대외 신뢰도 확보를 위해 KSB 포럼 구성, 위원회 운영, 성과발표회, 교육, 공모전 등을 꾸준히 진행하고 있다. 특히, BeeAI 활용확산을 위해 2018년부터 매년 'KSB 인공지능 프레임워크·플랫폼 활용 공모전'을 개최하고 있다.

KSB 융합연구단이 개발한 자가학습형 지식융합 슈퍼브레인 기술들은 국내 지능형 IoT 생태계 발전을 위한 중요한 계기를 마련하였다. 융합연구단 산출물에 상응하는 상용 제품이 시장에 존재한다고 가정할 경우, 2단계 사업이 완료되면 약 1조 1,049억 이상의 시장 창출 효과를 기대할 수 있을 것으로 전망된다.



현재 BeeAI는 기획재정부의 ‘차세대예산회계시스템 구축사업’, 국토교통부의 ‘인공지능 기반의 미래교통 운영사업’, 산업부의 ‘차세대 생명 건강 생태계 조성사업’, 대전광역시 상수도사업본부의 ‘지능형 물관리체계 구축사업’ 등에 시험 적용되고 있으며, 이를 기반으로 다양한 분야에서 인공지능 서비스 구축에 활용될 것으로 전망된다.

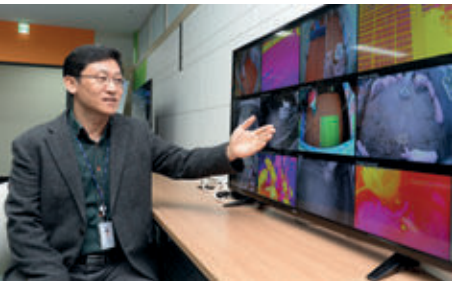
5-7-3. 구제역 대응 융합연구

SDF(Smart Defense for Foot and mouth disease) 융합연구단 출범  
구제역은 소, 돼지와 같은 우제류 동물에서 발생하는 바이러스성 가축 질병으로, 국내에서 자주 발생하여 축산 농가에 큰 피해를 주고 있다. 2000년 이후 구제역 발병에 따른 살처분 가축 수는 3,907,468두로, 2017년 2/4분기 소·돼지 국내 사육 두수의 23.8%에 해당하는 수준이며, 산업적 소요 비용을 제외한 전체 재정 소요 비용은 2016년까지 대략 3조 3천억 원에 달하였다. 국내에서 구제역이 발생하면 ‘긴급행동지침(SOP; Standard Operating Procedure)’ 매뉴얼에 따라 대응하게 되어있다. 그러나 정확한 데이터에 기반하지 않은 직관적인 판단 및 보고에 의한 지휘 체계로 실시간 대응과 추후 역학 조사 등 대책 마련에 어려움이 크다는 문제가 제기되었다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 NST는 2018년에 ETRI 주관으로 한국생명공학연구원이 참여하는 ‘SDF(Smart Defense for Foot and mouth disease) 융합연구단’을 출범하였다. 연구단의 목표는 ‘ICT를 접목한 효율적인 구제역 대응 기술개발’이며, 2021년까지 연구비 120억 원과 연구인력 연 63명이 투입될 예정이다. 수의사 집단인 경북동물위생시험소가 인공지능 분석의 기준 데이터를 제공하고, (주)노헬릭스, (주)엘시스, (주)케이웨어, (주)인포벨리코리아 등의 기업이 참여해 사업화 기반을 마련하고 있다.

구제역 대응 ‘바이오 시큐리티 시스템(ADiOS)’ 구현

SDF 융합연구단은 인공지능과 빅데이터 등의 ICT 지능정보 기술을 활용하여 가축질병의 발생 모니터링, 구제역의 진단·방역·차단 등 전 단계에 걸쳐 종합적인 대응을 할 수 있는 동물질병관리운영시스템인 ‘바이오 시큐리티(Biosecurity, 차단방역) 시스템(일명 ADiOS;



구제역 대응 ICT 융합연구



구제역 대응 ICT융합연구 CG

Animal Diseases management Operating System)’ 구축에 주력하고 있다.

먼저, 해외에서 발생한 구제역이 국내에 유입될 가능성(위험도)을 분석하는 기술을 개발하고 있다. 또한 국내 축산 농가에 설치된, CCTV, 마이크, 사료/음수량 측정 센서, 환경 센서 등으로부터 데이터를 수집하고 인공지능으로 분석하여 구제역을 포함한 가축의 질병 발생 정보를 제공한다.

다음으로, 가축의 이상징후가 공수의사나 농장장에게 보고되었을 때, 이것이 구제역에 의한 것인지 아닌지를 판단하는 고감도 분자 및 면역 진단 기술을 개발하고 있다. SDF 융합연구단은 나노 기술 기반의 고감도 항체 공학기술과 항체 활용기술 그리고 고속 유전자 증폭 기술 등을 기반으로 현장에서 신속하게 고감도로 구제역 여부를 판정할 수 있는 현장 진단 키트 및 리더기를 개발하는 중이다.

또한, 진단 결과 구제역으로 확진될 경우, 구제역 발병 농가를 중심으로 질병 전파요인인 사람·가축·차량 등에 대한 이동 제한 조치를 포함한 초동 방역과 2차 감염을 차단할 수 있는 차단 방역 시스템을 구축하고 있다. 아울러, 농가 종사자가 구제역에 효율적으로 대응할 수 있도록 가상현실 기반 교육시스템도 개발 중이다.

ETRI가 아프리카돼지열병(ASF)에 주목한 이유

SDF 융합연구단 1년 차인 2019년 치사율이 거의 100%에 달하는 아프리카돼지열병(ASF)이 국내에서 발생하였다. 이는 연구단에도 심각한 소식이었다. ASF가 급속도로 확산하여 국내 돼지들이 전멸하면 아무리 좋은 구제역 대응시스템을 개발해도 적용할 데가 없을 거라는 위기감 때문이었다. 이에 연구단은 ASF부터 해결하기로 하고, 그동안 개발한 기술들을 이용하여 2020년에 ASF 확산의 주범인 야생멧돼지 출몰을 실시간으로 관찰, 이를 쉽게 포획할 수 있는 유인책을 만들어냈다. 여기에 멧돼지 유입 감응 센서, 자동 영상 송출 기술, 스마트폰 앱을 활용한 포획 알림 기술, 인공지능 기반 포획 동물 인식 기술 등이 활용될 경우 효율적인 야생멧돼지 개체 수 관리가 이루어질 것으로 예상하고 있다.

이 과정에서 연구진은 발정기 암컷 집돼지의 소변과 분비물을 살포하고 유인하는 등 많은 고생을 해야 했다. 그러나 ASF의 주범인 야생멧돼지 개체 수를 조절할 수 있는 계기를 마련한 것은 큰 보람이었다.



SDF 융합연구단 현판식(2019. 11. 14, ETRI)

연구단은 ADiOS를 단독으로 운영하지 않고, 농림축산검역본부에서 운영하는 국가가축방역통합시스템인 'KAHIS(Korea Animal Health Integrated System)'와 연계하여 운용할 계획이다. 두 시스템이 서로 데이터를 공유하면서 정부가 구제역에 통합적으로 대응할 수 있는 체계를 완성하고자 노력하고 있다.

전 세계적으로 구제역 등 가축 질병에 대한 국가적 통합 대응 시스템을 운용하는 나라는 아직 없다. 따라서 SDF 융합연구 종료 시점에 우리나라는 세계 최초로 통합바이오 시큐리티 시스템을 확보할 수 있을 것으로 보인다.

국가적 방역 시스템으로 활용 기대

ADiOS는 앞으로 구제역 이외의 타 질병에도 적용되어 국가적 방역 시스템으로 활용될 가능성이 크다. 그렇게 되면 악성 가축전염병 발생에 따른 국민의 불안 및 불편 해소, 축산식품의 안정적 공급을 통한 먹거리 보장, 국가 방역예산 절감 및 살처분에 따른 환경오염 문제 해결 등 다양한 역할을 할 것으로 보인다.

5-7-4. 국방 융합연구

DMC(Defense Materials and Components) 융합연구단 출범

현대전(現代戰)은 첨단 과학기술을 기반으로 빠르게 정보전·기술전·전자전 형태로 변화하고 있다. 이러한 첨단 무기체계에서 반도체 부품은 중추적인 역할을 하고 있으나, 아직 우리나라는 관련 핵심반도체 부품을 대부분 수입에 의존하는 실정이다. 더구나 기술 선진국의 수출규제(E/L; Export License) 강화로 기술 확보가 점차 어려워지자, 자주국방을 위해 독자적으로 국방 분야 첨단 소재부품을 개발해야 한다는 목소리가 커졌다.

이에 NST는 2020년 ETRI 주관의 'DMC(Defense Materials and Components) 융합연구단'을 출범하고, '국방 무기체계용 핵심 반도체 부품 자립화 플랫폼 개발'을 시작하였다. 연구단은 첨단 무기체계에 필요한 감시정찰용 및 화력용 핵심 반도체 기술을 개발하여 국방 소재부품의 자립화 기틀을 마련하는 것을 목표로 연구개발을 추진하고 있다. ETRI는 나노종합기술원 및 한국나노기술원과 공동으로 랩(Fab) 인프라를 구축하고, 한국기계



DMC 융합연구단 현판식(2020. 5. 29, ETRI)



DMC 융합연구 실험

연구원, 부경대학교, 충남대학교와의 기술협력을 통해 국방용 소재·부품을 개발하고 있다. 아울러, 참여기업들과 방산 분야 공급체인망을 구축하여 관련 산업경쟁력 확보에도 주력하고 있다.

질화갈륨(GaN) RF 전력증폭 소자 개발

ETRI는 DMC 융합연구단 사업에 앞서, 2015년부터 스마트국방을 위한 반도체 소자 개발에 돌입하였다. 2015년 11월부터 4년간 연구비 35억 원과 연구인력 연 25명을 투입하여 'GaN(질화갈륨) RF 전력증폭 소자 설계개발' 과제를 수행하였으며, 그 결과 군용 다기능 레이더 등에 활용되는 'S-대역 200W급 GaN 전력 소자'를 국내 설비를 기반으로 개발하였다.

레이더 시스템은 국방 감시정찰 무기체계의 눈에 해당하는 것으로, 기존에는 고출력 특성에도 불구하고 진공관을 사용하여 부피가 크고 수명이 짧다는 문제가 있었다. 본 과제는 이러한 문제를 해결하기 위해 높은 에너지 갭과 전력 밀도로 인해 고전력·고효율 특성을 갖는 GaN 기반의 RF 반도체 소자 설계 기술을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

ETRI는 지난 30여 년간 축적한 화합물반도체 기반 RF 소자·집적회로 설계 및 제조 기술을 토대로 국방 무기체계에 적용할 GaN RF 반도체 전력소자 개발을 추진하였다. 그 결과, 당초 계획한 목표(150W급 GaN RF 전력증폭 소자)를 훨씬 능가하는 세계적 수준의 'S-대역 200W급 GaN RF 전력증폭 소자'를 국내 최초로 개발하는 데 성공하였다. 개발된 핵심기술들은 특허 확보는 물론 SCI 논문에도 게재되었으며, 공동연구기관인 (주)웨이비스는 ETRI의 기술을 이전받아 GaN RF 전력증폭 소자 양산공정 기술을 개발하였다.

앞으로 본 소자 기술은 국방 무기체계뿐 아니라 사회간접자본시설 및 국가기간산업용 전력 부품에도 활용되어 관련 산업이 국외기술 종속을 탈피할 계기를 마련하고, 궁극적으로 국가 전반의 경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대된다.

3D TIV 집적화 공정 및 적층형 InP·GaN 소자 기술개발

한편, 스마트 국방 연구의 하나로, 2019년부터 5년간 민군겸용기술개발사업인 '초고주파 대역용 3D TIV(Through-InP-Via) 집적화 공정 및 적층형 InP·GaN 소자 기술개발' 과제를 추진하고 있다. 이를 통해 전량 수입에 의존하고 있던 'InP(인화인듐) 기반의 초저잡음 및 GaN 기반의 고출력 RF 소자·MMIC 제작 기술'을 국산화하고, 향후 민수·군수 분야에서 InP·GaN 소자의 집적화 수요가 급증할 것에 대비하여, TIV 연결 기술을 통한 InP·GaN 소자 3D 집적화 기술을 개발하고 있다.



DMC 융합연구단 사업으로 MMICs 개발에 도전

ETRI는 2020년에 출범한 ‘DMC 융합연구단’ 사업을 통해 감시정찰 무기체계의 핵심부품인 레이더에 활용되는 ‘고주파 전력 소자 및 단일 고주파 집적회로(MMICs, Monolithic Microwave Integrated Circuits) 개발’ 과제(연구 기간 3년, 연구비 98.3억 원, 연구인력 연 24명 규모)를 수행하고 있다. MMICs는 감시정찰 분야에 응용되는 C-/X-/Ku-대역 송수신 핵심 반도체 칩이다. 과제수행을 통해 ETRI는 그동안 전량 수입에 의존해 온 감시정찰 레이더의 핵심 반도체 부품 제조 기술을 확보함으로써 국방전력 강화에 기여하고자 한다.

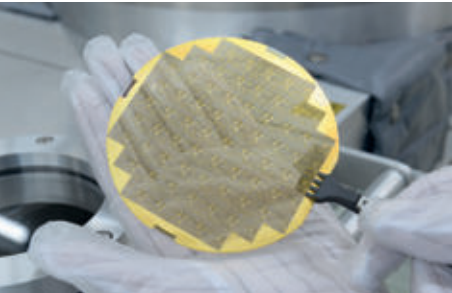
국방용 실리콘 대전력 반도체 필요성 대두

LTT(Light Triggered Thyristor), MCT(MOS Controlled Thyristor), GTO(Gate Turn-Off thyristor) 등 사이리스터 계열 실리콘 전력반도체는 MOSFET이나 IGBT와 비교하면 스위칭속도는 느리지만, 5,000V 이상의 고전압과 수 kA의 연속전류를 구동할 수 있고 수십 kA의 펄스전류를 도통할 수 있는 고전압·대전력 반도체이다. HVDC 송전시스템, 유연 AC 송전시스템, 펄스파워 시스템 등의 응용 분야에서 독자적인 영역을 차지하고 있다.

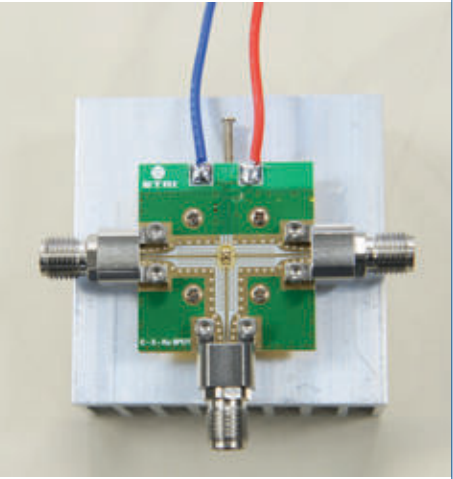
그러나 그동안에는 해외보다 기술력이 낮아 민수용 수요도 많지 않아 전량 수입에 의존하고 있었으나, 최근 국방 무기체계의 전자화 추세에 따라 큰 펄스전류를 성형할 수 있는 고전압·대전력 반도체에 대한 요구가 증가하면서 국산화 개발 필요성이 대두되었다.

1,400V급 MCT와 6,000V LTT 개발

ETRI는 DMC 융합연구단 사업에 앞서, 2012년부터 스마트 국방 연구의 하나로 국방용 실리콘 대전력 반도체를 개발해왔다. ETRI는 지난 수십 년간 실리콘반도체실험실 인프라를 바탕으로 축적한 Power MOSFET, IGBT, 고효율 Rectifier 등 다양한 전력반도체 기술을 토대로 ‘고전압스위치 국산화 Feasibility 연구’(2012년)와 ‘고전압스위치 국산화 Feasibility 연구 및 고전압스위치 패키지 개발·시험 연구’(2016년~2017년)를 추진하였다. 그 결과, 미사일 신관 전자식안전장전장치(ESAD; Electronic Safe and Arm Device) 기폭부의 핵심부품인 내전압 1,400V, 펄스전류 2kA 이상의 실리콘 MCT(MOS Controlled Thyristor)를 개발하는 데 성공하였다.



레이더 반도체 송수신기용 질화갈륨 스위치 집적회로 웨이퍼



레이더 반도체 송수신기용 질화갈륨 스위치 집적회로

개발한 MCT 소자는 웨이퍼 레벨에서 높은 수율을 나타내었으며, 펄스파워용 전력 소자의 패키지 기술개발과 더불어 2019년부터 2년간 ‘국산 고전압스위치(MCT) 코어 양산 MASK 및 공정 기술개발’ 과제를 통해 MCT 양산을 위한 공정 기술을 개발하였다. 개발된 시제품은 현재 국방과학연구소(ADD)에서 체계적용 시험평가를 수행 중이다.

한편, 레일건 등 차세대 무기체계의 대전력 펄스전원 시스템에 필수적인 LTT(Light triggered thyristor, 광사이리스터)를 개발하기 위하여 2015년부터 2019년까지 ADD, 포항공속기연구소와 공동으로 민군겸용기술개발사업(기초연구, 전력용 Thyristor 연구)을 수행하였다. 연구는 ETRI 실리콘반도체실험실에서 LTT 소자를, 포항공속기연구소에서 Press-Pack 패키지 기술을 개발하고, ADD에서 고전압·대전류 시험개발 장치 개발 및 시험평가를 진행하는 형태로 진행되었다.

그 결과, 2019년 ‘내전압 6,000V, 펄스전류 60kA의 LTT 시작품’을 개발하는 데 성공하였다. 개발된 LTT는 소자의 손상 없이 6,000V 이상의 내전압과 60kA 이상의 펄스전류를 반복적으로 도통할 수 있음을 확인하였으며, 추후 응용개발과 시험평가 단계의 사업수행을 통하여 국산화가 가능할 것으로 보인다.

ETRI는 이러한 연구개발을 통해 빠른 스위칭속도의 특성을 갖는 MCT와 스위칭속도는 느리지만 큰 파워를 구동할 수 있는 LTT 기술을 함께 확보함으로써 GTO(Super Gate Turn Off Thyritor), ETO(Emitter Turn Off Thyristor) 등 국방 및 국가기간산업용의 다양한 실리콘 대전력 반도체를 개발할 수 있는 기반을 마련하였다. 개발된 1,400V급 기폭장치용 MCT와 5,000V급 대전력 펄스파워용 LTT는 미래전 무기체계의 부품 및 전원시스템 개발뿐만 아니라, 다양한 분야로 확산하여 관련 산업의 경쟁력을 강화할 것으로 기대된다.

국방 관련 핵심반도체 부품 자립화 기반 마련

ETRI는 2020년에 출범한 ‘DMC 융합연구단’ 사업을 통해 새롭게 ‘고전압스위치/광센서 국산화 및 플랫폼 개발’ 과제(연구 기간 3년, 연구비 53.4억 원, 연구인력 연 27명 규모)에 착수하였다. 연구진은 ADD와 방산업체로부터 지속적인 개발 요청을 받아 온 2,500V급 MCT와 미사일·항공기 레이저 트래커, 자율주행용 LiDAR, 열 영상장치 등에 주요부품으로 사용되는 근적외선 대역(900nm~1,100nm) 실리콘 고감도 광센서(PD·APD), 그리고 적외선 영상 센서 등을 개발하고 있다. 또한, 개발된 부품을 시스템에 장착하기 위한 핵심 방산부품 모듈 통합 패키지 기술개발에도 집중하고 있다. 이를 통해 국방 관련 핵심반도체 부품 자립화를 이뤄내 스마트국방 실현을 앞당기고, 국내 방산 분야 중소·중견기업을 육성하여 국가경쟁력을 강화하고자 한다.

IoT

앞으로 IoT는 1단계 연결형(connectivity), 2단계 지능형(intelligence)을 거쳐 최종적으로 3단계 자율형(autonomy)으로 진화할 것이다. ETRI는 이러한 발전 흐름을 선도함으로써 기후변화, 환경오염, 신종 전염병 확산, 자연재해 등 예측할 수 없는 위협으로부터 국민을 안전하게 지키고 삶을 더욱 편리하고 풍요롭게 만들고자 한다. 이를 위해 고신뢰 IoT 네트워킹, 지능형 액추에이터, 디바이스 자율협업, 임베디드 인공지능 등 여러 기술적 난제들을 해결하고 IoT 2.0 시대를 견인해 나갈 것이다.

지능로보틱스

ETRI는 2000년대 중반부터 로봇에 첨단 ICT 기술과 인공지능 기술을 융합한 지능로보틱스 기술개발에 매진해왔다. 앞으로는 축적된 기술력을 토대로 인간-로봇 공존 사회의 핵심인 서비스 로봇 응용기술과 로봇이 사용자 반응에 스스로 적응하면서 경험기반 지능을 확장하는 기술, 인공지능 기반 인간-로봇 상호작용 기술개발 등에 주력할 계획이다. 또한, 그동안 개발한 자율주행 로봇 기술을 길 안내와 우편, 농업 등의 분야로 확대 적용하고, V2X 통신기술을 교통 인프라, 차량, 보행자 등과 연결함으로써 국민의 안전과 편의를 도모하고자 노력할 것이다. 아울러, 다양한 도로 환경(정형·비정형 환경, 터널, 비포장도로 등)과 기상환경(주간·야간, 우천·우설 등)에서도 안전하게 자율주행이 가능한 레벨4 수준의 인공지능 자율주행 실현에도 도전하고 있다. 앞으로도 ETRI는 사람 중심의 로봇 공존 사회를 위해 필요한 안전하고 편리한 지능로보틱스 AI 기술을 계속해서 개발해나갈 것이다.

바이오/의료

ETRI는 지난 20여 년간 ICT와 바이오/의료의 융합기술개발을 통해 국내 헬스케어 패러다임을 바꿔왔다. 진료 방식은 개인의 특성에 기반하여 맞춤형으로 제공되는 정밀의료로 변화하고 있고, 축적된 의료 빅데이터로부터 의미 있는 통찰력을 끌어내려는 시도가 이뤄지고 있으며, 의료서비스 패러다임은 질병의 ‘진단과 치료’에서 ‘예방과 관리’로 바뀌고 있다. 앞으로도 ETRI는 ‘건강 100세 실현을 위한 의료 지능화 솔루션 개발’이라는 비전을 실현하기 위해 질병의 예방, 검사, 진단, 예측, 치료, 재활 등 헬스케어의 전 영역에서 개인화·지능화·일상화를 지원하는 진단 및 치료 지능화 혁신기술을 개발해 나갈 것이다. 이를 통해 국민의 건강과 삶의 질을 향상하고자 노력할 계획이다.



심혈관 질환 자동 분석 기술



범죄 잡는 최첨단 AI 기술

우정물류

2020년 현재 과학기술정보통신부 소속 우정사업본부는 전국적으로 약 3,500여 개의 우체국망을 운영하며, 약 2만여 명의 집배원을 통해 1년에 약 37억 통 규모의 우편물을 처리하고 있다. 이처럼 엄청난 양의 우편물이 거대한 우체국 물류 네트워크를 통해 자연스럽게 처리되는 이면에는 지난 20여 년간 ETRI가 개발한 여러 자동화 및 집배효율화 기술이 자리잡고 있다. 앞으로 ETRI는 우편물류에서 자동화가 가장 어려운 라스트마일 구간의 집배효율화를 위해 첨단 ICT 기술을 지속해서 적용해나갈 것이며, 코로나19로 인한 언택트 문화 확산으로 급증하고 있는 택배 물량에 대응하는 기술도 집중적으로 개발할 계획이다. 이러한 노력을 통해 국내 우정물류 선진화를 견인해 나갈 것이다.

에너지/안전/국방

기후변화와 온실가스 감축에 대응하고, 늘어나는 자연재해와 재난으로부터 안전한 사회를 구축하는 한편, 최강의 전투력을 유지하기 위한 ICT 융합기술에 대한 수요는 계속해서 늘어나고 있다. 이러한 요구에 발맞춰 ETRI는 원내에 에너지·환경ICT연구단, 도시·교통ICT연구단, 국방·안전ICT연구단 등을 조직하고 공공분야 기술수요를 충족하고자 노력하고 있다. 이를 통해 지속가능한 환경 마련, 탄소중립국가 완성, 국민의 안전확보와 삶의 질 향상에 기여하고자 한다.

융합연구단

ETRI는 2014년 이후 NST가 추진한 총 15개의 융합연구단 가운데 4개(UGS, KSB, SDF, DMC)의 연구단을 주관하고 있다. 앞으로 현재 진행 중인 KSB·SDF·DMC 연구단 사업을 성공적으로 마무리하고, 그 성과를 산업 전반으로 확산함으로써 국가사회의 현안을 해결하는 데 앞장설 것이다. 또한, 국민의 안전 및 삶의 질 향상에 필요한 새로운 아젠다를 발굴하고 융합연구단으로 사업화하는 기획연구에도 매진할 계획이다.



PART 6

기반연구

- 6-1. 개요
- 6-2. 정보보호  
지능화된 사이버 자카방어 체계를 구축하다
- 6-3. 블록체인  
가치의 인터넷(IoV)을 실현하다
- 6-4. 창의연구  
도전적 창의 연구로 미래 성장동력을 확보하다
- 6-5. 표준  
ICT의 글로벌 표준을 만들다
- 6-6. 정책  
국가 ICT의 Think-Tank로 자리잡다
- 6-7. 결어



기반연구

정보보호

ETRI는 1984년 무선통신연구실을 발족하면서 국내 최초로 통신보안에 관한 연구를 시작하였다. 당시의 연구는 전파 월복 현상을 잡기 위한 기술과 국방 보안을 위한 유선통신 보안 및 암호 기술에 집중되어 있었다. 이후로 국가용 보안장비를 개발하는 부호 기술 파트와 민간분야 정보보호 솔루션을 개발하는 정보보호 시스템 파트로 나뉘어 연구를 지속하다, 2000년 부호 기술 파트는 국방과학연구소(ADD)의 일부 부서와 통합하여 국가보안기술연구소로 독립하였다. 지금까지도 국가보안기술연구소는 ETRI 부설 연구소로 운영되고 있다.

한편, 정보보호 시스템 파트의 연구는 2000년 1월 정보보호연구본부의 발족과 함께 본격화되었다. 본부의 목표는 'AI 해커 공격으로부터 국가·사회 인프라를 보호할 수 있는 지능형 위협대응 및 선제적 예방 핵심기술 확보'였다.

초창기인 2000년대에는 국가 정보보호 기반기술 확보를 위해 공인인증서, 부채널 암호방지, USIM, mobile TPM, Secure OS, 유해 콘텐츠 차단, 바이오인식, 모바일 단말 보안, 네트워크 보안 3D 시각화, 고성능 IPS, DDoS 대응 등 다양한 기술개발을 진행하였다.

이후로 2010년대에 들어서는 정보보호 기반기술을 응용 및 고도화하여 사회안전과 서비스 신뢰성을 보장하기 위한 기술개발에 주력하였다. 산업용 방화벽, KMIP 암호키 관리, 바이오 기반 FIDO 인증, DB 암호화, 사이버 자가변이, 선박 관제, 자율주행 V2X 보안, 클라우드 보안, IoT용 경량 OS, 지능형 CCTV 등의 기술을 개발하여 다양한 산업군에 적용하였다. 앞으로도 ETRI는 빠른 ICT 진화에 발맞춰 더욱 스마트하고 자율적이며 지능화된 사이버 자가방어 체계를 구축하기 위한 노력을 지속할 것이다.



FIDO 인증 기술 시연 모습





표준연구본부 백서

## 블록체인

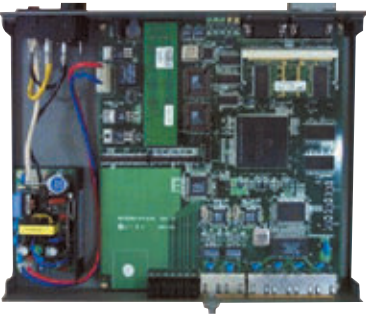
2008년 블록체인 개념이 처음 등장하고, 2009년 디지털 화폐인 비트코인이 등장하면서 블록체인이 ICT의 새로운 화두로 떠올랐다. 블록체인은 네트워크 내의 참여자가 제3의 신뢰 기관 없이 공동으로 정보 및 가치의 이동을 기록·검증·보관함으로써 중개자 없이도 신뢰를 확보할 수 있는 기술로, 참여자 누구나 거래 내역을 볼 수 있는 투명성, 한 번 연결된 블록은 수정하거나 삭제하기 어려운 불변성 등의 기술적 특성으로 인해 가치의 인터넷(IoV) IoV(Internet of Value) : 인터넷으로 정보를 주고받듯이, 은행이나 정부 등 별도의 중개자를 거치지 않고 전 세계 모든 개인·기관이 자산(가치)을 교환하는 환경을 의미한다. ETRI는 블록체인의 특징점을 간파하고, 그간 축적해 온 암호화 기술, P2P 네트워크 기술 등을 토대로 2017년부터 블록체인 연구를 시작하였다. 블록체인의 구조와 문제점을 분석하고 전문인력을 확보하는 등 기술 기반을 마련하는 한편, 새로운 개념의 분산합의 알고리즘 기술과 자기주권 신원정보관리(DID) 기술 등 관련 핵심기술을 개발함으로써 국내 블록체인 기술·산업생태계를 이끌고 있다.

## 창의연구

ETRI는 창의적·도전적 기관으로의 혁신을 위해 2010년 과감한 창의·모험 연구를 전담하는 '창의연구본부'(현 ICT창의연구소)를 발족하고, 국가의 미래 성장동력 확보에 나섰다. 그리하여 지금까지 반도체와 나노 기술 기반의 다양한 차세대 신소재·소자, 신개념의 초실감 디스플레이, 초고속 전송을 위한 광소자·광부품, 화합물반도체 기반 RF 소자·부품, MIT 소자, 초소형·저전력·고성능 센서, THz파 발생·검출 기술, 양자정보통신 기술 분야에서 세계 최고 수준의 성과들을 도출하였다.

## 표준

ICT 기술이 빠르게 발전하면서 1980년대 중후반 들어 전 세계는 ICT 표준화 활동에 많은 노력을 기울이기 시작하였다. 표준기술은 한 번 채택되면 다른 기술로 대체되기 어려운 '잠금 효과'가 발생하기 때문에 파급효과가 매우 크다. 이에 표준화 활동은 '충성 없는 전쟁'으로 불리고, 국제표준 및 특허는 '황금알을 낳는 거위'에 비유되곤 한다. 정부는 당시 국제적으로 추진되던 개방시스템 상호접속 표준기술의 국가적 도입·적용을 위해 1989년 10월 표준연구센터(PEC: Protocol Engineering Center, 현 표준연구본부)를 설립하고, 이후로 ICT 기술 분야 국내 시장 수요를 반영하여 기관 차원은 물론, 국가 차원의 표준화 활동을 꾸준히 수행하고 있다. IPv4/IPv6 주소변환기, 센서 네트워크



IPv6주소변환기

(RFID/USN), 인터넷전화(VoIP), 번호이동성, 와이브로(WiBro), 지상파 DMB, 차량 게이트웨이, 웹, 클라우드 데스크톱, IoT 연동, 긴급구난체계(e-Call), 빅데이터, 오디오/비디오 부호화 등에 관한 표준기술을 개발하고 국내·국제 기술표준 제정 활동을 추진해왔으며, 표준특허 확보에도 힘을 쏟았다. 2020년 12월까지 ETRI가 확보한 국제표준특허는 총 943건이며, ISO, IEC, ITU와 같은 공식표준기구뿐 아니라 IETF, IEEE, W3C, 3GPP, ATSC, OCF 등 주요 사실표준기구에서도 다수의 국제표준화 성과를 창출하였다.

## 정책

ETRI는 지난 45년간 글로벌 경제·산업·시장의 패러다임 변화와 국가·국민의 요구에 따라 계속해서 최선의 역할을 찾고, 이를 수행할 선도적 정책을 개발해왔다. 산업화 정책기(1960년대 초반~1980년대 중반)에는 정부의 fast-follower 정책에 부응하여 통신과 전산 분야의 기술·장비를 빠르게 국산화하였고, 정보화 정책기(1980년대 중반~2000년대 중반)에는 '세계 최고의 ICT 연구기관'이라는 비전 아래 일신경영, 혁신경영, 신경영, 지적자본 경영 등을 추진하여 우리나라가 반도체, 이동통신, 초고속인터넷, 방송미디어 등의 분야에서 글로벌 ICT 강국으로 도약할 수 있는 기반을 마련하였다. 이어서 융합화 정책기(2000년대 중반~2010년대 중반)에는 '세계 최고 수준의 기술 리더'와 'ICT 혁신자'라는 비전 아래, ICT+자동차, ICT+조선, ICT+국방 등의 융합형 R&D 사업을 중점적으로 추진함으로써 국가 경제가 정체를 딛고 새로운 성장동력을 확보할 수 있도록 하였다. 아울러, 지능화 정책기(2010년대 중반~)에 들어서는 '제4차 산업혁명 선도'와 '국가지능화 종합연구기관'이라는 비전 아래 초지능 정보사회 기반 마련, 초성능 컴퓨팅 구현, 초연결 인프라 구현, 초실감 서비스 실현, 국가지능화 융합기술개발 등의 기관 R&R을 중점적으로 추진하고 있다.



