

관리번호		2026-정보-융합기술-7 -품목공모-11		RFP 유형코드	목적·내용	성과물 특성	지원유형
					R	1	1
					원천연구	시작품,시제품 제작 및 검증 (TRL 5~6)	일반연구개발
국가전략연구 기획평가전문분야		PM분야	정보-융합기술	RB분야	휴머노이드	RB 세부분야	-
					모빌리티		
					소재·소자융합		
사업명		미래개척융합과학기술개발사업 - 미래유망융합기술파이오니어					
RFP명		센싱-구동-제어 통합형 섬유다발 인공근육 액추에이터					
		(TRL : [시작] 4 단계 ~ [종료] 6 단계)					
지원 정보	지원기간	2026.07 ~ 2030.12		정부지원금	4,500백만원		
	1단계 (1차년도)	2026.07 ~ 2027.12 (2026.07 ~ 2027.01)		1단계 (1차년도)	900백만원 (350백만원)		
		2단계	2028.01 ~ 2030.12		2단계	3,600백만원	
	주관기관유형	■ 제한없음 □ 대학/출연(연)/국공립연/특정연 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인					
	주관기관 외 필수참여기관	■ 제한없음 ■ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인					
키워드	한글	섬유형 인공근육	센싱-제어 통합	자가감지	자가학습	소프트로보틱스	
	영문	Fiber Artificial Muscle	Sensing-Control Integration	Self-Sensing	Self-Learning	Soft Robotics	

1. 추진배경	
<p>○ 추진근거</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과학기술기본법 제11조(국가연구개발사업의 추진) - 기초연구진흥 및 기술개발지원에 관한 법률 제7조(기초연구진흥정책 등) - 국가전략기술 육성에 관한 특별법 및 「국가전략기술 육성 기본계획」 - 「제4차 지능형 로봇 기본계획」 - 인간-로봇 상호작용(HRI) 기반 유연 액추에이터 및 지능형 센서 플랫폼 확보 <p>○ 세부 추진배경</p> <ul style="list-style-type: none"> - 휴머노이드 로봇, 웨어러블 로봇, 재활·보조기기, 인간-로봇 상호작용 기반 소프트 로봇 기술이 빠르게 발전하면서, 인간 근육과 유사하게 유연하고 안전하게 동작할 수 있는 인공근육 액추에이터 기술의 중요성이 증가하고 있음. - 기존 모터·감속기 기반 구동 시스템은 높은 출력과 정밀 제어 측면에서 장점이 있으나, 높은 강성, 무게, 부피 및 복잡한 기계 구조로 인해 인간 친화형 로봇 시스템 구현에 한계가 있음. 특히 비정형 환경, 착용형 시스템, 인체 접촉 환경에서는 기계적 안전성, 형태 적응성 및 분산 구동 기능을 동시에 만족하는 새로운 구동 플랫폼이 요구됨. - 섬유형 인공근육은 생체 근육과 같이 선형 구동 요소를 다발화하여 구조물 전반에 분산 배치할 수 있고, 모노필라멘트, 피브릴, 섬유다발로 이어지는 계층적 조립 구조를 통해 변위, 힘, 응답특성 및 구동방향을 설계할 수 있다는 장점이 있음. 따라서 휴머노이드 및 웨어러블 시스템에서 요구되는 경량성, 유연성, 모듈성 및 형태 적응성을 구현할 수 있는 유망한 소프트 액추에이터 플랫폼으로 평가됨. - 최근 전기활성고분자, 유전체 탄성체, 액정 탄성체, 형상기억 소재, 전도성 고분자, 이온성 고분자, 나노복합소재 등 다양한 인공근육 소재가 보고되고 있으나, 기존 연구는 주로 구동 변형률, 출력, 응답속도, 물성 향상 또는 제조공정 확장에 집중되어 왔음. 이에 따라 실제 생체 근육과 같이 자신의 변형 상태를 감지하고, 감지된 정보를 바탕으로 구동 상태를 조절하는 내재적 감각 및 반응 기능은 충분히 구현되지 못하고 있음. 	

