

압밀과 포화수준에 따른 분쇄 Coir 혼합 펄라이트의 수분보유력과 수리전도도

김기림 · 우현녕 · 김혜진 · 박미숙 · 송진아 · 송태용 · 장효주 · 정덕영*

충남대학교 생물환경화학학과

Water Holding Capacity and Hydraulic Conductivity According to Compaction and Saturation Degree for Perlite amended with Ground Coir

Gi-Rim Kim, Hyun-Nyung Woo, Hye-Jin Kim, Mi-Suk Park, Jin-A Song, Tae-Yong Song, Hyo-Ju Jang, and Doug-Young Chung*

Dept. of Bioenvironmental Chem Coll of Agri and Life Sci. Chungnam National Univ. Daejeon 305-764, Korea

This investigation was performed to determine the hydraulic conductivity coefficient and water holding capacity for a specified compaction forces which are the amount of mechanical energy applied to the porous granule (PG) volume. Most current specifications of minerals and perlite as growth media require to be compacted to a specified density, which in general is equivalent to a certain percentage of laboratory compaction. The water holding capacity of the saturated PG was very large at potential above -1 bar compared with perlite, but very little water remained below this value. The water holding capacity and hydraulic conductivity characteristics of graded PG amended with the ground coir less than 2 mm in diameter were also determined from pressure outflow data. The saturated hydraulic conductivity of the saturated and compacted PG was slightly lower by more than one tenth order of magnitude at equal matric potentials of perlite, but when expressed on the basis of equal water deficits, the conductivity of PG was higher at all but the smallest deficits than those of perlite.

Key words: Perlite, Compaction, Water holding capacity, Hydraulic conductivity

서 언

펄라이트는 진주암이라는 화산활동으로 생성된 천연광물에 고온을 가해 수습 배로 체적을 팽창시킨 다각질의 백색입자로, 매우 가벼워 취급이 용이한 특성을 가지고 있다 (Wilson, 1985). 대부분 원예에서 펄라이트, 압면, 질석 및 coir 등을 순환식 양액재배용 배지로 이용하고 있으나 압면은 정상적으로 양분의 균형을 유지하는 것이 불가능하며, 질석과 코코피트는 양분조절이 어렵고 장기간 사용할 경우에는 배지의 물리화학적 성질이 변하는 단점이 있다 (Smith, 1987). 그러나 펄라이트는 장기 재배 시 배지 내 양수분 조절이 용이한 안정적인 물리성과 화학성을 가지고 있기 때문에 배수 특성을 적절히 이용할 수 있다면 수정재배에 적합한 배지가 될 것이다 (Hall, 1988). 그러나 펄라이트는 수분보유력이 떨어지기 때문에 근권부의 수분함량을 일정하게 유지시켜야

하며 (Cho and Son, 1998), 양이온치환용량 (CEC)이 낮아 일반적인 생장에 필요한 양분 저장능이 떨어져서 몇몇 기형을 야기 시킨다.

작물생육은 배지의 물리성, 화학성 및 미생물적 특성에 많은 영향을 받는데 물리성은 재료의 종류, 구성 재료 입자의 크기, 용기의 모양과 크기, 충전 시의 진압정도, 수분상태 등 여러 가지 요인들에 의해 달라진다 (Sim, 2006). 이러한 펄라이트의 단점을 보완하고 작물생육을 증대시키기 위해 수분과 양분보유능이 높은 다른 토양과 혼합하여 사용하고 있다 (Green Art, 2011).

따라서, 본 실험은 원예 상토에 보조 재료로 쓰이는 Coir를 펄라이트와 혼합하여 유형별 입자크기에 따른 배수 특성을 파악하고 수분 함량의 정도와 입자 크기에 따른 용적밀도의 변화를 조사하여, 펄라이트의 물리성과 화학성을 향상시킬 수 있는 방안을 모색 하고자 연구를 실시하였다.

