

자가형성/자가치유 차수층의 매립지 최종복토층으로서의 적용 가능성에 관한 연구

문세흠, 김재영, 정문경*, 남경필**

서울대학교 지구환경시스템공학부

한국건설기술연구원 토목연구부*

BK21 사회기반 및 건설기술 인력 양성 사업단**

I. 서론

우리나라 폐기물관리법에서 정하고 있는 최종복토시설은 우수배제, 매립가스 유출방지, 식생대의 유지와 해충 및 동물의 서식억제를 그 목적으로 한다. 이와 같은 기능을 수행하기 위해선 여러 가지 구성요소를 필요로 하는데, 표 1은 최종복토층의 전형적인 구성광 각 층의 기능을 나타낸 것이다.

Table 1. Characteristics of each component in the final cover system (Daniel, 1995)

Layer	Type of Layer	Typical materials
1	Surface(Erosion, Vegetative Cover)Layer	Topsoil; Cobbles
2	Protection Layer	Soil
3	Drainage Layer	Gravel; Sand; Geonet
4	Barrier(Infiltration) Layer	Compacted clay; Geomembrane; GCL
5	Foundation/Gas Collection Layer	Gravel; Sand; Geonet; Geotextile

최종복토시설의 구성요소 중 차단층 (barrier layer)은 우수의 배제를 주된 목적으로 하고 있으며, 이를 위해 차단층의 재료들은 낮은 투수계수를 가져야 한다. 최종복토시설 차단층의 재료로 가장 많이 이용되는 것은 다짐점토이다. 그러나, 최종복토시설은 바닥 차수시설과는 달리 다짐이 용이하지 않고, 외부환경에 노출되어 있다. 점토의 경우, 다짐에 따라 투수계수가 영향을 많이 받으며 건조균열에 약한 단점이 있으므로 복토층의 차단층의 재료로는 한계가 있다고 알려져 있다 (Daniel, 1995).

자가형성/자가치유(SS-SH, Self-Sealing/Self-Healing) 물질은, 현재 김포매립지 제3공구에서 바닥 차수시설의 일부로 적용되고 있으며, 점토에 실리카계 분말을 혼합한 PA층과 칼슘계 분말을 혼합한 PB층을 나란히 설치함으로써 계면에서 생성된 침전물로서 박막(불투수층)을 형성하는 것을 원리로 한다 (Beck et al, 1994). 이 차수층의 자가형성 원리를 그림 1에 나타내었다. 본 연구에서는 폐기물매립지 최종복토시설의 차단층으로서, SS-SH 물질의 이용가능성을 살펴보고자 한다.

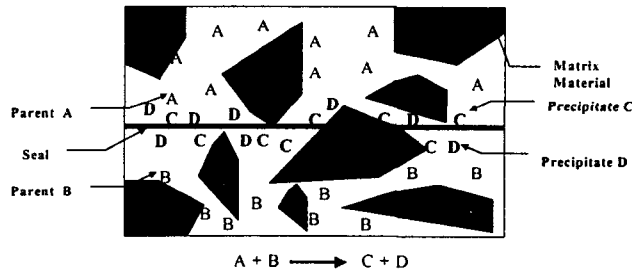


Fig. 1 Self-Sealing/Self-Healing concept (Beck et al, 1994)

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에서 사용된 시료는 김포매립지 제 3공구의 해성점토이며, 첨가재로 이용된 PA와 PB는 각각 페유리가루와 생석회를 주 성분으로 하고 있는 물질이다. PA층과 PB층은 김포매립지 제 3공구 바닥 차수시설에서 사용한 대로, 점토와 PA, PB 물질을 각각 5:1, 20:3 의 무게비로 혼합한 것이다.

2. 실험방법

투수계수 측정은 강성벽체 투수기, 연성벽체 투수기, Mariotte bottle 등을 이용하여 수행하였으며, 시료의 변형이 예상되는 건조균열에 따른 투수실험은 연성벽체 투수기를 이용하였다. 각 시료는 약 2cm씩 2층 다짐을 하여, 4cm 정도의 두께를 가지도록 하였으며, 증류수를 이용하여 실험하였다. 증류수에는 미생물에 의한 방해 효과를 제거하기 위해 일정량의 sodium azide (0.05% by wt.)를 첨가하였다.

1) 다짐에너지와 성형함수비에 따른 투수계수

본 실험에서는 다짐에너지에 따른 박막의 형성여부와 투수계수를 측정하고, 최종복토층 시공시 1×10^6 cm/sec를 만족하는 최소다짐에너지를 산출하기 위해 5가지 다짐방법 (표 2참조)을 이용하여 투수실험의 수행하였다. 투수실험은 각 다짐방법에 따라 최적함수비에서 습윤 측으로 2%로 성형한 시료를 이용하여 수행하였다.

