

오염지하수 정화를 위한 반응벽체의 외국 시공사례 및 연구동향

이승학^{*1}, 이광현, 이성수^{*2}, 이달희^{*3}, 이재영^{*4}, 박준범^{*5}

1. 서론

오염 토양 및 지하수에 대한 현장정화기법(In-Situ Soil Remediation)의 개발은 대륙면적이 작은 유럽을 중심으로 시작되어 현재 미국을 위주로 다방면의 연구가 진행되고 있으며 수 십여 가지의 기술이 개발되어 실용화되고 있다. 오염토양 및 지하수 정화 기술에는 굴착제거, 표면제어, 차폐, 양수, 토양세척, 진공추출, 고화, 수압파쇄 등의 물리적 방법과 산화, 중화, 이온교환, 계면활성제 첨가 등의 화학적 방법, 플라즈마, 동결, 열분해, 유리화 등의 열적 방법, 그리고 영양분 주입, 미생물 이용 등의 생물학적 방법이 있으며 최근에는 전기삼투 등을 이용한 동전기적 방법이 개발되고 있다. 반응벽체(Permeable Reactive Barriers, PRBs)는 이러한 현장정화기법의 하나로 1990년대 중반부터 미국, 유럽을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 반응벽체 기술은 오염된 지하수가 흐르는 길목에 투수성이 큰 반응물질로 벽체를 구성하고 지하수가 벽체를 통과하는 동안 물리적, 화학적, 생물학적 반응을 통해 오염물질이 처리되고, 정화된 지하수가 벽체를 빠져나가게 하는 기법을 말한다(그림 1).

국내의 경우, 토양 오염에 대한 대처가 체계적으로 진행되지 못하다가 1995년 1월 5일 제정된 토양환경보전법을 1996년 1월부터 시행, 그 동안 점 오염

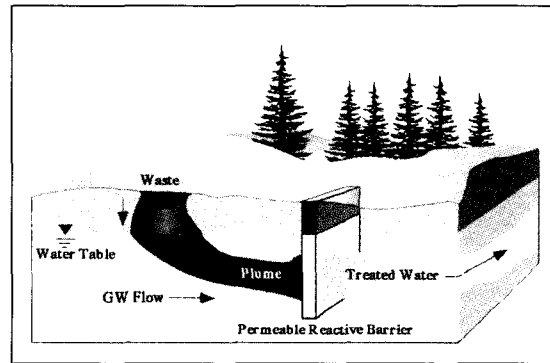


그림 1. 반응벽체 개념도

원에 초점을 맞추었던 단편적인 수질관리 중심의 환경정책에서 탈피, 더욱 통합적인 환경관리가 이루어 질 수 있는 기초가 마련되었다(토양환경 보전법 제 19조). 이와 더불어 오염된 지하수와 토양의 정화기법에 대한 관심이 증가되었고, 정화기법 개발의 일환으로 반응벽체 기술개발 및 적용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 반응벽체 연구개발이 활발히 진행되어 온 미국, 캐나다, 유럽의 실제 시공된 사례를 검토하고, 선진기술을 확보하고 있는 그들의 최근 연구동향을 살펴봄으로써 반응벽체에 대한 국내연구의 방향을 재정립하고 실제 적용에 참고자료로 삼고자 한다.

2. 반응벽체 기술의 적용사례

U. S. EPA는 Remedial Technology Development Forum(RTDF)의 Permeable Reactive Barriers Action Team을 구성, U.S.EPA's Technology

*1 정희원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사과정

*2 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 석사과정

*3 서울대학교 자연대학 지구환경과학부 BK계약교수

*4 정희원, 서울시립대학교 도시과학대학 환경공학부 부교수

*5 정희원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 부교수

Innovation Office(TIO)의 지원을 통한 활발한 연구를 진행하고 있다. 또한 Powell & Associate Science Service, EnviroMetal Technologies INC, Horizontal Technologies INC, General Electric Cooperate Research & Development Center, Dupont Co. 등에서 반응벽체의 현장 적용성, 지하수 흐름예측, 반응물질 등에 대하여 많은 연구가 진행 중이다. 지금까지 오염된 지하수를 정화하기 위해 미국 지역과 캐나다 지역에만 시공 설치된 반응벽체는 32개 이상인 것으로 보고되고 있다(2001년 9월 현재). 유럽의 경우 반응벽체 적용에 관한 연구개발을 담당하는 대학, 연구소 및 실제 시공을 담당하는 건설업체가 연계하여 prb-net(www.prb-net.org)이라는 컨소시엄을 형성하고 이를 통해 기술개발사업과 현장설치 및 모니터링을 체계적으로 수행하고 있다.

