

## Analysis of the Disposal Tunnel Spacing and Disposal Pit Pitch for the HLW Repository Design

심지층 처분시설 설계를 위한 처분터널 및 처분공 간격 분석

Jong Youl Lee, Seong Ki Kim, Jhin Wung Kim, Jong Won Choi and Pil Soo Hahn

Korea Atomic Energy Research Institute, 150 Duckjin-dong, Yuseong-gu, Daejeon

[njylee@kaeri.re.kr](mailto:njylee@kaeri.re.kr)

이종열, 김성기, 김진웅, 최종원, 한필수

한국원자력연구소, 대전시 유성구 덕진동 150번지

(Received December 15, 2003 / Approved September 9, 2005)

### Abstract

In this study, analysis of the disposal tunnel spacing and disposal pit pitch was carried out, as a factor of the design to estimate the scale and layout of the repository. To do this, based on the reference repository concept and the engineered barrier concept, several cross sections of the disposal tunnel and disposal pit were established. After then, the mechanical and thermal stabilities of the established tunnels were analyzed. Also, an optimized disposal tunnel spacing and the disposal pit pitch reducing the excavation volume was proposed. The results of these analyses can be used in the deep geological repository design. The detailed analyses by the exact site characteristics data to reduce the uncertainty of the site and the modification for the optimization are required.

**Key words** : Deep Geological Disposal, HLW, Repository Layout, Excavation Volume,  
Tunnel Spacing, Pit Pitch

### 요 약

본 연구에서는 고준위 방사성폐기물 심지층 처분시설의 규모 및 layout 설정에 필요한 요소인 처분터널 및 처분공 간격에 대한 분석을 수행하였다. 이를 위하여, 기준 처분개념과 공학적 방벽 개념을 바탕으로 다양한 조건의 처분터널 및 처분공 단면을 설정하고, 단층 배치 및 복층 배치 개념에 따른 처분동굴의 구조적, 열적 안정성을 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 설계에 있어서 주요한 고려인자 중의 하나인 굴착량을 감소시킬 수 있는 처분동굴 및 처분공 간격을 제

안하였다. 본 연구의 결과는 심지층 처분시설 설계시 활용될 것이며, 향후, 부지에 대한 불확실성을 줄이기 위하여 정확한 부지특성 자료를 통한 상세한 분석이 필요하다.

**중심단어:** 심지층 처분, 고준위 방사성폐기물, 처분시설 배치, 굴착량, 터널 간격, 처분공 간격

## I. 서론

고준위 방사성폐기물 처분의 목표는 일정 기간동안 인간 생활권으로부터 고준위 방사성폐기물을 완전 격리시키는 것이며, 이러한 목표를 달성하기 위하여 우리나라를 비롯한 세계 각국에서 심지층 처분시스템 개발 연구가 활발하게 진행되고 있다. 고준위폐기물은 핵연료주기에 따라 다르게 표현될 수 있는데, 사용후핵연료 재활용주기의 경우 고준위폐기물은 사용후핵연료를 재처리하는 과정에서 발생하는 악티나이드/핵분열 생성물 등을 함유하는 폐기물을 말하며, 직접 처분주기의 경우는 사용후핵연료 자체가 처분대상 고준위폐기물이 된다.

본 연구에서는 방사선원항 및 열원항 관점에서 보다 보수적일 것으로 판단되는 사용후핵연료를 처분 대상으로 고려하여[1], 이를 심지층에 처분할 경우 시설 규모 및 layout 개념을 추정하기 위한 처분터널 및 처분공의 간격을 설정하였으며, 이에 필요한 근거 자료를 얻기 위하여, 지하 터널의 구조적, 열적 안정성 분석을 수행하였다. 분석에 필요한 자료로는, 기준 처분개념 및 공학적 방벽 개념에 따라 지하시설 각 터널에 대한 단면을 설정하고 단층 또는 복층 처분개

념을 도입한 몇 가지 처분터널 및 처분공 간격(안)을 설정하여 분석의 입력 자료로 활용하였다. 또한, 분석된 결과를 바탕으로 하여 지하시설 설계 주요인자 중의 하나인 경제성 관점에서 굴착량을 감소시킬 수 있는 처분터널 및 처분공 간격을 제안하였다.

## II. 기준 처분 개념 및 터널 단면 설정

### 가. 기준 처분 및 공학적 방벽 개념

고준위폐기물 처분을 위한 지하 처분시설 배치개념 설정시 폐기물 거치 간격과 터널 간격을 적절하게 조합하는 것이 필요하며, 그림 1은 처분 터널의 사양 및 폐기물 포장물 거치 간격을 결정하는 절차를 나타내고 있다.

