

---

## 불량매립지 차폐방안 및 차폐재와 침출수의 반응성에 관한 연구

### Vertical barriers for uncontrolled wastefills and compatibility of leachates with slurries and backfills

정 하 익 Ha-Ik, Jeong<sup>1</sup>, 이 용 수 Yong-Soo, Lee<sup>2</sup>, 심 한 인, Han-In Shim<sup>2</sup>, 우 제 윤 Je-Yoon Woo<sup>3</sup>

- 1 : 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Construction Technology, Seoul
  - 2 : 한국건설기술연구원 지반연구실 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Construction Technology, Seoul
  - 3 : 한국건설기술연구원 지반연구실 수석연구원, Research Fellow, Geotechnical Engineering Division, Korea Institute of Construction Technology, Seoul
- 

**개요(SYNOPSIS)** : In this study, vertical barriers of uncontrolled wastefills and compatibility characteristics of leachates with slurries and backfills for improvement of soil and groundwater environments are suggested from the geoenvironmental point of view. The configuration of subsurface barriers refers to the vertical and horizontal positioning with respect to the pollution source location, and the groundwater flow characteristics. The leachate compatibility test of the slurry and the backfill shows that the slurry was flocculated and fell out of suspension and the backfill was increased its hydraulic conductivity and decreased its strength when exposed to the leachate.

---

### 1. 서론

국내에는 약 1,500여개 정도의 불량매립장이 전국적으로 산재해 있는 것으로 보고되고 있으나, 아직까지도 불량매립지의 정확한 숫자 및 위치가 파악되지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 단지 및 택지개발, 도로건설시 과거의 불량매립지이었던 곳을 직면하게 되는 사례가 종종 발생하고 있다. 불량매립지는 매립지 주위에 지하수 및 토양의 오염을 방지하기 위한 침출수 차수시설이 전혀 설치되지 않거나 설치정도가 미흡하고 기초 바닥이 원지반과 접하고 있어 침출수가 자연 생태계로 그대로 유출되고 있다.

국내의 경우 1980년대 후반기 이전에 건설된 매립지는 차폐시설이 제대로 설치되지 않은 불량매립지가 대부분이며 그 이후에 건설된 매립지는 차폐시설을 갖춘 위생매립지가 주종을 이루고 있다. 최근에 불량 매립지에 의한 주변지역의 오염이 사회적으로 심각한 문제로 대두되어 이와관련한 불량매립지의 정화 및 관리에 대한 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 각종 불량매립지 차폐기술의 종류, 특성, 설치방안 및 사례를 살펴보고 불량매립지에서 발생하는 침출수와 차폐재의 반응성을 검토하여 국내 불량매립지의 지반환경 개선 및 오염제어 방안을 모색하는데 일조하고자 한다.

### 2. 불량매립지의 차폐 방안

#### 2.1 차폐시설의 종류

불량매립지에 사용되는 연직 차폐시설은 차폐재의 재질과 시공방법에 따라 구분될 수 있다. 차폐재의 재질에 따라서는 표 1과 같이 불투수성 벽체(impermeable barrier)와 투수성 벽체(permeable or absorptive barrier)로 분류할 수 있으며, 시공방법에 따라서는 타입식 벽체(driven barrier), 주입식 벽체(injected barrier), 굴착후 채움식 벽체(cut and fill barrier)로 분류할 수 있다.

표 1. 차폐시설의 종류

대 분류	세 분류
불투수성 벽체	- 슬러리월 · 흙-벤토나이트 · 시멘트-벤토나이트 · 소성 콘크리트(plastic concrete) · 강성 콘크리트 · 내화학성 콘크리트 - 시이트 파일 · 강재 시이트(steel sheet) · 합성수지 시이트(geosynthetic sheet) · 목재 · 콘크리트 - 그라우팅 · 암반 그라우팅(rock grouting) · 그라우트 커튼(grout curtain) - 기타 · 흙교반 벽체(soil mixing wall) · 지반동결 벽체
투수성 벽체	- 배수성 벽체 - 흡착성 벽체 · 석회 · 조개껍질 · 활성탄 · 녹사(greensand) · 제오라이트 · 인공 이온교환수지 · 메타이어

