

폐기물매립지용 보강형배수재의 배수특성에 관한 연구

Characteristics of Reinforced Drainage Geotextile for Waste Treatment System

정 지 훈^{1*} Jeong, Ji-Hoon
이 재 영² Lee, Jai-Young
이 명 호³ Lee, Myung-Ho

ABSTRACT

The settlement occurring during landfill construction often causes a damage of drainage system. Clogging can reduce the hydraulic conductivity of the Leachate Collection and Drainage System, which results in the increase of leachate level within the landfill. Consequently, the insulation ability of leachate will be decreased. The main purpose of this project is to estimate a newly designed reinforced drainage geotextile (RDG) combining non-woven fabrics with geogrid for minimizing the destruction of drainage layer as well as evaluating RDG's application in the leachate collection and drainage system. Thus, the project observed the permittivity changes of RDG, and evaluated the drainage ability using RDG in the leachate collection and drainage system.

요 지

매립지 건설 시 발생하는 침하는 폐기물매립지의 배수시스템의 손상을 일으킨다. 그리고 막힘 현상은 침출수 집배수시스템의 수리전도도를 감소시켜 매립지 내 침출수 수위 상승을 가져온다. 결과적으로 침출수 차단기능을 감소시킬 것이다. 본 연구의 주목적은 침출수 집수 및 배수시스템에서 배수층의 손상을 최소화하기 위하여 부직포와 지오그리드를 결합하여 새롭게 디자인 된 지오텍스타일 (보강형배수재 : RDG)의 현장 적용성 평가를 위한 것이다. 따라서 본 연구는 보강형배수재의 수직투수성 변화를 관찰하고 침출수 집배수시스템에서 보강형배수재를 사용해서 배수능력을 평가하였다.

Keywords : Clogging, Landfill, Leachate collection and drainage system, Permittivity, Reinforced drainage geotextile

1. 서 론

매립지의 바닥층은 차수층과 침출수 집수 및 배수 시스템(leachate collection and drainage system)으로 구성되며 최종복토층과 더불어 침출수의 관리에 있어서 가장 핵심적인 부분이다. 매립지 건설에서는 점토, 자갈, 모래 등의 천연 재료를 바탕으로 하여 토목합성섬유(geosynthetics ; geomembrane, geotextile, geonet, geocomposite, geogrid 등)가 주로 이용되고 있다. 이러한 재료들은 매립지의 구성에 있어서 각각의 설계 목적에 의해 선택되며, 재료마다

다양한 기능(차수, 배수, 분리, 보강 및 보호 등)들을 수행하게 된다.

매립지의 설계 수명은 일반적으로 30년 정도이며, 운영 기간 동안 침출수가 계속 발생되기 때문에 폐기물의 매립 기간과 매립종료 후의 관리가 매우 중요하다. 이 기간에 발생된 침출수는 차수층 위의 수위 상승을 억제하고 매립지 외부로 유출을 최소화하기 위하여, 침출수 집수 및 배수 시스템을 통하여 매립지 내부에서 침출수 처리 시설로 제거되게 된다(Brand et al, 1991). 침출수 집수 및 배수 시스템은 침출수를 배수시키기 위한 배수층(자갈, 모래),

1* 정회원, 서울시립대학교 환경공학부 석사과정 (Member, Master Course, School of Environmental Engineering, University of Seoul, E-mail: judy8124@uos.ac.kr)

2 정회원, 서울시립대학교 환경공학부 교수 (Member, Professor, School of Environmental Engineering, University of Seoul)

3 정회원, (주)한준지오텍, 토양환경연구팀 팀장 (Member, Managing Director, Department of Soil & Environment Research, HanJun Geotech Co., Ltd.)

쓰레기가 배수재로 침투되어 배수층의 막힘을 방지하기 위한 필터층(모래, geotextile 등) 그리고 차집된 침출수를 제거하기 위한 집수관으로 이루어진다(Sabit Adaur et al, 1995). geotextile은 geomembrane의 보호를 위한 보호재와 침출수 집수 및 배수 시스템에서 막힘을 방지하기 위한 필터로 이용되고 있다. geotextile(직포, 부직포)의 원료로 이용되는 폴리머는 화학적·생물학적으로 매우 안정하여 매립지에서 이용이 더욱 증가하고 있다. 더구나 geotextile 직조 기술의 발전으로 고중량 geotextile($\geq 1000\text{g/m}^2$)이 생산되고 있다(Calhoun Jr et al, 1972).

