

# 폐기물 매립장의 차폐재와 침출 화학성분과의 상호작용 분석

Analysis of Chemical Compatibility of Leachates with  
Liner Materials in the Waste Landfills

정 하 익\*1  
Jeong, Ha-Ik  
장 연 수\*2  
Jang, Yeon-Soo

---

## Abstract

The compatibility of chemicals in the leachates with the three natural and artificially-made liner materials is analyzed by performing the laboratory hydraulic conductivity test. The selected liner materials are natural marine clay, fly ash and weathered granitic soil sampled from Kimpo Wastefills, Seochon power plant and Mansu Dong, Inchon, respectively. Bentonites of 20 and 10 percent by weight are used as additive materials for fly ash and weathered granitic soil and the chemical solutions used in the test are acetic acid, methanol, heptane, and aniline which are frequently found in the leachate of waste fills. The concentrations of the chemical solutions are 100% and 75%.

The results of the tests show that hydraulic conductivities of the liner materials are increased by one or two orders of magnitude with permeating pure chemical solutions. The rate of hydraulic conductivity increase is lowest for Seochon fly ash admixed liner and highest for natural marine clay liner. The influence of hydraulic chemical solutions on the liner materials is least for acetic acid and largest for aniline. The increases of conductivity are not shown with the permeation of the solution of concentration 75%. At least by this test results, it can be recognized that the tested liner material can be quite stable with the solutions of significantly high concentration except pure solutions.

## 요 지

국내 폐기물 매립장에서 이용이 기대되는 3종의 자연 및 인공혼합 차폐재를 선정하여 실내 투수 실험을 실시하여 차폐재와 화학용액과의 상호작용에 의한 반응성을 검토하였다. 연구에 사용된 차

---

\*1 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원

\*2 정희원, 동국대학교 토목공학과 조교수

폐재 주재료는 김포해안 매립장 주변의 자연해성점토, 서천화력발전소의 부산물인 플라이애쉬 그리고 인천시 만수동 주변의 화강토이며 플라이애쉬와 화강토에는 벤토나이트를 각각 20%, 10%씩 첨가하였다. 시험에 사용된 투수 용액으로는 침출수에 많이 함유되고 있는 acetic acid, methanol, heptane, aniline의 4종이며 투수용액의 농도변화에 따른 차폐재의 투수특성을 살펴보기 위하여 투수용액의 농도를 100, 75%로 하여 실험을 실시하였다. 시험결과 화학원액의 통과에 의하여 차폐재의 투수성이 수배에서 수백배까지 증가하였고 증가정도는 서천플라이애쉬 혼합차폐재가 가장 작고 해성점토가 가장 크게 나타났다. 화학용액 중에서 투수성에 미치는 영향은 acetic acid가 가장 작고 aniline이 가장 큰 것으로 나타났으며 농도가 75%인 용액을 침출시킨 경우에는 차폐재 모두 투수성의 증가를 보이지 않아 원액을 제외한 상당한 고농도의 용액에도 본 실험에 사용된 차폐재의 투수계수가 안정함을 보여 주었다.

## 1. 서 론

폐기물 매립장에는 매립 폐기물로부터 흘러나온 침출수가 주변지반 및 지하수층으로 이동되는 것을 방지하기 위하여 차폐재(liner)를 설치하게 되며 이때 사용되는 차폐재는 물과 접촉함과 동시에 침출수에 포함된 화학성분과 접촉하게 되므로 이들에 대하여 장기간 안정성을 유지하여야 한다. 그러므로 차폐재는 물 및 침출 화학 성분에 대한 적용성이 반드시 검토되어야 한다. 선진외국의 경우는 사전에 차폐재와 화학 성분과의 반응성을 검토하여 라이너의 설계 및 시공시에 이를 반영하고 있으나<sup>1)</sup> 국내의 경우에는 이에 대한 검토없이 외국문헌 및 시방서만을 기준으로 하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 적용성이 높으리라 예상되는 해성점토, 서천플라이애쉬 혼합재 및 화강토 혼합재의 3종의 자연 및 혼합 차폐재에 대한 시험연구를 통하여 화학성분과의 반응성을 검토하여 이의 적용성을 살펴보고 국내 매립장 차폐재 적용시 참고적인 자료를 제시하고자 한다. 시험에 사용된 화학용액으로는 폐기물에서 발생하는 침출수 중에 함유되고 있는 유기물중에서 대표적으로 산성인 acetic acid, 중성인 methanol과 heptane 그리고 염기성인 aniline으로 하였으며 화학용액의 농도변화에 따른 차폐재의 투수특성을 살펴보기 위하여 화학용액의 농

도를 100, 75%로 변화시켜 시험을 실시하였다.

## 2. 흙-화학성분의 상호작용 이론

폐기물 매립장에 설치되는 바닥차폐재(bottom liner), 덮개(cover), 슬러리월 등 폐기물 매립장 차폐재로서 사용되는 세립질 흙과 화학 성분과의 반응에 의한 투수계수 변화 및 이에 대한 민감성 파악은 침출수에 대한 차폐재의 성능을 파악하는데 있어서 중요하다.

본 시험에 사용되어진 해성점토와 혼합차폐재의 첨가재료인 벤토나이트가 갖는 낮은 투수계수는 미세한 입자 뿐만 아니라 판상 조직과 표면의 부전하로 인하여 형성되는 확산 이중층(diffused double layer)과 이들 입자사이의 반발력에 기인한다. 확산 이중층은 부전하를 띠고 있는 입자 표면 주위에 이온이 에워싼 형상을 나타내며 이중층의 두께는 다음과 같은 식으로 표현된다.<sup>2)</sup>

$$H = \left[ \frac{DkT}{8\pi n_0 \epsilon^2 v^2} \right]^{1/2}$$

여기에서 H는 이중층의 두께, D는 층간 액체의 dielectric 상수, k는 Boltzman 상수( $1.38 \times 10^{-16}$  erg/K), T는 절대온도(°K),  $n_0$ 는 전해질 농도,  $\epsilon$ 는 단위 전하량이며,  $v$ 는 공극액내 양이온 價를 나타낸다.

