

토목섬유로 보강한 모래-벤토나이트 차수재의 장기적 투수특성

Long-term Hydraulic Conductivity of Sand-Bentonite Liner Reinforced by Geotextile

권 무 남*
Kwon, Moo-nam

남 효 석*
Nam, Hyo-suck

Abstract

A series of model tank and rigid wall permeameter tests was performed in order to determine the long-term hydraulic conductivity of the sand-bentonite liners reinforced by geotextile.

Main conclusions are as follows :

1. The maximum dry density and optimum moisture content of the sand-bentonite liners increased from 1.64 to 1.67gf/cm³, and from 11.70 to 17.40%, respectively according to the bentonite content increased from 5 to 20%.
2. The hydraulic conductivity of the sand-bentonite liners reinforced by geotextile decreased from 1.46×10^{-9} to 2.49×10^{-6} in rigid wall permeameter test and decreased from 2.15×10^{-9} to 5.21×10^{-6} in model tank test as to the bentonite content increased.
3. The bentonite content of sand-bentonite liners more than 12% is recommended for use as the liner material of waste landfill.

I. 서론

과거에는 폐기물 매립지의 바닥 차수재(遮水材), 측벽 및 덮개 재료로 자연 점토나, 다진 점토 차수재(Compacted Clay Liner, CCL)를 많이 사용하여 왔으나, 최근 선진국에서는 새로 개발된 합성섬유를 이용하여 공장에서 제조된 Geosynthetic Clay Liners(GCLs)의 효율성이 인정되고 있어 그의 사용이 점차로 증가

되고 있는 실정이다. 우리 나라에서도 이의 수입제품을 일부 유해성 폐기물 매립지에 사용하고 있으며, 앞으로 위생 매립지에도 이의 사용이 증가될 것으로 전망된다.

GCLs는 하나 또는 그 이상의 Geosynthetic 재료(토목섬유 또는 지오멤브레인)에 점토 또는 벤토나이트(Bentonite)를 접착한 얇은 Blanket 형태로 되어 있는 이중(二重) 합성 차수 시스템으로 폐기물 매립지의 바닥, 측

* 경북대학교 농과대학

키워드 : GCLs, 모래-벤토나이트, 지오텍스타일 차수재, 강성벽 투수시험, 모형시험

벽 및 덮개 시스템의 차수재로 많이 사용되고 있다. 선진 외국에서는 GCLs를 두 개의 토목섬유 사이에 벤토나이트를 넣은 것과 지오멤브레인(Geomembrane)에 벤토나이트를 접착한 두 가지 형태로 생산되고 있으며, 그 종류에는 Bentofix[®] and Bentomat[®], Claymax[®] 200R and Modulo Geobent[®], Claymax[®] 500SP and NaBento[®] 및 GSE Gundseal[®] 등이 상업용으로 제조 판매되고 있다⁶⁾.

CCL이 바닥 차수재로 사용될 때는 폐기물이 누적됨에 따라 하중의 증가로 압축응력이 커져 바닥 지반이 파괴되는 사례가 종종 발생하여 침출수가 과다하게 누출되어 지반 환경과 지하수의 오염문제가 대두될 가능성이 매우 높다고 볼 수 있으나 토목섬유 또는 지오멤브레인으로 보강된 GCLs는 침출수량을 최소화하고, 견고성과 내구성이 높은 것으로 알려져 있다.

그러나 CCL에 대한 투수계수 측정에 관한 연구는 많은 학자들에 의하여 수행된 바 있으나, GCLs의 투수계수 측정에 관한 연구는 선진 외국에서 현재 활발히 수행되고 있으며, 우리나라에서는 아직 이에 관한 연구가 초기단계에 있는 것으로 판단된다.

앞으로 우리나라에서도 CCL과 함께 GCLs 시스템이 폐기물 매립지의 차수재 시스템으로 많이 이용될 것으로 전망되므로 여러 종류의 GCLs에 대한 투수계수 측정에 관한 연구를 수행하여 그 이용에 대한 기준을 설정해야 할 것으로 생각된다.

이에 본 연구는 폐기물 매립지에서 침출수의 차단을 효과적으로 할 수 있고, 구조적·역학적 안정성이 있는 GCLs의 일종으로 생각할 수 있는 토목섬유로 보강된 모래-벤토나이트 차수재를 실험실에서 제작하여 이에 대한 장기적 투수 성능시험을 강성벽 투수 시험기(Rigid wall permeameter)와 모형 탱크를 이용하여

실시한 결과를 분석 평가하여 장래 새로운 차수재로서의 사용 가능성을 판단하는 기준과 GCLs를 도입하는 폐기물 저장 시스템의 설계 및 시공 기준 설정에 필요한 기초자료를 제시하기 위하여 수행되었다.

