

## Changes of Saturated Hydraulic Conductivity of Bed-soils Mixed with Organic and Inorganic Materials

Jeong-Eun Lee<sup>1</sup>, Yong Kim<sup>2</sup>, and Seok-In Yun<sup>1,3\*</sup>

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

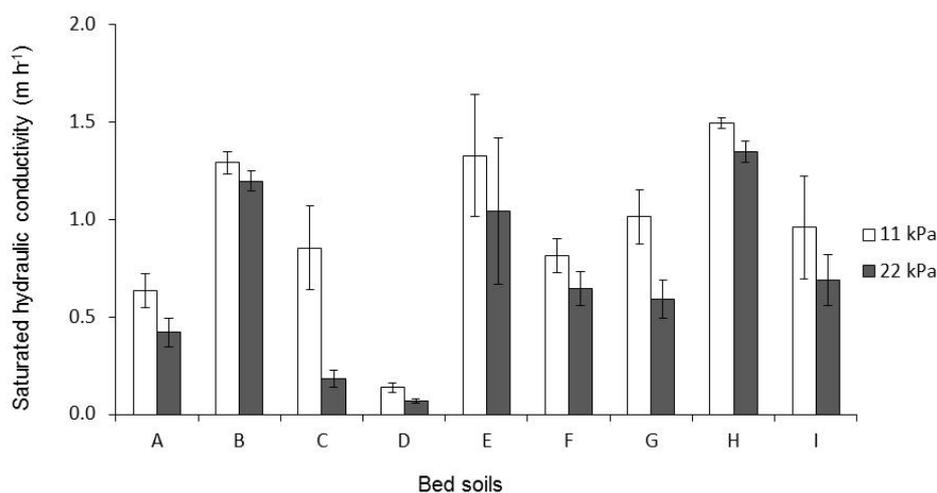
<sup>2</sup>Ecology Engineering Institute, Il Song ERT., CO., LTD, Yongin 446-982, Korea

<sup>3</sup>Institute of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

(Received: October 31 2013, Accepted: January 3 2014)

Bed-soils can be used to help plants to overcome unfavorable conditions of soils, especially hydraulic properties of soils. This study was conducted to evaluate the effect of organic and inorganic raw materials on saturated hydraulic conductivity ( $K_s$ ) of bed-soils. Perlite and bottom ash, which are inorganic materials, increased more  $K_s$  of bed-soils than coco peat, an organic material. However, vermiculite, an inorganic material, increased less than coco peat. Saturated hydraulic conductivity of bed-soil mixed with fine vermiculite ( $0.14 \pm 0.02 \text{ m h}^{-1}$ ) was much lower than one containing coarse vermiculite ( $0.85 \pm 0.21 \text{ m h}^{-1}$ ). Such effect was more apparent when pressure was added on bed-soils containing fine vermiculite ( $0.07 \pm 0.01 \text{ m h}^{-1}$ ), probably reflecting the decrease in pore size with the expansion of vermiculite wetted. Compacting decreased more  $K_s$  in the bed-soils containing coco peat or vermiculite than other mixtures. Those results suggest that perlite and bottom ash in bed-soils play an important role in improving saturated hydraulic conductivity but vermiculite in bed-soils may suppress the improvement of saturated hydraulic conductivity with the decrease of its size and with the increase of compacting pressure.

**Key words:** Bed-soil, Bottom ash, Coco peat, Perlite, Saturated hydraulic conductivity, Soil compaction, Vermiculite



Saturated hydraulic conductivity of bed-soils compacted at 11 kPa and 22 kPa.

\*Corresponding author : Phone: +82638506677, Fax: +82638507308, E-mail: siyun@wku.ac.kr

§Acknowledgement: This work was carried out by the support of Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (PJ0098032013), Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

상토 (Bed-soil)는 묘를 생산하기 위해 사용되는 배양토로, 식물체를 지지해 주고 생육에 필요한 양분과 수분을 공급해 주며, 토양과 대기 사이의 공기순환을 원활히 해 주는 기능을 한다. 상토의 경우 일반 토양을 이용하는 것에 비해 묘를 빠르게 생산할 수 있을 뿐만 아니라, 토양에 비해 가벼워 다루기 쉬운 물질이다. 이런 장점으로 현재 대부분의 농가 또는 육묘장에서 묘를 생산하기 위해 상토를 이용하고 있고, 화분에서 화훼 식물의 재배에도 이용되고 있다. 또한 최근에는 식물 생육에 적합하지 않은 간척지에 작물 또는 조경수 등의 생육을 좋게 하기 위해 상토를 이용하려는 시도도 있어 (Rahayu et al., 2010), 앞으로 상토의 이용 분야가 넓어지고 사용량도 더욱 증가할 것으로 예상된다.

