

원예용 상토 재료 피트모스, 펄라이트, 버미큘라이트의 혼합비율에 따른 물리적 특성 변화

김혁수 · 김계훈*

서울시립대학교 환경원예학과

Physical Properties of the Horticultural Substrate According to Mixing Ratio of Peatmoss, Perlite and Vermiculite

Hyuck-Soo Kim and Kye-Hoon Kim*

Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Republic of Korea

The physical properties of horticultural substrate are important for optimal plant growth. The physical properties should be properly maintained during the crop growing season for producing higher yield. This experiment was carried out to evaluate the physical properties of different mixtures from various raw materials as horticultural substrates. The mixtures at the different ratios of peatmoss, perlite and vermiculite subjected to 10:0:0, 8:2:0, 6:4:0, 4:6:0, 2:8:0, 0:8:2, 0:10:0, 0:6:4, 0:4:6, 0:2:8, 8:0:2, 0:0:10, 6:0:4, 4:0:6, 2:0:8, 2:6:2, 2:4:4, 4:2:4, 4:4:2, 6:2:2 and 2:2:6 were prepared and analyzed according to two methods of the European Standardization (EN) and Rural Development Administration (RDA). The optimum range of physical properties of a specific horticultural substrate can be predicted using physical-property-triangle. This triangle can also be used to convert a physical property from the EN method to that from the RDA method. Results showed that the mixture at a ratio of > 60% peatmoss, in most cases, is in the range of optimum physical condition for plant growth. We conclude that the developed physical-property-triangle can be suitable to suggest the optimum ratios of horticultural substrates used in this study.

Key words: Peatmoss, Perlite, Vermiculite, Physical property

서 언

상토는 '양질묘 생산에 적합한 물리적, 화학적 및 생물학적 특성을 갖춘 자재로서 식물체를 기계적으로 지지하고 작물의 생육에 필요한 각종 양분과 수분을 공급해주는 활성화된 물질로서 육묘에 있어서 가장 기본이 되는 요소'로 정의된다 (Kim et al., 2008). 상토의 종류는 수도용, 원예용 및 특수목적용으로 나눌 수 있고, 육묘에 사용되는 원예용 상토는 경량상토로 구분된다. 원예용 상토의 주재료 중 유기질재료는 피트모스 (peatmoss), 코코피트 (cocopeat)가 주로 사용되고, 무기질재료는 펄라이트 (perlite), 버미큘라이트 (vermiculite), 제올라이트 (zeolite) 등이 사용된다. 식물의 생장과 직접 연관이 있는 상토 원자재의 선택 시에는 유용성, 가격, 생산지 등을 고려하여야 한다 (Klougart, 1983; Verdonck et al., 1984).

원예용 상토 자재로 널리 사용 중인 피트모스는 강우가 많고, 연평균온도가 낮은 지역에서 수생식물 또는 물이끼가 산소가 불충분한 땅속에서 오랜 시간 동안 부분적으로 분해된 것으로 주로 캐나다와 북유럽지역에서 많이 채취된다. 이에 따라 유럽과 캐나다를 중심으로 피트모스에 대한 연구가 많이 진행되어 왔으며, 최근에는 피트모스의 채취 사용이 환경 친화적이지 못하다는 이유로 대체물질 사용 가능성에 대한 연구도 수행되고 있다 (Gruda and Schnitzler, 2004a, 2004b). 우리나라에서도 피트모스가 전량 수입되어 가격이 비싸고, 피트모스의 채취 사용이 환경 친화적이지 못한 문제로 인해 사용을 줄이려고 하지만 코코피트 및 수피에 대한 대체 가능성 연구 이외에는 아직 대체 물질 연구가 미흡한 실정이라 꾸준히 사용되고 있다.