II. 실험재료 및 방법

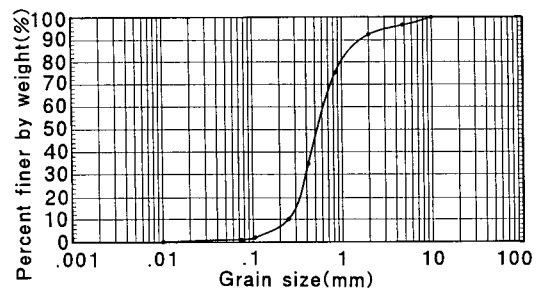
1. 실험 재료

가. 모래

본 실험에 사용된 모래-벤토나이트 혼합물 제조용 모래는 경북 성주 부근 낙동강 중류 하상에서 채취하였으며, 그 물리적 성질은 <Table 1>과 같고, 입도분포 곡선은 <Fig. 1>과 같다.

<Table 1> Physical properties of sand

Gs	ρ_s (gt/cm ³)	k(cm/s)	Cu	Cc	Finer than #200 sieve(%)
2.65	1.62	2.1×10^{-2}	2.6	1.0	1.0

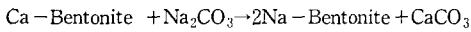


<Fig. 1> Grain-size distribution curve of sand

나. 벤토나이트

벤토나이트는 3층 구조의 몬모릴로나이트계의 점토광물로 구성되어 있고, 자연상태에서는 주로 Ca계 벤토나이트로 존재하고 있으며, 본 실험에 사용한 벤토나이트는 경북 경주지방에서

생산되는 Ca계 벤토나이트로 팽창성이 크고, 물에 대한 팽창성과 점착력을 증가시킨 Na계 벤토나이트로 이온 치환한 것을 사용하였으며, 그 치환과정은 다음 식과 같다.



벤토나이트의 물리적 성질과 화학적 성분은 <Table 2>와 같고, 토목공사에 사용하기 위한 벤토나이트의 시험 항목과 그 값의 기준은 <Table 3>과 같으며, 본 실험에 사용된 벤토나이트는 이 기준에 적합하였다.

다. 토목섬유

본 실험에서는 두 개의 토목섬유 사이에 모래-벤토나이트 혼합물을 넣은 형태로 한 것을 사용하였고, 토목섬유는 국내에서 생산되는 GF300과 GF400의 두 가지 종류를 사용하여 투수계수 측정을 실시하였으며, KSK 기준으로

측정된 토목섬유의 물리적 성질은 <Table 4>와 같다.

라. 하중 재하용 설펀

모래-벤토나이트 혼합물의 아래위에 포설한 토목섬유는 께매거나 접착하지 않은 것을 사용하였으므로 투수시험 중 토목섬유와 모래-벤토나이트 혼합물이 서로 분리되지 않도록 토목섬유 위에 약 715kgf/m²(7.014kPa)의 압축응력이 작용할 수 있도록 재하용 설펀을 포설하였으며, 물리적 성질은 <Table 5>와 같다.

2. 실험방법

가. 모래-벤토나이트 혼합물의 제조방법

모래-벤토나이트 혼합물은 모래 및 벤토나이트를 건조한 상태에서 중량비로 혼합한 후 물을 가하여 제조하는 방법과 습윤한 모래에 건조한 벤토나이트를 섞으면서 물을 가하여 제조하는

<Table 2> Physical properties and chemical components of bentonite

Physical properties	Sepecific gravity			Swell index (ml/gf)			Liquid limit(%)			
	2.60			14.5			400			
Chemical components (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Others	Total	pH
	59.80	16.70	5.22	2.55	2.45	0.87	3.85	8.56	100	10

<Table 3> Testing items and values of bentonite for civil works

Testing items	Values
Water content (%)	8~12
Loose bulk density (gf/cm ³)	0.75~0.85
Residue on 0.075mm (%)	Min.75
pH	8.5~10.5
Concentration (Kgf/m)	60
Marsh-viscosity(Swelling time 1h.) (s)	Min.35
Gel strength(Shearometer, Swelling time 1h.) (N/cm ²)	Min.3.0
Filter loss(30min, 7bar) (ml)	Max.15

