

## 특정한 기능성 흡착층(SAC)을 포함하는 침출수 방지용 차수벽의 성능조사 연구

### A Study on the Performance of Cut-Off Wall with the Specific Functional Adsorption Layers

류동성<sup>1)</sup>, Dong-Sung Ryu, 한우선<sup>2)</sup>, Woo-Sun Han, 이준석<sup>3)</sup>, Jun-Seok Lee

<sup>1)</sup> NTCC 기술연구소 소장, Senior Researcher in Chief, NTCC Research Institute

<sup>2)</sup> 해공환경산업주식회사 회장, President, Hae-Kong Environment Co., LTD.

<sup>3)</sup> NTCC 기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, NTCC Research Institute

**SYNOPSIS** : In this study, the performance of the cut-off wall with the specific functional adsorption layers(containing SAC), which are formed in order to block harmful materials such as heavy metal ions contained in leachate (or outflow water) from either waste landfills or exhausted mines, was investigated by determining experimental data such as hydraulic conductivities, unconfined compression strengths, adsorption capacities. The performance was compare to those of the present cut-off wall materials such as clay, bentonite-mixed soil, and soil-cement.

**Key words** : cut-off wall, functional adsorption layer, waste landfill, leachate, heavy metal ions

## 1. 서 론

폐기물 매립장의 폐기물로부터 흘러나오는 침출수가 주변지층이나 지하수층을 오염시키는 것을 방지하기 위하여 매립지 바닥면이나 법면에 설치되는 라이너(차수층)는 투수능과 흡착능의 두가지 성능이 함께 되는 것으로서, 현재 일반적으로 사용되고 있는 라이너는 점토, 벤토나이트 혼합토 내지는 시멘트계 고화토를 포설, 다짐하고 있으며 이의 표층에 HDPE(고밀도 폴리에틸렌) 등의 합성수지 방수쉬트를 부착, 설치하는 방식이 주종을 이루고 있다. 우리나라에 있어서 산업발달과 더불어 인구증가, 국민소득증대 및 생활향상으로 인한 폐기물의 필연적 증가는 폐기물 매립장의 지속적인 건설을 요구하고 있으며 동시에 시간경과에 따라 사용종료된 매립지의 수 또한 점차 늘고 있으므로 지반환경오염의 예방차원에서 전술한 매립지 차수시설인 차수라이너의 성능이 매우 중요한 요소임은 명백하다 할 것이다. 그러나 국내에서는 대부분 단순히 라이너의 투수능이나 기계적 특성 측면에서 라이너의 성능에 대

해 제한적으로만 연구가 있어 왔을 뿐이며, 차수 라이너의 중금속, 유독성 유기물 등 유해물질에 대한 흡착능 내지는 고정화 성능에 대한 연구는 일반적 외국 참고문헌에 의존할 뿐 성능규명과 관련한 심도있는 연구가 미미하였으며, 특히 새로이 개발된 공법 내지는 차수재료에 있어서 그러한 성능 규명에 관한 공개적인 연구성과는 거의 전무한 실정이다.

이와 같은 배경에서 본 연구에서는 최근 개발된 유해물질 흡착능이 부여된 특정한 기능성 흡착차수제(SAC)로 차수층 구조내에 흡착층을 형성시킨 차수 라이너의 유해물질 흡착성능을 포함한 제반 물리적, 화학적 성능을 규명함과 동시에 점토 및 벤토나이트 혼합토 등 기존 차수 라이너의 성능을 함께 조사, 비교하였다. 또한 폐기물 매립장 차수 라이너외에 폐광 또는 비위생 매립지의 침출수 방지를 위해 실시하는 시멘트계 고화제에 의한 심층혼합처리 연직차수벽 설치공법에 있어서 시멘트계 고화제에 전술한 기능성 흡착차수제(SAC)를 첨가하여 형성시킨 소일-시멘트 경화체의 제반 물리적, 화학적 성능에 대해 아울러 규명하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험재료 및 시약

#### 2.1.1 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내 S사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트로서 비중 3.14, 분말도 3,219( $\text{cm}^2/\text{g}$ ), 안정도 0.09% 의 것을 사용하였다.