유럽은 원예용 상토에 대한 연구가 현재까지 활발히 진행되고 있으며 특히, Kipp et al. (2000)은 17개의 물리적 특성범위를 설정하여 447종의 식물에 적합한 상토의 물리성을 제시하였다. Verdonck and Demeyer (2004)는 피트모스와 바크, 펄라이트를 입자크기 별로 구분하여 각각

접수 : 2011. 3. 17 수리 : 2011. 6. 17

*연락처 : Phone: +82222102605

E-mail: johnkim@uos.ac.kr

의 기상과 식물이 이용하기 쉬운 수분함량을 관찰하였고, 그 중 피트모스에 펄라이트를 각각 5, 10, 20% 혼합 시 피트모스 100%일 때 보다 높은 기상을 보이지만 식물이 이용하기 쉬운 수분함량은 크게 변하지 않았다고 보고하였다. 이 외에도 상토의 구성성분에 따른 물리적 특성 변화의 중요성을 인식하고 이에 대한 연구를 꾸준히 수행하고 있으며, 이에 따라 상토의 물리적 특성 항목 간에 관계에 대해서는 많은 연구가 이뤄지고 있다 (Bunt, 1984; Fernandes and Cora, 2004; Heiskanen, 1995; Nkonglolo and Caron, 2006; Sahin et al., 2002; Verdonck et al., 1984). 또한, 유럽표준위원회 (CEN, Committee for European Standardization)에서는 상토의 표준분석법 (EN 분석법)을 제정하여 현재까지 널리 이용되고 있으며 지속적으로 새로운 항목에 대해 표준화 작업이 진행되고 있다 (Kim and Kang, 2001).

우리나라 상토시장은 1980년대 외국의 상토가 수입되고 1990년대에 플러그 트레이를 이용한 육묘산업의 발전시점부터 현재까지 매년 상토의 수요는 급격한 증가추세를 보였지만 급진적 발전의 부작용으로 원재료의 연구 부족 및 농가의 잘못된 사용으로 인한 사고피해도 증가하게 되었다 (Lee, 2006). 이에 따라 2002년 Kim and Cho (2002)와 Kim et al. (2002)에 의해 우리나라 상토의 물리적 표준 분석법 설정을 위한 연구가 수행되었고, 동년 농촌진흥청에서 상토의 표준분석법 (RDA 분석법)을 발간하여 수도용 상토와 원예용 상토를 구분하여 각각 물리적, 화학성에 대한 분석법을 제시하였다 (RDA, 2002). 또한 상토사고의 피해를 최소화하기 위해 2004년 상토연구회가 설립되었고, Kim (2006)은 이와 같은 연구회의 활동을 통해 상토 품질 규격화를 마련하기 위한 혼합비율에 따른 상토의 이화학적 및 작물 반응, 상토의 품질 향상을 위한 연구 필요성을 강조하였다. Lee et al. (2006a)과 Lee et al. (2007)은 배추와 고추 육묘용 최적 상토 개발을 위해 피트모스에 버미큘라이트, 혼탄, 펄라이트, 제올라이트를 혼합하여 각각의 혼합상토 물리성을 분석한 뒤 배추 및 고추 육묘 실험을 수행하였다. 이들은 배추는 피트모스 혼합 상토의 공극률 92-95%, 액상 52-71%, 기상 21-41%, 유효수분 14-37%, 완충수분 0.6-13%, 고추는 피트모스 혼합 상토 공극률 87-93%, 액상 52-71%, 기상 20-41%, 유효수분 10-37%, 완충수분 0.6-10%일 때 육묘 생육에 가장 적합한 것으로 보고하였다. 또한, Lee et al. (2006b)은 상토 자재 중 유기성 원자재 코코피트, 피트모스, 혼탄과 무기성 원자재 펄라이트, 버미큘라이트, 제올라이트와 시판 중인 배추 육묘용 상토 40종을 수집하여 EN 분석법과 RDA 분석법으로 물리성을 분석한 결과 분석방법 간에 가밀도, 진밀도 및 공극률에서는 높은 상관관계를 나타냈으나 기상 및 유효수분함량은 낮은 상관관계를 나타냈다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 상토제조 시 많이 사용

되는 원자재 피트모스, 펄라이트, 버미큘라이트를 혼합하여 혼합 상토의 물리적 특성을 EN 분석법과 RDA 분석법으로 분석하여 자재 혼합비율별 물리적 특성 변화 관찰 및 각각의 분석법에 따른 식물생육에 적합한 혼합비율을 도출하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 현재 상토제조회사에서 사용하는 원재료 중 보수력이 우수하고, 넓은 표면적을 갖고 있으며, 매우 안정적인 유기성 자재인 피트모스 (캐나다산)와 진주암을 1000°C 이상의 고온에서 팽창하여 생산한 펄라이트 (중국산), 질석을 300°C 이상에서 팽창시킨 버미큘라이트 (중국산)를 수집하였다.

