

Basic Design of the Underground Tunnel for the Research on High-level Waste Disposal

고준위폐기물 처분연구용 지하터널의 기본설계

Won-Jin Cho, Sang-Ki Kwon, Jung-Hwa Park and Pil-Soo Hahn

Korea Atomic Energy Research Institute, DuckJin-dong 150, Yusung-gu, Daejeon

wjcho@kaeri.re.kr

조원진, 권상기, 박정화, 한필수

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

(Received August 13, 2004 / Approved December 03, 2004)

Abstract

The underground research tunnel is essential to validate the integrity of a reference high-level waste disposal system, and the safety of geological disposal. In this study, a basic design of an underground research tunnel (URT) was tried to be developed. The candidate site for URT was described briefly, and it was intended to suggest the basic concept of the underground research tunnel. In order to develop the design of URT based on the basic concept, design requirements were established. Based on the basic concept and the design requirements, the basic design of URT was performed. Research items to be studied in the URT were also derived in this study.

Key Words : underground research tunnel, high-level waste, disposal system, basic design, design requirements

요약

고준위폐기물 기준처분시스템의 건전성과 처분안전성의 실험적 검증에 필수적인 지하처분연구시설의 기본설계 도출을 위한 연구가 수행되었다. 먼저 지하처분연구시설의 부지에 대해 간단히 기술하고, 이 부지에 건설될 지하처분연구시설의 기본개념을 제시하고자 하였다. 제시된 기본개념을 충족시키기 위한 지하처분연구시설의 설계 요구사항을 설정하고, 이러한 기본개념과 설계요구사항을 바탕으로 지하처분연구시설의 기본설계를 수행하였다. 또 향후 지하처분연구시설에서 수행될 연구항목을 도출하였다.

중심단어 : 지하연구시설, 고준위폐기물, 처분시스템, 기본설계, 설계 요구사항

I. 서론

원자력연구개발 중장기계획사업의 일환으로 수행되고 있는 고준위폐기물처분기술개발의 1단계 연구(1997-1999) 및 2단계 연구(2000-2002)의 결과로서 고준위폐기물 기준처분시스템이 제안되었다 [1]. 2003년부터 착수된 3단계 연구에서는 이러한 기준처분시스템의 바탕 위에 국내 고유의 자연환경 조건을 고려한 한국형처분시스템이 개발될 예정이다. 이러한 한국형처분시스템의 개발이 성공적으로 이루어지기 위해서는 먼저 기준처분시스템의 주요 구성요소의 타당성(feasibility), 안정성(stability), 안전성(safety) 및 적합성(appropriateness)에 대한 실험적 검증이 선행되어야 한다. 이와 같은 건전성 확인 과정을 통해 얻어진 기준처분시스템의 성능특성 자료는 한국형처분시스템의 성능을 향상시키는데도 활용될 수 있다.

기준처분시스템의 건전성을 실험적으로 입증하기 위해서는 처분시스템이 위치하게 될 지하환경을 모사할 수 있는 지하처분연구시설의 확보가 필요하다. 또 향후 처분연구의 방향이 기 개발된 기술의 실증에 집중될 것이며, 고준위폐기물관리 국가정책 수립을 지원하기 위한 실증적 연구도 그 중요성이 점차 부각될 것이다. 따라서 이러한 다양한 요구를 동시에 충족시킬 수 있는 핵심 인프라로서 지하처분연구시설

의 확보가 시급한 문제로 대두되고 있다. 지하처분연구시설에서는 처분시스템의 건전성과 처분안전성에 대한 실험적 검증 외에도 심부지하조건의 예측, 암반의 공학적특성 규명 등 고준위폐기물처분장의 부지조사, 설계/건설/운영/폐쇄 및 폐쇄 후 관리와 관련된 다양한 기술의 실증이 가능하다. 그러므로 지하처분연구시설의 확보는 국내의 처분기술 수준을 크게 향상시킬 수 있는 좋은 계기가 될 것이다.

지하처분연구시설을 국내에 확보하는 대신, 선진 외국에 이미 건설되어 있는 지하연구시설(URL)을 활용하여 처분관련 연구를 수행하는 방안도 고려해 볼 수 있다. 그러나 해외 지하연구시설(URL)의 활용 방안은 지하연구시설(URL)을 소유하고 있는 국가의 연구 및 시설활용 계획에 맞추어 우리나라의 연구항목, 시설 활용시기 등을 조정하여야 하므로, 효율적인 연구 수행에 많은 제약이 있고, 시설을 이용하기 위하여 부담하여야 하는 분담금의 규모가 커서 경제적 관점에서도 불리하다. 또한 국내 지질환경과 유사한 해외 지하연구시설을 확보할 수 있는 가능성이 적고, 처분안전성에 대한 대 국민 홍보시설로 활용하는 것도 불가능하다. 따라서 원자력 선진국들은 모두 자국에 독자적인 지하처분연구시설을 건설하여, 연구를 수행하고 있으며, 시설의 규모와 심도는 각국의 실정에 따라 다양하다(표 1). 이러한 사항들을 종합적으로 고려할 때, 현 시점에서는 국내에 소규모의 지하

표 1. 외국의 지하처분연구시설

Country	URL (Start of Operation)	Host Rock	Depth (m)	Access
Canada	Whiteshell URL (1984~)	Granite	240~420	Shaft
USA	Busted Butte(1998~)	Bedded Tuff	70	Horizontal Tunnel
Japan	Kamaishi (1988~1998)	Granite	260	Ramp
	Tono(1986~)	Sedimentary Rock	200	Shaft
	Mizunami URL	Granite	1000	Under Construction
	Horonobe URL	Sedimentary Rock	500	Under Construction
Swiss	Grimsel Test Site(1983~)	Granite	450	Horizontal Tunnel
	Mt. Terri(1995~)	Hard Clay	400	Horizontal Tunnel
Sweden	Stripa (1980~1992)	Granite	360~410	Shaft
	Aspo Hard Rock Lab. (1995~)	Granite	200~450	Ramp
Finland	Olkiluoto Resear. Tunnel (1992~)	Granite	50~100	Ramp
Belgium	Hades URF (1984~)	Boom Clay	230	Shaft
France	Bure URL	Hard Clay	490	Under Construction

처분연구시설을 확보하고 이를 활용하여 연구를 수행하는 방안이 가장 경제적이고, 효율적인 대안이라고 할 수 있다.

국내에서는 3단계 원자력연구개발사업 기획 과정에서 향후 고준위폐기물처분연구의 방향과 관련하여 지하처분연구시설의 조기 확보 필요성이 강력히 제기되었다. 이에 따라 한국원자력연구소 내에 지하처분연구시설을 확보하기 위한 방안이 분석되었으며, 지하처분연구시설 후보부지가 선정되었다. 선정된 부지에 대해 지표지질조사, 물리탐사, 시추, 암석 및 암반 물성시험을 포함한 지질조사가 실시되었다 [13]. 이러한 지질조사 결과를 바탕으로 한국원자력연구소 내에 건설될 지하처분연구시설의 기본설계가 수행되었다.

II. 지하처분연구시설 부지

가. 위치

지하처분연구시설을 이용하여 처분시스템의 거동을 실증하기 위해서는 지하처분연구시설이 심부지하환경과 유사한 지하 조건을 구현할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 지하처분연구시설을 지하 수백 미터의 깊이에 있는 신선한 암반층에 건설하는 것이 이상적이지만, 막대한 건설 및 운영비용이 소요되고, 적합한 부지를 확보하기도 어려워, 우리나라의 현실에서는 가까운 장래에 실현될 가능성이 낮다. 따라서 현시점에서는 이러한 문제점들을 해결하면서, 지하처분연구시설이 가져야 하는 최소한의 요구사항을 충족시키는 시설을 확보하는 것이 최선의 해결책이다.

