

폐기물 매립지의 침출수의 휴믹물질에 의한
토목합성수지 점토라이너의 수리학적 특성에 관한 연구

한영수·이재영*

서울시립대학교 환경공학부

**A study on the hydraulic characteristics of the geosynthetic clay liners(GCL)
with humic substances of leachate on the landfill.**

Young-Soo Han, Jai-Young Lee*

Dept. of Environmental Engineering, University of Seoul

ABSTRACT

The study was performed to evaluate the effect of landfill leachate on the hydraulic conductivity of Geosynthetic Clay Liner(GCL) with two types of leachate. GCL used in waste landfills have a significant ability as a barrier material, however, they also have a potential danger when exposed to some organic and inorganic leachate as well as humic materials. In this study, swelling tests and hydraulic conductivity tests were performed to evaluate the effect of humic materials and landfill leachate on the hydraulic characteristics of the GCL.

The result of swelling tests showed that the amount of humic materials and high electronic conductivity caused a decrease of the swelling of bentonite. This is expected to increase the hydraulic conductivity of GCL. The increasing of hydraulic conductivity observed for GCL permeated with O-leachate was significantly higher than that of Y-leachate. This result shows that humic materials are obviously affecting with the increasing of hydraulic conductivity of GCL.

* Corresponding author : leejiy@uos.ac.kr

원고접수일 : 2002. 1. 2 게재승인일 : 2002. 2. 21

Key Words: Geosynthetic Clay Liner(GCL), Humic materials, Landfill leachate, Hydraulic Conductivity, Swelling

요약문

폐기물 매립장에서 자연점토의 대체물질로서 사용되는 토목합성수지 점토라이너(GCL : Geosynthetic Clay Liner)는 차수능이 우수한 반면, 투수되는 용액의 성상에 따라 투수계수가 증가할 수 있다는 단점이 있다. GCL에서 차수능을 담당하는 벤토나이트는 폐기물 매립지의 침출수 내의 여러가지 물질에 의해 그 특성이 변할 수 있는데, 특히 침출수의 휴믹물질과 벤토나이트 입자 상호간의 영향에 의하여 수리학적 특성이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 매립년령이 오래된 매립지(O-매립지)와 신생매립지(Y-매립지)의 침출수에 대하여 휴믹물질이 매립지의 차수재로 사용되는 GCL의 투수계수에 미치는 영향을 평가하는 것을 목적으로 하였다.

휴믹물질이 GCL의 수리학적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여, O-매립지 및 Y-매립지의 침출수로부터 추출?정제한 휴믹산과 펄비산에 대하여 GCL내부의 벤토나이트의 스웰링 시험과 GCL의 수리학적 전도도 시험을 수행하였다. 스웰링 시험을 통해 휴믹물질의 농도와 전기전도도가 증가할수록 벤토나이트의 스웰링이 감소하며, 이에 따라 휴믹물질은 GCL의 수리학적 전도도를 증가시킬 수 가능성이 있음을 확인하였다. 수리학적 전도도 실험결과, 침출수 및 침출수 내 휴믹물질은 GCL의 수리학적 전도도를 증가시키는 경향을 나타냈다. 특히 O-매립지의 침출수 및 휴믹물질은 Y-매립지의 침출수 및 휴믹물질보다 GCL의 투수계수를 큰 폭으로 증가시켰다.

주제어 : 토목합성수지 점토라이너, 휴믹물질, 폐기물 매립지 침출수, 수리학적 전도도, 스웰링

I. 서 론

폐기물 매립장에서 자연점토의 대체물질로서 사용되는 토목합성수지 점토라이너 (GCL : Geosynthetic Clay Liner)는 얇은 두께로도 자연점토보다 우수한 차수능을 보이며, 포설이 쉽고 가격면에서 점토차수총 보다 저렴하다는 장점을 가진다. 그러나 GCL의 기본 재료인 벤토나이트는 투수되는 용액의 성질에 따라 투수계수가 변해서 차수재료로서의 능력을 상실할 수 있다는 단점이 있다.

