

# 전극간 거리에 따른 연약지반의 지반개량 효과와 전기적 특성

## Improvement Effect and Electrical Characteristics of Soft Ground with Plastic Electrode Spacing

변인성<sup>1)</sup> · 강홍식<sup>2)</sup> · 선석윤<sup>3)</sup> · 한정훈<sup>4)</sup> · 안광국<sup>†</sup>

Inseong Byeon · Hongsig Kang · Seokyeon Sun · Jeonghoon Han · Kwangkuk Ahn

Received: September 3<sup>rd</sup>, 2015; Revised: September 8<sup>th</sup>, 2015; Accepted: November 25<sup>th</sup>, 2015

**ABSTRACT** : Soft ground stabilization is needed to construct large civil facilities on the soft clay ground. Pre-loading method, which is accelerating consolidation method, is generally used to stabilize the soft ground. However, pre-loading method is required long construction period and quantities of fill material. Therefore, electro-osmosis method is used to replace pre-loading method for stabilizing the soft ground. Electro-osmosis method is disadvantageous in constructive and economic aspects because it is needed a metallic electrode. So, in order to solve the those disadvantages, plastic electrode was developed to replace metallic electrode. Plastic electrode, which is made by using nano-technology on existing Plastic Drain Board (PDB), was used to supply the electric power. In this study, therefore, the model test was conducted to confirm the effect of improvement and electrical characteristics of soft ground by spacing of plastic electrode. The result shows that the effect of improvement of soft ground was decreased up to 45% by increasing electrode spacing and electrical characteristics on the soft ground were influenced by consolidation settlement with electrode spacing.

**Keywords** : Electro-osmosis method, Soft ground, Plastic drain board (PDB), Consolidation, Nano-coated

**요지** : 연약한 점토지반에 대규모 토목시설을 건설하기 위해서는 연약지반 안정화 처리가 불가피하다. 일반적으로 연약지반 안정화 처리를 위해 압밀촉진공법으로 선행재하공법이 사용되고 있으나 선행재하공법은 공사기간이 매우 길고, 재하용 성토재료를 확보해야 하는 단점이 있기 때문에 이를 해결하기 위한 방법으로 전기삼투공법 등이 사용되고 있다. 전기삼투공법은 금속성 전극재가 사용되기 때문에 시공 및 경제적 측면에서 불리하다. 따라서 금속성 전극재를 대신하기 위해 기존 플라스틱 드레인 보드(PDB)에 전기를 공급할 수 있도록 나노기술을 이용한 플라스틱 전극재가 개발되었다. 이에 본 연구에서는 플라스틱 전극재의 간격에 따른 연약지반의 개량 효과와 전기적 특성을 확인하기 위한 모형실험을 수행하였으며, 그 결과 지반개량 효과는 전극간 거리가 길수록 최대 49% 감소하였고 전기적 특성은 전극간 거리에 따른 압밀침하에 영향을 받는 것으로 나타났다.

**주요어** : 전기삼투공법, 연약지반, 플라스틱 드레인 보드(PDB), 압밀, 나노 코팅

## 1. 서론

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 점토지반은 내륙 하천연안 지역에 주로 분포하고 있으며 자연함수비는 30~70% 정도로 연약한 점토지반으로 형성되어 있다. 이러한 연약한 점토지반에 대규모 토목시설을 건설하기 위해서는 연약지반의 안정성을 높이기 위한 안정화 처리가 불가피하고 안정화 처리를 위한 일반적인 방법으로 압밀을 촉진시키는 방법이 사용되고 있다. 압밀을 촉진시키기 위한 방법으로 공사비가 저렴하고 압밀효과가 균등한 선행재하공법이 사용되고 있으나 공사기간이 매우 길고, 재하용 성토재료를 확보해야 한다는 단점을 내포하고 있다. 특히 성토재료를 공급

