

사용종료 매립지의 오염물질 차단 및 정화기술

한국건설기술연구원, 지반연구실, 공학박사, 정 하 익

1. 서언

전세계적으로 산업발달의 가속화와 인구증가로 말미암아 부수적으로 발생하는 방대한 양의 도시, 산업, 준설, 광산, 핵 등의 폐기물이 발생하고 있다. 국내의 경우, 위생매립 시스템을 갖추지 않은 사후종료 매립지가 전국 각지에 산재하고 있는 주변지역 지반과 지하수가 오염되어 가고 있어 심각한 환경문제가 야기되고 있다. 특히, 대도시 주변이나 상수원 보호구역내에 과거로부터 특별히 위생처리를 하지않고 단순 투기가 이루어진 매립장의 경우 주변으로 매립장내 오염수가 유출되어 인근 지반, 지하수 및 하천이 오염되게 된다. 이와 같이 지반 및 지하수가 오염될 경우 환경적인 측면에서는 인간 및 자연 생태계에 나쁜 영향을 미치게 된다.

과거로부터 발생하는 폐기물을 통제하는 방법이 처리, 저장, 수송, 처분 그리고 정화(remediation; clean up)로 변화되어 가는 현상을 나타내고 있다. 선진외국의 경우에는 사후종료 매립지에 대한 처리대책을 종합적으로 수립하여 오래전부터 정화작업이 진행되어 왔으나 국내의 경우에는 현재까지 이에대한 구체적인 계획이 수립되지 않아 처리작업이 제대로 수행되지 못하고 있는 실정이다.

본 고에서는 선진국의 각종 오염토양, 오염지하수 및 폐기물 매립지의 정화기술을 조사분석하고 각종 정화기술중에서 현재 국내실정으로 볼때 실용성이 매우 높은 차단기술과 향후 적용성이 높고 기타분야에의 활용가능성이 클 것으로 예상되는 투수성 처리벽과 동전기 정화기술에 대하여 언급하고자 한다.

2. 오염지역 정화기술 조사

현재까지 발표된 오염지역 정화 또는 복구기술에는 표면제어, 굴착제거, 격리 및 차단, 공기 또는 증기에 의한 세척, 진공추출, 지중고결, 수압파쇄 등의 물리적 방법, 산화, 중화, 이온교환, 활성제 등의 화학적 방법, 양수후 처리, 활성제 세척 등의 물리·화학적 방법, 저온, 고온, 열분해 등을 이용한 열적방법, 그리고 호기성, 미생물 이용 등의 생물학적 방법이 있으며 최근에는 전기역학이론을 이용한 전기적 방법이 개발되고 있다.

2.1 오염토양 정화기술

미국 환경처 (EPA, 1991)에서 제안한 오염토양 정화기술의 개발 상황을 살펴보면 표 1과 같다. 표 1에서 실용화 단계란 효과가 입증되고 비용이 정량적으로 계산되는 상용기술 상태를 말하고 신개발 단계란 효과나 비용이 아직 정량화 되지 않고 현장 실험이 진행되고 있는 상태이며 연구단계란 현재 실내시험이 진행중인 상태를 말한다. 이것은 1991년도를 기준한 것이므로 현재에는 각 정화기술의 종류나 개발단계에 변화가 있을 수 있음을 첨언해 둔다.

그리고 오염토양 정화기술의 종류를 살펴보면 생물학적 정화방법에는 퇴비화, 토양과 영양소의 오거혼합, 슬러리 반응조, 영양소 표면살포, 탱크/라군 소화균, 생물 추출/농축 공법 등이 있으며 화학적 정화방법에는 시약순환용출, 화학적 결합/침전, 분리, 전기화학적 산화촉진 공법 등이 있다. 토양세척에는 중력/싸이클 분리의 생물반응조, 용매 또는 계면활성제 세척과 순환공법 등이 있으며 열적정화방법에는 유동상 탈착, 원유 슬러지 순환, 무선 주파수 가열, 오거 흡 혼합기에 의한 열적추출, 불활성 기체에 의한 로타리 건조기, 열반응조, 저온분리, 동적 지중추출공법 등이 있다. 그리고, 고형화/안정화 방법에는 화학첨가제 및 혼화제의 기계적 혼합, 화학첨가제 및 혼화제의 화학적 결합, 유리화 공법 등이 있다.

