

관리번호		2026-에너지·환경- 1-지정공모-12		RFP 유형코드	목적·내용	성과물 특성	지원유형
					R	1	1
					원천연구	시작품·시제품 제작 및 검증 (TRL 5~6)	일반연구개발
국가전략연구 기획평가전문분야		PM분야	에너지환경	RB분야	물순환관리	기후적응	
사업명		토양기반기후회복력진단및강화기술개발					
RFP명		토양 기후회복력 진단을 위한 관측 기반 기후생태 통합모니터링					
		(TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 5단계)					
지원 정보	지원기간	2026.04 ~ 2030.12		정부지원금	8,725백만원		
	1단계 (1차년도)	2026.04 ~ 2028.12 (2026.04 ~ 2026.12)		1단계 (1차년도)	4,725백만원 (725백만원)		
	2단계	2029.01 ~ 2030.12		2단계	4,000백만원		
	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	토양 기후회복력 지수, 이상기후 대응, 토양-생태-기후 상호작용, 테스트베드, AI 기반 공간 상세화					
	영문	Soil Climate Resilience Index, Extreme Climate Event Adaptation, Soil-Ecosystem-Climate Interactions, Testbed Development, AI-Based Spatial Downscaling					

1. 추진배경	
○ 추진근거 - 「과학기술기본법」 제11조 - 「기초연구진흥 및 기술개발지원에 관한 법률」 제14조 - 기후변화대응 기술개발 촉진법 제8조 - 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제64조 (순환경제의 활성화) - 탄소중립기본법 제37조(기후위기의 감시·예측 등) - 기후기술법 제8조(기술개발사업의 추진) ○ 세부 추진배경 - 과거 토양을 정적인 요소로 인식한 데 비해, 전 지구적 이상기후 현상의 빈번한 발생으로 토양의 물리적 특성변화가 빠르게 변하고 있고 토양-식생-대기 상호작용을 통해 이상기후 피해의 규모와 영향이 더욱 강화될 수 있음 • 토양은 육상생태계기능의 근간을 이루는 핵심 구성요소로 식생-대기 간의 순환적 피드백의 조절자이나 전 지구적으로 3~40%의 토양이 인간활동과 기후변화로 인해 손실·손상되어 이를 복구하는데 수백 년 소요될 전망 (FAO, '15) • 최근 장기간 가뭄 직후 집중호우 발생 사례 등 변동성이 빠르게 증가 중이며, 이상기후 현상의 심화로 인해 토양에 대한 피해도 더 커질 것으로 예상되나 기후요소, 지역적 요인(토양 유형, 지형, 수문), 식생(분포, 종)이 종합적으로 토양에 미치는 영향에 대한 진단이 결여되어 있음 • EU는 'EU 토양 전략 2030' 및 '토양모니터링법'을 통해 토양 건강을 기후회복력의 핵심 요소로 규정하고 법적 구속력을 강화하고 있으며, 미국 또한 지질조사국과 에너지부가 장기 관측 네트워크를 통해 토양 수분 및 탄소 순환 모니터링과 모델링 연구를 활발히 지원하며 토양의 기후	

조절 기능을 과학적으로 규명하려는 국제적 경쟁이 심화되고 있어, 국내 독자적인 진단 기술 확보가 시급한 상황

- 토양-생태-기후 각각의 상태 및 상호작용을 모두 고려하여 토양의 이상기후 취약성 및 회복력을 정의할 수 있는 지표를 개발하여 진단해야할 필요성이 대두되고 있음
- 기존 환경부, 농림부, 산림청 등의 토양 관련 사업이 주로 오염 정화, 농업 생산성 관리, 산림 자원 조사 등 현안 대응 및 관리 중심으로 이루어져 왔지만, 기후변화 및 이로 인한 이상기후라는 동적인 스트레스 요인에 능동적으로 대응하기 위한 기후시스템 내 토양-생태-기후의 에너지-물 등에 대한 기후변화 영향 메커니즘 연구가 시급하나 우리나라를 대상으로 한 토양-생태-기후 상호작용 연구가 미진
- 본 사업에서 토양 기후회복력이란 이상기후 현상(폭염, 폭우, 가뭄 등) 하에서 토양의 핵심 기능(수분 보유, 에너지/물질 순환 조절 등) 손실을 최소화하고, 토양의 물리·화학·생물학적 특성을 신속히 회복하여 생태계의 안정성을 유지하는 능력을 의미함. 기존의 정적인 토양 관리 관점에서 벗어나, 기후 스트레스에 대한 동적인 반응과 회복 과정을 과학적으로 진단하는 것이 본 사업의 핵심.
- 기존 토양환경지도 또는 산림입지토양도는 농업 및 산림 관리를 위한 목적으로 구축되었지만, 기후위기가 현실화됨에 따라 국가 단위에서의 토양 기후변화 취약성을 미리 진단하고 지자체별 토양 기후회복력 관리를 위한 기술(상세 공간정보) 개발이 필요

○ 기획의 주안점

- 토양 온도, 수분 등의 물리적 변수 평가에만 국한되지 않고, 지상과 위성관측을 융합한 입체관측 및 모델링 시스템 구축을 통해 토양-식생-대기 상호작용을 반영한 새로운 형태의 토양 기후회복력 진단
- 단일 지표 관측을 넘어서 입체관측망을 통한 데이터 수집 및 검·보정을 통해 신뢰도를 높이고, 인공지능을 활용(Data fusion 및 scale-up과정)하여 주요 토지이용 유형별(농지·산림·도심지) 고해상도 토양 기후회복력 공간정보 도출
- 이상기후 현상의 빈도 및 강도 증가에 따른 토양 기후회복력의 정량적 진단을 통한 토양의 기후리스크 평가
- 폭염·폭우·가뭄 등 이상기후 현상에 대한 개별 토양 기후회복력 정량화 및 고해상도 공간정보기반 지도를 최종 산출물로 제시하여, 지자체 단위의 구체적인 기후적응 계획 수립을 지원 및 현장 중심의 실효성 있는 적응 대책 지원