이러한 투수용액의 성상에 따른 벤토나이트 및 GCL의 투수계수의 변화에 대한 연구는 이전 연구자들에 의해 폭넓게 수행되어 왔다. 나트륨이온 및 칼슘이온은 벤토나이트의 스웰링 저하에 의한 투수계수의 증가에 영향을 미치며, 무극성의 성질을 띠는 유기용매 역시 벤토나이트의 투수계수 증가시킨다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다^{1,4,7,9}.

그러나 매립지 침출수의 조성 중 대부분의 분율을 차지하고 있는 용존성 유기물질 특히, 난분해성 유기물질에 의한 벤토나이트의 투수계수 등 수리학적 특성의 변화에 대한 연구는 거의 행해진 바가 없다. 이에 본 연구에서는 침출수의 용존성 유기물질, 그 중에서도 많은 양을 차지하고 있는 휴믹물질이 매립지 지반의 수리학적 특성에 미치는 영향에 대하여 알아보고자 한다.

이를 위하여 인천 K매립지의 연령이 다른 두 가지 침출수 및 침출수에서 추출?정제한 휴믹물질에 대하여, 벤토나이트의 스웰링 시험 및 GCL의 수리학적 전도도 시험을 수행하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 침출수 및 GCL

본 실험에 사용된 침출수는 인천 K 매립지의 O-매

Table 1. Chemical properties of the leachate.

Permeant liquid	DD-water	O-Leachate	Y-Leachate
PH	5.12	8.43	5.17
Electrical Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.2	25800	26,900
Viscosity (cP)	1.06	1.28	1.31
Density (kg/m^3)	998.86	1006.77	1073.45
Dissolved Organic Carbon (ppm)	0.20	550	17,664
Na^+ (ppm)	0	2,364	2,590
K^+ (ppm)	0	304	1,358
Ca^{2+} (ppm)	0	109	2,565
Mg^{2+} (ppm)	0	178	358
Al^{3+} (ppm)	0	0.66	28.45

립지와 Y-매립지에서 취수한 침출수의 원수이다. O-매립지는 1992년 매립을 시작하여 2000년 10월 매립을 완료하였고, 침출수를 채수한 2001년 4월 현재 매립 완료 후 약 6개월이 지난 매립지의 침출수이다. 수도권 매립지 Y-매립지의 침출수는 2000년 10월 매립을 시작하여 채수시기인 2001년 6월 현재 매립 후 약 8개월 정도된 매립지의 침출수이다. 각 침출수 및 대조군으로 사용된 초순수의 성상은 Table 1과 같다.

본 연구에 사용된 GCL은 H사의 GCL로서 부직포와 합성수지 sheet의 층사이에 벤토나이트가 삽입되어 있는 형태이다. 벤토나이트의 형태는 입상이며, 부직포와 sheet사이에 needle-punch방식으로 고정되어 있다. 내부의 차수 기능을 담당하는 벤토나이트는 USCS(unified classified system)에 의해 소성이 높은 점토로서 분류되며, 액성한계가 330.8%이며, CEC(Cation Exchange Capacity : 양이온 교환능력)가 42.25 cmol(+) /kg이다.

2.2 휴믹물질의 추출 및 정제

휴믹물질의 추출 과정은 Standard Method 5510C XAD Method¹⁰⁾와 Thurman et al¹¹⁾의 방법을 따랐고, 휴믹질의 정제는 국제부식학회(International

Humic Substances Society)에서 제안하는 방법을 따랐다.