접수 : 2011. 11. 19 수리 : 2011. 12. 8

*연락처 : Phone: +82428216739

E-mail: dychung@cnu.ac.kr

재료 및 방법

펄라이트 시료채취와 분석 본 실험에 사용된 펄라이트 재료는 현재 시설농가에서 양액재배에 사용하고 있는 S사의 배수용 (Drainage; D)과 육성용 (Growth media; GM)을 구매하여 각각의 특성을 조사하였다. 펄라이트 분석방법은 농촌진흥청 상토분석법과 미국 토양학회 권장 토양분석법을 이용하여 조사하였다 (RDA, 1997). 각각의 시료는 건조기에서 105°C에서 72시간 건조 후 입경크기를 각각 1.70 mm 이하, 1.70-3.35 mm, 3.35-4.75 mm로 입자를 분류하여 사용하였으며, 입자크기에 따른 물리성 (입자 분포, 수분함량 및 가밀도)과 화학성 (pH, EC, CEC)을 3반복으로 분석하였다 (RDA, 1997). 전기전도도 (Electrical Conductivity, EC)와 pH 분석은 증류수를 이용한 1:5 용출법, 치환성양이온 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+)은 1N-Ammonium Acetate 침출법을 이용하여 원자흡광분광광도계 (Atomic absorption spectrophotometer, shimadzu AA6800, Japan)로 측정하였다.

다짐 (Compaction)에 따른 수분보유력 검정 분류한 입자크기에 따라 Coir 대 펄라이트 혼합비율을 중량비로 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 그리고 0:100의 비율로 혼합하여 Proctor compaction test법에 따라 직경 10.5 cm, 길이 12 cm의 아크릴 컬럼에 펄라이트를 충전 한 후 추를 떨어뜨리는 것을 반복하여 부피가 더 이상 변하지 않을 때까지 다짐을 실시하면서 (ASTM, 2007) 다짐횟수에 따른 부피변화에 따라 용적밀도를 구하였다.

수분 보유력은 직경 5.7 cm, 길이 5 cm의 아크릴 원형토주에 건조한 시료를 채운 후 수분을 가했을 때의 전과 후의 무게 차이를 구한 후 토주의 부피로 나누어 구하였다. 펄라이트의 다짐시험 (Standard Compaction test, KSF 2313) 방법은 다짐이 이루어 질 때의 높이를 통해 중량을 부피를 나누어서 변화를 계산하였다.

포화수리전도도 측정 포화수리전도도 측정은 각각의 다짐별 토주를 이용하여 상향포화를 실시한 후 포화수리전도도 (K_{sat})를 측정하였다. 포화수리전도도 (K_{sat})의 측정은 토주의 표면으로부터 5 cm 높이로 일정하게 수두 (Constant head method)를 유지하면서 용출액의 부피가 일정하게 포집될 때까지 용출수를 측정하여 시간변화에 따른 포화 수리전도도를 Darcy's Law (식 1)에 따라 환산하였다 (Hillel, 1972).

$$q = K_{sat} \frac{dH}{L} \tag{1}$$

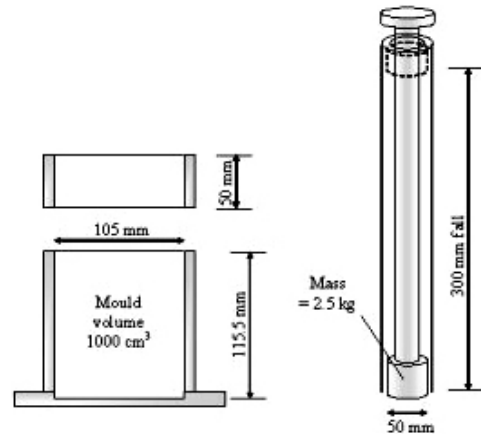


Fig. 1. The apparatus consists one each of compaction mould steel, 105 mm LD. × 115.5 mm height × 1000 cm³. volume, complete with collar and base plate. Compaction Rammer is 2.5 kg in weight × 300 mm controlled fall (ZL, 2000).

