

오염된 하천준설토의 동전기적 침강 및 오염물질 제거 Electrokinetic Sedimentation and Remediation of River Dredged Contaminated Soil

정하익¹⁾ Ha-Ik Chung, 오인규²⁾ In-Kyu Oh, 진현식³⁾ Hyun-Sik Jin

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Dept. of Civil Eng., KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Dept. of Civil Eng., KICT

³⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Dept. of Civil Eng., KICT

SYNOPSIS : There are many engineering applications that demand settling acceleration and volume reduction of fine solid suspensions. It is a matter to improve the dredged soil thickening as well as the dewatering characteristic, because settling acceleration of dredged soil decreases the scale of industrial process and volume reduction of dredged soil decreases environmental challenge to the disposal sites. Direct electric current induces the movement of fine solid particles suspended in water. Upon formation of a soil structure, the current further induces the movement of water and contaminant in the soil skeleton. These phenomena are known as electrokinetics. This study investigates the viability of using the technique of electrokinetic dewatering to river dredged soil for settling acceleration and volume reduction. The aspect, such as sedimentation velocity, final volume and current variation are discussed.

Key words : electrokinetics, settling, dredged soil

1. 서 론

본 논문에서는 여러 가지 공법 중에서 동전기기술(electrokinetics)을 이용하여 초연약 준설토를 단기간에 급속하게 침강 및 압밀시키고 준설토내에 존재하는 오염물질을 제거시킬 수 있는 방안에 관하여 살펴보았다. 그동안 동전기기술을 이용한 슬러지탈수, 연약지반압밀 및 오염지반정화에 많은 연구가 진행되었다. 동전기기술을 적절하게 조화하게 되면 상기에 언급된 적용분야에 대하여 동시에 2개 이상의 복합적인 효과를 얻을 수가 있다.

특히, 동전기기술을 이용하여 슬러지침전, 연약지반압밀 및 오염지반정화 효과를 동시에 얻을 수 있다면 오염된 준설토의 안정화 및 정화 등 지반 및 환경분야에서 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에는 오염된 하천준설토를 침강시키는 효과적인 방안을 제시하고자 한다.

본 논문에서는 실내에서 동전기 압밀/정화실험을 실시하였다. 실험조건은 3가지 조건으로 하였다. 즉, 3가지 조건은 중력조건, 전극 상(+) 하(-) 조건, 전극 상(-) 하(+) 조건으로 하였다. 실험결과를 토대로 준설토의 중력 및 E/K침강특성을 규명하였다.

2. 이론적 배경

1954년 Richardson & Zaki는 Stokes 침강식을 이용하여 작은 간극률일 때 현탁액 경계면의 침강속도를 예측하기 위해 다음과 같은 식을 제안했다.

$$U = \beta u n^r \text{-----(1)}$$

- 여기서, U : 현탁액 계면의 침전속도(m/sec)
- β : 모든 입자의 평균속도를 나타내는 인자
- u : 현탁액에서 입자의 침강속도(m/sec)
- n : 현탁액의 간극률
- r : 침강계수

Helmholtz-Smoluchowski 이론에 의하면 현탁액에서 대전된 입자의 이동속도는 전류밀도에 비례하는 다음과 같은 식이 유도될 수 있다.

$$u = \frac{\epsilon \zeta}{\mu \sigma} j \text{-----(2)}$$

- 여기서, u : 입자의 이동속도 (m/sec)
- ϵ : 재료의 유전상수 (F/m)
- ζ : 제타 포텐셜 (Volt)
- μ : 유체의 점성계수 (Ns/m²)
- σ : 전기전도도 (S/m)
- j : 전류밀도 (A/m²)

계면의 중력침강속도를 나타내는 (1)식과 직류 전기장하에서 현탁액속의 입자의 이동속도를 나타내는 (2)식을 결합하여 다음과 같이 E/K적용시 침강의 계면속도를 나타내는 식이 유도된다.

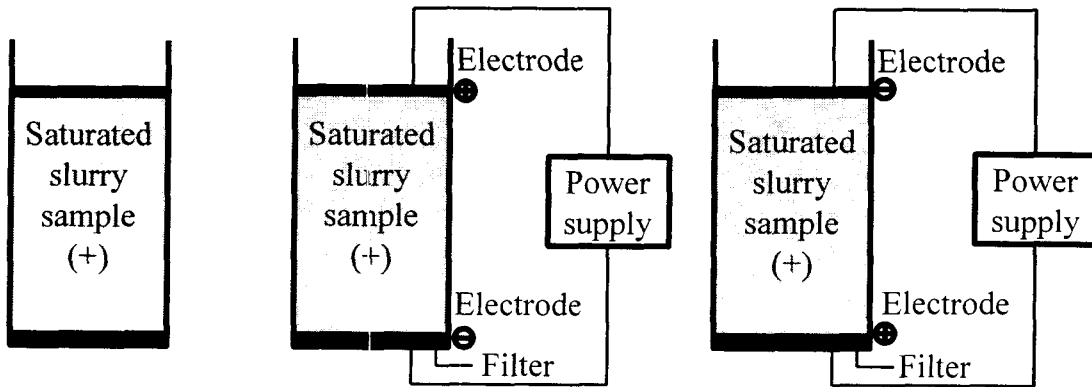
$$U_{ek} = \beta_{ek} \left(\frac{\epsilon \zeta j}{\mu \sigma} \right) n^{r_{ek}} \text{-----(3)}$$

