

복합차수층에서 침출수에 의한 투수특성 변화에 관한 연구

정인호, 이재영, 하현중*, 최상일**

서울시립대학교 환경공학부, *(주)엔지에스, **광운대학교 환경공학과 (wind9887@hanmail.net)

<요약문>

매립지 차수층에는 다짐점토층이 사용되고 있지만 건조/수축, 동결/융해 등의 환경적인 영향에 대한 내구성을 향상시키기 위한 기능성 복합차수층에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 원지반토양에 고화재를 첨가한 BLT층과 벤토나이트와 미생물 배양액을 첨가한 BLM층으로 구성된 복합차수층의 차수기능과 BLM층에서 미생물 배양액 첨가에 따른 Bio-barrier 기능을 평가하였다.

원지반토양에 고화재와 벤토나이트를 각각 8, 10%(w/w)를 첨가하였고, 미생물 배양액은 1%(v/w)을 첨가하였다.

실험결과 원지반토양은 SC계열의 토양으로 분류되었고, BLT, BLM 차수층의 8%혼합비율에서도 1×10^{-7} cm/sec 보다 낮은 투수계수를 나타내었다.

BLM 층에 첨가된 미생물 배양액에 의한 Bio-barrier 기능 실험결과 미생물 배양액 첨가에 의하여 침출수에 대한 내구성이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

폐기물 처리방법에서 소각이나 자원화와 같은 중간처리 기술이 개발되고 있으나 매립에 의한 폐기물 처리방법은 가장 단순하고 경제적인 방법이다. 매립지는 폐기물의 최종처분지로서 장기간 폐기물을 저장하기에 안전하도록 건설되어야 한다. 그러나 과거에 건설된 매립지가 부적절한 설계·관리 등으로 인하여 침출수 유출과 그에 따른 지표수나 지하수의 오염문제를 유발시킬 수 있다.

우리나라에서는 1990년대 이후부터 위생적인 개념이 매립지에 도입되어 대부분의 폐기물 매립지는 바닥층, 폐기물층과 복토층의 기본적인 구조로 건설되고 있으며, 매립지의 바닥층은 차수층과 침출수 집수 및 배수 시스템으로 구성되며 최종복토층과 더불어 침출수의 관리에 있어서 중요한 부분이다.

일반적인 매립지의 차수층으로 사용되는 물질로는 점토, 지오멤브레인, GCL, 또는 이들의 조합으로 구성된다. 특히 다짐점토층을 이용한 공법은 두께에 대한 안정성과 점토물질의 물리화학적 성질로 인한 오염물질의 이동 지연효과로 인하여 국내·외 매립지에서 적용되고 있다. 그러나 이러한 다짐점토를 이용한 차수층 공법은 건조/수축, 동결/융해에 등과 같은 환경적인 영향을 받을 수 있으며 곡간매립에서는 지형적인 영향으로 시공이 어려울 수 있다.

이러한 다짐점토층을 개량하고 매립지 현장이나 토취장에서 운반한 원지반토에 첨가제를 주입한 기능

성 차수층 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구에서는 이러한 기능성 차수재로서 원지반토양에 고화재를 첨가한 차수층과, 원지반토양에 벤토나이트와 미생물 배양액을 주입한 차수층에 대하여 차수재로서의 기능을 평가하고, 미생물 배양액 주입에 따른 침출수에 대한 내구성을 평가하고자 한다.

2. 본 론

2.1 시료

본 연구에서는 원지반토양에 고화재를 첨가한 BLT(Bio-Liner, Top layer)층과 원지반토양에 벤토나이트와 미생물 배양액을 첨가한 BLM(Bio-Liner, Middle layer)층에 대하여 실험하였다. 각 층의 혼합비율 내용을 정리하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Mixed ratio to raw soil

Sample	Stabilizer (% w/w)	Bentonite (% w/w)	Culture solution(% v/w)
BLT-8%	8	-	-
BLT-10%	10	-	-
BLM-8%	-	8	1
BLM-10%	-	10	1

2.2 실험방법

2.2.1 토질시험

원지반토양에 대한 토질시험은 비중, 입도시험, 액성·소성 한계, 다짐시험을 실시하였다.

2.2.2 차수기능 평가실험

본 연구에서는 BLT, BLM 시료 각각의 혼합비에 대하여 차수재로서의 적합성을 평가하기 위하여 ASTM D 5084 (Flexible -well permeameter)방법으로 투수계수를 측정하였다.

