

고준위폐기물의 심지층 처분기술 고찰

—공학적 방벽용 완충재의 특성을 중심으로—

박준범*1, 윤현석*2, 전관식*3

1. 서론

최근 선진국들을 중심으로 지구온난화를 방지하고자 각종 산업부문에서 이산화탄소(CO₂)의 배출량을 강력하게 규제하려는 움직임이 구체적으로 가시화되고 있다. 이럴 경우 탄산가스의 배출량이 적은 청정 에너지원으로는 현재로서는 원자력에너지가 가장 적합하다고 볼 수 있다. 특히, 원자력에너지는 우리나라와 같이 천연자원이 절대적으로 부족한 국가에서는 주요한 에너지 공급원으로 효과적으로 사용될 수 있다. 그러나 원자력의 안전성에 대한 문제가 대두되면서 원자력발전소의 부지확보에 큰 어려움을 겪고 있다. 원자력의 필요성은 인정하면서도 이러한 시설이 자신 주변에 설치되는 것을 반대하는 이른바 '넌비' 현상(NIMBY, Not In My Back Yard)은 나아가 원자력산업의 부산물로 발생하는 방사성폐기물(radioactive wastes) 처분시설의 위치선정에도 심각한 문제를 야기한다. 이와 같은 방사성 물질의 노출에 의한 환경문제가 대두되면서 방사성폐기물의 안전관리 및 처분에 관한 연구가 국내에서는 한국원자력연구소를 중심으로 활발히 추진되고 있다.

본 글에서는 방사성폐기물중에서 방사성농도와 붕괴열이 높은 고준위폐기물을 인간환경과 생태계에 영향을 미치지 않도록 처분하기 위한 방법에 대하여 언급하고, 각국의 고준위폐기물 처분연구동향, 특히

심지층처분용 공학적방벽재 중 완충재(buffer material)의 특성에 대하여 설명하고자 한다. 이를 통하여, 안전하고 효과적인 고준위폐기물의 처분개념을 일반에게 알리어, 상호이해를 도와 불필요하고 소모적인 님비현상 등을 막고, 나아가 청정에너지인 원자력을 우리와 우리의 후손들이 안전하고 효과적으로 사용하도록, 작은 이해의 틀을 만들어 보자는 데 이 글의 취지가 담겨져 있다.

2. 고준위폐기물의 처분

2.1 처분방법

일반적으로 방사성폐기물은 방사능의 강도에 따라 고준위, 중준위, 저준위 또는 고준위, 중준위 등으로 분류하며, 이 가운데서도 고준위폐기물은 반감기가 20년이상인 알파선 방출핵종의 농도가 4,000Bq/g (방사선 물질이 단위그램당 붕괴하는 양) 이상이며, 열발생률이 2kw/m³이상인 폐기물을 일컫는다. 이에 상당하는 주 폐기물은 원자력발전소에서 연소된 사용후핵연료(spent fuel)를 들 수 있으며, 이로부터 플루토늄과 우라늄을 회수, 재사용하기 위한 처리과정에서 발생하는 높은 방사능을 갖는 농축폐액 또는 이 폐액을 고화시킨 폐기물을 말한다.

이와 같은 고준위폐기물의 처분방법은 기술성, 안전성, 경제성 등을 고려하여 볼 때 심지층처분방법이 현재로서 유일한 처분법이라 할 수 있다. 고준위폐기물은 방사성농도와 붕괴열이 높기 때문에 사람에게

*1 정희원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 조교수

*2 정희원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사과정

*3 정희원, 한국원자력연구소 방사성폐기물처분연구팀장

【 기술기사 】

미치게 될 방사선적 안전성과 처분장과 주변암반에 미치게 될 열-기계적(thermo-mechanical) 영향 등 주변 구성재의 열에 대한 장기적 건전성이 대단히 중요하다. 또한 방사선에 대한 위해(risk)가 소멸되기까지는 수만 년에서 수백만 년에 이르고 있으므로 이를 처분한 다음, 적어도 수만 년이상 폐기물을 안전하게 생태계로부터 격리시킬 수 있어야 한다. 따라서 이의 처분에 따른 안전성을 보장할 수 있는 최적의 처분방법을 마련하기 위하여 지질환경여건과 폐기물의 포장양상을 고려한 다양한 심지층처분방안들이 활발히 연구·개발되고 있다.

심지층처분방법은 지표면으로부터 적어도 300m 이상의 지하에 위치하는 모암(host rock) 내에 방사성폐기물 처분장을 건설하여 이곳에 폐기물을 처분하는 방법으로서 처분장이 갖추어야 할 기본조건은 다음과 같다: ① 의도적이건 의도적이 아니건 침입을 방지할 수 있도록 충분히 깊어야 하고; ② 건조하거나 대단히 지하수의 유출이 적은 극히 투수성이 낮은 모암에 위치하여야 하고; ③ 폐기물의 포장물은 물리적 및 화학적 내구성이 있어야 하고; ④ 지질학적으로 안정된 지역(지진 등에 대하여)에 위치하여야 하며; ⑤ 방사성핵종의 이동을 방지하거나 지연시킬 수 있는 방벽(물리적 및 화학적)을 제공하여야 하고; ⑥ 모암은 요구되는 폐기물의 격리기간보다 더 장기간 견딜 수 있는 특성을 지녀야 하며; ⑦ 장래에 경제적 가치가 높은 장소는 바람직하지 못하다. 이밖에도 모암층은 압축강도가 크고, 열전도도가 높으며, 열적 수용성이 좋아야 하고, 단일암종으로 형성되며; 처분장에 틈이 생긴 경우에 자체봉합이 가능할 정도의 가소성을 가진 암반층이어야 한다.

위에 열거한 것과 같은 까다로운 고준위폐기물 처분부지 요건을 근간으로 선진국들은 그 나라의 자체적인 지질 및 수리수문조건을 모두 조사하여 처분장의 장기적인 지질환경의 안정성, 지하수의 유동에 의한 심지층처분 환경과, 지하수를 통한 핵종의 이동 가능성과 주변 지질매체와의 화학적 반응성, 처분시설의 지하 건설로 인한 자연 암반 환경의 변화가능성

등을 종합적인 처분시설의 안정성 측면에서 평가하여 부지선정에 활용하고 있다. 선진국의 경우, 부지선정에 대한 주민의 우려와 반발에 대비하기 위하여 공청회, 홍보, 교육 등을 통한 지역주민의 이해와 숙지로 마찰을 최소화하는데 노력하고 있다.

이에 대한 국내의 처분연구는 1987년도부터 시작되었으나, 지금까지의 주 내용은 저준위폐기물에 관한 것이었고, 고준위폐기물의 처분에 관한 연구는 최근에야 착수된 실정이다. 더욱이 대부분의 경우 심지층처분을 가정하는 고준위폐기물 처분부지 조사에서는 지하 심부환경에서 지하수의 유동과 체계, 수리지구화학적 반응 및 변화 등이 중요한 변수이나, 기존의 수리지질학적 연구는 주로 천부지하수에 한정되어 있어 심지층처분부지 특성화에 적용시키기에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 장기적인 안정성을 최우선으로 하는 고준위폐기물 처분시설의 부지선정과정에, 처분 후보부지와 동일하거나 유사한 환경에서 처분의 안전성에 관계되는 실험을 수행하여 안전성을 검증하여야 하며, 예측모델의 검증을 위해서도 지하 실험시설의 건설이 요구된다. 외국의 예로 보아 부지선정 과정만 약 15년 이상의 시간이 소요되므로, 우리나라의 형편에서는 이 기간을 최대한으로 줄이기 위하여 합리적이며 효율적인 연구개발의 추진이 필요하다. 더불어 국내 지질환경에 대한 종합적인 자료들의 체계적인 관리가 무엇보다 중요하므로 이러한 자료들은 궁극적으로 Data-Base로 구축되어야 하며, 국내 지질조건에 적절한 조사방법과 측정기기 개발도 동시에 수행되어야 할 것이다.