표 1. 오염토양 정화기술 개발 현황

Emerging		Innovative		Established/ Available	
Bench-scale Testing	Field Demonstration	Chosen for remediation	Limited full-scale use	Common full-scale use	
In situ electrokinetics	Bioventing	Soil washing	Thermal desorption	Incineration	
	Radio-frequency heating	Solvent extraction	Land treatment bioremediation	Solidification/ Stabilization	
	Ex situ furnace vitrification	In situ bioremediation	Vacuum extraction		
		Slurry-phase bioremediation			
		In situ vitrification			
		In situ soil flushing			
	Dechlorination				

2.2 오염지하수 정화기술

미국 환경처 (EPA, 1991)에서 제안한 오염지하수 정화기술의 종류 및 이의 개발상황을 살펴보면 표 2와 같다.

그리고 오염지하수 정화기술을 살펴보면 생물학적 정화방법에는 지상에서 지하수의 생물반응조 처리, 토양 과영양소의 오거혼합, 영양소 주입, 우물/트렌치로부터 영양소 침투, 토양통기에 의한 생물정화, 추출된 지하수의 습식처리, 물·영양소·미생물의 현장순환, 현장미생물 필터공법 등이 있으며 화학적 정화방법에는 시약순환에 의한 현장용출, 오염물질의 산화, 촉매분해, 전기화학적 산화촉진, 물리적 분리작업이 결합된 화학적 침전공법 등이 있다. 열적 정화방법에는 오거흙 혼합기에 의한 열적 추출, 전기가열, 무선주파수 가열, 스팀처리, 동적 지중추출, 현장 유리화, 산소버너 공법 등이 있으며 기타 추출정화방법에는 전기삼투, 공기추출, 현장 재순환 공법 등이 있다. 그리고, 토양 세척에는 용매 또는 계면활성제 수세, 추출 그리고 재순환공법이 있으며 고형화/안정화 방법에는 시멘트/플라이애쉬 또는 적정 혼화제에 의한 결합, 규산소다 그라우트제 주입, 현장 흙/시멘트 벽공법 등이 있다.

표 2 오염지하수 정화기술 개발 현황

Emerging	Innovative		Established/ Available		
	Bench-scale Testing	Field Demonstration		Chosen for remediation	Limited full-scale use
Chemical oxidation	Dewatering/Vacuum extraction	Ultraviolet/ Oxidation	In situ bioremediation	Air stripping	Carbon absorption
Permeable stationary treatment zones	Sparging			Ex situ bioremediation	
	Surfactant flushing			Ion exchange	
	Steam extraction			Precipitation	
				Reverse osmosis	

2.3 폐기물처분지역 복원기술

국내 뿐만 아니라 전세계적으로 지반 및 지하수 오염원 중에서 유해폐기물 매립장 및 불량매립장 등과 같은 폐기물 처분장이 중요한 비중을 차지하기 때문에 이들 지역에 대한 일반적인 대응책 및 관련 복원기술 항목을 제시하면 다음 표 3과 같다.

표 3 폐기물 처분지역 대응책과 관련 복원기술

오염지역대응책	정 화 기 술
무대응	약간의 모니터링과 해석 수행
저장시설	덮개; 지하수 차폐벽; 격벽; 가스 차폐벽
양 수	지하수 양수; 액체 제거; 준설
집 수	침전조; 트렌치 배수; 가스벤트; 가스 집수시스템
우 회	경사; 둔덕과 언덕; 우회 도랑; 트렌치; 계단과 벤치; 활강로와 하강파이프; 제방; 침투조
완전제거	탱크; 드럼; 흙; 침전; 액체 폐기물; 오염된 구조물; 하수 및 상수 파이프
부분제거	탱크; 드럼; 흙; 침전; 액체 폐기물
현장처리	소각; 고형화; 토양처리; 생물학적, 화학적, 그리고 물리적 처리
현장의 처리	소각; 생물학적, 화학적 그리고 물리적 처리
지중처리	투수성 처리상; bioreclamation; 흙 세척; 중성화; land farming
저 장	일시적 저장 구조물
현장 처분	매립장; 토양 적용
현장의 처분	매립장; 표면 저장; 토양적용
물공급	수조; 지상 탱크; 심정 또는 상승정; 상수시스템; 취수구조물의 재배치; 개별처리 기구
재배치	일시적 또는 영구적으로 거주자 재배치