#### 2.1.2 매립장 고화토 라이너 형성용 고화첨가제

본 연구에서 사용한 매립장 고화토 라이너 형성용 고화첨가제는 국내 N사에서 생산한 B고화첨가제로서, 주성분은 알칼리 프로테아제, 알칼리 아밀라제 등의 복합효소 성분과 나프탈렌술폰산염 축합물 등의 분산제 및 무기염류 보조제로 구성되어 있다.

#### 2.1.3 기능성 흡착차수제 (SAC)

본 연구에서 사용한 기능성 흡착 차수제(SAC)는 국내 N사에서 생산하는 S제품으로, 평균분말도 1,500 ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) 의 분말상이고, 주성분은 아트릴산 나트륨염 가교중합체, 카르복시 메틸셀룰로오스 가교중합체 등의 초흡수성 물질과 다양한 이온교환기를 지니는 스티렌-디비닐벤젠 공중합체 혼합물의 복합분말수지로 구성되어 있다.

#### 2.1.4 시멘트계 고화제

본 연구에서 사용한 토양혼합처리용 시멘트계 고화제는 국내 H사에서 생산하는 H고화제로서 성분은 시멘트성 기본재료에 각종 무기염류 및 유기첨가제가 배합된 소일-시멘트용의 특수 시멘트이다.

### 2.1.5 벤토나이트

본 연구에서 사용한 벤토나이트는 비중 2.6, Liquid Index 400(%), Swell Index 11.0 (ml/g)의 제품을 사용하였다.

### 2.1.6 토 양

본 연구에서 사용한 토양은 다음과 같은 특성을 갖는 SM 계열(경기도 I군)과 CL 계열(충북 J군)의 2종의 토양을 사용하였다.

| 구 분 | Specific Gravity | Liquid Limit (%) | Plastic Index (%) | 최적함수비 (%) | 최대건조밀도 (g/cm <sup>3</sup> ) | 다짐시 투수계수 (cm/sec)     |
|-----|------------------|------------------|-------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------|
| SM  | 2.63             | 46.29            | -                 | 15.3      | 1.84                        | $3.58 \times 10^{-9}$ |
| CL  | 2.68             | 30.41            | 8.85              | 20.32     | 1.65                        | $1.78 \times 10^{-7}$ |

### 2.1.7 중금속 및 시험용액

중금속 용액의 제조 및 유해유기물 용액의 제조를 위하여 HgCl<sub>2</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>, 등의 중금속 화합물은 특급시약 (Junsei Chem. Co.)을 사용하였다

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 SAC 층을 포함하는 차수라이너 시편(S-1)의 제작

유해물질 흡착층을 포함하는 차수 라이너 시편을 제작하기 위하여 직경 100mm, 높이 200mm의 아크릴제 투명 모듈드에 함수비 20%의 SM 토양 1000중량부에 보통시멘트 80중량부, 고화첨가제 B 1중량부를 배합하여 골고루 혼합하여 몰드 깊이의 1/3 정도가 되도록 채워 다짐한 후 그 표면을 약 5 내지 10 mm 정도를 긁어 흐트리고 그위에 기능성 흡착차수재인 SAC 분말 0.2 중량부를 긁어 낸 배합토와 골고루 섞은 후 다짐하였다. 그 위에 이상의 동일한 방법을 1회 반복하고 다음으로 배합토만으로 몰드를 완전히 채워 공시체를 제작하였다. 이렇게 함으로써 공시체 중간에 두 곳의 흡착차수재 층을 포함하는 구조가 되도록 하였다.

### 2.2.2 시멘트계 고화제에 의한 공시체(S-2, S-3) 제작

심층혼합처리에 의한 토양고화에 사용되는 H 고화제 공시체 시편은 전술한 함수비 20%의 SM 토양 1000 중량부에 대해 H 고화제 90 중량부를 골고루 배합한 것(S-1)과 함수비 20%의 SM 토양 1000 중량부에 대해 H 고화제 90 중량부와 여기에 SAC 0.1중량%를 더 첨가하여 골

고루 배합한 것(S-2)을 각각 직경 100mm, 높이 200mm의 아크릴제 투명 모울드내에 KS F 2312의 다짐시험법에 의거, 다짐하여 제작하였다.

### 2.2.3 점토(S-4) 및 벤토나이트 혼합토 공시체(S-5)의 제작

점토는 전술한 CL 토양을 최적함수비에서 KS F 2312의 다짐시험법에 의거, 다짐하여 제작하였으며, 벤토나이트 혼합토 공시체는 SM 토양에 최적함수비에서 10중량%의 벤토나이트를 배합하여 KS F 2312의 다짐시험법에 의거, 다짐하여 제작하였다.