처분 터널 간격과 폐기물 포장물 거치 간격은 처분 터널과 처분공의 단면을 근거로 설정되며, 형상과 규모는 공학적 방벽 개념을 고려하여야 한다. 그림 2는 사용후핵연료 심지층 처분을 위한 기준 처분개념을 나타내고 있으며, 이는 진입 샤프트, 접근 터널, 파넬 터널, 및 처분 파넬로 구성된다[2,3]. 또한, 처분 파넬은 처분터널과 처분공으로 이루어지며, 공학적 방벽 개념은 그림에서 보여주는 바와 같이 처분용기,

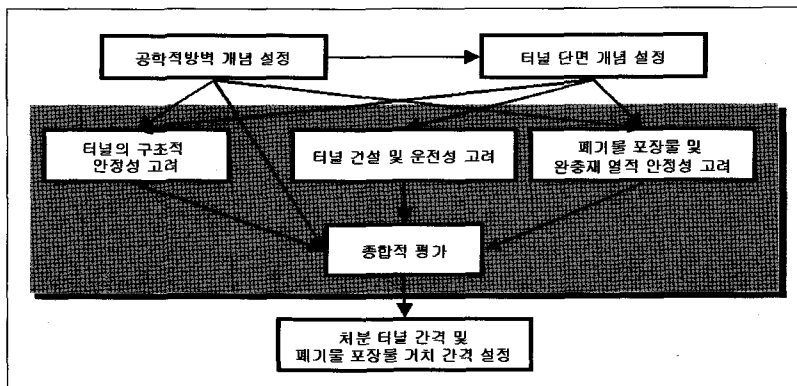


그림 1. 처분 터널 및 폐기물 처분공 사양 결정절차.

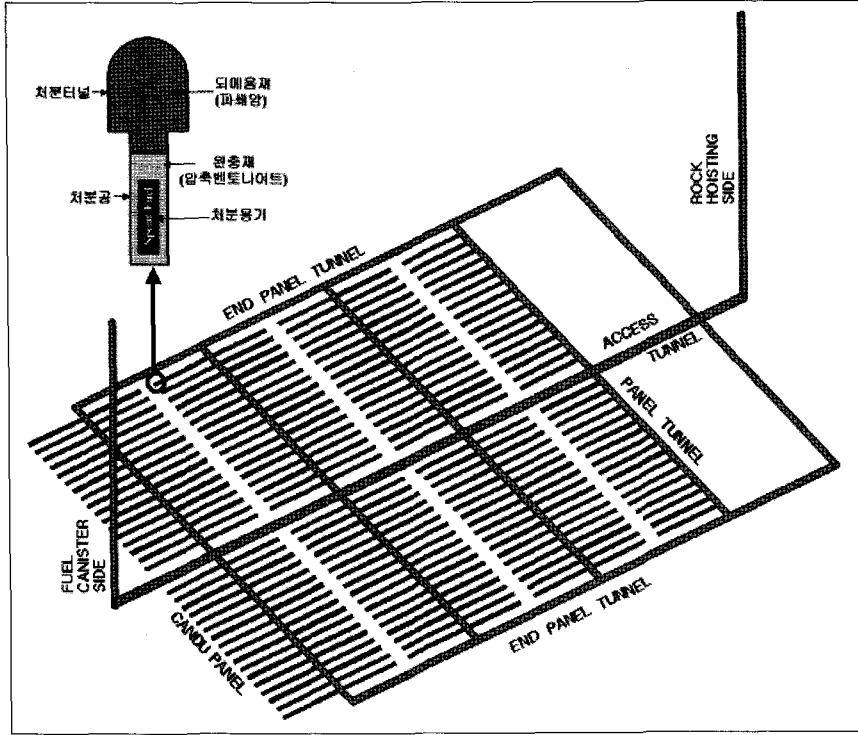


그림 2. 기준 처분 시스템 및 공학적 방벽 개념.

완충재 물질, 퇴폐물 물질 등으로 구성된다.

하고 굴착으로 인한 변형이 최소화하도록 하여야 함.

**나. 터널 단면 설정**

지하 처분시설은 수행하는 기능에 따라 접근터널, 파넬 터널, 처분 터널 및 처분 공으로 구성되며, 각 터널의 단면은 형상과 요구되는 기능을 수행하기 위해 필요한 크기로 구성된다. 터널 형상에 영향을 주는 인자는 구조적 안정성, 건설/운전/폐쇄 용이성 및 경제성으로서, 다음 요건이 고려되어야 한다(4).

- 작업용이성 : 건설, 운전 및 폐쇄가 안전하고 용이하게 수행되어야 함.
- 경제성 : 요구되는 단면은 굴착량을 가능한 한 최소화하도록 하여야 함.

표 1은 지하처분시설을 구성하는 터널별 기능 및 크기를 나타내며, 그림 3은 위의 요건을 고려하여 설정한 처분시설 주요 터널의 단면 예를 나타내고 있다.

