

방사성폐기물 동굴처분과 지하시험시설

강 병 무*

Rock Cavern for Radioactive Waste Disposal and Underground Research
Kang, Byong Mu
Korea Nuclear Research Institute

The trend of Radio active waste disposal project is generally to choose The Rock Cavern type because it is the most safest and easy to get concent from The neighbor hood.

On the Construction of rock Cavern for R-A. W. O has to take care follows;

The first of all, to survey rock crack formation, 2nd, The Movement of Underground water, 3rd, Nuclear and Geochemical problems, 4th, to examine physical feature of rocks ets.

1. 서 언

태초에 원시인이 먹고 남은 뼈를 암석 틈에 던져 버린 이후부터 인류는 폐기물을 땅속에 처분해 오고 있다. 속담 중에 “보이지 않으면 마음조차 멀어진다”는 말이 있듯이 불과 십수년전까지만 해도 폐기물처분 문제는 사회적으로 큰 문제가 되지 않았다. 모든 종류의 일반·산업폐기물의 안전한 처분을 위한 입법을 강구하기 시작한 1970년대 초까지만 해도 선진국들조차 유독성 폐기물의 장기적인 문제점을 고려치 않고 아무런 규제없이 처분하였다.

약 40여년 전부터 유독성 폐기물 중에 방사성폐기물이 인식되기 시작했다. 비록 방사성폐기물처분이 지금에 와서는 “현 세대에서 해결해야 할 심각한 문제”로 대두되었지만 그 당시만 해도 장기적인 위험도를 가지는 산업폐기물과 동일한 것으로 인식되었고, 그 양 또한 적었기 때문에 크게 문제시 되지는 않았다. 1970년대 초 이래로 모든 종류의 폐기물은 보다 더 엄격한 규제관리 대상이 되었

고, 이 중에서도 방사성폐기물은 가장 큰 규제를 받아오고 있다. 이와 같은 이유로 최근 10여년간 세계적으로 수많은 연구 개발을 해왔으며, 방사성폐기물관리를 뒷받침하는 학문, 즉, 수리지질학, 화학 및 관련 재료공학 분야는 급격한 발전을 하고 있다. 이 결과로 방사성폐기물처분을 위한 모든 규제조건을 만족시킬 수 있는 방안들이 수립되었으며 현재의 처분방식 중에서는 동굴처분방식이 가장 선호되고 있다.

필자는 방사성폐기물관리 방안과 처분개념을 간략히 기술하고, 동굴처분개념과 저준위폐기물의 처분장 사례, 그리고 고준위폐기물 처분연구를 위한 지하시험시설의 현황을 소개하고자 한다.

2. 방사성폐기물 관리 및 처분개념

2.1 방사성폐기물 관리방안

방사성폐기물은 핵연료주기시설 및 방사성물질을 취급하는 모든 시설, 즉, 원자력발전소, 산업시설, 연구기관, 병원에서 발생한다. 이것은 단지 방사능이 존재한다는 이유뿐만 아니라, 경우에 따라서는 열을 발산한다는 특성때문에 유해성 산업폐

* 한국원자력연구소입지환경실장

기물과 구별된다. 독성 산업폐기물은 시간이 경과 하여도 항상 유해한 상태로 있게 되지만, 방사성폐기물의 방사능과 발열 특성은 시간이 경과함에 따라 감소되어 결국에는 일반폐기물화된다. 방사성폐기물은 동위원소 함량과 농도, 방사능의 강도 및 무해 수준까지의 붕괴 시간에 따라 분류하는데, 일반적으로 고준위와 중, 저준위방사성폐기물(이하 “고준위 폐기물”, “저준위폐기물”이라 한다)로 나눈다.

방사성폐기물을 인간생활권으로부터 안전하게 격리시켜 관리하는 방안으로는 저장(storage)과 처분(disposal)이 있는데, 저장이란 장차 원하는 시기에 회수하여 재사용하기 위한 방법이고, 처분은 재회수할 목적없이 영구히 폐기하는 방법이다. 고준위폐기물 관리방안의 경우 저장과 처분의 양론이 있는데, 전자는 처분에 앞서 안전성을 확보하기 위하여 현재 연구개발 중인 처분의 양론이 있는데, 전자는 처분에 앞서 안전성을 확보하기 위하여 현재 연구개발 중인 처분기술이 입증될 때까지 저장하자는 개념이고, 후자는 저장하고 있는 상태에 있는 한 위험성이 항상 잠재되어 있으므로 처분하자는 개념이다. 고준위폐기물의 문제는 처리시설 및 처분장 매질에 영향을 주지 않을 정도로 처분 이전에 발열량을 떨어 뜨려야 하기 때문에 상당 기간 저장하여야 하며, 경우에 따라 처분장 운영 중 또는 장래 어떤 필요성에 의하여 회수가 가능하여야 한다는 점에 있다. 저준위폐기물 관리방안 역시 저장과 처분의 양론이 있지만 확실한 것은 고준위폐기물과는 달리 발열특성의 거의 무시되므로 그 양이 계속 증가하게 되면 장기 저장하자는 여론은 사라질 것이다. 사실 처분할 의도없이 장기 저장하는 것은 현 세대에서 해결해야 할 문제를 차 세대에게 미루는 바람직하지 못한 방안이다.

2.2 처분 기본개념

방사성폐기물 처분의 기본적인 이론에는 한 장소에 폐기물을 격리시키거나 자연현상으로 하여금 폐기물을 해롭지 않은 상태로 희석, 확산시키는 것이다. 전자의 경우는 방사능 준위가 서서히 붕괴하면서 그 유효성이 감소할 때까지는 장기적인 안전성 측면에서 확신을 하기가 매우 어려운 것이 사실이다. 후자의 희석과 확산개념이 갖는 장점은 자연적으로 평형을 이룬다는 것이지만 여기에는 다소

어려운 문제들을 내포하고 있다. 즉, 확산을 허용한다면 우발적으로 방사능이 누출될 경우에도 그 준위가 자연에 무해하다는 것을 보장하는 모형을 만들 수 있어야만 하는데 이것은 폐기물의 이동과 확산기간 중에 일어날 수 있는 광범위한 과정을 이해할 수 있어야만 가능하다.

