

# 해성점토의 투수성에 대한 폐기물 침출수의 영향

Effects of Waste Leachate on Permeability of Marine Clay

강 병 희\*1

Kang, Byung-Hee

장 경 수\*2

Jang, Kyung-Soo

---

## Abstract

The laboratory hydraulic conductivity tests with rigid wall permeameter were performed to study the effects of waste leachate on the permeability of a marine clay.

The marine clay and waste leachate for this study were sampled from Kimpo Wastefills, and the hydraulic gradients applied to the clay specimens are relatively high from 37.5 to 225.

The test results show that the permeability of a marine clay is increased with increasing the concentration of leachate and with decreasing the hydraulic gradient. And also both the liquid limit and the plasticity index of the marine clay mixed with waste leachate decrease with increasing the concentration of leachate.

## 요 지

폐기물의 침출수가 해성점토의 투수성에 미치는 영향에 대해서 연구하기 위하여 실내에서 강성벽의 정수위투수시험을 시행하였다.

본 연구에서 이용한 해성점토와 침출수는 김포 폐기물 매립장에서 채취하였으며 공시체에 가한 동수경사는 비교적 큰 값인 37.5~225 정도이었다.

연구결과 침출수의 농도가 클수록 그리고 동수경사가 작을수록 침출수에 대한 해성점토의 투수계수는 증가한다. 또한 침출수와 혼합시킨 해성점토의 액성한계와 소성지수는 침출수의 농도가 증가할수록 감소한다.

---

## 1. 서 론

폐기물 매립장에는 폐기물로부터 흘러나온

침출수가 주변지반 및 지하수층으로 침투되어 오염시키는 것을 방지하기 위하여 다짐점토와 geomembrane으로 구성된 차폐층(liner)을 설

---

\*1 정희원, 인하대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*2 대한주택공사 주택연구소

치하게 된다. 그러나 시공의 잘못으로 인해서 geomembrane이 찢어진다면 연결이 불량한 경우가 흔히 발생하게 되므로 이러한 경우 점토차폐층의 투수성이 대단히 중요하게 된다. 따라서 점토의 투수성이 침출수의 물리·화학적 성질에 의해서 어떻게 변하는지 그리고 이러한 침출수에 대해 장기간에 걸쳐 안정성을 유지할 수 있는지를 검토하여야 한다.

흙의 투수성은 침투류의 속도가 동수경사와 비례한다는 Darcy의 법칙에 의해서 정의되며 흙의 입도, 간극의 크기 및 모양, 침투유체의 점성 및 단위중량에 의해서 일반적으로 결정된다.

그러나 점토인 경우는 이들 이외에 점토의 조직(fabric)에 의해 투수성이 크게 달라진다. 즉 침투류의 흐름은 점토입자로 이루어진 집합체내 간극(intracluster void)보다는 집합체간 간극(intercluster void)을 통해서 이루어지고 있으므로<sup>(7)</sup> 점토의 투수성은 집합체의 성질에 의해서 결정된다. 점토의 조직은 점토광물의 종류, 간극수의 성질 및 점토의 형성과정에 의해서 주로 결정되며 간극수 성질과의 관계는 점토입자 주위의 확산이중층의 두께에 의해서 크게 좌우된다. 따라서 간극수가 폐기물 침출수인 경우에는 점토의 투수성은 크게 달라질 것으로 예상된다.

점토지반의 침투수가 폐기물 침출수인 경우 점토의 투수계수에 일어날 수 있는 예상되는 변화는 다음과 같다. 첫째로 침출수의 화학적 성질이 점토 입자의 확산이중층 두께에 영향을 주므로 흙의 조직을 변화시키게 된다. 둘째로 침출수의 강산이나 강알칼리 성질에 의해 점토 광물이 분해될 수 있으며, 셋째로 간극에 고형물이 침전되고 미생물이 성장하여 간극을 막히게 할 수 있다.

