

## 고준위폐기물 처분연구 현황 및 지하처분연구시설에서의 암석역학 관련 연구

권상기 (인하대학교)  
조원진 (한국원자력연구원)

### 1. 서론

국내 가동중인 원전은 총 21기로 이중 경수로(Pressurized Water Reactor)가 17기, 중수로(Pressurized Heavy Water Reactor)가 4기이며 추가로 3기가 공사 중에 있다. 2010년 이들 원전의 가동으로 147.4 billion KWh의 원자력 에너지를 생산하였고, 이는 국가 전체 전력의 31.1%에 해당한다. 원전에서 발생하는 사용후핵연료의 양은, 60만 KW급 경수로형 원자로에서는 매년 14톤, 100만 KW급 경수로에서는 매년 19톤, 월성의 가압중수로에서는 매년 97톤이 발생하고 있다. 2010년 누적된 사용후핵연료는 약 11,000톤이며 2040년 약 34,000톤 정도가 누적될 것으로 예상된다(한국원자력산업회의,2010) 사용후핵연료 임시 저장을 위한 고리, 영광, 울진, 월성 원전의 소내 저장 용량은 2016~2018년경 포화 상태에 이를 것으로 예상되고 있어 이의 해결을 위해 1) 소내 임시저장 용량의 확장 방안과 2) 부지 외 중간저장시설의 건설 방안이 강구되고 있다(김창효, 2009). 2011년 3월 발생한 일본 후쿠지마 원전 사고의 여파로 국내 원자력시설의 안전 및 방사성 폐기물의 관리 방안에 대한 논의가 현재 활발하기 진행되고 있다. 경주에 건설 중인 중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 경우, 10만 드럼 규모의 동굴 처분 방식으로 2012년 12월 준공을 목표로 건설 중에 있다. 경주 중·저준위 폐기물 처분장 선정 및 건설까지의 어려움을 고려해 볼 때, 고준위처분장의 부지 선정 및 건설을 위해서는 전문가 집단 뿐 아니라 이해 당사자 간의 합의 도출을 위한 꾸준한 연구와 노력이 필요할 것이다. 국내 고준위폐기물의 처분 기술을 개발하기 위한 중장기 연구개발 사업은 1997년 착수되어 한국원자력연구원에서 수행되고 있으며 이를 통해 한국의 지질 특성을 반영한 한국형기준처분시스템(KRS)이 제안된 바 있다. 2008년 말 개최된 255차 원자력위원회에서는 건식재처리(파이로 프로세싱)과 고속로를 연계하는 선진핵주기에 대한 국가연구개발 사업을 추진하기로 하였으며 현재 한국원자력연구원을 중심으로 관련 연구가 수행되고 있다. 이러한 선진핵주기에서 발생할 것으로 예상되는 폐기물과 경주 처분장에 수용할 수 없는 폐기물을 처분할 수 있도록 처분시스템을 보완하여 복합처분시스템(A-KRS)이 개발되었다(최희주 외, 2010). 이와 함께 처분 개념의 기술적 타당성, 안정성 등의 실증을 위해 한국원자력연구원 부지 내에 지하처분연구시설(KAERI Underground Research Tunnel, KURT)를 건설하고 고준위 처분 관련 현장시험을 수행하고 있다.

## 2. 고준위폐기물 처분연구 현황

### 2.1 한국형기준처분시스템(KRS)

국내 원전의 수명기간 동안 발생할 것으로 예상되는 사용후핵연료를 지하 암반에 영구처분하기 위해 제안된 KRS는 처분용기, 완충재, 뒷채움재, 암반으로 구성되는 다중방벽을 활용하여 방사성물질의 생태계 유입을 지연, 차단하는 것을 기본 개념으로 하고 있다. 지하 500m 화강암반에 위치하는 처분장의 규모는 2km x 2km, 처분장 터널의 총 연장은 약 95km이며 처분장 건설을 위한 비용은 지하시설이 3조 4천억, 지상시설이 7조5천억원으로 추정된다(최희주 외, 2008). 그림 2.1은 KRS 개념도를 보여주며 처분시스템 주요 요소별 특성은 표 2.1과 같다.