여기서, q (flux)는 $\frac{Q}{A \cdot T}$ 를 의미하며 Q 는 유량, A 는 수분이 통과하는 토주의 표면적, 그리고 T 는 유량 (Q)을 얻는데 소요된 시간을 의미한다. 한편 K_{sat} 는 포화수리전도도이며, $\frac{dH}{L}$ 는 수두차이를 수분이 통과하는 토양의 길이로 나눈 수리편차 (hydraulic gradient)를 나타낸다.

결과 및 고찰

용도별 소재의 입경분포를 조사한 결과 D_{20} 에 해당하는 GM의 직경은 4 mm이나 배수용인 DR은 1.2 mm에 해당한다. 그리고 직경 1 mm 해당하는 D 는 GM은 D_{43} 이며 DR은 D_3 정도로 조사되었다 (Fig. 2).

펄라이트를 입경별로 각 1.70 mm 이하, 1.70-3.35 mm, 3.35-4.75 mm로 분류하여 기초 분석한 결과 pH는 분류한 펄라이트 입경이 클수록 pH가 증가하는 것으로 조사되었다. 이와 반대로 전기전도도 (Electrical conductivity, EC)는 입자가 작을수록 높게 나타났으며 치환성양이온 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) 또한 입자가 작을수록 높게 나타났다 (Table 1). Bohn 등 (1979)에 발표한 바에 따르면 EC는 주로 양이온 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ 등)과 음이온 (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-})의 농도에 의해 결정된다고 하였다.

펄라이트의 입자 크기에 따른 물리적 특성을 조사한 결과 3가지 입경 크기의 펄라이트의 수분보유력을 pF별로 조사한 결과 Table 2와 같이 공극율과 유효수분율은 펄라이트 입경이 1.70-3.35 mm일 때 가장 크게 나타났고 반면 용적 밀도는 펄라이트 입경이 3.35-4.75 mm일 때 가장 낮은 값을 보였다. 따라서 동일 pF범위에서 수분보유력 감소는 펄

라이트의 입경이 증가됨에 따라 상대적 공극 크기가 증가할 뿐만 아니라 동일 부피내 입자 표면적도 감소하므로 토양내 존재하는 수분을 유지하는 표면장력이 감소하여 중력수의 상대적 비율이 증가하게 된다. 이러한 결과로 동일 pF 범위

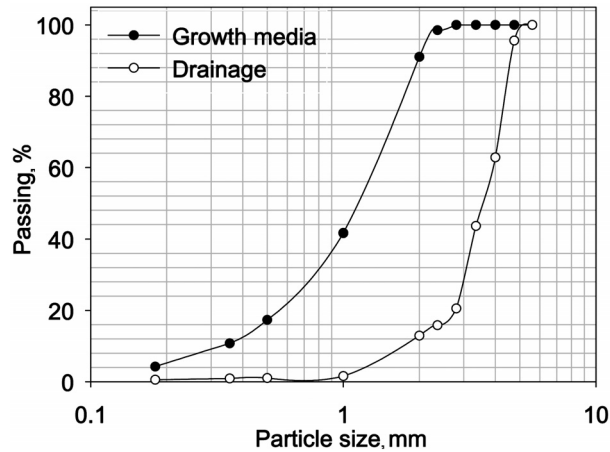


Fig. 2. Distribution of particle sizes in perlite.

에서 수분보유력은 펄라이트의 비율이 증가하면서 감소되는 것으로 추정된다. 펄라이트의 수분보유력에 따라 Coir를 혼합한 것에 따르면 θ 의 값은 0.964~0.99 범위 정도의 높은 결정 계수 (R^2)를 가진다. 0~10 cm에 이르는 낮은 값에서 θ 의 값은 펄라이트와 Coir를 혼합함으로써 수분보유력이 높아진다 (Table 3).