국내에서 상토는 재배하려는 묘종에 따라 크게 수도용, 원예용 상토로 분류되지만, 상토를 제조하는 데에 사용되는 재료에 따라 다양한 종류의 제품이 생산되고 있다. 특히 원예용 상토에 사용되는 재료는 무기물질과 유기물질로 나뉘는데, 무기물질로는 펄라이트 (perlite), 버미큘라이트 (vermiculite, 질석), 바닥재 (bottom ash), 제오라이트 (zeolite) 등이 주로 이용되고 있다. 유기물질로는 유기체가 퇴적되어 형성된 토탄 또는 피트모스 (peat moss)가 이용되어 왔고 최근에는 야자열매의 과피에서 얻어진 코코피트 (coco peat 또는 coir)가 주로 활용되고 있다 (Kim and Ahn, 2002). 유기물질과 무기물질은 수분의 저장 및 이동에 중요한 역할을 하는데, 무기물질은 입자 크기가 큰 조립질이기 때문에 투수성을 좋게 해준다. 반면에 유기물질은 섬유질이라는 특징 때문에 보수력을 좋게 하면서 투수성을 향상시키는 데에도 기여할 수 있다 (Lee et al., 2007a). 유기물질 중 피트모스는 자연에서 생산되는 양이 한정되어 있어 수요량에 비해 부족하고, 그에 따른 가격 상승이 부담으로 작용해 왔다. 이에 대한 대안으로 식물생장배지로서 적절한 물리화학적 성질을 가진 야자열매의 부산물인 코코피트가 제안되었고 그 이후 사용량이 꾸준히 증가하고 있다 (Savithri and Hameed, 1994; Arenas et al., 2002; Nazari et al., 2011).

최근 상토 사용이 증가하면서 최적의 상토 재료 및 배합을 찾기 위한 연구도 점차 증가하고 있다 (Kim et al., 2010; Lee et al., 2010). 작물 생육에 대한 영향 측면에서, Lee et al. (2007a, b)은 유기물질인 코이어 (코코피트)와 피트모스 각각에 대해 고추 육묘를 위한 최적의 혼합비율을 찾아내는 연구를 하였다. 상토의 물리성 측면에서 Kim and Kim (2011)은 무기물질 종류 및 혼합비율에 따른 상토의 물리성 변화를 관찰하여 최적의 무기물질 혼합비율을 찾고자 하였다. 또한 상토의 물리적 특성 분석법을 표준화하고자 하는 연구도 있었다 (Kim et al., 2002). 상토에 대한 연구는 점차 확장되고 있지만, 상토의 주요 기능 중 하나인 수분 이동 특

성에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

유기물질은 수분 보유능이 클 뿐만 아니라 투수성이 좋아서 유기물질만으로도 식물 재배에 적합한 상토를 만들 수 있지만, 무기물질은 유기물질에서 부족할 수 있는 부분, 특히 물리성을 보완할 수 있기 때문에 혼합하여 쓰는 경우가 많다. 무기물질은 유기물질에 비해 대체로 밀도가 높고, 조립질 형태인 광물 입자이기 때문에 유기물질을 지지해 주는 역할을 하고, 큰 공극을 만들어 내어 투수성 및 통기성을 좋게 해 주는 것으로 알려져 있다. 상토에 쓰이는 무기 광물 입자는 종류에 따라 입자의 다공성 크기 및 분포가 다양하고, 수분을 흡수하였을 때 팽창하는 정도가 다르기 때문에 상토의 수리 특성에 미치는 영향은 다를 것으로 생각하였다. 또한 농경지에서 발생할 수 있는 다짐 현상은 무기입자의 외형적인 안정성 및 공극의 크기에 영향을 주게 되는 데, 이 또한 무기 입자에 따라 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 연구에서는 무기입자 및 유기입자가 상토의 포화 수리전도도에 미치는 영향을 구명하기 위해, 유기물질인 코코피트와 무기물질인 펄라이트, 버미큘라이트, 바닥재 등을 혼합하여 제조한 상토의 포화수리전도도 변화를 분석하였다. 또한 상토에 일정한 압력으로 다졌을 때 전용적 밀도 및 포화 수리전도도의 변화를 분석하였다.

