

# 유연 멀티모달 촉각센서 기반 지능형 로봇 그리퍼 기술(요약)

성과Track	기초·미래선도	산업육성	국가·사회문제해결	
		○	-	탄소중립여부 -
협약(세부)과제명	자유형상 고정적 융복합센서를 위한 유연인장 하이브리드 센서 플랫폼 기술 개발 / 운동능력 강화 자율 소프트웨어 기술개발 (인간-슈트 상호작용 센싱을 위한 유연센서 기술개발)			
과제번호	협약(세부) 과제번호		NTIS 과제번호	
	23PB1200(23PB1210) / 23HS5900(23HS5940)		1415184141 / 1711193390	
성과목표	[1-2] 고령화 사회의 스마트 라이프 실현을 위한 자율시스템(로봇-지울주행차) 원천기술			
총 연구기간	2022년 4월 1일 ~ 2028년 12월 31일			
총 연구비	총 12,038.62 백만원		정부: 11,676백만원 / 민간: 362.62백만원	
연구책임자	연구자 성명	직할부서	연구본부/연구실	직위/직급
	김혜진	초지능창의연구소	소재부품연구본부/ 지능형부품센서연구실	책임연구원
기선정 등 (해당 시)	기선정자	기선정 과제		다과제
	( )	( )		( ○ )

## 성과 정보

- 성과 내용**
- **세계최고수준의 고신축/고신뢰 유연인장 센서 기반 플랫폼 핵심기술 확보로, 차세대 첨단센서 공통 플랫폼 기술 선도**
    - 반도체 공정 호환 유연인장 센서 기반 일괄공정 개발 및 인장변형에 대한 기계적/전기적 신뢰성 확보 (최대 신축률: >120%, 30% 반복신축(30% x10<sup>3</sup>회) 후 저항 변화율: <0.48%)
    - 다중센서(압력/밴딩/온습도/근접센서 등) 집적이 가능한 인공피부 기반 설계/공정기술 개발 : SCI 1편 게재(Adv. Fuct. Mater. 상위 4.2%, IF 19), 국내특허 3건 출원완료, 국제 2건 진행 중
    - 유연인장 센서 플랫폼의 인장 및 복합변형 성능평가 관련 국내표준 채택 : TTA 국내표준 1건 채택 완료, 추가 1건 진행 중
  - **고유연 멀티모달 촉각센서 및 지능형 감각패턴 인지/분류 원천기술 개발로, 센서 부품/모듈 기술경쟁력 제고에 기여**
    - 대면적 유연인장 기반 플랫폼 기반 고민감 압력센서 구조 원천기술 확보 : 국내3건, 국제2건 출원완료(상위 5% 우수논문 연계 국제표준특허 1건 포함), 국제3건 진행 중
    - 반복신축에 대한 센서 성능 안정성 확보 (민감도 변화율: <2.9% @30% 반복신축(x10<sup>3</sup>회))
    - 고유연/고민감 촉각센서 구조 핵심기술 및 AI 기반 촉각패턴 인지/분류 알고리즘 개발 : 관련분야 세계권위지 SCI 논문 2편 게재 (npj Flexible Electronics(상위 2%, IF 14.6) 및 Adv. Intell. Syst.(상위 13.077%, IF 7.4, back cover) 및 TTA 국내표준 1건 채택 완료
    - '유연 나노복합체 기반 압력센서 기술' 관련 기술이전 1건(4천만원) 달성
  - **멀티모달 센서 기반 실시간 피드백 제어 지능형 로봇 그리퍼 기술로, 응용산업 육성에 기여**
    - 고유연 멀티모달 촉각센서 기반 물체의 강성과 크기를 정확히 인지/분류하는 차세대 로봇 그리퍼 기술 전시/시연 (나노코리아 2023 국제전시회 VIP 시연 및 홍보) : '사람처럼 감각 느끼는 로봇 팔', 전자신문 등 주요 일간지 언론홍보
    - '차세대 로봇 그리퍼, 촉감을 연다', ETRI 웹진 v.229 홍보
    - '사람처럼 촉감 느끼는 '로봇 손'', KBS, YTN, MBC 등 주요 방송사 언론홍보

정량성과	기본 지표	논문		특허				기술이전	
		SCI(건)	비SCI(건)	해외(건)		국내(건)		건수	금액 (백만원)
				출원	등록	출원	등록		
	3	12	2		6		1	40	
심화 지표	표준화된 IF 상위 20% SCI 논문(건)		특허활용률 (기술이전건수/ 특허등록보유건수)		국제표준승인표준 기고서(건)		3급 특허(건)	연구비 대비 기술료 수입(%)	
	1								

**대표성과 1** ○ Intelligent gripper systems using air gap-controlled bimodal tactile sensors for deformable object classification, 민유림, 김윤정, 진한빛, 김혜진, *Advanced Intelligent Systems*, 2300317, 2023년 8월, IF 7.4

**대표성과 2** ○ On-skin and tele-haptic application of mechanically decoupled taxel array on dynamically moving and soft surfaces, 권세영, 박경석, 진한빛, 구창연, 오승진, 심주영, 염우섭, 김택수, 김혜진, 스티브박, *npj Flexible Electronics*, Vol. 6, No. 98, 2022년 12월, IF 14.6