2.1 물리·화학적 처리기법을 이용한 반응벽체

2.1.1 염화유기화합물의 정화

오염지하수 정화를 목적으로 현장에 설치된 최초의 반응벽체는, 영가철을 반응물질로 하고 염화유기화합물인 TCE, VC, cDCE를 대상오염물질로 하는 것으로, California 지역에 Sunnyvale이라는 공업 지역에 설치된 것이었다(1995. 2). 초창기의 반응벽체는 영가철을 반응물질로 하여 주로 염화유기화합물을 정화하는데 적용되어왔고, 현재도 가장 효과적인 분야로 인정받고 있다. 이와 같은 반응벽체의 시공사례를 선별하여 정리하면 다음과 같다.(EPA-542-R-99-002)

■ Southern Oregon (1998년 3월)

- 대상지역 : Aircraft Maintenance Facility
- 오염물질 : TCE ([VOC] = 500 μ g/L)
- 반응물질 : zero valent iron
- 현장조건 : alluvial deposits로 sandy silt에서 silty gravel, 투수계수는 10⁻³cm/sec
- 건설형태 : Funnel and gate, (4개의 monitoring

well 설치) (폭15m, 길이200m, 깊이 2.7m)

- 건설비용 : \$600,000

■ Northern New Jersey (1998년 4월)

- 대상지역 : Caldwell Trucking Superfund site
- 오염물질 : TCE (지하수에 6,000~8,000 μ g/L 농도를 50 μ g/L이하로 낮추는 것이 목적)
- 반응물질 : zero valent iron
- 현장조건 : 토양은 부패한 쓰레기로 구성되어 있었고, 그 투수계수는 0.25 cm/sec
- 건설형태 : Hydraulic Fracturing and Permeaton Infilling (길이45m, 깊이 50m)
- 건설비용 : \$1,120,000
- 건설결과 : TCE 400 μ g/L 이하

■ Lakewood, Colorado (1996년 10월)

- 대상지역 : Federal Highway Administration Facility
- 오염물질 : TCE(700 μ g/L) 1,1-DCE(770 μ g/L) cDCE TCA
- 반응물질 : zero valent iron
- 현장조건 : 고화되지 않은 gravelly sand가 fractured claystone 위에 위치
- 건설형태 : Funnel and Multiple Gate (길이 316m, 너비12m)
- 건설비용 : \$1,000,000
- 건설결과 : 1시간안에 유출수 오염물질 농도가 절반 이하로 떨어짐

■ Rheine, Westphalia in Germany (1998년 6월)

- 대상지역 : Former Dry cleaning Site
- 오염물질 : PCE(20mg/L) 1,2-DCE(0.5mg/L)
- 반응물질 : zero valent iron, iron sponge
- 현장조건 : 토양은 loamy sand로 구성, 그 투수

계수분포는 $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{cm/sec}$

- 건설형태 : Continuous Wall(길이 74m, 너비 0.9m, 깊이10m)
- 건설비용 : \$123,000
- 건설결과 : PCE 0.1mg/L

■ Elizabeth City, NC (1995년 6월)

- 대상지역 : U.S. Coast Guard Support Center
- 오염물질 : Cr⁺⁶(3,430 $\mu\text{g/L}$) TCE(4,320 $\mu\text{g/L}$)
- 반응물질 : zero valent iron
- 현장조건 : 토양구성 \rightarrow fine sand
- 건설형태 : Continuous Trench(길이45m, 너비 0.6m, 깊이0.9m)
- 건설비용 : \$500,000
- 건설결과 : Cr⁺⁶(none-detected) TCE(5 $\mu\text{g/L}$)