수집한 재료는 EN 분석법에 따라 원재료 (peatmoss, perlite, vermiculite)의 가밀도를 분석한 뒤, 가밀도를 이용하여 부피 당 무게를 계산한 후 피트모스, 펄라이트, 버미큘라이트를 일정 부피 비율로 혼합하였다 (Table 1).

상토의 물리성 항목은 EN 분석법에 따라 건조기에 50 g의 상토를 넣고 103 ± 2°C에서 일정시간 건조하여 수분함량, 건물함량을 측정하였고, 작열감량법을 이용해 유기물 함량, 회분 함량을 분석하였다. 가밀도 (dry bulk density), 진밀도 (particle density), 공극률, 기상, 액상은 직경 100 mm, 높이 50 mm로 제작된 원통형 용기 2개를 상, 하부로 결합하여 그 안에 혼합상토를 골고루 채우고, 증류수로 24-48시간동안 포화시켰다. 포화된 시료를 sand suction table에 옮긴 후 48시간동안 -50 cm (-5 kPa)의 수두차이를 주었다. 48시간 후 시료를 골고루 섞고 다시 24-48시간동안 포화시킨 후 sand suction table에 옮겨 48-72시간 동안 -10 cm (-1 kPa)로 처리한 후 상부의 용기를 분리하였다. 하부 용기의 상토를 평평하게 조절한 뒤 103 ± 2°C에서 일정시간 건조하여 각각의 항목을 분석하였다 (CEN, 1999a, 1999b, 1999c).

Table 1. Mixing ratio of horticultural substrates used in this study.

	Peatmoss:Perlite:Vermiculite	
	----- % -----	
Mixing ratio	80:20:0	60:0:40
	60:40:0	40:0:60
	40:60:0	20:0:80
	20:80:0	20:60:20
	0:80:20	20:40:40
	0:60:40	40:20:40
	0:40:60	40:40:20
	0:20:80	60:20:20
	80:0:20	20:20:60

또한, 같은 시료를 RDA 분석법에 따라 모든 실험의 전 처리로 시료를 105°C에서 건조하였으며, 추다짐법으로 가 밀도를 분석하였고, 기존 pycnometer를 응용한 방법으로 진 밀도를 구하였다. 기상, 액상, 공극률, 수분보유곡선, 식물이 이용하기 쉬운 수분함량 (easily available water, EAW), 완충수분 (water buffering capacity, WBC)은 sand box를 이용하여 -1 kPa, -5 kPa, -10 kPa의 수두차에 따른 수 분함량 결과를 바탕으로 측정하였다 (RDA, 2002).

결과 및 고찰

유럽 상토 표준분석법 피트모스, 펄라이트, 버미큘라이트와 혼합 상토를 EN 분석법에 따라 수분함량, 건물함량, 유기물함량, 회분함량을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 피트모스의 수분함량은 43.40%로 전체 상토 시료 중 가장 높게 나타났고, 펄라이트는 0.47%로 가장 낮게 나타났다. 유기물 함량에서도 피트모스가 92.67%로 가장 높은 결과를 나타냈고, 펄라이트는 0.78%로 가장 낮은 결과를 나타냈다.

EN 분석법에 따라 가밀도, 진밀도, 공극률, 기상 및 액상을 분석한 결과 (Table 3) 가밀도는 0.09-0.31 Mg m⁻³의 범위에서 피트모스가 가장 낮고, 버미큘라이트가 가장 높은 값을 나타냈다. 진밀도는 1.60-2.64 Mg m⁻³의 범위를 보였으며 피트모스가 가장 낮고, 펄라이트가 가장 높은 값으로 조사되었다. 삼각도를 통해 진밀도의 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 진밀도 이외의 모든 분석 결과를 삼각도에 대입할 경우 혼합비율에 따른 물리적 변화를 한눈에 알아볼 수 있어 향후 상토연구에 매우 유용하게 쓰일 것으로 판단된다.

