

# 방폐물관리 기술사용설명서

KORAD Technology **Solutions**



## Message



우리 한국원자력환경공단은 방사성폐기물관리법에 의하여 사용후핵연료의 처리를 제외한 모든 방사성폐기물의 안전 관리를 전담하고 있는 기관으로서, 중·저준위방사성폐기물의 처분을 위한 경주 방폐장의 건설, 운영사업과 사용후핵연료 저장 및 처분사업을 수행하고 있습니다.

기술연구소는 방사성폐기물관리사업의 원활한 추진을 위해 민간에서 개발하기 어려운 기술을 중심으로 기술개발을 추진하고 있습니다. 또한 중·저준위방사성폐기물 처분사업을 위한 현장밀착형 핵심기술의 확보와 사용후핵연료 관리 사업을 위한 미래준비형 핵심기술의 확보라는 두 가지 큰 축의 목표를 세우고 국내의 산·학·연 협업과 핵심기술 국산화를 위한 컨트롤 타워 역할을 수행하고 있습니다.

공단은 지난 9년간의 기술개발 성과를 민간에 적극적으로 개방·공유하여 국내 산업기반이 취약한 방폐물관리산업 분야에 민간의 시장진출 활성화에 기여하고자 합니다.

2017년 10월

한국원자력환경공단

기술연구소장 조천형



## Contents

### 사용후핵연료 관리기술

1. 사용후핵연료 금속용기 ..... 1
2. 사용후핵연료 콘크리트용기 ..... 7
3. 3차원 통합부지기술(Site-Descriptive) 모델링 ..... 13

### 중 · 저준위방폐물 관리기술

4. 포화대 지하수유동모델링 ..... 21
5. 중 · 저준위 방폐물 해상운반 방사선영향평가 ..... 27



## ■ 기술이전 제도

한국원자력환경공단이 보유 중인 지식재산을 다른 기업 또는 기관으로 양도, 실시 허락 등의 방법으로 이전함으로써, 이전 기업의 기술경쟁력 강화와 신사업 창출에 기여하여 방폐물 관리산업의 동반성장을 추진하고자 함

## ■ 기술이전 절차

- 1 기술이전 신청 : 희망기술의 기술이전 온라인 제출
- 2 접수부서 검토 : 제출자료 검토 및 업체평가 수행
- 3 계약조건 협상 : 기술료, 실시권 형태, 계약기간 협상
- 4 계약준비 : 계약조건에 근거한 기술사용 계약서 작성
- 5 계약체결 : 기술사용 계약서 상호 검토 및 계약

# 사용후핵연료 관리기술

1. 사용후핵연료 금속용기 기술
2. 사용후핵연료 저장용기 기술
3. 3차원 통합부지기술(Site-Descriptive) 모델링



# 1. 사용후핵연료 금속용기 기술

SNF

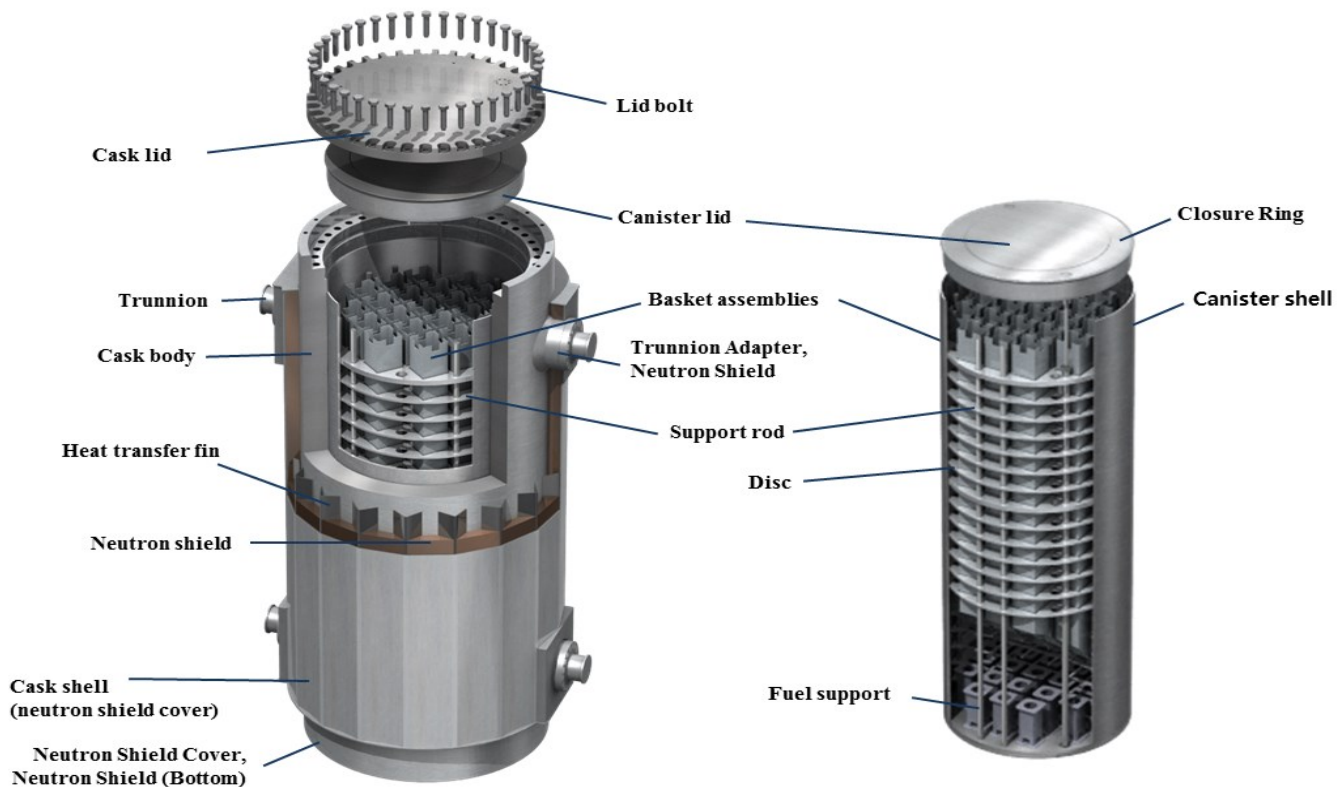
기술명			사용후핵연료 금속용기 기술								
기술분야			산업기술 분류코드								
			대분류		중분류		소분류		코드번호		
			에너지 · 자원		원자력		고준위방폐물 관리기술		600707		
기술개요	기술요약		● 본 발명은 다량의 방사선 및 붕괴열을 방출하는 사용후핵연료를 외부의 충격으로부터 안전하게 보호할 수 있을 뿐만 아니라, 방사선을 차폐하고 붕괴열을 원활히 외부로 방출할 수 있는 구조로 이루어진 용기를 제작하는 기술임								
	기술의 효과		● 열전달부재의 배치를 변형시켜 방사능 피폭에 대한 안전성을 향상 바스켓조립체의 복수의 수납구를 이격되도록 결합하고 상하부에 통기홈을 형성하여 열 방출을 용이하게 하며, 캐스크본체와 외부케이싱간 연결되는 열전달부재의 공정을 용이하게 하여 캐스크의 생산성 및 품질을 향상								
	기술의 응용 분야		고준위방폐물 소내 운반/저장				고준위방폐물 중간저장/처분				
			원자력 발전소에서 발생하는 사용후핵연료				사용후핵연료 중간저장시설 내 저장 및 최종처분을 위한 운반				
	기술 키워드		사용후핵연료, 금속용기, 열전달 부재, 중성자차폐, 생산성 향상 Spent nuclear fuel, Metal cask, Heat transfer fin, Neutron shielding, Productivity improvement								
	기술완성도		기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계		사업화
			기본원리 파악	기본개념 정립	기능 및 개념검증	연구실환경 테스트	유사환경 테스트	파일럿현장 테스트	상용모델 개발	실제환경 최종테스트	상용운영
								○			

## 기술의 개요 및 특징

### 기술의 간략한 설명

- 본 발명은 원자력발전소의 원자로에서 연소를 종료하고 냉각과정을 거친 사용후핵연료를 수송 또는 저장하기 위하여 필요한 용기에 대한 기술임
- 다량의 방사선 및 붕괴열을 방출하는 사용후핵연료를 외부의 충격으로부터 안전하게 보호할 수 있을 뿐만 아니라, 방사선을 차폐하고 붕괴열을 원활히 외부로 방출할 수 있는 구조로 이루어짐
- 국내 설계승인 기술기준을 적용한 안전성입증시험(9m 낙하, 800℃ 화재, 침수, 전도 등)을 통해 용기의 성능 검증을 완료함