채수한 침출수는 0.45 μm 막필터를 이용하여 여과하여 pH를 2로 조정한 후, Standard Method 5510C¹⁰⁾의 방법에 의해 전처리한 Amberlite XAD-7HP수지(Supelco)에 2BV(bed volume)/h의 유속으로 유입시켜 휴믹물질을 수지에 흡착시킨다. 다음 단계로 0.1N NaOH를 1BV/h의 속도로 휴믹물질의 흡착된 수지의 컬럼에 역방향으로 유입시켜 흡착된 휴믹물질을 용리시킨다. 용리된 용액은 HCl(35%)을 이용하여 pH를 1로 조정하여 휴믹산을 불용성으로 전환시키고, 1일간 방치하여 휴믹산을 침전시킨 후, 원심분리하여 휴믹산과 펄빅산을 분리하여 낸다. 펄빅산은 XAD-7HP 수지에 다시 한번 흡착?용리시키고, 휴믹산은 0.1N NaOH에 용해시킨다. 분리된 휴믹산과 펄빅산은 Amberlite IRC-50 이온교환수지(Supelco)를 통과시켜 정제한 후 동결?건조상태로 보관한다.

2.3 벤토나이트이 스웰링 시험

100ml 용량의 메스실린더에 팽윤도 시험을 하고자 하는 용액 90ml를 채운 후 미리 무게를 달아둔 2g의 벤토나이트를 조금씩 약 10분에 걸쳐 뿌려준 후 같은 용액으로 액량을 표선까지 맞춘다. 액량을 100ml로 맞춘 시험용액은 24시간 방치 후 벤토나이트가 가라앉은 높이의 표선을 읽는다.

벤토나이트의 팽윤도는 시험용액의 성질에 큰 영향을 받는데 특히, pH와 전기전도도에 큰 영향을 받는 것으로 알려져있다. 본 연구에서는 시험용액의 pH와 전기전도도에 따른 벤토나이트의 팽윤도의 변화를 알아보기 위하여 초순수와 펄빅산에 대하여 여러가지 pH에서 팽윤도 시험을 하였다.

2.4 GCL의 수리학적 전도도 시험

투수계수의 측정은 ASTM D-5887에 준하는 방법으로서 flexible-wall permeaeter를 사용하였으며, 투수액은 별도의 저류지를 통하여 투수기로 유입시킬 수 있도록 하였다. 투수측정 방법은 falling-

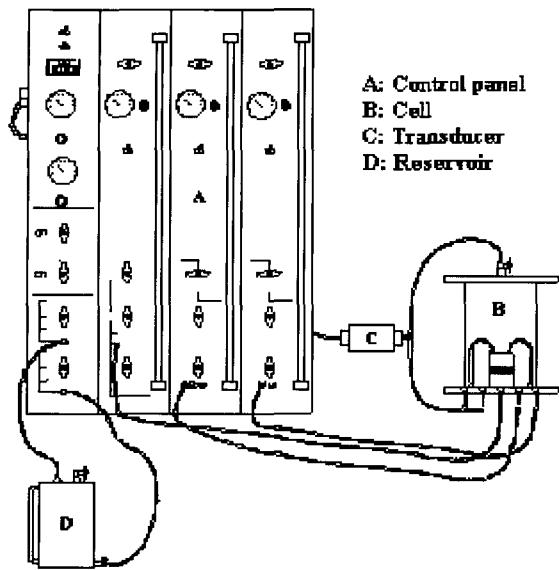


Fig. 1. The schematic diagram of flexible wall permeameter.

headwater/ rising- tailwater 측정법을 사용하여 측정하였다. 측정에 사용된 투수시험기를 Fig. 1에 나타내었다. 투수시험에 사용할 GCL은 내부의 벤토나이트가 흘러나오지 않도록 주의하면서 직경 7cm로 잘라낸다. 시료의 장착은 투수장치의 base cap, porous stone, filter paper, GCL, filter paper, porous stone, top cap의 순서로 하며, 순서대로 겹쳐진 공시체에 막을 씌우고, 공시체의 상부 및 하부를 O-ring으로 고정시킨다.