그러나, 매립지에서 발생된 침출수의 집수와 제거를 위해서 설치된 침출수 집수 및 배수 시스템은 매립지 건설 및 운영기간 동안 집수관 파손, 배수재 및 필터 막힘에 의해 그 기능이 저하되거나 상실되어 침출수 집수 수위를 상승시켜 바닥층을 통한 침출수 유출이 증가되며 상승된 수위에 의한 사면 안정성이 저하된다. 특히 침출수 집수 및 배수 시스템에서 막힘이 발생되면 배수 시스템의 수리학적 전도도를 감소시켜 매립지내의 침출수 수위를 상승시키고, 결과적으로 매립지의 침출수 차단 능력을 감소시키게 된다. 즉, 차수시스템을 통한 지하수로의 침출수 누출뿐만 아니라 매립지 사면을 통한 누수로 지표수 오염 문제를 일으킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 매립지 건설시 침하에 따른 배수층의 파괴를 최소화 할 수 있는 부직포와 지오그리드가 결합된 보강형배수재의 현장 적용성을 높이기 위해 보강형 배수재 투과수의 수두변화에 따른 투수량 변화를 측정하고, 자연 배수재(자연석)인 배수 시스템의 투수 및 배수능력을 평가하고자 한다. 그리고 매립지의 침출수를 이용하여 투수능력을 실험함으로써 매립지 바닥층의 집배수 시설에서 보강형배수재를 이용할 때, 부직포와 다른 자연 배수재의 복합사용에서 투수능력에 대한 기초자료를 제공하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

2. 보강형배수재의 수리학적 특성과 응용

2.1. Geotextiles의 수직투수성(Permittivity)

다공성 매질을 통과하는 정상상태의 흐름은 일반적으로 낮은 속도의 정류이다. 이러한 경우에 유속(v)은 직접적으로 동수경사(i)에 비례한다. 비례상수는 토양의 투수계수(K_s)이고 그 관계는 Darcy 방정식인 식 (1)으로 나타

내어진다.

$$v = K_s i \quad (1)$$

투수계수(coefficient of permeability)는 수리학적 전도도(hydraulic conductivity)나, 단순히 투수계수(permeability)라고 불리기도 하며 SI 단위로 토양의 속도와 투수계수는 단위시간당 길이(cm/s)로 나타내어진다(장병욱, 1988). 만일 흐름이 수직 단면적(A)을 통과하고, 유량을 Q 라고 하면 Darcy의 방정식은 양변에 단면적(A)을 곱하여 식(2)으로 나타낼 수 있다(Chris R et al, 1982).

$$Q = AK_s i \quad (2)$$

geotextiles의 수직으로 물을 통과시키는 geotextiles의 능력은 일반적으로 투수계수(permeability)라는 용어를 사용하며, 이것을 측정하는 방법은 몇 가지가 있다. 그러나 가장 단순한 방법은 물의 흐름을 이용하여 결정하는 방법으로 정수두를 고정 하였을 때 정상상태 흐름의 유량을 측정하여 투수계수를 결정하는 방법이다. 여기서 정수두는 일반적으로 50~100mm로 한다(ASTM D4391, 1993)

geotextiles을 수직으로 통과하는 물 흐름은 geotextiles의 상단부와 하단부에서 작용하는 수두차에 의해 결정된다. 만일 수두차를 Δh 라고 나타내고, geotextiles의 두께를 t_g 라고 하면 geotextiles의 수직단면에 작용하는 동수경사(i)는 $i = \Delta h / t_g$ 가 된다. 만일 흐름 영역이 층류라면 Darcy의 법칙을 적용하여, 이 경우의 geotextile의 투수계수(K_g)를 계산할 수 있다. 그러나 이론적인 평가는 실제 표준시험법에는 응용되지 않기 때문에 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 permittivity(ψ, s^{-1})를 인용하였다. permittivity는 geotextiles의 두께와 투수계수의 비율로 정의된다($\psi = K_g / t_g$). 흐름은 일반적으로 50mm의 Δh 이하에서 측정되며 층류의 흐름으로서 $Q = A\psi\Delta h$ 인 Darcy의 법칙을 따른다.