## Materials and Methods

**상토** 본 연구에서는 유기물질, 무기물질의 혼합에 따른 상토의 포화수리전도도 변화를 분석하기 위해, 퇴비에 유기입자인 코코피트 또는 무기입자인 펄라이트, 버미큘라이트, 바닥재 등이 각각 다른 비율로 혼합된 상토 제품을 이용하였다. 여기서 퇴비는 원유 및 식품 슬러지를 부숙시켜 만든 것이다. 시험에 이용한 상토는 퇴비가 20%, 나머지 유기 또는 무기입자가 혼합되어 있는 9 종류의 제품이다 (Table 1).

**Table 1. Volume-based percentage of organic or inorganic raw materials used for preparation of bed-soils**

	Volume-based percentage of organic or inorganic materials
Bed-soil A	Coco peat 80%, compost 20%
Bed-soil B	Perlite 80%, compost 20%
Bed-soil C	Coarse vermiculite 80%, compost 20%
Bed-soil D	Fine vermiculite 80%, compost 20%
Bed-soil E	Bottom ash 80%, compost 20%
Bed-soil F	Perlite 60%, fine vermiculite 20%, compost 20%
Bed-soil G	Coco peat 60%, bottom ash 20%, compost 20%
Bed-soil H	Perlite 20%, bottom ash 60%, compost 20%
Bed-soil I	Fine vermiculite 20%, bottom ash 60%, compost 20%

코코피트 80%를 혼합한 상토A (Bed-soil A), 펠라이트 80%를 혼합한 상토B (Bed-soil B), 중립 버미큘라이트 80%를 혼합한 상토C (Bed-soil C), 미립 버미큘라이트 80%를 혼합한 상토D (Bed-soil D), 바닥재 80%를 혼합한 상토E (Bed-soil E), 펠라이트 60%와 미립 버미큘라이트 20%를 혼합한 상토F (Bed-soil F), 코코피트 60%와 바닥재 20%를 혼합한 상토G (Bed-soil G), 펠라이트 20%와 바닥재 60%를 혼합한 상토H (Bed-soil H), 미립 버미큘라이트 20%와 바닥재 60%를 혼합한 상토I (Bed-soil I)를 두었다.

**포화수리전도도 및 전용적 밀도 분석** 상토의 포화수리전도도는 정수위법을 이용하여 측정하였다 (Klute and Dirksen, 1986). 금속 코어 ( $\Phi = 7.2\text{cm}$ ,  $h = 7.7\text{cm}$ ) 하단에 거름 천 (filter cloth)을 부착한 후 코어에 상토를 채워 넣었다. 이때 상토를 2 cm씩 채우면서 11 kPa의 압력으로 눌러 주었다. 11 kPa의 압력을 주기 위해 지름이 3.4 cm인 압력판 위에 1 kg의 무게가 눌러지도록 하였고 이와 같은 작업을 토양 표면에 골고루 시행하였다. 코어 상단까지 상토를 다지면서 채운 후 모래 필터 디스크를 올려 놓고 그 위에 배출구 구멍이 있는 아크릴 뚜껑을 덮어 밀봉하였다. 바닥에 모래가 깔려 있는 수조에 코어를 넣은 후 24시간에 걸쳐 코어의 상단까지 서서히 물을 채웠다. 아크릴 뚜껑에 설치되어 있는 배출관에 실리кон 튜브를 연결한 후 수조에 채워진 물 높이보다 일정 높이 아래에서 실리кон 튜브 끝으로 물이 떨어지도록 하였다. 이때 총 3회에 걸쳐 일정시간 동안 수집한 물의 부피를 측정하였고, Darcy의 이론으로부터 얻어진 다음 식에 따라 포화 수리전도도 ( $K_s$ )를 측정하였다 (Klute and Dirksen, 1986).