3. 매립지 차단기술

3.1 차단재료의 구비조건

사용종료 매립지의 바닥에 차수재가 설치되어 있지 않은 경우에는 매립장내에서 발생하는 침출수가 외부로 유출될 수 있으므로 이의 억제를 위해서 그림 1과 같이 차단기술이 유효하게 적용될 수 있다. 불량매립장 등 오염된 지역을 격리하기 위한 연직 차단기술에 사용되는 재료는 현장여건, 설치조건 및 오염종류에 따라 다음과 같은 요구사항에 만족하는 것이 좋다.

- 하단부를 포함하여 모든 부분이 완전 차수되어야 함
- 설치방법 간단
- 화학적 침해에 저항
- 경우에 따라 심층지반까지 시공이 가능한 것
- 지반변형에 대처할 수 있는 연성 확보
- 모든 종류의 지반에 설치 적합
- 균열발생이 적은 재료
- 30년 이상의 내구성 확보
- 나무나 설치류에 저항
- 경제성이 있을 것

이러한 요구조건을 모두 만족하는 차단벽을 구하거나 개발하는 것은 쉬운 작업이 아니며 아직까지도 모든 조건을 만족시키는 차단벽은 없을 것이다. 따라서 현장여건, 설치조건, 오염종류, 경제성, 시공성 등을 종합·판단하여 상기의 일부 또는 모든 조건을 만족할 수 있는 최적의 차단공법을 선정하는 것이 바람직하다.

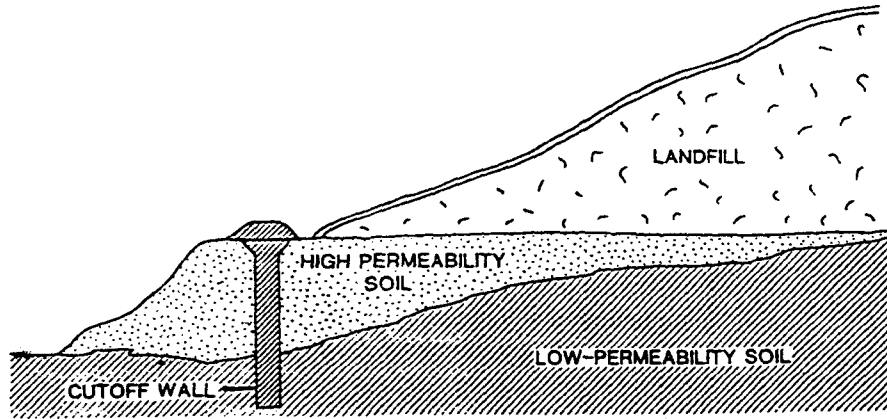


그림 1. 매립지에의 차단기술 적용

3.2 슬러리월

슬러리월은 오염지역 주위에 트렌치를 굴착하고 불투수성 재료로 뒷채움을 실시하는 것이다. 슬러리월의 형식은 슬러리 트렌치를 뒷채움 하는데 사용되는 재료에 의해 구분이 된다.

(1) 흙벤토나이트

트렌치 굴착후 중량비로 물 95%, 벤토나이트 5%의 슬러리를 흙벤토나이트 뒷채움재로 치환하여 연속적인 벽을 형성하는 것이다. 트렌치폭은 보통 0.6~1.5m이나 0.75~0.9m가 일반적이며 흙벤토나이트 뒷채움재의 슬럼프치는 10~15cm 정도이고 투수계수는 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ 정도 된다.

흙벤토나이트, 시멘트벤토나이트, 다이아프럼월의 3가지 중요 슬러리월중에서, 이 방법이 설치비용이 가장 저렴하고, 화학적 저항성의 범위가 크고, 가장 낮은 투수특성을 가지고 있다. 또한 이방법은 압축성이 가장 크고, 강도가 가장 낮으며 작업시 넓은 면적이 요구된다. 그리고 슬러리와 뒷채움재가 유동성이 있기 때문에 작업구간이 수평에 가까운 지역에 주로 적용될 수 있다.