그리고 펄라이트의 육성용과 배수용의 입경 분리를 달리 하여 시행된 다짐시험을 통해서 다짐 횟수에 따른 용적밀도 (Bulk density : BD)의 변화를 살펴보았다. 먼저 육성용과 배수용 펄라이트의 다짐 시험을 보면 육성용 펄라이트가 다짐 횟수에 따라 변화되는 용적밀도의 값이 더 높게 나타났다 (Fig. 3). 두 종류 모두 입자가 작을수록 용적밀도 값이 크게 나타났으며 펄라이트 입자별로 각각 다짐 정도에 따라 일정한 단위 중량에 도달하기 위한 충전 횟수가 크고 배수용 펄라이트는 초기 충전 시 가장 높게 나타나는 용적밀도 값이 0.24g cm^{-3} 에 달했을 때 가장 높은 값을 가졌다 (Fig. 4).

펄라이트 육성용과 배수용을 다지고 난 후의 수분 보유력을 실험한 결과 두 종류 입자크기에 관계없이 모두 육성

Table 1. Chemical properties of various size perlite.

Size	pH	EC	Soluble cation			
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
mm	(1:5)	dS m ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			
< 1.70	7.41	0.23	1.70×10^{-2}	4.27×10^{-3}	2.90×10^{-3}	1.30×10^{-2}
1.70-3.35	7.79	0.17	2.00×10^{-2}	2.30×10^{-3}	1.55×10^{-3}	5.92×10^{-3}
3.35-4.75	7.82	0.20	2.30×10^{-2}	3.07×10^{-3}	1.80×10^{-3}	5.00×10^{-3}

Table 2. Water holding capacity and physical properties of perlite with different particle size.

Size	GWR [†] $\Delta(\text{pF}0-\text{pF}2.0)$	pF WHC [‡]			AWR [§] $\Delta(\text{pF}1.5-\text{pF}4.2)$	Porosity pF0.0	Bulk density
		1.5	2.0	4.2			
mm		vol %			vol %		Mg m ⁻³
< 1.70	49.1	30.0	23.2	8.2	21.8	72.3	0.184
1.70-3.35	84.6	45.9	37.7	12.5	33.4	46.9	0.132
3.35-4.75	78.8	36.8	28.4	11.0	25.8	50.4	0.128

[†]Gravitational Water Ratio

[‡]Water Holding Capacity

[§]Available Water Ratio.

Table 3. Bulk density (BD), conventional container capacity (CCC; water content at a suction of 10 cm), and easily available water (EAW) of perlite particles amended with varying proportion of ground coir.

Treatment	BD	CCC	EAW
		g cm ⁻³	
P:C = 100:0	0.098 e	49.3 b	3.9 c
P:C = 75:25	0.250 d	51.2 b	9.4 b
P:C = 50:50	0.317 c	56.9 a	15.6 a
P:C = 25:75	0.346 b	51.5 b	11.7 b
P:C = 0:100	0.468 a	49.3 b	15.5 a

용 펄라이트가 수분보유력이 높게 나타났다. 0.5 mm 이하의 펄라이트의 수분함량이 가장 높았으며 입자 크기가 클수록 펄라이트 내의 수분함량은 감소하는 경향을 보였다.

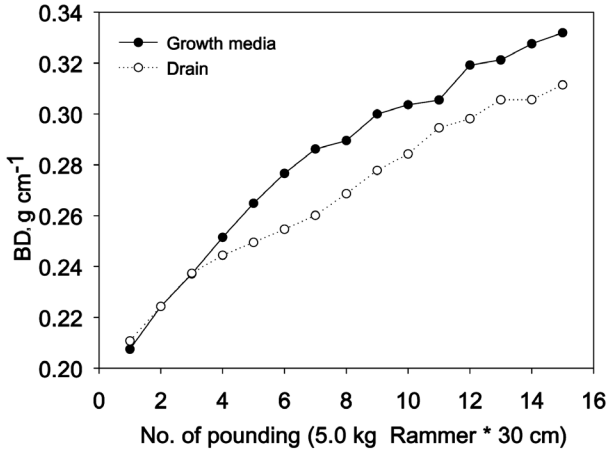


Fig. 3. Bulk density of growth media and drainage for number of pounding by Proctor test.