FIDO

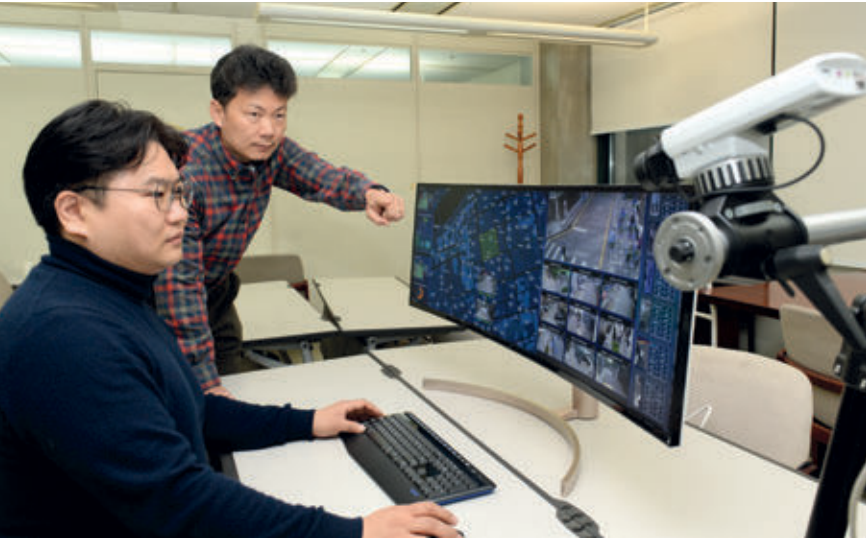
ETRI는 1984년 무선통신연구실을 발족하면서 국내 최초로 통신보안에 관한 연구를 시작하였다. 당시의 연구는 전파 월복 현상을 잡기 위한 기술과 국방 보안을 위한 유선통신 보안 및 암호 기술에 집중되어 있었다.

이후로 1990년대 중후반 들어 인터넷 환경이 확산함에 따라 정보보안 기술은 점차 통신, 전자상거래, 온라인 금융 서비스 등의 분야에 없어서는 안 될 기반기술로 자리잡았다. 이에 ETRI는 2000년 1월 민간부문 보안 기술개발을 위해 정보보호연구본부를 조직하고 본격적으로 정보보호 기술개발에 돌입하였다. 현재의 본부 목표는 ‘AI 해커 공격으로부터 국가·사회 인프라를 보호할 수 있는 지능형 위협대응 및 선제적 예방 핵심기술 확보’이다.

초창기인 2000년대에는 국가 정보보호 기반기술 확보를 위해 공인인증서, 부채널 암호방지, USIM, mobile TPM, Secure OS, 유해 콘텐츠 차단, 바이오인식, 모바일 단말 보안, 네트워크 보안 3D 시각화, 고성능 IPS, DDoS 대응 등 다양한 기술개발을 진행하였다. 그 결과, 세계 최초 전국규모 공인인증체계 상용화, 세계 3번째 3G USIM 상용화, 부채널분석 방지 스마트카드 상용화 등 굵직굵직한 성과들을 도출하였다.

2010년대에 들어서는 정보보호 기반기술을 응용 및 고도화하여 사회안전과 서비스 신뢰성을 보장하기 위한 기술개발에 주력하였다. ETRI는 산업용 방화벽, KMIP 암호키 관리, 바이오 기반 FIDO 인증, DB 암호화, 사이버 자가변이, 선박 관제, 자율주행 V2X 보안, 클라우드 보안, IoT용 경량 OS, 지능형 CCTV 등 다양한 기술개발을 진행하였다. 그 결과, ETRI가 세계 최초로 개발한 경량 보안 OS는 유럽의 지능형 원격검침 장치에 적용되어

1,200억 원 규모의 상용화 성과를 거뒀고, 산업용 방화벽은 원전 시스템에 활용되고 있으며, FIDO 인증 기술은 삼성페이, BC카드 등 수많은 금융서비스에 적용되고 있다.



지능형 CCTV



6-2-1. 암호/인증

전자서명법 시행과 인터넷뱅킹 시대 도래

1999년 7월 전자서명법<sup>221)</sup>의 시행으로 전자상거래에서 전자서명을 사용하는 공인인증 제도가 도입되었다. 이로써 온라인 인감에 해당하는 개인키와 인감증명서에 해당하는 디지털 인증서로 신원을 확인할 수 있게 되어 인터넷뱅킹과 온라인 주식거래, 온라인 보험 가입 등의 전자상거래 활성화의 기반이 마련되었다.

세계 최초로 공인인증서 기술 상용화에 성공

ETRI는 전자서명법 시행 2년 전인 1997년부터 ‘공인인증서(PKI; Public Key Infrastructure) 기술’을 개발하기 시작하였다. 당시 대부분의 기업이 PKI 개발에 외국 의 오픈소스를 사용한 것과 달리 ETRI는 자체적으로 암호 라이브러리를 개발하여 사용할 정도로 이미 상당한 수준의 암호 기술을 축적하고 있었다.

이후로, 전자서명법이 시행되고 나서부터는 본격적으로 실제 서비스에 적용 가능한 PKI 기술개발에 착수하였다. 당시 국내에는 정보보호 기술전문가가 드물고 PKI에 대해 이해하는 사람도 손에 꼽을 정도밖에 없었으나, ETRI는 2년간 쌓은 기술력을 보유한 데다, 정보보호, 데이터베이스, 시스템 통합 및 통신시스템 관리 등 다양한 분야의 전문가들이 모일 수 있는 환경이 구축되어 있어 실 서비스에 사용할 공인인증 기술을 빠르게 개발할 수 있었다.

공인인증 기술은 사용자에게 인증서를 발급하고 관리하는 CA(Certification Authority) 서버와 사용자가 사용하는 인증서 클라이언트 프로그램으로 구성된다. CA 서버는 고도의 정보보호 기술을 집약하는 것이 핵심이고, 클라이언트 기술은 보안이 담보되지 않는 웹과 PC 환경에서도 안전하게 사용할 수 있도록 개발하는 것이 가장 중요하다. 이러한 요구에 만족하는 기술을 개발하기 위해 연구진은 끊임없이 기술개발과 실험을 반복하였다.

연구진은 우선 방대한 분량의 관련 국제표준을 이해하고 분석하여 국내 실정에 맞는 시스템을 위한 설계를 진행한 다음, 완성된 설계를 토대로 서버와 클라이언트 파트로 나누어 개발을 수행하였다. 금융결제원과 증권전산이라는 서로 다른 두 개 기관의 요구사항에 맞춰 시스템을 개발·설치하는 연구여서 시험과 안정화 작업에 많은 어려움이 있었으나, 연구진은 1년이라는 짧은 시간 안에 성공적으로 PKI 개발을 완료하였다.



ETRI 연구진이 개발한 스마트폰용 보안칩 기술

221) 전자서명법: 전자문서에 날인한 전자서명이 인감이나 서명과 같은 효력을 발휘할 수 있도록 규정한 법률이다.



국내 공인인증체계(출처: KISA)



온라인 간편 인증협회

2000년 ETRI는 드디어 세계 최초로 공인인증서 기술의 상용화에 성공하였다. 보안 정책을 담당하는 담당 공무원과 참여기업, 시스템을 운영할 공인인증기관들의 열정적인 노력과 헌신, 그리고 국가의 정보보호 인프라를 만든다는 ETRI 연구진의 사명감이 있었기에 가능한 결실이었다.

20년간 국민의 정보보안을 책임진 기술

ETRI의 공인인증서 기술은 2000년 초 금융결제원과 증권전산, 한국정보인증을 비롯한 국내 기업에 모두 39건 이전되었고, 이후로도 은행, 증권, 보험, 온라인 결제 등에서 사용자의 인증과 전자서명을 제공하는 정보보호 기술로 광범위하게 사용되고 있다. 2020년 4월까지 총 4,418만 건의 공인인증서가 발급되었는데, 이것은 인터넷을 사용하는 대부분의 국민이 ETRI의 공인인증 기술을 이용한다는 것을 보여주는 수치이다.

공인인증 기술은 국내 온라인 금융산업의 보안성 향상에 크게 기여한 것은 물론, 더 나아가 베트남과 필리핀 등 아시아권 국가의 공공 PKI 구축에 국내의 기술과 개발 및 운영 경험을 수출하는 성과도 낳았다. 또한, 전에는 없던 PKI 시장 창출이라는 경제적 효과를 가져왔고, 그 규모는 2019년 기준 660억에 달하였다.

2020년 5월 전자서명법 개정으로 공인인증서는 ‘공인’으로의 효력을 상실하게 되었다. 그러나 앞으로도 하나의 인증 기술로써 지속해서 이용될 것이며, 향후 IoT 등을 위한 효과적인 인증 기술로 활용될 것으로 기대된다.

스마트폰 간편인증 기술 필요성 대두

2000년대 후반 들어 인터넷 사용이 스마트폰 기반으로 급격히 이동하면서 스마트폰에서도 빠르고 편리하게 신원을 확인할 수 있는 인증 기술이 요구되었다. 한편, 2015년을 전후하여 핀테크 서비스가 확산하면서 편의성에 중점을 둔 차세대 인증수단에 대한 수요가 급증하였다.

20년 넘게 진화한 ETRI의 인증 기술

PKI 기술개발에서 시작된 ETRI의 인증 기술은 20년 넘게 진화를 계속하고 있다. 2007년에는 마이크로소프트와 공동으로 ‘사용자 중심의 ID 관리 기술’을 연구하여 최근 관심이



생체인식협의체 창립총회 및 기술세미나



FIDO

222) FIDO(Fast Identity Online): 온라인 환경에서 ID, 비밀번호 없이 생체인식(지문·홍채·안면인식 등) 기술을 활용하여 더 편리하고 안전하게 개인 인증을 수행하는 기술이다. 생체인증에 대한 연구기관 및 기업체가 모여 만든 연합체인 'FIDO Alliance'가 표준규격을 제정하고 있다.

증가하고 있는 자기주권형 ID 기술의 원천이 되는 기반기술을 마련하였고, 이후로 스마트폰 환경에서 거래 안전성을 보장하는 근거리무선통신(NFC) 기반의 ‘모바일 신용카드 기술’ 및 ‘스마트영수증 기술’과 피싱 등에도 안전한 ‘스마트인증 기술’ 등을 개발하였다. 그리고 2014년에는 현금카드·체크카드를 스마트폰에 터치하면 자동으로 전자서명과 로그인 이 되는 ‘차세대 터치사인 인증 기술’을 개발하였다.

한편, 개인정보 유출 수법이 빠르게 진화하자, 패스워드나 PIN 이상의 새로운 보안 기술이 필요해졌다. 이에 ETRI는 2000년대 초부터 기존 방법보다 안전성·정확성·편리성 면에서 월등한 생체인식 기술(Biometrics) 개발에 착수, 2007년에 ‘얼굴·홍채 인식 임베디드 시스템’을 개발하고, 2008년에는 2가지 이상의 생체정보를 이용하는 ‘다중 생체인식 칩셋’을 개발하는 데 성공하였다.

스마트폰이 보편화하면서 스마트폰 맞춤 정보보안 기술도 필요해졌다. 이에 ETRI는 2009년 스마트폰 내의 유료 콘텐츠와 공인인증서 등 중요정보의 유출을 막는 모바일 단말용 침해 방지기술과 ID 도용이나 불법 현금인출을 원천 차단하는 ‘mTPM 칩’을 개발하였다. 이어서 2010년에는 스마트폰의 모든 웹브라우저에서 공인인증서로 전자서명을 가능하게 하는 ‘스마트 서명(Smart Sign) 기술’을 개발하였다. 또한, 2012년에는 스마트폰을 이용한 오프라인 결제가 가능한 ‘스마트지갑 기술’의 개발 및 상용화로 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, 2015년에는 핀테크 서비스의 안전성 강화를 위해 개발한 스마트인증 기술로 또 한 번 ‘우수성과 100선’에 선정되는 쾌거를 거두었다.

세계 최초로 FIDO 인증시험 통과

ETRI는 그동안 축적한 생체인식 기술을 비롯한 다양한 인증 기술을 토대로 간편인증 솔루션을 개발하고, 2015년 국제 온라인 생체인증 컨소시엄인 ‘온라인간편인증협회(FIDO)’의 인증시험을 세계 최초로 통과하였다. 이 시험은 FIDO<sup>222)</sup> 기술을 검증하기 위한 첫 공식인증시험으로, 여기에서 ETRI는 FIDO 클라이언트, 서버, 인증장치 등 3개 제품을 국제표준 규격에 맞게 구현함으로써 ‘FIDO 인증’을 받았다. 개발된 기술은 다수의 금융기관, 보안기업 등에 이전되었다. 이어서 2016년에는 후속 기술로 3가지 인증방식(스마트카드를 스마트폰에 터치하는 방식, 스마트폰과 연결된 스마트워치를 터치하는 방식, 아이폰에 손가락으로 지문을 인식하는 방식)의 FIDO 기술을 국제표준 규격에 맞춰 구현하고, 국제 상호연동시험에도 통과하였다.

2018년에는 PC·노트북 웹브라우저 환경에서도 FIDO 기술을 사용할 수 있는 ‘FIDO 2 인증 기술’을 개발하고 상호연동시험에 성공하였다. 기존 FIDO 기술이 스마트폰 환경에



FIDO 인증 기술 상용화 사례(2017. 6. BC카드)

서만 활용 가능했다면, FIDO 2는 스마트폰과 웹 등 모든 온라인 서비스에 활용할 수 있다는 것이 차별점이다. FIDO 2 기술은 ‘패스워드 없는 간편한 인증, 사용자 친화형 상황 인지 기반 FIDO 인증 기술’이라는 이름으로 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.

FIDO, 대표적인 보안 기술로 자리매김

ETRI의 FIDO 인증 기술은 2015년부터 2019년까지 38건(22.98억 원)의 기술이전을 통해 국내 대부분의 간편결제(삼성페이, BC페이북 등) 및 스마트뱅킹(KEB하나은행 등) 서비스에 적용되었고, 행정안전부의 전자정부 인증서비스와 현대자동차그룹의 사내 보안서비스 등에도 활용되고 있다. 또한, ETRI는 국내 64개 이상의 관련 제품 및 솔루션이 국제인증시험을 통과할 수 있도록 지원함으로써 국내 기업의 글로벌화에 기여하였으며, 국제적으로 공인된 FIDO 기술을 조기에 국내에 전수함으로써 외산 제품을 대체하는 효과도 도출하였다.

FIDO 기술은 다양한 인증수단을 통합 지원할 수 있는 구조를 제공하는 만큼, 보안이 취약한 패스워드 사용을 최소화하고 공인인증서와 동등하거나 그 이상의 보안을 제공하는 새로운 인증수단의 채택·확산을 촉진할 것으로 보인다. 아울러, 향후 이 기술이 IoT 서비스로까지 확대·적용되면 FIDO 기술은 우리의 실생활에서 훨씬 더 빈번히 활용되는 보안 기술로 자리잡을 것이다.

새롭게 블록체인 ID 기술개발에 도전

5G 서비스의 등장과 비대면 서비스의 확대, 공인인증서 폐지 등 기술과 생활 전반의 급속한 환경 변화로 인해 새로운 사용자 식별·인증 및 전자서명 기술에 대한 요구가 증대되고 있다. 또한, 기존의 중앙집권화된 ID 기술은 사용자의 신원정보가 특정 기관에 편중되어 활용에 제약이 크고, 프라이버시 보호나 사용자의 주도적 사용에도 한계가 있어 기존의 정보 관리를 대체할 수 있는 기술이 필요해졌다.

이에 ETRI는 2018년부터 사용자 스스로 신원정보에 대한 통제권을 가지고 활용하는 ‘블록체인 ID 기술’ 개발을 시작하였으며, 이 기술의 활용으로 발생할 수 있는 부작용을 최소화하고자 신원정보에 대한 프라이버시 보호 기술도 함께 개발하고 있다. 최근 행정안전부를 비롯한 각 지자체와 금융기관 등이 ‘디지털 신분증’ 서비스를 준비하고 있다. ETRI는 앞으로 디지털 신분증을 안전하게 보호하고 활용을 극대화하는 핵심기술 확보를 위한 연구를 계속해 나갈 것이다.



## 이동통신 안전성 문제 해결에 나서

ETRI는 1996년 세계 최초로 CDMA 방식의 디지털 이동통신 시스템과 단말기 상용화에 성공한 것을 시작으로, 3세대 이동통신인 미국 중심의 동기식 IMT-2000과 유럽 중심의 W-CDMA 상용화하며 단숨에 세계 최고의 이동통신 환경을 만들었다. 그러나 이동통신의 도청 가능 여부와 안전성에 대한 대비책은 미비하여 국회 국정감사나 대정부 질의 시 이 문제가 지속해서 제기되었다.

2세대 이동통신에서는 단말기 커널에 대한 보안을 통해 안전성을 확보하는 방식을 적용하였으나, 국제표준단체가 상호인증이 가능하며 안전도가 최상인 밀레나지 암호 알고리즘으로 무장한 방식을 표준으로 채택하면서 3세대 이동통신부터는 단순한 통신 기술을 넘어 정보보호 기술과 해킹이 불가능하도록 하는 칩 제조 기술을 전면적으로 채용해야만 하였다. 이에 ETRI는 그동안 연구해 온 스마트카드 및 단말 보안 기술을 금융과 통신으로까지 확장하여 1990년대 말부터 3세대 USIM<sup>223)</sup> 개발에 돌입하였다.

## 세계에서 세 번째로 3G USIM 상용화에 성공

USIM은 연구개발에 많은 기반기술이 필요하여 설βολ리 도전하기 어려운 분야이다. 그러나 ETRI는 이미 차세대 IC카드 기술을 확보한 상태였고, IMT 2000 개발과제를 통해 정보보호 원천기술을 보유하고 있었기 때문에 마지막 단계의 고난도 칩 제조 및 통신망 적용 연구만 수행하면 USIM을 구현할 수 있는 상황이었다.

ETRI는 이러한 기술적 토대 위에서 신속하게 Java 기반 USIM 칩과 USIM 플랫폼 기술, 이동통신 사용자 인증을 위한 칩 설계 기술, 칩 운영체제 기술, 안전성 보장 및 검증 기술, 칩 기반 상호 인증 기술, 글로벌 로밍기술, 인증 서버 기술, 키 관리 기술, 무선 PKI 기술, 단말 정합 기술 등을 모두 개발하였다. 또한, 3GPP<sup>224)</sup>의 안전성 시험 항목과 USIM 응용 항목 등 총 6,000여 항목을 통과하고, 퀄컴의 3G 인증시험까지 통과하며 기술의 우수성을 확인하였다. 또한, SK Telecom, KT, 3G W-CDMA 및 Wibro 상용화 시험 관련 벤치마크도 통과하였다. 국내 기간망 인프라 내의 인증센터 및 단말 보안시험을 모두 통과한 진정한 상용화 기술임을 입증한 것이다.

개발된 USIM 기술은 2006년 휴대용 인터넷 서비스인 Wibro에 적용되기 시작하였다. 이로써 우리나라는 세계에서 세 번째로 3G USIM 상용화에 성공한 국가가 되었다. 한편, 2G · 3G · Wibro · Public WLAN까지 하나의 유심으로 지원 가능한 기술을 확보한 것



최초 개발 USIM 시제품(2003.)

은 ETRI가 세계 최초였다. ETRI는 2003년 12월 USIM 상용화 공로로 정보통신부 장관상을 받았다.

USIM 연구과제의 특이점 중 하나는, 정부 요청으로 ‘USIM 품질관리단’을 운영했다는 점이었다. 품질관리단은 운영 관리 규정을 가진 별도의 조직으로, 기술 실 수요자의 의지와 요구를 기술 공급자에게 신속 · 정확하게 전달하고 이를 통해 기술 수준을 빠르게 끌어올리고자 한시적으로 운영되었다. 여기에는 정부 정책결정자와 통신사, ETRI 중심의 연구기관, 시험평가 기관 등이 참여하였다.

## 신뢰 단말 플랫폼으로 진화

ETRI는 본 기술을 다수의 국내 업체에 이전하여 USIM 전문기업들을 육성하였다. 기업들은 USIM 제조는 물론, 결합서비스로 교통카드, banking, 마일리지, 무선 결제, m-PKI 인증서, 무선 전자상거래 등의 All in one USIM도 개발 및 생산하였다.

ETRI는 후속연구로 ‘신뢰 단말 플랫폼’ 개발을 추진하여, 2009년 세계 최초로 ‘mTPM 기술’을 개발하였다. 이는 서비스 사업자가 사용자 인증, 플랫폼 인증, 기기 인증, 데이터의 보호 및 무결성 보장 등의 목적을 한꺼번에 달성하도록 도와주는 모바일 컴퓨팅의 정보보안 핵심 요소기술로, 저전력 · 저면적 · 고기능 특징을 갖춰 복합 단말 플랫폼의 신뢰 보안 서비스 향상에 크게 기여하였다.

## 부채널분석 장비개발 필요성 대두

부채널분석(Side-Channel Analysis)은 암호 알고리즘이 장치 내에서 동작하는 동안에 장치의 부채널정보(연산시간, 전력소모량, 전자파 등)를 분석하여 암호키 정보를 추출하는 매우 강력한 사이버 공격 방법이다. 1996년 미국 암호전문가인 Paul Kocher에 의해 발견된 이후, 다양한 디바이스 특히, 안전성이 높은 스마트카드 칩을 대상으로 한 부채널분석이 빠르게 증가하였다. 이에 따라 세계의 몇몇 시험기관들은 부채널분석 장비를 개발하여 시험 대상 장치가 부채널 공격에 안전한지 여부를 사전검증 및 시험하기 시작하였다. 이에 국내에서도 시험인증기관에서 활용할 부채널분석 장비의 개발 필요성이 대두되었다.

223) USIM(Universal Subscriber Identity Module): 가입자 정보를 탑재한 SIM(subscriber identity module) 카드와 UICC(universal IC card)가 결합된 카드로, 사용자 인증과 글로벌 로밍, 전자상거래 등 다양한 기능을 1장의 카드에 구현한 것이다.

224) 3GPP(3rd Generation Partnership Project): 무선통신 관련 국제표준을 제정하기 위해 1998년 창설된 이동통신 표준화 기술협력 기구이다.

전력 · 전자파 부채널검증 국산화 성공

이에 ETRI는 2009년부터 부채널분석 장비개발을 시작하였다. 당시 국내에서 부채널분석을 시험하려면 고가의 몇몇 외산 장비에 의존해야만 했으나, 외산 장비에서는 국내에서 주로 사용되는 국산암호에 대한 표준적인 부채널 분석을 수행할 수 없어 어려움이 컸다. 또한, 외산 장비는 고급 분석전문가 기준으로 제작된 장비라는 단점도 가지고 있었다. 이에 ETRI는 국산암호에 대한 표준적인 부채널분석 위험성 검증이 가능하면서, 동시에 시험자가 손쉽게 부채널분석 시험을 진행할 수 있는 ‘보급형 부채널분석 장비’를 목표로 연구 개발을 추진하였다.

2009년 ETRI는 원내의 전자공학, 컴퓨터공학 및 수학 등 다양한 분야 전문가들의 협업을 기반으로 보급형 부채널분석 SW 플랫폼인 ‘SCARF(Side Channel Analysis Resistant Framework)’ 개발에 돌입하여, 2012년 완료하였다. 이로써 국산암호 분석을 할 수 있는 환경과 여러 대의 컴퓨터를 사용하여 빠른 속도로 손쉽게 부채널분석 작업을 할 수 있는 환경이 구축되었다. 또한, 2012년 접촉식 ‘스마트카드 부채널검증 보드’를 개발하고 여기에 SCARF 플랫폼을 연결하여 스마트카드 부채널 검증시험을 할 수 있는 체계를 구축하였다.

2013년에는 비접촉 IC카드에 대한 전자파 부채널분석을 할 수 있는 검증보드 개발에 성공하였다. 기존의 전자파 분석에는 IC카드 칩 표면의 전자파를 탐침하여 분석하는 방식이 사용되었으나, 이 방식은 전자파의 세기가 커서 칩이 연산을 수행할 때 발생하는 미량의 전자파를 안정적으로 측정하기가 쉽지 않았다. 이에 연구진은 IC카드와 리더기 사이의 무선통신 채널에서 발생하는 미량의 전자파를 안테나를 통해 수집하여 분석하는 창의적인 방법을 새롭게 고안 및 구현하는 데 성공하였다. 금융결제원은 2013년 접촉 · 비접촉 SCARF 플랫폼을 활용하여 금융 IC카드 부채널검증 시험을 시작하였다.

한편, 2014년부터는 HW 암호모듈 개발 과정에서 부채널검증을 할 수 있는 ‘HW 암호모듈 부채널검증 보드’ 개발에 집중하여, 국내 업체들이 안전한 암호모듈을 설계할 수 있는 기반을 마련하였다. 이로써 ETRI는 명실상부하게 전력 · 전자파 부채널검증 국산화에 성공하게 되었다.

연구진은 기술개발 과정에서 축적한 노하우를 바탕으로 ‘부채널 방지 암호모듈’ 개발도 병행하여 국산암호 부채널분석 방지 모듈 IP를 확보하였다. 이는 국내 업체의 스마트카드 솔루션에 탑재되어 상용화되었다. 아울러, 2018년부터는 저가의 IoT 디바이스에서 부채널 분석을 할 수 있는 검증보드 환경을 추가적으로 개발하고 있다.



부채널 검증 보드



SCARF 시스템 연도별 개발 결과

국내 부채널검증 기술고도화 기반 마련

ETRI는 SW · HW 국산 암호모듈에 대한 부채널위험성을 검증할 수 있는 안정적인 환경을 마련함으로써 국내에서 개발되는 암호모듈 탑재 IC카드 등에 대한 안전성을 한층 높여 신뢰성 증진에 기여하였다. SCARF 플랫폼은 현재까지도 국내 시험 · 인증기관에서 활발하게 활용되고 있다.

암호 양자안전성 분석 기술 연구의 필요성

1980년대 초 유명한 물리학자 Richard Feynman이 양자물리계에 대한 연구를 위하여 양자컴퓨터의 필요성을 언급한 이후, 1994년 Bell 연구소의 Peter Shor가 RSA 암호 기술을 해독할 수 있는 Shor 알고리즘을 발표하면서 이론적 연구에 그치던 양자컴퓨터가 본격적으로 관심을 끌게 되었다. 또한, 1996년에 발표된 Lov Grover의 양자 검색 알고리즘이 기존 대칭키 암호에 대한 Brute Force 공격의 계산량을 대폭 감소시키면서 양자컴퓨터가 현존 암호를 붕괴할 수 있는 현실적인 위협으로 여겨지기 시작하였다.

그러나 암호를 해독하기 위한 이론적 양자 알고리즘과 양자컴퓨터에서 실제로 요구하는 수준의 양자 자원량(큐비트, 게이트 수, 수행시간 등) 사이에는 큰 차이가 존재한다. 이론적인 양자 알고리즘은 실제 양자컴퓨터 상에서 구현하기 위하여 컴파일을 통한 기본 게이트로 분해, 결합허용 양자 계산, 실제 양자 하드웨어의 물리적 특성을 반영한 재배치 등 복잡한 과정을 거치게 될 경우, 요구하는 양자 자원량이 큰 폭으로 증가하게 되어 이론적 안전성과 실제 안전성 사이에 괴리가 발생할 수 있다. 암호에 대한 정확한 안전성 측정 및 대응을 위하여 이러한 양자컴퓨터의 특성을 반영한 정량적 양자 계산복잡도 기반의 양자 안전성 분석 연구가 요구되었다.

암호 양자안전성 검증 · 분석 플랫폼 ‘Q|Crypton’

이에 따라, ETRI는 2019년부터 고려대, 부산대, 한양대, 한성대 등과 공동으로 암호에 대한 양자안전성 분석 연구를 위한 전문연구실을 구성하고, 2026년까지 주요 암호에 대한 양자 분석 알고리즘 연구와 함께, 이러한 분석 알고리즘에 대한 정량적 양자 계산복잡도를 기반으로 하는 암호 양자 보안강도 검증 · 분석 플랫폼인 ‘Q|Crypton’을 개발 중이다.



ETRI와 부산대는 현존 암호(AES, SHA, RSA, ECC 등), 고려대와 한양대 및 한성대는 NIST에서 표준화를 진행하고 있는 양자내성암호(격자 기반, 다변수 이차식 기반, 코드 기반 등)에 대한 양자 분석 알고리즘을 연구하고, ETRI가 개발하는 Q|Crypton에 이들 암호에 대한 기반 연산부터 양자 분석 알고리즘에 이르는 양자 라이브러리를 직접 구축함으로써, 동등한 양자 환경에서 암호에 대한 효율적 양자 분석 및 평가를 가능하게 하는 것이 사업의 목표이다.

2019년에는 현재 ETRI 양자컴퓨팅연구실에서 연구개발 중인 양자플랫폼(양자컴파일러, 가상머신 기반 양자컴퓨팅 시뮬레이터, 양자회로 · 시스템 합성 및 성능평가 시스템 등)을 활용하여 최대 40큐비트를 지원하는 암호 양자 분석용 개발시험환경을 구축하였으며, 이를 기반으로 2020년에는 대용량 큐비트를 요구하는 양자 알고리즘에 대한 시각화 프로그래밍 및 양자 코드 자동 변환 기능, 양자 라이브러리 등록 · 공유 기능, 다중 사용자에게 웹 기반 양자 프로그래밍 통합개발환경 등을 제공하는 암호 양자안전성 분석 플랫폼의 초기 버전을 개발하였다. 2022년까지는 지속적인 기능 개선 및 연구를 통하여 현존 · PQC 암호 연산에 대한 다양한 버전의 양자 라이브러리를 포함, 연구자들이 개별적으로 양자 라이브러리를 선택하여 암호 양자분석 프로그램을 개발함으로써 암호에 대한 정량화된 양자 보안강도를 시각적으로 측정 · 검증할 수 있는 플랫폼인 ‘Q|Crypton Version 1.0’을 개발할 계획이다.

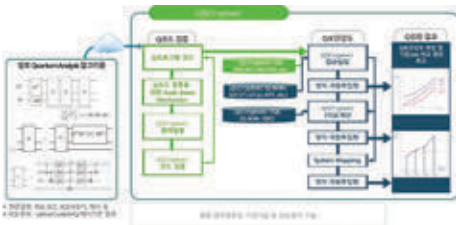
Q|Crypton 플랫폼이 국내에서만 사용되는 기술로 한정되지 않도록, ETRI는 현재 PQC 표준화를 추진하고 있는 NIST 암호기술그룹(Lily Chen 박사)과 2019년부터 협력을 추진하여 Q|Crypton 플랫폼이 NIST PQC 표준화에 기여할 수 있는 방안을 모색하고 있다. 또한, 양자내성암호 분야 최고 학술대회인 ‘PQCrypto 2021’을 개최하여 PQC 암호전문가들에게 Q|Crypton 플랫폼을 소개하는 등 현존 · PQC 암호의 양자 분석에 관한 연구 네트워크를 강화함으로써 전문가들이 암호 양자안전성 분석 연구에 Q|Crypton 플랫폼을 활용할 수 있도록 글로벌 협력체계를 갖추고자 한다.

암호 양자안전성 분야 글로벌 리더로 발돋움

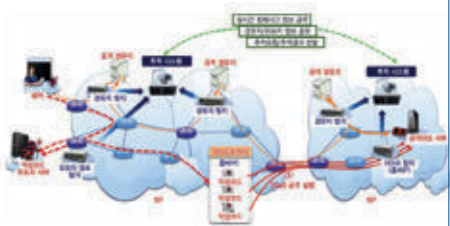
암호에 대한 양자안전성 연구는 아직 전 세계적으로 알고리즘 수준을 크게 벗어나지 못하고 있다. 일부에서 대용량 큐비트 기반의 범용 양자환경이 구성될 경우에 대한 암호 분석 연구를 진행하기도 하였으나, 구현한 대용량 큐비트 알고리즘에 관한 검증 방법, 대용량 큐비트 환경에 대한 양자회로 합성 및 양자 자원량 분석 기술 등의 관점에서 추가적인 연구가 필요하다. ETRI는 이들 기반기술 연구를 포함하여, 수준별(알고리즘, 컴파일, FTQC, 양



양자보안기술 글로벌 연구협력



암호 양자안전성 분석 플랫폼 ‘Q|Crypton’ 기술 개념도



DDoS 공격 시나리오 연구

225) DDoS(Distributed Denial of Service): 여러 대의 공격자를 분산 배치하여 동시에 서비스 거부 공격을 함으로써 시스템이 더 이상 정상적 서비스를 제공할 수 없도록 만드는 해킹 방식이다.

자하드웨어) 양자 보안강도 자동 측정 · 예측이 가능하도록 지속해서 연구 결과를 공개함으로써 암호 양자안전성 분야의 글로벌 리더로 발돋움하고자 한다.