## 2.2 차폐시설 특성

### 2.2.1 불투수성 벽체

#### 1) 슬러리월

슬러리월은 주로 침출수에 의한 지하수 오염을 방지하거나 이미 오염된 지하수의 유동을 차폐하는데 사용된다. 이는 오염지역 주위에 트렌치를 굴착하고 불투수성 재료로 뒷채움을 실시하는 것으로, 슬러리월의 형식은 흙-벤토나이트, 시멘트-벤토나이트, 다이아프램 등이 있다. 보통 슬러리월은 침출수의 생성을 억제하거나 생성된 침출수를 제거하기 위하여 표면 덮개나 집수정과 같은 보조적인 수단을 병행하여 사용하며, 일반적인 시공방법에는 트렌치 방법과 진동빔 방법이 있다.

흙-벤토나이트 슬러리월은 시멘트-벤토나이트와 다이아프램월에 비하여 설치비용이 저렴하고, 화학적 저항성의 범위가 크고, 낮은 투수 특성을 가지고 있으며 압축성이 크고, 강도가 낮은 특성을 가지고 있다. 그리고 강산, 강염기 및 특정의 유기 화합물질에 저항성이 약한 것으로 나타났다. 뒷채움재에 함유된 점토의 활성도가 낮은 것이 좋으며 활성도가 높은 경우에는 오염물질에 의한 물리-화학작용에 의하여 투수성이 쉽게 증가할 수 있다.

시멘트-벤토나이트 슬러리월은 흙-벤토나이트보다 강성 및 투수성이 크고 화학적 저항성의 범위가 작다. 이는 흙-벤토나이트보다 화학적 침해에 대한 영향이 크며 특히, 황산염, 강산(pH≤4)과 강염기(pH≥7) 그리고 이온성이 높은 물질에 민감한 반응을 나타낸다. 따라서 화학적 침해를 받기 쉽기 때문에 폐기물이나 고농도의 침출수에 직접 닿는 곳에 사용할 경우 특별한 주의를 요한다. 다이아프램월은 구조적으로 매우 안정된 구조물이지만 설치비용이 고가이기 때문에 강도보다는 차수성이 강조되는 오염지역의 차폐에는 별로 적용되지 않는다. 다이아프램월의 조성된 패널사이에 시공 조인트가 형성이 되는 경우에는 시멘트-벤토나이트월보다 투수성이 클수도 있다. 다이아프램월의 화학적 반응성은 시멘트-벤토나이트의 화학적 반응성과 유사한 특성을 가진다.

플라스틱 콘크리트는 흙-벤토나이트 슬러리월과 시멘트-벤토나이트 슬러리월의 장점을 모두 갖춘 것으로서 투수계수가  $1 \times 10^{-8}$  cm/sec로 투수성이 낮고 강도가 높으며 내구성이 좋은 특징을 가지고 있으나 비용이 고가이다.

#### 2) 시이트파일

시이트파일은 일반적으로 토목공사에서 지하수의 침투저하 및 누수방지에 많이 이용하고 있으며 최근에는 오염된 지역의 침출수 흐름을 차폐하는데도 사용된다. 시이트파일의 재료는 목재, 프리캐스트 콘크리트, 강재 또는 합성수지 등으로, 목재는 차수벽으로서 효과적이지 못하며 콘크리트는 큰 강도가 요구되는 곳에만 주로 사용된다.

강재 시이트파일은 지수가 효과적이며 경제성도 있기 때문에 많이 사용되고 있다. 강재 시이트파일의 이음부에서는 타설 초기에 어느 정도의 누수가 예상될 수 있는데 이를 방지하기 위하여 이음부에 팽창지수제를 도포하여 사용하기도 한다. 합성수지 시이트는 고분자산업의 발달로 최근에 개발된 것으로 화학적 저항성 및 연성이 큰 경우에 적용성이 높다. 이것의 재료는 주로 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)으로 되어 있고 이음부의 밀봉은 팽창지수제에 의하며, 팽창지수제는 화학적 침해에 대해서 영향을 받지 않는 네오프렌류 고무를 사용하고 있다.

