

관리번호			2026-정보-융합기술-7- 품목공모-06		RFP 유형코드	목적·내용	성과물 특성	지원유형
						R	0	1
						원천연구	이론·기술의 정립 및 검증 (TRL 2~4)	일반연구개발
국가전략연구 기획평가전문분야		PM분야	정보·융합기술	RB분야	팬티드단백질 항체 의약 디지털바이오	RB 세부분야	-	
사업명		미래개척융합과학기술개발사업 - 미래유망융합기술파이오니어(도전형)						
RFP명		유연영역 프로그래밍 기반 협동형 동적 단백질 자기조립 소재(단백질봇) 개발						
		(TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 4단계)						
지원 정보	지원기간	2026.07 ~ 2031.12		정부지원금	3,800백만원			
	1단계	2026.07 ~ 2027.12		1단계	600백만원			
	(1차년도)	(2026.07 ~ 2026.12)		(1차년도)	(200백만원)			
	2단계	2028.01 ~ 2029.12		2단계	1,600백만원			
	3단계	2030.01 ~ 2031.12		3단계	1,600백만원			
	주관기관유형	■ 제한없음 □ 대학/출연(연)/국공립(연)/특정연 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인						
주관기관 외 필수참여기관	■ 제한없음 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인							
키워드	한글	동적 단백질, 유연 영역, 능동협동형 자기조립						
	영문	Dynamic protein, flexible region, cooperative self-assembly						

1. 추진배경
<p>○ 추진근거</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과학기술기본법 제11조(국가연구개발사업의 추진) - 과학기술기본법 제17조(협동·융합연구개발의 촉진) - (국정과제 28) 세계를 선도할 넥스트(NEXT) 전략기술 육성 - 제4차 융합연구개발 활성화 기본계획('23.12) - 국가전략기술 육성에 관한 특별법 및 「국가전략기술 육성 기본계획(안)」, 「국가전략기술 체계고도화 방향(안)」 - 혁신적·도전적 R&D 육성 시스템 체계화 방안('24.03, 혁신도전형 R&D) <p>○ 세부 추진배경</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생체 내 단백질은 단순한 구조체가 아니라 환경변화에 반응하여 구조와 기능을 동적으로 전환하는 분자 로봇으로 작동함. 특히, 자연계 단백질은 내재적 무질서 영역(Intrinsically Disordered Region, IDR)을 활용하여 외부 자극에 반응하고, 다수의 단백질이 상호작용함으로써 집단적 의사결정, 신호 증폭, 물질 수송 및 자가조절과 같은 고차원 기능을 수행함. - 최근 인공지능 기반 단백질 설계 기술의 급속한 발전으로 de novo 단백질 및 대규모 자기조립체 설계가 가능해졌으며, 단백질 설계 분야는 2024년 노벨화학상 수상 이후 차세대 핵심 원천기술로 주목받고 있음 - 하지만 인공단백질 자기조립 설계전략은 아직까지 정적 구조체의 구현에 머무르고 있으며, 이는 자연 단백질이 보여주는 내재적 무질서 유연 영역 기반의 동적 거동에 대해 큰 격차를 남김. - 유연영역의 분석 및 제어를 통해 단백질을 동적 자기조립 소재로 설계·활용하는 연구는 아직 설계 원리조차 정립되지 않은 미개척 영역으로, 현 인공단백질 설계 패러다임이 제시하는 정적 특성의 구조물을 뛰어넘는 새로운 연구지평인 로봇틱 자기조립소재 연구가 필요한 실정임.

