

Geocrete와 규산소다액을 이용한 매립지 사면 침출수 누출제어

The Role of Geocrete and Soluble Sodium Silicate as a Substitute to Control Leachate Leaking from Landfill Side Wall

조 재 범* ¹	Cho, Jae-Beom	현 재 혁* ²	Hyun, Jae-Hyuk
나 진 성* ³	Ra, Jin-Sung	김 자 영* ⁴	Kim, Ja-Young

Abstract

There are two strategies to cope with the troubles in landfill site after closure. The first method is active in a way that the wastes are dug up and the recyclable materials are reutilized, meanwhile the materials not recyclable are incinerated in order to minimize the volume of residues to be disposed of. The second method is rather passive and defensive in a way that the source of contamination, that is, buried wastes are not treated. Instead, the transport of leaking leachate and gases generated from the wastes are intercepted and controlled. In this study, as a passive way of the efficient leachate blocking process, applicabilities of geocrete and soluble sodium silicate as a substitute to control leachate leaking from landfill sidewall were investigated. In case of compression test, the strength of mixture I (Geocrete:Sodium silicate=1:3.9 v/v) and mixture II (Geocrete:Sodium silicate=1:2.5 v/v), even after 7 days' curing was higher than the minimum allowance to tolerate the loading(5 kg/cm²). Soaking in the acid for 4 days and 7 days respectively, the compressive strength of the specimens reduced seriously. The toxicity of geocrete is not detected through the bioassay test, once it was mixed with sodium silicate and the complex was formed. The hydraulic conductivity of the mixtures even after 7 days' curing was lower than the threshold limit (1.0×10^{-7} cm/s).

요 지

비위생매립지 정비방안은 현장에 매립된 폐기물을 파내어 재활용 여부에 따라 처리방법을 달리하는 능동적 방법과 토질 역학적 안정을 꾀하여 사면부 불안정으로 야기되는 붕괴 및 폐기물, 침출수, 가스의 외부유출을 방지하는 수동적 방법이 있다. 이 논문에서는 매립지 사면부 붕괴에 따른 침출수 유출을 방지하기 위한 수동적 방법으로서의 지오크리트와 규산소다액의 적용가능성을 조사하였다. 배합비 I (지오크리트:규산소다액=1:3.9)과 배합비 II (1:2.5)의 7일 압축강도는 5.95kg/cm², 17.05kg/cm²으로 각각 나타나 매립지 공사 최소 허용강도인 5kg/cm²을 상회하였다. 내산성시험 결과, 배합비 I, II의 압축강도는 급격히 감소하였다. 지오크리트와 규산소다액의 환경 독성을 판단하기 위한 어독성시험 결과, 주변환경에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다. 한편 투수시험 결과, 배합비 I, II 모두 매립지 허용기준 (10^{-7} cm/sec)을 만족하였다.

Keywords : Geocrete, Landfill leachate leaking, Leachate blocking process, Soluble sodium silicate

*1 충남대학교 공과대학 환경공학과 박사과정 (Dept. of Environmental Engr., Chungnam National Univ.)

*2 정희원, 충남대학교 공과대학 환경공학과 부교수 (Member, Associate Professor, Dept. of Environmental Engr., Chungnam National Univ.)

*3 충남대학교 공과대학 환경공학과 석사과정 (Dept. of Environmental Engr., Chungnam National Univ.)

*4 충남대학교 공과대학 환경공학과 석사과정 (Dept. of Environmental Engr., Chungnam National Univ.)

1. 서론

비위생 매립지에서 발생하는 문제의 원인은 매립지 설계 및 시공시, 침출수를 처리할 수 있는 차수재와 처리시설의 부재, 발생가스 차단시설과 처리시설의 부재, 복토의 중요성에 대한 인식부재 등을 꼽을 수 있다(서용철 등, 2000). 그 결과로 인한 환경영향과 피해는 매립 종료 후 상당 기간이 흐른 뒤에도 지속적으로 심각하게 발생되고 있는 실정이다.

비위생 매립지 정비방안은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 첫 번째는 현장에 매립된 폐기물을 파내어 재활용 가능한 품목은 재활용하고, 재활용이 불가능한 품목은 소각 등으로 부피를 줄인 후 타 매립지역에 재 매립함으로써 현장의 모든 폐기물을 처분하는 능동적 처리방법이다. 그러나 이 방법은 이상적임에도 불구하고 폐기물의 특성에 따라 처리효율이 크게 달라지며, 이는 폐기물 처리시 경제성과도 연결 지을 수 있는 특징을 가지고 있다. 두 번째는 수동적 대책으로서 비위생 매립지 현장에서 문제의 원인으로 지적되는 침출수와 가스의 이동을 차단하고 매립지 전체의 토질 역학적 안정을 꾀하여 사면부 불안정으로 야기되는 폐기물의 붕괴/외부유출을 사전에 방지하는 방법이다(충남발전연구원, 1999).