유럽의 International Substrate Manual에서는 상토 제조에 사용되는 자재를 원산지별로 수집하여 물리성을 분석하였다 (Kipp et al., 2000). 피트모스는 가밀도 0.05-0.29 Mg m⁻³, 공극률 81-97%, 기상 0-45%, 액상 50-96%였으며, 펄라이트는 가밀도, 공극률, 기상, 액상이 각각 0.04-0.15 Mg m⁻³, 94-98%, 46-76%, 19-51%로 실험에 사용된 피트모스와 펄라이트가 모든 항목의 범위 내에 포함되었다.

식물 생육기간 동안 상토 내에서는 보수력, 통기성이 적절히 균형을 이뤄야 하고 이는 가밀도와 밀접한 관련이 있다 (Fernandes and Cora, 2004; Verdonck and Gabriels, 1988).

Table 2. Moisture, dry matter content, organic matter, ash content and laboratory compacted bulk density of horticultural substrates by EN method.

Substrate [†]	Moisture content	Dry matter content	Organic matter content		Ash content
			%		
Peatmoss	43.40	56.60	92.67	7.33	
Perlite	0.47	99.53	0.78	99.22	
Vermiculite	1.03	98.97	4.63	95.37	
8:2:0	32.83	67.17	59.29	40.71	
6:4:0	21.30	78.70	41.54	58.46	
4:6:0	12.73	87.27	16.93	83.07	
2:8:0	6.23	93.77	11.52	88.48	
0:8:2	16.63	83.37	1.61	98.39	
0:6:4	6.23	87.50	1.94	98.06	
0:4:6	6.23	93.77	2.15	97.85	
0:2:8	2.03	97.97	2.35	97.65	
8:0:2	22.50	77.50	31.95	68.05	
6:0:4	12.33	87.67	17.50	82.50	
4:0:6	5.77	94.23	10.77	89.23	
2:0:8	2.70	97.30	5.44	94.56	
2:6:2	15.20	84.80	7.22	92.78	
2:4:4	10.23	89.77	7.74	92.26	
4:2:4	7.43	92.57	12.81	87.19	
4:4:2	11.60	88.40	16.80	83.20	
6:2:2	15.77	84.23	23.00	77.00	
2:2:6	3.93	96.07	7.47	92.53	

[†]Peatmoss:Perlite:Vermiculite.

Table 3. Dry bulk density, total pore space, water volume and air volume of horticultural substrates by EN method.

Substrate [†]	D _B [‡] Mg m ⁻³	P _s	W _v		A _v	
			%		%	
Peatmoss	0.09	94.51	88.32		6.19	
Perlite	0.13	95.18	27.31		67.87	
Vermiculite	0.31	88.10	74.40		13.69	
8:2:0	0.11	94.02	70.90		23.12	
6:4:0	0.12	94.30	70.19		24.11	
4:6:0	0.12	95.02	37.29		57.73	
2:8:0	0.12	95.11	33.24		61.87	
0:8:2	0.18	93.10	32.31		60.79	
0:6:4	0.25	90.48	53.64		36.84	
0:4:6	0.28	89.35	60.20		29.15	
0:2:8	0.30	88.61	73.91		14.70	
8:0:2	0.15	92.84	83.32		9.52	
6:0:4	0.22	90.53	78.56		11.97	
4:0:6	0.24	90.26	77.20		13.07	
2:0:8	0.28	88.92	75.06		13.85	
2:6:2	0.17	93.22	40.70		52.52	
2:4:4	0.24	90.40	56.65		33.75	
4:2:4	0.23	90.62	74.25		16.38	
4:4:2	0.16	93.08	53.05		40.03	
6:2:2	0.16	92.90	77.80		15.10	
2:2:6	0.26	89.84	73.07		16.78	

[†]Peatmoss:Perlite:Vermiculite.

