

폐기물 매립지 최종복토 차단층으로서 Geosynthetic Clay Liner 적용성 평가

The Evaluation of Geosynthetic Clay Liner as a barrier layer for the Final Cover System in landfill

*1 이정란 Lee, Jung-Lan

*2 문철환 Moon, Chul-Hwan

*3 정찬기 Jung, Chan-Kee

*4 이재영 Lee, Jai-Young

Abstract

One of the most important concern in the design of barrier layer in to protect the water through the landfill. The barrier layer consists of a single compacted clay liner(CCL) or a composite liner with high density polyethylene(HDPE). The construction of barrier layer at the edge of cover system usually has some problems because of steep slope in the landfill. In this study the authors evaluate the geosynthetic clay liner(GCL) as a barrier layer at the edge of the final cover system in landfill. The GCLs were simulated the stability of slope, the HELP(Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) and the durability of environmental situation. As the results, the GCL has more stable than the CCL. Therefore, the authors suggest that the GCL in good for the barrier layer of the final cover system in the landfill.

요 지

폐기물 매립지 최종복토의 주요 기능중 하나는 매립지 내부로 우수의 침투를 억제하는 것이다. 이러한 기능을 담당하는 차단층은 폐기물 관리법상 다짐점토층(45cm)의 단독포설이나 다짐점토층(30cm)상부에 HDPE를 복합으로 포설하도록 되어 있다. 그러나 바닥층 사면부에서와 같이 최종복토층 끝단 사면부에서 다짐점토층의 포설이 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 토목합성물질 사이에 차수성이 뛰어난 벤토나이트를 삽입한 토목합성수지점토라이너(Geosynthetic Clay Liner; GCL)를 다짐점토층 대신 적용하여 최종복토 끝단 사면부에서 차단층으로서의 적용가능성을 평가해 보고자 HELP 분석과 사면에서의 안정성 검토, 환경적 내구성 검토를 수행하였다. 그 결과 GCL이 기존의 다짐점토층보다 안정된 결과를 나타내고 있어 GCL을 최종복토의 차단층으로서 사용하도록 제안하고자 한다.

Keywords : Final cover system, Compacted Clay Liner, Geosynthetic Clay Liner, HELP, Slope stability, Landfill

1. 서 론

폐기물 매립이 완료된 후 안정화 및 환경오염방

지를 위해 실시되는 최종복토층의 주요 기능 중 하나는 폐기물 층 내 우수의 침투를 차단하여 침출수의 발생을 저감시키는데 있다¹⁾. 현재 폐기물 관리법

*1 학생회원, 서울시립대학교 환경공학부 석사과정 (Graduate student, Dept. of Env. Eng., The Univ. of Seoul)

*2 학생회원, 서울시립대학교 환경공학부 박사과정 (Graduate student, Dept. of Env. Eng., The Univ. of Seoul)

*3 정회원, 서울시립대학교 환경공학부 교수 (Member, Professor, Dept. of Env. Eng., The Univ. of Seoul)

*4 정회원, (주) 도화종합기술공사, 환경부 (Member, Dept. of Environmental, Dohwa Consulting Engineering Co.)

에서 규정하고 있는 최종복토층의 규정은 그림 1과 같이 식생대층, 배수층, 차단층, 가스배제층으로 포설하도록 규정하고 있다. 이 중 차단층은 (a) 점토·점토광물혼합토 30cm 이상, 투수계수가 1초당 1백만분의 1센티미터 이하가 되도록 설치한 후 그 위에 1.5mm 이상인 합성고분자차수막을 설치(그림 1(1안))하거나 (b) 점토·점토광물혼합토 등으로 두께 45cm 이상, 투수계수가 1초당 1백만분의 1센티미터 이하가 되도록 설치하도록(그림 1(2안)) 되어 있다⁵⁾. 다짐점토층(compacted clay liner; CCL)은 일반적으로 오랫동안 사용되어 왔으나 압축성이 높은 폐기물 위에서는 시공이 어려우며, 물리적 현상에 의한 균열(예: 동결/융해 등)은 다짐점토층의 손상을 유발하는 등의 단점이 있다^{1,2)}. 따라서 선진국 등에서는 Geotextile 또는 Geomembrane 사이에 벤토나이트를 삽입한 토목 합성수지점토라이너(Geosynthetic Clay Liner; GCL)를 많이 사용하고 있다⁵⁾. GCL은 설치 전, 후로 뒤틀림이 있을 수 있으며 벤토나이트는 투수되는 용액에 따라서 투수계수가 변할수 있지만 시공시 접합작업이 따로 필요하지 않아 시공상 편리하고 매우 낮은 투수계수를 가지며, 두께가 얇아 매립용량을 증가시키고, 경사면 등 토양의 포설이 어려운 곳에 시공이 가능하고, 자체복원(self-healing)능력 등의 장점을 가지고 있다^{6,10,11)}.