### 대표도면 및 조감도



## 기술의 특징 및 우수성

- 본 기술은 캐스크 본체와 외부케이싱 간에 열전달부재를 경사진 배치를 이루도록 용이하게 결합할 수 있게 하여 캐스크의 생산성 및 품질을 향상 시킬 수 있고, 바스켓 주변의 공기 흐름을 원활하게 하여 바스켓 조립체에 수용된 사용후핵연료의 냉각 및 열 방출을 더욱 촉진할 수 있다는 점에서 우수함

종래기술의 문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 일체형 외부 케이싱을 형성할 경우 캐스크 본체와 외부케이싱간의 협소한 공간 때문에 용접작업이 용이하지 못함</li> <li>● 열전달부재를 캐스크 본체의 외벽면과 직교하도록 설치할 경우, 사용후핵연료로부터 방사상으로 방출되는 중성자가 중성자차폐재에 의해 차폐되지 못하고 열전달부재를 통과하여 외부로 방출될 우려가 있음</li> </ul>
해결방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 캐스크 본체에 열전달부재를 경사진 배치를 이루어 소정 간격으로 용접 결합함</li> <li>● 이웃하여 결합된 각 열전달부재 간에 판재를 용접 결합하여 연결된 다수의 판재가 외부케이싱을 이루도록 함</li> <li>● 바스켓조립체의 복수의 수납구를 서로 소정의 간격으로 이격되도록 결합하고 상하부에 통기홈을 형성하여 열 방출을 용이하게 함</li> </ul>
기술의 특징 및 우수성	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 열전달부재의 배치를 변형시켜 방사능 피폭에 대한 안전성을 향상 캐스크본체와 외부케이싱간 연결되는 열전달부재의 공정을 용이하게 하여 캐스크의 생산성 및 품질을 향상</li> </ul>



## 기술의 효과

- 캐스크의 반경방향에 대해 경사지게 배치된 열전달부재의 전/후방에 중성자차폐재가 배치되도록 함으로써, 캐스크의 내부에서 방출되는 중성자가 방향에 따라 열전달부재만을 통과하여 외부로 유출되는 것을 방지하여 작업자의 방사능 피폭에 대한 안전성 향상이 가능
- 열전달부재의 양측 단부를 일정한 각도의 경사진 배치를 이루어 캐스크본체에 결합하면 각 열전달부재의 설치 간격에 따라 케이싱부재가 결합되는 열전달부재의 모서리부 간의 간격도 일정하게 맞추어지므로, 열전달부재의 결합 각도 및 위치를 맞추기 위해 소요되었던 노력과 시간이 절감되어 용기 제작 공정의 생산성을 높이고, 제품품질 향상 가능
- 서로 이격된 격납부재에 의해 바스켓이 소정 배열을 이루어지도록 함으로써, 격납부재를 통한 열전도 및 격납부재 사이의 공간을 통한 공기의 대류에 의해 사용후핵연료에서 발생된 열을 보다 효율적으로 방열 및 냉각이 가능

## 기술의 완성도

기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계		사업화
기본원리 파악	기본개념 정립	기능 및 개념 검증	연구실 환경테스트	유사 환경테스트	파일럿 현장테스트	상용 모델개발	실제환경 최종테스트	상용운영
						○		

## 기술패키지 목록

구분	번호	명칭
특허	제10-1303085호	사용후핵연료 수송 또는 저장용 금속용기
	제10-1444706호	사용후핵연료 용기 인양장치
	제10-1559300호	사용후핵연료 저장용 캐니스터 이송용기
	제10-1488614호	사용후핵연료 용기 열시험장치
	제10-1558963호	사용후핵연료 용기 구조시험장치
	제10-1645644호	사용후핵연료용 금속검용용기의 전도시험장치
보고서	금속운반용기 안전성분석보고서	

## 기술적용분야 및 기업 구비조건

### 기술의 적용분야

본 기술은 원자력발전소의 원자로에서 일정기간 연소 후 발생한 사용후핵연료의 안전한 운반 및 저장 기능을 가지는 용기의 제작을 위한 기술로, 고준위방폐물 소내/소외운반과 고준위방폐물 중간저장 및 최종처분 분야에 적용 가능함

고준위방폐물 소내/소외 운반	고준위방폐물 중간저장 및 최종처분
원자력 발전소에서 발생하는 사용후핵연료	사용후핵연료 중간저장시설 내 저장 및 최종처분

### 기술의 경쟁력

- 본 기술은 원자력발전소의 원자로에서 일정기간 연소 후 발생한 사용후핵연료의 안전한 운반 및 저장 기능을 가지는 용기의 제작을 위한 기술로, 고준위방폐물 소내/소외운반과 고준위방폐물 중간저장 및 최종처분 분야에 적용 가능함
- 정부는 2016년 7월 고준위방사성폐기물 관리 기본계획을 발표하고 정부주도의 사용후핵연료 관련 사업이 진행 될 예정이며, 본 기술은 고준위방사성폐기물 관리에 반드시 필요한 것으로 국내원자력 시장에 진출할 경우 높은 경쟁력을 확보할 수 있음
- 현재 국내 원전에서 운영중인 운반용기 KN12(12다발, WH형 연료전용)와 KN18(18다발, CE형 연료전용)에 비해 운반용량(21다발)이 크며 두가지 타입의 연료를 모두 운반 가능함
- 그리고 본 기술로 제작되는 캐니스터타입의 운반·저장용기는 운영절차의 간소화와 안전성으로 인하여 원전주요국의 저장 및 처분용기 시스템에 활용될 가능성이 높은 기술임

## 기술활용을 위한 기업에서의 구비 조건

- 본 기술은 원자력발전소의 원자로에서 일정기간 연소 후 발생한 사용후핵연료의 안전한 운반 및 저장 기능을 가지는 용기의 제작을 위한 기술로, 대형크레인 및 대형 단조(Forging) 설비를 보유하고 있는 기업에게 적합한 기술임
- 사용후핵연료의 운반 및 저장의 경우 전문성과 안전성이 담보되어야 하므로 관련 노하우를 보유하고 있거나 관련 업체와의 제휴를 통해 해결 할 필요가 있음

## 기술실시에 따른 기업에서의 이점

- 본 기술은 국내의 고준위방사성폐기물관리를 위한 사용후핵연료 운반·저장 및 처분 분야에 반드시 필요한 기술로 국내 시장 진입성 및 적용성에 대해 높은 이점을 가짐