6-2-2 시스템/네트워크 보안

지능형 침해대응 기술개발에 돌입

2009년 7월 청와대, 국방부, 주요 포털 등 총 40여 사이트를 마비시키는 7.7 DDoS<sup>225)</sup> 대란이 발생하였다. 이 사건으로 소량의 치명적인 응용계층의 플러딩(HTTP GET Flooding) 공격으로도 서버 시스템의 서비스 자원을 고갈시켜 서비스를 다운시킬 수 있다는 것이 증명되었다. 그러나 당시에는 이를 효과적으로 탐지 및 대응할 방법이 없어, 응용계층 DDoS 공격 대응을 위한 기술개발 요구가 강력하게 발생하였다.

DDoS 공격의 심각성을 인지하고 있던 ETRI는 2009년 3월부터 이미 지식경제부의 ‘분산 서비스거부(DDoS)공격 대응 기술개발’ 과제를 추진하고 있었으며, 연구 결과로 DDoS 공격 탐지 알고리즘을 개발하여 관련 특허 3건을 출원한 상황이었다.

그러던 중 7.7 DDoS 대란을 기점으로 ‘지능형 침해대응 기술’ 개발에 본격적으로 돌입하였으며, 시대적인 변화에 선제적으로 대응하는 10여 개의 사업을 지속해서 진행하였다. 초기에는 주로 DDoS 공격을 실시간으로 탐지 · 대응하기 위해 네트워크 트래픽의 처리속도를 높이는 데 중점을 두었으며, 최근에는 인공지능 백신 등으로 기술을 고도화하고 있다.

네트워크 보안 선순환 생태계 조성

ETRI는 사이버 보안이 국가 ICT 인프라를 안전하게 지탱하는 초석임을 강조하면서 국내 네트워크 보안 연구개발을 선도해 왔다. 특히, 선진국 대비 기술력이 부족하던 국내 네트워크 보안기업들의 경쟁력 강화를 위해 ETRI에서 시장의 요구사항을 선제적으로 반영한 신기술을 개발하고, 정보보호 기업에서 이를 적기에 상용화하는 선순환 구조의 생태계를 조성하였다. 또한, 과제에 국내 정보보호 기업들을 적극 참여시키고, 부족한 기술은 국제 공동연구(영국 QUB 등)를 통해 확보하는 형태로 연구를 추진하여 최첨단 정보보안 기술

이 산업계로 자연스럽게 흘러 들어갈 수 있도록 하였다. 다음은 ETRI가 개발한 대표적인 지능형 침해대응 기술이다.

- DDoS 대응: 네트워크 및 서버에 심각한 장애를 유발하는 DDoS 공격에 대응하는 HW 기반 DDoS 대응시스템은  $50\mu s$  이하의 패킷 처리지연시간과 패킷 크기와 관계없는 양방향 20Gbps 처리 성능을 보장하며, 세션 단위 패킷 관리를 통해 공격을 탐지하는 Nano Detection 기술을 제공한다.
- 고성능 IPS: 네트워크 침입을 능동적으로 차단하기 위해 국내 최초로 HW 기반 고성능 침해대응시스템을 개발하였다. ETRI는 20Gbps 네트워크 트래픽을 실시간으로 분석하는 FPGA 로직을 통해 침입을 탐지·차단하고, 통계적 기법을 활용한 이상 행위 탐지 알고리즘을 개발하여 비정상 트래픽을 감지·분석·차단하였다.
- 네트워크 보안 3D 시각화: 인터넷상에서 발생하는 공격상황을 시각적 표현기술을 통해 더 생동감 있게 확인하는 기술로, 사이버 표적 공격의 특징을 분석하여 디지털 DNA 구조 형태로 시각화함으로써 보안 관리자가 APT<sup>226)</sup> 공격을 더 쉽고 빠르게 분석·대응할 수 있는 기반을 마련하였다.
- 사이버 자가변이: 사이버 위협의 대상이 스스로 변이함으로써 공격 시도 자체를 어렵게 하는 사이버 자가변이(Moving Target Defense) 기술은 전 세계적으로 개념 정립 단계이다. ETRI는 2020년 세계 최초로 상용수준의 사이버 자가변이 핵심 원천기술을 개발하면서 새로운 사이버 보안 패러다임을 견인하고 있다.
- 클라우드 보안: 보안 시설 투자가 어려워 보안 사각지대로 불리는 중소기업을 위하여 국내 최초로 클라우드 기반 맞춤형 보안 시범서비스를 2017년부터 제공하였다. 세계적 수준의 인공지능망 기반 보안 위협 데이터 분석·탐지 기술, 딥러닝 기반 악성코드 분석 기술 그리고 클라우드 환경에서의 보안기능 가상화 기술 등을 통해 언제-어디서나-누구든지 지능형 보안서비스를 제공받을 수 있도록 하였다.
- 산업용 방화벽: 원전, 발전소 등 국가기반시설 제어시스템에 대한 침해사고 발생이 꾸준히 증가하고 있음에도 국내 산업용 보안제품이 존재하지 않아 관련 기술개발의 필요성이 제기되자, 외부로부터 주요 시설로의 공격을 원천적으로 차단하는 산업용 방화벽을 개발하였다. 이는 산업제어 프로토콜 트래픽의 흐름 패턴과 제어 행위 등의 콘텐츠를 추적·분석하여 불법적인 접근을 차단하는 기술이다. 이를 통해 정부·공공기관, 발전시설, 금융망 등에 안전하고 지속적인 대국민 국가 서비스 환경을 제공하였다.

226) APT(Advanced Persistent Threat, 지능형 지속공격): 조직이나 기업을 표적으로 정한 뒤 장기간에 걸쳐 다양한 수단을 총동원하는 지능적 해킹 방식이다.



클라우드 기반 맞춤형 보안 시범서비스 출범식(2017. 11. ETRI)



DDoS 대응 Secure NIC

## 인공지능 백신 등으로 기술고도화

그동안 우리나라는 세계 최고의 IT 강국임을 자부하였지만, 보안 시장은 외산 제품이 주도하는 상황이었다. ETRI는 고성능 HW 기반 IPS, DDoS 보안 기술 등을 국산화하여 국내 보안기업의 경쟁력을 강화함으로써 기술격차를 해소하고 해외 의존에서 벗어날 수 있도록 하였다. 또한, 서버 및 네트워크의 가용성을 향상시켜 IT 서비스의 신뢰성 향상에도 기여하였다.

최근 들어 네트워크 공격이 고도화·지능화되면서 기존의 DDoS 공격은 금전적 또는 개인 정보 유출을 목적으로 하는 APT 공격으로 빠르게 진화하고 있다. 더욱이 APT 공격은 정치·사회적 목적을 성취하기 위해 국가기관이나 기업 등의 웹사이트를 해킹하는 ‘해킹티즘(hacktivism)’과도 연관되어 있어, 사이버전의 성향을 띄기도 한다. 앞으로 ETRI는 APT 공격에 적극적으로 대응하는 한편, 인공지능 기술을 네트워크 침해대응 기술에 적용하는 등 지속해서 관련 기술들을 고도화해 나갈 계획이다.

## 취약점 분석 기술개발에 돌입

2013년 미국 국가안보국(NSA)에서 일했던 애드워드 스노든은 가디언지를 통해 미국 내 통화감찰 기록과 PRISM 감시 프로그램 등 NSA의 다양한 기밀문서를 공개하였다. 이 기밀문서를 통해 HW 수준의 보안취약점을 이용한 다양한 형태의 개념검증(PoC, Proof of Concept)용 보안성 분석 장치들이 공개되었다. ETRI는 공개된 고도의 기술들을 국내에서 구현하여 기술적 한계를 극복하고자, 2014년부터 취약점 분석 기술개발을 시작하였다.

## IC칩·PCB·펌웨어 수준의 보안성 분석체계 구축

ETRI는 기관 고유사업으로 2014년부터 2018년까지 ‘보안1과제’를, 2015년부터 2023년까지 ‘보안2과제’를 추진하고 있다. 사업의 목표는 ‘HW 레벨의 보안 취약성 분석체계 확립으로 국가적으로 필요한 다양한 보안성 분석 난제를 해결하는 것’이며, 매년 20억 원 규모의 연구비와 약 12명의 연구인력이 투입되고 있다. HW 레벨의 보안성 분석은 기술진입 장벽이 매우 높고 많은 투자가 필요한 영역이어서 민간에서는 도전이 쉽지 않다. ETRI는 국가 정보보호 기술을 리드하는 국가연구소로서의 사명감을 가지고 관련 기술개발에 도전하였다. 또한, 국내외 관련 기관, 국내 최고의 해커그룹 등과도 협력체계를 구축하였다.



연구 결과, ETRI는 2018년 IC칩 · PCB · 펌웨어 수준의 보안성 분석체계를 구축하는 데 성공하였다. 특히, 임베디드 장치에 대한 보안성 분석은 관련 학교 및 연구소에서 해결하지 못하는 문제를 100일 이내에 해결할 수 있는 수준으로 개발하였다. 개발된 기술은 위탁기관을 통해 기술성 검증평가를 마쳤다.

세계적으로 기술력 인정받아

ETRI의 HW 레벨의 보안 취약성 분석체계와 기술력은 2019년 12월 국가정보원으로부터 ‘국가안전보장패 단체상’을 수상하며 국내 최고 수준임을 인정받았다. 또한, 2020년 2월 미국 샌프란시스코에서 열린 세계 최대의 보안 학회인 ‘RSA Conference 2020’에서 관련 기술이 ETRI 최초로 세션 발표로 채택되는 영광을 얻었다. 이는 ETRI의 HW 보안분석 체계를 전 세계에 알리는 계기가 되었다.

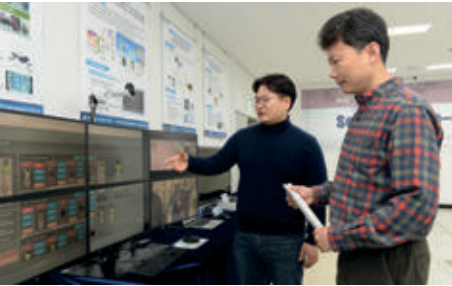
아울러, 본 기술을 기반으로 ‘HW 공급망 보안’ 과제(2020년~2024년)와 ‘토르 네트워크 사이버범죄 대응’ 과제(2020년~2022년) 등 다양한 보안문제 해결과제가 후속으로 추진되고 있다.

6-2-3. 응용보안

인공지능 적용한 지능형 CCTV 개발

2000년대 이후 범죄예방과 시민 안전 등의 목적으로 CCTV(Closed Circuit TeleVision, 폐쇄회로 텔레비전) 설치가 급증하였다. 한국의 공공 · 민간 CCTV 설치 대수는 2020년 기준 1,000만 대를 훌쩍 넘어서, 인구대비 세계에서 가장 많은 수준이다. 이에 따라 관제사의 업무를 지원 및 대신해주는 지능형 CCTV에 대한 요구가 커졌다. ETRI는 2009년 실시간 범죄탐지를 목표로 ‘지능형 CCTV 기술개발’ 과제를 시작한 이후, 현재까지 다수의 과제를 수행하고 있다.

지능형 CCTV 기술개발에 있어서 가장 어려운 부분은 ‘사람의 시각 수준에 근접한 기술’을 개발하는 것이다. 자연환경의 변화와 움직이는 객체의 다양성 등을 사람처럼 인식 · 구분하면서 24시간 오류 없이 동작 가능한 지능형 CCTV 기술을 개발하는 것은 영상처리 분야



ETRI 연구진이 사람 재식별기술(Person Re-ID)기술을 시연하고 있는 모습



ETRI CCTV 영상분석 및 예측기술로 범죄 통계 데이터 및 지도 영상관계 분석 결과가 나타난 모습

의 수십 년에 걸친 난제였다. ETRI는 최근 지능형 CCTV에 인공지능(딥러닝) 기술을 적용하여 기술적 수준을 크게 끌어올렸다. 그 결과, 다수의 CCTV로부터 동일한 사람과 차량을 인식하여 동선을 추적하는 ‘재식별 기술’과 일반 CCTV 환경에서의 ‘원거리 얼굴인식 기술’, ‘운행 중인 차량의 모델을 인식하는 기술’ 그리고 사람의 눈으로는 식별 불가능한 차량 번호 이미지를 복원해주는 ‘열악 번호판 복원 기술(NPDR)’ 등을 개발하였다. 2019년 말 기준 인식률은 사람 재식별기술의 경우 88.1%, 원거리 얼굴인식 기술은 99.8% 그리고 열악 번호판 복원 기술은 89%에 달한다. 또한, 실의 환경에서 실시간으로 얼굴인식이 가능하며, 가림(선글라스, 모자, 마스크 등)에도 강인한 특징을 보이고 있다.

아울러, 2019년에는 5G+ 전략 10대 핵심서비스로 지능형 CCTV가 선정되어, 기존에 특정 장소의 범위를 벗어나 무선으로 자율이동하면서 자율적으로 영상을 수집하고 위험을 감지하며, 더 나아가 위험을 선제적으로 예측 · 예방하는 미래형 첨단사회안전 기술로 발전하고 있다.

하지만 지능형 CCTV의 도입이 폭발적으로 증가하는 반면에 개인의 사생활 침해가 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 이제는 CCTV가 사무실, 가정 내에 설치되는 CCTV 클라우드 서비스가 활성화되면서 외부 불법 접근, 해킹, 백도어 등으로 인하여 민감한 사생활이 적나라하게 외부에 노출되고 있다. 사생활을 단순 엿보는 차원을 벗어나 불법 유출된 영상이 포르노 시장에 버젓이 판매까지 되고 있다는 것은 매우 충격적으로 다가온다. 따라서 ETRI는 이런 보안 역기능을 방지하기 위해 영상 프라이버시 마스킹 기술, CCTV 전주기에 걸쳐 영상을 보호하기 위한 영상 압 · 복호 기술을 10여 년간 꾸준히 연구하여 국내 최고 수준의 원천기술과 지식재산권을 확보하였다.

연구자가 직접 연기하며 CCTV 개발한 사연

현재는 지지체들로부터 지능형 CCTV 개발에 활용할 학습 및 검증 영상을 지원받고 있지만, 2000년대 후반에는 그것이 불가능한 상황이었다. 이에 연구진이 직접 연기자가 되어 대전시 도안동의 아파트 CCTV 주변을 계속해서 돌아다니고, 그것을 촬영하여 연구에 활용해야만 하였다. 추운 한겨울에 촬영이 진행되다 보니 중간에 몸을 녹일 공간이 필요하였으나, 당시에는 신도시 개발이 진행 중이어서 쓸만한 장소가 아파트 앞 빵집밖에 없었다. 추운 날씨로 쉬는 시간이 많아져 촬영 기간 중 빵값만 수십만 원이 나왔던 기억이 있다.

### 바이오인식 기술개발

비대면 거래가 급증하고 신원인증 편리성에 대한 요구가 커지면서, 국내에서도 개인의 생체정보(지문·홍채·얼굴 등)를 활용하여 패스워드나 PIN 이상의 안전성·정확성·편리성을 제공하는 바이오인식 기술(Biometrics)에 대한 필요성이 증대되었다.

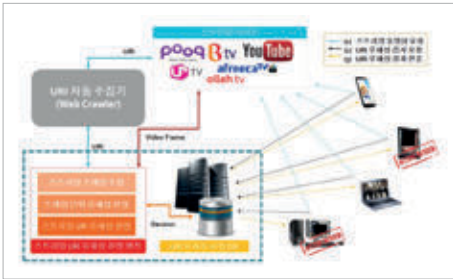
ETRI는 2000년대 초반부터 바이오인식 기술개발에 돌입하여, 2007년 얼굴·홍채 인식 임베디드 시스템을 개발하는 데 성공하고, 2008년에는 2가지 이상의 생체정보를 이용하는 다중 바이오인식 칩셋을 개발하였다. 또한, 전자여권·비자를 위한 다중 바이오인식 기술, 용의자 검색을 위한 고성능 생체정보 검색 기술, 바이오정보 유출에 대응한 프라이버시 보호형 바이오인식 기술 그리고 CCTV 환경을 위한 비제약적 원거리 휴먼인식 기술 등을 개발하였다. 특히, 프라이버시 보호형 바이오인식 기술의 경우, 한국조폐공사와의 업무 협약을 통해 얼굴·지문 다중 바이오인식 기술이 탑재된 ICAO 규격 전자여권 및 전자여권 인식 키오스크를 제작하였으며, 이를 'Biometrics Conference 2006' 전시회에 출품하여 해외에 소개하였다.

한편, ETRI는 '바이오인식 포럼(KBA)'에 적극적으로 참여하여 국내 바이오인식 기술 활성화를 주도하였으며, TTA 및 ITU-T<sup>227)</sup> SG17 표준화 활동을 통해 바이오인식 기술 표준화에도 기여하고 있다.

### 유해정보 실시간 분석·차단 기술개발

인터넷 환경의 확산에 따라 인류는 이전에 경험하지 못한 새롭고 다양한 서비스를 누리게 되었지만, 동시에 유해정보의 범람이라는 역기능에 시달리게 되었다. 이에 ETRI는 2004년부터 2년간 '내용 기반 유해정보방지 기술개발' 과제를 통해 유해 웹사이트 자동 등급 분류 및 유해 이미지 자동 차단 기술을 개발한 것을 시작으로, '유해 멀티미디어 콘텐츠 분석·차단 기술개발' 과제(2009년~2011년)와 '스마트 단말용 스트리밍 유해 콘텐츠 차단 기술개발' 과제(2013년~2014년) 등을 수행하며 유해 콘텐츠(음란 콘텐츠) 필터링 기술을 개발하였다. 개발된 기술들은 방송통신심의위원회의 유해정보 자동 등급 시스템에 적용되었으며, 공동연구기관을 포함한 다수의 국내 필터링 업체에 이전 및 상용화되었다.

유해정보 실시간 분석·차단 기술은 자연어 처리, 영상분석, 오디오 분석, 기계학습, 시스템 기술 등 다양한 전문기술을 적재적소에 종합적으로 적용해야 하는 고난도 연구 분야이다. 그중에서도 특히 유해정보 분석 자동화를 위해 사전 학습용 데이터를 확보하는 것은 매우 고통스러운 작업이었다. 참여 연구원들은 데이터 확보를 위해 장시간 유해정보를 접하며 정신적 피폐까지 겪어야 하였다. 그러나 연구진은 이러한 어려움을 극복하고 서버에서



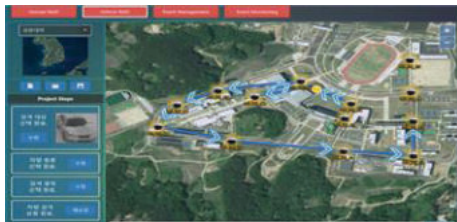
스트리밍 URI용 유해 콘텐츠 분석 및 차단 기술

227) ITU-T(International Telecommunication Union): ITU의 전기통신표준화 부문이다.

ITU(International Telecommunication Union, 국제전기통신연합)는 전기통신, 전파통신, 위성통신, 방송 등의 국제 정보통신 분야를 총괄하는 국제연합(UN) 산하 표준화 전문기구이다.



AI vs 사람 : 열악한 차량번호판 식별 챌린지  
(2019. 11. 7. 제주시)



차량 재식별 기술

PC를 거쳐 스마트 단말에서도 유해정보를 실시간으로 분석·차단할 수 있는 기술을 지속해서 개발하는 데 성공하였다. 이 기술들은 다수의 인력을 동원하여 노동집약적으로 수행하던 유해정보 사전 필터링을 기계학습 기반으로 자동화하는 계기를 마련하였으며, 깨끗한 인터넷 환경 조성에 이바지하였다.

### 인공지능으로 한 걸음 더 진화한 영상보안 기술

ETRI의 지능형 CCTV 기술은 수요기관인 제주도, 서초구, 세종시, 부산시 등 지자체의 실증을 거쳐 시범서비스 되고 있다. 앞으로 미아 및 치매 노인 찾기, 용의자 추적 등에 적용되어 시민 안전을 위한 핵심 인프라로 활용될 것으로 기대된다. 최근에는 CCTV 영상을 자동 분석해 범죄 등 위험 상황이 발생할 가능성을 예측하는 '예측적 영상보안 원천기술'을 개발하고 있다. 예를 들어, 우범지대로 특정된 지역에서 새벽 시간대에 남녀가 일정 거리를 두고 걸어갈 경우, 여성이 긴박한 뽀박질을 시작한다면 우범률이 몇 %인지를 분석하여 미리 대응할 수 있도록 지원하는 기술이다. 이로써 범죄 예측을 통한 사회안전시스템 구축이 가능해질 것으로 보인다.

또한, 바이오인식 기술 역시 최근 인공지능 기술을 도입하여 무자각 사용자 인증, 비제약적 대용량 DB에서의 얼굴 검색, 모바일·드론 등 영상 IoT를 위한 경량형 바이오인식 기술개발에 초점을 두고 진화하고 있다.

ETRI의 영상보안 기술들은 우수성을 인정받아 2012년 교육과학기술부 우수과제에 선정되고, 2012년 '연구개발 우수성과 100선'에 선정되었으며, 현재 2020년 우수성과 100선 후보 과제로 추천된 상태이다.

### 국내 최초 해상교통관제시스템 개발

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 대부분의 화물을 해상으로 운송하기 때문에 해상 교통관계가 매우 중요하다. 더구나 최근 발생한 대형 유조선 기름유출 사고(허베이 스피리트 호 사고 등)에서 볼 수 있듯이 해상 안전사고는 인명은 물론 환경오염 피해까지 상당하여 정확한 관제로 사고를 예방하는 것이 필수적이다.

그러나 2000년대 말까지만 해도 국내의 모든 해상교통관제시스템(VTS)은 외산 장비로 구축되어 있었다. 매년 시스템 유지·보수에만 30억 원 이상의 예산이 지출되고 적시에 기



능을 개선하는 것도 어려워, VTS 국산화는 해양수산부와 해양경찰청의 숙원사업이었다. 이에 2차례의 국산화 시도가 있었으나, 기술 부족으로 상용화에 실패하였다.

ETRI는 첨단 ICT 기술과 해양분야의 융합연구를 결정하고, 2009년 기획 과제로 ‘u-VTS 기술개발 및 광해역 무선통신 인프라 구축’ 사업을 추진하였으며, 2010년에는 ‘해양안전 실현을 위한 차세대 VTS 기술개발’ 사업을 본격 수행하며 VTS 국산화에 도전하였다. 과제는 ETRI가 핵심기술을 개발하고 관련 업체들이 공동연구기관으로 참여하여 상용화를 추진하는 형태로 진행되었으며, 2016년까지 7년간 100억 원 이상의 연구비가 투입되었다. 해양분야 기술개발 경험이 전혀 없는 상태에서 VTS 개발에 뛰어드는 것은 상당한 모험이었으나, 당시 연구진은 그동안 ETRI가 축적해 온 센서 및 IoT 기술을 믿고 자신 있게 새로운 융합과제에 추진하였다.

ETRI는 2012년 자체적으로 레이더 사이트 1개 지역을 연결하는 추적시스템을 개발하고, 2013년에는 2개 레이더를 다중으로 연결하는 추적시스템과 다중센서 융합처리 시스템 그리고 선박 간 충돌 위험도를 산출하여 관제사에게 알려주는 의사결정 지원시스템을 개발하였다. 이어서 2014년에는 모든 수신 데이터를 고속으로 저장 및 재생하는 통합정보시스템을 개발하여 기본적인 관제시스템 형태를 구현하는 데 성공하였다.

연구진은 2015년에는 자체 시험을, 2016년에는 군산 VTS 센터 관제실과 연동한 공식적인 시험 서비스를 성공적으로 실시하였다. 또한, 과제 종료 후에도 2년간 군산에서 자체 시험을 진행하고 결과를 보완하는 작업을 수행하였다. 이로써 순수 국내 기술로 개발한 VTS가 우리나라 영해의 교통관제를 할 수 있게 되었다. 이 기술은 2013년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, 2017년 3회 ‘해양수산과학기술대상’에서 대상을 수상하였다. 개발된 기술은 (주)지엠티 등 공동연구기관을 통해 상용화되어 해군과 육군뿐만 아니라 해양경찰청의 해안감시 시스템 사업에 적용되었고, 한국정보화진흥원의 정보화 사업에도 납품되었다. 향후 본 VTS는 해양수산부의 e-Navigation 정책과 연계되어 해양경찰청의 지능화 사업에도 일조할 것으로 기대된다.

자율주행 V2X<sup>228)</sup> 서비스 안전성 확보

자율주행과 지능형 교통시스템 보급이 확대되면서, 자동차와 도로·교통 인프라가 연동·협력하는 협력 자율주행 시대가 도래하였다. 이러한 기술 진화로 삶은 점차 편리해지고 있지만, 동시에 차량해킹 등 다양한 차량 보안 위협도 증가하였다.

이에 ETRI는 자율주행 환경에서의 V2X 서비스 보안을 위해 2016년부터 2018년까지 ‘자율주행차량 V2X 서비스 통합보안 기술개발’ 과제와 영국 워릭(Warwick)대학교 WMG



군산 VTS 센터 현장에 구축된 VTS 시스템  
(2016. 5.~2019. 3.)

228) V2X(Vehicle to Everything): 자동차가 자율주행을 위해 도로에 있는 다양한 요소와 소통하는 기술이다.



자율주행 V2X 보안 실차 및 실도로 기반 실증(2018.)



ETRI의 보안 운영체제 발전 연혁

연구소와의 국제공동연구인 ‘자율주행 고속상호 인증 및 해킹 대응 기술개발’ 과제를 진행하였다. 과제에는 (주)한국정보인증, (주)하이게인안테나, 현대오트모에버 등이 공동연구기관으로 참여하였다. 주요 연구내용은 차량 간 V2X 통신 신뢰성 보장 기술과 V2X 보안 처리 고속화 및 차량의 원격해킹 방지 기술, 차량 PKI(Vehicular Public Key Infrastructure) 기술, 유럽 표준형 V2X 보안 기술 등이었다.

V2X 자율주행 환경에서는 차량 간 주고받는 안전메시지(BSM)의 고속처리가 매우 중요하며, 보안 측면에서는 이 메시지를 빠르게 검증하는 것이 주요 이슈였다. 이에 ETRI는 범용보드 상에서 활용되는 멀티코어 CPU와 GPGPU 기반의 ‘ECC(Error-correcting code memory) 고속 서명검증 기술’과 멀티 프로세싱 스케줄러 기반의 ‘BSM 보안 메시지 고속 처리 기술’을 개발하였다. 그 결과, 평균 약 0.535초 안에 V2V 메시지 1,000개의 서명을 검증하는 데 성공하였다. 이 기술은 해외의 HW 기반 고속처리 기술과 달리 추가비용이 거의 없는 SW 기반 솔루션으로 가격 경쟁력이 뛰어나고, 알고리즘 등 보안 모듈의 업데이트가 용이하다는 장점도 가지고 있다.

아울러, 연구진은 원격으로 차량해킹을 방지하기 위한 기술로 차량 헤드 유닛 오픈 플랫폼 기반 ‘커널 레벨 해킹 방지 솔루션’을 개발하였다. 이 기술은 외부 침투를 막아 줄 뿐만 아니라, 차량 내부의 트래픽을 분석하여 이상징후를 탐지하는 기능까지도 제공한다.

ETRI는 개발된 기술들을 실도로 및 실차 환경에서 실증하였으며, WMG와는 국제상호 운용성 테스트까지 수행하여 기술의 신뢰도를 높였다. 현재 국토부의 C-ITS 사업에도 일부 기술이 적용되어 향후 그 파급효과가 클 것으로 예상된다.

1999년 보안 운영체제 기술개발 시작

1990년대 후반 국내에서도 보안 운영체제(OS)에 관한 관심이 커지기 시작하였다. ETRI는 1999년 ‘Secure Linux 개발’ 시범과제를 시작으로, 2002년에는 사업 규모를 확대하여 ‘정보통신기반 보호를 위한 안전한 운영체제 개발’ 과제를 추진하였다. 이때부터 본격적으로 서버용 보안 OS 개발에 돌입하여, 보안라우터와 게이트웨이, 몰입형 스마트워크 단말 보안 OS, MTM 기반 스마트 단말 보안 OS, 가상화 기반 군사용 스마트 단말 보안 OS 그리고 스마트 경량 IoT 기기용 보안 OS를 지속해서 개발하였다.

세계 최초로 글로벌 표준기반 IoT 기기용 SecuLOS<sup>229)</sup> 개발

2010년대 중반 개인이 사용하는 IoT 기기 대수가 폭발적으로 늘어나 IoT 보안의 중요성이 대두되기 시작하자, ETRI는 새롭게 IoT 기기용 경량 보안 OS 개발에 돌입하였다. 2016년 미래창조과학부와 정보통신기획평가원이 지원하는 ‘스마트 경량 IoT 기기용 운영체제 보안 핵심기술개발’ 과제를 통해서였다. 핵심기술은 ETRI가 개발하고, 부족한 기술은 센서용 운영체제를 수년간 개발해 온 UC 버클리 대학의 SWARMLab과의 협업을 통해 확보하였다. 또한, 시큐브, 윈스, 라닉스 등의 중소기업이 공동연구기관으로 참여하였다.

본 과제를 통해 ETRI는 2017년 세계 최초로 글로벌 표준기반의 IoT 기기용 경량 보안 OS 개발에 성공하였다. 이는 자원제약으로 인해 보안 기능 제공이 어려운 경량 IoT 기기 환경에서 기기의 위·변조 방지, 비인가 접근차단 등의 보안 기능을 제공하는 OS로, 국제표준 규격의 공개키 기반 기기 인증 및 네트워크 접속제어 기술과 경량형 고성능 암호 기술 등으로 구성되었다. 특히, 경량 암호 알고리즘의 경우 상용 암호인 ARM mbedTLS 대비 약 3.6배, wolfSSL 대비 약 4.2배 정도 빠른 처리 성능을 구현하였다.

개발된 경량 보안 OS는 1,200억 원 규모의 유럽 AMI(Advanced Metering Infrastructure, 지능형 원격검침 장치) 인프라 보안에 적용되어 세계 최고의 기술력을 증명하였다. (유럽 노르웨이 SORIA Project, 2016. 6.~2019. 1.) 또한, 국내의 지능형 수도원격검침 서비스, 통학버스 알림서비스, 스마트빌딩 보일러 상태 예측시스템 등으로도 사업화되었다.

IoT 시대 견인하는 ETRI의 보안 OS 기술

글로벌 표준기반의 IoT 기기용 경량 보안 OS 개발로, 국내 경량형 보안 기술 분야는 보통의 산업·기술이 거치는 기술체화기를 거치지 않고 기술도입기에서 곧바로 기술선도전환기로 도약하였다. 그 결과, 국내 IoT 보안산업은 질적·양적인 측면에서 획기적인 성장의 계기를 확보하였다.

특히, 본 기술은 ZigBee IP 규격(ECDHE, ECDSA) 지원으로 전력, 가스, 수도 등 여러 검침서비스에 적용이 가능하며, 다양한 통신 환경(ZigBee, LTE, W-Fi 등) 특성을 가지는 IoT 환경에서 암호키 공유 방식 혹은 인증서 방식의 기기 상호인증 및 키 교환 적용을 할 수 있어 확장성이 매우 뛰어나다. 이 기술은 ‘산업용 IoT 무선 플랫폼의 핵심기술개발 및 국내의 사업화 성공’이라는 이름으로 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다.



상용 AMI 적용 보안 DCU 및 스마트미터  
(베르겐 25만 호, 2018. 2.)



경량 IoT 기기용 보안 OS 국무총리 시연(2019. 11. ETRI)

본 기술개발로 예상되는 관련 제품 및 사업의 기대 수출액은 2016년부터 2020년까지 5년간 총 2.1조 원 규모이며, 2020년 기준 약 1.08조 원의 수입 대체 효과가 도출될 것으로 기대된다. (IRS Global, 2015.) ETRI는 앞으로도 국내 IoT 보안 기술의 발전을 견인하고, 원격검침 데이터 유출 및 검침 데이터 위변조 등으로 인한 사이버 보안 문제를 해결함으로써 국민 생활의 편의성과 안전성을 제공하고자 노력할 것이다.

229) SecuLOS(Secure & Light-weight Operating System, 경량형 보안 OS): 보안의 오버헤드를 최소화하고 플랫폼의 보안성을 제공하는 보안 OS 기술이다.





블록체인 기반 콘텐츠 유통 플랫폼 개요

블록체인은 네트워크 내의 참여자가 제3의 신뢰 기관 없이 공동으로 정보 및 가치의 이동을 기록·검증·보관함으로써 중개자 없이도 신뢰를 확보할 수 있는 기술이다. 참여자 누구나 거래 내역을 볼 수 있는 투명성, 한 번 연결된 블록은 수정하거나 삭제하기 어려운 불변성 등의 기술적 특성으로 인해 가치의 인터넷(IoV)실현이 가능하다. 정부는 2018년 6월 「블록체인 기술 발전전략」과 2020년 6월 「초연결·비대면 신뢰 사회를 위한 블록체인 기술 확산전략」을 발표하며 관련 연구개발을 추진하고 있다.