현재 매립지에서는 최종복토층의 갈라짐에 의한 붕괴시 우수가 매립지 안으로 침투하거나 최종복토

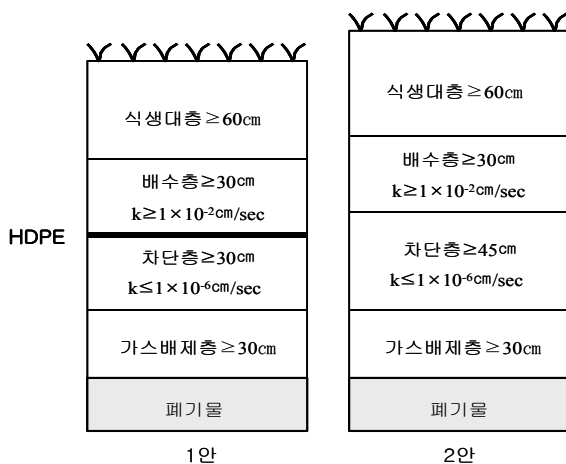


그림 1. 최종복토 규정⁵⁾

층 설치시 점토층의 급경사에 따른 다짐점토층의 포설이 문제점으로 야기될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최종복토 차단층으로서 GCL의 적용가능성을 알아보고, 특히 최종복토 포설 시 점토층의 끝단의 급경사에 따른 다짐점토층의 문제점을 해결하고자 GCL을 적용하였을 경우의 가능성을 평가하였다. 이와 같은 평가를 위해 HELP 모델을 이용하여 우수의 침투율을 알아보고, 사면부 끝단의 급경사에서 GCL 포설에 따른 투수계수를 평가하였으며, 사면에서의 안정성을 검토하였고, 동결/융해 및 건조/수축에 대하여 환경적 내구성 검토를 실시하였다.

2. 실험방법

2.1 HELP 모델을 이용한 물수지 분석

본 실험에서 HELP 모델을 이용한 물수지 산정은 현재 폐기물관리법에서 규정하고 있는 2가지 방안(그림 2(1안), (2안))과 다짐점토층 대신 GCL을 적용하였을 경우(그림 2(3안), (4안))를 대상으로 수행되었

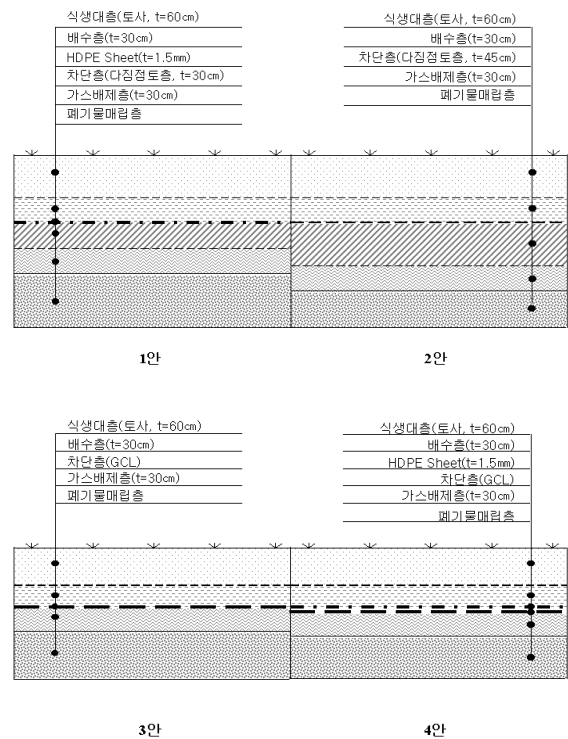


그림 2. 물수지 분석을 위한 각 안별 최종복토 단면

다. 기상자료는 기상청에서 제공하는 인천지역의 기상자료를 이용하였고 분석기간은 25년으로 하였으며, HELP모델에서 Geomembrane(GM)의 Quality는 Good으로 하였다. Pinhole Density와 Installation Defects는 1 hole/hectare, 34.4 holes/hectare로 하였고¹⁾, 다짐점토층의 투수계수는 해성점토의 투수계수를 측정 한 결과 $3.87 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 로 이 값을 적용하였고, GCL의 투수계수는 $1.2 \times 10^{-9} \text{cm/sec}$ 로 적용하였다.