2.2 공학적 방벽

방사성물질의 환경누출에 대한 억제 또는 지연 기능을 지질환경이 양호한 자연방벽(natural barrier)으로만 해결할 수 있다면 더할 나위 없겠지만, 자연방벽의 비균질성과 그 성능에 대한 불확실성 때문에 이를 보완하기 위하여 공학적 방벽(engineered barrier)의 필요성이 강력히 부각되고 있다. 이러한 공학적 방벽은 폐기물, 처분용기, 완충

및 뒷채움재, 기타 처분장의 공학적 구조물 등의 다중방벽 형태로 구성된다. 그리고 처분방법은 모암의 종류(암염층, 경암층, 퇴적층 등)에 따라서 구분할 수 있다. 공학적 방벽에 대한 외국의 연구는 1950년대에 미국이 처분에 관한 기초연구를 시작한 이래 점차적으로 확산되어 1970년대 말 폐철광산인 스웨덴의 Stripa를 중심으로 국제공동연구가 개시되어 10여년간 지속되었으며, 1980년대 중반에 접어들면서 원자력선진국들은 고준위폐기물의 심지층처분기술 개발에 박차를 가하기 시작하여 자국의 특성에 부합되는 처분개념을 마련하고 세부적인 기술개발을 지속적으로 추진하고 있다. 특히, 고준위폐기물이 처분된 다음 수백 세대 내지 수만 세대에 이르기까지 방사선적 안전성이 보장된다는 것을 국민들에게 심어주기 위하여 다각적인 실증시험을 계획·추진하고 있다. 그러나 시험의 한계성, 즉 실험실적 시험, 현장시험, 또는 복합된 시험을 수행할 수 있는 기간은 20 내지 30년에 불과하기 때문에 이 기간동안의 결과로 머나먼 후세까지 외삽하여도 그 신뢰도가 지속될 수 있는지의 여부를 과학적으로 증명해야 하는 어려움이 있다. 따라서 외국의 경우 이의 신뢰구축과 다양한 실측자료의 축적을 위하여 실제와 유사한 심부지하에 공학적 방벽과 관련된 연구시설을 마련하여 연구가 추진되고 있으며(표 1 참조), 또한 고고학적 자료 또는 자연유사현상(natural analogue)에 대한 해석도

과학적 근거를 마련하는데 일익을 담당하고 있다.

고준위폐기물 관리에 있어서 최선진국이라 할 수 있는 스웨덴의 경우, 사용후핵연료를 직접 처분하는 정책을 취하고 있다. 1985년 이후부터 사용후 핵연료는 저장수조에 저장하고 있으며, 이를 2008년경까지 심지층처분장을 건설하여 영구 처분한다는 계획을 세워놓고 있다. 심지층처분에 필요한 실증적인 연구를 수행하기 위하여 SKB(Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company)는 1995년에 아스포섬에 Hard Rock Laboratory를 건설하였다. 이 시설은 총 연장 4 Km, 수직깊이 450 m에 달하는 터널로 심지층처분장 부지선정을 위한 조사방법, 주변모암 및 지하수문학적조건, 방사성핵종의 지반내 이동확산, 공학적 방벽 등에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 국토의 대부분이 산악으로 구성되어있는 스위스의 경우도 지하에 연구시설을 설치하고 고준위폐기물의 심지층처분기술개발에 박차를 가하고 있다. 옴프라우요흐, 아이거지역을 포함하는 화강암괴에 위치한 그림셀 지하연구시설에서는 독일, 일본, 미국, 스웨덴, 프랑스, 스페인, 대만, 벨기에, 핀란드 등의 다국적 협력연구가 진행되고 있다. 특히 공학적 방벽을 통한 핵종의 이동(migration)에 관한 연구가 활발하며, 완충 및 뒷채움재에 의한 방사성핵종의 흡착특성에 관한 연구도 괄목할만하다. 표 2는 각국에서 채택하고 있는 고준위폐기물 처분용기의 거치방식별 비교이다.

표 1. 고준위폐기물의 심지층처분관련 연구시설현황

국가	지질	처분시설 운영시기	실증 시험시설
미국	응회암	2010	ESF(Yacca Mt.) : 1993년 건설착수
캐나다	심성암(화강편마암)	2025	URL : 1983년 건설(운영중)
스웨덴	화강암	2020	Stripa : 1980-1992사용 (현재 운영중료) Aspo : 1986년 건설 (운영중)
스위스	결정질암 점토	2020	Grimmel : 1993년 운영개시 Terri : 1995년 건설개시
일본	결정질암	2035	토노 : 1995년 건설개시
프랑스	화강암 점토	미정	처분기술개발 종합평가보고서 완결 최소 2곳의 URL 건설예정(2000년)
한국	미정	미정	처분관련 기초연구 착수단계

3. 완충재

3.1. 완충재의 특성

고준위폐기물을 심부 지층에 처분하는 경우의 공학적 방벽에서 완충재란 처분공과 처분용기(container)사이의 빈 공간을 채우는 투수성이 낮고, 흡착성이 뛰어난 물질을 일컫는다. 완충재는 자연방벽과 조화를 이루면서, 주위 암반에 존재하는 지하수가 처분공으로 침투하는 것을 최소화시키고, 폐기물로부터 지하수에 용해된 핵종이 주위 암반으로

기술기사

표 2. 고준위폐기물의 처치방식별 비교

거치방식	장점	단점	비고
1. Vertical Borehole Emplacement • 수직굴착공에 처분	• 수평처분 방법보다 부속 설비가 단순 (중력이용)	• 처분용기가 긴 경우 Emplacement Drift가 높아짐	• 미국 : Salt, Tuff • 독일 : Salt • 스웨덴 · 캐나다 : Crystalline Rock
2. Angled Borehole Emplacement • Drift하단부의 양쪽으로 경사지게 굴착된 borehole에 처분	• Emplacement Drift의 이용율이 좋고, Drift의 전체 길이를 줄일 수 있음.		• 벨기에 : Clay (Reference Concept)
3. Horizontal Borehole Emplacement • Drift 양쪽으로 수평지게 굴착된 Boreholes에 처분	• 처분된 사용후핵연료의 회수 (retrievability)가 용이 • 굴착이 어려움. • 처분공에 대한 처분밀도가 높음. • Drift에 물이 침투 할 경우에도 처분 공이 물에 잠기지 않음.		
4. Drift Emplacement • 수평으로 굴착된 갱도(drift)에 처분	• 처분장내에서 사용후핵연료의 수송 및 처분 용이. • Self-Shielded Cask 사용시 방사성 피폭을 극소화 • No radiolysis at the near fields	• 수송/처분용량 이 큼 • 수송/취급장비가 필요	• 독일 : Salt(* POLLUX Cask : 8 PWR Ass., Total wt. 64 ton) • 스위스, 스웨덴, 캐나다 : Crystalline rock • 벨기에 : Clay
5. Very Deep Borehole Emplacement • 약 6,000m 되는 깊은 굴착공에 3,000m 이상 깊이까지 처분	• 방사성물질이 누출되어 지중이동을 한다 할지라도 생물권까지는 오랜 시간이 소요됨. • 처분공 직경이 ~1m정도로 비교적 작아 밀봉 용이 • 불순세력에 의한 인위적인 회수가 불가능하고, 많은량의 처분이 가능	• 지하 5 내지 10km정도의 심부지층에 대한 지질학적, 수리학적 정보 미비	• 덴마크 : Salt

유출되는 것을 저지시킨다. 또 완충재는 외부의 기계적인 충격으로부터 폐기물 및 처분용기를 보호해주고, 폐기물로부터 발생하는 붕괴열을 주위 암반으로 발산시켜, 처분용기가 열응력(thermal stress)을 받지 않도록 하는 역할도 한다. 고준위폐기물의 심지층처분과 관련한 완충재가 지녀야 할 기본요건에 대하여 간략히 기술하면 다음과 같다.

(1) 낮은 수리전도도(hydraulic conductivity)와 확산도(diffusivity)

주위 암반으로부터 처분장 내로 침투하는 지하수의 이동을 제한하고, 핵종의 외부로의 이동을 저지하려면 수리전도도와 확산계수가 낮아야한다. 일반적으로 수리전도도는 완충재의 다짐밀도가 증가함에 따라 낮아지는 경향이 있다(그림 1). 즉, 순수 벤토나이트(bentonite)의 경우 다짐밀도가 증가할수록 완충재의

수리전도도가 낮아지며, 일반적으로 다짐밀도가 2.0 Mg/m³ 근처에 있는 Na-벤토나이트의 수리전도도는 5×10^{-14} m/s정도로서 포화상태에서는 불투수성으로 볼 수 있다. 따라서 처분장 주위 암반의 지하수는 처분시설 내로 관통하지 못하고 우회하여 흐르게 되므로, 이 경우 완충재를 통한 방사성핵종의 이동은 주로 확산(diffusion)에 지배된다. 양이온(cation)이 음이온(anion)보다 잘 확산되며, 이온의 크기가 작은 것이 큰 것보다 잘 확산된다(스트론튬과 세슘의 확산계수는 각각 5×10^{-11} m²/s와 8×10^{-12} m²/s이다).