국내	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내에서 정적 자기조립 설계, de novo 단백질 디자인 역량은 축적되고 있으나 글로벌 선도 연구 그룹 대비 아직 성장단계에 있으며, 동적, 군집 단백질 소재 분야는 국내 외 모두 설계 원리 미정립 상태임. ○ Galux 등 국내 기업은 AI와 물리 기반 모델을 결합한 단백질 치료제 설계 플랫폼을 개발하고 있으며, 항체를 처음부터 설계하는 de novo antibody design 기술을 제시함. ○ 하지만 현재 국내 산업계의 AI 단백질 설계는 주로 항체, minibinder, 효소 등 특정 표적에 안정적으로 결합하는 정적 단백질 설계에 집중되어 있으며, 외부 자극에 따라 조립, 해체 또는 기능 전환이 가능한 동적 단백질 자기조립 플랫폼 연구는 초기 단계에 머물러있음. ○ 특히 다수의 단백질이 상호작용하여 집단적 행동(cooperative behavior)을 구현하는 단백질 기반 로보틱 자기조립 소재 연구는 국내에서 거의 수행되지 않고 있음.
국외	<ul style="list-style-type: none"> ○ 美 워싱턴대 단백질설계연구소(IPD, Baker Lab)를 중심으로 RFdiffusion, ProteinMPNN 등 AI 기반의 de novo 자기조립체 설계가 선도되고 있으며, 바이러스 유사 거대 케이지 등 정적(static) 구조체 구현이 Nature급 성과로 보고됨. 2024년 노벨화학상(단백질 구조예측 및 설계) 이후 글로벌 R&D 투자가 이 정적 단백질 디자인 영역에 집중되고 있음. ○ Google DeepMind, Isomorphic Labs 등 AI 기반 생명과학 기업들은 단백질 구조 예측을 넘어 표적 단백질에 결합하는 minibinder, 항체 및 기능성 단백질 설계로 연구 범위를 확장하고 있으나, 특정 표적에 안정적으로 결합하는 정적 단백질 설계에 집중하고 있음. ○ 美 스탠포드(Bryant Lab), 英 브리스톨(Woolfson Lab)대학 연구진은 de novo design, 구조기반 엔지니어링을 통해 생체 내 모터 단백질의 활성을 가역적으로 조절하는데 성공하였으며, 자극 감응형 단백질 설계를 실제 구동(actuation)기능과 연결하는 단계로 진입함. 다만 다수 개체의 협동적, 집단적 제어로는 확장되지 않음. ○ 美 프린스턴(Brangwynne Lab)은 IDR 및 액-액 상분리(LLPS) 연구를 선도하고있나, 자연계 현상을 관찰하고 재현하는 수준에 머물러 있으며, IDR을 자기조립의 설계 변수로 활용하는 일반화된 원리는 아직 정립되지 못한 실정임. ○ 자기조립 연구에서도 기존의 구조화된 강체 위주의 단위체 조립에서 최근에는 구조 내 유연성 영역을 활용한 조립전략이 제시되고 있음. 그러나 단백질은 구조적 복잡성으로 인해 유연영역을 쉽게 활용하지 못하고 있는 실정임.
○ 기획의 주안점	<ul style="list-style-type: none"> - (문제의 정의) 단백질 설계 분야는 국내, 외 모두 강체(rigid body) 중심의 정적 단백질 구조 설계에 투자가 집중되어 있으며, 동적 단백질, 유연영역 기반 설계는 초기 도전단계에 머무름. 특히 IDR 등 단백질이 가지고 있는 유연영역을 정량적으로 해석하거나 구조예측, 설계하기 위한 기술전략은 국내 외 공통으로 기술공백 영역임. 본 과제를 통하여 단백질 설계 및 구조체 디자인 연구에서 인공지능 설계도구의 본질적 한계(강체 중심의 정적 구조 설계)를 벗어나, 유연영역을 설계의 핵심 변수로 격상시키기 위한 새로운 전략을 개발하고자 함. - (목표의 수준) 본 과제는 단백질이 가지고 있는 IDR 등 유연영역을 활용하여 센싱 및 구동 구조를

가지는 단백질 단위 구조를 개발하고자 함. 이를 통해 센싱과 구동을 통합한 단백질봇의 구현과 다중 단백질봇의 상호작용 설계 전략을 확보하는 수준을 목표로 함.

- (기대효과) 글로벌 단백질 공학 시장(2025년 약 36억 달러, CAGR 약 15%)이 정적 구조를 주요 대상으로 하는 영역에 편중되어 있는 상황에서, 본 과제가 확보하고자 하는 유연영역 기반 동적 설계 원리는 기술적 전환점이 될 수 있음. 12대 국가전략기술 중 첨단바이오(합성생물학) 및 나노바이오 분야 목표에 직접 기여하며, 차세대 단백질 소재 분야의 선도 국가로 도약하는 기반을 확보하고자 함.
- (예상 활용 산업 분야 및 사후관리, 확산방안) 자기조립 단백질 소재는 차세대 백신, 정밀 진단 센서, 산업용 생촉매 등 차세대 바이오 소재 시장의 핵심 기술임. 환경 변화에 가역적으로 응답하는 단백질봇 기반 센서, 효소, 생촉매, 바이오 소재 및 나노 소재 산업에 활용될 수 있음. 단백질 유연영역에 대한 정량 규명 데이터를 표준 데이터베이스로 공개 관리하며, 유연영역 기반의 설계 원리에 대한 국내, 국제 원천 특허 확보 및 표준 특허화 추진. 연구 수행과정에서 박사급 연구 인력을 양성하여 산업계 및 연구계로 확산하고자 함.