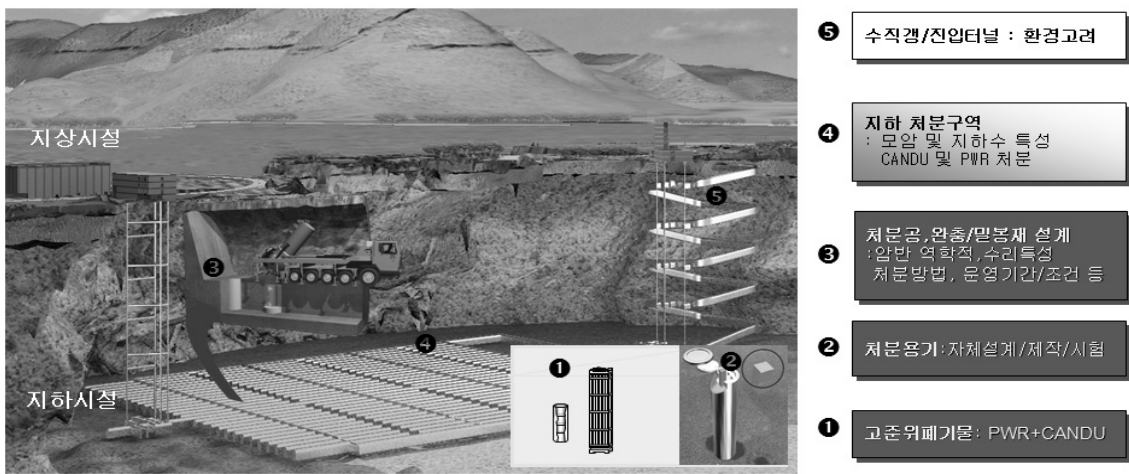


그림 2.1 한국형기준처분시스템 KRS

표 2.1 KRS 주요 요소의 특성

Components		Characteristics	
Spent fuel	Type	PWR	CANDU
	Amount	20 000 tU	16 000 tU
	Disposal Rate	380 canister/yr	146 canisters/yr
	Heat generation	1 540W	760W
	Cooling time	40 years	30 years
Canister	Diameter	1.02m	1.02m
	Length	4.83m	4.83m
	Number	11,375	2,835
Buffer	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Compacted bentonite</li> <li>. Dry density :1 800kg/m<sup>3</sup></li> <li>. Thickness : 0.5 m</li> <li>. Maximum temperature &lt; 100°C</li> </ul>		
Backfill	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Crushed rock 70% + bentonite 30%</li> <li>. Grain size &lt; 22mm</li> </ul>		
Rock	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Crystalline rock (granite)</li> <li>. Depth 500m</li> <li>. Thermal gradient : 30°C/km</li> </ul>		
Disposal tunnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Drill and blasting</li> <li>. Tunnel spacing : 40m</li> <li>. Underground area : 8km<sup>2</sup></li> <li>. Tunnel number : 700 tunnels</li> <li>. Width 5m, height 6.15m, length 251m</li> </ul>		
Deposition hole	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Vertical emplacement</li> <li>. Total number : 11,944 holes</li> <li>. Spacing : PWR 6m, CANDU 4m</li> <li>. Diameter :2.02m</li> </ul>		

## 2.2 복합폐기물 처분시스템(A-KRS)

선진핵주기에 대한 국가연구개발 사업 추진에 따라 건식재처리 과정에서 발생하게 되는 금속 폐기물, 세라믹폐기물, off-gas 폐기물과 중수로 사용후핵연료, 연구용 원자로인 하나로 폐기물, 원전 해체시 발생하는 장반감기 폐기물을 복합처분하기 위한 처분시스템의 개발이 요구되었다. 이를 위해 각 폐기물의 특성 및 방사선원향을 평가하고 용기의 부식, 열적 안정성 및 구조적 안정성 평가를 실시하였다. 이를 바탕으로 복층처분개념과 장기저장+처분을 기반으로 하는 그림 2.2 와 같은 A-KRS 예비개념이 도출되었다(최희주 외, 2010). A-KRS 에 따르면 200m 심도에는 사용후핵연료의 장기저장, 금속폐기물의 처분 및 단반감기 고발열 폐기물이 저장 후 처분되며 500m 심도에는 장반감기 고준위폐기물이 처분되게 된다. 이러한 복합 처분개념은 고준위폐기물의 저장 기간 동안 회수성을 향상시킬 수 있으며 방사성붕괴열의 자연감소에 의한 처분장 효율 향상에도 기여할 것으로 예상된다.