표 1. 지하처분시설의 터널별 기능 및 크기

구 분	기 능	크 기	비 고
진입 샤프트	지상시설에서 지하시설로의 진입 (폐기물, 버럭, 작업자, 환기 등)	3 m(φ) ~ 6 m(φ)	
접근 터널	파넬 터널 및 진입 샤프트 연결 터널	7 m(W) × 7 m(H)	
파넬 터널	처분 터널로 진입하기 위한 터널로 처분 파넬 주변에 굴착한 터널	6 m(W) × 7 m(H)	
처분 터널	처분공을 일정한 간격으로 굴착하여 폐기물을 거치하기 위한 터널	5 m(W) × 6 m(H)	
처분 공	사용후핵연료를 거치하기 위하여 처분 터널 바닥에 굴착한 수직 홈	2.22 m(φ) × 7.83 m(H)	

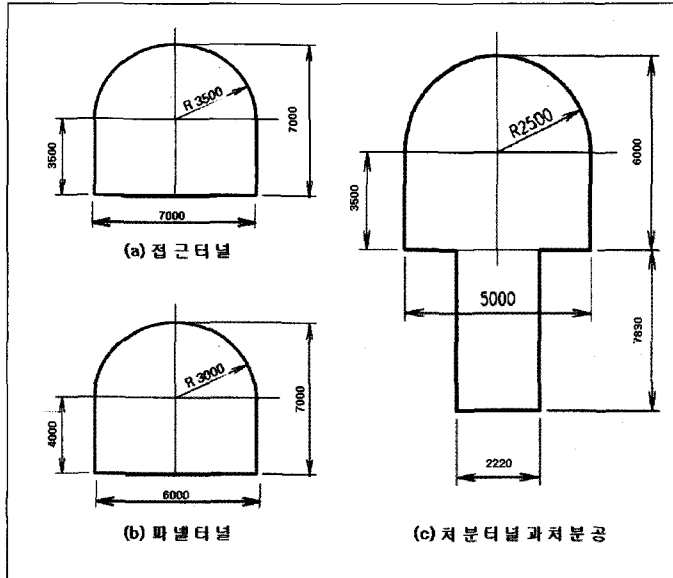


그림 3. 지하 처분시설 터널별 단면

### III. 폐기물 당 점유면적 및 구조적/열적 안정성 분석

#### 가. 폐기물 당 점유면적 및 구조적/열적 안정성 요건

폐기물 거치 간격과 터널 간격의 적절한 조합에 필요한 분석 및 처분시설 규모 추정을 위하여, 그림 4에서 보여주는 바와 같이 터널 간격과 폐기물 거치 간격 간의 면적을 고려한 폐기물 당 점유면적 개념을 설정하였다. 고준위폐기물 처분을 위한 지하시설의 개략적인 규모는 폐기물 당 점유면적과 처분될 총 폐기물 포장물의 수를 곱하여 추정할 수 있다. 또한, 개략적인 처분 터널의 총 길이는 처분될 폐기물 포장물의 수와 폐기물 포장물 거치 간격의 곱으로 추산이 가능하다. 경제성 관점에서 볼 때, 지하 처분시설의 면적을 최소화 할 수 있도록 처분 터널 간격과 폐기물 거치 간격을 설정하는 것이 바람직하다.

지하 처분시설 면적을 최소화하기 위한 적절한 터널 간격과 폐기물 거치 간격의 조합은 터널의 구조적 안정성에 대한 분석뿐만 아니라 열적 및 수리적 안정성 등 다양한 분석 결과를 고려하여야 한다. 본 분석에서는 터널의 구조적 안정성을 위한 요건으로서 항복강도가 150 MPa인 화강암을 기준으로

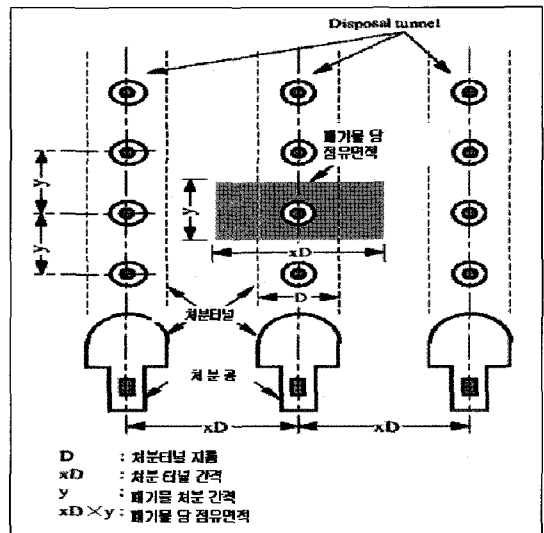


그림 4. 폐기물 당 점유면적 개념.

