

고전압 이용한 준설퇴적토 유효성 및 중금속 변화에 관한 연구 **Study of Effectiveness of using higher voltages in analysis of dredged sediments and heavy metal concentration**

권기범¹⁾, Kibum Kwon, 김상근¹⁾, Sang-Keun Kim, Prasad Ramchanda²⁾, 유 준³⁾, Jun Yu, 정하익⁴⁾, Ha-Ik Chung

- 1) 한국건설기술연구원 지반방재·환경연구실 연구원, Researcher, Geotechnical Disaster and Environment Research Division, Korea Institute of Construction Technology
- 2) 인도공과대학 토목공학과 학부생, Undergraduate student, Indian Institute of Technology, Dept. of Civil Engineering.
- 3) 한국건설기술연구원 지반방재·환경연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Disaster and Environment Research Division, Korea Institute of Construction Technology
- 4) 한국건설기술연구원 지반방재·환경연구실 책임연구원, Research Fellow, Geotechnical Disaster and Environment Research Division, Korea Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : The clay found in the river or in any waste water treatment plant usually have a very high content of water. A large amount of sediments hinder the navigation in river. In waste water treatment plant, there is requirement of settling the thick sludge. These problems are overcome by using rapid means of sedimentation and settling. This paper focus on how method of Electrokinetic sedimentation can be made faster. Sedimentation using Electrokinetic phenomenon has been discussed with varied voltage applied and effect and dose of coagulant in increasing the process. The experimental test has been carried out at water content that are generally present in the case of river and small canals carrying waste water. This paper also focus on different heavy metals concentration during the process and the power aspects of process. A series of experiment were done to support the proposed theory and how a bubble formation could hinder the purpose of experiment.

Key words : electrokinetic, dredged sedimentation, voltage, heavy metals concentration

1. 서론

현재 전 세계적으로 산업화 및 인구가 증가에 따른 도시폐기물, 산업폐기물, 광업폐기물 등 폐기물의 양이 증가하고 있으며, 이러한 폐기물 중 일부는 강바닥이나 운하, 처리시설의 슬러지 형태의 퇴적물이나 준설퇴적토로 존재하고 있다. 이러한 준설퇴적토는 과거의 여러 방법을 통해 처리가 되어졌으며, 처리된 준설퇴적토들은 매립, 성토 및 저장 등의 형태로 최종 처리되어진다. 최근 준설퇴적토 처리를 위해 동전기적 공법이 전 세계적으로 많은 연구를 통하여 개발 되었으며, 여러 현장에 적용 중에 있다. 동전기를 이용한 지반 및 토양 처리공법은 준설퇴적물 이나 점토질 지반의 간극수의 중금속 이온이나 용존하고 있는 유기물질을 효과적으로 제거시킬 수 있는 공법이다. 현장 적용공법으로서 동전기적 공법은 다른 공법들과 비교했을 때 흐름방향을 제어할 수 있으며, 특히 수리학적 투수계수가 상당히 작은 점토질 지반에 적용시킬 수 있다는 장점이 있다. 많은 연구자들이 동전기적 공법을 적용하여 오염물질들을 토양으로부터 제거하는 실험을 수행하고 있다. Pamukcu와 Wittle(1992)는 양극에서 생산된 산전선에 의하여

금속이온이 토양으로부터 탈착되어 음극으로 이동할 수 있음을 보여준다. Lageman 등(1989)은 화학약품을 이용한 향상기법의 도입으로 토양으로부터 납과 구리를 74.0% 제거시켰다. Shaprio와 Probestein(1994)은 페놀을 75~95%, 아세트산을 42~95% 제거 시킬 수 있음을 보여주었으며 이들 토양의 제타포텐셜이 음에서 양으로 바뀔에 의해서 제거효율이 떨어진다고 하였다. Bruell 등(1992)은 BTXs와 TEC를 동전기적 공법에 의하여 효과적으로 제거 할 수 있다고 하였다. Acar 등(1992)은 점토로부터 페놀이 95% 제거됨을 보여주었다. 본 연구에서는 광양지역에서 채취한 준설퇴적물의 함수비를 다르게 구성된 시료 및 다양한 전압을 이용한 실내실험을 수행하여 함수비의 및 중금속 변화를 살펴보았다.