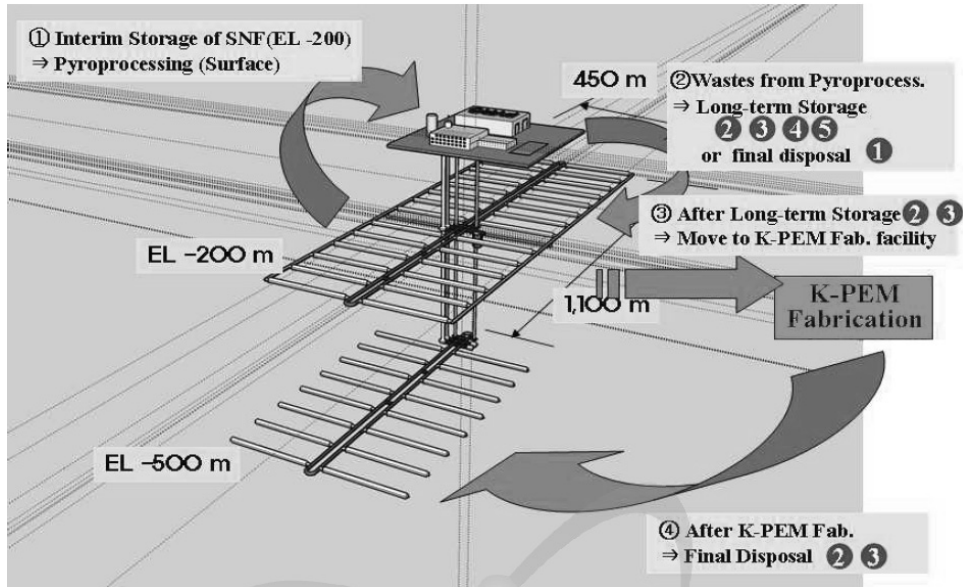


그림 2.2 A-KRS 예비개념도(최희주 외, 2010)

### 3. 지하처분연구시설에서의 연구 현황

지하 심부 암반에 고준위폐기물을 처분하는 경우, 처분장의 장기 안전성을 보장하기 위해서는 국내 심지층 환경의 특성이 반영된 고유 처분시스템 개발을 개발하는 것이 필요하다. 심지층 처분 연구에서 앞서 있는 국가들에서는 자국의 환경에 부합하는 처분개념을 개발하고 지속적인 연구를 통해 처분장 안전성에 대한 신뢰도를 높이고 있다. 특히 표 3.1에서와 같이 처분 연구를 위한 지하연구시설(URL)을 확보하고 다양한 현장 실증시험을 실시하고 있다. 국내에서도 처분연구의 실증시험을 위해 2006년 지하처분연구시설(KAERI Underground Research Tunnel, KURT)을 건설하고 현장시험을 실시하고 있다.

표 3.1 세계 각국의 URL 현황 (NEA, 2001)