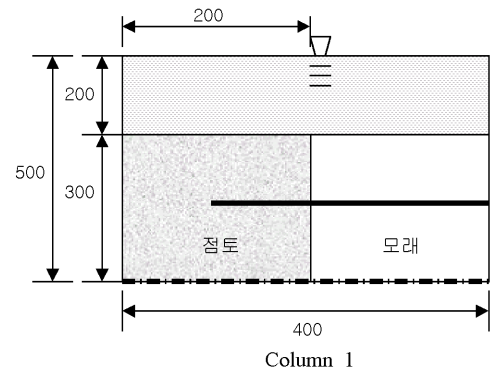
표면유출 및 설계자료는 SCS Runoff Curve Number는 82.6, Potential Runoff Fraction 100%, Leaf Area Index 1.0, 증발산깊이 20.3cm, 바닥경사 3%, 배수관로 설치간격은 200m로 적용하였다. 표면 유출자료는 강우의 유출량, 증발산량, 매립장내로의 침투량 산정시 중요한 자료이며, 특히 증발산 깊이와 잠재유출율은 결과치에 민감한 영향을 미친다. 또한 설계자료인 배수경사 및 배수관로 설치간격은 각 매립 구역별로 가운데를 지점으로 도로변측으로 배수 경사가 형성되어 있으며 도로변 측으로 배제용 암거를 설치하도록 하였으며 배수관로의 평균 설치간격은 200m로 적용하였다¹⁾.

2.2 사면부에서 GCL 포설방안에 따른 투수계수 평가

최종복토층 포설시 끝단의 급경사에 따른 다짐 점토층의 포설이 문제점으로 야기되고 있다. 공장에서 만들어진 GCL은 급경사에 설치 시 다짐 등이 불필요하므로 사용하기가 용이하다²⁾. 따라서 본 연구에서는 컬럼을 제작(400×500mm), 최종복토층 끝단의 사면부에 GCL을 포설함으로써 GCL과의 연결성을 알아보고, 이때의 투수계수 유지여부를 판단하고자 한다. 컬럼바닥에 구멍을 뚫어 물을 받아 변수위법으로 투수계수를 측정하였고 실험기간은 45일이었으며, 총 15회 측정하였다. 그림 3은 각 실험방안의 모식도이다.

2.3 사면안정성 평가

최종복토 최상단부는 침하후 2%의 경사를 유지해



— : GCL

Unit : mm

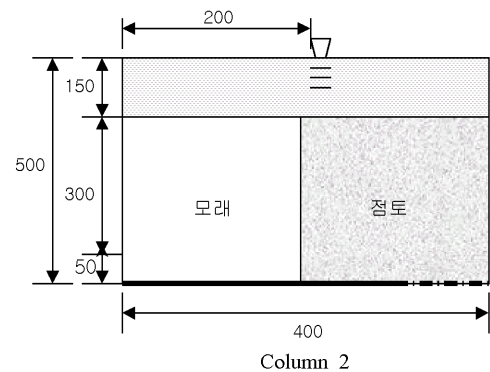


그림 3. 사면부에서 투수계수 평가를 위한 각 실험방안의 모식도

야 한다. 따라서 4~10%의 경사로 시공이 되며, 이에 따른 층간의 미끄러짐으로 인해 GCL의 부직포가 파손될 우려가 있다³⁾.

