

동전기 정화 처리 효율 향상과 후처리 겸용 전극부(EPE) 개발

김강호, 한상재*, 김수삼**

지구환경전문가그룹(positive@orgio.net)

* 한양대학교 공학기술연구소(herp@orgio.net)

** 한양대학교 토목환경공학과 교수(kimss@hanyang.ac.kr)

요 약 문

In this study, to increase removal efficiency of traditional electrokinetic treatment and to reduce contaminant load of wastewater that discharged through cathode compartment, enhanced electrode compartments were investigated. Hydroxide precipitation near the cathode electrode that encounter during traditional electrokinetic treatment were prevented by enhanced electrokinetic remediation test with newly invented electrode compartment. And heavy metal concentration in wastewater showed 0 ppm thus, additive post-treatment cost were not needed.

key words : heavy metal, electrokinetic remediation, gypsum tex, post-treatment, oyster shell

1. 서론

지반의 전기화학적 특성을 이용한 동전기 정화 처리가 최근 저투수성 세립질 지반의 효율적인 원위치 지반 정화 기술로 대두되고 있다.

기존의 동전기 지반 정화 처리를 위한 전극부는 향상기법을 적용하기 위한 시스템이 복잡하고, 각각의 향상기법에 따라 시스템을 달리 설계해야 하는 단점이 있다. 예를 들어 음극(-) 전극부에서 유출수의 중금속을 흡착하여 부하량을 감소시키기 위해 주로 사용하는 이온 교환막 및 수지의 경우, 성능 유지를 위한 pH와 전류 조절이 필요하여(Bibler, 1993) 시스템이 복잡해지고, 산 및 EDTA, 계면활성제 등을 이용한 향상기법(Hitchens, 2001)은 지반의 이물질 주입에 따른 2차 오염 및 회수 등의 문제와 고비용으로 현장 적용성이 제한되고 있다. 이에 본 연구에서 개발한 전극부는 시스템을 단순화하여 향상기법 적용 시 유지·관리를 용이하게 하였고, 이물질 주입에 따른 2차 오염 문제 등의 문제점을 해결하였다. 또한, 최근 환경문제로 대두되고 있는 폐기물을 채움재로 재활용하고자 하였다.

2. 실험

실내 실험에서는 개발한 전극부의 적용성을 평가하기 위해 전통적인 동전기 정화 처리와 개발된 전극부를 이용한 향상된 동전기 정화 처리를 비교하여 정화효율을 비교하였다. 사용한 시험기는 <그림 1>과 같이 시료를 담고 있는 박스형 토조와 일정한 수위를 유지하기 위한 물공급탱크, 전기삼투 유량을 측정하기 위한 집수병, 전원공급장치, 전극부 등으로 구성되어 있고, 전극부의 구성은 <그림 2>와 같다. 대상 시료는 자연토를 자갈과 같이 굵은 입자에 의한 실험적 영향을 최소화하기 위해 2mm 체에 체가름하여 사용하였고, KS F에 의한 기본 물성치와 화학 성분은 표 1과 2에 제시되어 있다.

표 1 대상 시료의 기본 물성치

	특 성		특 성	
흙의 분류	ML	액성한계 (LL)	35.6 %	
비중	2.65	소성한계 (PL)	26.94 %	
초기 pH	5.98	소성지수 (PI)	8.66	

