

# 매립지 침출수의 효과적 제거를 위한 반응성 차수재 개발

이현주 · 박재우

한양대학교 토목공학과 (hjoolee@ewha.ac.kr)

## <요약문>

Geosynthetic Clay Liners(GCLs) have been widely used as hydraulic barrier in landfills and remediation projects of contaminated sites. The aim of this research is to modify GCLs for effective removal of contaminants. We perform the free swell test, hydraulic conductivity test, and contaminants (TCE, hexavalent chromium, and nitrate) removal test on the bentonite-ZVI mixture with various ZVI content. As the ZVI content increased, contaminants removal efficiencies and swell volume increased, and hydraulic conductivity decreased.

**key word** : Geosynthetic Clay Liner, Zero-valent iron, Swelling, Hydraulic Conductivity

## 1. 서론

일반적으로 폐기물 매립지에서 널리 사용되고 있는 Geosynthetic Clay Liner(GCL)는 침출수가 주변 지반 및 지하수층으로 이동되는 것을 막아준다. GCL은 취급이 용이할 뿐만 아니라 GCL 내에 들어있는 벤토나이트의 팽창 및 점성으로 인한 저투수성 및 자기치유능력으로 인해 다양하게 활용되고 있다 (1). 하지만 GCL과 같은 차수재는 침출수의 이동을 고정시켜줄 뿐 근본적으로 침출수 내의 오염물질을 제거하지는 못한다.

최근 zero-valent iron(ZVI)를 이용한 화학적 환원반응에 의해 지하수의 가장 큰 오염원인 염소계 유기화합물, 질산성질소와 6가 크롬과 같은 중금속을 분해시키는 연구가 활발히 진행되고 있다(2-4). 다른 영가 금속에 비해서 경제적이면서 독성을 야기하지 않는다는 장점으로 인해 ZVI를 이용한 기술이 가장 많이 연구되고 있다. 혐기적 시스템에서 ZVI가 산화되어 전자를 내놓으면 오염물질은 그 전자를 받아서 환원될 수 있다. 대표적인 염소계 유기화합물인 trichloroethylene(TCE)은 최종적으로 ethene이나 ethane 으로 되고, 6가 크롬의 경우에는 안정적이고 독성이 약한 3가 크롬으로 환원되며, 질산성질소의 경우에는 탈질작용이 일어나서 무독화 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 침출수의 고정과 함께 침출수 내의 오염물질을 분해제거 시킬 수 있는 반응성 차수재를 개발하고자 한다. 팽윤성 실험과 투수계수 실험을 통해서 차수재로서의 기본적인 고정화 능력을 평가하고, 회분식 실험을 통해서 TCE와 6가 크롬, 질산성질소의 제거 효율을 비교하여 ZVI를 포함한 반응성 차수재의 적용가능성을 평가하였다.

## 2. 실험 방법

### 오염물질 회분식 제거 실험

TCE는 30mL glass vial 에 30ppm 의 용액을 주입하고, 6가 크롬은 40mL 폴리프로필렌 원심분리 병에 30ppm 의 용액을 주입하였으며 질산성질소는 30mL glass vial 에 50ppm 용액을 주입하였다. 모든 용액은 MOPS(3-(N-morpholino) propanesulfonic acid)를 이용하여 pH7 상태로 실험하였다. 여기에 다양한 함량비(벤토나이트:ZVI = 100:0, 97:3, 94:6, 90:10, 87:13, 84:16, 80:20, 70:30, 0:100 (w/w %))의 혼합재 0.5g을 넣어주었다. 시료는 kinetic test 결과 나온 반응 시간 동안 rotary shaker에서 20rpm으로 교반시킨 후 상등액을 추출해 농도를 분석하였다. TCE는 GC-ECD(Shimadzu GC-17A, Japan)로 분석하였다. 6가 크롬은 USEPA Method 7196A에 따라 발색시킨 후 UV-VIS Spectrometer(Shimadzu UV mini, Japan)로 분석하였다. 질산성질소는 ion chromatography(Waters 717 plus autosampler)를 이용하여 분석하였다. 모든 실험은 3번 이상 반복하였다.

### 팽윤도 실험

본 연구에서는 ASTM D5890에 명시된 방법을 이용해서 벤토나이트와 철이 함께 있을 경우의 팽윤도의 변화를 살폈다. 100mL 메스실린더에 90mL의 증류수를 채운 후, 벤토나이트와 철 혼합재 총 2g을 약 0.1g씩 천천히 넣는다. 회분식 실험 일 때와 마찬가지로 철은 벤토나이트의 중량비로 0, 3, 6, 10, 13, 16, 20, 30 %를 넣어 모두 8개의 샘플을 실험하였다. 여기에 다시 100mL 표시 선까지 증류수를 채운 후 교란시키지 않은 상태로 방치한다. 24시간 후에 하부에 침전된 시료층을 측정하여 벤토나이트의 팽창량을 측정하였다.