2.2.3 BLM층에서의 Bio-barrier 기능 평가

BLM-10% 시료와 동일한 조건으로 혼합한 토양을 직경 5cm, 높이 12cm stainless steel 컬럼에 다짐하여 충전하였다. 시험에 사용한 침출수는 K매립지에서 채수하여 시험 전 GFC 여과지를 이용하여 여과하여 약 10℃ 조건에서 보관하여 실험하였다.

초기 투수계수를 측정한 후 Table 2에 정리한 조건으로 실험하였으며, 초기 조건은 약 3.5ml/day로 설정하였다.

Table 2. Sample composition for Bio-barrier test

Column	Permeant liquid	Inoculation
Blank-Dw	DW	×
Blank-Le	Leachate	×
BLM 10%-Le	Leachate	○

유출수의 유출량을 확인하여 투수계수를 산출하였으며, 1주일 단위로 시료를 취하여 pH, 전기전도도 (EC; Electrical Conductivity), 양이온(Na, Ca, K, Mg), TOC를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 토질시험

복합차수층에서 원지반토양의 차수층 재료의 이용가능성과 첨가제의 혼합비를 결정하기 위해서는 원지반토양의 입경분포, 점토함량 등의 토양의 물리적 특성이 중요하다.

본 연구에 사용된 원지반토양의 토질시험 결과를 Table 1 과 Fig. 1에 정리하였다.

Table 3. Physical properties of raw soil

Specific Gravity	2.53
Moisture Content (%)	16.49
Liquid Limit (%)	39.45
Plastic Limit (%)	27.62
Plastic Index	11.83
Effective size (D10, mm)	0.0011
D30 (mm)	0.0112
D60 (mm)	0.7998
Physical Properties	SC
Passing No. 200 sieve (%)	39.29
Optimum moisture content (%)	17.59
Maximum dry unit weight (gf/cm ³)	1.70

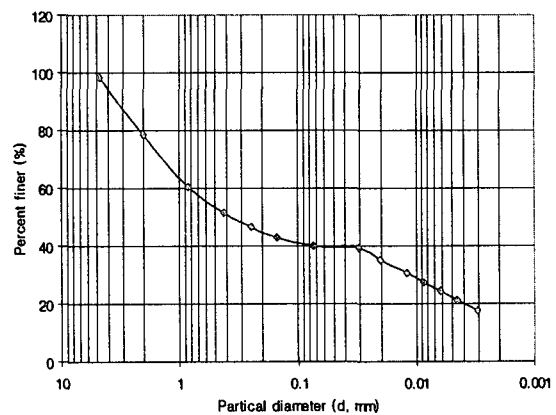


Fig. 1. Particle-Size distribution curve

3.2 차수기능 평가실험

BLT, BLM 각각의 혼합비에 따른 1주와 4주 양생 후 투수계수측정 결과를 Fig. 2에 나타내었다. BLT, BLM 각각의 혼합비에서 투수계수는 매립지 차수층 기준인 1×10^{-7} cm/sec 보다 낮게 측정되었다.

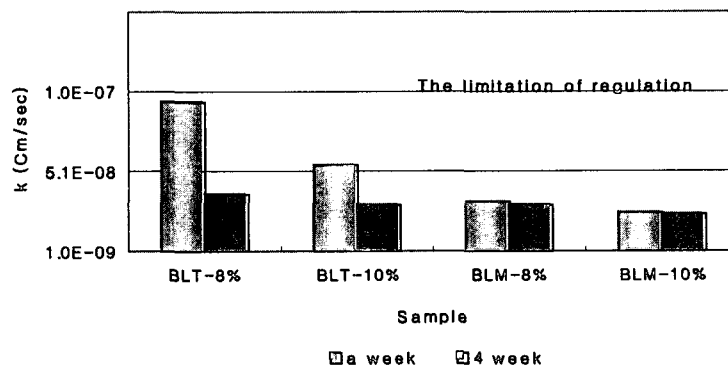


Fig. 2. Result of the permeability test

3.3 BLM층에서의 Bio-barrier 기능 평가

컬럼에 증류수와 침출수를 주입하였다. 증류수를 주입한 컬럼에서는 시간의 경과에 따른 물리적인 조건 변화에 따른 투수계수변화를 관찰하였고, 침출수를 주입한 컬럼에서 미생물 배양액을 첨가한 조건과 첨가하지 않은 컬럼에서 투수계수 및 침출수의 오염물질 농도변화를 비교 시험하였다. 침출수를 주입한 컬럼에서 미생물 배양액을 첨가한 컬럼은 2개를 설치하여 실험을 진행하였다.