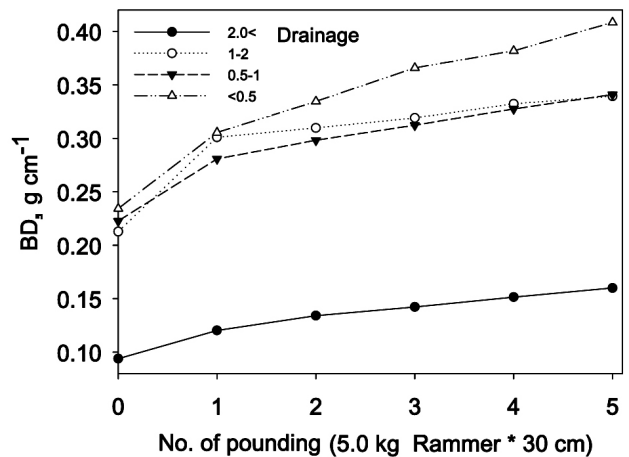
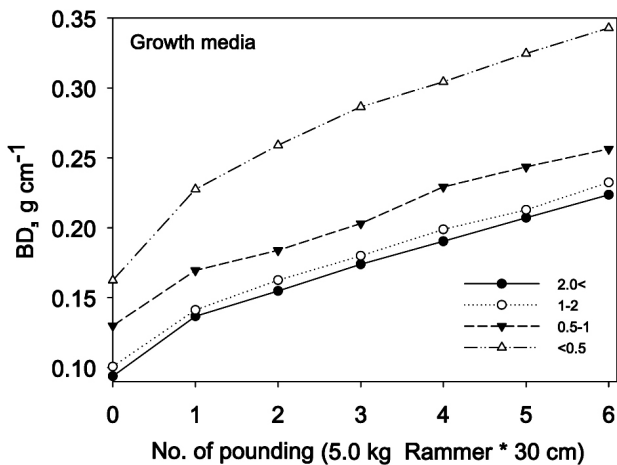


Fig. 4. Bulk density for particle size and changes in bulk density for number of pounding by Proctor test.

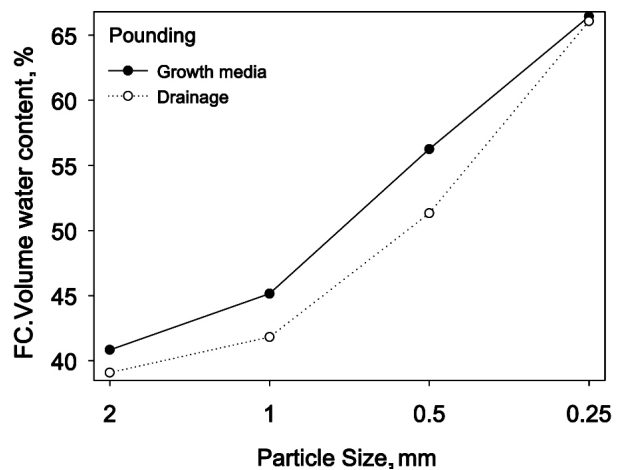
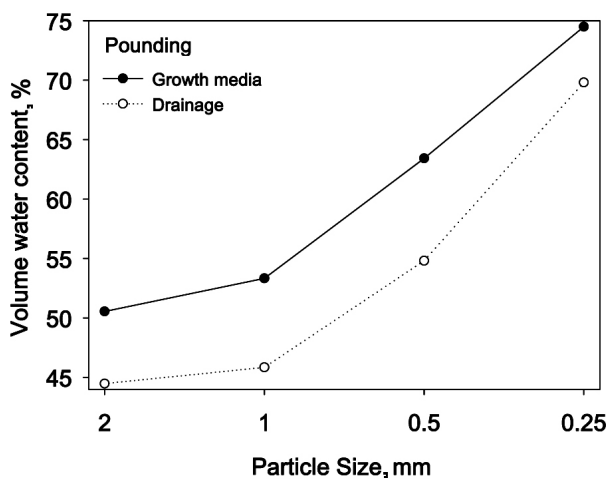


Fig. 5. Percentages of water holding capacity for particle size depending on number of pounding in soil column.