[‡]D_B: dry bulk density, P_s: total pore space, W_v: water volume, A_v: air volume.

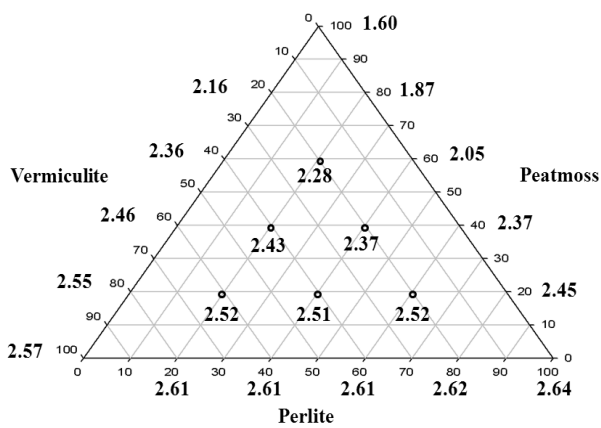


Fig. 1. Particle density (Mg m⁻³) triangle of horticultural substrates.

이는 가밀도가 부피로 측정되는 공극률과 기상에 큰 영향을 미치는 물리적 특성이기 때문이다 (Bunt, 1974; Cattivello, 1991; Kim and Kang, 2001). 본 연구 결과 혼합 상토의 가밀도는 혼합비율에 따라 일정하게 증가 또는 감소하지 않고, 가밀도가 상대적으로 높은 버미큘라이트가 피트모스와 펄라이트에 20-40% 혼합될 때 60-80% 혼합된 경우보

다 가밀도 변화 폭이 큰 것으로 나타났다. 이는 상토의 원재료 혼합 비율이 가밀도에 많은 영향을 미치므로 상토 제조 시 비율의 선택이 중요하다는 사실을 입증하는 내용이다.

진밀도는 시료를 고온에서 태운 후 유기물과 무기물의 함량과 그 밀도 (각각 1.55 Mg m⁻³ 및 2.65 Mg m⁻³)를 이용하여 계산하기 때문에 유기물 함량이 높고, 무기물 함량이 낮을수록 진밀도 값이 감소했다.

공극률은 혼합비율에 따라 증가 또는 감소 경향이 일정하지 않았지만, 공극률을 구성하는 기상, 액상은 혼합비율 변화에 따라 일정한 경향으로 역의 관계를 나타냈다.

연구보고에 따르면 피트모스와 펄라이트 그리고 두 재료를 혼합하여 기상, 액상을 분석한 결과 피트모스의 경우 대부분 물로 공극이 채워져 있고, 펄라이트는 공기로 채워져 있으며 피트모스에 펄라이트가 혼합되면 액상과 기상의 구성이 크게 변한다고 하였다 (Heiskanen, 1995; Verdonck and Demeyer, 2004). 본 연구 결과에서도 이와 같은 경향을 확인할 수 있었다.

Bunt (1984)가 보고한 가밀도와 공극률 간에는 강한 부(-)의 관계를 가진다는 결과와 같이 본 연구 결과에서도 가밀도와 공극률의 간에 관계에서 강한 부(-)의 관계를