안전율을 고려하여 허용응력을 100 MPa로 설정하였다. 그리고, 가장 중요하고 민감한 요소는 고준위 방사성폐기물인 사용후핵연료에서 발생되는 붕괴 열에 의한 완충재의 온도를 100 ℃ 이하로 유지하여 완충재로서의 기능을 손상되지 않게 하여야 한다는 것이다. 따라서, 완충재물질의 최대온도가 100 ℃ 이하로 유지하면서, 터널이 구조적 안정성을 갖도록 하는 폐기물 거치 및 처분터널 간격 분석

에 필요한 연구를 수행하였다. 이를 위하여, 처분 터널과 폐기물 거치 간격의 다양한 조합 및 단층 배치와 복층배치를 고려하여 구조/열적 안정성을 분석하였다.

본 연구에서의 불연속면을 포함하는 포화된 암반에 대한 구조/열/수리 연계 거동특성 해석 수행은 2차원 해석틀인 UDEC을 이용하였다. 구조/열적 해석에 있어서 2차원 모델에 의한 해석과 3차원 모델에 의한 해석은 유사한 결과를 보여주는 것으로 나타나고 있으나[5], 처분장의 정밀거동해석을 위해서는 추후 정확한 실제 부지특성자료를 바탕으로 3차원 모델링에 의한 해석을 수행할 필요가 있다.

## 나. 해석 모델

### ① 모델링

지하 처분장에 대한 구조적 안정성과 열적 안정성 분석을 위한 모델은 처분장 layout에서 다수의 처분 동굴이 동일 간격으로 나란하게 배치되어 있으므로 대칭적(Symmetric)모델을 이용하였다. 또한, 모델의 상하부 수평경계는 방사성 붕괴열 영향에 지장이 없도록 충분한 거리를 고려하였으며, 처분공 주변에 영향을 미치는 사용후핵연료내 방사성물질의 붕괴열 (w/tHM) H(T)는 다음 (1)식으로 표현된다[2].

$$H(T) = 2201169e^{-5.205T} + 1693.22e^{-0.018T} + 124.7e^{-0.00058T} + 19.134e^{-0.00042T} + 1.429e^{-0.00001T} \dots\dots\dots(1)$$

여기서, T는  $0 \leq T \leq 10^6$  년으로서, 사용후핵연료가 원자로에서 방출된 후의 시간을 나타낸다. 위의 붕괴열 계산식으로부터 처분동굴의 길이(250 m)와 처분 동굴 간격(30 m 또는 40 m)을 고려하여 아래 (2), (3) 식을 이용한 Heat flux (w/m<sup>2</sup>)를 구한다.

$$F = 20.96e^{-(5.708E-10)t} + 3.10e^{-(1.839E-11)t} + 0.49e^{-(1.332E-12)t} + 0.04e^{-(3.171E-14)t} \dots\dots\dots(2)$$

$$F = 12.21e^{-(5.708E-10)t} + 3.05e^{-(1.839E-11)t} + 0.49e^{-(1.332E-12)t} + 0.04e^{-(3.171E-14)t} \dots\dots\dots(3)$$

여기서, t는  $0 \leq t \leq 10^6$  년으로서, 사용후핵연료를 40년간 냉각시킨 후로부터의 시간으로, (2)식은 처분 초기의 경우, (3)식은 초기 처분 후 30년이 경과된 후의 경우에 있어서 처분공간격 8 m 일 때의 산출식이다.

본 연구에서는 UDEC을 이용한 2차원 해석을 위하여, 처분동굴에 일정한 간격(6, 8, 9, 10 m)으로 배치된 처분공 내의 사용후핵연료에서 발산하는 열을 상기 (1)식과 (2), (3)식을 이용하여 각각 Heat flux를 계산한 후, 각 경우 별로 일정한 간격의 열원배치를 연속적인 열원배치로 환산하여, 처분 동굴바닥의 중앙부를 따라 열을 발산하는 trench가 있는 것으로 가정하였다. 그림 5는 처분터널 복층배치에 대한 해석 모델 예를 보여주고 있으며, 실제 사용후핵연료는 처분동굴내의 처분공에 순차적으로 처분하지만, 본 해석에서는 처분과열의 처분동굴 내 처분공에 동시에 처분하는 것으로 가정하였다.

### ② 초기 및 경계조건

사용후핵연료 처분장 layout 및 각 처분터널의 단면은 그림 2 및 그림 3에서 보여주고 있으며, 전술한 바와 같이 본 해석에서는 대칭적 모델 및 그에 따른 경계조건을 이용하였다. 처분장 해석을 위한 경계조건은 모델의 양쪽 수직 경계선에서의 수평 변위와 바닥에서의 수직 변위는 고정되고, 상부경계는 자중에 의한 응력이 주어지는 것으로 설정하였으며, 초기의 수평 응력은 초기 수직응력과 같다고 가정하였다. 또한, 처분공의 폐기물에서 발생하는 열 관련의 경계조건은 해석모델의 양쪽 수직 경계면과 바닥은 단열 경계로 설정하였으며, 온도 분포는 지표면에서 20 ℃, 지하로는 매 20 m 마다 0.6 ℃씩 상승하는 것으로 하였다. 그리고, 처분터널의 굴착, 각 층별 폐기물 처분, 완충재 및 되메움재의 설치는 순간적으로 이루어진다고 가정하였으며, 표 2는 해석에 사용된 암반, 완충재, 되메움재 및 처분용기의 물리적 특성을 나타내고 있다.

