(사)한국지하수토양환경학회
추계학술대회 발표논문집
2000년11월18일 포항공대 환경공학동

폐기물매립지 차수재로서 고화토의 중금속 고정능력 평가에 관한 연구

A Study on the Fixation of Heavy Metals with Stabilized Soils in the Landfill Liner

노희정 · 이재영

서울시립대학교 환경공학부

ABSTRACT

We performed the geotechnical experiments of the hydraulic conductivity and compressive strength test with the stabilized soil in the laboratory, proved that it is useful to use the stabilized soil as an alternative for natural clay soil. Also, for mixing adding materials in the stabilized soil, it was determined that 1) the optimal mixing ratio of cement : bentonite : stabilizing agent was 90:60:1 of mass ratio(kg) for $1m^3$ with soil, 2) it was also possible to use low quality bentonite(B②) classified by swelling grade because of little difference from results of the hydraulic conductivity and compressive strength test with high quality bentonite(B①).

According to the results of the fixation ability of heavy metals(Pb^{2+}, Cu^{2+}, Cd^{2+}, Zn^{2+}) with soil and additives, authors can conclude that the higher pH condition had the more removal efficiency of heavy metals. B① and cement had especially high removal efficiency of heavy metals in a whole pH because of high alkalinity.

Key words : Stabilized soil, hydraulic conductivity, heavy metal, fixation ability

Ⅰ. 서론

90년대 이후부터 국내에서는 위생 개념의 매립지가 도입되어 대부분의 폐기물 매립지는 바닥층, 폐기물층 및 최종복토층 등의 기본적인 구조로 건설되고 있다. 이중 바닥층과 최종복토층의 구성요소인 차수층은 오염물질의 수리적 이동을 감소시킬 뿐만 아니라 오염물의 Fick's 단일확산속도에 의한 이동 또한 저지함으로써 주변의 토양과 지하수를 보호하는 역할을 수행한다.

차수층은 Compact Clay Liner(CCL), Geomembrane, Geosynthetic Clay Liner(GCL), 또는 이들의 조합으로 설계·시공될 수 있으며, 이중 Compact Clay Liner는 두께에 대한 안전성(국내 폐기물관리법상 50cm~1m)과 점토물질의 물리화학적 성질로 인한 오염물의 지연효과로 인하여 국내외 많은 매립지에 적용되고 있다.

현재 국내 폐기물 매립지는 여건상 차수층의 차수재로 사용될 양질의 점토가 부족할 뿐만 아니라 매립지의 위치 선정시 가용 공간의 제한으로 인하여 해안이나 내륙의 연약지반, 또는 산간과 같은 부적합한 곳에 위치할 수 없는 실정이다. 이러한 문제점들을 보완하기 위하여 토목건설에서 연약지반의 고결을 위해 적용되는 토사-벤토나이트, 시멘트계 혼합 공법 등을 응용, 매립장 부지 내 현장토에 여러 가지 첨가재를 혼합하여 점토차수재와 동등 이상의 투수계수 및 압축강도 기준을 만족할 수 있도록 적용시키고 있다. 그러나 오랜 시공을 통해 토목건설에서의 연약지반개량에 대한 자료는 많이 축적되었다고 보나, 매립지 차수층을 위한 자료 및 연구는 전무하다고 볼 수 있으므로, 차수기능을 가진 특수한 층에서의 토목·환경공학적 실험은 많은 연구가 필요할 것이다.

본 연구에서는 이러한 점토차수재의 대체물질로서 매립지 현장토에 따라 첨가재(시멘트, 벤토나이트 고화제)의 혼합비율을 달리하여 혼합하는 방법인 고화토 공법을 대상으로 하여 토목·환경적인 연구로서 고화토의 차수/강도 효과 및 오염물 중 중금속의 고정능력을 평가하여 향후 폐기물매립지 차수층의 고화토 적용을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

Ⅱ. 재료 및 방법

매립지의 현장토(CL계열)과 포틀랜드 시멘트, 팽윤도의 차이에 따른 벤토나이트(B①; 10~15cc/2g, B②; 5cc/2g), 실리카 계열의 고화제를 일정한 비율로 혼합, 고화토를 제조하여, Rigid-wall을 이용한 투수계수(KS F2322)와 일축압축강도(KS F2314)를 측정하였다. Table 1은 고화토의 제조방법에 따른 시료분류를 나타낸 것이다.

