

광미를 이용한 납 오염토양의 향상된 Electrokinetic 정화

조용실, 김정환, 한상재*, 김수삼**

중앙대학교 토목공학과 (nicecys@orgio.net)

* 한양대학교 공학기술연구소(herp@orgio.net)

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

요 약 문

In this study, mine tailing buffer zone in cathode was used to overcome precipitation of heavy metals that reducing remediation efficiency during electrokinetic remediation. Test results showed that heavy metal transportation affected by initial soil pH which was verified through traditional test and enhanced test with two type of soils. With mine tailing enhanced method 39% of extraction rate was achieved in surface soil and significant transportation trend was observed in deep soil.

key words : electrokinetic remediation, soil contamination, mine tailing, buffer zone

1. 서론

Segall et al. (1980)이 이온의 EK 이동 현상을 이용하여 오염된 준설토로부터 오염물을 제거할 수 있는 가능성을 제시한 이후에 이후 많은 연구자들에 의해서 오염된 지반으로부터 중금속을 제거하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔다(Lageman et al. 1989; Hamed et al. 1991, Acar et al. 1992; Li et al. 1996; Rødsand and Acar. 1995; Alshawabkeh et al. 1999; Chung and Kang 1999; Han 2000). EK 기법을 이용하여 원위치(In-Situ)에서 세립토를 정화할 수 있는 장점과 많은 연구에도 불구하고 EK 정화가 개발단계로 분류되는 이유는 여러 가지 원인이 있는데 그 중에서도 중금속의 EK 정화에 있어서 문제가 되는 점은 전기분해에 의한 음극부에서의 높은 pH 발현으로 인한 침전문제 때문이다.

현재까지 EK 현상을 이용한 지반 정화 시 발생하는 침전문제를 극복하기 위한 여러 향상 기법들이 제안되어 왔다. 그러나 여전히 침전문제는 시스템의 효율을 저하시켜 정화비용을 증가시키는 요인으로 완벽한 해결책은 아직 제시되고 있지는 않다. 따라서 기존의 EK 정화의 한계성을 극복하기 위한 대안이 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 중금속으로 오염된 지반을 EK를 이용하여 정화할 시 음극의 전기분해 반응에 의하여 발생하는 음극부 근처에서의 염기성 조건에 의한 중금속 침전의 문제를 해결하기 위한 방안으로 광석의 선광 후 발생하는 광미를 이용하여 납으로 오염된 토양의 EK 정화효율을 향상시키고자 한다.

2. 실험

본 연구에서는 경기도 안산시 인근 공사현장에서 채취한 표토(0.3m)와 심토(5m)시료를 직사광선이 닿지 않는 곳에서 통풍이 잘되게 헤쳐놓고 풍건시킨 다음 고무망치로 분쇄

하여 0.425mm(#40)체를 통과한 시료를 압밀하여 액성한계 근처의 함수비를 갖도록 재조성하여 사용하였다. 또한 향상제로 본 실험에 사용한 광미는 강원도 삼척시 직내골(삼척시 가곡면 풍곡리 산 128번지 일대)에 위치한 제2연화광업소 광미 침전지에서 채취하였는데 현재 약 3,000천m³의 광미와 광재가 적치되어 있다(현근우 등, 2000). 채취한 광미를 직사광선이 닿지 않는 곳에서 통풍이 잘되게 헤쳐놓고 풍건시킨 다음 고무망치로 분쇄하여 0.425mm (#40) 체를 통과한 시료를 사용하였다.

시료의 화학적 구성과 공학적 특성을 각각 Table 2.1과 2.2에 정리하였다. 실험 조건은 Table 2.3에 나타내었으며 EK 실험장치의 구성을 Fig. 2.1에 나타내었는데 EK 정화실험기는 크게 정화셀, 전원공급장치, 계측장치, 기타 부속장치로 분류할 수 있다. 실험장치는 EK 정화 실험셀과 유출수를 측정하는 메스실린더, 전원공급장치, 양극부의 일정수위를 유지하기 위한 Mariotte bottle 그리고 전압과 전류의 측정장치로 구성되어 있다. 정화셀은 시료셀과 향상기법으로 완충제를 설치할 수 있는 완충셀, 흑연판을 부착한 전극부, 실험동안 시료내의 전압을 측정하기 위한 전압측정 포트가 구성되어 있다.

실험 중 전압 분포와 전류밀도의 변화, 전기삼투 유량을 측정하였고, 실험이 종료된 후 시료를 10등분하여 각 section의 pH와 납농도를 분석하였다. 납농도는 토양오염공정시험법의 전처리를 통해 채취한 용액을 AAS (Varian spectrAA 220)을 이용하여 분석하였다.

