

통전기 기법과 Zeolite를 이용한 중금속 오염토의 고정화에 관한 연구

김종윤, 김기년, 김병일, 김수삼

한양대학교 토목환경공학과 (danykim90@jhanyang.ac.kr)

<요약문>

This study applied EK method to remediate contaminated soil by heavy metal(Pb), tried to increase the efficiency of remediation using zeolite as enhanced EK remediation method to overcome the limit of traditional EK remediation method. Adsorption tests on Pb were conducted to apply the EK extraction and test conditions which contained the electrode reversal, operating time were established. After tests, lead-ions were transported into the specific position of zeolite by EK phenomena, then the immobilization of lead-ions at zeolite was developed. Based on these tests, the efficiency of remediation is different with its test conditions. In addition, the efficiency of remediation was improved dramatically by adding zeolite without electrode reversal and satisfied TCLP regulation of EPA in USA through the whole sample range. Finally, absorption and immobilization capacity of zeolite were proved its excellence and confirmed the possibility of application as enhanced EK remediation method.

key word : EK method, remediation, zeolite, immobilization, electrode reversal, TCLP

1. 서론

고전적인 EK 정화 기법에서는 EK과정 동안 가수분해 및 음극부의 염기화에 의하여 중금속의 제거 및 침전현상이 발생하게 되고, 침전으로 인하여 중금속의 이동이 방해를 받아서 그 만큼 제거 효율이 저하하게 된다. 따라서 이를 개선하고 중금속의 제거 효율을 극대화하기 위하여 향상기법이 필요한데, 현재 zeolite를 이용한 현장에서의 중금속의 고정화가 비용적인 측면이나 환경적인 측면에서 효율적인 정화 기술의 대안으로 여겨지고 있다.

본 논문에서는 금속 침전물을 생성하는 현상을 미연에 방지하고 중금속을 고정화시키기 위해 zeolite를 이용하는 실험을 수행하였고, 전극 교환 기법과 zeolite 설치위치를 변경하면서 가장 효율적인 설치 위치를 찾아보고자 하였다. 또한 zeolite의 중금속에 대한 흡착능과 고정화 효율을 비교, 분석하여 EK 향상기법으로서의 적용성을 판단하였다.

2. 실험

2.1. 사용시료 및 오염물질

본 실험에서 사용된 시료는 실내시험에서 균질성을 확보할 수 있으며, 비활성 점토로 함수비 변화에 안정적인 EPK 카올린이다. EPK 카올린에 대한 기본 물성은 Table 1에 제시되어 있다. 또한 향상기법의 적용 재료는 굳기가 6, 비중이 2.2이며 무색 투명하거나 백색 반투명한 zeolite이고, 사용된 오염물질은 비중 4.53, 분자량 331.21g, 순도는 99.5%인 수용성 질산납($Pb(NO_3)_2$)이다.

Table 1. Index Properties of EPK

액성한계(%)	소성한계(%)	소성지수	비중	비표면적(m ² /g)	#325 통과율	pH at 500%
54.5	30.9	22.6	2.56	24.25	98.4	4.84

2.2 실험장치

실험 시간을 줄이기 위해서 시료의 재조성 없이 개방형 Cell을 채택하였으며, 여러 가지 효율적인 향상기법의 적용을 위해서 5개의 Cell을 연속적으로 배치하였다. 주변 장치로는 Cell과 연결된 Mariotte Bottle, EK 실험 동안 전압을 공급하는 전원 공급 장치, 각각의 위치에서의 전압을 측정하기 위한 전압측정용 탐침, Cell내의 시료를 분리하기 위한 시료 절단용 철판, 부식되지 않는 탄소전극, Porous stone이 있다(Fig. 1).