이중층의 두께는 층간 그리고 반발력에 관계하여 결국 점토입자간의 물리적 상호작용에 영

향을 미친다. 따라서 이중층의 두께가 감소하면 점토가 면모구조(flocculated structure)가 되어 투수계수가 증가하고 이중층의 두께가 증가하면 점토입자가 분산구조(dispersed structure)로 되어 투수계수가 감소하게 된다. 침출수내 여러가지 영향요소에 따른 이중층의 두께 변화, 즉 점토구조와 투수계수 변화 특성은 표 1 과 같이 나타내었다.

본 시험에서는 국내 매립장에 사용되는 세립 토 차폐재료에 대하여 침출수가 침투되었을 때 이러한 확산 이중층이 갖게 되는 변화와 이에 상응한 투수계수의 변화를 알아 보고자 하였다.

표 1. 공극액의 특성에 따른 이중층, 점토입자, 투수 계수의 변화<sup>2)</sup>

침출수내 영향요소	영향요소 변화	이중층 변화	점토구조 변화	투수계수 변화
dielectric 상수	증가/감소	증가/감소	분산/면모	감소/증가
전해질 농도	증가/감소	감소/증가	면모/분산	증가/감소
양이온가	증가/감소	감소/증가	면모/분산	증가/감소
양이온 크기	증가/감소	증가/감소	분산/면모	감소/증가
pH	증가/감소	증가/감소	분산/면모	감소/증가
음이온 흡착	증가/감소	증가/감소	분산/면모	감소/증가

### 3. 사용시료 및 투수용액

본 시험에 사용된 재료는 해성점토의 자연차폐재와 플라이애쉬 및 화강토에 벤토나이트를 섞은 인공혼합 차폐재로 하였다. 본 연구대상 차폐재로서 해성점토, 플라이애쉬 및 화강토를 선정한 이유는 해성점토는 해안 폐기물 매립장 기초지반을 구성하는 자연차폐재로서 국내의 경우 육상 매립지의 부족으로 해안 매립장의 신설이 증가하고 있는 상황이므로 시기적으로 연구의 가치가 있고 플라이애쉬는 화력발전소에서 생성되는 산업부산물로서 폐자재의 재활용이라는 측면에서 큰 의의가 있으며 화강토는 국내 어느 현장에서도 찾아볼 수 있어 차폐재로서 적용하기에 타재료에 비해 수월하기 때문이다.

플라이애쉬 및 화강토를 차폐재로 사용할 경우에는 일반적으로 그 자체만으로는 적용성이 미흡하기 때문에 석회, 시멘트, 벤토나이트 등을 첨가하여 혼합재를 만들어 사용하고 있다.<sup>3) 4) 5) 6)</sup> 본 실험에서는 이중에서 벤토나이트가 투수저감효과가 크기 때문에 첨가제로서 벤토나이트를 사용하였다. 벤토나이트 첨가량은 플라이애쉬, 화강토 각각 20%, 10%로 하였는데 여기에서 적용된 벤토나이트의 첨가비율은 물에 의한 투수시험 결과에 따라 투수계수가  $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$  이하가 되는 비율이다.<sup>7)</sup>

해성점토는 김포 해안매립지의 일부인 인천 경서동 매립장 부근에서 채취하였고 플라이애쉬는 무연탄을 사용하는 서천화력발전소에서 채취하였으며 화강토는 인천직할시 남구 만수동에서 채취하였다. 해성점토, 서천 플라이애쉬, 그리고 화강토의 입도분포 형태를 살펴보면 그림 1과 같다. 첨가제로 사용된 벤토나이트는 국내 벤토나이트 제조회사인 한국 아이엠(주)에서 생산되는 제품으로 나트륨계 벤토나이트(sodium-bentonite)을 사용하였다.

사용된 시료의 특성을 살펴보면 표 2와 같다. 표에서 보는 바와 같이 해성점토, 플라이애쉬 및 화강토는 점토, 실트 및 실트질점토로 분류가 된다. 다짐특성을 살펴보면 최대건조밀도는 자연점토가  $1.73 \text{g/cm}^3$ 으로 가장크고 최적함수

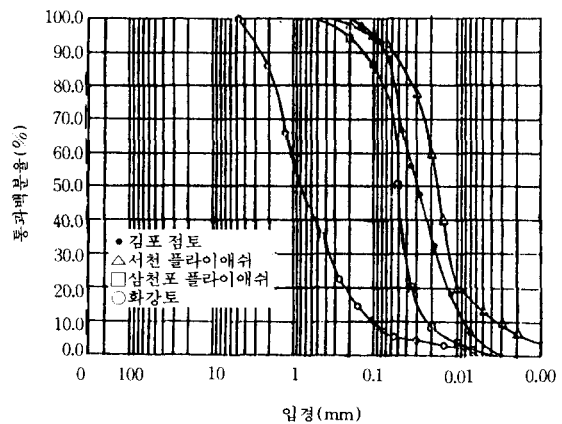


그림 1. 주재료의 입도분포곡선

표 2. 사용시료의 공학적 특성

시료명	항목	비중	다짐특성		입도분포		통일분류	비고
			최대건조 밀도(g/cm <sup>3</sup> )	최적함수 비(%)	곡률계수 Cu	200 체 통과량(%)		
인공혼합 라이너	화강토+ 벤토나이트10%	2.46	1.690	17.4	10.0	5.0	MC	인천시 남구 만수동 채취
	서천플라이애쉬+ 벤토나이트20%	2.18	1.517	18.6	6.6	93.0	ML	서천 화력 발전소 부산물
자연 라이너	김포해성점토	2.70	1.730	18.2	4.5	90.0	CL	인천시 경서동 매립장 채취

표 3. 차폐재 침투용액의 특성

용액	분자식	분자 무게(g)	물과의 용해성 (g/L)	밀도 (g/L)	점도 (g/L)	Dielectric 상수	비고	
물	H <sub>2</sub> O	18.0	-	0.998	1.02	80.0	중극성	
화학용액	Acetic Acid	CH <sub>3</sub> COOH	60.1	Miscible	5.05	1.28	6.2	산성
	Methanol							
	Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.21	53.0	0.68	0.409	1.9	중비극성
	Aniline	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	93.12	36.0	1.022	4.47	6.9	염기성

\*상기값은 20℃ 기준임.