지하처분연구시설이 가져야 하는 최소 요구사항은 연구시설이 지표로부터 두께가 최소 50 m 이상인 신선한 암반층에 의해 격리된 지하에 위치하여야 한다는 것이다. 지하 심부환경에 대한 연구결과[14]에 따르면, 두께 50 m 이상의 신선한 암반층에 의해 격리된 지하에서는 산화환원준위(redox potential)가 급격히 감소하여 비산화 분위기 (anaerobic condition) 혹은 환원 조건(reducing condition)이 얻어진다. 일단 두께가 최소 50 m 이상의 신선한 암

반층이 확보되면, 이 이상 깊이에서는 산화, 환원조건이 심도보다는 암반에 존재하는 광물의 종류에 따라 좌우된다.

따라서 지하처분연구시설이 이러한 최소 심도의 요건을 만족시키면서도, 지상으로부터 지하시설에 이르는 진입터널의 길이는 최소화시켜 시설의 경제성을 높일 수 있도록 부지를 선정하는 것이 중요하다. 이러한 조건을 충족시키기 위해 시설의 부지는 가능한 한 고도가 높고, 경사가 급한 산지를 택하는 것이 좋다. 이를 위해 한국원자력연구소 주변의 산지 지역을 답사, 분석하였으며, 그 결과 연구소 후면에 위치한 산지를 지하처분연구시설 후보부지로 선정하였다 [13]. 이 부지는 연구소 주위에 설치된 순찰 구간 철책선 밖에 위치하며(그림 1), 평지(해발고도 ~ 87 m)로부터의 최대 고도는 121 m(해발고도 ~ 208 m)이다 (그림 2).

나. 지질 조건

지하처분연구시설 부지의 지층분포 상태를 살펴보면, 지표면을 형성하는 상부 토사 및 풍화토는 기반암인 화강암이 풍화되어 생긴 잔류풍화토로 황갈색에서 갈색을 띠고, 실트질 모래에 암편이 일부 함유되어 있다. 그 하부에는 풍화암이 분포되어 있다. 풍화토와 풍화암은 지하처분연구시설 진입터널의 종축 방향을 따라 평균 5~15 m 내외, 터널 횡축방향으로는 평균 8~13 m 내외의 두께로 지형을 따라 비교적 깊게 분포한다. 그 하부에는 연암층이 분포하는데, 모암은 화강암으로 담갈색에서 담회색을 띠고 있다. 연암층 하부에서 확인되는 보통암층은 담회색의 화강암 및 담록색 안산암질 암맥으로 구성되어 있다. 보통암층 아래에서 나타나는 경암층은 모암이 담회색의 화강암이다 (그림 3). 암반의 상태는 심도의 증가에 따라 향상되고 있으며 심도 25 m 이상에서는 양호한 암반이 나타난다 (그림 4).

국지 단열대는 진입 터널을 사교하는 NW 방향군과 NE 방향군이 존재하는 것으로 추정된다. 진입터널 및 연구모듈의 심도에는 진입터널을 사교하거나(F-3, F-5), 직교하는(F-4) 3개의 단층 또는 파쇄대가 존재한다 (그림 3). 이러한 단층 또는 파쇄대로 인해

진입터널 굴착 시점 부근에는 다소 불량한 암질이 분포되어 있을 것으로 보이며, 입구부에서 약 70 m 정도의 지점에서 폭 10 m 이내의 경사도가 급한 파쇄구간을 만나게 될 것으로 예상된다. 그러나 연구모듈이 위치하는 진입터널의 종점 부근은 양호한 암질이 분포되어 있다. 수직공에서의 지하수위 측정 결과에 따르면 진입터널 갱구부에서의 지하수위는 지표면에서 18 m 에서 일정하게 유지되고 있다 [13].

Ⅲ. 지하처분연구시설 기본설계

가. 시설의 구성 및 배치



그림 1. 지하처분연구시설 부지

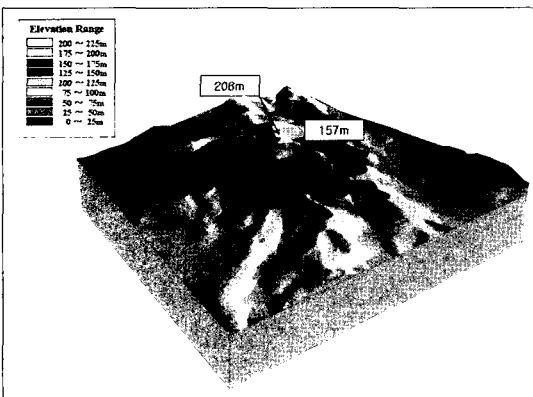


그림 2. 지하처분연구시설 부지 주변의 지형

지하처분연구시설은 크게 나누어 처분관련 연구의 대부분이 수행되는 심부 암반 내에 위치한 연구모듈 (research module)과 연구모듈과 지상을 연결하는 진입터널(access tunnel)로 구성된다.

지하처분연구시설의 배치와 선형을 결정하는데 있어 가장 중요한 원칙은 연구시설이 한국원자력연구소 소유의 토지 안에 위치하여야 하며, 토지의 경계선으로부터 상당히 떨어져 있어야 한다는 점이다. 또 연구시설 부지는 개발제한구역(그린벨트) 내에 위치하고 있으므로 시설을 건설하기 위해서는 토지의 형질 변경과 그린벨트 훼손 허가를 얻어야 하며, 이러한 허가가 가능하기 위해서는 지하처분연구시설이 국가공업단지개발계획선 내에 위치하여야 한다.

이와 같이 시설이 국가공업단지개발계획선 내에 있는 연구소 소유 토지에 위치하여야 한다는 전제 조건은 지하처분연구시설의 배치에 많은 제약을 가져온다. 앞 장에서 기술한 지하처분연구시설의 부지는

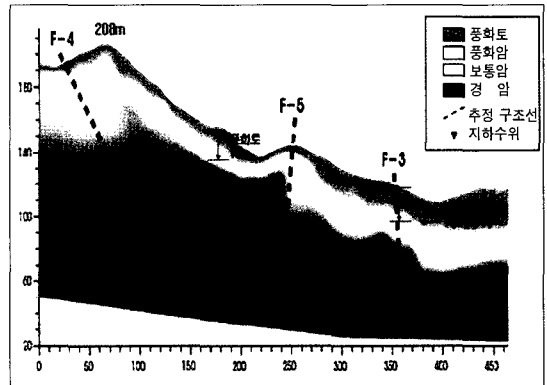


그림 3. 지하처분연구시설 부지 지역의 지층 및 단열대 분포

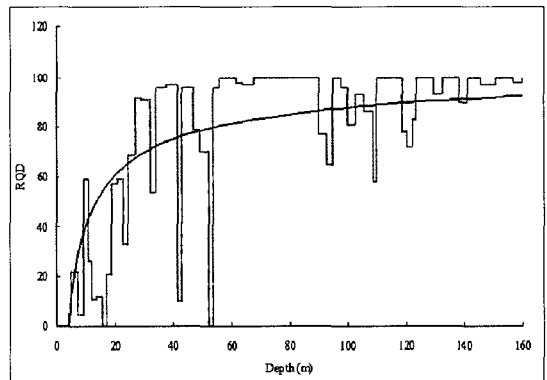


그림 4. 지하 심도에 따른 RQD(Rock Quality Designation) 값의 변화

경사가 급한 산지에 위치하고 있기 때문에 지표면으로부터 천연적인 격리효과를 얻을 수 있어, 진입터널의 길이가 상당히 감소된다. 그러나 부지의 지형이 연구소 소유 토지의 경계선과 그 안 쪽에 위치한 국가공업단지개발계획선 쪽으로 접근해 갈수록 지형의 경사가 급하기 때문에 연구모듈이 토지의 경계선에 근접한 곳에 위치할수록 지표면으로부터 격리효과가 크다. 따라서 여기서는 가장 효율적인 배치를 위해, 연구모듈을 연구소 소유 토지 경계선으로부터는 상당거리 떨어지면서도 국가공업단지개발계획선에는 근접하여 위치하도록 지하처분연구시설의 배치를 결정하였다 (그림 5).