- 기존 인공근육 시스템은 구동기, 센서 및 제어 시스템이 분리된 구조로 구성되는 경우가 많아 시스템 부피와 복잡도가 증가하고, 실시간 환경변화에 대한 적응성과 반응성을 확보하는 데 한계가 있음. 특히 외부센서 부착 방식은 인공근육의 유연성, 경량성 및 다발화 설계 자유도를 저하시킬 수 있음. 또한 기존 시스템은 사전 설계된 제어 알고리즘에 의존하여 반복 구동 경험을 통한 자율적 성능 개선이 어려우며, 이로 인해 비정형 환경이나 부하 변화에 대한 적응형 대응에 한계가 있음.
- 생체근육은 근육 자체의 변형, 하중, 장력 상태를 감지하고, 이를 신경계 피드백과 연계하여 동작을 보정하는 고유감각 기능을 내재하고 있음. 이를 공학적으로 구현하기 위해서는 인공근육 소재 자체의 구동 기능뿐만 아니라, 변형 상태를 실시간으로 감지하는 센싱 기능, 감지 신호를 해석하는 신호처리 기능, 그리고 구동 조건을 조절하는 피드백 제어 기능이 통합되어야 함.
- 따라서 본 과제에서는 특정 소재, 특정 구동 원리 또는 특정 제어 알고리즘에 한정하지 않고, 섬유다발 기반 인공근육 플랫폼에서 다자유도 구동, 자가감지 또는 구조 변화 감지, 실시간 상태 인식, 저전력 신호처리 및 적응형 피드백 제어를 통합하고, 반복 구동 경험 기반 자가학습을 통해 구동 효율을 자율적으로 최적화할 수 있는 원천기술 개발이 필요함.

○ 국내외 기술 동향

국내	<ul style="list-style-type: none"> ○ KAIST, UNIST, 서울대 등을 중심으로 전기활성고분자(EAP), 액정탄성체(LCE), 형상기억 고분자(SMP), CNT 기반 인공근육 및 소프트 액추에이터 연구가 활발히 수행되고 있으며, 웨어러블 로봇과 재활기기 적용을 위한 경량·고유연 구동소재 개발이 확대되고 있음 ○ 최근에는 액정탄성체, 전도성 고분자, 나노복합소재 등을 활용하여 외부 자극에 따른 능동 변형과 프로그래머블 구동이 가능한 소프트 액추에이터 연구가 진행되고 있으며, 차세대 소프트로봇 적용 가능성이 제시되고 있음 ○ 섬유형 인공근육 연구도 진행되고 있으나, 대부분 개별 구동 특성 검증 단계에 머물러 있으며, 구동·센싱·제어를 통합한 시스템 수준 기술은 아직 초기 단계임
국외	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미국, 독일, 스위스, 일본 등에서는 전기유압형(HASEL), 액정탄성체(LCE), 유전체탄성체(DEA), CNT 기반 인공근육 등 차세대 소프트 액추에이터 연구가 활발히 진행 중임 ○ 미국 University of Colorado Boulder는 정전용량 자가감지신호와 고전압 구동을 단일 소형 회로에 통합, 변위 오차 4% 이내의 페루프 제어를 구현했으며, MIMO 자가감지 제어 체계로 확장하여 지능형 소프트 로봇 시스템으로 발전시키는 중임 ○ 미국 Harvard Univ.는 회전 다중재료 3D 프린팅 기법을 통해 LCE와 비활성 탄성체를 동축 공압출하여 가열 시 굽힘·비틀림 방향이 프로그래밍된 섬유 형태 인공근육을 개발 하였으며, 열사이클 100회 이상에서도 구조 열화 없는 안정성을 보고함 ○ 감지-구동-제어 통합 방향으로의 전환이 최근 국제 연구의 핵심 흐름으로 부상하고 있음. 인식-구동 통합형 인공근육 섬유분야에서는 자가감지 동축 섬유, 신경모사 피드백 제어 등 여러 통합 아키텍처가 보고되고 있으며, 섬유형 인공근육이 단순 구동 소자를 넘어 고유 감각 기능을 내재한 지능형 소프트 액추에이터로 진화 중임