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

여기서 Q는 수집한 물의 부피 (mL)이고, t는 물을 수집한 시간 (s, 초)이며, L은 코어의 길이 (cm), A는 코어 내부 단면적 ( $\text{cm}^2$ ), H는 수조에 채워진 물의 상단과 튜브를 통해 물이 배출되는 지점의 높이 차이, 즉 수두차 (cm)이다. 또한 코어의 부피와 여기에 채워진 상토의 무게를 이용하여, 코어에 채워진 상토의 전용적밀도 ( $D_s$ )를 구하였다.

상토의 다져짐 정도에 따른 포화수리전도도 변화를 측정하기 위해 앞의 설명과 같은 방법으로 실험하였다. 상토를 채울 때 22 kPa의 압력으로 다지기 위해 지름이 3.4 cm인 압력판 위에 2 kg의 무게가 눌러지도록 하였다. 코어의 상단부까지 다지면서 상토를 채운 후 24시간 동안 상토를 포화시켰고, 포화된 상토를 이용하여 포화수리전도도와 전용적 밀도를 측정하였다.

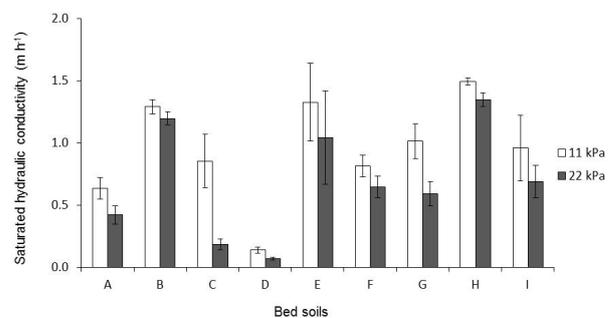
실험 결과는 SAS 프로그램 (SAS Institute, Cary, NC,

USA)을 이용하여 분석하였다. 포화수리전도도와 전용적밀도는 분할구 배치법을 이용하여 처리간 차이를 분석하였다. 이때 주구는 상토를 다진 압력을 두었고 세구는 상토 종류를 두었다.

## Results and Discussion

**혼합한 상토 재료의 영향** 상토의 포화수리전도도는 상토에 혼합된 재료의 종류에 따라 큰 변화를 보여주었다. 버미큘라이트를 단독으로 혼합한 상토 (Bed-soil C, D)를 제외했을 때, 유기물질인 코코피트를 단독으로 혼합한 상토 (Bed-soil A)의 포화수리전도도가 가장 낮았다 (Fig. 1). 무기물질이 혼합되면서 상토의 포화수리전도도가 증가하는 것은 조립질인 무기물질에 의해 큰 공극이 형성되어 물의 이동성이 증가하였기 때문일 것이다 (Kim et al., 2002). 이와 같은 현상은 중립 버미큘라이트를 혼합한 상토C (Bed-soil C)와 미립 버미큘라이트를 혼합한 상토D (Bed-soil D)를 비교하였을 때에 분명하게 나타났다. 같은 재료 버미큘라이트를 혼합하였지만, 입자의 크기가 작은 것에 비해 입자의 크기가 큰 것을 혼합하였을 때에 포화수리전도도가 유의적으로 ( $P < 0.05$ ) 매우 컸다: 11 kPa에서 상토 C는  $0.85 \pm 0.21\text{ m h}^{-1}$ 이었고 상토 D는  $0.14 \pm 0.02\text{ m h}^{-1}$ 이었다 (Fig. 1). 위의 결과는 무기입자의 종류에 따라 상토의 포화수리전도도가 변화될 수 있고, 특히 입자의 크기가 클수록 포화수리전도도가 크게 증가할 수 있다는 것을 보여준다.

전체 압력에 대해 포화수리전도도가 가장 높은 것은 펠라이트를 혼합하거나 바닥재를 혼합하였을 때이고, 반면에 미립 버미큘라이트를 혼합하였을 경우에는 포화수리전도도가 가장 낮았다 (Fig. 1). 버미큘라이트의 경우 용매를 흡수할 경우 팽창하는 광물로 알려져 있고, Vali and Hesse (1992)는 10–15%까지 팽창하는 것을 관찰하였다. 본 연구에서도 물을 흡수한 버미큘라이트가 팽창하는 것을 육안으로 확인할 수 있었다 (Data not shown). 광물이 팽창하게 되면 유기,



**Fig. 1.** Saturated hydraulic conductivity of bed-soils compacted at 11 kPa and 22 kPa. Details of the bed-soils are described in Table 1. LSDs at  $P=0.05$  are 0.11 for bed-soils and 0.05 for compacting pressure. Vertical bars represent standard deviation of the mean ( $n=3$ ).