2 이론적 배경

2.1 동전기 현상(Electrokinetic phenomenon)에 의한 오염물 제거

동전기적 공법(EK)에 의해 오염물을 제거하는 중요한 메커니즘 중 하나인 전기삼투(electroosmosis)는 토양으로부터 간극수를 제거하거나 슬러지로부터 수분을 감소시키기 위해 사용되었으며 또한 토양으로부터 중금속 및 유기물질을 제거시키기 위해 연구되고 있다. 대부분의 점토는 깨진 결합이나 동형치환 등에 의해서 음으로 대전되어 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 점토는 음으로 대전되어 있기 때문에 점토 표면에는 과량의 양이온들이 붙어 있게 된다. 이때 전원을 공급하면 표면에 붙어 있는 과잉 양이온들이 점성항력에 의해 음극방향으로 이동하게 되는데 이때 수화된 물도 음극방향으로 이동하게 된다. 이러한 현상을 전기삼투현상(electroosmosis)이라 한다.

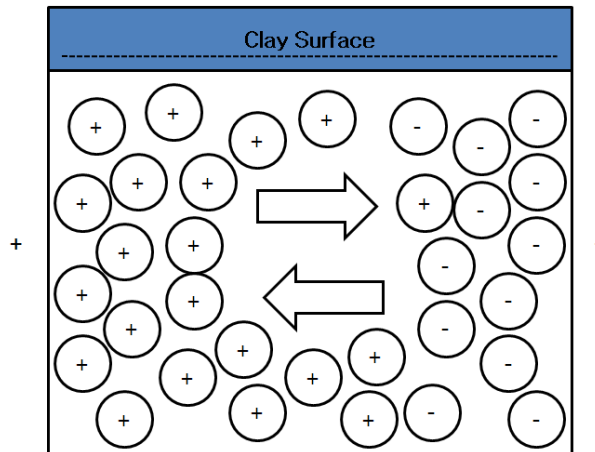


그림 1. 점토 내부에서의 이온의 흐름

동전기 현상의 주요한 메커니즘으로서 음이온들은 양극방향으로 양이온들은 음극방향으로 이동하게 되는 전기이온이동(electromigration) 현상이 있다. 이러한 현상에 의해 이온성 오염물질들은 각각의 극성에 따라 전극방향으로 이동시켜 제거시킬 수 있다. 전극에서 물의 전기분해반응은 EK 과정에서 중요한 역할을 한다. 양극과 음극에서는 물의 전기분해 반응에 의해 수소와 수산화 이온이 각각 생성된다. 양쪽 전극에서 발생한 산전선과 염기전선은 각각 음극과 양극으로 이동하게 된다. 이렇게 이동되는 전선이 만나게 되는 지점에서 pH가 급변하게 된다. 이러한 pH의 변화는 토양의 pH 완충능력, 양이온 교환능력, 토양과 간극수의 상호작용은 산전선의 이동속도와 pH가 급변하는 위치에 영향을 줄수 있다(Ko, S.O, 1998).

3. 실험방법

3.1 실험재료

본 연구에서 사용된 시료는 광양지역에서 채취된 해성점토이며, 슬러리 타입의 각 점토시료의 초기함수비는 525.0% 및 625.0%로 측정되었다. 함수비 및 중금속의 변화를 살펴보기 위해 525.0%의 초기함수비로 측정된 시료는 30V 및 65V의 적용전압을 사용하였으며, 625.0%의 초기함수비로 측정된 시료는 30V 및 45V의 적용전압을 사용하였다.