펄라이트의 다짐시험 전이나 후를 비교 해보면 둘 다 입자가 작을수록 수분을 보유하는 능력이 큰 것으로 알 수 있었다 (Fig. 5).

수리전도도는 물을 통과시키는 토양의 능력을 의미한다. 수분의 이동은 이동하는 물의 형태에 따라 포화상태와 불포화 상태로 나뉘며 이들 이동 특성은 물의 점성계수와 장력, 토양의 성질과 토양입자의 배열상태에 따른 공극의 크기, 그리고 지하수위 등과 같은 환경조건에 의해 크게 영향을 받는다. 일반적으로 포화상태의 토양수분이동은 다공성인 매체를 통과한 투수량은 수두차 (Hydraulic potential gradient) 와 매체의 단면적에 비례하고 매체의 길이에 반비례하는 Darcy의 법칙에 따른다.

다짐에 의한 육성, 배수용의 수리전도도의 변화를 살펴 보면 배수용이 육성용보다 수분의 이동이 더 빠르다는 것을 알 수 있다 (Fig. 6). 다짐 횟수가 늘어남에 따라서 칼럼을 통과하는 공극수량에 따라 투수계수의 안정화는 다짐 횟수가 적은 초기의 불균일한 입자 구조와 공극이 지속적인 토양수의 흐름에 의해 토양입자와 조직이 재배열되어 토양 구

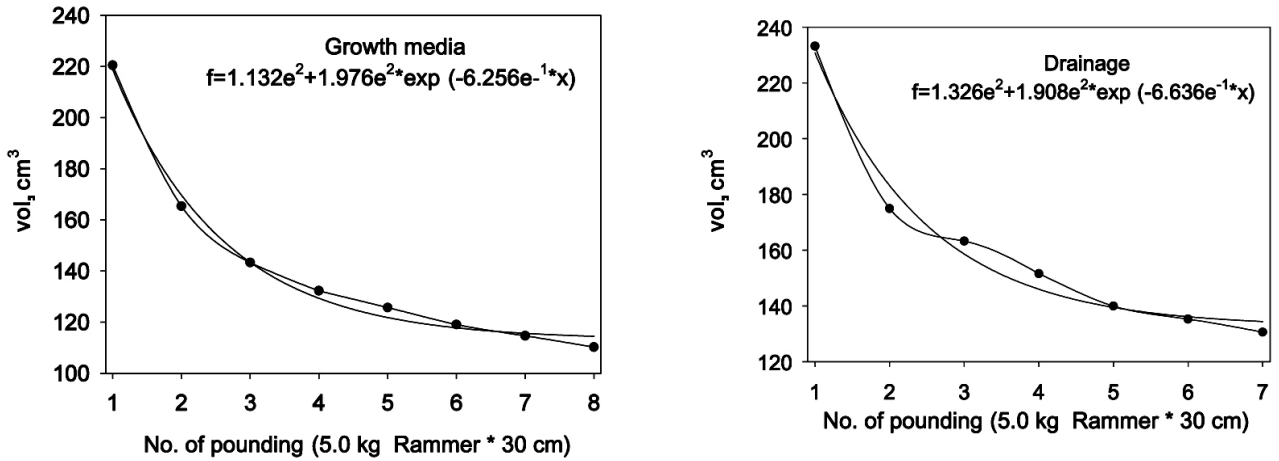


Fig. 6. Growth media and Drainage of K_{sat} depending on number of pounding in soil column.

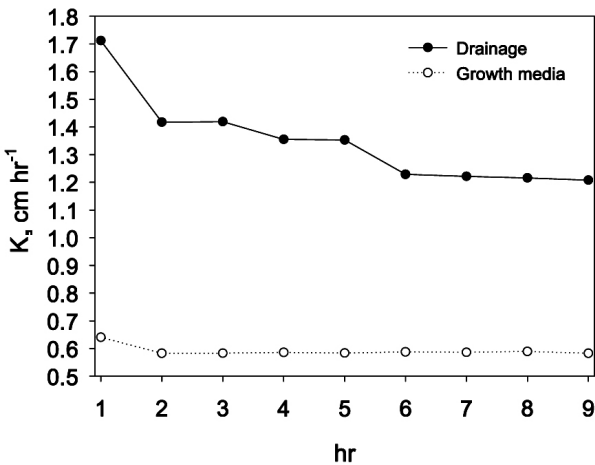


Fig. 7. Saturated K_{sat} depending on number of pounding in soil column.

