

## 오염지하수정회를 위한 반응벽체의 설계 및 시공

이동호, 지원현, 이재원, 박준범\*

Geoworks, \*서울대학교 지구환경시스템 공학부 (dhlee@geoworks.co.kr)

### <요약문>

본 반응벽체 적용지역의 경우, 침출수의 영향으로 암모니아성 질소의 농도가 최대 29.12mg/L까지 검출되고 있으며 반응물질은 암모니아성 질소제거에 적합한 제올라이트를 선정하였다. 투수성 및 다짐 강도를 고려하여 왕사와 50:50의 비율로 혼합, 적용하였으며 지하수 평균유속은 0.0864m/d이고 평균지하수위는 원지반 기준 - 4.0m의 분포를 나타내었다. 지질조사 결과, 적용구간의 지질구조는 매립층, 풍화토, 풍화암, 연암의 순서로 분포하고 있으며, 반응벽체의 설계깊이는 현장 시추조사 결과를 바탕으로 지하수의 Under-pass를 방지하기 위하여 연암층 50cm까지 관입시키도록 설계하였다. 최종적으로 선정된 반응벽체의 규모는 35m(길이) × 1.2m(두께) × 8.5 ~ 9.42m(구간별 깊이)로 설계에 반영되었다. 현재, 지하수감시정을 이용한 모니터링 결과, 상부지하수 감시정에서의 오염원은 우기의 영향으로 간헐적으로 발생하고 있으나 하부 지하수 감시정에서의 암모니아성 질소농도는 불검출 되거나 0.5 mg/L 이하로 유지되고 있다.

**key word** : 반응벽체, 암모니아성 질소, 제올라이트

### 1. 서론

오염된 지하수의 정화방법인 투수성 반응벽체(permeable reactive barriers; PRBs)기술은 효율적인 오염물의 차단과 제거, 저렴한 유지관리비용이라는 장점 때문에 짧은 기간동안 많은 연구성과를 도출하였으며, 현장적용사례가 지속적으로 증가하여 2004년 3월 현재, 전 세계적으로 68개의 Full-Scale PRBs와 31개의 Pilot Field Test 및 11개 지역에서 반응물질의 개념을 도입한 반응물질의 직접적인 주입 및 원위치교환기술이 적용되고 있다.<sup>1)~2)</sup>

최초의 상업적 반응벽체 시공(Sunnyvale, California, Feb 1995)으로부터 10년 정도가 경과한 시점에서 반응벽체의 반응성은 지속적으로 확인되고 있으며, 최근에는 광범위하고 다양한 오염지역에 대한 개별적인 반응물질의 적용과 시공방법에 관한 연구가 진행되고 있다.<sup>1)</sup> 최근의 연구추세는 최초 설치된 반응벽체의 시료분석을 통한 영가철표면 침전물이 2차적인 분해효과를 나타내고 있다는 결과를 발표하고 있으며, 유럽지역을 중심으로 전통적인 반응벽체 형태가 아닌 반응셀의 형태를 이용한 반응벽체의 적용사례가 증가하고 있다.<sup>3)</sup>

## 2. 본 론

본 반응벽체 적용지역의 경우, 상부에 매립장이 위치해 있으며, 침출수의 영향으로 인해 하부지하수 감시정의 지하수 중 암모니아성 질소의 농도가 최대 29.12mg/L까지 검출되었다. 반응벽체 적용구간은 지하수 유향, 유속계(KVA Flowmeter model 200)를 이용한 측정결과와 지하수모델링(MODFLOW)을 이용하여 결정하였으며, 평균지하수 유속은 0.0864m/d이고 평균지하수위는 원지반 기준 - 4.0m의 분포를 나타내었다.

