

Analysis of Physical and Chemical Properties of Perlite Substrate¹⁾

Son, Jung-Eek* · Cho Young-Ryul

Department of Horticulture, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

Abstract

This study aims at analyzing physical and chemical properties of perlite substrate. Particles of substrate were divided into five categories in size: gravel, very-coarse, coarse, medium and fine grade. Particles of very-coarse and greater grades in perlite substrate occupied 98.5% of total particles. The air phase of total particles was distributed between 76.8% and 87.7% with especially showing that of very-coarse grade was lower than that of coarse or smaller one. However, the liquid and solid phases were vice versa. The cation exchange capacity (CEC) measured was highest in the fine grade. In drainage experiments, the water being drained from the substrate increased with the ratio of drain area, and the 65~70% of total water reduced within five minutes after irrigation. The drained volume was proportional to the depth of the substrate, which contained about 2 mL · cm² by depth (cm). Due to quick reduction of the water in the substrate, the pF value increased in few minutes after irrigation and showed the highest negative correlation ($R^2=0.997$) with the moisture content of the substrate. The physical and chemical properties including drainage characteristics analyzed in this study can be, therefore, utilized to control the moisture content of perlite substrate, efficiently.

Key words : drain area, hydroponics, moisture content, perlite, pF

* Corresponding author

¹⁾ 이 연구는 1998년 교육부(농업과학연구) 과제의 지원으로 수행되었음.

서 론

수경재배중 고품배지 재배에서 주로 이용되는 배지로는 펄라이트, 암면, 질석, 폴리에탄(PUR) 및 coir 등이 있으며, 특히 펄라이트를 이용한 수경재배 면적은 급속히 증가하여 1998년 전체 수경재배 면적 553.4ha 중 275.2ha의 높은 점유율을 나타내고 있다.

펄라이트는 화산에서 흘러나온 규산질 계통의 용암이 급속히 냉각되면서 형성된 것으로, 실제 사용하는 펄라이트는 원석을 잘게 부순 후에 900~1000℃로 구워 팽창시킨 물질로, 매우 가벼워 취급이 용이한 특성을 가지고 있다(Wilson, 1985). 따라서 무게가 가볍고 다공성으로 많은 수분을 함유할 수 있으며, 높은 공기 함유 능력(air capacity)을 가지고 있다(Wilson,

1985). 최근 많이 사용되고 있는 암면, 질석 및 coir와 같은 배지를 장기적으로 재배하여 근권의 양수분을 조절할 경우, 암면은 정상적으로 양분의 균형을 유지하는 것이 어려우며, 질석과 coir 배지는 양분 조절이 어렵고 배지의 화학성이 변하는 단점이 있다(Smith, 1987). 그러나 펄라이트는 물리성 및 화학성이 안정적이기 때문에 배지의 물리화학적 특성을 파악하여 배수특성을 적절히 이용할 수 있다면, 배지내의 양수분 조절이 용이하여 장기재배 및 순환식 수경재배에 적합한 배지가 될 것이다. 펄라이트 배지에서 생육한 토마토 수량은 암면 배지보다 7% 높았고, 물과 양분비용에 있어서도 암면의 절반 이하로 소비되었으며(Hall, 1988), 토마토와 오이 재배에 있어서도 펄라이트는 이상적인 조건을 갖는 배지라고 보고된 바 있다(Wilson, 1986).

이와 같이, 배지내의 수분환경은 식물의 생육에 영향을 주는 중요한 요인중의 하나이며(Giacomelli, 1998; Park 등, 1995), 적정 근권 환경의 유지를 위하여 고품배지의 물리성과 화학성을 고려하여 관수 방법, 비율, 시기 및 횟수가 결정되어야 한다(Leskovar, 1998). 따라서 작물의 수량, 품질 향상 및 배지내 적당한 수분함량을 유지시키기 위해서, 배지의 물리성, 화학성 및 수분변화를 측정하는 것이 중요하며, 또한 고품배지의 배수 특성을 결정하는 배지 종류, 배지 입자, 배지 높이 및 배수구 면적과 배지내 수분함량의 변화 관계를 분석하는 것도 중요하다.