Table 2.1 Chemical Composition of natural soil, mine tailing and MSWIF

Chemical Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Total
Natural soil (0.3 m)	61.33	18.47	6.07	1.32	0.83	1.32	3.29	1.36	0.10	0.17	6.58	100.37
Natural soil (5 m)	63.65	17.35	5.40	0.73	0.87	1.21	3.64	0.82	0.10	0.14	6.66	100.57
Mine tailing	31.91	3.32	23.65	0.35	12.50	1.12	1.32	-	2.22	0.11	9.74	86.25

Table 2.2 Index Properties of natural soil.

Index Properties	Gs	Liquid limit	Plastic limit	% passing No.200 sieve	USCS	pH
Mine tailing	3.40	16.4	-	41.6	SM	7.40
Natural soil 1 (0.3m)	2.65	35.6	25	19.9	SC	5.98
Natural soil 2 (5m)	2.66	36.7	26.9	17.5	SC	7.95

Table 2.3 Test conditions for electrokinetic test.

Code	Material	Contaminant	Duration (days)	Enhancement method	Applied voltage (V)
Traditional test	NS-TS	Natural soil1	12	-	35
	NS-TD	Natural soil2	12	-	
Enhanced extraction test	NS-SME	Natural soil1	12	2cm of mine tailing buffer zone	
	NS-DME	Natural soil2	24		

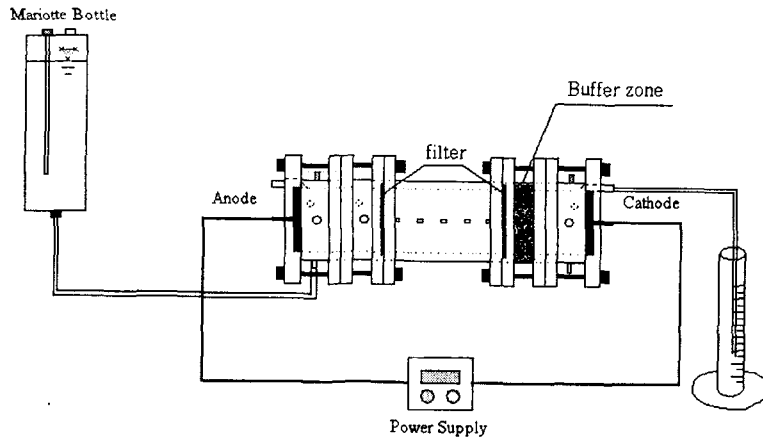


Fig. 2.1 Experimental set up of EK remediation.

3. 실험 결과 및 고찰

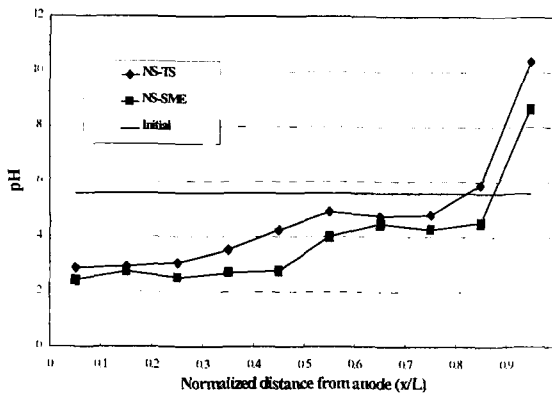


Fig. 3.1 pH variation in soil after NS-TS and NS-SME test

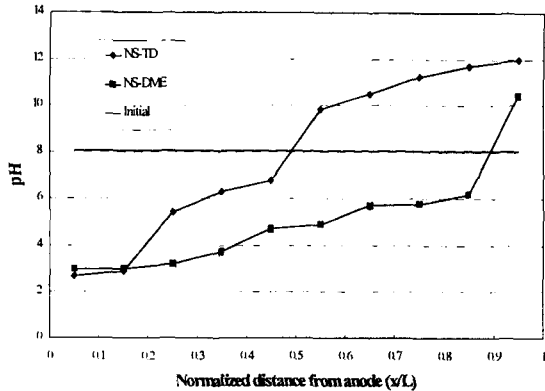


Fig. 3.2 pH variation in soil after NS-TD and NS-DME test

Fig. 3.1은 초기 pH가 5.56인 표토를 대상으로 한 정화 실험에서의 실험종료 후 시료내의 pH 분포를 나타낸 것이다. H^+ 이온의 이동속도가 OH^- 이온의 이동속도보다 1.76배 빠르기 때문에(Acar and Alshwabkeh 1993) 시료의 양극으로부터 정규화한 거리 0.8~0.9지점까지 초기 pH보다 저하되었음을 알 수 있다. Fig. 3.1에서 일반적인 EK 기법을 적용한 NS-TS에 비해 향상기법으로 광미완충영역을 설치한 NS-SME 실험에서 pH가 더욱 저하된 것을 알 수 있다. 이러한 pH 저하의 원인은 광미의 비교적 큰 염기 완충능에 의해 OH^- 이온의 이동이 지체되고, 광미에 함유되어 있는 황성분이 양극(+)방향으로 전기적으로 이동하였기 때문인 것으로 사료된다. 광미에 의한 황성분의 용출은 황철석(pyrite)이 산소와 물과 접촉을 경우 발생하는 반응에서 의해 발생한다(Evangelou et. 1998).