또한 점토의 투수계수는 대단히 작기 때문에 원위치에서 일어나는 동수경사하에서는 실험이 불가능한 경우가 많으므로 주로 동수경사를 크게 하여 실험하게 된다. 이 경우 동수경사의 크기가 점토의 투수성에도 영향을 끼칠 것으로

예상된다.

따라서 본 연구에서는 폐기물 침출수의 농도와 동수경사가 점토의 투수성에 미치는 영향에 관해서 연구하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 점토시료 및 폐기물 침출수

본 연구에서 사용한 점토시료와 침출수는 김포 해안매립지의 일부인 인천시 서구 경서동에 위치하고 있는 폐기물 매립장 부근에서 채취한 해성점토와 매립장 침출수 정화시설 입구에서 채취한 침출수로서 이들 성질은 표 2.1과 표 2.2에 수록하였다. 채취된 침출수는 증류수와 혼합하여 농도를 체적 혼합비가 0, 60, 100%로 되게 준비하여 투수시험을 시행하였다.

표 2.1 Physical properties of marine clay.

Specific gravity	2.67
Liquid limit (%)	27.0
Plasticity index (%)	8.0
Max. dry unit weight (g/cm <sup>3</sup> )	1.57
Optimum water content (%)	19.1
Unified soil classification	CL
Fine content (< #200 sieve size) (%)	95
Clay content (< 2 $\mu$ m) (%)	30
Dominant clay mineral	Illite

표 2.2 Physical and chemical properties of waste leachate.

Unit weight (g/cm <sup>3</sup> )	1.01	
pH value	6.86	pH Meter (Suntex sp-5a)
Electrical conductivity (micromho/cm)	20,000	Chemtrix type 700
COD <sub>cr</sub> (ppm)	8,200	Dichromate reflux method
BOD (ppm)	2,400	American standard method
Total suspended soild (ppm)	0.398	Gravimetric method
Total Kjeldahl nitrogen (ppm)	1,600	Macro Kjeldahl method
Dielectric constant	10.2	Frequency : 120Hz, 20 $^{\circ}$ C

## 2.2 투수 시험

투수시험은 KS F 2322에서 규정하고 있는 정수위투수시험 방법에 의하고 강성벽 투수시험기를 사용하여 시행하였다(그림 3.1 참조). 강성벽 투수시험기는 점토가 침출수에 의해서 수축 및 균열이 일어날 경우 투수계수가 과다하게 측정될 수 있으나 정성적인 분석에서는 적합하므로 이 시험기를 이용하였다. 공시체의 크기는 직경 10cm, 높이 8cm로서 최적함수

비 보다 3%정도 큰 22%의 함수비로서 3층으로 나누어 정적 다짐하였으며 건조밀도가 최대 건조밀도의 95%이고 간극비가 0.79가 되게 준비하였다. 다짐함수비를 최적함수비보다 3% 큰 습윤측의 함수비로 한 것은 일반적으로 다짐점토의 함수비가 최적함수비보다 2~4% 정도 큰 함수비에서 다진 점토의 투수계수가 최소가 되기 때문이다<sup>6)</sup>. 투수압은 질소탱크압력을 이용하여 동수경사가 최대 225가 되도록 하였다.