하기 위해 산림을 훼손하여야 하기 때문에 환경파괴를 최소화하고 압밀시간을 단축시킬 수 있는 압밀촉진공법으로 등 전기공법인 전기삼투공법이 사용되고 있다. 전기삼투공법은 물로 포화된 점토지반에 전극을 설치하여 전류를 흐르게 하면서 점토지반 내 전기 침투라는 현상에 의해 간극수를 배수시켜 지반의 전단저항을 증가시키는 공법이다. 전기삼투공법을 사용하기 위해서는 전극재가 필요하기 때문에 일반적으로 금속성 전극재가 현장에서 활용되고 있다. 그러나 금속성 전극재는 시공 및 경제적 측면에서 사용하기가 불리하기 때문에 기존 플라스틱 드레인 보드(PDB)에 나노 기술을 이용해 전극재로 활용할 수 있는 나노 코팅된 플라스틱 전극재가 개발되었다(Ahn et al., 2009). 그리고 개발된 플라

1) Korea Expressway Corporation

2) School of Civil Engineering, Chungbuk National University

3) Dongyang Engineering & Construction Group

4) HANIL GEO ENG, CO., LTD.

† School of Civil Engineering, Chungbuk National University (Corresponding Author : akk@chungbuk.ac.kr)

스틱 전극재를 활용하기 위한 다양한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다(Ahn et al., 2012; Ahn, 2011; Sin, 2010; Sin, 2011). 그러나 플라스틱 전극재의 간격에 따른 전기적 특성은 확인되지 않았다. 이에 본 연구에서는 플라스틱 전극재의 전극간 거리에 따른 연약지반의 지반개량 효과와 전기적 특성을 확인하기 위해 플라스틱 전극재를 사용하여 동일한 전압조건에서 전극간 거리를 30, 60, 90cm로 변화시켜 모형실험을 수행하였다. 그리고 지반개량 효과를 확인하기 위해 연약지반의 침하 및 배수량을 측정하여 비교·분석하였으며 전기적 특성을 확인하기 위해 연약지반 내의 전압 및 전류, 저항을 측정하여 비교·분석하였다.

## 2. 모형실험 장치 및 방법

본 연구는 동일한 전압조건에서 전극간 거리에 따른 연약지반의 지반개량 효과 및 전기적 특성을 확인하기 위해 모형실험을 수행하였다. 모형실험에서 연약지반을 형성시키기 위해 사용된 해성점토는 Table 1의 물리적 특성을 갖

Table 1. Parameter of marine clay

Physical properties	Quantity
Specific gravity	2.7
Liquid limit (%)	55.29
Plasticity index (%)	19.22
Initial water content (%)	70
USCS (Unified Soil Classification System)	MH

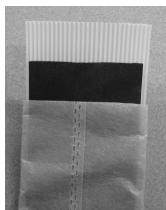
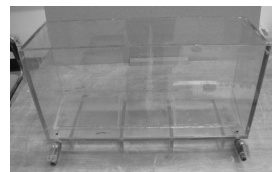


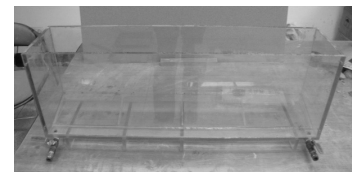
Fig. 1. Plastic Electrode



(a) 30 cm



(b) 60 cm



(c) 90 cm

Fig. 2. Model box

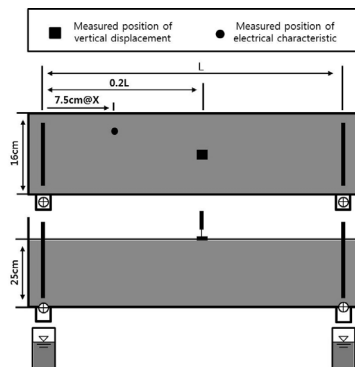


Fig. 3. Position of measured device

는 시료를 사용하였으며, 모든 모형실험에 동일한 초기함수비 조건을 적용시키기 위해 함수비를 70%로 조정하여 모형해성 점토지반을 형성시켰다.

그리고 모형 해성 점토지반에 전압을 제공하기 위한 전극재는 Fig. 1과 같이 기존 플라스틱 드레인 보드(PDB)에 나노 코팅된 섬유를 삽입해 전극재로 활용할 수 있는 플라스틱 전극재를 사용하였으며, 플라스틱 전극재의 특성은 Table 2와 같다.

