

## Effects of Compost and Gypsum on Soil Water Movement and Retention of a Reclaimed Tidal Land

Jeong-Eun Lee<sup>1</sup>, and Seok-In Yun<sup>1,2\*</sup>

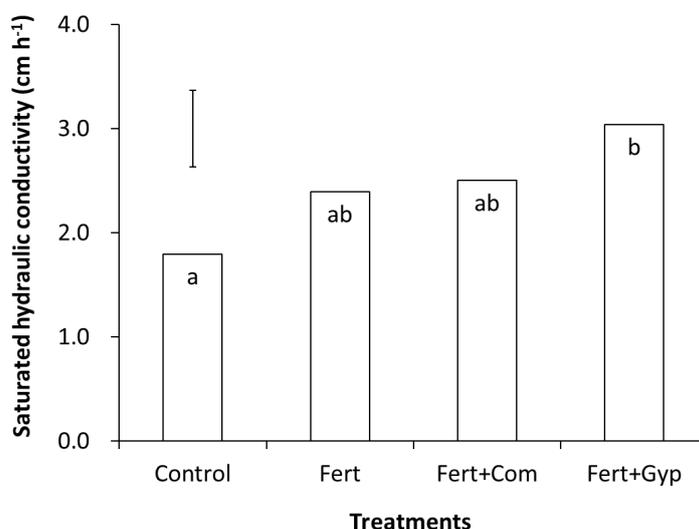
<sup>1</sup>Department of Bio-Environmental Chemistry, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

<sup>2</sup>Institute of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

(Received: August 29 2014, Revised: October 2 2014, Accepted: October 2 2014)

Compost and gypsum can be used to ameliorate soil physicochemical properties in reclaimed tidal lands as an organic and inorganic amendment, respectively. To evaluate effects of compost and gypsum on soil water movement and retention as a soil physical property, we measured the soil's saturated hydraulic conductivity and field capacity after treating the soil collected in a reclaimed tidal land with compost and gypsum. Saturated hydraulic conductivity of soil increased when compost was applied at the conventional application rate of 30 Mg ha<sup>-1</sup>. However, the further application of compost insignificantly ( $P > 0.05$ ) increased saturated hydraulic conductivity. On the other hand, additional gypsum application significantly increased soil saturated hydraulic conductivity while it decreased soil field capacity, implying the possible effect of gypsum on flocculating soil colloidal particles. The results in this study suggested that compost and gypsum can be used to improve hydrological properties of reclaimed tidal lands through increasing soil water retention and movement, respectively.

**Key words:** Compost, Gypsum, Field capacity, Reclaimed tidal land, Saturated hydraulic conductivity



Changes in saturated hydraulic conductivity of soil after applying compost and gypsum to the soil collected in a reclaimed tidal land.

\*Corresponding author : Phone: +82638506677, E-mail: siyun@wku.ac.kr

§Acknowledgement: This work was carried out by the support of Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (PJ0098032014), Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

우리나라는 농경지와 공업 용지 등으로 활용할 토지 확보를 위해 간척 사업을 활발히 진행해왔다. 간척지는 주위 환경의 제약조건이 불리하여 활용 용도가 제한되는 실정이고, 토지의 많은 부분이 작물 생산을 위한 농경지로 활용되고 있다. 그동안 간척 면적의 확대와 함께 간척지에서의 농업활동이 크게 증가하였고, 우리나라 농경지 면적 중 많은 부분이 간척지에 분포하여 간척지는 우리나라 농업생산을 안정적으로 유지하는 데에 중요한 역할을 하고 있다 (Lee et al., 2013).

간척지 내 토양은 물리화학적 특성이 불리하여 식물 생육에 적합하지 않다. 특히 조성 후 얼마 지나지 않은 신간척지 토양은 염류도 (염도)가 높을 뿐만 아니라 염류 중 나트륨 (Na)의 비율이 높은 것이 특징이다 (Koo et al., 1998). 염류도가 높을 경우 토양수의 삼투 포텐셜이 낮아져 식물의 수분 흡수가 제한되고, 나트륨의 비율이 높을 경우 식물에 나트륨 독성이 나타나기도 하여 식물 생육에 부적합하다 (Lee et al., 2003). 또한 간척지 토양은 토양 생화학적으로 신생토의 특징을 가지고 있기에 토양 구조 발달이 불량하고, 토양 내 유기물 함량이 낮아 입단 형성에 어려움이 있으며, 특히 토양 중 나트륨의 비율이 높아 토양 입자의 분산이 일어나기 때문에 간척지 토양을 농경지로 활용하는 데에 어려움이 있다 (Lee et al., 2013).

