

하수 슬러지 부산물을 이용한 다짐혼합재 및 토목합성수지점토라이너의 최종복토 차단층재로의 적용성에 관한 비교연구

A Comparative Study on the Feasibility of Geosynthetics Clay Liner and Compacted Mixing Material Using By-products from Sewage Sludge to the Final Cover Materials in Landfills

정 지 훈^{1*} Jeong, Ji-Hoon
이 재 영² Lee, Jai-Young
이 명 호³ Lee, Myung-Ho

ABSTRACT

Most of waste sludge has generally been disposed in landfill site or dumped in the ocean, which will be banned by the content of its heavy metals according to London Dumping Convention in Korea. Therefore, environmentally friend methods are urgently required for the treatment and disposal of the sewage sludge. Thermal hydrolysis is one of the good treatment methods to solve the sludge problems. In this study, the physical and environmental testing was conducted to evaluate the feasibility of by-product cake from the thermal hydrolysis as liner or cover materials in landfill.

요 지

현재 사용되고 있는 폐기물 매립지의 최종복토 차단층으로는 다짐점토층(Compacted Clay Liner; CCL)을 일반적으로 오랫동안 사용하고 있으나 압축성이 높은 폐기물 위에서는 시공이 어려우며, 고농도 유기물에 의한 붕괴를 유발하여 선진국 등에서 널리 사용되고 있는 부직포 등 토목합성물질 사이에 차수성이 뛰어난 벤토나이트를 삽입한 토목합성수지점토라이너(Geosynthetic Clay Liner; GCL)를 대체재로 많이 사용하고 있다. GCL은 설치 전, 후로 뚫림이 있을 수 있는 단점이 있어 CCL은 여전히 우리나라에서 널리 사용되고 있다. 하지만 CCL은 앞서 언급한 문제보다 국내의 기후 및 지형적인 여건으로 점토의 부족문제가 더 크게 작용하고 있어 그 대체물질의 개발이 시급히 요구되고 있다. 그 대체물질로 최근 슬러지가 주목을 받고 있는데 대부분의 슬러지는 매립지에 처분되거나 해양투기를 하고 있지만 2012년부터 런던협약에 따라 전면적으로 금지될 전망이다. 때문에 슬러지의 친환경적인 처리·처분이 긴급히 요구되고 있는 실정이다. 이 문제를 해결하기 위한 혁신적인 방법의 하나로 열가수분해에 의한 처리기술을 들 수 있다. 본 연구에서는 부족한 양질의 점토를 대체하기 위해 하수슬러지를 열가수분해 처리하고 나온 부산물을 이용하여 첨가제를 혼합하여 최적배합비로 혼합한 다짐혼합재(Compacted Mixing Materials; CMM)를 차수능이 높은 GCL과 비교하여 CMM의 최종복토 차단층재로의 이용가능성을 평가하였다.

Keywords : CMM, GCL, Landfill, Sludge, Thermal hydrolysis

1. 서 론

폐기물 매립은 전 세계적으로 볼 때 폐기물 처리에 있어 가장 단순하고 경제적인 방법 중에 하나이며, 현대 문명의

발달과 산업의 고도화에 따라 경제적인 면으로 점점 고부가가치화되고 있는 실정이다. 그러나 과거에 건설된 매립지가 부적절한 설계 및 운영 등으로 인하여 침출수 유출에 따른 지표수나 지하수의 오염문제를 일으키고 있다. 매립

1* 정회원, 서울시립대학교 환경공학부 석사과정 (Member, Master Course, School of Environmental Engineering, University of Seoul, E-mail: judy8124@uos.ac.kr)

2 정회원, 서울시립대학교 환경공학부 교수 (Member, Professor, School of Environmental Engineering, University of Seoul)

3 정회원, (주)한준지오텍, 토양환경연구팀 팀장 (Member, Managing Director, Department of Soil & Environment Research, HanJun Geotech Co., Ltd.)