전극간 거리에 따른 영향을 확인하기 위한 모형토조는 Fig. 2와 같이 전극간 거리에 따라 가로가 30, 60, 90cm로 구분되고 세로 16cm, 높이 25cm로 고정되게 전열체인 아크릴로 제작하였다. 모형실험이 진행되는 동안 전기적 특성을 확인하기 위해 Fig. 3과 같이 플라스틱 전극재로부터 7.5cm 간격으로 전극간 거리에 따라 전압 및 전류, 저항을 측정하였다. 또한 지반개량 효과를 확인하기 위해 모형 해성 점토지반 중간지점 상부에 LVDT를 설치하고, 모형토조 양측 하부에 배수장치를 두어 압밀침하 및 압밀배수량을 계측하였다. 실험시간은 압밀침하와 압밀배수의 수렴성을 확인하여 총 30일의 모형실험결과를 사용하였다. Fig. 4는 모형실험 장치 설치 완료 후의 전경이다.

Table 2. Properties of plastic electrode

Total transmittance (%)	$\geq 75$
Sheet resistance ( $\Omega/\text{sq}$ )	80 ~ 120
Uniformity (%)	$\leq 10$
Hardness (H)	$\geq 3$
ITO Adhesion	100/100



Fig. 4. Model test

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 압밀침하 특성

5V의 전압이 동일하게 공급되는 모형 해성 점토지반에서 전극간 거리에 따라 압밀침하거동은 Fig. 5와 같이 나타났으며 전극간 거리가 30cm인 경우 압밀기간 4일 후 침하량이 급격히 감소하여 압밀시간 12일에 최종 압밀침하량에 도달하는 것으로 나타났다. 그리고 전극간 거리가 60cm인 경우는 전극간 거리 30cm인 경우와 유사한 양상으로 나타났으나 압밀기간 18일에 최종 압밀침하량에 도달하는 것으로 나타났다. 하지만 전극간 거리 90cm인 경우는 최종 압밀침하가 나타나지 않고 지속적으로 진행되는 것으로 나타났다. 압밀시간별로 전극간 거리에 따른 압밀침하는 Fig. 6 및 Table 3과 같이 전극간 거리 30cm인 경우를 기준으로 압밀시간 4일에서는 전극간 거리가 60cm인 경우 21.2% 작게 나타났으며, 90cm는 54.2% 작게 나타났다. 그리고 압밀시간 12일에서는 전극간 거리 60cm인 경우 5.9%, 90cm인 경우는 44.6% 작게 나타났다. 압밀시간 18일의 경우 압밀침하량은 전극간 거리 60cm인 경우 1.1% 작게 나타났으며, 90cm인

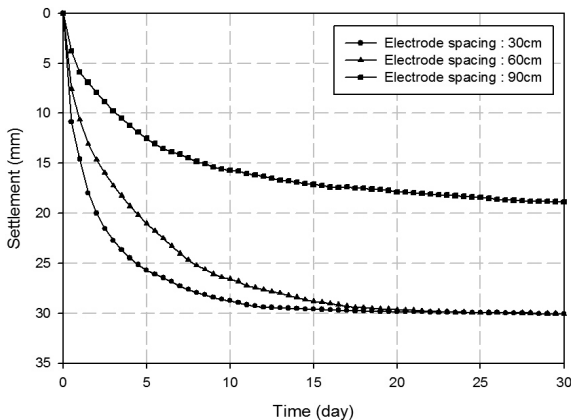


Fig. 5. Consolidation settlement with time

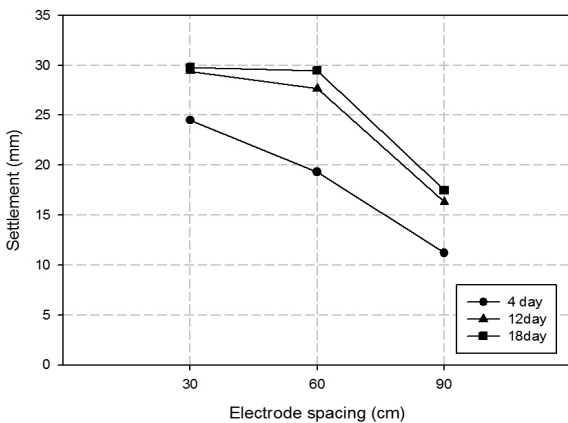


Fig. 6. Consolidation settlement with electrode spacing

경우는 41.3% 작게 나타났다. 이는 전극간 거리가 짧을수록 압밀침하가 크게 나타나 압밀시간을 단축시키는 것으로 보인다.

