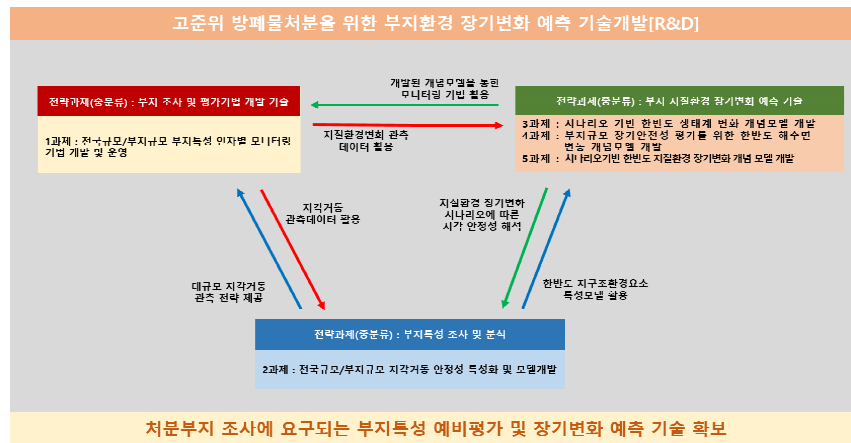


'24년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서/제안요청서(RFP) (통합형 연구개발과제)

관리번호	2024-사용후핵연료-통합형-1
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 챌린지트랙() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()
프로젝트명	(총괄) 고준위방폐물 처분을 위한 부지환경 장기변화 예측기술 개발
1. 필요성	<p>○ 처분부지 적합성 기본·심층 조사 및 후보부지 인허가 신청용 부지특성보고서 작성에 요구되는 한반도 지질환경 장기변화 예측기술 개발을 통해 처분 적합부지에 대한 객관적·과학적 선별요건 마련 필요</p> <p>○ (기술적) '29년까지 과학적 부지평가 및 향후 처분사업자의 「심층처분시설 종합안전성 입증체계(Safety case) 보고서」와 처분시설 인허가 대응에 필요한 후보부지 특성보고서의 구성 요소인 한반도 규모 지질환경 장기변화 예측기술 개발 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> - 원자력 안전규제 전문기관(KINS)의 「부지특성보고서 작성지침 고시(안) 기술배경서」('22.12월)에서 요구하는 '폐쇄후 장기간에 걸친 부지특성과 관련된 주요 현상, 사건 및 과정(FEP)의 체계적 분석 및 기술'을 위한 목적으로 한반도 규모의 지질환경 장기변화 예측 결과 확보 필수 - 한반도 지질환경 장기변화 예측을 통해 처분사업자가 제시해야 하는 「심층처분시설 종합안전성 입증체계(safety case) 보고서」의 “처분시스템 장기진화” 중 “천연방벽” 항목에 필요한 규모별 부지 지질환경 장기변화 특성 및 모델 직접 제공 - 해외 방폐물 처분 선도국은 자국의 광역 및 지역규모 지질환경에 대한 지질환경 변화과정과 이에 기반한 미래의 장기적 변화 시나리오를 개발하여 처분안전성 평가의 요소로 활용 <p>○ (경제적) '고준위방폐물 관리 기본계획'(21) 이행에 필요한 요소기술 중 공백기술의 선제적 확보를 통해 방폐물 관리사업 수행 기관 및 기업의 기술기반 확보 및 기술자립화에 기여</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해외 방폐물 처분 선도국가로부터의 기술도입 보다는 국내 지질환경에 최적화한 기술을 개발하여 기술수입 최소화 및 기술 자립화로 방폐물 관리사업의 경제성 확보 필요 - 방폐물 처분관련 기술은 공공성이 큰 기술로서, 해외의 경우 정부 주도로 기술개발을 진행하고 이를 통해 자국의 처분핵심기술을 확보하여 기술의 경제성·활용성을 제고 <p>○ (정책적) 방사성폐기물의 안전하고 경제적인 관리는 국민안전을 위해 무엇보다 우선하여 국가 책임하에 추진되어야 할 중요한 국가 아젠다로서, 이를 실천할 수 있는 기술기반 확보 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과학적이고 합리적인 고준위방폐물 관리의 핵심은 기술 확보이며, 방폐물 처분시설에 대한 국민불안 해소를 위해 부지평가 분야 기술개발은 필수
2. 프로젝트 개념	<p>○ (기술개념) 한반도 규모의 미래 10만년 단위 지질환경변화 예측을 통해 처분부지를 포함한 처분시설 종합안전성 입증체계(Safety case) 보고서 및 후보부지 인허가용 부지 특성보고서 작성에 필요한 요소 제공이 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전국 및 부지 규모의 지질특성인자에 대해 부지개발 이전단계부터 부지 개발 중, 폐쇄후 변화 감시를 위한 전략 및 기법 개발 - 한반도 규모의 장기 지질환경 변화가 부지의 처분안전성에 미치는 영향을 사전에 평가하기 위해 초장기적 지질환경 변화 시나리오를 개발하고 예측모델 개발에 적용 - 한반도를 대상으로 장기적인 지각활동, 해수면 변동, 생태계 변화 예측모델을 개발하고, 이와 함께 지질환경 구성분야(지표, 지질구조, 수리지질, 지화학, 암반역학)의 장기변화 시나리오 개발 및 시나리오 기반 지질환경변화 개념모델 개발 - 개발된 시나리오 및 지질환경변화 개념모델을 이용하여 장기안전성 평가를 실시하고 처분부지의 폐쇄후 처분안전성 변화 여부 판단