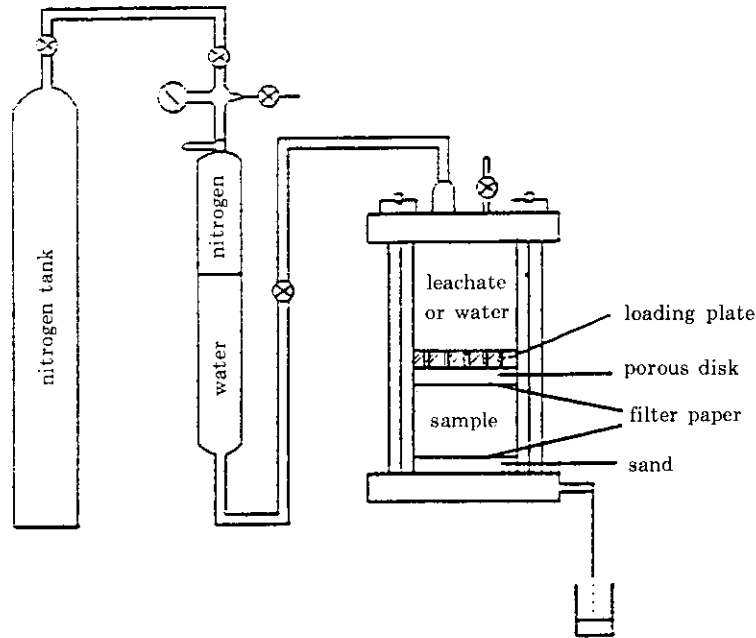


그림 1. Apparatus for constant head permeability test

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 아터버그한계 시험

침출수의 농도가 0, 30, 60 및 100%가 되도록 준비하여 흙시료를 침출수속에 24시간 넣어 두어 침출수와 혼합될 수 있게 한 후 건조시켜 가면서 시험을 시행한 결과를 표 3.1에 나타내었다.

표 3.1에서 볼 수 있는 바와 같이 침출수의

농도가 증가하여도 소성한계는 거의 변화가 없으나 액성한계 및 소성지수는 감소한다. 유기물과 무기질 염의 다량 함유로 인한 침출수의 유전상수(dielectric constant)가 10.2로 감소하고 양이온의 농도가 증가하므로 인해서 Gouy-Chapman이론<sup>6)</sup>에 따라 확산이층의 두께가 감소하게 된다. 이로 인해서 illite와 같은 점토광물의 경우 액성한계와 소성지수가 감소하게 되었다고 생각된다. 이와 같은 연구결과는 Foreman and Daniel의 연구<sup>13)</sup>에서 주로

illite로 구성되어 있는 Hoytrille clay가 메탄올과 같은 유기물을 혼합했을시 액성한계 및 소성지수가 감소한 것과 일치한다. 그리고 또한 Fernandez and Quigley의 연구<sup>12)</sup>와 Lin and Chang의 연구<sup>4)</sup> 결과와도 일치하며 Brown and Thomas의 연구<sup>11)</sup>에서도 kaolinite, mica, vermiculite, gibbsite로 구성된 점토 시료에 대해 침출수의 농도가 증가할수록 소성지수가 감소된다는 사실을 보여 준 바 있다.

표 3.1 Atterberg limits of clay mixed with waste leachate.

Waste leachate concentration in water by volume	Atterberg limits			
	0%	30%	60%	100%
Liquid limit(%)	27	27	26	22
Plastic limit(%)	19	19.6	19.1	19.5
Plasticity index(%)	8	7.4	6.9	2.5

### 3.2 투수 시험

침출수의 농도를 0%(순수한 물), 60% 및 100%로 하고 동수경사를 4가지로 하여 하나의 공시체에 동수경사를 증가시키면서 투수시험을 한 결과를 표 3.2에 수록하였다.

표 3.2 The result of permeability tests.

Waste leachate concentration in water by volume		0%	60%	100%
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Hydraulic gradient	Coefficient of permeability (x10 <sup>-7</sup> cm/sec)		
0.3	37.5	11.5	133.0	224.0
0.8	100.0	3.5	20.3	210.0
1.3	162.5	3.4	8.0	111.0
1.8	225.0	1.7	7.8	52.3

#### 3.2.1 경과시간에 따른 투수계수의 변화

그림 3.2에서 볼 수 있는 바와 같이 동수경

사가 다른 4가지 투수시험에서 동수경사를 증가시킨후 일정한 동수경사하에서 시간이 경과하게되면 투수계수는 작아지고 약 24시간 이내에서 모두 일정한 값으로 수렴하였다. 이는 증가된 침투압에 의해서 점토입자가 이동되어 압밀이 일어나는 소위 Hydroconsolidation현상<sup>6)</sup>에 의해서 투수계수가 감소되고 일정한 침투압하에서 시간이 경과함에 따라 점토입자의 이동은 줄어들어 시료가 안정되기 때문이라고 생각된다.