최근 방사성폐기물 처분에는 격리와 확산개념을 적용하는 경향이 급격히 확대되고 있다. 일반적으로 단수명 핵종은 그들의 농도가 극히 낮아지는 반감기까지는 외부로 누출되지 않도록 격리시키고, 장수명 핵종은 충분히 농도가 낮아지는 당량 반감기를 제시하기 어렵기 때문에 처분계통에서 서서히 유동하여 확산되도록 고려한다. 이때 초기 격리기간의 문제는 결국 폐기물의 유형과 처분환경에서의 핵종거동 예측이 좌우된다. 예를 들면, 저준위폐기물 처분량은 약 300년 동안 안전성이 유지되어야 하는데 이후의 핵종의 농도는 매우 낮아져서 확산이 허용되고, 고준위폐기물의 경우 초기 봉쇄기간은 개념에 따라서 약 1,000년에서 백만년 이상이 될 수도 있다. 따라서, 방사성폐기물의 자본적인 처분이론은 격리 또는 희석·확산요건을 충족시키는 적합한 처분환경과 공학적 처분계통을 선택하는 것이다.

방사성폐기물 처분계통의 기능적인 요건으로는 다음 사항들이 고려되어야 한다(Chapman & Mckinley, 1987).

- (1) 처분계통이 필요로 하는 장기간의 안전성
- (2) 폐쇄 이후에도 매우 낮은 방사능 누출을 보장
- (3) 인간의 행위 및 자연재해로부터 폐기물의 격리
- (4) 적용된 처분기술의 타당성과 경제성
- (5) 처분계통의 물리, 화학 및 생물학적 안전성 모델 확보

방사성폐기물의 처분방법으로는 일반적으로 지질학적 처분이 선호되고 있으며, 특별히 고준위폐기물의 처분방안으로 우주처분, 빙하처분, 해저지층처분, 암석용해처분 및 소각처분 등이 연구되고 있으나 이들은 막대한 비용이 소요되기 때문에 저준위폐기물의 처분방법으로는 고려되지 않고 있을 뿐더러 기술적·경제적 타당성, 관리정책, 그리고 국가간의 이해관계 때문에 밀도있는 연구는 진행되지 않고 있다. 현재 다수 국가에서는 저준위 및 고준위폐기물 모두를 지질학적 처분개념에

촉점을 맞추고 있다.

3. 저준위폐기물 동굴처분

3.1 개념

지각은 인간의 시간척도를 초월하는 장구한 세월을 통해서 매우 낮은 속도로 일정한 변화를 계속하면서도 신뢰할 만한 안전성을 유지해오고 있다는 특징이 있다. 따라서 적절한 지층에 폐기물을 처분함으로써 인간환경으로부터 폐기물을 격리시켜주고, 폐기물로부터 방출되는 방사선을 막아 줄 뿐더러, 자연 또는 인위적 사고로 인한 파괴적인 사건으로 야기되는 영향을 막아주는 효과를 기대할 수 있다. 즉, 폐기물은 모든 자연현상으로 인하여 핵종의 거동에 영향을 미칠 가능성이 매우 낮다고 기대되는 장소에 처분될 수 있다. 일반적으로 처분심도가 깊을 수록 자연현상은 더 느리고 경미하기 때문에 폐기물 격리에 요구되는 기간에 대하여 효과적인 방법으로 기대된다.

폐기물 특성에 관계없이 동굴처분의 기본원칙으로는 처분장 운영 및 비상사고시, 폐쇄 후에 방사능 누출 및 피폭량, 또는 이에 대한 예측량이 발생확률을 고려하여 설정된 허용치 이하를 유지하여야 한다는 방사능 방호원칙과, 환경과 자원의 이용 및 보호에 영향을 미치지 않을 정도까지 최소화시켜야 한다는 환경과 자원의 보호원칙이 있다(IAEA, 1985).

동굴처분장은 일반적으로 300~1,500m 심도에 위치하며 새로운 동굴을 건설할 수도 있고 기존의 광산이나 동굴을 변형할 수도 있다. 처분장 운영은 동굴을 건설하고, 폐기물 용기를 처분하고, 충전재를 채우고, 봉쇄하고, 결국에는 폐쇄할 수 있도록 구조적으로 안정되고 반복적인 형태의 운영체계가 되어야 한다. 처분장은 운영기간 중에 모든 작업이 원활하게 이루어질 수 있어야 하며, 모든 과정은 안전한 운영절차와 신뢰성있는 품질보증 범위내에서 가능한 한 단순하도록 설계되어야 한다. 처분장은 근본적으로 폐기물을 장기간 안전하게 격리시키고 자연과 인공방벽체계로 인하여 폐기물로부터 생물권으로 누출되는 핵종을 방어 및 통제할 수 있도록 설계된다.

설계방법에는 여러가지가 있겠으나, 초기단계

에서는 모암의 물리·역학적 특성을 고려하여 자연 및 인공방벽이 핵종의 누출과 이동을 지연시킬 수 있는 방벽능력을 잃지 않도록 설계하여야 한다. 이중방벽개념을 도입할 경우 가장 단순한 설계방법으로는 폐기물용기를 동굴 내에 처분하는 것으로, 처분동굴로의 진입은 지표로부터의 수갱, 사갱, 또는 횡갱을 고려할 수 있다. 처분동굴은 임의의 심도에 위치할 수 있으며 상부로부터 직접 접근하거나 어라간 떨어진 거리에서 접근할 수 있다. 모든 처분동굴과 진입동굴은 시설 폐쇄시에는 뒷채움되고 봉쇄된다.