### 투수계수 실험

벤토나이트와 철의 혼합비 변화에 따른 투수계수의 변화를 평가하기 위하여 ASTM D5084에 따라 투수계수실험을 실시하였다. 시료는 벤토나이트와 ZVI 혼합재 20%와 표준사인 Ottawa sand 80%를 혼합하여 사용하였다. 시료는 ASTM D698 A 다짐 방법(3층, 층당 25회 다짐, 다짐에너지 600kN-m/m<sup>3</sup>)에 의해 성형하여 사용하였고, 함수비는 일반적인 sand 의 최적 함수비인 19%로 맞춰서 사용하였다(5). 투수시험은 삼축압축투수시험기(Flexible Wall Permeameter)를 이용하였으며, 백압력(back pressure)은 0.76kg, 동수경사는 300의 값을 적용하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

Figure 1은 ZVI 함량에 따른 TCE의 C/Co 값을 나타낸 그래프이다. ZVI 함량이 증가할수록 TCE의 제거량이 높아져서 ZVI 함량이 100%일 때 가장 높은 제거효율을 보이는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 6가 크롬과 질산성질소 실험에서도 나타났다.

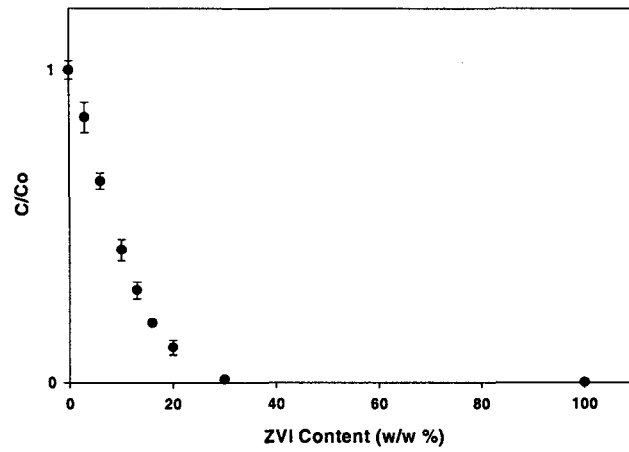


Figure 1. Ratio of the final to the initial mass of TCE with ZVI content

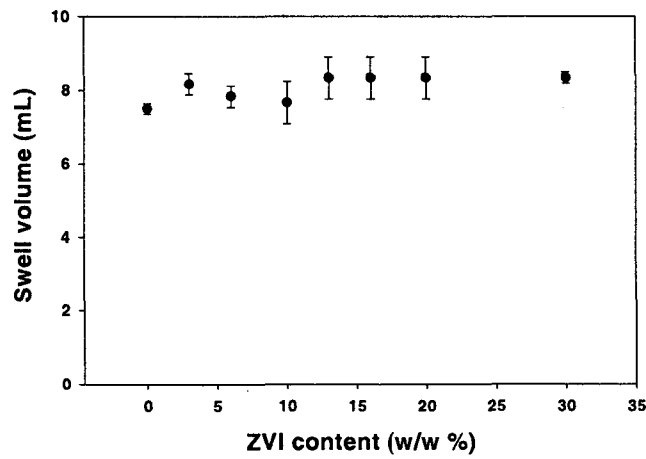


Figure 2. Swell volume with varying ZVI content

Figure 2는 ZVI 함량에 따른 팽윤도 실험 결과이다. 팽윤 부피는 ZVI의 함량비와 관계없이 비슷한 값을 보이는데, 다시 말해서 벤토나이트가 적게 들어간 시료가 더 큰 팽윤도를 갖는 것을 알 수 있었다.

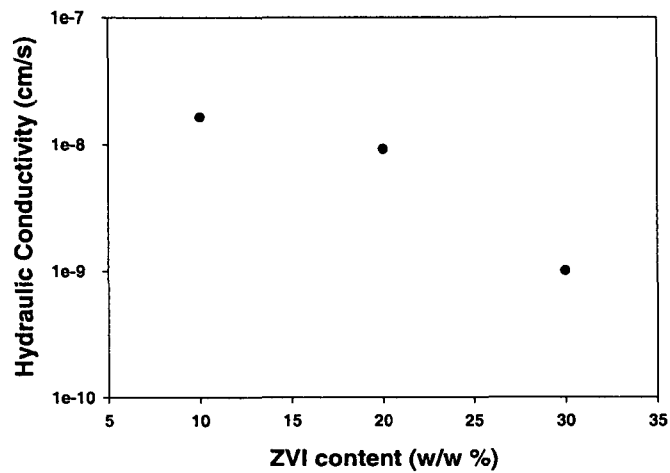


Figure 3. Hydraulic conductivity versus added ZVI percent

ZVI 함량에 따른 투수계수 실험 결과는 Figure 3 에 나타내었다. ZVI 함량이 증가할수록 투수계수가 낮아지는 것을 알 수 있는데, 이는 철 산화물이 벤토나이트 입자 사이의 간극을 채워주기 때문인 것으로 사료된다.

#### 4. 참고문헌

1. Bouazza, A. (2002), Geosynthetic Clay Liners, *Geotextiles and Geomembranes*, 20, pp.3-17
2. Roberts, A. L., Totten, L. A., Arnold, W. A., Burris, D. R., and Campbell, T. J. (1996), Reductive elimination of chlorinated ethylenes by zero-valent metals, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 30, 2654-2659.
3. Cheng, I. F., Muftikian, R., Fernando, Q., and Korte, N. (97), Reduction of Nitrate to Ammonia by Zero-valent Iron, *Chemosphere*. 35(11), pp.2689-2695
4. Alowitz, M. J. and Scherer, M. M. (2002). Kinetics of Nitrate, Nitrite, and Cr(VI) Reduction by Iron Metal, *Environ. Sci. Technol.*, 36(3), pp.299-306
5. Gleason, M., Daniel, D. E., and Eykholt, G. R. (1997), Calcium and Sodium Bentonite for Hydraulic Contaminant Applications, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 123(5), pp.438-445