의 의존도를 줄이기 위하여 소각이나 자원화와 같은 중간 처리기술이 개발되고 있으나 이는 심각한 오염물질을 배출하고 비경제적이며, 또한 과학기술의 변화, 폐기물의 감량화 및 자원화에도 불구하고 아직도 매립은 폐기물의 최종처분에 있어서 중요한 부분을 차지하고 있다. 매립지는 폐기물의 최종처분지로서 장기간 동안 폐기물을 저장하기에 안전하도록 건설되어야 한다. 하지만 안전하게 건설되더라도 매립지 운영이 불량하면 매립지 내의 오염물질이 외부로 유출되어 주위환경을 오염시킬 것이다. 따라서 무엇보다 중요한 매립지의 적절한 운영 중에 하나가 매립작업 후의 복토인데, 복토는 일일복토, 중간복토, 최종복토 등으로 구분된다. 일일복토 및 중간복토의 경우 규정화되어 있지 않은 반면 최종복토층의 경우 폐기물 관리법에서 규정하고 있다. 최종복토층의 규정은 식생대층(60cm 이상), 배수층(30cm 이상), 차단층(45cm 이상, $k \leq 1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$), 가스배제층(30cm 이상)으로 구성되어 있다. 이 중 차단층은 우수의 배제 및 폐기물을 외부환경으로부터 격리하는 것이 주요 목적으로서 포설기준은 점토·점토광물혼합토 등으로 두께 45cm 이상, 투수계수가 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 이하가 되도록 설치하거나 점토·점토광물혼합토 30cm 이상, 투수계수가 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 이하가 되도록 설치한 후 그 위에 1.5cm 이상인 합성고분자차수막을 포설하는 방안이 주로 이용되고 있다. 하지만 높은 차수능을 가진 합성고분자차수막은 설치 전·후로 뚫림의 가능성이 있으며, 국내의 여건상 양질의 점토가 부족하여 그 대체재의 개발이 시급히 문제화 되고 있다. 그 대체물질 중의 하나로 슬러지가 대두되고 있는데 슬러지는 2012년 런던협약으로 인하여 해양투기가 전면 금지되어 그 처리 및 처분이 문제시 되어 재이용 방안에 대해 연구 중에 있다. 따라서 본 연구에서는 차수능이 좋은 GCL과 최종복토 차단층재를 대체할 CMM을 차수능에 대해 비교하여 CMM의 최종복토 차단층재로의 이용가능성을 평가하였다.

2. 폐기물 매립지 최종복토

일반 및 유해폐기물 매립지에서 복토층의 중요성은 매립지의 바닥층만큼 강조되지 않고 그냥 지나칠 수 있다. 그러나 실제로 매립지의 파괴 및 침출수의 증가 원인 중에 가장 큰 영향을 미치는 것은 복토층 설치의 실패에서 온다고 볼 수 있다. 특히, 폐기물 매립이 완료된 후에 안정화 및 환경오염방지를 위해 시행되는 최종복토(final cover)

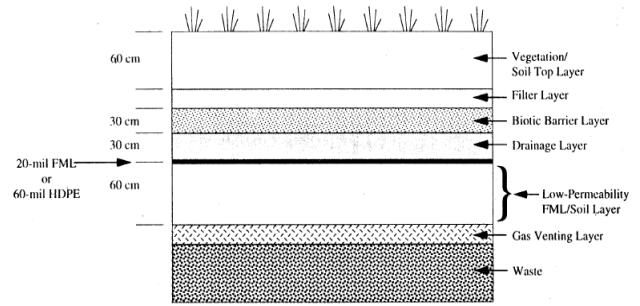


Fig. 1. US EPA가 개정 추천하는 일반폐기물 매립지의 최종복토층 (US EPA, 2001)

의 기능은 (1) 폐기물 층 내부의 수분을 적정하게 유지시킴으로서 폐기물의 분해를 촉진하여 매립장의 조기 안정화를 유도하는 측면과, (2) 폐기물층 내부로의 우수의 침투를 차단하여 침출수의 발생을 저감시키고 매립가스의 발생을 억제하는 등 환경오염 저감 측면으로 구분할 수 있다.

현재 우리나라 폐기물 관리법에서는 최종복토의 주 기능을 후자에 두고 그 설치 및 관리기준을 명시하고 있으며 외국의 경우도 일부 강수량이 적은 건조한 지역의 경우를 제외하고는 매립지 내 빗물의 침투방지 목적의 복토형식을 채택하고 있다.

3. 토목합성수지점토라이너

GCL은 일반적으로 차수재료가 필요한 시설, 오염물질의 누출로부터 보호할 시설 또는 누출방지 시설 등에 설치·적용하고 있으며, 특히 GCL을 기존의 매립시설 차수재료인 점토차수재 대용으로 지오펜브레인과 같이 적용하고 있다. 우리나라에서는 폐기물관리법에서 정한 차수층의 기준에 따라 매립시설의 경사면에 점토 차수층의 시공이 불가피한 경우, 점토차수층 대신 이와 동등한 차수효과를 갖는 것으로 판단되는 GCL층의 사용이 가능하다. GCL의 적용범위는 매립시설의 최종복토재로서 지오펜브레인 하부에 적용, 매립지 경사면의 차수재로서 지오펜브레인의 상부 또는 하부 등 다방면으로 적용이 가능하다.