### 3) 그라우팅

그라우팅은 액상물질을 지반이나 암반내에 주입 고화시켜 지하수나 오염수의 흐름을 차단하는 것으로 암반그라우팅과 그라우트커튼의 두종류로 적용되고 있다. 이것은 오염물질과 접촉하면 그라우트제의 종류에 따라 정도의 차이는 있지만 고결시간이 연장되거나 내구성이 감소하는 현상이 발생하기 때문에 오염지역 차폐에는 많이 적용되지 않으나 오염지역 암반내의 공극을 밀봉하는데 많이 적용되고 있다.

암반 그라우팅은 암반내 균열, 바위틈, 공동 그리고 기타 다른 공극을 밀봉할 수 있는 것으로 암반층이 오염된 경우에 적용될 수 있다. 그라우트 커튼은 오염지역 주변지반의 지중내에 그라우트 벽체를 형성한 것으로 오염물질종류, 그라우트제의 특성 및 설치 두께에 따라 1열 또는 2열로 설치된다. 그라우트 커튼은 지중의 커튼내에 그라우트제가 침투되지 않는 부분이 있을 수 있어 커튼의 전체 투수성을 크게 증가시킬 수 있으므로 시공시 주의를 요한다.

### 2.2.2 투수성 벽체

투수성 벽체로는 연직배수 벽체와 흡착성 벽체가 있는데, 연직배수 벽체는 벽체의 뒷채움 재료를 투수성 재료로 하여 여기에 집수되는 지하수 및 침출수를 수직배수 처리하는 것이다. 그리고 흡착성 벽체는 뒷채움 재료를 흡착성 재료로 하여 통과되는 지하수내의 오염물질을 자체적으로 흡착 제거시키는 것이다. 배수 및 흡착성 벽체는 시간이 지나감에 따라 포화되고 오염물질이 충전되기 때문에, 재료의 흡착 능력과 기간에 따라 필요시 재료를 교체해 주거나 재활성화하는 작업이 요구된다.

## 2.3 차폐시설 선정 방안

차폐시설은 오염지역내 지하수 또는 오염물질의 수평이동을 억제하거나 배제하기 위하여 적용된다. 이들 차수벽중에서 현장에 적합한 공법을 선정하여야 한다. 오염된 지역을 격리하기 위한 연직 차폐기법은 현장여건, 설치조건 및 오염종류에 따라 다음과 같은 요구사항에 만족하는 것이 좋다.

- 하단부를 포함하여 모든 부분이 완전 차수되어야 함.
- 모든 종류의 지반에 설치 적합하여야 함.
- 균열발생이 적은 재료
- 30년 이상의 내구성 확보
- 나무나 설치류에 저항
- 지반변형에 대처할 수 있는 연성 확보
- 설치방법 간단
- 화학적 침해에 저항
- 경우에 따라 심층지반까지 시공이 가능한 것
- 경제성이 있을 것

이러한 요구조건을 모두 만족하는 차폐벽을 구하거나 개발하는 것은 쉬운 작업이 아니며 아직까지도 모든 조건을 만족시키는 차폐벽은 없을 것이다. 따라서 현장여건, 설치조건, 오염종류, 경제성, 시공성 등을 종합·판단하여 상기의 일부 또는 모든 조건을 만족할 수 있는 최적의 차폐시설을 선정하는 것이 바람직하다.

## 2.4 차폐시설 설치방안

차폐시설의 설치방법은 오염지역의 둘레를 제어하는 수평배치 시스템과 오염지역의 깊이를 제어하는 연직배치 시스템이 있는데 현장 적용시에는 이들을 상호 적절히 조합하여 배치시스템을 구성하는 것이 필요하다.

### 2.4.1 수평배치 시스템

차폐시설을 수평방향으로 배치하는데에는 지하수 흐름방향에 대하여 상류구배 배치방법과 하류구배 배치방법이 있으며 그리고 오염지역 전체를 에워싸는 전주변 배치방법 등이 있다.