○ 기획의 주안점

- 섬유다발 기반 인공근육이 단순 구동 소자를 넘어, 자신의 변형 상태를 감지하고 감지된 정보를 기반으로 구동 상태를 조절할 수 있는 센싱-구동-제어 통합형 소프트 액추에이터 플랫폼을 개발하고자 함
- 1단계에서는 다자유도 구동이 가능한 인공근육 섬유 구조, 자가감지 또는 구조 변화 감지 원리, 센싱-구동 신호 연계 및 피드백 제어 가능성을 검증함
- 2단계에서는 1단계에서 확보한 원천소재·센싱·제어 기술을 바탕으로 섬유다발화, 연속 섬유화 공정, 통합 모듈 및 모사 환경 기반 적용 가능성 검증으로 확장하며, 감지·학습·구동 통합형 자가학습 인공근육 시스템 구현을 통해 지능형 액추에이터로의 완성도를 높임
- 구동 물성 자체를 과도하게 경쟁하는 방식이 아니라, 인공근육으로서 필요한 기본 구동 성능을 확보하면서 센싱 정확도, 센싱-구동 동시 안정성, 상태 인식, 적응형 제어 성능 및 반복 구동 경험 기반 자가학습을 통한 구동 효율 자율 최적화를 핵심 성과로 설정함
- 이를 통해 인간-로봇 공존 환경에서 요구되는 유연성, 안전성, 경량성, 분산 구동성 및 지능형 반응성을 갖춘 차세대 인공근육 액추에이터 원천기술을 확보함

세부기술 내용	
1	센싱-구동 통합형 인공근육 섬유 소재 및 구조 설계 기술 개발
2	자가감지 또는 구조 변화 감지 기반 인공근육 상태 인식 기술 개발
3	자가 센싱 신호 기반 적응형 피드백 제어 기술 개발
4	섬유다발화 및 연속 섬유화 기반 인공근육 모듈 제조 기술 개발

기술적 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> 인공근육 소재, 섬유공정, 센서, 신호처리 및 제어 기술을 융합한 차세대 소프트 액추에이터 원천기술 제시 자가감지 및 피드백 제어가 가능한 지능형 인공근육 플랫폼으로 기술패러다임 전환 섬유다발 구조 기반 분산형 제어 기술 확보를 통해 휴머노이드, 웨어러블 로봇, 소프트 그리퍼, 재활 보조기기 등 다양한 로봇 시스템으로 기술 확산
산업적 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> 경량·유연 구동 부품 원천기술 확보를 통해 미래로봇 부품 산업의 기술 경쟁력 강화 미래 로봇 시장에서 고부가가치 구동 모듈 및 핵심 소재·부품 기술로 활용 가능 응용 분야별 맞춤형 인공근육 모듈 개발과 관련 부품 산업 생태계 형성에 기여
사회·정책적 파급효과	<ul style="list-style-type: none"> 고령화, 노동력 부족 등 사회문제 대응을 위한 인간 보조형 로봇기술 실현에 기여 첨단로봇·제조 분야 국가전략기술과 연계하여 융합형 원천기술 확보에 기여함 인간-로봇 공존 환경에서 안전한 로봇 시스템 구현을 위한 핵심 기반 기술로 활용