## 2. 사용후핵연료 콘크리트용기

SNF

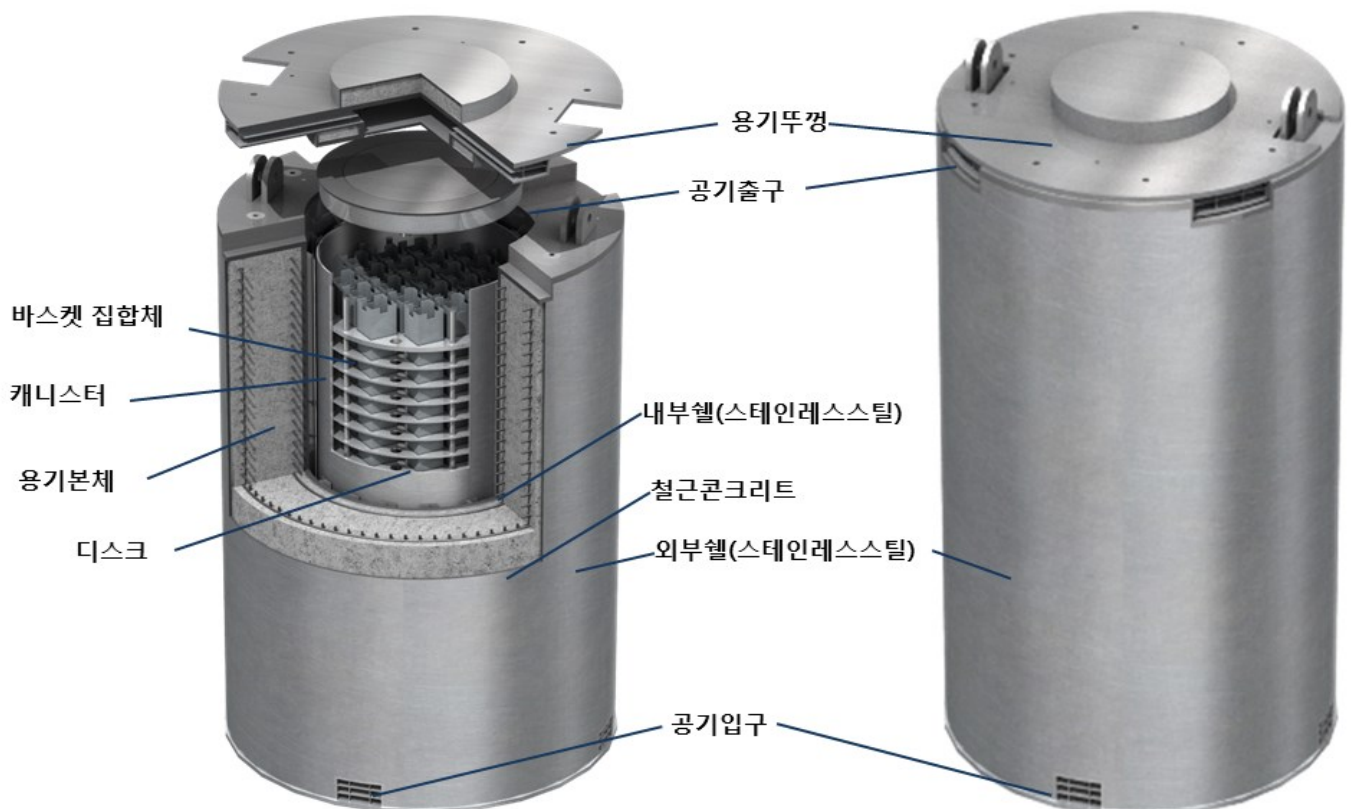
기술명			사용후핵연료 콘크리트용기								
기술분야			산업기술 분류코드								
			대분류		중분류		소분류		코드번호		
			에너지 · 자원		원자력		고준위방폐물		600707		
기술 개 요	기술요약		● 본 발명은 다량의 방사선 및 붕괴열을 방출하는 사용후핵연료를 위부의 충격으로부터 안전하게 보호할 수 있을 뿐만 아니라, 방사선을 차폐하고 붕괴열을 원활히 외부로 방출할 수 있는 구조로 이루어진 용기를 제작하는 기술임								
	기술의 효과		● 콘크리트 용기 벽체의 내부와 외부에 열전도성이 높은 금속재질의 내부셀과 외부셀을 결합하고 그사이에 높은 열전도성을 갖는 금속 구조체를 설치하여 캐스크 벽체를 통한 열전달을 촉진함 ● 용기의 상부와 하부에 공기 출입구를 구비하고 캐스크 내벽과 바스켓 조립체 사이에 공기통로를 형성하는 다수의 스페이서 설치를 통해 바스켓 주변의 공기흐름을 원활하게 하여 사용후핵연료의 냉각 및 열방출을 촉진함 ● 바스켓 조립체 내부에 복수의 수납구를 이격되도록 결합하고 상하부에 통기홈을 형성하여 열 방출을 용이하게함								
	기술의 응용 분야		고준위방폐물 소내 운반/저장			고준위방폐물 중간저장/처분					
			원자력 발전소에서 발생하는 사용후핵연료			사용후핵연료 최종처분전 중간저장시설 내 저장					
	기술 키워드		사용후핵연료, 콘크리트 용기, 공기 입출구, 방사선차폐 , 생산성 향상 Spent nuclear fuel, Concrete cask, Air inlet/outlet, Radiation shielding, Productivity improvement								
	기술완성도		기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계		사업화
			기본원리 파악	기본개념 정립	기능 및 개념검증	연구실환경 테스트	유사환경 테스트	파일럿현장 테스트	상용모델 개발	실제환경 최종테스트	상용운영
								○			

### 기술의 개요 및 특징

#### 기술의 간략한 설명

- 본 발명은 원자력발전소의 원자로에서 연소를 종료하고 냉각과정을 거친 사용후핵연료를 수송 또는 저장하기 위하여 필요한 용기에 대한 기술임
- 다량의 방사선 및 붕괴열을 방출하는 사용후핵연료를 외부의 충격으로부터 안전하게 보호할 수 있을 뿐만 아니라, 방사선을 차폐하고 붕괴열을 원활히 외부로 방출할 수 있는 구조로 이루어짐
- 캐스크 벽체를 통한 열의 전도율을 높이고, 바스켓 조립체 내부 및 주위의 공기유동을 원활히 하여 사용후핵연료의 열을 효과적으로 냉각 및 방출할 수 있는 저장 전용용기

#### 대표도면 및 조감도





### 기술의 특징 및 우수성

- 본 기술은 콘크리트를 차폐재로하는 용기으로써 차폐능력이 우수하며, 제작비용과 기간을 단축할 수 있으며, 캐스크 내외부의 공기 흐름을 원활하게 하여 바스켓 조립체에 수용된 사용후핵연료의 냉각 및 열 방출을 더욱 촉진할 수 있다는 점에서 우수함

종래기술의 문제점	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 콘크리트는 열전도성이 좋지 못하기 때문에, 캐스크의 벽체를 통한 열전도만으로는 내부에 수용된 사용후핵연료에서 발생된 열의 방출이 원활하지 못함</li> <li>● 이러한 문제를 해소하기 위하여, 콘크리트 용기는 통상 캐비티를 외부와 연통시키는 공기출입구를 구비하여 외부로부터 유입된 공기가 캐비티 내부에 수용된 사용후핵연료의 열을 흡수하여 외부로 배출하는 공냉식 구조로 제작되지만 기존의 콘크리트용기는 내부의 공기 흐름이 좋지 못하여 사용후핵연료의 방열 및 냉각이 효율적으로 이루어지지 못함</li> <li>● 종래의 바스켓 조립체는 바스켓 전체가 삽입되어 수용되는 다수의 채널을 구비한 격자구조로 이루어져 바스켓 주변의 공기 유동이 원활하지 못해 사용후핵연료의 냉각 및 방열 효과가 떨어지는 문제가 있음</li> </ul>
해결방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 캐스크 내외부 쉘 사이에 철근구조물과 같은 금속구조체를 설치하여 캐스크 벽체를 통한 열방출이 가능하게 함</li> <li>● 캐스크의 상부와 하부에는 각각 캐비티 내부와 캐스크 외부를 연통시키는 공기출입구가 구비될 수 있으며, 캐스크 내부셀의 내주면에 상하로 길게 배치되어 상하방향의 공기통로를 형성하는 측면스페이서 및 상기 내부셀의 바닥면에 반경방향으로 배치되어 반경방향의 공기통로를 형성하는 저면스페이서를 설치함</li> <li>● 바스켓조립체의 복수의 수납구를 서로 소정의 간격으로 이격되도록 결합하고 상하부에 통기홈을 형성하여 열 방출을 용이하게 함</li> </ul>
기술의 특징 및 우수성	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 캐스크 내부셀의 내주면과 용기하부에 공기통로 형성을 위한 다수의 스페이서를 설치하여 자연대류를 이용한 용기 내부의 열 제거 효율성을 높임</li> <li>● 캐스크 내외부 쉘과 쉘 사이의 금속구조체는 용기 내부의 열 방출을 원활하게 하며 외부충격으로부터 용기내부의 바스켓용기를 안전하게 보호함</li> </ul>

### 기술의 효과

- 콘크리트차폐재로 이루어진 캐스크 벽체의 내부와 외부에 열전도성이 높은 금속 재질의 내부셸과 외부셸을 결합하고, 이 내부셸과 외부셸의 사이에 높은 열전도성을 갖는 금속 구조체를 매입 설치함으로써, 캐스크의 벽체를 통한 열 전달을 촉진하여 캐스크 내부에 수용된 사용후핵연료의 열 방출이 더욱 효율적으로 이루어지게 함
- 상기 캐스크의 상부와 하부에 각각 캐비티 내부와 캐스크 외부를 연통시키는 공기출입로가 구비되고, 상기 바스켓 조립체와의 사이에 공기통로를 형성하는 다수의 스페이서는 내부셸의 내주면에 상하로 길게 배치되어 상하방향의 공기통로를 형성하고 또한 상기 내부셸의 바닥면에 반경방향으로 배치되어 반경방향의 공기통로를 형성하도록 하여 사용후핵연료에서 발생하는 붕괴열 제거 효과가 뛰어나다
- 서로 이격된 격납부재에 의해 바스켓이 소정 배열을 이루어지도록 함으로써, 격납부재를 통한 열전도 및 격납부재 사이의 공간을 통한 공기의 대류에 의해 사용후핵연료에서 발생된 열을 보다 효율적으로 방열 및 냉각이 가능

### 기술의 완성도

기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계		사업화
기본원리 파악	기본개념 정립	기능 및 개념 검증	연구실 환경테스트	유사 환경테스	파일럿 현장테스트	상용 모델개발	실제환경 최종테스트	상용운영
						○		