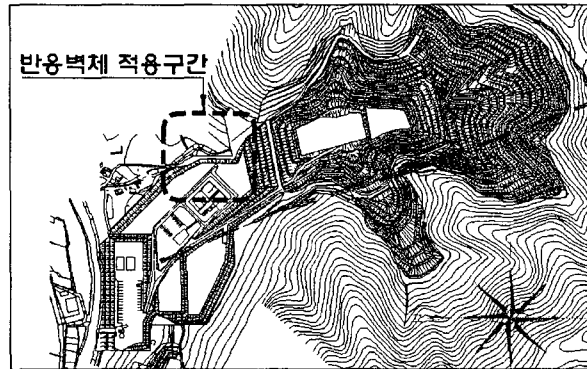


그림 1. 반응벽체 적용구간

지질조사 결과, 적용구간의 지질구조는 매립층, 풍화토, 풍화암, 연암의 순서로 분포하고 있으며, 반응벽체의 설계깊이는 현장 시추조사 결과를 바탕으로 지하수의 Under-pass를 방지하기 위하여 연암층 50cm까지 관입시키도록 설계하였다. 최종적으로 선정된 반응벽체의 규모는 35m(길이) × 1.2m(두께) × 8.5~9.42m(구간별 깊이)로 설계에 반영되었다.

표 1. 반응벽체 설계인자

Installation Date	Type of Barrier (a)	Reactive Medium	Reactive Medium Thickness	Barrier Width (m)	Barrier Depth (m)	Amount of Reactive medium (tons)
May 2003	Continuous File-type	50% Zeolite & 50% Sand	1.2	35	8.5 ~ 9.42	317.7

반응물질은 암모니아성 질소 뿐만 아니라 중금속등의 양이온 오염물질제거에 적합한 제올라이트를 선정하였으며, 투수성 및 다짐강도를 고려하여 왕사와 50:50의 비율로 혼합하였다. 반응물질의 혼합은 별도의 기계를 제작하여 vibrator를 이용한 정확한 비율로 혼합하였으며, 보관은 톤백포장을 이용하여 보관하였다.

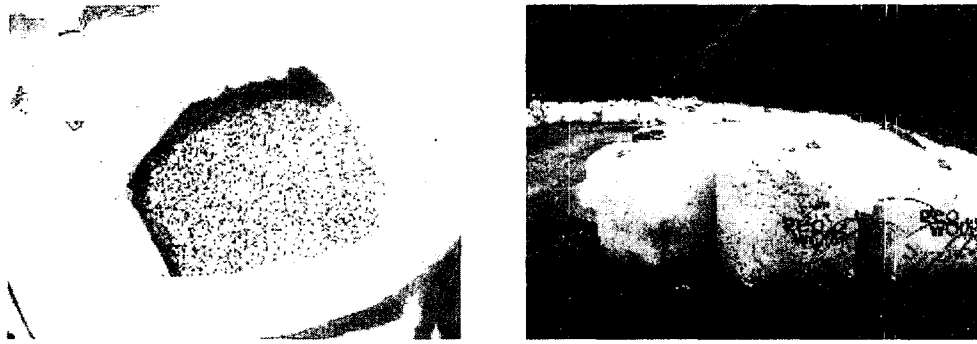


그림 2. 반응물질의 혼합 및 보관

본 지역에서 적용한 반응벽체의 형태는 적용지역의 지질조사결과를 바탕으로 실제 현장에서의 시공성 및 시공장비의 적용성과 지질조건에 불규칙성으로 인하여 파일타입반응벽체를 적용하였다. 국내의 일반적인 지질조건인 경우, 외국과 달리 대부분 불규칙한(Heterogeneous)지질조건을 나타내고 있으며 반응벽체의 설치깊이가 8.5~9.42m(구간별 깊이)인 점을 감안할 때 백호를 이용한 일반적인 open-cut공법의 경우 시공이 불가능하다. 천공장비를 이용한 파일형 반응벽체의 경우, 설치깊이에 대한 제약이 줄어들 뿐만 아니라 폐광지역의 암반층에서도 시공이 가능하므로 우리나라 지형에 적합하다 할 수 있다.