비는 서천플라이애쉬 혼합재가 28.6%로 가장 크게 나타났다.<sup>7) 8)</sup>

차폐재 투수시험에 사용한 용액으로는 물과 화학용액으로 하여 현장에서 차폐재가 접하게 되는 상황을 실험실에서 간접적으로 모사할 수 있도록 하였다. 화학용액은 폐기물에서 발생하는 침출수 중에 함유되고 있는 유기물질 중에서 대표적으로 산성, 중성, 염기성의 성질을 나타내는 용액 4종을 선정하였다.

화학용액은 표 3에서 보는 바와 같이 산성용액으로는 acetic acid, 중성용액 중에서 극성 용액으로 methanol, 비극성 용액으로는 heptane, 그리고 염기성 용액으로 aniline을 선정하였고 용액의 농도는 각각 100% 및 75%로 하여 차폐

재의 투수특성을 검토하였다. 시험에 사용된 화학용액의 특성을 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

Acetic acid는 도시폐기물 매립장의 유기물질이 부패되어가는 과정에서 발생하는 유기산으로서 물에 완전히 용해되며 dielectric 상수는 6.2이다. Methanol은 alcohol계로서 역시 물이 완전히 용해되는 성질을 가지고 있으며 dielectric 상수는 33.6이고 공업용 feedstock와 용매로서 주로 사용된다. Heptane은 탄화수소계로 물에 대한 용해도가 53.0g/l로서 물에 잘 섞이지 않는 화학용액이며 dielectric 상수는 1.9로 선정된 화학용액 중에서는 가장 작은 값을 가지며 폐유와 공업용 용매에서 주로 나타난다.

그리고 aniline은 아민계열의 유기염으로 di-electric 상수가 6.9이고 용해도가 36g/l로서 용해도가 낮기 때문에 수용액은 투수계수에 크게 영향을 미치지 않으나 본 용액이 고농도로서 차수재와 접촉되면 투수계수에 큰 영향을 미칠 수 있다.

#### 4. 시험방법

차폐재와 침출용액과의 반응성을 검토하기 위한 투수시험은 KS F 2322의 정수위투수시험 방식(constant head test)을 선택하고 강성벽(rigid wall) 투수시험기를 사용하였다. 투수시험 시료는 다짐시험의 결과로부터 밀도는 최대 건조밀도의 95% 그리고 함수비는 최적함수비에 3%를 더한 함수비로 하여 제작하였다. 여기서 함수비를 최적함수비보다 습윤측으로 3%를 더한 것은 일반적으로 최소투수계수는 보통 최적함수비에 2~4%를 더한 함수비 상태에서 생긴다고 보고되었기 때문이다.<sup>1)</sup>

화학용액에 의한 투수특성 파악은  $10^{-7}$ cm/sec 정도의 낮은 투수계수를 갖는 세립토에서 화학용액과 차폐재와의 상호작용성이 일어나기 위하여 적어도 2~3 공극체적(proe volume) 이상의 침출액을 흘려보내야 하므로 자연상태의 동수경사로서는 수주 이상의 시간이 소요된다. 따라서 그림 2에서 보는 바와 같은 질소개스를 이용하여 압력을 높힌 상태에서 정수위 투수시험을 하였고 시료는 직경 10cm, 높이 8cm의 것을 사용하였다. 투수압은 고압력 질소탱크를 통해 포화시의  $0.2\text{kg/cm}^2$ 에서 최고  $2.4\text{kg/cm}^2$ 의 질소압을 가하였다. 사용된 질소의 순도는 99.99%로 하였다. 여기에서 가압기체를 질소를 사용한 것은 실험중 투수용액인 화학용액과 사용 공기와의 반응으로 인한 화학용액의 변질을 최소로 하기 위한 때문이다. 특히 시험중 고압을 갑자기 가할 경우 시료 자체 및 모올드와의 경계부분에서 균열이 일어날 수 있으므로 압력을 24시간에 걸쳐 단계별로 증가하여 가하였다. 투

수시험은 3연식 투수장치를 이용하여 3개의 시료에 대한 투수실험을 동시에 수행하였으며 투수시험시 동수경사는 최대 300까지로 하였다.

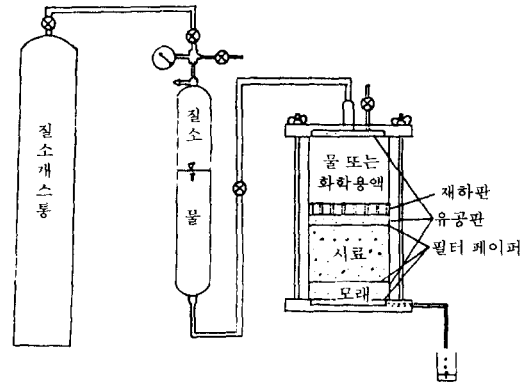


그림 2. 압력 투수실험 장치 개요도

#### 5. 시험결과 및 고찰

차폐재는 투수특성에 따라 매립지내 침출수의 유출이 좌우되기 때문에 투수특성은 차폐재의 중요한 특성이라고 할 수 있다. 선진외국에서는 각국별로 차폐재의 투수계수 값을 선정하여 차폐재의 설계 및 시공시에 이를 반영하고 있으며 대체적으로 투수계수 값  $1 \times 10^{-7}$ cm/sec 이하를 요구하고 있다. 따라서 본 시험에서는 투수계수가 이 값 이하가 되는 차폐재에 대하여 동수경사를 변화시키면서 이러한 변화가 투수계수에 미치는 영향을 조사한 후 침출 화학용액에 의한 투수특성 변화를 검토하여 보았다.