2.1.2 중금속과 무기물의 정화

영가철로 구성된 반응벽체는 6가 크롬(Cr(VI))이나 비소(As) 등으로 오염된 지하수를 정화하는 데에도 성공적인 결과를 보여왔다. 또한 벽체 내에 충전 물질을 적절한 것으로 교체함으로써 납(Pb)이나 카드뮴(Cd)과 같은 중금속제거에도 효율적으로 적용하였다. 중금속 오염물질과 무기물로 오염된 지하수를 정화함에 있어 영가철 이외의 것을 반응물질로 하는 반응벽체 시공사례를 선별 정리하면 다음과 같다. (EPA-542-R-99-002)

■ Sudbury, Ontario, Canada(1995년 8월)

- 대상지역 : Inactive Mine-tailing impoundment at the Nickel Rim Mine
- 오염물질 : Ni(10mg/L), Fe(740~1000mg/L), Sulfate(2400~3800mg/L)
- 반응물질 : Organic carbon
- 현장조건 : glacio-fluvial sand로 구성, 그 투수 계수는 0.017cm/sec, 지하수면은 3~9m
- 건설형태 : Cut and Fill(길이15m, 폭3.6m, 깊

이4m)

- 건설비용 : \$30,000
- 건설결과 : Ni(0.1mg/l이하), Fe(1~91mg/L이하), sulfate(110~1,900mg/L이하)

■ Nesquehoning, PA (1998년 8월)

- 대상지역 : Tonolli Superfund Site
- 오염물질 : Pb(328 $\mu\text{g/L}$), Cd(77 $\mu\text{g/L}$), As(313 $\mu\text{g/L}$), Zn(1,130 $\mu\text{g/L}$), Cu(140 $\mu\text{g/L}$)
- 반응물질 : Limestone
- 건설형태 : Continuous Trench(너비0.9m, 길이335m, 깊이6m)

■ Washington (1997년 9월)

- 대상지역 : 100D Area of the U.S. Department of Energy Hanford Site
- 오염물질 : Cr(VI) (2mg/L)
- 반응물질 : Sodium dithionite
- 현장조건 : sands와 gravel이 많은 fluvial sediments로 구성, 투수계수는 0.035 cm/sec
- 건설형태 : Injection(길이45m, 폭15m)
- 건설비용 : \$480,000
- 건설결과 : Cr(VI) 8 $\mu\text{g/L}$ 이하

2.1.3 영양염류의 정화

영양염류에 의한 지하수의 오염은 축산농가와 공업지역 인근에서 빈번하게 보고되고 있으며, 오염물질의 종류로는 질산성 질소 및 암모니아성 질소, 인산염 등을 들 수 있다. 영양염류를 정화하기 위해 적용된 반응벽체의 시공사례를 정리하면 다음과 같다. (EPA-542-R-99-002)

■ Oak Ridge, TN (1997년 11월)

- 대상지역 : Y-12 site at the U.S. Department of Energy's Oak Ridge National Laboratory

- 오염물질 : HNO₃, U, Tc
- 반응물질 : zero valent iron
- 현장조건 : unconsolidated clay로 구성, 투수계수는 0.001cm/sec
- 건설형태 : Funnel and Gate (길이67m, 깊이 7.6m)
Continuous Trench (길이68.6, 너비0.6m, 깊이6.7~9m)
- 건설비용 : \$1,000,000

2.1.4 방사능 원소의 정화

방사능 원소로 오염된 지하수를 정화하기 위해 적용된 반응벽체의 시공사례를 선별, 정리하면 다음과 같다.(EPA-542-R-99-002)

■ Fry Canyon, UT(1997년 8월)

- 대상지역 : abandoned uranium upgrader site
- 오염물질 : U(60~20,700 μ g/L)
- 반응물질 : Fe₀, AFO(amorphous ferric oxide), PO₄
- 현장조건 : poorly sorted fine-and medium-grained sand, 투수계수는 0.0005 cm/sec
- 건설형태 : Funnel and Gate (길이 2m, 두께 0.9m, 깊이1.2m)
- 건설비용 : \$170,000
- 건설결과 : PO₄ 와 AFO의 경우 90%이상 제거, ZVI의 경우 99.9%제거