# 2023년도 ETRI 대표성과 요약서(상세)

## 1. 성과명

유연 멀티모달 촉각센서 기반 지능형 로봇 그리퍼 기술

## 2. 성과내용

### 기술개발 목표달성도

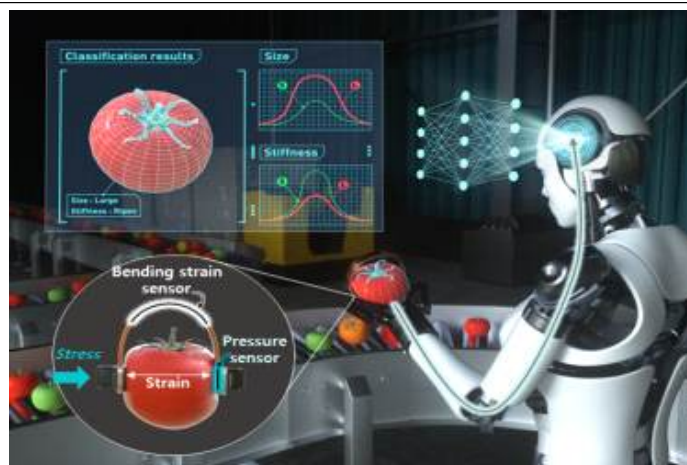
#### 기술적 선점이 필요한 분야

- 본 기술은 기존 반도체/MEMS 칩 센서, 유연 센서 등의 고민감/고정밀 특성뿐 아니라 높은 형상 순응도, 자유형상 변형에 대한 높은 기계적/전기적 신뢰성 등을 동시 확보할 수 있는 유연인장형 하이브리드 센서 플랫폼 기술로, 로봇, 모바일/스마트기기, 웨어러블, 헬스케어 등 다양한 응용산업에서의 핵심기술 선도와 산업육성에 기여할 수 있음
  - 기존 로봇용 그리퍼(Gripper)는 수동적 제어 시스템이 적용되어 다양한 물체, 특히 변형되는 소프트한 물체에 대한 크기 및 물성을 정확히 감지하는 데 한계가 있음.  
따라서, 다종의 센서가 집적된 유연인장 멀티모달 촉각센서를 로봇 그리퍼에 적용하여, 사람의 피부와 같이 물체의 특성을 정확히 인지하고 능동적인 힘 제어와 자연스러운 동작 피드백 제공이 가능한 지능형 로봇 그리퍼 기술에 대한 핵심기술 선점이 필요

#### 기술개발 목표

- 유연 멀티모달 촉각센서 기반 지능형 로봇 그리퍼 기술 개발
  - (목표 ①) 고신축/고신뢰 유연인장 센서 기반 플랫폼 핵심기술 확보
  - (목표 ②) 고유연 멀티모달 촉각센서 및 지능형 감각패턴 인지/분류 기술개발
  - (목표 ③) 유연 멀티모달 촉각센서 기반 실시간 피드백 제어형 로봇 그리퍼 개발

<기술개발 개념도>



<유연 멀티모달 촉각센서 기반 지능형 로봇 그리퍼 기술 개념도>

□ 기술개발 목표의 달성 성과 및 핵심기술 확보

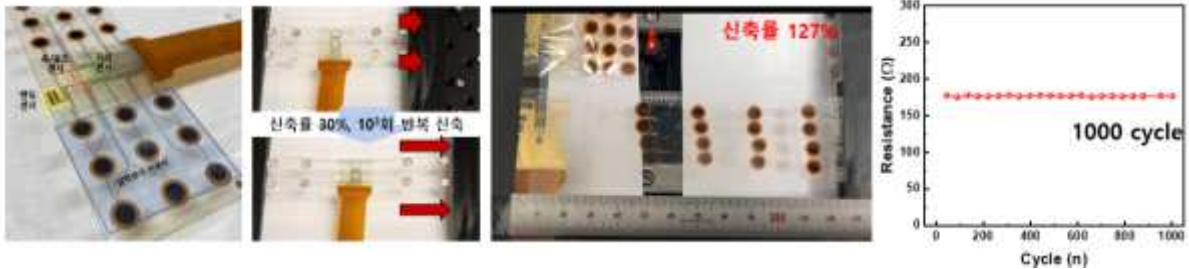
[개발목표 ①]

➔ 세계최고수준의 고신축/고신뢰 유연인장 센서 기판 플랫폼 핵심기술 확보

- (세계최고) 반도체 공정 호환 유연인장 센서 기판 일괄공정 개발 및 인장변형에 대한 기계적/전기적 신뢰성 확보

: 반도체 공정과 호환되어 일괄공정으로 다중센서(압력, 밴딩, 온/습도, 근접)가 집적된 대면적 웨이퍼레벨 유연인장 센서 기판 플랫폼 핵심기술을 개발

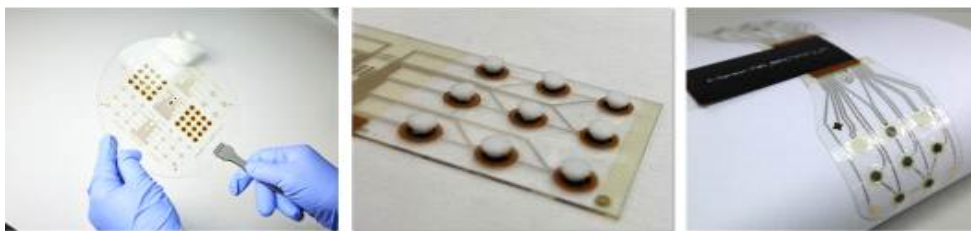
: 최대 신축률 120% 이상, 반복신축(신축률 30%,  $\times 10^3$ 회) 후 저항 변화율 0.48% 이하를 달성하여 고신축/고신뢰 특성 확보



<5종 센서가 집적된 유연인장 하이브리드 센서 기판의 이미지(좌) 및 반복신축(30%,  $\times 10^3$ 회)에 대한 기계적(중)/전기적(우) 신뢰성 검증>

- 다중센서(압력/밴딩/온·습도/근접센서 등) 집적이 가능한 인공피부 기판 설계/공정기술 개발

: 로봇 그리퍼의 자유로운 형상에 밀착되어 다양한 물체를 최적으로 파지하기 위해 필수적인 멀티모달 정보를 제공하는 다중센서 집적형 인공피부 기판 설계/공정 핵심기술 개발