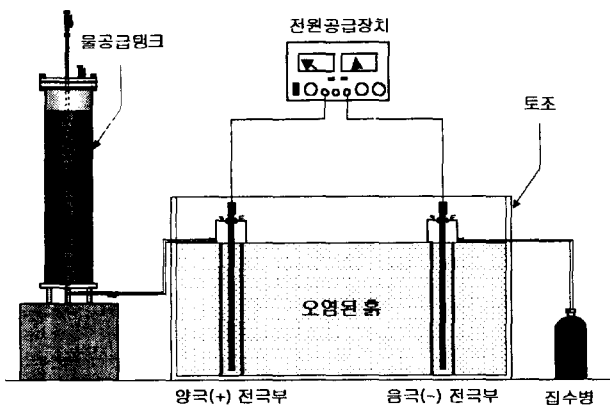
대상 오염물은 「토양환경보전법」에서 유해 물질로 규정하고 있는 중금속 중 토립자와의 흡착능이 큰 납을 사용하였고, 초기 오염농도는 「토양환경보전법」에서 가지역(전, 답, 과수원, 목장용지, 임야, 학교용) 오염물 기준 농도로 설정하는 대책기준 400mg/kg 이상인 650.49와 691.5 mg/kg으로 설정하였다. 향상된 동전기 정화 실험을 위해 사용된 전극부 중, 양극(+) 전극부는 전기화학적 산화반응에 의해 부식되는 전극의 용이한 교환을 위해 원터치 방식의 전극재 고정장치를 설치하였고, 음극(-) 전극부는 탄산염이 주성분인 굴패각과 황(S)과 철(Fe)를 함유하고 있는 석고텍스를 중량비로 5:5로 혼합한 재료를 채웠다. 굴패각은 서해안에서 채취하여 수돗물에 세척하여 사용하였고, 건축자재용 석고텍스는 분쇄하여 2mm 체에 체가름하여 사용하였고, 화학 성분은 표 2와 같다.

표 2 각재료의 화학성분

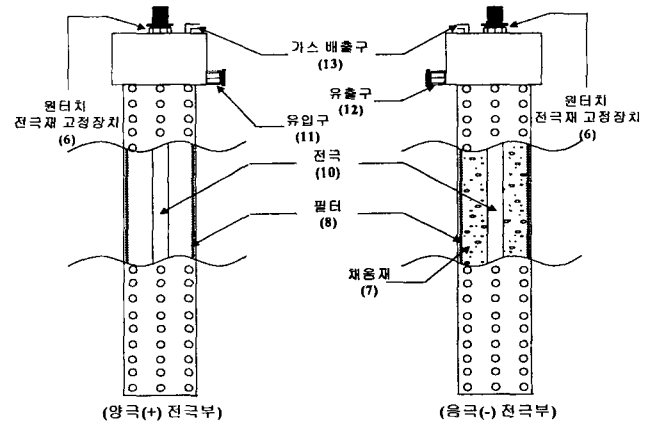
	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MnO (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	전체량 (%)
자연토	61.33	18.47	0.85	6.07	1.32	0.83	1.36	3.29	0.10	0.17	6.58	100.37
굴패각	0.67	0.13	-	0.34	0.79	52.98	1.23	0.08	-	0.14	44.53	100.89
석고텍스	10.42	1.34	0.18	1.60	3.65	32.28	0.05	0.49	0.05	0.20	28.2	78.55

표 3 동전기 정화 실험 조건

	오염물	초기 오염농도(mg/kg)	가동기간 (일)	전압 (V)	시료
전통적인 동전기 정화 실험	납	650.49	60	45	자연토
개발된 전극부를 이용한 동전기 정화 실험	납	691.5	60	45	자연토