## 다. 처분 터널 및 처분공 간격에 따른 구조적, 열적 안정성 분석

처분 터널의 배치는 단층 배치와 복층 배치를 고려하여 표 3에 나타낸 바와 같이 4가지 경우에 대한

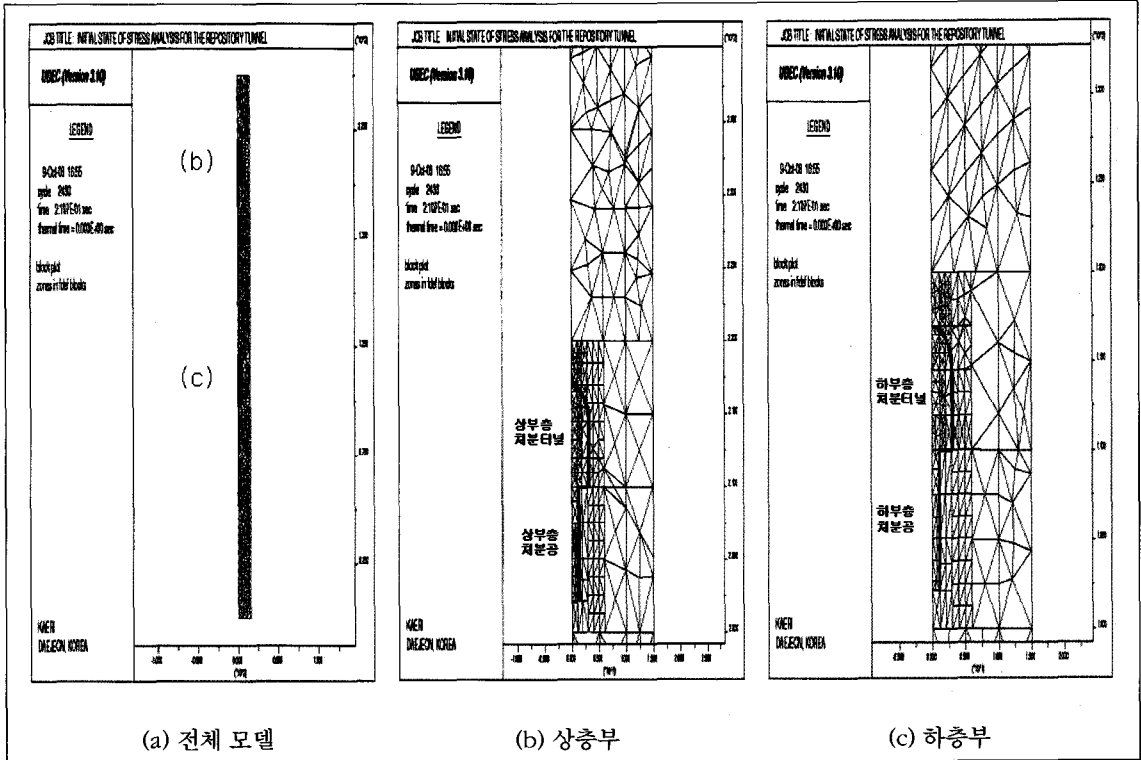


그림 5. 처분터널 복층배치에 대한 해석모델 예.

구조적, 열적 안정성을 분석하여, 각 경우에 있어서 심지층 암반 내에 사용후핵연료 처분시 구조적 안정성요건을 만족시키고, 완충재의 열적 요건과 일치하는 적절한 처분터널 간격 및 처분공 간격을 정하였다.

① 단층 배치

단층 배치의 경우 기준 처분시스템에서 고려하고 있는 처분 터널간격 40 m와 처분공 간격 6 m를 기준으로 분석하였으며, 아래 표에서 나타내고 있는 바와 같이 처분심도에 관계없이 요건에 만족됨을 알 수 있

표 2. 화강암, 완충재, 되매움재 및 처분용기의 물리적 특성

구분	화강암	완충재	되매움재	처분용기
밀도, kg/m <sup>3</sup>	2700.0	2100.0	2100.0	8000.0
탄성계수, GPa	60.0	1.08	4.0	200.0
포아송비	0.25	0.21	0.3	0.3
전단계수, GPa	24.0	0.75	1.54	77.0
열전도도, W/m°C	3.2	1.2	2.0	15.2
열확장계수, 1/°C	8.3E-6	0	8.3E-6	8.2E-6
비열, J/kg°C	815	1,000	800	504

표 3. 분석에 사용된 처분터널 및 처분공 조합

구분		처분터널 간격	처분공 간격	비고
단층 배치		40 m	6 m	- 처분심도 : 200, 300, 400, 500 m
복층 배치	지하 2층 처분 후 지하 1층에 처분 - I	40 m	6 m	- 층간 간격 : 100 m
			8 m	
	지하 2층 처분 후 지하 1층에 처분 - II	30 m	9 m	
			10 m	
지하 1층 처분 후 지하 2층에 처분		40 m	10 m	- 층간 간격 : 50, 100, 150 m

었다.