<로봇 그리퍼 인공피부를 위한 다중센서 집적형 대면적 기판(좌), 압력센서 어레이(중) 및 압력/진동 복합센서 어레이(우)>

- 유연인장 하이브리드 센서 기판 플랫폼 관련 성과 실적

: (특허) 유연인장 기판 구조 관련 국내특허 3건 출원 완료, 추가 국제특허 2건 출원 진행 중

: (논문) 유연인장 기판 구조 관련 상위 5% 논문 1편(Advanced Functional Materials, 상위 4.213%, IF 19) 게재

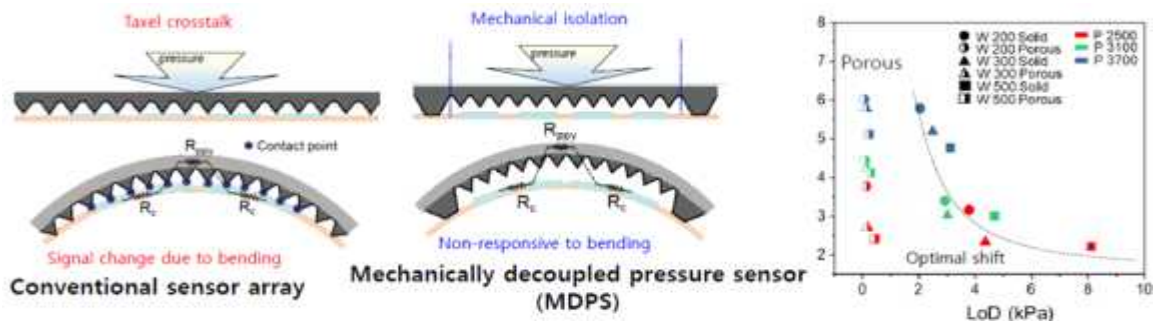
: (표준) 유연인장 센서 플랫폼의 인장 및 복합변형 성능평가 관련 TTA 국내 표준 1건 채택 완료, 인장 변형률 분포 평가방법 추가 1건 진행 중

[개발목표 ②]

➔ **고유연 멀티모달 촉각센서 및 지능형 감각패턴 인지/분류 원천기술 개발**

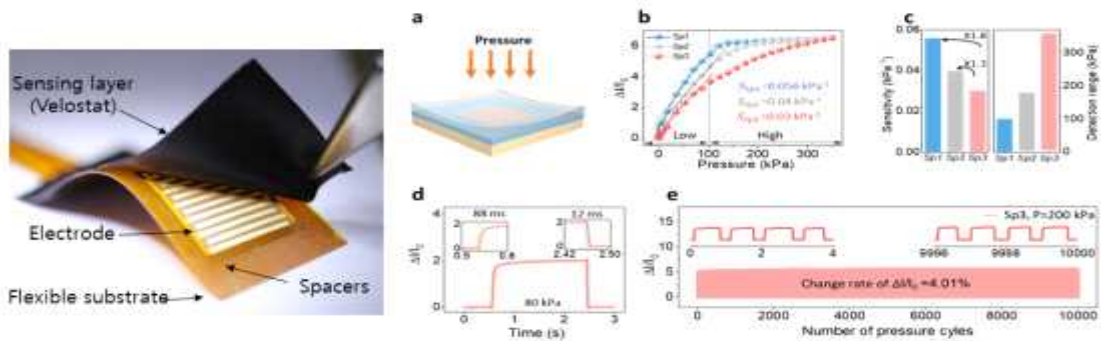
• **대면적 유연인장 기판 플랫폼 기반 고민감 압력센서 구조 원천기술 확보**

: 피라미드와 사다리꼴 혼합구조 기반의 **밴딩에 둔감한 고민감 압력감지 미세 구조체 구조 원천기술을 확보**하였으며, 다공성 구조 도입 및 구조 최적화를 통해 2.7mm 최소곡률반경과 190Pa 최소 압력감지 특성을 달성



<피라미드 압력센서 구조별 압력에 따른 전기적 특성 결과>

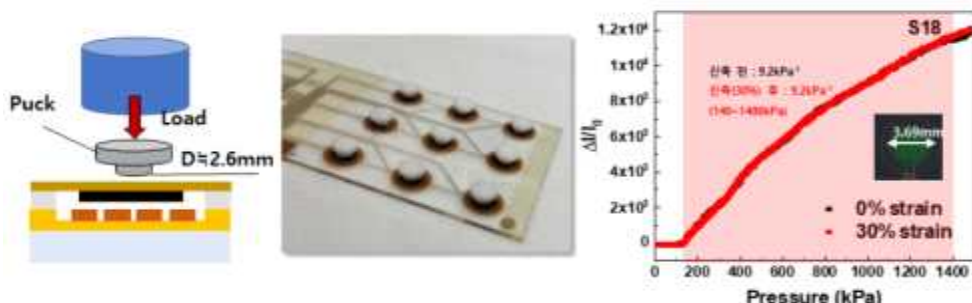
: 나노 에어갭 구조 기반의 **유연 촉각센서 핵심기술을 확보**하여, 로봇 그리퍼가 물체를 파지하는 데 필요한 광대역 압력 감지범위(5~360 kPa) 및 반복가압에 대한 신뢰성( $10^4$ 회 반복가압 후 센서의 민감도 변화율: <4.01%) 검증



<나노 에어갭 구조를 갖는 유연 압력센서(좌) 및 민감도 특성평가 결과(우)>

• **압력집중 구조체를 적용한 촉각센서 개발 및 반복신축 성능 안정성 확보**

: 그리퍼의 파지에 따른 압력센서 민감도 개선을 위해 **압력집중 구조체를 설계**하였으며, 이를 적용한 촉각센서의 민감도는 140~1400kPa의 광대역에서  $9.2\text{kPa}^{-1}$ 로 반복신축(신축률 30%,  $\times 10^3$ 회)에 대해 높은 성능 안정성을 보임