#### 3.2 압밀배수 특성

Fig. 7과 같이 모형 해성 점토지반에 대한 전극간 거리에 따른 압밀배수거동은 압밀기간 4일까지 전극간 거리에 따라 동일한 배수량으로 나타났으나 압밀기간 4일 이후 전극간 거리 30cm는 배수량이 점점 감소하여 압밀기간 12일 이후 수렴하는 것으로 나타났으며, 60cm는 압밀기간 8일 이후 배수량이 점점 감소하여 압밀기간 25일 이후 수렴하는 것으로 나타났다. 하지만 90cm인 경우는 압밀기간 8일 이후 수렴하지 않고 지속적으로 진행되는 것으로 나타났다. 이는 5V의 동일한 전압조건에서 전극간 거리가 짧을수록 압밀배수가 빠르게 수렴되는 것으로 압밀배수는 전극간 거리에 영향을 받는 것으로 보인다. Fig. 8 및 Table 4와 같이 압밀시간별로 전극간 거리에 따른 압밀배수량은 전극간 거리 30cm를 기준으로 압밀기간 4일에서는 전극간 거리 60cm인 경우 0.05%로 크게 나타났으며, 90cm는 0.41%로 크게 나타났다. 이는 전극간 거리에 따라 동일한 압밀배수가 나타났기 때문으로 보인다. 압밀시간 8일에서는 전극간 거리 60cm인 경우 10.4%, 90cm인 경우는 10.1%로 크게 나타났다. 이는 압밀기간 8일까지 전극간거리 60cm 및 90cm는 동일한 압밀배수가 나타났기 때문으로 보인다. 압밀시간 25일

Table 3. Measured consolidation settlement with electrode spacing

Electrode spacing (cm)	Consolidation settlement (mm)		
	6 day	12 day	18 day
30	24.49	29.40	29.78
60	19.30	27.66	29.45
90	11.22	16.30	17.48

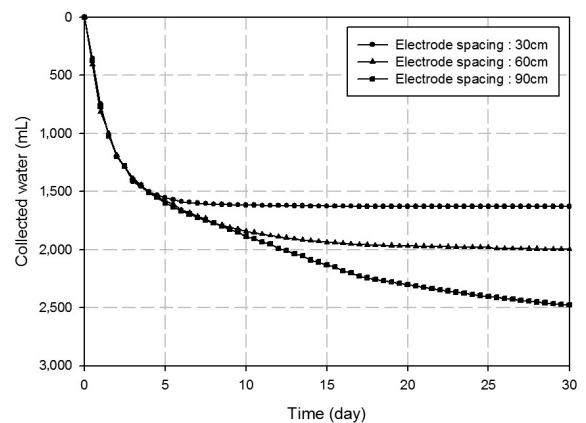


Fig. 7. Consolidation drainage with time

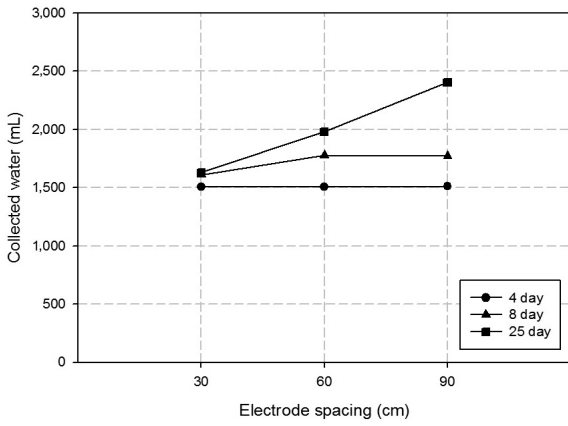


Fig. 8. Consolidation drainage with consolidation time

Table 4. Measured consolidation drainage with consolidation time

Electrode spacing (cm)	Consolidation drainage (mL)		
	4 day	8 day	25 day
30	1,506	1,609	1,630
60	1,506	1,776	1,981
90	1,512	1,771	2,404

의 경우는 전극간 거리 60cm인 경우 21.5%로 크게 나타났으며, 90cm인 경우는 47.5%로 크게 나타났다. 이는 전극간 거리 30cm인 경우에 비해 지속적으로 압밀배수가 발생하였기 때문으로 보인다.