따라서 본 연구에서는 최종복토 사면에서의 안정성 평가를 위해 주로 활용하는 한계평형법(Limit equilibrium method)을 이용하였다. 이 방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것으로서 검토를 단순화하기 위한 조건을 가정하고 이를 이용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서도 이를 적용하였으며, 검토를 위한 프로그램은 KSTABLE 5M을 사용하였고, 해석방법은 Bishop의 간편법을 이용하여 사면안정성을 검토하였다. Bishop의 방법은 정역학적으로 해를 얻기 위해 설정한 가정에 정해가 될 수 없으나 구해진 안전율은 거의 정확치에 근접하여 본 비탈면 안정해석에 이용하였으며, Bishop의 간편법에 의한 안전율 계산식은 다음과 같다. 보통 안전율(FS : Safe of factor)이 1.3보다 크면

표 2. 사면안정 검토를 위한 지반정수

구 분		층 후	단위중량 (t/m ³)	점착력 (t/m ²)	내부마찰 각(°)
식생대층	토사	60cm	1.8	1.0	25
배수층	모래	30cm	1.8	0	35
차단층	다짐점토	45cm	1.7	3.0	0
가스배제층	잡석	30cm	1.9	0	35

안전하다고 평가할 수 있다²⁾.

$$FS = \frac{c + \sigma \tan \Phi}{\tau_{eq}} \quad (1)$$

여기서, c : 점착력

Φ : 내부마찰각

σ : 활동면에 작용하는 수직응력

τ_{eq} : 평형에 필요한 전단응력

사면안정검토를 위한 검토단면은 현행폐기물관리법 최종복토 차단층 구성인 (a) 다짐점토층[30cm+합성고분자차수막(HDPE 1.5mm)] (b) 다짐점토층[45cm]와(그림 1(1안), (2안)) 토목합성수지점토라 이너를 다짐점토층 대신 적용한 경우(그림 2(3안))로 하여 비교하였고, 각 안의 지반정수는 표 2에 나타내었다. 검토를 위한 단면의 경사는 $V(\text{vertical}):H(\text{horizontal})=1:1$ 로 하였으며, 우리나라의 계절적 특성을 고려하여 건기와 우기로 나누어 평가하였다.

2.4 환경적 내구성 평가

현재 폐기물 매립지 최종복토 차단층으로 사용되고 있는 다짐점토의 환경적 변화에 대한 투수특성을 알아보고자 동결/융해 및 건조/수축에 대한 내구성 평가를 실시하였으며 점토의 대응으로 적용될 GCL도 같은 실험을 실시하였다.

투수계수의 측정은 ASTM D 5084의 방법으로 연성벽 투수시험기(Flexible-Wall Permeater)를 사용하였으며, 투수측정 방법은 falling-headwater/rising-tailwater 측정법을 사용하였다. ASTM D 5887의 기준에 따르면 GCL은 정확한 두께의 측정이 어려우므

표 3. HELP모델 결과에 따른 각 안의 표면유출, 증발산 배수, 침투율

	1안(%)	2안(%)	3안(%)	4안(%)
표면유출	22.9	35	33	36
증발산	49.8	62	62	62
배수	12	2.2	2.2	2.2
침투율	25	0.5	3	0.04

로 실험결과를 투수계수의 단위(cm/sec)로서 표현하지 않고 단위시간당 유량(cm³/sec)으로서 표현하였다. 그러나 본 연구에서는 부직포와 폴리에틸렌 재질의 겹면과 내부의 벤토나이트를 포함한 GCL전체의 두께, 특히 포화된 후의 최종두께를 시료의 두께로 하여 측정하였다⁴⁾.

3. 실험결과

3.1 HELP 모델을 이용한 물수지 분석 결과

최종복토의 내부로 우수 침투율을 비교한 결과 Geomembrane(GM)없이 포설한 3안 GCL의 침투율(3.02%)은 2안 CCL(25.35%)보다 8배 정도 낮았고, GM을 설치한 1안 CCL+GM(0.45%)과 4안 GCL+GM(0.045%)을 비교해 보아도 4안의 침투율이 10배 정도 낮음을 알 수 있다. GM을 설치하지 않고 3안의 GCL만 설치한 경우 1안 CCL+GM보다 침투율이 높게 나타나는데, 이는 GM의 투수계수(2×10^{-13} cm/sec)보다 낮기 때문이다. GCL의 투수계수가 더욱 낮을 경우($k=2.0 \times 10^{-10}$ cm/sec) 침투율은 0.5% 이하로 떨어지게 되는데, 투수계수가 점점 작아질수록 침투율은 더욱 감소할 것으로 사료된다. 4안 GCL+GM을 설치한 경우 3안의 GCL만 설치하였을 때보다 침투율이 낮아지는 것을 알 수 있다. 즉 4안 GCL+GM 설치 시 가장 낮은 침투율을 보이는 것을 알 수 있다. 즉 GCL을 차단층으로서 고려하였을 때 기본적 특성인 차수재로서는 우수한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