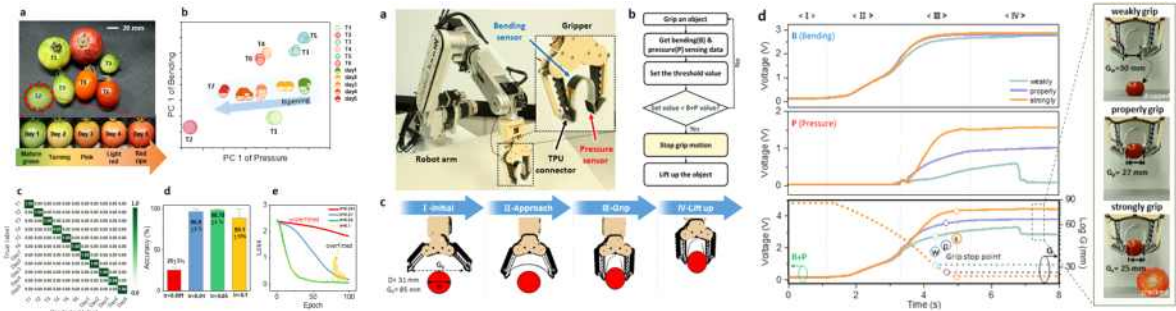
<압력집중 구조체를 적용한 촉각센서 구조도(좌) 및 이미지(중), 반복신축(30%,  $\times 10^3$ 회) 후 민감도 특성(우)>



- **고유연/고민감 촉각센서 구조 최적화 및 AI 기반 촉각패턴 인지/분류 알고리즘 개발**

: 고유연 멀티모달 촉각센서(압력/밴딩) 데이터를 기반으로 인공지능망을 이용해 크기와 강성이 11종의 다른 물체(토마토)를 98.78%의 높은 정확도로 분류하는 알고리즘 기술을 확보

: 토마토를 수확한 후 5일에 걸쳐 숙성됨에 따라 변화하는 물성 정보를 유연 멀티모달 센서와 지능형 알고리즘을 통해 구분할 수 있음을 검증



<지능형 로봇 그리퍼를 활용한 분류 실험 결과>

- **고유연/고민감 촉각센서 및 지능형 알고리즘 관련 성과 실적**

: (특허) 고민감/고유연 압력센서 구조 관련 국내특허 3건, 국제특허 2건 출원 완료, 추가 국제특허 3건 출원 진행 중

: (국제표준특허) 상위 5% 이내 우수논문 연계 국제표준특허 1건 실적

: (논문) 세계권위지 SCI 논문 2편 게재 (npj Flexible Electronics(상위 2%, IF 14.6) 및 Advanced Intelligent Systems(상위 13.077%, IF 7.4, back cover)

: (표준) 고민감 압력센서 성능평가 관련 TTA 국내표준 1건 채택 완료, 추가 1건 진행 중

: (기술이전) ‘유연 나노복합체 기반 압력센서’ 관련 기술이전 1건 (착수료 4천만원) 달성 ( ‘23.03)

[개발목표 ③]

➔ 유연 멀티모달 촉각센서 기반 실시간 피드백 제어형 지능형 로봇 그리퍼 개발

- **고유연 멀티모달 촉각센서 기반 물체의 강성과 크기를 정확히 인지/분류하는 차세대 로봇 그리퍼 기술 전시 및 시연 (신기술)**

: 유연인장 하이브리드 센서 플랫폼 기반 멀티모달 촉각센서(압력/밴딩) 기술과 인공지능 알고리즘을 융합하여 약 20여 종의 다양한 물체의 크기와 강성을 구분하는 지능형 로봇 그리퍼 시스템을 개발

: 나노코리아 2023 국제전시회 VIP 시연 및 홍보 ( ‘23.07)



<유연 멀티모달 촉각센서의 압력/밴딩 신호(좌), 센서가 장착된 지능형 로봇 그리퍼의 나노코리아 2023 VIP 시연(중) 및 IMU/촉각센서가 장착된 로봇 그리퍼 기술 언론홍보(우)>

- 유연 멀티모달 촉각센서가 장착된 지능형 로봇 그리퍼 기술 관련 성과 실적
  - : (전시) 나노코리아 2023 국제전시회 기술 전시/시연 및 홍보
    - ‘차세대 로봇 그리퍼’, ‘촉각과 모션을 감지하는 로봇암’ 전시/시연
    - ‘사람처럼 감각 느끼는 로봇 팔’, 전자신문 등 주요일간지 홍보 (7/5)
  - : (홍보) ‘차세대 로봇 그리퍼, 촉감을 얻다’, ETRI웹진 v.229 홍보 (7/28)
  - : (방송) ‘사람처럼 촉감 느끼는 로봇 손’, KBS, YTN, MBC 등 주요 방송사 언론홍보 (10/15)



<고유연 멀티모달 촉각센서 기반 차세대 로봇 그리퍼 기술 언론홍보>

### 3. 우수성 및 차별성

#### 기술수준 향상 성과

- 본 과제에서 개발된 유연인장 하이브리드 센서 플랫폼 기술은 반도체 공정과 호환되어 일괄공정으로 다중센서의 집적이 가능한 자유형상의 첨단센서 공통 플랫폼 핵심기술로서, 기존 전통적인 센서 부품/모듈의 벌키(bulky)하고 딱딱한 형상/기능적 한계를 극복하는 혁신 기술임
- 반도체 공정 호환이 가능한 유연인장 센서 기판 일괄공정을 통해 최대 신축률 120% 이상, 30% 신축률 조건에서 1천 회 반복신축 후 0.48% 이하의 미미한 저항 변화율 확보로, 유연인장 센서 기판 플랫폼 기반 기계적/전기적 신뢰성을 확보함(세계최고)