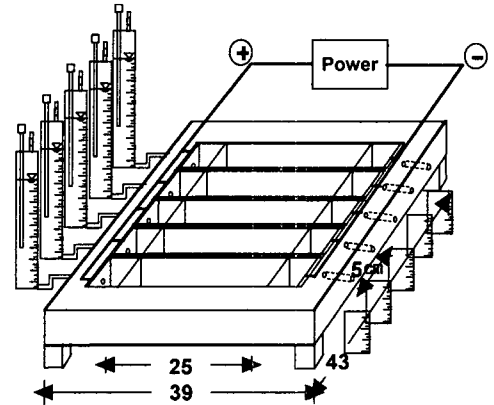


Fig. 1. Schematic diagram of the electrokinetic remediation cell

2.3 실험조건

본 실험에서는 EPK 카올린에 토양오염대체기준인 1000mg/kg 농도의 납으로 오염시켰다. 그리고 zeolite의 납에 대한 흡착량을 알아보기 위해 흡착 실험을 실시하였으며, 여기서 결정된 zeolite의 양을 양극으로부터 11등분으로 나누어 정규화한 거리(시료의 10등분과 Immobilization Zone(이후 I·Z)을 포함) 중 Cell 6:11 지점 한 곳에만 설치하였고, 부수적으로 전극 교환 기법을 사용하여 이 부분에 납 이온을 이동시켜 고정화를 시도하였다. 또한 전극 교환 기법을 사용하지 않고 zeolite만을 양극으로부터 11등분으로 나누어 정규화한 거리 중 Cell 6:11(I·Z), 11:11(I·Z) 두 지점에 설치한 후 그 정화 효율을 비교하였다.

Table 2. EK Remediation Test of electrode reversal and adsorbent

실험 번호	실험 기간	초기 농도	전 압	흡착재	설치 위치	비고
EK1-1	8일	1000mg/kg	1V/cm	zeolite	Cell 6:11부분	8일째 해체 분석
EK1-2	10일					10일째 해체 분석
EK1-3	18일					8일째 전극교환
EK1-4	22일					10일째 전극교환
EK2-1	12일	1000mg/kg	1V/cm	zeolite	Cell 6:11, 11:11	12일째 해체분석
EK2-2	14일					14일째 해체분석

3. 실험결과 및 분석

3.1 시료 내 pH 변화

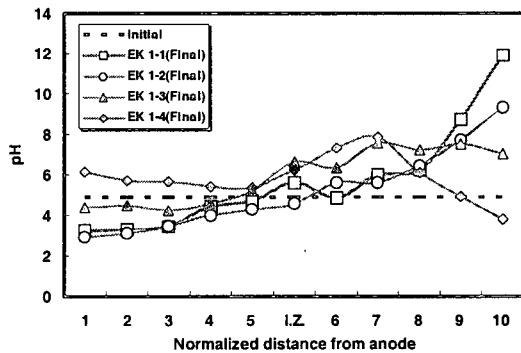


Fig. 2. pH variation in soil after EK 1 test

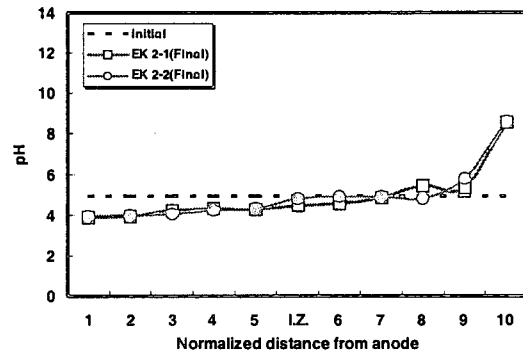


Fig. 3. pH variation in soil after EK 2 test

Fig. 2는 실험 종료 후 위치에 따른 pH 분포를 나타낸 것이다. 전극 교환 전 각각 8일과 10일 동안 가동한 EK-1-1 과 EK-1-2 실험에서는 대체적으로 Cell 5:11 지점까지 산성화가 진행되었으며, 특히 EK-1-2 실험에서는 Cell 6:11까지 산성화가 더 진행되었다. 한편 EK-1-3, 1-4 실험에서는 각각 8일과 10일 동안 EK를 가동하고 이후에 전극 교환을 실시하였는데, 이것은 전기분해로 인해 음극부에서의 높은 pH를 다시 양극부로 전환하여 수산화이온으로 인한 납의 침전을 최대한 방지하기 위함이다.

Fig. 3은 EK-2 실험 종료 후 시료를 위치에 따라 측정된 시료 내 pH 분포를 나타낸 것으로서, Cell 8:11 Section 까지 산전선이 이동하여 산성화가 되었음을 보여주고 있다.