그러나 한편으로는 침출수 중의 미생물이 성장하게 되어 투수계수가 감소하게 될 수도 있다<sup>6)</sup>. 이로 인한 투수계수의 감소는 Hydroconsolidation 현상으로 인한 감소에 비해 대단히 작을 것으로 생각된다.

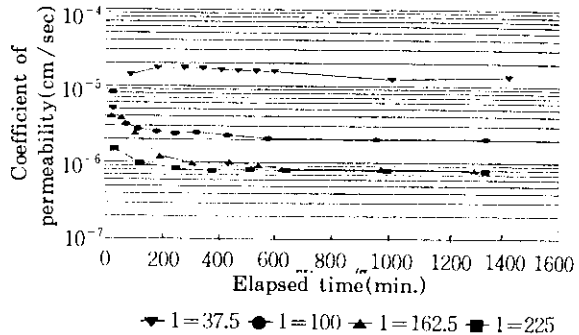


그림 2. Relationship between the coefficient of permeability and the elapsed time for the marine clay with 60% waste leachate

#### 3.2.2 동수경사에 따른 투수계수의 변화

표 3.2에 수록한 실험결과를 침출수의 농도 별로 동수경사의 크기에 따른 투수계수의 변화를 그림 3.3에 나타내었다. 본 연구에서 사용된 점토에 대해서는 침출수의 농도에 관계없이 세 경우 모두 동수경사가 증가할수록 투수계수가 감소함을 볼 수 있다. 이 이유는 동수경사가 증가함에 따라 침투압이 증가되므로 Hydroconsolidation에 의한 체적 감소가 더 많이 일어났기 때문이라고 생각된다. 이러한 사실은 투수시험을 완료한 직후 공시체의 간극비가 초기간

극비 0.79에서 침출수의 농도가 100, 60 및 0%인 경우 각각 0.16, 0.47, 0.47로 감소되었음을 통해서 확인할 수 있었다.

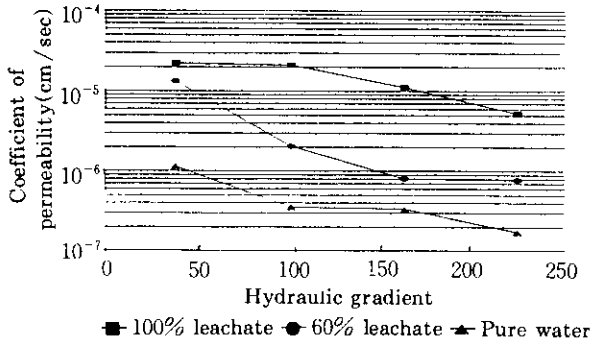


그림 3. Relationship between the coefficient of permeability and the hydraulic gradient in the marine clay.

### 3.2.3 침출수 농도에 따른 투수계수의 변화

그림 3.4에서 볼 수 있는 바와 같이 침출수의 농도가 증가할수록 투수계수는 증가한다. 침출수의 유전상수는 표 2.2에서와 같이 물의 80.1보다 훨씬 적은 10.2이다. 따라서 침출수의 농도가 증가하게 되면 침투된 점토간극수의 전해질 농도가 증가하게 되고 유전상수도 크게 감소된다. 이로 인해서 Gouy-Chapman이론<sup>(6)</sup>에 따라 점토입자의 확산이중층의 두께가 감소하게 되고 점토입자간의 반발력이 감소하게 되어 점토구조의 집합체간 간극(intercluster void)이 커지고 집합체간에 균열이 발생하여 투수계수가 커지게 되었다고 생각된다.

