

동전기방법에 의한 지하수내 오염물질 제거

정하익

한국건설기술연구원 지반연구실

1. 서론

인구증가 및 산업발달로 인하여 부수적으로 발생하는 도시, 산업, 광산, 준설, 핵 등의 폐기물과 나날이 사용량이 증가되고 있는 화공약품, 유류, 농약 등과 같은 화학물질의 부적절한 취급과 처분으로 인하여 토양 및 지하수의 오염이 이루어지고 있다. 국내의 경우 현재 전국적으로 불량매립장이 약 855여개가 있는 것으로 조사되었으며 실제적으로는 천여개 이상되는 것으로 추정되고 있다. 휴.폐광산은 대략 2,000 여개 이상 되며 주변 하천이나 토양의 오염이 심각한 것으로 나타났다. 수백여개에 달하는 산업공단지역이나 인근지역은 카드뮴, 구리, 납, 아연 등의 중금속과 유류, 황화물의 오염이 심각한 상태에 있다. 자동차의 폭발적인 증가 및 주유소 거리제한 철폐로 인하여 주유소의 신설이 활발히 추진되고 있어 현재 국내 주유소의 갯수는 8,000여개를 상회하고 있다. 또한 지하유류비축기지, 산업기지, 비행장, 군수지역 등에서도 산업용, 농업용, 가정용으로 사용되는 유류의 저장 및 사용이 빈번하기 때문에 이에의한 오염 가능성이 매우 높다.

현재까지 발표된 오염 토양 및 지하수 정화기술에는 표면제어, 굴착제거, 격리, 토양 세척, 공기추출, 증기추출, 지중고결, 수압파쇄 등의 물리적 방법, 산화, 중화, 이온교환, 활성제 등의 화학적 방법, 양수처리, 활성제 세척 등의 물리·화학적 방법, 저온, 고온, 열분해 등의 열적방법, 그리고 호기성, 미생물 등의 생물학적 방법 및 전기삼투 등을 이용한 동전기적 방법등이 있다. 본 연구에서는 이중에서 동전기 정화기술을 이용하여 오염 토양 및 지하수내의 중금속 제거방안에 대한 연구를 수행하였다. 동전기 정화기술에 의한 오염 토양 및 지하수내의 중금속 제거효과를 살펴보기 위하여 실내 모형실험을 실시하였다.

2. 동전기 정화기술 개요

동전기 정화기술은 토양 및 지하수내에 공급된 전류에 의하여 유발되는 전기삼투, 전기이온이동 등의 동전기현상을 이용하여 토양 및 지하수내의 오염물질을 이동, 추출

시키는 것이다. 전기장이 습윤토양에 가해지게 되면, 토양 및 지하수내의 이온은 자신의 전하특성에 따라 이동하게 되는데, 즉 음이온은 양극으로 이동하고 반면에 양이온은 음극으로 이동한다. 그리고 토양내의 지하수는 전기삼투에 의하여 음극으로 이동하게 되며 이때에 토양에 흡착되거나 간극수에 존재하고 있는 오염물질도 동시에 이동하게 된다. 이와같은 오염물질의 이동메카니즘에는 다음과 같은 것이 있다.

- 전기삼투흐름에 의한 간극수 이류
- 외적으로 제공 또는 내적으로 생성된 수리포텐셜차에 의한 간극수 이류
- 농도경사에 의한 확산
- 전기경사에 의한 이온이동

3. 동전기 정화실험

본 연구에 사용된 동전기적정화 모형실험장치는 셀, 전극, 전원장치로 구성하였다. 셀은 원통관으로 재질은 부식 및 내화학성이 강한 플렉시유리로 하였으며 규격은 직경 10 cm, 길이 10 cm, 체적 785 cm³으로하였다. 셀의 양단에는 체적이 300 cm³인 전극조를 부착하였으며 여기에는 유입수 및 유출수의 유동을 위한 공간과 밸브구멍 그리고 가스의 방출을 위한 밸브구멍을 설치하였다. 전원공급기로는 Hewlett Packard사의 전원공급기를 사용하였다. 실험대상 오염물질로는 중금속으로 하였으며 이중에서도 국내뿐만 아니라 전세계적으로 토양오염도가 크고 환경적인 측면에서 위해성이 매우 큰 납을 선정하였다.

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 유입수 및 유출수의 pH

동전기정화 실험셀에 전기를 가하게되면 전기분해에 의하여 양극에서는 산화반응이 발생하여 산소가스와 H⁺가 생성하게 되고, 반면에 음극에서는 환원반응이 발생하여 수소가스와 OH⁻가 생성하게 된다. 따라서 양극은 pH가 저하하게 되고 음극은 pH가 증가하게 된다.