<그림 1> 동전기 정화 시험기 구성도



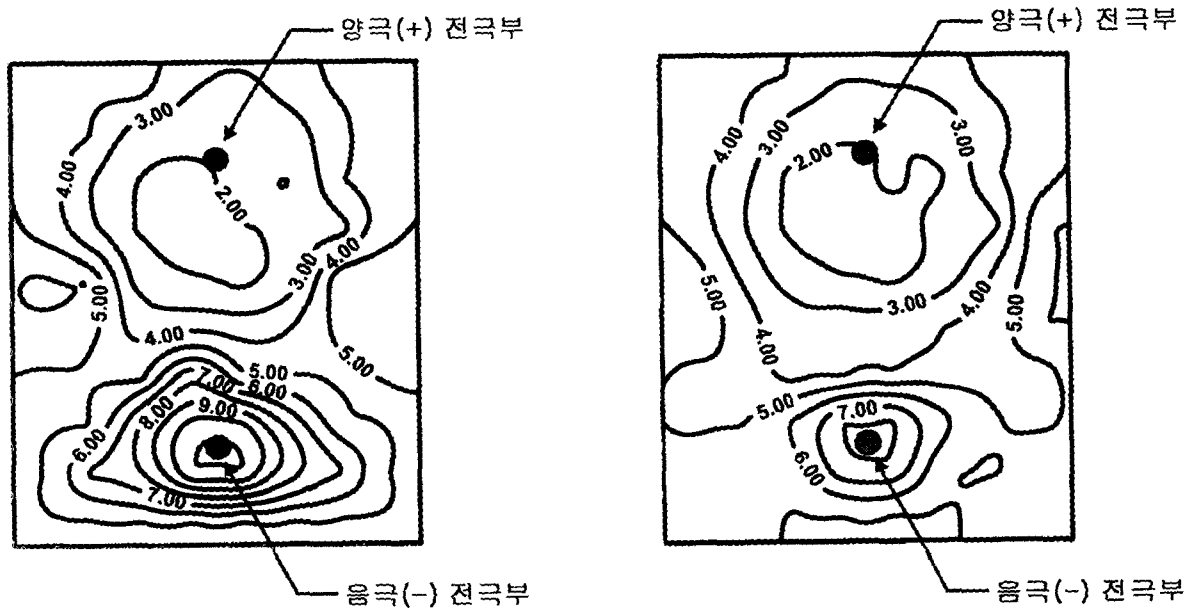
<그림 2> 전극부 단면도

실험 중 전압 분포와 전기삼투 유량을 측정하였고, 실험이 종료된 후 시료를 5cm 간격으로 나누어 각 부분의 pH 변화와 납농도를 분석하였다. 시료농도는 토양오염공정시험법의 전처리를 통해 채취한 용액을 ICP-AES(Jovon Yvon JY-24)를 이용하여 분석하였다.

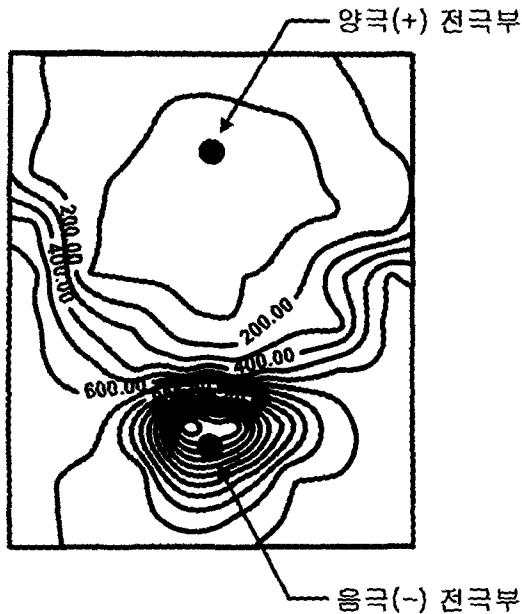
3. 실험 결과 및 고찰

<그림 3>는 전통적인 동전기 정화 실험이 종료된 후, 시료 내 pH 분포를 나타낸 것이다. 양극(+) 전극부 근처에서는 pH 2-3로 산성화되었고, 음극(-) 전극부 근처에서는 pH 10-11로 염기화되었다. 이는 전기분해에 의해 발생하는 H⁺, OH⁻ 이온의 영향으로 판단된다. 그러나, 향상된 동전기 정화 실험이 종료된 후에는 <그림 4>에 나타낸 것처럼 음극(-) 전극부 근처에서 pH 7-8로 강염기 현상을 보이지 않았는데, 이는 채움계의 석고텍스 성분인 S(황)과 Fe(철)에 의한 반응으로 생성된 H₂SO₄(Evangelou, 1998)에 의한 것으로 판단된다.