Types	URL	Country	Rock types	Depth(m)	Operation period
Generic URL	Asse mine	Germany	Salt	490~ 950	1965-1997
	Tono	Japan	Sedimentary	200	Since 1986
	Kamaishi	Japan	Granite	260	1988-1998
	Stripa mine	Sweden	Granite	360-410	1976-1992
	GTS	Swiss	Granite	450	Since 1983
	Mont Terri	Swiss	Shale	400	Since 1995
	Olkiluoto	Finland	Granite	60-100	Since 1993
	Climax	USA	Granite	420	1978-1983
	G-tunnel	USA	Tuff	>300	1979-1990
	Amelie	France	Salt		1986-1992
	Fanay-Augeres	France	Granite		1980-1990
	Tournemire	France	Shale	250	Since 1990
	HADES-URF	Belgium	Clay	230	Since 1980
	Whiteshell URL	Canada	Granite	240-420	Since 1984
	Mizunami URL	Japan	Granite	1000	construction
	Horonobe URL	Japan	Sedimentary	500	construction
	Site specific URL	ASPO.	Sweden	Granite	200-450
Busted Butte		USA	Tuff	100	Since 1998
ONKALO		Finland	Granite	500	Drilling phase
Meuse		France	Shale	450-500	Since 1999
Gorleben		Germany	Salt	>900	1985-1990
Konrad		Germany	Limestone	800	Since 1980
Morsleben		Germany	Salt	>525	1981-1998
Mecsek Mountain		Hungary	Clay	1000	1995-1999
WIPP	USA	Salt	655	Since 1982	
ESF (YM)	USA	Tuff	300	1993-2010	

### 3.1 지하처분연구시설(KURT)

KURT는 고준위폐기물 처분 연구를 위해 2006년 11월 완공된 대전 원자력연구원 부지 내에 위치하는 지하 터널로 180m 길이의 진입터널과 연구모듈 2개(총 75m), 8m 길이의 회차 구간 및 터널로 유입되는 지하수를 모아 외부로 배출하기 위한 저수조로 이루어져 있다. KURT의 최대 심도는 90m 로서 연구모듈은 비교적 양질의 암반에 위치하고 있다. 효율적인 심도 확보를 위해 10% 하향 터널을 굴착하였으며 풍화암이 나타나는 입구부 40m 는 콘크리트 라이닝을 설치하였다. 그림 3.2 는 KURT 위 개요도를 보여준다. 터널 굴착은 조절발파기법을 통해 이루어졌으며

록볼트, 슛크리트, 콘크리트 라이닝과 같은 지보가 설치된 후의 최종 터널 크기는 6m x 6m 가 되도록 설계되었다. 유입되는 지하수의 양은 하루 약 25톤 정도이다. 배기와 흡기가 가능한 환기 시스템, 전력 인입선, 배수 설비, 조명시설, 인터넷, 전화, 터널 내 휴대폰 사용이 가능하도록 하는 통신시스템, 비디오카메라, 출입통제시설과 같은 안전시설, 소화 장비, 터널 내 유해가스 감시 시스템, 터널 내 온도, 변위, 미세진동 자동 계측 시스템 등이 설치되어 작동되고 있다. 현재 KURT에서는 암석역학 관련 시험을 포함하여 지질 및 지하수, 지화학, 핵중이동에 관한 다양한 현장시험이 실시되고 있다. 현장시험의 효율적 활용을 위해 2010년 11월 산학연 12개 기관이 KURT 사용자협의회를 구성하였으며 현장에서 수행되는 연구의 방향과 향후 계획에 대한 논의를 하고 있으며 매년 개최되는 KURT workshop을 통해 연구 성과를 공유하고 있다.