2. 과제목표

○ 최종 목표 :

- 토양-생태-기후 간 상호작용을 체계적으로 분석하기 위한 모니터링 테스트베드 구축 및 자료 수집
- 폭염·폭우·가뭄의 3대 이상기후에 대해 농지·산림·도심지 토지이용 유형별 토양 기후회복력 지수 개발
- 토양 기후회복력 진단 지수를 활용하여 표준유역 또는 지자체 단위(군 단위 이상)에서 고해상도 토양 기후회복력 지도 제작

○ 단계별 목표

1단계 (‘26~’28)

- 토양 기후회복력 지수 개발을 위한 테스트베드 선정 및 구축
 - 폭염·폭우·가뭄 이상기후 조건에서 토양 회복력 지수 산정에 필요한 자료 구축을 위한 대표 테스트베드 선정
 - 토양 기후회복력과 연관된 토양-생태-기후 요소의 통합 모니터링 체계 구축 및 운영
 - 이상기후(폭염, 폭우, 가뭄) 발생 조건 하에서 토지이용 유형별 토양-생태-대기 상호작용 분석
- 토양 기후회복력 진단 지수 개발

	- 폭염·폭우·가뭄 3대 이상기후에 대해 농지·산림·도심지 토지이용 유형별 토양 기후회복력 진단 지수 개발 - 다중 위성 및 지상 관측 데이터 융합을 통한 고해상도 토양 기후회복력 지표 정보를 생성하기 위한 AI 기반 공간 상세화 알고리즘 개발 ○ 토양 기후회복력 지도화 - 3가지 이상기후 시나리오를 적용하여 표준유역 또는 지자체 단위(군 단위 이상)에서 농지·산림·도심지 3가지 토지이용 유형별 기후회복력 상세지도 제작
2단계 (‘29~‘30)	○ 토양-생태-기후 통합 모니터링 자료 확보 - 1단계에서 구축된 모니터링 시스템의 지속적인 운영을 통한 장기 자료 구축 ○ 토양 기후회복력 지수 검증 및 지도 고도화 - 통합모니터링(테스트베드, 인공위성 등) 자료에서 수집된 관측 자료를 기반으로 농지·산림·도심지 3가지 토지이용 유형별 기후회복력 지도 정확도 검증 - 검증 결과를 반영한 진단 지수 고도화 및 보정을 통해 토양 기후회복력 지도 정확도 및 신뢰성 향상 ○ 토양 기후회복력 정책 활용 지원 기술 개발 - 토양 기후회복력 등급 체계와 연계하여, 구체적인 정책·기술적 대응 방안을 포함한 지자체 맞춤형 활용 가이드라인 개발 및 보급 - 토양 기후회복력 진단-평가-정책지원이 연계되는 통합 플랫폼 구축 및 기술이전·확산을 기반 마련

3. 연구개발내용 및 성과지표

○ 연구개발내용

구분	연구개발내용	비고
1단계 (‘26~‘28)	○ 토양 기후회복력 모니터링 시스템 구축 - 폭염·폭우·가뭄 이상기후 특성을 대표하는 지역을 대상으로 다중 센서 기반 테스트베드 구축 · 토양-생태-기후 에너지·물·물질 교환량 연속 관측 · 깊이별 토양수분·온도 프로파일에 대한 정밀 관측을 통해 토양-생태-기후 시스템의 입체적 감시 체계 구축 · 다중 위성 및 항공/드론 SAR 데이터 활용과 지상관측 자료와 동기화를 통한 검보정 표준 프로토콜 개발 및 현장 적용 ○ 토양 기후회복력 진단지수 개발 - 이상기후 조건 하에서 토양의 물리·화학·생물학적 특성 변화와 손실을 최소화하는 능력을 기후회복력 지표로 정의하고, 토양 수분·온도 등의 물리적 특성과 화학적·생물학적 물성을 종합한 토양 기후회복력 진단 지표 개발 - 생산된 고해상도 토양 기후회복력 진단 정보와 생태·기후 정보를 통합하여 토양-생태-기후 상호작용 분석	

구분	연구개발내용	비고
	· 이상기후 조건 전·후 토양 상태 변화가 식생의 건강성 및 대기환경(국지 기온, 습도 등)에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 상호작용 규명 - AI 기반 고해상도 토양 물성 지표 상세화 및 융합 기술 개발 · 테스트베드 관측 결과와 다중위성 자료 융합을 통한 시공간적 관측 공백 최소화 알고리즘 개발 · 딥러닝 모델을 활용한 저해상도(9~25km) 위성 토양 물성 자료의 공간 상세화 기술 개발 ○ 토양 기후회복력 지도화 - 관측 기반 진단 지표를 활용하여 폭염, 폭우, 가뭄 시나리오별 토양의 취약성과 회복능력을 시각화한 표준유역 또는 지자체 단위(군 단위 이상) 토양 기후회복력 지도 제작	
2단계 (‘29~‘30)	○ 통합 모니터링 시스템기반 자료 구축 - 토양 기후회복력 지수에 필요한 토양-생태-기후 상호작용의 장기적인 모니터링 자료 수집 ○ 토양 기후회복력 지수 검증 및 고도화 - 산림·농경지·도심 토지이용 유형별 폭염·폭우·가뭄 등 3대 이상기후에 대한 토양 기후회복력 진단 지수 고도화 - 통합모니터링 자료를 활용한 토양 기후회복력 지도 정확도 검증 및 향상 ○ 토양 기후회복력 정책 활용 지원 기술 개발 - 토양 기후회복력 지도에서 도출된 주요 취약 요인(예: 낮은 수분보유능, 높은 증발산 민감도)을 명확히 제시하고, 회복력 등급별·유형별 맞춤형 정책 옵션(예: 저영향개발(LID), 도시숲, 농경지 물 관리)과 연계한 지자체 기후적응계획 수립 지원용 '토양 기후회복력 지도 활용 가이드라인' 개발 및 보급	