- **(기술개발방향)** 기존 수행 연구사업에서 고려하지 않은 한반도 및 부지 규모(동북아시아 → 한반도 → 처분부지 규모) 초장기적인 지질안정성 예측을 통해 부지에 영향을 미치는 장기 지질환경변화의 종합적 예측결과를 확보하고, 이를 처분 종합안전성 입증체계(safety case) 구축과 규제기관이 요구한 후보부지 인허가용 부지특성보고서 작성 요소로 활용함
- 심층처분의 종합성능 평가에 요구되는 장기지각거동, 생태계 변화, 해수면 변동을 고려한 한반도 및 부지규모 지질환경 장기변화 예측결과를 확보하고, 이를 궁극적으로 부지의 장기안정성(stability) 평가에 적용하고자 함
- 처분부지의 장기적인 변화 특성 규명을 위해 처분부지 조사에 요구되는 부지규모 지권 및 생물권에 대한 장기변화 예측 기술 확보로 개발 대상을 차별화

<개념도>



3. 개발목표 및 내용

- **(최종목표)** 고준위방폐물 관리 기본계획의 이행과 처분부지 특성 보고서에 요구되는 한반도 및 부지 규모 장기변화 예측 기술 확보
 - 전국/부지규모 부지특성 인자 감시, 지각운동 안정성 특성화 및 모델, 지표환경 및 기후 변화에 따른 생태계 및 해수면 변동 예측 개념모델 개발
 - 시나리오 기반 한반도 규모 및 부지 지질환경 장기변화 예측 모델 개발과 예측 결과 제시
 - * '29년까지 후보부지 심층조사에 따른 부지의 처분적합성 평가를 위해 한반도 규모 및 부지규모 지질환경 장기변화 예측 모델을 개발하고 예측 결과 및 장기 안전성 평가 결과 제시
- **(세부연구개발과제 연구내용)**
 - 총괄과제와 5개의 세부과제로 구성하여 역할분담을 통한 기술개발 추진

세부연구개발과제명	기술개발 목표 및 내용	비고
(총괄) 고준위 방폐물 처분을 위한 부지환경 장기변화 예측 기술 개발 (TRL : 4 ~ 6단계)	□ 전체 총괄 역할 <ul style="list-style-type: none"> ○ 세부 연구개발과제 종합관리 및 사업추진 방향 조정 * ⑤세부과제 주관연구개발기관이 총괄 역할을 수행 ○ 연구개발을 통해 도출된 연구결과물 상호 연계 지원 ○ 사업성과(실적) 관리 및 보고 총괄 등 (1차년도 정부지원연구개발비: 0.41억원 내외, 총 정부지원연구개발비 : 3억원 내외)	공고시기
		2024년 공고
		연구개발과제유형
		원천
		주관연구개발기관
		비영리
		정부납부기술료
		비징수
		지원기간
		1단계 33개월 / 2단계 36개월

<p>① 전국규모/부지 규모 부지특성 인자별 감시기법 및 운영기술 개발 (TRL : 4 ~ 6단계)</p>	<p>□ 고준위방사성폐기물의 심층처분을 위한 전국 및 부지규모 부지특성 인자별 감시기법 및 운영 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 1단계 : 전국규모/부지규모 부지특성 감시기법 개발 및 운영 기반 구축 ○ 2단계 : 한국형 부지특성 감시기법 개발 및 운영기술 개발 <p>*주요 성과물: 전국/부지 규모 지표/지하환경 감시 시스템 (test-bed), 부지특성 감시시스템 품질보증절차 및 운영 매뉴얼</p>	<p>공고시기 2024년 공고</p> <p>연구개발과제유형 원천</p> <p>주관연구개발기관 비영리</p> <p>정부납부기술료 비징수</p> <p>지원기간 1단계 33개월 / 2단계 36개월</p>
<p>② 전국규모/부지 규모 지각운동 지속안정성 영향 인자 특성화 및 모델 개발 (TRL : 3 ~ 6단계)</p>	<p>□ 전국규모 및 부지규모 지각운동 지속안정성 영향인자 특성화, 단기/중장기 효과 분석과 변화 예측모델 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 1단계 : 부지 안정성에 영향을 주는 활성단층을 포함한 역학적 인자에 대한 특성화와 장기 지각거동안정성 분석 ○ 2단계 : 전주기(일시/단기/중장기) 지각운동/지표변형에 따른 부지 지속안정성 평가 및 분석 기반 기술 확보 <p>*주요 성과물: 전국/부지 규모 전주기 지각운동/변형 영향요소의 재현주기 및 분포 모델, 지각운동/변형 주요 영향요소 장기 변화예측 모델 (5세부 제공)</p>	<p>공고시기 2024년 공고</p> <p>연구개발과제유형 원천</p> <p>주관연구개발기관 비영리</p> <p>정부납부기술료 비징수</p> <p>지원기간 1단계 33개월 / 2단계 36개월</p>
<p>③ 시나리오 기반 한반도 생태계 변화 개념모델 개발 (TRL : 3 ~ 6단계)</p>	<p>□ 초장기 지표환경 변화 시나리오 기반의 한반도 및 부지규모 생태계 변화 개념 및 예측모델 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 1단계 : 방사능 누출에 의한 육상 생태계 영향 예측을 위한 주요 환경 인자 식별 및 생태계 변화 특성화 평가 ○ 2단계 : 한반도 기후 변화 시나리오에 따른 지표환경과 육상 생태계 영향예측 개념모델 개발 및 예측결과 도출 <p>*주요 성과물: 지표환경-생태계 변화 연계 수치모델 플랫폼, 초장기 기후변화를 고려한 생태계 안전성 평가 도구(5세부 제공)</p>	<p>공고시기 2024년 공고</p> <p>연구개발과제유형 원천</p> <p>주관연구개발기관 비영리</p> <p>정부납부기술료 비징수</p> <p>지원기간 1단계 33개월 / 2단계 36개월</p>
<p>④ 부지규모 장기 안전성 평가를 위한 한반도 해수면 변동 개념모델 개발 (TRL : 3 ~ 6단계)</p>	<p>□ 한반도 지역에 특화된 해수면 변동 개념모델 개발과 이를 활용한 한반도 지역의 부지 지질환경 장기변화 규명</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 1단계 : 초장기 전지구 해수면변동 개념모델 및 기후 변화 재현도구를 활용한 한반도 초장기 기후변화 시나리오 생산 ○ 2단계 : 한반도 해수면변동 개념모델 개발 및 한반도 초장기 기후변화 시나리오 불확실성 평가 및 개선 <p>*주요 성과물: 한반도 기후변화 시나리오 생산 프레임워크, 기후변화 시나리오 기반 전지구/한반도 해수면 변동 개념 모델(5세부 제공)</p>	<p>공고시기 2024년 공고</p> <p>연구개발과제유형 원천</p> <p>주관연구개발기관 비영리</p> <p>정부납부기술료 비징수</p> <p>지원기간 1단계 33개월 / 2단계 36개월</p>
<p>⑤ 시나리오 기반 한반도 지질환경 장기변화 개념 모델 개발 (TRL : 3 ~ 6단계)</p>	<p>□ 처분종합성능평가 자료 구축을 위한 시나리오 기반 한반도 규모 지질환경 분야별 장기변화 모델 구축 및 예측결과 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 1단계 : 한반도 지질환경의 장기변화에 대한 분야별 특성 평가 및 시나리오 개발 ○ 2단계 : 한반도의 지질환경 장기변화 통합개념모델 개발 및 예측 결과 제시 <p>*주요 성과물: 한반도 지질환경 장기변화 스냅샷모형 시나리오, 지질환경 장기변화 통합개념모델 및 예측 결과, 통합개념모델 기반의 처분부지 폐쇄후 장기안전성 평가 결과</p>	<p>공고시기 2024년 공고</p> <p>연구개발과제유형 원천</p> <p>주관연구개발기관 비영리</p> <p>정부납부기술료 비징수</p> <p>지원기간 1단계 33개월 / 2단계 36개월</p>

