

불량매립지 폐기물의 고형화를 위한 기초적 연구

이 재 영

서울시립대학교, 환경공학부

A Basic Study of Solidification for the Waste in the Illegal(Open) Dumping Landfill

Jai-Young Lee

Department of Environmental Engineering, The University of Seoul

ABSTRACT

In most of studies on solidification/stabilization with waste, small columns have been used to examine adsorption or leachate. However, these experiments using small apparatus have been limited to apply with the field. In this study, considering an application to the field, a large Lysimeter(100cm × 100cm × 100cm) used for the simulation. Then, the open dumping waste was mixed directly with bentonite to simulate the stabilization of waste, environmental aspects and several basic tests. As a result, the concentration of heavy metals and contaminated substances changed with bentonite rate.

Most of contaminated substances were decreased in leaching with increased mixing rate of bentonite. Especially, the concentration of COD_{Cr} removed 25~30%. Also, the residual soil in dumping waste produced approximately 80% of total volume by 40 × 40mm screen.

Key word: solidification/stabilization, adsorption, leachate, Lysimeter, residual soil

요 약 문

대부분의 고형화/안정화에 대한 연구는 작은 column(5cm × 10cm)을 사용하여 흡착 또는 침출(용출)에 대하여 실험하였다. 이러한 작은 기구의 실험은 현장 적용에 있어 많은 어려움을 내포하고 있다. 본 연구는 현장 적용성을 감안하여 큰 정방형(100cm × 100cm × 100cm)의 Lysimeter를 제작하여 불량폐기물을 벤토나이트와 직접 혼합하여 폐기물의 안정성 및 환경적인 면을 알아보기 위한 기초 실험을 하였다. 실험 결과, 벤토나이트의 혼합비에 따라 중금속 농도는 미세한 변화를 보였다. 침출수의 중금속 및

오염물질농도는 벤토나이트의 혼합비에 따라 중금속 및 오염물질의 농도가 감소되었으며, 특히 오염물질 중 CODcr은 25~30% 제거효과를 나타내고 있다. 또한 불량폐기물에 의한 잔여토사 발생은 전체 부피의 약 80%(40×40mm screen) 정도를 나타내고 있다.

주제어 : 고형화/안정화, 흡착, 침출, Lysimeter, 잔여토사

1. 서 론

우리나라의 불량폐기물(사용종료) 매립지는 전국적으로 다양하게 분포되어 있으며 총 1,700여 개소가 있는 것으로 조사되었다. 그중 5000m² 미만의 소규모 매립지가 조사된 전체 불량매립지의 64%인 1,100여개소로서 대부분을 차지하고 있으며 그중 규모가 1,000m² 미만도 300여개소로서 전체의 17%에 달하여 대부분 소규모 매립지로 나타났다.¹⁾ 이러한 매립지의 이용실태 및 계획을 보면 농지, 초지, 공원, 주차, 폐기물, 적환장 등으로 비교적 소극적인 면을 볼 수 있다. 현재 미국과 같이 국토 면적이 넓은 나라는 매립지 폐쇄후 약 30년의 관리 및 안정화 기간을 두고 있지만 우리나라와 비슷한 일본과 같이 국토 면적이 좁은 나라인 경우는 매립부지의 조기 안정화를 통한 토지의 재사용을 모색하고 있다.²⁾ 우리나라는 현재 불법적으로 조성된 불량매립지가 전국에 다수 분포 되어 있다. 여기서 불량매립지란 바닥층의 차수시설, 최종복토층 및 환경오염 방지시설이 제대로 갖추어져 있지 않은 곳을 말한다. 이러한 불량매립지를 재사용하기 위하여는 두가지 측면에서 고려되어야 한다. 우선 하나는 환경적 문제로서 침출수로 인한 매립지 주변의 지하수 오염 문제와 매립가스로 인한 악취 문제등을 예상할 수 있고, 다른 하나는 지반공학적 측면으로서 매립지역은 연약지반의 형태로 구분 할 수 있으며 토지 개발시 토지 이용적 측면에 장애가 되고 있다. 또한 불법으로 매립된