Table 4. Composition of DW and leachate used in the experiments

Permeant liquid	pH	EC (ms/Cm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	TC (ppm)	IC (ppm)	TOC (ppm)
DW	6.83	0.003	2.28	4.12	ND	ND	ND	ND	ND
Leachate	7.66	24	3,409	327	414	1,311	4,122	276	3,846

3.3.1 투수계수 측정결과

용출액의 양을 확인하여 투수계수 값을 산출하였다.

미생물 배양액이 첨가되지 않은 Blank-Le column에서 BLM 10% column보다 침출수 유입에 따라 투수계수가 빠르게 증가하는 것을 확인하였다.

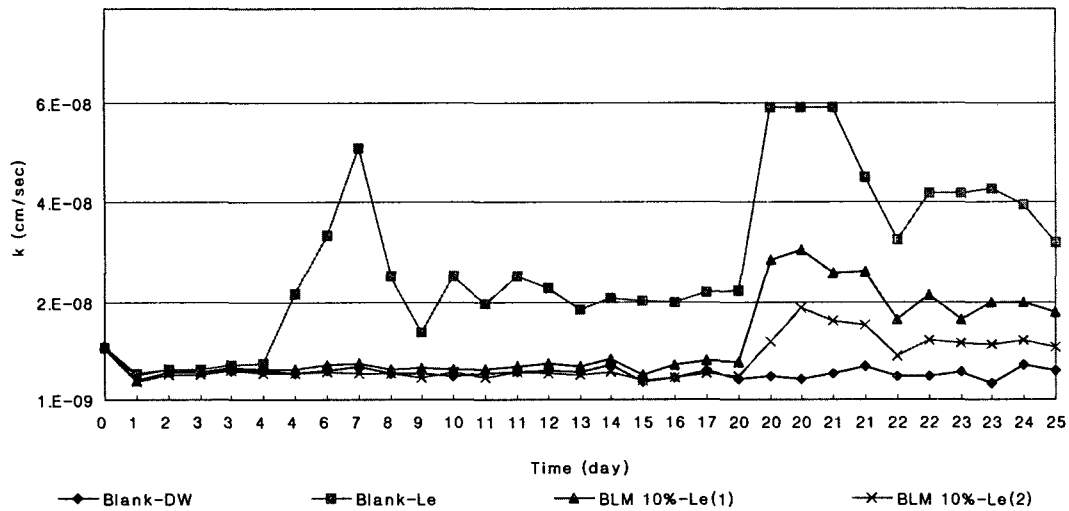


Fig. 3. Variation of permeability

3.3.2 pH, 전기전도도(EC) 측정결과

pH 측정결과 주입된 침출수의 pH보다 높은 값을 나타내었다. 이는 첨가한 벤토나이트의 영향으로 판단된다. 전기전도도(EC; Electrical Conductivity) 측정결과 증류수가 유입된 column에서는 시간이 경과하면서 감소하는 경향을 보이지만, 침출수가 유입된 column에서는 증가하였다. 특히 Blank-Le column에서 BLM-Le column보다 전기전도도의 증가가 빠르게 진행되었다.

