

납으로 오염된 카올린의 Electrokinetic 정화기법 적용시
전류변화 특성에 관한 연구

A study on electric current variation characteristics during
Electrokinetic remediation of kaolinite contaminated by Pb

김정환, 한상재, 김수삼

중앙대학교 건설환경공학과
(e-mail : kimss@cau.ac.kr)

ABSTRACT

In case of applying electrokinetic remediation, magnitude of electric current is one of major factors for estimation of contaminant transport. In practice, electric current provide determination of electric conductivity based on specimen resistance. Electric current variation is produced during Electrokinetic remediation test. Electric current is decreased by exponential function according to time in condition of constant voltage. This can be interpreted as precipitation effect by OH^- generation in a cathode.

Key words : Current, Electro-kinetic remediation, Pb

I. 서론

오염된 지반을 처리하는 원위치 정화기법으로 많이 적용되는 양수처리, 진공추출, 토양세척과 같은 정화기술들은 높은 투수성을 갖는 조립질 지반에 대해서만 적용이 가능하며, 저 투수성의 세립토 지반에 사용함에는 많은 제약이 따른다. 이에 대한 대안으로 전기적인 흐름을 이용하는 Electrokinetic(이하 E/K)정화처리가 고려될 수 있는데, 이 때 E/K 정화효율을 평가하기 위한 방법으로 전류의 크기가 중요한 인자로 작용한다. 그러나 전류는 여러 환경요소에 의해 변화한다. 이에 본 연구에서는 E/K에 의한 오염물의 거동을 연구함에 있어 전압을 일정하게 한 E/K 정화 실험을 통해 전류를 간극수의 이온농도와 시간의 함수로 하여 그 변화 추이를 해석하고자 하였다.

II. 실내시험

시험에 사용된 시료는 뉴질랜드산 카올린으로 비중은 2.65 ± 0.02 이다. 시료의 광물조성은 표 2.1과 같다. 시험은 흡착능 실험을 실시하여 C.E.C. 값을 구한 다음, 그 값을 기준으로 하여 대상시료인 카올린의 오염농도를 각각 500, 3000ppm로 조성하고 납제거 효율의 향상을 위하여 유기산을 주입한 실험과 유기산과 계면활성제를 주입한 실험에서의 E/K에 의한 전류변화 특성을 살펴보았다. 실험은 1V/cm의 전압경사로 12 동안 실시되었으며 본 시험에 사용된 시험기의 구조도는 그림 2.1과 같다.

표 2.1 본 실험에 사용된 시료의 광물조성(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₄ O ₃	TiO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Organic Content
50.4	35.5	0.25	0.05	Trace	Trace	Trace	Trace	8.4

표 2.2 시험조건

Type	Code	Initial Pb con.		enhancement method
		ppm	mg/kg	
E/K Remediation Test	EK0	0	0	-
	EK500	500	300	-
	EK500A	500	300	citric acid(7,8day)
	EK500AS	500	300	citric acid+SDS(7,8day) electrode reversal(8day)
	EK3000	3000	1760	-
	EK3000A	3000	1760	citric acid(7,8day)
	EK3000AS	3000	1760	citric acid+SDS(7,8day) electrode reversal(8day)

III. 시험 결과

가. 표준실험; Blank Test (EK0)

그림 3.1에서 실험초기에 전류는 15mA이었으며, 이는 시간이 경과함에 따라 감소하여 100시간정도 경과 후 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있다. 이 때 전류의 감소량은 지수함수로 표현이 가능하며 추세선의 지수함수식을 그림에 삽입하였다.