우리나라에서 간척지의 많은 부분이 농경지로 활용되고 있지만, 간척지의 불리한 생산 환경을 극복하기 위해 담수하여 재배하는 논으로 활용되는 경우가 많다. 벼의 경우 간척지의 토양 입자의 분산과 함께 투수성 및 통기성 불량으로 발생하는 부정적 영향을 덜 받고, 또한 간척지 토양을 민물로 담수함으로써 높은 염류도로부터 기인하는 식물 피해를 줄일 수 있기 때문이다. 간척 사업이 시작된 후 대단위 면적에서 벼재배의 증가와 함께 최근 국내 소비량에 비해 쌀이 과잉 생산되고 있다. 그러나 다른 발작물의 생산량은 부족한 실정이라서, 식량 생산의 균형을 유지하기 위해 간척지에서 벼 이외의 작물에 대한 생산의 다양화가 요구되고 있다 (Lee et al., 2003; Song et al., 2013).

간척지를 밭으로 활용할 경우 불리한 토양 조건을 극복할 수 있는 토양 관리가 필요하다. 많은 연구에서 간척지 토양개량을 위해 크게 두 가지 방법으로 접근하고 있다. 하나는 토양의 물리성 개량이다. 토양 유기물은 토양의 입단 형성과 구조 발달에 중요한 역할을 하지만, 일반적으로 간척지에서 토양의 유기물 함량이 낮다. 따라서 토양에 유기물을 공급할 경우 토양 입단 형성을 향상시킬 수 있다고 알려져 있다 (Kim et al., 2005; Baeket al., 2010; Kang et al., 2014). 다른 하나는 토양의 화학성 개량으로 염류를 제거하고 나트륨의 비율을 줄이는 것이다 (Baeket al., 2008). 그

중 나트륨은 토양의 염류도에 기여할 뿐만 아니라 식물에 독성이 있고 토양 입자를 분산시키기 때문에, 나트륨의 비율은 작물 생육 및 수확량에 미치는 영향이 크다. 따라서 토양 중 나트륨을 교환할 수 있는 양이온을 포함한 개량제를 처리하여 토양 내 나트륨 비율을 줄임으로써 토양 입자 응집과 함께 입단 형성을 향상시키고 식물 독성을 줄일 수 있을 것이다 (Kim et al., 2005; Baeket al., 2010).

간척지에 이용할 다양한 토양 개량제가 꾸준히 연구 및 개발되고 있는데, 그중 토양 내 유기물을 공급하기 위한 유기 물질 개량제를 대상으로 폭넓게 연구되고 있다. 유기물인 팽화왕겨를 토양에 처리하여 작물을 재배하였을 경우 단기간에 걸친 제염 및 토양 입단화 효과가 미미하게 나타난다고 보고하였다 (Kim et al., 2005; Baeket al., 2008). 새만금 간척지 연구에서 제염이 일부 진행된 토양 ( $EC = 0.69 \text{ dS m}^{-1}$ )으로 녹비 작물을 5년간 재배하였을 경우 유기물 함량이  $1.3 \text{ g kg}^{-1}$ 에서  $4.7 \text{ g kg}^{-1}$ 으로 증가하고, 전용적 밀도가  $1.44 \text{ Mg m}^{-3}$ 에서  $1.24 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로 감소하였다고 보고하였다 (Kang et al., 2014). 퇴비의 경우 유기물 공급 및 양분의 공급자로 많이 활용되고 있는 개량제인데, 간척지 토양에 처리하여 벼를 재배하였을 경우 토양의 염류 및 나트륨의 제거 효과는 없었으나 벼 생육 증진에 효과가 있었다고 보고되었다 (Moon et al., 2011). 토양 화학성 개선을 위해 이용할 수 있는 개량제로 석고가 있다. 석고의 경우 산업 부산물이라는 부정적인 시각 때문에 많이 활용되고 있지 않지만, 토양 내 염분 중에서 나트륨의 비율을 줄이는 데에 효과가 크다고 연구자들에 의해 보고되고 있다 (Kim et al., 2005; Baeket al., 2008; Rasouliet al., 2013).