■ Chalk River Laboratories, Ontario, Canada (1998년 1월)

- 대상지역 : wetland 주변의 Chalk River Laboratory
- 오염물질 : Sr-90(0.1-100 Becquerel/L)
- 반응물질 : Clinoptilolite(Zeolite)
- 현장조건 : 대수층의 투수계수는 0.2-0.4 ft/min

- 건설형태 : wall & curtain (길이 6.6 ft, 두께 36.1 ft, 깊이 18 ft)
- 건설비용 : \$300,000

2.1.5 Other Organic contaminants

그 외 오염물질에 대해 반응벽체를 시공한 사례는 다음과 같다. (EPA-542-R-99-002)

■ Tifton, GA

- 대상지역 : Marzone site
- 오염물질 : BHC(alpha-hexachlorobenzene 60mg/L) beta-BHC(98.5mg/L) DDD(7.6mg/L) DDT(9.3mg/L) xylene(94000mg/L) ethylbenzene(6,100mg/L) lindane (54.6mg/L) methyl parathion (47mg/L)
- 반응물질 : Activate carbon
- 현장조건 : sand, sandy clay and clay의 혼합토, 투수계수는 0.001~0.0016cm/sec
- 건설형태 : Funnel and Gate
- 건설비용 : &750,000
- 건설결과 : BHC(0.03 μ g/L) beta-BHC(0.1 μ g/L) DDD(0.77 μ g/L) DDT(0.54 μ g/L) xylene(10mg/L) ethylbenzene(0.7mg/L) lindane (0.2 μ g/L) methyl parathion (3.9 μ g/L)

■ Story County, IA (on-going project)

- 대상지역 : U.S. Story County의 지표수
- 오염물질 : 농약류
- 반응물질 : Surfactant modified zeolite(SMZ) and bean gravel
- 현장조건 : glacio-fluvial sand
- 건설형태 : Continuous Trench (길이400m, 너비1m, 깊이4m)

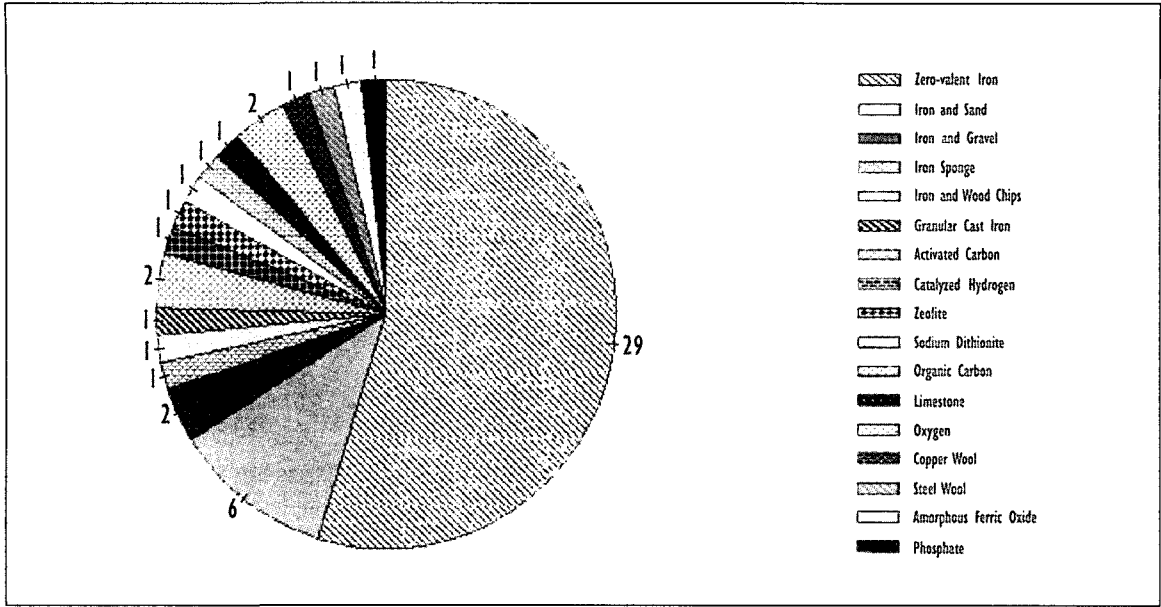


그림 2. 반응벽체에 사용된 반응물질 종류별 시공횟수 (2002년 1월 현재, from U. S EPA)