##### 1) 동수경사변화에 따른 투수특성

화학용액에 의한 투수시험에서는 언급한 바와 같이 화학용액과 차폐재의 상호반응성을 허용하기 위하여 적어도 2~3 공극체적 이상의 화학용액이 통과되어야 하므로 자연상태의 동수경사로는 수주 이상의 시간이 소요된다. 따라서 화학용액에 의한 투수시험을 수행함에 있어서 투수시험에 걸리는 시간을 단축하기 위하여 현

장에서는 볼 수 없는 높은 동수경사를 사용하여야 하므로 이에 대한 영향을 알아 볼 필요가 있다. 일반적으로 동수경사의 증가에 따라 투수계수가 증가 및 감소의 상이한 결과가 점토차폐재에 대한 시험에서 보고되어 있는데<sup>1)</sup> 투수계수 감소의 경우는 압력을 높임에 따른 차폐재의 세립분 입자가 시료내의 공극을 막아 유체가 통과하는 길을 감소시켜 발생하며, 투수계수 증가의 경우는 흡입자내 유로가 압력에 의하여 확장되어 유로단면적이 증가하므로 동일한 시간내에 유출량이 많아져 나타나지만 차폐재의 종류에 따라 어떤 특성이 나타나게 되는지 확실하지 않다.

본 시험에서는 이러한 동수경사의 변화가 선정된 차폐재 재료들에 대하여 어떠한 변화를 초래하는지 알아보기 위하여 동수경사를 40, 80, 110, 150, 230, 260, 300으로 증가시킨후 다시 300으로부터 40까지 감소시켜 가면서 전체적으로 동수경사의 변화에 따른 차폐재의 투수특성을 검토하였다. 또한 동수경사를 반복하여 변화시킬 경우 추가적인 투수성의 변화에 대하여도 알아보았다.

그림 3에서 보는 바와 같이 본 실험에 사용된 차폐재에 대해서는 세 경우 모두 동수경사가 증가할 경우 투수계수가 일정하게 증가하는 경향을 보였으며 동수경사가 감소하면 투수계수는 감소하나 원래의 값으로는 환원되지 않고 약 1.5배 정도의 차이를 갖는다. 해성점토 및 화강토 혼합차폐재에 대해서는 같은 시험을 2회 실시하여 압력의 반복재하 및 제하에 따른 투수성 변화를 검토하였다. 그 경우 모두 동수경사 증감 사이클이 반복됨에 따라 투수계수가 증가 되었다. 그러나 화강토 혼합차폐재는 사이클 반복에 따른 투수계수 증가율이 감소하면서 안정화 되어 지나 해성점토의 경우는 증가율이 사이클이 반복됨에 따라 크게되어 불안정하게 됨을 보인다. 따라서 이 실험에 있어 반복적인 압력의 재하/제하는 필수로 삼가하는 것이 필요함을 알 수 있었다.

동수경사의 증가에 따른 투수계수의 증가는

타 문헌에서 설명된 바와 같이 흡입자 내 유로가 팽창함도 원인이 있지만 시험에 사용된 강성벽 투수시험기의 흡과 모듈드 내벽사이의 측벽누수의 영향도 있는 것으로 보인다. 혼합차폐재와 점토차폐재의 동수경사 증가에 따른 투수계수의 증가는  $i=300$ 의 경우 초기 투수계수와 비교하여 다음 표 4와 같은 변화를 보였다.

표 4. 동수경사의 변화에 따른 초기와  $i=300$  시의 투수계수 비교 (1회 압력 재하/제하시)

시험 조건	플라이애쉬혼합재		화강토 혼합재		자연 해성 점토	
	k(cm/sec)	증가율	k(cm/sec)	증가율	k(cm/sec)	증가율
초기	$6 \times 10^{-8}$		$6 \times 10^{-8}$		$8 \times 10^{-8}$	
$i=300$	$1.5 \times 10^{-7}$	2.5배	$1.4 \times 10^{-7}$	2.3배	$1.8 \times 10^{-7}$	2.3배

본 표에서 보는 바와 같이 동수경사를 높였을 경우 투수계수가  $1 \times 10^{-7}$  cm/sec를 초과하고 있으며, 화학물질을 사용하였을시의 초기 거동도 물을 사용한 투수계수 변화의 경우와 대동소이하다. 따라서 화학용액을 이용한 투수시험에서는 초기의 동수경사 증가에 따른 투수계수 변화 영향을 제거하면 화학용액만에 의해 나타나는 투수계수 변화를 알아 볼 수 있을 것으로 사료된다.

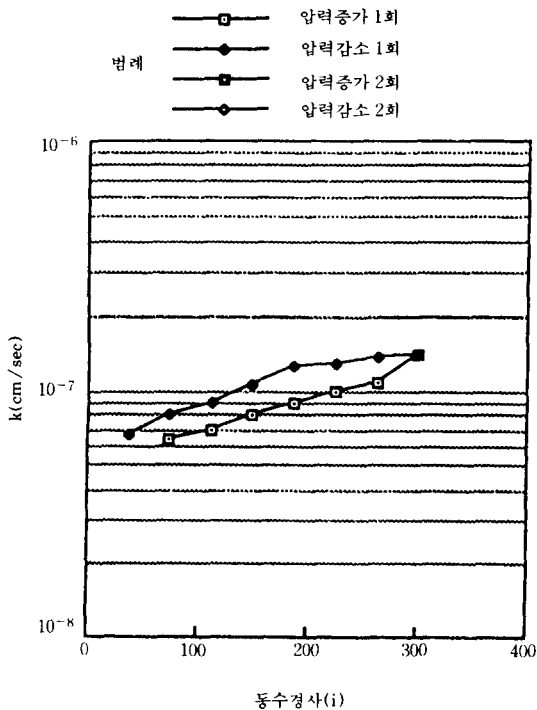
## 2) 화학용액에 대한 투수특성

문헌에 의하여 화학용액에 대한 차폐재의 투수특성을 살펴보면 순수한 acetic acid에 대한 투수시험결과 자연점토의 투수성은 10배정도 증가하였으며(Simons 등, 1984)<sup>9)</sup> Georgia점토는 2배정도 증가하는 것으로 나타났다(Bowders, 1985)<sup>10)</sup>, 순수한 methanol의 경우 Georgia 자연점토의 투수성은 7.5~44배 증가하였으며(Bowders 1985)<sup>10)</sup> kaolinite, illite자연점토는 10<sup>3</sup>배정도 증가하였다.(Anderson 등, 1985)<sup>11)</sup> 순수한 heptane의 경우 kaolinite, illite점토는 투수성이 10<sup>2</sup>~10<sup>3</sup>배정도 증가하였으며(Anderson 등, 1985)<sup>11)</sup> Georgia 자연점토는 투수성이 10<sup>2</sup>배정도 증가하였다.(Bowders, 1985)<sup>10)</sup> 그리고 순수한 aniline의