3.2 실험기구 및 방법

본 연구에서는 그림 2와 같은 높이 20.5cm, 내부직경이 11.0cm로 하단부에 배수 필터 페이퍼와 원형 플렉스글라스 튜브(Plexiglas tube)가 설치된 아크릴 원통형 셀을 사용하였으며, 전극봉(electrode)은 두께 0.2cm의 원추형 steel mesh형태로 구성되어 있다. 직류전압계(DC voltage)는 셀의 하단부와 슬러리 형태의 점토로 충전된 셀의 상단부에 설치가 되었으며, 셀의 상부에 설치된 전극봉은 슬러리 형태의 점토를 충전하기 위해 제거 가능하다. 전극봉은 상부에 양극(+)의 전극봉이 설치되었으며, 하단에 음극(-)의 전극봉을 설치하였다. 침강변화형상(sedimentation process)을 측정을 위해 실험기간 동안 시료로부터 침강되는 점토선(mudline)을 기록하였으며, 동전기적 효과를 살펴보기 위해 전극봉 없이 중력작용에 의해 침강되는 시료와 전극봉을 설치한 시료의 대조군을 통해 함수비 변화와 중금속의 변화량을 비교하였다.

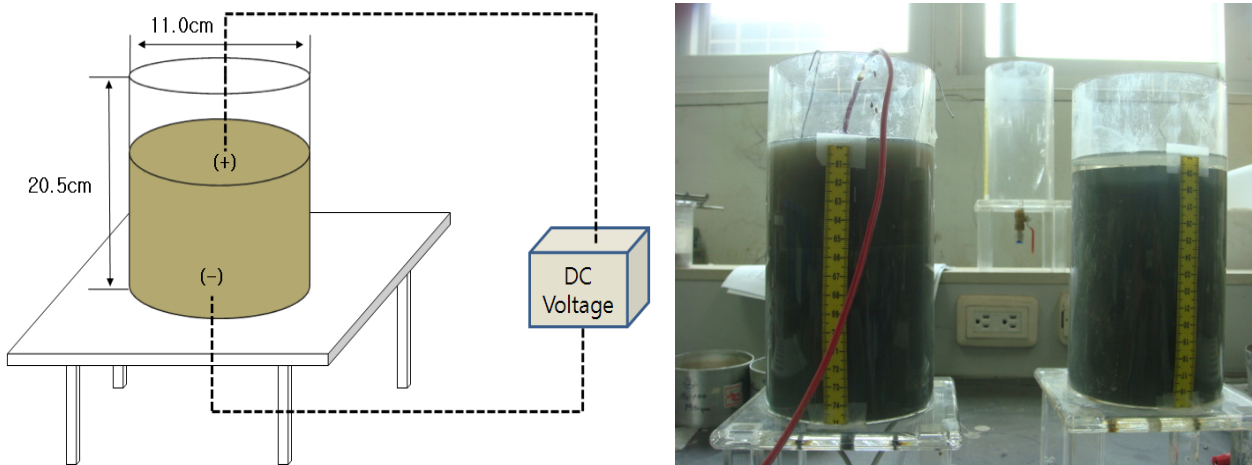


그림 2. EK 실험기구 개요도 및 전경

4. 시험결과 분석

초기 함수비 525.0%인 시료 1 및 2는 적용전압 30V와 65V를 이용하여 4시간 경과 후 함수비의 변화를 살펴보았으며, 그 결과는 그림 3과 같다. 높은 적용전압 사용 시 상부에서 기포가 발생하여 시료 및 시료 내부에 존재하는 중금속의 침강이 빨리 진행되는 것을 확인하였다. 함수비의 변화는 상부, 중간, 하부 순으로 변화량이 크게 변함을 확인하였다. 또한 초기함수비 625.0%인 시료 3 및 4는 적용전압 30V와 45V를 이용하여 역시 4시간 경과 후 함수비의 변화를 살펴보았으며, 그 결과는 그림 4와 같다. 낮은 적용전압 사용 시 2시간 정도의 시간 경과 시 상부에서 기포가 발생하여 시료 및 시료 내부에 존재하는 중금속의 침강이 진행되는 것을 확인하였으며, 자중을 통한 침강보다 1시간 정도 빠르게 진행됨을 확인

하였다. 이는 자중을 통한 침강보다 동전기적 효과가 간극수의 흐름 속도를 증가시키며, 이를 통한 중금속의 확산이 크게 변화함을 확인하였다.