ETRI는 2017년 블록체인 분야 사전 연구로 ‘분산 초연결 ICT 인프라 구조기술개발’ 과제를 수행하여 블록체인의 구조와 문제점을 분석하고 전문인력을 확보하는 등 기술개발을 위한 기반을 마련하였다. 이어서 2018년 초 ‘블록체인기술연구센터’를 신설하였으며, 2019년에는 기관 내에 파편화되어 있던 블록체인 기술개발사업 재정비를 통해 관련 연구에 전략적으로 역량을 집중하였다.

이와 함께, 2018년부터 그간 축적해 온 암호화 기술, P2P 네트워크 기술 등을 토대로 블록체인 기술개발에 본격적으로 뛰어들었다. 그 결과, PoN(Proof of Nonce) 방식의 분산 합의 알고리즘 기술, 자기주권 신원정보관리(DID) 기술, 저지연 P2P(Peer to Peer) 전송 프로토콜 및 TTP(Trusted Third Party)-free 데이터 거래 등 블록체인 분야 핵심기술 전반에서 기술력을 확보하였다.

### 6-3-1. 블록체인

#### 블록체인 한계 극복을 위한 기술 필요

2008년 11월, 사토시 나카모토라는 신원미상의 인물이 발표한 논문(Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System)을 통해 블록체인 기술이 처음 세상에 소개되었다. 곧이어 2009년 1월, 분산장부 공유 기술(Distributed Ledger Technology)을 기반으로 실상용 수준의 탈중앙 디지털 화폐인 비트코인이 등장하며 블록체인 기술이 디지털 통화(Digital Currency) 발행·유통 및 거래 용도에 제한적으로 활용되었으며, 2015년 스마트 컨트랙트 도입으로 응용플랫폼 성격이 강화되면서 다양한 산업에 활용되기 시작하였다. 블록체인은 투명성, 불변성, 가용성 등 기술적 특징점으로 데이터 경제 시대에 적합한 혁신 기술로 주목받았으나, 확장성, 개인정보보호, 상호운용성 등 기술적 한계에 직면하면서 이를 돌파하기 위한 기술개발 수요가 제기되었다.

#### ETRI 최초의 블록체인 기술개발 과제

ETRI는 2017년 6월 ‘사물인터넷 융합기술개발’ 사업 내 정책지정 기술개발사업으로 ‘분산 초연결 신뢰 ICT 인프라 구조기술개발’ 과제를 시작하며 블록체인 연구에 돌입하였다. 2018년 12월까지 약 1년 6개월간 블록체인 구조를 연구하고, 블록체인 인터넷 성능 지표와 블록체인 R&D 테스트베드를 구축하였으며, 블록체인 정책 및 경제성을 연구하였다. 과제 시작 당시, 국내에는 블록체인 분야 전문가가 드물고 참조 가능한 기술도 거의 없는 상황이었다. 씨앗기술 개발을 위한 기본적인 토대 마련에서부터 어려움에 봉착한 것이다. 이에 연구진은 ‘블록체인 기술 분석서 V.1.0’을 작성하고 연구 기간 내에 V.2.0으로 업데이트하며 빠르게 기술을 습득하였고, Tech, Tree Map, 서비스·정책 및 경제성 분석서 등을 작성하며 원천기술개발을 위한 연구기반 확보에 매진하였다.

연구진은 우선, 블록체인 기술의 가능성과 극복해야 할 난제들을 확인하였다. 블록체인 서비스는 기존 인터넷 인프라(TCP·IP 기반 서버-클라이언트 모델의 스위치·라우터 전달망) 구조 위에 오버레이로 제공되고 있어, 전송 프로토콜 기능 중복, TTP(Trusted Third Party) 기반 인터넷망의 안전성 문제 등 상용화에 이르기까지 해결해야 할 문제가 많다. 다양한 기술이 융복합되어 구현되는 데다 기술 자체가 급격히 변화하고 있어 원천기술에 대한 진입장벽 역시 높았다.

이러한 문제를 극복할 방안으로, 연구진은 신개념의 분산컴퓨팅(블록체인)-네트워킹 융합 기반 P2P(Peer to Peer) 구조를 제안하고 요구사항을 도출하여 기존 인터넷망과 상호 보완적 환경에서 신뢰 인프라를 도입할 방안을 도출하였다. 또한, 블록체인 기술상용화 연구의 첫 시도로 ETRI 내부에 ‘블록체인 기반 문서관리시스템 서비스’를 구현하였다. 기존 ETRI 지식공유플랫폼은 문서에 대한 업로드 · 수정 · 접근제어 등의 모든 권한이 운영자에게 집중되어, 참여 연구원 간 성과정보 공유를 위한 동기 부여가 부족하다는 단점이 있었다. 이의 해결을 위해 프라이빗 블록체인의 사용자 접근제어 기능과 동기 부여를 위한 퍼블릭 블록체인의 인센티브 기능을 융합한 플랫폼을 개발하여 서비스 PoC를 선보였다.

## 블록체인 씨앗기술 개발을 위한 토대 마련

본 과제로 블록체인 기술개발을 위한 기초를 다진 ETRI는 2018년 블록체인 및 연관 분야 연구경험을 보유한 기업·연구소·대학 등의 전문가 112명과 함께 대규모 연구과제인 ‘블록체인 중장기 기술개발’ 과제를 기획하였으나, 첫 도전은 고배를 마셨다. 그러나 블록체인의 중요성과 파급력을 고려한 대규모 연구과제의 필요성이 재차 제기되자, ETRI는 2018년 4월 ‘블록체인기술연구센터’를 조직하고 관련 과제를 위한 사전작업인 예비타당성소사를 주도적으로 추진하였다. 그 결과 2020년 6월 예비타당성소사를 최종 통과하여 블록체인 분야 대규모 국가연구과제가 처음으로 추진될 수 있게 되었다.

새롭게 시작될 과제에는 고성능 합의 기술, 스마트 컨트랙트 안전성 및 실행 최적화 기술, DID 및 프라이버시 보호 기술, 고성능 저장소·데이터 관리 기술 등의 개발에 5년간 1,133억 원 규모의 예산이 투입될 예정이다. ETRI의 도전적인 사업기획으로 예산이 확보되면서 국내 블록체인 기술경쟁력 강화를 위한 기반이 마련되었다.

## 트릴레마 해결을 위한 분산합의 기술에 도전

분산합의 알고리즘은 서로 신뢰할 수 없는 참여자들 사이에 데이터 일관성과 불가역한 결과를 확보하는 블록체인의 독창적 기능으로, 비잔틴 장애에도 불구하고 정확한 데이터 기록을 공유할 수 있도록 지원하는 원천기술이다. 현재 블록체인 합의 기술은 수천 가지가 넘는 것으로 알려져 있으며, 지속해서 진화하고 있다.



블록체인 연구 방향

분산합의 기술은 탈중앙화(decentralization), 보안성(security), 확장성(scalability) 이 세 가지를 동시에 풀 수 없다는 '블록체인 트릴레마(trilemma)'를 가지고 있는데, 이를 극복하는 것은 블록체인 상용화를 위한 필수 해결과제이다. ETRI는 2018년부터 트릴레마 해결을 위한 새로운 분산합의 기술에 도전하였다.

## PoN 기반 고신뢰정보거래 플랫폼 기술개발

ETRI는 2018년 ‘블록체인(PoN 알고리즘) 기반 고신뢰 정보거래 플랫폼 기술개발’ 과제를 통해 블록체인 분산합의 기술개발을 추진하였다. 과제의 목표는 기존 합의 방식의 한계를 극복하고 모든 참가 노드에 확률적으로 공평한 블록생성의 기회를 제공할 수 있도록 ‘합의 참여 노드 자격 검증 방식(PoN; Proof of Nonce)’의 합의 알고리즘을 제안하는 것으로, 2021년까지 4년간 연구비 76억 원과 연구인력 40여 명이 투입될 예정이다.

블록체인의 탈중앙화 특성을 제공하기 위해서는 모든 구성원(노드)이 공평하게 합의에 참여할 수 있어야 하나, 기존의 작업증명(PoW), 지분증명(PoS) 등의 합의 방식은 보유자(연산능력 및 지분 등)에 의해 다시 중앙화되는 문제와 성능 보장을 위해 일부 노드만 선택적으로 합의에 참여할 경우 선정과정에서 탈중앙성이 훼손되는 문제, 과도한 자원 소모 문제 등을 가지고 있었다.

이에 ETRI는 그간 축적해 온 암호화 기술, P2P 네트워크 기술 등을 토대로 새로운 분산합의 알고리즘 개발에 돌입하였다. 기술개발 효율성을 높이기 위해 자체 연구개발과 외부전문가 자문단에 의한 검증을 동시에 추진하는 형태로 과제를 진행하였다.

ETRI는 PoN 방식의 분산합의 알고리즘을 수학적으로 검증하고 PoC(Proof of Concept)에 성공하였다. 이로써 최소합의 비용으로 탈중앙화와 확장성을 동시에 제공할 수 있는 원천기술개발의 토대가 마련되었으며, 이는 향후 우리나라가 블록체인 트릴레마 한계를 극복하고 세계 최고의 블록체인 기술경쟁력을 확보하는 데 크게 기여할 것으로 보인다.

## 상용화 앞둔 PoN 알고리즘

개발된 PoN 알고리즘은 다수의 3급 특허출원과 SCI-J 논문게재 등을 통해 대외 경쟁력을 인정받았으며, '4차 산업혁명 페스티벌 2020'에 참여하여 대상을 수상하였다. 또한, 알고리즘의 PoC 결과는 중소 블록체인 기업에 이전되어 상용화를 앞두고 있다. 2020년 예비타당성조사를 통과한 블록체인 대규모 국가연구과제가 시작되면, PoN을 기반으로 한 ETRI의 고성능 분산합의 기술개발은 한 단계 더 고도화될 것으로 기대된다.



자기주권 신원정보관리(DID) 기술의 급부상

2015년 탈중앙화된 자기주권 신원정보관리(DID)<sup>230)</sup> 플랫폼 생성을 목표로 RWoT (Rebooting Web of Trust)라는 커뮤니티가 설립된 이후, DID가 블록체인의 핵심기술로 급부상하였다. 현재 세계 각국이 관련 기술개발에 힘을 쏟고 있으며, W3C, DIF, OASIS 등의 표준화 단체에서도 국제표준 제정을 위해 발 빠른 움직임을 보이고 있다. 국내에서는 2019년 SK텔레콤 주축으로 구성된 이니셜 컨소시엄을 시작으로, (주)라운시큐어 중심의 DID 얼라이언스 코리아, (주)아이콘루프 중심의 myID 얼라이언스, (주)코인플러그 중심의 마이키핀 등 4개 얼라이언스가 DID 플랫폼 기술경쟁을 펼치고 있다.

DID 플랫폼 연동의 기초 다져

ETRI는 2019년 그간 축적된 기술들을 토대로 ‘블록체인을 활용한 분산형 자기주권 신원정보관리 기술개발’ 과제를 시작하였다. 연구진은 1년 9개월의 짧은 기간 내에 ‘공통플랫폼 개발 및 서비스 적용’이라는 기술 목표와 ‘세계적인 수준의 기술개발’이라는 비전을 동시에 달성하기 위해 파격적으로 컨소시엄을 구성하였다. DID 플랫폼 기술경쟁 관계에 있는 (주)코인플러그와 (주)아이콘루프를 동시에 참여시킨 것이다. 이를 통해 ETRI는 과제 수주 단계에서 이미 상당한 수준으로 개발된 블록체인 플랫폼 2종을 확보하였으며, 이를 기반으로 ‘공통플랫폼 기술’과 ‘발행인 익명성 제공 기술’ 개발에 집중할 수 있었다.

행정안전부는 2020년 모바일 공무원증을 도입하였고, 2021년에는 모바일 운전면허증으로까지 디지털 신원증명을 확대할 계획이다. 또한, 경남도청은 한국인터넷진흥원(KISA)과의 사업을 통해 모바일 도민카드를 개발하고 이를 도서관, 관광시설 등에 적용할 계획을 추진 중이다. 연구진은 현재 행정안전부와 경남도청에서 추진 중인 DID 프로젝트들이 특정 사업자의 플랫폼에 종속되지 않고, 어떤 플랫폼에서든 손쉽게 응용이 가능하도록 하는 ‘공통플랫폼 기술’을 개발하였다. 개발된 공동플랫폼은 정보통신기술협회, 4개의 얼라이언스, 한국인터넷진흥원 등과의 협업을 통해 표준화 및 연동방안 마련을 추진 중이다.

한편, ETRI는 본 과제를 통해 ‘발행인 익명성 제공 기술’에 세계 최초로 도전하였다. 이는 DID 기술을 블라인드 채용 등 특수한 응용서비스에 적용하기 위한 것으로, 예를 들어 학적증명서에 학교명을 숨기고 학력만을 기재할 수 있도록 하는 기술이다. 연구진은 Randomizable 시그니처의 단점인 발행인 노출 문제를 해결하기 위해 1단계에서



분산형 신원정보관리 앱

는 Randomizable 시그니처에 그룹 시그니처를 적용하고, 2단계에서 Threshold CryptoSystem을 적용하였다. 그 결과, ‘발행인 익명성 인증서 시스템을 위한 분산화된 그룹 서명기법’을 지식재산권으로 확보하였으며, 현재 DID 플랫폼에 적용하기 위한 기술을 개발하고 있다.

DID 플랫폼 기술의 확산

정부가 코로나19로 촉발된 비대면 경제전환을 위해 모바일(디지털) 신원증명을 확대한다는 방침을 발표함에 따라, 앞으로 ETRI의 DID 플랫폼 기술은 활용성이 더욱 커질 전망이다.



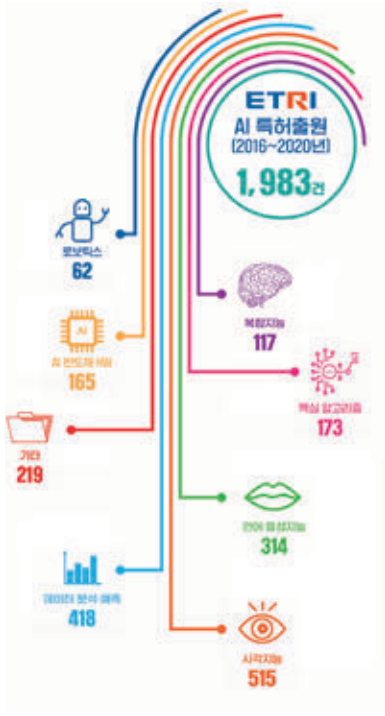
DID 기술 개요

230) DID(Decentralized Identity): 블록체인 기반의 탈중앙화된 분산 ID이다. 개인의 신원을 구분할 수 있는 정보를 특정 기관이나 기업에 보관하는 중앙형 관리체계 대신, 같은 신원정보를 기관별로 분산해 저장하고 신원 검증에 필요한 정보도 나눠 관리하는 방식이다.

창의연구의 뿌리는 기초기술연구부에서 찾을 수 있다. 당시 기초기술연구부는 다른 개발단과 다르게 독립된 조직으로 구성하였다. 기초기술연구부는 물리현상그룹, 통신그룹, 신소재그룹, 정보그룹으로 나뉘어 안정된 연구 재원을 바탕으로 기초기술에 관한 연구를 주도하였다. 1999년 원천 기술개발을 기치로 약 250여명의 연구진과 연간 300억원 규모의 예산을 사용하는 원천기술연구소로 확대 개편하였으며, ETRI 창의연구는 핵심 기술 선점을 통한 응용기술 선도 및 핵심 기술로 수입에 대한 장기 비전에 따른 결과로 시작되었다. 창의원천 기술개발은 더욱 치열해지고 있는 기술 경쟁에서 차별화된 경쟁력 확보에 무엇보다 중요한 역할을 하는 주춧돌과 같아서 처음부터 굳건한 마음으로 체계를 구축하여야 하는 매우 중요한 사안이다. 원천기술연구소를 거쳐 개발된 현재 OLED 기술의 기초가 되는 conducting polymer 기술, 초고속 전송을 위한 광소자 기술, 홀로그래움 초고밀도 공간 광변조기 기술, 디지털 x-선 기술, 화합물 RF 소자 기술, 테라헤르츠 기술, 양자 소자 기술 등은 ETRI 미래를 열어갈 미래 성장 동력의 근간으로, 세계적 차별화를 위해 끊임없는 노력이 진행되고 있다.

2000년대 후반 출연(연)의 연구효율성이 대학이나 민간기업보다 떨어진다는 지적이 잇따랐다. 이에 ETRI는 출연(연) 거버넌스, 특히 국가대표 출연(연)으로써 ETRI의 역할과 미래 방향성에 대한 심도 있는 논의를 진행하였다. 그리고 2010년 창의적·도전적 기관으로의 혁신을 위해 과감한 창의·모험 연구를 전담할 ‘창의연구본부’(현 ICT창의연구소)를 발족하였다.

ETRI는 지금까지 다양한 창의연구에 도전하여, 반도체와 나노 기술 기반의 다양한 차세대 신소재·소자를 개발하고, 접히는 것을 넘어 늘어나는 디스플레이와 3차원 홀로그램을 구현하는 홀로그래픽 디스플레이를 개발하였으며, 초고속 전송을 위한 광소자·광부품, 화합물반도체 기반 RF 소자·부품, MIT 소자를 세계적인 수준으로 개발하였다. 또한, 반도체, MEMS 및 나노 기술의 융복합을 통해 초소형·저전력·고성능 센서를 구현하고, 소재부터 소자·모듈·시스템에 이르기까지 모든 THz파 발생·검출 기술을 자체적으로 확보하는 데도 성공하였다. 아울러, 2010년대 중반 이후로는 기존 정보통신의 기술적 한계를 뛰어들었다. 이러한 창의적 연구들을 통해 기존에 없던 새로운 기술을 발굴·개발함으로써 국가의 미래 성장동력을 만들어가고 있다.



ETRI AI 특허출원 수

### 6-4-1. 창의연구와 주요성과

#### 출연(연) 거버넌스 개편 논의

우리나라 경제·산업은 정부의 강력한 과학기술 드라이브 정책과 1960년대 중반 이후 설립된 분야별 정부출연연구기관들의 연구성과를 토대로 빠르게 발전하였다. 초기의 출연(연)은 기초과학과 원천기술이 부족한 상황에서 선진기술을 신속하게 따라잡기 위해 fast-follower 전략에 집중하였고, 그 결과 ‘한강의 기적’으로 일컬어지는 고도의 압축성장을 이뤄냈다.

그러나 2000년대 중후반 들어서면서 출연(연)이 대학이나 민간기업보다 연구효율성이 떨어진다는 지적이 잇따랐다. 2011년 한국과학기술기획평가원의 보고에 따르면, 출연(연)은 전체 국가연구개발 예산의 39.8%를 투입하고도, 대학과 비교 할 때 SCI 논문게재 수는 18.6%, 특허 등록 건수는 65%, 사업화 건수는 20%에 불과하였다. 아울러, 당시 기술·분야 간 융합이 전 세계적인 트렌드로 떠오르면서, 출연(연) 역시 융합·통합의 대상으로 거론되었다.

이러한 상황에서 2008년부터 출연(연) 지배구조(거버넌스)를 단일화, 일부 통합, 민영화 등의 방법으로 개편함으로써 출연(연) 활성화를 꾀해야 한다는 논의가 본격적으로 시작되었으며, 수년에 걸쳐 이 문제는 여러 부처·청과 출연(연), 학계, 산업계에서 뜨거운 감자로 부상하였다. 2011년에는 거버넌스 개편 방안의 하나로 각 부처에 분산돼 있던 국가 연구개발 정책을 한데 모으고 예산을 총괄하는 조직인 대통령 직속 국가과학기술위원회가 공식 출범하였다.

#### 창의·도전연구 활성화로 미래성장 준비

ETRI 내부적으로도 출연(연) 거버넌스, 특히 국가대표 출연(연)으로써 ETRI의 역할과 미래 방향성에 대한 심도 있는 논의가 진행되었다. 이러한 가운데 출연(연)의 3개 사업구조(국가 임무형, 산업계 지원형, 창의연구형) 중 창의연구형 연구에 주력해야 한다는 의견이 대두되었다. 국가 임무형 사업에만 치중하던 기존의 사업구조에서 벗어나 대학이나 민간 기업에서는 할 수 없는 연구를 하는 기관, 그리고 현재는 시장도 상품도 없지만, 미래를 열어갈 폭발적 잠재력이 있는 기술을 발굴하여 장기적·계획적으로 준비하는 기관이 되어야 한다는 것이었다.



이러한 논의를 토대로 ETRI는 2010년 1월 새롭게 ‘미래를 창조하는 ICT Innovator’라는 비전을 수립하고, ‘창의경영(Creativity & Productivity)’을 경영이념으로 내걸었다. 이와 함께 도전적이고 모험적인 연구를 수행하는 전담조직으로 ‘창의연구본부’를 발족하였다. 창조적인 아이디어와 연구체계로 기존에 없던 새로운 기술을 만들어 국가의 미래 성장 동력을 확보하기 위한 조직이었다.

당시 창의연구본부가 벤치마킹한 것은 MIT 대학의 ‘X-Project Lab’이었다. 이 Lab처럼 연구원이 독창적이고 기발한 연구를 맘껏 할 수 있는 환경(예산, 연구 기간 등)을 제공하고 독자적인 권한을 부여하여 획기적인 아이디어·기술 창출을 유도함으로써, 노벨상에 도전하는 것을 목표로 하였다. 또한, 기술 자체보다 시장을 먼저 염두에 두는 R&BD(Research&Business Development) 방식을 본부 운영에 도입하였다.

이어서 2011년 2월에는 전 직원을 대상으로 한 내부 공모를 통해 3개의 창의연구실(그래핀소자창의연구실, THz포토닉스창의연구실, MIT창의연구실)을 조직하고 본격적인 운영에 들어갔다. ETRI는 연구원들이 창의적 연구에 과감하게 도전할 수 있도록 연구수행 과정에서 발생한 성실 실패를 용인하는 정책을 도입하고, 연구책임자에게는 인력 선발·배치 등 조직운영에 관한 자율성과 독립성을 파격적으로 보장하였다.

이와 함께, 비상설연구조직인 소규모창의연구그룹도 조직·운영하였다. 이는 연구원 개인의 창의적 아이디어를 육성·장려해 신사업 기획의 기반으로 활용하기 위한 조직으로, 사업 아이디어를 제안한 연구책임자와 해당 연구에 참여하고자 하는 연구원을 중심으로 일몰형으로 운영되었다.

창의연구본부는 2013년 미래기술 기획조직인 ‘창의미래연구소’로 개편하고, 직할 부서별로 미래연구팀을 구성하여 운영되었다. 또한, 최신 미래기술과 산업전력, 창의경제 관련 소식을 제공하는 ‘창의 미래 뉴스레터’를 격주로 발간하였다.

ETRI는 2019년 ‘미래를 만들어가는 국가지능화 종합연구기관’이라는 새로운 비전을 수립·발표하면서 기관운영의 4대 목표 가운데 하나를 ‘창의·도전연구 활성화로 미래성장 준비’로 정하였다. 이와 함께 창의연구를 더욱 강조하여 ‘ICT창의연구소’를 새롭게 개편하였다. (미래원천연구본부, 소재부품연구본부, 실감소자원천연구본부, 광무선원천연구본부, 양자기술연구단)

2020년 현재 ICT창의연구소는 ‘파괴적 창의연구를 통한 미래 ICT 원천기술 선도’라는 비전 아래, 지금까지 존재하지 않았던 새로운 미래기술의 발굴·연구에 매진하고 있다. 세부적으로, 휴먼증강 디바이스, 클라우드 지능증강 디바이스, 뉴로모픽 디바이스, 양자컴퓨팅 SW·HW, 양자암호통신, 테라급 광·무선통신 융합부품, 웨어러블 초감각통신, 홀로그

램 공간인터랙션 디바이스, 초경량 AR·VR 디바이스 기술 등 기존 산업계에 혁신과 혁명을 가져올 최첨단 미래 핵심기술들을 연구개발하고 있다. 또한, 테라헤르츠 소자·부품, 시냅스 기반 감성인지 소자, 나노전자원 소스, 2D·나노 반도체, 메타물질, 양자 소자 등의 기초·원천적인 기반기술개발에도 힘을 쏟고 있다.

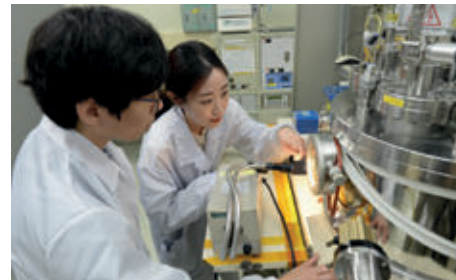
## 차세대 신소재·소자

ETRI는 세계적인 ICT 기술에 나노 기술 등을 접목하여 이전에 없던 새로운 소재·소자를 구현하고, 적극적인 기술사업화 지원을 통해 이를 산업 전반으로 확산하고 있다.

2011년에는 그래핀 광도파로를 기존의 반도체 소자와 결합함으로써 광통신과 전기통신이 동시에 가능하도록 한 ‘그래핀 기반 플라즈몬 광도파 소자’를 개발하였다. 이 기술은 기존 반도체 공정에 곧바로 응용할 수 있어 산업적 가치가 더욱 컸다. 이어서 2012년에는 10nm 이하의 미세 패터닝이 가능한 나노 금형을 값싸게 대량 복제하는 기술을 개발해 나노 기술 대중화에도 앞장섰다. 또한, 2014년에는 그래핀을 이용해 극미량의 가스를 측정하는 ‘고성능 가스센서-히터 융합소자’ 제작에, 2015년에는 그래핀을 면·나일론 같은 섬유에 코팅해 섬유가 가스측정 센서 역할까지 하도록 한 ‘섬유형 가스센서’ 개발에 성공하였다.

한편, 브레인 인터페이스 기술에도 도전하여 2017년 생체 내에 넣어도 부식 없이 장기간 신경 신호를 측정하고 세포에 효율적으로 전기자극을 줄 수 있는 ‘유연 신경전극’ 개발에 성공하였다.

2018년에는 혁신적인 인공소재인 ‘메타물질’의 특성을 쉽게 조절하여 제작할 수 있는 핵심 원천소재 기술과 공정 기술을 개발하였다. 메타물질은 자연에 있는 물질과 달리 구조나 배열형태에 의해 특성이 바뀌는 인공소재이다. 메타물질의 구조를 바꾸면 물질 특성까지도 마음대로 조절할 수 있어 고해상도 홀로그래프와 고민감도 적외선·광센서 제작은 물론 투명망토 같은 SF 영화 속 소재까지 구현이 가능하다. 이어서 2019년에는 더 선명하고 다양한 색상표현이 가능한 나노결정 기반 ‘광대역 메타물질 완전흡수체 기술’을 개발하였다. 또한, 저전력, 고명암비, 고화질 유기 발광다이오드(OLED) 패널을 구현할 수 있는 ‘유기 나노렌즈 제작 기술’을 개발하고 이를 성공적으로 기업에 이전하였으며, 그래핀 물질을 네 개 층으로 쌓아 ICT기기 웨어러블화의 필수요건인 전기가 통하는 ‘투명·휘는 전극’의 구현에도 성공하였다.



ETRI 연구진이 증착공정을 통해 메타물질의 박막두께를 조절하는 모습

2019년에는 ‘CNT(탄소나노튜브) 기반 디지털 X선 소스’를 개발하여 세계 최초로 상용화하는 성과를 도출하였다. 이는 고온의 필라멘트 대신 CNT를 이용한 전기신호만으로 전자빔을 보다 효율적으로, 오랫동안 만들 수 있는 기술이다. 기존의 X선 튜브 및 관련 영상장비는 미국, 일본, 독일의 특정 기업체가 독점하고 있었으나, ETRI가 디지털 X선 기술 상용화에 성공하면서 국산화의 길이 열렸다.

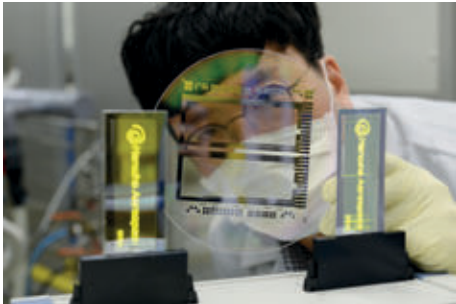
아울러, 그래핀 복합소재에 ‘멕신(MXene)’을 첨가하여 각종 통신·전기·전자기기로부터 나오는 전자파를 매우 효과적으로 차단하는 나노복합소재도 개발하였다. 이 소재는 나노복합소재 가운데 최고 수준의 전자파 차폐율을 기록했으며, 전기전도도가 높으면서 가벼워 전자, 의료기기, 자동차 전장부품, 웨어러블 스마트 제품, 로봇 등 다방면에 활용이 가능할 것으로 보인다.

2020년에는 사람 피부의 땀샘을 흉내 내어 주변 환경에 따라 수축과 팽창을 자유롭게 하는 박막을 개발하였다. 피부 표면 온도와 비슷한 31℃에서 온도가 낮으면 팽창해 구멍이 닫히고 높으면 자동으로 열려 열을 방출함으로써 전원 없이도 열 방출을 조절할 수 있는 방열소재로, 3cm×3cm 크기에 인공 땀샘 2만 개가 들어있는 형태로 구현되었다. 이 박막은 앞으로 스마트폰과 같은 유연전자 소자의 발열을 해결하는 방열소재나 에너지 발전소자, 미세한 제어시스템 등에 활용될 것으로 기대된다.

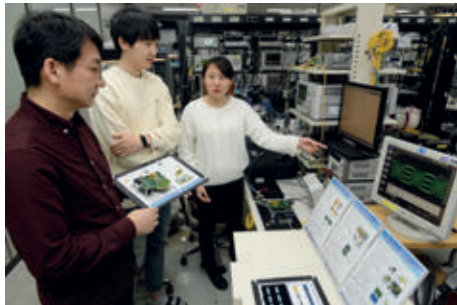
### 실감 디스플레이

ETRI는 2010년대 중반부터 그간 축적한 OLED 디스플레이 기술을 토대로 접히는 것을 넘어 늘어나는 디스플레이, 3차원 홀로그램을 구현하는 홀로그래픽 디스플레이, 촉각·오감을 느끼게 해주고 사람의 생체신호까지 인지하게 해주는 디스플레이 등을 개발하고 있다. 특히, 신축이 가능한 새로운 기관 및 배선 구조, 늘어나도 전기적 특성이 변하지 않는 배선소재, 기계적 변형에 강한 TFT 소자, 신축성 기관으로의 회로 전사 기술 등 기존의 플렉시블 전자회로에서 요구되지 않던 새로운 기술개발에 주력하고 있으며, 2017년에는 주위 환경에 맞게 임의의 방향으로 늘어나는 ‘3.5인치 크기의 신축성 능동 OLED 패널’을 SID(국제정보디스플레이학회)에 발표하여 큰 호응을 얻었다. 아울러, 빛이나 공간과 같은 환경의 변화에 따라 에너지 소모를 최소화하고 최적의 품질을 제공하는 ‘조절전 환경적응(LASA; Light Adaptable Space Adaptable) 디스플레이 기술’을 개발하여 2017년 국가과학기술연구회의 ‘국가연구개발 우수성과’에 선정되었다.

한편, 미래의 홀로그래픽 디스플레이 구현을 위한 핵심부품인 SLM(공간광변조기) 패널 기술개발에 돌입하여 2017년 세계 최소 피치인 3μm 픽셀의 16K급 위상변조형 공간광변



한화에어로스페이스에서 개발한 신소재로 ETRI가 그래핀 투명 전극을 적용해 유연한 OLED 패널을 제작한 모습



ETRI 연구진이 400G 광학송수신엔진 및 측정결과를 논의하고 있는 모습

231) 코히어런트(coherent) 복수광파의 주파수와 위상이 같을 때 그 광파를 코히어런트 광이라고 한다.

조기 패널 개발에, 2019년에는 1μm 픽셀 피치의 공간광변조기 소자 개발에 성공하였다. 2020년에는 SID가 주최한 ‘디스플레이 위크(Display Week) 2020’에 세계에서 가장 작은 1μm 픽셀 피치 패널과 360도 테이블탑 홀로그램 시스템’을 선보여 최고상을 받았다. 이는 우리나라 최초의 수상이다.

시각을 만족시키는 것을 넘어 촉각·오감을 느끼게 해주고 사람의 생체신호까지 인지하게 해주는 디스플레이 즉, ‘디스플레이를 넘어서는 디스플레이’ 개발에도 힘을 쏟았다. 그 결과, 인간과 사물의 감각 교감을 가능하게 하는 Skintronics(피부부착 전자소자) 핵심 원천 기술을 개발하여 ‘고해상도(25ppi) 20% 신축이 가능한 촉감을 감지하는 디스플레이 어레이’와 ‘고해상도(25ppi) 하이브리드 구조의 신축이 가능한 촉감을 주는 디스플레이 어레이’ 시제품을 개발하였다. 또한, 2020년에는 인간의 지문과 정맥 신호를 이용하여 인증·보안 등에 사용할 수 있는 플렉시블 투명 디스플레이 기술을 개발하였다.