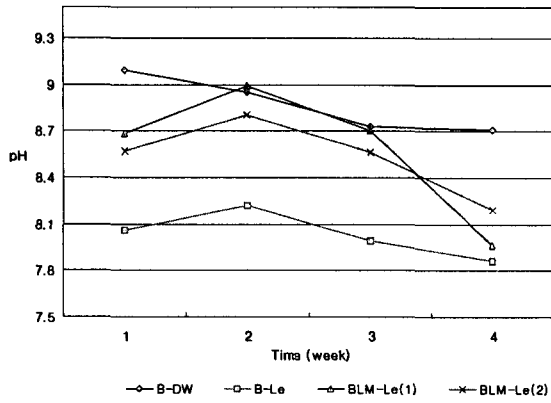


Fig. 4. Variation of effluent pH

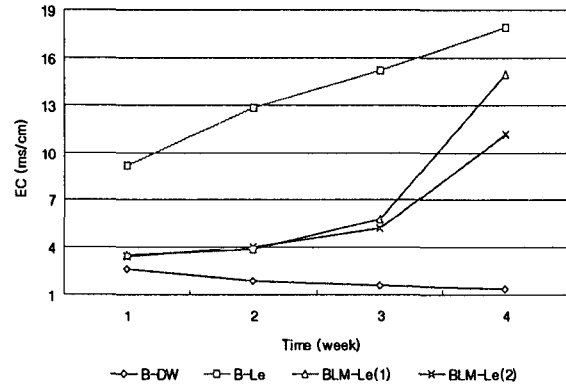


Fig. 5. Variation of effluent EC

3.3.3 양이온 용출특성

용출액의 양이온농도를 측정된 결과 Blank-DW 컬럼에서는 시간이 지나면서 용출되는 농도가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 그러나 침출수가 유입된 컬럼에서는 농도가 증가하고 있으며, 특히 Blank-Le 컬럼에서는 Na, Ca, Mg이 높은 농도로 용출되는 것이 확인되었다. 그러나 potassium의 경우 침출수가 유입된 모든 컬럼에서 비교적 낮은 농도만이 용출되는 것을 알 수 있다. 이는 본 실험에 사용된 BLM 컬럼에 potassium이 흡착된 것으로 사료된다.

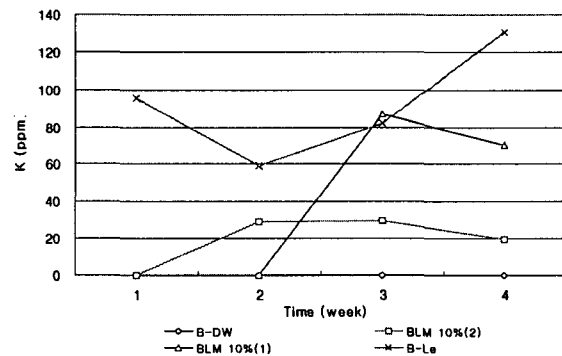
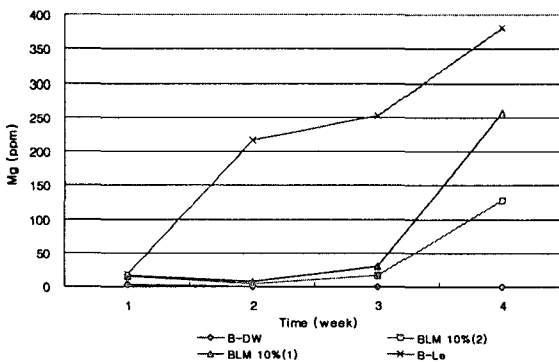
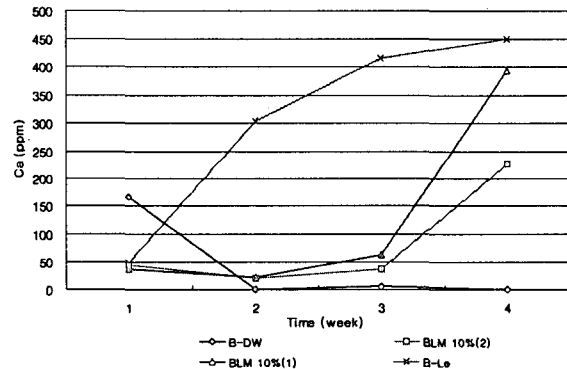
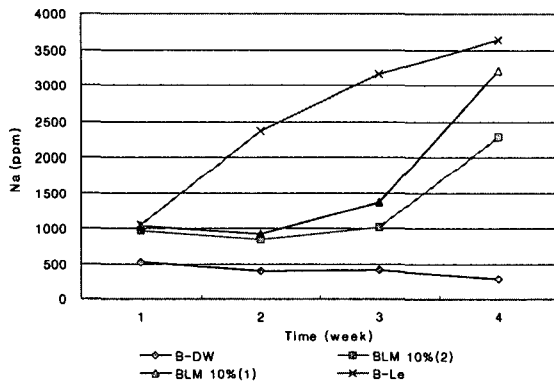


Fig. 6. Variation of effluent cation concentration

3.3.4 TOC 용출특성

TOC(Total Organic Carbon) 측정결과 Blank-DW 컬럼에서는 TC(Total Carbon)의 대부분이 IC(Inorganic Carbon)임을 알 수 있었고, 이는 컬럼의 토양으로부터 IC 성분이 용출되고, 시간이 경과하

면서 용출 농도가 낮아지는 것으로 판단된다. 침출수가 유입된 컬럼의 TC와 TOC 측정결과에서 BLM column에서도 3주 후 용출된 시료에서부터 농도가 증가하지만 IC의 측정값은 크게 변하지 않음을 알 수 있었다.