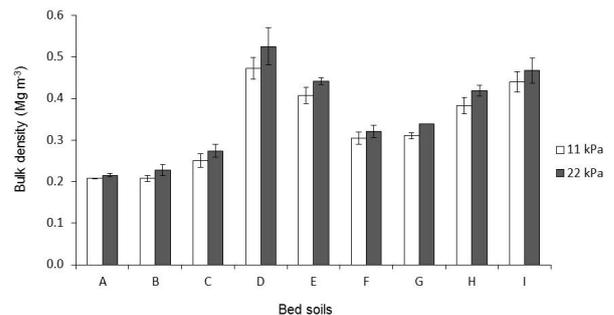
무기 입자들이 서로 밀착하면서 입자 사이에 형성된 공극이 좁아지게 되고 그 결과 수분의 이동성이 감소하게 된다. 이와 같은 현상은 상토 F와 상토 I에서도 잘 나타났다. 즉 포화수리전도도를 높여주는 펄라이트 또는 바닥재를 버미큘라이트와 혼합하였을 때 유의적으로 ( $P < 0.05$ ) 낮아지는 것을 볼 수 있었다 (Fig. 1). 펄라이트를 80% 혼합한 상토 B ( $1.29 \pm 0.06 \text{ m h}^{-1}$ )에 비해 펄라이트 60%와 미립 버미큘라이트 20%를 혼합한 상토 F ( $0.81 \pm 0.09 \text{ m h}^{-1}$ )의 포화수리전도도가 37% 감소한 것을 볼 수 있었다. 또한 바닥재를 80% 혼합한 상토 E ( $1.33 \pm 0.31 \text{ m h}^{-1}$ )에 비해 바닥재 60%와 미립 버미큘라이트 20%를 혼합한 상토 I ( $0.96 \pm 0.27 \text{ m h}^{-1}$ )의 포화수리전도도가 28% 감소하였다. 팽창성인 버미큘라이트가 혼합되면서 포화수리전도도가 낮아진 것이다. 이와 같은 결과는 포화수리전도도에 대한 무기물질 입자크기의 영향뿐만 아니라 수분에 의한 입자 팽창의 영향으로 상토의 수분이동이 느려질 수 있다는 것을 보여준다.

**다져진 상토의 포화수리전도도 변화**

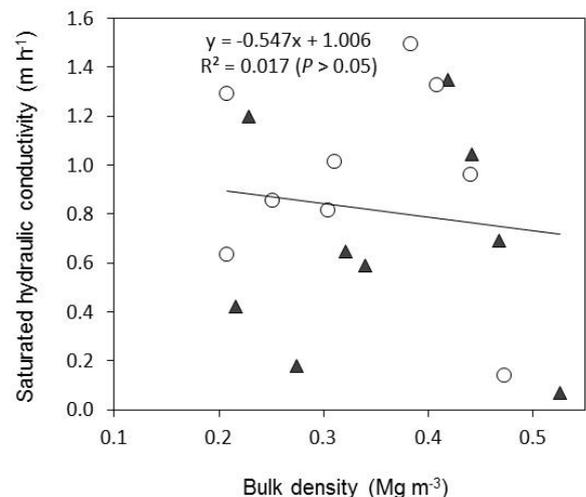
상토에 압력을 가하여 다졌을 경우 포화수리전도도는 유의적으로 ( $P < 0.05$ ) 감소하였다 (Fig. 1). 상토에 11 kPa의 압력으로 다졌을 경우 시험 상토 전체의 평균 포화수리전도도는  $0.95 \text{ m h}^{-1}$ 이었으나, 22 kPa의 압력으로 다졌을 경우는  $0.69 \text{ m h}^{-1}$ 로 28% 감소하였다. 토양이 다져지면서 전용적밀도가 증가함에 따라 공극률과 공극 크기가 감소하고 결국 포화수리전도도가 작아진다는 것은 잘 알려진 사실이다. 본 연구결과에서 상토 전체의 평균 전용적밀도는 11 kPa의 압력을 가했을 때 ( $0.33 \text{ Mg m}^{-3}$ )에 비해 22 kPa의 압력을 가하였을 때  $0.36 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로 8% 증가하였고 (Fig. 2), 이 결과는 상토의 다져짐에 따른 포화수리전도도 감소 현상을 설명해 준다. 일반 토양의 경우 전용적 밀도가 증가함에 따라 포화수리전도도가 감소한다는 부의 상관성이 잘 알려져 있고, 상토의 경우도 전용적밀도와 포화수리전도도가 매우 유의적인 상관성을 보인다고 Kim et al. (2002)의 연구에서 보고된 바 있다. Kim et al. (2002)은 국내에서 유통되는 상토 62개에 대해 포화수리전도도와 전용적밀도를 분석하였고, 두 인자 사이에 높은 결정계수를 가진 부의 상관성이 있다고 보고하였다 ( $R^2 = 0.780, P < 0.001$ ). 그러나 본 연구에서 조사한 전체 상토에 대한 포화수리전도도와 전용적밀도 사이에서는 높은 상관성이 나타나지 않았다 ( $R^2 = 0.017, P > 0.05$ , Fig. 3). 전체적으로 각 상토에 대해서는 압력이 증가함에 따라 전용적밀도가 증가하고 포화수리전도도가 낮아지는 경향을 보였지만, 상토 제품 간에 비교를 하였을 때에는 이와 같은 경향이 나타나지 않았다. 이는 상토 제조에 사용된 재료의 물리적 특성이 전체 상토의 전용적 밀도와 포화수리전도도에 다른 영향을 끼치기 때문이다. 상토의 전용적밀도는 사용된 재료의 입자밀도, 혼합비율, 다져진 압력