연구모듈이 부지 내에서 고도가 가장 높은 산 정상 부 부근의 지하 암반에 위치하도록 하면서도 진입터널의 길이를 가장 짧게 하기 위해서는, 진입터널의 선형을 직선으로 하는 것이 원칙이다. 또 주어진 지형조건과 동일한 진입터널의 길이로 연구모듈의 심도를 최대한으로 크게 하기 위해서는 진입터널이 하향경사를 갖도록 하여야 한다. 진입터널의 하향경사 기울기가 크면 클수록 동일한 진입터널의 길이로 얻을 수 있는 연구모듈의 심도가 크나, 건설비용이 증가하고, 시설의 운영에 어려움이 커진다. 이러한 측면을 고려하면 진입터널의 하향경사 기울기를 증가시키는 데는 한계가 있으며, 여러 측면을 종합적으로 고려하여 진입터널의 적정 기울기를 선택하는 것이 중요하다. 지하시설의 공사용 및 운영용 차량의 통행이 가능한 하향경사의 한계는 약 13 % 정도이나 여기서는 차량 및 사람의 통행 편의를 고려하여 진입터널의 하향경사를 10 %로 하였다. 10 %는 통상적인

차량의 통행이나, 보행에 특별한 불편이 없는 터널의 기울기로서 스웨덴의 Aspo, 핀란드의 Onkalo 지하 연구시설의 진입터널 경사도 하향 10 % 내외이다 [15,16].

하향경사를 가진 진입터널이 끝나는 부분에서, 양쪽으로 하나씩 모두 두개의 연구 모듈을 배치한다. 연구모듈은 진입터널을 사이에 두고 서로 마주보게 T자 형태로 배치하는 것을 원칙으로 하나, 지하 암반의 상태에 따라 다소 변경시킬 수 있을 것이다. 각 연구모듈의 길이는 25 m로 한다. 연구모듈은 약간의 상향경사를 줌으로써 주위 암반으로부터 모듈 내로 누수되는 지하수가 자연배수되어 진입터널 끝 부분과 연구모듈이 만나는 접합부에 설치된 집수정(sump)에 모이도록 한다.

진입터널의 갱구(portal)부는 그 설치 위치에 따라 진입터널의 길이가 달라지므로 경제성 측면에서 중요하다. 이 지하연구시설에서는 산 정상상의 지하에 연구모듈을 배치하면서도 가급적 진입터널의 길이를 짧게 하기 위해 부지에 있는 계곡이 끝나는 막다른 지점에 갱구부를 굴착하도록 한다 (그림 6).

진입터널, 연구모듈, 갱구부로 이루어진 지하시설을 지원하기 위한 지상시설로는 현장사무실과 진입도로를 설치한다. 지하시설 출입통제, 시추 코어 전시, 홍보 및 시설운영 장비 보관을 위해 사용되는 현장사무실을 갱구부에 인접한 계곡 안이나, 산지에 설치할 경우, 대규모의 녹지 훼손과 사면정리 공사를 수반하므로 경제적 측면이나, 인허가 관점에서 어려움이 있다. 따라서 현장사무실은 계곡의 입구에 설치하며 조립식 건물로 시공한다.

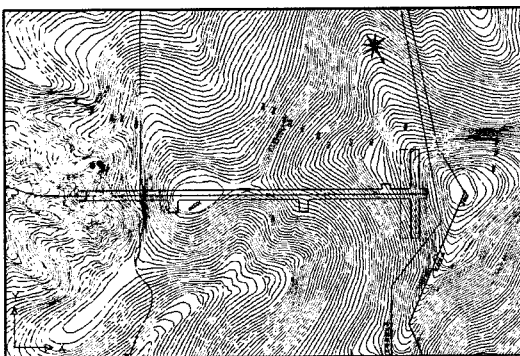


그림 5. 지하처분연구시설의 배치

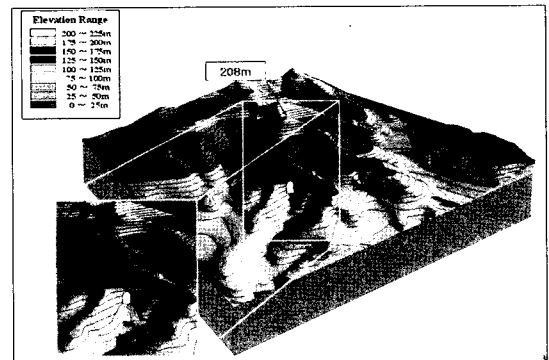


그림 6. 지하처분연구시설 갱구 위치

현장사무실에서 진입터널 갱구부까지의 진입도로도 녹지 훼손과 사면정리 공사를 최소로 하기 위해 기존의 계곡 진입로를 소형차의 교행이 가능한 넓이로 정비 및 확장한 후, 바닥을 쇄석으로 포장하여 차량 통행에 지장이 없도록 한다.

나. 설계 요구사항

지하처분연구시설의 설계 시에는 먼저 시설의 건설 및 운영이 경제적이고 효율적으로 될 수 있도록 시설의 배치계획 작성하고, 이를 바탕으로 기본설계를 수행하여야 한다. 지하처분연구시설의 배치계획을 설정하고, 기본설계를 수행하는데 필요한 설계요구사항을 항목별로 기술하면 다음과 같다.

1)일반사항

- 터널설계에 있어서는 터널주변 원지반이 보유하고 있는 지보능력을 최대한 활용할 수 있도록 굴착공법, 지보재 및 시공 순서 등을 선정하여야 한다.
- 터널굴착 시 원지반의 손상이나 여굴 발생이 최소화되도록 설계하여야 하며 원지반이 손상되거나 여굴이 발생될 경우, 그 처리방안을 제시하여야 한다.
- 터널의 설계는 안정성 확보를 최우선으로 하되 지보재의 최적화를 도모하여야 한다.

2)시설의 배치

- 터널은 가능한 한 지반조건과 시공성이 양호하고 유지관리가 용이하며 주변 환경에 미치는 영향이 적은 곳을 통과하도록 배치하여야 한다.
- 평면선형과 종단선형을 상호 연계하여 조화되도록 계획하여야 한다.
- 터널의 종단선형은 환기 등을 감안하여 일 방향 구배로 계획하여야 한다.
- 터널 분기부는 지반조건이 양호하다고 예측되는 위치에 설치되도록 한다. 이 때 터널 크기와 지반조건에 적합하도록 설계하며, 지반조건이 불량한 경우 강성이 충분한 지보재로 보강한다.

- 터널외부 설비, 사토장 등의 입지조건도 검토하여야 한다.

- 진입도로, 주차시설 및 공사용 가설도로의 확보 계획을 고려하여야 한다.

3)진입터널

- 진입터널은 가급적 직선으로 하되, 지질 상태를 고려하여, 일부 구간에서 약간의 곡선 구간을 허용한다. 곡선으로 할 경우 터널 내 정지 시거리를 고려하여 반경이 큰 곡선으로 하여야 한다.

- 진입터널의 구배는 터널입구에서 진행방향으로 하향 10%의 구배가 되도록 하되, 작업성 및 지형, 지질 조건 고려하여 조정할 수 있다.

- 진입터널의 입구 부근은 라이닝 등으로 충분히 보강하되, 터널 안쪽 부분은 안전에 지장이 없는 범위에서 가급적 rock bolt 등으로 지보를 최소화하여, 터널 벽면이 노출될 수 있도록 한다.

- 진입터널은 장비 및 작업자의 원활한 출입을 위해 바닥에 콘크리트를 타설한다.

- 진입터널은 하향구배이므로, 공사 중 배수설비와 운영 시 배수 설비를 별도로 계획하여야 한다.

- 진입터널 내 적당한 위치에 공사 중 발생하는 버력의 상차를 위한 회전 공간의 확보를 위해 turning shelter 를 설치한다.

4)연구모듈

- 연구모듈은 길이가 각각 25m인 2개의 터널로 구성된다.

- 연구모듈은 원칙적으로 진입터널 끝 부분에 좌우 양쪽에 하나씩 배치하되, 산 정상 밑 부분에 위치시켜 모듈의 지하 심도가 최대가 되도록 하여야 한다.

- 연구모듈은 진입터널에 직각으로 서로 마주 보도록 배치하는 것을 원칙으로 하되, 구체적인 lay-out 은 지질 상태에 따라 조정할 수 있다.