Table 2 Compaction conditions for each test

Compaction method	Rammer		Mould diameter (mm)	Number of layers	Blows per layer (blows/layer)	Compaction energy (kgf/cm ²)
	Mass (kgf)	Drop (cm)				
M	2.5	30	100	3	10	2.61
R1	2.5	30	100	3	15	3.45
A1	2.5	30	100	3	25	5.69
R3	4.5	45	100	3	15	10.33
A2	4.5	45	100	5	25	25.94

본 실험에서 적용된 차수재는 서로 다른 두 층의 계면에서 pozzolan반응을 일으키는데, 계면에서 발생하는 수화열에 의해 함수비가 영향을 받을 수 있으므로 함수비에 따른 투수계수를 측정함으로써 함수비가 seal층의 형성에 어떤 영향을 미치는지 살펴보았다.

2) 건조조건에 따른 투수계수

건조조건에 이용되는 시료는 박막이 완전히 형성된 시료와 다짐직후의 시료 두 종류를 이용하여 시행하였으며, 다짐직후의 시료는 상온에서 25일 동안 건조시켜, 최종복토층의 시공 후의 초기건조 현상을 모사하였다. 박막의 형성이 이루어진 시료는 65℃의 건조로를 이용하여 24시간 동안 건조하였다. 건조된 시료를 다시 포화시키는 과정에서 시료의 변형이 발생할 수 있으므로 연성벽체 투수기를 이용하여 3 psi의 구속압과 약 25정도의 수리구배를 이용하여 건조시료를 재포화시켰다. 시료를 통과한 유량이 1 pore volume 이상 되면 시료가 완전히 포화되었다고 가정하고, 그 이후 24시간 동안 통과한 유량을 측정하여 투수계수를 계산하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 다짐에너지에 따른 투수계수

자가형성/자가치유 차수층 (SS-SH)의 투수실험은 PB층이 상부에 포설된 경우에 대해 실험하였으며 그림 2에서 보는 바와 같이, 실험에 적용한 모든 다짐에너지에서 약 5일의 시간이 지나면 복토층의 투수기준인 10^{-6} cm/sec 이하의 투수계수를 나타내었다. SS-SH의 투수계수는 시간이 지남에 따라 감소하였으며, 이는 차수층내의 계면에서 박막이 형성되기 때문이라고 여겨진다 (윤준식, 2000). 다짐에너지가 가장 낮은 M 다짐법으로 다져진 시료의 투수계수는 15일이 지난 후에는 10^{-8} cm/sec 까지 감소하였다.

다짐점토층과 SS-SH 차수층에 대해 다짐에너지에 따른, 투수계수를 측정하였으며 그림 3에 그 결과를 나타내었다. 그림 3에서 나타나듯이, 다짐점토층의 투수계수는 다짐에너지가 커짐에 따라 감소하는 경향을 보였다. 반면, SS-SH 차수층은 R3 다짐방법으로 다짐을 하는 경우에 최소의 투수계수를 나타내었으나 다짐에너지에 따라 특별한 경향을 보이진 않았다 (그림의 숫자, +1.82는 OMC+1.82%를 의미한다).

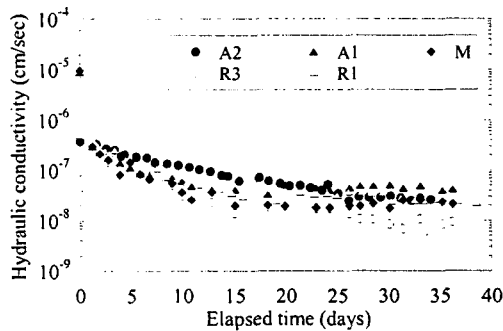


Fig. 2. Hydraulic conductivity change of PB layer/PA layer with time

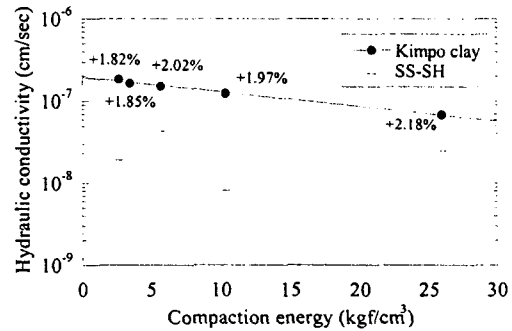


Fig. 3. Hydraulic conductivity of soil samples with various compaction energies

2. 성형함수비에 따른 투수계수

실험에 적용된 모든 다짐에너지에 대해 SS-SH의 투수계수는 복토층의 투수기준인 10^{-6} cm/sec를 만족하였다. 따라서 다짐에너지가 가장 낮은 M 다짐법으로 다짐한 시료의 성형함수비에 따른 투수실험을 수행하였으며, 그림 4에 결과를 제시하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 SS-SH의 투수계수는 최적함수비에서 습윤측으로 성형된 경우에는 박막의 형성이 이루어졌으며, 최종투수계수가 복토층의 투수기준인 10^{-6} cm/sec를 만족하였다. 그러나 성형함수비가 최적함수비의 건조측에서 성형된 시료의 경우에는 시간이 경과함에 따라 투수계수가 낮아지는 현상이 관찰되지 않았으며, 이로 미루어 보아 박막의 형성이 이루어지지 않았음을 알 수 있었다. 이 경우에 투수계수는 복토층의 기준을 만족하지 못하였다.