② 복층 배치

처분 부지의 조건에 따라, 단층으로 배치가 불가능한 경우 처분 심도를 달리한 복층배치를 고려하여 처분부지 면적을 최소화할 필요가 있다. 복층배치는 다양한 경우를 고려할 수가 있으며, 본 연구에서는 다음과 같은 경우에 대해 분석하였다.

- 심도 500 m에 처분 후 일정기간이 지난 뒤 심도 400 m에 처분하는 경우

- 심도 400 m에 처분 후 일정기간이 지난 뒤 심도 500 m에 처분하는 경우

심도 500 m에 사용후핵연료를 처분한 후 약 30년이 지난 후 심도 400 m에 처분하는 경우에 있어서는, 처분 터널 간격을 40 m로 설정하고 처분공 간격을 6 m와 8 m로 설정하여 분석을 수행한 결과 처분공 간

격이 8 m인 경우에 구조적 열적 안정성 요건을 만족시키는 것으로 나타났다. 또한, 처분 터널간격을 30 m, 처분공 간격을 9 m와 10 m로 설정하여 분석하면, 처분공 간격 10 m인 경우에 요건을 만족한다(표 5).

심도 400 m에 처분한 약 30년이 지난 후 하부에 처분하게 되는 경우에는 처분 터널간격을 40 m로 설정하면, 처분공 간격이 10 m 이상이 되어야 하며, 표 6에서 보여주고 있는 바와 같이 지하층간 간격이 50 m(심도 450 m)인 경우에 요건에 만족하게 된다.

IV. 굴착량 비교

구조적, 열적 안정성에 대하여 수행한 해석 결과에 따라 요건을 만족하는 처분 터널 및 처분공 간격 조합은 표 7에 정리하였으며, 그림 6은 처분터널 배

표 4. 단층 배치의 경우 해석 결과

처분터널 및 처분공 간격	처분심도 (m)	최대온도 (℃)	최대 주 응력 (MPa)	비 고
처분터널간격: 40 m 처분공 간격: 6 m	200	72.6	-59.1	요건 만족
	300	75.6	-64.5	요건 만족
	400	78.6	-68.7	요건 만족
	500	81.6	-73.8	요건 만족

표 5. 복층배치(지하 2층 처분 후 지하 1층 처분)의 경우 해석결과

처분터널 간격 (m)	처분공 간격 (m)	최대온도 (℃)	최대 주 응력 (MPa)	비 고
40	6	111.0	-106.6	온도/응력 초과
40	8	91.6	-92.5	요건 만족
30	9	97.3	-108.4	온도/응력 초과
30	10	91.8	-91.8	요건 만족

표 6. 복층배치(지하 1층 처분 후 지하 2층 처분)의 경우 해석결과

처분터널 및 처분공 간격	처분층 층간 간격(m)	최대온도(℃)	최대 주 응력 (MPa)	비 고
처분터널: 40 m 처분공: 10 m	50	93.7	-92.0	요건 만족
	100	95.0	-91.3	온도 초과
	150	99.0	-126.5	온도/응력 초과

표 7. 구조적/열적 요건을 만족하는 경우의 처분 터널 및 처분공 간격 조합

구 분	터널간격 (m)	처분공 간격 (m)	폐기물당 점유면적 (㎡)	비 고	
A	단층배치	40	6	240	
B	복층배치-I (2층 후 1층)	40	8	320	
C	복층배치-II (2층 후 1층)	30	10	300	
D	복층배치 (1층 후 2층)	40	10	400	