저준위폐기물 처분장을 운영하고 있는 원자력 선진국가들은 초기에는 주로 천층처분을 해왔으나 최근에는 동굴처분으로 정책을 전환하는 추세에 있다. 이것은 방사성폐기물을 보다 안전하게 관리한다는 것을 국민에게 제시하기 위하여 경제적으로 부담이 되더라도 동굴에 처분 관리함으로써 원자력산업에 대한 국민의 수용성을 제고시킬 수 있는 정책적 이득을 얻을 수만 있다면 이를 감수하겠다는 정부의 의지에서 비롯되는 것이다.

3.2 현황

아직까지 저준위폐기물을 동굴처분하는 국가는 스웨덴에 불과하지만 수 개의 동굴처분장이 금세기 말에 운영될 것이며, 고준위폐기물처분의 경우 대부분의 나라가 연구단계에 있다.

스웨덴 : 스웨덴의 암반은 빙하의 침식작용으로 인하여 풍화대는 대부분 제거되어 신선한 암반이 지표에 노출되어 있고, 암반의 견고성으로 굴착에 어려운 점은 있지만 보강공사 경비를 줄일 수 있어 경제적·공학적 측면에서 지하동굴 건설에 최적의 자연조건을 가지고 있다. SFR은 Forsmark 연안 해저 약 60m(120m)하의 대륙붕 암반에 위치하는 독특한 시설인데(Fig. 1), 이의 규모는 Table 1과 같다. SFR의 특징은 폐기물의 유형에 따라 동굴과 silo만이 운영되고 있으나 장차 계획에 따라 확장, 건설될 예정이다. SFR건설 추진일정은 다음과 같으며, 동굴의 총 연장길이는 약 4.5km이고 건설에는 4년이 소요되었다(Shisen, 1985).

- 1980-1983 : 부지선정 및 조사, 개념설계, PSAR, 인허가
- 1983-1985: 상세설계, 진입터널, 처분동굴

및 silo 굴착

- 1986 : 보강 및 시설공사
- 1987 : 시운전
- 1988 : 운영, 감시

처분장의 모암은 선캠브리아기의 다양한 암종(화강암 48%, 편마암질 화강암 39%)으로 구성되어 있다. 암종간의 접촉부나 열극대 변질·풍화작용은 거의 없으며 모든 열극은 충전되어 있다. 처분장 주위로는 3개의 열극대가 통과하며, 추적길이 9m 이상의 열극빈도는 0.67/m이다. 지하 500m까지의 수평응력 대 수직응력의 비는 2.82로 일정하고, 모암의 수리전도도는 10^{-10} m/s이다. 지진에 의한 진동은 처분동굴의 충전재와 인근의 단층대가 완충역할을 하므로 중요시 되지 않았다(Carlsson & Christiansson, 1987; Carlsson et al., 1986).

스위스: 스위스의 방사성폐기물 처분방안은 Projekt Gewähr(Nagra, 1985)을 통해서 검토되었는데, 저준위폐기물에 관하여는 다중방벽을 도입한 산중수평동굴 처분개념이 제안되었다(Fig. 2). 처분장 모암으로는 경석고(Bois de la Glaive 부지), 이회토(Oberbauenstock, Wellenberg 부지) 및 기타 결정질암(Piz Pian Grand)이 검토되고 있으며 현재 후보부지를 대상으로 조사를 수행하고 있다(McCombie et al., 1988). 총 동굴굴착량은 1,000,000m³ 처분장에는 200,00m³의 감응폐기물이 처분될 계획이다. 지질조사를 제외한 건설기간은 약 7년, 그리고 총 건설비는 약 3억 2천(Swiss franc)이 소요될 것으로 추정된다. 처분장 운영은 기술 및 인허가 문제로 1995년 이후로 계획되어 있다(Kowalski et al., 1986).

핀란드: 핀란드는 주로 선캠브리아기의 기반암으로 구성되어 있다. 기존 원자력발전소 부지가 처분장 건설에 적합한 것으로 밝혀져 Loviisa 부지는 단수명 저준위폐기물 처분장으로, Olkiluoto 부지는 장수명 저준위폐기물 처분장으로 건설되고 있다(Fig. 3). Loviisa 처분장의 모암은 화강암이고, 동굴심도는 110m~126.5m에 위치한다. 수송터널은 단면적 약 40m², 길이 약 1,000m로서 지상의 원전시설과 연결되어 있다. 저장동굴의 단면적은 약 25m²이고, 처분동굴의 단면적은 약 300m², 길이는 약 100m이다. Olkiluoto 처분장의 경우 모암

은 tonalite이고, 동굴은 약 50m~100m 심도에 위치한다. 두개의 silo는 역청폐기물처분용과 저장용인데, silo는 특별히 50cm의 콘크리트 방벽이 보강되어 있다(vieno & Nordman, 1988). 건설기간은 1988-1991까지 계획되어 있으며 1992년 시운전으로 거쳐 1993년 운영할 예정이다.

기타 국가: 독일은 1967년부터 Asse-II 암염폐광에 저준위폐기물을 시험처분하였으나 1978년 법개정에 의하여 운영 중지되었으며 현재는 Korrad 폐철광산에 비발열성 저준위폐기물의 처분을 위하여 허가를 받는 과정에 있는데, 운영은 1993년 경에나 가능할 것으로 예상된다. 영국은 과거 저준위폐기물은 천층처분한다는 정책을 세웠으나, 여론에 따라 모든 폐기물을 심층처분한다는 방침으로 선회하여 현재 Dounreay 와 Sellafield 부지를 대상으로 부지조사 중에 있으며, 운영은 1995년 이후로 계획되어 있다.