### 기술패키지 목록

구분	번호	명칭
특허	제10-1333066호	사용후핵연료 수송 또는 저장용 콘크리트용기
	제10-1444706호	사용후핵연료 용기 인양장치
	제10-1559300호	사용후핵연료 저장용 캐니스터 이송용기
	제10-1575118호	사용후핵연료용 콘크리트용기 전도시험장치
	제10-1603603호	사용후핵연료용 콘크리트용기 지진시험장치
연구논문	FLUENT를 활용한 콘크리트 건식저장용기 공기유로내부 유동장 해석(전산유체공학회지)	
	Natural convection heat transfer characteristics in vertical cavities with active and inactive top and bottom disks(International Journal of Heat and Mass Transfer)	
보고서	콘크리트 저장용기 특정기술주제보고서	

### 기술적용분야 및 기업 구비조건

#### 기술의 적용분야

- 본 기술은 원자력발전소의 원자로에서 일정기간 연소 후 발생한 사용후핵연료의 안전한 저장 기능을 가지는 용기의 제작을 위한 기술로, 고준위방폐물 소내저장과 고준위방폐물 처분전 중간저장 분야에 적용 가능함

고준위방폐물 소내/소외 운반	고준위방폐물 중간저장
원자력 발전소에서 발생하는 사용후핵연료의 소내저장	사용후핵연료 최종처분전 중간저장시설 내 저장

#### 기술의 경쟁력

- 정부는 2016년 7월 고준위방사성폐기물 관리 기본계획을 발표하고 정부주도의 사용후핵연료 관련 사업이 진행 될 예정이며, 본 기술은 고준위방사성폐기물 관리에 반드시 필요한 것으로 국내 원자력 시장에 진출할 경우 높은 경쟁력을 확보할 수 있음
- 현재 국내 원전에서 사용중인 두가지 타입의(WH형/CE형) 연료 15종을 21다발까지 저장 가능하며, 차폐재로 콘크리트를 사용하여 차폐성능 및 제작비용, 기간에 대한 경쟁력이 확보된 기술임
- 그리고 본 기술로 제작되는 캐니스터 타입의 저장용기는 운영절차의 간소화와 안전성으로 인하여 원전주요국의 저장 및 처분용기 시스템에 활용될 가능성이 높은 기술임

### 기술활용을 위한 기업에서의 구비 조건

- 본 기술은 원자력발전소의 원자로에서 일정기간 연소 후 발생한 사용후핵연료의 안전한 운반 및 저장 기능을 가지는 용기의 제작을 위한 기술임
- 콘크리트 저장용기 제작 시 품질등급에 적합한 품질보증 활동을 수행하여야함
- 사용후핵연료의 운반 및 저장의 경우 전문성과 안전성이 담보되어야 하므로 관련 노하우를 보유하고 있거나 관련 업체와의 제휴를 통해 해결 할 필요가 있음

### 기술실시에 따른 기업에서의 이점

- 본 기술은 국내의 고준위방사성폐기물관리를 위한 사용후핵연료 운반·저장 및 처분 분야에 반드시 필요한 기술로 국내 시장 진입성 및 적용성에 대해 높은 이점을 가짐

### 3. 3차원 통합부지기술(Site-Descriptive) 모델링

SNF

기술명			3차원 통합부지기술(Site-Descriptive) 모델링								
기술분야			산업기술 분류코드								
			대분류		중분류		소분류		코드번호		
			에너지 · 자원		원자력		고준위방폐물 관리기술		600707		
기술개요	기술요약		<ul style="list-style-type: none"><li>● 본 기술은 처분장의 안전한 성능유지를 위해 장기적인 지질학적 진화과정의 이해를 도모하고자 3차원 지질모델을 구축하고, 결과물을 활용하여 다중방벽평가 결과와 종합 해석함으로써 부지특성을 직관적으로 이해하고, 3D PDF 등을 통해 결과물을 쉽게 공유할 수 있고, 공간데이터 보정을 통해 지질조사 결과 자료의 품질관리에 활용할 수 있음</li></ul>								
	기술의 효과		<ul style="list-style-type: none"><li>● 실제와 유사한 지질모델을 구축하여 처분장 부지특성 평가에 대한 불확실성 저감 및 이해도 향상</li><li>● 기존 모델을 활용한 모델링 입력자료 단일화와 결과물 통합에 따른 데이터 관리체계 강화</li><li>● 공간데이터 오류 수정에 따른 조사결과 데이터 품질향상</li><li>● 다양한 매체(3D PDF, 3D PPT 등)를 활용한 결과물 공유</li></ul>								
	기술의 응용 분야		중 · 저준위방폐물 처분 부지평가				고준위방폐물 처분 부지평가				
			중 · 저준위방폐물 처분 부지특성 종합해				고준위방폐물 처분 부지특성 종합해석				
	기술 키워드		3차원 지질모델, 통합부지기술모델, 부지조사, 부지특성화, 시각화, 데이터 통합관리, 품질관리, 자료공유, 3D geological model, Site-descriptive model, site investigation, site characterization, visualization, data integration management, quality control, data shareimprovement								
	기술완성도		기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계		사업화
기본원리 파악			기본개념 정립	기능 및 개념검증	연구실환경 테스트	유사환경 테스트	파일럿현장 테스트	상용모델 개발	실제환경 최종테스트	상용운영	
					○						

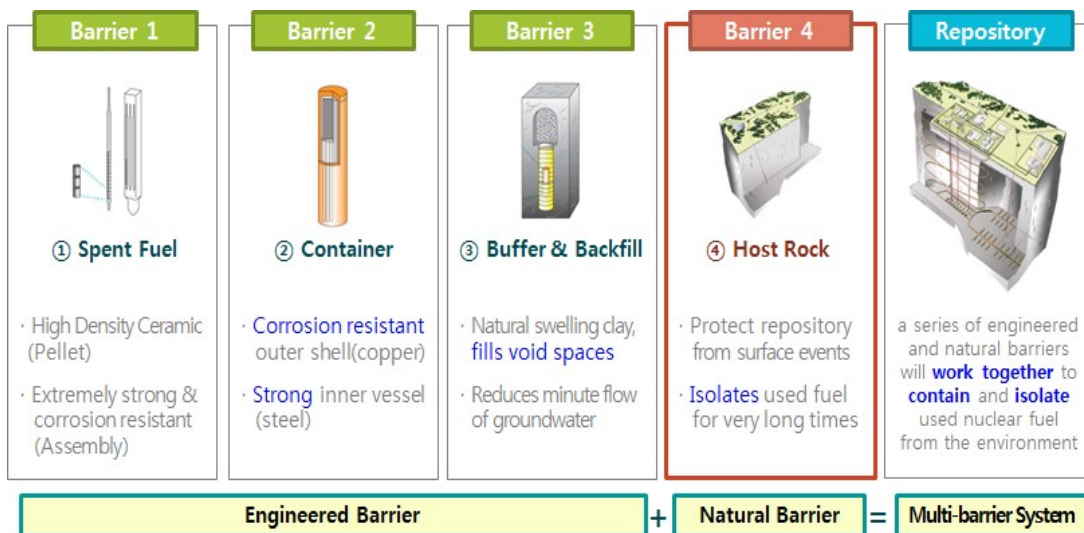


## 기술의 개요 및 특징

### 기술의 간략한 설명

- 본 기술은 방사성폐기물 처분장의 부지특성과 다중방벽 평가의 종합적 이해를 도모하기 위해 3차원 지질모델을 중심으로 지하수의 흐름과 기반암의 특성평가 결과를 통합하여 연계·해석하는 기술
- 특히, 고준위방사성폐기물을 생태계로부터 장기간 격리시키기 위한 다중방벽시스템에서 자연방벽은 인간이 제어하기 어려운 부분이므로 처분장의 장기적인 안전 성능유지를 위해 공학적방벽의 상세설계에 앞서 기반암과 부지의 특성을 파악하는 것이 필요함