표 1. 4시간 경과 후 대조군 및 EK 실험에 사용된 시료의 함수비 비교

위 치	대조군 함수비 (%)	EK 시료 1 함수비 (%)	EK 시료 2 함수비 (%)	EK 시료 3 함수비 (%)	EK 시료 4 함수비 (%)
상부	545.97	574.08	771.17	591.87	513.05
중간	508.83	209.68	468.99	407.67	390.61
하부	339.44	157.81	214.44	265.2	236.24

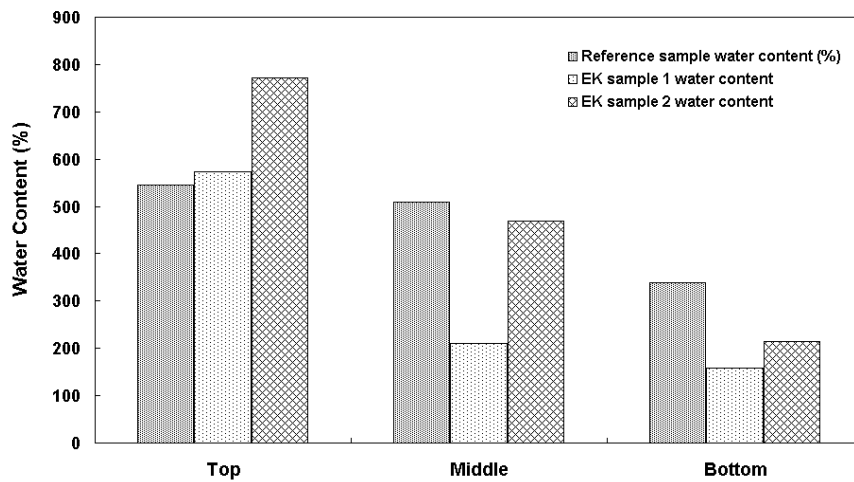


그림 3. EK 실험을 통한 함수비의 변화(초기함수비 535.0%, 적용전압 30V 및 65V)

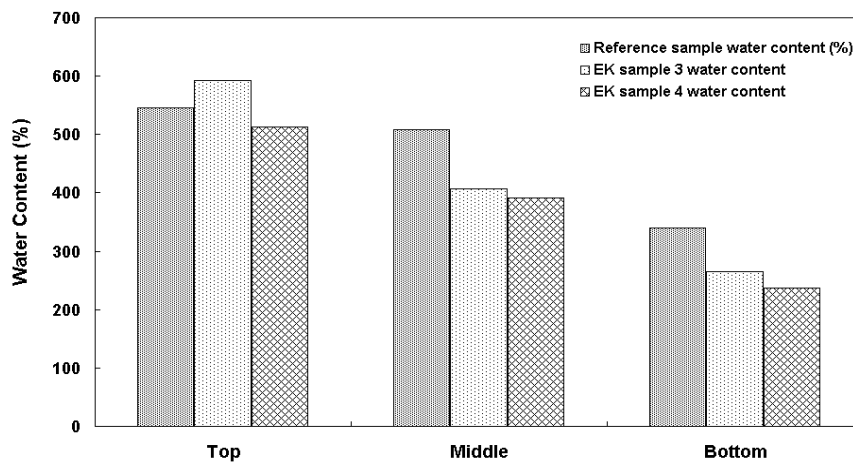


그림 4. EK 실험을 통한 함수비의 변화(초기함수비 625.0%, 적용전압 30V 및 45V)