- 형상과 강성이 다른 형태의 칩센서, 유연센서 등을 웨이퍼레벨 일괄공정으로 집적, 접합하는 핵심공정 기술을 개발함으로써, 로봇, 스마트기기, 헬스케어 분야에 적용되는 인공피부 핵심 설계/공정/평가 전반의 인프라 구축 및 기술지원 서비스 진행 중 (사업 내 그룹과제 연계 프로그램 구성 및 플랫폼 기술지원 서비스 중)
  - 유연인장 센서 플랫폼 관련 SCI 논문 1건(Advanced Functional Materials, 상위 4.213%, IF 19)을 게재하였으며, 국내특허 3건 출원 완료, 추가 국제특허 2건이 출원 진행 중으로, 관련분야 다수의 지식재산권 창출에 기여
  - 유연인장 하이브리드 센서 기판의 인장 및 복합변형 성능평가와 관련한 국내표준 1건이 채택 완료되었으며, 추가 1건 국내표준 및 2건의 국제표준화 진행 중
  - 로봇, 모바일/스마트기기, 바이오/헬스케어, 공공수요(스마트팩토리, 스마트팜) 등 주요 산업 분야에서의 응용이 가능하여 기술 확장성이 우수함
- 자유로운 변형과 외부자극에 노출되는 환경에서도 높은 민감도와 정확도를 갖는 고유연 멀티모달 촉각센서 소재/소자 원천기술을 확보하였으며, 다중센서 기반의 지능형 감각패턴 인지/분류 알고리즘 핵심기술을 개발하여 센서 부품/모듈 기술 경쟁력 제고에 기여
- 2.7mm 최소 곡률반경의 밴딩 변형에도 영향받지 않고 동시에 190Pa의 미세한 압력도 감지할 수 있는 고민감/고정확 유연 압력센서 핵심구조 기술을 확보하였으며, 소재분야 최우수권위 SCI 논문 1건(npj Flexible Electronics, 상위 2%, IF 14.6) 성과 및 최우수논문과 연계된 국제표준특허 1건 실적을 창출함
  - 나노 에어갭 구조의 압저항형 멀티모달 촉각센서(압력/밴딩센서) 구조를 개발하여, 광범위한 압력감지 범위에서 1만 번의 가압 내구성 테스트에서 4.01% 이하의 민감도 변화율을 달성하여 센서의 정확도를 높였으며, 또한 넓은 밴딩 변형을 범위에서 1만 번 반복 굽힘 테스트 후 4.48% 이하의 변화율로 밴딩센서의 성능 안정성을 확보함. 고민감/고정확 센서 구조 및 AI 기반 지능형 알고리즘 관련 SCI 논문 1건(Advanced Intelligent Systems, 상위 13.077%, IF 7.4, back cover) 및 국내특허 3건, 국제특허 2건 실적을 달성하였으며, 추가 국제특허 3건을 출원 중
  - 그리퍼의 파지 동작에 있어서의 압력센서 민감도 개선을 위해 압력집중 구조체를 개발하였고, 이를 적용한 촉각센서의 민감도 특성은 140~1400kPa의 광대역에서  $9.2\text{kPa}^{-1}$ 로 반복신축(신축률 30%,  $\times 10^3$ 회)에 대해 높은 성능 안정성을 보여 고정확성, 고안정성, 고신뢰성을 동시 달성하는 센서 구조 핵심기술을 확보함
  - 고민감 센서 관련 국내표준 1건이 채택 완료되었으며, 추가 1건 국내표준 진행 중
  - 유연 나노복합체 기반 고민감 압력센서 기술 관련 중소기업에 기술이전 1건(착수금 4천만원, 매출정률 1.25%, '23.03)을 달성하였으며, 트레이드밀 및 인솔 건강관리 솔루션으로 사업화를 진행 중임
  - 본 과제에서 개발된 핵심 센서 소재/소자 기술은 로봇의 인공피부뿐 아니라 생체 센서 패치(심탄도, 심전도, 근전도, 근활성도 등)에도 활용 가능하여 심혈관계 및

근골격계 만성질환자, 고령인 및 장애인 등 건강관리 의료 서비스를 위한 핵심 센서 기술로 확장성이 높은 기술임

- 유연 멀티모달 촉각센서 기반 지능형 로봇 그리퍼 기술은 기존 로봇 그리퍼의 수동적 제어 시스템의 한계를 극복하고 **다양한 형상과 물성의 물체에 대해 크기, 강성, 형태 등을 정확하게 감지하여 능동적으로 피드백을 제공할 수 있는 핵심기술**이며, 관련 응용분야의 기술 고도화 및 산업육성에 기여
  - 고유연 멀티모달 촉각센서 기반 지능형 로봇 그리퍼 시스템을 개발하여 **나노코리아 2023 국제전시회 VIP 시연을 통해 기술을 홍보**하였고, 전자신문, 디지털타임즈 등 주요 일간지 및 ETRI웹진 저널 홍보, KBS, MBC, YTN 등 주요방송사 언론홍보 등을 통해 연구성과에 대한 홍보 및 국가 위상 제고에 기여함

#### 세계 최고 수준 대비 연구개발 수준

- **(세계최고) 고신축/고신뢰 유연인장 하이브리드 센서 기관 플랫폼 기술**
  - 다중센서(압력/밴딩/온습도/근접센서 등)가 집적된 인공피부 기관 설계 및 공정기술 개발을 통해 세계최고수준의 센서 플랫폼 신축률(NWU(미국), 100%) 및 센서집적수(조지아공대(미국), 3종)을 뛰어넘는 연구성과를 창출함 (기술수준 100% 이상)
  - 국내최초 반도체 공정과 호환되는 6인치 유연인장 센서 기관 플랫폼 기술을 확보하였으며, 본 과제를 통해 20인치 웨이퍼 스케일의 대면적 센서 플랫폼을 목표로 하고 있어 세계최고수준의 센서 플랫폼 기술을 보유하고 있는 IMEC(벨기에, 12인치)기술을 뛰어넘을 것으로 기대됨 (기술수준 90%)
  - 세계최초 5종 이상의 다중센서가 집적된 유연인장 하이브리드 센서 플랫폼 핵심 기술을 확보하여 기술적 차별성을 기반으로 신시장 창출이 가능함
- **(세계최초) 고유연 멀티모달 촉각센서 및 지능형 감각패턴 인지/분류 기술**
  - 세계최초로 고안된 고민감 압력센서 구조를 통해 상위 5% 이내의 우수논문 실적을 달성하였으며, 이와 연계한 국제표준특허를 확보함 (기술수준 100%)
  - 세계최고수준의 고정확성을 확보하는 유연 멀티모달 촉각센서 기반 지능형 감각패턴 인지/분류 알고리즘 기술을 개발하여 SCI 논문 및 국제특허 2건을 확보함 (기술수준 100%)
  - 유연 압력센서 관련 핵심 소재와 어레이화 기술과 관련한 기술이전 실적 1건을 달성하였으며, 트레이드밀 및 인솔 건강관리 솔루션으로 사업화를 진행 중
- **(세계최고) 고유연 멀티모달 촉각센서 기반 실시간 피드백 제어가 가능한 지능형 로봇 그리퍼 시연**
  - 세계최고수준과 대등한 수준으로 20종 이상의 물체를 98.78% 정확도로 인지/분류하는 고유연 멀티모달 촉각센서 기반 지능형 로봇 그리퍼 시스템 기술을 시연 및 홍보 (기술수준 100%)