4. 기타 지원 요건

○ 개발위험 극복방안

- 고준위방폐물 처분에 관련하여 한반도 규모의 초장기 지질환경변화에 대한 예측연구는 그동안 본격적으로 수행된 사례가 없으므로, 연구목표 달성을 위해 국내 관련 기관 및 대학에서 확보하고 있는 기초자료 수집과 분석이 필수적이며, 필요시 관련 연구를 수행한 해외 선도국 및 동북아 주변국과의 협력을 통한 성과목표 달성이 필요함
- 기존에 국내에서 도출한 지질환경 관련 연구자료와 결과는 대부분 방폐물 처분 목적으로 생산된 성과가 아니므로, 고준위방폐물 처분사업 목적에 부합하도록 기존 자료와 결과의 재분석이 필요함. 재분석 결과를 기반으로 연구주제별 국내 지질환경의 현장조사, 시험 분석, 모델 개발 등의 연구 수행이 필요함
- 연구개발 성과물은 활용 목적에 부합하도록 연구개발 최종년도 기준 TRL 6단계를 달성하여야 하며, 향후 처분사업 시행 시 종합안전성 입증체계(Safety case) 보고서와 후보부지 인허가용 부지특성보고서에 본 연구개발 성과물을 활용하여 최종적으로 TRL 7단계 이상의 활용성과를 도출함
- 초장기 지질환경변화 개념모델 및 예측결과 도출의 타당성 확보를 위해 각 세부과제별 연구결과의 신뢰성 또는 불확실성 평가를 실시하고, 과제별 성과물의 피드백을 통해 종합적 연구결과의 불확실성과 리스크를 최소화 함
- 10만년 이상의 한반도 장기 지질환경변화에 대한 예측 결과 확보는 초장기적 시간개념이 도입되어야 하며 예측결과와 모델의 타당성과 불확실성을 평가하고, 이 과정에서 1세부 과제에서 개발하는 성과물을 활용하여 지질환경변화 장기 감시를 병행함
- 현재 개발된 부지감시 기술은 200m 내외의 천부 지질환경 감시 또는 이산화탄소 지중저장이나 지진·단층(암반거동) 관측 등 특정 목적으로 한 지하환경 감시 기술 확보에 국한되어 있음. 따라서, 광역지역을 대상으로 한 심부환경 감시 시스템 구축 전략 수립이 필요하며, 1km 심도 내외의 심부 관측공을 활용한 감시 기법의 개발이 필수적으로 요구됨
- 부지선정 선도국의 선행연구 분석계획과 본 사업에 적용계획을 제시

○ 기타사항

- 통합형 과제로 총괄주관연구개발기관이 세부연구개발과제를 포함하여 총괄연구개발 형태로 컨소시엄을 구성하고, 총괄연구개발과제 및 세부연구개발과제별로 연구개발계획서를 제출