○ 성과지표

항목		1단계	2단계 (최종목표)	성과수준			비고
				국내 최고수준	세계 최고수준	기타	
필수	토양-생태-기후 테스트베드 구축 및 운영	3개소 구축 및 운영	3개소 유지 (개선, 검증)	-	-		토지이용 유형별(산림·농경지·도심) 대표 테스트베드 선정. 토양-생태기후별 핵심요소 1개 이상 모니터링 (총 5개 이상 변수 모니터링)
	이상기후 시나리오별 정량 진단 지수 개발	9식	9식 (고도화)	-	-		토지이용 유형별(산림·농경지·도심)

							폭염·폭우·가뭄의 3대 이상기후 진단지수 개발
	이상기후 시나리오별 토양 회복력 지도	9	9식 (고도화)	-	-		토지이용 유형별(산림·농경지·도심) 폭염·폭우·가뭄의 3대 이상기후에 대한 토양 회복력 지도 개발
	이상기후 시나리오별 토양 회복력 지도 정확도	-	R ² >0.7	-	-		폭염·폭우·가뭄의 3대 이상기후에 대한 토양 회복력 지도
자율	토양 기후회복력 상세지도 공간해상도	단계별 자율제시		-	-		최종 산출물 표준유역 및 지자체 격자 해상도 기준
	기술 실증 시범사업 추진	-	1건	-	-		지자체 협력 기반 현장 적용
	지자체 맞춤형 정책 가이드라인 개발 및 보급	단계별 자율제시		-	-		시범 지자체 적용 및 평가 보고서 포함
	개발 기술의 혁신성	단계별 자율제시		-	-		대표성과물 홍보 및 전시 계획, 특허, 기술이전 계획 등

※ 필수지표는 필수로 설정하여야 하며, 자율지표는 추가하여 제시할 수 있음

※ 모든 성능 지표는 공인시험규격이 있는 경우 공인인증서를 제출하여야 하며, 그 외에 외부기관 검증서, 전문가 입회확인서 제출 필수(자체평가 시 필요 사유 제시)

※ 각 정량 목표 수치의 평가 기준, 측정 방법 등에 대한 정보를 구체적이고 명확하게 제시

4. 특기사항					
기본 특성분류	주요 항목별 해당여부	국가전략기술	☐ Y (분야명/중점기술명)	☒ N	
		혁신도전형 R&D	☐ Y	☒ N	
		특허로 R&D(舊 IP-R&D)	☐ Y	☒ N	
		경쟁형 R&D	☐ Y	☒ N	
		보안과제	☐ Y	☒ N	
		기술료 징수	☒ Y	☐ N	
		3책5공 적용	☒ Y	☐ N	
		국제공동연구 의무	☐ Y	☒ N	
		지자체 예산매칭 의무	☐ Y	☒ N	
		ESG	☒ E(환경) ☐ S(사회) ☐ G(지배구조) ☐ 해당없음		

- 주관연구개발기관이 연구개발과제 형식으로 제안하여야 함
 - 공동연구개발기관 등의 구성은 자율로 하되, 각 기관별 역할 명확하게 제시 필요
- 동 사업 내 주관/공동/위탁 연구개발기관 연구책임자로 신청 가능한 과제수는 1개로 제한
- 논문·특허 성과는 기여도가 50% 이상인 경우에 한하여 성과로 인정
- 연구개발과제명은 연구자의 아이디어를 포함하여 자유롭게 제시 가능
- 과제 제안요구서(RFP)에 제시된 필요성과 목표, 연구기간, 예산 등을 고려하여 연구개발계획서에 명확하고

구체적인 연구 범위와 도전적 성과목표를 제시

- 자율 성과지표는 각 항목 및 목표치를 자유롭게 제시할 수 있으나, 설정한 목표치에 대한 타당성을 입증할 수 있는 객관적인 자료를 반드시 첨부
- 기존 연구개발과제 및 기술과의 차별성을 구체적으로 제시 필수
- 연차점검(필요시) 및 단계평가를 통해 연차별·단계별 추진 현황 및 성과를 점검받고, 점검·평가추진위원회의 의견에 따라 연구개발과제의 목표 및 내용, 과제 구성, 연구비, 계속 지원 여부 등 조정 가능

○ 연구개발비 : 총 87.25억 원 내외(정부출연금)

(단위: 백만원)

과제내용	1단계			2단계	
	1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도
토양 기후회복력 진단을 위한 관측 기반 기후생태 통합모니터링	725	2,000	2,000	2,000	2,000

※ 연구개발비 규모 및 연구개발기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

관리번호		2026-에너지·환경- 1-지정공모-13		RFP 유형코드	목적·내용	성과물 특성	지원유형
					R	1	1
					원천연구	시작품,시제품 제작 및 검증 (TRL 5~6)	일반연구개발
국가전략연구 기획평가전문분야		PM분야	에너지·환경	RB분야	물순환관리	기후적응	
사업명		토양기반기후회복력진단및강화기술개발					
RFP명		토양 기후회복력 강화를 위한 토양수분보유능 향상 기술 개발					
		(TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 5단계)					
지원 정보	지원기간	2026.04 ~ 2030.12		정부지원금	7,650백만원		
	1단계 (1차년도)	2026.04 ~ 2028.12		1단계 (1차년도)	4,050백만원		
		(2026.04 ~ 2026.12)			(450백만원)		
	2단계	2029.01 ~ 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	토양 기후 회복력, 이상기후, 토양수분보유능					
	영문	Soil Climate Resilience, Climate Extremes, Soil Water Retention Capacity					