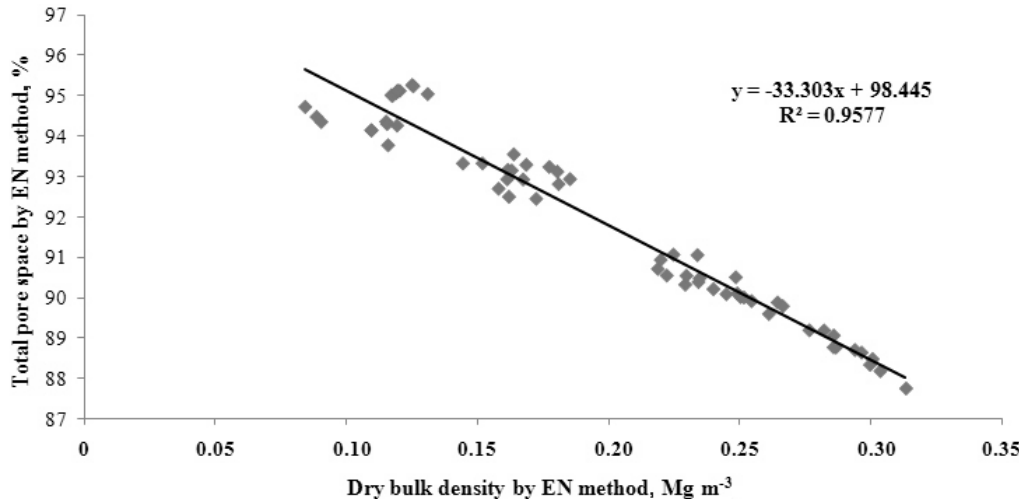


Fig. 2. Relationship between the total pore space and the bulk density of horticultural substrates by EN method.

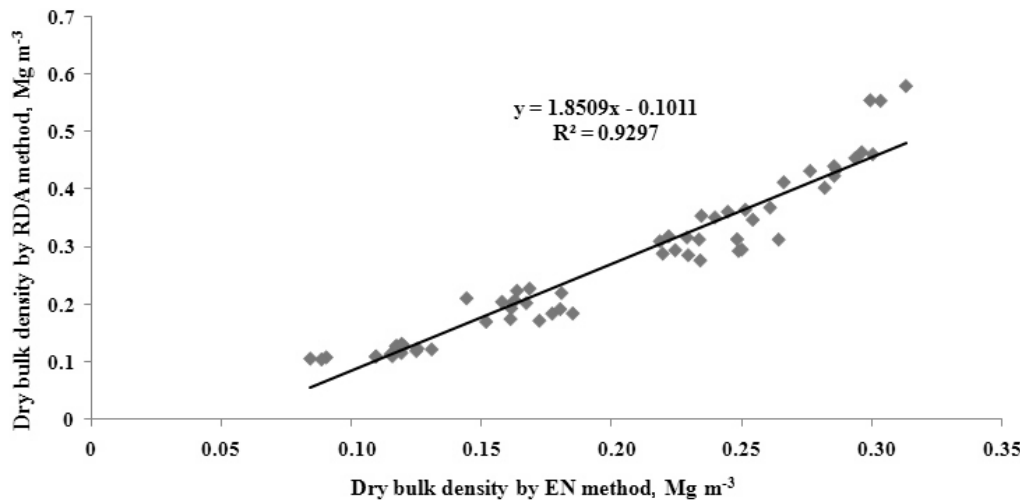


Fig. 3. Dry bulk density of horticultural substrates relationship between EN method and RDA method.

갖는 것으로 조사되었다 (Fig. 2).

식물생육에 가장 적합한 물리성은 공극률 85%이상, 기상 20-30%이다 (De Boodt and Verdonck, 1972; Gruda and Schnitzler, 2004a). 본 연구에서 피트모스가 혼합된 상토 중 위 조건을 만족하는 혼합비율은 피트모스 60-80%와 펠라이트 20-40%를 혼합할 경우로 조사되었다.

농촌진흥청 상토 표준 분석법 RDA 분석법에 따라 피트모스 혼합 상토의 가밀도, 진밀도, 식물이 이용하기 쉬운 수분함량, 원충수분, 공극률, 기상, 액상, 수분보유곡선을 분석한 결과 가밀도는 $0.11-0.56 \text{ Mg m}^{-3}$ 로 피트모스가 가장 낮고, 버미큘라이트가 가장 높은 값으로 조사되었다. RDA 분석법 가밀도는 EN 분석법을 통해 구한 가밀도의 결과와 높은 상관관계를 나타냈다 (Fig. 3). 진밀도는 $0.61-1.97 \text{ Mg m}^{-3}$ 로 EN 분석법의 결과와는 정반대로 펠라이트가 가장 낮은 값으로 조사되었다 (Table 4).