Table 1. The Classification of Stabilized Soil with Mixing Method.

Soil*	Bentonite**	The Mixing Ratio(kg/m³)***	The Curing Time(day)
CL	B①	60:40:1	7
	B②	120:40:1	14
		90:60:1	28

* Classified by United Classification System

** Swelling Grade (B①; 10~15cc/2g, B②; 5cc/2g)

*** Cement:Bentonite:Stabilizing Agent

오염물의 고정능력을 평가하기 위해 우선 현장토(CL)와 첨가재들(시멘트/벤토나이트 ①, ②)의 양이온교환능력($BaCl_2$법, NH_4OAc법)을 측정하였으며, 대표적인 중금속인 Pb^{2+}, Cu^{2+}, Cd^{2+}, Zn^{2+} 50mg/L을 이용하여 pH별, 농도별 중금속 고정능력을 평가하였다. 그리고 컬럼식 중금속 고정 시험기를 자체 제작

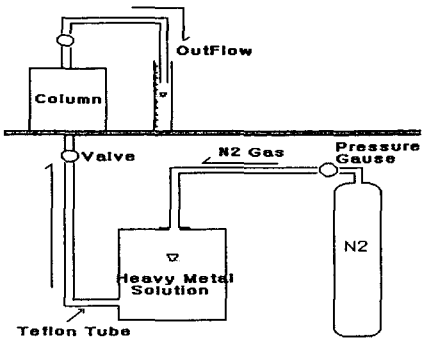


Fig. 2 The Schematic Diagram of the Column Tester.

하여 중금속 Pb^{2+}, Cu^{2+}, Cd^{2+}, Zn^{2+} 각각 약 100mg/L으로 제조한 인공오염물을 이용하여 Fig. 1에 나타낸 첨가재 종류별 고화토의 장기간 중금속 고정특성을 도출하고자 하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이, 컬럼은 내경 5cm, 높이 10cm의 몰드와 2L 용량의 용액 저장통으로 구성되며, 유체의 흐름 방향을 쉽게 변경할 수 있도록 설계되었다. 오염물의 기기에 대한 반응성을 배제하고 실험오차를 줄이기 위해 모든 재질은 SUS로 하였으며, 관은 테프론을 사용하였다. 컬럼 상하에 3.5mm SUS 재질의 다공성 여재를 두었으며, 탈이온수가 채워진 용액 저장통에 반응성이 없는 질소가스로 가압하여 탈이온수를 통과시켜 충분히 포화시킨 후, 용액 저장통에 위에 언급한 인공오염용액으로 전환하여 실험을 실시하였으며, 유출액은 산처리 후 ICP로 위의 중금속 항목을 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 고화토의 투수계수 및 압축강도

현장토 CL의 투수계수는 2.23×10^{-6}cm/sec로서, 기준치 1×10^{-7}cm/sec에 미치지 못했으나 첨가재를 혼합한 고화토의 경우, Table 2에서 보는 바와 같이, 모든 배합조건에서 기준치를 만족하였으며, 배합비 90:60:1의 경우 가장 낮은 투수계수 결과를 보여주었다. 팽윤도가 다른 벤토나이트 첨가에 따라 투수계수와 압축강도에 차이를 보이고 있으나, 그 차이가 크지 않으므로 고화토의 제조시 저품위 벤토나이트의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

Table 2. The Hydraulic Conductivity(Rigid-wall Permeameter) and Compressive Strength with the Stabilized Soil in Different Bentonites, Mixing Ratios and Curing Times.