전주변 배치방법(circumferential placement)은 가장 적극적인 방법으로서 상류로 부터 오염지역내로 유입되는 비오염 지하수의 양을 거의 차단할 수 있기때문에 침출수의 생성량을 줄일 수 있으며 또한, 오염물질과 차폐벽 재료간에 반응성 문제만 없다면, 오염지역의 하류로 유출되는 침출수량을 대부분 줄일 수가 있다.

상류구배 배치방법(upgradient placement)은 오염지역에서 지하수가 흘러 들어오는 상류구배면에 차폐벽을 설치하는 것으로 수두경사가 큰 경우에 오염지역 주변의 깨끗한 유입 지하수를 오염지역 외부로 우회시키기 위하여 사용된다. 이 시스템은 침출수의 생성을 완전하게 중지시킬 수 있는 없지만 벽체에 의하여 지하수 유입이 차단되어 벽체 배면 지하수가 거의 정지 상태로 되기 때문에 침출수의 생성을 느리게 할수가 있다.

하류구배 배치방법(downgradient placement)은 지하수가 흘러나가는 하류구배 방향의 오염지역면에 차폐벽을 설치하는 시스템으로 비록 일반적으로 사용되는 방법은 아니지만 LNAPLs(light non-aqueous phase liquids) 등과 같이 지하수 상부에 떠있는 경량 불용성 오염물질이나 메탄을 가두고 포획하기 위하여 사용되며, 이때 연직배치 시스템으로는 주로 불투수층내 삽입식보다는 투수층내의 현수식을 적용한다. 이와같은 경우 차폐벽 재료는 침출수와 직접 접촉되기 때문에, 엄격한 반응성 시험이 필수적이다.

### 2.4.2 연직배치 시스템

차폐시설의 연직배치 방법으로는 불투수층내 삽입식과 투수층내 현수식이 있다. 삽입식(keyed-in)은 점토층이나 기반암 등의 불투수층내에 차폐시설을 삽입하는 방식으로 가장 전형적인 연직배치 시스템이다. 불투수층은 차폐지역의 바닥을 형성하며, 완전한 차폐를 위해서는 엄격한 삽입작업이 요구된다. 이러한 형식의 차폐형식은 액상물질을 제어하는데 적절한 방법인데 오염된 지하수에 대한 차폐벽 재료의 내구성을 검토하는 것이 필요하다.

현수식(hanging)은 불투수층 깊이까지 설치하지 않고 투수층내에 일정한 깊이까지 차폐시설을 설치하는 방식으로 불투수층이 상당히 깊은 곳에 위치하여 불투수층까지 설치하는 것이 용이하지 않는 지역에서 기름이나 연료와 같이 물위에 뜨는 경량 불용성물질이나 이동성 가스의 제어에 사용된다.

## 2.5 현장적용사례

본절에서는 K 지역의 한 불량매립지에 적용된 차폐사례를 살펴보고자 한다. 본 매립장은 일반쓰레기 매립장으로 현재 거의 폐쇄·완료되었으며 산간지역에 위치하고 있는 불량매립지이다. 본 매립장의 경우, 차폐방법은 시이트 파일, 슬러리 월, 그라우팅 등의 3가지에 대하여 검토한 결과, 국내에서 시공실적이 많고 본 현장에서의 시공성이 뛰어날 것으로 예상된 강재 시이트파일로 선정하였다. 추가로 침출수 차폐시설과 병행하여 시이트파일 매립장 내측에 양수정을 설치하여 침출수를 집수, 배수처리하는 시스템을 설치 계획중에 있다. 강재 시이트파일 설치된 장면은 그림 1과 같으며 시이트파일 연결부 사이로 침출수가 새어나가는 것을 방지하기 위하여 시이트파일 연결부에 팽창지수제를 도포하였는데 시이트파일에 팽창지수제를 도포한 상황은 그림 2와 같다.