3.2 납 오염 농도 분포

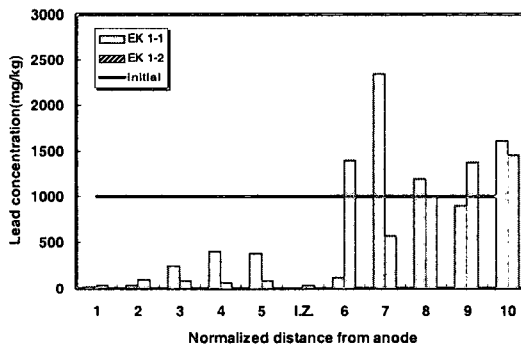


Fig. 4. Residual lead distribution in soil after EK 1-1, 1-2 test

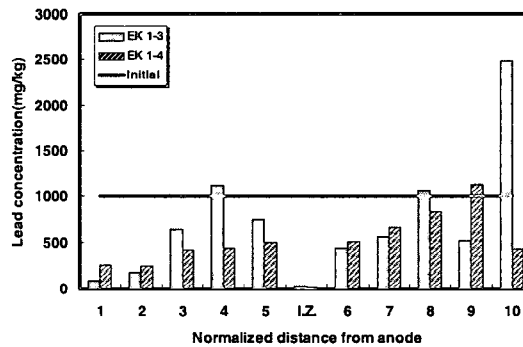


Fig. 5. Residual lead distribution in soil after EK 1-3, 1-4 test

Fig. 4에 나타난 바와 같이 8일 보다는 10일 동안 가동한 실험에서 납 이온이 음극쪽으로 더 많이 이동했으며, EK 1-2 실험에서는 Cell의 10:11과 11:11 부분에 많은 양의 납이온이 검출되었다. 또한 Fig. 5는 전극교환 조건을 실시한 이후의 각 Section 별로 추출한 납 이온의 분포로서, Cell의 4:11과 5:11지점에서 많은 양의 납 이온이 검출된 이유는 미처 I.Z.지역에 도달하기 이전에 전극교환을 실시하였기 때문으로 판단된다.

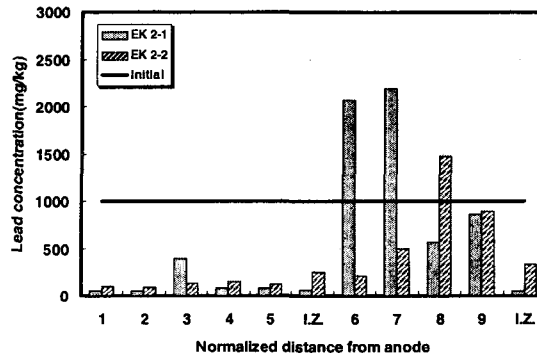


Fig. 6. Residual lead distribution in soil after EK 2-1, 2-2 test

Fig. 6에 제시되었듯이 12일 동안 1V/cm를 적용한 EK 2-1 실험은 14일 동안 1V/cm를 적용시킨 EK 2-2 실험보다 납 이온이 음극부로 이동하지 않았다. 따라서 가동시간은 12일 보다는 14일이 적당할 것으로 예상된다. 또한 미국 EPA에서 제안한 용출기준에 준한 수정 TCLP 실험결과 모든 범위에서 납의 용출기준인 5ppm을 만족하였다.

4. 결론

본 연구에서는 납으로 오염된 지반의 정화를 목적으로 Electrokinetic 기법을 적용하였으며, zeolite를 이용하여 지반내의 중금속을 고정화시킴으로서 EK 향상기법으로서의 효율성과 zeolite의 적용성에 대한 일련의 실험을 시행하였고, 다음과 같은 최종적인 연구 결론을 도출하였다.

- 1) zeolite를 Cell의 6:11(I·Z)과 11:11(I·Z)Section에 설치한 실험은 각각의 설치 위치로 납 이온이 이동 및 흡착되어 안정화되었으며 이것은 정화 효율을 높이는 원인이 되었다.
- 2) zeolite에 의한 지반 내 고정화 여부를 판단하기 위하여 실시한 TCLP 실험결과 EPA에서 제안한 기준치를 모두 만족하였다.
- 3) zeolite와 전극 교환을 적용한 실험보다는 zeolite만을 적용하고 설치 위치를 변경한 경우 정화효율이 증가되었다.

5. 참고문헌

1. 한상재(2000), "Electrokinetic 기법에 의한 오염토의 전기삼투와 금속이동특성" 중앙대학교 박사학위 논문
2. Acar, Y. B., and Alshawabkeh, A. N.(1993). "Principles of electrokinetic remediation." *Envir. Sci. and Technol.*, 27(13), 2638-2647
3. Alshawabkeh, A.N., Puppala, S.K., Acar, Y.B., Gale, R. J., and Bricka, M(1997). "Effect of solubility on enhanced electrokinetic extraction of metals", *Proc., Conf. on In Situ Remediation of Geoenvironment*, Geotech. Spec. Publ. 71, J.C. Evans, ed., ASCE, 532-544
4. Hamed, J., Acar, Y.B., and Gale, R.J.(1991), "Pb(II) removal from kaolinite by electrokinetics", *J. Geotech. Engrg.*, ASCE, 117(2), 241-271
5. Lageman, R.(1993) *Electroreclamation Applications in the Netherlands*. Environmental Science & Technology, Vol.27, No.13, 2648-2650