토양을 통과하는 지하수 흐름은 대부분 층류이며, 난류는 드물게 발생한다. 이와는 대조적으로 geotextiles를 통과하는 유체의 흐름은 높은 유속을 가질 수 있다. 이러한 조건일 때는, 유속과 동수경사의 급격한 변화가 선형적인 관계를 나타내기 때문에 Darcy의 법칙을 적용할 수 없다. 이 경우에 Darcy의 법칙을 그대로 적용하면 투수계수가 과소평가될 수 있다(Chris R, 1982).

Delft Hydraulic Laboratory에서 Darcy의 법칙을 수정

하여 다음과 같은 식으로 geotextiles의 투수계수를 평가하였다(R. K. Dixit et al, 1993).

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)^n = K_f \times A \times \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3)$$

여기서, K_f : 난류를 고려한 투수계수

n : 난류 흐름의 정도에 따라 주어진 값 (1.0~2.0)

위의 식은 난류를 고려하였다는 장점이 있으나, K_f 와 n 을 결정하기 어려우며 일반적인 투수계수(흙) K_s 와 관련 지어 생각하기 어렵다는 단점이 있다.

만일 투과액이 물이 아니라면, 밀도와 점도의 차에 대하여 보정을 하여야 한다. 비율에 의한 방법은 다음과 같다 (Schneider et al, 1987)

$$\psi_f = \psi_w \times \frac{\rho_f}{\rho_w} \times \frac{\mu_w}{\mu_f} \quad (4)$$

여기서, ψ_f = 유체의 permittivity(s^{-1})

ψ_w = 물의 permittivity(s^{-1})

ρ_f = 유체의 밀도(g/cm^3)

ρ_w = 물의 밀도(g/cm^3)

μ_w = 물의 점도($g/cm \text{ sec}$)

μ_f = 유체의 점도($g/cm \text{ sec}$)

여기서 실험 시 중요한 고려사항은 시편의 조건, 온도, 탈기된 물을 이용하는 것이다.

2.2 Geotextiles의 수리학적 성질에 영향을 주는 주요인자

매립지에서 geotextiles를 이용할 때 폐기물과 인접한 대부분의 배수용 부직포들은 하중에 의한 압축과 부유입자나 복토 입자에 의한 부직포의 clogging 등으로 인한 투수성의 감소를 나타낸다. 그래서 배수용 부직포 설계 시에는 부직포의 clogging 효과와 압축효과 등을 고려한 평면 투수계수와 유효공극 및 두께 등을 결정하여 사용하여야 한다(이재영 등, 1999).

결과적으로 부직포의 수리학적 성질에 영향을 주는 주요인자는 ① 부직포의 두께에 영향을 주는 압력과 ② 부직포의 공극을 막는 토양 및 부유 미세입자로 인해 장기적으로 이용할 때 발생할 수 있는 clogging을 들 수가 있다(고재학, 2000).

2.2.1 압력에 의한 Geotextile의 수리학적 성질의 변화
geotextiles에 가해진 압력은 우선적으로 geotextile의 두께 변화를 초래하며, 두께의 변화는 geotextile의 공극 부피를 감소시키고 결과적으로 수리학적 전도도에 영향을 준다. 부직포에 가해진 압력에 의한 수리학적 전도도에 대한 연구를 Dixit와 Mandal(1993)이 수행하였다. 그들은 부직포와 geocomposite에 있어서 수직흐름에 대한 유속과 손실수두와의 관계를 0.2, 0.6 그리고 1.2 kgf/cm^2 (19.6, 58.9, 117.7 kPa)의 유효표준압력(Effective Normal Stress)이 선형적인 관계를 보인다는 결과를 얻었다.

2.2.2 Geotextiles의 막힘 현상

Fig. 1은 시간(T)에 대한 누적유량(Q)에 대해 점차적인 막힘의 추세를 개념적으로 보여준다. 이상적으로 막힘이 기대되는 곳은 주어진 조건에 대하여 Q-T 추세에 대한 예측은 설계자가 이용할 배수시스템의 유효사용시간 (The Effective life time; T_{eff})과 전체 유효 배수량(Q_{eff})을 제공한다.