그림 1. 시이트파일 차폐벽이 설치된 장면



그림 2. 시이트파일 연결부 팽창제 도포사례

### 3. 차폐재와 침출수의 반응성연구

오염지반 차폐용으로 쓰이는 차폐재는 물과 접촉함과 동시에 오염물질과 접촉하기 때문에 이들에 대하여 장기간 안정성을 유지하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 지반오염원중에서 불량매립지에 의한 오염이 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 특히 쓰레기매립장을 차폐하고자 할 경우에 발생하는 침출수와 차폐재와의 반응성 연구를 실내 실험을 통하여 살펴보고자 한다. 현재까지 개별적인 화학물질과의 반응성에 대한 연구는 많은 편이나 실제 매립장에서 생성되는 침출수와와의 반응성에 대한 연구결과는 그리 많지 않은 상태에 있다. 현실적으로 불량매립지를 차폐하려는 시도가 증가되고 있는 상황에 있어서 이와 같이 침출수와 차폐재와의 반응성에 대한 연구가 요구된다고 할 수 있다.

#### 3.1 사용시료

본 실험에 사용된 재료는 슬러리월 재료로 선정하였고 슬러리월 재료중에서도 흙-벤토나이트, 시멘트-벤토나이트, 시멘트/플라이애쉬 벤토나이트 및 플라스틱 콘크리트의 4종으로 하였다. 벤토나이트는 국내에서 생산되는 제품으로 나트륨계 벤토나이트(sodium-bentonite)를 사용하였고 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 그리고 플라이애쉬는 삼천포 플라이애쉬를 선택하였고 화강토는 인천시 남구 만수동에서 채취한 시료로 하였다. 차폐재료와의 반응성 검토를 위한 침출수로는 대표적인 불량매립지 차폐계획이 진행되고 있는 난지도 매립장에서 발생하는 침출수로 하였다.

#### 3.2 시험방법

차폐재와 침출수의 반응성을 검토하기 위하여 본 시험에서는 강도시험과 투수시험을 실시하였다. 강도시험은 KS F 2314의 일축압축강도시험으로 하였으며 투수시험은 KS F 2322의 변수위 투수시험방식을 선택하고 강성벽(rigid wall) 투수시험기를 사용하였다. 시험순서는 각종 차폐재료의 혼합, 교반, 모울드에 채움, 수중 양생, 강도 및 투수시험순으로 하였다.

일축압축 강도시험은 직경 5cm, 높이 10cm 시료를 추출하여 수행하였으며, 투수시험은 직경 10cm, 높이 20cm 모울드 시료를 그대로 사용하였다. 슬러리 반응시험은 벤토나이트 5%에 침출수와 중류수를 혼합하여 만든 24시간 이상이 경과된 슬러리시료를 사용하였다.

### 3.3 시험결과 분석

슬러리용액 및 차폐재와 침출수와의 반응성 검토를 위하여 시료 종류별, 침출수 통과유무별, 기간별로 슬러리의 침강특성 실험 및 뒷채움 차폐재의 강도시험과 투수시험을 실시하였으며 이들 결과를 분석하면 다음과 같다.

#### 3.3.1 슬러리의 반응 특성

벤토나이트 슬러리에 염분이나 화학물질이 혼합되게 되면 화학물질과의 반응성에 의하여 슬러리가 제대로 형성되지 않게 된다. 본 연구에서는 슬러리의 원수로서 지하수와 침출수를 사용하였으며 이들의 혼합에 따른 슬러리의 침강특성을 살펴보았으며 그 결과를 그림 4에 제시하였다. 그림에서 보는바와 같이 침강깊이는 침출수 성분이 증가함에 커지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 벤토나이트 점토가 침출수와 접촉함에 따라 물보다 dielectric constant가 작고 이온농도가 큰 침출수의 영향에 의하여 확산 이중층 두께가 감소되어 벤토나이트 점토가 응집되고 면모구조로 변화되었기 때문으로 보인다.