조가 안정되어 공극을 통해 이동하는 연속성이 진행되어 수리전도도가 안정된 것으로 추정된다 (Fig. 7).

결론

본 실험은 펄라이트의 물리적 특성을 구명하고 펄라이트 충진 시 다짐으로 인한 수분보유 변화를 조사하였다. 원예용 상토 내에 수분 보유력은 관수와 횡수와 공급 시간을 결정하는 중요한 요인이므로 펄라이트 내 수분 함량은 관수시기를 결정하는 중요한 요인 중의 하나로 볼 수 있다 (Son, 2000). 펄라이트와 Coir를 혼합하였을 때 토양 공극, 토양의 물리적 성질, 수분 보유력이 펄라이트만을 이용했을 때보다 높은 것을 미루어보아 혼용 시 수분 보유력과 용적밀도가 증대 되는 것을 볼 수 있었다. 펄라이트를 입경 별로 나누었을 때 다짐 시험을 통한 펄라이트의 용적밀도는 입자 크기가 감소할수록 증가하였지만 펄라이트의 최대용수량

(water holding capacity)는 입자 크기가 작을수록 증가하였다. 그러나 배수용 펄라이트보다 육성용 펄라이트의 수리전도도는 입자크기가 감소함에 따라 점점 감소하는 것으로 조사되었다.

인용문헌

ASTM Standard D698. 2007. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D0698-07E01.

Bohn, H., B. McNeal, and G. O'Connor. 1979. Soil Chemistry. A Wiley-Interscience Publication. pp. 149-151, 162-181, 223-225, 284-286.

Cho, Y.R. and Son, J.E. 1998. Drainage Characteristics and Water Management in Perlite Substrate. Journal of Bio-Environment Control 7(2):1-157.

Hall, D.A. 1988. Perlite plant guide 9. Perlite Institute Inc., Chicago. p.1-2.

Hard. 2010. Perlite. Accessed in <http://hard.blog.me/70082767040> on 21 March 2010 (in Korean).

Hillel, D. 1982a. Fundamental of Soil Physics. Academic Press. p.1376.

Green Art. 2011. Perlite and peat moss. Accessed in <http://blog.daum.net/greenartto/6021387> on 7 April 2011 (in Korean).

JEII (Jeollanamdo Educational Information Ins). 1998. Perlite. Assessed in jnep.cnei.or.kr/wiz/user/jhorti/old_jhorti/class/jajetext/perlite.html

Naddaf, O.A., Livieratos, I., Stamatakis, A., Tsirogiannis, I., Gizas, G., and Savvas, D. 2011. Hydraulic characteristics of composted pig manure, perlite, and mixtures of them, and their impact on cucumber grown on bags. Sci. Hort. 129:135-141.

- Rural Development Administration (RDA). 1997. Theory and its application to cultivation of crop physiology. RDA, Korea. p. 304-330.
- Sim, S.Y., Lee, S.Y., Lee, S.W., Seo, M.W., Lim, J.W., Kim, S.J., and Kim, Y.S. 2006. Desirable Particle Size Distribution of Perlite for Tomato Bag Culture. *Journal of Bio-Environment Control* 15(3):231-238.
- Smith, D.L. 1987. Rockwool in horticulture. *Grower books*. p.36-57.
- Son, J.E. and Cho, Y.R. 2000. Analysis of Physical and Chemical Properties of Perlite Substrate. *Journal of Bio-Environment Control* 9(1):20~26.
- Wilson, G.C.S. 1985. New perlite wywtem for tomatoes and cucumbers. *Acta Hort.* 172:151-156.
- ZI (Zeal International). 2000. Standard Compaction Test. Assessed in <http://www.zealinternational.com/soil/zi3015a.asp>