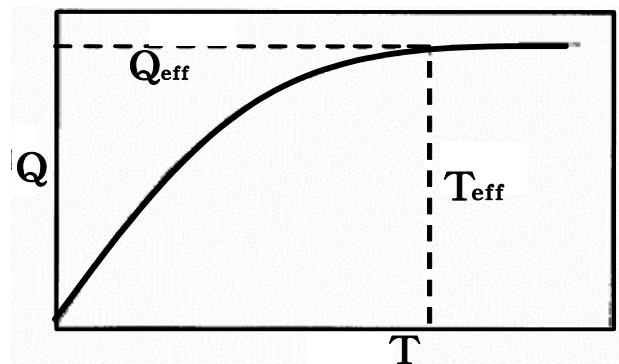


Fig. 1. Conceptual trend of cumulative flow versus time for gradual clogging

3. 실험내용 및 방법

3.1. 투수능력 실험장치

본 연구에서 보강형배수재의 수직투수장치는 미국 GRI (Geosynthetic Research Institute)에 있는 수직투수장치에 의거하여 이 실험에 맞게 다소 변형하여 제작된 장치이다. 보강형배수재의 투수계수를 측정하기 위하여, 두께가 10 mm, 외경이 200mm, 높이가 600mm 인 투명 아크릴을 컬럼으로 제작하였다. 컬럼의 하부에 보강형배수재를 고정시킬 수 있는 장치를 하였고, 자연 배수재를 채우기 위하여 200mm 높이의 컬럼을 그 밑에 두었다. S매립지의 침

출수의 유입은 Fig. 3에서와 같이 윗부분에서 유입시켰으며, 유입에 따른 수두를 일정하게 유지할 수 있도록 제작하였다.

3.2 실험방법

보강형배수재의 투수능력을 측정하기 위한 실험은 물을 이용하여 정수위법과 변수위법을 수행하였으며, 매립지 침출수 수집 및 제거 시스템에서의 투수능력을 측정하기 위하여 S매립지의 침출수를 이용하여 정수위법을 수행하였다.

3.2.1 물을 이용한 투수실험

수두변화에 따른 투수능력의 변화를 알아보기 위하여 위와 동일한 방법으로 시료를 취하여, 일정한 수두에서 1분씩 투과된 유량을 측정하였다.

정수위법과 변수위법에 이용된 계산식은 다음과 같다.

- Constant Head Test(EPA, 1988)

$$\psi = \frac{QR_t}{Aht} \quad (5)$$

여기서, ψ = Permittivity(s^{-1})

Q = Volume of water collected(mm^3)

A = Area of cross-section of geotextile specimen (mm^2)

t = Duration of collection of water(s)

h = Head of water on specimen(mm)

R_t = Temperature correction factor determined using

$$R_t = \frac{\mu_t}{\mu_{20^\circ C}} \quad (6)$$

여기서, μ_t = Water viscosity at test temperature

$\mu_{20^\circ C}$ = Water viscosity at $20^\circ C$

- Falling Head Test(EPA, 1988)

$$\psi = \frac{a}{At} \log_e \frac{h_i}{h_f} R_t \quad (7)$$

여기서, A = Area of cross-section of geotextile specimen (mm^2)

a = Cross-sectional area of standpipe

Q = Volume of water collected (mm^3)

t = Duration of collection of water (s)

h_i = Head of initial time (mm)

h_f = Head of final time (mm)