개량제 처리에 따른 토양 염류도, 토양 유기물 함량, 전용적 밀도 및 작물 생육 등의 변화에 대해 국내에서 연구가 꾸준히 진행되었으나 토양의 수분 보유와 이동에 미치는 영향에 대한 연구는 미진한 실정이다. 본 연구에서는 새만금 간척지에서 채취한 토양에 작물 재배 및 토양 개량을 목적으로 널리 사용되는 퇴비와 석고를 처리함으로써 토양의 수분보유 및 이동에 미치는 영향에 대해 시험하고자 한다.

## Materials and Methods

시험을 위해 새만금 간척지 계획도에 인접한 지역에서 2013년 토양 (문포토, coarse loamy, mixed, nonacid, mesic family of TypicFluvaquents)을 20 cm 깊이로 채취하였다. 간척지에서 채취한 토양은 사양토이고 유기물함량은  $2.2 \text{ g kg}^{-1}$ 이었다 (Table 1). 토양을 1:5 비율의 탈이온 증류수로 침출한 후 측정된 전기전도도 ( $EC_{\text{soil:water}=1:5}$ )는  $4.67 \text{ dS m}^{-1}$ 이고 토양의 포화침출액 전기전도도 ( $EC_e$ )는  $47.7 \text{ dS m}^{-1}$ 이며, 두 측정치 ( $EC_e$ 와  $EC_{\text{soil:water}=1:5}$ )는 10.2의 비율이었다. 그리고 모래필터를 통해 포화 토양으로부터 배수성 물이 빠진 후에

**Table 1. Physicochemical properties of the soil used for the experiment**

| Parameters   | Value       |
|--|-------------|
| pH <sub>soil:water = 1:5</sub>                       | 8.1 (0.8)*  |
| EC <sub>soil:water = 1:5</sub> (dS m <sup>-1</sup> ) | 4.67 (0.02) |
| ECe** (dS m <sup>-1</sup> )                          | 47.7 (1.2)  |
| Organic matter content (g kg <sup>-1</sup> )         | 2.2 (1.1)   |
| Maximum water holding capacity (% V/V)               | 45.1 (0.02) |
| Ammonium acetate extractable cations                 |             |
| Ca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )             | 0.2 (0.1)   |
| Mg (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )             | 3.1 (1.0)   |
| K (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )              | 2.2 (0.3)   |
| Na (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )             | 9.6 (3.3)   |
| Texture  |             |
| Sand (g kg <sup>-1</sup> )                           | 627 (42)    |
| Silt (g kg <sup>-1</sup> )                           | 306 (34)    |
| Clay (g kg <sup>-1</sup> )                           | 67 (10)     |

\* Values in the parentheses are standard deviation of the mean (n=4).

\*\*Electrical conductivity of a saturated soil paste extract

측정한 토양의 최대 용수량은 45.1% (v/v)였다. 간척지에서 토양을 채취한 동일 해에 토양 개량제 (퇴비, 석고)의 종류에 따라 네 개의 처리를 하여 포트에 충전 후 배추를 재배하였다. 처리는 무처리구 (Control), 관행시비 처리구 (Fert), 관행시비에 퇴비가 추가된 처리구 (Fert+Com), 관행시비에 석고를 추가한 처리구 (Fert+Gyp)를 두었다. 관행시비는 퇴비, 질소, 인산, 칼륨을 각각 30 Mg ha<sup>-1</sup>, 320 kg N ha<sup>-1</sup>, 156 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 198 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>로 처리하였고, 여기서 질소, 인산, 칼륨 처리를 위해 요소, 인산이수소칼륨, 염화칼륨을 이용하였다. 퇴비 추가 처리구 (Fert+Com)에서 퇴비는 30 Mg ha<sup>-1</sup>의 시비량으로 추가 처리하였고, 석고 추가 처리구 (Fert+Gyp)는 토양 개량을 위한 석고 요구도에 따라 계산하여 4.95 Mg ha<sup>-1</sup>의 시비량으로 처리하였다 (Rasouli et al., 2013). 각 처리구에 대해 배추를 수확 후 토양은 다시 풍건하여 2 mm 체로 거른 후 토양의 수분 보유 및 이동 특성을 분석하였다. 시험에 사용된 퇴비는 톱밥, 팽연왕겨, 계분, 곡물박, 우분 등을 혼합하여 제조한 부산물 비료로 수분함량은 755 g kg<sup>-1</sup>이고 유기물함량은 550 g kg<sup>-1</sup>이었다. 석고는 일급 시약 순도의 황산칼슘 (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)을 이용하였다.