가동기간에 따른 양극부의 유입수와 음극부의 유출수의 pH 변화를 살펴보면 그림 1에 도시한 바와 같다. 본 그림은 가동기간이 5일 및 15일에 대한 결과로서 횡좌표는 동전기 정화작업 경과시간이고 종좌표는 동전기 정화작업에 따른 pH변화를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 대체적으로 양극의 유입수에서는 pH가 2 정도로 저하하고, 반면

에 음극의 유출수에서는 pH가 12~13정도로 증가하는 것을 알 수 있다. 유입수와 유출수의 pH 변화는 동전기정화 진행초기 수시간안에 대부분 발생하며 그이후에는 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 따라서 동전기 정화작업에 따른 토양 및 지하수의 pH 변화는 동전기 작업진행 초기단계에 대부분 발생함을 알 수 있다.

4.2 전기포텐셜

본 실험에 적용된 일정전류조건하에서 가동기간경과에 따른 동전기 셀내를 통과하는 전기포텐셜의 변화를 그림 2에 도시하였다. 그림에서 보는 바와같이 가동기간경과에 따라 전기포텐셜은 증가하는 것을 알 수 있다. 공급되는 전류는 동전기 정화실험중에는 항상 일정한 정전류상태이기 때문에 전압이 증가함에 따라 저항도 증가하게 된다.

이와같이 가동기간에 따라 전기포텐셜이 증가하는 것은 음극부의 염기성화에 의하여 납이 수산화침전을 일으켜 이온강도가 저감되고 간극체적이 감소하여 토양내에 저항이 증가하였기 때문으로 판단된다. 그리고 동전기 정화작업 초기에 전기포텐셜이 미소하게 유지되고 일정한 가동기간이후에 전기포텐셜이 서서히 또는 급격하게 증가하는 것은 납 수산화물이 동전기 정화작업 초기에는 별로 생성되지 않다가 일정한 기간이후에 서서히 또는 급격하게 생성되기 때문으로 보인다.

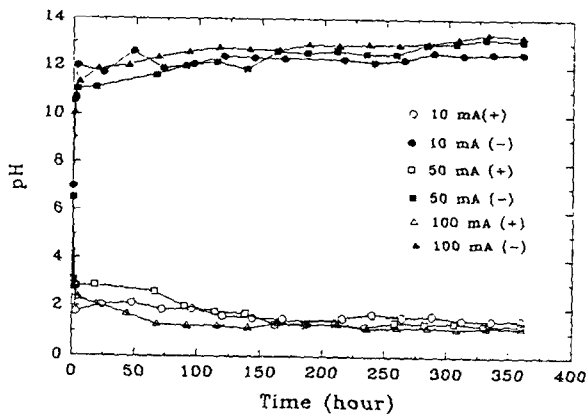


그림 1 유입수 및 유출수의 pH변화

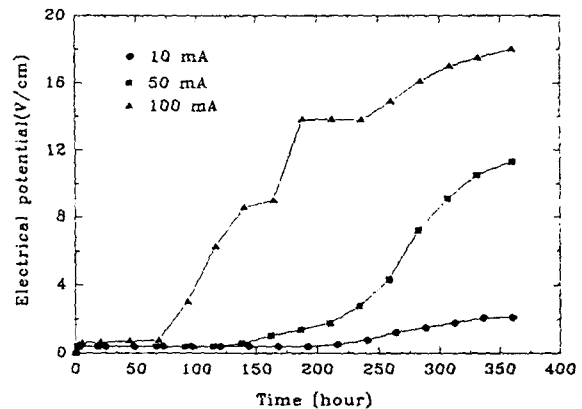


그림 2 전기포텐셜 분포

4.3 유출수량

동전기 정화셀에 전기를 가하게 되면 전기삼투현상에 의하여 물이 토체를 통과하여 양극에서 음극으로 유출하게 된다. 동전기 정화작업에 따른 유출수량의 변화를 그림 3에 도시하였으며 그림에서 보는 바와 같이 동전기 작업기간 40시간 이내에는 유출수량

이 거의 없고 그 이후에는 급격하게 증가하여 200시간 경과후에는 약 95 ml이며 360시간 경과후에는 약 120 ml으로 나타났다.

이와같이 전류가 공급된 초기 수시간 이내에서는 측정할 수 있는 유량이 발생되지 않았으며 그이후에 시간경과에 따라 비선형적으로 증가하였다. 그리고 시간경과에 따른 유출수량의 증가율은 일정한 시간경과 이후에는 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 사실로부터 전기삼투에 의한 유출수량은 일정하지 않으며 시간경과에 따라 변화됨을 알 수 있다. 그리고 동전기 정화작업 초기에 유출수량이 발생하지 않는 것은 토체에 전기를 가한 일정한 시간 이후에 전기삼투현상에 의한 유체의 흐름이 발생하기 때문으로 보인다.

4.4 중금속 제거효과

동전기 정화작업에 의한 토양 및 지하수내 오염물질 제거효과를 살펴보기 위하여 동전기 정화실험을 완료한후에 실험시료를 10개의 절편으로 절단하여 각 절편에 대한 오염물질의 잔류농도를 분석하였다. 농도분석을 실시한후에 각 절편별로 초기농도와 최종농도와의 비율을 구하여 상호 비교분석하였다.