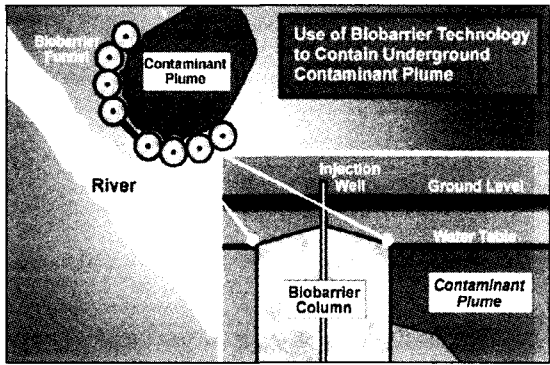


그림 3 Bio-barrier의 개념

그림 2는 물리화학적기법을 이용한 반응벽체의 반응물질로 사용된 재료의 종류별 빈도를 보여준다.

2.2 생물학적 기법을 이용한 반응벽체

미생물을 이용한 생물학적 처리도 적용되고 있는데 특히, 현장 기법 중 Bio-barrier는 반응벽체 내 박테리아 주입과 생장으로 오염물질의 제거뿐만 아니라 비교적 경제적이고 빠르게 오염물질을 정화시

키는 효과를 볼 수 있는 기법 중의 하나이다.

그림 3은 오염지역 주위에 Biobarrier Colume 설치로 오염물질의 이동 확산을 제어하는 개념도이다. 미국에서 많은 연구가 이루어지고 있는 bio-barrier는 1990년부터 지금까지 활발한 연구가 진행되고 있고 토양오염 및 지하수 오염에 대한 관심과 연구가 부족했던 국내에서도 Bio-barrier의 기술을 이용한 활발한 기초 및 Pilot 규모의 연구(lim,2001)가 이루어지고 있다.

2.2.1 Bio-barrier의 국외 적용사례

Bio-barrier는 Montana State University의 NSF Engineering Research Center에서 많은 연구가 이루어져 1998년부터 MTBE의 처리에 대한 현장 적용이 이루어졌고 Netherland와 Italy에서도 Bio-barrier로 오염 처리를 위한 현장 적용 및 연구가 이루어지고 있다. 국내에서는 차수능 및 내구성 실험, 기질 분해, 미생물의 개체 증가 등 Pilot 규모 등이 이루어지고 있다.

■ Bioaugmentation Filed Testing for MTBE Treatment, U.S

- 대상지역 : Port Hueneme, California
- 오염물질 : MTBE
- 건설시기 : 1984년 ~ 1985년
- 건설형태 : barrier를 bacterial consortium로 구성, maintaining well를 산화상태로 유지.
- 건설결과 : 2~9mg/l → 0.001-0.01mg/l로 감소(30일 후)

■ Subsurface Biofilm Barriers, U.S

- 건설시기 : 1999년 12월 ~ 현재
- 건설형태 : 길이180 feet, 깊이 20feet, 폭 130feet 의 Bio-barrier
- 건설결과 : carbontetrachloride and heavy metal contaminants (300mg/l → 1mg/l)
Hydraulic conductivity reduction (>99%)(120일 후)
- 건설비용 : \$7~\$10 per cross-sectional square feet

■ Port Hueneme, California (1998), U.S

- 대상지역 : The Naval exchange(NEX) gaso-line station
- 오염물질 : MTBE(2,000-8,000 ug/L를 5ug/L로 낮추는 것이 목적)
- 반응물질 : Microbial culture(MC-100)
- 현장조건 : 상류층 침전물이 부분적으로 silty loam과 sandy soil
- 건설형태 : oxygenated biobarrier (폭6m, 길이 12m, 간격3m)
Monitoring well과 Oxygen delivery system 설치
- 건설비용 : \$150,000
- 건설결과 : 1ug/L 이하 (260일 후)