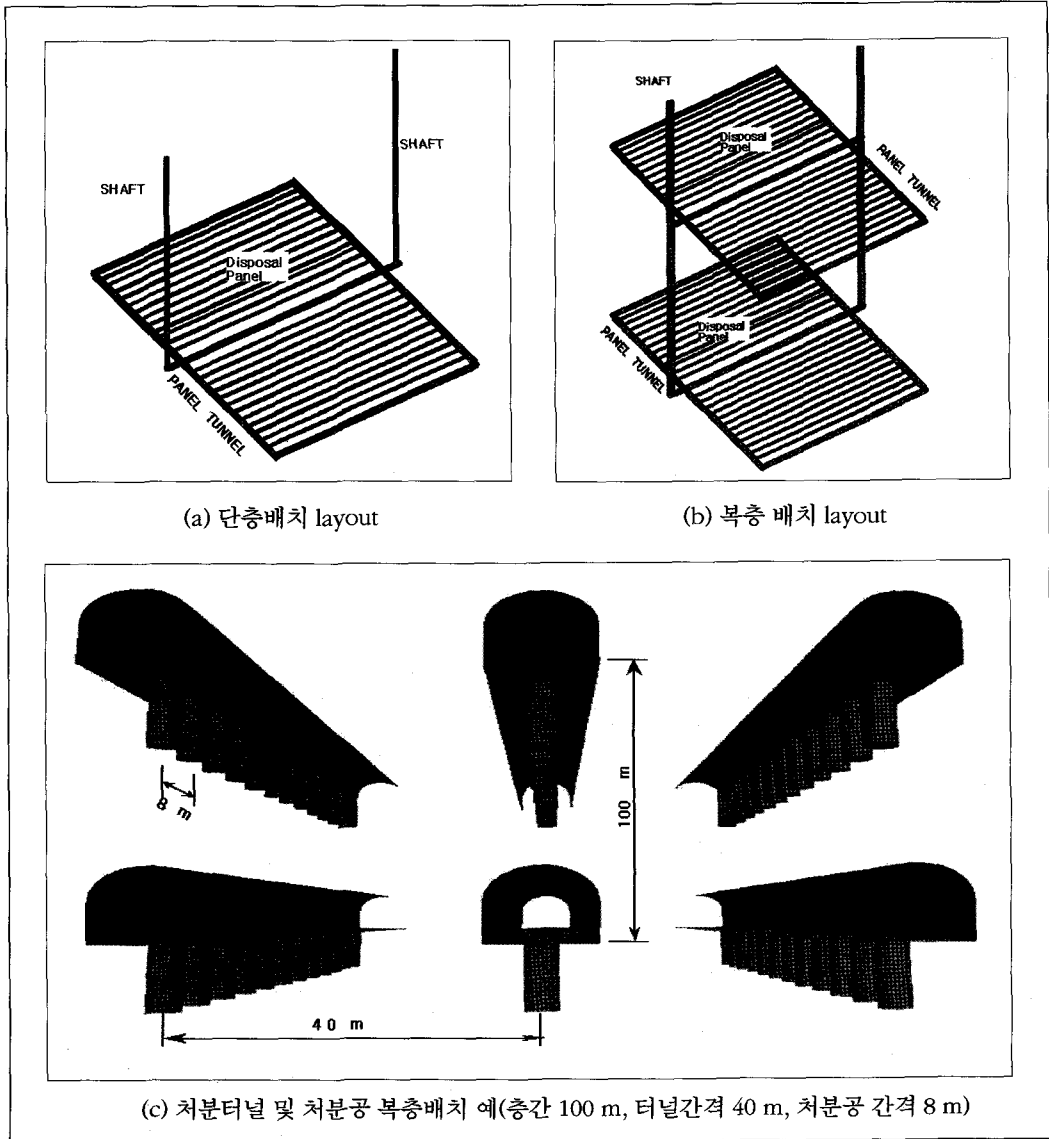


그림 6. 처분터널 배치개념

치 개념을 보여주고 있다.

단층 배치인 경우에 있어서, 처분 터널과 처분공 간격은 각각 40 m와 6 m(A)가 적절한 것으로 판단된다. 그리고, 복층 배치의 경우 지하 2층 처분 후 지하 1층 처분인 경우 층간 간격이 100 m(지하 2층-500m, 지하 1층-400m)로 설정하면, 처분터널과 처분공 간격은 각각 40 m와 8 m(B), 30 m와 10 m(C)일 때 구조적 열적 안정성 요건에 만족하게 된다. 또한, 지하 1층에 먼저 처분하고 지하 2층에 처분하는 경우는 층

간 간격을 50 m로 설정하고, 처분터널과 처분공 간격을 각각 40 m와 10 m(D)일 때, 요건에 만족한다.