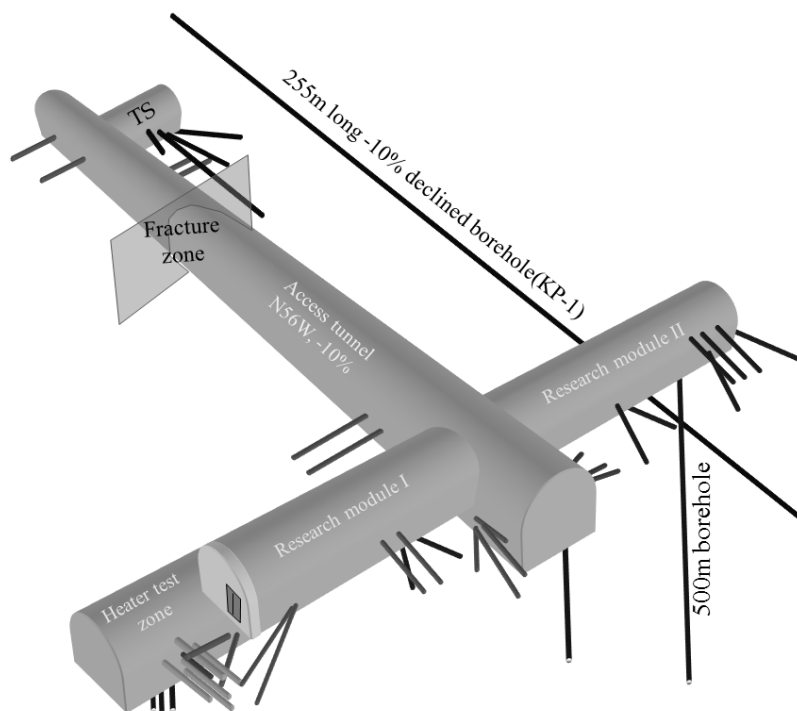


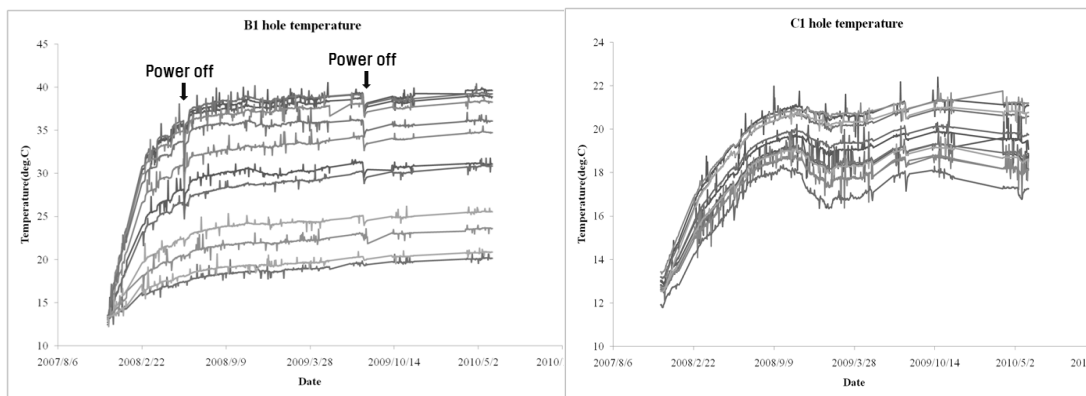
그림 3.1 KURT 구조 및 주요 현장시험 위치

### 3.2 KURT 에서의 암석역학 관련 연구

#### 3.2.1 시추공 히터시험

KURT 우측모듈에서 진행되고 있는 시추공 히터시험을 위해 100개의 온도센서를 암반 내에 설치하고 가열 및 냉각에 따른 암반 내 온도변화를 자동 계측하고 있다. 히터의 온도는 2007년 12월 20°C부터 5°C 단위로 상승되어 2008년 6월 90°C에 도달한 후 히터 시험 구간에서 암반의 온도가 안정화 될 때까지 90°C로 유지하였다. 히터가열 전 14°C 내외의 암반의 온도는 히터 온도 90°C로 가열한 이후 히터공에서 0.3m 떨어진 지점에서 40°C 이상까지 상승하는 것으로 나타났다(그림 3.2). 터널 벽면으로의 열 손실로 인해 터널 벽면 쪽으로는 상대적으로 낮은 온도분포가 나타났다. 비정상 과열 상태에서의 열-역학적 거동 평가를 위해 2010년 히터 온도를 120°C 까지

상승시키면서 암반에서의 온도 분포 변화, 응력변화, 터널 벽면과 히터공 내의 온도 변화 및 히터시험구간에서의 대기 온도 및 습도변화를 측정하였다. 2011년 8월 전원을 차단하였으며 냉각에 따른 암반의 거동 변화 또한 자동 및 수동 계측 방법을 사용하여 측정하고 있다. 시추공 히터 시험을 통해 측정된 자료는 암반 절리면이 온도 분포에 미치는 영향, 손상구간의 열적 물성 평가, 환기시스템에 의한 터널 벽면으로의 열 유실 평가 등에 활용되고 있다. 측정된 현장시험 자료는 3차원 해석 코드를 이용한 THM 복합거동 모델링 기법의 검증에도 활용되며 검증된 해석기법은 추후 근계영역에서의 복합거동 해석에 사용될 것이다. 이와 관련하여 한국원자력연구원과 서울대 연구팀은 THMC 복합거동 해석을 위한 국제공동연구인 DECOVALEX-2011에 2008년부터 정식 회원기관으로 참여하고 있다.