토양 내 수분 이동 및 보유 특성으로 포화수리전도도와 포장용수량을 측정하였다. 먼저 토양의 포화수리전도도는 정수위법으로 측정하였다 (Klute and Dirksen, 1986; Kim et al., 2002; Lee et al., 2014). 각 처리구에 대해 3회 반복을 위해 3개의 금속코어 (Φ = 7.23 cm, h = 7.7 cm)에 교란된 토양을 채웠고 이때 30 kPa의 일정한 압력을 가하면서 다졌다 (Lee et al., 2014). 30 kPa의 압력을 가하기 위해 지

름이 3.4 cm인 압력판 위에 2.7 kg의 무게가 토양 표면에 골고루 눌러지도록 하였다. 코어 상단까지 토양을 다진 후 모래필터 디스크를 올려놓고 그 위에 배출구가 있는 아크릴 뚜껑으로 밀봉하였다. 모래를 깔아놓은 수조에 코어를 놓은 후 24시간에 걸쳐 서서히 물을 채우면서 코어 토양을 포화시켰다. 아크릴 뚜껑의 배출구에 실리콘 튜브를 연결하였고, 다른쪽 튜브 끝은 수조의 물 높이보다 일정 높이 아래에 위치시켜 코어 토양을 통과한 물이 떨어지도록 하였다. 총 3회에 걸쳐 떨어지는 물을 일정 시간동안 수집하여 물의 부피를 측정하였고, Darcy 이론으로부터 얻어진 다음 식에 따라 토양 포화수리전도도 (K<sub>s</sub>)를 구하였다 (Klute and Dirksen, 1986):

$$K_s = \frac{QL}{tAH}$$

여기서 Q는 수집한 물의 부피 (mL)이고, L은 코어 길이 (cm), A는 코어 내부 단면적 (cm<sup>2</sup>), H는 수조에 채워진 물의 상단 지점과 튜브를 통해 물이 배출되는 지점의 높이 차이 (수두차, cm), t는 물을 수집한 시간 (s, 초)이다. 그리고 금속 코어에 채워진 토양의 건조량과 금속코어의 부피로부터 토양의 전용적 밀도를 구하였다.

토양의 유효 수분 보유 특성은 토양 포장용수량으로 평가하였고 원심분리 방법으로 분석하였다 (Cassel and Nielson, 1998). 바닥에 작은 구멍이 있는 튜브에 펄프를 채운 후 개량제가 혼합된 토양을 30 kPa의 압력으로 다지면서 채웠다. 이 토양을 하단부터 24시간 동안 물로 포화시켰다. 포화토양이 담긴 튜브를 하단부의 물 빠짐이 용이하도록 장치한 후 원심분리기를 이용하여 680 g의 원심력으로 30분간 원심분리 하였다. 원심분리 후 토양을 105°C에서 건조한 후 수분함량을 측정함으로써 포장용수량을 구하였다.

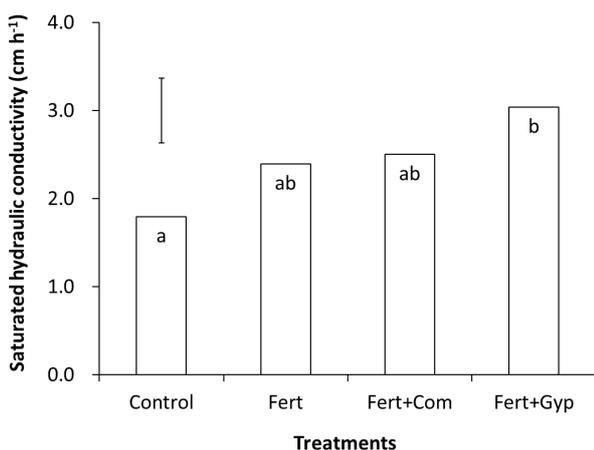
실험 결과는 SAS 프로그램 (SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 통계 분석하였다. 토양의 포화수리전도도, 전용적밀도, 포장용수량은 완전임의 배치법으로 처리간 차이를 분석하였다. 처리간 차이의 유의성 비교는 최소 유의차 (LSD) 검정을 이용하였다.