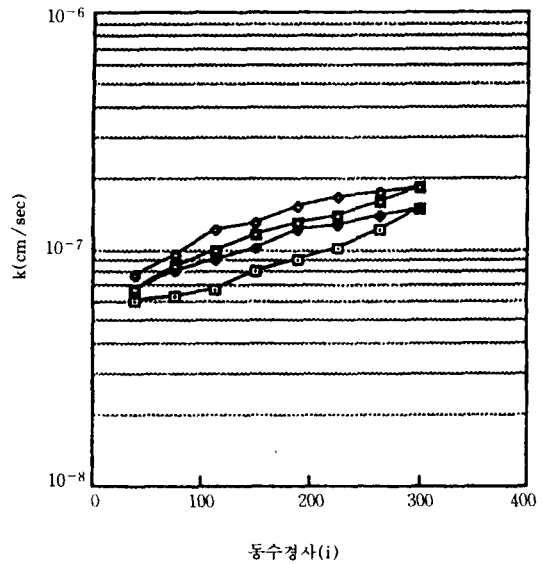
경우 kaolinite, illite점토는 투수성이 10<sup>2</sup>배정도 증가하였으며(Anderson, 1985)<sup>11)</sup> 모래-벤토나이트 혼합재는 10<sup>4</sup>배 정도 증가하였다(Evans 등, 1985)<sup>12)</sup>. 이상은 외국 문헌에 의한 자연점토의 화학용액 투수 시험결과이며 다음은 국내의 경우에 대한 점토와 혼합차폐재에 대한 시험결과를 고찰하여 보고자 한다.

① 100% 농도에서의 투수성 변화

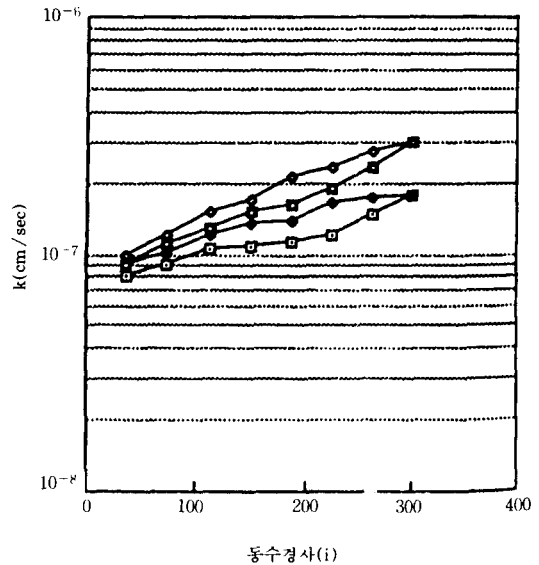
100%농도의 acetic acid, methanol, heptane, aniline이 해성점토 및 혼합차폐재의 투수특성에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다. Acetic acid의 경우 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 초기에는 투수계수의 감소를 보이다가 이후 급격한 증가를 보인다. 이러한 초기치의 감소는 산성원액에 의한 흡성분의 용해로 인해 생긴 물질들이 공극을 막는 현상이 발생한 것으로 보이며 이후의 투수계수 증가는 초기에 막혔던 공극이 세척되어지면서 점진적인 파이핑 현상



(a) 플라이애쉬 혼합차폐재



(b) 화강토혼합차폐재



(c) 해성점토차폐재

그림 3. 동수경사변화에 따른 차폐재의 투수특성

으로 발전되었기 때문으로 보인다. Acetic acid에 의한 투수계수 증가량을 보면 화강토 혼합차폐재의 경우는 약 8배, 서천 플라이애쉬 혼합차

폐재의 경우는 2배 그리고 김포 해성점토 차폐재의 경우는 3배이며 본 실험에 사용된 세 종류의 차폐재에 대한 최종치의 투수계수를 살펴보면 화강토 혼합차폐재, 김포 해성점토, 서천 플라이에쉬의 순으로 나타났다.

Methanol의 통과에 따른 차폐재의 투수특성을 살펴보면 그림 4(b)와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 methanol이 통과됨에 따라 투수계수가 점차적으로 증가하여 최종적으로 화강토 혼합차폐재는 약 12배, 서천 플라이에쉬 혼합차폐재는 약 19배, 그리고 김포해성 점토는 약 25배 정도 증가하였다. 투수 모듈드로부터 흘러나오는 유출수에는 시료입자가 용해되어 유출된 현상이 감지되지 않았다. Methanol이 통과함에 따라 투수계수가 증가하는 이유는 methanol의 dielectric 상수가 물 보다 작기때문에 Gouy-Chapman 이론<sup>2)</sup>에 의하여 시료내에 존재하는 점토광물의 확산이중층(diffused double layer) 간 간격이 감소되어 시료내에 구조적인 변화가 발생하였기 때문으로 보인다. 시료 표면에서는 약간의 공극 및 균열이 발생하였으며 유출수에서 시료입자의 유출현상이 발견되지 않아 투수계수의 증가에는 시료입자의 용해, 이동에 대한 파이핑 현상은 작용하지 않은 것으로 보인다.

Heptane의 경우는 그림 4(c)에서 보는 바와 같이 heptane 통과 초기에 급격하게 투수계수가 증가하다가 증가속도가 점차로 작아지면서 일정한 값으로 수렴하였다. 투수계수 증가량은 화강토 혼합차폐재의 경우는 약 10배, 서천 플라이에쉬 혼합차폐재의 경우는 약 15배 그리고 김포해성 점토인 경우는 약 20배로 나타났다. Heptane에 의한 투수계수의 증가는 methanol의 경우보다 작게 나타나는데 그 이유는 methanol이 물과 잘 혼합되는 용액으로서 공극수를 완전히 대체할 수 있는 반면 heptane은 중성 비극성 용액으로서 점토의 층간에 침투하는데 한계를 갖고 있기 때문이다. 이러한 차이는 그림 6에서 잘 알 수 있는바와 같이 heptane을 투과시켜 증가하는 투수계수는 methanol에 의한 경우보다 모든 차폐재에 대하여 항상 작은 것을 알

수 있다.