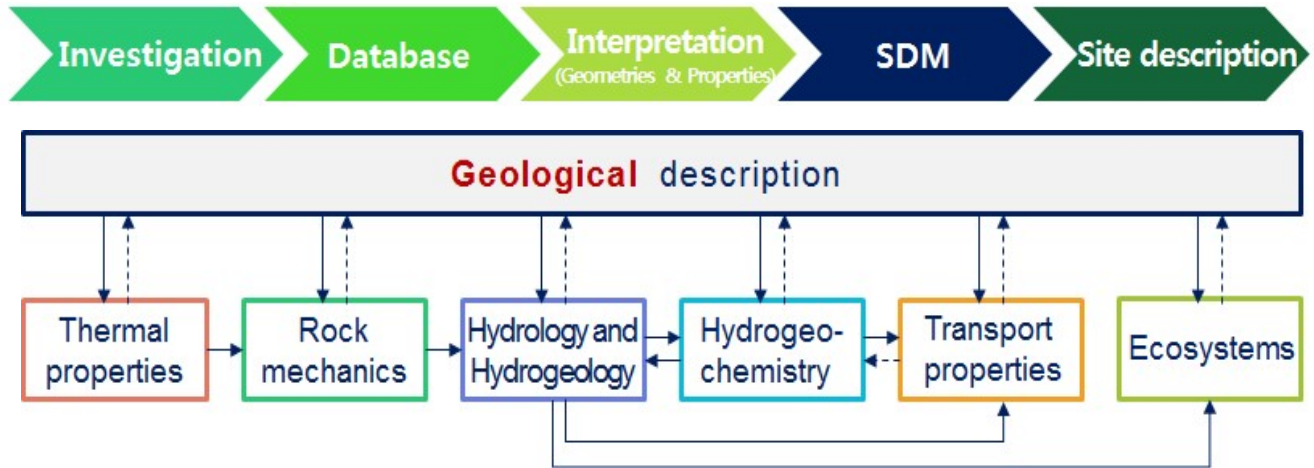
〈 고준위방사성폐기물 심층처분(다중방벽시스템) 개념 〉



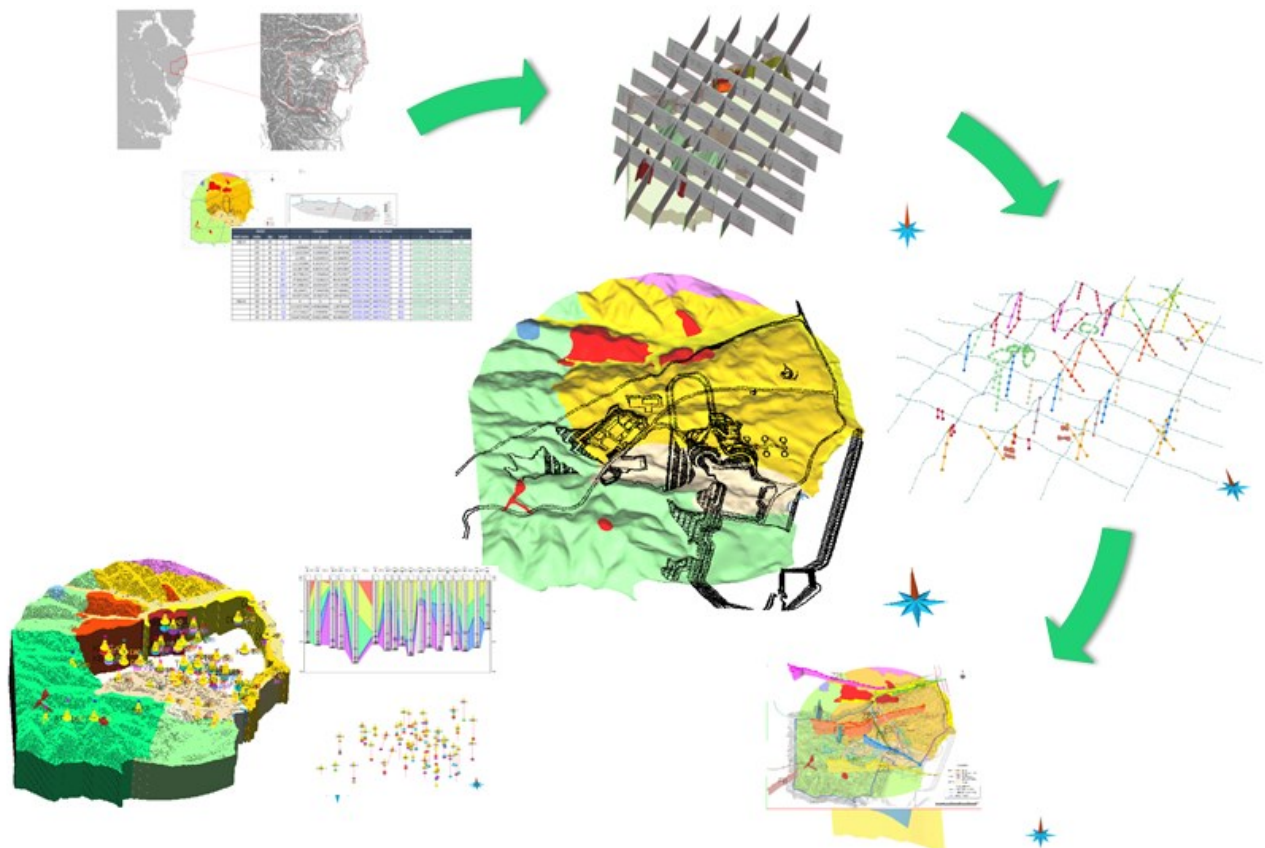
- 본 기술은 방대한 양의 부지조사 데이터를 분석하여 한 눈에 볼 수 있도록 시각화함으로써 1)부지특성 정보를 효과적으로 전달하고, 수치데이터의 오류를 확인하기 쉬우므로 2)공간데이터 품질관리에 활용이 가능하며, 결과물을 3D PDF 등으로 변환하여 3)공유나 활용에 용이함

#### 개념 모식도

< 통합부지기술모델(SDM) 개념도 >

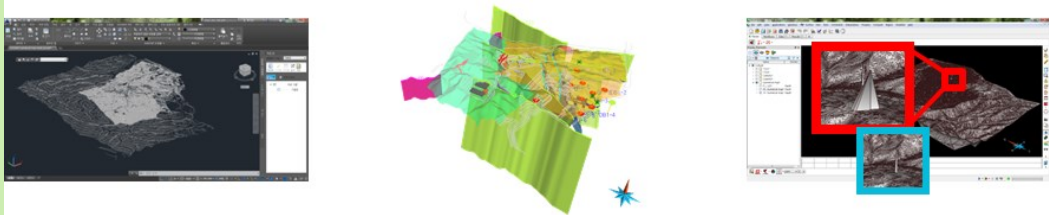


< 3차원 지질모델링 구축 순서 >



#### 기술의 특징 및 우수성

- 본 기술은 처분장의 안전한 성능유지를 위해 장기적인 지질학적 진화과정 이해를 도모하고자 3차원 지질모델을 구축하고, 결과물을 지하수유동모델링 등의 입력 자료로 활용하여 결과를 해석함으로써 다중방벽평가 결과의 종합적인 해석과 부지특성을 직관적으로 이해하는데 활용이 가능함

<p>중래기술의 문제점</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 수치데이터나 2차원 이미지는 부지특성을 한 눈에 파악하여 이해하기 어려움</li> <li>● 부지특성 평가를 위한 모델링(지하수유동, 지화학, 단열망 등)의 지형 입력 자료간 불일치로 인해 결과의 왜곡 가능성이 있음</li> <li>● 가시화 하여 보기 전에는 공간데이터의 오류 도출이 쉽지 않음</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>● 처분장 부지 심부구조 및 기반암 정량화 해석 필요</li> </ul>
<p>해결방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3차원 그래픽 기술 등을 활용하여 부지조사자료 시각화 (단일모델개발)</li> <li>● 다중방벽평가 모델링 입력자료로 기준모델 제공 및 결과물 통합관리</li> <li>● 지질모델 구축을 통해 수치지형도 등 원시데이터 오류 보정</li> <li>● 처분장 심부환경 3차원 체적모델 구축</li> </ul>
<p>기술의 특징 및 우수성</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 실제와 유사한 지질모델을 구축하여 처분장 부지특성 평가에 관한 불확실성 저감 및 이해도 향상</li> <li>● 기준 모델을 활용한 모델링 입력자료 단일화와 결과물 통합에 따른 데이터 관리체계 강화</li> <li>● 공간데이터 오류 수정에 따른 조사결과 데이터 품질향상</li> <li>● 다양한 매체(3D PDF, 3D PPT 등)를 활용한 결과물 공유</li> </ul>

#### 기술의 효과

- 처분장 부지조사 자료를 바탕으로 실제와 유사한 3차원 지질모델을 구축함으로써 부지특성에 대해 직관적으로 이해하기 쉽고, 눈에 보이지 않는 심부환경 모사를 통해 부지 안전성에 대한 불확실성 저감 및 이해도 향상
- 수치데이터의 가시화를 통해 오류(좌표체계의 상이, 경향성과 무관한 이상치 데이터 등) 확인 및 개선을 통해 부지 조사결과 데이터의 품질향상
- 다중방벽 평가 모델링 입력자료 단일화와 결과물 통합에 따른 데이터 관리체계 강화 및 결과물의 변환(3D PDF 등)을 통한 활용성 극대화

#### 기술의 완성도

기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계		사업화
기본원리 파악	기본개념 정립	기능 및 개념 검증	연구실 환경테스트	유사 환경테스트	파일럿 현장테스트	상용 모델개발	실제환경 최종테스트	상용운영
			○					