시료장착이 끝나면 cell의 내부와 뷰렛에 물을 채우고 압력을 가해준다. 실험초기의 압력은 cell에 채워준 수도물의 수도압을 고려하여 cell 압력 15psi(105KPa), base 및 top 압력 10psi(70Kpa)를 적용하였으며, 이를에 걸쳐 10psi(70Kpa)씩 압력을 올려주며 포화시킨다.

투수계수 측정은 cell 압력 86psi, base 압력 83psi, top압력 81psi에서 측정하였으며, 유효응력은 약 4psi가 적용되었다.

투수계수의 측정은 ASTM에서 권장하듯이 이를 포화후 8시간 이상 연속측정하여 측정값의 오차가 최소한 다섯번 이상 $\pm 30\%$ 의 오차로 반복되면, 그 값을

측정값으로 하였다. 투수계수 측정시는 base의 수두강하와 top의 수두상승 값이 전체 수두 높이의 20%이상이 되지 않도록 측정시간을 알맞게 조정하는 것이 좋다. 또한 하나의 시료에 대하여 신뢰성있는 실험값을 얻기 위하여 같은 측정시간에 대하여 실험을 반복하는 것이 바람직하다.

3. 실험결과

3.1 휴믹물질의 정량

침출수 중의 휴믹물질 조성비는 폐기물 매립지의 침출수의 성상이 다양한 만큼 다양한 조성을 갖는다. 문헌에 의하면 Harmsen⁶은 메탄생성 단계의 매립지 침출수의 DOC 중의 33%가 분자량 1000Da 이상의 난분해성 물질이라는 연구결과를 보고했으며, Artiola-Fortuny 등⁷은 협기성 상태의 침출수에서 DOC의 60%이상이 휴믹물질이며, 초기의 매립지의 침출수에서는 휴믹산이 형성되기 전에 펄박산이 형성되므로, 휴믹물질 중 휴믹산과 펄박산의 비율은 매립년령이 증가함에 따라 증가한다는 연구결과를 발표했다. 또한 Jette B. Christensen 등⁸은 매립지 침출수의 DOC 조성은 펄박산이 약 60%, 휴믹산이 10% 그밖의

Table 2. Compositions of humic materials from landfill leachate.

Composition	Sources	
	O-landfill	Y-landfill
Total dissolved organic carbon	550	17644
Fraction of humic materials (HS/DOC, %)	352.8 (64.16%)	6920 (39.17%)
Fraction of humic acid (HA/DOC, %)	47 (8.6%)	120 (0.68%)
Fraction of fulvic acid (FA/DOC, %)	305.6 (55.6%)	6800 (38.5%)
The ratio of humic acid and fulvic acid (HA/FA)	0.15	0.0017

hydrophilic acid가 30% 정도의 조성을 보인다고 하였다.

본 실험에서 사용한 대상 침출수 중 O-매립지의 침출수는 pH가 8.43으로서 메탄생성단계의 침출수이다. Table 2의 실험결과에서 알 수 있듯이, O-매립지 침출수의 DOC 조성에서 휴믹물질의 분율은 전체 DOC 물질의 64.16%를 나타내었다. 이중 휴믹산이 8.6%, 펄비산이 55.6%로서 Jette B. Christensen 등⁸의 연구결과와 유사한 조성을 나타내었다. Y-매립지의 침출수는 매립을 시작한지 약 8개월 정도 지나 pH가 5.17이며, 심한 갈수기에 채수하여서, 침출수의 유기물질 농도가 매우 높게 농축된 상태의 침출수이다. Y-매립지 침출수의 DOC 물질 중 휴믹물질의 분율은 39.17%로서 나타났으며, 이중 휴믹산은 매우 적은 양으로서 0.68%, 펄비산은 38.5%로 나타났다. 이러한 결과는 매립초기의 침출수에서는 휴믹물질의 대부분이 펄비산이라는 Artiola-Fortuny 등⁷의 연구결과와 같은 경향을 나타내고 있다.