초기 pH가 8.07로 표토의 pH보다 높은 심토를 대상으로 한 실험인 NS-TD와 NS-DME 실험의 경우 양극으로부터 정규화한 거리 0.2 지점까지는 유사한 pH 저하를 나타내었다. 그러나, Fig. 3.2의 NS-TD의 pH 분포는 Fig. 3.1에 나타낸 NS-TS의 경우보다 높은 분포를 나타내었으며, 전반적으로 양극으로부터 정규화한 거리 약 0.5지점까지만 pH가 초기 pH보다 낮아진 경향을 나타내었다. 24일동안 운전한 NS-DME에서는 양극으로부터 정규화한 거리 약 0.9지

점까지 산성화가 진행되었지만 12일 동안 운전한 NS-SME의 경우보다 운전시간을 증대시켰음에도 불구하고 산성화 정도가 작았다. 따라서, Fig. 3.1과 Fig. 3.2의 결과로부터 EK를 이용한 중금속의 정화 시 초기 pH의 영향이 큼을 알 수 있다.

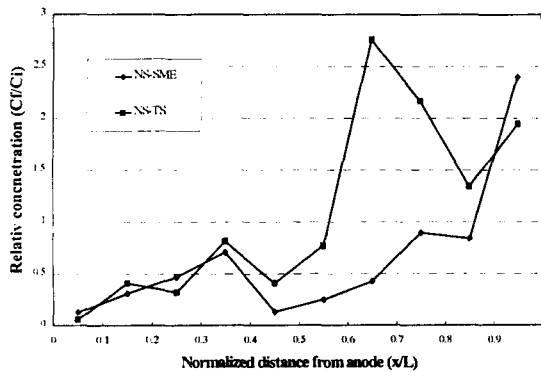


Fig. 3.3 Relative residual lead distribution in soil after NS-TS and NS-SME test.

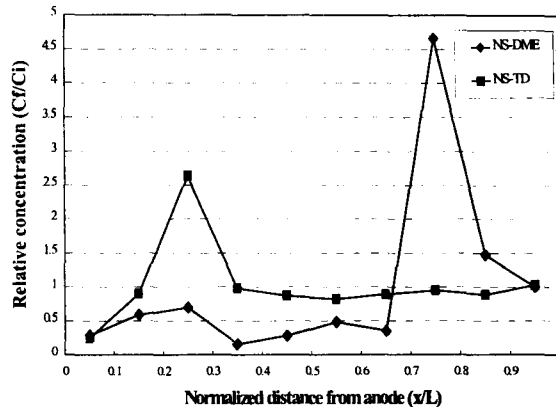


Fig. 3.4 Relative residual lead distribution in soil after NS-TD and NS-DME test.

Fig. 3.3은 NS-TS와 NS-SME의 실험 종료 후 시료내에 잔존하는 납의 상대농도를 나타낸 것이다. 시료밖으로 추출된 납의 양은 NS-TS의 경우 0%인 것에 비해 NS-SME의 경우 39%이었다. 또한 NS-SME는 음극부에 인접한 부분으로 축적되어 이후 제거가 더욱 용이함을 알 수 있다. 비향상실험과 향상실험과에서의 납농도분포를 상대농도로 표시하여 Fig. 3.4에 나타내었다. Fig. 3.4에서 볼 수 있듯이 비향상실험에 비해 향상실험에서 EK에 의한 이동현상을 명확히 볼 수 있다. 그러나 향상실험의 경우에도 시료밖으로의 추출률은 0%로서 EK에 의한 추출에는 상당히 오랜기간이 소요될 것으로 판단된다.

4. 결론

납으로 오염된 EK 정화 시 발생하는 침전문제를 광미완충영역을 이용하여 pH를 효과적으로 저하시킴으로써 효과적으로 납을 추출하고 이동시킬 수 있었다. 또한 초기 pH가 납의 이동특성에 크게 영향을 미쳐 정화기간에 영향을 미침을 알 수 있었다. 본 연구를 통하여 폐기물로 처분되는 광미를 이용하여 중금속 오염토양을 정화할 수 있는 가능성을 제시하였는바 광미 자체의 전기화학적 특성에 관한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

5. 참고문헌

1. 현근우, 방명렬, 박정희, 임병찬, 은주영, 김영진, 최규열, 정의호 (2000). "금속광산 인근지역의 중금속 분포 특성(I) - 삼척시 매곡지역을 중심으로." 강원도 보건환경연구원보, 제11권, 163-179.
2. Acar, Y. B. and Alshawabkeh, A. N. (1993). "Principles of Electrokinetic Remediation." *Environmental Science and Technology*, Vol. 27, No. 13, 2638-2647.
3. Evangelou, V. P., Mcdonald, L. M., and Seta, A. K. (1998). "Acid mine drainage." In R. A. Meyers (Ed.). *Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation* : Volume 1, John Wiley & Sons, Inc.