(2) 높은 지지력(bearing capacity)

처분용기가 처분공 내에서 장기간 일정한 위치를 유지 할 수 있도록 완충재는 높은 지지력을 가져야한다. 일반적으로 벤토나이트로 만들어진 기성다짐블록(precompacted blocks)은 높은 지지력을 보인다

다. 포화단위중량이 2.0-2.1 Mg/m³으로 다져진 경우에는 백만 년에 약 10mm이하의 침하가 일어날것으로 예상된다. 심지어 1.5 Mg/m³의 밀도에서도 완충재는 처분용기를 장기간 일정위치를 유지시킬 수 있으므로 벤토나이트 완충재의 침하에 대한 안전도는 매우 높은 것으로 나타났다.

(3) 낮은 팽윤압(swelling pressure)

외부용적의 변화 없이 지하수에 의하여 포화되었을 때 처분용기와 주위 암반에 과도한 부하를 주지 않도록 팽윤압이 낮아야한다. 팽윤압은 완충재의 밀도와 관계가 있다. 다짐밀도 2.0-2.1 Mg/m³인 순수 벤토나이트의 팽윤압을 실험실과 Stripa 프로젝트에서 실물 크기의 실험을 통한 측정 결과 약 10 MPa로 보고되었다. 이 값은 처분장 폐쇄 후 지하수로 포화되었을 때 암반 균열 및 완충재의 빈틈을 메울 수 있기에 충분한 정도의 팽윤압이며, 동시에 주변 암반의 기존의 응력상태에 변화를 주지 않는 압력이다. 그림 2는 팽윤압과 다짐밀도 사이의 관계곡선이다.

(4) 주변암반과 유사한 열전도도(thermal conductivity)

함수비 5-14%, 다짐밀도 2.1 Mg/m³인 벤토나이트

트의 열전도도는 0.96-1.15 W/(m · K)이다. 이때의 heat capacity는 2.02-2.56 MJ/(m³ · K)이다. 지하수가 벤토나이트 완충재로 유입되면 열전도도는 1.50 W/(m · K)로 증가한다. 완충재의 열전도도는 주위 모암의 열전도도와 유사하여야한다. 특히 방사성핵종의 붕괴열로 인해 처분시설의 온도가 상승될 때, 재료가 수축되어 균열이 발생되지 않아야 한다.

(5) 높은 핵종저지능(retention capacity)

폐기물 처분용기가 부식 등에 의해 파손된 후 폐기물에 함유되어 있던 방사성핵종이 주위 암반으로 유출되는 것을 저지할 수 있도록 핵종의 분배계수(distribution coefficient)가 높고, 겔보기확산계수(apparent diffusion coefficient)는 낮아야 한다. 이는 완충재의 양이온흡착능과 관계가 된다. 점토는 고유의 결정격자의 불완정성이 광물에 음극의 표면전하를 띄게 하며(그림 3), 작은 입자크기(큰 비표면적)와 표면전하가 결합하여 점토광물 표면의 활성을 크게 함으로써 양이온흡착능을 증가시킨다. 주요 점토광물의 비표면적은 카올리나이트(kaolinite, 20m²/g), 일라이트(illite, 80m²/g), 몬모릴로나이트(montmorillonite, 800m²/g)의 순으로 증가한다. 벤토나이트의 주 점토광물인 몬모릴로나이트가

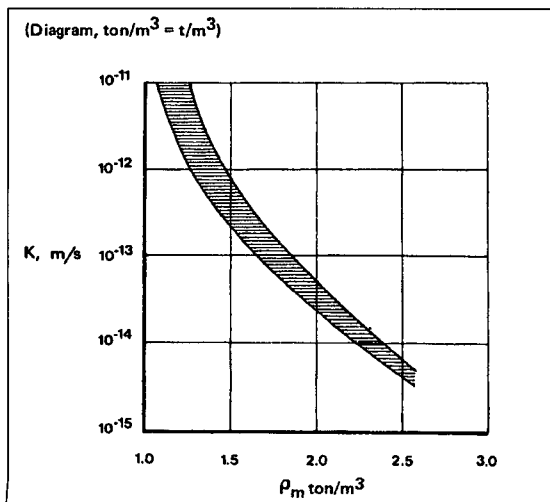


그림 1. 다짐밀도와 수리전도도의 관계

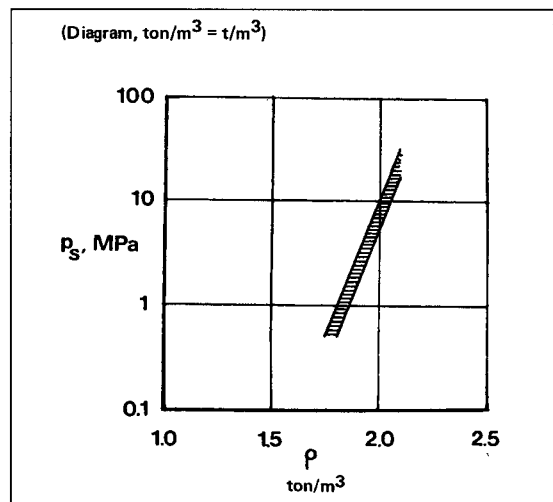


그림 2. 팽윤압과 다짐밀도

【 기술기사 】

전하결합과 표면적이 가장 커서 표면활성이 가장 강한 점토광물이다. 따라서 다른 두 점토 광물보다 핵종저지 관점에서 가장 유리하다.

(6) 양호한 다짐밀도(density)

처분공에 완충재로 매립되는 기성다짐블록은 약 100 MPa의 압력의 다짐으로 만들어진다. 블록과 주변압반 사이는 벤토나이트 분말로 채운다. 이때, 건조한 상태의 블록의 밀도는 2.1-2.2 Mg/m³ 이고 분말의 밀도는 1.2 Mg/m³이다. 처분공내의 벤토나이트 완충물질이 지하수로 완전 포화되고 팽윤(swelling)이 멈춘 상태에서의 밀도는 평균적으로 2.0-2.1 Mg/m³ 정도를 갖게된다.

(7) 장기건전성(longevity)

처분환경에서 접하는 온도, 압력, 지구화학조건 범위 내에서 전 기간에 걸쳐, 설계성능을 유지하여야 하며, 때로는 염수(saline water)환경 하에서도 건전성을 유지할 수 있어야 한다. 또 모암에서 일어나는 장기변형(deformation)을 수용할 수 있는 유연성을 가져야 한다.

(8) 적절한 점토광물(clay minerals)

완충재로는 몬모릴로나이트가 주성분인 벤토나이트가 많이 사용된다. 벤토나이트는 층간이온이 Na⁺인가 Ca²⁺인가에 따라 Na-벤토나이트와 Ca-

벤토나이트로 구분한다. Na-벤토나이트가 봉합(sealing)과 팽윤성(swelling)이 뛰어나고 이온교환능도 우수하여 처분장 완충재로 선호되고 있다. Ca-벤토나이트도 고밀도로 다져진 상태에서는 Na-벤토나이트와 거의 유사한 물성을 나타내나, 수리전도도는 같은 조건에서 Na-벤토나이트보다 약 다섯 배가 더 크게 나타났으며, 균질도도 떨어지는 것으로 나타났다. 일반적으로 벤토나이트는 유기물(organic matter)을 함유하고 있다. 유기물 함량이 200 mg/kg을 초과하게 되면 처분용기의 부식을 촉진시키므로 이는 사전에 제거되어야 한다. 유기물은 425°C에서 15시간 가열하여 분해시킨다. 이때의 열은 벤토나이트의 팽윤성에는 아무런 영향을 미치지 않는다. 한편, 순수한 벤토나이트는 처분용기를 지지하는 bearing capacity, 전단강도 등의 역학적 특성과 열전도도가 비교적 낮기 때문에 이를 보완하기 위하여 벤토나이트를 고밀도로 압축시켜 입자간의 공극률을 최소로 만든 블록형태로 사용하거나, 역학적 특성과 열전도도가 뛰어난 모래와 섞어 혼합물의 형태로 사용하는 방안이 고려되고 있다.