이상에서 도출한 처분터널과 처분공 간격의 조합에 대하여, 주요한 설계인자인 경제성 관점에서 평가를 위하여 굴착량을 산출하였으며, 표 8에 나타낸 바와 같다. 산출된 굴착량 총량은 조합된 각각의 처분동굴 및 처분공 간격에 대한 접근터널, 파넬 터널 및 처분터널에 대한 굴착량을 산출한 것이다. 각 조합에 있어서 처분 파넬 수의 증가에 따른 파넬 터널의 증



표 8. 처분터널과 처분공 간격 조합별 굴착량 비교

구 분		처분터널 총 면적 (㎡)	처분터널 총 길이 (m)	1 파넬인 경우의 규모(m)	굴착량 (× 1,000 ㎡)	비 고
A	단층배치	3,600,000	90,000	1,897 × 1,897	2,500	
B	복층배치-I(지하 2층 후 지하 1층)	4,800,000	120,000	1,549 × 1,549 (× 2층)	3,413	처분용기
C	복층배치-II(지하 2층 후 지하 1층)	4,500,000	150,000	1,500 × 1,500 (× 2층)	4,143	15,000 개 기준
D	복층배치(지하 1층 후 지하 2층)	6,000,000	150,000	1,732 × 1,732 (× 2층)	4,208	

가로 인한 경우별 굴착량 변화추이는 유사할 것으로 판단되므로[7], 정사각형 형태 1개의 파넬(복층인 경우 2개의 파넬)에 모든 폐기물이 처분되는 것으로 가정하였다. 또한, 폐기물량은 2015년까지의 장기 전력 수급계획에 따른 원자력발전소 28기에서 발생될 것으로 예상되는 사용후핵연료 36,000 tHM으로부터 산출된 처분용기 수인 15,000 개를 기준으로 하였다[8].

표 8에 나타난 바와 같이, 구조적, 열적 안정성 요건을 만족하는 처분 터널과 처분공 간격의 조합에 대하여 경제성 측면인 굴착량을 기준으로 하였을 경우 단층 배치일 때는 40 m와 6 m로, 복층 배치일 때는 지하 2층에 먼저 처분하고 지하 1층에 처분하는 것이 바람직할 것으로 나타났으며, 이 경우 처분터널과 처분공 간격은 각각 40 m와 8 m로 설정하는 것이 경제성 측면에서 바람직할 것으로 판단된다.

### V. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 사용후핵연료를 대상으로 하는 고준위 방사성폐기물 심지층 처분시설의 규모 및 layout 설정에 필요한 요소인 처분터널 및 처분공 간격에 대한 분석을 수행하였다. 이를 위하여, 기준 처분개념 및 공학적 방벽 개념을 바탕으로 터널 형상 및 단면 설정에 영향을 주는 인자를 고려하여 처분터널 및 처분공 단면을 설정하고, 단층 배치 조합 및 복층 배치 조합(안)에 대하여 UDEC을 이용한 처분동굴의 구조적, 열적 안정성 해석을 수행하였다. 또한, 분석 결과를 바탕으로 설계에 있어서 주요한 인자 중의 하나인 경제성 측면에서, 굴착량을 감소시킬 수 있는 처분동굴 및 처분공 간격을 제안하였다.

본 연구에서의 처분 터널 및 처분공 간격 설정을 위하여 분석한 방법 및 결과는 심지층 처분시설 설계

시 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 향후, 부지에 대한 불확실성을 줄이기 위하여 불연속면 등 정확한 부지특성 자료와 3차원 해석 툴을 이용한 정밀 분석 및 그 결과에 따른 지속적인 수정/보완이 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력중장기 연구개발 사업의 일환으로 수행하였습니다.

### 참고문헌

- [1]J. W. Choi, C. H. Kang, "Reference Spent Fuel and Its Characteristics for a Deep Geological Repository Concept Development," J. KNS, Vol.31(6), (1999).
- [2]C. H. Kang, "Preliminary Conceptual Design and Performance Assessment of a Deep Geological Repository for High Level Waste in the Republic of Korea, KAERI and Sandia National Lab., (2000).
- [3]T. Kukkola, T. Saanio, J. Choi, C. Kang, "KAERI's Spent Fuel Repository Design Evaluation and Cost Estimation," Posiva Oy, R&D Report 2003-02.
- [4]최종원, 강철형, 권상기, 최영성, "고준위폐기물 심지층 처분시스템 예비 개념 설정을 위한 기술성 평가," 한국원자력연구소, KAERI/TR-1361/99, (1999).
- [5]E. Johansson, M. Hakala, L. Lorig, "Rock Mechanical, Thermomechanical and Hydraulic Behaviour of the Near Field for Spent Nuclear Fuel," Report YJT-91-21, Helsinki, 1991.

- [6]J. W. Kim, D. S. Bae, "Thermohydromechanical Behavior Study on the Joints in the Vicinity of an Underground Disposal Cavern," J. of Korean Society of Engineering Geology, Vol. 13(2). (2003).
- [7]JNC, H12 Project to Establish Technical Basis for HLW Disposal in Japan, Supporting Report 2-Repository Design and Engineering Technology, Japan Nuclear Cycle Development Institute, (1999).
- [8]강철형, 최종원, "심지층 처분시스템 개발," 한국원자력연구소, KAERI/RR-2336/2002, (2003).
- [9]SKB, "Results from Pre-investigations and Detailed Site Characterizations; Summary Report, Aspo HRL-Geoscientific Evaluation 1997/2," SKB Technical Report 97-04, (1997).