#### 기술패키지 목록

구분	명칭
기술노하우	시추자료, 지표탐사자료 등을 활용한 3차원 지질모델링
	지질조사·평가수치데이터(지형도, 설계도, 측정자료 등의 품질관리
	다중방벽 평가(입·출력 자료)의 통합관리 및 활용
연구논문	경주 중·저준위방사성폐기물 처분장 3차원 지질 모델링(한국방사성폐기물 학회지)

## 기술적용분야 및 기업 구비조건

### 기술의 적용분야

고준위방폐물 처분사업을 수행중인 국가(핀란드, 스웨덴, 스위스 등)에서는 본 기술을 이미 사업에 활용하고 있으며, 국내에서는 향후 국내 고준위방폐물 처분장 부지 특성을 이해하기 위해 중·저준위방폐물 처분장 부지조사 결과를 바탕으로 기술개발 중에 있음

다양한 매체를 활용한 3차원 시각화 결과물의 공유로 지질전문가가 아닌 일반인을 대상으로 처분장 개념에 대한 이해를 도모하는데 적용할 수 있음

중·저준위방폐물 처분 부지평가	고준위방폐물 처분 부지평가
중·저준위방폐물 처분 부지특성 종합해석	고준위방폐물 처분 부지특성 종합해석

### 기술의 경쟁력

- 본 기술은 처분장 부지특성 이해를 도모하기 위해 3차원 지질모델을 기반으로 다중방벽 평가 결과를 통합하는 방법으로써 현재 중·저준위방폐물 처분시설의 부지조사 결과를 바탕으로 개발 중인 기술이며, 향후 고준위방폐물 중간저장 및 최종처분 부지평가 시에 적용이 가능함
- 2016년 7월 정부의 고준위방사성폐기물 관리 기본계획의 발표 이후 국내에서도 본격적인 고준위방폐물 처분사업이 시작 될 것으로 전망되며, 이 사업에서 반드시 필요한 본 기술을 확보할 경우 국내 고준위방폐물 처분사업에서 높은 경쟁력을 확보할 수 있음
- 또한, 2040년까지 총 80만드럼(200L기준)을 규모로 개발될 예정인 경주중·저준위방폐장 부지특성 평가에도 활용이 가능함
- 특히 방사성폐기물 분야 뿐 아니라 광물자원개발 및 이산화탄소 지중·저장 등 심부지층을 활용하는 다른 분야로 저변확대 기대



#### 기술활용을 위한 기업에서의 구비 조건

- 본 기술은 지질모델링에 필요한 전산코드(SKUA-GOCAD)의 라이선스가 확보 되어야만 수행이 가능함
- 또한 지질분야에 대한 기본지식인 지식 및 AutoCAD 기초 기능과 GIS 프로그램을 다룰 수 있는 자를 보유하고 있어야 함

#### 기술실시에 따른 기업에서의 이점

- 본 기술은 처분장의 안전한 성능유지를 위해 장기적인 지질학적 진화과정의 이해를 도모하고자 하는 기술로써, 향후 계획된 고준위방사성폐기물 처분시설의 부지선정 과정에서 반드시 필요하므로 기술보유 시 국내 시장의 기술선도 및 적용성에 대해 높은 이점을 가짐
- 본 기술은 사업수행성과의 활용 촉진을 위해 정부예산으로 진행되고 있는 사업과제의 성과물로써 별도의 기술료가 청구되지 않음

# 중·저준위방폐물 관리기술

4. 포화대 지하수유동모델링

5. 중·저준위 방폐물 해상운반 방사선영향평가



## 4. 포화대 지하수유동모델 구축기술

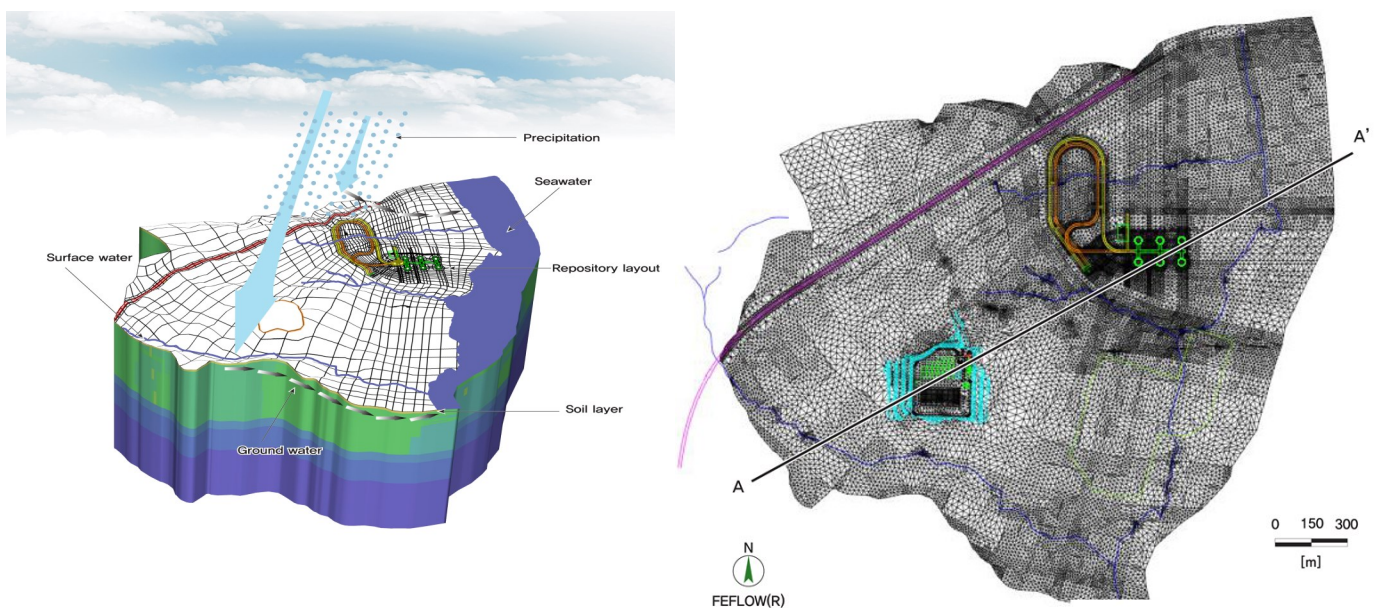
기술명			포화대 지하수유동모델 구축기술							
기술분야	산업기술 분류코드									
	대분류		중분류		소분류		코드번호			
	에너지 · 자원		원자력		중 · 저준위방폐물 관리기술		600707			
기술개요	기술요약		● 본 기술은 경주방폐장 부지를 평가하는 기술 중 인근지역의 수문환경을 고려한 지하수 포화대내에서의 지하수흐름을 파악하고, 지하수유동모델링으로 구현하여 향후 지하수흐름을 예측하는 기술로써, 향후 방사성핵종이 누출될 경우, 추적자기법을 이용한 지하수흐름에 따른 핵종의 이동거리 및 속도 등을 도출하여 처분장의 안전성을 확인할 수 있는 기초자료를 생성하는 기술임							
	기술의 효과		● 암반내 단열을 통해 이동하는 포화된 지하수흐름을 모사할 수 있음 ● 광역규모 모델영역으로부터 처분시설에 영향을 미치지 않는 지역규모 모델영역으로 전환하는 방법 및 모델영역 선정 시 민감도분석기술을 이용하여 적합성 향상 ● 지하 심부 지하수위 변동을 이용한 지하수함양량 산정 시 함양지 분석을 통해 함양량 산정에 대한 타당성 증진							
	기술의 응용 분야		중 · 저준위방폐물 처분 부지평가				고준위방폐물 처분 부지평가			
			중 · 저준위방폐물 처분 부지의 핵종이동 평가를 위한 지하수흐름 평가				고준위방폐물 처분시설의 안전성을 확인하기 위한 THMC모델 중 수리모델로 활용			
	기술 키워드		지하수유동모델링, 지하수 포화대, 부지평가, 단열 암반, 입자추적 기법 Groundwater flow modeling, Groundwater aquifer, Site evaluation, Fractured rock, Particle tracking method							
	기술완성도		기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계	
기본원리 파악			기본개념 정립	기능 및 개념검증	연구실환경 테스트	유사환경 테스트	파일럿현장 테스트	상용모델 개발	실제환경 최종테스트	상용운영
										○