(2) 시멘트벤토나이트

트렌치 굴착후 벤토나이트, 시멘트 및 물로 이루어진 슬러리를 그대로 뒷채움재로 사용하여 벽을 형성하는 것이다. 여기에서 벤토나이트의 함량은 4~7%, 시멘트 함량은 15

~30% 정도가 되며 뒷채움재의 투수계수는 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 정도이다.

시멘트벤토나이트 슬러리월은 흙벤토나이트보다 강성이 크고 고가이며, 투수성이 크고 화학적 저항성의 범위가 작다. 이것은 흙벤토나이트보다 화학적 침해에 대한 영향이 크며 특히, 황산염, 강산 ($\text{pH} \leq 4$)과 강염기 ($\text{pH} \geq 7$) 그리고 이온성이 높은 물질에 민감한 반응을 나타낸다.

(3) 플라스틱 콘크리트

슬러리 굴착후 뒷채움재로 빈배합 콘크리트(lean concrete)라고 할 수 있는 플라스틱 콘크리트를 사용하는 것이다. 흙벤토나이트 슬러리월과 시멘트벤토나이트 슬러리월의 장점을 모두 갖춘 것으로서 투수성이 낮고 강도가 높은 특징을 가지고 있다. 투수계수는 $1 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ 이하이며 내구성이 좋으나 고가이다.

(4) 다이아프램월

철근콘크리트 패널(다이아프램)의 연결로 연속적인 벽을 형성하는 것으로서 크람셀로 트렌치를 굴착하고 철근망을 삽입하고 슬러리를 제거하면서 트레미 콘크리트를 타설한 것이다. 완성된 벽은 철근콘크리트와 같아서 구조적으로 매우 안정된 구조물이나 고가이기 때문에 오염지역 차단분야에의 적용에는 경제성이 크지 않다.

다이아프램월의 조성된 패널사이에 시공조인트가 형성이 되는 경우에는, 시멘트벤토나이트월보다 투수성이 클수도 있다. 다이아프램월의 화학적 반응성은 시멘트벤토나이트에 대한 화학적 반응성과 유사한 특성을 가진다.

3.3 시이트파일

시이트파일의 재료에는 목재, 프리캐스트 콘크리트, 강재 또는 합성수지 등이 있다. 목재는 차수벽으로서 효과적이지 못하며 콘크리트는 큰 강도가 요구되는 곳에만 주로 사용된다. 강재는 지수에 매우 효과적이며 경제성도 있기 때문에 많이 사용되고 있다. 그리고, 합성수지 시이트는 고분자산업의 발달로 최근에 개발된 것으로 화학적 저항성 및 연성이 큰 경우에 적용성이 높다.

(1) 강재 시이트 파일

일명 강널말뚝이라고도 하는데 이것은 그동안 토목공사에서 주로 가물막이용으로 많이 사용되었으나 최근에는 시대적 요구에 따라 환경분야에도 적극적으로 사용되고 있다. 시이트파일의 이음부에서는 타설 초기에 어느정도의 누수가 예상될 수 있는데 이를 방지

하기 위하여 이음부에 팽창지수제를 도포하여 사용하거나 시멘트벤토나이트 슬러리와 병용하여 사용한다.

(2) 합성수지 시이트

연직차수재료로 연성고분자 합성수지시이트를 사용하는 것으로서 트렌치 굴착후 일정한 폭의 시이트를 지중에 연직으로 삽입하여 양단의 조인트 부분을 고리모양으로 연결하여 연직 플라스틱 스크린을 형성하는 것이다. 연직 합성수지 시이트는 산업공단, 매립장, 쓰레기더미 그리고 폐기물 하치장과 같은 오염지역으로 부터 유출되는 액상의 오염물질을 차단하도록 고안된 연직 플라스틱 시이트파일 벽으로서 재료는 주로 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 사용한다.

3.4 그라우팅

그라우팅이란 액상물질을 지반이나 암반내에 주입 고화시켜 지하수 흐름을 감소시키고 강도를 증진시키는 것을 말한다. 이것은 슬러리월보다 고가이며 투수성도 크다. 따라서 비용때문에 오염지역 차단에는 많이 적용되지 않으나 오염지역 암반내의 공극을 봉합하는데에는 가장 적합한 방법이다. 오염지역의 차단에 적용될 수 있는 그라우팅공법에는 암반그라우팅과 그라우트 커튼이 있다.