(a) 히터공에서 0.3m 지점

(b) 히터공에서 1m 지점

그림 3.2 히터가열의 의한 암반내 온도 변화

### 3.2.2 KURT 주변 열,수리,역학적 초기조건 평가

현장실험의 준비 및 실험 결과의 해석을 위해서는 터널의 굴착 전과 후의 암반 내 열, 수리, 역학적 초기조건에 대한 이해가 반드시 필요하다. 본 연구에서는 지질특성, 암반의 열, 수리, 역학적 물성, 지하수위 자료의 분석을 통해 KURT 주변 암반의 열, 수리, 역학적 특성 변화를 분석하였다 (표 3.1). 분석된 물성 특성과 대기 및 벽면 온도를 이용하여 굴착 후 암반 내에서의 시간에 따른 온도 변화를 계산할 수 있었다. 지표면 부근 심도 2.5m 와 5m 지점에서의 연간 지반 온도변화는 각각 약 6°C 와 2.6°C로 나타났으며 최대 온도에 도달하는 시점의 경우, 1m 심도 증가 시마다 약 19일 정도의 시간 지연이 발생하였다. 암반 내에서의 연간 예상되는 온도 변화는 터널 벽면에서의 거리 5m와 10m 지점에서 각각 3°C, 0.75°C 로 나타났다(Kwon et al, 2011). 이러한 KURT 주변에서의 초기조건은 향후 KURT에서 수행되는 다양한 현장실험을 위한 장소 선정 및 실험 설계에 활용될 수 있을 것이며 현장실험을 통해 얻어진 결과의 해석을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 지하암반에서의 열, 수리, 역학적 초기조건에 대한 연구는 중-저준위 처분장의 거동 평가 및 고준위 방사성폐기물 처분장 부지선정과 처분 시스템 설계 뿐 아니라 다양한 지하공간의 설계 및 지하구조물에서의 현장 측정 결과의 해석에도 활용될 수 있을 것이다.

### 3.2.3 암반손상대의 규모 평가

KURT 건설 시 발파에 의해 발생하는 암반 손상대의 규모를 평가하기 위해 실험실 실험과 현장시험을 실시하였다. 실험실 실험 결과 터널 벽면에서의 손상대 발생 경계는 터널에서 1.1m~1.5m 사이에 위치하는 것으로 나타났다. 손상대 시험구간에서의 Goodman jack 시험 결과 발파전후 암반변형계수는 벽면거리 1.5m 이상에서까지 영향을 받는 것으로 나타났다. 경험식과 이론식을 이용하는 경우, 0.6m~2.3m 내외의 손상대 발생이 예측되었다(Kwon et al., 2009). 선형장약량을 이용한 경험식에서 상대적으로 작은 손상대 발생을 예측하였다. 시험구간에 설치된 9개 시추공에서 회수된 암석코아에 대한 관찰 결과, 발파의 영향을 받은 구간(0~2m)에서의 RQD 값은 발파영향을 받지 않은 구간(2m~)에 비해 약 20% 낮게 나타났다. 발파 후 측정된 암반변형계수의 경우, 발파 전에 비해 평균 약 40% 감소되는 것으로 나타났다(권상기와 조원진, 2008).