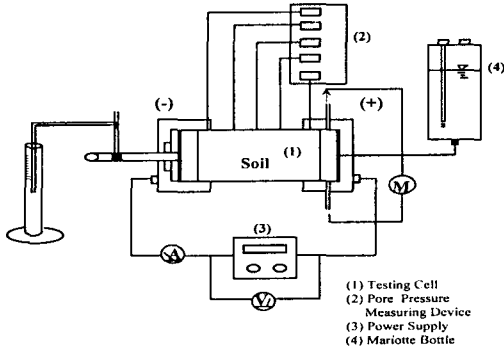


그림 2.1 Electrokinetic 정화시험기의구조

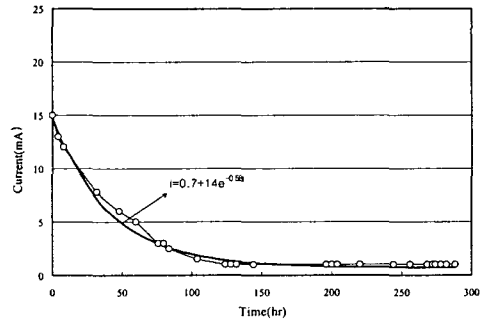


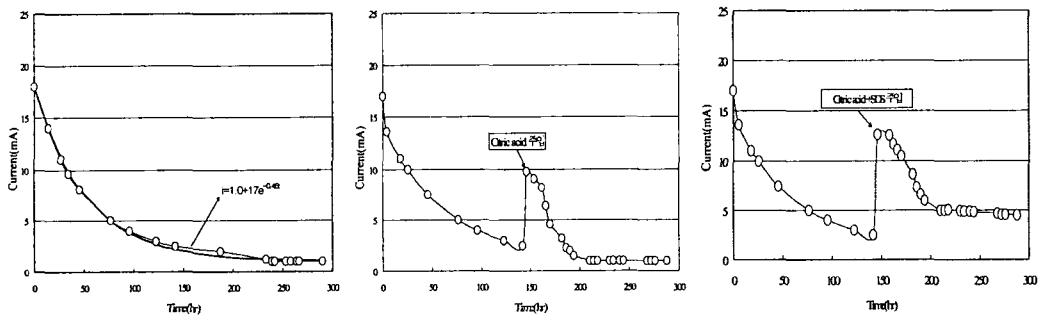
그림 3.1 오염되지 않은 카올린의 시간에 따른 전류의 변화

나. Pb(II) 500ppm농도의 E/K 정화 실험

그림 3.2(a)에서 실험초기에 18mA를 나타낸 전류는 시간이 경과함에 따라 지수함수 관계로 감소하고 100시간 이후 거의 일정해짐을 알 수 있다. 그림 3.2의 (b), (c)는 유기산 및 계면활성제를 주입시 전류의 변화를 나타낸 것이다. 140시간 경과했을 때 2mA로 감소하였던 전류는 유기산을 주입하였을 기간에 10mA로 증가하였으며 유기산과 계면활성제 용액을 함께 주입하였을 경우에는 13mA까지 증가하였다. 주입이 완료된 후 전류는 원래의 경향을 되찾았으나 전극교환을 실시한 EK500AS에서는 주입 전 보다 더 큰 전류 흐름을 보였다.

다. Pb(II) 500ppm농도의 E/K 정화 실험

그림 3.3과 같이 납의 초기 농도가 3000ppm일 경우 시험초기에 전류는 23mA이었으며 이는 시간이 경과함에 따라 감소하며 150시간정도 경과 후 일정해지고 그 경향은 500ppm의 경우와 비슷하게 나타났다.