침투수의 유전상수 감소로 인한 투수계수의 증가는 Foreman and Daniel의 메탄올(유전상수 33.6)에 대한 연구<sup>(3)</sup>와 Fernandez and Quigley의 벤젠(유전상수 2.3)에 대한 연구<sup>(2)</sup>에서도 나타낸 바 있다.

한편 침출수의 농도가 커짐에 따라 점성계수가 증가하게 되어 투수계수가 감소되기도 하나 점토인 경우 이에 의한 투수계수의 감소는 확산이중층 두께의 감소로 인한 투수계수의 증가량에 비해 무시할 정도이다.

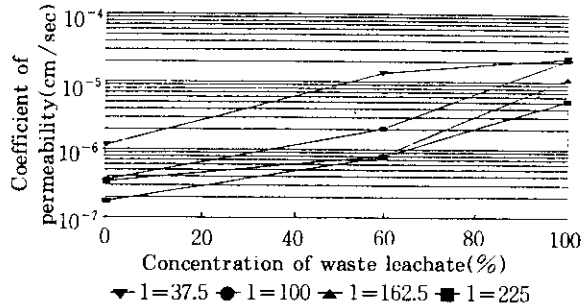


그림 4. Relationship between the coefficient of permeability and the concentration of waste leachate in the marine clay.

## 4. 결 론

폐기물 매립장의 침출수가 점토차폐층의 투수성에 미치는 영향을 규명하기 위하여 침출수의 농도를 다르게 하여 투수시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동수경사가 30~200 정도의 범위에서 시행한 투수시험으로부터 구한 점토의 투수계수는 폐기물 침출수의 농도가 클수록 증가한다.
- 2) 일정한 동수경사하에서 시간이 경과함에 따라 점토의 투수계수는 감소하나 어느 정도 시간이 경과하게 되면 일정한 값에 수렴하게 되는 경향이 있다.
- 3) 투수시험시 동수경사가 클수록 점토의 투수계수는 감소한다. 따라서 동수경사는 가능한 현장 조건과 같도록 해야 하며 실험이 불가능한 경우에는 이러한 영향을 고려하여 조정해 주어야 한다.
- 4) 폐기물 침출수의 농도가 증가함에 따라 침출수와 혼합하여 준비한 점토시료의 조성은 감소한다.

## 감사의 글

본 연구는 1993년도 인하대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었으므로 이에 감사를 포함합니다.

## 참 고 문 헌

1. Brown, K. W. and Thomas, J. C., "A Mechanism by which Organic Liquids Increase the Hydraulic Conductivity of Compacted Clay Materials", Soil Science, Society of America, Journal, Vol. 51, 1987, pp. 1451-1459.
2. Fernandez, F. and Quigley, R. M., "Hydraulic Conductivity of Natural Clays Permeated with Simple Liquid Hydrocarbons", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 22, No. 2, 1985, pp. 205-214.
3. Foreman, D. E. and Daniel, D. E., "Permeation of Compacted Clay with Organic Chemicals", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No.7, July, ASCE, 1986, pp. 669-681.
4. Lin, P. S., and Chang, C. W., "Effects of Waste Leachate on Permeability of Compacted Clay", 11th Southeast Asian Conference, 4-8 May, 1993. Singapore, pp. 847-852.
5. Mitchell, J. K., and Madsen, F. T., "Chemical Effects on Clay Hydraulic Conductivity and their Determination", University of California Berkely, California, 1987, p. 70.
6. Mitchell, J. K., "Fundamentals of Soil Behavior", 2nd Ed., John Wiley and Sons, Inc. 1993.
7. Olsen, H. W., "Hydraulic Flow through Saturated Clay", Proceedings of the Ninth National Conference on Clays and Clay Minerals, 1962, pp. 131-161.

(접수일자 1995. 2.10)