휴믹물질 중의 휴믹산/펄비산의 비는 O-매립지 침출수의 경우가 0.15, Y-매립지 침출수의 경우가 0.017로서 매립연령이 오래된 침출수에서 월등히 높게 나타났다.

이상의 결과처럼 폐기물 매립지의 침출수 중의 DOC 물질 및 휴믹물질의 조성은 매립지의 연령에 따라 다르게 나타나며, 뿐만 아니라 매립지에 매립되는 폐기물의 종류, 계절별 기후특성, 지역의 지질 등의 여러가지 요소에 따라 다르게 나타날 수 있으므로, 더욱 다양한 조건에 대한 더욱 많은 사례의 조사가 필요하다고 본다.

3.2 벤토나이트의 스웰링 시험

토양 간극수의 pH와 휴믹물질이 벤토나이트의 스웰링에 미치는 영향을 알아보기위해 초순수, 330ppm의 Y-매립지의 펄비산, 835ppm의 Y-매립지의 펄비산에 대해 pH에 따른 스웰링 실험을 실시하였다. 일반적으로, 용액의 pH에 따라 휴믹물질의 존재형태가 달라지고, 이에 따른 토양 입자와의 결합관계의 변화에 의해 휴미산의 전기적인 특성 및 분자량 분포 등이 다양하-

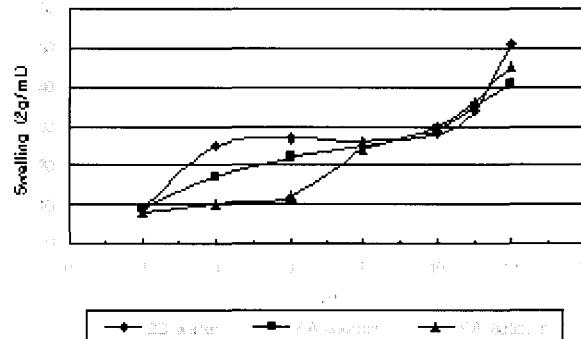


Fig. 2. Swelling of a bentonite as a function of concentration of fulvic acid.

게 나타난다. Suavez, Chiang 등은 토양의 스웰링 및 투수계수가 pH에 의해 영향을 받음을 실험을 통해 보여주었다⁹. 본 연구에서는 용액의 pH에 따라 휴미산과 토양이 어떠한 관계를 보이는지 벤토나이트의 스웰링 실험을 통해 알아보았다.

Fig. 2는 세가지 용액에서 pH에 따른 벤토나이트의 스웰링 시험 결과를 보여주고 있다. 세가지 용액에 대한 실험결과를 종합해보면, 산성 및 중성의 pH 범위에서는 펄비산의 농도가 스웰링을 감소시키는 영향을 잘 나타내고 있으며, 강알칼리의 pH에서는 펄비산의 농도가 높아도 대체적으로 높은 스웰링을 나타내고 있기는 하지만, 역시 초순수의 경우 보다는 낮은 스웰링을 나타내고 있어서, 휴믹물질이 pzc(point of zero charge)¹⁰⁾이상의 pH 범위에서 토양입자간의 cementing agent역할을 한다는 문헌의 결과와 일치하는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나 토양의 스웰링에 pH 및 이온(펄비산) 농도 이외에도 전기전도도가 밀접한 영향을 미치므로, 실험결과를 전기전도도에 대하여 정리하여 전기전도도의 영향을 확인하였다.