(1세부과제설명자료) 전국규모/부지규모 부지특성 인자별 감시기법 및 운영기술 개발

관리번호	-	
연구개발과제유형	원천기술형(○),	혁신제품형()
		실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	전국규모/부지규모 부지특성 인자별 감시기법 및 운영기술 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 6단계)	
1. 지원필요성	<p>○ 고준위방사성폐기물의 심층처분시설 운영 전 부지특성 평가시 부지특성 인자 특성값 변화의 지속적 감시 시스템 개발 및 인자별 데이터 품질관리 대안 마련이 필요</p> <p>- 처분부지 적합성 평가를 위해 부지특성 인자들의 장기적인 변화에 대한 기준 자료 확보, 모델링 예측 결과의 유효성 검증 및 신뢰성 확보 등을 위한 부지특성 인자들에 대한 감시 기법, 그리고 부지 감시 자료를 포함한 부지조사 결과의 안정적 관리를 위한 시스템 구축 및 운영 기술은 심층처분 부지확보 단계에서 매우 중요한 기술임</p>	
2. 품목정의	<p>○ (최종목표) 고준위방사성폐기물 심층처분시설의 건설 및 운영 활동이 부지특성에 미치는 영향 규명 등을 위한 전국규모/부지규모 부지특성 인자별 감시 체계 구축 및 운영기술 확보</p> <p>○ (연구내용) 고준위방사성폐기물의 심층처분을 위한 전국 및 부지규모 부지특성 인자별 감시기법 및 운영기술 개발</p> <p>- 1단계 (2024년~2026년): 전국규모/부지규모 부지특성 감시기법 개발 및 운영 기반 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> • 부지규모별 부지특성 감시 전략 개발 및 부지특성 인자 도출 • 규모별 부지특성 인자에 적합한 감시기법 개발 • 부지규모 부지특성 감시 설비 및 인프라 시설 설계 • 심층처분 지표 및 지하환경 부지특성 감시 설비 및 인프라 시설(심부관측공 포함) 구축 <p>- 2단계 (2027년~2029년): 한국형 부지특성 감시 기법 개발 및 운영 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • 부지규모별 부지특성 감시 기법 고도화 및 한국형 부지감시 방법론 개발 • 초기부지 조사 단계에 적합한 부지특성 감시시스템 운영 및 설비 유지보수 방안 도출 • 부지규모 부지특성 감시시스템 품질보증 방안 및 운영 매뉴얼 개발 • 부지규모 부지특성 감시체계와 부지특성 모델구축 간의 연계 체계 개발 <p>- 주요 연구성과물:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전국/부지 규모별 부지특성 인자별 감시기법 • 지표 및 지하환경 부지특성 감시시스템(test-bed) • 부지특성 감시시스템 품질보증(안) 및 운영 매뉴얼 	

○ 개발위험 극복방안

- 현재 개발된 감시 기술은 200m 내외의 천부 지질환경 감시 또는 이산화탄소 지중저장이나 지진·단층(암반거동) 관측 등 특정 목적으로 한 지하환경 감시 기술 확보에 국한됨
- 고준위방사성폐기물 심층처분 부지특성 조사 및 평가 관련 규제요건을 만족하기 위해서는 1km 내외의 심부 환경의 열-수리-역학-화학 등 복합환경 거동 및 상호작용 평가 등을 위해 심부관측공을 활용한 심부환경 감시 시스템 구축이 필수적으로 요구됨
- 개발기술은 한반도 지체구조별 장기적인 지각거동 감시 체계 마련 및 부지규모 부지특성 인자별에 대해 부지개발 전, 심층처분시설 운영 중, 폐쇄 후 부지감시 방안 마련에 기술적인 기반을 제공할 수 있음
- 지질환경 감시 대상 인자는 다양하게 구성 가능하나, 지각 거동 및 역학특성, 수리지질 특성, 수리지화학 특성, 지열 특성, 생태계 등의 항목을 포함함

3. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 69개월 이내(1단계 33개월, 2단계 36개월)

(1차년도 정부지원연구개발비: 8.86억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 비징수
총 정부지원연구개발비 : 103억원 내외)

○ 주관연구개발기관 : 대학, 연구소 등 비영리

○ 기타사항 : 旣개발된 심부관측공의 활용이 가능하며 관련 업무에 대한 품질보증 체계가 수립된 기관 참여 필수

(2세부과제설명자료) 전국규모/부지규모 지각운동 지속안정성 영향인자 특성화 및 모델개발

관리번호	-	
연구개발과제유형	원천기술형(○),	혁신제품형()
		실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	전국규모/부지규모 지각운동 지속안정성 영향인자 특성화 및 모델개발 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 6단계)	
1. 지원필요성	<p>○ 처분부지는 초장기(10만년 규모) 동안의 지속적 안정성 확보가 필요함. 처분부지 선정과 안정성 확보를 위해 전국규모/부지규모의 전주기(일시/단기/중장기) 지각운동에 관한 영향 평가 기술 확보 필요</p> <p>- 처분 부지 안정성에 영향을 미치는 주요한 지각거동/지표변형을 동반하는 다양한 지질인자에 대한 영향요소 특성화와 예측 모델 개발 필요</p> <p>- 국민수용성 제고를 위해 각 요소별 효과 평가와 상세 자료 확보 필요</p> <p>○ 처분부지에서 일어날 수 있는 다양한 시기별 변화 요소를 확인하고, 그 효과에 대한 분석을 통해 처분부지의 안정성을 평가하여 국민 불안 요소 선제적 점검</p> <p>○ 처분 부지 확정 과정에서 필요한 핵심 점검 자료와 검토자료를 제공하고, 시기별 위험 요소를 확인하며 불확실성 확인 과정 필요</p> <p>○ 방사성폐기물 처분 연구 선도 국가별로 상이한 지질환경과 지각운동 효과로 인해 선도국가의 분석 결과를 국내 처분부지 선정에 직접 활용하기 어려운 여건이며, 국내 환경에 주요한 영향을 미치는 지진 및 지각운동 요소 역시 국내 환경에 맞추어 확정하여야 하며, 주요 영향 요소에 대한 영향 감도 분석이 필요</p>	
2. 품목정의	<p>○ (최종목표) 지각운동 지속안정성 영향인자 특성화, 단기/중장기 효과 분석과 변화 예측 모델 개발 및 지각변동 효과 예측결과 기반 처분장 구축시 고려할 핵심 영향 요소 확정</p> <p>○ (연구내용) 초장기(10만년 규모) 동안의 역학적 운동 영향 요소와 그 효과를 분석하여 부지 안정성 평가와 변화 예측 모델을 개발함. 1단계에서 역학적 인자의 특성화와 장기 지각거동 안정성 분석을 수행하고, 2단계에서 전주기 부지 안정성 평가와 분석 기반 기술을 확보하여 처분부지 안정성 위험 요소를 확인하고, 처분부지 확정과정에서 고려되어야 할 핵심 영향 인자를 선정하고 그 효과를 분석함.</p> <p>- 1단계 (2024년~2026년): 부지 안정성에 영향을 주는 활성단층을 포함한 역학적 인자에 대한 특성화와 장기 지각거동안정성 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전국규모 및 부지규모 전주기 지각운동/지각변형 영향인자 특성화 • 부지환경 영향 요소 (지진/단층운동, 융기/침강, 화산활동 등) 목록화 및 각 영향 요소별 특성 분석 (5세부 기초 자료로 제공) • 영향요소 재현 주기 및 분포 모델 개발 (지진/화산 규모별 재래주기, 지표/지하 단층, 화산 분포 모델 등) (5세부 기초 자료로 제공) • 영향 범위별 영향 요소 효과 분석 (한반도 내륙 및 한반도 인접 지역 지질운동, 지진, 지진동, 화산 등의 일시적/단기적 변형과 동적 운동 효과) 	