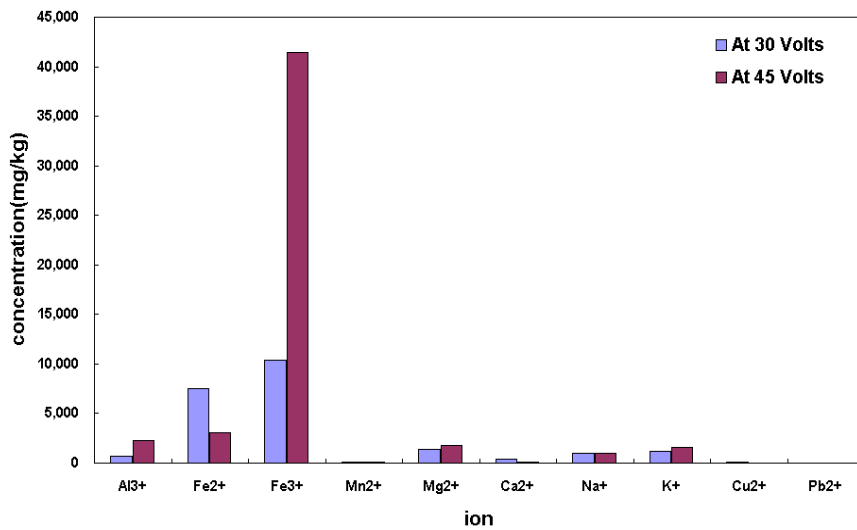


그림 5. 30V 및 45V의 적용전압 이용 시 중금속이온의 농도변화

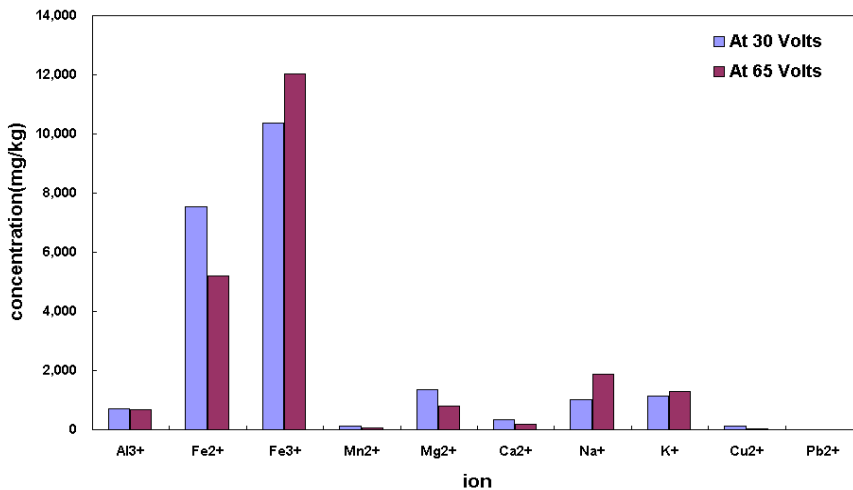


그림 6. 30V 및 65V의 적용전압 이용 시 중금속이온의 농도변화

초기 함수비 525.0%인 시료 1 및 2는 적용전압 30V와 45V를 이용하여 4시간 경과 후 점토에 함유되어 있는 중금속의 농도 변화를 살펴보았으며, 그 결과는 그림 5와 같으며, 초기 함수비 625.0%인 시료 3 및 4는 적용전압 30V와 65V를 이용하여 역시 4시간 경과 후 중금속의 농도 변화를 살펴보았으며, 그 결과는 그림 6과 같다. 점토 내부의 중금속 농도의 50% 이상인 경우 여러 중금속 중 전기이온이동(Electromigration)을 통한 상부의 3가 철이온(Fe^{3+}) 및 3가 알루미늄이온(Al^{3+})의 변화가 발생함을 확인하였다. 이는 3가 철 이온(Fe^{3+}) 및 3가 알루미늄 이온(Al^{3+})과 같은 중금속의 대부분은 양이온형태로 존재하며, 전기이온이동(Electromigration)의 영향 때문이라 사료된다.