오염지반 정화에 있어서 그라우팅의 가장 큰 장점이나 잠재성을 말한다면 암반내 균열, 바위틈, 공동 그리고 다른 공극을 밀봉할 수 있다는 것이다. 현장배경과 지반조사 자료에 의하여 주입구멍의 패턴과 위치를 결정하고 드릴로 천공하여 구멍을 만들고 그라우트 침투를 좋게하기 위하여 압력수와 공기로 구멍내를 청소한 후에 그라우팅을 실시한다. 실제 그라우팅 실시전에는 반드시 시험용 예비 그라우팅을 실시하여 그라우트압과량을 결정하는것이 필요하다. 그라우트 커튼은 일정한 간격으로 토중에 천공을 하고 압력주입방식으로 그라우트재를 지중에 주입하여 주변흙과 그라우트재가 혼합 고결시켜 지중벽을 형성하는 것이다.

3.5 흙교반벽

특수하게 고안된 오거/교반 샤프트를 지중에 삽입하고 시멘트 등의 그라우트재 또는 슬러리를 흙속에 주입하면서 회전교반하여 지중에 흙기둥을 형성하는 것이다. 이공법은 일본에서 개발되어 전세계적으로 사용되고 있는데 공법의 장점은 작업의 안정성이 높은 것이며 단점은 뒷채움재의 품질관리가 어렵다는 것이다.

3.6 합성벽

매립지 침출수의 차단을 위하여 슬러리월, 시이트파일, 지오멤브레인 등을 서로 조합하여 합성벽을 형성할 수가 있다. 그림 2는 흙-벤토나이트 슬러리월내에 HDPE 지오멤브레인을 삽입한 벽체로서 슬러리월의 안정성과 지오멤브레인의 지수성을 결합한 것이다. 그림 3은 슬러리월과 지오멤브레인 및 지오파브릭을 결합하여 만든 합성벽체로서 지오파브릭을 통하여 지오멤브레인내로 누수되는 침출수를 제거할 수 있는 특징을 가지고 있다.

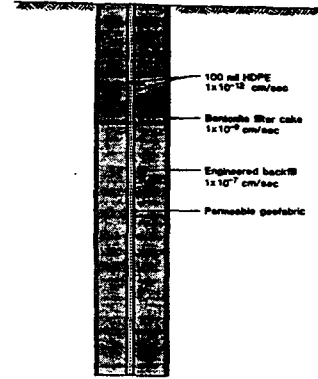
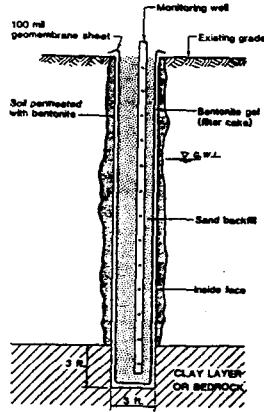


그림2. 슬러리월/지오멤브레인 합성벽 그림3. 슬러리월/지오멤브레인/지오파브릭 합성벽

4. Permeable treatment beds

4.1 투수성 처리재의 종류

사용종료 폐기물 매립장이 지하수면 부근에 위치하고 있는 경우에 매립장에서 유출되는 침출수에 의하여 지하수의 오염 가능성이 높다. 이러한 경우 지하수를 제어하는 방법은 앞절까지 언급된 바와같이 지하수의 흐름을 완전히 억제하기 위하여 물리적으로 차단벽을 설치하여 불투수성벽을 건설하는 방법과 그림 4와 같이 지하수를 통과시켜 지하수 내 오염물질을 물리적, 화학적으로 제거할 수 있는 투수성 처리벽을 건설하는 방법이 있다. 투수성 처리벽은 시간이 지나감에 따라 포화되고 오염물질이 충전되기 때문에, 재료의 흡착능력과 기간에 따라 필요시 재료를 교체해 주거나 재활성화하는 작업이 필요하다.

이 방법은 현재 다소 개념적인 면이 있기는 하지만 지하수내에 존재하는 오염물질의 양을 감소시키는데 상당한 잠재력을 가졌다고 볼 수 있다. 오염된 지하수를 제어하기 위하여 흡착성의 투수성 처리대에 사용될 수 있는 재료는 많지 않은데 예를들면 석회석 또는 분쇄된 조개껍질, 활성탄, 해록석(海綠石)질 녹사(glaucanitic greensand) 또는 제오라이트, 합성 이온교환수지, 페타이어 등이 있다.