본 연구의 목적은 펄라이트 배지의 물리성과 화학성을 분석하고, 배지내 수분함량에 영향을 미치는 요인들간의 관계를 파악하고 배지 깊이별 배지내 수분함량 분포와 pF간의 관계를 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험에 사용된 펄라이트 재료는 파라트 1호(삼순 펄라이트)였다. 미국 농무성(United States Department of Agriculture) 기준에 맞추어 2.0mm, 1.0mm, 0.5mm 및 0.25 mm 체를 이용하여 입자를 분류하였으며(RDA, 1997), 입자 크기에 따른 물리성(입자분포, 액상, 기상, 고상, 수분함량 및 가밀도)과 화학성(pH, CEC 및 치환성 양이온)을 3반복으로 농진청 표준조사기준에 의하여 분석하였다(RDA, 1997). 입자 분포의 대조구는 입자를 분류하지 않은 것으로 하였다. 입자의 pH는 pH미터(750P, Istek)로 측정하였으며, 치환성 양이온(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺)은 1N-암모늄아세테이트 침출법을 이용하여 원자흡광분광광도계(Atomic absorption spectrophotometer, Perkin Elmer 3100)로 측정하였다. 치환성 H⁺ 이온은 1N-암모늄아세테이트를 이용한 간이법으로 측정하였다. 양이온치환능력(cation exchange capacity, CEC)은 치환성 양이온(H⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺)을 합하여 나타냈다. 배지내의 pF는 디지털 pF측정기(DM-8HG, Takemura)로 측정하였으며, 컴퓨터(PC)와 데이터 수집장치(DR 230, Yokogawa)를 이용하여 자료를 연속 계측하였다.

배수 면적에 따른 배수량 측정을 위하여 베드 바닥이 20cm×13.5cm인 베드에 폴리비닐을 깔고 펄라이트를 15cm 깊이로 채웠다. 배수면적비(배수구 면적/바닥 면적)가 5.4%, 10.7% 또는 16.1%가 되도록 하고 2L의 물을 공급한 후, 배수량을 시간에 따라 3반복으로 측정하였다.

배지 높이별 배수량 측정을 위하여 배수면적비가 5.4%인 상태에서 배지 높이를 10cm, 15cm 또는 20cm로 하여 배수면적별 배수량 변화를 시간에 따라 3반복으로 측정하였다. 배지의 보수량은 배지의 높이를 20cm로 하고 배수면적비를 5.4%, 10.7%

또는 16.1%로 한 후, 2L의 물을 관수하고 20분 후에 배지내 수분함량을 3반복으로 측정하였다. 또한 펄라이트 배지내의 수분함량 변화와 pF치간의 관계를 분석하기 위하여 전자 저울(MJ-3000, Chyo) 위에 배드를 설치한 후, 디지털 pF측정기로 배지 표면으로부터 5~10cm 부분의 pF를

측정하였다. 증발을 유도하기 위하여 배드 표면으로부터 45cm 위에 메탈할라이트램프(250W)를 설치하였다(Fig. 1). 시간의 경과에 따른 pF값과 배드의 중량 변화를 측정하였고, 이를 이용하여 배드내 수분함량을 추정하였다.