의 크기 등의 영향을 받지만, 본 연구에서는 다져짐 정도보다는 상토 재료의 입자 밀도 영향이 크게 나타난 것을 볼 수 있다. 그러나 상토의 포화수리전도도는 입자 밀도보다는 혼합된 재료의 입자 크기, 입자의 팽창성, 혼합비율, 다져진 압력의 크기 등의 영향을 받고, 본 연구에서는 재료의 입자 크기와 팽창성이 큰 영향을 주었다. 따라서 다양한 재료 및 방법으로 제조된 상토 제품들 사이의 전용적밀도와 포화수리전도도는 큰 상관성이 나타나지 않는다고 판단된다.

상토에 사용된 재료에 따라 압력을 증가시켰을 때 변화되는 포화수리전도도가 다르게 나타났다. 다른 재료에 비해 중립 버미큘라이트를 혼합한 상토 C (Bed-soil C)의 포화수리전도도가 크게 감소하였다 (Fig. 1):  $0.85 \pm 0.21 \text{ m h}^{-1}$  (11 kPa)에서  $0.18 \pm 0.04 \text{ m h}^{-1}$  (22 kPa)로 78% 감소하였다. 이는 버미큘라이트가 수분을 흡수하면서 팽창하기 때문이라고 판단된다 (Vali and Hesse, 1992). 압력이 증가함에 따라 입자 사이의 큰 공극이 감소하게 되고, 더욱이 버미큘라이트



**Fig. 2.** Bulk density of bed-soils compacted at 11 kPa and 22 kPa. Details of the bed-soils are described in Table 1. LSDs at  $P=0.05$  are 0.007 for bed-soils and 0.003 for compacting pressure. Vertical bars represent standard deviation of the mean ( $n=3$ ).



**Fig. 3.** Relationship between saturated hydraulic conductivity and bulk density of bed-soils compacted at 11 kPa (○) and 22 kPa (▲).

트가 수분을 흡수하여 팽창하게 되고, 결국 이 결과로 공극의 크기가 더욱 작아졌기 때문일 것이다. 그리고 코코피트 60%와 바닥재 20%를 혼합한 상토G의 경우도 11 kPa에 비해 22 kPa에서 크게 감소하였다:  $1.02 \pm 0.14 \text{ m h}^{-1}$  (11 kPa)에서  $0.59 \pm 0.10 \text{ m h}^{-1}$  (22 kPa)로 42% 감소하였다. 이는 크기가 큰 무기입자가 낮은 비율로 혼합된 경우에도 다져짐에 의해 포화수리전도도가 크게 낮아질 수 있다는 결과를 보여주었다. 이는 무기입자의 비율이 줄어들면서 무기입자들 사이에 존재하는 공극의 비율이 작아졌기 때문이라고 판단된다. 위의 결과는 팽창성이 큰 무기입자를 혼합하거나 크기가 큰 무기입자를 낮은 비율로 혼합될 경우 상토가 다져짐에 따라 포화수리전도도가 크게 낮아질 수 있음을 제시해 준다.