1. 추진배경	
○ 추진근거 - 「과학기술기본법」 제11조 - 「기초연구진흥 및 기술개발지원에 관한 법률」 제14조 - 기후변화대응 기술개발 촉진법 제8조 - 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제64조 (순환경제의 활성화)) - 탄소중립기본법 제37조(기후위기의 감시·예측 등) - 기후기술법 제8조(기술개발사업의 추진) ○ 세부 추진배경 - 기후변화에 따른 토양 수분·열 조절 기능 손실 가속화 · 최근 기후변화로 인해 강우 패턴이 불규칙해지고, 가뭄 및 집중호우 등 이상기후 현상이 반복되면서 토양 내 수분 저장·유지 능력과 이에 수반되는 열 완충 능력이 급격히 저하되고 있음 · 토양수분보유능의 저하는 토양 공극 구조의 불안정화와 수분 이동 경로의 단절을 유발하며, 이로 인해 토양 온·습도 변동폭이 확대되고, 미생물 활성 및 뿌리대 미세환경의 안정성이 동반 붕괴되는 등 복합적 기능 저하로 이어지고 있음 · 이러한 토양수분보유능 및 수분-열 완충 기능의 손실은, 토양 내 물-열 순환의 비정상적 변동을 심화시키고 탄소 저장 및 유지 조건을 악화시켜, 기후변화에 대한 토양의 회복력 약화를 가속화하는 주요 기작으로 작용함 - 토양의 기후회복력 강화를 위한 수분보유능력 향상 기술 필요 · 토양의 수분보유능력 저하는 장기적으로 기온 상승 가속화 및 산불과 같은 재해 발생 가능성 증가로 이어지며, 이후 토양 유실과 홍수 피해를 심화시키는 악순환을 초래할 수 있음 · 토양의 수분보유능력은 물, 에너지, 탄소 순환의 핵심 인자로서, 토양의 기후적응력 및	

회복탄력성(resilience)과 직결되며, 정량적 지표(예: 수분 손실률, 수분증가율 등)를 통해 평가 및 검증할 수 있음

- 기후변화로 인한 토양 수분 불균형 문제를 해결하고 장기적인 토양 건강성을 회복/유지하기 위해, 토양 수분보유능력 향상을 위한 융합형 기후회복력 강화기술 개발이 필요함
- 위와 같은 필요성에도 불구하고 기존 토양 연구는 오염물질 정화 및 복원에 집중되어 토양 자체의 기후변화 영향(기후-토양 상호작용 등)에 대한 국내 연구 사례가 적어 기후재난 등 피해 예측 및 대응을 위한 신기술 개발 필요

○ 기획의 주안점

- 이상기후 시나리오(폭우·폭염·가뭄) 하에서 토양의 수분 저장·유지·회복 능력 강화를 목표로 한 토양수분보유능 향상 기술 개발
- 토양 내 수분의 저장·유지·완충 거동을 직접적으로 향상시키는 토양수분보유능 강화기술 확립
- 토지이용 유형별(도시·산림·농지) 및 이상기후 시나리오를 고려한 토양수분보유능 변화 거동 기반 실증 및 현장 최적화
- 현장 실증 결과를 반영한 토양수분보유능 강화기술 적용 매뉴얼 도출
- 실험 결과를 기반으로 한 수치모델링 및 데이터 기반(AI) 분석을 병행하여 수분-열-물질 전달 거동 평가를 통한 적용기술의 검증 및 장기 효과 평가

2. 과제목표

○ 최종 목표 :

- 토양종별 이상기후 조건에서 토양수분보유능 강화기술을 적용하고, 수분보유능 향상 효과를 정량적으로 검증
- ※ 본 향상 효과 평가는 토양수분보유곡선(SWRC)을 기반으로 한 수분보유 특성 변화율을 기준으로 하며, 단일 토양수분보유능 강화기술 적용 사례(예: IONPs 적용 시 보고된 약 10~20% 수준의 수분보유 특성 변화)를 참고하여 토양 강화기술 적용에 따른 수분 응답 크기를 정량화하기 위한 기후회복력 핵심 지표로 활용함
- ※ 본 연구개발을 통해 확보된 수분 보유능 향상률 및 유지율은 기후조건 변화에 따른 표토 수분함량의 급격한 변화를 완화(핵심성과목표)해줄 수 있을 뿐만 아니라 직접적으로 토양에서 대기로 전달되는 열 또한 저감(자율성과목표)할 수 있을 것으로 판단됨
- 토지이용 유형별(도시·산림·농지) 조건에서 가뭄·폭우·고온 등 이상기후 조건 변화에 따른 토양수분보유 특성의 안정성 평가
- 토양 기후 취약지역(토양 리스크 기반)에 대한 현장 실증 및 최적 기술 적용 매뉴얼 개발
- 토양 내 수분-열-물질 전달 모니터링 및 모델링을 통해 토양수분보유능 강화기술 효과 정량화 및 장기적 기후회복력 증진 효과 평가