### 3.3 전기적 특성

전극간 거리에 따른 모형 해성 점토지반의 전기적 특성을 확인하기 위해 Fig. 3과 같이 전극 재료부터 7.5cm 간격으로 전극간 거리에 따라 전기적 특성을 측정하였으며, 측정위치별 결과가 유사하게 나타나 평균화하여 전극간 거리에 따른 분석을 수행하였다.

#### 3.3.1 전압 특성

5V의 전압이 공급되는 모형 해성 점토지반 내 전압거동은 Fig. 9와 같이 나타났다. 압밀기간 4일 이전의 경우 전극간 거리에 따라 동일한 배수량에 대해서 전극간 거리가 짧을수록 전압이 작게 나타났다. 이는 동일한 압밀배수를 위해 전압이 전극간 거리에 영향을 받는 것으로 보인다. 하지만 압밀기간 4일 이후 전압은 전극간 거리 30cm에서 전압이 지속적으로 증가하다 압밀기간 8일 이후에는 미소하게 증가하여 5V에 도달하는 것으로 나타났다. 이는 전해질인 지반 내 간극수가 감소하였기 때문에 지속적인 배수를 위해 전압이 증가된 것으로 보인다. 전극간 거리 60cm의 경우는 압밀기간 8일 이전까지 지속적으로 전압이 증가하다 압밀기간

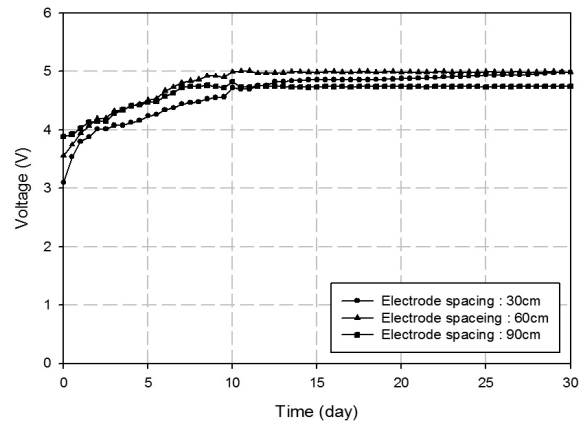


Fig. 9. Voltage with time

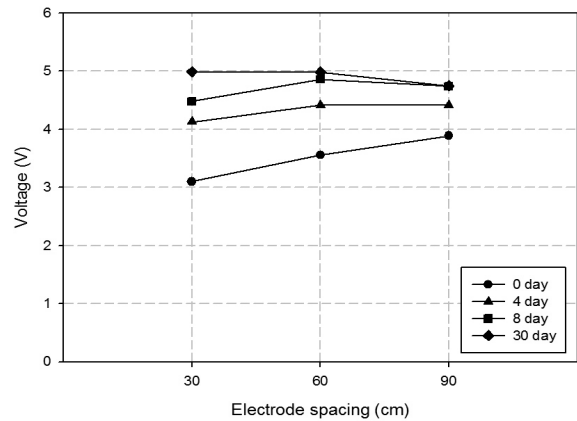


Fig. 10. Voltage with electrode spacing

Table 5. Measured voltage with electrode spacing

Electrode spacing (cm)	Voltage (V)			
	0 day	4 day	8 day	30 day
30	3.1	4.1	4.5	5.0
60	3.6	4.4	4.9	5.0
90	3.9	4.4	4.7	4.7

8일 이후에는 전압이 5V에 도달하여 유지되는 것으로 나타났다. 또한 전압의 증가가 전극간 거리 30cm인 경우에 비해 빠르게 나타났다. 이는 전극간 거리 30cm인 경우에 비해 높은 전압의 공급과 동시에 지반 내 간극수가 감소하였기 때문에 지속적인 배수를 위해 전압이 증가된 것으로 보인다. 하지만 전극간 거리 90cm는 60cm인 경우와 유사한 전압거동으로 나타났으나 압밀기간 8일 이후 전압은 60cm인 경우보다 낮게 나타났다. 이는 전극간 거리 90cm인 경우 전압이 증가된 만큼 지반 내 간극수가 감소되지 않았기 때문으로 보인다. 전극간 거리에 따른 압밀시간 별 전압은 Fig. 10 및 Table 5와 같이 나타났다. 압밀기간 0일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 14.7%, 90cm는 25.4% 크게 나타났다. 이는 전극간 거리에 따른 영향으로 보이며, 압밀