결론으로 상토에 사용된 재료 및 다져짐에 따른 포화수리전도도 특성을 분석한 결과, 상토에 유기물질인 코코피트를 혼합했을 때에 비해 무기물질을 혼합하였을 경우에 상토의 포화수리전도도가 증가하였다. 그러나 버미큘라이트 광물은 무기물질이 수분을 흡수하여 팽창하는 성질이 있어 공극의 크기를 줄여주기 때문에, 유기물질 코코피트를 혼합했을 때에 비해 오히려 포화수리전도도가 낮아졌다. 또한 버미큘라이트의 경우 입자의 크기가 작아질수록 그리고 상토에 압력이 가해져 다져질수록 포화수리전도도가 뚜렷하게 낮아졌다. 이것은 상토가 압밀될 경우 수분 흡수에 의한 광물 팽창이 공극 크기를 더욱 작게 만드는 현상이 발생했기 때문이다. 또한 무기물질과 유기물질을 혼합하여 상토를 만들 경우, 낮은 압력이 가해지는 조건에서는 입자가 큰 무기물질이 적게 혼합되어도 포화수리전도도를 크게 높일 수 있었다. 그러나 무기물질의 혼합비율이 낮을 경우 상토가 더욱 다져지면서 무기물질이 상토의 포화수리전도도를 증가시키는 효과는 크게 감소됨을 알 수 있었다. 위의 결과는 물리화학적 불량한 토양에서 식물의 양호한 생육을 위해 상토를 사용할 경우 팽창성 무기물질보다는 비팽창성 무기물질을 사용함으로써 수분 유입되거나 토양이 다져지는 조건에서도 원활한 투수성을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

## References

Arenas, M., C.S. Vavrina, J.A. Cornell, E.A. Hanlon, and G.J. Hochmuth, 2002. Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. *HortScience* 37:309-312.

- Kim, H.S. and K.H. Kim, 2011. Physical properties of the horticultural substrate according to mixing ratio of peatmoss, perlite and vermiculite. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:321-330.
- Kim, H.J., H.K. Kim, S.M. Kwon, S.E. Lee, S.H. Woo, M. Park, and K.Y. Chung, 2010. Effect of the clay mineral illite on the growth of cherry tomato in the bed soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:322-328.
- Kim, L.Y. and Ahn, I. 2002. Properties and distribution of Korean bedsoils. *Soil Fert.* 10:17-33.
- 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.
- 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.
- Lee, H.H., S.K. Ha, and K.H. Kim, 2007a. Optimum condition of the coir-based substrate for growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.) plug seedlings. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:369-376.
- Lee, H.H., S.K. Ha, H.J. Kim, and K.H. Kim, 2007b. Optimum condition of peatmoss-based substrate for growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.) plug seedlings. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:392-399.
- Lee, S.E., H.K. Kim, S.M. Kwon, H.J. Kim, R.B. Yoo, K.T. Baek, M.S. Lee, S.H. Woo, M. Park, K.Y. Chung, 2010. Effect of different levels of applications of illite on the growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.) in bed soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:852-857.
- Nazari, F., H. Farahmand, M. Khosh-Khui, and H. Salehi, 2011. Effects of coir as a component of potting media on growth, flowering and physiological characteristics of hyacinth (*Hyacinthus orientalis* L. cv. Sonbol-e-Irani). *International Journal of Agricultural and Food Science* 1:34-38.
- Rahayu, Yang, G.M. and J.S. Choi, 2010. Effects of interruption layer for capillary rise on salt accumulation and Kentucky bluegrass *Poa pratensis* growth in sand growing media over the reclaimed saline soil. *Kor. Turfgrass Sci.* 24:106-116.
- Savithri, P. and K.H. Hameed, 1994. Characteristics of coconut coir peat and its utilization in agriculture. *J. Plant Crops* 22:1-18.
- Vali, H. and R. Hesse, 1992. Identification of vermiculite by transmission electron microscopy and X-ray diffraction. *Clay Min.* 27:185-192.