폐기물은 굴착후 새로 계획되거나, 기존에 운영되고 있는 위생매립지로의 운송이 어려운 상황인 것이다. 따라서 본 연구는 불량 폐기물매립지 처리중 하나인 매립존치 방법을 바탕으로 하여 불량매립된 지역에 벤토나이트를 이용한 고형화 방법의 적용 가능성을 알아 보기로 한다. 많은 연구에 의하면 벤토나이트가 오염물질 및 중금속 흡착에 효과가 좋은 것으로 나타나 있다. 그러나 이러한 대부분의 연구중 고형화/안정화에 의한 중금속 흡착실험은 작은 column(\varnothing 5cm 10cm)을 배경으로한 기초적인 실험을 보이고 있다.^{3)~8)} 이러한 작은 기구의 실험은 현장 적용시 많은 문제점을 내포하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 현장 적용성을 감안하여 큰 정방형 (100cm×100cm×100cm) Lysimeter를 제작 사용하였다. 또한 지금까지 대부분 폐기물의 고형화(Solidification) 연구라 하면 특정(유해)폐기물의 슬러지나 Fly Ash를 시멘트계열, 약액 및 고화제를 사용하여 고형화시켜 오염물질의 거동을 제한시켜 안정화시키는데 있었다.^{9)~10)} 그러나 본 연구는 벤토나이트를 일반폐기물에 직접 사용하여 고형화에 따른 폐기물의 안정성 및 환경적인 측면을 알아보기 위하여 기초적인 실험을 수행하였다.

2. 실험 기구

본 실험을 위하여 두께 10mm의 아크릴을 이용하여 가로×세로×높이(100cm×100cm×100cm)의 정방형 Lysimeter를 제작(Fig. 1) 하였