○ 단계별 목표

1단계 (‘26~’28)	○ 개별 토양수분보유능 강화기술 적용에 따른 수분보유능 향상 효과 및 수분-열 전달 특성 평가 ○ 토양수분보유능 강화기술의 융합 적용성 평가 ○ 토양 내 토양수분보유능 강화기술의 작동 기작 규명 및 적용 조건 최적화 기술 도출 ○ 토양종별(도시·산림·농지) 및 이상기후 시나리오(폭우·폭염·가뭄)에 따른 수분보유 특성의 안정성 평가
---------------------------------	--

	○ 토양수분보유능 강화기술 적용에 따른 수분·열·물질 전달 특성 정량화 및 장기 거동 평가 ○ 표토를 중심으로 한 다매체(대기-표토-지중 불포화대) 연계 수분·열·물질 전달 평가체계 구축
2단계 (‘29~’30)	○ 현장 실증을 기반으로 한 장기 모니터링 체계 구축 및 토양수분보유능 강화 기술의 성능 검증·고도화 ○ 강화기술 적용 후 장기적 토양수분보유능 변화 및 통합 환경영향(생태 안정성·위해성 등) 평가 ○ 기후취약지역(토지이용 유형·토양 특성·기후취약도 등 리스크 기반) 유형별 맞춤형 토양수분보유능 강화기술 최적화 및 적용 매뉴얼 개발 ○ 장기 실증 데이터 축적을 통한 토양수분보유능 강화기술의 기후회복력 증진 효과 검증 및 실용화 가능성 평가

3. 연구개발내용 및 성과지표

○ 연구개발내용

구분	연구개발내용	비고
1단계 (‘26~’28)	○ 토양수분보유능 강화기술 개발 및 적용에 따른 수분보유 특성 정량 평가 - 실험실 규모에서 토양수분보유능 강화기술 적용에 따른 수분보유능 변화 특성 정량화 - 토지이용 유형별(도시·산림·농지) 및 이상기후 시나리오별(폭우·폭염·가뭄) 조건을 조합한 대표 조건 하에서의 수분보유 특성 비교·검증 - 토양수분보유능 강화기술 적용에 따른 수분보유 특성 변화 기작 규명 및 적용 조건 도출 - 토지이용 유형별·이상기후 시나리오별 수분보유 특성의 안정성 및 반복 교란 조건 하 거동 평가 ○ 토양수분보유능 강화기술 적용에 따른 다매체 수분·열·물질 전달 평가 및 예측 모델 개발 - 표토를 중심으로 한 다매체(대기-표토-지중 불포화대) 수분·열·물질 전달 평가를 위한 실험실 기반 기초자료 구축 - 시나리오별 경계조건 변화에 따른 수분·열 거동 변화의 정량화 - 실험 데이터를 활용한 AI 기반 토양 수분 예측 모델 개발 및 토지이용 유형별·시나리오별 핵심 수분 지표 도출 - 예측 결과의 민감도 및 불확실성 분석을 통한 모델 적용성 검증	

2단계 (‘29~’30)	○ 토양수분보유능 강화기술의 현장 실증 기반 성능 검증 및 고도화 - 현장 적용을 통한 토양수분보유능 강화기술의 성능 지속성 및 적용 안정성 검증 - 실증부지(25 m² 이내) 운영을 통해 수분보유능 및 유지 특성의 장기 변화 평가 - 현장 실증 데이터를 활용한 다매체(대기-표토-지중 불포화대) 수분·열·물질 전달 모델의 적용성 검증 ○ 기후취약지역 유형별 토양수분보유능 강화기술 최적화 및 적용 체계 확립 - 기후취약지역(토지이용 유형·토양 특성·기후취약도 등 리스크 기반) 유형별 토양수분보유능 강화기술 적용 조건 최적화 - 현장 실증 결과를 반영한 토양수분보유능 강화기술 적용 매뉴얼 개발 ○ 장기 예측을 통한 토양수분보유능 강화기술의 기후회복력 증진 효과 평가 - 장기 시뮬레이션을 활용한 토양수분보유능 강화기술 적용 효과의 시간적 확장성 평가 - 예측 결과를 기반으로 한 기술 적용 범위 및 실용화 가능성 검토	
---------------------------------	---	--

○ 성과지표

항목		1단계	2단계 (최종목표)	성과수준			비고
				국내 최고수준	세계 최고수준	기타	
필수	실증부지(25 m ² 이내) 장기(1년 이상) 운영결과	-	3건 이상	-	-		3개 이상의 조건에서 수행된 장기 현장실증 운영결과
	기후취약지역 유형별 맞춤형 기술적용 매뉴얼 개발	-	3건 이상	-	-		토지이용 유형· 토양 특성· 기후취약도 등 리스크 기반 기후취약지역 유형
	환경성 및 안정성 검증	-	우려기준 만족(2단계 목표)	-	-		토양환경보전법 토양오염우려기준 1,2,3 지역에 따름
자율	수분 보유능 향상률	단계별 자율제시		-	15%		강화기술 적용 전 대비 수분보유능 향상률(%) (토양수분보유곡선(S WRC)을 통해 평가), 토지이용 유형별 목표 제시
	수분 보유능	단계별		-	-		강화기술 적용으로

	유지율	자율제시				증가한 수분보유능의 유지되는 비율(6개월간), 토지이용 유형별 목표 제시
	표토 수분함량 변화율	단계별 자율제시	-	-		기후 시나리오(온도, 강우조건) 변화에 따른 평균수분함량의 변화율, 토지이용 유형별 목표 제시
	열 전달 저감률	단계별 자율제시	-	-		강화기술 적용여부에 따른 토양(불포화대)에서 대기로 전달되는 열의 저감 정도, 토지이용 유형별 목표 제시
	개발 기술의 혁신성	단계별 자율제시				대표성과물 홍보 및 전시 계획, 특허, 기술이전 계획 등