2. 과제목표	
<ul style="list-style-type: none"> 최종 목표 : 휴머노이드·웨어러블 시스템 적용을 위한 고자유도·고신뢰성 섬유다발 기반 인공근육 플랫폼 및 센싱·연산·구동 통합형 지능형 액추에이터 기술 개발 단계별 목표 	
1단계('26~'27)	<ul style="list-style-type: none"> (섬유화 공정) 다중 구동 구현이 가능한 인공근육 섬유 구조 및 연속 생산 기반 섬유화 공정 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> 근육의 계층적 조립 구조를 구현할 수 있는 모노필라멘트 기반 인공근육 섬유 구조 설계 기술 개발 다발 구조 기반 멀티모달 자율구동 인공근육 모듈 설계 및 제작 기술 개발 연속 방사 기반 인공근육 다발 생산 공정 구축 및 공정 안정성 확보 <ul style="list-style-type: none"> 단섬유 직경 $\leq 100 \mu\text{m}$ 섬유 생산 속도 $\geq 5 \text{ m/min}$ 공정 조건과 실제 섬유의 구동 특성 간 상관관계 분석 및 공정 최적화 (구동 물성) 고출력·고효율 및 고신뢰성 인공근육 구동 플랫폼 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> 경량·유연 소재 기반 고출력 인공근육 액추에이터 설계 기술 개발 고변형·고출력 구동 특성 확보 인공근육 다발 생산 공정 구축 및 공정 안정성 확보 <ul style="list-style-type: none"> 구조 변형률 $\geq 20\%$ 작업용량 $\geq 500 \text{ J/kg}$ 출력밀도 $\geq 300 \text{ W/kg}$ 응답속도 $\leq 500 \text{ ms}$ 단일 모듈 수준 구동 시스템 제작 및 성능 검증 구조체화 기반 2자유도 이상 구현

	<ul style="list-style-type: none"> ○ (센싱 및 제어) 구동 실시간 상태 인식 및 지능형 제어 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 외부 변형 센서 또는 자가감지 기반 구조 변화 감지 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 변형 감지 정확도 $\geq 95\%$ - 센싱 신호 기반 상태 인지 및 적응형 피드백 제어 구조 구현 <ul style="list-style-type: none"> · 센싱 신호 분류 정확도 $\geq 90\%$ · 실시간 신호 처리 지연시간 $\leq 1\text{ s}$ · 다채널 혹은 다인자 센서(예: 온도, 압력, 습도, 비틀림 등) 확장 가능성 제시 · 제어 및 연산 구조 구현 검증
2단계('28~'30)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (섬유화 공정) 섬유다발 기반 인공근육 구조 및 대량 생산 공정 최적화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 구동 모드 기반 인공근육 구조 최적화 - 다발 구조 기반 멀티모달 자율구동 인공근육 모듈 고도화 - 산업 수준의 대량 생산 기반 공정 생산성 확보 <ul style="list-style-type: none"> · 단섬유 직경 $\leq 50\text{ }\mu\text{m}$ · 섬유 생산 속도 $\geq 10\text{ m/min}$ - 실제 생산 섬유 제품의 균일성 확보 및 검증 - 공정 재현성 및 규모 확장 기반 맞춤형 구조 제작 기술 확보 ○ (구동 물성) 실제 환경 적용 수준의 인공근육 성능 및 안정성 고도화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고효율·고출력 인공근육 구동 물성 최적화 <ul style="list-style-type: none"> · 작업용량 $\geq 1000\text{ J/kg}$ · 출력밀도 $\geq 500\text{ W/kg}$ · 응답속도 $\leq 100\text{ ms}$ - 장시간 반복 구동 기반 피로 안정성 확보 및 내구성 검증 <ul style="list-style-type: none"> · 구동 반복 내구성 $\geq 10^7\text{ cycle}$ - 멀티스케일 및 다자유도 기반 유연 구동 시스템 구현 <ul style="list-style-type: none"> · 구조체화 기반 3자유도 이상 구현 · cm~m급 멀티스케일 확장성 확보 ○ (센싱 및 제어) 적응형 피드백 제어 및 자가학습형 인공근육 시스템 구현 <ul style="list-style-type: none"> - 감지·학습·구동 통합형 지능형 인공근육 플랫폼 구현 <ul style="list-style-type: none"> · 변형 감지 정확도 $\geq 99\%$ - 반복 동작 기반 자가학습형 적응 제어 기술 구현 <ul style="list-style-type: none"> · 반복 동작 기반 구동 효율 개선율 $\geq 20\%$ (100 cycle 이내) - 실시간 상태 인지 기반 피드백 신호 생성 및 제어 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> · 센싱 신호 분류 정확도 $\geq 95\%$ · 실시간 신호 처리 지연시간 $\leq 0.5\text{ s}$ · 피드백 신호 변조 정확도 $\geq 90\%$ · 다채널/다인자 센싱 구현 및 통합 연산 검증 - 센서 내 연산 기반 저전력·고응답 분산형 제어 시스템 구현 <ul style="list-style-type: none"> · 에너지 효율 $\geq 50\%$ - 웨어러블 또는 휴머노이드 환경 기반 적응형 제어 성능 검증 및 시작품 개발