석회석은 산성 지하수를 중성화할 필요성이 있는 경우에 사용될 수 있다. 또한 이것은 카드뮴, 철, 그리고 크롬과 같은 금속을 제거하는데에도 효과적이다(EPA, 1978). 분쇄 조개껍질은 석회와 동일한 화학적 특성을 가지고 있는데 조개껍질을 쉽게 구할 수 있는 해안지역에서는 매우 용이한 방법이 될 수 있으며 석회와 같이 산성 지하수를 제어하는데 사용될 수 있다. 활성탄은 유기물질로 오염된 지하수를 제어하는데 사용이 될 수 있으며 이것은 매우 고가이기때문에 경제적이지는 못하다.

대서양 연안평원(Atlantic Coastal Plain)에는 녹사가 많은데 중금속 흡착 능력이 좋은 것으로 보고되었다(Spolharic과 Crawford, 1979). 이것은 미국의 New Jersey, Delaware, 그리고 Maryland 등지의 지역에 퇴적되어있다. 이러한 녹사 퇴적층이 있는 남대서양 지역에서와 같이 현지에 녹사 퇴적층 등이 있는 경우, 투수성 처리상의 흡착재료로 사용하면 매우 경제적인 정화작업이 될것이다.

지하수내 오염물질을 제거하는데 사용될 수 있는 다른 재료로는 제오라이트와 합성 이온교환수지이다. 이러한 재료는 중금속의 제거에 매우 효과적이지만 수명이 짧고 고가이고 재활성화 (re-activation) 하는데 문제가 있기 때문에 경제적으로 그리고 현실적으로 적용성이 희박하다. 따라서 제오라이트와 합성 이온교환 수지는 공학적 그리고 경제적으로 사용이 불가피한 경우에만 사용될 수 있다.

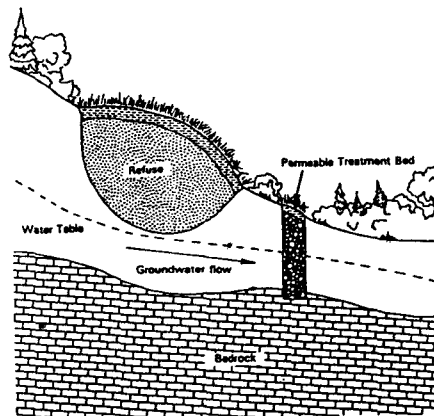


그림 4. 매립지에의 투수성 처리벽 설치

4.2 설계 방법

투수성 처리대의 설계시에는 지하수의 흐름속도, 처리대의 흡착성, 통과 및 접촉시간 등을 고려하여야 한다. 실제 지하수의 흐름 메카니즘은 Darcy법칙을 이용하여 다음과 같이 표현된다. 여기에서 v 는 흐름 속도, k 는 투수계수, I 는 동수경사 그리고 n 은 재료의 유효 간극율이다.

$$v = k i / n$$

처리대의 두께는 이를 통과하는 지하수의 속도, 지체시간의 함수이므로 다음과 같이

표현할 수 있다. 여기에서 w_b , v_b , t_c 는 각각 두께, 속도 및 시간이다. 지하수와 처리대의 상호작용을 고려하여 최적의 접촉시간을 결정하도록 한다.

$$w_b = (v_b) (t_c)$$

5. 동전기 정화기술

5.1 동전기 기술의 활용

(1) 매립장 수평차수

동전기적 차수시스템은 기존 점토류 차수시설의 단점을 보완하기 위하여 고안한 것으로 점토류 등의 수평 차수재에 전기시스템을 설치하여 침출수두와 화학농도경사에 의한 물질의 이동을 반대방향으로 유도하여 오염물질의 유출을 방지하는 것이다. 수평 차수시스템의 경우 그림 5에 제시된 형태와 같이 다짐점토층의 상부와 하부에 연속적 또는 주기적으로 소량의 전기경사를 공급하게 되면 수두경사에 의해 발생된 침출수의 흐름방향이 반대로 되고 매립장 주변환경으로 유출되는 무기 및 유기오염물질의 이동이 억제될 수가 있다.