즉 그림 5에 의하면 이러한 차폐재의 투수계수는 aniline에 대하여 가장 민감하고 acetic acid에 대하여 가장 변화가 없어 침투용액의 pH가 차폐재의 투수계수에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. aniline에 의한 투수계수의 증가량을 보면(그림 5(d)) 김포 해성점토 차폐재는 약 194배, 화강토 혼합차폐재는 약 41배 그리고 서천 플라이에쉬 혼합차폐재는 약 32배로 나타났으며 투수모듈드를 통과한 유출수를 살펴보면 시료입자의 이동, 반출 현상이 나타나지 않은 것으로 나타나 유기성 염기가 시료입자를 용해시키지는 못하지만 시료구조 자체에는 많은 영향을 미쳐 aniline을 투과시키기전 시료의 壤狀構造(massive structure)가 粒狀構造(aggregated structure) 상태로 변화하여 시료 표면에는 약간의 공극과 균열이 발생함을 알 수 있었다.

본 시험에서 투수계수의 변화에 가장 심하게 영향을 미친 용액은 염기성인 aniline이었으며 이는 용액내에 상대적으로 많은 염기성이 차폐재로부터 양이온 입자를 탈취한 때문으로 사료된다. 투수계수의 변화가 산성인 acetic acid에서 타용액과 비교하여 적은 것은 침투수에 양이온 입자가 비교적 많은 pH 환경으로 인하여 시료의 안정성을 증대시킨 때문이나 고농도 침출액의 흡착수 탈수현상은 역시 발생하는 것으로 보여진다.

세 차폐재 재료 모두 화학용액 원액에 대하여 투수성이 증가하지만(그림 5) 플라이에쉬 혼합차폐재의 투수성 증가가 타 차폐재에 비하여 비교적 적은 편이며 해성 점토차폐재의 투수성 증가가 가장 심한 경향을 보여 흔히 관념적으로 혼합차폐재의 사용이 자연 점토에 비하여 차수성이 열등할 것으로 생각되는 것과 반대의 현상을 보였다.

#### ② 75%농도에서의 투수성의 변화

화학용액의 농도변화에 따른 차폐재의 투수특성을 파악하기 위하여 화학용액의 농도를 75%로 하여 시험을 실시하였다. 순수한 화학용



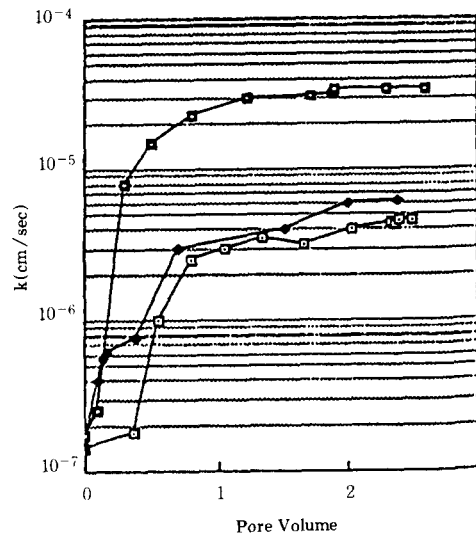
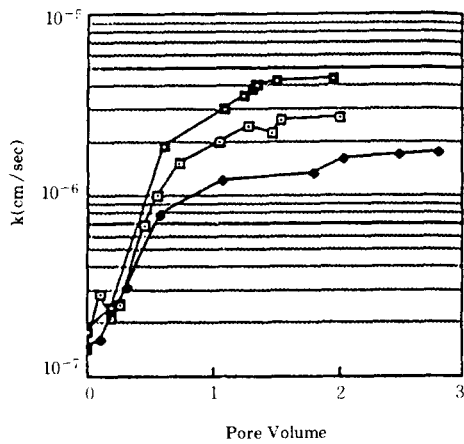
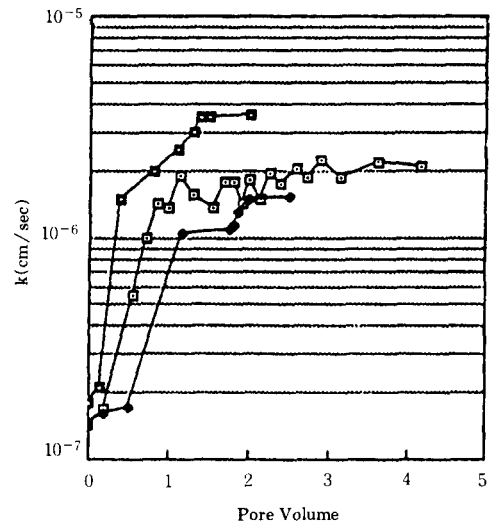
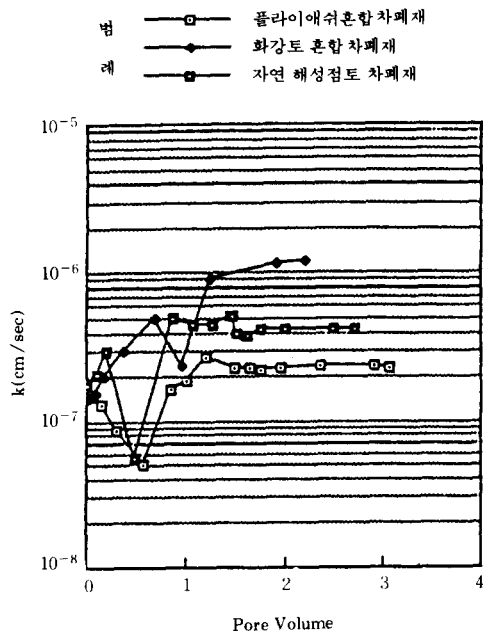
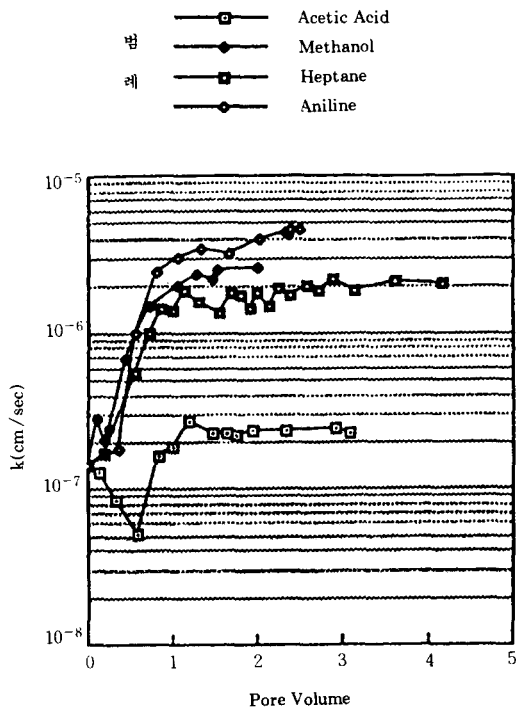