여러 중금속 이온 농도는 적용전압 30V보다 45V일 경우 높음을 확인하였으나, 2가 철이온(Fe^{2+})의 경우 적용전압 45V보다 30V일 경우 높음을 확인하였다. 이는 하나의 이온의 손실을 통해 2가 철이온(Fe^{2+})에서 3가 철이온(Fe^{3+})으로 변하는 산화작용을 통해 설명이 가능하다. 따라서 철이온 농도의 경우 45V보다 30V일 경우 높음을 확인하였다. 하지만, 낮은 적용전압 하에서는 산화작용이 충분하지 않으므로 농도의 변화량은 그리 크지 않으며, 고전압 상태에서 중금속의 농도의 변화량이 빠르게 변함을 알 수 있었다.

5. 결론 및 제언

본 연구에서는 고전압 이용한 준설퇴적물 유효성 및 중금속 변화를 살펴보았으며, 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 준설퇴적물의 중금속을 처리하기 위하여 동전기적방법을 사용하였으며, 대조군 및 EK 실험에 사용된 시료를 통해 함수비의 변화를 살펴본 결과, 자중을 통한 침강보다 1시간 정도 빠르게 진행됨을 확인하였다. 이는 자중을 통한 침강보다 동전기적 효과가 간극수의 흐름 속도를 증가시키며, 이를 통한 중금속의 확산이 크게 변화함을 확인하였다.

(2) 초기 함수비 525.0%인 시료의 적용전압 30V와 45V를 이용하여 4시간 경과 후 점토에 함유되어 있는 중금속의 변화 및 초기함수비 625.0%인 시료의 적용전압 30V와 65V를 이용하여 역시 4시간 경과 후 중금속의 변화를 살펴보았으며, 그 결과는 그림 6과 같다. 점토 내부의 중금속 농도의 50% 이상인 경우 여러 중금속 중 전기이온이동(Electromigration)을 통한 상부의 3가 철이온(Fe^{3+}) 및 3가 알루미늄이온(Al^{3+})의 변화가 발생함을 확인하였다.

(3) 여러 중금속 이온 농도는 적용전압 30V보다 45V일 경우 높음을 확인하였으나, 2가 철이온(Fe^{2+})의 경우 적용전압 45V보다 30V일 경우 높음을 확인하였다. 이는 하나의 이온의 손실을 통해 2가 철이온(Fe^{2+})에서 3가 철이온(Fe^{3+})으로 변하는 산화작용을 통해 설명이 가능하다. 따라서 철이온 농도의 경우 45V보다 30V일 경우 높음을 확인하였다. 하지만, 낮은 적용전압 하에서는 산화작용이 충분하지 않으므로 농도의 변화량은 그리 크지 않으며, 고전압 상태에서 중금속의 농도의 변화량이 빠르게 변함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 정하익(1998), *지반환경공학*, 도서출판 유림
2. 박민호(2004), TEC로 오염된 토양의 동전기적 공법 적용에 관한 연구, *한국폐기물학회지* Vol 21, No.7 pp. 715~723
3. Acar, Y. B., Li, H. and Gale, R. J.(1992), "Phenol removal from kaolinite by eletrokinetics", *J. of Geotechnical Eng., ASCE* 118(11), pp.1837-1852
4. Bruell, C. J, Segal, B. A. and Walsh, M. T. (1992), "Electrokinetic removal gasoline hydrocarbons and TEC from clay", *J. of Envir. Engra., ASCE* 108, pp.68-83
5. Lageman, R., Pool, W. and Feffinga, G.(1989). *Electro-reclamation : Treory and practice. Chemistry & Industry* 18, pp.587-590
6. Pamukcu, S. and Wittle, J. K..(1992), "Electrokinetic removal of selected heavy metals from soil", *Prog.* 11, pp.241-250
7. Probst, R. F.(1994), *Physicochemical hydrodynamics an introduction 2nd edition*, John Wiley & Sons, Inc., New York.