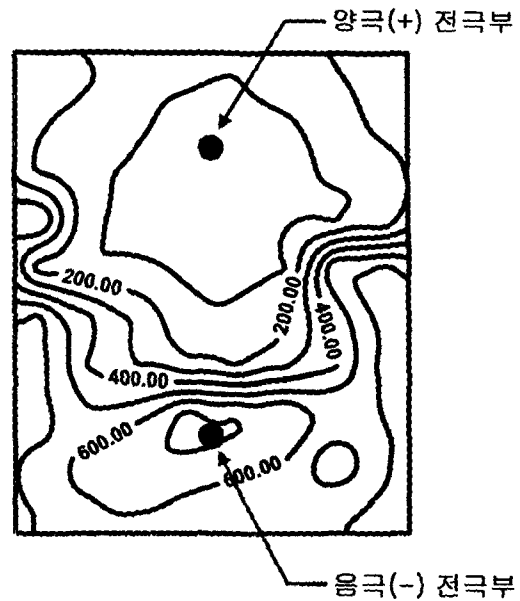
<그림 5>는 전통적인 동전기 실험이 종료된 후, 시료 내 납농도 분포를 나타낸 것이다. 양극(+) 근처에서는 전기분해에 의해 발생하는 H⁺ 이온의 영향으로 토립자 표면에 흡착된 중금속이 탈착되어 정전기적 인력에 의한 전기이온이동과 전기삼투에 의한 이류, 분산 등에 의해 제거된 것을 알 수 있다. 또한, 음극(-) 전극부 근처에서는 전기분해에 의한 발생되는 OH⁻ 이온의 영향으로 이동중인 중금속이 수산화 침전되어 누적된 것을 알 수 있다. 그러나, 향상된 동전기 정화 실험에서는 <그림 6>와 같이 음극(-) 전극부 근처에서 누적현상을 보이지 않았다. 이는 <그림 4>에 나타낸 pH와 같이 음극(-) 전극부에서 전기분해에 의해 발생하는 OH⁻ 이온을 시료 내에 유입되는 것을 억제하였기 때문이다. 따라서, 본 발명에서 개발한 전극부에 의해 음극(-) 전극부 근처에서 누적되어 정화효율이 감소하는 것을 방지할 수 있었다. 또한, 향상된 동전기 정화 실험에서는 전기삼투에 의해 발생하는 유출수의 납농도는 0ppm으로 분석기기의 검출한계 미만으로 검출되지 않았는데, 이는 굴패각과 폐석고텍스의 탄산염과 수산화물의 형성과 굴패각의 세공 내에서의 침전 작용과 중금속 이온에 의한 Ca 이온과의 치환에 의한 이온교환작용 등(김문평 외, 1997)에 의해 전극부에서 대부분의 중금속 이온들이 흡착되었기 때문이다. 따라서, 폐수의 방류나 재활용 시 별도의 폐수처리를 거치지 않고 사용할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 3> 전통적인 동전기 정화 실험이 종료된 후, 시료 내의 pH 분포
 <그림 4> 향상된 동전기 정화 실험이 종료된 후, 시료 내의 pH 분포



<그림 5> 전통적인 동전기 정화 실험이 종료된 후, 시료 내의 염농도 분포



<그림 6> 향상된 동전기 정화 실험이 종료된 후, 시료 내의 염농도 분포

4. 결론

중금속으로 오염된 지반의 동전기 정화 처리 시 음극(-) 전극부에 염기 완충능을 나타내는 황(S)이나 철(Fe) 등을 함유한 재료를 채움재로 이용하여 음극(-)에서 전기분해에 의해 발생하는 OH⁻ 이온의 시료 내 유입을 억제하여 수산화 침전으로 인한 정화 효율 감소를 방지하였고, 중금속 흡착능이 뛰어난 탄산염이 주성분인 재료인 폐석고텍스와 굴패각 혼합 폐기물을 음극(-) 전극부의 채움재로 활용하여 전기삼투에 의해 유출되는 폐수의 오염농도를 감소시켰다.

5. 참고문헌

1. 김문평, 한종대, "굴껍질을 복토재로 활용하기 위한 중금속과 유기물의 흡착능에 관한 연구", 대한환경공학 회지, Vol. 19, No. 1, pp. 97-110, 1997.
2. Bibler, J. P., "Method and apparatus for removing ions from soil", US Patent, US5190628, 1993.
3. Hitchens, G. D., "Management of soil conditions and electroosmotic flow in electrokinetic remediation", US Patent, US6193867, 2001
4. Evangelou, V. P., "Environmental soil and water chemistry", John Wiley & Sons, Inc., p. 262, 1998.