Fig. 3은 다양한 pH에서 전기전도도에 따른 스웰링 정도를 나타내고 있다. 동일한 pH조건에서 전기전도도가 벤토나이트의 스웰링에 미치는 영향은 용액의 pH 범위에 따라 다르게 나타나고 있다. pH가 2인 강산의 조건에서는 전기전도도가 변해도 스웰링이 8-9 mL/2g으로 일정하게 나타났다. 이러한 결과는 벤토나이트의 스웰링이 최소가 되어, 전기전도도가 변화하-

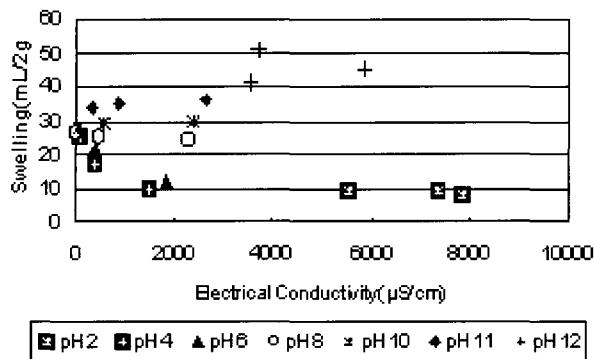


Fig. 3. Swelling of bentonite as a function of electrical conductivity at various pH conditions.

여도 더 이상 스웰링이 감소하지 못했기 때문이라고 사료된다. 또한 pH4-8의 범위에서는 동일한 pH 조건에서 전기전도도가 증가할수록 스웰링이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 그 이상의 pH에서는 반대로 전기전도도가 증가할수록 적은 값이기는 하나 스웰링이 증가하는 경향을 보이고 있다. 강알칼리 조건인 pH 12에서는 전기전도도에 따른 스웰링의 변화가 뚜렷한 경향을 나타내고 있지는 않으나, 대체적으로 매우 높은 스웰링 정도를 나타내고 있다.

결과적으로 pH가 5~8 정도이고, 전기전도도가 높은 폐기물 매립지의 침출수는 차수재인 GCL 내부의

벤토나이트의 스웰링을 감소시킬 것으로 예상된다.

3.3 GCL의 수리학적 전도도 시험

본 실험에서는 실제 pH 및 다른 조건을 조절하지 않고, 0.45μm 멤브레인으로 여과처리만 한 O-매립지와 Y-매립지의 침출수에 대해 GCL의 수리학적 전도도를 측정하였고, 이 침출수들로부터 추출, 정제한 휴믹산과 펄비산에 대하여 GCL의 수리학적 전도도를 측정하였다. 수리학적 전도도의 측정에 사용한 용액의 화학적 성상은 Table 3에 나타낸 바와 같다.

GCL의 수리학적 전도도 실험 결과 및 실험후 GCL의 두께 변화를 Table 3에 나타내었다. Fig. 4는 용액의 종류에 따른 투수시험 결과를 Fig. 5는 투수시험의 예비시험으로서 각각의 투수용액에 대한 벤토나이트의 스웰링 시험 결과를 나타내고 있다.

투과되는 용액의 성상에 따라 GCL 투수계수는 Fig. 4에서 나타내는 바와 같이 다르게 나타났다. O-매립지의 침출수에 대해서는 초순수(DD-water)에서 보다 208배 큰 투수계수를 보였으며, Y-매립지의 침출수는 3.18배 큰 투수계수를 보였다. 이는 Y-매립지 침출수에 의한 투수시험 결과에 비해, O-매립지 침출수를 이용한 투수시험 결과가 더욱 큰 투수계수의 증가를 나타낸 바, 매립 후 시간이 경과할수록 침출수가 GCL의 투수계수에 부정적인 영향을 크게 미친다고 판단할 수 있다.

Table 3. Chemical properties of permeant liquids and the results of hydraulic conductivity test of GCL.

	pH	E.C. (μS/cm)	DOC (ppb)	Viscosity (cP)	Depth of GCL(cm)	H.C. (cm/sec)	K/K _{ddw}
DD-water	5.12	2	0.2	1.06	0.85	1.68×10^{-9}	1
O-Leachate	8.34	25800	550	1.28	0.66	3.50×10^{-7}	208.16
O-Humic acid	5.81	45	47	1.15	0.8	1.75×10^{-9}	1.4
O-Fulvic acid	5.85	404	306	1.10	0.84	2.08×10^{-9}	1.24
Y-Leachate	5.17	26500	17664	1.13	0.62	5.35×10^{-9}	3.18
Y-Humic acid	4.15	173	120	1.18	0.9	7.74×10^{-10}	0.46
Y-Fulvic acid	4.36	1628	3310	1.13	0.84	4.26×10^{-9}	2.53