- 중장기 부지환경 변형 유발 요소 (단층운동, 지질구조, 융기·침강, 침식·퇴적에 의한 중장기적 변형 등) 특성 분석 및 모델 개발
- 영향 요소의 발생지역별 부지 영향 효과 분석 및 평가기술 개발
 - 2단계 (2027년~2029년): 전주기 지각운동/지표변형에 따른 부지 지속안정성 평가 및 분석 기반 기술 확보
- 주기별 지각운동/지표변형에 따른 부지 환경 변화 분석 및 장기변화 예측 모델 개발
- 일시적 동적운동(지진동, 단층운동, 화산폭발) 효과 분석 및 평가 기술 개발 (5세부 기초자료로 제공)
- 영구변위 (단층변위, 융기, 침식, 화산체 변형) 효과 분석 및 평가 기술 개발 (5세부 기초자료로 제공)
- 초장기 지각운동 안정성을 고려한 부지평가 방법 (결정론적/확률론적) 개발
- 주요 영향요소 (지진/단층운동, 화산활동, 융기/침식) 변화 가능성 평가 및 변화 예측 모델 개발
- 부지인근 주요 영향요소 (지진/단층운동, 화산활동, 융기/침식) 발현 효과 분석 및 예측 모델 개발 (5세부 기초자료로 제공)
- 주요 연구성과물:
 - 전국/부지 규모 전주기 지각운동/지각변형 영향요소의 재현주기 및 분포모델
 - 중장기 부지환경 변형 유발요소 모델 및 영향요소 효과 평가기법
 - 전주기 지각운동/지표변형에 따른 부지 지속안정성 평가 기법
 - 지각운동/지각변형 주요 영향요소 변화예측 모델

○ 개발위험 극복방안

- 처분부지의 초장기(10만년 규모) 동안의 지속적 안정성 확보를 위해서는 다양한 동역학적인 영향 요소 인자 파악 뿐 아니라, 각 인자별 단기/중장기 효과 파악이 필요함. 이 과정에서 다양한 불확실성과 각 시기별 예측 모델의 정확도 계산과 결과 검증의 어려움이 예상됨. 예측 모델의 불확실성 감소 뿐 아니라, 지체구조 운동에 따라 변화 가능한 다양한 시나리오별 계산이 필요함. 각 영향인자가 독립적 영향을 줄 뿐 아니라, 복합적으로 상호 연관을 가질 수 있음에 따라, 복합 효과에 따른 모델 개발 병행과 다양한 end member 제시로 불확실도 감소 노력
- 최종 처분부지의 안정성 및 처분 안전성 규명을 위한 영향 요소 평가 기법 개발 과정에서 각 요소별 불확실도를 평가가 필요하고, 중장기 효과 계산시 결정론적 방법과 확률론적 방법을 모두 활용한 모델 결과 제시가 필요
- 북한을 포함한 한반도 전역에 대한 지각운동 평가의 제약을 극복하기 위해 한반도 주변 동북아시아 지역에 대한 지각운동 자료를 연구하여 북한지역의 미확보 자료를 보완함

3. 지원기간/추진체계

- 기간 : 69개월 이내(1단계 33개월, 2단계 36개월)
(1차년도 정부지원연구개발비: 8.31억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 비징수
총 정부지원연구개발비 : 85억원 내외)
- 주관연구개발기관 : 대학, 연구소 등 비영리
- 기타사항 : 없음

