

폐기물 매립지 침출수 누출방지용 벤토나이트 복합라이너 개발 Development of Bentonite Composite Liners for Landfill Sites

최우진 · 이원영 · 진성기* · 하헌중* · 김두영*

수원대학교 환경청정기술연구센터

*동아건설산업(주) 기술연구소

ABSTRACT

Soil-bentonite mixtures are frequently used as impervious for waste disposal sites. In the present work, bentonite composite liner systems(BCL) have been developed by utilizing Korean zeolitic bentonites. The geomechanical properties of the liner systems, such as strength, hydraulic conductivity, etc. have been studied. The laboratory and field test results are also be presented.

Key word : landfill, bentonite, composite liner, permeability

I. 서론

국내 폐기물 발생량중 약 89%이상이 매립에 의존하고 있으며 향후 폐기물 매립장 수요는 계속 증가할 것으로 예측되고 있다. 따라서 안전하고 위생적인 매립장 건설은 매우 중요한 환경과제중의 하나로 지목되고 있다. 캐나다 등을 비롯한 선진국에는 매립지 차수재로 벤토나이트를 이용한 복합라이너 재료를 개발하여 현장에 적용함으로써 효과적인 매립지 시스템을 구축하고 있다. 그러나 국내 매립지의 경우 차수재로서 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)계통의 단일 라이너를 사용함으로써 매립지 침출수 문제에 효과적으로 대처하지 못하고 있는 실정이다. 한편 국내산 벤토나이트의 대부분이 칼슘(Ca)형 벤토나이트로서 나트륨(Na)형에 비해 팽창성이 우수하지 못하기 때문에 매립지 지반라이너 재료로 활용하는데 제약이 되고 있다.

본 연구에서는 김포매립지와 같은 연약지반 또는 일반 및 특정 폐기물 매립장의 차수재로 활용이 가능한 복합라이너시스템(Composite Liner System)을 개발함으로써 국내 벤토나이트의 수요를 확대시키고 주변 환경오염을 최소화 시킬 수 있는 폐기물 매립장 건립에 기여하고자 한다.

II. 벤토나이트 복합라이너(Bentonite Composite Liner)공법의 개요

본 Bentonite Composite Liner(BCL)공법은 팽윤도는 다소 떨어지지만 중금속 흡착능이 뛰어난 국내산 “Zeolitic Bentonite” 및 국내산 천연 광물질을 활용하여 현장토와 혼합, 다짐

하여 침출수의 이동 및 누출을 효과적으로 차단할 수 있는 차수층을 조성하는데 목적이 있으며, 지반여건에 따라서 BCL 단독 또는 그 하부를 고화처리후 조성할 수 있다. Fig.1에서 볼 수 있듯이 BCL의 상부층은 벤토나이트가 함유된 상부층 첨가제 CT(Top Matrial of Composite Liner)를 원지반토와 일정비율로 혼합 후 전압함으로서 조성할 수 있으며, 하부층은 CT와 반응성이 뛰어난 하부층 첨가제 CB(Bottom Matrial of Composite Liner)를 혼합·전압함으로서 전체 BCL이 조성된다. 특히 폐기물 매립지내에서 발생하는 침출수가 BCL에 도달할 경우 1차적으로 CT에 포함된 Bentonite의 팽창으로 인해 차수층내 간극이 충전되어 투수성을 저하시키며, BCL에 균열(Crack)발생시 침출수의 이동경로를 따라 이동하는 상부층 첨가제 CT의 해리된 이온과 하부층 첨가제 CB가 침출수중의 수분을 매체로 하여 상호 화학반응하여 불용해성 침전물층인 칼사이트(Calcite)와 Quartz($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)류의 조성이 가능하며 침출수 누출로 인한 주변환경 오염에 대해 보다 적극적으로 대처할 수 있는 안전하고 경제적인 차수층 공법이다.

또한, 연약지반의 경우는 현장토와 시멘트를 혼합하여 고화처리층을 배수층위에 조성하므로써 지반의 부등침하로 인한 침출수 누출에 효과적으로 대처할 수 있다. Fig 2는 본 공법의 실증시공을 위해 김포매립지에 조성한 복합라이너시스템의 평면도를 보여주고 있다. 현장시험을 위해 조성된 라이너시스템의 크기는 30×10m이며 연약지반용 및 일반폐기물 매립장의 BCL층의 두께는 각각 30cm 및 100cm로 조성하였다.