표 3.1 KURT 주변 암반의 특성

지질 특성	대표 암석은 SiO <sub>2</sub> 의 함량이 70~75%인 화강암이며 대부분의 위치에서 경사각 60° 이상의 고경사 절리가 우세.	
역학 특성	현지응력	지표면 부근에서 높은 수평응력. 심도에 따라 K=1에 근접
	암반분류	RMR 81 이상의 구간이 24%, "Good rock" 이상의 구간이 63%, "Fair rock" 이상의 구간이 85%
	UCS	심도에 따라 증가하며 100m 지점에서 약 75MPa
	인장강도	심도에 따라 증가하며 100m 지점에서 약 10MPa
	E	심도에 따라 증가하며 100m 지점에서 약 50GPa
	Em	3GPa~ 37GPa. 평균값은 약 16GPa
	P파 속도	심도에 따라 증가하며 100m 지점에서 약 5000m/sec
	S파 속도	심도에 따라 증가하며 100m 지점에서 약 3000m/sec.
	밀도	평균값 2640kg/m <sup>3</sup>
수리 특성	공극률	심도에 따라 감소하며 100m 지점에서 약 0.5%
	지하수위	시추공의 위치가 높을수록 지하수위가 낮음. 위치에 따라 5m 내외의 편차.
	수리전도도	1e-9~1e-5 m/sec 범위에서 심도에 따라 지수함수적으로 감소. 심도 40m 이상에서는 1e-7m/sec 이하.
	균열간극	심도 증가에 따른 간극 감소 경향.
열적 특성	지열구배	25°C/km
	암반초기온도	KURT 심도에서의 초기 암반 온도는 약 14°C
	열전도도	건조시 평균 2.9W/m <sup>2</sup> K, 포화시 3.11W/m <sup>2</sup> K
	비열	지표면 부근 800J/kg°C이며 100m 심도에서는 900J/kg°C
	열확산도	6e-7 m <sup>2</sup> /sec ~ 1.3e-6 m <sup>2</sup> /sec
	열팽창계수	상온에서 7.5e-6/°K. 50-100°C에서는 9e-6/°K로 온도 증가에 따라 열팽창계수는 증가.
	대기온도	-10°C에서 30°C 사이에서 변화. 평균 기온은 13.2°C.
상대습도	년 평균 상대습도는 60~70%	

### 3.2.4 EDZ의 물성변화 시뮬레이션

굴착을 위한 발파에 의해 손상되는 암반은 원래의 열적, 역학적 물성과는 차이를 가지게 된다.



균열 발생에 의한 손상구간의 열적 물성 변화는 실험실 및 현장에서 정확하게 측정하는 것이 어렵기 때문에 모델링 기법을 활용하여 손상구간의 열적 물성 변화를 추정하였다. 손상대의 발생을 예측하기 위해 균열 발생을 모사할 수 있는 PFC코드를 이용한 모델링을 실시하였다. 실제 KURT 굴착에 사용된 발파설계 및 폭약의 특성을 이용하여 발파 후 손상대의 규모 및 특성을 평가할 수 있었으며 이를 현장 측정 결과와 비교, 검증하였다. 균열 발생에 의한 열 전달 특성을 고려함으로써 손상구간에서의 열전도도 변화를 추정할 수 있었다.

### 3.2.5 근계영역 암반 동적 특성 평가

근계 암반영역 내 실시간 동적거동 모니터링을 위해 AE 계측장비를 KURT 내에 구축하였다. 암반 내 탄성파의 발생과 손상대의 동적물성 분석을 위한 전용 impact hammer를 개발 및 제작하고 현장실험을 수행하였다(그림 3.3). AE 기법의 현장적용을 위해 웨이브 가이드에서의 신호변화 특성을 실내 실험을 통하여 정량화를 하였고 균열 발생 시 생성되는 AE 데이터를 대상으로 Moment tensor법을 적용하여 균열의 발생위치, 파괴유형 및 방향성을 분석하는 연구가 진행 중에 있다.

### 3.2.6 근계영역 암반 수리특성 평가

손상대에는 발파 시의 충격으로 인해, 손상되지 않은 주위 암반보다 투수계수가 높게 나타난다. 이러한 손상대는 처분동굴을 환형으로 둘러싸면서 지하수의 이동로 역할을 하여, 처분장 내로의 지하수의 유입을 촉진시키고, 방사성핵종을 생태계로 유출시키는 주요 경로가 될 수 있기 때문에 손상구간의 수리특성 변화를 파악하는 것은 처분장 안전성에 특히 중요하다. 손상대의 영향이 잘 나타날 것으로 예상되는 터널 벽면으로부터 1~2 m 이내의 구간에 대한 투수계수 변화를 측정을 위해서는 패커 간격이 좁아야 한다. 이를 위해 시험 간격을 수 십 cm 이하로 줄인 시험 장치를 자체 설계, 제작하였다(그림 3.4). 소구간의 투수계수를 측정하기 위해, 물 대신 질소 기체를 사용하는 측정 시스템을 개발하고 KURT 손상구간의 수리특성 평가에 활용하고 있다.