Soil	Bentonite	Mixing Ratio***	Hydraulic Conductivity(cm/sec)			Compressive Strength(kg/cm²)		
			7days	14days	28days	7days	14days	28days
CL	B①	60 : 40 : 1	8.03×10^{-8}	7.38×10^{-8}	7.91×10^{-8}	10.3	12.3	14.6
		90 : 60 : 1	1.24×10^{-8}	1.42×10^{-8}	1.29×10^{-8}	24.2	25.9	28.2
		120 : 40 : 1	4.55×10^{-8}	3.95×10^{-8}	3.55×10^{-8}	36.7	40.2	45.2
	B②	60 : 40 : 1	9.31×10^{-8}	9.74×10^{-8}	9.79×10^{-8}	11.9	12.4	14.2
		90 : 60 : 1	5.47×10^{-8}	5.10×10^{-8}	5.24×10^{-8}	24.8	26.7	28.3
		120 : 40 : 1	6.24×10^{-8}	5.44×10^{-8}	5.97×10^{-8}	33.4	38.1	42.9

* Swelling Grade; B① 10-15cc/2g

** Swelling Grade; B② 5cc/2g

*** Cement:Bentonite:Stabilizing Agent, kg/m³

2. 고화토의 중금속 고정능력

Fig. 3, Fig. 4는 고화토의 재료인 현장토 CL과 첨가재(B①,②/시멘트)의 양이온교환능력(CEC) 측정 결과로서, 현장토에 비해 첨가재의 결과가 높게 측정되었으며, 벤토나이트 중 팽윤도가 더 큰 B①의 경우, 높은 Na^+의 함량과 CEC와의 비례관계를 잘 나타내고 있다.

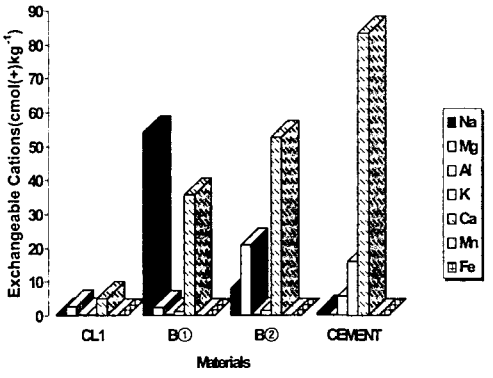


Fig. 3. The Exchangeable Cations in the Soils and Additives(by $BaCl_2$)

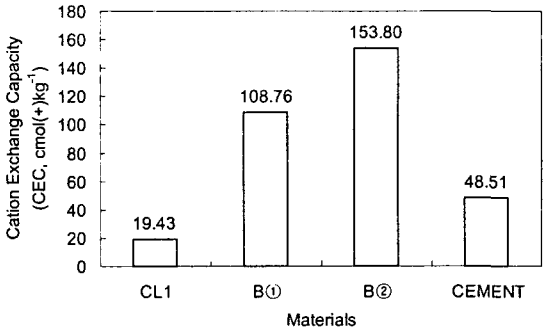


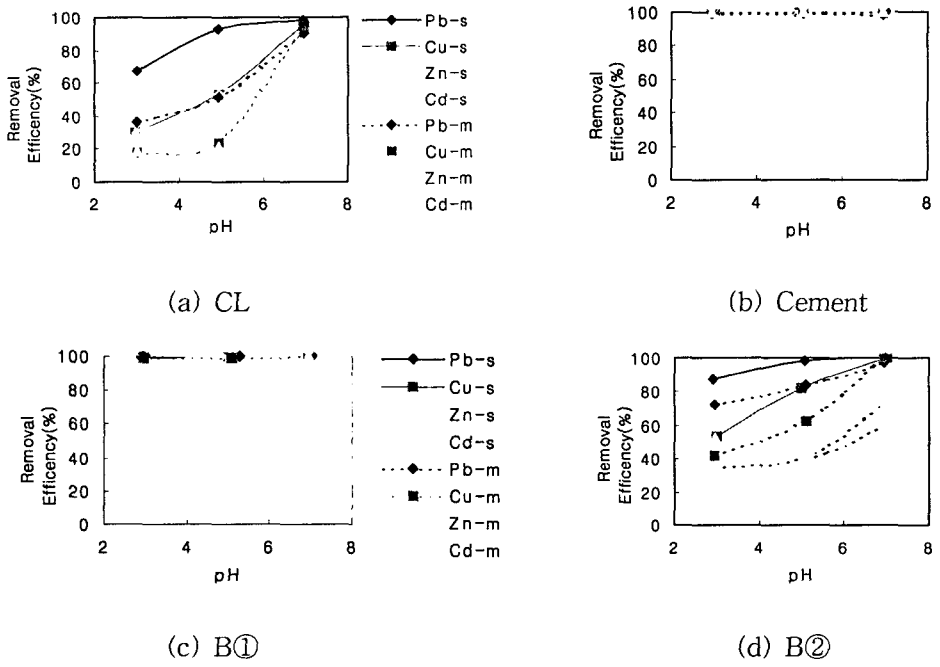
Fig. 4. The Cation-Exchange Capacity(CEC) of the Soils and Additives(by NH_4OAc)