- 여기서, U_{ek} : E/K적용시 계면의 침강속도(m/sec)
- β_{ek} : E/K침강하에서 모든 입자의 평균 속도를 나타내는 인자
- r_{ek} : E/K침강계수

식 (3)의 양변에 ln을 취하여 다음 식을 유도하면 E/K적용시 간극률과 계면의 침강속도는 기울기 r_{ek} 에 비례하는 선형관계임을 알 수 있다.

$$\ln U_{ek} = \alpha + r_{ek} \ln(n) \text{-----(4)}$$

- 여기서, $\alpha = \ln(\beta_{ek} \frac{\epsilon \zeta j}{\mu \sigma})$



(a) 조건 1 (중력)

(b) 조건 2 (상+, 하-)

(c) 조건 3 (상-, 하+)

그림 1 실험개요도

3. 실험방법

높이 21cm, 직경 10cm의 아크릴 원통에 ○○지역에서 채취한 오염된 하천준설토를 채워넣고 중력침강 및 E/K침강실험을 실시하였다. E/K침강실험의 전압은 1V/cm를 유지하였고, 전류는 시료의 물리화학적 변화에 따라 전기전도도가 변하므로 실험중 주기적으로 측정하였다. 실험장치 상하부에 스테인레스 전극판을 설치하고 전선을 연결하여 전원공급장치에 연결하였다. 시료입자는 양(+)의 전극을 띤 것으로 판단된다. 시험장치는 아래의 그림 1과 같다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 시간경과에 따른 계면고의 변화

시료에 전기를 가하지 않은 중력침강실험을 gr, 시료 상부 양(+)극: 하부 음극(-)을 공급한 E/K침강실험을 ek1, 시료 상부 양극(-): 하부 음극(+)을 공급한 E/K침강실험을 ek2로 조건을 달리하여 경과시간에 따른 계면고의 높이를 조사하였다. 중력침강실험인 gr에 비해 전류방향에 관계없이 E/K침강실험인 ek1, ek2가 빠르게 침강되었다. 같은 E/K침강실험에서는 전류방향에 따라 침강속도가 다르게 나타났는데, 상부 (+): 하부 (-)의 E/K침강실험인 ek1이 상부 (+): 하부 (-)의 E/K침강실험인 ek2 보다 빠르게 나타났다.

시료의 높이변화가 없을 때를 100%침강이 완료된 것으로 간주하여 각각 실험에서 90%침강이 완료된 시점까지를 침강이 안정화되는 시간으로 생각할 때 각각 실험의 안정화에 소요되는 시간은 gr, ek1, ek2가 각각 59, 41, 21시간 소요되는 것으로 나타났다.

시료내의 전압, 전류분포는 그림 4에 나타내었다. 전압은 15V 일정하게 유지되었고, 전류는 초기 약 40mA에서 ek1, ek2 각각 7, 10mA 까지 떨어졌다. 초기 시료의 전기전도도는 약 0.051정도로 나타났으며 최종 시료의 전기전도도는 ek1, ek2 각각 0.0102, 0.0127로 나타났다.