## 기술수준 공인 성과

- (지식재산권) 국내출원 6건, 국제출원 2건 핵심특허 확보 (총 8건)
  - (국내특허) 패치형 기관 및 그를 포함하는 패치형 센서 장치 (한국, 10-2023-0062879, '23.05.16)
  - (국내특허) 파지 측정을 위한 다축 압력센싱 시스템 (한국, 10-2023-0164464, '23.11.23)
  - (국내특허) 가변형 유연 공간햅틱 디바이스 (한국, 10-2023-0160604, '23.11.20)
  - (국내특허) 다자유도 생체신호 측정이 가능한 신축형 센서 패치 (한국, 10-2023-0159220, '23.11.16)
  - (국내특허) 다차원 형상가변 박막형 촉감 디바이스 및 이의 제작방법 (한국, 10-2023-0155790, '23.11.10)
  - (국내특허) 근육 상태 진단을 위한 웨어러블 근활성도 측정 장치 (한국, 10-2023-0155773, '23.11.10)
  - (국제특허) Flexible pressure sensor (미국, 18/347,163, '23.07.05)
  - (국제특허) Ballistocardiogram sensor (미국, 18/364,081, '23.08.02)
- \* 유연인장 센서 기관 플랫폼 및 고민감 센서 관련 국제출원 5건 추가 진행 중
- (논문) 상위 20% 이내 SCI 논문 3편, KCI 1편 게재, 국내/외 학술대회 11건 발표
  - (SCI) Intelligent gripper systems using air gap-controlled bimodal tactile sensors for deformable object classification, 민유림, 김윤정, 진한빛, 김혜진, *Advanced Intelligent Systems*, 2300317, '23년 8월 30일, IF 7.4, **back cover** (상위 13.077%)
  - (SCI) On-skin and tele-haptic application of mechanically decoupled taxel array on dynamically moving and soft surfaces, 권세영, 박경석, 진한빛, 구창연, 오승진, 심주영, 염우섭, 김택수, 김혜진, 스티브박, *npj Flexible electronics*, Vol. 6, No. 98, '22년 12월 21일, IF 14.6 (상위 2%)
  - (SCI) A spatially selective electroactive-actuating adhesive electronics for multi-object manipulation and adaptive haptic interaction, 황귀원, 전승환, 소진호, 김다완, 이지현, 김재익, 조광현, 박성준, 김혜진, 김민석, 양태현, 방창현, *Advanced Functional Materials*, 2308747, '23년 10월 10일, IF 19 (상위 4.213%)
  - (KCI) Highly flexible piezoelectric tactile sensor based on PZT/Epoxy nano-composite for Texture Recognition, 민유림, 김윤정, 김정남, 서새롬, 김혜진, *Journal of Sensor Science and Technology*, Vol. 32, No. 2, '23년 4월 6일
  - (국제학술대회) A form factor-free musculoskeletal sensor platform for predicting behavioral intentions, 김윤정, 민유림, 진한빛, 홍찬화, 서새롬, 임채현, 김혜진, MRS spring 2023, '23.04
  - (국제학술대회) Realistic Haptic Rendering based on Piezoelectric Multimorph

Actuators for Human-Interactive Tactile Communication System, 민유림, 김윤정, 진한빛, 김정남, 굴오스만, 김혜진, MRS spring 2023, '23.04

- **(국제학술대회)** Highly Accurate Noise Robust Texture Recognition Based-on Multi-level Feature Fusion with a Multimodal Tactile Sensing Module, 김정남, 민유림, 굴오스만, 김혜진, ICAE 2023, '23.10
  - **(국제학술대회)** Skin-attachable Electronics for On-skin Tele-haptic Applications, 진한빛, 김윤정, 민유림, 서새롬, 홍찬화, 김혜진, ISMP 2023, '23.10
  - **(국제학술대회)** A Form factor-free MMG Sensor for Muscle Activity and Fatigue Monitoring, 김윤정, 민유림, 진한빛, 서새롬, 김혜진, Nanokorea Symposium 2023, '23.07
  - **(국제학술대회)** Fingertip-inspired Piezoelectric Nanocomposite for Surface Roughness Discrimination, 민유림, 김윤정, 진한빛, 김정남, 김혜진, Nanokorea Symposium 2023, '23.07
  - **(국제학술대회)** Liquid-Metal-Based All-Soft Multidirectional Force Sensor and Machine Learning Application for Direction and Force Prediction, 굴오스만, 김정남, 민유림, 김혜진, 박인규, ICAE 2023, '23.10
  - **(국내학술대회)** Noise Endurable Texture Recognition with a Visuo-tactile Sensing Module and Machine Learning, 김정남, 민유림, 굴오스만, 김혜진, 2023 한국센서학회 추계학술대회, '23.03
  - **(국내학술대회)** Environment-adaptive Texture Recognition with Dynamic Ensemble Selection Machine Learning and Multimodal Tactile Sensing Module, 김정남, 민유림, 굴오스만, 김혜진, 2023 한국센서학회 추계학술대회, '23.10
  - **(국내학술대회)** Multimodal Tactile Sensors based on Air gap-controlled structure for Intelligent Gripper Systems, 민유림, 김윤정, 진한빛, 김혜진, 2023 한국센서학회 추계학술대회, '23.10
  - **(국내학술대회)** Liquid Metal based Soft Multidirectional Force Sensor and Deep Learning Application, 굴오스만, 김혜진, 박인규, 마이크로나노시스템학회, '23.03
- **(기술이전) 1건 실적 (착수금 4천만원, 매출정률 1.25%)**
- (주)로고스바이오일렉트로닉스에 0.4억원 기술이전 완료 ( '23.03.31)
- **(표준) TTA 국내표준 2건 채택**
- 웨어러블 전자기기의 유연인장 신축배선 비틀림 인장 복합변형 시험방법 ( '23.04.30)
  - 유연인장 근진동 센서의 성능 평가 방법 ( '23.04.30)