〈Table 4〉 Physical properties of geotextiles

Physical properties		Classification		Testing method
		Geotextiles		
		GF 300	GF 400	
Tensile strength	(kgf/cm ²)	51	75	KS K 0520
Tensile elongation	(%)	50	50	KS K 0520
Weight	(gf/m ²)	300	400	KS K 0520
Permeability	(cm/s)	$\alpha \times 10^{-1}$	$\alpha \times 10$	KS F 2322
Seam strength	(kgf/cm ²)	51	77	KS K 0530
Tear strength	(kgf)	18	23	KS K 0536
Thickness(mm)	Without load	3.0	3.5	
	Under	1.9	2.4	

〈Table 5〉 Physical properties of crushed stone for surcharge

Specific gravity	Dry density (gf/cm ³)	Coefficient of permeability (cm/s)	Natural moisture content(%)
2.72	2.26	$\alpha \times 10^{-2}$	0.60

방법이 있으나, 두 방법 모두 시험결과에는 차이가 없다고 한 Kenny¹⁶⁾의 연구 결과에 따르면 실험에서는 첨가하는 수량의 조절을 쉽게 하기 위하여 전자의 방법으로 벤토나이트 함량을 각각 5%, 10%, 12%, 15%, 18% 및 20%로 한 여섯 종류의 모래-벤토나이트 혼합물을 제조하였다.

나. 다짐시험 방법

토목섬유로 보강된 모래-벤토나이트 차수재의 투수시험에 사용할 혼합물의 최대 건조밀도와 최적 함수비를 구하기 위한 다짐시험은 KS F 2312의 A-1 방법으로 벤토나이트 함량에 따라 배합한 6종류의 혼합물에 대하여 실시하였다.

다. 투수시험 방법

일반적으로 모래-벤토나이트 혼합물의 투수성에 영향을 주는 인자들은 벤토나이트의 함량, 모래에 포함되어 있는 세립분의 함량, Molding 함수비 및 모래-벤토나이트 혼합물의 다짐 밀도 등으로 알려져 있으며¹⁵⁾, 본 실험에서는 모래-

벤토나이트 혼합물 상하에 침투수의 수평방향 배수를 촉진시키고, 차수재를 구조적으로 안정시키기 위하여 토목섬유를 보강하고, 벤토나이트의 함량에 따른 다짐밀도에 중점을 두고 다음과 같은 두 가지 방법으로 장기적 투수실험을 실시하였으며, 두 시험 모두 모래-벤토나이트 차수재의 다짐은 KS F 2312의 A-1방법으로 구한 다짐에너지로 다짐을 하였다.

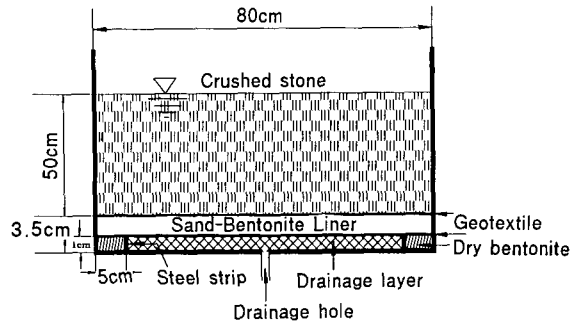
1) 강성벽 투수시험기(Rigid Wall Permeameter)에 의한 방법

강성벽 투수시험기에 의한 투수시험은 전형적인 실내투수시험으로 KS F 2322의 규정에 따라 하였으며 모형 탱크에 의한 투수시험의 결과와 비교하기 위해 시험하였다. 다짐시험에서 얻은 최대 건조밀도의 95% 및 최적 함수비보다 3% 습윤한 상태로 모래-벤토나이트 혼합물을 다졌으며, 실험 장치의 개략도는 〈Fig. 2〉와 같다. 시험 중 투수의 오차를 감소시키기 위하여 투수원통의 벽면에 그리스(Grease)를 도포하고, 두께 3.5cm의 모래-벤토나이트 차수재 층 상하에 토목섬유를 포설하였으며, 벤토나이트

트 함량별로 투수 시험기 내에 시료를 넣고 24 시간 동안 물로 포화시킨 후 시간의 경과에 따라 최대 21일간 투수량을 측정하여 투수계수를 산정하였다.