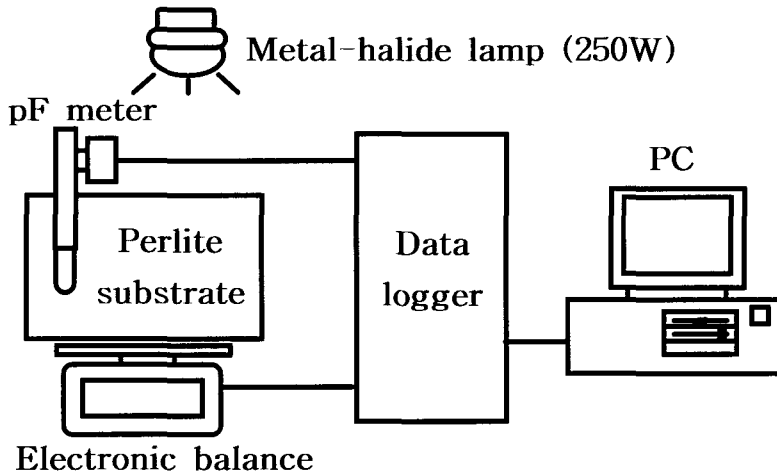


Fig. 1. Schematic diagram of a continuous measurement system of the pF and moisture content in perlite substrate.

결과 및 고찰

펄라이트의 입자 분포를 5단계로 분류하여

Table 1. Distribution of the particle size of perlite substrate (% air dry weight).

Particle size	Distribution (%)
Gravel (> 2mm)	94.3
Very-coarse (1-2mm)	4.2
Coarse (0.5-1mm)	0.6
Medium (0.25-0.5mm)	0.4
Fine (< 0.25mm)	0.1
Control	100.0

분석한 결과, 대조구에 비해 gravel 이상의 입자와 very-coarse 입자가 각각 94.3%와 4.2%로 나타났으며, very-coarse 이상의 입자(1 mm 이상)가 98.5%를 점유하였다(Table 1).

펄라이트의 물리적인 특성중 very-coarse 이상의 입자들이 coarse 이하의 입자들보다 기상비율은 낮았지만, 고상과 액상의 비율은 높게 나타났으며(Table 2), very-coarse 이상의 입자들이 coarse 이하의 입자들보다 가밀도도 높게 나타났다. 또한 coarse와 medium 입자의 수분함량이 다른 입자들에 비해 높게 나타났다. 대조구는 기상, 액상, 기상 및 가밀도가 very-coarse 이상의 입자들과 coarse 이하의 입자들간의 중간 수치를 보였다.

Table 2. Physical properties of perlite substrate.

Particle size	Air phase (%)	Liquid phase (%)	Solid phase (%)	Moisture content (%)	Bulk density (g · cm ⁻³)
Gravel	76.8 c ^z	13.2 a	10.0 a	49.4 cd	0.24 a
Very-coarse	76.5 c	13.2 a	10.3 a	49.6 bc	0.25 a
Coarse	87.5 a	6.9 c	5.6 c	49.9 a	0.13 c
Medium	87.2 a	7.0 c	5.8 c	49.9 a	0.14 c
Fine	87.7 a	7.0 c	5.3 c	49.7 ab	0.13 c
Control	80.8 b	11.0 b	8.2 b	49.3 d	0.20 b

^zMean separation within columns by Duncan's multiple rage test (P=0.05).

배지의 수분 보유력이 입자 크기, 입자 형태 및 공극률에 의해 결정되며, 입자가 작으면 작을수록 표면적과 공극률이 더 커지기 때문에, 배지의 수분 보유력은 크게 된다(Chung 等, 1996; Resh, 1995). 본 연구에서도 공극률이 높은 입자들에서 수분함량이 높게 나타났다. 입자 크기가 coarse 이하인 쪽에서 액상과 고상의 비율이 낮게 나타났는데, 그 원인은 가밀도가 낮기 때문인 것으로 사료된다. Hanan 等(1981)도 가밀도가 증가할수록 공극률은 감소한다고 하였다. 또한 불규칙한 입자가 고운 입자보다 표면적이 더 크기 때문에 수분 보유력이 더 높게 된다(Hall, 1988; Resh, 1995). Resh(1995)는 지나치게 고운 입자는 배지내 과도한 수분 보유력과 산소 이동 부족을 야기한다고 하였다. 입자 크기에 따른 작물의 생육적인 측면에서 보면, 토마토에서 세립 펄라이트(2.5mm 이하)와 왕겨를 20% 정도만 혼합한 처리

구에서 생육과 수량이 높게 나타났으며 (Chung 等, 1996), 풋고추 수정재배에서 펄라이트 배지의 입자가 굵은 순으로 수량이 증가된 바 있다(Kim, 1997).