* E.C. : Electric Conductivity

* H.C. : Hydraulic Conductivity

* K/K_{ddw} : Rate of hydraulic conductivity of various permeant liquids and the distilled water

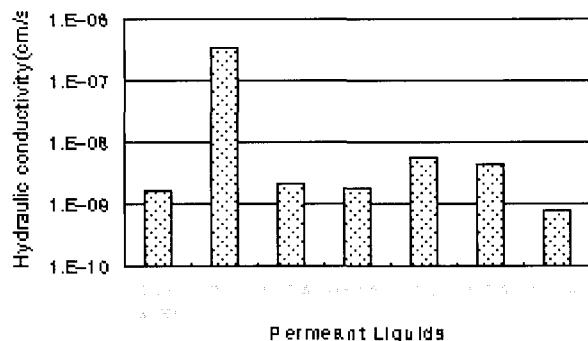


Fig. 4. Hydraulic conductivity at each permeant liquids.

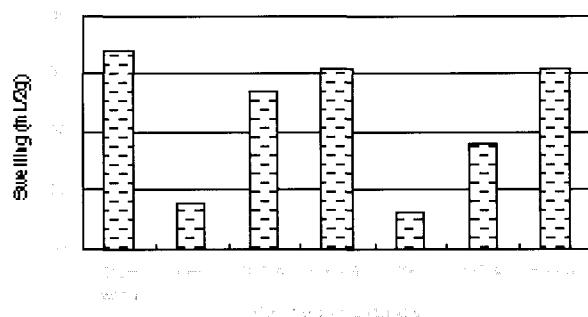


Fig. 5. Swelling of bentonite using the each permeant liquids.

또한, 휴믹물질이 GCL의 투수계수에 미치는 영향을 Fig. 4에서 확인할 수 있다. O-매립지의 침출수 중 휴믹산에 의한 투수계수는 1.75×10^{-9} cm/sec로서 초순수를 투과시킨 경우의 1.04배로 초순수의 경우와 거의 비슷하게 나타났다. Y-매립지의 경우, GCL의 투수계수는 휴믹산을 투과시킨 경우가 초순수의 0.46배, 떨빅산을 투과시킨 경우는 2.53배로 나타났다. 이러한 결과를 통해 미소한 차이이긴 하지만, 휴믹물질의 농도가 GCL의 투수계수를 증가시키는데 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

대체적으로 GCL의 투수계수는 휴믹물질의 농도가 높아질수록 증가하는 경향을 보이고 있기는 하지만, 침출수 전체 성분을 투과시키는 경우에 비해서는 증가폭이 비교적 작았다. 그러나 Fig. 5의 휴믹물질에서의

스웰링 테스트 결과를 보면, 침출수와 휴믹물질이 벤토나이트의 스웰링을 확실히 저감시키고 있음을 확인할 수 있다. 또한 Table 3의 투수시험후 GCL의 두께 변화 역시 휴믹물질이 GCL 내부의 벤토나이트의 스웰링을 저해시킴을 보여주었다. GCL의 수리학적 전도도 실험결과에서는 투수계수에 있어서 괄목할 만한 변화를 보여주고 있지는 않으나, 이러한 스웰링 및 GCL의 두께 차이에 의해 휴믹물질이 매립지의 차수재로서의 벤토나이트의 수리학적 특성에 부정적인 영향을 미침을 명확히 확인할 수 있다.