2) 모형 탱크(Model Tank)에 의한 투수 시험 방법

현장의 실제상태를 고려하여 토목섬유로 보강된 모래-벤토나이트 차수재의 투수성능을 측정하기 위해 <Fig. 3>과 같이 크기 1.8×0.8×0.6m의 강제 모형 탱크를 제작하고, 탱크 바닥 중앙에 직경 1.5cm의 투수량 측정용 배수공을 설치하였다. 탱크 바닥 가장자리와 필터용 모래 사이의 간격 5cm 부분에는 벤토나이트 Seal로 차수시키고, 필터(Filter)용 모래의 두께는 1.0cm로 부설하였다. 그 다음 두께 3.5cm의 모래-벤토나이트 차수재 상하에 토목섬유를 포설하고 50cm의 높이로 재하용 쇠석으로 토목섬유로 보강된 모래-벤토나이트 차수재가 715kgf/m²(7.014 kPa)의 압축응력을 받도록 하였으며, 수두의 높이도 50cm로 일정하게 유지하였다. 벤토나이트 함량별로 탱크 내의 재료를 넣고 24시간 동안 물로 포화시킨 후 시간의



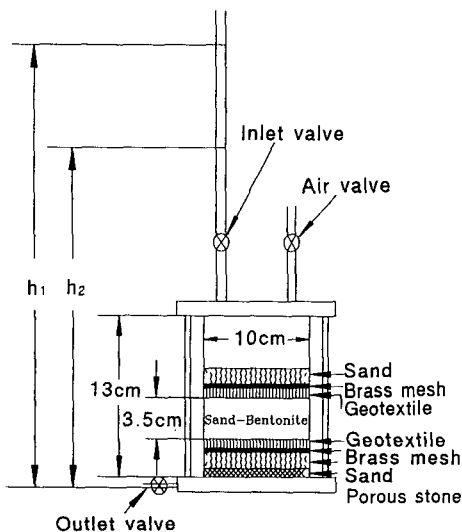
<Fig. 3> Cross-section of model tank

경과에 따라 최대 7일간 투수량을 측정하여 투수계수를 산정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 모래-벤토나이트 혼합물의 다짐 특성

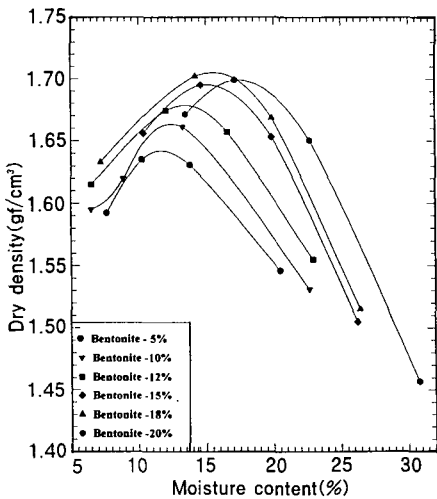
<Table 6>은 모래-벤토나이트 혼합물의 다짐시험에서 얻은 최대 건조밀도와 최적 함수비의 결과이고, <Fig. 4>는 벤토나이트 함량에 따른 모래-벤토나이트 혼합물의 최대 건조밀도와 최적 함수비를 결정하기 위한 다짐곡선들이며, <Fig. 5>는 벤토나이트 함량에 따른 최대 건조밀도와 최적 함수비의 변화를 나타내고 있다. 벤토나이트 함량이 증가함에 따라 최대 건조밀도는 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 모래의 공극이 벤토나이트보다 상대적으로 크기 때문에 그 공극이 벤토나이트와 물로 채워져 건조밀도가 증가되는 것으로 판단된다. 그리고 벤토나이트 함량이 18% 이상에서는 최대 건조밀도가 감소하는 경향을 보였으며, 이것은 벤토나이트에 의한 밀도의 증가보다 벤토나이트 양의 증가에 따라 흡수되는 물의 양이 많아져 혼합물의 체적이 팽창된 것으로 추정된다. Garlanger¹⁴⁾ 등의 연구에서도 이와 비슷한 결과를 보이고 있어 본 실험에 사용된 벤토나이트도 품질에 있어서 이것과 거의 같은 성분인 것으로 추정



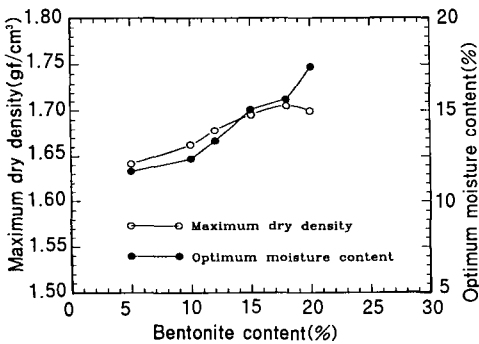
<Fig. 2> Schematic diagram of rigid wall permeameter

<Table 6> Compaction test results of sand-bentonite mixtures

Bentonite content of sand-bentonite mixtures(%)	Maximum dry density(gf/cm ³)	Optimum moisture content(%)
5	1.642	11.7
10	1.653	12.4
12	1.679	13.4
15	1.695	15.0
18	1.705	15.6
20	1.699	17.4



<Fig. 4> Compaction curves of sand-bentonite mixtures by bentonite content.