2. 과제목표

- **최종 목표** : 내재적 무질서 영역(IDR)을 설계 변수로 활용하여 외부 자극에 따라 집단적으로 구조를 재구성하고 기능을 전환할 수 있는 프로그래머블 협동형 단백질 자기조립 소재(Protein Bot)를 개발하고, 이를 통해 센싱(감지·판단)-신호전달-구동(actuation)이 가능한 단백질 기반 로보틱 자기조립 플랫폼 기술을 개발함.

○ 단계별 목표

1단계('26~'27)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유연영역 (IDR) 기반 동적 거동 원리 규명 ○ IDR 구조-동역학 데이터베이스 구축 및 AI 기반 예측 모델 개발 ○ 계산과학 및 실험 교차 검증(2중 이상의 IDR 시스템) ○ 동적 자기조립 및 상전이 거동 정량화 기술 개발 ○ 상위 10% 논문 성과 2건
2단계('28~'29)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 동적 입력/출력이 프로그램 가능한 자기조립 단백질 설계 플랫폼 구축 ○ 단백질 간 협동적 신호전달(cooperative communication) 메커니즘 구현 ○ 가역적 양방향 동적 단백질 자기조립 소재 계산 및 실험 검증 ○ 상위 5% 논문 성과 3건, 특허 등록 1건
3단계('30~'31)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 협동형 동적 단백질 자기조립 소재(단백질봇) 개발 ○ 집단적 의사결정 및 기능 전환이 가능한 단백질 로보틱 시스템 개발 ○ 센서, 생촉매 등 응용 분야 1개 이상 발굴 ○ 상위 5% 논문 성과 3건, 삼국특허 등록 1건

3. 성과지표

○ 성과지표

항목	1단계	2단계	3단계 (최종목표)	비고
필수				
외부자극 감응 동적 구조변화 구현 및 실증	1건	1건	2건	외부 입력(pH, 리간드 등) 감응 유연영역 프로그래밍 방법론 구축 및 실험(NMR, X-ray crystallography, cryo-EM 등) 검증
AI 기반 예측 모델	1건	1건	1건	-

개발				
자율	논문(JCR 상위 10% 이내), 특허, 기술이전 등	단계별 자율제시		
	단백질 유연영역 및 협동형 동적 단백질 자리조립소재 지표	단계별 자율제시		
	협동형 동적 단백질 자리조립소재 응용 성능 지표	단계별 자율제시		

4. 특기사항

기본 특성분류	주요 항목별 해당여부	국가전략기술	<input checked="" type="checkbox"/> Y (첨단바이오/합성생물학·바 이오제조)	<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		
<p>○ (융합연구) 융합기술 분야의 연계성이 과제 연구목표 및 내용에 명확하게 적시 필수</p> <p>○ 실제 제출하는 과제명은 연구자의 아이디어가 포함될 수 있는 제목으로 연구계획서 제출</p> <p>○ 미개척 분야의 도전적 연구 주제에 대한 지속 가능성을 제시하고, 검증된 연구개발에 대한 활용성 스케일업 연구개발 지원을 위한 이중 이상 분야 융합 연구진 구성 권고</p> <p>○ (경쟁형) 단계평가를 통해 2단계 계속 지원 여부를 결정</p> <p>- 단계평가 시 과제책임자는 1단계 성과 및 2·3단계 계획을 바탕으로 과제 조정 제안 가능</p> <p>- 차 단계 계속지원 과제의 경우 경쟁형중단 과제(경쟁기관)의 연구내용 및 방법, 연구기관(연구자) 등 일부 흡수 가능</p> <p>- 평가위원회는 이를 고려하여 2단계 계속 지원 여부 결정 가능</p> <p>※ 경쟁형 과제로 1단계 평가 후 2단계 진입 (RFP별 1개 과제 내외 계속지원 예정)</p> <p>※ 평가 결과에 따른 과제중단 및 연구비 조정 가능</p> <p>○ 본 사업은 데이터 관리계획(DMP) 제출을 의무화하여, 구축 데이터의 범위·공개 수준·활용 방안을 명시해야 하며, 과제 선정 및 단계/최종 평가 시 DMP 이행 여부를 주요 평가 항목으로 반영</p> <p>○ 연차점검(필요 시) 및 단계평가를 통해 연차별 단계별 추진 현황 및 성과를 점검받고, 점검·평가·추진위원회의 의견에 따라 연구개발과제의 목표 및 내용, 과제 구성, 연구비, 계속 지원 여부 등 조정 가능</p>				