4. 지하시험시설

방사성폐기물 동굴처분과 관련하여 처분장의 안전성에 영향을 미치는 많은 요소들은 실내 또는 심부 시추공에서 효과적으로 연구될 수 있지만 암반 심부에서 실험을 행하게 될 경우에는 많은 잇점이 따른다. 즉, 암반 심부에서 실험을 행할 경우 처분장과 유사한 물리화학적 조건을 얻을 수 있으며 대규모의 intact rock을 이용할 수 있는 장점이 있는 것이다. 따라서, 지하시험시설(이하 "URL: Underground Research Laboratory"라 한다)은 심부의 지질환경에 공간을 확보하기 위하여 건설되며, 현재 많은 나라에서 여러 암종을 대상으로 운영 중에 있다(Table 2).

URL은 1960년대 중반 이후부터 운영되어 왔으며, 주로 고준위폐기물 처분시험을 위해서 건설되었다. 앞으로 URL건설과 함께 처분장 후보부지의 평가가 각국에서 시작되면 수년내에 그 수는 상당히 증가하게 될 것으로 보인다. 일반적으로 URL에서 수행하는 모든 시험들은 기술적으로 상당히 정밀하고, 시험장내에 설치된 컴퓨터에 의해서 현장을 통제, 감시하며, 자료를 처리한다.

URL에서 수행하고 있는 시험들은 크게 다음과 같이 분류되며, 이 시험내용들을 간략히 소개하고

자 한다.

- (1) 폐기물의 발열특성에 대한 모암의 열역학적 반응시험
- (2) 지하수 유동 시험
- (3) 핵종이동 시험
- (4) 암반의 지질공학적 특성 조사방법과 굴착, 처분 및 뒷채움 기술의 개발

4.1 시험내용

열역학적 거동시험 : 역학적 거동시험은 시추공에 설치된 전열기를 이용해서 고준위폐기물의 용기에서 발생하는 발열특성을 재현한 것으로 경우에 따라서는 실제의 경우처럼 시추공에 뒷채움재를 채우기도 한다. 열전쌍, 변형측정기 및 방출가스수집기가 전열 시추공 및 주위의 감시 시추공에 설치된다. 온도는 급상승, 완만상승, 단계별 상승 등 여러 가지 법으로 적용한다. 여러개의 시추공에 소형 전열기를 배열하는 방법을 씀으로써 대규모 처분장 모형에 대한 열역학적 거동을 평가할 수 있으며 경우에 따라서 폐쇄후의 장기예측을 위하여 시간요소를 증가시킬 수 있다. 이러한 시험결과 단순 열전도모형이 매우 정확하며 암반의 열단면이 어느 정도정확하게 예측할 수 있음이 밝혀졌다(Jeffrey et al., 1979). 암반에 대한 열응력 효과는 예측이 거의 불가능한데 이는 암반내 불연속면의 영향때문이다. 열에 의한 지화학적 영향에 대한 Stripa의 연구결과 저온환경에서는 무시될 만한 것으로 나타났다(Chan & Cook, 1979).

수리지질학적 시험 : 수리지질시험은 대규모 암반의 특수성을 결정하기 위한 것으로 처분장 주변의 열극분포특성과 지역적 동수구배를 알 수 있으면 지하수의 침투율로부터 총 특수성을 계산할 수 있게 된다. 현재의 시험은 암반에서 우세 유동통로에 의해 야기되는 지하수유동의 변화를 평가하기 위하여 동굴의 측면과 천정에 유입되는 지하수양을 측정하고 있다. 기타의 시험으로는 열적 거동시험과 수리시험을 병행하는 것인데, 한 연구결과에 의하면 열극암반의 특수성은 열에 대하여 감소하는 것으로 밝혀졌다(Morrow et al., 1981). 이것은 열에 의한 암반의 팽창과 이로 야기되는 열극의 봉쇄에 의한 것이다.

핵종이동 시험 : 현장 핵종이동시험은 열극특성이 잘 밝혀진 곳에서 진행되며 두개의 터널 또는 시추

공을 가로지르는 단일 열극이 이러한 시험의 목적에 이용된다. 응력조건하의 열극에 추적자를 주입한 다음 그들의 이동을 측정한다. 이 결과는 수평 확산, 흡착 및 공극확산의 모형을 개발하는데 이용된다. Stripa의 연구에서는 적어도 몇 종의 추적자는 열극에서 빠져나와 암석매질에 흡착되는 것으로 밝혀졌다(Abelin et al., 1985).

완충 및 뒷채움재료의 거동시험 : 이 시험은 처분공과 동굴내에서의 벤토나이트와 벤토나이트/모래 충전재의 거동을 연구하는 것이다. 뒷채움 당시의 고압밀 벤토나이트는 충전재가 지하수를 함유할 때와 폐기물로부터 열을 받게 될 때 벤토나이트의 거동에 수반되는 각종 요소를 시험하고 있다.

4.2 현황

Stripa : Stripa 프로젝트는 스웨덴 중부에 위치한 폐철광에서 수행한 국제공동연구로서 고준위폐기물 처분과 관련하여 각종 시험을 수행한 것으로서 Stripa광산은 단지 시험시설이지 방사성폐기물 처분장은 아니다(Fig. 4). 모암은 석영몬조나이트이고 leptite와의 접촉대에 배태된 철광체를 채굴하였다. 동굴은 338m~360m의 심도에 위치하며 규모는 직경 약 5m이다. 이 사업은 OECD에서 후원하고, SKB가 주관하였다. 사업기간은 1980년부터 1986까지이고 여기에 참여한 국가는 캐나다, 핀란드, 프랑스, 일본, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국 및 미국이다. 사업기간 중에 행한 주요 연구내용으로는 1) 열극대 탐사와 조사, 2) 지하수환경과 핵종이동, 3) 열역학적 시험, 그리고 4) 벤토나이트 충전재의 거동 등이다(SK, 1985).