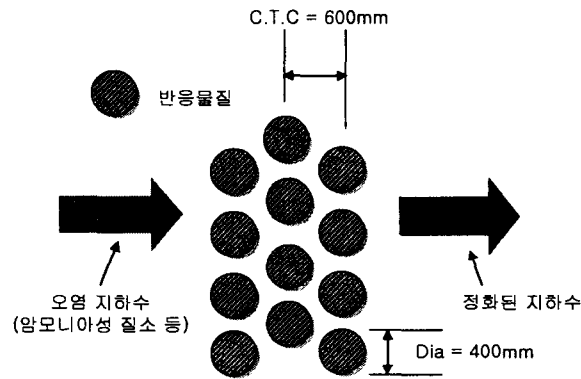


그림 6 반응벽체 설계개요도

본 지역에 적용된 파일형 반응벽체는 400mm 강관케이싱을 지중에 관입하고 반응물질을 케이싱에 부설 후, 케이싱을 인발하는 반복과정을 통하여 시공되었으며 각 케이싱간의 일정거리를 유지하면서 전체적으로 3열로 배치되었다. 파일타입 반응벽체의 경우, 본사 이외에 일본의 TAISEI Corporation에서 적용하고 있으나 천공방식의 형식이 아니라 지질조건이 양호한 지반에서 반응물질(영가철)과의 원위치교반의 형식으로 혼합되어 시공되는 형식으로 근본적인 개념은 다르다 할 수 있다.

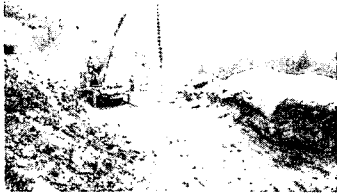


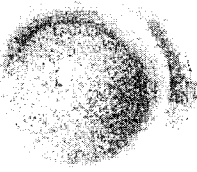
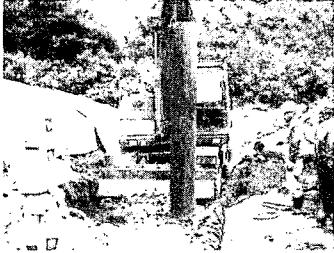

		
파일천공	천공 후 케이싱 설치	반응물질 부설
		
반응물질 부설후	케이싱 인발	공사완료 후 복토

그림 4 파일형 반응벽체 시공

현재, 지하수감시정을 이용한 모니터링 결과, 상부지하수 감시정에서의 오염원은 우기의 영향으로 간헐적으로 발생하고 있으나 하부 지하수 감시정에서의 암모니아성 질소농도는 불검출 되거나 0.5 mg/L 이하로 유지되고 있다.

### 3. 결론

반응벽체기술이 국내에 소개되고 연구되기 시작한 기간은 대략 7~8년 정도로 판단되며, 지속적으로 연구의 수와 결과물들이 증가하고 있다. 그러나, 국내의 경우, 외국(영가철을 이용한 TCE, PCE제거)과 달리 빈번히 출현하고 문제시 되는 오염물질이 근본적으로 상이하며 반응물질의 적용 및 반응기작에 있어서도 외국 설계자료의 적용 및 참조가 곤란하다. 따라서 현재 국내 토양, 지하수에서 문제시되고 있는 오염물질과 지형조건을 고려한 시공방법에 관한 독자적인 접근방법이 근본적으로 요구된다 할 수 있으며, 본 사업을 통하여 발견된 현장적용시의 문제점과 미진한 점을 파악, 보완하여 좀더 경제적이고 효과적인 설계가 이루어지도록 노력해야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. U.S. EPA (2002), "Evaluation of Permeable Reactive Barriers Performance", EPA/542/R-04/004
2. www.eti.ca
3. Richard, T. W, Chunming, S. and Robert, W. P, (2004), "Formation process and consequences of reactive and non-reactive mineral precipitates in Permeable Reactive Barriers", The 1th International Symposium on Permeable Reactive Barriers., March 14-16, Belfast, Northern Ireland.