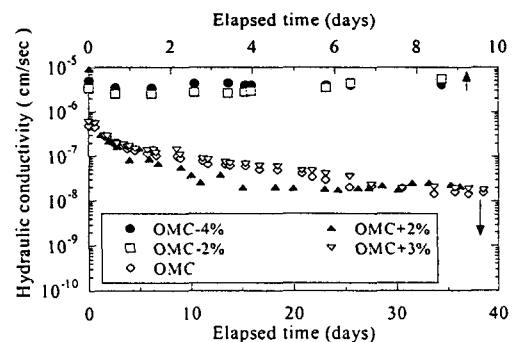


Fig. 4. Effect of molding water content on hydraulic conductivity of SS/SH liners

3. 건조조건에 따른 투수계수

최종복토층의 시공시 초기건조 현상이 SS-SH 차수층의 박막의 형성과 투수계수에 미치는 영향을 확인하기 위해 초기 건조 조건에 따른 투수실험을 수행하였다. M 다짐법과 OMC+2%의 성형함수비에서 성형한 시료를 25일간 건조한 후에 투수계수를 측정하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 SS-SH 차수층 시료의 투수계수는 시간이 경과함에 따라 낮아지는 현상이 관찰되었고, 이로 미루어 보아 초기건조 조건에서도 박막이 형성되는 것으로 생각된다.

M 다짐법과 OMC+2%에서 성형된 시료의, 습윤-건조를 반복한 투수실험 결과를 표 2에 나타내었다. 실험 결과에 따르면, 초기 투수계수가 2.10×10^{-8} cm/sec인 SS-SH 차수층은 습윤-건조를 1 회 시행했을 때에 투수계수가 2.05×10^{-7} cm/sec로 10 배 정도 상승하였으며, 5 회 반복한 후에는 투수계수가 5.00×10^{-7} cm/sec로 25배 가량 상승하였다. 다짐점토의 투수계수는 습윤-건조를 5 회 반복한 경우, 3배 가량 상승하였다.

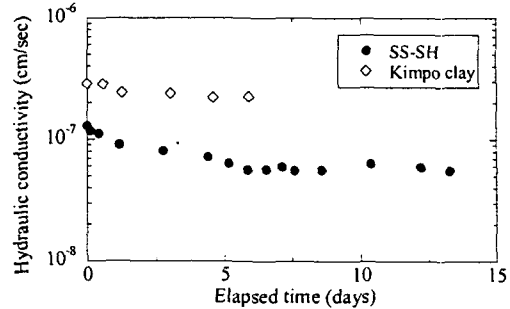


Fig. 5. Hydraulic conductivity with time after being dried at room temperature

Table 2. Effect of dry-wet cycles on hydraulic conductivity of SS/SH liners

Number of dry-wet cycles	Confining pressure	Hydraulic gradient	Period	Hydraulic conductivity(cm/sec)		Permeameter type
				SS-SH	Kimpo clay	
0	3psi	25	24hours	2.10×10^{-8}	1.85×10^{-7}	Rigid wall permeameter
1				2.05×10^{-7}	3.22×10^{-7}	Fixed wall permeameter
2				4.77×10^{-7}	2.97×10^{-7}	
3				4.86×10^{-7}	4.64×10^{-7}	
4				5.00×10^{-7}	4.86×10^{-7}	

IV. 결론

- (1) 본 실험에서 적용된 다섯 가지 다짐에너지에 따른 투수실험 결과, SS-SH 차수층은 원지반토에 비해 다짐에너지의 영향을 덜 받았으며, 다짐에너지가 가장 낮은 M 다짐 (다짐에너지가 2.61 kgf/cm^2)으로 다져진 경우에도 10^{-6} cm/sec이하의 투수계수를 보였다.
- (2) 낮은 다짐에너지를 적용한 SS-SH 차수층은, 성형함수비를 최적함수비에서 건조측으로 성형한 경우 박막의 형성이 이루어지지 않아, 최종복토층으로 만족스러운 투수계수를 얻을 수 없었다.
- (3) SS-SH 차수층의 박막 형성과 투수계수는 초기건조의 영향을 거의 받지 않았다. 그러나 습윤-건조를 5 회 반복한 경우, 다짐점토층의 투수계수는 3배 가량 상승한 반면, SS-SH 차수층의 투수계수는 25배 가량 상승하였다. 따라서, SS-SH 차수층은 다짐점토층에 비해 습윤-건조 반복환경에 더욱 민감함을 알 수 있었다.

V. 참고문헌

- 1) Beck, W.J., Stegemann, J.A., and Van der Sloot, H.A., "Development of a self-sealing/self-healing barrier to resist the movement of groundwater and leachate", 4th Annual Symposium on Groundwater and Soil Remediation, Calgary (1994)
- 2) Daniel, D.E., Jesionek, K.S., and Dunn, R.J., "Evaluation of landfill final covers", Proceedings Sardinia, 5th International Landfill Symposium (1995)
- 3) Yoon, J. S., Moon, S. H., Kim, J. Y., and Chung, M. "Measurement of mass transfer parameters for VOCs in self-forming/self-repairing liner materials," Proceedings of the Korean Society of Environmental Engineers Spring Conference, Seoul, Korea (2000)