<Fig. 5> Variations of maximum dry density and optimum moisture content of sand-bentonite mixtures by bentonite content.

된다. Kenny¹⁶⁾의 연구에서는 Sodium 벤토나이트를 사용하여 최대 건조밀도와 최적 함수비는 벤토나이트의 함량이 증가할수록 커지는 경향을 보이고 있다고 하였으며, 최적 다짐에 필요한 벤토나이트 함량은 20% 정도라고 하였다.

그러므로 본 연구에서는 모래-벤토나이트 차수재의 최적 다짐에 필요한 벤토나이트 함량은 18%가 한계라고 추정할 수 있다.

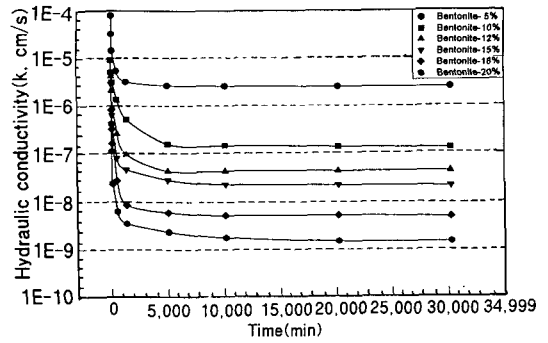
2. 토목섬유로 보강한 모래-벤토나이트 차수재의 투수특성

모래-벤토나이트 혼합물의 투수특성은 벤토나이트의 함량, 세립분의 함량 및 다짐도에 따라 다르다²⁾. 일반적으로 GCLs의 벤토나이트 성분의 투수계수는 압축응력에 따라 $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-8}$ 의 범위 내에서 변화하며, 즉 압축응력이 높으면 투수계수는 작아지고, 벤토나이트-지오멤브레인 합성 GCLs를 제외하고는 여러 가지 GCLs의 투수계수사이에 약간의 차이가 있으며, 일반적으로 폐기물 매립지의 덮개에 대한 압축응력은 10~30kPa가 대표적인 값이다⁶⁾. 앞으로 실제 매립지에 적용되는 압축응력을 변화시켜 실험할 필요성이 있다고 판단된다.

가. 강성벽 투수시험기에 의한 투수특성

〈Table 7〉은 토목섬유로 보강된 모래-벤토나이트 차수재의 벤토나이트 함량별 장기적 투수계수 값이고, 〈Fig. 6〉은 투수계수의 시간적 변화를 나타낸 것으로, 최종 투수계수는 $1.46 \times 10^{-9} \sim 2.49 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 의 범위에 있는 것으로 측정되었으며, 벤토나이트의 함량이 증가할수록 투수계수가 감소하는 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

벤토나이트 함량을 10% 이상 함유한 차수재는 투수계수가 $\alpha \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 이하의 값을 나타내는 것으로 측정되었으며, 그 기간은 3일 정도가 소요되었다. 그리고 벤토나이트 함량이 12% 이상인 차수재에서는 약 4일이 경과된 후에 투수계수가 $\alpha \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 로 일정하게 되어 최종 투수계수의 값은 벤토나이트의 수화시간이 끝나는 약 4일 이후로 결정하는 것이 바람직할 것으로 생각되며, 차수재의 투수계수의 기준을 $\alpha \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 이하로 하고자 할 때 현장에서 유실과 여유를 고려하여 벤토나이트 함량은



〈Fig. 6〉 Variations of hydraulic conductivity of geotextile reinforced sand-bentonite liners by rigid wall permeameter test according to elapsed time and bentonite content

12% 이상이 좋을 것으로 판단된다.

나. 모형 탱크에 의한 차수재의 장기적 투수특성

〈Table 8〉은 모형 탱크에 의하여 실험한 토목섬유로 보강된 모래-벤토나이트 차수재의 투수계수이고, 〈Fig. 7〉은 시간의 경과에 따른

〈Table 7〉 Hydraulic conductivity test results of geotextile reinforced sand-bentonite liners by rigid wall permeameter test according to elapsed time and bentonite content