본 연구에서는 수동적 방법 중 차수재의 부재로 인하여 발생하는 침출수의 외부 누출을 차단할 수 있는 새로운 연직 차수방안을 기술적 측면에서 실내실험을 통하여 고찰함으로써 현장에서의 적용 가능성을 판단토록 하였다. 본 연구에 사용된 석탄회계 geocrete는 국내화력발전소에서 발생하는 석탄회(fly ash)를 이용, 탈수작용과 이온교환, 수화, 포졸란 반응 등에 의해 단시간에 안정된 고결토를 만들 수 있도록 만든 것이다. 또한 시멘트, 석탄회, 석회, 석고 및 무기염류가 복합적으로 설계된 환경 친화적인 고품질 토질 안정 처리재이다. 규산

소다액은 $m\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ 로 표시되어지며 물유리 3호가 가장 일반적으로 사용된다. 또한 그라우팅용 규산소다가 사용되기도 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 Geocrete 와 규산소다액

본 실험에서 사용된 시료는 (주) S 양회의 geocrete를 이용하였고 고화재로는 (주) Y 사의 규산소다액을 이용하였다. geocrete와 규산소다액의 배합비는 표 1에 나타난 바와 같이 N 시 K 매립지 시험시공 배합비에 의거하여 실나실험에 적용하였다. geocrete의 물리적 특성을 살펴보면, 그림 1과 표 2에 나타난 바와 같이 입자크기가 일반시멘트(OPC : Ordinary portland Cement)보다 작으므로 작은 주입압력에도 유동성이 증가하여 주입 성능이 향상된다. 또한 초기 수화반응이 활발히 이루어져 다량의 에트린자이트를 생성함으로써 1차적으로 토립자와 토립자 사이를 결합시켜 토립자간 공극을 채워주는 역할을 하기 때문에 내구성이 향상되고 투수계수가 감소된다.

화학적 특성을 살펴보면, 그림 3에 나타난 바와 같이 SiO_2 , Al_2O_3 의 함량이 높아 내산성이 우수하게되며 수경성이 강화된다(송지호, 2000).

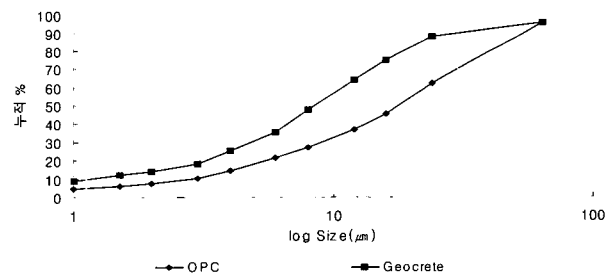


그림 1. 입자별 크기에 따른 누적백분율(%)

표 1. 현장시공 배합비에 기초한 혼합비율

(%)

Geocrete		Sodium Silicate		Water	
Mixing Ratio I	Mixing Ratio II	Mixing Ratio I	Mixing Ratio II	Mixing Ratio I	Mixing Ratio II
16.18	20.62	28.32	19.98	55.50	59.40

표 2. 지오크리트와 일반시멘트의 입자별 크기에 따른 누적백분율(%)

Size (μm)	1	1.5	2	3	4	6	8	12	16	24	64	Average
OPC(누적%)	4.9	5.9	7.3	10.4	14.3	21.5	27.1	37.0	45.3	62.3	96.0	18.2 μm
Geocrete(누적%)	8.7	12.1	14.0	18.3	25.4	35.5	47.6	64.2	75.0	88.5	95.7	9.1 μm

표 3. 지오크리트와 일반시멘트의 화학적 조성

Item	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	l.g loss	Total
OPC (%)	20.40	5.80	3.10	62.60	3.60	0.13	0.77	1.90	1.70	100
Geocrete (%)	25.10	10.40	2.10	52.90	4.30	0.16	0.60	3.70	0.74	100

2.2 시험항목에 따른 시험방법

2.2.1 일축압축강도시험

일축압축강도시험 공시체의 성형은 직경 5.6cm, 높이 12.0cm의 PVC 파이프(공시체부피 : 295.56cm³)를 이용하였다. 시료의 양생은 젖은 수건으로 덮어 분무기로 수건이 마르지 않도록 물을 뿌려주는 방법으로 실시하였으며 양생기간은 7일, 10일, 28일로 하였다. 강도시험은 KSF 2314의 일축압축강도 시험법을 적용하였다.

2.2.2 투수시험

투수시험용 공시체는 직경 10cm, 길이 12cm의 몰드를 사용하였으며, 투수시험은 KSF 2322의 변수위 투수 시험법을 적용하였다. 양생기간은 7일, 14일, 28일로 하였다.