## Results and Discussion

간척지 토양에 개량제를 처리할 경우 토양포화수리전도도가 뚜렷하게 증가하였다 (Fig. 1). 무처리구에 비해 관행시비처리구 (Fert)에서 33% 증가하였고, 퇴비추가처리구 (Fert+Com)에서 39% 증가하였으며, 석고추가처리구 (Fert+Gyp)에서 가장 큰 69% 증가하여 처리간 유의적 (P < 0.05)인 차이를 보였다. 채취한 간척지 토양은 점토 비율이 낮은 (67 g kg<sup>-1</sup>) 사양토이지만, 토양통이 문포통으로 토양 내 수분 이

동이 불량한 것으로 알려져 있다 (RDA, 2014). 비교를 위해 주변 농경지에서 채취한 토성이 양토 (점토비율 254 g kg<sup>-1</sup>) 인 토양을 같이 분석한 결과 간척지 토양이 농경지의 수리 전도도에 비해 3배 이상 낮았다 (data not shown). 토양의 포화수리전도도를 결정하는 것은 토양 내 형성된 공극의 크기인데, 간척지 토양의 경우 점토 함량이 낮더라도 토양 내 유기물 함량이 낮고 양이온 중 나트륨의 비율이 높아 입단이 형성되기 어렵다. 그 결과 작은 크기의 공극이 분포되어 포화수리전도도가 낮았다고 판단된다. 나트륨에 대한 기존 연구에서도 토양 내 나트륨 이온의 농도가 증가할수록 수리 전도도가 느려진다고 보고하였다 (Ryu et al., 2009). 간척지 토양에 유기물로 퇴비를 처리할 경우 토양의 포화수리전도도가 증가하였는데, 조립질인 퇴비에 의해 토양용액이 이동할 수 있는 큰 통로가 형성되고 또한 분산된 토양입자들이 응집되면서 물의 이동성에 영향을 주었을 것이다 (Lee et al., 2014). 그러나 퇴비를 추가 처리하였을 경우 포화수리전도도의 뚜렷한 증가는 더 이상 나타나지 않았다. 반면에 석고를 추가 처리하였을 경우 포화수리전도도가 더욱 뚜렷하게 증가하였는데, 석고에 포함된 칼슘 이온 (Ca<sup>2+</sup>)에 의해 나트륨 비율이 낮아짐에 따라 분산된 토양 입자들이 응집되었기 때문이라고 판단된다 (Baek et al., 2010).

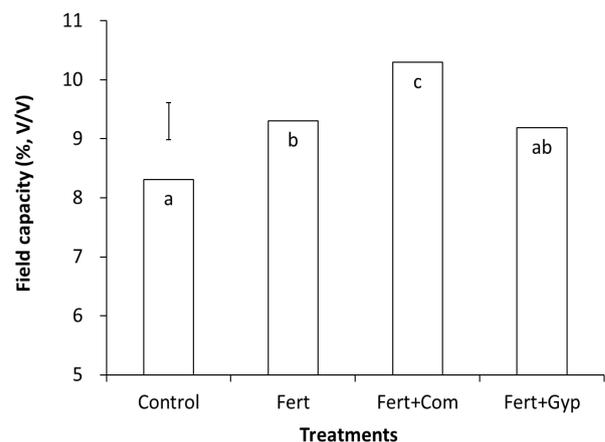
토양 투수성의 변화를 반영하는 토양 특성 중에 하나가 전용적 밀도이다. 포화수리전도도를 측정하기 위해 30 kPa의 압력으로 토양을 다졌을 때 측정된 전용적 밀도는 시비 및 개량제를 처리함에 따라 감소하였다. 아무것도 처리하지 않은 대조구 (Control)는 전용적 밀도가 1.32±0.02 Mg m<sup>-3</sup> 이었고, 관행시비처리구 (Fert)는 1.27±0.01 Mg m<sup>-3</sup>로 대조



**Fig. 1.** Saturated hydraulic conductivity of soil treated with compost and gypsum: no input (Control), conventional fertilization of compost and chemical fertilizer (Fert), additional compost application with conventional fertilization (Fert+Com), and gypsum application with conventional fertilization (Fert+Gyp). Values are the means of triplicates. Vertical bar indicates LSD (P=0.05) between treatments, and values with different letters are significantly different.