펠라이트의 화학적인 특징을 살펴보면, pH는 very-coarse 이상의 입자들이 낮게 나타났다. 이와는 반대로 양이온치환용량(CEC)과 치환성 양이온(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)은 coarse 이하의 입자들이 크게 나타났으며, 특히 fine 입자에서 CEC와 치환성 양이온이 크게 나타났다. 그러나 펄라이트 배지의 CEC는 0.458~1.867me · 100 g⁻¹로 다른 무기 배지들(예, 질석과 암면)보다 CEC가 낮게 나타났다(Table 3).

물 2L 공급에 대한 배수 면적에 따른 배수량의 변화를 살펴보면, 배수 면적이 클수록 배수량이 많았고 관수후 약 3분 이내에 관수량의 65~70% 정도가 배액되는 것을 알 수 있었다(Fig. 2).

Table 3. Chemical properties of perlite substrate.

Particle size	pH (1:5)	CEC (me · 100 g ⁻¹)	Available exchangeable cations (me · 100 g ⁻¹)		
			K	Ca	Mg
Gravel	6.44 c ^z	0.597 e	0.047 f	0.250 e	0.022 e
Very-coarse	6.51 b	0.882 d	0.060 e	0.468 d	0.092 d
Coarse	6.84 a	1.496 c	0.109 c	0.777 c	0.129 c
Medium	6.82 a	1.617 b	0.116 b	0.865 b	0.141 b
Fine	6.82 a	1.867 a	0.120 a	1.086 a	0.161 a
Control	6.68 b	0.458 f	0.079 d	0.163 f	0.015 f

^zMean separation within columns by Duncan's multiple rage test (P=0.05).

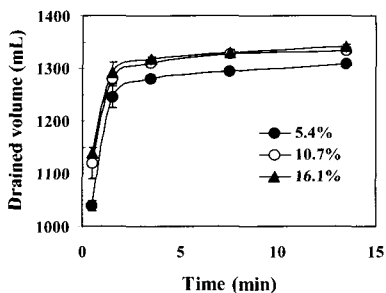


Fig. 2. Changes in drained volume over time for the several drain areas of perlite-filled container. Vertical bars represent means of three replications \pm SE.

배수 면적에 대한 배수량간의 관계식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = a + bx + c/x^2 \quad (r=0.999) \quad (1)$$

$$a = 3.52\alpha + 1257.2$$

$$b = -0.028\alpha + 2.86$$

$$c = 1.46\alpha - 64.79$$

[단, x, 시간(min); y, 배수량(mL); α , 배수면적비(%)=(배수구면적/배지바닥면적) \times 100]

물 2L 공급에 대한 배지 깊이에 따른 배수량은 10cm 깊이에서 많았으며, 15분 동안의 배액률은 각각 76.6%와 54.6% 이

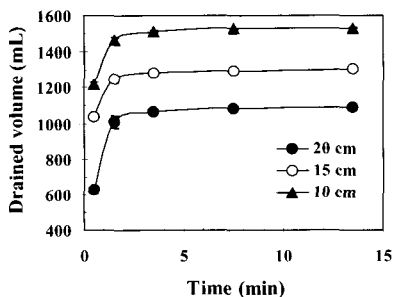


Fig. 3. Changes in drained volume over time for the several depths of perlite substrate. Vertical bars represent means of three replications \pm SE.

었다. 물 공급후 약 2분 내에 급속히 물이 배수되었으며, 배수후 펄라이트의 수분량은 평균 $2\text{mL} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-1}$ 정도로 추정된다(Fig. 3).