기간 4일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 6.9%, 90cm는 6.9% 크게 나타났다. 압밀기간 8일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 8.4%, 90cm는 5.8% 크게 나타났다. 이는 지반 내 간극수의 배수에 따른 영향인 것으로 보인다. 그리고 압밀기간 30일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 0.08%로 30cm인 경우와 유사하게 나타났다. 그러나 90cm는 4.8% 작게 나타났다. 이는 전극간 거리 30cm와 60cm는 압밀배수가 수렴됨에 따라 지반 내 전압이 5V에 근접한 것으로 보이며 전극간 거리 90cm는 압밀배수가 지속적으로 진행되었기 때문으로 보인다.

### 3.3.2 전류 특성

모형 해성 점토지반에서 전극간 거리에 따른 전류거동은 Fig. 11과 같이 나타났다. 압밀기간 6일 이전의 경우 전류 거동은 전압 거동과 반대로 전극간 거리가 짧을수록 전압이 크게 흐르는 것으로 나타났으며, 압밀시간이 증가함에 따라 전류는 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 압밀기간 6일 이후 전극간 거리 30cm인 경우 전류는 압밀기간 12일까지 일정하게 유지되는 것으로 나타났으며 압밀기간 12일 이후에는 지속적으로 전류가 감소하는 것으로 나타났다. 지반 내 전류의 감소는 전해질인 지반 내 간극수가 감소하였기 때문으로 보인다. 전극간 거리 60cm인 경우는 압밀기간 12일에서 20일까지 일정하게 유지되는 것으로 나타났으며, 압밀기간 20일 이후에는 지속적으로 전류가 감소되는 것으로 나타났다. 이는 전극간 거리 30cm인 경우와 동일하게 지반 내 전해질인 간극수의 감소로 인한 것으로 보인다. 하지만 전극간 거리 90cm인 경우는 압밀기간 12일에서 30일까지 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 이는 지반 내 간극수가 전류를 유지시킬 수 있을 만큼 충분히 존재하기 때문에 전류가 일정하게 유지되는 것으로 보인다. 모형 해성 점토지반에서 압밀시간 별 전극간 거리에 따른 전

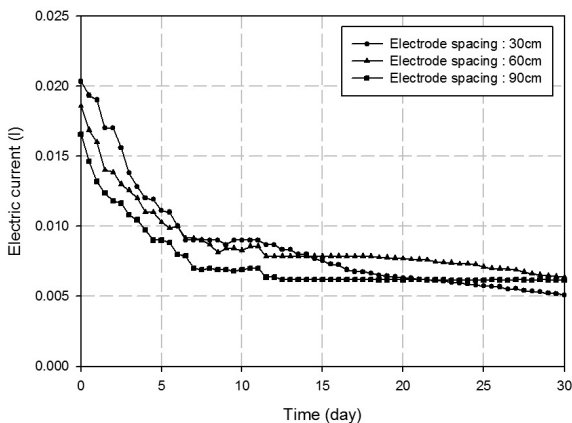


Fig. 11. Current with time

류는 Fig. 12 및 Table 6과 같이 나타났다. 압밀기간 0일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 8.4%, 90cm는 18.7% 작게 나타났다. 이는 전극간 거리에 따른 영향인 것으로 보인다. 압밀기간 6일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 0%로 나타났으며, 90cm는 20% 작게 나타났다. 그리고 압밀기간 12일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 9.3%, 90cm는 26.6% 작게 나타났다. 이는 전극간 거리가 짧을수록 지반 내 전해질인 간극수의 감소가 빠르게 나타났기 때문으로 보인다. 하지만 최종 압밀기간인 30일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 25.3% 크게 나타났으며, 90cm는 20.4% 크게 나타났다. 이는 전극간 거리 30cm의 경우 전해질인 간극수가 전극간 거리 60cm 및 90cm에 비해 많이 감소되었기 때문인 것으로 보인다.