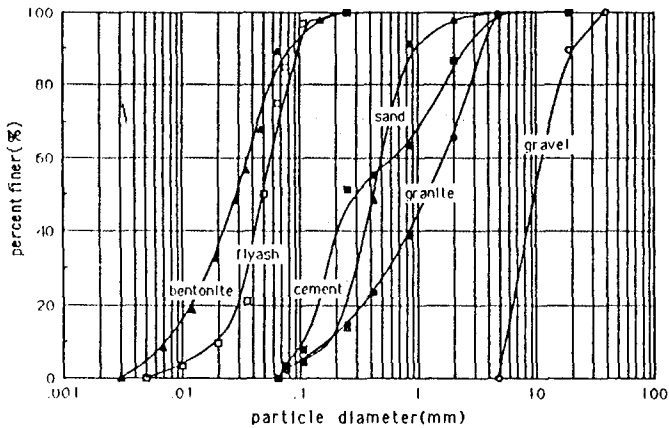


그림 3. 입도분포곡선

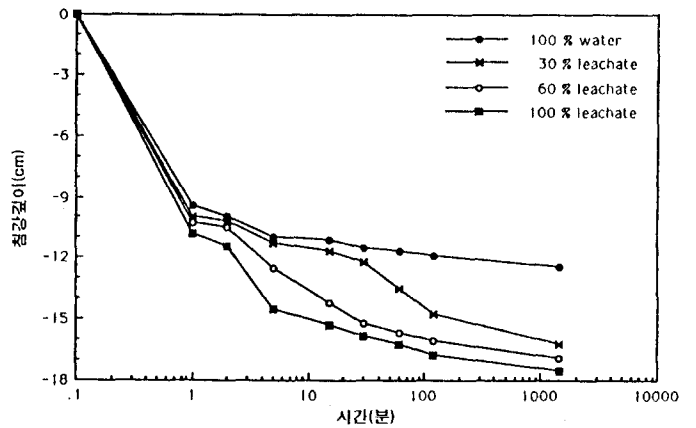


그림 4. 침강 시험결과

#### 3.3.2 뒷채움재의 반응 특성

##### 1) 강도특성

차폐재의 종류에 따른 종류수 및 침출수에 대한 일축압축강도 시험결과를 표 2에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 압축강도의 크기를 살펴보면 흙-벤토나이트, 시멘트-벤토나이트, 플라스틱 콘크리트 순으로 나타나 강도면에 있어서는 플라스틱 콘크리트가 가장 높게 나타남을 알 수 있다.

##### 2) 투수특성

차폐재는 매립지내의 침출수가 외부로 유출되는 것을 방지하기 위한 역할을 하므로 투수특성은 차폐재의 성질 중에서 가장 중요한 요소가 된다. 각 차폐재에 대한 투수 시험결과를 표 3에 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 투수계수의 크기를 살펴보면 흙-벤토나이트, 플라스틱 콘크리트, 시멘트-벤토나이트 순으로 나타나 투수성에 있어서는 흙-토나이트가 가장 작게 나타남을 알 수 있다. 그리고 27일 경과후의 투수계수가 7일 경과시보다 작게 나타나 시간이 경과함에 따라 투수계수가 점차 감소함을 알 수 있다. 차폐재와 침출수의 반응에 의하여 투수계수가 증가하는 것으로 나타났으며 그 증가량은 1~5배 정도로 나타났다.

표 2. 차폐재의 일축압축강도 시험결과 (단위 : kg/cm<sup>2</sup>)

차폐재의 종류	7일		28일	
	중류수	침출수	중류수	침출수
화강토+멘토나이트+물				
73 : 2 : 25	0.174	0.323		
68 : 2 : 30	-	-		
63 : 2 : 35	-	-		
65 : 5 : 30	-	0.169		
68 : 8 : 30	-	-		
시멘트+멘토나이트+물				
20 : 3 : 77	0.150	0.540		
15 : 5 : 80	0.063	0.141		
20 : 5 : 75	-	0.191		
25 : 5 : 70	0.772	2.069		
20 : 7 : 73	0.302	0.857		
시멘트+fly ash+멘토나이트+물				
10 : 20 : 3 : 67	0.109	0.431		
10 : 30 : 3 : 57	0.301	0.697		
15 : 10 : 3 : 72	0.234	0.924		
25 : 10 : 3 : 62	1.960	4.972		
10 : 10 : 5 : 75	-	0.175		
멘토나이트+자갈+모래+시멘트+물				
3 : 40 : 30 : 2 : 25	0.993	1.105		
3 : 40 : 30 : 5 : 22	1.222	1.448		
3 : 40 : 30 : 8 : 19	1.862	2.197		
3 : 40 : 30 : 11 : 16	2.534	3.028		
5 : 40 : 30 : 5 : 20	-	5.541		