- 연구모듈은 안전에 지장이 없는 범위에서 가급적 록볼트(rock bolt) 등으로 지보를 최소화하여, 터널 벽면과 바닥의 암반이 노출될 수 있도록 한다.

- 연구모듈은 진입터널 쪽으로 자연배수가 될 수 있는 최소한의 상향 구배를 갖도록 계획하여야 한다.

5)내공 단면

- 진입터널과 연구모듈의 내공 단면은 굴착의 용이성과 구조적 안정성을 종합적으로 고려하여 결정하여야 하며, 기계식 굴착이 가능한 최소 크기로 한다.

- 터널의 굴착단면은 내공단면을 기준으로 하여 지보재의 총 두께, 콘크리트라이닝의 두께 및 허용 편차를 고려하되, 연구시설의 목적에 부합되고 구조적

으로 안정한 형태로 한다.

- 동일 작업구간 내의 터널 내공단면은 가급적 동일한 규격 및 형상으로 표준화하여 시공성을 향상시켜야 한다.

6)지보

- 연구에 적합한 환경을 얻기 위해 터널이 신선한 암반을 통과하는 구간에서는 가급적 암반을 노출 시키면서도 안전성이 보장될 수 있는 지보재를 설치하여야 한다.

- 지반의 거동특성과 지보재의 지보력이 상호 결합하여 일체로 거동함으로써 터널의 안정성이 영구적으로 유지될 수 있도록 하여야 한다. 단, 지반의 거동특성상 지반 지보능력의 활용이 불가능할 경우에는 지반보강을 시행하거나 지보재가 지반하중을 모두 지지하도록 설계한다.

- 굴착 후 굴착면에 설치되는 지보재는 터널주변의 지반거동 특성에 부합되도록 설계하여, 시공 중이나 완공 후에도 터널이 안정하게 유지될 수 있도록 하여야 한다.

- 지보재는 굴착 지반을 조기에 안정시키며 지반 굴착에 의한 영향이 인접구조물의 안정에 악영향을 미치지 않도록 설계되어야 한다.

- 터널 내부에서의 작업 효율성, 안정성을 고려하여 각종 지보재를 설계하여야 한다.

- 터널의 지보재는 강지보재, 록볼트, 슛크리트, 철망 등으로 구성되어 있는 주지보재와 굴착의 용이성 및 안정성 증진을 목적으로 주지보재에 추가로 시공하는 휘폴링, 막상면 록볼트 등의 보조지보재로 구분하여 설계하여야 한다.

7)갱구부

- 갱구부 설계 시 지형, 입지조건, 근접시설물 등의 영향을 고려하여 구조 및 시공법을 선정하도록 한다.

- 터널 갱구의 위치는 지반이 안정되고, 지형조건이 양호한 곳에 토지 이용 현황과 시공성을 감안하여 선정하되, 자연 사면에 직교되도록 한다.

- 갱구의 위치 선정에 있어서는 기상 및 자연재해에 의한 영향을 최소화 할 수 있도록 갱문 배면의 지형, 지반조건, 절토 및 자연사면의 안정성 등을 검토하여야 하며 갱구부 주변의 유지관리 시설과의 관계

와 터널외부의 구조물 형식을 고려하여야 한다.

- 선형계획 시 제반 제약조건으로 인해 갱구를 편도압이 작용되는 위치에 설치하거나 갱구 주변 지반에서 사면활동, 낙석, 토석류, 홍수, 눈사태 등이 예상될 경우에는 갱문의 구조 선정에 유의하고 방호설비 등을 추가로 검토하여야 한다.

- 갱구부는 적합한 규격의 콘크리트 라이닝 설치하여 구조적 안정성을 확보하도록 한다.

- 갱문은 지표 사면에서의 낙석, 토사 붕락, 눈사태, 지표수 유입 등으로부터 갱구부를 보호할 수 있는 기능을 갖추어야 하며, 지반조건이 허용하는 한 최소 토피 구간에 설치하여 자연환경 훼손을 최소화하고, 역학적으로 안정한 구조로 하여야 한다.

- 갱문의 외관과 형상은 터널의 사용목적, 지형 및 지반조건, 주변경관과의 조화 및 유지관리상의 편의를 고려하여 선정하여야 한다.

- 갱문의 구조설계는 소요하중 외에 지진, 온도변화, 콘크리트의 건조수축 등의 영향을 고려하여야 한다.

- 갱문 구조물의 일부로서 터널과 연결된 복개식 터널 구조물은 개착 구조물로 간주하여 설계하여야 하며 편도압이 작용할 경우에는 이에 대한 영향을 고려하여야 한다.

- 갱문 구조물과 본선 터널의 접합부는 분리구조로 하고 적합한 조인트를 설치하여야 하며, 재질이 서로 다른 두 종류의 방수막이 접합되는 경우에는 방수막 사이의 접합이 용이한 재료를 선정하여 사용한다. 특히, 접합부에는 누수에 대비하여 구조물의 횡 방향을 따라 도수로를 설치하여야 한다.

8)부속설비

- 지하시설의 부속설비는 운영용 영구설비와 공사용 임시설비로 구분하여 계획하여야 한다.

- 부속설비의 계획은 기능과 경제성 및 유지 관리 측면을 종합적으로 검토하여 수립하여야 한다.

- 공사용 임시설비의 종류 및 규모는 공사 규모와 공법, 공사 기간, 현장여건 등을 고려하여 결정한다.

- 운영용 영구설비는 전기설비, 조명설비, 배수설비, 환기설비, 방재설비, 보안설비, 통신설비 등으로 구성되며, 구체적인 사항은 다음과 같다.

①전기

- 전기시설은 배수, 환기, 조명 및 기타 지하연구시설의 안전 운영에 필요한 전기용량 외에 별도로 연구시설에 필요한 전기용량 50 kW를 추가한 전기용량을 공급할 수 있도록 설계되어야 한다.

- 배전반의 수와 위치는 지하터널 표준 설계에 따른다.

- 진입터널과 연구모듈의 벽면에 적당한 간격으로 배전반을 넣을 수 있는 공동을 설치하여야 한다.

②조명

- 진입터널에서는 통행에 지장이 없는 정도의 조명이 유지되어야 하며, 연구모듈에서는 실험실 정도의 조도를 가진 조명시설이 설치되어야 한다.

- 진입터널과 연구모듈에는 비상시를 대비한 유도등 설비를 갖추어야 한다.

③배수

- 진입터널의 적절한 위치에 집수정(sump)을 설치하여, 진입터널 및 연구모듈에서 발생된 지하수를 모아서 지상으로 배출할 수 있도록 해야 한다.

- 연구모듈 내에는 집수정을 설치하지 않고, 발생된 지하수는 자연배수에 의해 진입터널 내의 집수정으로 모이도록 한다.

- 집수정의 수와 크기, 위치, 배수펌프의 용량 등은 지하터널 표준설계에 따른다.

- 정전 시에도 배수펌프를 작동시킬 수 있는 비상전원공급 대책이 수립되어야 한다.

④환기

- 터널의 환기계획은 기계환기 방식으로 하고, 구조 설계, 배치 및 환기장소를 고려하여 제원을 결정하여야 한다. 환기시설은 화재 발생 시 배연시설로서 운용되기 때문에 환기시설 설계 시, 비상시 안전성에 대하여서도 고려하여야 한다.

- 진입터널과 연구용 모듈에는 온도와 습도를 제어하지 않으며 송풍시설에 의한 환기만 되도록 한다.

- 시공 중의 임시 환기는 터널 시공의 일반 기준을 적용한다.

⑤기타

- 운영용 연구설비(utilities)를 종합적으로 제어 관리할 수 있는 통제실(control room)을 터널 내의 적

절한 위치에 설치한다.

- 별도의 급수시설은 필요 없다.

- 터널 내의 운반시설(conveyor)은 필요 없다.

- 연구모듈 내에 향온습 장치를 별도 저장하는 작업공간이 설치되는 경우 모듈 차단벽은 필요 없다.

- 연구모듈 양쪽에 전화를 설치한다.

- CCTV와 모니터를 설치하여야 한다.