(3세부과제설명자료) 시나리오 기반 한반도 생태계 변화 개념모델 개발

관리번호	-		
연구개발과제유형	원천기술형(○),	혁신제품형()	
		실증형()	
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()		
품목명	시나리오 기반 한반도 생태계 변화 개념모델 개발 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 6단계)		
1. 지원필요성	<p>○ 부지의 장기 안전성은 지표환경 및 생태계 변화와 밀접한 상호연관성을 가지므로 한반도 기후변화 시나리오 기반 지표환경 및 생태계 변화 모델과 입력 인자 개발 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> - 부지의 적합성과 안정성 평가를 위해서는 제4기 동안과 미래의 기후변화를 고려한 지표 물리환경의 초장기 변화 과정과 속도에 대한 개념 및 예측 모델 개발 등이 필요 - 기후 및 지형과 밀접한 상관관계를 보이는 육상 식생분포의 추적·예측 모델 및 누출된 핵종이 지표 생태계에 접근할 수 있는 지표수 · 토양 · 퇴적물 · 토지이용 변화 예측 모델 필요 - 특히, 방사능 누출이 유발할 수 있는 생태계 변화 예측모델 개발은 고준위방폐물 처분의 장기적 안전성을 위해 반드시 필요 - 국내에서 과거 기후변화를 연구한 사례가 있으나 기후변화와 생태계 변화를 연계한 연구는 전무함. 과거와 미래에 대한 초장기 변화 예측 모델 개발은 생태계 안전성 평가를 위한 기반확보를 위해서 필수적으로 요구됨. 		
2. 품목정의	<p>○ (최종목표) 시나리오 기반 초장기 지표환경-생태계 변화 연계 개념모델 개발을 통한 예측모델 플랫폼 구축 및 생태계 안전성 평가</p> <p>○ (연구내용) 한반도 기후변화 시나리오에 기반한 육상 생태계 영향 환경 인자 식별 및 지표환경과 육상 생태계 장기예측 개념모델 플랫폼 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1단계 (2024~2026년): 방사능 누출에 의한 육상 생태계 영향 예측을 위한 주요 환경 인자 식별과 생태계 변화 특성화 평가 및 예비 개념모델 수립 <ul style="list-style-type: none"> • 한반도 중장기 융기율과 유역분지 단위 삭박률 취합 및 신규측정 • 한반도 제4기 및 대표 지형 변화 특성화 평가 • 한반도 지형 변화 발달 과정 예비 개념모델 수립 • 한반도 고식생 및 대표 식생 변화 특성화 평가 • 한반도 고기후 및 지형 변화 복원에 의한 고식생 변천 예비 개념모델 수립 • 폐쇄 후 성능 평가 기간을 고려한 지사적 주요 환경인자 식별 • 수리지화학 자료 연계(5세부) Geosphere-Biosphere Interface (GBI) 특성 평가 및 예측모델 플랫폼 기반 구축 - 2단계 (2027~2029년): 한반도 기후 변화 시나리오에 따른 지표환경 및 육상 생태계 영향 예측 개념모델 개발 및 생태계 안전성 평가 <ul style="list-style-type: none"> • 한반도 단기 융기율과 유역분지 단위 삭박률 취합 및 신규측정 • 한반도 초장기 지표환경 및 천부지질(토양 포함) 변화 개념모델 개발 		

- 한반도 초장기 식생변화 개념모델 개발
- 한반도 기후 변화 시나리오 기반 한반도 생태계 변화 개념모델 개발
- 수리지화학 자료 연계(5세부) 생태 환경 평가모델 플랫폼 개발
- 생태계 변화 개념모델 불확실성 도출 및 정량화
- 생태계 잠재적 재해 위험도 평가

– **주요 연구성과물:**

- 한반도의 용기·삭박률 분포도
- 기후변화를 고려한 지표환경 변화 개념 모델
- 지표환경-생태계 변화 연계 수치모델 플랫폼
- 초장기 기후변화를 고려한 생태계 안전성 평가 도구

○ **개발위험 극복방안**

- 한반도 기후 및 지표환경에 따른 고유한 생태계 변화 특성을 규명하여 생태계 방사선량 평가 환산인자 및 잠재피폭집단 선정 등을 위한 기술적 근거를 제공하여 최종 안전성 평가의 신뢰성 증진이 필요
- 최종 제품/시스템의 보호를 위한 안전사고 예측 및 대책 연구 필수 포함

3. 지원기간/추진체계

- **기간** : 69개월 이내(1단계 33개월, 2단계 36개월)
(1차년도 정부지원연구개발비: 3.88억원 내외, ○ **정부납부기술료** : 비징수
총 정부지원연구개발비 : 51억원 내외)
- **주관연구개발기관** : 대학, 연구소 등 비영리
- **기타사항** : 없음

(4세부과제설명자료) 부지규모 장기안전성 평가를 위한 한반도 해수면 변동 개념모델 개발

관리번호	-		
연구개발과제유형	원천기술형(○),	혁신제품형()	
		실증형()	
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()		
품목명	부지규모 장기안전성 평가를 위한 한반도 해수면 변동 개념모델 개발 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 6단계)		
1. 지원필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한반도 지역내 부지의 적합성 및 장기안전성 평가를 위해서는 한반도 지역 기후 및 환경의 장기변화 특성의 이해에 기반한 장기간의 미래 변화 예측이 필수적임 ○ 한반도 지역의 기후 및 환경 변화의 이해를 위해서는 전지구 기후시스템의 상호기작에 기반한 전지구적 기후변화의 이해가 수반되어야 하므로 전지구 기후의 과거 변화 재현을 통해 평가된 전지구규모의 기후 변화 모의 기술이 필요함 ○ 한반도 지역의 해수면 고도 변화가 한반도 지역 기후 및 장기변화 특성에 미치는 영향을 고려할 때 전지구 기후변화와 한반도 지역의 지각/지형 특성을 고려한 한반도 지역의 해수면 변동 개념 모델 개발이 필요함 ○ 한반도 지역의 기후 및 해수면 변화의 재현 및 예측을 위한 국내 모의기술 개발은 수년-수백년의 시간 규모에서 수행되어 왔으며, 빙하기-간빙기간 기후변화를 고려한 십만년 이상 규모의 한반도 지역 초장기 기후 변화 재현 기술의 국내 연구는 전무함 		
2. 품목정의	<ul style="list-style-type: none"> ○ (최종목표) 한반도 지역에 특화된 해수면 변동 개념모델 및 초장기 기후변화 예측 도구 개발과 이를 활용한 한반도 지역의 부지 기후·환경 장기변화 규명 및 예측 ○ (연구내용) 부지환경의 장기적인 변화를 규명하기 위해 초장기 기후변화 모의 도구를 개발하여 한반도 지역의 고기후와 고해수면 변화를 복원하고 이를 활용하여 초장기 해수면 변동 개념모델과 미래 기후변화 시나리오를 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 1단계 (2024~2026년): 초장기 전지구 해수면변동 개념모델 및 기후변화 재현도구의 개발을 통한 한반도 초장기 기후변화 시나리오 생산 <ul style="list-style-type: none"> • 중장기 한반도 융기율 및 해수면 변동 자료 취합 • 주요 기후강제력의 영향 재현이 가능한 십만년 이상의 장기 전지구 기후변화 모의 도구 개발 • 과거 십만년 이상의 고기후 기록을 활용한 장기 기후변화 모의도구의 성능 평가 • 전지구 기후변화 모의도구와 결합된 한반도 지역 기후특성 상세화 도구 개발 • 전지구 기후 모의도구와 지역기후 상세화 방안을 활용한 한반도 초장기 미래 기후 변화 시나리오 개발 • 초장기 해수면 변동 변화 모의를 위한 전지구 해수면변동 개념모델 개발 • 한반도 고기후 및 고해수면 변화 특성의 이해와 이에 기반한 한반도 고기후 및 고해수면 변화 개념모델 개발 		