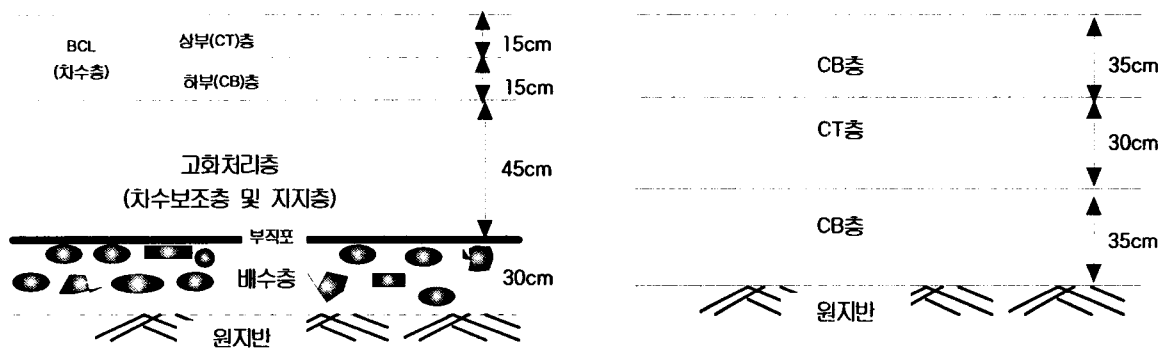


Figure 1. Cross Sectional View of Bentonite Composite Liner

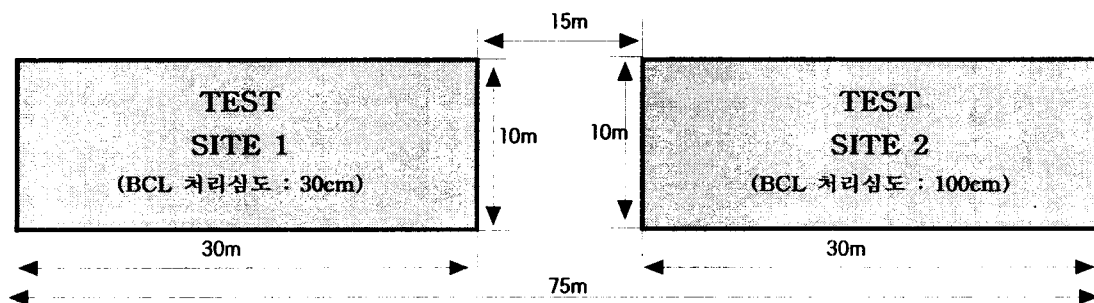


Figure 2. Plane View of Bentonite Composite Liner System for Field Test.

III. BCL의 반응원리

BCL(Bentonite Composite Liner)공법의 기본원리는 지반라이너에 균열(Crack)이 발생하여 침출수가 하방으로 누출시 상부층에 첨가된 벤토나이트의 팽윤(Swelling)현상에 의해 균열된 틈새를 메꾸고 상부층과 하부층에 첨가된 각기 다른 반응성 물질이 침출수를 매개체로 하여 두층의 경계면에서 접촉시 각 물질이 각각의 공간에서 균일한 농도로 존재하기 위해 섞이는 확산(Diffusion)현상과 두 물질의 이온이 解離되어 서로 결합함으로써 발생하는 침전(Precipitation)현상에 의해 불용해성 침전물이 발생하는 원리에 기인되며, 토립자 사이의 공극이 큰 사질토의 경우 불용해성 침전물의 생성은 침전(Precipitation)현상이 우세하며 공극이 작은 점성토의 경우 확산(Diffusion)현상이 지배적인 역할을 한다.

최초에 서로 다른 화학성분의 첨가제(상부층 : CT, 하부층 : CB)가 혼합된 상·하층의 경계부분에서 침출수를 매개체로 하여 해리된 이온들이 응집하여 새로운 불용해성 침전물을 형성하며 이러한 침전작용에 의해 첨가제의 수분농도를 저하시켜 새로운 농도경사를 유발시켜 이차적인 이온확산을 유도하게 되며 이 과정은 공극이 완전히 충전될 때까지 계속 반복된다.