- CCTV 설치 장소 : 진입터널 갱구부, 진입터널과 연구모듈 분기점 부분

- 모니터 장소 : 지상 시설관리동

- TV, 라디오 설비 및 사람 거주공간은 필요 없다.

- 자동 화재탐지 설비 및 적절한 방재시설을 갖추도록 한다.

9)굴착

- 터널의 굴착은 조절발파(smooth blasting) 기법을 활용하여 발파로 인한 암반의 손상이 최소화되도록 하여야 한다.

- 발파 시, 터널입구에서 약 650 m 거리에 있는 연구용 원자로인 하나로에 미칠 수 있는 영향이 최소화될 수 있도록 굴착 공법 및 공정에 대한 설계를 하여야 한다.

- 굴착에 따른 손상도를 파악하기 위한 연구를 수행하는 구간에서는 발주자가 지시하는 발파설계를 한다.

10)기타 고려사항

- 향후 심부로 지하시설의 확장이 가능하도록 설계하여야 한다.

- 터널 굴착에 따른 지반의 거동과 지보재의 효과를 파악하기 위한 적절한 계측관리 계획이 수립되어야 한다.

다. 기본설계

1)터널 설계

지하처분연구시설의 터널은 처분 관련 연구에 필요한 천연 상태의 모암을 노출시키기 위해 가능한 한 최소 지보공을 이용하여 설계한다. 터널 설계 시, 시공의 안전성, 경제성 및 완공 후 터널의 안정성을 고려하였다.

①설계조건

- 터널 방향

터널의 배치방향은 터널의 안정성 및 수리 안정성을 유지하면서, 지질조건으로 인한 악영향을 최소화하여, 가장 경제적으로 건설될 수 있도록 결정한다. 이를 위해 부지조사 과정에서 확인된 지질구조대 및 절리 등의 지질구조선 분포 상태, 수리지질 특성, 주응력 방향 등을 고려하여 터널의 배치 방향을 결정하였다.

- 터널 단면

지하처분연구시설의 터널은 단면의 규모가 작기 때문에 단면 형태나 규격에 따라 활용성, 시공성 및 경제성이 직접 영향을 받는다. 따라서 시공 실적 및 장비 조합 등을 검토하여 단면 검토 안을 설정하고, 이 안들에 대해 구조적 안정성 및 수리 안정성을 분석하여 총괄 안정성의 확보 여부를 검토하였다. 이러한 분석 결과 안정성이 확보된 방안들에 대해 각 안별로 경제성을 고려하여, 최적 단면을 선정하였다.

- 터널 종단 경사

연구 모듈이 지상으로부터 100 m이하의 깊은 심도를 확보할 수 있도록 하고, 진입터널의 연구구간에서의 발파면 상태, 절리 방향, 암질 상태 등을 파악하기 위해, 적절한 터널 종단구배가 확보될 수 있도록 종단 경사를 선정하였다.

- 터널보조공법

연구 모듈의 굴착에는 터널의 여굴을 최소화하기 위해 특수 공법을 적용한다. 또 낙석·낙반을 방지하기 위해 안전망을 설치하고, 터널 복공(lining) 구간을 최소화하였다.

②굴착단면

- 표준 단면 검토

지하 터널의 단면 형태 중 대표적인 것은 원형 단면, 난형 단면 및 마제형 단면이다 [17]. 지하처분연구시설의 경우에는 부지의 지반상태가 양호하고, 지하수계도 발달하지 않아, 안정성 문제가 심각하지 않으므로 상대적으로 시공성과 경제성이 우수한 마제형 단면을 선정하였다.

- 유효 높이

지하 터널의 설계 높이는 통과 차량(Loader 기준)의 버스켓 최대 상승높이에 작업 공간의 여유 높이를 더한 높이로 한다. 작업 공간의 여유 높이는 0.5 m로

하였다. 통과 차량(Loader 기준)의 버스켓 최대 상승 높이는 차량의 화물적재 용량에 따라 다르며, 2.6 m³ 급 차량의 경우에는 5.25 m이다. 지하처분연구시설에서는 2.6 m³ 급 차량을 기준으로 하여, 터널의 유효 높이를 6.00 m로 설정하였다. 진입터널과 연구모듈의 유효 높이 적용 도면을 그림 7에 나타내었다.

- 유효 폭

지하 터널의 설계 폭은 터널 내에서 회전을 허용할 경우, 통과 차량의 최소회전반경에 터널 측면 벽 쪽과 가설 배관 쪽의 여유 공간을 고려한 값이 된다. 여유 공간을 가설 배관 쪽에 1.0 m, 터널 측면 벽 쪽에 0.3 m를 적용하면, 2.3 m³ 급 덤프트럭의 경우, 최소회전반경이 7.8 m이므로 최소 폭이 9.1 m가 된다. 이 터널 폭은 지하처분연구시설의 목적에 비해 너무 크므로, 차량의 회전을 위한 회차구역(Turning Shelter)을 별도로 설치하고 터널에서는 차량의 회전을 고려하지 않는다. 차량의 회전을 고려하지 않을 경우, 배수용 측구, 장비 전폭과 여유 공간을 고려하면 되므로 2.3 m³ 급 덤프트럭에 대해서는 터널의 폭이 4.5 m 정도이면 된다. 지하처분연구시설에서는 터널의 유효 폭을 6.00 m로 설정하였다. 진입터널과 연구모듈의 유효 폭 적용 도면을 그림 8에 나타내었다.

- 회차구역(Turning Shelter) 연장

회차 구역은 진입터널에서 차량의 회전을 위해 약 75 m 간격으로 2 곳 설치한다. 통과 차량은 2.6 m³ 급 로더(Loder)와 덤프트럭을 기준으로 하였다. 작업 공간과 가설 배관 쪽의 여유를 각각 2 m, 휠로우터의 전장을 7.55 m, 덤프트럭의 폭을 2.50 m로 보면 회차를 위한 적정연장은 14 m이다. 따라서 진입터널의 폭 6 m를 고려하면 회차구역(turning shelter)의 연장은 8 m가 된다. 회차구역(turning shelter)의 연장 적용 도면을 그림 9에 나타내었다.

- 진입터널과 연구 모듈 접합부

통과 차량은 2.6 m³ 급 로더(Loder)를 기준으로 하였으며, 점보드릴의 회전반경은 내경을 5.55 m, 외경을 9.00 m로, 점보드릴의 전장과 폭은 각각 11.00 m와 3.45 m로 설정하였다. 터널의 모따기는 3m x 3m 로, 최소 여유 폭은 1.43 m로 하였다. 진입터널과 연구모듈 접합부 적용 도면을 그림 10에 나타내었다.

구 분	통과차량 (Loader 기준)		
	2,6 m³급	3,0 m³급	3,9 m³급
작업공간 여유	0,50m	0,50m	0,50m
Loader	비스켓최대상승높이	5,25m	5,44m
	운행시 높이	3,30m	3,44m
설계 높이	5,75m	5,94m	6,18m
적 용	6,000m		

적용 도면	
-------	--

그림 7. 진입터널과 연구모들의 유효 높이

구 분	통과 차량	
	덤프트럭 (2,3 m³급) (0,30m x 2개소 = 0,60m)	휠로우더 (2,6 m³급) (0,30m x 2개소 = 0,60m)
배수용 측구	2,495m	2,790m
여유 공간	장비 전폭	1,000m
	가설 배관쪽	0,300m
	터널 측벽쪽	0,300m
최소 회전반경	7,800m	5,290m
최 소 폭	9,100m	6,590m
적 용	6,000m (Turning Shelter 적용 : 약 75m 간격)	

적용 도면	
-------	--

그림 8. 진입터널과 연구모들의 유효 폭

2) 기본설계 요약

① 지하시설

지하처분연구시설의 기본설계를 요약하면 다음과 같다.

- 진입터널

- 진입터널은 ramp형태이며, 길이는 235 m 이다 (그림 11).

- 진입터널의 내공단면은 마제형으로 크기는 6m (H) x 6m (W) 이다.

- 표준 횡단경사는 좌우 측벽부 유도배수를 위하여 +2 %를 적용하였다. 종단경사는 주행의 안정성, 환기의 효율성, 방재 설비, 배수 및 시공능률 등을 고려하여 결정하였으며, 하향 10%로 하였다.