4. 실험 및 방법

4.1. 재료

4.1.1 부산물

본 연구에 사용된 재료로 하수처리장 내에서 열가수분

해에 의해 생성된 부산물 케이크(by-product cake)이다. 부산물 케이크의 기본 물성은 pH 6.4~7.0, 함수량 30~40%, VS/TS 36~45%이다. Table 1은 XRF기기 사용을 통해 분석된 부산물 케이크의 화학성분을 나타낸다. 또한 Fig. 2는 HYDRO-TECH 슬러지 처리공정의 개략적인 다이어그램을 나타낸다.

시료는 통풍이 잘 되는 곳에서 7일 이상 건조시킨 후 #10(2.00mm)체를 통과한 시료를 실내실험(평균습도 71%)에서 24시간 이상 방치한 뒤 본 실험에 사용하였다.

4.1.2 토목합성수지점토라이너

본 연구에 사용된 GCL은 G사의 제품으로 pp부직포/니들펀칭에 의한 연결섬유/나트륨 벤토나이트/pp직포로 구성되어 있고, 기본적인 물리적 성상은 다음 Table 2와 같다(이정란 등, 2004).

4.2 다짐혼합재의 최적배합비 설계

부산물을 매립지의 차수재 혹은 복토재로 재활용하기 위해서는 부산물이 지닌 고유의 비소성 그리고 높은 유기

물함량 등을 해결해야 한다. 그 해결책으로 부산물과 토양의 1:1 혼합을 기본배합으로 하고 상대적으로 차수기능 향상을 위해 벤토나이트를 첨가하였다. Table 3에 최적배합비를 나타내었다(Jeong 등, 2008).

4.3 실험방법

열가수분해에 의한 부산물을 매립지의 최종복토 차단층재료의 재활용 가능성 평가를 위해 KS에 따라 실시하였으며 기본 물성실험으로는 입도분석 및 비중실험을 수행하였으며, 폐기물관리법에 따라 유해물질의 독성평가로 용출시험을 실시하였다. 역학적 실험으로는 최적배합비로 혼합한 다짐혼합재의 투수실험을 실시하였는데 투수실험은 최적다짐조건에서 변수위 투수시험법으로 수행하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 기본특성

입도는 체분석을 통해 결정하였으며, 비중은 최적배합

Table 1. 부산물의 화학적 성분

Testing Item	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	L.O.I	Total
Content (wt%)	39,27	19,27	10,43	0,53	2,66	8,22	0,14	2,35	0,17	11,29	5,64	99,97

*L.O.I (Loss on Ignition)

Table 2. GCL의 기본 물성

시험항목	수분율(%)	중량(g/m ²)	두께(mm)	인장신도(%)	팽윤도(mg/L)	흡수율(%)
시험결과	9.8	5719.7	7.76	길이 : 140 폭 : 103	12.6	624