HRL : 스웨덴은 미래 고준위폐기물 최종 처분장 건설과 관련된 연구개발을 목적으로 HRL(Hard Rock Laboratory : Fig. 5)의 필요성을 검토하고 그 후보부지로서 기존 원자력 발전소부지 중 Simpevarp부지를 선정하였다(SK, 1989). HRL부지는 최종 처분장으로 고려되지 않을 것이지만, 연구결과 부지주변의 조질조건이 처분장으로서 적합하다고 입증되면 최종 처분장을 위한 후보부지로 될 것이다. 부지조사에는 2년이 소요되어 1990년에 공사를 착공하여 1994년에 운영할 예정이다. 계획되어 있는 시험내용으로는 1) 지하수이동 시험, 2) 핵종이동 시험, 3) 지화학적 특성 시험, 4) 처분장 건설기술, 그리고 5) 처분계통의 실증시험 등이다.

URL: 캐나다의 URL은 WNRE(Whiteshell Nuclear Research Establishment) 근처의 Lacdu Sonnet 저반(반상화강암)에 위치한다(Fig. 6). URL의 진입수갱은 250m로서 2.8m×4.9m의 사각형 모양이고, 약 240m에 수평 시험동굴이 건설되었다. 차후 440m심도에 또다른 시험동굴이 계획되어 있다(Simmons et al., 1984). 1984년 진입수갱을 굴착하여 1986년부터 운영하고 있다. 현재 수행하고 있는 시험으로는 1) 건설기간 중 각종 지질 공학적 특성조사·시험, 2) 현장응력 측정, 3) 지하수위 강하, 4) 수갱굴착에 따른 암반거동, 5) 암반의 열역학적 거동, 그리고 6) 수리지질시험 등이다.

기타 국가: 독일은 1967년부터 Asse-II 암염폐광을 저준위폐기물 처분시험장으로 이용하였으나 1978년 운영중지 후 고준위폐기물 처분시험시설로 이용하고 있다. 저준위폐기물 처분시험장은 500m와 750m심도에 위치하며, 현재 운영 중인 고준위폐기물 처분시험장은 800m심도에 위치한다(Fig. 7). 시험내용으로는 처분, 봉쇄 및 재회수 기술개발 등이 있으며, 1992년까지 계획되어 있다(Barnert et al., 1986).

5. 토의 및 결론

방사성폐기물의 지질학적 처분방법은 현재 이용 가능한 기술로 설계될 수 있으며, 객관적인 수학적 모형으로 분석·평가가에 의한 장기 예측에 대한 확신을 어떻게 정당화할 것인가? 적용된 모형의 검증 후에 심각한 불확실성이 남게되면 처분장 설계자는 처분계통의 과대 설계로 이를 극복하기 위한 시도를 할 것이다. 그러나, 실제로 안전성을 고려하여 공학적으로 아무리 설계를 잘 하였더라도 실

질적인 한계는 한상 존재하기 마련이므로 저준위 폐기물 처분계통의 설계에 대하여는 합리적인 비용-편익분석(Cost-benefit analysis)방법을 도입하는 추세에 있다. 이때 편익이라는 것은 ALARA(As Low As Reasonably Achievable)에 의거 실질적으로 보장될 수 있는 피폭량 또는 위험도의 경감(처분장 운영 및 장기거동)에 따라 계산된다. 이러한 과대설계 혹은 비용-편익분석을 통한 처분개념은 안전성과 수용성에 근거를 두고 수행된다는 것을 보여주기 위한 의도인 것이다.

우리는 지식의 한계, 자료의 부족 및 자연현상의 복잡성에 따른 불확실성을 고민해야 한다. 안전성 평가모델에 이용되는 개개의 파라미터 중에서 가능한 모든 환경내에서 과학적 검토를 거쳐 정확한 것으로 밝혀질 수 있는 것은 수개 뿐이다. 안전성 평가에 있어서 일반적으로 이러한 불확실성은 피폭량의 과대 예측을 유도하는 보수적인 값을 선택함으로써 고려가 된다. 결국 이러한 방법을 통해서 비록 하나 또는 두 개의 값이 실제로 보수가 아니더라도 전반적인 다중방벽평가는 가능할 것으로 가정된다. 최종 분석 결과가 믿을 만한 것인지 검토하기 위하여 자연유사시험이 이용될 수도 있다.

현재 각국의 방사성폐기물처분 사업은 국민의 수용성을 높이고 보다 안전한 처분방식으로 동굴 처분을 도입하는 추세에 있다. 이를 위하여는 1) 지하암반의 열극체계, 2) 지하수 이동, 3) 지화학 특성과 핵종이동, 그리고 4) 암반물성 등에 관한 연구개발이 필요하다. 또한 각국은 고준위폐기물 처분방법과 관련하여 지하동굴내에 현장 실험실을 설치하여 전술한 내용들을 연구개발하고 있으므로, 우리나라도 지하시험시설을 갖추어 처분관련 기술능력을 확보하여야 할 것이다.

『役稿歡迎』

會員 여러분의 投稿를 歡迎합니다.

種類: 論文 工事報告, 翻譯門, 資料 其他

期限: 隨時

掲載된 論文原稿에 대하여는 所定の 原稿料를 드립니다.

Table 1. Dimension of tunnels and caverns(SFR).

Components		W (m)	H (m)	A (m ²)
Construction tunnel	BT	8.5	6.6	48
Operating tunnel	DT	8.7	7.9	63
Central tunnel	CT1	11.0	10.2	125.5
	CT2	8.7	11.3	91.6
Lower construction tunnel	NBT	8.5	6.4	48
Rock vault tunnel	BST	10.0	9.2	84.3
Concrete tank repositories	BTF	14.7	9.5	125.8
Rock vault for low-level wastes	BLA	14.7	12.7	172.4
Rock vault for intermediate-level wastes	BMA	19.6	16.5	298
Silo repository	S	30.0*	69.0	

* Diameter in silo

Table 2. Major past or present underground research laboratories.