- 터널은 가급적 직선으로 하되, 지질 상태를 고려하여, 필요한 구간에서 약간의 곡선 부분을 허용한다.

- 입구(Portal) 부근의 터널 벽은 rock bolt, 라이닝 등으로 충분히 보강하고, 터널 안 쪽 부분의 벽은 안전에 지장이 없는 범위에서 가급적 rock bolt 등으로 지보를 최소화하여 암반이 노출되도록 한다.

- 연구 모듈

- 연구모듈은 지보를 위한 RMR 분류기준, 지반

등급 Type II 이상의 지역에 위치한다.

- 연구모듈은 진입터널 막장 양쪽에 수평터널 형태로 2개소 설치되며, 각 모듈의 길이는 25 m이다 (그림 11).

- 연구모듈의 내공단면은 마제형으로 크기는 6m (H) x 6m (W) 이다.

- 표준 횡단경사는 좌우 측벽부 유도배수를 위하여 +2 %를 적용하였다. 종단경사는 자연배수가 될 수 있도록 상향 2%를 적용한다.

- 연구모듈은 원칙적으로 진입터널 끝 부분 근처에서 진입터널 좌우 양 쪽에 하나씩 배치하되, 산 정상(208 m) 부근에 위치하도록 하여 모듈의 지하 심도가 최대가 되도록 하여야 한다.

- 연구모듈은 진입터널에 직각으로 서로 마주 보도록 배치하는 것을 원칙으로 하되, 구체적인 lay-out 은 지질 상태에 따라 조정할 수 있다.

- 안전에 지장이 없는 범위에서 가급적 rock bolt 등으로 지보를 최소화하여, 터널 벽과 바닥의 암반이 노출되도록 한다.

- 갱구

- 갱구의 형식은 면벽식이다 (그림 11).

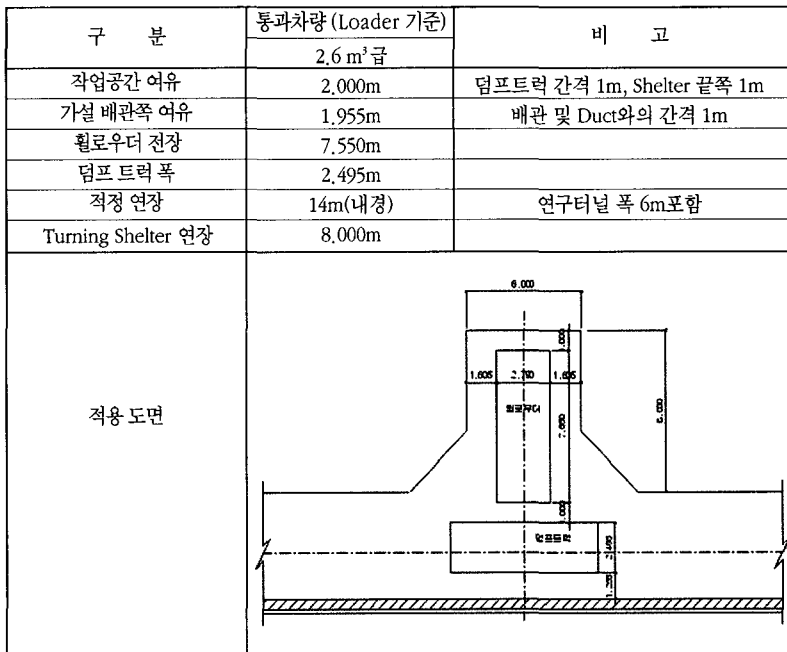


그림 9. 진입터널의 Turning Shelter 연장

구 분	통과차량 (Loader 기준)	비 고
	2,6 m ³ 급	
점보드릴 회전반경(내경)	R = 5,550m	
점보드릴 회전반경(외경)	R = 9,000m	
점보드릴 전장	11,000m	
점보드릴 폭	3,450m	
터널 모따기	3×3m	
최소 여유 폭	1,430m	
적용 도면		

그림 10. 진입터널과 연구모듈의 접합부

• 갱구는 부지의 계곡이 끝나는 막다른 지점에 굴착한다.

이상과 같은 지하시설의 구성 및 배치를 종합적으로 나타내면 그림 12 및 그림 13와 같다.

②지상시설

- 현장사무실

• 현장사무실은 계곡 입구에 설치하며, 단층건물 1동이다.

• 현장사무실은 조립식 건물로 시공하되, 전기, 전화, CCTV, 등의 출입통제에 필요한 기본시설을 갖춘다.

- 진입도로

• 계곡 입구에서 갱구에 이르는 진입도로의 길이는 300 m 이다.

• 기존의 계곡 진입로를 소형차 교행이 가능한 넓이로 정비 및 확장한 후, 바닥을 쇄석으로 포장하여, 차량 통행에 지장이 없도록 한다.

• 도로 양 옆에 배수로를 건설하여, 우기에도 차량 통행에 지장이 없도록 하여야 하며, 필요한 곳에는 사면 보강을 하여 도로 유실이 방지되도록 한다.

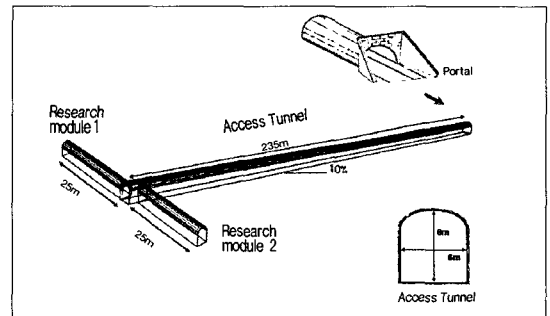


그림 11. 지하처분연구시설 구성요소

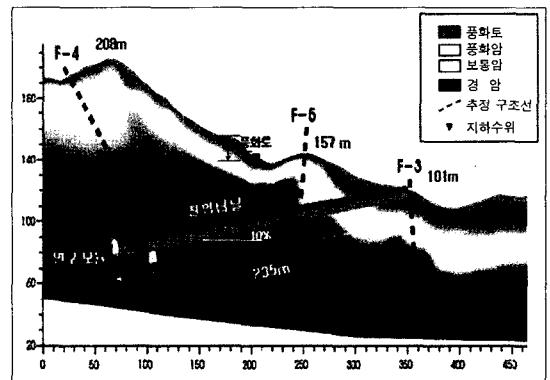


그림 12. 지하처분연구시설 개념도

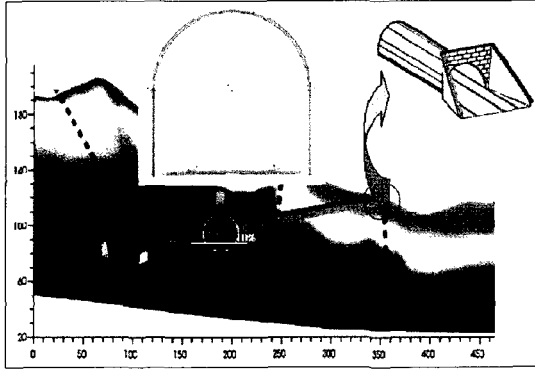


그림 13(a). 지하처분연구시설의 구간 설계 (I)

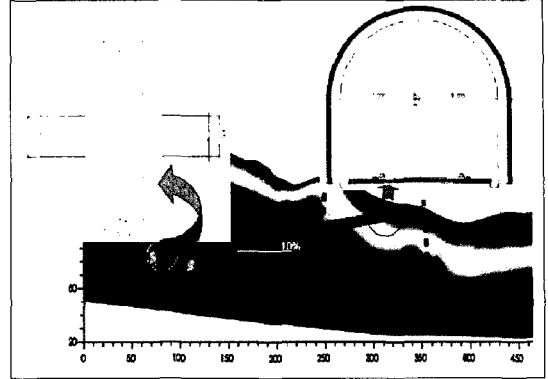


그림 13(b). 지하처분연구시설의 구간 설계 (II)

IV. 연구 활용 분야

지하처분연구시설에서는 심부 암반에 건설되는 고준위폐기물처분장의 환경과 유사한 환경을 구현할 수 있으므로, 처분과 관련된 다양한 연구를 수행할 수 있다. 이러한 연구들은 크게 다음 4 가지 분야로

나눌 수 있다. 즉

- 지질, 암반 및 수리특성
- 공학적방벽 특성
- 자연방벽의 핵종이동 저지특성
- 처분장 운영 및 폐쇄기술 등이다.