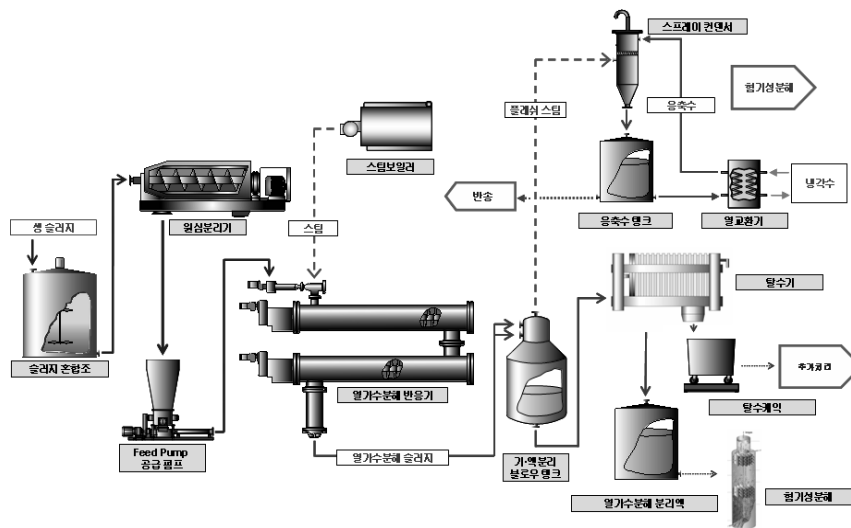


Fig. 2. A schematic diagram of the HYDRO-TECH for sludge treatment

Table 3. 다짐혼합재의 최적배합비

	일반토양(%)	부산물(%)	Bentonite(%)
혼합비율	50	45.5	4.5

Table 4. 재료의 기본 특성

Materials	Test	Grain size distribution					Gs	USCS	
		D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	Cu	Cg			# 200
By-product		0.0401	0.1365	0.3581	8.93	1.3	21.5	1.50	Pt
Soils		0.03	0.07	0.42	14.0	0.39	31.0	2,678	SM
Bentonite		0.00062	0.01301	0.027032	43.6	10.1	81,725	2,579	MH

D₁₀(10% Passing), D₃₀(30% Passing), D₆₀(60% Passing), Cu=(D₆₀/D₁₀), Cg=(D₃₀²/D₁₀×D₆₀), SM : Sand Mite

비를 도출하기 위해 사용되었다. 이들 자료를 통해 통일분류법에서 분류하였다. 미국 환경보호청(US EPA)에서는 폐기물매립지의 복토재로서 사용 가능한 점토질 입자의 최대 입경을 25~50mm 이하로 규정하고 있다. Table 4에 재료의 기본특성을 나타내었다.

5.2 용출실험

일반적으로 유해물질의 독성이 환경에 미치는 영향을 평가하기 위하여 용출실험을 실시한다. 본 연구에서는 부산물 케이크의 잠정적인 환경영향을 알아보기로 중금속 용출실험을 수행하였다. 다음과 같은 중금속(Cr, Cu, Cd, Pb, Hg 및 As)에 대한 용출실험은 토양환경보존법에 규정되어 있다. 열가수분해에 의한 부산물의 용출실험을 KSLT에 의거하여 수행하였으며 부산물의 중금속 농도를 Table 5에 나타내었다. 대부분의 샘플에서 중금속은 검출되지 않았으며 극미량의 Zn(0.446 mg/L)과 Ni(0.096 mg/L)이 검출되었다.

6. 투수특성

변수위투수실험은 최적다짐조건 하에서 부산물 케이크의 투수계수를 평가하기 위해 수행되었다. 매립지 차수재와 복토재의 투수계수는 매립지 운영에서 중요한 역할을 한다. Table 6은 다짐혼합재 및 일반적인 GCL의 투수계수를 나타낸다. 한국에서 매립지의 최종복토 차단층의 투수계수는 대략 1.0×10^{-6} cm/sec로 부산물의 최종복토 차단층재로의 사용은 충분히 가능하다고 할 수 있다.

7. 결론

본 연구는 부산물을 재이용한 다짐혼합재와 GCL과의 차수능 비교를 통해 다짐혼합재가 최종복토 차단층재로의 사용가능성을 평가하기 위하여 수행하였다. 실험결과 다짐혼합재는 GCL에 비해 차수능은 떨어지지만 최종복토 차단층의 법적기준($k = 1.0 \times 10^{-6}$ cm/sec)을 만족하고 용출실험 결과 환경에 미치는 영향이 극히 적을 것으로 판단된다. 그리고 무엇보다 폐자원을 이용함으로써 최종복토 차단층재로의 이용 시 설치비면에서 GCL과 비교하여 상당히 저렴할 것으로 판단된다. 결론적으로 저품질의 부산물을 재활용한 다짐혼합재는 GCL을 대체할 고부가가치의 최종복토 차단층재로 사용될 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 K-BEC Korea의 연구비 지원에 의한 연구 성과의 일부임을 밝히며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 이정란, 문철환, 정찬기, 이재영 (2004), “폐기물 매립지 최종복토 차단층으로서 GCL (Geosynthetic Clay Liner) 적용 가능성 평가”, *대한환경공학회, 춘계학술연구발표회*, pp.332-336.
- Ji-Hoon Jeong, Jai-Young Lee (2008), “A Feasibility Study of the Cover Materials in the Landfill with the By-products of Thermal Hydrolysis”, *Waste Recycling and Management Research*, Vol.13, No.1.
- US EPA (2001), *Geosynthetic Clay Liners used in Municipal Solid Waste Landfills*, EPA 530-F-97-002.

(논문접수일 2008. 6. 4, 심사완료일 2008. 6. 21)