2.2.3 내산성시험

내산성시험은 일축압축시험에 사용한 공시체와 같은 크기의 공시체를 사용하였으며 3일간 습윤양생 후 pH 2의 HCl 용액에서 4일 및 7일간 수침(총 7일, 10일 양생) 후 일축압축강도를 측정하였다.

2.2.4 어독성시험

어독성시험을 위한 공시체는 지름 7.3cm, 높이 2cm, 표면적 = 129.51cm²의 몰드를 이용하였으며 3일간 습윤

양생 후 어항(10 l)에 투입하였다. 시험에 사용된 어종은 금붕어로 어항에 10마리씩 넣었으며 경과일수에 따라 금붕어의 생존 개체수 및 pH, DO, 수온 변화를 관찰하였다.

3. 실험결과

3.1 일축압축강도시험

표 4에 나타난 바와 같이 배합비 I, 배합비 II의 경우 7일 강도는 각각 5.95 kg/cm², 17.05 kg/cm²로 나타나 geocrete가 많이 배합된 경우, 강도가 크게 나타났다. 10일 강도는 7일 강도보다 약 1.2 ~ 1.5배 크게 나타났으며 28일 강도는 각각 11.25 kg/cm², 32.48 kg/cm²로 나타나 10일 강도보다 약 13~1.5배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 한편 geocrete 원시료의 경우, 7일 압축강도는 151.48 kg/cm², 28일 압축강도는 428.72 kg/cm²로 나타났다.

3.2 내산성시험

pH 2의 산에 공시체를 접촉시켰을 때 배합비 I, 배합비 II의 압축강도는 표 5에 나타난 바와 같이 4일 수침 후, 2.44 kg/cm², 14.62 kg/cm²로 나타나 산에 접촉시키지 않은 경우보다 3.51 kg/cm²와 7.17 kg/cm²이 각각 감

표 4. 양생일수와 혼합비에 따른 일축압축강도 변화

Specimen \ Curing time	7 days (kg/cm ²)	10 days (kg/cm ²)	28 days (kg/cm ²)
Mixing Ratio I	5.95	8.80	11.25
Mixing Ratio II	17.05	21.79	32.48
Geocrete	151.48	230.45	428.72

표 5. 산(pH 2)에 노출한 후의 일축압축강도 변화

Specimen \ Exposure time	7 days (kg/cm ²)	10 days (kg/cm ²)
Mixing Ratio I	2.44	4.72
Mixing Ratio II	14.62	10.18
Geocrete	126.63	207.04

표 6. 어독성시험 결과

Specimen	Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Item													
Mixing Ratio II	DO (mg/l)	8.19	8.20	9.32	6.00	6.07	8.15	8.20	7.90					
	Temp. (°C)	15.9	15.8	15.5	15.7	15.6	15.6	15.0	15.2					
	pH	6.07	6.05	6.04	6.75	6.56	6.40	6.50	6.50					
	Number of fish	10	10	10	10	10	10	10	10					
Geocrete	DO (mg/l)	6.82	7.60	9.15	8.56	9.59	8.50	7.38	7.40	7.91	7.65	6.45	7.31	6.47
	Temp. (°C)	16.0	15.1	15.5	16.0	16.9	16.0	15.9	15.0	15.5	15.5	15.6	16.3	17.3
	pH	6.02	6.06	6.03	6.51	6.13	6.20	6.29	6.10	5.95	6.57	6.80	6.28	6.12
	Number of fish	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	8

표 7. 투수시험 결과

(cm/sec)

Specimen	Curing time	7 days	14 days	28 days
	Mixing Ratio I		1.78×10^{-8}	2.29×10^{-8}
Mixing Ratio II		2.44×10^{-8}	3.13×10^{-8}	2.78×10^{-8}
Geocrete		5.32×10^{-8}	2.12×10^{-8}	9.35×10^{-9}

소하였다. 배합비 I, 배합비 II의 7일 수침 후의 압축강도는 8.80 kg/cm^2 에서 4.72 kg/cm^2 로, 21.79 kg/cm^2 에서 10.18 kg/cm^2 로 각각 감소하였다. 이는 공시체를 강산에 일정기간 접촉하였을 때 공시체 내에 고결된 칼슘실리케이트가 용출되어 압축강도 감소를 유발하였기 때문이다(O'Rourke, 1990). 또한, geocrete 원시료의 경우, 압축강도가 230.45 kg/cm^2 에서 207.04 kg/cm^2 으로 23.41 kg/cm^2 가 감소하여 압축강도가 다소 감소된 것으로 나타났다. 이는 강산에 오랜 기간 노출될 경우 시멘트 내의 알칼리성분이 산에 의해 중화되기 때문이다. 따라서 알칼리 중화는 강도감소를 유발하는 원인이 된다.