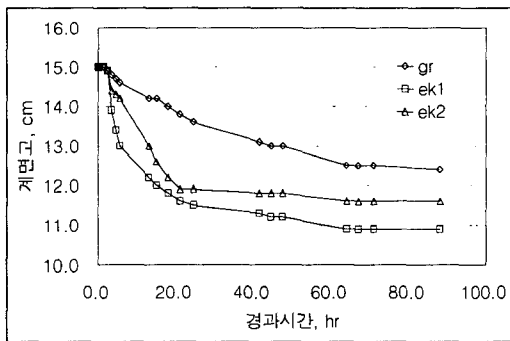


그림 2 경과시간에 따른 계면고의 변화

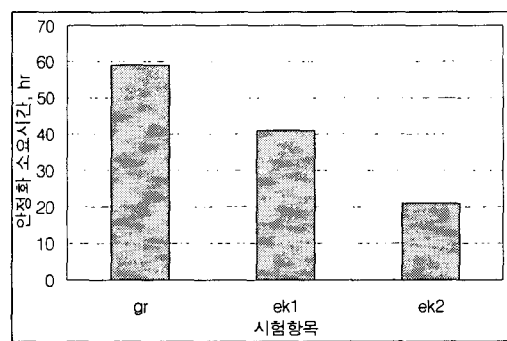


그림 3 각 실험항목의 안정화 소요시간

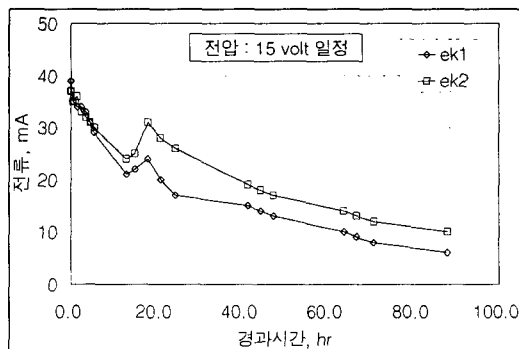


그림 4 경과시간에 따른 전류변화

4.2 실험 후 배수량과 부피

침강실험 후 최종 배수량을 측정하였다. 배수량 측정은 침강이 완료된 후 상부에 남아있는 간극수의 부피를 측정하였다. 최종 배수량은 gr, ek1, ek2 각각 전체 부피의 17, 27, 23%에 해당하는 부피만큼 배출되었다.

침강실험 후 슬러지의 최종부피는 초기 전체부피에 비해서 gr, ek1, ek2 각각 83, 73, 77% 였다. 슬러지의 부피는 운반, 처리 등의 목적에서 중요하다. 따라서 본 실험결과에서 나타났듯이 전류방향을 잘 고려하여 전기적인 힘을 가하면 슬러지의 부피를 줄이는데 효과적인 것으로 나타났다.

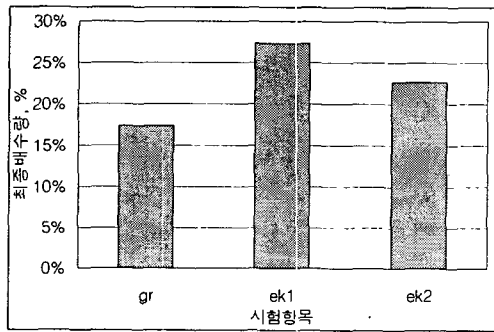


그림 5 최종배수량

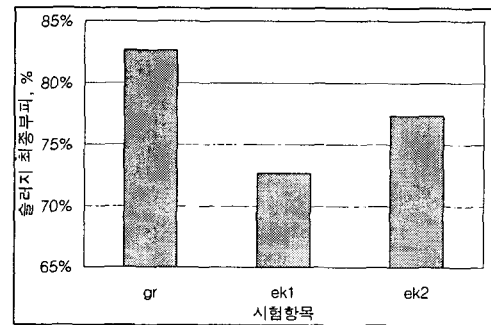


그림 6 슬러지 최종부피

4.3 오염물질 제거 효과

동전기기술 적용에 따른 오염된 준설토내의 유기물질 및 중금속 제거효과를 파악하기 위하여 동전기 작업 진행에 따라 각 시험조건별로 시료상부의 상등수, 시료하부의 유출수, 시료의 절편토양을 채취하여 각각 COD, 구리, 납, 카드뮴, 수은의 농도를 측정하였다. 각 시료에 대한 농도 측정결과 오염된 준설토내의 유기물질 및 중금속이 부분적으로 제거됨을 알 수 있었다. 따라서 국내의 경우 오염이 심화되고 있는 해안준설토, 하천준설토, 호수준설토, 댐준설토 등의 준설토를 동전기기법을 이용하여 급속침강뿐 아니라 오염물질을 제거할 수 있음을 알 수 있었으며 향후 동전기기법이 오염된 준설토의 재활용에 많은 기여를 할 것으로 판단된다.

4. 결론

1. 전류방향에 관계없이 E/K침강이 중력침강에 비해 침강속도가 빠르게 나타났다.
2. 입자를 중력방향으로 움직이는 전류방향의 E/K침강이 이와 반대되는 전류방향의 E/K침강보다 침강속도가 빠르게 나타났다.
3. 침강속도가 서서히 둔화되어 침강이 완료되어가는 90%에 해당하는 침강까지 소요되는 시간은 gr, ek1, ek2가 각각 59, 41, 21시간 소요되는 것으로 나타났다.
4. 슬러지의 최종부피는 gr, ek1, ek2가 각각 초기 부피에 비해 83, 73, 77%로 나타나 ek1실험에서 부피 감소가 가장 크게 나타났다.
5. 동전기기술에 의하여 준설토의 침강뿐만 아니라 유기물질 및 중금속 등의 오염물질 제거효과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Shang, J. Q.: Electrokinetic sedimentation a theoretical and experimental study, Can. Geotech. J. 34, pp.305-314(1997)