3.2 외국의 완충재 현황

완충재로서의 점토는 세계적으로 널리 분포되어 있으나, 벤토나이트와 같은 특정 점토는 그다지 흔치 않다. 가장 매장량이 풍부한 Na-벤토나이트의 가채광산은 미국과 캐나다에 분포되어 있으며, 유럽에서는 주로 Ca-벤토나이트가 산출되고 있다. 현재 완충재에 관한 연구가 가장 활발하게 진행되고 있는 나라는 캐나다, 스웨덴, 스위스 등이며, 이들 나라 외에는 아직 후보 물질의 기본 물성을 측정하는 단계에 머물고 있는 실정이다.

(1) 캐나다

공학적 방벽용 완충재로는 캐나다 서스쿼치안 지역에서 산출되는 Na-벤토나이트인 Avonseal 벤토나이트와 모래의 혼합물이 고려되고 있다. 이 점토의 광물학적 조성은 몬모릴로나이트 79%, 일라이트

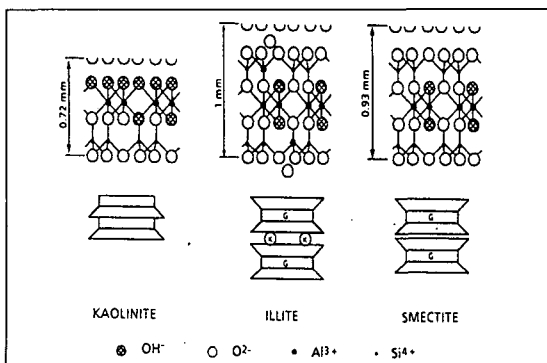


그림 3. 주요 점토광물의 결정구조

9.5%, 석영(quartz) 5%, 장석(feldspar) 3%, 석고(gypsum) 2%, 그리고 방해석(calcite) 1.5%이다. 연구 결과에 의하면 완충재의 수리전도도 및 핵종의 확산계수를 감소시키기 위해 필요한 최소유효점토 건조밀도는 약 1.2 Mg/m³이다. 캐나다에서는 작업자의 안전과 다량의 완충재를 취급하는데서 오는 어려움을 고려하여 완충재를 현장에서 설치한 후 압축하는 방안을 개발하였다. 완충재를 현장에서 압축할 경우, 가할 수 있는 압력에는 한계가 있으므로 얻을 수 있는 최대유효점토의 밀도는 제한되어 있다. 최대 300%의 액성한계와 250%의 소성지수를 가진 Avonseal 벤토나이트에 대해 최대유효점토의 밀도는 1.3 Mg/m³이었다. 실제 처분장 폐쇄 작업시 현장의 최대 건조밀도는 상기 값의 95%인 1.21 Mg/m³ 정도로 예상된다. 이 건조밀도에서 팽윤압은 800-2,000kPa 정도이며, 이때의 수리전도도는 10-10 m/sec 보다 작으며, 건조수축 또한 2%보다 작다. 이 값들은 기준 사용후핵연료 처분용기의 설계부하와 유사하다. 벤토나이트-모래 혼합물은 건조수축이 적고, 지지력과 열전도도가 높아, 어떤 면에서는 동일한 유효점토 건조밀도를 가진 100% 벤토나이트보다 완충재로서의 성능이 우수하다. 캐나다에서는 건조 중량 기준으로 50%의 비율로 혼합된 벤토나이트와 균질한 실리카샌드의 혼합물을 기준 완충재(reference buffer material, RBM)로 선정하였다.

(2) 스위스

완충재와 관련된 실험을 포함하는 FEBEX(Full-

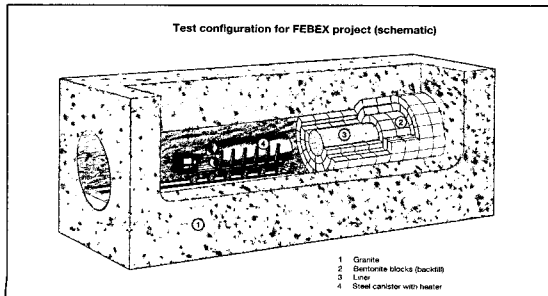


그림 4. FEBEX 터널의 개략도

sclae Engineered Barriers EXperiments) 프로젝트는 2020년 이후 실제 고준위폐기물을 처분하게 될 때의 상황을 재현하여 실제로 발생하게 될지도 모르는 문제점을 파악하고, 이에 대처하여 폐기물처분의 protocol을 만들려는 시도로 시스템을 실제 자연 환경에서 실험하는 것이다.

이러한 FEBEX 프로젝트는 고준위폐기물을 처분할 터널에서의 조건을 모사 할 수 있는 Grimsel Test Site(GTS)에서 1:1 규모로 실험을 시행한다(그림 4). 스위스와 스페인의 고준위폐기물처분 프로그램에는 많은 유사성이 있는데, 두 나라 모두 결정질암(화강암, 편마암)과 점토의 퇴적으로 형성된 모암에 대해 조사중에 있다. 처분의 개념과 모암의 유형과 무관하게 중요한 것이 바로 공학적 방법이다.

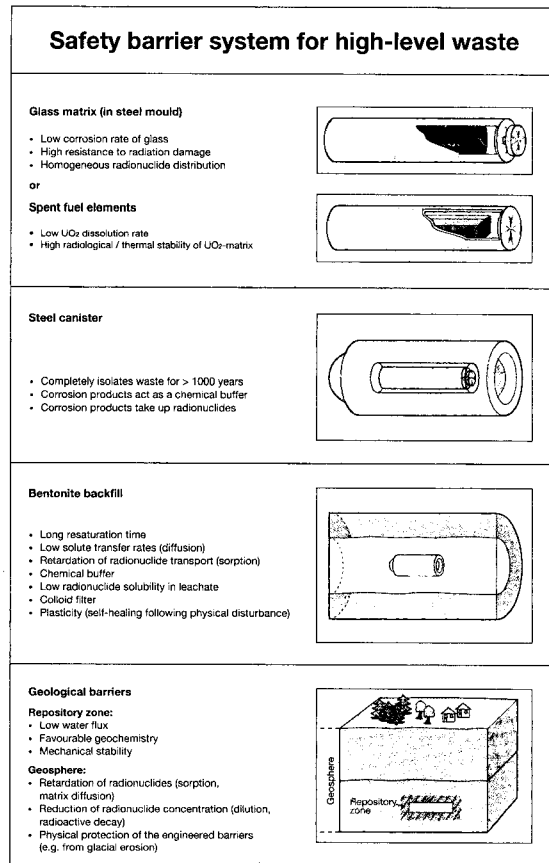


그림 5. 고준위폐기물의 저장을 위한 스위스의 안전방벽시스템

【 기술기사 】

화강암에서 고준위폐기물의 경우 두 나라에서 참고로 하는 공학적 방벽 시스템은 거의 동일하다(그림 5). 스위스에서 사용하는 벤토나이트의 밀도는 1.65 Mg/m^3 에서 1.75 Mg/m^3 범위의 값으로 결정되었다. 완충재 후보물질로 고려되고 있는 벤토나이트는 Ca-벤토나이트인 Montigel 벤토나이트로서 광물 조성은 몬모릴로나이트 66%, 운모(mica) 12-15%, 일라이트 2%, 석영 8.3%, 장석 2-4%이다.

3.3 국내의 완충재 현황

우리 나라의 고준위폐기물 처분용 완충재에 대한 연구는 이제 시작단계이다. 이에 대한 연구는 우선 국내에서 완충재로서 사용이 가능한 물질에 대한 물리·화학적특성을 규명하여야 하고, 이러한 완충재에 대한 다짐기술 등에 대하여 연구가 이루어져야한다. 여기서는 국내에서 생산되는 벤토나이트의 특성과 다짐기술에 대하여 순서대로 기술한다.