## 4. 성과의 활용도 및 파급효과

### 경제 활성화 효과

#### 기업 경쟁력 향상

- 유연인장 하이브리드 센서 플랫폼은 급성장하는 로봇 분야의 기업 경쟁력을 강화할 수 있을 뿐만 아니라 웨어러블/헬스케어, 의료, 모바일/스마트기기 관련 산업에서 활용 가능하며, 다중센서가 집적된 유연인장형 센서 디바이스 핵심기술에 대한 기술이전을 통해 소재/공정/설계에 관한 기술을 지원하여 기업 경쟁력 향상에 기여할 것으로 기대됨
- 기업에서는 이전받은 필름형 압력센서 기술을 상용화하기 위한 비즈니스 모델을 구체화하며, 상용 시제품 초도 생산을 통해 제품에 대한 서비스를 사용자에게 제공 가능함. 특히, 본 과제를 통해 고도화된 센서 플랫폼 시제품의 상용화를 통해 수요기업에서는 국내외 제품 마케팅을 진행하여 사업화 저변확대 및 생산기술 인력 채용 확대가 가능함

#### 산업 경쟁력 향상

- 자유로운 형상의 유연인장 센서 플랫폼에 일괄공정으로 집적되는 다종의 센서 핵심 소재/소자 기술은 로봇/스마트기기 산업분야 응용제품의 자유로운 형상 변형과 외부자극 노출 환경에서 높은 민감도 및 정확도, 신뢰성을 만족하는 핵심센서 기술로 활용될 수 있음
- 다차원적인 변형(인장, 굽힘, 비틀림 및 복합변형)에 대해 유연인장 센서 플랫폼에 대한 고성능/고신뢰성 센서 핵심기술 조기 상용화를 통해 다양한 첨단센서 응용 산업분야 경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대됨

#### 경제적 파급효과

- 자유로운 형상을 갖는 모바일/스마트기기의 발전, 스마트카의 등장, 인간과 협업하는 로봇의 진화 등 유연 인장형 센서 플랫폼 기술 기반의 첨단센서 응용 분야는 더욱 증가할 것으로 기대됨. 이러한 사회·산업·기술적 변화 속에서, 자유로운 형상으로 다양한 성능/기능을 구현하는 유연인장 하이브리드 센서 플랫폼 기술은 향후 글로벌 센서 시장 점유율 확대와 함께 신시장 개척 및 시장선도를 가능하게 할 것으로 기대됨

## 국가·사회적 파급효과

### ○ 해결해야 할 국가·사회문제

- 재난구조, 장애인 보조, 가사 보조 등 다양한 산업 분야에서 인간을 대체하는 로봇 기술이 부재하여 각종 참사 대응이나 삶의 질 향상에 한계가 있음
- 센서 분야에 대한 기술적/정책적 개발 지원환경이 선진국 대비 열악한 상황이며 이에 따라 센서 기술경쟁력 또한 미흡한 실정임

### ○ 성과에서 개발된 기술적 솔루션

- 다종의 센서가 집적된 유연인장형 멀티모달 센서를 로봇 그리퍼에 적용함으로써, 능동적이고 자연스러운 피드백이 가능한 지능형 로봇 또는 인간과 소통하는 협업 로봇 서비스를 통해 각종 재난 대응 및 인간 보조 서비스가 가능함
- 반도체 공정과 호환되는 유연인장 하이브리드 센서 플랫폼 기술을 통해 모바일/스마트기기, 자동차, 바이오/헬스케어, 공공수요 분야 등 다양한 응용 분야로 확장 가능함

### ○ 국가·사회적 파급효과

- 고유연 멀티모달 센서 및 지능형 감각 패턴 인지/분류 핵심기술 확보를 통해 국가 과학기술 경쟁력을 키우고, 기술 선점을 통한 글로벌 신시장 개척 및 시장 선도를 통해 국가 산업 발전에도 기여할 것으로 예상됨
- 멀티모달 촉각센서 기반 지능형 로봇 기술을 통해 고령화로 인한 사회의 다양한 문제를 해결하고 수명연장 및 의료비용 절감과 같은 시장요구 충족을 통한 국민 삶의 질 향상과 건강관리 개선 및 솔루션 제공에 기여할 것으로 기대됨