Rock formation	Laboratory name	Country
Salt		
(bedded)	Salt Vault(Kansas)	USA
(dome)	Avery Island(Louisiana)	USA
(dome)	Asse	Germany
(bedded)	WIPP(New Mexico)	USA
(dome)	Hope	Germany
Crystalline rock		
(granite)	Stripa	Sweden
(granite)	Grimsel	Switzerland
(granite)	Edgar Mine(Colorado)	USA
(granite)	URL(Manitoba)	Canada
(granite)	Climax Mine(Nevada)	USA
(granite)	Fanay Augeres	France
(granite)	Akenobe Mine	Japan
(basalt)	NSTF(Washington)	USA
(tuff)	G-tunnel(Nevada)	USA
(granite)	HRL *	Sweden
Argillaceous rock		
(plastic clay)	Mol	Belgium
(clay-marl)	Pasquasia	Italy
(mixed sediments)	Konrad Mine	Germany

* HRL: Hard Rock Laboratory under construction

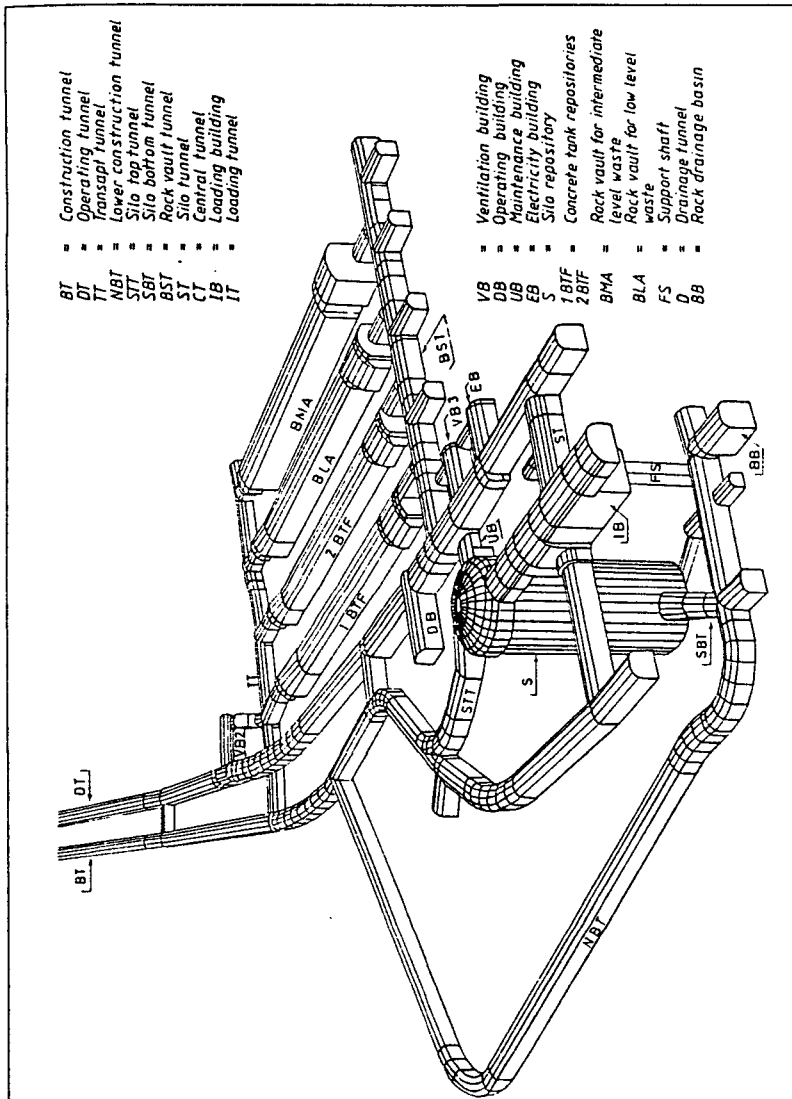


Fig. 1. View of SFR with abbreviations used for the different tunnels and caverns.

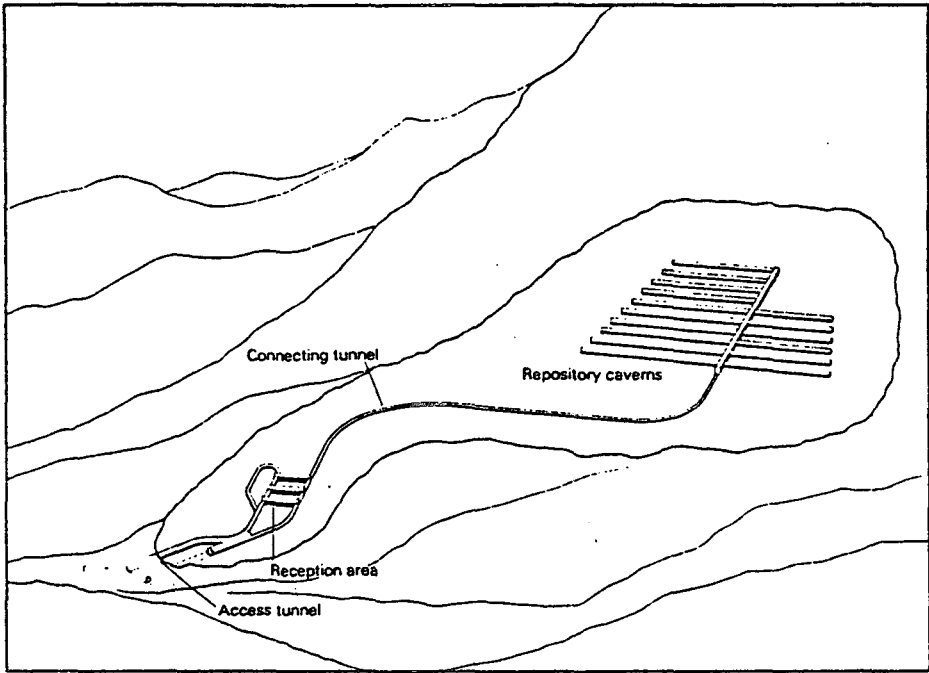


Fig. 2. Overview of the Swiss LLW/ILW repository facilities.