■ Solvent Extraction Reside Biotreatment (SERB), U.S

- 대상지역 : 1998년 8월 Sages Dry Cleaner Site in Jacksonville, FC.
- 오염물질 : PCE
- 현장조건 : 매우 낮은 수준의 미생물 분해와 DO
- 건설형태 : A week-long in-situ cosolvent extraction test with ethanol : 72kg 의 DNAPL → 22.6kg (70% PCE 감소)
- 건설결과 : cis-DCE : 4mg/l, PCE : break-down product (4개월 후)

■ Eastern part of the Netherlands

- 대상지역 : Eastern part of the Netherlands (1996)
- 오염물질 : hydrocarbons, mineral oil
- 반응물질 : Microbial culture
- 현장조건 : top layer and two waterbearing later
first waterbearing layer : 거친자갈과 모래, 깊이 20m, 지하수유속 50m/year
second waterbearing layer : 거친자갈과 모래, 깊이 35m, 하루 350m에 drinkwater well설치
- 건설형태 : 길이 60m, 12개의 air-sparing well로 구성(17 깊이)
- 건설결과 : benzene 600ppb, di-isopopylether 300ppb → benzene, di-isopopylether 1.0ppb 이하(6개월 후)
- 건설비용 : installation 0.18 Mio Dfl, operation 0.02 Mio Dfl/year

■ Northern Italy

- 대상지역 : Northern Italy

- 오염물질 : aromatic hydrocarbons
- 반응물질 : Microbial culture
- 현장조건 : 자갈과 모래가 섞여져 있음
(토양 - 30m 깊이, 지하수 - 3~4m, 유속 - 280m/year)
- 건설형태 : 길이 190m, 29개의 air sparging well 건설(8m 간격) air - 100m³/hr
- 건설결과 : 28kg/year → 0.3kg/year (>98% mass reduction, 4개월후)
기준치 이하로 감소 (7개월 후)

2.2.2 Bio-barrier 개발을 위한 국내 연구사례

■ A Feasibility Study on the Permeable Reactive Biobarrier (2001)

- 오염물질 : Phenanthrene
- 반응물질 : Aerobic microbial species (Beijerinckia indica)
- 실험조건 : 미생물의 오염물질의 분해가능성, 수리학적 감소능 평가
- 실험결과 : 500mg/l의 phenanthrene이 생물학적으로 제거 (2주 동안)
미생물이 토양 공극에서 성장함에 따라 10²⁻³배 감소

■ Biobarrier를 이용한 유기오염물질의 생물학적 모의를 위한 수치모델개발

- 2차원생물벽체 모형의 거동을 살펴보기 위한 in-situ bioaugmentation 실험
- 오염물질 : TCE
- 실험조건 : 20m × 20m 포화대수층 내에 초기 2m × 2m의 생물학적벽 설치
- 실험결과 : 급격한 미생물의 증가 (초기 4일)
생물벽체를 통한 유기오염물질의 급격한 감소 (12일 후)
미생물의 급격한 감소로 인한 낮은 속도의 대사 작용 (24~30일)

3. 최근의 연구동향

3.1 기존 반응벽체에 대한 지속적인 모니터링

미국의 경우, 현재 설치된 반응벽체에 대해 적절한 운전여부를 판단하기 위한 모니터링 작업을 계획하여 수행하고 있다. PRB Action Team은 PRB 성능을 평가하기 위한 5개년(2003-2007)간의 monitoring project에 대한 활동의 대략적인 범위를 잡고 잠재적인 자금원을 확보하고 있다. 제안된 프로젝트의 후보지는 Alameda Point(CA), the U.S. Coast Guard Support Center in Elizabeth City(NC), Denver Federal Center(CO), the Somersworth Sanitary Landfill(NH)와 Seneca Army Depot(NY)를 포함한다. 사용할 수 있는 자기에 따라 프로젝트 대상지역의 수를 결정할 계획이다. 적절한 디자인 기술과 모니터링 기술은 결과적으로 시행착오로 인한 재설치를 감소시키고, 쓰레기와 비용을 줄일 수 있으며, 기술적 비용에 대한 환급을 가져와 장기간의 운전을 효과적으로 할 것으로 기대된다.