배지 깊이에 따른 배수량을 관계식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = 64.8 + 0.16x - 1.98/x^2 \quad (r=0.999) \quad (2)$$

[단, x, 시간(min); y, 배수량(mL)]

배수 면적에 따른 배지 깊이와 수분함량간의 관계를 살펴보면, 배수 면적이 16.1%, 배지 깊이가 20cm일 때 수분함량은 약 100%로 나타났다(Fig. 4). 이것은 배수가 원활하게 이루어지고 있다는 것을 의미하며, 배지 깊이에 따른 배수 면적의 고려를 통하여 근권의 과습 및 이로 인한 병해를 방지할 수 있다. Wilson(1995)은 펄라이트 재배시 배지의 높이를 24cm로 할 때 토마토 뿌리 형성에 좋고, 펄라이트의 수분 보유력이 낮기 때문에 재배조의 하부에서 4cm 정도의 양액 저수조를 만드는 것이 좋다고 하였다. 또한 Oyarzun 등(1994)은 배지 수분상태는 토양 전염성 병원균에 의한 병해에 영향을 주는 매우 중요한 요인으로, 적절한 배지 수분 상태를 유지시켜야 한다고 하였다. 이러한 결과로부터, 양호한 생육조건을 유지하기 위하여 배지 종류별 배지 깊이에 따른 배수 면적은 매우 중요하다고 할 수 있다.

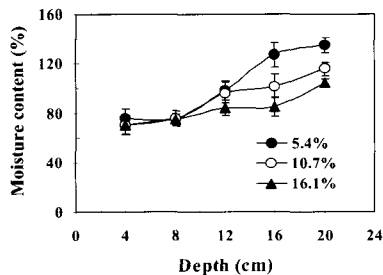


Fig. 4. Moisture contents at the different depth of perlite substrate for the several drain areas. Vertical bars represent means of three replications \pm SE.

관수후 시간이 경과됨에 따라 pF는 증가하는 경향을 보였으며, 배지내 수분함량은 감소하는 경향을 보였다. 그리고 배지내의 수분함량과 pF치간의 관계는 고도로 유의한 부의 상관($R^2=0.997$)이 확인되었다 (Fig. 5). 배지내의 수분함량과 pF치간의 감소 곡선이 직선에 가까운 것은 입자가 전반적으로 큰 것때문이 아닌가 사료된다. 배지내 수분함량을 일정하게 유지하기 위한 방법중의 하나로, pF 수치를 이용하거나, pF 수치로 배지내 수분함량을 조절할 수 있을 것으로 판단되었다.

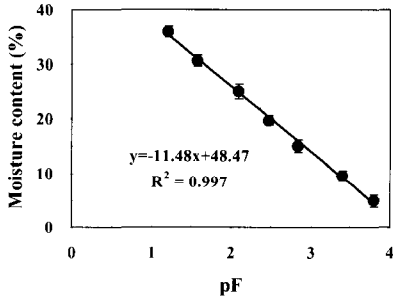


Fig. 5. Relationship between the moisture content and the pF of perlite substrate. Vertical bars represent means of three replications \pm SE.

배지내 수분 보유력은 관수 횟수와 공급시간을 결정하는 중요한 요인이므로 (Resh, 1995), 배지내 수분함량은 관수시기를 결정하는 중요한 요인중의 하나로 작용될 수 있다. Saha와 Hara(1998)는 최대 토양 수분 고갈은 배지가 보유한 물량의 30% 이하라고 하였으며, Biernbaum과 Versluys(1998)는 보통 유효 수분의 75~85% 손실될 때 관수가 이루어진다고 하였다. 이러한 사항을 근거로 할 때, 펄라이트 배지내에 함유한 수분량은 대략 30~35%이기 때문에 수분함량이 5~10%정도 감소되는 시점에서 관수하는 것이 적합할 것으로 판단되었다. 그러나 관수시기와 관수 빈도는 생육 단계, 광도, 일장

과 온도 및 배지 종류에 따라 다르므로 (Resh, 1995), 이에 대한 더욱 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Literature cited