동전기정화에 의한 납성분의 제거효율을 살펴보면 그림 4에 도시한 바와 같다. 그림에서 보는바와 같이 납성분이 90%정도 제거되었음을 알 수 있다. 동전기 정화작업에 의하여 시료내의 납성분은 양극에서 음극방향으로 이동되어 음극의 전해조내로 완전히 방출제거되었다. 이와 같이 오염물질이 양극에서 음극으로 이동하는 것은 전기삼투에 의한 이류작용, 전기경사에 의한 이온이동 및 이온농도에 의한 확산현상 때문이다.

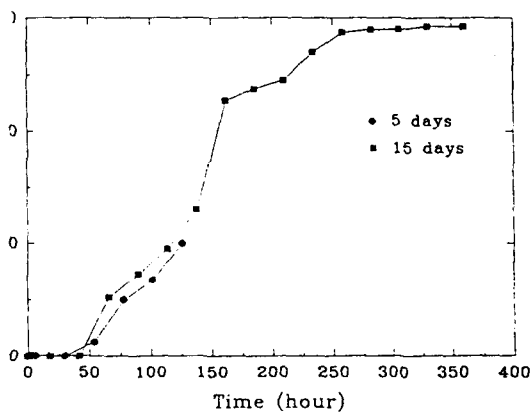


그림 3 유출수량 변화

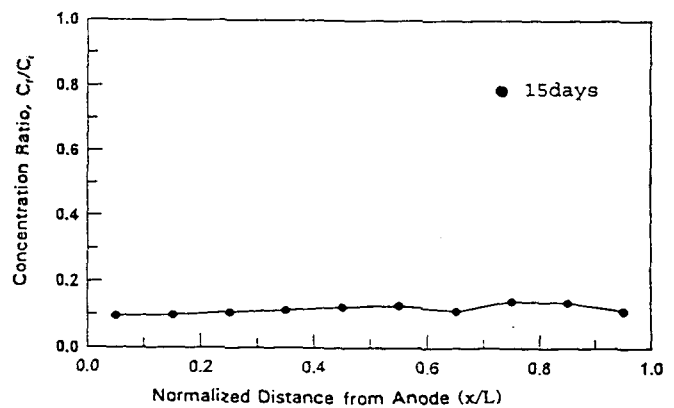


그림 4. 오염물질 제거효과

5. 결론

본 연구에서는 국내 토양 및 지하수의 오염이 날로 심각해 지고 이로 인하여 주변 생태계 및 자연이 파손됨에 따라 이를 복구하기 위한 한가지 방안을 제시하기 위하여 동전기정화기술의 적용가능성을 분석하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

기존에 보편적으로 사용되고 있는 오염물질 제거기술인 토양세척, 증기추출, 스팀제거, 미생물정화 공법등은 투수성이 어느정도 확보된 사질토에 적용성이 높으나 본 연구에서 개발 발전시킨 동전기 정화공법은 사질토 뿐만아니라 투수성이 낮은 점성토에도 효과적으로 적용될 수 있는 것으로 나타났다. 전기분해에 의하여 양극에서는 산전선이 발생하고 음극에서는 염기전선이 발생하며 전기삼투현상에 의하여 산전선은 시료를 가로질러 음극으로 이동하고 토양내의 pH 변화 및 오염물질제거에 영향을 미친다. 동전기 정화작업시 토양내의 중금속은 양극에서 음극으로 이동되며 오염물질의 이동메카니즘에는 전기에 의한 이온이동, 이온물질의 농도에 의한 확산 및 전기삼투에 의한 이류 등이 관계되는 것으로 나타났다. 동전기정화 실내모형실험에 의하여 토양 및 간극수내의 납 성분이 90% 이상 제거되었으며 이로부터 동전기정화기법은 토양 및 지하수내의 중금속 제거에 효과적인 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 도시폐기물 매립장의 건설부지 활용과 위생매립시스템에 관한 연구, 전기연 92-GE-112, 274p., 1992.
2. 정하익, 분별기법과 동전기공법에 의한 오염지반 정화방안, 한국건설기술연구원, 건설기술정보, 통권 108호, pp.33~34, 1992.
3. 정하익, 오염지반 및 지하수의 정화기술에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 건설기술정보, 통권 133호, pp.22~26, 1994.
4. 정하익, 이용수 등, 오염지반 및 지하수 정화기술에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 전기연 94-GE-113-1, 215p., 1995.
5. Acar, Y. B., "Principles of electrokinetic remediation", Environmental science and technology, 29p., 1993.
6. James K. Mitchell, "Fundamentals of soil behavior", Second Edition, John wiley & Sons, Inc. 437p., 1993.
7. US EPA, "Demonstration of remediation technologies for contaminated land and

groundwater", EPA-600-R-93-012a, 1993.

3. US EPA, "Handbook : Remedial action at waste disposal sites", EPA-625-6-85-006, pp. 1.1~11.32, 1985.