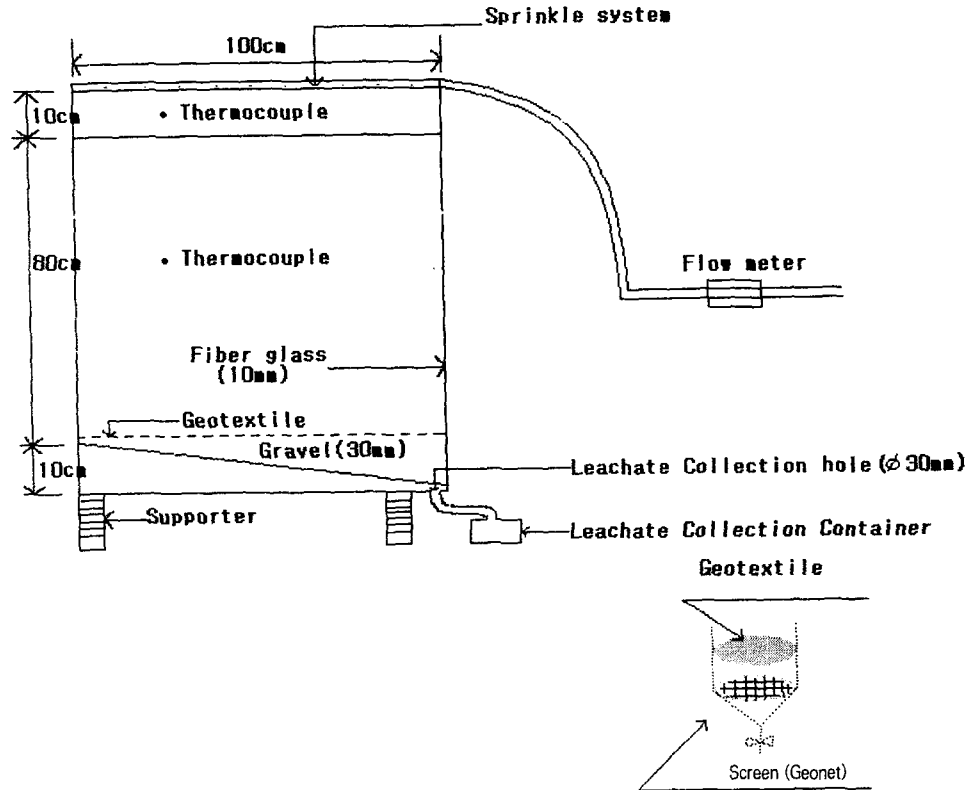


Fig. 1. A Lysimeter for Solidification

다. 이 Lysimeter는 물 공급시설(유량계)과 침출수 배수시설을 갖추고 있으며 침출수의 배수를 원활히 하기 위하여 10%의 경사면을 유지하였으며 배수시설에 직경 5mm 정도의 자갈과 부직포(Geotextile)를 포설하였으며 침출수의 유집공은 filtering을 목적으로 하여 Geonet와 Geotextile(부직포)로 만들었다. 침출수의 정량 측정을 위하여 밸브장치가 되어 있다. 또한 각 Lysimeter안의 대기와 폐기물내 온도를 측정하기 위하여 Lysimeter 대기와 폐기물 중간부분에 thermocouple을 설치하였다.

3. 실험 내용

실험은 불량폐기물을 고형화하기 위한 실내 실험과 불량폐기물의 선별시 잔여토사와 폐기물의

함유율을 측정하기 위한 현장 실험을 하였다. 또한, 실내실험을 위하여 시료로서는 현재 불량폐기물이 발생되었던 C시에서 직접 준비하였으며 폐기물의 경과년 수는 매립후 6~7년 정도이며 굴착에 의한 3성상 분류는 Table 1에 의한다. 실험을 위한 4개의 Lysimeter에 시료를 각각 다음과 같이 준비하였다.

- 1) 순폐기물 (Lysimeter 1)
- 2) 폐기물 + Bentonite 10% (Lysimeter 2)
- 3) 폐기물 + Bentonite 25% (Lysimeter 3)
- 4) 폐기물 + Bentonite 50% (Lysimeter 4)

침출수 발생을 위하여 각 Lysimeter에 대하여 일정한 강우를 가하여 침출수의 수질 분석을 하였다 (Table2, 3). 분해의 정도를 알기 위하여 각 Lysimeter의 공기중의 온도와 고형화물 중심의 온도를 주기적으로 계속 측정하였다(Fig. 2).

Table 1. 3-Components in the Excavated Wastes <Unit : % by weight>

Component		1	2	3	4	5	Average
0~2m	Moisture	44.9	18.5	26.2		30.3	30.0
	VM	46.1	70.2	63.4	-	58.8	59.6
	NC	9.0	11.3	10.4		10.9	10.4
2~4m	Moisture	20.5		13.6	26.0	33.2	25.8
	VM	60.4	-	76.1	60.8	54.6	63.0
	NC	9.1		10.3	13.2	12.2	11.2
4~6m	Moisture	45.8		28.8	31.6	36.9	35.8
	VM	43.0	-	59.0	53.0	48.8	51.0
	NC	11.2		12.9	15.4	14.3	13.2
Average	Moisture	40.4	18.5	22.9	28.8	33.5	30.5
	VM	49.8	70.2	66.2	56.9	54.1	57.9
	NC	9.8	11.3	10.9	14.3	12.4	11.6

VM: Volatile Materials

NC: Non-Combustible

Table 2. Characteristics of Initial Leachate <Unit: mg/l>

Constituents	Lysimeter 1	Lysimeter 2	Lysimeter 3	Lysimeter 4
CODcr	192	187	179	180
SS	28	22	25	20
Cd	N/D	N/D	N/D	N/D
Hg	N/D	0.024	0.028	0.041
As	0.088	0.026	0.035	0.04
Pb	0.064	0.08	0.066	0.045
Cn	0.484	0.351	0.398	0.381

N/D: Not Detected

Table 3. Characteristics of Leachate after 6 months <Unit: mg/l>

Constituents	Lysimeter 1	Lysimeter 2	Lysimeter 3	Lysimeter 4
CODcr	190	140	132	129
SS	30	18	17	13
Cd	N/D	N/D	N/D	N/D
Hg	N/D	0.018	0.015	0.01
As	0.07	0.015	0.024	0.021
Pb	0.05	0.06	0.046	0.03
Cn	0.46	0.28	0.29	0.23