표 2. 지하처분연구시설에서의 연구항목

Classification	Research Items
Geology, Rock Mechanics, Hydrology	Rock Mass Classification and Prediction of Rock Boundaries, Rock Quality and Rock Stress
	Prediction of Location, Size, Mechanical Effects of Rock Discontinuity and Fracture Zone
	In-situ Measurement of Rock Stress, Displacement, EDZ
	G/W network, Flow Characteristics in Rock Discontinuity, Flow Rate into Tunnel
	Effects of Stress Change on the Hydraulic Conductivity in Rock Discontinuity
	Fracture System Flow Test
	Blasting Techniques and Blasting Effect on adjacent Tunnels, Rock Support Evaluation and Design
Engineered Barrier	Thermal Property of Rock (Heater Test)
	EBS Thermal-Hydro- Mechanical Behavior
	Contaminant Diffusion and Chemical Buffering in Buffer
	Colloid Generation and Migration at the Interface between Buffer and Rock
Geosphere	Gas Migration in EBS
	Contaminant Migration in Deep Ground Conditions
	Colloid Migration and Retardation in Geosphere
	Contaminant Diffusion in Rock Matrix
	Gas Migration in Shear Zone
Operation/ Closure	Demonstration of Emplacement Technology
	Tunnel Sealing Technology
	Verification of Deposition Hole Drilling
	Verification of Emplacement of Canister, Buffer, and Backfill
	Concrete Plug Design and Application
	Investigation of Earthquake Influence on Underground Facility
	Verification of Retrieval Operation
Verification of Transportation Method	

지질, 암반 및 수리특성 연구는 암반의 변위 및 파괴 특성, 지보 및 굴착 등 암석역학적 거동 연구, 시간에 따른 암반 및 불연속면의 거동, 손상대(EDZ) 발생 연구, 현지응력 측정, 불연속면을 통한 유체의 이동 연구 등으로 구성된다. 공학적방벽 특성 연구에는 공학적방벽시스템(EBS)의 열-수리-역학적(THM) 거동, 완충재 핵종확산 및 화학적 완충효과(chemical buffering), 완충재-암반 계면에서의 콜로이드 생성 및 이동, 공학적방벽시스템(EBS)에서의 기체 이동 등이 있다. 자연방벽의 핵종이동 저지특성 연구는 심부지하 환원 환경에서 핵종이동, 지하 환경에서의 콜로이드 및 핵종 지연, Rock Matrix에서 핵종 확산 및 Shear Zone에서의 기체 이동 등이 있으며, 처분장 운영 및 폐쇄기술 연구에는 폐기물 거치기술(emplacement technology)의 실증 및 터널의 밀봉기술 연구가 있다.

지하처분연구시설에서 수행 가능한 연구항목을 그 특성에 따라 분류하여 정리하면 표 2와 같다.

V. 참고 문헌

1. 강철형 외, 고준위폐기물처분기술개발 - 심지층 처분시스템개발, 한국원자력연구소, KAERI/RR-2336/2002 (2002).
2. AECL, Environmental Impact Statement on the Concept for Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste, Atomic Energy of Canada Limited, AECL-10711 (1994).
3. NAGRA, Grimsel Test Site (GTS) 1996, NAGRA Bulletin No. 27, 1996.
4. NAGRA, Rock laboratories, NAGRA Bulletin No. 34, 2002.
5. SKB, Aspö Hard Rock Laboratory, 10 Years of Research, SKB (1996).
6. NEA, The International STRIPA Project, NEA/OECD, 1983.
7. NEA, The role of underground laboratories in nuclear waste disposal programmes, NEA/OECD, 2001.
8. JNC, Geoscience- Tono Geoscience Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute, 2002.
9. M. Chijimatsu, Y. Sugita, T. Fujita and K. Amemiya, Experimental results of coupled thermo-hydro-mechanical test in Kamaishi in-situ experiment site, Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC TN8400 99-024 (1999).
10. Tono Geoscience Center, Master Plan of the Mizunami Underground Research Laboratory Project, Japan Nuclear Cycle Development Institute, 2002.
11. Horonobe Underground Research Center, Horonobe Underground Research Laboratory project plan for surface-based investigation, Japan Nuclear Cycle Development Institute, 2003.
12. ANDRA, The four experimentation themes of the Meuse/Haute-Marne underground research laboratory, ANDRA, 2002.
13. 조원진, 박정화, 권상기, 소규모지하처분연구시설 부지조사 및 평가, 한국원자력연구소, KAERI/ TR-2751/2004 (2004).
14. J. Smellie and M. Laaksoharju, The Aspö Hard Rock Laboratory: Final evaluation of the hydrogeochemical pre-investigations in relation to existing geologic and hydraulic conditions, SKB, SKB Technical Report 92-31 (1992).
15. SKB, Aspö Hard Rock Laboratory, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company, 1996.
16. Olli Okko and Juha Rautjarvi, Safeguards for the Geological Repository at Olkiluoto in the Pre- Operational Phase, STUK, STUK-YTO-TR 208 (2004).
17. 조원진, 박정화, 권상기, 소규모지하처분연구시설 기본설계, 한국원자력연구소, KAERI/TR-2751/2004 (2004).

한국방사성폐기물학회지 논문 투고요령

다음에 실린 투고요령에 따라 원고를 작성하여 아래의 편집간사에게 제출하여 주십시오.

- 가. 주 소 : 305-353
대전광역시 유성구 덕진동 150번지
한국방사성폐기물학회 사무국
- 나. 담당자 : 편집위원회 간사
- 다. 전화 및 팩스번호 : Tel : (042) 861-5851, (042) 868-4702
FAX : (042) 861-5852
- 라. 이메일주소 : krs@kaeri.re.kr

이 요령은 한국방사성폐기물학회(이하 학회라 한다)의 공식 학술지인 "한국방사성폐기물학회지"에 게재할 원고의 작성과 처리에 대한 지침을 정하는 것이다.

1. 방사성폐기물학회지 논문 투고요령

(2004. 03.)

1) 원고의 성격과 구분

○방사성폐기물(중저준위 및 고준위방사성폐기물에 관련된 정책·시설·관리·처리·해체·처분 및 방사선관리)에 관련된 이론 및 응용분야를 기술한 원고로서 연구논문, 기술논문, 노트, 특별기고, 해설, 레터로 구분한다. 특별기고와 해설은 편집위원회가 내용과 범위를 정하여 축택한 원고로 한정한다.

○연구논문<Research Papers>: 논문은 독창적인 내용이거나 응용의 경우에는 심층 분석한 것으로서 이미 발표되지 않은 것이어야 한다. 논문에는 문제를 정의하고 이를 연구하기 위한 방법을 설명하며 그 결과와 의의가 제시되어야 한다.

○기술논문<Technical Papers>: 실용 기술적 문제에 대한 조사, 분석, 개선방법 및 결과, 검토 등의 내용에 관한 논문으로 기본형식은 논문에 준한다.

○노트<Note>: 논문의 성격을 가지나 예비적이거나 정보 교류를 목적으로 하는 원고이다. 고유 자료를 포함할 수도 있으나 반드시 완전한 결과와 최종 결론을 요구하지는 않는다.

○레터<Letter>: 간단한 정보의 제공, 편집 정책이나 게재

된 내용에 대한 의견, 레터에 대한 답변 등을 수록한다.

2) 투고자격

○원칙적으로 저자 중 최소한 1인은 학회의 회원이어야 한다. 다만, 편집위원회가 특별히 인정한 경우에는 비회원의 원고도 게재할 수 있다.

3) 원고의 제출

○원고는 인쇄된 3부와 컴퓨터파일로 제출하되 원고의 제목, 저자의 국·영문 성명 및 소속과 주소(우편번호를 포함한 정확한 주소, E-mail 주소 포함), 원고의 종류(논문, 기술논문 등), 편집자가 접촉할 책임자를 명시한 제출문을 첨부한다. 최초 제출 논문에는 원고의 제목만을 명시한다.