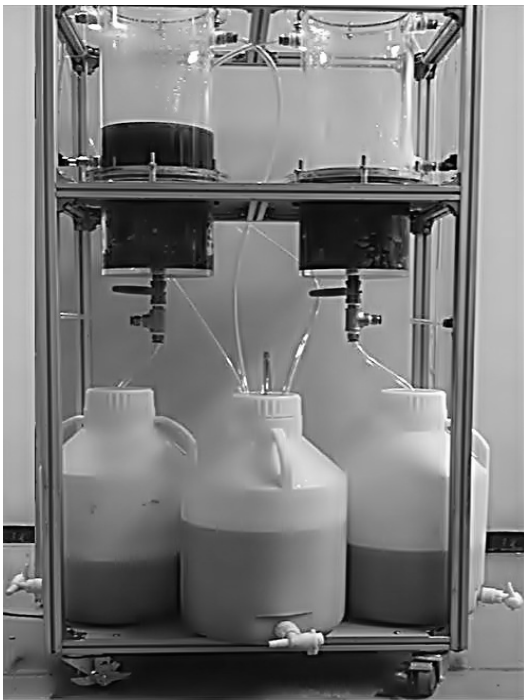


Fig. 2. 투수시험 장치 전경

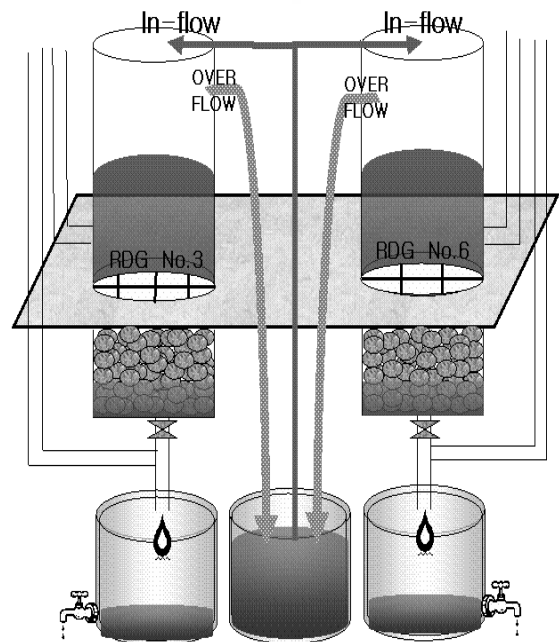


Fig. 3. A schematic diagram for the permeameter in this study

3.2.2 침출수를 이용한 투수실험

물을 이용한 투수실험이 끝난 후 S매립지의 침출수를 이용하여 보강형배수재의 투수능력을 측정하였다. 침출수를 이용한 투수실험에서는 투과유량을 조절하기 위하여 보강형배수재 시편의 면적을 지름 200mm로 잘라내어 200mm 지름의 구멍을 가진 원형 아크릴판 사이에 고정시켜 실험하였다. 투수능력의 계산은 물을 실험에서 이용된 수식과 동일한 식을 이용하였으나 침출수에 의한 투수실험에서는 침출수의 밀도와 점도를 구하여 투수계수를 보정하였다. 침출수의 투수실험에서 보정은 식 (4)를 이용하였다.

3.3 침출수의 수질 분석

침출수 원수와 장기적인 실험에서 운전기간 중 투수계수의 변화에 따른 침출수 수질변화를 측정하기 위하여 Table 1에 나타낸 수질 항목 및 분석방법을 이용하여 측정하였다. 수질 분석항목은 COD, pH, BOD₅, SS 등을 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 보강형배수재의 투수능

보강형배수재의 수직투수성(Permittivity)을 정수두법을 이용하여 구한 결과는 다음의 Table 2와 같다. 시험에

Table 1. The characteristics of leachate and analysis methods.

Item	Analysis Method
pH	pH/Ion Meter
COD(mg/L)	Standard Method 18th-5200(Open Reflex Method
SS(mg/L)	Korean Standard Method
BOD ₅ (mg/L)	Korean Standard Method

사용된 부직포의 수직투수성(Permittivity)는 RDG #3의 경우 평균적으로 0.0582s⁻¹ 나타났고, RDG #6의 경우는 평균적으로 0.0608s⁻¹로 나타났다. RDG #3과 #6에 사용된 부직포의 재질 및 그 성질은 같지만 Permittivity는 RDG #6이 #3에 비하여 약간 더 높게 나타났다. 두 샘플 사이의 차이점은 부직포 강도 보완을 위해 뒤쪽에 부착된 Geogrid의 간격차이 이외에는 동일한 부직포이기에 Permittivity가 차이는 이유는 Geogrid 간격의 영향이라 사료된다.

4.2. 침출수에 의한 투수능력의 변화

보강형배수재의 투수능력을 평가하기 위하여 S매립지에서 발생된 침출수를 이용하여 정수위 투수시험을 반복하여 수행하였다. S매립지에서 발생된 침출수의 수질은 매우 다양하며 계절별, 월별, 침출수 발생량도 변화가 매우 심하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 매립침출수 중 배수재에 가장 영향을 줄 수 있는 오염물질을 pH, COD, SS, BOD₅를 선택하여 Table 3에 나타내었다.

본 연구에서 두 종류의 S매립지 침출수를 이용하였으며, 투수실험에서 Permittivity를 산정하기 위해 보정값으로 이용되는 침출수의 점도와 밀도는 11°C에서 각각 1.55 cps, 989kg/m³로서 물과 거의 같은 값을 보였다.