### 2.2.4 중금속 용액의 제조 및 투과시험

중금속 용액은 해당 중금속 화합물 및 유기화합물을 증류수에 1000mg/L 농도로 용해시켜 사용하였으며, 이를 S-1, S-2, S-3, S-4, S-5 공시체 모울드의 상부에 부은 후 질소가스로 가압(1.0 -2.0 kg/cm<sup>2</sup>)하여 투과시켜 중금속 및 유기물의 배출농도를 측정함으로써 흡착특성을 관찰하였다.

### 2.2.5 용액의 분석

투과용액의 분석은 중금속용액의 경우 원자흡광분석기(Model AA-680) 로 분석하였다.

### 2.2.6 기타 시험 방법

공시체의 일축압축강도는 KS F 2314의 시험방법에 의하여 직경과 높이를 1:2의 비율로 맞춰 1%/min 의 변형률로 압축하면서 측정하였으며, 투수시험은 KS F 2322의 시험방법에 따른 변수위투수시험을 통해 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 일축압축 강도

점토 및 벤토나이트 혼합토 공시체를 제외한 S-1, S-2, S-3 공시체 시편의 양생기간별 일축압축강도 측정결과를 표 1에 표시하였다.

이들 공시체는 시멘트 또는 시멘트계 고화제를 사용하였으므로 양생기간을 거쳐 일축압축강도가 상승되는 경향을 나타내었으며, 흡수 및 보습특성을 갖는 흡착차수재 SAC를 함유하는 S-1, S-3 시편의 강도가 시멘트계 고화제만을 사용한 S-2 시편에 비해 보다 우수한 강도특성을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 SAC 미분말이 시멘트 양생에 필요한 수분이외의 잉여 수분을 보유함과 동시에 수분보유에 따른 팽창특성으로 인해 경화체 구조의 공극을 보다 밀실하게 채운 결과라 사료되나, 이에 대한 정확한 규명은 향후 계속되어야 할 것으로 사료된다.

표 1. 공시체의 일축압축강도

| 시료명 | 일축압축강도 ( kg/cm <sup>2</sup> ) |      |      |
|-----|-------------------------------|------|------|
|     | 7 일                           | 14 일 | 28 일 |
| S-1 | 29.3                          | 37.5 | 42.6 |
| S-2 | 19.4                          | 26.2 | 29.7 |
| S-3 | 28.1                          | 38.2 | 41.3 |

### 3.2 투수계수

각 시편에 대한 변수위 투수시험결과를 표 2 에 나타내었다.

표 2. 공시체의 투수계수 시험결과

| 시료명 | Hydraulic Conductivity (cm/sec) | 시료명 | Hydraulic Conductivity (cm/sec) |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| S-1 | $3.21 \times 10^{-8}$           | S-4 | $1.78 \times 10^{-7}$           |
| S-2 | $2.36 \times 10^{-6}$           | S-5 | $1.62 \times 10^{-7}$           |
| S-3 | $7.35 \times 10^{-8}$           |     |                                 |

이상의 실험결과와 같이 기능성 흡착차수재 SAC layer가 있는 S-1 이나 SAC 가 배합되는 S-3 시편의 경우 점토(S-4\_나 벤토나이트 혼합토(S-5), SAC 가 포함되지 않은 시멘트계 고화토(S-2) 에 비해 상대적으로 불투수 특성이 양호함을 알 수 있었으며, 이는 SAC 성분의 초흡수특성 및 팽윤특성에 의한 결과로 사료되었다.

### 3.3 차수재 투과 중금속 용액의 분석

S-1, S-2, S-3, S-4, S-5 차수재 시료를 통과한 중금속 구리(Cu), 납(Pb) 및 수은(Hg)의 배출농도를 그림 1, 2, 3, 4, 5에 각각 나타내었다. 점토 차수재인 S-4는 약 5일간의 holding 기간을 나타내 투과시험 초기에는 투과수에서 중금속이 거의 발견되지 않았으나 이후 점차 농도가 증가함을 알 수 있었다. 또한 벤토나이트 혼합토(S-5)의 경우 비슷한 경향이나 holding 기간이 11일 정도로 약2배를 나타내었다. 한편, 단독 시멘트계 고화토인 S-2는 holding 기간이 1일 정도에 불과하였으며 이후 급격한 배출농도를 보였다가 이후 약간 감소하는 경향을 나타내었으나 전체적으로 다른 시료에 비해 중금속 흡착능력이 떨어짐을 알 수 있었다. 반면에 시멘트계 고화토에 흡착차수재인 SAC를 골고루 배합한 S-3 시료의 경우는 약 8일간의 holding 기간을