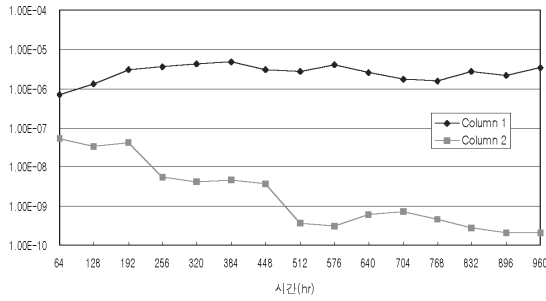


그림 4. 사면부에서 GCL포설방안에 따른 투수계수

3.2 사면부에서 GCL 포설방안에 따른 투수계수 평가

그림 4는 Column 1, 2의 투수계수 실험결과를 나타낸 것이다. Column 1의 경우 평균 $3.46 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 값을 나타내었고, Column 2의 경우 $9.83 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ 값을 나타내었다. Column 1이 불투수층이라 불리는 ($1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$)을 만족하고 있지 못하고 있는 것은 좌, 우로 동시에 점토와 모래를 포설하여 모래쪽으로 물이 배수됨에 따라 투수계수가 증가한 것으로 사료된다.

GCL은 별도의 접합작업이 필요 없이 일정한 폭 이상만 겹쳐놓으면 GCL내의 벤토나이트에 물이 접하게 되어 벤토나이트가 수화되고 팽창되어 자동적으로 부착하게 된다. 즉 다짐점토층과 GCL의 연결부위에서 투수계수 유지여부를 위해서는 Column 2와 같이 GCL이 다짐점토층 아래 위치하여야 할 것이다.

3.3 사면안정성 평가

단면<V(vertical):H(horizontal)=1:1>을 분석한 결과(표 4) 안전율(FS)은 Design 1에서 1.909, Design 2에서 1.882, Design 3에서 2.033으로 측정되었다. 이는 기준 안전율인 1.3보다 크기 때문에 안정하다고 평가할 수 있다. 여기서 GCL의 안전율이 높은 것은 두께가 얇아 사면의 높이가 상대적으로 낮아져서 (Design 1 : 1.5m, Design 2 : 1.65m, Design 3 : 1.2m) 사면구배가 동일한 경우라도 사면높이가 가장 낮은 Design 3의 안전율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

표 4. 사면안정 검토 결과 종합

구분		안전율	평가
건기시	Design 1	1.909	O.K
	Design 2	1.882	O.K
	Design 3	2.033	O.K
우기시	Design 1	1.248	N.G
	Design 2	1.250	N.G
	Design 3	1.383	O.K

또한 계절적 특성을 고려, 여름에 호우를 대비하여 우기시 조건을 검토해 본 결과 Design 1, 2는 안전율을 만족하지 못한 반면 Design 3(1.383)은 안전율을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 우기시 Design 3이 안전율을 만족하고 있지만 집중호우시 차단층 상부의 수두가 더 높아질 경우 사면에 대한 안전성은 감소할 수 있고 GCL의 손상과도 연관이 있으므로 이에 대한 장기적인 모니터링이 필요하다고 사료된다.

3.4 환경적 내구성 평가

표 5와 같이 환경적 내구성 평가로서 동결/융해, 건조/수축을 통한 점토 및 GCL의 투수계수 변화를 측정하였다.

3.4.1 점토의 투수계수

(1) 동결/융해

시료를 원추형 공시체로 만들어 동결기를 이용하여 -30°C 에서 3일 동결, 상온에서 4일 융해하였고, 이러한 과정을 3회 반복하였으며, 1회 실험기간은 1주일로 하였다. 시료를 연성벽 투수시험기에 장착하여 포화시킨 후 투수계수를 측정하였다. 측정결과 평

표 5. 환경적변화에 의한 점토와 GCL의 투수계수

	투수계수	
	점토	GCL
동결/융해	$1.16 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$	$9.65 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$
건조/수축	$2.27 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$	$6.81 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$
초기 투수계수	$3.87 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$	$1.2 \times 10^{-9} \text{cm/sec}$

균 투수계수는 $1.16 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 값을 나타내었는데 이는 법적 투수계수 기준인 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 를 만족하고 있지 못함을 알 수 있다. 즉 동결/융해의 온도변화에 의해 점토에 균열이 발생하여 법적 기준치에 미치지 못하는 것으로 판단된다. 점토의 경우 환경변화에 매우 취약한 것으로 나타났다.