(1) 벤토나이트의 산출상황 및 특성

국내에서 벤토나이트는 1970년대에 이르러 지질학적·광상학적 관심의 대상으로 대두되었으며, 그 후 여러 학자 및 기관에 의하여 보고·연구되고 있다. 이는 경상북도 일원인 연일, 장기, 감포지역 등 제삼기층(第三紀層) 분포지역에 배태(胚胎)되어진다. 제삼기층군은 하부의 장기층군 및 상부의 연일층군으로 대별되는데, 한 광상을 제외하고는 모두가 화산성 퇴적암류인 응회암(tuff, 凝灰岩)을 협재한 장기층군에서 그 주요한 산출이 알려지고 있다. 벤토나이트를 배태한 층군의 제삼기층 최하위 지층인 장기역암에서부터 대·소규모의 차이는 있다. 이들의 분포지역은 그림 6에 보이는 바와 같다.

이들이 응회암의 분포와 밀접한 관계를 보이는 것은 그들의 생성원인이 화산유리(琉璃)질로부터 변질된 산물임을 간접적으로 시사하는 하나의 현장 증거가 되기도 한다. 비교적 순수한 벤토나이트는 다른 쇠설성 퇴적물의 양이 매우 적다. 그리고 중물의 종류 및 특징은 벤토나이트의 근원물질이 화산성 기원임을

지시한다. 이러한 사실은 벤토나이트가 원지성 퇴적물이거나 운반·이동이 되었다 하더라도 비교적 근거리이었음을 시사한다. 벤토나이트 광상은 상·하위 지층과의 경계가 점이적(漸移的)인 곳도 있고, 분명한 곳도 있으나, 후자의 경우가 더 많다. 경제적 규모를 갖는 주요한 광상을 배태한 층군은 연일 및 장기지역에서는 장기역암, 눌대리 조면암질응회암, 하부현무암질응회암, 상부함탄층 및 상부현무암질응회암이며, 감포지역에서는 효동리화산암류, 하서리안산암질응회암 및 용두리응회암이다. 광상은 대부분 응회암의 층리면을 따라 협재되나 이의 수평적인 연장은 1~2km에 이르는 것은 드물고 1km 미만의 것이 대부분이며, 층의 두께는 수m에서 십수m에 이르기까지 다양하며, 두께가 두꺼운 경우 순수한 벤토나이트층의 연속이 아니며 수m사이마다 얇은 층의 사질세일이 협재되어 있다. 지금까지 조사 보고된 광상은 50여개에 이르며, 현재 가행중인 광상은 수개소이다. 1986년 동력자원연구소에 의하면 확정된 광량은 약 7백만톤이며, 확인, 추정 및 예상광량을 합한 총 예상광량은 약 4,100만톤으로 보고되고 있다. 이들 매장광량중 일부는 노천채굴이 불가능한 광량도 포함되

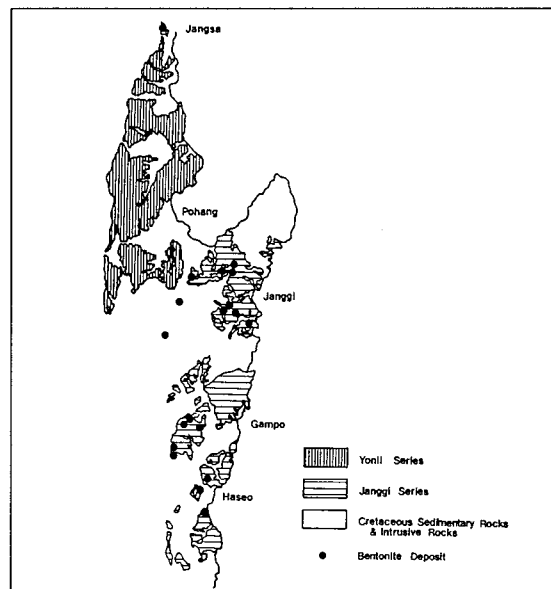


그림 6. 벤토나이트 광상

어 있다. 벤토나이트의 몬모릴로나이트 함유량은 산지에 따라 차이를 보이는데, 현재 채광되어 사용되는 원광의 경우 약 50~93%의 함유량을 보인다. 사용목적에 따라 차이가 있을 수 있지만, 일반적으로 함유비가 높을 수록 더욱 유리하다. 특히 물성과 밀접한 관계를 갖는 교환성양이온의 종류는 Ca^{2+} , Mg^{2+} 가 우세한 양이온이며, 갑포지역의 시료들이 다른 지역의 시료보다 Na^+ 이온이 상대적으로 높게 나타난다.

(2) 국내산 벤토나이트의 특성

벤토나이트는 몬모릴로나이트가 주 구성광물로 이루어지며, 몬모릴로나이트의 층간에 존재하는 교환성양이온 중 우세한 양이온의 종류에 따라 크게 Na- 혹은 Ca-벤토나이트로 구분되며, 국내에서 산출되는 벤토나이트는 Ca-벤토나이트이다. 모든 산출지로부터 대표 시료를 채취하여 이들의 물리·화학적 성질중 기본이 되는 표면적, 수분함량, 양이온교환능, 팽창도, pH, 점도, 액성한계의 측정결과를 표 3에 표시하였으며, 이들 특성이 산지에 따라 어떠한 변화를 보이는지 검토하였다. 측정된 물리·화학적 성질은 각 시료의 몬모릴로나이트 함량과 밀접한 관계를 보이기 때문에 함께 표 3에 실었다. 그리고 고준위폐기물처분장의 완충재가 갖추어야 할 주인자인 수리전도도에 대해서도 기술하였다.

1) 표면적

표면적은 최저 임곡동시료의 경우 279 m^2/g 에서 최고 장성백이시료의 경우 780 m^2/g 까지 몬모릴로나이트의 함량에 따라 다양한 변화를 보여준다. 이 측정된 표면적을 이론적으로 계산된 표면적 810 m^2/g 으로 단순히 나누어줌으로써 몬모릴로나이트의 함수량을 계산하였다. 벤토나이트에서 부성분광물로 흔히 산출되는 석영, 장석 및 카올리나이트 등의 표면적은 약 20 m^2/g 내외로 몬모릴로나이트의 것에 비해 매우 적을 뿐 아니라 함유비(含有比) 또한 매우 낮아 이들 부성분광물에 의한 영향은 무시하고 계산한 값이다. 예를 들어 결정도가 낮은 카올리나이트의 경우 석영

이나 장석 혹은 결정도가 높은 카올리나이트에 비해 표면적이 큰 약 25±4 m^2/g 을 갖는데, 만약 이 광물이 50%가 몬모릴로나이트와 혼재된다고 가정할 경우 이들 부 성분 광물이 표면적에 미치는 결과는 13 m^2/g 으로서 몬모릴로나이트의 함유량으로 계산한 경우 불과 1.6%로서 EGME(에틸렌·글리콜 모노에틸 에테르)에 의한 오차한계 ±5%에도 미치지 못한다. 위 방법에 의해 측정된 표면적으로부터 계산된 몬모릴로나이트 함유량은 34~96%의 범위를 나타낸다.

2) 수분함량

수분함량은 시료에 따라 큰 차이를 보이는데 범위는 6.38~16.46%에 이른다. 흡착되는 물의 양은 층간에 존재하는 양이온의 종류에 따라 약간 차이가 나지만 국내산 몬모릴로나이트는 모두 Ca-계로서 우세한 양이온은 Ca와 Mg이다. 수분함량과 몬모릴로나이트 함량은 몬모릴로나이트 함량이 증가할수록 수분함량도 증가되는 관계를 보여주고 있다.

3) 양이온교환능

33개의 시료의 양이온교환능(CEC)은 임실 시료의 최저 32 meq/100g에서 전골시료의 최고 96 meq/100g의 값을 나타낸다. 이 차이는 일반적으로 부성분광물 즉 불순물의 함유량의 많고 적음에 기인한다. 불순물의 함량이 감소할수록 벤토나이트의 CEC는 증가한다. 일반적으로 벤토나이트에서는 몬모릴로나이트의 함량이 높을수록 CEC가 증가되거나 높은 비석(沸石)광물을 함유하는 경우 몬모릴로나이트의 함유비와는 관계없이 CEC가 높아지기 때문에 원광의 광물조성을 모를 때 CEC만으로 몬모릴로나이트의 함량 혹은 벤토나이트를 평가하는 것은 매우 위험한 일이다.