나타내었으며 이후 배출농도는 S-5 의 벤토나이트 혼합토와 유사하였다. 한편 SAC 가 밀집된 층을 공시체 구조내에 가지는 S-1 의 경우에는 15일 이상의 holding 기간을 나타내었으며 이후 농도도 매우 미미하였다. 이러한 결과는 SAC 성분의 강력한 중금속 킬레이트 효과에 의한 것으로 판단되었으며, 결과적으로 점토나 벤토나이트 혼합토 이외의 시멘트계 고화토를 차수재로 적용할 경우에는 중금속 봉쇄를 위해 이러한 계열의 흡착차수재가 필히 병용되는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

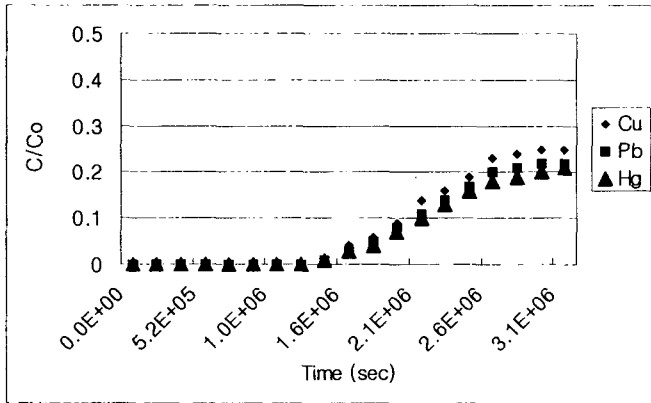


그림 1. S-1 차수재로부터 시간에 따른 중금속 배출농도

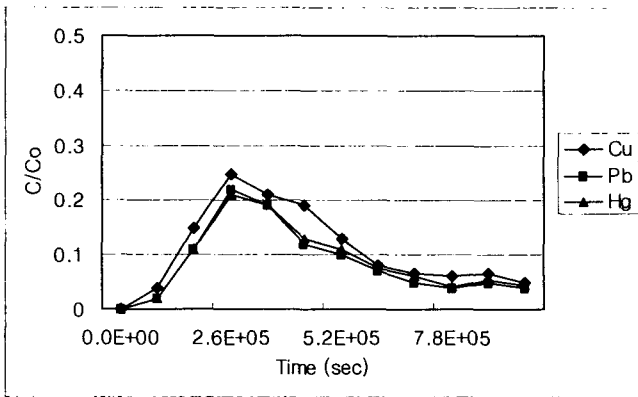


그림 2. S-2 차수재로부터 시간에 따른 중금속 배출농도

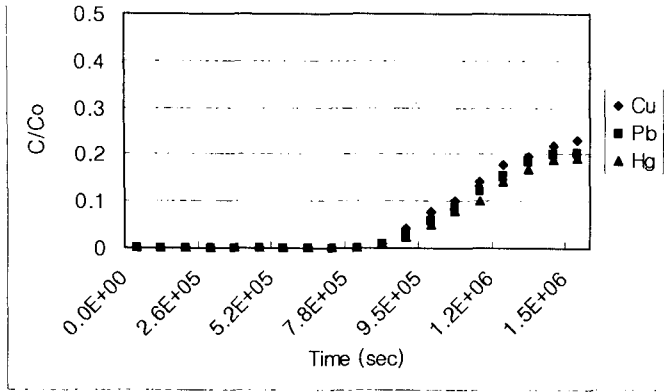


그림 3. S-3 차수재로부터 시간에 따른 중금속 배출농도

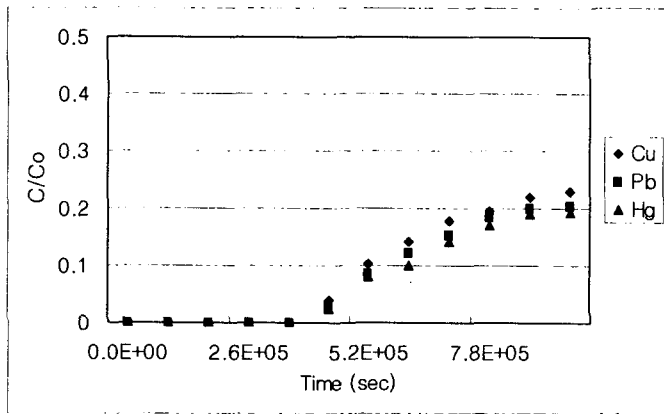


그림 4. S-4 차수재로부터 시간에 따른 중금속 배출농도

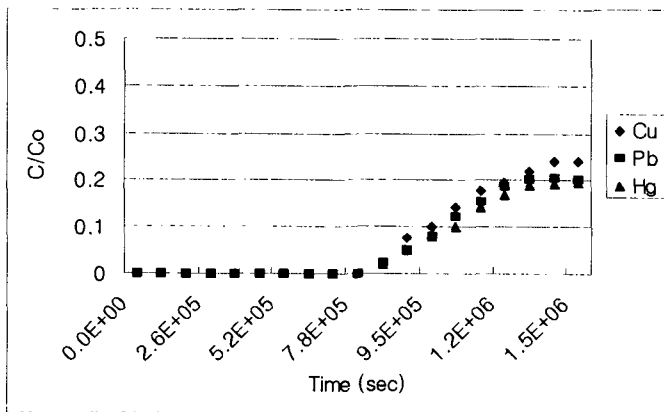


그림 5. S-5 차수재로부터 시간에 따른 중금속 배출농도

### 3. 결론

본 연구에서는 유해물질 흡착특성 및 초흡수성을 지니는 SAC 흡착차수재를 고화토 차수층 구조에 부분적인 층이 형성되도록 한 차수재 시편 (S-1)과 시멘트계 고화토 차수재에 골고루 배합한 차수재 시편(S-3)을 제작하고, 이를 점토 차수재 (S-4), 벤토나이트 혼합토 차수재(S-5), 시멘트계 고화토 단독 차수재(S-2)와 그 공학적 성능 및 중금속 흡착특성을 비교, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SAC 가 적용된 시편 S-1 과 S-3 의 경우 이 흡착차수재의 흡수, 팽윤성으로 인해 멘트계 고화토 단독 시편( S-2)에 비해 일축압축강도가 향상됨을 확인하였다.