그러므로 매립지에서 벤토나이트를 재료로 하는 GCL등의 차수재료를 사용하는 경우에 침출수에 의한 차수능의 저감에 대한 영향을 반드시 고려해야 할 것이다. 또한 Y-매립지의 휴믹물질에 의한 투수시험 결과에 비해, O-매립지의 휴믹물질을 이용한 투수시험 결과가 더욱 큰 투수계수의 증가를 나타낸 바, 매립 후 차수층의 GCL에 대한 장기적인 모니터링이 필요하다고 사료된다.

4. 결 론

매립지 침출수 및 침출수 내의 휴믹물질이 벤토나이트의 수리학적 특성에 어떠한 영향을 미치는지 스웰링 실험과 수리학적 전도도 실험을 통해 알아보았다. 폐기물 매립장의 침출수 및 휴믹물질이 벤토나이트의 스웰링에 미치는 영향은 주로, 휴믹물질의 농도와 전기전도도가 증가할수록 스웰링이 감소하는 것으로 나타났다.

또한 수리학적 전도도 실험결과, O-매립지의 침출수는 Y-매립지의 침출수보다 GCL의 투수계수를 큰 폭으로 증가시킴을 확인하였다. 뿐만아니라, 휴믹물질의 존재는 GCL의 수리학적 전도도를 증가시키는 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 두가지의 침출수는 침출수의 성상에 따라 투수계수 값과 투수계수의 변화정도가 다르게 나타났으나, 각각의 침출수에 대하여 휴믹물질이 GCL의 투수계수를 증가시킨다는 경향은 동일하게 나타나고 있다.

따라서 매립지에서 벤토나이트를 기본 재료로 하는

GCL등의 차수재료를 사용하는 경우에 침출수에 의한 차수능의 저감에 대한 영향을 반드시 고려해야 할 것이다. 또한 Y-매립지 침출수에 의한 투수시험 결과에 비해, O-매립지 침출수를 이용한 투수시험 결과가 더욱 큰 투수계수의 증가를 나타낸 바, 매립 후 차수층의 GCL에 대한 장기적인 모니터링이 필요하다고 사료된다.

사사

본 연구는 2001년 서울시립대학교 교내학술지원 연구과제로써 지원을 받은 것에 감사드립니다.

참고문헌

1. Alther, G.R. The qualifications of bentonite as a soil sealant. *Engng. Geol.*, 23(3/4), pp.177-191 (1987)
2. Artiola-Fortuny J. and Fuller W.H., Humic substances in landfill leachates : I .Humic acid extraction and identification. *J. Environ. Qual.* Vol.11, pp.663-668 (1982)
3. Donald L. Sparks, Environmental soil chemistry, Academic press (1995)
4. Egloffstein, T.Properties and test methods to assess bentonite used in geosynthetic clay liners. *Geosynthetic clay liners*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp.51-7 (1995)
5. Harmsen J. Identification of organic compounds in leachate from a waste tip. *Wat.Res.* Vol.17, pp.699-705 (1983)
6. Jette G. Christensen et. al. Characterization of the dissolved organic carbon in landfill leachate-polluted groundwater. , *Wat. Res.*, Vol.32, No.1, pp.125-135 (1998)
7. Ling-Chu Lin and Craig H. Benson, Members, Effect of wet-dry cycling on swelling and hydraulic conductivity of GCLs *J. Geotech. and Geoenvir. Engrg.* ASCE, 126(1), pp.40-49
8. M. Ishiguro and T. Nakajima,Hydraulic Conductivity of an Allophanic Andisol Leached with Dilute Acid Solutions, *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 64 : 813-818 (2000)
9. Shackelford, C.D. Waste-soil interactions that alter hydraulic conductivity. Hydraulic conductivity and waste contaminant transport in soil, ASTM STP 1142, D.E.Daniel and S.J.Trautwein, eds. ASTM, West Conshohocken, Pa., pp111-168 (1994)
10. Standard method 5510 XAD method
11. Thurman, E.M., and R.L. Malcolm. Preparative isolation of aquatic humic substances. *Environ. Sci. Technol.* 15 : 463-466 (1981)