4) 수소이온농도(pH)

pH는 산성인 4.5에서 알카리성인 9.8에 이르기까지 다양한 변화를 보이고 있다. 연일(延日)지역에서 산출되는 시료들은 산성에서 알카리성 범위의 값을

【 기술기사 】

표 3. 우리나라 벤토나이트의 물리화학적 성질(문희수, 1987)

Sample	Surface area (m ² /g)	Montmorillonite content(%)	Moisture (%)	Cation exchange capacity (meq/100g)	pH	Swelling rate (ml/10g)	Liquid limit	Viscosity(cps)	
								apparent	plastic
Jugjeong-1	661	82	14.35	67.5	5.2	22.8	89	1.6	2.0
Jugjeong-2	696	86	15.97	78.6	5.4	24.2	127	1.7	1.5
Batdugol	299	37	6.04	89.2	5.4	14.5	66	1.7	1.5
Unjangsan-1	456	56	8.13	92.7	9.7	35.5	92	2.0	2.0
Unhangsan-2	380	47	8.81	52.9	5.1	18.5	78	1.7	1.7
Dogujeong	438	54	11.20	50.4	5.0	19.8	78	1.2	1.3
Baekilryong	435	54	10.82	58.4	6.4	26.0	85	1.5	1.8
Jangseungbaegi	780	96	16.46	76.6	5.0	26.4	147	1.7	1.5
Deungnum-4	398	49	9.39	55.4	8.7	15.0	72	1.5	1.5
Deungnum-5	485	60	11.56	72.6	8.9	18.5	129	1.5	1.2
Deungnum-6	441	55	9.67	94.7	8.7	18.3	68	1.5	1.8
Sinchangri	699	86	15.05	72.1	5.7	18.2	114	1.7	1.7
Jeongol	809	99	9.12	94.7	6.2	26.9	76	1.7	1.5
Sangjeong	428	53	10.69	52.9	5.6	18.0	95	1.7	1.5
Bangsanri	493	61	9.95	45.3	8.1	20.8	69	2.0	1.8
Seongdongri	491	61	11.19	53.0	5.5	24.8	106	1.9	1.8
Sinjeong-1	553	67	12.09	59.5	5.8	21.0	111	1.5	1.5
Sinjeong-2	686	85	15.09	63.0	5.0	24.2	113	1.9	2.0
Yangpo	448	55	10.16	76.1	6.2	25.4	113	1.9	1.8
Jangsa	683	84	14.98	69.5	4.2	18.0	139	1.7	1.5
Haseori	413	51	9.89	56.4	8.8	71.0	109	2.4	2.3
Beomsilmot	722	89	15.72	86.7	6.4	26.0	105	2.0	2.0
Wolchon-1	642	79	11.56	72.6	7.2	18.0	134	1.9	1.6
Wolchon-2	-	-	11.37	70.5	9.3	40.4	210	3.6	3.4
Jabut	554	68	12.18	67.5	7.8	19.0	104	1.9	2.8
Jugjeon-1	456	56	9.81	63.5	9.8	68.5	222	4.2	4.0
Jugjeon-2	516	64	10.02	62.0	9.2	83.0	292	3.7	0.7
Jugjeon-3	479	59	9.71	70.5	9.5	70.5	211	4.1	6.4
Yongdongri	568	70	11.89	54.9	8.7	24.5	92	1.7	1.7
Hwanseo	509	63	11.90	62.5	8.0	22.8	89	1.9	1.8
Imgogdong	297	35	6.38	32.2	6.0	20.6	76	1.9	2.0
Mopo	670	83	12.93	67.0	6.9	22.0	107	2.0	1.5
Hwaam	598	74	13.14	70.0	9.1	36.4	144	1.7	2.0

보이는 데 반해 감포지역의 시료들은 거의 대부분 알카리성을 나타내고 있으며 풍화작용에 의해서 2가의 교환성양이온 즉 Ca^{2+} 나 Mg^{2+} 은 1가의 H^+ 이온으로 교환되고 있다. 또한 풍화작용이 진행되면 몬토릴로나이트는 열적특성이 달라진다. 벤토나이트의 색 또한 pH와 관계를 보이는데, 담황녹색을 띠는 경우 대부분 산성의 pH를 나타낸다.

5) 팽윤성

팽윤도는 뱃두골시료의 14.5 ml/10g에서부터 죽전시료의 83.0 ml/10g에 이른다. 그러나 대부분의 시료들은 20 ml/10g 내외의 전형적인 Ca-벤토나이트의 팽창도를 나타낸다. 그리고 온도 100℃를 기점으로 하여 그 이상 200℃까지는 팽윤도가 급격히 증가하지만, 그 이상의 온도에서는 완만히 감소하는 경향을 나타내고 있다. 한편, 압축벤토나이트의 건조밀도에 따른 팽윤압은 건조밀도 1.6Mg/m³ 정도까지는 아주 완만하게 증가하지만, 1.8Mg/m³에서는 급격히 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 초기수분의 함량이 낮을 수록 팽윤압이 높은 경향이 있지만, 10Wt%이상에서는 거의 차이가 없음을 보여주고 있다.

6) 수리전도도

벤토나이트의 압축밀도 변화(1.4 ~ 1.8Mg/m³)에 따른 수리전도도는 건조밀도가 증가함에 따라 반대수좌표 상에서 선형적으로 감소하는 경향을 나타내고 있지만, 건조밀도가 1.4 Mg/m³ 정도만 하여도 수리전도도는 10-12 m/s 이하로서 대단히 낮은 값을 나타내고 있다. 그리고 온도변화(20 ~ 80℃)에 따른 수리전도도는 주로 유체의 점도에 의존하는데, 80℃에서의 벤토나이트의 수리전도도는 20℃에서의 수리전도도의 3 ~ 4 배정도 증가함을 나타내고 있다.

(3) 완충재의 다짐 기술

① 다짐의 원리

느슨한 상태의 완충물질은 다져서 단위중량을 증가시키므로써 완충재의 강도가 증가되고 지지력이

증가하며, 구조물에 바람직하지 못한 침하량이 감소되고 안정된다. 완충재의 다짐정도는 완충재의 건조단위중량(γ_d)으로 판단하는데, 다질 때 물을 가해주면 물은 윤택유처럼 완충재 입자들 간에 작용하게 되어 완충재 입자들은 서로 미끄러져서 조밀하게 다져진다. 유사한 여러 가지 다짐 방법에서 일반적으로 함수비가 증가함에 따라 다져진 완충재의 건조단위중량도 증가하게 된다(그림 7). 함수비 $\omega = 0$ 인 상태에서 습윤단위중량(γ)은 건조단위중량(γ_d)와 같다. 함수비가 점차로 증가되는 상태에서 동일한 다짐에너지를 가했을 때, 단위 부피당 완충재 입자만의 무게가 점차로 증가한다. 예로, $\omega = \omega_1$ 에서 습윤단위중량은 $\gamma = \gamma_1$ 과 같다.

그러나 이 함수비에서 건조 단위 중량은 $\gamma_d(\omega=\omega_1) = \gamma_d(\omega=0) \sim + \Delta\gamma_d$ 로 임의의 함수비 $\omega = \omega_2$ 를 초과하면, 함수비가 증가함에 따라 건조단위중량이 감소하는 경향을 보인다. 이는 고체 입자들로 채워져 있던 공간을 물이 차지하기 때문으로, 최대건조단위중량이 얻어질 때의 함수비를 '최적함수비(optimum moisture content, OMC)'라 한다.

2) 현장다짐

다짐기계가 재료를 다질 때의 원리는 다음 네 가지 중의 하나, 또는 서로 조합한 것에 의한다.