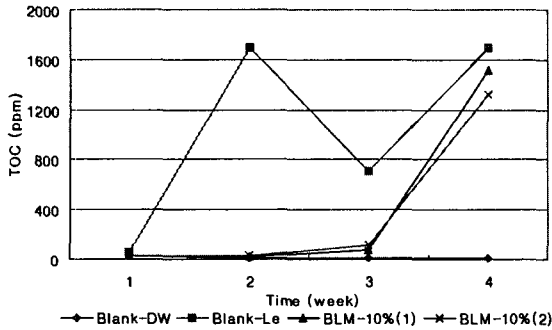


Fig. 7. Variation of effluent TOC

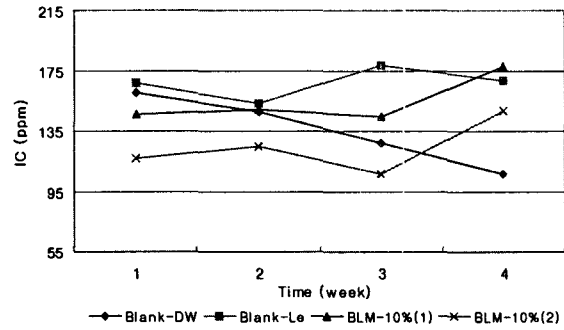


Fig. 8. Variation of effluent IC

4. 결론

본 연구에서는 현장 지반토양을 활용한 고화재 및 벤토나이트를 첨가하여 매립지 차수층으로서의 활용 가능성을 평가하고, 차수층에 첨가한 미생물에 의한 Bio-barrier의 형성과 차수능 개선 및 원지반토에 벤토나이트와 미생물 배양액을 첨가한 차수층을 최종복토층의 차단층으로 적용할 경우 매립지 복토층으로서의 기능을 평가하였다.

실험에 사용된 원지반 토양의 물성시험결과 토양은 SC계열의 토양으로 분류되었고, NO. 200 체 통과량이 39.29%로 세립토의 함량이 높은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에 사용된 지반 토양은 고화재 및 벤토나이트를 첨가할 경우 양호한 차수재로 적합한 것으로 사료된다.

BLT, BLM 각 층에서 8% 혼합비율에서도 국내 폐기물 매립지 차수층 기준인 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 를 만족하는 투수계수를 나타내었다.

BLM층에 첨가된 미생물 배양액의 주입에 따른 Bio-barrier기능평가실험은 투수계수측정, 양이온 용출 특성, TOC 용출특성의 내용으로 진행하였다. 실험결과 투수계수의 변화에서 미생물 배양액을 첨가하지 않고 침출수를 주입한 컬럼에서 미생물 배양액을 첨가한 조건에 비해서 침출수 주입에 따른 투수계수 증가가 현저하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 투수계수의 증가와 더불어 TOC 값 또한 증가하는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과에서 원지반토양에 벤토나이트를 첨가한 BLM층에 미생물 배양액을 첨가함으로써 침출수 유입에 대한 차수층의 내구성이 향상된 것이라 사료된다.

참고문헌

- 김윤희, 임동희, 이재영 2001, 오염지하수의 확산방지를 위한 대체 혼합차수재의 적용에 관한 연구, 한국지하수토양환경학회지, 제6권 제3호, pp.53-59
- 장연수, 문준석, 2002, 매립지 차수재로서 자가차유재의 투수 및 강도특성, 한국지하수토양환경학회지 Vol.7, No.1 pp 41-51
- 최길준, 이수구, 이재영 2000, 폐기물 매립지 바닥차수층의 고화토에 대한 평가, 한국폐기물학회지,

제17권 제8호, pp961-968

- 한영수, 김동우, 이재영, 2002, 폐기물 매립지 침출수내의 휴믹물질이 토목합성수지 라이너의 수리학적 특성에 미치는 영향에 관한 연구, 한국폐기물학회 춘계학술연구회발표논문집, Vol. 0, No.0, pp 69-72
- Daniel. D. E. 1994, State-of-the-art; laboratory hydraulic conductivity tests for saturated soils. Hydraulic conductivity and waste contaminant transport in soils, ASTM STP, D. E. Daniel and S. J. Trautwein, eds., ASTM, Conshohoken, pp. 30-79
- Jai-Young Lee, 1994, Performance of Landfill Cover Systems in Cold Climates, Ph. D. Dissertation
- N. Yesiller, C.J. Miller, G. Inci, K. Yaldo, 2000, Desiccation and cracking behavior of three compacted landfill liner soils, Engineering Geology 57 105-121