(2) 매립장 연직차수

상기에 언급한 매립장 수평차수 시스템과 동일한 개념으로 그림 6과 같이 매립장에 위싸고 있는 슬러리월에 동전기적 차수시스템을 도입하게 되면 침출수의 이동을 감소시킬 수가 있다.

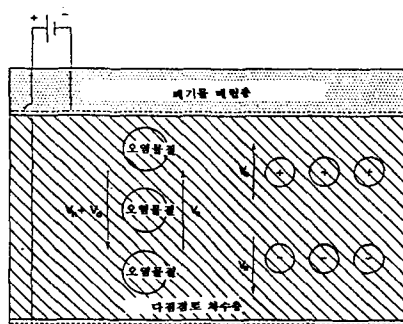


그림 5. 수평 동전기차수 시스템

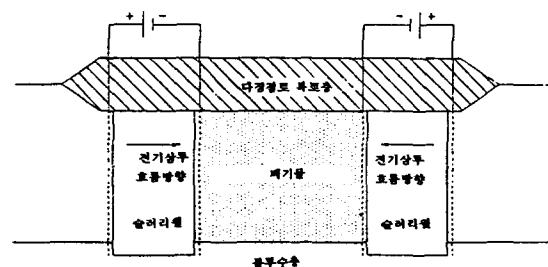


그림 6. 연직 동전기차수 시스템

(3) 지중내 오염물질 우회

그림 7에 제시된 바와 같이 지반내에 직류전류를 가하면 전기삼투와 전기이온이동 현상에 의하여 우회시키고자 하는 방향으로 오염물질을 우회시킬 수가 있다. 비록 이러한

기술의 타당성이 아직 실증적으로 입증되지는 않았지만, 지금까지의 동전기 지반처리 실내 모형실험결과 제공된 전기경사가 물과 오염물질의 유동량과 방향에 큰 역할을 한다는 사실로부터 본 시스템의 가능성이 높다고 볼 수 있다.

(4) 매립장 차수막 천공 보수

매립장의 차수재로 사용되는 HDPE 등의 차수막에 천공이 발생한 경우에 그림 8과 같은 시스템을 이용하여 천공부를 보수할 수가 있다. 그림에서와 같이 매립장내부에 음극을 그리고 외부에 양극을 설치하고 매립장내에 점토슬러리를 집어 넣게되면 전기영동 현상이 발생하게 되어 음전하를 띤 점토입자가 차수막 천공부분을 통하여 매립장 외부의 양극방향으로 흐르게 되므로 결국 천공부분 주위에 점토케익이 형성되어 시이트 천공부를 메우게 된다.

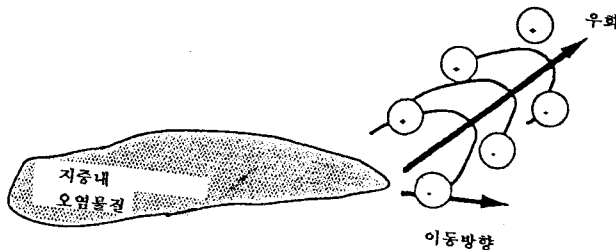


그림 7. 지중내 오염물질 우회

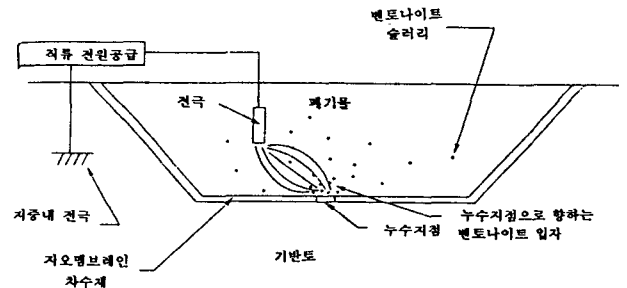


그림 8. 전기영동에 의한 차수막 천공 보수

5.2 동전기 정화기술

각 분야의 과학자 및 엔지니어는 다공질 매체내에서의 동전기적 유동작용 (electrokinetic flow processes)을 자기분야의 특성에 맞게 적용하려는 노력을 하고 있다. 다공질 매체내에 전기장이 가해지면 동전기적 작용력이 생기며 이로 인하여 유체, 전기, 용해성 및 불용성 화학물질, 그리고 콜로이드입자가 유동된다. 동전기적 유동작용의 적용성은 매우 다양한데, 지반공학, 환경공학, 생물학, 의학, 코팅산업, 세라믹산업, 고무산업 등에 적용될 수 있다.