(a)

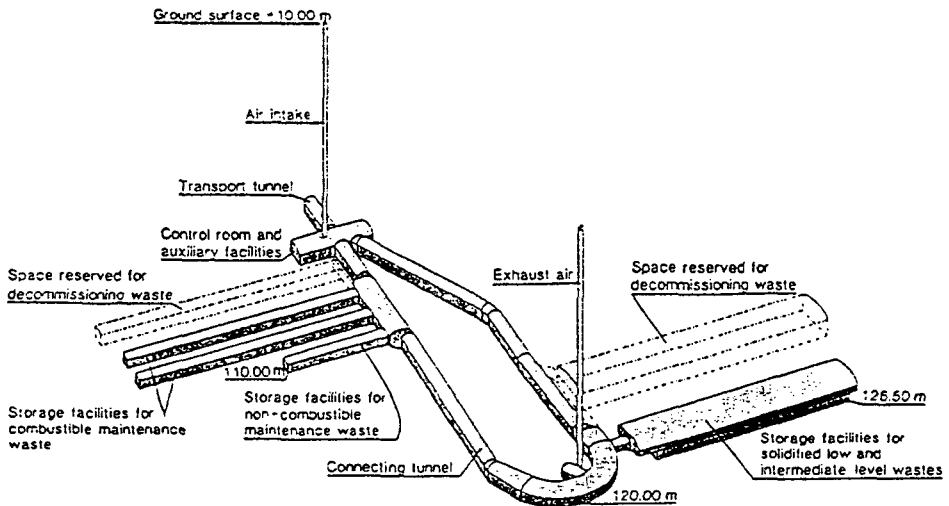


Fig. 3. The Finnish final repositories(a: Loviisa repository, b: Olkiluoto repository).

(b)

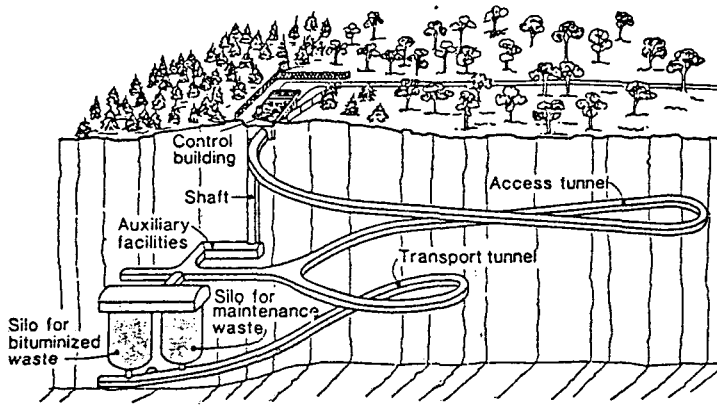


Fig. 3. Continued.

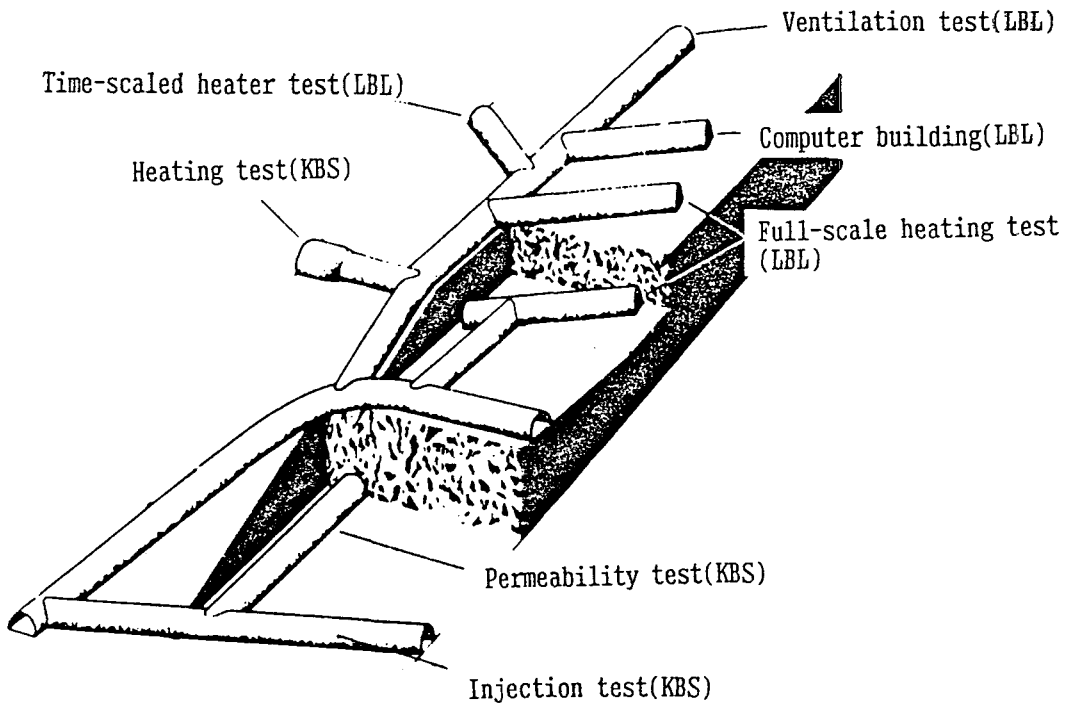


Fig. 4. Location of experimental rooms in granite rock mass at Stripa.