ETRI는 이러한 첨단 디스플레이 기술들을 더욱 확장하여 촉각·후각·감성을 만족시킬 수 있는 초실감 미디어 서비스를 위한 ‘홀로그램 오감 디바이스 기술’, 생체인식 기능으로 편의성·보안성이 극대화된 ‘지능형 보안 초신뢰 디바이스 기술’ 등으로 나아갈 계획이다.

### 초고속 전송을 위한 광소자·광부품

ETRI는 초고속 광 송수신을 위한 광소자 및 광부품 기술개발을 중점적으로 추진하고 있다. 우선, 초고속 코히어런트<sup>231)</sup> 광소자 기술개발을 시작하여, 2010년대 중반 빛의 고유한 성질(편광, 위상, 진폭)을 제어하는 것만으로 1초에 10억 비트(100Gbps)의 대용량 콘텐츠를 전송하는 신개념 인터넷 전송 기술 및 소자를 개발하였다. 이 기술은 ‘차세대 고효율 광 노드용 핵심 부품개발’이라는 이름으로 2017년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었다. ETRI는 기술고도화를 지속해서 추진하여 2018년 2월에는 HD급 영화 50편을 1초 만에 전송할 수 있는 400Gbps급 코히어런트 광검출 기술을 개발하는 데 성공하였다. 기존의 광통신은 광케이블을 추가로 깔아야 데이터통신량을 확장할 수 있었으나, 이 기술의 개발로 광케이블의 추가 매설 없이 송수신 장비 교체만으로 통신용량을 기존 대비 4배나 증대할 수 있어 수천억 원에 달하는 광케이블 매설 비용 절감효과가 도출되었다.

한편, 25G급 프론트홀용 광소자 칩 개발에 돌입하여, 2018년에 프론트홀용 25G C-band EML 칩 기술을, 2019년에는 C-band 기술을 기반으로 한 프론트홀용 25G O-band EML 칩 기술을 개발하였다. 이 기술은 2019년 4월 세계 최초로 한국이 5G 서비스를 시작하는 데 있어서 핵심적인 역할을 하였으며, 공동개발에 참여한 기업들이 수백억대의 매출을 기록하는 등 뛰어난 성과를 도출하였다. ‘25G 프론트홀 광소자 칩 및 광트랜시버 기



술’은 2019년 ‘국가연구개발 우수성과 100선’에 선정되었으며, 같은 해 우수성과 유공 과학 기술정보통신부 장관 표창을 수상하였다.

2019년 말에는 4개의 광원 및 광검출기 소자 그리고 광송신부 및 광수신부 등이 단일 패키지에 집적된 ‘400Gbps 광송수신 엔진’을 세계 최초로 개발하였다. 400Gbps는 10만 명이 동시에 고화질 유튜브 영상을 스트리밍할 수 있는 속도이다. ETRI는 앞으로 광 소자·광부품 기술을 단순 데이터 전달을 넘어 인공지능, 의료, 바이오 등과 융합함으로써 신산업을 창출하고자 노력할 계획이다.

화합물반도체 기반 RF 소자·부품

ETRI는 GaAs(갈륨비소), InP(인화인듐), GaN(질화갈륨) 등 화합물반도체 기반의 RF(Radio Frequency) 소자 개발을 통해 무선통신 및 밀리미터파 대역 시스템용 RF 소자·부품 국산화의 토대를 만들고 있다.

2010년대 이후에는 기존의 반도체 웨이퍼 소재로 쓰이던 Si와 GaAs의 한계를 극복할 수 있는 차세대 소재인 GaN에 집중하여, S-대역 및 Ku~K-대역 GaN 전력증폭 소자, 5G 이동통신용 Ka-대역 GaN 전력증폭 MMIC, 국방 무기체계용 S-대역 200W GaN 전력 증폭 소자 등을 개발하였다. 또한, 2020년에는 고전압에서 좋은 성능을 발휘하는 동시에 전력 손실을 최소화하는 ‘질화갈륨(GaN) 단결정 기판을 이용한 800V급 수직형 전력반도체 기술’을 국내 최초로 개발하였다.

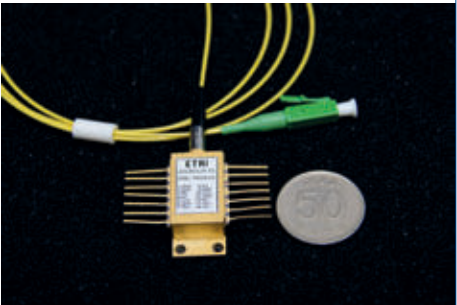
이러한 기술들을 기반으로 우리나라는 전량 수입에 의존하던 GaN 기반의 무선통신용 고출력 RF 반도체 소자를 단기간에 자체개발할 수 있게 되었고, 그 결과 군사용 레이더를 국내 기술로 개발한 것은 물론, 2019년 시작된 일본의 수출 규제에도 대응할 수 있게 되었다. 2020년부터는 5G 이동통신에 적용되는 28GHz 및 39GHz 대역 GaN 집적회로 기술을 개발하고 있으며, B5G·6G 이동통신을 위한 Sub-THz 대역용 GaN RF 소자 기술개발에도 주력하고 있다.

IoT 시대를 이끄는 센서

ETRI는 반도체, MEMS 및 나노 기술의 융복합을 통해 초소형·저전력·고성능 센서를 개발하고 있다. 2014년에는 투명한 것은 물론, 머리카락보다도 가는 50μm 수준의 두께로 유연성이 매우 좋아 돌돌 말아도 정상적으로 작동하는 ‘플렉시블 투명 촉각센서’를 개발하였으며, 2018년에는 그래핀과 CNT를 결합하여 면섬유에 코팅함으로써 여러 번 구부리거나 눌러도 망수가 되며 높은 전도성을 갖는 ‘직물형 압력 센서’와 피부에 바로 붙여서 사용



ETRI 연구진이 개발한 수직형 질화갈륨(GaN) 전력반도체기판(웨이퍼)과 질화갈륨(GaN) 전력소자가 패키징된 모습(우측)



ETRI에서 개발한 테라헤르츠파 발생기(포토믹서) 모듈

할 수 있는 ‘고무형 압력 센서’를 연속해서 개발하였다.

이어서 2020년에는 나노 신소재를 기반으로 세계 최초로 ‘이차원 신소재 기반 비접촉식 초고감도 습도센서’를 개발하였다. 이 센서는 기존 상용 센서보다 감도가 660배 뛰어나고, 감지 반응 속도는 최대 12배까지 빠르며, 특히 손으로 직접 터치하지 않고도 피부의 수분량과 운동 전후 땀 배출량 및 호흡량의 차이 등을 감지하는 것이 가능하다. 연구진은 이 센서를 엘리베이터 버튼스위치에 적용하여, 1cm 떨어진 거리에서 비접촉으로 스위치를 작동하는 시연을 선보이기도 하였다. 이는 코로나19로 비접촉 기술에 대한 요구가 큰 상황에서 이뤄진 것이어서 큰 주목을 받았다.

아울러, 2020년 전도성 고분자 나노 와이어와 나노 셀룰로스를 섞은 복합소재를 센서 물질로 사용하고, 이를 양자점(Quantum dot) 발광 소자의 적층 구조에 응용해 기존 압력 센서보다 민감도가 최대 20배까지 높은 ‘초고감도 투명 압력 센서’도 개발하였다. 이 센서는 압력의 강도, 위치뿐 아니라 압력을 가한 물체의 3D 표면 정보까지 실시간 제공하여, 앞으로 디지털 헬스 및 생체인증을 위한 웨어러블 디바이스로 폭넓게 응용될 것으로 전망된다.

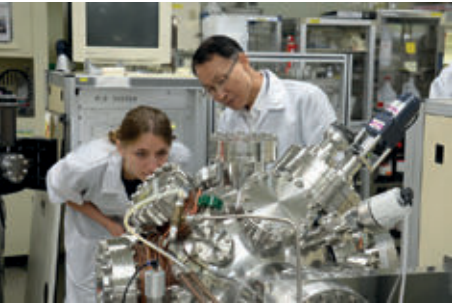
꿈의 주파수 테라헤르츠

ETRI는 2000년대 후반부터 ‘꿈의 주파수’라 불리는 테라헤르츠(THz, 주파수 0.1~10THz)와 연구를 시작하여, 짧은 시간 안에 소재부터 소자·모듈·시스템에 이르기까지 모든 THz파 발생·검출 기술을 자체적으로 확보하였다.

2014년에는 ‘소형 비팅(맥놀이) 광원 제작 기술’과 ‘시스템 소형화 기술’을 이용해 세계에서 가장 작고 저렴한 ‘테라헤르츠 계측분석시스템’을, 2015년에는 금속 나노구조를 전극으로 만들어 테라헤르츠파의 효율과 출력을 최대 50배 이상 높인 ‘나노 기술 기반 고출력 THz 발생소자’를 개발하는 데 성공하였다.

축적된 기술력을 기반으로 최근에는 THz파를 비파괴 검사 등 다양한 산업 분야에 적용하는 데 주력하고 있다. 특히, 현대자동차와 함께 자동차 내 누수 발생 시 눈에 보이지 않는 내장재 밀을 확인할 수 있는 시스템과 자동차 생산라인에서 커넥터 미체결을 확인할 수 있는 고속 이미징 시스템, 롤투롤 생산라인의 필름 두께 모니터링 시스템 등 다양한 주제에 대한 기술개발을 공동으로 진행하고 있으며, 이 중 일부는 생산라인에 적용하기 위한 최종 테스트를 진행 중이다. 조만간 세계 최초로 자동차 양산에 THz파 비파괴 검사를 실제 적용하는 성과를 거둘 것으로 예상된다.

한편, 급증하는 데이터 수요와 빠르게 개발되는 새로운 통신서비스들을 수용하기 위하여 THz 통신의 핵심소자·부품 개발에도 힘을 쏟고 있다. 2018년에는 2.5Gbps 속도의



ETRI 연구진의 MIT 신소재 연구 모습

THz 무선전송을 시연하였으며, 현재는 2023년까지 100Gbps급 THz 무선통신 기술을 개발하기 위한 부품개발을 수행하고 있다. THz 통신 기술은 앞으로 압축 없는 홀로그램의 전송, 이동 속도의 제한이 없는 데이터 전송 등 5G 다음 단계의 데이터통신을 가능케 하는 기술로 성장할 전망이다.

### 세계 최고의 MIT 소자

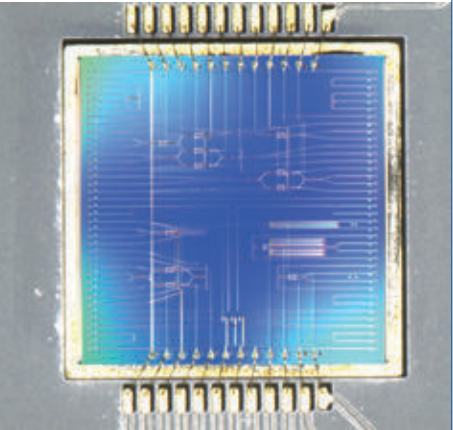
ETRI는 2005년 MIT연구실에서 바나듐옥사이드에서 MIT와 SPT를 동시에 측정하여 구조 상전이 없는 Mott MIT<sup>232)</sup>를 세계 최초로 실험으로 검증하는 데 성공한 바 있다. 이후로 2010년대 들어서는 MIT 소자 응용기술과 대량생산 기술개발에 주력하였다. 그 결과, 2016년 바나듐 산화물 MIT 소자 확산을 위한 대량생산 기술개발에 성공하는 한편, Si 기반의 MIT 트랜지스터에서 NDR-MIT<sup>233)</sup> 스위칭을 구현하고, MIT 트랜지스터를 세계 최초로 개발하는 데도 성공하였다.

ETRI의 MIT 물질 및 소자 설계·제조 기술은 세계 최고 수준이다. 연구진이 발표한 약 20편의 핵심논문은 연간 1,000편 정도 피인용 되고 있으며, 국내특허 79개와 국제특허 244개를 확보하였다. 미국 등록 특허만 55개에 이른다. 또한, 2008년 특허청 최고상인 발명대왕상을 수상하였고, 2017년에는 '8인치 대면적 MIT 웨이퍼 제조 및 MIT 소자 기술개발'이라는 이름으로 '국가연구개발 우수성과 100선'에 선정되었다.

### 양자정보통신

ETRI는 2010년대 중반부터 양자정보통신 개발에 본격적으로 뛰어들었다. 양자정보통신은 양자의 물리학적 특성(불확실성, 중첩성, 비가역성, 얽힘 현상, 복제 불가능성 등)을 이용하여 ICT 인프라를 보호하고, 초고속 대용량 연산 및 초정밀 계측을 실현하는 차세대 기술이다. 기존 정보통신의 기술적 한계를 극복하여 패러다임을 바꿀 수 있는 ICT 미래기술로 주목받고 있으며, 양자암호통신, 양자 센서·계측 및 양자컴퓨팅 시스템 등의 분야로 나뉜다.

양자암호통신 분야에서는 2017년에 양자암호통신에 필요한 네 종류의 편광을 분리하거나 합치는 '집적형 4편광 분할·결합기 칩 및 모듈', 단일광자 수준의 펄스를 발생시키는 '양자 통신용 광원 모듈', 785nm 파장 대역 단일광자를 수신할 수 있는 '실리콘 APD(Avalanche PhotoDiode) 기반 단일광자 검출기 모듈' 등의 핵심부품을 개발하였다. 이어서 2018년에는 국내 최초로 300m의 거리에서 태양광이 강한 낮의 실환경에서도 안정적으로 무선 양자암호통신이 가능함을 증명하였다. 앞으로 양자암호통신 기술은 무조건적 보안이 필요한



ETRI 연구진이 개발한 양자게이트를 구현할 수 있는 실리콘 광집적회로 칩 모습

무인 비행기, 드론, 인공위성 통신 등의 분야에서 폭넓게 활용될 것으로 기대된다. 양자컴퓨팅 분야에서는 2019년 양자컴퓨터 연구를 보다 효과적으로 수행할 수 있는 '가상 양자머신<sup>234)</sup> 기반의 양자컴퓨팅 기술'을 구현하는 데 성공하였으며, 현재는 양자점 큐비트, 초전도 큐비트 등 다양한 양자 칩 구동이 가능한 '반도체 양자점 기반 개방형 양자컴퓨팅 플랫폼'을 구축 중이다. 이 플랫폼을 활용하면 큐비트 수준의 게이트 오류 분석 및 허용 계산 시간뿐만 아니라, 소자의 허용 연산에 맞추어 양자 알고리즘을 구현하도록 양자 게이트 분해 및 최적 배치를 수행할 수 있다.

ETRI는 이러한 기술적 기반 위에서 2017년부터 본격적으로 양자 광집적회로 기술개발에 나서 양자 광원과 양자 신호 검출기, 양자 게이트 소자 등의 개발에 속도를 내고 있다. 특히, 양자점 기반 단일광자광원의 집속 효율을 벌크 광학계에서는 90% 이상, 광섬유에서도 66%까지 확보하는 기술을 개발하였다. 아울러, 2020년에는 세계 최초로 질화규소(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) 기반의 양자 게이트를 구현하는 데 성공하였다. 개발된 회로로 게이트를 작동한 결과 신뢰도는 최대 81%였다.

앞으로 양자정보통신은 정보보안이 필수적인 기간통신망 분야, 빅데이터·클라우드 등 ICT 신산업 분야, 위치분석, 초정밀 영상분석, 지질탐사 및 화학, 의료, 기상 예측 등 다양한 분야에 응용되어 기존 기술·산업을 고도화하고 신산업을 창출할 것으로 기대된다.

232) Mott MIT(Metal-Insulator Transition, 모트 금속-절연체 전이현상): 구조 상전이(SPT; Structural Phase Transition)를 겪지 않으면서 부도체가 금속으로 또는 금속이 부도체로 바뀌는 현상 즉, 절연체에 전기가 통하는 현상이다.  
233) NDR(Negative Differential Resistance) MIT: 일정한 전류에서 MIT 현상이 일어날 때 저항 감소로 전압이 작아지는 현상을 뜻한다.

234) 양자머신 기술: 현재의 디지털 컴퓨터를 이용하여 양자 컴퓨팅을 시뮬레이션하는 기술이다.





2019년에 개최된 ITU-T-SG13 회의에 참여한 ETRI 연구진들의 모습

235) 사실표준화: ITU, ISO 등 국제 공적 표준화 기관이 수행하는 공식표준화와 달리, 3GPP(이동통신표준화기술협력기구), IEEE(국제전기전자기술자협회), V3C(국제헬렌소사업), OCF(오픈커넥티비티재단) 등 특정 기술 분야에 이해관계가 있는 사업자, 산업체 및 전문가들이 포럼·컨소시엄 등을 구성하여 추진하는 표준화 활동으로, 공적 기관의 승인 여부와 상관없이 사실상 시장의 대세를 차지하게 되는 일을 뜻한다.

ETRI는 1989년 10월 표준연구센터(PEC: Protocol Engineering Center, 현 표준연구본부) 설립 이후로 유무선 네트워크, 이동통신, 방송미디어, 사물인터넷(IoT) 등 ICT 분야 전반의 국내시장 수요를 반영하여 기관 차원은 물론, 국가 차원의 표준화 활동을 꾸준히 수행하고 있다. 국가 차원의 표준화 전략 및 정책 제안과 국내·국제 기술표준 제정 및 표준특허 확보 활동을 선도하고 있으며, 이를 통해 국내 기업(기술)이 글로벌 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있도록 지원하고 있다.

초기의 표준연구본부는 ITU, ISO 등 국제 공적 표준화 기관이 수행하는 공식표준화 활동에 주력하였으며, 1990년대 중반 이후 W3C, IEEE, 3GPP 등 사실표준화<sup>235)</sup> 기구들이 등장함에 따라 점차 사실표준화 활동에도 많은 노력을 기울이고 있다.

현재는 표준화 성과의 산업적·사회적 가치 창출을 통한 국민편익 제고, 미래 핵심기술 선행 표준화를 통한 글로벌 표준화 리더십 확보, 오픈소스 기반 개방형 R&D 혁신 및 산업생태계 조성을 목표로 ICT 전 분야에 걸친 국내의 표준화 활동을 활발하게 펴고 있다.

지능정보표준연구실은 지능정보기반 미래 선제적 ICT 표준기술에 대한 시장·산업(De Facto) 중심 기술표준 연구를 위하여 지능정보, 미래 네트워크 및 5G 이동통신 네트워크, 클라우드 컴퓨팅, 에지 컴퓨팅, 웨어러블 기기, 의료기기, 3D 프린팅, IoT, 블록체인, 자율자동차, 핀테크, 웹, 미디어 전송 및 응용, 양자정보통신 등의 기술에 대한 선행적 표준개발 활동을 중점적으로 추진하고 있다.

또한, 융합표준연구실은 ICT 융합 기반의 공공 수요 및 국민생활 문제 해결을 위한 기술표준 연구를 위하여 디지털트윈, 스마트제조, 스마트시티, 스마트에너지, 스마트환경, 스마트농림·어업·축산식품, 스마트교통, 스마트복지, 공공생활 안전 및 재난대응 등에 대한 표준화와 방송·통신 기술기준 연구를 중점적으로 추진하고 있다.

한편, 2017년 오픈소스 업무를 총괄하는 오픈소스센터를 신설하여, 전사적인 오픈소스 거버넌스 대응, 오픈소스 연계 연구개발 활동 지원 등을 강화하였다. 이를 통해 ‘R&D-오픈소스-표준화’ 연계 체계를 공고히 함으로써 표준의 시장가치를 극대화하는 ‘입체적 표준화’를 유도하고 있다.

### 6-5-1. 표준

#### 인터넷 주소의 고갈

1980년대에 만들어진 현 인터넷 주소방식인 IPv4는 32비트의 주소체계를 사용하고 있어, 모바일 인터넷과 IoT 등 폭발적인 인터넷 주소 사용 및 단말 증가로 인한 주소 고갈 문제가 계속해서 제기되었다. 이에 128비트 주소체계를 사용하는 IPv6가 등장하였고, 이는 기존의 주소 고갈 문제를 근본적으로 해결할 대안으로 주목받았다.

1994년 IETF(Internet Engineering Task Force, 국제인터넷표준화기구)는 IPv6 규격의 표준화에 착수하였으며, 2000년 초반부터는 기존 IPv4 인터넷망과 IPv6 기반의 차세대 인터넷망의 연동을 위한 표준변환 기술 연구를 시작하였다.

#### 국내 최초 RFC<sup>236)</sup> 표준제정 및 국산화 성공

ETRI는 1990년 IPv6 프로토콜, IPv4/IPv6 변환 기술에 대한 기술개발 및 표준화 연구에 착수하였다. 특히, 1996년부터는 IPv4/IPv6 변환 기술개발에 주력하였다. 이는 컴퓨터 등의 단말에서 사용하던 기존 IPv4 응용 프로그램들이 IPv6 망에서도 수정 없이 사용될 수 있도록 해주는 변환 기술이다. ETRI는 1998년 국내 최초로 6Bone 최상위 주소인 pTLA(pseudo Top Level Aggregation) 주소 3ffe:2e00::/24를 할당받아 IPv6 실험망인 6Bone-KR(www.6bone.ne.kr)을 구성하고 망운용을 시작하였으며, 1999년에는 국내에서 두 번째로 IPv6 상업용 최상위 공식주소(2001:0220::/35)를 획득하였다.

선제적이고 신속한 국제표준화를 위해 ETRI는 표준화와 기술개발을 동시에 진행하는 방식을 사용하였다. 즉, 개발한 표준기술을 곧바로 SW로 구현하고, 해당 SW를 표준화 회의에서 시연하는 동시에, 이를 누구나 다운로드받아 사용할 수 있도록 오픈하였다. 이는 최근의 오픈소스와 같은 전략으로, 오픈소스가 2010년 이후 범용화된 것임을 감안하면 당시로선 10년 이상을 앞서는 획기적인 전략이었다.

축적된 기술력과 혁신적인 전략으로 ETRI는 2001년 NAT-PT(Network Address Translation - Protocol Translation) 등 IPv4/IPv6 주소변환기 국산화에 성공하였다. 그리고 2002년 이 변환 기술을 IETF에 제안하여 RFC-3338(Dual Stack Hosts Using ‘Bump-in-the-API’(BIA))로 채택되는 쾌거를 이루었다. 등록된 표준문서 RFC-3338은 IETF 홈페이지를 통해 검색할 수 있다.



IPv4/IPv6 주소변환기

본 표준화는 ETRI가 인터넷(IP) 기술 분야 표준화에 처음으로 참여하여 얻은 성과로, IETF 내의 WG(Working Group)에서 개발한 국내 최초의 RFC 문서라는 점에서 매우 큰 의미가 있다. 또한, ETRI의 국제표준화 역량을 전 세계에 증명한 계기이기도 하였다.

#### IPv6 시대 앞당길 기반 마련

국제표준기술인 RFC-3338을 통해 다수의 IPv4 기반 응용들이 아무런 수정 없이 IPv6 망에서 재활용할 수 있게 되었으며, 이는 IPv6 확산에 크게 기여할 것으로 기대된다. ETRI는 표준연구와 함께 국내 최초로 ‘IPv4/IPv6 변환 게이트웨이’ 시제품을 개발하고 이를 국내 통신사업자 및 다수의 중소·중견 제조사에 이전하였으며, 이를 통해 IPv6망 구축 시 필요한 장비를 국산 기술로 확보할 수 있는 기반을 마련하였다. 향후 국내에 IPv6 도입이 본격화되면 IPv6 및 IPv4/IPv6 변환 모듈이 탑재된 라우터에 의해 형성될 국내 시장은 수천억 원대에 달할 전망이다.

#### 번호이동성 도입 결정

2000년대 초반 국내 이동통신 시장은 이통3사가 경쟁하고 있었고, 유선전화 시장은 KT가 시장을 과점한 가운데 하나로통신 등이 새롭게 등장해 경쟁하고 있었다. 그러나 전화번호의 고착현상으로 인해 통신사업자 간 진정한 경쟁이 이뤄지지 않는 상황이었다. 이에 정부는 번호 고착현상을 없애고 사업자 간 진정한 경쟁을 가능하게 하고자 번호이동성 도입을 결정하고, 관련 기술개발을 추진하기 시작하였다.

#### 번호이동성 기술·표준 개발

ETRI는 2001년부터 정보통신부의 위탁을 받아 번호이동성 상용화를 위한 기술·표준을 개발하기 시작하였다. 번호이동성 시스템은 크게 번호이동성 호처리 시스템(번호이동한 단말로 수신되는 호를 끊김 없이 잘 연결해주는 시스템)과 번호이동성 요청처리 시스템(고객이 번호이동을 요청했을 때 이를 실시간으로 처리하여 주는 시스템)으로 구성된다. ETRI는 지능망 방식인 QoR(Query on Release)로 표준기술을 개발하고 이를 교환기에 구현하여 이동전화·유선전화·인터넷전화의 번호이동성 호처리에 사용하였고, QoR 방법으로 번호이동성 호처리를 하기 위해 필수적으로 요구되는 번호이동성 데이터베이스(NPDB; Number



IPv6 글로벌 컨퍼런스



IPv4 & IPv6 설명자료

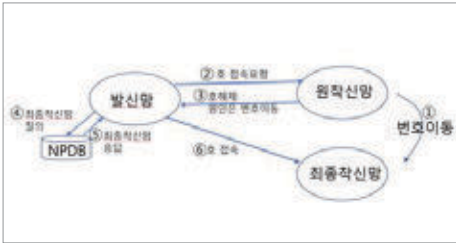
<sup>236)</sup> RFC(request for comments): 인터넷에서 기술을 구현하는 데 필요한 절차 등을 제공하는 IETF의 공문서 간행물이다.



Portability Database)를 실시간으로 동기화하기 위해 CORBA<sup>237)</sup> 기반의 규격을 개발하였다. 또한, 번호이동 요청은 인터페이스 전문(interface format)을 사용한 방법으로 개발하여 세계에서 가장 빠른 5분 이내에 번호이동이 가능한 시스템을 구축하였다.

당시 정부는 ETRI가 주도적으로 번호이동성 관련 기술·표준을 개발하고, 상용화를 위해 SKT, KT, LGT 등 이동3사와 13개의 유선 기간사업자를 '번호이동성 기술표준작업반'에 참여시키는 형태로 과제를 진행하였다. 기술표준작업반은 참여기업의 요구를 신속하게 연구에 반영하는 루트가 되었고, 그 결과 기업들의 투자를 최소화하고 기업 이익은 극대화하는 방향으로 기술개발이 이뤄졌다. 이는 관련 기업들의 적극적인 참여를 유도하여 번호이동성 시스템이 빠르게 상용화 및 확산하는 계기가 되었다.

2004년 1월 1일 이동전화 번호이동성 서비스를 시작으로 전화 서비스 전반으로 제도가 확대되었으며, 이동전화·유선전화·인터넷전화 통신서비스 이용자는 자기가 사용하던 전화번호를 그대로 사용하면서 다른 사업자로 번호이동을 할 수 있게 되었다. 사용자에게는 진정한 통신사업자 선택의 자유가 주어졌고, 통신사업자 간에는 진정한 공정경쟁의 환경이 조성되었다. 번호이동성으로 인해서 국민이 얻는 편익은 2004년 기준 연간 6,000억 원 이상인 것으로 분석되었다. (정보통신정책연구원)



QoR 방식의 번호이동성 호처리 개념



와이브로 연구 실험실 전경

### 와이브로 독자표준을 위한 노력

2002년 정보통신부는 그간 이용 실적이 극히 저조하던 2.3GHz 대역 주파수를 휴대인터넷 용도로 새롭게 활용한다는 방침을 세웠다. 그리고 2003년부터 2005년까지 2.3GHz 대역 주파수를 사용하는 ‘와이브로(WiBro; Wireless Broadband Internet, 무선 광대역 인터넷) 이동통신 시스템 연구개발’ 사업을 추진하였다. ETRI가 주관하고 삼성전자, SKT, KT, KTF, 하나로통신 등이 공동연구기관으로 참여하는 360억 원(민간재원) 수준의 대규모 사업이었다.

2.3GHz 주파수 대역 기술표준은 TTA(한국정보통신기술협회)에서 제정되었다. 우선, 복수 표준, 비표준 및 시장표준에 의한 서비스는 상호운용성 확보가 어렵고 무분별한 특허 활용으로 국부 유출 가능성이 크기 때문에 단일표준으로 추진하기로 하였다. 그리고 2004년 1월, TTA PG302 무선접속실무반은 휴대인터넷 무선접속에 적합한 주요기술 규격을 결정하였다. 그리고 6월에는 ETRI와 삼성전자가 공동제안한 1단계 표준규격

(TTAS.KO-06.0064; 휴대인터넷 표준-물리계층 규격 및 TTAS.KO-06.0065, 휴대인터넷 표준-매체접근제어계층 규격)이 TTA 표준 총회에서 승인되었다.

그런데 국내의 표준규격 전략에 대해 미국은 TTA-단일표준 정책이 ‘지나치게 무역 제한적’일 수 있다며 통상 문제를 제기하였다. 여기에는 2.3GHz 대역 휴대인터넷 사업자 선정과 관련하여 자국 기업이 보유한 기술을 한국 내에 상용화시키려는 미국 정부의 의도가 들어있었다. 미국은 다만, IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers, 미국전기전자학회) 802.16d/e 표준을 만족하는 기술이라면 이의가 없다고 밝혔다.

이로써 와이브로 표준의 관건은 IEEE 802.16과의 호환성 확보 여부가 되었다. IEEE 802.16은 고정형 무선인터넷 접속 표준화를 위해 출범한 표준화 조직이었지만, 우리나라는 802.16의 핵심 멤버인 인텔 등과의 합의를 통해 새롭게 휴대인터넷 기술표준을 ‘IEEE 802.16e+ 성능 기준’으로 변경·확정하였다. 이 표준은 인텔을 비롯한 다양한 미국의 통신업체가 지지하는 기술규격에 부합하는 표준이었으므로 미국 측이 제기한 문제에 대해서도 해명할 수 있게 되었다.

### 와이브로 IMT-2000 표준 채택

와이브로가 IEEE 표준으로 채택된 후, 미국, 유럽, 아시아, 중남미 등 많은 나라에서 이 시스템의 도입을 적극적으로 검토하였으나, 대부분의 국가가 와이브로를 적용할 주파수 대역을 보유하지 못해 난항을 겪고 있었다. 즉, 와이브로가 IMT-2000<sup>238)</sup> 국제표준이 되지 않으면, 주파수 대역의 미확보로 많은 나라에서 와이브로를 이용하고 싶어도 이용할 수 없는 상황이었다. 따라서 와이브로 표준을 IMT-2000 표준에 반영할 필요가 있어서 표준화 활동을 시작하였다.

2007년 5월 일본 교토에서 열린 ITU-R<sup>239)</sup> WP8F 회의에서 한국, 미국, 이스라엘, 캐나다 등은 와이브로 국제표준화 검토를 조속히 진행할 것을 강력히 건의하였다. 그러나 중국, 퀄컴, 에릭슨 등 반대 진영은 IMT-2000 최소 성능 요구조건 중 시간 지연, 핸드오버, 멀티미디어 서비스 지원 및 회선 교환 서비스 등의 문제점을 집중적으로 제기하면서 이에 반대하였다. 결국, 찬성과반대가 맞선 상황에서 한국의 제안으로 기술적 논의를 목적으로 한 ITU-R WP8F 특별 국제회의를 2007년 8월 서울에서 개최하기로 하였다.

국제표준화 가능성이 불투명해진 상황에서 WP8F 특별 국제회의는 와이브로의 사업의 사활을 건 중요한 회의일 수밖에 없었다. 정보통신부는 문제의 심각성을 인식하고, 기술적 문제뿐만 아니라 정책적 대응을 위해 전파연구소, ETRI, TTA, 삼성전자 등과 산·학·연 대응팀을 구성·운영하였다. 이러한 노력 끝에 특별회의에서 우리나라는 객관적 자료를 토대

238) IMT-2000(International Mobile Telecommunication 2000): 국가별로 개별 운영되는 다양한 이동전화 시스템의 규격을 통일하여 세계 어느 지역에서도 하나의 단말기 또는 사용자 접속카드로 서비스를 이용할 수 있도록 한 3세대 이동통신 서비스이다.

239) ITU-R(ITU Radiocommunication Sector): ITU를 구성하는 37개 부문 중에 하나로, 라디오 주파수대역의 통신규약 업무 등을 담당한다.

로 끊임 없는 핸드오버 제공을 증명하고 전송 지연 보장에도 문제가 없다는 것을 적극적으로 설득하였다. 이후, 회의 결과는 2007년 10월에 개최되는 ITU RA(Radio Assembly, 전파통신총회)에 상정되었다.

전파통신총회에서 한국, 미국, 프랑스, 영국 등은 와이브로 기술표준과 관련된 3개 권고안 모두를 승인할 것을 주장하였고, 독일과 스웨덴 등은 우리 주장에 기본적으로는 찬성하면서 에릭슨 등 유럽 3G 사업자들의 이익을 대변하였다. 그러나 중국은 자국의 TDD 계열 3G 표준인 TD-SCDMA 위축을 우려하여 와이브로 기술이 3G 표준에 진입하기 위한 최소 성능 요구조건을 만족하지 못한다고 주장하면서 채택을 강력히 반대하였다. 결국, 논의와 조율 끝에 와이브로의 3G 표준채택과 관련된 3개의 권고문은 모두 승인되었다. 다만 중국이 반대했다는 의견과 기술기준 개정이 필요하다는 독일의 의견을 각주로 표시하기로 결정하였다. 마침내 와이브로 역사의 새 장을 여는 승인이 이루어진 것이다.