지반공학분야에서의 동전기적 적용은 1939년 포화실트 및 점토지반 굴착시의 지반안정에 적용된 이래 최근에는 피사의 사탑을 안정화시키는데 적용되고 있다. 그리고 환경공학분야에서는 1936년 염분 용출에 적용된 이래 현재에는 오염물질제거, 슬러지농축, 정화제 지중주입, 침출수 차단 등 다방면에 걸쳐 적용되려는 노력이 진행되고 있다.

동전기적 정화방법은 지반내에 전극을 삽입하고 전류를 가하여 토체의 물리·화학적

그리고 수리학적 변화를 유도하고 전도현상을 유발하여 오염물질을 이동시켜 추출제거하는 것이다. 동전기적 정화방법(electrokinetic remediation)은 전기화학(electro chemical), 전기영동(electro phoresis), 전기삼투(electro osmosis), 전기음동(electro acoustic)등을 이용하여 지반내의 오염물질을 제거하는 공법이며, 미국, 네덜란드 및 영국 등지에서 활발한 연구가 수행되고 있다.

본 공법은 사질토지반 뿐만 아니라 점성토 지반에도 매우 효과적이며 현재까지의 연구결과에 의하면 중금속, 핵종, 페놀, TCE, 톨루엔 그리고 기타 유기 및 무기물질의 제거가 가능한 것으로 나타났다. 동전기 정화기술의 현장 적용 모식도를 살펴보면 그림 9와 같다.

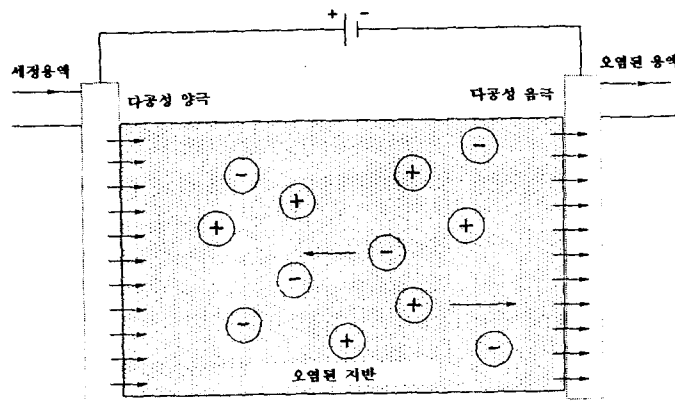


그림 9. 동전기 정화기술 모식도

6. 결론

본 고에서는 국내 사용종료 불량매립지에 의한 토양 및 지하수의 오염이 날로 심각해지고 이로 인하여 주변 생태계 및 자연이 파손됨에 따라 매립지에서 유출하는 오염물질의 차단 및 정화를 위한 몇가지 기술에 대하여 언급하였다. 따라서 현재까지 개발된 각종 오염 토양, 지하수 및 매립지의 복원 및 정화기술을 소개하였다. 그리고 현재 국내실정으로 볼때 실용성이 매우 높은 차단기술과 향후 적용성이 높을 것으로 예상되는 투수성 처리벽 및 동전기 정화기술에 대하여 소개하였다.

오염지역의 차단시설로는 불투수성 차단벽과 투수성 처리벽이 있으며 불투수성 차단재로는 슬러리월, 시이트파일, 그라우팅, 흙교반, 동결벽 등이 있고 투수성 처리재로는 석회, 조개껍질, 활성탄, 수지, 페타이어 등이 있는 것으로 나타났다. 동전기 정화기술은 매립장의 수평 및 연직차수, 지중내의 오염물질 우회, 차수막의 천공 보수, 토양내 오염물질 제거 등에 사용될 수 있어 적용성이 매우 다양한 것으로 나타났다. 국내에서는 아직도 사용종료 매립지의 안정화에 대한 연구 및 기술개발이 미흡한 상태이므로 국토의 환경보호 차원에서 앞으로 이에대한 투자 및 노력이 활성화되어야 할 것이다.