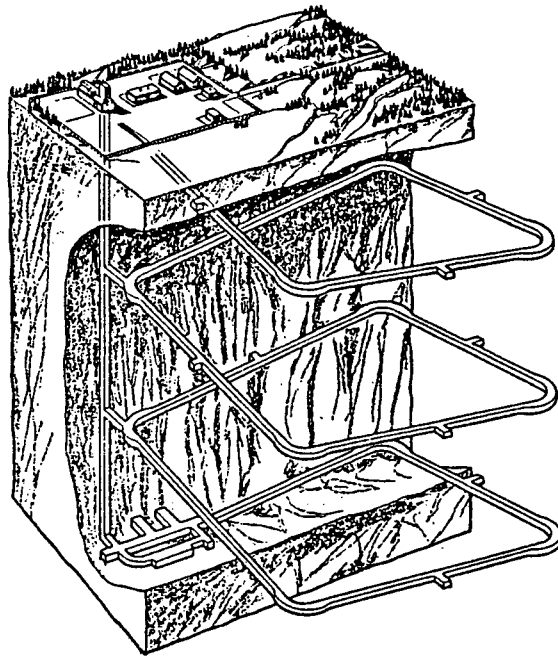


Fig. 5. Sketch of HRL showing an access layout considered.

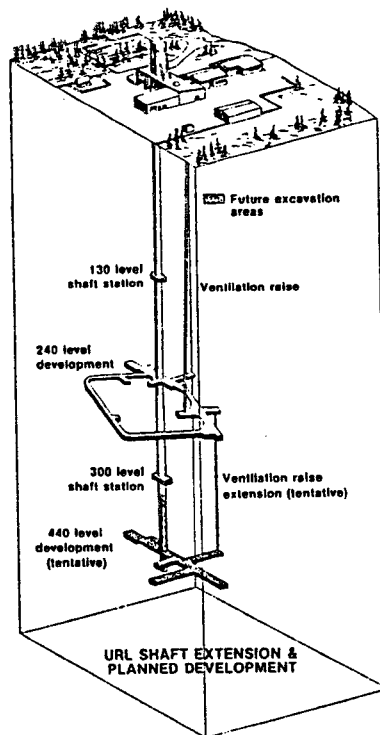
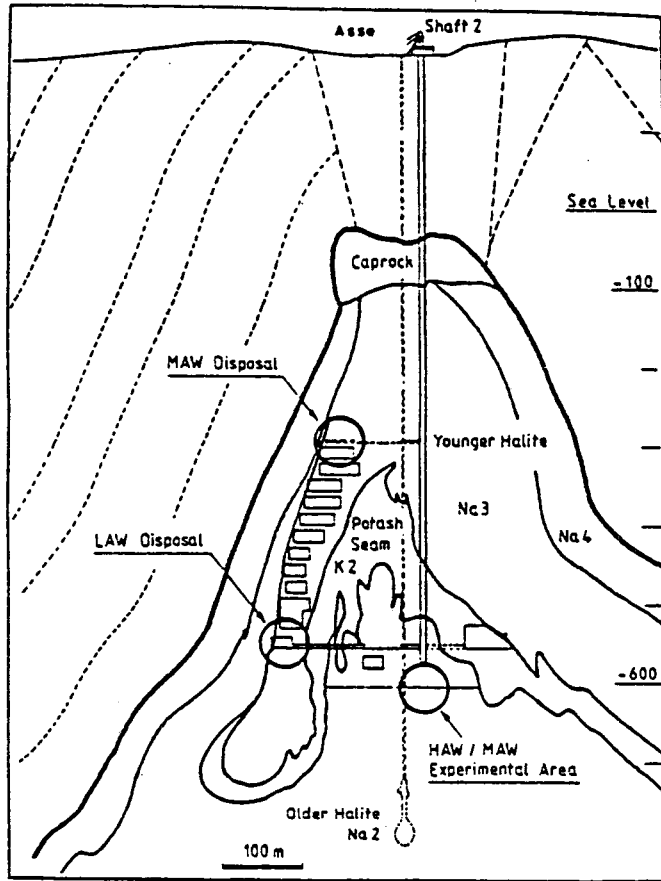


Fig. 6. Schematic of the Underground Research Laboratory.

(a)



(b)

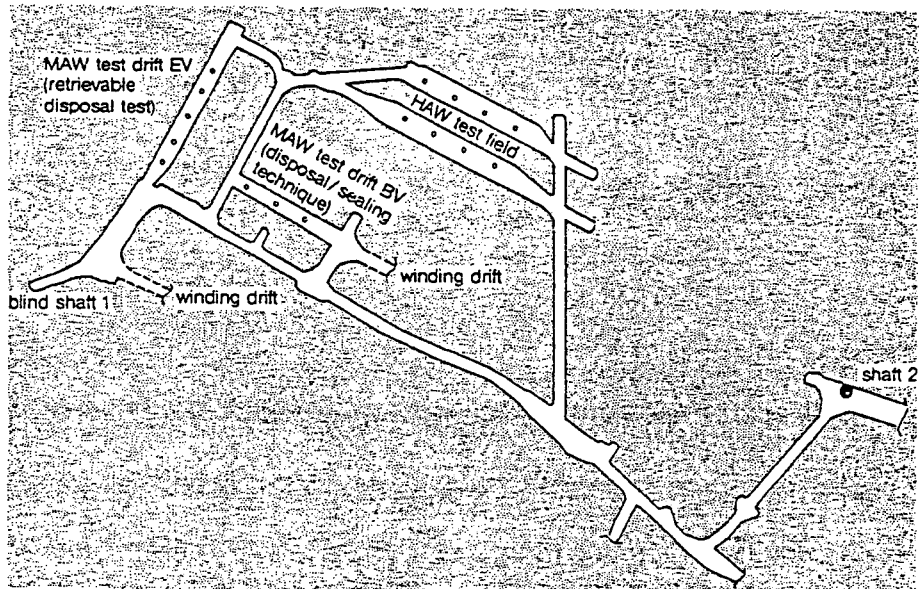


Fig. 7. Asse mine cross section(a) and test drifts at the 800m level(b).