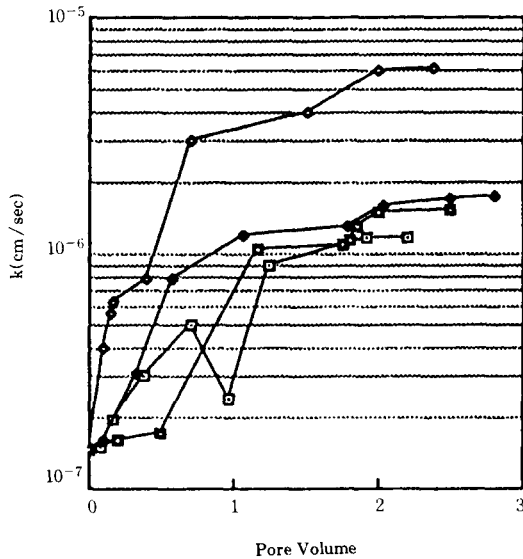
그림 4. 100%농도 화학용액에 대한 투수특성

액에 대한 투수시험결과 acetic acid는 투수성에 미치는 영향이 작아 차폐재의 안정에 크게

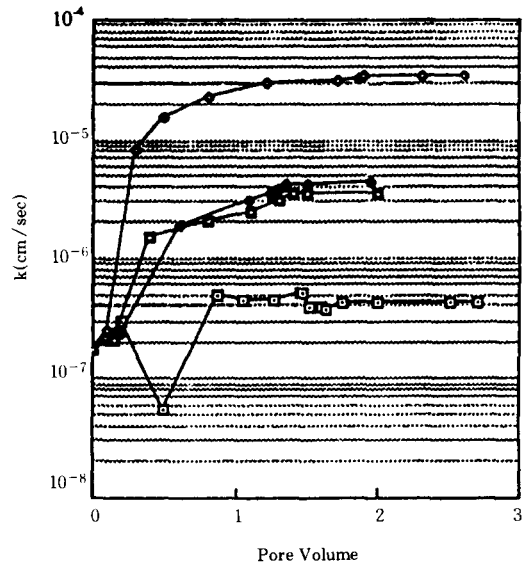
영향을 미치지 않고 aniline은 시험시 투수몰드와 용액저장 탱크를 심하게 부식시켜 취급상에



(a) 플라이애쉬 혼합차폐재



(b) 화강토혼합차폐재



(c) 해성점토차폐재

그림 5. 차폐재 종류에 따른 투수특성

어려움이 많아 75%농도 시험은 물에 용해되는 methanol과 부분적으로 용해되는 heptane(용해도: 53g/l)만을 침투용액으로 선정 실시 하였다.

75%농도 methanol의 통과에 따른 차폐재의 투수특성을 살펴보면 (그림 6(a)) methanol이 통과됨에 따라 서천플라이애쉬 혼합차폐재와 김포 해성점토는 투수계수가 점차로 증가하다가 약간 감소하여 일정한 값으로 수렴하며 화강토 혼합차폐재는 초기에 감소하다가 증가하여 일정한 값으로 수렴한다. 최종 단계에서 투수계수 증가량은 서천 플라이애쉬는 약 2.2배 그리고 김포해성 점토와 화강토 혼합차폐재는 거의 없는 것으로 나타났다. Heptane이 75% 섞인 용액에 대한 투수특성을 살펴보면 그림 6(b)에서 보는 바와 같이 투수계수가 일정하거나 다소 감소하는 경향을 보이다가 1.5 공극체적 부근에서 갑자기 급격하게 증가되었다. 여기에서 1.5 공극체적 용액 통과후 투수계수가 갑자기 증가하는 것은 heptane이 비극성 용액으로서 밀도가 물