- 로울러 방식 : 매카덤 로울러(macadam roller), 탠덤 로울러(tandem roller)
- 반죽하는 방식 : 양족 로울러(sheepsfoot roller)

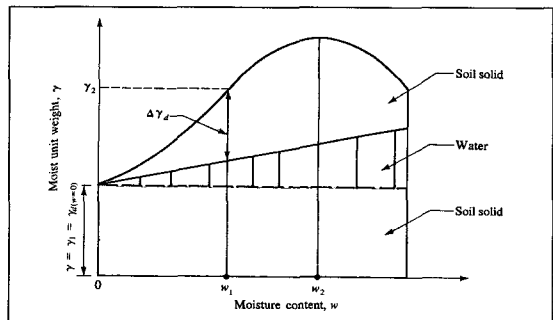


그림 7. 다짐의 원리

【 기술기사 】

- 진동 방식 : 다짐하는 부분이 로울러로 되어 있는 진동로울러와 평판형의 평판식 진동다짐기가 있다.
- 충격 방식 : 무거운 추를 떨어뜨리는 방식의 것으로서 램머 낙추형 콤팩터가 있다.

현장에서 흙을 다질 때는 보통 스무드 휠 로울러(smooth-wheel roller), 양족 로울러(sheepsfoot roller), 고무 타이어 로울러(rubber-tired roller), 진동식 로울러(vibratory roller)등이 있다. 각 로울러에 대하여 알아보면 다음과 같다.

- 스무드 휠 로울러 : 사질토 혹은 점성토로 된 성토에서 끝내기 작업이나 지반의 마무리 작업에 적합하다. 지면과 바퀴 사이의 접지압 300~400 kN/m²을 바퀴의 접지면에 충분히 분포시킬 수 있다. 그러나 두꺼운 토층 위에서 사용할 경우 이 기계로써는 단위중량을 얻기가 어렵다(그림 8).
- 공기 고무 타이어 로울러 : 무게가 200 ton에 달하는 여러 줄의 바퀴를 갖춘 무거운 차량으로 이루어졌는데, 한 둘에 4~6개의 타이어가 달려 있으며 타이어는 근접하여 배치되어 있다. 타이어의 접지압은 60~70 ton/m²이며, 바퀴 전면의 70~80%정도로 작업한다. 고무타이어 로울러는 사질토와 점성토의 다짐에 쓰일 수 있다 압력과 반죽 작용(kneading action)의 조합 효과가 있다(그림 9).
- 양족 로울러 : 많은 수의 돌출부가 있는 드럼으로 이루어져 있으며, 각 돌출부의 면적은 25~

85 cm²이다. 이 로울러는 점성토의 다짐에 가장 효과적이다. 돌출부에서의 접지압은 150~750 ton/m²이다. 현장에서는 처음에 리프트(lift)의 낮은 부분을 다지고 다음에는 리프트의 중간 부분과 상부를 다진다(그림 10).

- 진동로울러 : 사질토를 다질 때 효과적이다. 다지고자 하는 흙에 진동을 주기 위해 스무드 휠 로울러, 공기 타이어 로울러, 또는 양족 로울러가 부착되어 있다.

3) 특수 다짐 공법

- 바이브로 플로테이션(vibroflotation)
이는 느슨한 사질토가 두텁게 쌓여 있는 현장 다



그림 9. 공기 고무 타이어 롤러(Das, 1995)

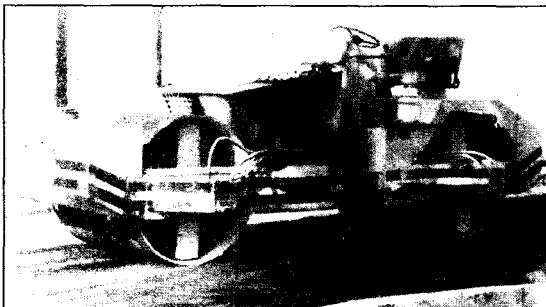


그림 8. 스무스 휠 롤러(Das, 1995)

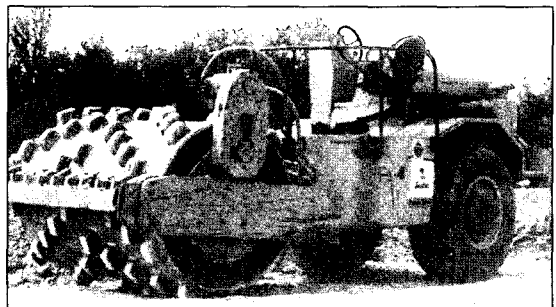


그림 10. 양쪽 롤러(Das, 1995)

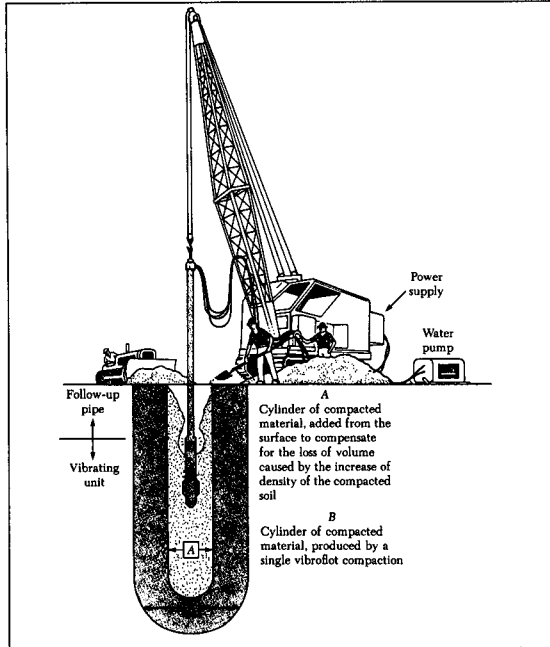


그림 11. 바이브로 플로테이션 장비(Brown, 1977)

짐에 적합하다. 이는 길이 약 2m인 그림 11과 같은 바이브로 플롯(vibroflot)를 사용하는데 진동기는 그 내부에 편심하중이 있어서 원심력을 발생시키고, 추는 진동기가 수평으로 진동할 수 있으며, 이것의 바닥과 위쪽에 구멍이 있어서 물을 뿜어낼 수가 있다(그림 11).

· 동적다짐 (dynamic compaction)

동적다짐은 사질토를 다질 때 주로 이용하는 방법으로, 무거운 추를 일정한 시간을 두고 반복해서 땅에 낙하시키는 것으로, 여기서 사용되는 추의 무게는 8~35 ton이며, 낙하높이는 25~100 ft. (7.5~30.5 m)까지 변화시킬 수 있다. 추 낙하로 인해 발생하는 응력파(stress wave)는 다짐에 도움을 준다. 임의의 지점에서 얻을 수 있는 다짐 정도는 추의 무게, 추의 낙하높이, 추가 낙하하는 위치의 간격다음의 요소에 의해 변한다.

· 발파에 의한 다짐(compaction by blasting)

이는 사질토에 효과적이며, 발파에 의한 다짐에 적합한 흙의 입자 크기는 바이브로플로테이션과

같다. 포화토의 지표면 아래 임의의 깊이에서 60% 다이너마이트 정도의 폭약을 발파시키는 것이 포함된다. 폭약설치의 측방향 간격은 10~30 ft.까지이며, 보통 만족스러운 다짐을 하려면 3~5회의 발파작업이 필요하다. 이러한 방법으로 넓은 지역에 걸쳐 최대 약 60 ft(20 m)깊이까지 최대 약 80%의 상대밀도까지 얻을 수 있다.

· 탈수에 의한 다짐 방법(compaction by dewatering)

지하수위를 낮추어서 다짐을 효율적으로 할 수 있다. 지하수위를 낮추면, 흙의 유효 응력이 증가 되어 다짐 효과를 얻을 수 있다. 그러나, 지하수위를 낮추기 전에 인근 구조물에 영향이 없는지, 그리고 알맞게 다짐을 하는데 시간이 얼마나 걸리는지를 신중하게 고려해야 한다.

4)고준위폐기물 처분장에서의 완충재 다짐 방법

고준위폐기물의 완전 격리를 위한 시설인 처분장의 단면도 및 완충재를 다지는 모습을 그림 12에 나타내었다. 그림에서 보듯이 고준위폐기물은 처분용기 안에 밀봉되어 결정질 암반까지 수직 샤프트를 이용하여 운반하고, 이를 처분장의 터널 바닥에 굴착된 수직처분공에 넣고, 주의 빈 공간을 벤토나이트 완충재로 충전시킨다. 이때 충분한 다짐을 통해 완충재를 완전 압축시킨다. 다음으로 처분장 터널의 하부는 완충재를 앞에서 설명한 일반적인 다짐 방법 및 기구를 이용하여 다진다. 이 후 일반 로울러등의 기계를 이용하여 다짐을 수행할 수 없는 처분장 터널의 상부 및 측면은 분사기를 이용하여 먼저 완충재를 분사하고, 이를 타격하여 다진다.