그림 3.3. Impact hammer 시험



그림 3.4. 근계영역 수리특성 평가 장치

### 3.2.7 KURT 내 열전달계수 측정

고준위 방사성 폐기물 처분장의 경우 폐기물의 방사성 붕괴에 의해 발열 현상이 나타나게 되며, 암반을 통한 열전달에 의해 처분장 주변 환경이 변화됨으로써 처분장의 안전성에 영향을 미

칠 수 있으므로 향후 건설될 처분장의 안전성 확보를 위해선 처분장 내 환기 시스템은 중요하다. 적절한 환기시스템의 구축을 위한 컴퓨터 시뮬레이션에서는 암반의 열적 물성과 함께 열전달계수에 대한 정보가 요구된다. 이와 관련하여 KURT에서는 여름철과 겨울철에 건구온도, 습구온도, 암반 표면온도 및 대기압을 측정하여 환기시스템의 가동 여부에 따른 계절별 열전달계수를 산정하였다(윤찬훈, 2011).

#### 4. 결론

국내 전력의 상당 부분을 생산하고 있는 원자력발전소의 지속적인 운영을 위해서는 고준위폐기물에 대한 안전한 장기관리 방안 마련이 시급하며 특히 후쿠지마 원전 사태 이후 고준위폐기물에 대한 관한 관심은 더욱 높아졌다. 현재 한국원자력연구원과 방사성폐기물 관리공단을 중심으로 고준위폐기물의 처분기술 개발 및 관리 방안에 대한 연구가 수행되고 있다. 1997년부터 수행된 고준위폐기물 처분 연구를 통해 한국형기준처분시스템(KRS)과 복합폐기물 처분시스템(A-KRS)가 제안되었으며 처분 시스템의 실증을 위해 지하처분연구시설에서는 다양한 현장시험이 실시되고 있다.

본 연구에서는 KURT 암반을 대상으로 다양한 암석역학 관련 연구들이 수행되었다. 현장시험, 실험실 실험, 모델링을 통해 근계 영역 암반의 역학적, 열적, 수리적, 동적 특성 평가가 수행되었다. 이러한 암석역학 관련 연구 결과들은 열이 발생하는 고준위폐기물을 지하 심부 암반에 처분하는 경우 예상되는 열, 수리, 역학적, 화학적 복합거동에 대한 이해 및 처분 시스템 설계를 위한 장기 안정성 평가에 활용될 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 권상기, 조원진, 2008, 지하처분연구시설에서의 암반 손상대 발생 및 영향 평가, 한국원자력연구원 보고서, KAERI/TR-3533/2008
2. 윤찬훈, 2011, 고준위방사성 폐기물 처분장 내 온도 예측을 위한 열전달계수 결정 현장실험과 수치해석에 관한 연구, 인하대학교 박사학위논문.
3. 최희주 외, 2010, 선진핵주기 고준위폐기물처분시스템(A-KRS) 개발, 한국원자력연구원 보고서, KAERI/RR-3100/2009.
4. 최희주 외, 2008, 한국형고준위폐기물처분시스템, 한국원자력연구원 보고서, KAERI/TR-3563/2008
5. 한국원자력산업회의, 2010, 원자력연감 2010.
6. NEA, 2001, Going underground for testing, characterization and demonstration, NEA/RWM.
7. S.Kwon, C.S.Lee, S.J.Cho, S.W.Jeon, W.J.Cho, 2009, Investigation of excavation damaged zone at KAERI underground research tunnel, Tunnelling and underground space technology, Vol.24, pp.1-13.
8. S.Kwon, W.J.Cho, J.W.Choi, 2011, Initial thermal condition around and an underground research tunnel at shallow depth, Int.J.of Rock Mechanics and Mining Sci., Vol.48, pp.86-94.