(2) 건조/수축

시료를 원추형 공시체로 만들어 Lysimete안에 넣은 후 sprinkler를 이용하여 10mm/hr의 물을 살수(wet process)하였으며, 적외선 램프와 fan을 이용하여 dry process안에 넣었다. 이러한 과정을 3회 반복 실험하였으며, 1회 실험기간은 1주일로 하였다. 동결/융해 실험과 마찬가지로 연성벽 투수시험기에 장착하여 포화시킨 후 투수계수를 측정하였다. 측정결과 평균 투수계수는 $2.27 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 의 값을 나타냈고, 법적 투수계수 기준을 만족하지 못함을 알 수 있다. 이는 건조/수축 과정에 의해 점토에 균열이 생겨 공극이 커짐으로서 투수계수가 증가한 것으로 사료된다.

3.4.2 GCL의 투수계수

(1) 동결/융해

GCL을 -30°C 에서 동결/융해 과정을 3회 반복 실시하고 시료를 투수시험기에 장착하여 포화시킨 후 투수계수를 측정한 결과 평균값은 $9.65 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ 를 나타내었다. 점토의 동결/융해 실험결과와는 달리 법적기준치를 만족하고 있음을 알 수 있다. 이는 GCL을 지오텍스타일이나 지오펜브레인 사이에 벤토나이트를 충전시켜 접착제나 니들펀칭(needle-punching), 스티칭(stitching)의 방법으로 결합하고, GCL의 주재료가 되는 벤토나이트가 팽창성과 투수계수 저하 측면에서 우수한 성능이 있어 투수계수의 증가폭이 감소한 것으로 판단된다.

(2) 건조/수축

GCL의 건조/수축 실험 결과, 평균 투수계수는 $6.81 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ 값을 나타내었다. 점토의 실험결과($2.27 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$)와 비교하였을 때 건조/수축 실험 역시 법적기준을 만족하고 있다. 이는 GCL의 주재료가 되는 벤토나이트의 특징인 이중확산층의

형성이나 팽창성(차수효과), 접착성, 치밀성과 같은 특징 때문인 것으로 사료된다. 즉 GCL이 점토보다 높은 투수계수를 가지는 것으로 나타났다.

점토와 GCL의 환경적 변화에 대한 내구성 평가 결과 점토는 동결/융해 및 건조/수축에 대하여 법적 투수계수 기준에 미치지 못하는 값을 나타내었고, GCL은 본래의 투수계수인 $1.2 \times 10^{-9} \text{cm/sec}$ 에는 미치지 못하였지만 법적 기준에는 만족하는 값을 나타냈다. 따라서 위와 같은 결과를 종합해볼 때 환경적 변화에 대한 투수계수는 GCL이 다짐점토층 보다 더 우수한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 폐기물 매립지 최종복토 차단층으로서 GCL을 적용하였을 경우 그 가능성에 대한 연구를 실시하였으며, 특히 최종복토 설치시 점토층의 끝단의 급경사에 따른 포설의 문제점을 해결하고자 GCL을 적용하였을 경우의 가능성을 평가를 하였다. 이를 위하여 HELP 분석을 통해 우수침투율을 알아보고, 사면부에서 GCL포설에 다른 투수계수 유지여부를 평가하였다. 또한 사면에서의 안정성을 평가하고 동결/융해 및 건조/수축의 환경적 변화에 의한 실험을 통해 투수계수를 측정하여 차수재로서의 기능을 평가하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. HELP 분석을 통해 우수침투율을 비교해 본 결과 차단층 포설기준인 1안과 2안은 각각 0.45%, 25.35%를 나타내었고, 다짐점토층 대신 GCL을 적용한 3안과 GCL+GM을 적용한 4안은 각각 3.02%, 0.045%의 유출율을 나타냈다. GM없이 포설한 1안과 3안의 경우 8배 정도의 유출율 차이 보였으며, GM설치한 1안과 4안의 경우도 10배가량의 차이를 보이고 있다.
2. 사면부 끝단의 급경사에서 GCL포설에 따른투수계수를 평가한 결과 Column 1의 경우 $3.43 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$, Column 2의 경우 $9.83 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ 의 결과를 나타내었다. 즉, Column 2와 같이 GCL이

다짐점토층 아래에 위치하여야 할 것으로 사료된다.