※ 핵심지표는 필수로 설정하여야 하며, 자율지표는 추가하여 제시할 수 있음

※ 모든 성능 지표는 공인시험규격이 있는 경우 공인인증서를 제출하여야 하며, 그외에 외부기관 검증서, 전문가 입회확인서 제출 필수(자체 평가 시 필요 사유 제시)

※ 각 정량 목표 수치의 평가 기준, 측정 방법 등에 대한 정보를 구체적이고 명확하게 제시

4. 특기사항				
기본 특성분류	주요 항목별 해당여부	국가전략기술	☐ Y (분야명/중점기술명)	☒ N
		혁신도전형 R&D	☐ Y	☒ N
		특허로 R&D(舊 IP-R&D)	☐ Y	☒ N
		경쟁형 R&D	☐ Y	☒ N
		보안과제	☐ Y	☒ N
		기술료 징수	☒ Y	☐ N
		3책5공 적용	☒ Y	☐ N
		국제공동연구 의무	☐ Y	☒ N
		지자체 예산매칭 의무	☐ Y	☒ N
	ESG	☒ E(환경) ☐ S(사회) ☐ G(지배구조) ☐ 해당없음		

- 주관연구개발기관이 연구개발과제 형식으로 제안하여야 함
 - 공동연구개발기관 등의 구성은 자율로 하되, 각 기관별 역할 명확하게 제시 필요
- 동 사업 내 주관/공동/위탁 연구개발기관 연구책임자로 신청 가능한 과제수는 1개로 제한
- 논문·특허 성과는 기여도가 50% 이상인 경우에 한하여 성과로 인정
- 연구개발과제명은 연구자의 아이디어를 포함하여 자유롭게 제시 가능
- 과제 제안요구서(RFP)에 제시된 필요성과 목표, 연구기간, 예산 등을 고려하여 연구개발계획서에 명확하고 구체적인 연구 범위와 도전적 성과목표를 제시
- 자율 성과지표는 각 항목 및 목표치를 자유롭게 제시할 수 있으나, 설정한 목표치에 대한 타당성을 입증할 수 있는 객관적인 자료를 반드시 첨부
- 기존 연구개발과제 및 기술과의 차별성을 구체적으로 제시 필수
- 연차점검(필요시) 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

○ 연구개발비 : 총 76.5억 원 내외(정부출연금)

(단위: 백만원)

과제내용	1단계			2단계	
	1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도
토양 기후회복력 강화를 위한 토양수분보유능 향상 기술 개발	450	1,800	1,800	1,800	1,800

※ 연구개발비 규모 및 연구개발기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능

관리번호		2026-에너지·환경- 1-지정공모-14		RFP 유형코드	목적·내용	성과물 특성	지원유형
					R	1	1
					원천연구	시작품, 시제품 제작 및 검증 (TRL 5~6)	일반연구개발
국가전략연구 기획평가전문분야		PM분야	에너지·환경	RB분야	물순환관리	기후적응	
사업명		토양기반기후회복력진단및강화기술개발					
RFP명		토양 기후회복력 강화를 위한 물리·화학·생물학적 특성 개선 및 생물다양성 확보 기술 개발					
		(TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 5단계)					
지원 정보	지원기간	2026.04 ~ 2030.12		정부지원금	9,250백만원		
	1단계 (1차년도)	2026.04 ~ 2028.12 (2026.04 ~ 2026.12)		1단계 (1차년도)	4,850백만원 (450백만원)		
	2단계	2029.01 ~ 2030.12		2단계	4,400백만원		
	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	이상기후토양, 토양강화제, 토양유실, 비료보유력, 생물다양성					
	영문	Extreme-climate soils, Soil amendment, Soil erosion, Nutrient retention capacity, Biodiversity					

1. 추진배경	
○ 추진근거 - 「과학기술기본법」 제11조 - 「기초연구진흥 및 기술개발지원에 관한 법률」 제14조 - 기후변화대응 기술개발 촉진법 제8조 - 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제64조 (순환경제의 활성화) - 탄소중립기본법 제37조(기후위기의 감시·예측 등) - 기후기술법 제8조(기술개발사업의 추진) ○ 세부 추진배경 - 기후변화에 따른 토지의 물리·화학·생물학적 기능 저하 • 토양 기후회복력 저하는 순 1차 생산량 (Net Primary Production, NPP)를 감소시켜 기후회복력의 저하속도를 증가시켜 토양의 기능을 약화시킴 • 기후변화로 인한 토양 기능이 훼손되고 있으며, 이는 토양침식, 토양 탄소의 감소, 영양분 불균형(비옥도 감소), 염류화 및 고형화, 토양오염 및 산성화, 다짐정도(압축성)변화와 같은 토양의 물리·화학·생물학적 특성 변화로 나타나고 있으며 토양의 생물다양성이 위협받고, NPP도 감소 • 기후변화로 인한 토양의 물리·화학·생물학적 특성의 저하는 토양의 가장 기본적인 기능을 약화시켜 회복이 불가능한 상태로 훼손시킬 수 있음 - 토양의 기후회복력 강화를 위한 토양의 물리·화학·생물학적 기능 강화 기술 필요 • 토양 기후회복력(Soil Climate Resilience)은 토양이 기후변화로 인한 충격과 스트레스에 대해 저항하고, 회복하며, 필수적인 기능을 유지하는 능력임 • 토양 물리성(물리·화학·생물학적 특성)개선과 토양의 기후회복력을 연계하기 위한 과학기술적	

노력은 산발적으로 이루어져 왔음. 토양의 물리성 개선이 기후회복력의 강화 그리고 궁극적으로 토양의 생물다양성 확보 및 NPP 증대로 연결되는 체계화된 연구는 전무함