○원고의 접수일은 원고가 편집자에게 도착한 날짜를 기준으로 한다.

○채택되고 보완이 완료된 원고의 제출은 컴퓨터 파일로 제출한다. 다만, 파일로 만들기 어려운 그림이나 사진은 원도를 제출한다. 이때 필요한 인쇄상의 요구사항(칼라인쇄 등), 별책 부수 등 필요한 요구사항을 같이 제출한다.

○이미 발간된 자료의 표나 그림을 옮겨 사용할 때에는 저자가 원저자와 출판사의 사전 동의를 받아야하며 그

사실을 원고에 명시해야 한다.

4) 기타

- 원고의 내용이나 교정의 최종책임은 저자에게 있다.
- 사진을 포함하는 원고의 경우, 저자의 요청에 따라 칼라 인쇄나 옵셋인쇄 할 경우에는 추가 인쇄비용의 실비를 저자가 부담해야 한다.
- 게재된 원고에 대해서는 별책 30부를 제공한다. 추가 별책 비용은 저자가 부담한다. 논문 게재료(2003년 7월 현재 인쇄된 때 페이지 당 2만원)는 학회의 청구에 따라 부담한다.

2. 원고준비의 세부요령

1) 사용언어

- 원고의 사용언어는 영문 또는 국문으로 한다. 국문원고의 경우에도 제목, 저자의 성명, 소속과 주소, 초록(abstract)은 국문과 영문으로 작성하고 표나 그림(캡션 포함)은 영문으로 작성한다. 다만, 참고문헌 목록의 경우에는 사용된 원어를 사용할 수 있다.

2) 원고체제

- 영문제목, 국문제목, 영문요약(abstract), 영문 키워드, 국문요약, 국문 중심단어, 본문, 참고문헌(references), 부록(appendices)의 순서로 편집한다. 저자의 성명과 소속, 주소는 영문과 국문으로 작성하되 원고에 적지 아니하고 제출문에 적는다.
- 원고는 컴퓨터를 이용하여 A4용지(210mm×297mm)에 2행간격(200%)으로 단면 인쇄하고 모든 방향으로 25mm 이상의 여백을 둔다.
- 표와 그림(캡션 포함)은 영문으로 작성하되 본문을 참조하지 않아도 이해가 가능하도록 한다(필요하면 캡션이나 미주로 충분히 설명). 별지로 작성되는 도표는 직접 촬영이 가능할 정도로 선명해야 한다. 도표의 글자 크기와 선의 굵기는 인쇄할 크기로 축소(대부분의 그림은 2단 중 1단 폭으로 축소됨)를 예상하여 적절한

크기와 굵기로 작성한다. 표는 꼭 필요한 경우를 제외하고는 세로줄을 사용하지 않아야 한다.

- 요약은 하나의 문단으로 작성하되 연구의 목적, 방법, 주요 결론이 설명되어야 한다.
- 중심단어(key words)는 5~6개로 한다.

3) 형식요건

- 1인칭 표현을 용인은 하지만 가급적 3인칭 표현을 사용한다.
- 논문과 노트의 본문은 기본적으로 서론, 재료와 방법, 결과 및 논의, 결론의 체계에 따른다.
- 본문은 신명조 10호를 사용한다. 첫 문단을 제외한 모든 문단은 세 간을 들여쓴다. 섹션 주제목에 번호를 붙이지 않는다. 섹션 주제목은 진한색으로 중앙정렬하여 쓴다.
- 표와 그림은 관련내용 이후에 쓴다.
- 국문원고의 용어는 가능하면 한글(외래어 표기 포함)로 쓰고 필요한 경우 괄호에 영문이나 한자를 병기한다.
- 원소의 질량수는 좌상첨자로 표기한다. 질량수가 표기되지 않은 원소명은 풀어쓴다(예: ^{90}Sr , ^{131}I , strontium, iodine을 사용, Sr^{90} , I 은 사용 억제).
- 약어는 처음 나타날 때 풀어쓰고 괄호에 약어를 보인 다음에 사용한다.
- 참고문헌 표기는 아라비아 숫자를 꺾음쇠기호()로 묶어 본문과 같은 줄에 쓴다.
- 단위는 SI 체계를 사용하고 숫자와 ½간을 띄워 쓴다. 슬래쉬(/) 또는 지수(-1)를 사용한다. (예: 1 mSv/h 또는 1 mSvh⁻¹ 사용).
- 십진 먹은 E가 아닌 우상첨자를 사용한다(2.58E-4가 아닌 2.58×10⁻⁴을 사용).
- 각주는 CBE 체계에 따라 ()내에 우상첨자로 쓴다. 표의 미주는 영문 소문자와 우괄호 (예: (data^a))를 우상첨자로 표기하고 8호 크기 글자로 미주를 쓴다.
- 표나 그림의 캡션은 대문자와 일반원칙에 따르고(문장 처음, 고유명사의 첫 글자, 약어 등만 대문자화)마지막에 마침표를 찍는다.

- 참고문헌 목록은 다음의 원칙에 따라 적는다(아래의 예시 참조).
- 모든 저자명은 열거한다(et al. 표기는 본문에는 허용되나 목록에서는 아니된다). 국문인 경우 저자명은 성명을 적으며 영문인 경우 이름은 약자로, 성은 전체를 적는다.
- 영문 문헌의 표지에 나타나는 제목은 각 단어를 대문자화하여 적고 내부에 나타나는 제목은 겹따옴표내에 각단어의 첫 자를 대문자화하여 적는다. 국문이나 일어, 중국어 등은 대문자화나 이탤릭화 하지 않는다.
- 저널의 호 번호는 권 번호에 붙여 괄호내에 적는다.
- 저널 논문은 게재 페이지의 시작과 끝을 하이픈으로 연결하여 적고, 단행본은 해당 내용이 나타나는 페이지를 pp. 기호와 함께 적는다.
- 단행본은 출판사와 소재지를 명시한다.
- 구분되는 내용은 십표로 분리하고, 연도는 맨 끝에 괄호하여 적고 마침표를 찍는다.
- 논문게재 승인 후 발간 중인 것은 (발간중) 또는 (in press)를 적는다.
- 비공식적이거나 독자가 일반적으로 접할 수 없는 자료는 참고문헌이 아닌 각주로 밝힌다.

3. 참고문헌 목록 작성 예시

<저널 논문>

1. P.G. Voileque and R.A. Pavlick, "Societal Cost of Radiation Exposure," Health Phys., 43(3), pp. 405-408(1982).
2. 홍길동, "방사성폐기물 처분," 한국방사성폐기물 학회지, 12(1), pp. 333-338(2003).

<책자>

3. H. Cember, Introduction to Health Physics, 3rd ed., pp. 156-162, Pergamon Press, New York(1997).

<책자 중의 논문>

4. J.A. Auxier, W.S. Snyder and T.D. Jones, "Neutron Interaction and Penetration in Tissue," in: Radiation Dosimetry, F.H. Attix and W.C. Roesch, eds., 2nd ed., pp. 275-316, Academic Press, New York(1968).

<보고서>

5. F.T. Binford, J. Barish and F.B. Kam. Estimation of Radiation Dose Following a Reactor Accident, Oak Ridge National Laboratory Report, ORNL-4086(1968).

<학술회의 보문집>

6. H.F. MacDonald, "Assessment of Environmental Hazards Following a Nuclear Reactor Accidents," Proc. of Int. Symp. on Rapid Methods for Measuring Radioactivity in the Environment, SM-148/38, pp. 212-218, IAEA, Vienna(1969).
7. D. Benison, "Risk of Radiation at Low Doses," Proc. of the 1996 International Congress on Radiation Protection, vol. 1, pp. 19-23, April 14-19, 1996, Vienna.

8. 김한국, "동해 심층해수 중의 ^{137}Cs 방사능 분포," 제 22차 방사선방어학회 학술발표회 보문집, pp. 112-118, 1997.11.6-7, 경주교육문화회관.