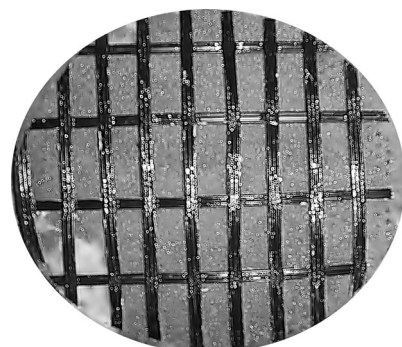
침출수를 이용한 투수실험에 있어서 수질 항목 중 단기간에 가장 큰 영향을 줄 것으로 사료되는 SS(Suspended Solid)를 침출수 투과 전·후에 평가하여 부직포에 누적된 SS량은 Table 4에 나타내었다. No. 1 Site의 침출수와 No.

Table 2. The permittivity of composite-geotextile with by constant head test

	RDG #3	RDG #6
Permittivity(s ⁻¹)	0.0582	0.0608

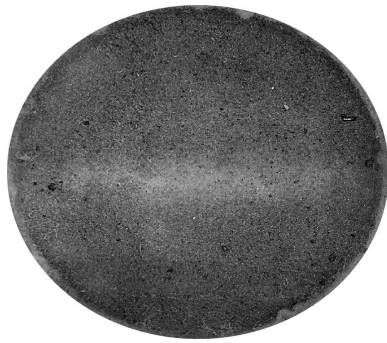


(a) 전면

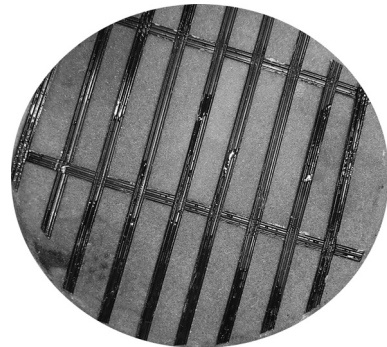


(b) 후면

Fig. 4. 침출수를 통과 시킨 부직포 RDG#3



(a) 전면



(b) 후면

Fig. 5. 침출수를 통과 시킨 부직포 RDG#6

Table 3. A typical characteristics of leachate in landfill

Item	Site	
	No. 1 Site	No. 2 Site
pH	7.5 ~ 8.0	7.5 ~ 7.8
COD(mg/L)	1000 ~ 1100	2800 ~ 3100
SS(mg/L)	55 ~ 60	260 ~ 380
BOD ₅ (mg/L)	50 ~ 70	1600 ~ 1800

Table 4. The SS of the removed SS by geotextiles

Item		Site			
		No.1 Site		No.2 Site	
		통과 전	통과 후	통과 전	통과 후
SS(mg/L)	#3	60	56	382	292
	#6		58		266

2 Site의 침출수의 SS값을 살펴보면 알 수 있듯이 No. 2 Site의 침출수의 SS값이 훨씬 더 높게 나타난 것을 알 수 있는데 No. 1 Site의 침출수는 사용이 종료된 매립지의 침출수로서 이미 그 침출수가 어느 정도 안정화 과정을 거친 것을 알 수 있다.

처음에 No. 1 Site의 침출수를 이용하여 정수투 투수시험을 통해서 샘플 #3과 #6에 대해 개략적인 배수기능을 평가하고 나서 SS의 값이 높을 것으로 예상되는 No.2 Site의 침출수를 이용하여 정수투법 투수시험을 하여 여과기능 및 SS값이 서로 다른 침출수로서 연구를 수행함으로써 현장 적용성을 평가하였다.

Table 4에서 알 수 있듯이 보강형배수재 통과 전·후의 SS양을 측정된 결과 보강형배수재에 의한 SS의 제거율은 그리 높지 않았다. 그러나 geotextiles의 주기능인 여과기능 및 분리기능을 수행하는데는 어려움이 없을 것으로 판단된다. 보강형배수재 뒷면에 부착된 geogrid는 보강형배수재의 강도만 향상시켰고, 이 보강형배수재의 분리기능이나 여과기능 등에는 영향을 주지 않았음을 알 수 있었다.

5. 결론

매립지 침출수 수집제거 시스템에서 보강형배수재 filter 이용에 대한 수리학적 기초자료를 제공하기 위하여 매립지내 침출수를 이용한 투수능력 평가를 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 내렸다.