- 한반도 지역 지질 환경 장기변화 예측(5세부)을 위한 초장기 미래 기후변화 시나리오 제공도구 개발 및 개선

- **2단계 (2027~2029년):** 한반도 해수면변동 개념모델 개발 및 한반도 초장기 기후 변화 시나리오 불확실성 평가 및 개선
 - 단기 한반도 융기율 및 해수면 변동 자료 취합
 - 전지구 기후변화에 따른 해수면 변동 및 한반도 지역 특성을 고려한 해수면 변동 개념모델 개발
 - 전지구 기후변화 재현 결과 및 한반도 지역 해수면변동 개념모델을 활용한 한반도 지역의 초장기 해수면변동 예측
 - 기후변화 재현도구 및 한반도 초장기 해수면변동 개념모델을 활용한 한반도 초장기 미래 기후변화 시나리오 개선
 - 전국/부지규모 지각거동 연계(2세부) 해수면 변화 개념모델 개선
 - 한반도 지역 지각 거동(2세부) / 지형 및 생태(3세부) / 지표 수문 특성(5세부) 미래 변화에 따른 한반도 초장기 기후변화 시나리오 평가 및 개선
 - 과거 고기후 기록을 활용한 해수면 변동 개념모델의 성능 검증 및 불확실성 평가
 - 온실기체, 해수면변동, 지각거동 등의 기후변화 영향 요소의 불확실성 평가
 - 전지구 미래 기후변화 다중 시나리오 생산 및 한반도 지역 기후변화의 불확실성 평가 및 개선
 - 전지구 기후변화 재현도구 및 한반도 고해상도 기후변화 상세화 도구를 활용한 지역 규모 초장기 기후변화 시나리오 생산 프레임워크 개발

- **주요 연구성과물:**

- 한반도 지역 단기 및 중장기 융기율 및 해수면 고도 분포도
- 전지구 및 한반도 지역 해수면변동 개념 모델
- 빙하기-간빙기간 기후 변화를 고려한 초장기 전지구 기후변화 모의도구
- 초장기 전지구 기후변화를 고려한 초장기 한반도 기후변화 상세화 시나리오 생산 도구
- 지역별 지질환경 장기변화 예측을 위한 초장기 기후변화 시나리오 생산 프레임워크

○ **개발위험 극복방안**

- 미래 기후변화 시나리오의 신뢰도 향상 방안 마련 필요
- 전지구 기후 모의 도구 및 지역 상세화 방안의 성능 평가 방안 마련 필요
- 초장기 미래기후 변화 시나리오의 불확실성 평가 및 신뢰도 제고 방안 마련 필요

3. 지원기간/추진체계

- **기간** : 69개월 이내(1단계 33개월, 2단계 36개월)
(1차년도 정부지원연구개발비: 5.54억원 내외, ○ **정부납부기술료** : 비징수
총 정부지원연구개발비 : 50억원 내외)
- **주관연구개발기관** : 대학, 연구소 등 비영리
- **기타사항** : 없음