3. 사면에서의 안정성을 분석한 결과 건기시에는 모든 포설조건(그림 2(1안), (2안), (3안))에서 기준 안전율인 1.3을 만족하고 있었고, 우기시에는 3안만이 기준안전율을 만족하고 있었다.
4. 환경적 내구성 평가에서는 점토와 GCL을 동결/융해, 건조/수축에 대해 변화를 주어 투수계수 유지 여부를 판단하였다. 그 결과 점토는 위의 두 조건의 환경적 변화에 대해 법적 기준치를 만족하지 못한 반면 GCL은 $9.65 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$, $6.81 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ 로서 기준치를 만족하므로 GCL의 안전성을 확보하였다.

위의 결과를 통해 알 수 있듯이 GCL이 기존의 점토차단층에 비해 투수계수에 있어서 더 우수한 결과를 나타내었으며, 별도의 접합작업이 필요하지 않기 때문에 포설비용의 저감, 지형의 영향을 받지 않고 일정한 시공상태를 유지할 수 있고, 취급이 용이하고 두께가 얇아 매립용량이 증가되는 등의 다양한 장점을 가지고 있다.

미국이나 유럽 등 여러 선진국에서는 GCL이나 Geosynthetics를 널리, 다양하게 사용하고, 우리나라에서도 유해폐기물 매립지나 수로의 차수재로 활용하는 등 많이 사용하고 있는 추세이다^{8,9)}.

GCL을 폐기물 매립지 최종복토 차단층으로 적용함으로써 얻을 수 있는 결과를 고려해볼 때 최종복토의 차단층 뿐만 아니라 최종복토의 사면부 등 매립지 전체로 GCL이나 Geosynthetics의 사용을 적극 권장하고, 폐기물 관리법의 제도적인 보완이 필요하다고 사료된다.

1. 문철환, 이재영(2003), “폐기물 매립지 최종복토층에서 침하에 따른 HDPE 내구성 평가 연구”, 2003년 한국토목섬유학회논문집, pp.11 ~ 18.
2. 정문경, 정하익, 이용수, 최희철, 우제윤(1998), 폐기물 매립시설의 설계·시공 기술에 관한 연구, 한국건설기술연구원.
3. 정성훈 (2003), “합성섬유와 페타이어 분말 첨가를 통한 차수기능에관한 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문.
4. 한영수(2002), “폐기물 매립지 침출수내의 휴믹물질이 토목합성수지라이너의 수리학적 특성에 미치는 영향에 관한 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문.
5. 환경부(2001), “폐기물 관리법”.
6. Bouazza, A.(2002), “Geosynthetic Clay Liner.”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.20, No.1, pp.3~17.
7. Bressi, G., Zinetti, M., Montanelli, F. and Rimoldi, P. (1995), “The slope stability of GCL layers in geosynthetic lining system”, proceedings of the Fifth International Symposium on Landfills, Cagliari, Italy, pp.595 ~ 610.
8. Cazaux, D. and Didier, G.(2000), “Field evaluation of hydraulic performances of geosynthetic clay by small and large-scale test”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering*, Vol.18, No.2 pp.163 ~ 178.
9. Cioli, A., Daddi P., Mori F., Ghezzi G., Ghezzi P. and Pellegrini, M.(2000), “Slope stabilization with geosynthetic in the construction of a MSW landfill”, Proceeding of the Second European Geosynthetics Conference, Bologna, Italy. editors by Cancelli, A., Cazzuffi, D., and Soccodato, C. pp.483 ~ 488.
10. Daniel D. E., Truwein, S. J. and Goswami, P. K.(1997), “Measurement of hydraulic properties of geosynthetic clay liners using a flow box.” Testing and Acceptance Criteria for Geosynthetic Clay Liner, ASTM STP 1308, pp.196 ~ 207.
11. Grillo, R. J. and Holtz, R. D.(1999), “Evaluation of an existing composite cover over steep landfill slopes”, Geosynthetic '99 Conference proceedings, Boston, Massachusetts USA, pp.223 ~ 234.