구에 비해 0.05 Mg m<sup>-3</sup>만큼 낮아졌다. 관행시비에서 퇴비를 추가 처리한 것 (Fert+Com)과 석고를 추가 처리한 것 (Fert+Gyp)은 두 처리구 모두 1.26±0.02 Mg m<sup>-3</sup>으로 관행시비처리구 (Fert)에 비해 0.01 Mg m<sup>-3</sup>만큼 낮아졌으나 유의적인 차이는 없었다. 밀도가 작은 퇴비 처리에 의해 전용적 밀도가 낮아진 것은 퇴비가 토양내 무기 입자를 대신하여 채워졌기 때문이고, 이와 같은 현상은 수분 이동이 불량한 토양의 투수성이 조립질 퇴비의 처리에 의해 향상된 결과를 반영해준다 (Lee et al., 2014). 그러나 퇴비를 추가로 더 처리하였을 경우 (Fert+Com)에는 Fert처리구에 비해 더 이상 유의적으로 증가하지 않았고, 이 또한 토양포화수리전도도의 미미한 변화를 반영해 주고있다 (Fig. 1). 석고의 경우 토양 내 나트륨의 비율을 감소시키면서 토양 입자들의 응집을 도와 전용적 밀도를 낮추게 되고 그 결과 포화수리전도도를 증가시킬 수 있지만, 본 연구의 결과에서는 전용적 밀도보다 포화수리전도도에서만 석고의 영향이 뚜렷하게 나타났다.

토양의 포장용수량은 비료시비 및 개량제 처리에 따라 증가하였다. 대조구 (Control)에 비해 퇴비와 화학비료 시비구 (Fert)에서 유의적으로 (P < 0.05) 증가하였고, 퇴비를 추가로 처리하였을 때 (Fert+Com) 더욱 뚜렷하게 증가하였다 (Fig. 2). 증가 비율은 대조구에 비해 관행시비처리구 (Fert)에서 11.9%, 퇴비추가처리구 (Fert+Com)에서 23.8%이었고, 또한 이들 세 개 처리구에 대해 토양포장용수량 (y, %(v/v))은 퇴비시비량 (x, Mg ha<sup>-1</sup>)증가에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 보였다 (y = 0.397x + 0.0068, r<sup>2</sup> = 1.000, P < 0.001). 퇴비는 주요 성분이 유기질이고 무기질 토양 광물



**Fig. 2.** Field capacity of soil treated with compost and gypsum: no input (Control), conventional fertilization of compost and chemical fertilizer (Fert), additional compost application with conventional fertilization (Fert+Com), and gypsum application with conventional fertilization (Fert+Gyp). Values are the means of triplicates. Vertical bar indicates LSD (P=0.05) between treatments, and values with different letters are significantly different.

에 비해 수분을 보유하는 능력이 크기 때문에 이와 같이 퇴비 시비량에 따라 직선적으로 증가했다고 판단된다. 그러나 본 연구 토양의 포장용수량은 최대용수량의 23%이하로 나타났다. 이는 대조를 위해 주위 농경지와 산림토양의 값을 분석한 결과  $52 \pm 2\%$  ( $n=4$ )에 비해 매우 낮았다. 퇴비 시비량에 따른 토양포장용수량 증가 경향 ( $y = 0.397x + 0.0068$ ,  $r^2 = 1.000$ ,  $P < 0.001$ )을 이용하여 주위 농경지 및 산림 토양의 수준 (52%)에 도달하기 위해 처리해야 할 퇴비의 양을 유추하였을 때, 본 연구에서 사용한 퇴비 처리량의 14배 이상을 더 처리해야 한다고 예측할 수 있다. 반면에 석고의 추가처리구 (Fert+Gyp)는 관행시비처리구 (Fert)에 비해 포장용수량이 1.3% 낮아졌다. 석고를 처리하였을 경우 포장용수량이 오히려 감소하였는데, 이는 석고에 포함된 칼슘 ( $Ca^{2+}$ )에 의해 토양 내 나트륨( $Na^+$ )의 비율이 낮아지면서 분산된 토양 입자들이 응집되었기 때문이라고 판단되며 앞에서 본 토양포화수리전도도 증가에 석고 처리가 주는 영향에 대한 결과와도 일치한다.