결국, 전파통신총회는 2007년 10월 18일 개최된 전체 총회에서 와이브로 기술을 IMT-2000의 6번째 표준으로 최종 승인하였다. 와이브로가 국제표준으로 채택되기까지 숏한 가시밭길과 난관이 있었기에 합리적인 판단과 신속한 대응으로 국제표준화를 성공적으로 주도한 정부와 ETRI 연구원들의 기쁨은 더욱 클 수밖에 없었다.

와이브로 국제표준 채택에 대해 당시 유영한 정통부 장관은 ‘우리나라 이동통신 역사에 큰 획을 그은 쾌거이며, 이번 표준 채택으로 CDMA 기술개발에 이어 우리나라가 다시 한번 세계 이동통신 시장을 이끌 수 있는 전기가 마련됐다.’고 평가하였다.



2004년 12월 13일 와이브로 시제품 개발 시연회

### 세계 최초로 DMB 개발에 성공

2000년대 초 정부는 이동형 DTV 방송서비스를 지상파 DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 시행한다는 방침을 세우고 본격적으로 DMB 기술개발을 추진하였다. 이에 ETRI는 방송사와 장비 제조업체, 솔루션 업체들과 함께 연구 기간 5년, 연구비 284억 원에 달하는 대규모 연구개발 사업인 ‘지상파 DMB 시스템 기술개발’ 과제를 수행하였다. 그 결과, 우리나라는 2003년 10월 세계 최초로 지상파 DMB 개발에 성공하고, 2005년 12월부터 수도권을 중심으로 본격적인 방송을 개시하였다. 이때부터 시속 150km 이상의 고속주행 중에도 끊김 없이 깨끗한 TV를 볼 수 있게 되었다. ‘내 손안의 TV, 나만의 방송’ 시대가 시작된 것이다.



지상파 DMB 단말

### DMB 표준화를 위한 ETRI의 집념

ETRI는 DMB 기술개발과 함께 표준화 역시 주도적으로 추진하였다. 2004년 초 TTA(한국정보통신기술협회) DMB 프로젝트그룹 산하에 ‘지상파 DMB 국제표준화 실무반’이 설치되면서 DMB 표준화가 본격화되었다. 2004년 8월 국내 지상파 DMB 비디오 송수신 정합 규격이 TTA 표준으로 제정되자, 실무반은 이 표준을 WorldDAB 포럼에 기고하며 ETSI(유럽통신표준협회) 표준화 활동을 추진하였다. 지상파 DMB는 Eureka-147 DAB<sup>240)</sup> 시스템을 백본 시스템으로 사용하기 때문에 국제표준화를 위한 노력도 DAB 표준화를 담당하는 WorldDAB 포럼과 ETSI를 중심으로 이뤄졌다.

당시 국내에서는 비디오 전송규격으로 MPEG-4 AVC 비디오 코덱과 MPEG-4 BSAC 오디오 코덱이 사용되었다. MPEG-4 BSAC를 사용한 이유는 관련 기술 특허권자인 삼성이 로열티 프리를 선언했기 때문이었다. ETRI는 MPEG-4 HE-AAC v2와 MPEG-4 BSAC를 취사 선택할 수 있도록 각각 다른 프로파일로 정의하여 표준화를 진행하였다. 그 결과, 비디오 서비스 규격은 2005년 6월에, MPEG-2 TS 전송규격은 2005년 7월에 ETSI 표준으로 승인되었다. 이어 ETRI 주도로 개발하던 지상파 DMB voice application 및 middleware 규격 역시 2년여의 표준화 추진 결과, 2008년 11월과 8월에 각각 ETSI 표준으로 공표되었다.

2004년 11월에는 지상파 DMB가 DVB-H, ISDB-Tmm, FLO와 함께 모바일 멀티미디어 및 데이터 응용 방송으로 ITU-R 보고서로 제정 · 공표되었으며, 2007년 12월에는 이 기술들이 모두 포함된 ITU-R 권고안이 제정 · 공표되었다.

2006년부터 2009년까지는 지상파 DMB와 역호환성을 가지면서 전송효율을 높이고 지상파 DMB 비디오 서비스 대비 4배의 화질을 제공할 수 있는 ‘AT-DMB(Advanced Terrestrial DMB) 기술과 표준’을 개발하였다. ETRI는 2009년 11월 AT-DMB 전송 표준을 기고하였고, 2012년 3월 ITU-R 권고안으로 채택되었다. 또한, 2010년 4월에는 AT-DMB 고품질 비디오 서비스 표준을 기고하여 2011년 3월 ITU-R 권고안으로 채택되었다.

신규 방송 기술을 도입하려면 관련 혼신보호비<sup>241)</sup> 기준이 마련되어야만 이를 기준으로 방송망 설계를 할 수가 있다. 이에 ETRI는 AT-DMB 혼신보호비 기준을 2012년 10월부터 2013년 11월까지 3차례 걸쳐 기고하였으며, 이를 반영한 ITU-R 권고안이 2014년 2월 공표됨에 따라 지상파 DMB 관련 국제표준화가 모두 마무리되었다.

지상파 DMB 국내 · 외 표준화를 기반으로 우리나라는 방송 관련 기술 및 표준의 변방국에서 세계와 어깨를 나란히 하는 선도국으로 자리매김할 수 있게 되었다. ETRI 중심으로

240) DAB(Digital Audio Broadcasting): 기존 라디오 방송 신호(음향)를 디지털 신호로 변환하여 전송하는 라디오 방송으로, AM과 FM에 이은 제3세대 라디오 방송이라 할 수 있다.

241) 혼신보호비: 양호한 통신이 이루어지기 위해 원하는 신호가 방해 신호에 대해서 가져야 할 신호의 강도비를 데시벨로 나타낸 것이다.





ETRI 연구진이 차량 보안 네트워크 기술을 논의하고 있는 모습

### 차량용 협력형 능동안전시스템의 등장

2010년대 초반 스마트 자동차 기술개발이 본격화되면서 기존의 차량안전시스템은 V2X 통신 기술과 결합한 협력형 능동안전시스템으로 발전하기 시작하였다. 이 시스템에는 카메라, 라이다, 레이더 등의 센서를 통해 주변 상황을 정확히 파악하는 기술뿐만 아니라, 차량과 차량 혹은 차량과 도로 인프라와의 통신을 통해 센서로 확인이 어려운 정보를 확보하여 위험 여부를 종합적으로 판단하는 기술도 필수적으로 요구된다. 이에 따라 차량에 탑재된 센서·ECU 데이터를 차량 내외부로 안전하게 전달하기 위한 표준화된 인터페이스의 수요가 급증하였다.

### ETRI 주도로 차량 게이트웨이 기술 국제표준화

ETRI는 정부의 정책지원으로 차량 게이트웨이 기술표준을 조사하고, 그 결과를 토대로 2008년 3월 ITU ‘The fully networked car’ 워크숍에서 ‘standards for vehicle gateway’라는 발표를 함으로써 표준화된 차량 게이트웨이의 필요성을 국제 사회에 제기하였다. 이 발표를 기점으로 ITU-T SG16(멀티미디어), ISO TC22 SC31(도로차량-데이터통신), ISO TC204(지능형교통시스템) 등 여러 표준화 기구의 위원회들이 관련 기술에 큰 관심을 두기 시작하였다. 실제로 발표 내용을 기반으로 ITU-T SG16에서는 ‘Vehicle gateway platform’ 포커스 그룹이 만들어졌으며, ISO TC22 SC31과 TC204는 공동으로 ‘Vehicle Station Gateway’ 애드혹(ad-hoc) 그룹을 조직하였다.

ETRI는 산업체에서 가장 활용성이 크고 표준화 요구가 높은 ISO TC204에 신규아이템을 제안하고, 2009년부터 표준기술개발과 시제품 개발을 병행하기 시작하였다.

현재 노매딕 기기<sup>242)</sup> 및 인프라에 위치한 클라우드 서버에서 차량ECU·센서 데이터를 획득하기 위한 인터페이스 기술로는 전 세계적으로 3가지가 논의 및 표준화되고 있다. 첫 번째는 차량 진단커넥터를 이용하여 차량 진단 네트워크에 접속하는 방법, 두 번째는 확장된 자동차(Extended Vehicle) 개념으로 자동차 제조사가 운영하는 텔레매틱스 서버에서 차종별로 특화된 데이터를 업로드하여 접근하는 방법, 그리고 ETRI에서 제안한 차량에 게이

242) 노매딕 기기: 차량 교통정보용 단말기 또는 개인 휴대 멀티미디어 단말기로 사용 가능한 IT 융합기기를 의미한다.

트웨이를 탑재하여 표준화된 포맷으로 데이터를 제공하는 방법이 그것이다.

이 가운데 ETRI가 주도하여 개발한 ISO 13185<sup>243)</sup> 차량인터페이스 국제표준은 협력형 차량안전서비스<sup>244)</sup>에서 이용되는 필수 차량데이터 획득을 위해 차량 네트워크를 모니터링하고 제어하기 위한 데이터 교환 포맷과 차내망 구성 원리에 최적화된 접근 방법을 제공하기 위한 표준이다. 이는 4개의 표준문서(제1부 사용사례 및 요구사항, 제2부 통합게이트웨이 프로토콜, 제3부 서버 및 클라이언트 API 정의, 제4부 통합게이트웨이 프로토콜 적합성 시험 표준)로 구성되어 있다.

ETRI의 적극적인 표준화 활동에도 불구하고, 차량데이터 기반의 서비스 산업 주도권 확보 논쟁으로 인해 ISO 13185 표준개발은 거의 10년에 걸쳐 이뤄졌다. 마지막 표준문서인 ‘제4부 통합게이트웨이 프로토콜 적합성 시험 표준’이 2020년 상반기에 최종 발간되면서 표준화가 마무리되었다.

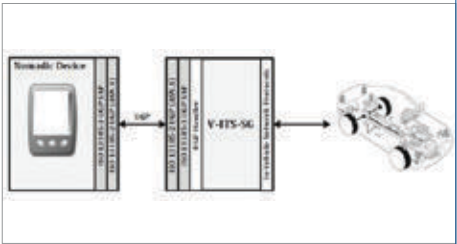
ISO 13185 표준은 ISO TC204 표준화 위원회에서 Connected Safety 서비스에서 실시간 차량데이터를 전달하기 위한 기술로 인정받아 관련 표준인 ISO 21184, ISO 21185, ISO 21177 등의 필수 인용표준으로 활용되고 있다. 또한, 국내에서는 국가표준으로 채택되어 KS X ISO 13185로 발간되었으며, 차량데이터를 활용해 에코드라이빙, 차량 원격진단 등과 같은 서비스를 제공하는 기업체에서 활발하게 활용되고 있다.

### 자동차 산업과 ITS 산업 융합의 촉매

ISO 13185 표준은 차량 내부 네트워크와 교통 인프라 간 정보 교환을 위한 세계 최초의 국제표준기술로, 전통적인 자동차 산업과 IT산업(ITS 산업) 융합의 촉매로 작용할 것으로 보인다. 본 표준개발로 차량, GPS, 신호체계 등의 표준 간 초연결(상호운영성)이 보장되어 원활한 교통정보 공유 및 안전한 자율주행이 가능해졌으며, 차량 제조사는 물론 협력형 능동안전시스템 개발자, 자율주행시스템 개발자, ITS 응용 서비스 개발자 등이 혜택을 볼 것으로 기대된다. 본 기술은 2017년 ‘ICT R&D 표준화 사업 우수성과’로 선정되었고, 2018년 세계표준의 날 행사에서 국무총리 표창을 받았다.

### World Wide Web의 등장

웹(World Wide Web)은 팀 버너스리가 1989년에 인터넷에서 GUI를 기반으로 연구



ISO 13185 차량인터페이스 국제표준 개념도

243) ISO 13185: ITS(Intelligent transport systems) 서비스 프로비저닝 및 자원을 위한 차량 인터페이스 표준이다.

244) 협력형 차량안전서비스: V2X 통신기반의 차량 사고 회피 및 경감을 위한 안전서비스를 말한다. 전방 충돌경고, 교차로 안전지원, 긴급 브레이크 제공 경고, 차선변경 경고 등이 있다.



W3C 대한민국 사무국 개소 기념식

정보를 편리하게 공유하기 위해 고안한 표준기술이다. 1994년 웹 국제표준화를 위한 W3C(World Wide Web Consortium)가 설립된 후, 전 세계적으로 수많은 회원사가 적극적으로 W3C에 참여하면서 빠르게 웹 생태계가 확장되기 시작하였다. ETRI는 웹의 중요성과 잠재력을 간파하고 2001년 W3C 회원사로 가입하였으며, 2002년 'W3C 대한민국 사무국'을 유치하면서 국내에서 웹 기술에 대한 강력한 리더십을 발휘하기 시작하였다.

### 웹 국제표준화 주도

ETRI는 2002년부터 웹 표준기술연구를 본격적으로 추진하여 웹 2.0, 모바일 웹, 시맨틱 웹, 미디어 웹, HTML5 등으로 빠르게 진화하는 웹 기술을 선도하였다. 초기에는 웹 서비스를 위한 XML 정규화 연구, 모바일 웹 서비스를 위한 성능 개선연구, 차세대 웹 응용을 위한 모바일 OK 표준개발, 유비쿼터스 웹 서비스 표준개발 등을 추진하여 PC를 넘어 다양한 모바일 및 IoT 디바이스에 웹 기술을 효과적으로 적용할 수 있는 방안을 마련하였다. 이와 함께, W3C 유비쿼터스 웹 애플리케이션 WG에도 참여하여 핵심적인 국제표준 개발에 기여하였다.

2008년부터는 오디오·비디오·이미지와 같은 멀티미디어를 단일한 표준 인터페이스로 쉽게 처리할 수 있도록 지원하는 차세대 웹 핵심표준개발에 착수하여 관련 국제표준 제정을 주도하였다. 우선, 업계에서 가장 많이 사용하는 20개 정도의 미디어 메타데이터 포맷을 분석하여 핵심적인 메타데이터 정보를 Core set으로 정의하고, 이를 중심으로 서로 다른 메타데이터 정보 간의 관계를 온톨로지로 정의하였다. 본 표준은 2012년 2월 W3C Ontology for Media Resources 1.0으로 제정되었다. 또한, 이 온톨로지 표준을 기반으로 MP4, YouTube 등 서로 다른 메타데이터 정보들이 쉽게 상호 접근할 수 있는 단일 인터페이스 표준을 개발하였고, 이는 2014년 3월 Metadata API for Media Resources 1.0 표준으로 제정되었다.

2015년부터는 W3C 오토모티브 WG 활동을 통해 자율주행차의 차량정보 접근을 위한 핵심 표준 인터페이스인 Vehicle Information Service 표준 개발을 주도하고 있으며, W3C 오토모티브 및 웹 플랫폼 비즈니스 그룹의 공동의장을 맡아 웹과 자동차 간 융합기술개발을 총괄하고 있다. 또한, 국내 기업들과 함께 Vehicle Information Service 표준을 구현하고 실제 디지털 클러스터에 포팅하여 차량이 스마트폰 및 스마트 와치와 연동하는 시연을 'CES 2017'에서 진행하여 큰 호응을 얻었다.

ETRI는 웹 표준기술연구와 더불어, 국내 기업들이 W3C 대한민국 사무국을 중심으로 최신 웹 표준기술을 이해하고 비즈니스에 활용할 수 있도록 지원하는 데도 힘을 쏟고 있



W3C 자율주행차 표준개발 주도 및 CES 시연

다. 특히, 업계의 화두였던 HTML5 관련 기술 확산에 주력하여, 2009년 'W3C HTML5 Korean Interest Group'을 설립하고 지금까지 50회 이상의 행사를 개최하고 있다. 이를 통해 HTML5 최신기술의 구성, 표준화 현황, 향후 계획 등을 국내 업계가 빠르게 흡수하여 웹 생태계의 큰 변화에 효과적으로 대응할 수 있도록 돕고 있다.

### 웹 생태계 확산에 기여

ETRI는 지난 2002년부터 웹 국제표준화를 리드하는 한편, 국내 기업들이 새로운 웹 기술을 빠르게 공유하고 대응할 수 있도록 지원해왔다. ETRI가 주도한 Ontology for Media Resources 1.0 및 Metadata API for Media Resources 1.0 표준은 웹에서 다양한 종류의 미디어를 쉽게 활용할 수 있도록 해주는 핵심표준으로 웹 생태계의 확산에 크게 기여하였으며, 자율주행차의 차량데이터 접근을 위한 핵심표준인 Vehicle Information Service 표준은 조만간 실제 차량에 적용되어 상품화될 것으로 기대된다.

웹 기술은 지금도 빠르게 확산 중이다. HTML5, 웹ML, 블록체인 등 새로운 기술을 웹에서 활용할 수 있는 방안이 탐색되고 있고, 자율자동차, 5G 등 다양한 산업과의 융합을 통해 새롭게 진화하고 있다. ETRI는 이러한 환경에서 국내 기업들이 국제적인 경쟁력을 확보할 수 있도록 앞으로도 웹 표준기술개발과 확산을 위해 노력할 것이다.

### 클라우드 컴퓨팅 표준화 필요성 대두

2006년 클라우드<sup>245)</sup>라는 용어가 등장하면서 관련 기술이 빠르게 확산하고 있음에도, 클라우드 서비스 벤더들이 자사의 고유 플랫폼을 기반으로 솔루션을 제공하고 있어 불편이 초래되자, 2007년부터 클라우드 컴퓨팅 국제표준에 대한 논의가 시작되었다. 이후로 2010년을 기점으로 국제 공적 표준화 기관에서 본격적으로 표준화를 시작하였으며, 국내에서도 비슷한 시기에 ETRI가 관련 표준화 기반을 마련하기 시작하였다.

### 클라우드 데스크톱 기술 국제표준화 주도

ETRI는 2010년부터 2014년까지 클라우드 데스크톱 서비스를 위해 추진한 '클라우드 DaaS<sup>246)</sup> 시스템 및 단말 기술개발' 사업을 통해 클라우드 컴퓨팅 표준화 연구를 시작하였다. 클라우드 데스크톱 서비스는 원격 사용자의 저장장치에 있는 운영체제와 애플리케이션

245) 클라우드(cloud): 사용자가 네트워크를 통해 유연한 확장성을 가진 IT 자원들을 빌려 쓰는 컴퓨팅 서비스이다.

246) DaaS(Desktop as a Service): 언제 어디서나 사용할 가능한 나만의 클라우드 PC 서비스를 제공하는 클라우드 인프라 기술이다.



선들로 데스크톱을 실행시키지 않고, 클라우드 내에 존재하는 중앙 서버에서 가상 데스크톱을 사용자별로 생성시키고 관리하는 개념의 기술이다. 따라서 관련 표준은 개별 솔루션을 지닌 벤더와 클라우드 사업자 그리고 클라우드 개발자에게까지 큰 영향력을 끼칠 것으로 예상되었다.

ETRI는 클라우드 데스크톱 서비스 기술의 표준화를 위해, 2010년 9월부터 ITU-T FGCC(Focus Group on Cloud Computing)에 참가하여 총 9건의 기고서를 제출하는 등 기술문서 작성에 공헌하였다. 특히, 2011년 4월 ITU-T FGCC 회의에서는 ETRI, 마이크로소프트, 오렌지(구 프랑스 텔레콤), 차이나텔레콤, 차이나 유니콤이 DaaS 관련 유사한 개념의 데스크톱 서비스를 제안하였는데, ETRI 주도로 관련 서비스들을 DaaS로 통합하는 성과를 거두기도 하였다. 당시 클라우드 특정 서비스로는 유일하게 ETRI에서 제안한 DaaS가 표준 아이템으로 선정되었다. 이 회의의 결과를 기반으로 2012년 2월 ITU-T SG13에 클라우드 컴퓨팅 관련 표준작업반(Question)들이 생성되었고, 각각 클라우드 생태계 및 요구사항, 클라우드 참조구조, 클라우드 자원관리의 표준화를 추진하기 시작하였다.

이후 ETRI 주도로 클라우드 데스크톱 서비스를 표준 아이템으로 제안하는 기고서가 제출되었고, 2014년 5월 최종적으로 국제표준으로 승인(ITU-T Y.3503: Requirements for Desktop as a Service)되었다. ITU-T Y.3503은 클라우드 데스크톱 서비스 기술을 다루는 세계 최초의 국제표준으로, 향후 개발된 모든 관련 서비스들에 직간접적인 영향을 미쳤다. 한편, ITU-T와 더불어, 공적표준 단체의 양대 산맥인 JTC 1에서도 SC 38을 통해 클라우드 컴퓨팅 관련 표준 활동을 지속하였다. 특히, ITU-T SG13과 JTC 1/SC 38은 2012년부터 2014년까지 공동으로 클라우드 컴퓨팅 용어 표준(ITU-T Y.3500 | ISO/IEC 17788) 문서와 클라우드 컴퓨팅 참조 구조(ITU-T Y.3502 | ISO/IEC 17789) 문서를 제정하였다. ETRI는 다수의 기고서를 제출하여 이 두 표준문서에 반영하였다.

ETRI는 확보된 DaaS 시스템의 성능을 높이기 위한 연속 사업으로 2014년부터 3년간 ‘고속 클라우드 서비스를 위한 인 메모리 기반 모듈형 가상 데스크톱 시스템 기술개발’ 과제를 진행하였다. 이와 함께 클라우드 데스크톱 서비스의 참조구조로 표준화 활동 영역을 확대하여, 글로벌 기업들과 함께 총 18개의 기능을 중심으로 참조구조 기고서를 제출하였다. 제안 표준은 2016년 6월에 최종 승인(ITU-T Y.3504: Functional architecture of Desktop as a Service)되었다.

ITU-T Y.3504는 ITU-T와 JTC 1이 공동으로 개발한 클라우드 컴퓨팅 참조 구조(ITU-T Y.3502 | ISO/IEC 17789)를 반영한 최초의 특정 클라우드 서비스 구조 문서



ETRI 연구진이 클라우드 통합 스토리지 시스템(CIS) 작동 원리를 논의하는 모습

로, 두 기구가 작성한 클라우드 컴퓨팅 구조가 실제 클라우드 서비스에 어떻게 적용되는지를 처음으로 제시한 표준이다. 추후 진행된 클라우드 컴퓨팅 관련 구조 표준들은 모두 ITU-T Y.3504를 참고로 개발되었다.

ETRI는 클라우드 컴퓨팅 국제표준화를 주도하는 동시에, 표준특허 확보 및 국내표준화를 위한 활동도 지속하였다. 관련 표준특허 7건을 지식재산전략원으로부터 인정받았으며, 총 10건의 국내표준을 승인 완료하였다. 이는 2012년부터 사실상 ETRI가 클라우드 서비스 관련 국내표준을 주도한 유일한 기관이었음을 의미한다.

### 클라우드 표준화 분야 독보적인 기관으로 자리매김

ETRI는 클라우드 데스크톱 서비스 표준화에 이어서, 다양한 클라우드 표준화 활동을 이어갔다. 2018년에는 클라우드 서비스들을 사용자 관점에서 쉽게 활용할 수 있도록 하는 클라우드 서비스 브로커리지 표준(ITU-T Y.3506: Functional requirements for cloud service brokerage)이 승인되고 관련 표준특허 4건을 확보하였으며, 같은 해에 클라우드 컴퓨팅을 위한 서버 요구사항 표준(ITU-T Y.3507: Functional requirements of physical machine)도 ETRI 주도하에 승인되었다. 아울러, 2019년에는 ITU-T Y.3509(Functional architecture for data storage federation) 승인 및 관련 표준특허 3건을 추가로 인정받았다. 이러한 과정을 통해 ETRI는 클라우드 서비스 표준화 분야에 있어서 국내외를 막론한 독보적인 기관으로 자리매김하였다.

### IoT 표준화 필요성 대두

1999년 등장한 ‘사물인터넷(IoT; Internet of Things)’ 개념은 2000년대 들어 빠르게 발전하기 시작하였다. 그 결과, 2010년 이후 다양한 IoT 기술이 시장에 혼재하게 되었으나, 관련 표준의 부재로 제품 간 호환이 어렵다는 문제가 제기되었다.

이에 2014년 IoT 기기 제조사들 중심으로 ‘OIC(Open Interconnect Consortium)’라는 IoT 사실표준화 기구가 만들어졌으며, 이후 UPnP, AllSeen Alliance 등과의 병합 과정을 거쳐 2016년 ‘OCF (Open Connectivity Foundation)’가 출범하였다. 2020년 현재 OCF 회원사는 총 470여 개에 달한다.



ETRI 주도로 제정된 주요 클라우드 컴퓨팅 국제표준



ETRI 연구진이 원격검침인프라(AMI)에서 스마트미터 기기의 인증을 위해 스마트미터 기기와 데이터집합장치(DCU) 사이에 적용되는 스마트미터 기기 동작 여부를 확인하는 모습

### IoT 플랫폼 연동 기술 국제표준화 주도

ETRI는 개방형 IoT 기술표준을 선도하기 위해 2014년 삼성전자와 전략적 협력 관계를 맺고 OIC 회원으로 가입하였으며, 이후로 ‘OCF Korea 포럼’ 설립과 ‘OCF 국제표준 개발’ 등을 추진하고 있다.

2017년부터는 OCF 오픈 표준기술과 타 IoT 기술과의 연동 기술개발에 돌입하였다. 우선, OCF 기술과 BLE(Bluetooth Low Energy, 저전력 블루투스 기술)와의 연동 기술을 개발하고, OCF 최초로 PG(Project Group)를 개설하였다. 이어서 2018년에는 삼성과 ZigBee<sup>247)</sup> 및 Z-wave<sup>248)</sup> 기술에 대한 연동 기술을 개발하는 Z-Bridging PG를 공동 결성하였으며, Bridging TG(Task Group) 의장을 수임하여 OCF 연동 기술을 다루는 4개의 PG(BLE, Zigbee/Z-wave, oneM2M, Haier U+)를 총괄 관리하였다.

이후로 2019년부터는 과학기술정보통신부의 ‘사물인터넷 상호운용성을 위한 플랫폼 및 네트워킹 연동 기술 표준개발’ 과제를 통해 연동 기술과 관련된 규격개발 작업을 계속해서 진행하고 있다. 또한, 2019년 유럽의 EnOcean Alliance와의 연동표준기술 개발을 완료하였으며, 2020년에는 LwM2M과의 연동 기술을 공동 신규제안하여 현재 개발을 진행 중이다.

### IoT 시장 활성화 견인

ETRI는 OCF 설립 초기에 멤버로 참가하여 IoT 국제표준화 주도권을 잡은 이후 지금까지 IoT 연동표준 기술개발을 주도하고 있다. 이러한 공로를 인정받아 2018년과 2019년 연속으로 ‘OCF Outstanding Contributor Award’를 수상하였다. 한편, ‘CES 2020’에 참가하여 클라우드를 기반으로 이중 벤더의 다양한 IoT 기기들과 연동하는 통신 시나리오를 성공적으로 선보여, 큰 호응을 얻기도 하였다.

아직도 IoT 기술시장은 하나의 독보적인 표준기술이 존재하지 않는 춘추전국시대이며, 이러한 상황은 당분간 지속될 것으로 보인다. ETRI는 주도적으로 IoT 표준기술을 개발하여 이러한 문제에 효과적으로 대응하고, 동시에 다양한 IoT 기기 보급을 촉진함으로써 관련 시장의 활성화를 견인하고자 한다.

### 헬스케어 기술 표준화

한편, ETRI는 2015년 미래창조과학부의 ‘라이프케어를 위한 스마트 웨어러블 표준개발’ 과제를 통해 OIC에 가입하고, 관련 표준화 활동을 시작하였다. 2015년에는 Healthcare WG을 제안 및 신설하였으며, 이후 조직개편을 통해 WG가 Healthcare PG로 변경된 이

후에도 활동을 지속하고 있다. 2017년에는 식품의약품안전처 과제를 통해 웨어러블 기기 및 헬스케어 기기의 규격개발을 완료하였다. 앞으로도 ETRI는 헬스케어 기기 표준화를 주도하여 관련 시장의 발전을 이끌고자 한다.

### 교통사고 구조체계 개선 시급

우리나라의 자동차 10만대 당 교통사고 사망자 수는 9.1명으로, OECD 국가 가운데 세 번째로 높은 사망률을 보이고 있다. 또한, 매년 교통사고 사망자 중 25~30%가 병원 호송 치료 중 사망하고 있어 교통사고 구조체계 개선이 시급하다는 공감대가 형성되었다. 이에 정부는 2013년 다부처 공동 기술협력 특별위원회를 중심으로 ‘한국형 차량 긴급구난체계(이하 e-Call<sup>249)</sup>) 시스템 개발’을 기획하고, 2015년부터 4년간 ETRI 주관의 ‘차량 ICT 기반 긴급구난체계(e-Call) 표준 및 차량 단말기 개발’ 과제를 추진하였다. 본 과제에는 텅크웨어(주), (주)지아이티, (주)핸디소프트, 한국정보통신기술협회, 성균관대학교, 한국지능형교통체계협회가 공동연구기관으로 참여하였으며, 2018년까지 연구비 93.27억 원과 총 258명의 인력이 투입되었다.

### 한국형 차량 긴급구난체계(e-Call) 개발 및 국제표준화

ETRI는 본 과제를 통해 e-Call 시스템 참조구조, e-Call 단말 요구사항, e-Call 센터 요구사항, 최소사고정보 데이터구조에 관한 국내표준 개발 등을 진행하여, e-Call 서비스 핵심 기술인 e-Call 시스템 요구사항과 기능 요소, 인터페이스, e-Call 시스템 동작 절차의 개발을 완료하였다.

이러한 기술개발을 토대로 2016년 7월 ITU-T SG20 회의에서 ‘IoT 기반 e-Call 시스템 참조구조 표준화’를 Q2/20 신규아이템으로 등록하였으며, 2018년 1월 한국형 e-Call 시스템 참조구조가 ITU-T Y.4119로 승인되고, 2019년 12월에는 한국형 사고정보 데이터구조가 ITU-T Y.4467로, 사고정보 전송 프로토콜이 ITU-T Y.4468로 각각 승인되었다. 특히, 한국형 e-Call 시스템 참조구조에는 e-Call 단말에서 잘못된 사고신고가 들어올 경우, 이를 필터링할 수 있는 ‘Proxy PSAP’ 기능을 추가하여 e-Call 서비스 운영비용을 획기적으로 줄일 수 있게 하였다. 본 기술은 미국 특허 등록과 함께 한국형 e-Call 국제표준 참조구조에 반영되었다.



ETRI 연구진이 개발한 네비게이션형 e-Call 서비스 단말기

249) e-Call: 차량운행 중 교통사고가 발생하면 자동으로 이를 감지하고, 관련 정보를 e-Call 센터로 전송하여 구조 기관에 사고 내용을 통지함으로써 신속하게 인명구조 등의 대처를 할 수 있도록 지원하는 시스템이다.



ETRI는 국제표준화뿐만 아니라 표준특허 확보 및 국내표준화를 위한 활동에도 힘을 쏟았다. 그 결과, 이미 운행 중인 차량에 e-Call 서비스를 지원할 수 있는 기능, 다양한 사고 관련 부가정보 전송 기능, 잘못된 신고를 자동취소하는 기능이 추가된 ‘외장단말을 이용한 자동차의 긴급상황 통보 장치’ 및 ‘사고감지 이벤트 빈도 기반 사고판단 알고리즘’ 등 한국형 e-Call 시스템 핵심 특허 7건 확보하였다. 또한, 사고 발생 시 차량으로부터 관제센터로 전송되는 사고정보의 데이터구조 및 사고정보 전송 프로토콜 등에 관한 4건의 국내표준을 개발하였다. 이러한 기술 및 표준개발을 통해 ETRI는 e-Call 시스템이 장착되지 않은 기존 운행 차량에서도 블랙박스, 내비게이션, 스마트폰, 하이패스, ADAS, OBD-II 스캐너 등의 단말을 통해 e-Call 서비스를 이용할 수 있는 기반을 마련하였다. 이는 유럽연합 등의 e-Call과 한국형 e-Call의 가장 큰 차별점이다.

### e-Call 관련 산업의 활성화

한국형 e-Call 국제표준 기반 e-Call 시스템은 우정사업본부의 택배 차량에 설치되어 충북 옥천·영동과 전북 무주 지역에서 실증을 진행하여 완성도를 높였다. 또한, 공동참여기업에 이전되어 상용화를 추진하고 있으며, 한국교통안전공단에 이전되어 ‘위험 물질 운송 차량 실시간 모니터링 시스템’에 적용될 예정이다.

최근 국내의 법·제도 개선으로 e-Call 시스템 차량 탑재가 의무화됨에 따라, 앞으로 한국형 e-Call 단말 개발과 인증 관련 산업은 빠르게 활성화될 것으로 보인다.