### 3.3.3 저항 특성

전극간 거리에 따른 모형 해성 점토지반에서의 저항거동은 Fig. 13과 같이 나타났다. 압밀기간 6일 이전의 경우 저항 거동은 전극간 거리가 짧을수록 저항이 작게 나타났으며, 압밀시간이 증가함에 따라 전류는 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 압밀기간 6일 이후 전극간 거리 30cm인 경우 저항은 압밀기간 12일까지 미소하게 증가되는 것으로 나타났으나 압밀기간 12일 이후 저항이 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 전극간 거리 60cm인 경우는 압밀기간 12일에서 20일까지 저항이 일정하게 유지되는 것으로 나타났으며, 압밀기간 20일 이후 지속적으로 저항이 증

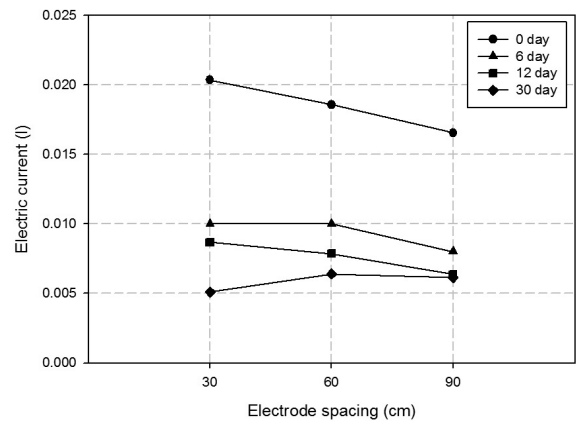


Fig. 12. Current with electrode spacing

Table 6. Measured current with electrode spacing

Electrode spacing (cm)	Current (A)			
	0 day	6 day	12 day	30 day
30	0.020	0.010	0.009	0.005
60	0.019	0.010	0.008	0.006
90	0.017	0.008	0.006	0.006

가되는 것으로 나타났다. 지반 내 저항의 증가는 전해질인 지반 내 간극수가 감소하였기 때문으로 보인다. 하지만 전극간 거리 90cm인 경우는 압밀기간 12일에서 30일까지 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 이는 지반 전해질인 간극수가 충분히 존재하기 때문에 저항이 증가하지 않는 것으로 보인다. 또한 저항거동은 전류거동과 반대적 특성으로 나타났다. 이는 저항이 전류와 전압의 관계에 의해 발생하였기 때문으로 보인다. 전극간 거리에 따른 압밀시간별 저항은 Fig. 14 및 Table 7과 같이 나타났다. 압밀기간 0일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 25.5%, 90cm는 5.41% 크게 나타났으며 압밀기간 6일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 7.5%, 90cm는 31.6% 크게 나타났다. 또한 압밀기간 12일의 경우 전극간 거리 30cm를

기준으로 60cm는 15.3%, 90cm는 35.9% 크게 나타났다. 이는 전류특성과 유사하게 지반 내 전해질인 간극수의 감소로 인해 지반의 저항이 증가하였기 때문으로 보인다. 하지만 최종 압밀기간인 30일의 경우 전극간 거리 30cm를 기준으로 60cm는 22.3%, 90cm는 21.0% 작게 나타났다. 이는 전극간 거리 30cm의 경우 전해질인 간극수가 전극간 거리 60cm 및 90cm에 비해 많이 감소되었기 때문인 것으로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서 동일한 전압조건에서 전극간 거리에 따른 해성 점토지반의 전기적 특성 및 지반개량 효과를 확인하기 위한 모형실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전극간 거리가 증가함에 따라 압밀침하량은 최소 54.2% 작게 나타났다 이는 전극간 거리가 증가할수록 지반개량 효과는 감소하는 것으로 보인다. 하지만 충분한 압밀 시간을 고려하는 경우 전극간 거리 60cm인 경우는 30cm인 경우와 유사한 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다. 또한 동일한 전압조건에서 전극간 거리가 짧을수록 압밀배수가 빠르게 수렴 되는 것으로 나타나 압밀배수는 전극간 거리에 영향을 받는 것으로 보인다.
- (2) 해성 점토지반에서 전극간 거리에 따른 전기적 특성으로 전압의 경우 동일한 압밀배수가 나타난 압밀기간 동안 전극간 거리가 짧을수록 전압이 작게 나타났다. 이는 전압이 전극간 거리에 영향을 받는 것으로 보인다. 그리고 압밀배수가 진행되면서 전극간 거리에 따른 전압거동은 다르게 나타났다. 이는 지반 내 간극수를 감소시키기 위해 전극간 거리에 따라 전압이 다르게 발생하였기 때문으로 보이며, 전압은 압밀배수 거동에 영향을 받는 것으로 보인다.
- (3) 전류 및 저항의 경우는 압밀시간에 따라 전류는 감소하고 저항은 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 압밀배수로 인해 지반 내 전해질인 간극수가 감소하였기 때문으로 보인다. 그리고 전극간 거리가 증가함에 따라 전류는 감소하고 저항은 증가하나 압밀배수의 수렴에 따라 경향이 다르게 나타났다. 이는 압밀배수의 거동이 전류 및 저항에 영향을 미치기 때문으로 판단된다.