<참고> 기술목표 및 성과물 목표의 정의(출처 : 국가연구개발 과제평가 표준지침)

구분	정의
기술목표	연구과제를 통해 달성하고자 하는 센싱-구동-제어 통합형 섬유다발 인공근육 액추에이터 기술 및 기술수준 향상 목표를 제시함. 고출력·고신뢰성 인공근육 고성능 구동 기술, 연속 생산 기반 섬유화 공정 기술, 구조 변화 기반 실시간 상태 인식 및 적응형 제어 기술을 통합하여 휴머노이드 및 웨어러블 시스템 적용이 가능한 차세대 지능형 인공 근육 플랫폼 구현을 목표로 함. (예: 단섬유 직경 50 μm 이하 달성, 출력밀도 500 W/kg 이상 확보, 실시간 신호 처리 지연시간 0.5 s 이하 구현, 등)
성과물 목표	연구개발을 통해 창출되는 논문·특허·기술이전·시작품 등 과학기술적 및 산업적 성과물의 달성 목표를 제시함. 섬유다발 기반 인공근육 모듈 시작품 제작, 지능형 제어 시스템 구현, 웨어러블 및 휴머노이드 적용 실증을 수행하고, 원천 특허 확보 및 기술이전을 통해 차세대 지능형 소프트로보틱스 핵심 원천기술 확보를 목표로 함.

3. 성과지표

○ 성과지표

항목			1단계	2단계 (최종목표)	성과수준		비고
					국내 최고수준	세계 최고수준	
필수	섬유화 공정	단섬유 직경	$\leq 100 \mu\text{m}$	$\leq 50 \mu\text{m}$	$\leq 200 \mu\text{m}$	50 μm	-
		섬유 생산속도	$\geq 5 \text{ m/min}$	$\geq 10 \text{ m/min}$	-	5.1 m/min	
	구동 물성	구조 변형률	$\geq 20\%$	$\geq 20\%$	45%	45%	
		작업용량	$\geq 500 \text{ J/kg}$	$\geq 1000 \text{ J/kg}$	650 J/kg	650 J/kg	
		출력밀도	$\geq 300 \text{ W/kg}$	$\geq 500 \text{ W/kg}$	293 W/kg	293 W/kg	
		응답속도	$\leq 500 \text{ ms}$	$\leq 100 \text{ ms}$	500 ms	$\leq 200 \text{ ms}$	
		구동자유도	≥ 2	≥ 3	2	3	
	센싱 및 제어	변형 감지 정확도	$\geq 95\%$	$\geq 99\%$	98.34%	98.34%	
		신호 분류 정확도	$\geq 90\%$	$\geq 95\%$	90%	95%	
		실시간 신호 처리 지연시간	$\leq 1 \text{ s}$	$\leq 0.5 \text{ s}$	-	-	
		피드백 신호 변조 정확도	-	$\geq 90\%$	-	-	
		자가학습 기반 구동효율 개선율		$\geq 20\%$ (100 cycle 이내)	-	-	
		에너지 효율	-	$\geq 50\%$	$\geq 38\%$	$\geq 38\%$	