Elapse time(min)	Bentonite content (%)	Hydraulic conductivity(cm/s)					
		5	10	12	15	18	20
10		7.88×10^{-5}	9.09×10^{-6}	4.20×10^{-6}	2.88×10^{-6}	8.19×10^{-7}	4.19×10^{-7}
50		3.22×10^{-5}	5.01×10^{-6}	2.09×10^{-6}	6.36×10^{-7}	3.27×10^{-7}	1.12×10^{-8}
100		1.43×10^{-5}	3.13×10^{-6}	8.93×10^{-7}	3.19×10^{-7}	1.64×10^{-7}	2.39×10^{-8}
500		5.41×10^{-6}	1.36×10^{-7}	2.60×10^{-7}	7.94×10^{-8}	2.73×10^{-8}	6.29×10^{-9}
1,320		3.19×10^{-6}	5.22×10^{-7}	9.38×10^{-8}	4.63×10^{-8}	8.51×10^{-9}	3.49×10^{-9}
4,980		2.64×10^{-6}	1.59×10^{-7}	4.32×10^{-8}	2.82×10^{-8}	5.96×10^{-9}	2.33×10^{-9}
10,080 (7days)		2.59×10^{-6}	1.46×10^{-7}	4.33×10^{-8}	2.32×10^{-8}	5.12×10^{-9}	1.75×10^{-9}
20,160 (14days)		2.52×10^{-6}	1.40×10^{-7}	4.34×10^{-8}	2.24×10^{-8}	5.12×10^{-9}	1.46×10^{-9}
30,240 (21days)		2.49×10^{-6}	1.33×10^{-7}	4.34×10^{-8}	2.16×10^{-8}	4.83×10^{-9}	1.46×10^{-9}

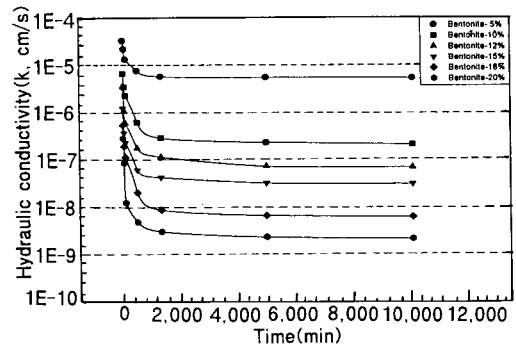
〈Table 8〉 Hydraulic conductivity test results of geotextile reinforced sand-bentonite liners by model tank test according to elapsed time and bentonite content

Elapsed time(min)	Bentonite content (%)					
	5	10	12	15	18	20
10	3.26×10^{-5}	6.53×10^{-6}	3.47×10^{-6}	1.23×10^{-6}	5.41×10^{-7}	2.87×10^{-7}
50	2.18×10^{-5}	3.43×10^{-6}	1.08×10^{-6}	3.69×10^{-7}	1.92×10^{-7}	8.43×10^{-8}
100	1.32×10^{-5}	2.26×10^{-6}	5.92×10^{-7}	2.32×10^{-7}	1.11×10^{-7}	1.24×10^{-8}
500	7.48×10^{-6}	6.12×10^{-7}	1.77×10^{-7}	6.08×10^{-8}	2.03×10^{-8}	4.81×10^{-9}
1,320	5.61×10^{-6}	2.89×10^{-7}	1.13×10^{-7}	4.24×10^{-8}	8.77×10^{-9}	3.03×10^{-9}
4,980	5.33×10^{-6}	2.32×10^{-7}	7.23×10^{-7}	3.19×10^{-8}	6.62×10^{-9}	2.33×10^{-9}
10,080(7days)	5.21×10^{-6}	2.11×10^{-7}	6.93×10^{-7}	3.08×10^{-8}	6.22×10^{-9}	2.15×10^{-9}

투수계수의 장기적 변화를 나타낸 것으로 투수계수는 $2.15 \times 10^{-9} \sim 5.21 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 의 범위에 있는 것으로 측정되었으며, 그 값에 도달하는 시간은 벤토나이트 함량에 크게 관계없이 3~4 일 정도가 소요되어 강성벽 투수 시험기 보다 다소 빠르게 최종 투수계수의 값에 도달하는 것을 알 수 있다. 그리고 벤토나이트의 함량이 증가할수록 투수계수가 감소하는 경향을 보이고 있다.