IV. BCL의 재료

1. 상부층 첨가제(CT)

본 연구의 실내 및 현장시험에 사용된 벤토나이트는 양남지역에 소재한 광산으로부터 채취한 국산 Ca형 스멕타이트(Smectite)로 구성된 벤토나이트로서 팽윤도를 높이기 위해 소다회(Soda Ash) 처리하여 Na형으로 치환한 동해백토(YB-1)을 사용하였고 사용된 시료의 물리·화학적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. 벤토나이트의 물리·화학적 특성

구분	함수비(%)	비중(g/cm ³)	pH	입도	일축강도(kg/cm ²)	몬트함유량(cc/mg)	점도(sec/mg)
YB-1	10	0.75~0.90	8~9	90%/250mesh	0.65	35/500	50/500
	성분 분석표						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO(%)	MgO(%)	Na ₂ O(%)	CEC(meq/100g)
	65.9	15.1	2.11	1.92	1.62	1.43	135.1

Table 1에 나타난 바와 같이 실내시험용 벤토나이트는 일반 벤토나이트의 CEC(Cation Exchange Capacity, 양이온 치환능력) 약 30~60meq/100g에 비해 약 2배~4배 정도의 탁월한 이온교환 능력 즉 흡착능을 나타내는 "Zeolitic Bentonite"이다.

상부층에 첨가하는 첨가제 CT는 크게 ①벤토나이트와 ②하부첨가재료와 반응하여 침전 및 응집작용이 가능한 재료, K로 분류되며 이때 K는 하부재료와의 반응성을 고려하여 주로 비정질 실리카로 구성된 천연 퇴적광물로서 실험을 수행하였으며 그 화학성분은 Table 2와 같다.

Table 2. 상부 첨가제(K)의 화학성분

시험항목	범위	결과치	시험방법
SiO ₂	%	69.9	KSE 3806 93
Al ₂ O ₃	%	9.41	KSE 3806 93
Fe ₂ O ₃	%	2.65	"
CaO	%	0.19	"
MgO	%	0.44	"
K ₂ O	%	1.31	"
Na ₂ O	%	6.34	"
SO ₃	%	0.53	"
강열감량	%	8.78	"

2. 하부층 첨가제(CB)

본 실험에서 사용한 하부층 첨가제(CB)에 대한 화학적 성분은 CaO 66.1%, MgO 1.55% 및 SiO₂ 2.97%로서 토목공사용으로 활용하기 위해 가장 품질등급이 낮은 제품을 사용하였다.

본 연구에서는 SDRI(Sealed Double Ring Infiltrometer)를 이용한 현장 투수실험을 수행하였으며 복합라이너 시스템을 조성한 후 측정된 투수실험결과는 Table 3과 같다. Table 3에서 알수있듯이, 본 라이너 시스템의 경우 시스템 조성후 60일후 투수성이 크게 향상됨을 알 수 있었으며, 매립지 조성기준치인 10⁷cm/s이하에 적합한 것으로 판명되었다.

Table 3. 벤토나이트 복합라이너 시스템에 대한 현장 투수 실험결과

항 목	시 기	시스템 설치 직후	60일 후
연약지반용		1.59×10 ⁻⁹ cm/s	7.13×10 ⁻⁸ cm/s
일반폐기물 매립장용		1.03×10 ⁻⁹ cm/s	5.38×10 ⁻⁸ cm/s

V. 결 론

본 연구에서 제시된 BCL공법은 국내산 천연 Zeolitic Bentonite를 매립지 차수재 재료로 사용함으로써 침출수 누출을 최소화할 수 있을 것으로 예측되고 있다. 또한 지반여건에 따라 BCL 하부층에 고화처리층의 조성이 가능하며, 공법시공에 신축성이 우수하여 어떠한 현장조건하에서도 경제성있는 차수층의 설치가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 최우진 외 ; 매립지 차수재 개발을 위한 국내 벤토나이트의 팽윤성 향상에 관한연구, 한국 자원공학회 춘계 학술발표회 논문집, 충남대, 4월 16-17일, 1999.
- 2) Daniel, D.E. ; Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapman & Hall, 1993.
- 3) van der Sloot, H. A. ; The Self-forming and Self-repairing Method, ECN-RX-97-037 Report, September, 1997.