3.2 TNT와 RDX의 정화를 위한 반응벽체의 설치

현재 미 국방부에 의해 계획되고 있는 반응벽체는 폭발물로 오염된 지하수를 정화하기 위한 것이다. 폭발물(TNT와 RDX 등)의 화학적 특성 때문에 지하수에서 긴 기간 동안 잔존할 수 있어, 지난 수십년간 계속 되어온 처리방법(즉, pump and treat)은 아직도 이 오염 물질을 완전하게 제거할 수 없는 것으로 보고되고 있다. 이에 현장에서 지하수 내에 포함된 폭발물을 제거하는데 PRBs를 사용하는 것이 장기적으로 pump and treat보다 비용면에서 효과적이라는 의견이 대두되었고, 영가철로 채운 반응벽체를 TNT/RDX로 오염된 지하수대에 적용할 것을 계획하고 있다. 지속적인 실험실 연구와 ex-situ 현장 연구는 영가철이 TNT와 RDX 제거에 효과적이라

는 것을 보여주었고, 수십년 동안의 적절한 내구연한을 예측하고 있다. 또한 반응벽체가 지중 구조물이라는 점을 감안해 그들이 재개발을 표적으로 하게 되는 현장에 이상적이라는 결론을 내리고 있는 실정이다.

4. 결론

반응벽체 기술이 발달한 미국이나 유럽의 경우 최근의 연구동향은 이미 설치된 벽체의 적절한 운전여부를 판단하는 모니터링에 초점이 맞추어 지고 있다. 또한 반응벽체 기법을 적용할 수 있는 오염물질의 종류를 다변화하기 위해 각 오염물질에 적절한 반응성을 갖는 반응물질을 개발하고 그 적용성을 시험하고 있다. 특히 최근에는 혼합형 기술적용이 확대되고, 반응물질로서 가격 경쟁력이 있고 내구성이 큰 천연 지질재료의 적용이 확대되고 있는 추세이다. 이에 반응벽체의 현장적용 사례가 전무한 국내의 경우는 무엇보다 현장규모의 반응벽체 시공경험이 급선무라 할 수 있고, 이를 바탕으로 지속적인 모니터링을 통한 벽체 운전의 적절성을 평가해 국내 지반조건에 맞는 형태의 반응벽체를 표준화하는 작업이 필요하다. 이와 더불어, 기존에 그 반응성이 검증된 영가 철보다 그 반응성이나 적용성이 뛰어난 반응물질을 개발하거나, 효과적인 설계기법이나 시공 기법 개발을 통해 반응벽체 선진기술 대열에 동참하려는 노력도 꾸

준히 해야 할 것이다.

참고문헌

1. <http://www.rtdf.org>
2. <http://www.clu-in.org>
3. EPA-542-R-99-002, Field application of in-situ remediation technologies: Permeable Reactive Barriers, 1999
4. Dong-Hee Lim and Jai-Young Lee, 2001, "A Study on the Formation of Permeable Reactive Barrier treated with Biofilm", 12th Annual Research Conference of the Japan Society of Waste Management Experts, University of Seoul
5. 왕수균, 2003, 'Biobarrier를 이용한 유기오염물질의 생물학적분해모의를 위한 수치모델개발', 한국 지하수토양 환경학회
6. L.M.M. Bakker, H. Tonnaer, H.S. Michelberger, C.G.J.M.Pijls, P.Filipponi, A.Riva, F.De Palma 'Full Scale Operation of aerobic barriers'
7. U.S EPA 542-N-00-004 JUNE 2000 ISSUE No.36
8. In-Situ Bioremediation at Port Hueneme, Clifirnia
9. <http://www.bioremedy.com>

광고 게재 모집 안내

월간 "地盤"에 게재할 광고를 다음과 같이 연중 수시로 모집하오니 지면을 통하여 회사를 홍보하고자 하는 업체 및 회원은 신청하여 주시기 바랍니다.

- 다 음 -

(단위: 만원 / 회)

컬 라	표지 2, 4	표지 3	내 지
흑	60	50	45
백	40	30	25

* 1년 단위 계약 10% DC, 특별회원사 15% DC (1년 단위 계약 10% DC 추가)