- (1) 정수위법(침출수)을 이용하여 보강형배수재의 수직투과성(permittivity)이 부직포에 부착된 geogrid 간격으로 인해 RDG #3은 $0.0582s^{-1}$, RDG #6은 $0.0608s^{-1}$ 으로 수치상으로 약간의 차이를 보이나 일반적인 부직포의 투수계수의 범위 내에 있다고 판단할 수 있다.
- (2) S 매립지에서 발생된 No.1 Site의 침출수와 No.2 Site의 침출수를 이용하여 정수위 투수시험을 반복하여 수행한 결과, SS값이 No.2 Site의 침출수가 No.1 Site의 침출수에 비해 상당히 높았지만 permittivity은 수치상으로 거의 차이가 보이지 않았지만 미소하게 No.2 Site가 낮게 나온 것을 고려한다면 permittivity의 감소는 침출수의 SS 농도에 영향을 받았음을 보여준다.
- (3) 본 연구에서 물 또 침출수 투과액을 사용하여 부직포의 permeability는 $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^{-4} cm/s$ 의 범위이었으며, 이러한 결과는 폐기물 매립지에서 폐기물 매립 후 폐기물의 permeability가 $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-5} cm/s$ 인 것보다 우수한 능력을 보임으로서 보강형배수재를 배수층에서 filter로 사용할 수 있다고 판단된다.
- (4) 보강형배수재는 침하에 따른 geogrid의 보강성과 geotextiles의 침출수 배수능력을 복합한 것으로서 침출수 통과에 따른 배수능력(투수성)을 평가하였다. 보강형배수재는 연속적인 침출수 통과에도 불구하고 일반적인 부직포와 유사한 배수성능을 가질 것으로 평가되며 향후 폐기

물매립지의 침출수 배제시스템에 사용될 수 있다고 사료된다.

- (5) 본 연구에서 생물학적 막힘 및 화학적 침전현상에 따른 보강형배수재 투과성 실험을 수행되지 못하였으므로 향후 생물학적 막힘 및 화학적 침전을 고려한 중·장기적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 양영재단의 “폐기물매립지용 보강형 배수재의 배수특성에 관한 기초연구”의 연구비 지원에 의한 연구 성과의 일부임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 고재학 (2000), *폐기물 매립지 침출수 집수 및 배수시스템에서 Geotextile의 내구성과 막힘에 관한 연구*, 석사학위논문, 서울시립대학교, pp.17-19.
2. 이재영, 고재학, 노회정 (1999), “폐기물 매립지 배수층에서 부직포의 투수능 평가”, *지하수토양학회 춘계학술대회*, pp.21-25.
3. 장병욱 (1988), *필터용 토목섬유의 설계 및 시험기준에 관한 연구*, 871-1501-051-1, 한국과학재단, pp.16-17.

4. ASTM D4391 (1993), *Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, USA, pp.23-27.
5. Brand, E. W., Pang, P. L. R. (1991), “Durability of Geotextiles to Outdoor Exposure in Hong Kong”, *J. of Geotechnical Engineering*, Vol.117, No.7, pp.979-1000.
6. Calhoun Jr, Charles C. (1972), *Development of Design Criteria and Acceptance Specifications for Plastic Filter Cloth*, Technical Report No. S-72-7, U. S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, pp.101-105.
7. Chris R., Lawson (1982), “Filter Criteria for Geotextiles: Relevance and Use”, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Newyork, pp.1300-1316.
8. U.S. Environmental Protection Agency (1988), *Guide to Technical Resources for the Design of Land Disposal Facilities*, Washington, D.C., EPA/625/6-88/018.
9. R. K. Dixit & J. N. Mandal (1993), “Hydraulic Conductivity of Geotextiles under Typical Operational Conditions”, *Geotextiles and Geomembrane*, pp.543-566.
10. Schneider, H., Groh, M. (1987), “An Analysis of the Durability Problems of Geotextiles”, *Geosynthetics '87 Conference*, New Orleans, USA, pp.434-440.
11. Sabit Adanur et al (1995), *Design and Characterization of Geotextiles for High Performance Applications*, A94-8, National Textile Center Research Briefs, pp.14-15.

(논문접수일 2008. 2. 22, 심사완료일 2008. 3. 7)