자율	구동 반복 내구성 ¹⁾	-	자율제시			1) 구동 반복 내구성 - 10 ⁷ cycle 구동 후 성능유지 기준(측정항목, 허용저하율, 측정방법)을 응용처 요구 사항에 근거하여 제안자가 자율 정의하고, 목표를 정량적으로 제시 2) 다인자 혹은 다채널 센싱 지표 - 변형률 외 추가 센싱 모달리티(예: 온도, 압력, 습도, 비틀림 등) 1종 이상을 자율 선정하여 관련 성능 지표를 함께 제시 3) 논문/특허/기술이전 - 기여율 50% 이상만 인정 4) 시작품/실증 - 응용분야에 맞는 시작품/실증 자율제시(TRL 6 수준)
	다인자 혹은 다채널 센싱 지표 ²⁾	≥ 1	≥ 1			
	논문 ³⁾ (JCR 상위 10% 이내)	단계별 편수 자율제시				
	특허 ³⁾	단계별 출원/등록 건수 자율제시				
	기술이전 ³⁾	단계별 규모 및 건수 자율제시				
	시작품/실증 ⁴⁾	응용분야에 맞는 시작품/실증 자율제시				

4. 특기사항				
기본 특성분류	주요 항목별 해당여부	국가전략기술	<input checked="" type="checkbox"/> Y (첨단로봇·모빌리티/로봇 부품·플랫폼)	<input type="checkbox"/> N
		혁신도전형 R&D	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
		특허로 R&D(舊 IP-R&D)	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> N
		경쟁형 R&D	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
		보안과제	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> N
		기술료 징수	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
		3책5공 적용	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
		국제공동연구 의무	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> N
		지자체 예산매칭 의무	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> N
		DMP 수립·이행 의무	<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> N
	ESG	<input type="checkbox"/> E(환경) <input type="checkbox"/> S(사회) <input type="checkbox"/> G(지배구조) <input checked="" type="checkbox"/> 해당없음		

- **(융합연구)** 융합기술 분야의 연계성이 과제 연구목표 및 내용에 명확하게 적시 필수
- 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 연구계획서 제출
- **(경쟁형) 1단계 연구 결과를 평가하여 2단계 계속 지원 여부를 결정**
 - 단계평가 시 과제책임자는 1단계 사업 성과를 바탕으로 과제 조정(기존 세부과제 중단 또는 신규 세부과제(우수연구자) 추가 등) 제안 가능
 - 차 단계 계속지원 과제의 경우 경쟁형중단 과제(경쟁기관)의 연구내용 및 방법, 연구기관(연구자) 등 일부 흡수 고려
 - 평가위원회는 이를 고려하여 2단계 계속 지원 여부 결정
 - ※ 경쟁형 과제로 1단계 평가 후 2단계 진입 (50% 내외 과제만 계속지원)
 - ※ 평가 결과에 따른 과제중단 및 연구비 조정 가능

- **(활용 및 선도 가능성)** 연구 성과물의 미래 활용 가능성과 기존 기술과의 차별성(신기술 개발, 기술혁신, 기술경쟁력 등)을 제시
 - 기존 기술 및 기존 과제와의 차별성을 구체적으로 제시
 - 제안한 원천기술이 향후 5~10년 뒤 실제 산업 및 서비스 현장에서 어떻게 적용될 수 있는지, 시나리오를 통해 구체적으로 제시
 - TRL 6단계 부합하는 사업화 전략과 비즈니스 모델을 마련하여, 기술의 실질적 활용 가능성을 함께 제시
- **2단계부터 민간기업 참여 필수**
 - 민간기업은 공동연구개발기관으로 참여하거나 민간기업 소속 연구자가 주관연구개발과제 참여연구원으로 참여 가능
 - ※ 1단계부터 민간기업 참여 가능
- 본 사업은 **데이터 관리계획(DMP) 제출을 의무화**하여, 구축 데이터의 범위·공개 수준·활용 방안을 명시해야 하며, 과제 선정 및 단계/최종 평가 시 DMP 이행 여부를 주요 평가 항목으로 반영
- 본 사업의 경우 **‘연구과제 수 상한제(3책 5공)’적용 사업**에 해당
- 지원 예산은 당해 연도 예산 상황에 따라 변동 가능