1. Biernbaum, J.A. and N.B. Versluys. 1998. Water management. Hort-Technology 8(4) : 504-509.
2. Chung, S.J., B.S. Seo, B.S. Lee, and J.H. Lee. 1996. Development of a nutriculture system for fruit vegetables using perlite and its mixtures with other substrates. II. Effects of substrates on the growth and fruit quality of hydroponically grown tomato. J. Bio-Env. Con. 5(1) : 7-14.
3. Giacomelli, G.A. 1998. Monitoring plant water requirements within integrated crop production systems. Acta Hort. 450 : 21-27.
4. Hall, D.A. 1988. Perlite plant guide 9. Perlite Institute Inc., Chicago. p. 1-2.
5. Hanan, J.J., C. Olympios, and C. Pittas. 1981. Bulk density, porosity, percolation and salinity control in shallow, freely draining, potting soils. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106(6) : 742-746.
6. Ho, L.C. and P. Adams. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. Acta Hort. 396 : 33-44.
7. Kim, Y. C. 1997. Perlite hydroponic system. The Korea Hydroponic Society. p. 101-120.
8. Leskovar, D.I. 1998. Root and shoot modification by irrigation. Hort-Technology 8(4) : 510-514.
9. Oyarzun, P.J., T. Van Der Zalm, H.W. Roelofsen, and G. Dijst. 1994.

- Computerized equipment to control soil water matric potential and soil temperature in inoculum potential assays of soil-borne pathogens. *Plant and Soil* 166 : 125-135.
10. Park, K.W., H.M. Kang, M.H. Chiang, and Y.S. Kwon. 1995. Effects of soil moisture content according to irrigation methods in culture on storability of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. *J. Bio-Env. Con.* 4(1) : 74-79.
 11. Resh, H.M. 1995. Hydroponic food production. Woodbridge Press. p. 123-132.
 12. Rural Development Administration (RDA). 1997. Theory and its application to cultivation of crop physiology. RDA, Korea. p. 304-330.
 13. Saha, R.R. and M. Hara. 1998. Influence of different soil moisture regimes on biomass production, water use, and nitrogen nutrition of tomato plants. *Environ. Control in Biol.* 36(1) : 1-12.
 14. Smith, D.L. 1987. Rockwool in horticulture. Grower Books. p. 36-57.
 15. Wilson, G.C.S. 1985. New perlite system for tomatoes and cucumbers. *Acta Hort.* 172 : 151-156.
 16. Wilson, G.C.S. 1986. Tomato production in different growing media. *Acta Hort.* 178 : 115-119.

펄라이트 배지의 물리성과 화학성 분석

손정익* · 조영렬

서울대학교 원예학과

적 요

본 실험은 펄라이트의 물리성, 화학성 및 배수 특성을 구명하고 이를 근거로 배지내 적정 수분관리를 시도해 보고자 수행하였다.

입자 분포를 5단계로 분류하였고, very-coarse 이상의 입자들이 98.5%를 점유하였다. 물리적인 특성은 very-coarse 이상의 입자들이 coarse 이하의 입자들보다 기상 비율은 각각 76.7%와 87.5%로 낮았지만, 고상 비율은 각각 13.2%와 7.0%, 액상 비율은 각각 10.2%와 5.6%로 높았다. 양이온치환용량은 fine 입자가 $1.867 \text{ me} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 로 크게 나타났다. 배수 면적이 클수록 배수량이 많았으며, 관수후 5분 이내에 관수량의 65~70% 정도가 배수되었다. 배지 깊이에 비례해서 배지내 수분량의 차이가 있었으며, 배수후 펄라이트의 수분량은 약 $2\text{mL} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{cm}^{-1}$ 정도로 추정된다. 시간이 경과됨에 따라 pF 수치는 증가하는 경향을 보였으며, 배지내 수분함량과 pF치간의 관계는 고도로 유의한 부의 상관($R^2=0.997$)이 있었다. 펄라이트 배지의 배수 특성을 파악하여 배지내 적정 수분함량을 조절할 수 있을 것으로 판단되었다.

주제어 : 배수면적, 양액재배, 수분함량, 펄라이트, pF