N/D: Not Detected

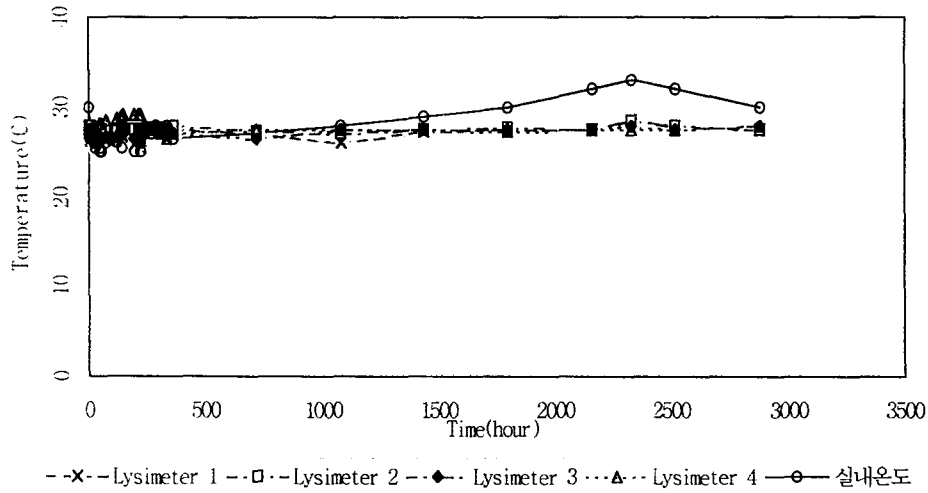


Fig. 2. Temperature History for the Lysimeter

선별에 의한 불량매립지 폐기물의 잔여토사 및 폐기물 함유를 보기 위하여 현장에서 굴착기계, 대형과쇄기 및 선별기(채는 40×40mm)를 이용하였다.

4. 실험결과

침출수의 측정결과 중금속 농도는 아주 미량 검출 되었으며 고형화후 측정에 대하여 농도가 감소됨을 알 수 있었다. 또한, 오염물질중 CODcr은 본 고형화 실험에서는 벤토나이트와 폐기물 혼합비에 따라 감소됨을 보이고 있다. 물론 벤토나이트 혼합율이 증가 할 수록 CODcr은 감소됨을 알 수 있었다. 이러한 원인은 벤토나이트가 중금속 흡착과 CODcr를 저감시킬 수 있는 능력 때문이라 사료된다. 불량매립지안의 온도 (평균 25℃~30℃)를 고려한 폐기물 및 폐기물과 벤토나이트의 고형화물의 온도 변화는 약 6개월 동안 계속 측정하였다. 각 Lysimeter의 온도는 처음 7일 정도(168시간)는 초기 변화를 측정하고

자 약 4시간 간격을 두어 측정하였으며 시간이 지나면서 24시간에 한 번 온도변화를 측정하였다.(Fig 2) 측정결과 Lysimeter 1 (순폐기물)의 온도 변화와 다른 Lysimeter(폐기물과 벤토나이트의 고형화물)들의 온도는 거의 비슷하게 나타났다. 온도증가에 따른 분해촉진을 고려하여 약 2.5개월 후에 실내온도를 약간 증가시켰으나 역시 각 Lysimeter들의 온도 변화는 거의 없었다. 이러한 결과는 불량폐기물의 분해작용이 거의 끝나 가스 발생이 없는 상태임을 알려주는 것이며 (매립후 6~7년경과) 폐기물과 벤토나이트의 혼합 고형화물에서도 벤토나이트에 의한 분해촉진이 거의 없다고 볼 수 있다.

최근 발표된 불량폐기물속의 잔여토사량은 전체 폐기물 부피의 약35%를 나타낸다고 한다.¹¹⁾ 물론 불량폐기물속의 잔여토사량은 채논의 크기 등 조사방법에 따라 다르다고 본다. 그러나 본 연구자가 현장에서 직접 Screen(40×40mm)을 통한 실험 측정 결과 잔여토사량은 전체의 약80% 정도를 나타냈다. Table 4는 C시에서 발생되었

던 불량폐기물을 처리 할 시 실제로 처리 현장에서 측정된 잔여토사 및 폐기물 함유를 보여주고 있다.