### 기술의 개요 및 특징

#### 기술의 간략한 설명

- 본 기술은 중·저준위방사성폐기물 처분 부지인 경주방폐장에 적용된 부지평가기술 중 지하수흐름을 파악하기 위해 적용된 기술로써, 처분시설의 방사성폐기물 누출시 이동경로가 되는 지하수흐름을 전산프로그램을 이용하여 보다 정확하게 예측하고 평가하는 기술임
- 방사성폐기물이 처분시설로부터 누출된 경우, 방사성핵종은 지하수를 따라 흐르게 되며 주변의 생태계로 이동할 수 있으므로 이러한 핵종의 안전성을 파악하기 위하여 지하수유동모델링을 통해 포화대내 지하수 이동거리 및 이동속도 등의 정보가 필요함
- 따라서 단열암반내 위치한 포화대의 지하수 흐름을 모사할 수 있는 단열망모델링 결과를 반영하여 지하수흐름 특성인 수리전도도를 지하수유동모델링의 입력자료로 이용하는 Hybrid-model 방법을 적용함

#### 대표도면 및 조감도



### 기술의 특징 및 우수성

- 본 기술은 암반내 단열을 통하여 흐르는 지하수의 흐름을 모사하는 방법 중 단열망모델링에 의해 추계론적 불연속체 단열을 형성하고, 형성된 단열을 반영하여 지하수의 흐름을 연속체흐름으로 해석하는 Hybrid-model을 적용함으로써, 불연속체 흐름해석에 소요되는 시간을 대폭 단축할 수 있으며 다양한 예측결과 및 모델 적용성을 확인하기 위한 민감도분석이 가능하다는 점에서 우수함

#### 종래기술의 문제점

- 암반내 단열을 통한 지하수의 흐름은 단열의 특성(밀도, 방향성, 크기, 연결성 및 불균질성에 따라 이동경로 및 이동속도 등 매우 다르게 나타날 수 있음
- 단열 특성을 전산화하여 구현하기 어려우므로 보통 연속체모델을 이용하여 암종별 또는 수리적특성으로 경계를 나누어 구역화하여 해석함으로써 전체적인 지하수흐름을 파악할 수 있으나, 주변 단층 및 단층을 따라 흐르는 주요 지하수흐름을 반영하기 어려워 최대 지하수흐름을 과소평가 할 수 있음
- 지표로부터 지하수 포화대까지 도달하는 양을 지하수 함양량이라고 하며, 이를 계산하는 방법 중 하나로써 지하수위변동을 고려한 방법을 적용할 수 있는데, 이러한 방법은 주로 천부에서의 지하수위 변동을 이용하거나 지층이 평평한 지역에서 적용 가능한 한계가 있음

#### 해결방안

- 지표지질조사를 통하여 파악된 결정론적 단층과 단열망모델링을 통해 구축된 배경단열에 대한 수리특성을 반영하여 연속체모델을 활용한 지하수유동모델링을 수행함으로써 단열을 통한 지하수흐름을 모사함
- 단층 및 단열이 지나는 지하수흐름을 고려함으로써, 특정 경로를 따라 흐르는 지하수흐름을 파악하고, 실제 핵종누출에 대한 경로 및 시간 등에 대한 불확실성을 줄임
- 경사진 지역 및 심부 지하수위 변동을 고려하여 지하수함량량을 산정할 때 발생할 수 있는 불확실성을 줄이기 위해 입자추적기법 중 역추적기법을 이용하여 함양지를 분석, 지하수함량량에 따라 구역화함으로써 보다 정밀한 지하수위변화 결과를 얻게 함



### 기술의 특징

### 및 우수성

- 단열을 고려한 지하수흐름을 모사하여 핵종이동에 대한 불확실성 저감
- Hybrid-model을 적용하여 연산시간이 줄어들어 실제 고려할 수 있는 다양한 경우에 대한 모사가 가능하므로 활용성 향상

## 기술의 효과

- 암반내 단열을 따라 흐르는 지하수를 반영하기 위해 결정론적 단층의 특성과 단열망 모델링에 의해 형성된 배경단열에 대한 불연속체 정보를 입력자료로 하여 연속체모델인 Hybrid-model 지하수유동모델링을 수행함으로써, 해석시간의 단축이 가능
- 실제 암반내 단열을 통해 흐르는 지하수의 흐름을 단순화하여 연속체 지하수모델링을 하는 경우, 계산되는 지하수유동경로와 이동시간은 대체적으로 평균값을 보이는 경향성을 나타내는데, 이에 대한 불확실성을 저감하는 것이 가능
- 지하수 함양지 분석을 통해 지하수함양량을 구역화하여 산정함으로써, 경사진 지역 및 심부 지하수위 변동을 고려한 해석 시 발생할 수 있는 오차를 줄이는 것이 가능
- 광역규모 모델영역에서 주요관심 지역에 영향을 미치지 않는 최소 모델경계인 지역규모 모델영역 선정시 모델영역 규모에 따른 민감도 분석을 통해 모델영역 및 경계조건에 적합성 향상이 가능

## 기술의 완성도

기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계		사업화
기본원리 파악	기본개념 정립	기능 및 개념 검증	연구실 환경테스트	유사 환경테스트	파일럿 현장테스트	상용 모델개발	실제환경 최종테스트	상용운영
						○		

## 기술패키지 목록

구분	명칭
기술노하우	암반내 불균질성을 고려한 단열망 모델링 구축기술
	단열망-지하수유동모델링 연계 하이브리드 모델링 구축기술
	지하수함양량 함양지 분석기술
연구논문	중·저준위 방폐물 처분시설의 우물 이용 시나리오를 적용한 안전평가 연구에 대한 고찰
보고서	중·저준위방사성폐기물처분시설 안전성 분석보고서
	중·저준위방사성폐기물 2단계 표층처분시설 안전성 분석보고서

### 기술적용분야 및 기업 구비조건

#### 기술의 적용분야

본 기술은 중·저준위방사성폐기물 처분시설의 부지평가 기술 중 지하수흐름에 대한 평가시 실제 처분사업에 활용되고 있는 기술로써, 중·저준위방폐물 사업뿐만 아니라 향후 고준위방폐물 처분사업의 부지평가 및 처분시설의 안전성평가지 적용가능함

중·저준위방폐물 처분 부지평가	고준위방폐물 처분 부지평가
중·저준위방폐물 처분 부지의 핵종이동 평가를 위한 지하수흐름 평가	고준위방폐물 처분시설에 대한 안전성을 확인하기 위한 THMC모델 중 수리 및 역학 모델로써 활용가능

#### 기술의 경쟁력

- 본 기술은 암반내 단열을 통한 포화대내 지하수유동을 해석하는 방법으로써 현재 중·저준위방폐물 처분시설의 부지평가 및 안전성평가에 이용되고 있는 기술이며, 향후 고준위폐기물 중간저장 및 최종처분 부지평가지에도 적용 가능함
- 정부는 2016년 7월 고준위방사성폐기물 관리 기본계획을 발표하고 정부주도의 사용후핵연료 관련 사업을 진행할 예정이며, 본 기술은 고준위방사성폐기물 관리에 반드시 필요할 뿐만 아니라 국내 원자력 시장에 진출할 경우 높은 경쟁력을 확보할 수 있음
- 경주방폐장은 중·저준위방폐물 처분장으로 총 80만드럼(200L기준)을 처분할 계획이며, 현재 2단계 표층처분시설 인허가를 심사 중이고, 향후 2040년까지 3, 4단계의 추가 처분시설을 건설할 계획으로써 본 기술의 적용이 지속적으로 요구되는 바, 높은 경쟁력이 있음
- 또한, 본 기술을 활용하여 CO<sub>2</sub> 지중·저장 및 지열발전 등 암반내 지하수의 흐름 해석이 필요한 분야로의 확장 가능성이 높은 기술임

### ▶ 기술활용을 위한 기업에서의 구비 조건

- 본 기술은 지하수유동모델링 기술구축에 필요한 전산코드(FEFLOW)에 대한 라이선스 비용을 기업이 확보해야 함
- 또한 본 기술의 적용 및 활용이 가능하도록 수리지질 혹은 지질분야에 대한 기본 지식이 갖추어진 자를 보유하고 있어야 함

### ▶ 기술실시에 따른 기업에서의 이점

- 본 기술은 국내의 중·저준위방사성폐기물 처분시설에 대한 부지평가 기술 중 지하수 흐름을 모사하는 기술로써, 현재 진행중인 경주방폐장 뿐만아니라 향후 계획된 고준위 방사성폐기물 처분시설의 부지선정 시 부지평가를 위해 반드시 필요한 기술로 국내 시장의 기술선도 및 적용성에 대해 높은 이점을 가짐
- 본 기술은 사업수행성과의 활용 촉진을 위해 정부예산으로 진행되고 있는 사업과제의 성과물로써 별도의 기술료가 청구되지 않음