### 빅데이터 표준화 논의 시작

빅데이터는 기존의 관리 방법이나 분석 체계로는 처리하기 어려운 많은 양의 정형·반정형·비정형 데이터의 집합 또는 이러한 데이터 집합을 수집·저장·관리·분석·시각화하는 ICT 분야를 의미한다. 21세기 경제 발전의 원유, 4차 산업혁명의 원유 등에 비유되면서 점차 중요성이 커지고 있다. 빅데이터의 활용성과 가치를 높이기 위해 공적 표준화 기구들은 2013년부터 빅데이터 표준화 논의를 시작하였으며, 국내에서도 비슷한 시기에 ETRI를 중심으로 본격적인 빅데이터 표준개발이 시작되었다.



한국형 차량 e-Call 참조구조 국제표준(ITU-T Y.4119) 및 국제표준특허



ETRI 주도로 제정된 주요 빅데이터 국제표준



ETRI 연구진이 스위스 제네바에서 열린 ITU-T SG13 국제 표준 회의에 참석한 모습

### 빅데이터 국제표준화 주도

ETRI는 클라우드 컴퓨팅 국제표준화를 주도한 역량을 빅데이터 분야로 확장하여 2013년부터 빅데이터 표준화 연구를 시작하였다. 우선, ‘클라우드 컴퓨팅 표준 개발(2013년~2015년)’ 과제를 통해 차이나텔레콤, 오렌지와 공동으로 클라우드 컴퓨팅 환경에서의 빅데이터 서비스 지원을 위한 표준기술개발에 착수하였다. 이 기술은 2015년 빅데이터 관련 최초의 공적 국제표준(ITU-T Y.3600: Big data - Cloud computing based requirements and capabilities)으로 승인되었다.

이어서 ‘빅데이터 시스템 연동표준 개발(2014년~2016년)’ 과제를 통해 ITU-T 및 JTC 1에서 국제표준화 활동을 본격적으로 추진하였으며, 잇따른 성과를 도출하였다. ITU-T에서는 2017년 빅데이터 교환을 위한 프레임워크 및 기능 요구사항 표준(ITU-T Y.3601: Big data - Framework and requirements for data exchange), 2018년 빅데이터 프로비넌스를 위한 기능 요구사항 표준(ITU-T Y.3602: Big data - Functional requirements for data provenance)과 클라우드 환경에서의 빅데이터 서비스를 위한 기능 아키텍처 표준(ITU-T Y.3519: Cloud computing - Functional architecture of big data as a service), 그리고 2019년에는 빅데이터 카탈로그를 위한 메타데이터 요구사항 및 개념모델 표준(ITU-T Y.3603: Big data - Requirements and conceptual model of metadata for data catalogue)의 승인을 주도적으로 이끌었다.

또한, ISO/IEC JTC 1에서는 2014년 신설된 빅데이터 SG(Study Group)을 통해 빅데이터 표준화 방향 모색을 시작하였다. ETRI는 시작단계부터 SG에 적극적으로 참여하였으며, 2014년 12월에는 빅데이터 개요 및 용어, 빅데이터 참조 아키텍처에 관한 2건의 신규과제를 제안함으로써 SG이 WG으로 출범할 수 있는 발판을 마련하였다. 이후로 빅데이터 개요 및 용어 표준(ISO/IEC 20546: Big data - Overview and vocabulary), 빅데이터 참조 아키텍처 제1부: 개요 및 적용절차 표준(ISO/IEC TR 20647-1: Big data reference architecture - Part 1: Overview and application process), 빅데이터 참조 아키텍처 제2부: 유즈케이스 및 요구사항 표준(ISO/IEC TR 20647-2: Big data reference architecture - Part 2: Use cases and derived requirements), 빅데이터 참조 아키텍처 제3부: 참조 아키텍처 표준(ISO/IEC 20647-3: Big data reference architecture - Part 3: Reference architecture)의 승인을 주도하였다.

ETRI는 국제표준화 기구들을 통하여 8건의 국제표준개발을 주도하여 성공적으로 완료한 것은 물론, ‘프로비넌스 정보 기반의 빅데이터 분석시스템 및 방법’과 ‘안심 빅데이터 유통 중개서비스 및 그 방식’ 등 총 4건의 표준특허를 확보하는 데도 성공하였다.

### 빅데이터를 넘어 인공지능 국제표준화에 도전

2018년 JTC1/SC42(인공지능)의 신설과정에서 빅데이터 WG이 SC42 산하 PG로 편입되면서, 인공지능을 위한 데이터 표준개발에도 착수하였다. ETRI는 2020년부터 ‘지능정보 기술확산을 위한 인공지능 데이터 표준개발’ 과제를 진행하고 있으며, 이를 통해 빅데이터 분석 및 인공지능을 위한 데이터 품질, 신뢰성, 데이터 상호운용성 관련 표준들을 개발해 나갈 계획이다.

우리나라가 세계적인 ICT 강국으로 자리매김한 데에는 민간부문에서 활약한 기업들의 공헌도 크지만, ICT 정책을 중단없이 효과적으로 추진해온 정부와 ICT 분야의 대표적 정부출연연구기관인 ETRI의 역할 또한 매우 크다.

인류사 측면에서 세계 ICT의 역사는 대략 6개 시기로 구분할 수 있다. 개인용 컴퓨터 혁명기(1976년~1985년), SW 혁명기(1985년~1995년), 인터넷 혁명기(1993년~1999년), 검색과 소셜 혁명기(1999년~2006년), 스마트폰 혁명기(2007년~2010년), 클라우드와 미래 혁명기(2010년~)가 그것이다.<sup>250)</sup> 이는 각 시기를 주도한 ICT 기술 또는 소비 트렌드를 기준으로 한 구분이다.

우리나라의 경우, 국가가 주도한 ICT 정책에 따라 크게 4개의 시기(패러다임)로 구분할 수 있을 것이다.

첫 번째는 ‘산업화 정책기’이다. 근대화 · 산업화를 추진하는 과정에서 전화와 전기 중심의 국가망을 구축하고, 컴퓨터 기반의 전산화를 국가 차원에서 강력하게 추진하던 1960년대 초반부터 1980년대 중반까지를 산업화 시기로 볼 수 있다. 이 시기에 ETRI는 한국과학기술연구원(KIST) 부설 전자통신연구소로 첫발을 내디뎠고(1976년), 1981년에는 한국통신 기술연구소와 한국전기기기시험연구소의 통합으로 한국전기통신연구소가 설립되었으며, 다시 1985년에 한국전자기술연구소와 통합되어 한국전자통신연구소로 출범하게 된다.

두 번째는 ‘정보화 정책기’이다. 우리나라가 초고속인터넷, 반도체, 이동통신 서비스 등을 기반으로 ICT 강국으로 도약하게 되는 1980년대 중반부터 2000년대 중반까지를 정보화 시기로 볼 수 있다. 이 시기에 ETRI도 정부 정책에 따른 변화를 겪게 되는데, 1996년에 시스템공학연구소가 이관 · 통합되었고, 1997년에는 현재의 명칭인 한국전자통신연구원으로 변경되었으며, 2000년에 부설 국가보안기술연구소를 설치하였다.

세 번째는 ‘융합화 정책기’이다. ICT 정책이 ‘융합’과 ‘스마트’라는 두 개의 키워드로 움직이



한국전자통신연구원 명칭변경

250) 정지훈(2010), '거의 모든 IT의 역사', 메디치미디어.



던 2000년대 중반부터 2010년대 중반까지를 융합화 시기로 볼 수 있다. 정보화 시기까지 우리나라 ICT는 선진국을 모방·추격하면서 빠르게 성장하는 Fast-Follower 전략을 성공적으로 추진해왔지만, 1990년대 말부터 GDP와 기술이 일정 수준에서 정체되는 현상을 겪게 된다. 이러한 성장 정체를 극복하기 위한 새로운 패러다임으로 등장한 것이 융합이고, ICT 자체의 기술적 수준을 한층 강화하고자 등장한 개념이 스마트화였다. 이 시기에 ETRI는 ICT+자동차, ICT+조선, ICT+국방 등의 융합형 R&D 사업을 중점적으로 추진하기 시작하였고, 2013년에는 SW SoC융합연구본부 등 융합형 연구조직을 신설하는 형태로 정책에 부응하였다.

네 번째는 ‘지능화 정책기’이다. 지능정보 기술의 발전이 가속화하고 제4차 산업혁명 시대가 도래하면서 ICT 패러다임이 확연하게 변화한 2010년대 중반 이후를 지능화 시기로 볼 수 있다. ETRI는 지능화 패러다임에 맞춰 지능정보 기술 분야에 대한 투자를 확대하고 제4차 산업혁명과 지능화 선도를 비전으로 선언하였으며, ‘ETRI AI 실행전략’ 등 국가지능화를 위한 R&D 전략을 집중적으로 추진하고 있다.



대한민국 ICT 정책 패러다임의 변화상

### 6-6-1. 시기별 정책변화와 주요성과

#### 산업화 정책기(1960년대 초반~1980년대 중반)의 흐름

1960년대 우리 경제가 ‘한강의 기적’으로 일컬어지는 고도 압축성장의 시대로 접어들면서 통신의 필요성과 중요성이 급격하게 부각하였다. 이에 정부는 1962년부터 4차례에 걸쳐 「통신사업 5개년계획」을 수립하여 통신망 보급과 전기통신 시설의 근대화를 본격적으로 추진하기 시작하였다. 또한, 1967년에는 과학기술처가 「전자계산기 사용개발 7개년 계획」을 수립하고 컴퓨터의 도입과 개발·육성에 돌입하였다.

이러한 외중에 통신 기술의 국산화를 추진하기 위한 전문 연구기관 설립의 필요성이 높아졌고, 결국 1976년 12월에 한국과학기술연구소(KIST) 부설 한국전자통신연구소가 설립되기에 이른다. 이후 한국통신기술연구소(KTRI), 한국전기기기시험연구소(KERTI), 한국전자기술연구소(KIET)가 연이어 합병되면서 1985년 한국전자통신연구소(ETRI)가 출범하게 된다.

한편, 1980년대에 들어서면서 전국 전화 광역자동화에 대한 요구가 크게 증대하였다. 당시는 생활권 광역화와 정보 유통량 급증이 맞물려서 매년 100만 회선 이상의 전화 수요 증가가 발생하던 시기였다. 이에 정부와 한국통신은 국산 전전자교환기 개발에 전격 돌입한다. ETRI 주관으로 통신망 운영 기술 자립화를 실현하기 위한 TDX 개발이 추진되었고, 1982년 7월 ‘TDX-1X’로 명명된 최초의 국산 전전자교환기가 시험운용을 시작하였다. 이어서 1985년부터 전국의 전화국에 국산 ‘TDX-1A’가 대규모로 설치되면서 우리나라는 ‘1가구 1전화’ 시대를 맞이하게 된다.



우리나라 1가구 1전화 시대를 맞이하게된 TDX-1A



정보통신 정책토론회 모습

#### 산업화 정책기 ETRI의 정책 – ‘통신과 전산기술 국산화의 첩경’

1980년대 중반까지는 기초과학과 원천기술이 부족한 상태에서 선진기술을 신속하게 따라잡기 위해, fast-follower 전략이 강력하게 추진되던 시기였다. 따라서 당시 정부가 ETRI에 부여한 미션은 통신과 전산 분야에서 주로 해외에 의존하고 있던 기술과 장비를 빠르게 국산화하는 것이었다. 이렇게 미션이 명확했기 때문에 기관 차원에서 전략과 비전을 별도로 수립하기보다는 주어진 과업을 달성하는데 전사적인 역량이 투입되는 형태의 R&D가 추진되었다.

이후로 TDX 개발의 성공, 반도체 국산개발 성공, 국내 최초 마이크로컴퓨터 개발 등 정부

미션을 완수해나가던 ETRI는 1980년대 중반부터 조직의 비전-목표-전략을 명확히 표방하기 시작하였다.

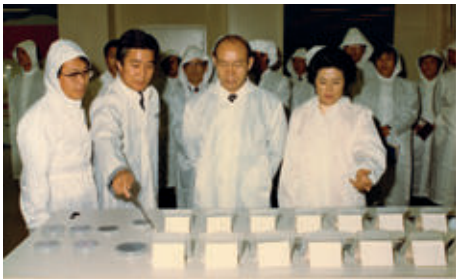
1985년에 한국전자통신연구소(ETRI)로 합병·출범하면서 조직의 비전과 목표를 '1996년 세계 정상 연구소'로 설정하고, 경영이념을 'Spirit of Excellence'로 정하였다. 그리고 이를 달성하기 위한 전략으로 인적자원개발, < 기초연구활성화, < 연구개발 국제화, < 공용지원기술 개발, < 연구관리제도 개선을 추진하였다. 이러한 비전-목표-전략의 추진 체계는 1993년까지 계속되었다.

산업화 정책기 ETRI의 주요성과로는 세계에서 열 번째로 TDX 개발(1986년), 국내 최초로 32K ROM 개발(1982년), 64K ROM 개발(1983년), 국내 최초로 8비트 마이크로컴퓨터인 'HAN-8' 개발(1983년) 등을 들 수 있다. 이러한 기술개발에 사용된 주된 R&D 방식은 해외에서 개발된 제품을 국내에 들여와 분해하여 구조를 분석하고, 반복적인 실험·시험을 통해 파악한 작동원리를 토대로 유사한 성능을 구현하는 기술을 개발해내는 방식이었다. 원천기술의 부족으로 연구원들의 열정과 노력에 기대 R&D를 추진하던 시대였다고 할 수 있다.

정보화 정책기(1980년대 중반~2000년대 중반)의 흐름

1980년대 이후 글로벌 ICT 산업의 주된 패러다임은 '정보화'였다. 정보화의 기반은 컴퓨팅 파워의 급성장과 인터넷 및 이동통신 서비스의 등장이었는데, 우리 정부도 이런 세계적인 추세에 발맞춰 1980년대 중반부터 본격적인 정보화 정책을 추진하기 시작하였다. 1986년 「전산망보급확장과이용촉진에관한법률」 제정과 1988년 「국가기간전산망 기본계획」 수립이 정보화 정책의 시발점이었고, 1995년 「정보화촉진기본법」이 제정되고, 1996년 「정보화촉진 기본계획」이 수립되면서부터 '정보화'라는 정부의 정책 패러다임이 확고하게 자리를 잡게 되었다.

그러나 당시 국내의 ICT 산업은 기술과 시설 모두에서 대외의존도가 높았고, 의존도는 정보화가 추진될수록 더욱 심화할 것으로 전망되었다. 결국, 정부는 이러한 문제를 해결하기 위해 1987년부터 국산 주전산기 개발을 추진하였고, 1991년 ETRI와 국내 4대 컴퓨터 업체가 참여해 최초의 국산 중형컴퓨터인 '주전산기Ⅱ'(타이컴(TICOM)) 개발에 성공한다. 이후 고속 중형컴퓨터인 '주전산기Ⅲ'가 1994년에 개발되었다. TICOM 시리즈 개발의 성



32K ROM개발에 성공 전두환대통령과 관계자들에게 생산기술발표회를 가졌다.



최초의 국산중형컴퓨터 주전산기Ⅲ 개발보고회

251) Cyber Korea 21: 지식기반 경제로의 대전환이라는 시대적 조류에 발맞춰 1999년 수립된 정책으로, 정보인프라 구축, 국가 생산성 향상, 신산업 육성을 통한 고용 확대가 목적이었다.

252) e-Korea Vision 2006: 정보화를 통해 사회 전반의 효율성을 높이고 모든 국민의 정보활용 능력을 제고하여 새로운 변화에 대한 적응능력을 높이는 데 목적을 둔 정책으로 2002년 수립되었다.

253) Broadband IT Korea Vision 2007: 세계 최고 수준의 열린 전자정부 구현을 통한 정부 혁신과 전산업의 정보화를 통한 우리 산업 전반의 국가경쟁력 제고, 디지털 복지 사회 구현 등을 목표로 2003년 수립되었다.

254) IT839 전략: IT 신성장동력을 만들어 1인당 국민소득 2만 달러 시대를 여는 것을 목표로 2004년 수립된 정책이다. 8대 신규서비스, 3대 인프라, 9대 신성장 동력 간의 유기적인 연계를 통해 ICT 산업의 가치사슬 효과를 극대화하는 내용을 담고 있다.

공 이후 국내 연구기관과 컴퓨터업체들은 컴퓨터 주변기기와 SW 개발에도 투자를 늘리기 시작했는데, 그 결과 ETRI와 컴퓨터 4사(삼성전자·대우통신·LG전자·현대전자)가 공동으로 개발한 멀티미디어 워크스테이션인 '콤비스테이션'은 미국·일본과 거의 동시기에 개발되는 개가를 올렸으며, ETRI가 개발한 'MISIX'는 중대형급 이상 병렬컴퓨터 운용에 있어서 핵심적인 기술로 역시 세계 최첨단 수준을 자랑하였다.

한편, 1990년대에 들어서면서 세계 주요국들 사이에서 초고속인터넷망 구축 정책이 유행처럼 번지기 시작하였다. 대표적으로 사례가 미국의 '정보고속도로 구축', 일본의 '신사회 자본건설계획', 싱가포르의 'IT 2000' 등이었다. 정보통신 강국으로서의 입지를 다지기 시작했던 우리나라도 이러한 국제적 추세에 발맞춰 초고속정보통신망을 구축하기 위한 정책과 전략 추진에 들어가, 1995년 「초고속정보통신기반구축 종합추진계획」, 2001년 「정보통신망고도화 기본계획」 등을 수립·추진하였으며, 세계적인 초고속인터넷 사용 국가로 변모하기 시작하였다.

1990년대 후반에는 국가 정보화 추진체계에도 다양한 변화가 시도되었다. 1994년에는 체신부가 정보통신부로 개편되었고, 1996년에는 범국가적 정보화 촉진을 위한 마스터플랜인 「정보화촉진 기본계획」이 수립되었다. 이후로도 시대와 정부 비전의 변화에 따라 1993년 「Cyber Korea 21<sup>251)</sup>」, 2002년 「e-Korea Vision 2006<sup>252)</sup>」, 2003년 「Broadband IT Korea Vision 2007<sup>253)</sup>」, 2004년 「IT839 전략<sup>254)</sup>」 등의 정보화 정책이 지속해서 추진되었다.

정보화 정책기 ETRI의 정책 - 'ICT 강국 도약의 선봉'

1970년대 말부터 1980년대 중반까지 여러 차례의 합병으로 몸집을 키운 ETRI는 1996년 시스템공학연구소를 통합하고, 2000년에 부설 국가보안기술연구소를 설치하며 명실상부 대한민국 ICT 분야 대표 출연(연)으로 입지를 굳히게 된다. 특히, 1996년 「정보화촉진 기본계획」이 수립되면서 ETRI는 국가 정보화 관련 R&D를 핵심 과제로 부여받게 된다. 1980년대 중반부터 2000년대 중반까지 ETRI는 모두 4차례에 걸쳐 비전·목표와 핵심 전략을 변경하였다. 비전·목표는 주로 '세계 최고의 ICT 연구기관'을 추구하는 방향으로 설정되었으며, 경영이념은 1990년대부터 2000년대 초까지는 대외여건의 악화(IMF 구제금융 등)에 따라 주로 조직의 혁신을 추구하는 방향이었다가, 2000년대 중반부터는 지식기반 경제로의 전환이라는 국가 정책목표에 따라 지적자본을 중시하는 방향으로 전환하였다. 이러한 경영이념과 주요 전략의 변화는 주로 정부 ICT 정책의 추진 기조 및 역대 정권별 키워드와 맥을 같이 하고 있으며, 이런 배경으로 인해 원장의 책임기별로 비전·목표·경



영이념 · 전략이 자주 변화하는 양상이 나타나게 된다. 다음의 표는 이 시기 ETRI의 비전 과 전략을 정리하여 보여준다.

— 정보화 정책기 ETRI의 비전 · 전략 변화상

기간	1993~1997	1998~2000	2001~2003	2004~2006
비전및목표	21C 인류복지를 선도하는 연구원	21C 세계 최고 정보통신 연구기관	21C 세계 최고 정보통신 연구기관	21C 세계 최고 IT R&D 기관
경영이념	일신경영 (미래 도전, 최고 유지, 결과 신뢰)	혁신경영 (3C : Challenge, Creativity, Customer)	신경영 (일신경영, 품질경영, 지식경영)	지적자본 경영 (지식경영, 윤리경영, 혁신경영)
주요전략	· 3P 중심 전략 : Paper, Patent, Product · IMPH 추구 전략 : Intelligent, Multimedia, Personal, Human	· 2M 전략 : Cost Min. & Royalty Max. · EBCM 추구 전략 : Earlier, Better, Cheaper, Marketable	· 최다 IP보유 · 최고 Royalty · 최고 우수인력	· 국제적 역량강화 · 인적역량 고도화 · 산학연 협력강화 · 지적자본 극대화 · 윤리성/투명성 강화

정보화 정책기의 ETRI는 대한민국이 반도체, 이동통신, 초고속인터넷, 방송미디어 등의 분야에서 글로벌 ICT 강국으로 도약하는 데 있어 기술적 선도자 역할을 충실히 수행하였다. 따라서 이 시기의 ETRI는 'ICT 강국 도약의 선봉' 역할을 해냈다고 평가할 수 있겠다. 이 시기 주요성과로는 세계 최초로 64M/256M DRAM 개발(1992년/1994년), 국내 최초의 중형컴퓨터 ‘주전산기Ⅱ’(TICOM) 개발(1991년), 고속 중형컴퓨터 ‘주전산기Ⅲ’ 개발(1994년), TDX-1B ISDN(Integrated Services Digital Network, 종합정보통신망) 상용화(1993년), 565Mbps 광통신시스템 개발(1988년), 디지털 위성방송시스템 시험방송(1996년), 세계 최초로 CDMA 기술 상용화(1996년), 3세대 이동통신 기술 IMT-2000 개발(2001년), 세계 최초로 3.9세대 이동통신 기술 WiBro 개발(2005년), 4세대 이동통신 기술 LTE-Advanced 개발(2011년), 세계 최초 지상파 DMB 상용화(2003년) 등을 들 수 있다.

융합화 정책기(2000년대 중반~2010년대 중반)의 흐름

21세기에 들어서면서 ‘융합’이 ICT 분야의 메가트렌드로 자리잡기 시작하였다. ICT 융합



ETRI를 주관으로 하는 제1호 UGS융합연구단 선정

이 논의된 것은 1990년대로 거슬러 올라가지만, 융합을 키워드로 ICT 정책과 전략이 마련되기 시작하는 시점은 2000년대 중반으로 볼 수 있다. 특히, 선진국 기술의 모방 · 추격에 주력했던 국내의 ICT가 일정 수준에 오르면서 정체되는 현상이 나타나자, 정부는 2006년부터 집중적으로 융합 정책들을 내놓기 시작하였다. 한편, 기존에 HW 중심으로 편향 성장하던 국내 ICT 산업의 한계를 극복하고자, 세계적인 ICT 트렌드에 따라 SW 분야를 육성하는 전략이 대거 등장한 것도 이 시기의 특징 중 하나였다.

이 시기에 융합을 키워드로 활용한 대표적인 정부 정책에는 2006년 「u-IT839 전략<sup>255)</sup>」, 「U-KOREA 기본계획<sup>256)</sup>」, 「ACE IT 전략<sup>257)</sup>」, 2009년 「TT KOREA 미래전략<sup>258)</sup>」, 2013년 「ICT R&D 중장기 전략<sup>259)</sup>」 그리고 2014년 「국가융합기술 발전전략」 등이 있다.

한편, 2014년 6월에 출연(연) 간 융합을 활성화하기 위해 국가과학기술연구회(NST; National Research Council of Science & Technology)가 출범하면서, ETRI는 연구회 산하에 소속된다. 이때부터 ETRI의 대표적 융합사업들이 속속 추진되었는데, 2014년 12월에 ETRI를 주관으로 하는 'UGS(Under Ground Safety) 융합연구단'이 NST 제1호 융합연구단으로 선정되었고, 2015년에는 'KSB(Knowledge converged Super Brain) 융합연구단'이 선정되어 융합 R&D를 추진하기 시작하였다.

융합화 정책기 ETRI의 정책 – ‘ICT 융합기술개발의 선도자’

융합화 정책기의 ETRI는 'ICT + 타 산업' 방식의 융합기술개발에 매진하여 ICT+자동차, ICT+조선, ICT+국방 등의 융합형 R&D 사업을 중점적으로 추진하기 시작하였고, NST가 추진하는 여러 융합연구단의 주관기관을 맡아 출연(연) 간 역량 융합에도 앞장섰다. 또한, 그동안 부족했던 SW 분야의 경쟁력을 확보하여 스마트한 디지털 사회를 구현하기 위한 연구개발에 집중하였고, 중소기업을 기술적으로 근접지원하는 기술 전진기지 역할에도 힘을 쏟았다.

이 시기 ETRI의 비전은 '세계 최고 수준의 기술 리더'와 'ICT 혁신자'였다. 바뀐 비전에 따라 ETRI의 조직 및 사업구조에도 적지 않은 변화가 발생하는데, 먼저 융합환경 조성을 위해 2013년 초에 'SW SoC융합연구본부'를 신설하였다. 또한, 연구 사업별 특성에 따라 R&D를 원천형과 융합형으로 나누는 이원화 제도를 도입하여 원천기술은 각 연구부문에서 연구하고 융합연구는 주제에 맞게 일물형 방식으로 수행함으로써 연구효율을 높이는 사업구조를 적극적으로 추진하기 시작하였다.

아울러, SW 중심의 조직개편도 단행하였는데, 여러 부문에 산재되어 있던 SW와 콘텐츠 관련 연구조직을 통합하여 시너지를 발휘할 수 있도록 'SW · 콘텐츠 연구소'를 신설한 바

255) u-IT839 전략: 기존의 IT839 전략을 업그레이드하여 2006년 발표한 정책으로, 융합 및 유비쿼터스 IT 세계 시장 선점을 위한 상용화 촉진과 SW, 부품 · 소재 경쟁력 강화에 초점을 맞추었다.

256) U-KOREA 기본계획: 당시 화두이던 유비쿼터스 구현에 초점을 맞춰 2006년 수립한 정책으로, 실시간 · 지능형 · 모바일 행정체계 구축, 지능형 첨단교통체계 구축, RFID 기반 지능형 통합물류체계 구축, u-City 통합관리 및 지원, 연합 플랫폼 기반의 기업정보시스템 구축, 실시간 환경 모니터링, u-IT 기반 국방통합정보체계 구축, 지능형 치안 · 방범체계 구축, u-Home 보급 등 다양한 경제 · 사회 · 행정 영역에서 ICT 융합을 추진하는 전략을 담고 있다.

257) ACE IT 전략: 참여정부의 장기적 국정 철학인 'VISION 2030' 실현을 위한 전략으로, 2006년 수립되었다. 앞서 가는(Advanced) IT, 융합하여 창조하는(Convergent) IT, 확산되어 혁신하는(Expanded) IT가 3대 전략이었다.

258) IT KOREA 미래전략: 제조 · 서비스 · SW의 동반성장체제 구축을 핵심 과제로 2009년 발표된 전략으로, 대 · 중 소 · 벤처기업 동반성장을 통한 기술혁신과 고용 창출이 주된 내용이었다.

259) ICT R&D 중장기 전략: 일명 'ICT WAVE 전략'으로, 2013년 수립되었다. 당시 출범한 정부의 핵심 경제정책 기조인 창조경제 구현을 목표로, 콘텐츠(C), 플랫폼(P), 네트워크(N), 디바이스(D), 정보보호(S)의 5개 분야에서 10대 핵심기술을 개발하여 신성장동력으로 육성함으로써 글로벌 시장을 선점하겠다는 전략 내용을 담고 있다.

있다. 또한, 창의형 조직으로의 전환을 위해 2010년 ‘창의연구본부’를 발족하였으며, 2013년에는 미래기술 기획조직인 ‘창의미래연구소’를 신설하고 직할 부서별로 미래연구팀을 만드는 조직개편을 추진하였다. 아울러, 2014년에는 중소기업의 기술사업화를 전담하여 지원하는 ‘R&D사업화센터’를 신설하였다. 다음의 표는 이 시기 ETRI의 비전과 전략을 정리하여 보여준다.

— 융합화 정책기 ETRI의 비전·전략 변화상

기간	2007~2009	2010~2014
비전및 목표	세계 최고 Human Technology Leader	미래를 창조하는 ICT Innovator
경영이념	인재중심 경영 (미래경영, 책임경영, 고객만족경영)	창의경영 (Creativity & Productivity, 魂.創.通)
주요전략	· 4대 R&D Engine : 유비쿼터스인프라, 디지털 인텔리전스, 융합 부품, 메가 컨버전스 · 3대 Resource : 인력, 조직, 자원구조 · 3대 Process : 연구기획, 성과관리, 고객만족	· 창의-융합R&D 혁신시스템 구축 · 글로벌 Open R&BD 역량 강화 · 중소/중견기업 동반성장 생태계 구축 · 지식재산 Biz전략 강화 · 창의인재 육성 HRD시스템 구축

융합화 정책기는 이전의 산업화 및 정보화 정책기처럼 국가 기간망과 관련된 거대 R&D 사업을 추진하기보다는, 정책적 요구에 따라 타 산업과 중소기업에 직접적인 도움을 줄 수 있는 기술개발을 강조하던 시기였다. 이에 따라 투자의 규모 측면에서 대형성과의 창출이 어려웠던 시기였음에도 불구하고, ETRI는 꾸준히 세계적 R&D 성과를 창출하였다.

이 시기의 대표적인 성과에는 ICT+조선 융합을 통한 스마트선박기술(SAN) 개발(2011년), ICT+BT 융합을 통한 반도체 바이오센서칩 개발(2010년), 바이오서즈, 스마트신발, 낙상폰 등 u-Health 기술개발, ICT+물류 융합을 통한 RFID 및 USN 기술개발, 익명인증 기술(2008년) 등 정보보호 기술개발, 세계 최초 오케스트라 미디어 서비스 기술(2009년) 등 차세대 영상 기술개발, 세계 최초 AMOLED 핵심기술개발(2009년), 세계 최초로 지상파 DMB의 핵심모듈을 집적한 SoC(System on Chip) 개발(2005년), 동시통역이 가능한 휴대형 한·영 자동통역 기술(2011년) 등 음성언어 정보처리 기술개발 등이 있다.



대한민국 ICT 정책 패러다임의 변화(1990년대 중반~)

### 지능화 정책기(2010년대 중반~)의 흐름

21세기에 들어서면서 글로벌 선진국들은 경제성장 정체를 타개하기 위한 패러다임 전환을 시도하게 된다. 특히, ICT 분야에서는 기존의 ‘정보화 및 융합화’를 대체하는 새로운 패러다임이 등장하는데, ‘지능화’가 바로 그것이다.

정부 정책에서 지능화라는 개념이 공식적으로 강조되기 시작한 것은 ‘지능정보사회<sup>260)</sup> 실현’을 목표로 2016년에 수립된「지능정보사회 중장기 종합대책」에서부터였다. 이후로 정부는 2017년 4차 산업혁명 대응계획으로「I-Korea 4.0」을 추진하였고, 2018년에는 데이터 및 인공지능 선도국가로 도약하기 위한「데이터·인공지능경제 활성화 계획」과 인공지능 기술 선도국 부상을 위한「인공지능 R&D 전략」그리고「데이터산업 활성화 전략」등 지능화 관련 정책들을 계속해서 수립해 나갔다. 그리고 2019년 12월 범부처 합동으로 국가 전반의 인공지능 전략을 포괄하는「AI 국가전략」이 발표되기에 이른다. 이 전략의 3대 분야는 < AI 경쟁력 혁신(세계를 선도하는 AI 생태계 구축), < AI 활용 전면화(AI를 가장 잘 활용하는 나라), < AI와의 조화·공존(사람 중심의 AI 구현)이다.

### 지능화 정책기 ETRI의 정책 – ‘국가지능화의 선도자·동반자’

2016년 1월 세계경제포럼(WEF)은 세계 경제를 이끌 새로운 패러다임으로 ‘4차 산업혁명’을 주창하였다. 4차 산업혁명이란, 다양한 산업 분야에 ICT를 적용해 혁신적인 제품·공정·비즈니스를 만들어내는 글로벌 패러다임으로, 모든 산업 분야에 디지털 전환<sup>261)</sup> 바람을 불러일으켰다. 그 결과, ICT는 하나의 기술 범주를 넘어 산업 전 분야의 경쟁력을 좌우하는 핵심 요소로 확장되었고, ICT의 영향력이 커지면서 자연스럽게 국가 ICT 발전을 견인해 온 ETRI의 역할도 더욱 중요해졌다.