표 3. 차폐재의 투수 시험결과 (단위: cm/sec)

차폐재의 종류	7일		28일	
	중류수	침출수	중류수	침출수
화강토+멘토나이트+물				
73 : 2 : 25	5.90x10 <sup>-6</sup>	7.16x10 <sup>-6</sup>	3.07x10 <sup>-6</sup>	3.37x10 <sup>-6</sup>
68 : 2 : 30	9.06x10 <sup>-6</sup>	9.83x10 <sup>-6</sup>	5.06x10 <sup>-6</sup>	5.60x10 <sup>-6</sup>
63 : 2 : 35	7.42x10 <sup>-6</sup>	1.13x10 <sup>-5</sup>	4.82x10 <sup>-6</sup>	4.27x10 <sup>-6</sup>
65 : 5 : 30	-	-	1.72x10 <sup>-7</sup>	3.23x10 <sup>-7</sup>
68 : 8 : 30	6.98x10 <sup>-6</sup>	9.48x10 <sup>-6</sup>	4.85x10 <sup>-6</sup>	4.41x10 <sup>-6</sup>
시멘트+멘토나이트+물				
20 : 3 : 77	1.85x10 <sup>-5</sup>	2.13x10 <sup>-5</sup>	7.29x10 <sup>-6</sup>	5.66x10 <sup>-6</sup>
15 : 5 : 80	3.21x10 <sup>-5</sup>	4.89x10 <sup>-5</sup>	1.05x10 <sup>-5</sup>	8.11x10 <sup>-6</sup>
20 : 5 : 75	-	-	1.24x10 <sup>-6</sup>	5.02x10 <sup>-6</sup>
25 : 5 : 70	8.34x10 <sup>-6</sup>	9.44x10 <sup>-6</sup>	4.51x10 <sup>-6</sup>	4.57x10 <sup>-6</sup>
20 : 7 : 73	1.39x10 <sup>-5</sup>	2.13x10 <sup>-5</sup>	6.69x10 <sup>-6</sup>	8.54x10 <sup>-6</sup>
시멘트+fly ash+멘토나이트+물				
10 : 20 : 3 : 67	4.08x10 <sup>-5</sup>	3.36x10 <sup>-6</sup>	9.26x10 <sup>-6</sup>	9.60x10 <sup>-6</sup>
10 : 30 : 3 : 57	1.43x10 <sup>-5</sup>	1.69x10 <sup>-5</sup>	7.60x10 <sup>-6</sup>	9.60x10 <sup>-6</sup>
15 : 10 : 3 : 72	3.67x10 <sup>-5</sup>	5.63x10 <sup>-5</sup>	1.15x10 <sup>-5</sup>	9.61x10 <sup>-6</sup>
25 : 10 : 3 : 62	1.08x10 <sup>-5</sup>	1.27x10 <sup>-5</sup>	5.44x10 <sup>-6</sup>	6.33x10 <sup>-6</sup>
10 : 10 : 5 : 75	-	-	1.93x10 <sup>-6</sup>	7.80x10 <sup>-6</sup>
멘토나이트+자갈+모래+시멘트+물				
3 : 40 : 30 : 2 : 25	1.82x10 <sup>-5</sup>	2.31x10 <sup>-5</sup>	4.49x10 <sup>-6</sup>	4.669x10 <sup>-6</sup>
3 : 40 : 30 : 5 : 22	1.29x10 <sup>-5</sup>	1.72x10 <sup>-5</sup>	3.94x10 <sup>-6</sup>	4.10x10 <sup>-6</sup>
3 : 40 : 30 : 8 : 19	8.69x10 <sup>-6</sup>	1.27x10 <sup>-5</sup>	2.86x10 <sup>-6</sup>	3.03x10 <sup>-6</sup>
3 : 40 : 30 : 11 : 16	7.58x10 <sup>-6</sup>	9.95x10 <sup>-6</sup>	2.57x10 <sup>-6</sup>	2.93x10 <sup>-6</sup>
5 : 40 : 30 : 5 : 20	-	-	2.68x10 <sup>-7</sup>	4.09x10 <sup>-7</sup>