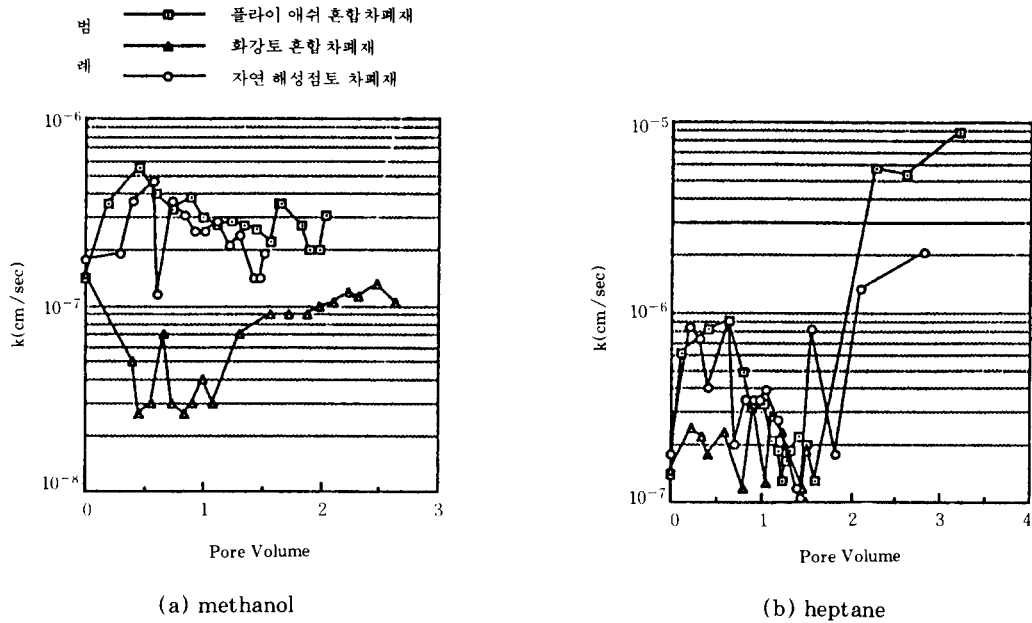


그림 6. 75%농도 화학용액에 대한 차폐재료의 투수특성

보다 낮아 75% heptane과 25% 물이 상하로 분리된 상태에서 heptane이 53g/ℓ의 비율로 용해된 수용액이 차폐재를 통과한 후에 물보다 비중이 낮은 순수한 heptane이 통과하면서 이루어진 현상으로 사료된다.

위의 두 75% 침투 용액에 대한 실험으로부터 차폐재는 순수 화학용액이 아닌 상당한 정도의 고농도 용액의 침투에도 안정한 경향을 보였다. 그러나 75% 농도에 대한 시험 또한 2~3 공극 체적 침투액에 대한 반응성임을 고려할 때 본 결과를 뒷받침하기 위해 좀더 많은 양의 침투용액에 의한 장기간의 투수시험이 요망된다.

## 6. 결 론

자연 점토차폐재와 화강토 및 플라이애쉬를 사용한 혼합차폐재에 대한 물 및 화학 용액에 대한 투수시험을 실시하고 그 결과를 분석고찰하여 폐기물 매립장 차폐재료로서의 적합성을

평가하였다. 본 실험연구에서 얻은 결론을 간략하게 요약하면 다음과 같다.

- 1) 동수경사의 변화에 대한 투수계수 변화시험에서의 동수경사 증가시 차폐재 시료의 투수계수가 증가하고 감소시 감소하지만 원래의 값으로 환원하지 않고 사이클을 반복함에 따라 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.
- 2) 화학용액의 접촉에 따른 차폐재의 투수성은 전기 이중층 이론으로 설명되어 질 수 있으며 acetic acid, methanol, heptane, aniline 중에서 아민계열의 유기염기성 용액인 aniline이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 3) 화강토 혼합차폐재, 서천플라이애쉬 혼합차폐재, 해성점토 모두 화학용액에 대하여 민감한 반응을 나타냈으며 민감정도는 해성점토가 가장 크게 나타났다. 이로부터 인공혼합 차폐재도 폐기물 매립장 차폐재

로서의 효과가 자연해성점토에 비교하여 손색이 없음을 알 수 있다.

- 4) 화학용액의 농도가 75%인 경우 투수계수의 증가를 보이지 않아 원액이 아닌 상당한 정도의 고농도 용액에 대해서도 차폐재의 안정성이 있는 것으로 보여진다. 그러나 본 결과는 2~3 공극체적 정도의 용액을 투과시킨 2주 정도에 걸친 시험결과이므로 보다 신뢰할 만한 결과도출을 위해서 보다 여러 농도에 대한 장기간의 투수시험이 요망된다.

### 참 고 문 헌

1. Goldman L. J., Greenfield, L. I., Damle, A. S., Kingsburg G. L.,(1987), "Design, Construction, and Evaluation of Clay Liners for Waste Management Facilities", US EPA, EPA Contact No. 68-01-7310.
2. Madsen, F. T. and Mitchell, J. K., (1987), "Chemical Effects on Clay Hydraulic Conductivity and their Determination", University of California Berkely, California, p. 70.
3. Weeks, Olaf L.,(1986), "Liner System Used for the Containment of Solvents and Solvent-Contaminated Hazardous Wastes", Environmental Institute for Waste Management Studies, Univ. of Alabama, Open. File Report No. 12, Feb., 137pp.
4. Moretti, C. H., Wentz, C. A. and Wiken, K. M., (1987), "Development of Fly Ash Liner for Waste Disposal Sites", Eighth International Ash Utilization Symposium, Vol. 2, p47-1~47-13.
5. Usemen, M. A., Bowders, J.J. and Gidley J. S., (1987), "Evaluation of Stabilized Fly Ash Materials for Use in Liner and Pavement Applications", Eighth International Ash Utilization Symposium, Vol. 2, p.51-1~51-4.
6. Carmichae, T. J. and Chan, H. T.,(1991), "Modified Fly Ash as Construction Materials for Hydraulic Barriers," Shanghai, 1991 Ash Utilization Conference, Vol. 3, p.99-1~99-9.
7. 손준익, 장연수, 정하익, 김진만,(1992), "도시폐기물 매립장의 건설부지 활용과 위생매립 시스템에 관한 연구," 한국건설기술연구원, 274pp.
8. 손준익, 정하익, 장연수,(1992), "폐기물 매립장을 위한 혼합차수재의 물성에 관한 연구," 한국지반공학회, 제8권, 제3호 p.51-60.
9. Simons, H., Hansel, W., and Reuter, E.,(1984), "Physical and Chemical Behavior of Clay-Based Barriers under Percolation with Test Liquids", Proc. Int. Symposium on Clay Barriers for Isolation of Toxic Chemical Wastes, Stockholm, pp. 117, 118-127. Expanded version in German.
10. Bowders, J. J.,(1985), "The Influence of Various Concentrations of Organic Liquids on the Hydraulic Conductivity of Compacted Clay," Geotechnical Engineering Dissertation GT85-2, The University of Texas at Austin, 218 pp.
11. Anderson, D. C., Brown, K. W., and Thomas, J. C.,(1985), "Conductivity of Compacted Clay Soils to Water and Organic Liquids," Waste Management and Research, Vol. 3, No. 4, pp. 339-349.
12. Evans, J. C., Fang, H-Y., and Kugelman, I. J., (1985), "Organic Fluid Effects on the Permeability of Soil-Bentonite Slurry Walls," Proc. National Conf. Hazardous Waste and Environmental Emergencies.

(접수일자 1993. 5. 10)