Table 4. The Rate of Residual Soil and Waste in C City

No.	Test Rate	Residual Soil	Waste
1	3m ³	2.5m ³	0.5m ³
2	3m ³	2.7m ³	0.3m ³
3	3m ³	2.4m ³	0.6m ³
4	3m ³	2.6m ³	0.4m ³
5	3m ³	2.5m ³	2.5m ³
6	3m ³	2.7m ³	0.3m ³
7	3m ³	2.3m ³	0.7m ³
Total	21m ³	17.7m ³	(84.3%)

5. 결론 및 고찰

- 침출수의 중금속 및 오염물질 농도는 벤토나이트의 혼합비에 따라 중금속 및 오염물질의 농도가 감소됨을 알 수 있었다. 특히, 오염물질 중 CODcr은 25~30% 제거효과를 볼 수 있었다.
- 불량폐기물에 의한 잔여토사 발생은 전체의 약 80%(40×40mm screen) 정도를 나타내고 있다. 본 연구의 현장 실험과 비교할 때 기존의 불량폐기물에 의한 잔여토사 발생량과 현격한 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다.
- 굴착 및 선별에 의한 불량매립지 폐기물의 성상을 보면 주로 불가연성 성분인 연탄재와 토사가(50%이상) 주를 이루어왔다. 이러한 점에서 불량매립지 폐기물의 재이용은 폐기물의 자원화 측면에서 바람직하다고 본다.
- 폐기물의 잔여토사 및 폐기물 선별은 체눈의 크기별, 토사분의 수분함량 및 잔여토사의 토목·환경적 실험을 통하여 현장에서 사용 분

리되어야 할 것이다.

- 본 연구에서는 고비용의 고품위 벤토나이트를 사용하였으나 재활용 측면에서 저품위 벤토나이트 사용을 고려 할 수 있을 것이다. 향후 불량폐기물 매립지의 처리시 잔여토사를 재활용 할 수 있는 지속적인 연구가 필요하다고 본다.

감사의글

본 연구는 서울시립대학교 1997년 신진교수 연구비로 수행 되었음을 감사드립니다.

참고 문헌

1. 한국토지개발공사, "폐기물 처리방안에 관한 연구(II)", 한국토지개발공사, (1995)
2. 구자공, 윤석표, 최지용 "폐기물 매립안정화 및 토지이용", 월간폐기물 95년 5월호, pp77-87 (1995)
3. 김갑수(번역), "토양 매립에 있어서 중금속의 거동에 관한 실험적 검토", 공해대책, Vol. 13, No. 3, pp258-268 (1982)
4. 남궁완, 황의영, 윤범한, 윤석표, 이남훈 "폐기물 매립지 선별토양의 중금속 흡착능력", 한국폐기물학회지, 제13권, 제2호, pp273-280 (1996)
5. 장암, 최용수, 김인수 "폐광산 지역에서 발생되는 중금속의 Chemical fixation을 위한 토양의 물리화학적 특성실험과 Bentonite의 흡착 실험", 한국토양환경학회, 추계학술발표회, pp81-87 (1996)
6. Blanchard, G., et. al. "Removal of Heavy Metals from Waters by Means of Natural Zeolites", Water Res. Vol. 18. No. 12, pp1501-1507 (1984)
7. Gnanapragasam, N.G. et. al., "Microstructural

- Changes in Sand-Bentonite Soils when Exposed to Aniline”, J. of Geotechnical Engineering, Vol. 121, No. 2, pp119-125 (1995)
8. Mott, H.V. and Weber, Jr, W.J., “Sorption of Low Molecular Weight Organic Contaminants by Fly Ash: Considerations for the Enhancement of Cutoff Barrier Performance”, Environ. Sci. Technol., Vol. 26, No. 6, pp1234-1241 (1992)
 9. 서용철, 유종익, 서용찬, “유해폐기물 소각재의 고화체에서의 침출특성”, 한국폐기물학회지, 제14권, 제7호, pp773-783 (1997)
 10. 박춘근, 신영훈, 조계홍, “시멘트계 유해폐기물 고화처리재의 수화특성 및 중금속 고형화처리 성능에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 제14권, 제8호, pp901-909 (1997)
 11. 윤석표, 윤범한, “비위생매립지의 굴착, 선별, 재활용에 관한 사례 연구”, 한국폐기물학회지, 제14권, 제6호, pp541-547 (1997)