4. 결론

이상과 같은 연구 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- 오염지역의 차폐시설로는 불투수성과 투수성 차폐시설이 있으며 불투수성 차폐재로는 슬러리월, 시이트파일, 그라우팅, 흙교반, 동결벽 등이 있고 투수성 재료로는 석회, 조개껍질, 활성탄, 수지, 페타이어 등이 있다.
- 오염지역 차폐시설 설치방법에는 불투수층내 삽입식, 투수층내 현수식의 연직배치 방법과 전주면, 상류구배, 하류구배의 수평배치 방법이 있으며 오염종류, 오염정도, 지질특성, 경제성, 시공성 등을 고려하여 적절한 배치방법을 조합하여 사용하는 것이 필요하다.

- 3) 슬러리월 굴착시 사용되는 슬러리와 침출수의 반응성 실험결과 벤토나이트가 국부적으로 응집이 이루어지고 슬러리 현탁액이 제대로 형성되지 않는 현상이 발생하였으며 침출수 성분이 증가함에 따라 침강깊이가 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 차폐재의 강도 및 투수특성을 살펴보면 배합비에 따라 다르겠지만 보통 강도면에서는 흙-벤토나이트, 시멘트-벤토나이트, 플라스틱 콘크리트 순으로 크게 나타났으며 투수성에서는 시멘트-벤토나이트, 플라스틱 콘크리트, 흙-벤토나이트 순으로 작게 나타났다. 그리고 차폐재와 침출수의 반응에 의하여 투수성이 1~5배 정도 증가하는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. ASTM (1990), Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory, Designation 192, 7p.
2. Vreeken, C., Van Eyk, J., Loxham, M., and Visser, W. (1992), "Remedial actions at operating petrochemical sites", *Geotechnique* 42, No.1, pp.23~31.
3. Daniel, D. E. (1993), *Geotechnical practice for waste disposal*, Chapman & Hall, 683p.
4. Ground Engineering Ltd.(1985), First canadian engineering technology seminar on the use of bentonite for civil engineering applications, 106p.
5. Brandl, H. (1993), "Cellular cut-off walls for waste containment", Eleventh Southeast Asian Geotechnical Conference, pp.827~832.
6. Hajnal, I., Marton, J., and Regele, Z. (1984), *Construction of diaphragm walls*, John wiley & Sons
7. Joseph, S. D., etc (1990), "Subsurface migration of hazardous wastes", Van Nostrand Reingold, 387p.
8. Cortlever, N. G., (1993), Geolock, plastic HDPE-liner for vertical cut-off barriers around land fills, *Geotechnics Holland*, 16p.
9. Petros, P. X. (1979), *Slurry walls*, McGraw-Hill Book Company, 622p.
10. US EPA (1985), Handbook : Remedial action at waste disposal sites, EPA-625-6-85-006, pp.1.1-11.32.
11. US EPA (1985), Slurry trench construction for pollution migration control, EPA-540-2-84-001, pp.1.1-4.23.
12. 김지성 (1990), 흙-벤토나이트 차수벽 재료의 공학적 성질에 관한 실험적 연구, 석사학위 논문, 인하대학교.
13. 김용구 (1989), 시멘트-벤토나이트 차수벽의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 석사학위논문, 인하대학교.
14. 정하익 (1994), "오염지반 및 지하수의 정화기술", 한국건설기술연구원, 건설기술정보, 통권 133호, pp.22-26.
15. 한국건설기술연구원 (1995), 오염지반 정화기술에 관한 연구, 중간보고서, 건기연 94-GE-113-1.