4. 결론

이상으로 고준위폐기물의 심지층처분 방식과 완충재의 특성 등에 대하여 국내외의 현황을 중심으로 알아보았다. 주지하는 바와 같이 원자력은 안전하고 경제적인 청정에너지이다. 그러나 이는 폐기물에 대한

【 기술기사 】

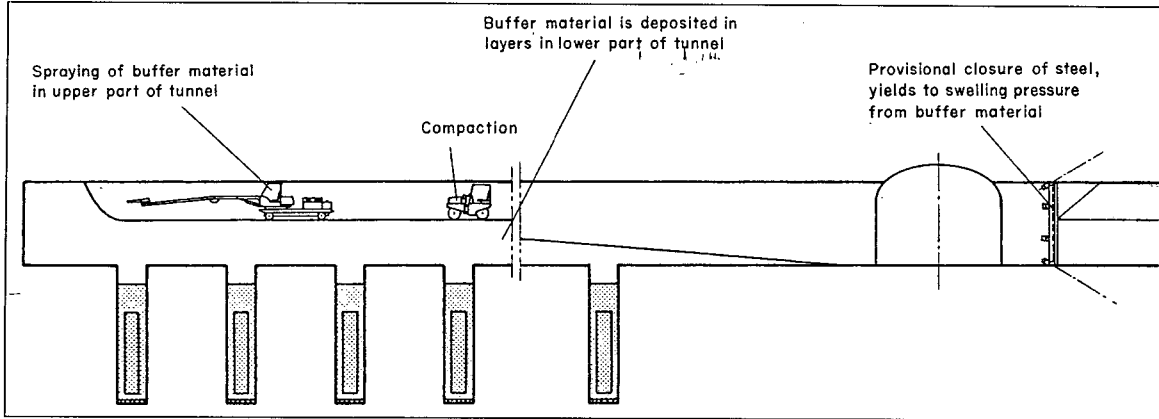


그림 12. 고준위폐기물 처분장에서 완충재의 다짐 (스웨덴, Svensk Kärnbränslehantering, 1983)

안전한 처분기술과 시설이 정립되고 확보되었을 때에 가능한 사실이다. 고준위폐기물의 처분기술은 심부 지하환경이 적용대상이며, 국내 지질환경이 고려된 처분안전성 및 기술성 확보의 문제는 외국으로부터 도입될 수 없는 기술이다.

따라서 현 선진기술 보유국과의 기술격차를 줄이고, 인력과 재원이 한정적인 상태에서 앞으로 추진되는 고준위폐기물 처분연구의 투자효율을 높이기 위하여 처분시스템의 설계, 시공, 운영, 안전성 분야의 연구개발을 전략적으로 추진되어야 할 필요가 있으며, 우선적으로 선진국의 경험으로부터 도출된 고준위폐기물 처분기술 수목에 필요한 국내의 관련 기술분야 및 기술능력의 현황, 나아가서는 기술개발 방안 등에 대한 체계적인 정보가 필요하다. 이러한 관련기술을 조기에 습득하고 우리의 특성에 맞는 기술로 발전시켜 나가기 위해서는 구체적이고도 체계적인 우리의 기술능력이 정량적으로 조사, 분석되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 과학기술부 (1998), 방사선량 등을 정하는 규정, 과학기술부고시 제98-12호
2. 대한토목학회 (1998), 원자력산업에서의 토목/구조 기술분야 기술현황과 미래수요 예측 및 개발전략, 연구보

고서 97-1호

3. 문희수 (1987), "벤토나이트의 광물학적 특성과 용도", 제2회 광물학 심포지움, 한국광물학회, pp. 41-49
4. 문희수, 유장한, 김장환, 조한익 (1987), "국내산 벤토나이트의 몇가지 물리화학적 특성에 관하여", 광산지질, Vol. 20, No. 3, pp.159-168
5. 박준범, 전관식 (1997), "유럽의 고준위폐기물의 처분 기술조사", 한국지반공학회논문집, 제13권, 5호, pp. 169-173
6. 전관식, 박준범 (1997), "방사성 폐기물의 처분기술", 대한토목학회지, 45권, 9호, pp. 37-45
7. 전효택, 문희수, 김규한, 정명채 (1998), 환경지질학, 서울대학교 출판부
8. 조원진, 이재완, 전관식 (1998), 고압축 칼슘벤토나이트의 수리전도도 - 건조밀도의 영향, 한국폐기물학회지 제3권, pp.1-7
9. 한국원자력연구소 (1998), 고준위폐기물 처분개념 정립을 위한 국내 기술능력 조사분석 연구, KAERI/CM-231/98
10. 황진연, 박성완 (1992), "경북 양남지역 벤토나이트광상의 성인적 고찰", 광산 지질, Vol. 28, No. 4, pp. 392-402
11. Anderson F. D. (1985), "Statistical Controls for High Strength Concrete", SP-87, ACI, pp. 71-84
12. Basore, C. E., and Boitano, J. D. (1969), "Sand

- Densification by Piles and Vibroflotation,” Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, pp. 73-92
13. Broun, R. E. (1977), “Vibroflotation Compaction of Cohesionless Soils,” Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 103, No. GT12, pp. 1437-1451
 14. Cho, W.J., Lee, J.O. and Chun, K.S. (1999), The temperature effects on hydraulic conductivity of compacted bentonite, Applied Clay Science Vol. 14, pp.47-58
 15. Cho, W.J., Lee, J.O, Chun, K.S. and Park, H.S. (1999), Analysis of functional criteria for buffer material in a high-level radioactive waste repository, J. Korean Nuclear Society Vol. 31, pp.116-132
 16. Choi, J.W., Whang J.H., Chun K.S. and Lee, B.H. (1991), Thermal effects on the physicochemical properties of domestic bentonite as a buffer material of spent fuel repository, J. Korean Nuclear Society, Vol. 23, pp.456-464
 17. D’ Appolonia, D.J., Whitman, R. V., and D’ Appolonia, E. (1969), “Sand Compaction with Vibratory Rollers,” Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 95, No. SM1, pp. 263-284
 18. Das, B.M. (1998), Principles of Geotechnical Engineering, 4th Edition, PWS PUBLISHING COMPANY
 19. Das, B.M. (1995), Principles of Foundation Engineering, 3rd Edition, PWS PUBLISHING COMPANY
 20. Lee, J.O., Cho, W.J. and Chun, K.S. (1999), Swelling pressure of a potential buffer material for high-level waste repository, J. Korean Nuclear Society Vol. 31, pp.139-150
 21. Leonards, G. A., Cutter, W. A., and Holtz, R. D. (1980), “Dynamic Compaction of Granular Soils,” Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 96, No. GT1, pp. 73-110.
 22. Mielenz, R.C., Shieltz, N. C. and King, M. E. (1955), “Effect of Exchangeable Cation on X-ray Diffraction Patterns and Thermal Behaviour of Montmorillonite Clay. Clays&Clay Miner., vol. 3, pp. 146-173
 23. Moon, H. S. (1984), Mineralogy and Geochemistry of Fuller’s Earth from Southern Korea. Ph.D. Thesis, University of London, U.K. (Unpublished)
 24. Selvadurai, A.P.S. (1992), “Settlement of an Embedded Nuclear Waste Container due to Creep of a Surrounding Geological Barrier”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 257. pp. 575-582
 25. Svensk K rnbr nslehantering A.B. (1983), Final Storage of Spent Nuclear Fuel, KBS-3, Summary, SKBK/KBS, Stockholm, pp. 58
 26. Van Olphen, H. and Fripiat, J.J. (1979), Data Handbook for Clay Minerals and Other Non-Metallic Minerals. Pergamon Press, Oxford.

회비 납부 안내

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 수납하고 있으나 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드립니다. 문의사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

- ① 은행 무통장(타행) 입금
 한국주택은행
 계좌번호: 534637-95-100979
 예 금 주: 한국지반공학회

※ 입금시 보내시는 분의 성명, 회원번호, 송금명세를 기입해서 납부하시기 바랍니다.