3.3 어독성시험

배합비 II와 geocrete에 대한 어독성시험 결과, 표 6에 나타난 바와 같이 pH가 약간 변하는 경향을 나타내었으나 금붕어 개체수의 변화는 전혀 없었다. 이는 물, 규산소다와 geocrete의 혼합용액으로 성형된 공시체가 물과 접촉시 공시체 내의 알칼리가 용출되지 않았기 때문으로 판단된다. 또한, geocrete만을 넣은 어항에서 13일간 실험을 진행한 결과, 7일째 되는 날 금붕어 1마리가 죽었으며, 13일째 되는 날 1마리가 죽어 시험기간 동안에 생존한 개체수는 8 마리였으며 30일이 경과한 후에도 8 마리 모두 생존하였다. 따라서 금붕어의 사인은 pH의 변화 폭이 5.95 ~ 6.80으로 크지 않다는 것을 감안하면 geocrete에 의한 것은 아닌 것으로 판단되며 질

병 등 기타 요인에 의한 것으로 사료된다.

3.4 투수시험

배합비 I, 배합비 II의 공시체에 대한 투수계수는 표 7에 나타난 바와 같이 7일 양생의 경우, $1.78 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$, $2.44 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 로 각각 나타났고 14일 양생의 경우, $2.29 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$, $3.13 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 로 나타났다. 또한, 28일 양생의 경우 $1.33 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$, $2.78 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 로 나타나 매립지 차수재 기준 $1 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ 이하를 만족하는 것으로 나타났다. geocrete가 적게 함유된 배합비 I의 경우 투수계수가 더 작게 나타난 것은 칼슘실리케이트 침전물의 평균입자 크기가 geocrete의 평균입자크기보다 더 작기 때문이며 이러한 이유로 geocrete가 투수계수의 증가 요인으로 작용하는 것을 알 수 있다(Daniel, 1993). geocrete 원시료의 경우에도 7일 이내의 투수계수가 $5.32 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ 로 나타나 매립지 차수재 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 주입재 배합비 I, 배합비 II의 경우 7일 일축압축강도는 5.95 kg/cm^2 , 17.05 kg/cm^2 로 나타나 매립지 공사 최소 허용강도 5 kg/cm^2 을 상회하고 있다. geocrete

원시료의 경우 일축압축강도는 크지만 경화속도가 너무 느리고, 배합비 I의 경우 투수계수가 감소하나 경화속도가 비교적 느려, 현장시공 측면에서 바람직하지 못하다. 따라서 매립지 누출사면 제어를 위한 배합비는 시공시 경화속도가 빠르며 매립지 차수재 투수계수 기준을 만족하고 pH 2의 산성수에서도 매립지 일축압축강도 공사허용치를 만족하는 배합비 II를 선택하여 시공하는 것이 현장시공과 경제적 측면에서 바람직할 것으로 판단된다.

- (2) 어독성시험에 의한 geocrete의 용출 시험에 있어서 13일 경과 후 낮은 범위의 pH 변화를 보임에 따라 금붕어의 생체적 변화는 geocrete에 의한 것이 아니고 질병 및 기타 요인에 의한 것으로 판단된다.
- (3) 투수시험 결과, 실내시험시 7일 이내에 10^{-8} cm/s 정도의 투수계수를 보이므로 현장시공시 10^{-6} cm/s 정도로 나타난 투수계수는 시간이 경과함에 따라 geocrete의 경화 작용과 더불어 급속히 낮아질 것으로 판단된다.
- (4) 내산성시험 결과, 산에 접촉시키지 않은 경우보다 산에 수침시킨 공시체의 압축강도가 급격히 감소하

였으며 산에 수침시킨 시간이 길수록 강도는 감소하였다. 내산성 시험의 목적은 붕괴사면 매립지 정비시, 낮은 pH를 띠는 침출수에 대한 영향을 알아보기 위해서이며 배합비 I의 일축압축강도가 매립지 공사 최소 허용강도 5 kg/cm^2 이하로 나타났다. 따라서 현장 시공 배합비를 결정함에 있어서 내산성시험을 통한 주입재의 강도 평가가 필수적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 서용철, 안종우, 유기영, 이남훈, 이재영, 정재춘, 정준오, 조병렬, 조옥상, 지재성 공저(2000), "산업폐기물 처리", 신평문화사, pp. 611~616.
2. 충남발전 연구원(1999), "비위생 매립지 정비방안", 충청남도, pp.18~23.
3. <http://mypage.chaneli.net/songjiho/cement.html>
4. O'Rourke, T.D.(1990). "Shear strength characteristics of sand-polymer interfaces", Journal of Geotechnical Engineering., Vol.116, pp.451~469.
5. Daniel, D. E.(1993), "Geotechnical practice for waste disposal", Chapman and Hall, pp.61~74.

(접수일자 2001. 7. 23, 심사완료일 2001. 12. 10)