2. 시멘트계 고화토 단독 시편( S-2)의 경우 투수 특성에서 점토 차수재(S-4)나 벤토나이트 혼합토 차수재(S-5)에 비해 성능이 낮았으나 여기에 SAC를 적용할 경우에는 이들보다도 불투수특성이 향상되는 것을 확인하였다.

3. 중금속 흡착특성에 있어서 시멘트계 고화토 단독 시편( S-2)의 경우에는 중금속 흡착특성에서 다소 불리하였으나, SAC 가 적용된 S-1 과 S-3 의 시편은 점토 차수재(S-4)나 벤토나이트 혼합토 차수재(S-5)에 비해 2배 이상의 중금속 흡착효과가 있어 특성이 매우 향상되는 것으로 판단되었다.

4. 이상의 결과를 볼 때 점토나 벤토나이트 혼합토 이외의 시멘트계 고화토를 차수재로 적용할 경우에는 중금속 봉쇄를 위해 이러한 계열의 흡착차수재가 필히 병용되는 것이 바람직함을 알 수 있었으며 점토나 벤토나이트 혼합토의 경우에도 중금속 봉쇄능력의 성능 향상을 위해 이것이 응용될 수 있을 것으로 판단되었다.

### 3. 참고 문헌

1. 시멘트계 고화재에 의한 지반개량 매뉴얼르 일본 시멘트협회, 1985
2. Morrison, A., "Can Clay Liners Prevent Migration of Toxic Leachate?", Civil Engineering, Vol.51, No.7, 1981, pp. 60-30
3. 정하익, "지반환경공학", 도서출판 유림, 1998
4. 권철웅 외, "고령화된 매립지에서 발생하는 침출수의 처리방안", Journal of KSEE, 1997
5. 정하익, 장연수, "폐기물 매립장의 차폐재와 침출수 상호작용 분석", 한국지반공학회지,1993