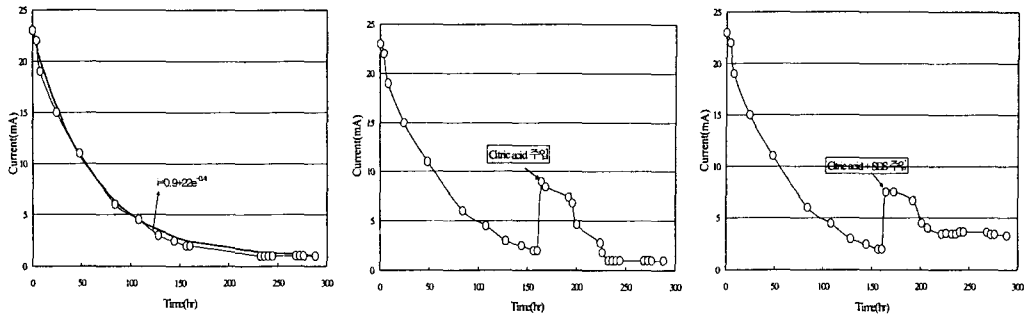


(a) EK500

(b) EK500A

(c) EK500AS

그림 3.2 500ppm으로 오염된 시료에서 시간에 따른 전류의 변화



(a) EK3000

(b) EK3000A

(c) EK3000AS

그림 3.3 3000ppm으로 오염된 시료에서 시간에 따른 전류의 변화

IV. 분석

그림 4.1과 같이 전류는 시간에 따라 감소하는 경향을 나타내며, 이 때 납농도가 증가할수록 전도도는 증가하여 초기 전류는 더 큰 값을 보이고 전류크기는 일정시간동안 급격히 감소하며 이후에는 완만한 감소추세를 보인다. 이는 E/K 처리중 시료 내의 저항이 증가함을 뜻한다.

이 때 전류와 전기삼투 흐름속도의 관계는 다음 그림 4.2에 도시되었다. 초기에 흐름속도는 전류가 감소함에 따라 증가되는 경향을 보이나 이때의 기울기는 농도가 클수록 작다. 이 후 구간에서는 상대적으로 일정하다가 흐름속도는 전류에 반비례하는 추세를 보인다.

전극에서의 전기분해반응은 음극과 양극에서 산과 염기를 발생시키고 이러한 pH의 변화는 전도도 변화에 큰 영향을 끼쳐 이와 같은 결과를 나타낸다. 즉 음극부근에서는 침전의 영향으로 저항이 점차 증가되며 전류는 감소하게 된다. 한편 음극에서 pH 증가로 전기삼투 배수량은 증가되지만 일정시간이 지나면 음극영역에서의 저항은 계속 증가되고 반면 전기삼투 배수량은 한계에 도달하여, 음(-)의 간극수압이 발현되고 전기삼투 배수량도 감소하게 된다.

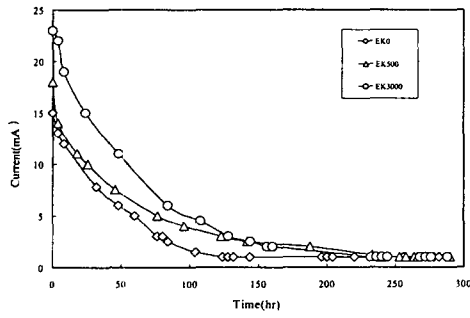


그림 4.1 시간-전류의 변화

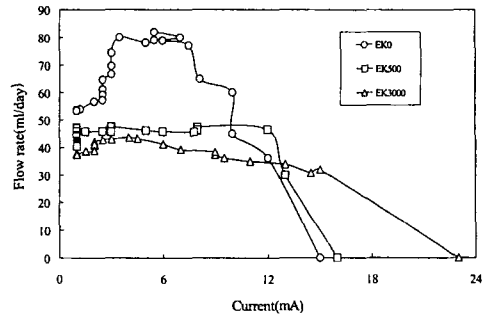


그림 4.2 흐름속도-전류

V. 결론

E/K 시험 시 전류는 시료의 저항과 관련되어 전기전도도를 판단하게 한다. 그런데 E/K를 적용할 경우 실제로 전류의 변화는 가변적으로 나타난다. 전압을 일정하게 한 E/K 정화 시험결과 전류는 시간을 함수로 지수 함수적으로 감소하는 경향을 나타내었으며 이는 음극에서 발생하는 수산화기에 의한 침전의 영향으로 판단된다. 이러한 시료내 저항의 증가로 전기삼투 흐름은 감소한다.

VI. 참고문헌

1. 한상재, (2000), "Electrokinetic 기법에 의한 오염토의 전기삼투와 중금속 이동 특성", 중앙대학교 박사학위논문.
2. Acar, Y. B., and Alshawabk도, A. N. (1993), "Principles of electrokinetic remediation." J. of Environ. Sci. Technol., Vol. 27, No. 13, 2638-2647.
3. Stewart, D. I., and West, L. J., (1996), "Electrokinetic soil decontamination-effect of local resistivity variation." Environmental Geotechnics, Proceedings of The Second International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, Japan, 5-8, Vol. 2. 1101-1106.