강성벽 투수시험기에서와 마찬가지로 벤토나이트 함량을 12% 이상 함유한 차수재의 투수계수가 $\alpha \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 이하이었으며, 그 기간은 3일 정도가 소요되었다. 그리고 벤토나이트 함량이 18% 이상인 차수재에서는 약 7일이 경과된 후에 투수계수가 $\alpha \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 이하로 측정되었으므로 최종 투수계수의 값은 벤토나이트의 수화시간이 끝나는 약 7일 이후로 정하는 것이 바람직할 것으로 생각되며, 차수재의 투수계수 기준을 $\alpha \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 이하로 하고자 한다면 유용한 벤토나이트의 함량은 12% 이상으로 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

Estornell¹⁰⁾은 3가지 종류의 상업용 GCLs의 투수계수 측정에 대한 모형탱크 시



〈Fig. 7〉 Variations of hydraulic conductivity of geotextile reinforced sand-bentonite liners by model tank test according to elapsed time and bentonite content

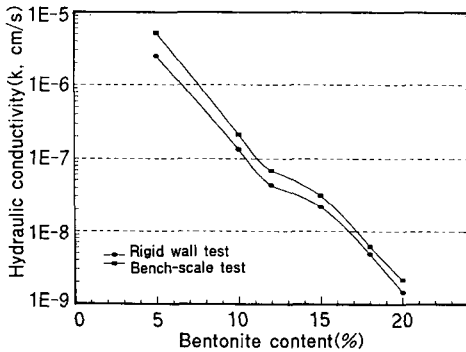
험결과 모두 $\alpha \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 이 되었다고 보고하였다.

다. 강성벽 투수시험기와 모형 탱크의 시험 결과 비교

〈Table 9〉는 토목섬유로 보강된 모래-벤토나이트 차수재의 벤토나이트 함량별 투수 시험 결과의 최종 투수계수이고, 도달되는 시간은 강성벽 투수시험에서 약 7일, 모형 탱크 시

〈Table 9〉 Relation between rigid wall permeameter and bench-scale model test Hydraulic conductivity of geotextile reinforced sand-bentonite liners

Bentonite content(%)	Hydraulic conductivity(cm/s)	
	Rigid wall permeameter test	Model tank test
5	2.486×10^{-6}	5.210×10^{-6}
10	1.330×10^{-7}	2.114×10^{-7}
12	4.345×10^{-8}	6.934×10^{-8}
15	2.155×10^{-8}	3.080×10^{-8}
18	4.833×10^{-9}	6.221×10^{-9}
20	1.455×10^{-9}	2.151×10^{-9}



〈Fig. 8〉 Variations of hydraulic conductivity of geotextile reinforced sand-bentonite liner by bentonite content

험에서 약 4일이 소요되는 것으로 측정되었다. 〈Fig. 8〉은 차수재의 벤토나이트 함량에 따른 투수계수의 변화를 나타내고 있다. 또한 벤토나이트 함량이 증가할수록 투수계수의 값이 감소하는 경향을 보이고 있으며, 두 가지 방법에 의한 투수계수 값의 차이는 거의 없는 것을 알 수 있다. 한편 모형 탱크 시험에서 약간 높은 값을 보이고 있으나, 실용적으로는 크게 고려하지 않아도 좋을 것으로 판단된다.

그리고 보강에 사용한 두 종류의 토목섬유 GF300과 GF400의 설치에 따른 차수재의 투수계수 변화에는 거의 차이가 없는 것으로 측정

되었다.

투수시험 중 벤토나이트의 부피팽창으로 차수재 전체의 두께가 증가한 것으로 판단되나 그 변화의 정도는 측정하지 못하여 이후의 연구과제로 하고 본 연구에서 투수계수 값은 시험 전 차수재의 두께인 3.5cm로 계산하였다.

IV. 결론

1. 모래-벤토나이트 차수재의 최대 건조밀도와 최적 함수비는 벤토나이트 함량이 증가함에 따라 각각 증가하는 경향을 보였다.
2. 토목섬유로 보강한 모래-벤토나이트 차수재의 투수계수는 벤토나이트 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.
3. 토목섬유로 보강한 모래-벤토나이트 차수재의 최종 투수계수는 벤토나이트 함량에 따라 강성벽 투수시험에서 $1.46 \times 10^{-9} \sim 2.49 \times 10^{-6}$ cm/s 모형 탱크 시험에서 $2.15 \times 10^{-9} \sim 5.21 \times 10^{-6}$ cm/s로 측정되었으며, 그 값들에 도달하는데 각각 7일 및 4일 정도가 소요되었다. 강성벽 투수시험에서보다 모형 탱크 시험에서 투수계수가 조금 크게 나타난 것은 시험장치가 크고 모래-벤토나이트 차수재 전면을 균일하게 다지

지 못함과 측벽의 누수가 강성벽 투수시험기보다 많기 때문인 것으로 판단되나, 두 시험간의 투수계수 차이는 그렇게 크지 않으므로 고려치 않아도 될 것으로 판단된다.