- 표토 침식과 토양의 영양분 불균형 및 보유 능력의 감소는 토양에서 식물 성장을 어렵게 함.
- 기후변화로 인해 훼손될 수 있는 토양이 회복탄력성을 가질 수 있도록 개선하고 강화하는 융합적 기후회복력 강화 기술개발이 필요함
- 위와 같은 필요성에도 불구하고 기존 토양 연구는 오염물질 정화 및 복원에 집중되어 토양 자체의 기후변화 영향(기후-토양 상호작용 등)에 대한 국내 연구 사례가 부족하여 기후재난 등 피해 예측 및 대응을 위한 연구 및 신기술 개발이 필요

○ 기획의 주안점

- 기후변화로 인한 손상된 토양의 물리-화학-생물학적 특성을 회복하기 위한 통합형 연구 및 신기술 개발을 통해 토양의 기후회복력 강화 방안 마련
- 토양의 물리적 기능 개선을 핵심 출발점으로 삼아, 화학-생물학적 기능 개선을 통합하여 토양유실저감, 비료 보유력 향상, NPP 증대 및 생물다양성 증대
- 연구 결과의 현장 검증을 통한 기술의 과학적 신뢰도 확보

2. 과제목표

○ 최종 목표 :

- 이상기후(폭우·폭염·가뭄)의 물리-화학적 토양변화 예측 모델링 및 모사토양 제조/특성분석/검증 기술 개발
※ (최소 3개 이상의 농경, 산림, 도심 이상기후 토양 시나리오 제시 및 기술개발)
- 이상기후 조건 별 토양에서 물리-화학-생물학적 특성 개선을 위한 맞춤형 토양 강화제 및 강화기술 개발
※ (맞춤형 토양 강화제 = 대량생산 시스템 구축/운전/시제품화 (10 kg/d 이상), 강화기술 = 25 m² 이내 현장적용 가능규모, 적용토양 깊이는 연구자 제시)
- 강화제 적용에 따른 미생물 군집 영향 및 생물다양성 영향 평가
- 이상기후 조건 하에서 토양 유실 저감을 통한 토양 물리적 기능 향상 (※저감 수치 연구자 제시)
※ (현장에서 검증된 유실률 저감 시제품 2건 이상)
- 이상기후 조건 하에서 토양 비료(양분) 보유력을 통한 토양의 화학적 기능 향상
※ (현장에서 검증된 양분 보유력 향상 할 수 있는 시제품 2건 이상)
- 이상기후 조건 하에서 NPP 변화량 측정을 통한 토양 기후회복력 강화검증 (※강화 수치 연구자 제시)
※ 이상기후 모사토양 대비 회복력 강화토양의 작물 생산성 향상 평가 및 검증
※ 토양 기후회복력에 대한 개별 indicator가 토양유실, 비료보유력이며, 이를 종합적으로 고려한 것이 NPP 증대임. 기후회복력의 관점에서 이상기후 시나리오 조건 (이상기후 조건) 하에서 토양강화제 적용 후 NPP 유지를 목표로 설정하였음
- 토양의 물리화학적 기능 회복을 통한 강화 기술 효과 정량화 및 장기적 기후회복력 증진 효과 평가

○ 단계별 목표

1단계 (‘26~’28)	○ 이상기후 후 토양변화 예측 모델링 및 모사토양 기술 개발 ○ 물리성 개선을 위한 고효율 표토 안정화 원천기술 개발 및 실내 검증 ○ 화학성 개선을 위한 양분 보유력 향상 원천기술 개발 및 실내 검증 ○ 맞춤형 토양 강화제 및 강화기술 고도화/실용화 (대량생산 및 현장 기술 준비를 위한 연구개발) ○ 물리성-화학성 통합 개선 성능 향상 ○ 토양 물리-화학적 특성 기작 및 적용 조건 최적화 기술 개발
---------------------------------	--

	- 토양 유형 및 환경 조건별 적응성 검증 - 강화제 처리에 따른 구조·생태 안정성 평가 및 NPP 증대 효율 평가 - 미생물 군집 영향 및 생물다양성 영향 평가 실험
2단계 (‘29~’30)	- 표토유실 및 비료 보유력 현장실증을 통한 장기 모니터링 체계 구축 및 강화 기술 검증·고도화 - 미생물 군집 영향 및 생물다양성 영향 평가 - 기술 적용 후 환경영향(생태 안정성·위해성 등) 평가 - 시 기반 실험실 데이터 평가 및 토양기후회복력 강화 모델 개발 - 기후취약지역(토지이용 유형·토양 특성·기후취약도 등 리스크 기반) 유형별 맞춤형 기술 최적화 및 적용 매뉴얼 개발 - 장기 데이터 축적을 통한 기후회복력 증진 효과 검증 및 기술 실용화 검토

3. 연구개발내용 및 성과지표

○ 연구개발내용

구분	연구개발내용	비고
1단계 (‘26~’28)	- 이상기후 후 토양변화 예측 모델링 및 모사토양 기술 개발 - 토양 유실을 제어하기 위한 물리·화학·생물학적 강화제 및 강화기술 개발 - 토양 양분 보유력 향상을 위한 강화제 및 강화기술 개발 - 기술 적용에 따른 토양의 물리적 화학적 생물학적 특성 변화 연구 - 맞춤형 토양 강화제 및 강화기술 - 현장적용을 위한 대형화/실용화 기술 설계 및 개발 - 토양유실 및 양분 보유력 향상 기작 검토 및 적용 조건 도출 - 기술 적용에 따른 토양 기능 반응 및 안정성 평가 - 기술의 장기 안정성 평가 모델링 수행 - 맞춤형 토양 강화제 및 강화기술 현장적용을 위한 대형화/실용화 기술 운영 및 실험실 규모 검증 - 토지이용 유형 및 환경 조건에 따른 기술의 적응성 평가 - 이상기후 시나리오 따른 토양의 기능 변화 정량화 및 민감도/불확실성 분석 - 미생물 군집 영향 및 생물다양성 영향 평가	
2단계 (‘29~’30)	- 현장실증을 통한 기술 검증·고도화 및 장기적 토양 기능 개선 평가 - 미생물 군집 영향 및 생물다양성 증가 검증 - 실증부지 운영을 통한 토양유실, 토양 비료 보유력, NPP 증대, 토양 미생물 군집 변화 안정성 평가 및 통합 환경영향(생태 안정성·위해성) 평가 - 시 기반 강화제 투입에 따른 토양기후회복력 평가 및 모델 개발	