Fig. 5는 침출수의 pH별(pH3~7)에 따른 현장토와 첨가재의 중금속 고정능력 평가 결과이며, 여기서 s는 단일 중금속용액일 때, m은 혼합 중금속용액일 때를 나타낸 것이다. 모든 중금속의 제거효율은 단일 중금속이 혼합 중금속보다 높은 것으로 나타났으며, pH가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여주었다. 시멘트의 경우, 중금속을 침전에 의해 안정화시키는데 성공적이라는 것이 많은 논문에 의해 증명된 바와 같이 단일/혼합 중금속이 모든 pH 조건에서 대부분 제거되었으며, 벤토나이트의 경우에는 B①이 높은 양이온교환능력과 pH조건(B①;pH10.33, B②; pH6.68)으로 인하여 더 높은 제거 효율을 보여주는 것으로 사료된다.

Ⅳ. 결론

현장토 CL에 첨가재(시멘트, 벤토나이트, 고화제)를 혼합한 고화토의 지반공학적 연구(투수계수/압축실험)를 통하여 폐기물 매립지의 차수층 적용성에 대한 가능성을 인정받을 수 있었다. 그리고 고화토 제조시, 시멘트:벤토나이트:고화제=90:60:1의 비율이 가장 적합하며, 팽윤도로 구별된 저품위 벤토나이트의 사용가능성을 보여주었다. 고화토의 현장토 및 첨가재의 침출수 pH별 중금속 고정능력의 결과를 통하여, 대부분의

경우 용액의 pH가 증가함에 따라 중금속의 고정효율이 증가하는 경향을 보여주었으며, B①과 시멘트의 경우에는 높은 알카리도로 인해 모든 pH 영역에서 높은 제거능력을 보여 주고 있다. 지금까지의 연구는 고화토의 중금속 고정능력을 평가하기 위한 기초자료로 제공되어질 것이며, 향후 농도별 테스트와 컬럼 테스트를 실시한 결과를 토대로 고화토를 구체적으로 평가할 수 있을 것이다.



(a) CL (b) Cement

(c) B① (d) B②

Fig. 5. The Removal Efficiency of Heavy Metals of the Soil and Additives in Stabilized Soil as a Function of pH(s; single heavy metal solution, m; multiple heavy metals solution)

참 고 문 헌

1. Braja M. Das, 1994, Principes of Geotechnical Engineering, 3rd Edition, PWS Publ. Co

2. Gozen Bereket et al., 1997, Removal of Pb, Cd, Cu, Zn form aqueous solutions by adsorption on bentonite , J. of Colloid and Interface Science, 187, pp338-343

3. Irene M-C. Lo, Howard M. Liljestrand, 1996, "Laboratory sorption and hydraulic conductivity tests : evaluation of modified-clay materials", Waste Management & Research, 14, pp297-310

4. J. Garcia-Nirahaya, A. L. Page, 1977, "Influence of Exchangeable Cation on the Sorption of Trace Amount of Cadmium by Montmorillonite", Soil Sci. Soc. Am. J., 41