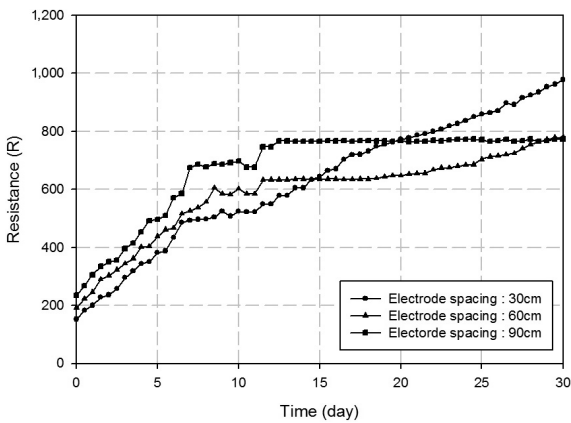


Fig. 13. Resistance with time

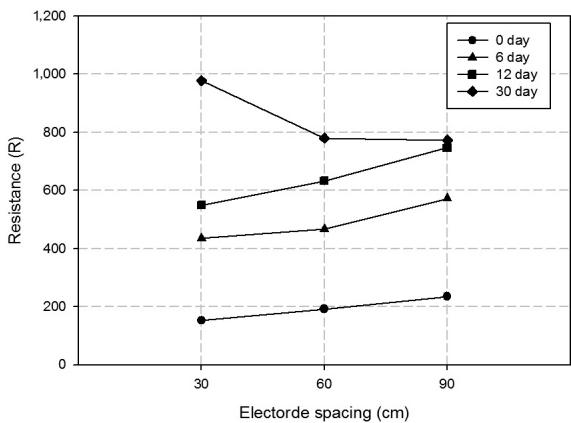


Fig. 14. Resistance with electrode spacing

Table 7. Measured resistance with electrode spacing

Electrode spacing (cm)	Resistance ( $\Omega$ )			
	0 day	6 day	12 day	30 day
30	152.46	434.33	548.85	977.80
60	191.39	466.86	632.55	779.80
90	234.89	571.59	746.29	772.95

#### 감사의 글

이 논문은 2014년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 재정지원에 감사드립니다.

## References

1. Ahn, K. K., Jeong, K. S. and Lee, J. D. (2009), Characteristics on electroosmosis ground improvement using nano-geosynthetics, *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 10, No. 4, pp. 59~63 (in Korean).
2. Ahn, K. K., Park, S. B. and Lim, G. S. (2012), Effect of electroosmosis ground improvement with changing pH, *Journal of the Institute of Construction Technology*, Vol. 31, No. 2, pp. 115~120 (in Korean).
3. Ahn, S. R. (2011), Effect of electrode efficiency for electroosmosis ground improvement, Master's thesis, Graduate School of Chungbuk National University, pp. 1~55 (in Korean).
4. Sin, D. C. (2010), Characteristics on electrokinetic ground improvement according to electrode types, Master's thesis, Graduate School of Chungbuk National University, pp. 1~47 (in Korean).
5. Sin, T. J. (2011), Characteristics on electroosmosis ground improvement of marine clay, Master's thesis, Graduate School of Chungbuk National University, pp. 1~53 (in Korean).