## 5. 중·저준위 방폐물 해상운반 방사선영향평가

LILW

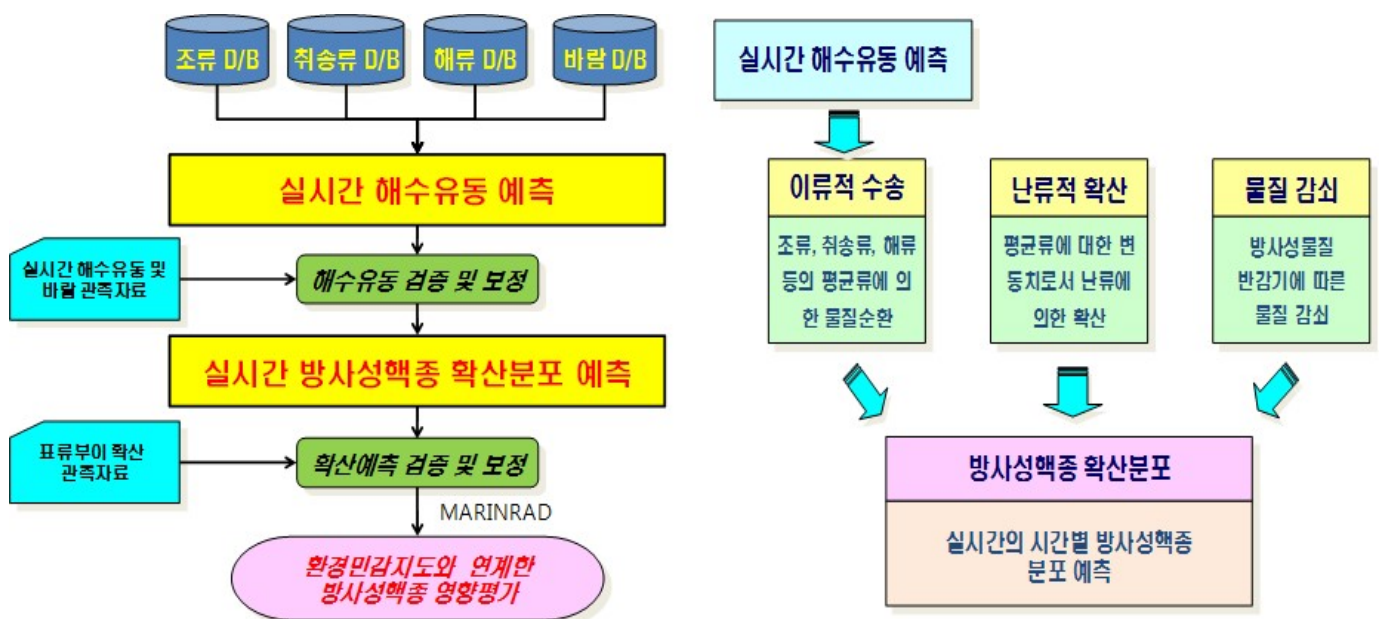
기술명			중·저준위 방폐물 해상운반 방사선영향평가								
기술분야			산업기술 분류코드								
			대분류		중분류		소분류		코드번호		
			에너지·자원		원자력		중·저준위방폐물 관리기술		600706		
기술개요	기술요약		● 본 기술은 중·저준위 방사성폐기물의 해상운반 방사선영향평가 시스템 및 방법에 관한 것으로, 방사성폐기물의 해상운반 침몰사고 시 국내 해양환경을 고려하여 방사성폐기물의 확산 및 이에 따른 방사선적 영향을 평가할 수 있도록 하는 기술임.								
	기술의 효과		● 국내 해양환경을 고려하여 방사성폐기물 해상운반 침몰사고 시 방사성핵종의 이동과 예상피폭선량의 평가가 가능함 ● 기준 모델을 활용한 모델링 입력자료 단일화와 결과물 통합에 따른 데이터 관리체계 강화 ● 개선된 실시간 해상핵종확산 예측시스템을 이용하여 특정해역에서의 방사성물질의 확산을 정밀하게 평가 가능함								
	기술의 응용분야		중·저준위 방사성폐기물 운반 원자력발전소 등에서 발생하는 중·저준위 방사성폐기물								
	기술 키워드		중·저준위 방사성폐기물, 해상운반, 침몰, 해수, 확산 LILW(Low and Intermediate Level Waste), Marine Transport, Sinking, Seawater, Diffusion								
	기술완성도		기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계		사업화
			기본원리 파악	기본개념 정립	기능 및 개념검증	연구실환경 테스트	유사환경 테스트	파일럿현장 테스트	상용모델 개발	실제환경 최종테스트	상용운영
										○	

## 기술의 개요 및 특징

### 기술의 간략한 설명

- 중·저준위 방사성폐기물의 해상운반 방사선영향평가 시스템 및 방법에 관한 것으로, 방사성폐기물의 해상운반 중 침몰사고 시 해수 순환 등을 고려하여 방사성폐기물의 확산 및 이에 따른 방사선적 영향을 평가할 수 있도록 하는 기술임
- 기존의 해양방사선영향평가 상용 프로그램인 MARINRAD의 알고리즘을 바탕으로 한국해양연구원의 해상유출유(海上流出油) 확산예측시스템(KOSPS)를 적용하고, 해양환경 관련 DB를 국내 실정에 부합하도록 개선하여 제작한 프로그램(KM-RAD)을 운용하는 기술이 포함됨

### 평가 시스템 모식도 및 방사성핵종 확산모델 개념도



## 기술의 효과

- 기존의 MARINRAD를 기본 체계로 하여 입력자료 및 해양 확산 관련 자료를 국내 실정에 맞도록 개선하고, 해양확산에 가장 큰 영향을 주는 가상사고가 발생하는 해역에 대한 해류를 국내에 적합한 해양모델을 이용해 적용함으로써 사고 시 방사선 환경영향을 평가할 수 있음
- 한국해양연구원에서 개발한 확산예측시스템\*의 데이터를 적용함으로써 특정해역 내 방사성핵종의 확산의 현실적이고 정밀한 평가가 가능함

※ 확산예측시스템 : 실시간 바람 및 해수유동을 기반으로 특정 해역의 유출유(流出油) 잔류량 및 확산분포를 계산함으로써 보다 현실적인 물질의 이동 예측이 가능함

## 기술의 완성도

기초연구단계		실험단계		시작품 단계		제품화 단계		사업화
기본원리 파악	기본개념 정립	기능 및 개념 검증	연구실 환경테스트	유사 환경테스	파일럿 현장테스트	상용 모델개발	실제환경 최종테스트	상용운영
								○

## 기술패키지 목록

구분	번호	명칭
특허	제10-1724396호	침몰사고 시 방사성폐기물 영향 평가 시스템 및 방법
보고서	중·저준위 폐기물 해상운반 방사선영향평가서	

### 기술적용분야 및 기업 구비조건

#### 기술의 적용분야

본 기술은 방사성폐기물 발생지에서 처분시설까지의 방사성폐기물 운반 시 침몰사고에 따른 방사선영향평가를 위한 것으로, 중·저준위방폐물 해상운반 분야에 적용 가능함

#### 기술의 경쟁력

- 2015년 12월부터 중·저준위 방사성폐기물 처분시설이 본격적으로 운영됨에 따라 전국 각지에서 발생하는 중·저준위 방사성폐기물은 처분시설로 운반·처분되는 상황이며, 폐기물 주요 발생지인 원전의 중·저준위 방사성폐기물 운반은 주로 선박을 통하여 이루어짐.
- 본 기술은 종래기술을 개선하여 국내 해양조건의 변동을 실시간으로 반영함으로써 방사성폐기물의 운반 시 사고에 의한 방사성핵종의 확산을 실제에 가깝게 평가할 수 있음.
- 본 기술을 기반으로 하여 선박 제원, 국외 해양조건 및 폐기물 정보를 변경하여 국외 및 고준위방폐물의 해상운반 방사선영향평가도 가능함.



### 기술활용을 위한 기업에서의 구비 조건

- 본 기술은 방사성폐기물 해상운반에 관한 것으로 방사선, 선박 및 해양환경 관련 전문 인력이 필요함.
- 방사성폐기물의 해상운반은 전문성과 안전성이 담보되어야 하므로 관련 노하우를 보유하고 있거나 폐기물 및 해양 관련 데이터 전문기관과의 협력이 필요함

### 기술실시에 따른 기업에서의 이점

- 본 기술은 국내의 중·저준위 방사성폐기물의 운반 분야에 반드시 필요한 기술로 국내 시장 진입성 및 적용성에 대해 높은 이점을 가짐
- 본 기술은 중 · 저준위 방사성폐기물 해상운반의 인허가 취득을 위해 공단 자체적으로 확보한 기술로, 별도의 기술료가 청구되지 않음