## [참고] 주요 성과목록

- (지식재산권) 국내 6건, 국제 2건 핵심특허 출원 (총 8건, 국제표준특허 1건)
  - (국내특허) 패치형 기판 및 그를 포함하는 패치형 센서 장치 (한국, 10-2023-0062879, '23.05.16)
  - (국내특허) 파지 측정을 위한 다축 압력센싱 시스템 (한국, 10-2023-0164464, '23.11.23)
  - (국내특허) 가변형 유연 공간햅틱 디바이스 (한국, 10-2023-0160604, '23.11.20)
  - (국내특허) 다자유도 생체신호 측정이 가능한 신축형 센서 패치 (한국, 10-2023-0159220, '23.11.16)
  - (국내특허) 다차원 형상가변 박막형 촉감 디바이스 및 이의 제작방법 (한국, 10-2023-0155790, '23.11.10)
  - (국내특허) 근육 상태 진단을 위한 웨어러블 근활성도 측정 장치 (한국, 10-2023-0155773, '23.11.10)
  - (국제특허) Ballistocardiogram sensor (미국, 18/364,081, '23.08.02)
  - (국제특허) Flexible pressure sensor (미국, 18/347,163, '23.07.05)  
: 상위 5% 이내 논문 연계 국제표준특허 (*npj Flexible Electronics*, 6, 2022, IF 14.6, 상위 2%)
  
- (논문) 상위 20% 이내 SCI 논문 3편, KCI 1편 게재, 국내/외 학술대회 11건 발표
  - (SCI) Intelligent gripper systems using air gap-controlled bimodal tactile sensors for deformable object classification, 민유림, 김윤정, 진한빛, 김혜진, *Advanced Intelligent Systems*, 2300317, '23년 8월 30일, IF 7.4, **back cover** (상위 13.077%)
  - (SCI) On-skin and tele-haptic application of mechanically decoupled taxel array on dynamically moving and soft surfaces, 권세영, 박경석, 진한빛, 구창연, 오승진, 심주영, 염우섭, 김택수, 김혜진, 스티브박, *npj Flexible electronics*, Vol. 6, No. 98, '22년 12월 21일, IF 14.6 (상위 2%)
  - (SCI) A spatially selective electroactive-actuating adhesive electronics for multi- object manipulation and adaptive haptic interaction, 황귀원, 전승환, 소진호, 김다완, 이지현, 김재익, 조광현, 박성준, 김혜진, 김민석, 양태현, 방창현, *Advanced Functional Materials*, 2308747, '23년 10월 10일, IF 19 (상위 4.213%)
  - (KCI) Highly flexible piezoelectric tactile sensor based on PZT/Epoxy nano- composite for Texture Recognition, 민유림, 김윤정, 김정남, 서새롬, 김혜진, *Journal of Sensor Science and Technology*, Vol. 32, No. 2, '23년 4월 6일
  - (국제학술대회) A form factor-free musculoskeletal sensor platform for predicting behavioral intentions, 김윤정, 민유림, 진한빛, 홍찬화, 서새롬, 임채현, 김혜진, MRS spring 2023, '23.04
  - (국제학술대회) Realistic Haptic Rendering based on Piezoelectric Multimorph Actuators for Human-Interactive Tactile Communication System, 민유림, 김윤정, 진한빛, 김정남, 굴오스만, 김혜진, MRS spring 2023, '23.04
  - (국제학술대회) Highly Accurate Noise Robust Texture Recognition Based-on Multi-level Feature Fusion with a Multimodal Tactile Sensing Module, 김정남, 민유림, 굴오스만, 김혜진, ICAE 2023, '23.10
  - (국제학술대회) Skin-attachable Electronics for On-skin Tele-haptic Applications, 진한빛, 김윤정, 민유림, 서새롬, 홍찬화, 김혜진, ISMP 2023, '23.10
  - (국제학술대회) A Form factor-free MMG Sensor for Muscle Activity and Fatigue Monitoring, 김윤정, 민유림, 진한빛, 서새롬, 김혜진, Nanokorea Symposium 2023, '23.07
  - (국제학술대회) Fingertip-inspired Piezoelectric Nanocomposite for Surface Roughness Discrimination, 민유림, 김윤정, 진한빛, 김정남, 김혜진, Nanokorea Symposium 2023, '23.07
  - (국제학술대회) Liquid-Metal-Based All-Soft Multidirectional Force Sensor and Machine Learning Application for Direction and Force Prediction, 굴오스만, 김정남, 민유림, 김혜진,

박인규, ICAE 2023, '23.10

- (국내학술대회) Noise Endurable Texture Recognition with a Visuo-tactile Sensing Module and Machine Learning, 김정남, 민유림, 곁오스만, 김혜진, 2023 한국센서학회 춘계학술대회, '23.03
- (국내학술대회) Environment-adaptive Texture Recognition with Dynamic Ensemble Selection Machine Learning and Multimodal Tactile Sensing Module, 김정남, 민유림, 곁오스만, 김혜진, 2023 한국센서학회 추계학술대회, '23.10
- (국내학술대회) Multimodal Tactile Sensors based on Air gap-controlled structure for Intelligent Gripper Systems, 민유림, 김윤정, 진한빛, 김혜진, 2023 한국센서학회 추계학술대회, '23.10
- (국내학술대회) Liquid Metal based Soft Multidirectional Force Sensor and Deep Learning Application, 곁오스만, 김혜진, 박인규, 마이크로나노시스템학회, ' 23.03

○ (기술이전) 1건 실적 (착수금 4천만원, 매출정률 1.25%)

- ㈜로고스바이오일렉트로닉스에 0.4억원 기술이전 완료 ('23.03.31)

○ (표준) TTA PG417 국내표준 2건 채택

- 웨어러블 전자기기의 유연인장 신축배선 비틀림 인장 복합변형 시험방법 ('23.04.30)
- 유연인장 근진동 센서의 성능 평가 방법 ('23.04.30)

○ (홍보)

- [전시] 나노코리아 2023 국제전시회 기술 전시/시연 및 홍보  
: '차세대 로봇 그리퍼', '촉각과 모션을 감지하는 로봇암' 전시/시연 (7/5)  
: '사람처럼 감각 느끼는 로봇 팔', 전자신문 등 주요일간지 홍보 (7/5)
- [홍보] '차세대 로봇 그리퍼, 촉감을 얻다', ETRI웹진 v.229 홍보 (7/28)
- [방송] '사람처럼 촉감 느끼는 로봇 손', KBS, YTN, MBC 등 주요 방송사 언론홍보 (10/15)