결론으로 토양 물리성 인자에 대한 유기질 비료인 퇴비와 무기질 석고의 영향을 분석한 결과, 두 개량제는 각각 토양의 수분 보유력과 이동성에 긍정적 영향이 있음을 알 수 있었다. 퇴비를 처리하였을 경우 토양의 수분 이동성은 향상되었다. 그러나 관행시비에 비해 퇴비를 추가로 더 처리하였을 경우 포화수리전도도에 큰 영향을 주지 않고, 토양의 유효 수분 보유력을 향상시켰다. 관행 시비에 따라 퇴비를 처리한 후 석고를 추가 처리하였을 경우에는 관행 시비조건에 비해 수분 이동성이 크게 향상되었다. 이는 분산된 토양 입자들이 석고 작용에 의해 응집되었기 때문이라고 판단되고, 석고를 처리하지 않은 조건에 비해 포장용수량이 감소한 것이 이를 반영해 주고 있다. 따라서 본 연구 결과는 유기질 비료인 퇴비가 간척지 토양의 수분 이동성을 향상시키면서 수분 보유력을 증가시키는 역할을 할 수 있고, 석고는 수분 보유력에 대한 영향보다는 토양에서 수분 이동성의 향상에 크게 기여할 수 있음을 보여주고 있다.

## References

- Baek, S.H., J.Y. Kim, S.U. Lee, and S.J. Kim. 2010. Influence of continuous application of gypsum, popped rice hull, and zeolite on soil aggregation of reclaimed sandy loam soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:764-749.
- Baek, S.H., S.U. Lee, D.G. Kim, J.W. Heo, and S.J. Kim. 2008. Influence of gypsum, popped rice hulls and zeolite on contents of cation in reclaimed tideland soils in Mangyeong. *Korean J Environ. Agric.* 26:321-327.
- Cassel, D.K., and D.R. Nielson. 1998. Field capacity and available water capacity, p. 901-926. In: A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods.* 2nd ed., ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Kang, J.G., S. Lee, K.B. Lee, K.D. Lee, G.H. Gil, J.H. Ryu, K.H. Park, S.H. Lee, H.S. Bae, S.A. Hwang, S.W. Hwang, H.K. Kim, and G.H. Lee. 2014. Effect of cultivation and application of green manure crop on soil physico-chemical properties in Saemangeum reclaimed tidal land. *Korean J. Int. Agric.* 26: 54-61.
- Kim, L.Y., K.H. Jung, and H.M. Ro. 2002. Development of standard analysis methods for physical properties on Korean Bedsoil: 2. Water content, water retention, saturated hydraulic conductivity. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35:335-343.
- Kim, S.J., S.H. Baek, S.U. Lee, D.K. Kim, and Y.J. Na. 2005. Effect of gypsum, popped rice hull and zeolite on soil aggregation in reclaimed tideland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38: 231-237.
- Klute, A. and C. Dirksen. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods, p. 687-734. In: A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods.* 2nd ed., ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Koo, J.W., J.K. Choi, and J.G. Son. 1998. Soil properties of reclaimed tidal lands and tidelands of western sea coast in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31:120-127.
- RDA. 2014. Korean Soil Information System. <http://soil.rda.go.kr/soil/index.jsp> (assessed on 30 September 2014).
- Lee, J.E., Y. Kim, and S.I. Yun. 2014. Changes of saturated hydraulic conductivity of bed-soils mixed with organic and inorganic materials. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47:66-70.
- Lee, K.B., S.W. Hwang, H.K. Kim, J.G. Kang, H.S. Bae, S.H. Lee, and K.H. Park. 2013. Evaluation of soil properties and management plan for large-scale reclaimed tidal lands. *Research on Reclaimed Lands* 11:15-34.
- Lee, S.H., B.D. Hong, Y. An, and H.M. Ro. 2003. Relation between growth condition of six upland-crops and soil salinity in reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36:66-71.
- Moon, Y.H., Y.R. Kwon, B.K. Ahn, D.H. Kim, and S.S. Han. 2011. Impact of compost application on improvement of rice productivity and quality in reclaimed soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:808-813.
- Rasouli, F., A.K. Pouya, and N. Karimian. 2013. Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid of Iran as affected by applied gypsum. *Geoderma* 193-194: 246-255.
- Ryu, J.H., D.Y. Chung, C.H. Yang, S.B. Lee, W.Y. Choi, and S.J. Kim. 2009. Effect of  $Na^+$  ion on changes in hydraulic conductivity and chemical properties of effluent of reclaimed sandy soil column. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:454-459.
- Song, J.D., K.C. Kim, J.R. Jang, and D.W. Seo. 2013. Desalinization infrastructure development for multi-utilization of reclaimed tidal lands. *Research on Reclaimed Lands* 11: 35-46.