(5세부과제설명자료) 시나리오 기반 한반도 지질환경 장기변화
개념모델 개발

관리번호	-	
연구개발과제유형	원천기술형(○),	혁신제품형()
		실증형()
연계/해당여부	표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제()	
품목명	시나리오 기반 한반도 지질환경 장기변화 개념모델 개발 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 6단계)	
1. 지원필요성	<p>○ 처분부지의 장기적 안전성은 지표환경, 수문 및 수리지질, 지구화학, 암반역학, 지열 특성과 같은 여러 지질요소들이 상호 관련되어 있으며, 각 지질요소에 대한 장기적인 변화를 종합적으로 평가하는 통합개념모델 개발이 필요함.</p> <ul style="list-style-type: none">- 현재 국내 기관 또는 대학에서 연구된 상기 지질요소의 장기변화에 대한 연구는 다른 연구목적의 대상 분야에 국한되어 개별적으로 수행되었으며, 지질요소별 상호연관성을 종합적으로 평가하여 장기 지질변화를 예측한 연구는 수행된 바 없음.- 부지선정 단계에서 처분 안전성 평가 목적에 부합되는 연구 결과를 제시할 수 있도록, 한반도의 광역적 지질환경에 대한 장기 변화를 설명할 수 있는 지질환경 분야별 개념모델과 이들을 연계한 통합개념모델 개발이 필요함.- 개발된 시나리오와 통합개념모델을 바탕으로 한반도 규모의 지질환경 장기변화 예측 결과를 도출하고, 이 결과를 처분부지를 포함한 처분시설 종합안전성 입증 체계(Safety case) 보고서 및 후보부지 인허가용 부지특성보고서 작성에 필요한 요소로 제공함	
2. 품목정의	<p>○ 최종목표</p> <ul style="list-style-type: none">- 한반도의 광역 규모 지질환경의 장기 변화에 대해 10만년의 처분 시간 규모를 도입한 분야별 스냅샷모형(snapshot model) 시나리오 개발- 지질환경 분야별 스냅샷모형에 근거하여 연속적 시간 규모로 확장할 수 있는 장기 변화 개념모델 개발- 부지선정단계 처분부지의 지질 안정성 규명을 위한 종합성능평가(TSPA) 자료 구축 <p>○ (연구내용) 부지선정단계에서 한반도의 지질환경에 대한 초장기적 변화를 설명할 수 있도록 스냅샷모형에 기반한 지질환경 시나리오 및 연속적 시간 규모로 확장을 위한 분야별 개념모델 개발, 처분부지의 지질 안정성을 평가할 때 기본 자료로 활용할 수 있는 통합개념모델 구축</p> <ul style="list-style-type: none">- 1단계 (2024년~2026년): 한반도 지질환경의 장기변화에 대한 분야별 특성 평가 및 스냅샷 모형의 시나리오 개발<ul style="list-style-type: none">• 한반도 지체구조 운동 및 분야별 지질환경 변화 특성 개념 설정• 지표환경 변화 모델(2세부, 3세부)과 해수면 변동 모델(4세부)을 반영한 광역 규모 수문 및 수리지질 장기 특성 평가 및 스냅샷모형의 시나리오 개발• 기후변화 시나리오(3세부)를 반영한 광역규모 지구화학적 장기 특성 평가 및 스냅샷모형의 시나리오 개발	

- 광역규모 동역학적 변화 시나리오(2세부)에 대한 암반역학적 장기 특성 평가 및 스냅샷 모형의 시나리오 개발
- 수리지질/지구화학 장기변화 시나리오의 상관성 평가
- 기후변화 시나리오(3세부)에 대한 수문 및 수리지질 특성의 상관성 평가
- **2단계 (2027년~2029년):** 한반도의 지질환경 장기변화 통합개념모델 개발 및 예측 결과 제시·활용
 - 광역규모 수문 및 수리지질 장기변화의 연속적 예측을 위한 개념모델 개발
 - 광역규모 지구화학적 장기변화의 연속적 예측을 위한 개념모델 개발
 - 광역규모 암반역학적 장기변화의 연속적 예측을 위한 개념모델 개발
 - 화산/화성활동 분포 모델(2세부)에 대한 한반도 규모 지열 장기 특성 평가 및 장기변화 의 연속적 예측을 위한 개념모델 개발
 - 광역규모 지각거동 개념모델과 수리지질/암반역학/지열특성 개념모델의 상관성 평가
 - 광역규모 수리지질/지구화학 장기변화 개념모델의 상관성 평가
 - 기후변화 모델(3세부)과 연계한 수문 및 수리지질모델의 상관성 평가
 - 한반도 지표환경, 수문 및 수리지질, 지구화학, 암반역학, 지열 특성을 고려한 종합 지질 환경 예측 개념모델 개발 및 예측 결과 제시
 - 처분 종합성능평가(TSPA)를 위한 지질환경 장기변화 데이터베이스 구축
 - 개발된 통합개념모델을 바탕으로 처분부지의 폐쇄후 장기안전성 평가
 - 지질환경 장기변화 시나리오와 통합 개념모델을 Safety case 보고서 및 부지특성 보고서에 제공
- **주요 연구성과물:**
 - 한반도 지질환경 장기변화 스냅샷모형 시나리오
 - 지질환경 분야별 시나리오 기반 장기변화 개념모델
 - 지질환경 장기변화 통합개념모델 및 변화예측 결과
 - 통합개념모델 기반의 처분부지 폐쇄후 장기안전성 평가 결과

○ 개발위험 극복방안

- 한반도 지질환경 장기 변화에 대해 지각운동, 생태계, 해수면 변동으로 구분하여, 2, 3, 4 세부과제가 병렬로 수행됨. 본 5세부과제의 내용은 앞서 열거한 3개의 세부과제에서 도출된 연구 결과물로부터 필요한 자료를 선별하여 본 과제의 연구 내용에 포함시켜야 함.
- 이에 각 과제의 연차별 연구내용을 구성할 때, 본 세부과제에 필요한 지질환경 분야별 스냅샷모형의 시나리오와 개념모델 개발 일정에 대해 상호 조율할 필요가 있고, 세부과제별 연구결과에 대한 피드백을 주기적으로 실시하여 연구개발 리스크를 최소화해야 함
- 아울러, 한반도와 인접한 주변 국가(일본, 중국)와 공동 연구를 수행하여 과제에서 도출한 연구 결과에 대한 객관성 및 신뢰성을 확보하고, 규제기관과 연구 결과에 대해 상호 공유하여 심층처분프로젝트의 성공 수행에 기여하도록 해야 함

3. 지원기간/추진체계

- 기간 : 69개월 이내(1단계 33개월, 2단계 36개월)
(1차년도 정부지원연구개발비: 9억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 비징수
총 정부지원연구개발비 : 90억원 내외)
- 주관연구개발기관 : 대학, 연구소 등 비영리
- 기타사항 : 없음