ETRI는 4차 산업혁명이라는 거대한 흐름을 선도하기 위해 2016년 ‘제4차 산업혁명을 선도하는 ICT Innovator’라는 비전을 세우고 ‘4초(초연결·초지능·초실감·초물질) 전략’을 제시하였다. 이는 모든 사물과 인간을 연결하는 ‘초연결’ 기반기술을 연구하고, 인공지능 등 ‘초지능’ 기술과 VR·홀로그래프·UHD방송 등 ‘초실감’ 기술을 개발하는 동시에, 이러한 기술을 가능케 하는 반도체 소자 등 ‘초물질’ 연구에도 집중한다는 전략이다. 또한, 연구·환경·조직 분야의 3대 경영목표를 수립하였다. 첫째, ‘초연결·초지능·초실감’ 패러다임을 선도하고 기관의 미래전략 고도화하기 위한 핵심 원천기술을 확보하고, 둘째, 산학연 상생과 동반성장을 위해 중소기업 지원을 강화하며, 셋째, ETRI의 비전과 경영목표

260) 지능정보사회: 고도화된 정보통신 기술 인프라를 통해 생성·수집·축적된 데이터와 인공지능이 결합한 지능정보 기술이 경제·사회·삶 모든 분야에서 보편적으로 활용됨으로써 새로운 가치가 창출되고 발전하는 사회를 뜻한다.

261) 디지털 전환(Digital Transformation): IoT 등을 통해 생산된 방대한 데이터를 분석하여 산업 전반을 지능적으로 혁신하는 패러다임이다.



를 성공적으로 달성하고 지속 가능한 발전을 도모하기 위해 조직역량을 강화하는 것이 그 것이었다.

2018년 들어 정부가「데이터·인공지능경제 활성화 계획」,「인공지능 R&D 전략」등을 잇달아 발표하며 지능화 패러다임으로의 급속한 전환을 시작하자, ETRI는 2019년 5월부터 ‘혁신으로 가는 길’이라는 뜻을 가진 ‘Via Novata TFT’를 꾸리고 50일간 지능화에 초점을 맞춘 ‘ETRI 전환계획’을 마련한다.

그리고 그 결과를 토대로 같은 해 6월 ‘미래를 만들어가는 국가지능화 종합연구기관’이라는 새로운 비전을 수립·발표하였으며, 기관운영의 4대 목표로 △ 창의·도전연구 활성화로 미래성장 준비, △ Global Top 수준의 R&D 성과 창출, △ 국민 생활문제 해결 및 중소기업 지원 확대, △ 개방·공유·협업 기반의 연구문화 정착을 제시하였다. 이어서 2019년 12월에는 ‘국가지능화 정책’을 제안하였으며, 5월에는 국가지능화 실현을 위한 ‘기술 나침반’을 마련하고자 앞으로 15년 후인 2035년까지 사회구조와 사람들의 생활이 어떻게 바뀌고 그에 따라 어떤 기술과 서비스가 등장할 것인지를 예측한 ‘ETRI 중장기 기술발전지도 2035’를 마련하였다.

2020년 6월에는 그간 축적한 전략들을 집대성하여 ‘ETRI AI 실행전략’을 발표하였다. 여기에서의 AI는 하나의 기술 혹은 서비스가 아닌, 사람과 조직의 생각·행동을 바꾸는 일종의 패러다임으로 정의되었다. 본 실행전략은 대한민국을 이끌어갈 새로운 인프라로써 ‘x+AI 혁신플랫폼’을 구축하기 위한 구체적 실천전략들로 구성되었으며, 지능화 혁명 시대를 선도하기 위한 ETRI의 역할을 담고 있다. 이의 3대 전략 방향은 < AI 서비스 기술의 한계를 극복하는 혁신을 이끌어 글로벌 Top3 수준의 지능화 기술역량 확보, < 우리 국민·기업과 함께 성장하는 AI 혁신생태계의 기반 마련, < 산업요구와 사회문제를 해결하는 믿을만한 AI 활용 확산이다.

또한, 이러한 전략 방향을 구현하기 위한 7대 실행전략도 마련하였다. 첫 번째 실행전략은 ‘AI 핵심기술의 선제적 확보’로, 기존 데이터 기반 딥러닝 지도학습의 한계를 넘어 인간처럼 학습하고 인지하여 스스로 성장하는 범용적 차세대 AI 원천기술개발을 목표로 하였다. 두 번째는 ‘AI 반도체 및 AI 컴퓨팅 시스템 기술력 경쟁력 강화’로, 고성능 AI 컴퓨팅 핵심 기술과 변혁적 컴퓨팅 원천기술 연구개발에 주안점을 두었다. 세 번째는 ‘네트워크 및 미디어·콘텐츠 미래기술 선도’로, 네트워크 자동화 기술, 주파수 공유 및 플랫폼 자동화 기술, AI 기반 미디어 플랫폼·인프라 기술, AI 기반 오감 인터랙션 기술 등에 초점을 맞췄다.

이어서 네 번째 실행전략은 ‘AI 개방형 플랫폼 제공 확대’로, 국가 AI 분야의 CTO로 포지션을 확대하기 위한 AI R&D 협력 개발 생태계 조성에 집중하였다. 다섯 번째는 ‘AI 전문

인력 양성’으로, AI Academy 등의 교육프로그램을 통해 AI 연구역량을 강화하고, 지역 산업체 실무인력의 역량을 제고하는 한편, AI 대국민 서비스 확대를 통해 국민교육을 견인한다는 방침이다. 여섯 번째는 ‘지능화 기술 융·복합을 통한 산업·공공 AI 활용기술 연구개발 및 적용’으로, 산업·공공서비스 혁신 선도를 위한 사회현안 맞춤형 융합 솔루션 개발을 통해 개인·사회·산업·공공분야의 문제를 해결하고, 국민 삶의 질을 개선하기 위한 융합서비스들을 발굴하는 데 주안점을 두었다. 그리고 마지막 일곱 번째 실행전략은 ‘AI로 인한 기술·사회적 역기능 방지’로, 믿을 수 있고, 누구나 사용할 수 있는 AI 기술·서비스 기반을 마련하여 AI 역기능을 방지하고, 신뢰 기반을 조성하는 것을 목표로 하였다.

— 지능화 정책기 ETRI의 비전·전략 변화상

기간	2016~2018	2019~
비전및목표	제4차 산업혁명을 선도하는 ICT Innovator	미래사회를 만들어가는 국가지능화 종합연구기관
경영이념	핵심 원천기술 개발, 중소기업 성장지원 확대, 도전·합리·열린경영 실현	창의·도전연구 활성화로 미래성장 준비, Global Top 수준의 R&D 성과 창출, 국민생활문제 해결 및 중소기업 지원 확대, 개방·공유·협업 기반의 연구문화 정착
주요전략	· 초연결인프라 구현 · 초지능정보사회 구현 · 초실감서비스 실현 · 기술리더십 확보를 위한 도약경영 · 본질적 가치 중심의 합리경영 · 개방형 혁신을 위한 열린경영	· 초지능정보사회 기반 구축 · 초성능컴퓨팅 실현 · 초연결인프라 구현 · 초실감서비스 실현 · 국가지능화 융합기술 개발 · 중소기업 성장 지원

한편, 2019년 말에는 정부의 요구에 따라 ‘ETRI R&R(Role & Responsibility, 역할과 책임)’을 재정립하였다. R&R 수립 작업은 ‘ETRI R&R 재정립 TF’, ‘국민·연구자 중심 R&D 실천방안 수립 TF’, 외부전문가 설문 조사 등을 통해 이뤄졌다. ETRI는 기관 내외부 전문가들의 의견을 종합하여 ‘디지털 미래기술 개발로 인류가 직면한 한계(시간적, 공간적, 지능적, 언어적, 감각적, 물리·신체적 한계)를 극복하고 국가지능화에 기여한다’는 사명(Mission)을 선포하였다. 또한, 기관의 5대 상위역할을 < 초지능 정보사회 기반 제공, < 초성능 컴퓨팅 구현, < 초연결 인프라 구현, < 초실감 서비스 실현, < 국가지능화 융합기술 개발로 정립하고, 관련 추진전략을 마련하였다.

지능화 정책기의 ETRI는 지능화와 4차 산업혁명이라는 글로벌 흐름을 선도하기 위해 발 빠른 행보를 보였으며, AI를 단순한 기술을 넘어 생각·행동을 바꾸는 일종의 패러다임으



AI 실행전략

로 정의하고 이를 국가 전반으로 확대하는 데 주력함으로써 우리나라가 인공지능 강국으로 도약할 수 있는 기반을 마련하였다.

이 시기의 대표적인 성과에는 세계적 수준의 언어지능 SW인 ‘엑소브레인’ 개발, 세계 최고 수준의 자동통역 애플리케이션 ‘지니톡’(2017년) 개발, 광-회선-패킷 통합 스위칭 시스템(2016년) 개발, 시각지능 원천기술 플랫폼 ‘딥뷰’ 개발, 자율주행용 프로세스 칩 ‘알데바란’ 개발, 세계 최초의 UHD 모바일 방송 기술개발, 25Gbps급 초각인터넷 ‘틱톡(TIC-TOC)’(2019년) 개발 등이 있다.

앞으로 ETRI는 R&R 재정립과 ETRI AI 실행전략을 중심으로 국가지능화를 구현하는 선도자이자 동반자의 역할에 최선을 다할 것이다. 또한, 그동안 ETRI가 연구해온 SW·콘텐츠, 초연결통신, 초성능컴퓨팅, 방송미디어, ICT 소재부품 등과 융합한 새로운 AI 서비스 창출을 위한 정책개발에도 주력할 계획이다.



최초의 통신부문 중장기 발전계획의 기초를 놓은 KETRI 기공식

최초의 통신부문 중장기 발전계획의 기초를 놓은 KETRI

정부의 출연연구기관 통폐합 방침에 따라 한국통신기술연구소(KTRI)와 한국전기기기시험연구소(KETRI)가 통합되어 1981년 1월 출범한 한국전기통신연구소(KETRI)와 1982년 1월 공중 전기통신사업을 담당하기 위해 발족한 한국전기통신공사(KTA)는 정부의 “행정전산망 구축” 중 디지털망 구현을 위해 무엇을 어떻게 수행할지 모르는 상황에서 1983년부터 2000년대의 국내 통신망 발전전망에 대한 조사연구를 시작하게 되었다.

당시 우리나라의 통신사업 계획은 경제개발 5개년 계획과 보조를 맞추어 1962년부터 “통신사업 5개년 계획”이 수립되어 1981년까지 제4차에 걸쳐 추진된 상태였다. 그러나 이후 전기통신이 사회간접자본으로서 경제사회 발전의 선도적인 역할을 하며 국가발전의 중추가 될 것이라는 인식이 시작되었고, 본격적으로 전기통신사업을 추진하기 위해 공중 전기통신사업이 체신부로부터 분리 독립함으로써 우리나라의 전기통신은 새로운 전환기를 맞이하게 된 것이다.

KETRI는 한국전기통신공사로부터 새로운 전환기에 맞는 정보통신 부문 발전 방향을 도출하기 위해 「중장기 종합통신망계획 수립」 연구의 하나로 “2000년대 통신부문 발전전망”(1983. 12) 연구를 시작하였다. 본 연구는 당시 계통연구부(부장 최준배)의 경제분석실(공성현 실장)에서 김혜규 과제책임자 주관하에 수행되었으며, 2000년대의 가장 이상적인 정보통신망으로 인식되었던 종합정보통신망(SDN)을 가장 효율적으로 이행할 수 있는 최적 통신망의 모습을 제시하고 이를 단계적으로 추진할 전략을 제시하는 것이 목적이었다.

이 연구를 기초로 1984년 2월 체신부(한국전기통신공사)의 요청에 따라 「통신정책연구사업」으로 “통신사업 중장기종합계획 수립” 연구가 시작되었다. 본 연구는 아래 표와 같이

— 1984년 “통신사업 중장기종합계획 수립” 연구내용

부문	세부책임자	수행기관/부서	세부 연구과제
우정	김혜규 실장	KETRI 우정연구실	우정사업 장기발전 방향 연구
체신금융	이동욱 본부장	한국데이터통신(주) 시스템사업본부	체신금융제도 개선 연구
전기통신	공성현 실장	KETRI 통신경제연구실	2000년대 통신부문 발전전망
전파	조성용 실장	KETRI 무선통신연구실	전파부문 중장기계획
매스·미디어	오택섭 소장	고려대학교 신문방송연구소	2000년대 정보사회를 대비한 미디어 정책과제에 관한 연구



총 5개 부문(우정, 체신금융, 전기통신, 전파, 매스·미디어)으로 구분되어 공동연구로 진행되었는데, 사업책임자는 우리 연구원의 이무신 정책·경영연구부장, 과제책임자는 공성현 통신경제연구실장이 맡았다.

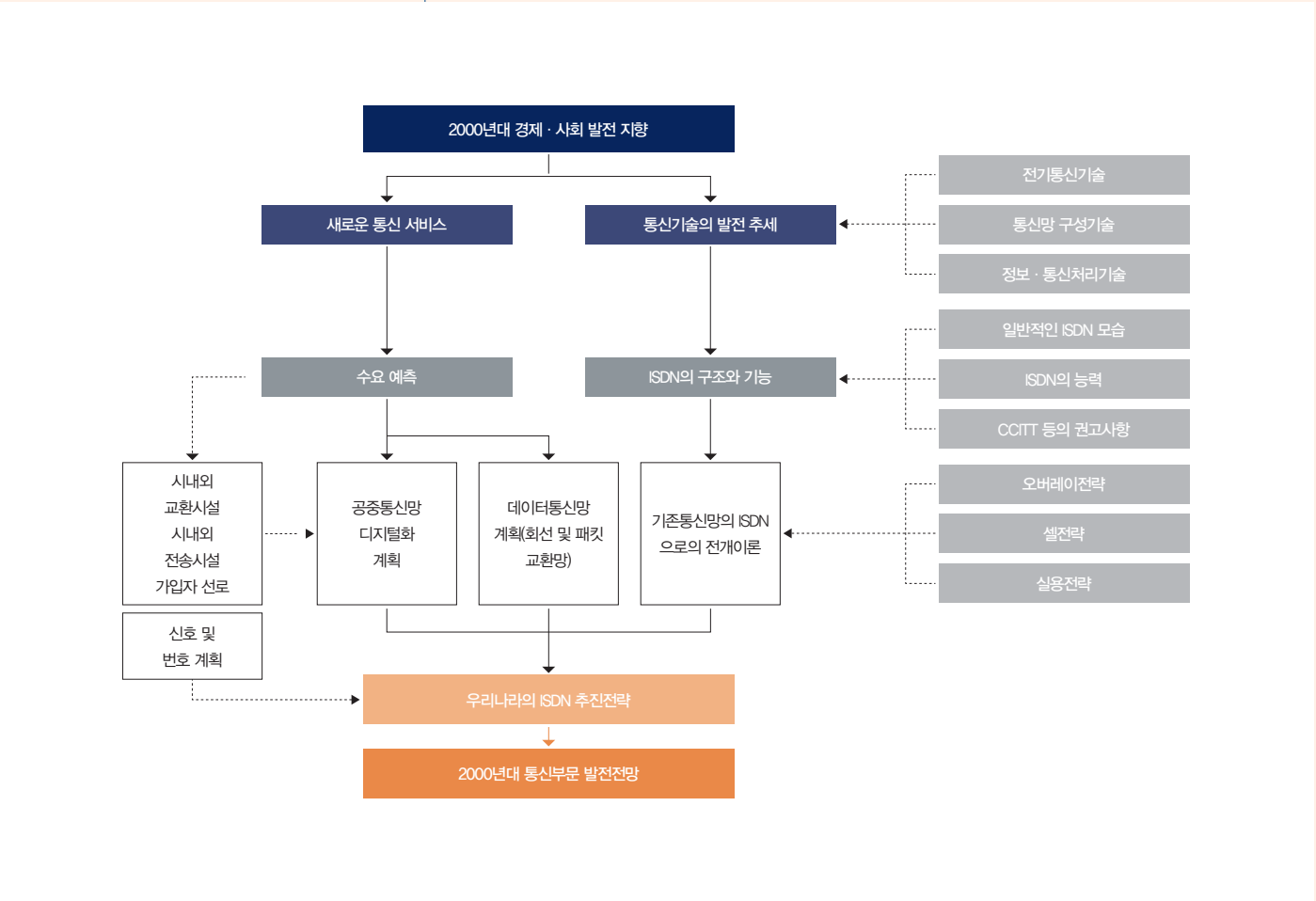
이 5개 통신부문의 최종안은 체신부의 기획관리실과 우리 KETRI가 공동으로 총괄 수립하여 “통신사업 중장기종합계획(안)”으로 만들어졌으며, 유관기관(체신부, KTA, DACOM, KETRI) 협의와 전문가 자문을 거쳐 1984년 11월에 최초의 중장기 통신사업 계획으로 「2000년대를 향한 통신사업 중장기계획」이 수립되었다. 1984년 12월 체신부장관은 이를 대통령에게 보고하였다. 이에 따라 통신사업 5개년 계획은 제5차(’82~’86)부터 제8차(’97~’01)까지 「2000년대를 향한 통신사업 중장기계획」으로 추진되었다.

이와 같이 1982년~2001년의 우리나라 중장기 통신사업은 KETRI 주관하에 수행된 1984년의 “통신사업 중장기종합계획 수립” 연구가 핵심적인 역할을 하였으며, 계획의 주요 골격을 형성하였다.

KETRI와 공동 연구수행기관들은 당시 정부의 정책기조인 ‘선진조국 창조’의 실현을 위해 「2000년대 “선진통신국”」 진입이라는 비전을 정하고, ①우정 및 체신금융 영역에서는 재정자립, 우정시설의 현대화, 서비스 품질의 고도화를, ②전기통신 영역에서는 종합정보통신망(ISDN) 구축, 서비스의 다양화와 대중화, 올림픽 통신의 완벽 지원을, ③전파와 매스·미디어 영역에서는 전파자원의 개발 및 이용질서 확립, 방송의 다양화와 ISDB 실현, 국내 통신방송 위성 사업 추진을 목표로 제시하였다.

이러한 목표 설정을 위해 ①우정 부문에서는 우편물량의 수요예측과 우체국사 증설 계획을, ②체신금융 부문에서는 체신금융 규모 추정과 온라인화, 체신금융의 새로운 서비스 계획을, ③전기통신 부문에서는 전신·전화의 수요예측과 공급계획을 수립하고, 새로운 서비스 수요예측과 도입 시기 전망 및 인력과 자원 계획을, ④전파 및 매스·미디어 부문에서는 전파 및 방송의 다양화와 고도화에 따른 종합계획과 전파이용 질서 확립방안 및 전파행정의 효율화 방안을 연구하였다.

특히 KETRI 경제분석연구실에서 수행한 “2000년대 통신부문 발전전망 : Vision 2000”에서는 한국전기통신공사와 유기적인 관계를 유지하면서 연구 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 AT&T, ITT와 공동으로 새로운 통신서비스에 대한 수요예측과 서비스 발굴을 진행하였으며, 통신기술의 발전추세를 기초로 ISDN 구조와 기능에 대한 연구를 기초로 우리나라의 ISDN 추진전략을 제시하는 등 전체 연구의 방향과 전략을 바로 잡는 역할을 담당하였다.



Vision 2000 연구수행 내용 및 절차

## 정보보호

IoT, 클라우드 컴퓨팅, 인공지능, 5G·6G 이동통신 기술 등의 발달로 모든 기기가 네트워크로 연결되는 초연결 사회가 도래하였다. 이에 따라 인류는 이전과 비교할 수 없는 편리함을 누리게 되었지만, 동시에 초연결 인프라가 해킹 등의 이유로 오동작할 경우 상상을 초월하는 피해를 볼 수도 있게 되었다. 또한, 최근에는 인공지능으로 무장한 사이버 공격까지 등장하고 있어 이에 대응할 더 지능적이고 능동적인 방어체계 구축이 시급해졌다. 이에 ETRI는 앞으로 더욱 스마트하고 자율적이며 지능화된 사이버 자가방어 체계를 구축하기 위한 노력을 계속할 것이며, 보안과 안전이 보장되는 초연결사회 건설을 위해 최선을 다할 것이다.

## 블록체인

2020년 창궐한 코로나19로 인해 경제사회 전반에 디지털 전환이 급속도로 일어나고 비대면 문화가 확산하면서, 추가적인 신뢰 보장장치 없이도 상호 거래에 신뢰를 부여하는 블록체인 기술의 중요성은 점점 더 커지고 있다. 이에 따라 전 세계적으로 블록체인 핵심 원천기술개발과 다양한 응용서비스 적용을 통한 기술 리더십 확보 경쟁은 날로 치열해지고 있다. 앞으로 ETRI는 기존 블록체인의 한계를 극복할 기술을 지속해서 개발하고, 여기에 IoT·인공지능·빅데이터 등 4차 산업혁명 선도기술들을 융합함으로써 글로벌 기술경쟁에서 선두를 확보할 수 있도록 최선을 다할 것이다.

## 창의연구

ETRI는 2019년 '미래를 만들어가는 국가지능화 종합연구기관'이라는 새로운 비전을 수립·발표하면서 기관운영의 4대 목표 가운데 하나를 '창의·도전연구 활성화로 미래성장 준비'로 정하였다. 이와 함께 창의연구를 더욱 강조하여 'ICT창의연구소'를 새롭게 개편하였다. (미래원천연구본부, 소재부품연구본부, 실감소자원천연구본부, 광무선원천연구본부, 양자기술연구단) 이러한 기관의 정책적 지원에 힘입어, 앞으로 ICT창의연구소는 기존에 없던 파괴적 창의연구를 지속해서 추진함으로써 국가의 미래 성장동력을 확보하고자 최선을 다할 것이다.

## 표준

ETRI는 1980년대 중반부터 ETRI 차원과 국가 차원의 국내외 표준화 활동을 추진하여 국내 기업(기술)이 글로벌 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있도록 노력해왔다. 앞으로는 과학기술정보통신부의 「디지털뉴딜을 이끄는 DNA+ICT 융합 표준혁신전략」과 연계하여 4차 산업혁명 핵심기술 표준개발, 범부처 협력형 ICT 융합표준 개발, 오픈소스 기반 개방형 ICT 표준개발, 미래 핵심기술 표준전문연구실 운영 등을 적극적으로 추진할 계획이다. 또한, 'R&D-오픈소스-표준화' 연계 체계를 공고히 함으로써 표준의 시장가치를 극대화하는 입체적 표준화를 추진할 예정이다. 이를 통해 수요자와 국민편익을 위한 표준화 활동을 강화하고, 뉴 노멀시대 대한민국 ICT 기술의 글로벌 표준화를 견인해나갈 것이다.

## 정책

정책연구 부문에서는 '국가지능화를 선도하는 ICT 정책 Think-Tank'라는 비전을 달성하기 위해 앞으로도 글로벌 경제·산업·시장의 패러다임 변화를 분석하고 이를 선도할 정책들을 연구할 것이며, 국민 생활문제 해결형 지능화 솔루션 개발을 위한 R&D 방향성을 제시하고, 타부서와의 협업을 통해 대형과제 기획을 위한 타당성 분석도 계속해서 수행해나갈 것이다.

또한, 새롭게 재정립한 ETRI R&R을 효과적으로 실행할 방안 마련에 주력하여, '디지털 미래기술 개발로 인류가 직면한 한계(시간적, 공간적, 지능적, 언어적, 감각적, 물리·신체적 한계)를 극복하고 국가지능화에 기여한다'는 기관 미션을 성공적으로 이뤄낼 수 있도록 최선을 다할 것이다.



# 부록

역대 기관장

역대기관장

오현위		한국전자기술연구소 소장		1977.2. ~ 1977.11.
정성계		한국전기기기시험연구소 소장		1977.2. ~ 1980.7.
한상준		한국전자기술연구소 소장		1977.11. ~ 1981.2.
정만영		한국통신기술연구소 소장		1977.11. ~ 1981.1.
최순달		한국통신기술연구소 소장		1981.1. ~ 1982.4.
		한국전기통신연구소 소장		1981.1. ~ 1982.5.
		한국전자기술연구소 소장		1981.2. ~ 1982.5.
박헌서		한국전자기술연구소 소장 서리		1982.5. ~ 1982.6.
백영학		한국전기통신연구소 소장		1982.6. ~ 1984.7.
김정덕		한국전자기술연구소 소장		1982.7. ~ 1985.1.
경상현		한국전기통신연구소 소장		1984.7. ~ 1985.3.
		한국전자기술연구소 소장		1985.1. ~ 1985.3.
		한국전자통신연구소 소장		1985.3. ~ 1992.5.
양승택		한국통신기술연구소 소장 서리		1982.5. ~ 1982.6.
		한국전자통신연구소 소장		1992.5. ~ 1997.1.
		한국전자통신연구원 원장		1997.1. ~ 1998.3.
정선중		한국전자통신연구원 원장		1998.4. ~ 2001.3.
오길록		전자통신연구원 원장		2001.4. ~ 2003.10.
임주환		전자통신연구원 원장		2003.11. ~ 2006.11.
최문기		전자통신연구원 원장		2006.11. ~ 2009.11.
김홍남		전자통신연구원 원장		2009.11. ~ 2015.12.
이상훈		전자통신연구원 원장		2015.12. ~ 2018.12.

부설 기관장

성기수		시스템공학연구소 소장		1967.6. ~ 1992.2.
신동필		시스템공학연구소 소장		1992.2. ~ 1992.8.
김문현		시스템공학연구소 소장		1992.8. ~ 1996.6.
오길록		시스템공학연구소 소장		1996.6. ~ 1998.5.

한국전자기술연구소



/  
오현위 소장  
1977.2. ~ 1977.11.



/  
한상준 소장  
1977.11~1981.2.



/  
박헌서 소장 서리  
1982.5. ~ 1982.6.



/  
김정덕 소장  
1982.7. ~ 1985.1.



/  
정성계 소장  
1977.2. ~ 1980.7.

한국통신기술연구소



/  
정만영 소장  
1977.11. ~ 1981.1.

한국전기통신연구소



/  
최순달 소장  
1981.1. ~ 1982.5.



/  
백영학 소장  
1982.6. ~ 1984.7.

한국전자통신연구소



/  
경상현 소장  
1984.4. ~ 1992.5.

부설 시스템공학연구소



/  
성기수 소장  
1990.12. ~ 1992.2.



/  
신동필 소장  
1992.2. ~ 1992.8.



/  
김문현 소장  
1992.8. ~ 1996.6.

한국전자통신연구원



/  
양승택 원장  
1992.5. ~ 1998.3.



/  
정선중 원장  
1998.4. ~ 2001.3.



/  
오길록 원장  
2001.4. ~ 2003.10.



/  
임주환 원장  
2003.11. ~ 2005.11.



/  
최문기 원장  
2006.11. ~ 2009.11.



/  
김홍남 원장  
2009.11. ~ 2015.11.



/  
이상훈 원장  
2015.12. ~ 2018.12.



편찬 후기

ETRI 45년사를 발간하기로 한 시점은 2019년 12월부터였다. 지난 45년간 연구진들이 대한민국 ICT 발전에 어떤 공헌을 했는지 꼼꼼하게 살펴보기 위해 편찬기획부터 인쇄까지 약 1년 6개월간 대장정이 이뤄졌다.

편찬위원회 TF를 구성한 뒤, 편집 방향을 도출하고 체계를 갖추며 ETRI의 잊혀진 연구개발사를 되살리는 작업은 만만치 않았다. 하지만 ETRI의 연구 분야를 총망라하여 6개의 대분류, 30개의 중분류, 242개 소분류로 체계화하고 넓게 살펴본 일은 매우 뜻 깊었다. 혹시라도 잊혀진 성과를 찾아내고 그 의미를 부여하기 위해 온 집중을 다 하던 유익한 경험도 할 수 있었다.

집필 과정에서 ETRI 선배들이 불철주야 대한민국 ICT 역사에 한 획을 긋기 위해 흘린 땀과 쏟은 열정을 절로 느낄 수 있었다. 이에 작은 성과 하나라도 놓치지 않고 연구의 성공과 실패의 명암, ICT 대한민국 강국을 이끈 핵심 노하우까지 담아내고자 노력했다.

본 사시는 향후 ETRI 50년사를 제작하는데 핵심 기반이 되길 바라는 마음에서 집필하였다. 아울러 직원의 사기진작은 물론, 기관의 역사를 제대로 기록하고 바로 세우는 역할을 해주었길 바란다. 내용은 영문으로도 번역해 대한민국 ICT 발전사를 모든 나라에 전수코자 한다. 이로써 글로벌 ETRI의 위상이 더욱 빛나게 될 것이다.

우리 연구원이 앞으로도 핵심 원천기술의 확보로 우리나라 경제 성장과 국부창출에 더욱 이바지할 수 있기를 바란다. 아울러 국민들에게 더욱 사랑받는 ETRI로 거듭나기 위해 우리 국민의 삶을 풍요롭게 하는 연구도 더욱 늘어나길 바란다.

이번 ETRI 45년 연구개발사를 집필하는 데 힘을 쏟아준 300여 명의 연구진과 편찬위원, 그리고 많은 도움을 주신 ETRI 홍보실 등에게 깊은 감사를 전한다.

ETRI 45년사 편찬위원회 위원장  
황 승 구

ETRI 연구개발 45년사  
편찬위원회



뒷 줄 왼쪽부터 정길호 간사, 박종팔, 최완, 오성대, 조철호, 김승환, 정교일, 김현 편찬위원  
앞 줄 왼쪽부터 김진웅 편찬위원, 황승구 편찬위원장, 한동원 편찬위원

편찬위원장

황승구 연구전문위원

편찬위원

김 현	책임연구원	유계훈	연구전문위원	지경용	연구전문위원
김승환	책임연구원	이인석	책임행정원	최 완	연구전문위원
김영진	연구전문위원	이진호	연구전문위원	최재익	연구전문위원
김진웅	책임연구원	장중수	책임연구원	한동원	연구전문위원
박종팔	책임행정원	정교일	연구전문위원		
엄낙웅	책임연구원	정하재	연구전문위원		
오성대	책임행정원	조철호	정책전문위원		

간사

정길호 책임행정원

담당

박상년 책임기술원(사진) 정이찬 행정원(갑수) 백지현 행정원(갑수)

도움 주신 분들

통신

강규민	김도영	김태일	방송찬	안도섭	이문식	전순익	최재익
강민수	김선미	김태중	변우진	양선희	이병선	정병장	최형도
강현서	김승환	나지현	손호경	엄만석	이상옥	정원찬	홍성백
고남석	김영진	류득수	송명선	염인복	이희수	정태수	
고제수	김일규	문정익	신성문	유계훈	장대익	정희상	
권종화	김종호	박광문	신재승	윤영근	장동필	조인귀	
김광선	김진업	박윤옥	신천식	이 훈	전경규	주범순	

방송미디어콘텐츠

강경옥	김진웅	박지영	안충현	이준석	정일권	최동준	홍진우
강정원	남제호	박지현	양규태	이지형	정준영	최진성	
구분기	류성원	박창준	이광순	이진환	조기성	최진수	
권오형	박성택	배병준	이기석	이태진	조용성	허남호	
김명규	박성익	서재현	이봉호	임성창	지형근		
김진서	박중기	서정일	이승재	정원식	채종석(백직)		

SW컴퓨팅

강동재	김영균	김학영	박유미	신형철	이영직	전인걸	정현태
김기덕	김영길	김홍연	박종열	우영춘	이용주	전형배	최 완
김상훈	김원영	남택용	박준석	이동우	이형석	정문영	한동원
김선옥	김정시	마평수	백의현	이명철	이훈순	정성인	허성진
김선자	김진삼	박선택	손용기	이미영(백직)	임준호	정영우	
김성운	김창수	박승민	송윤정	이수형	임채덕	정영준	

반도체소재부품

강동민	김상기	문기원	박종문	엄낙웅	이명래	정용덕	최병수
강만구	김성민	문승언	박찬우	오광룡	이성규	정진우	최중선
강승열	김종희	민병규	백용순	유현규	이의수	조남성	최춘기
구진근	김태완	민봉기	안성덕	윤선진	이일민	조성목	한영탁
권오균	김현탁	박강호	양우석	윤천주	이진호	조성운	황용수
김광만	김혜진	박경현	어익수	윤형섭	임정옥	주정진	황치선

ICT융합

강신옥	박건식	박종현	성경복	유한영	이인환	정 훈	최용훈
김 현	박문성	박주덕	송유승	이강복	이일우	정유현	최재훈
김승환	박소영	박준희	신동호	이대식	임종원	정호열	최정단
김재홍	박수준	박찬원	신영미	이상홍	장용원	조영조	표철식
나동길	박영수	방효찬	안창근	이수열	장인성	최문옥	허 철
민경옥	박완기	서범수	유영웅	이용태	전종암	최병철	

기반연구

강신각	김기영	박종대	오명훈	이원석	전성익	조상래	최병철
권동승	김수형	신명기	오진태	이주철	정교일	지경용	하수옥
권혁찬	김정녀	심태형	윤현정	이현진	정영식	지하재	
김진우	문대성	양규태	이병길	장중수	정하재	최두호	

# ETRI 연구개발 45년사

**발행일** 2021년 4월 5일  
**발행인** 김명준  
**발행처** 한국전자통신연구원  
대전광역시 유성구 가정로 218  
(042) 860-6114  
www.etri.re.kr  
**기 획** 한국전자통신연구원 / (주)홍커뮤니케이션즈  
**제 작** (주)홍커뮤니케이션즈 www.hongcomm.com

이 책 내용의 일부 또는 전부를 재사용하려면 반드시 원저작자의 동의를 받아야 합니다.  
사전 동의 없는 저재, 무단 복제를 금합니다.