4. 토목섬유로 보강한 모래-벤토나이트 차수재의 차수성 확보를 위한 벤토나이트 함량은 12% 이상으로 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

5. 토목섬유로 보강한 모래-벤토나이트 혼합물 차수재에 대한 본 실험의 결과는 앞으로 GCLs를 개발 이용하여 투수성능을 평가할 수 있는 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

이 논문은 1996년도 경북대학교 공모
과제 연구비에 의하여 연구 되었음

참고문헌

1. Chan, Wah-Tak and Daniel C. Hsu, 1994. First International Congress on Environmental Geotechnics, pp.161~166.
2. Chapuis, R. P., 1990. Sand-bentonite Liners: Predicting Permeability from Laboratory Tests, Canadian Geotechnical Journal, 27(1), pp.47~57.
3. Chapuis, R. P., 1990. Sand-bentonite Liners: Field Control Methods Canadian Geotechnical Journal, 27(2), pp.216~223.
4. Chapuis, R. P., Jacques Lavoie, and Doris Girard, 1992. Design, Construction, Performance, and Repair of the Soil-Bentonite Liners of Two Lagoons, Canadian Geotechnical Journal, 29(1), pp.638~649.
5. Daniel, D. E., 1989. In Situ Hydraulic Conductivity Tests For Compacted Clay, Journal of Geo-Technical Engineering, 115(9), pp.1205~1226.
6. David E. Daniel, John J. Bowders, Jr., 1996. Waste Containment Systems by Geosynthetics, Second International Congress on Environmental Geotechnics, Preprint of Special Lectures and State-of-the-Art Reports, pp.49~66.
7. D'Appolonia, D. J., 1979. Soil-Bentonite Slurry Trench Cutoffs, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 106(4), pp.399~417.
8. Edil, T. B. and Erickson, A. E., 1985. Procedure and Equipment Factors Affecting Permeability Testing of a Bentonite-Sand Liner Material, Hydraulic Barriers in Soil and Rock, ASTM STP 874, pp.155~170.
9. Edil, T. B. and Muhanna, A. S. H., 1992. Characteristics of a Bentonite Slurry as a Sealant, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, 15(1), pp.3~13.
10. Estornell, P. & D. E. Daniel, 1992. Hydraulic Conductivity of Three Geosynthetic Clay Liners. Journal Of Geotechnical Engineering, 118(10), pp.1592~1606.
11. Fernuik, N. H., 1987. In-Situ Permeability Testing of Soil Liners with Low Hydraulic Conductivity, Thesis Presented to the University of Saskatchewan, at Saskatoon, Canada, in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Science.

12. Fernuik, N. H., Haug, M. D., and Haile, J. P., 1989. Comparison of Laboratory and In-Situ Field Soil Liner Permeability Measurements, 42nd Canadian Geotechnical Conference of Canadian Geotechnical Society, pp.134~142.
13. Fernuik, N. H., Haug, M. D., 1990. Evaluation of In Situ Permeability Testing Methods, Journal of Geotechnical Engineering, 116(2), pp.1205~1226.
14. Garlanger, J. E., Cheung, F. K., and Tannous, B. S. 1987. Quality Control Testing for a Sand-Bentonite Liner, Geotechnical Practice for Waste Disposal, Geotechnical Special Publication, No.13, pp.488~499.
15. Haug, M. D. and Wong, Lionel C., 1992. Impact of Molding-Water Content on Hydraulic Conductivity of Compacted Sand-Bentonite, Canadian Geotechnical Journal, No.29, pp.253~262.
16. Kenny, T. C., Veen, W. A., Swallow, M. A., and Sungaila, M. A., 1991. Hydraulic Conductivity of Compacted Bentonite-Sand, 44th Canadian Geotechnical Conference of Canadian Geotechnical Society, Vol. 2, pp.63-1~63-10.
17. Reschke, A. E. and Haug, M. D., 1991. The Physio-Chemical Properties of Bentonites and the Performance of Sand-Bentonite Mixtures, 44th Canadian Geotechnical Conference of Canadian Geotechnical Society, Vol. 2, pp.62-1~62-10.
18. Sai, J. O. and Anderson, D. C., 1990. Field Hydraulic Conductivity tests for Compacted Soil Liners, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, 13(3), pp.215~225.
19. Van Ree C. C. D. F., Weststrate F. A., Meskers C. G., and Bremmer C. N., 1992. Design Aspects and Permeability Testing of Natural Clay and Sand-Bentonite Liners, Geotechnique 42, No.1, pp.49~56.