		○ 실증 확장 및 기술 검증 결과를 바탕으로 기술 적용 매뉴얼화 ○ 현장 주입 효율 및 기술 안정성 검증 ○ 장기 시뮬레이션을 통한 기후회복력 증진 효과 확장 가능성 예측 및 기술 실용화 검토					
○ 성과지표							
항목		1단계	2단계 (최종목표)	성과수준			비고
				국내 최고수준	세계 최고수준	기타	
필수	토양 강화제 생산	≥ 1 kg/d	≥ 10 kg/d	-	-		대량생산 시스템 구축 및 시제품의 QA/QC 보증
	토양 유실률 저감 시제품	1건 이상	2건 이상	-	-		
	토양 양분 보유력 향상 시제품	1건 이상	2건 이상	-	-		
	실증부지(25 m ² 이내) 장기(1년 이상) 운영결과	-	2건 이상	-	-		3개 이상의 조건에서 수행된 장기 현장실증 운영결과, 1년 4계절 결과 필수
	환경성 및 안정성 검증	-	우려기준 만족	-	-		토양환경보전법 토양오염우려기준 1,2,3 지역에 따름
	기후취약지역 유형별 맞춤형 기술적용 매뉴얼 개발	-	3건 이상	-	-		토지이용 유형/토양특성/기후취약도 등 리스크 기반 기후취약지역 유형
자율	토양유실저감	단계별 자율제시		-	-		강우강도에 따른 침식률 감소 (%), 극한강우 시 반드시 포함 (50-100 mm/h)
	비료보유력 향상	단계별 자율제시		-	-		강우강도에 따른 N/P/K 용출 감소율 (%)
	토양 생물 다양성	단계별 자율제시		-	-		이상기후 시나리오 조건(이상기후조건)하에서 기술 적용 후 미생물 다양성 증가율 (%)
	NPP 유지	단계별 자율제시		-	-		이상기후 시나리오 조건(이상기후조건)하에서 기술 적용 후 NPP 증가율 (%)

	개발 기술의 혁신성	단계별 자율제시	-	-		대표성과물 홍보 및 전시 계획, 특허, 기술이전 계획 등
--	------------	----------	---	---	--	---------------------------------

※ 핵심지표는 필수로 설정하여야 하며, 자율지표는 추가하여 제시할 수 있음

※ 모든 성능 지표는 공인시험규격이 있는 경우 공인인증서를 제출하여야 하며, 그외에 외부기관 검증서, 전문가 입회확인서 제출 필수(자체 평가 시 필요 사유 제시)

※ 각 정량 목표 수치의 평가 기준, 측정 방법 등에 대한 정보를 구체적이고 명확하게 제시

4. 특기사항					
기본 특성분류	주요 항목별 해당여부	국가전략기술	☐ Y (분야명/중점기술명)	☒ N	
		혁신도전형 R&D	☐ Y	☒ N	
		특허로 R&D(舊 IP-R&D)	☐ Y	☒ N	
		경쟁형 R&D	☐ Y	☒ N	
		보안과제	☐ Y	☒ N	
		기술료 징수	☒ Y	☐ N	
		3책5공 적용	☒ Y	☐ N	
		국제공동연구 의무	☐ Y	☒ N	
		지자체 예산매칭 의무	☐ Y	☒ N	
		ESG	☒ E(환경) ☐ S(사회) ☐ G(지배구조) ☐ 해당없음		

○ 주관연구개발기관이 연구개발과제 형식으로 제안하여야 함

- 공동연구개발기관 등의 구성은 자율로 하되, 각 기관별 역할 명확하게 제시 필요

○ 동 사업 내 주관/공동/위탁 연구개발기관 연구책임자로 신청 가능한 과제수는 1개로 제한

○ 논문·특허 성과는 기여도가 50% 이상인 경우에 한하여 성과로 인정

○ 연구개발과제명은 연구자의 아이디어를 포함하여 자유롭게 제시 가능

○ 과제 제안요구서(RFP)에 제시된 필요성과 목표, 연구기간, 예산 등을 고려하여 연구개발계획서에 명확하고 구체적인 연구 범위와 도전적 성과목표를 제시

○ 자율 성과지표는 각 항목 및 목표치를 자유롭게 제시할 수 있으나, 설정한 목표치에 대한 타당성을 입증할 수 있는 객관적인 자료를 반드시 첨부

○ 기존 연구개발과제 및 기술과의 차별성을 구체적으로 제시 필수

○ 연차점검(필요시) 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

○ 연구개발비 : 총 92.5억 원 내외(정부출연금)

(단위: 백만원)

과제내용	1단계			2단계	
	1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도
토양 기후회복력 강화를 위한 물리·화학·생물학적 특성 개선 및 생물다양성 확보 기술 개발	450	2,200	2,200	2,200	2,200

※ 연구개발비 규모 및 연구개발기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능