Bunt (1988)는 펠라이트 제조 시 고온으로 팽창시키는 과정에서 입자의 다공질이 닫히게 되고 그로 인해 입자 내부 공극에서 물을 보유할 수 없다고 보고한 바 있다. 따라서 고온에서 회화하여 입자밀도를 측정하는 EN 분석법과는 다르게 Pycnometer법을 응용해 입자밀도를 측정하는 RDA 분석법에서는 내부 공극에 물이 침투하지 못하여 이와 같은 차이가 발생한 것으로 판단된다. 공극률은 71.53-91.35%로 피트모스가 가장 높은 값을 보였고, 버미큘라이트는 가장 낮은 값을 나타냈다.

혼합비율에 따른 가밀도, 입자밀도 및 공극률의 변화는 대부분 일정한 변화를 보였지만 펠라이트에 버미큘라이트 20-40% 혼합한 경우 공극률의 값이 펠라이트와 버미큘라이트의 원자재 공극률 값의 범위를 벗어난 것으로 조사되었다. 이는 Papadopoulos et al. (2008)이 소개한 내용대로 입자 크기가 다른 무기성 자재가 혼합되면 혼합된 양만큼 부피가 증가하는 것이 아니라 각 자재의 공극에 다른 자재가

Table 4. Dry bulk density, particle density, total pore space of horticultural substrates by RDA method.

Substrate [†]	D _B [‡]	D _P	P _S
	----- Mg m ⁻³ -----		%
Peatmoss	0.11	1.23	91.35
Perlite	0.12	0.61	80.13
Vermiculite	0.56	1.97	71.53
8:2:0	0.11	0.79	86.07
6:4:0	0.11	0.66	82.78
4:6:0	0.13	0.62	79.53
2:8:0	0.13	0.62	78.92
0:8:2	0.19	1.35	86.13
0:6:4	0.31	1.66	81.13
0:4:6	0.41	1.71	75.92
0:2:8	0.46	1.84	75.06
8:0:2	0.21	1.28	83.90
6:0:4	0.31	1.69	81.40
4:0:6	0.36	1.80	80.23
2:0:8	0.43	1.93	77.45
2:6:2	0.22	1.12	79.97
2:4:4	0.29	1.27	76.85
4:2:4	0.28	1.65	82.86
4:4:2	0.20	1.15	82.50
6:2:2	0.17	1.16	85.13
2:2:6	0.36	1.32	72.82

[†]Peatmoss:Perlite:Vermiculite.

[‡]D_B: dry bulk density, D_P: particle density, P_S: total pore space.

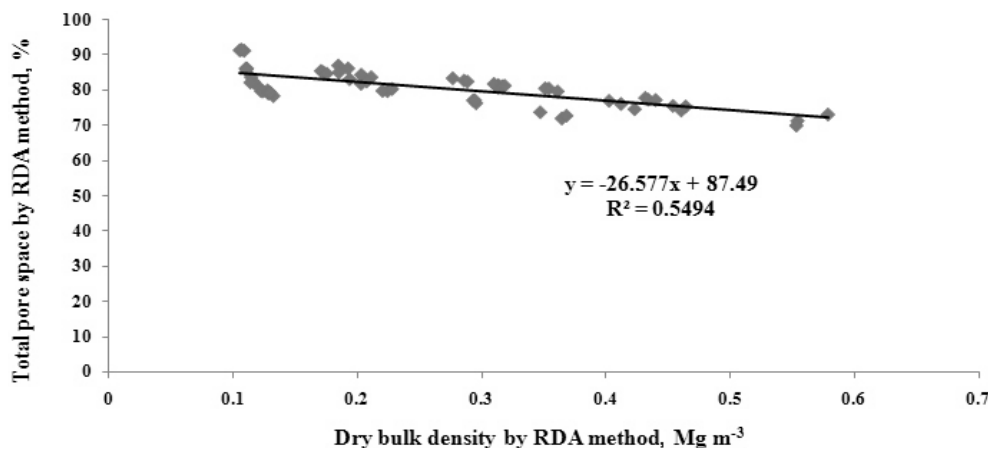


Fig. 4. Relationship between the total pore space and the bulk density of horticultural substrates by RDA method.

들어가서 부피는 감소하고, 공극률이나 수리전도도 같은 물리적 특성에 영향을 미친 것으로 판단된다.

과거 연구 (De Boodt and Verdonck, 1972; Gruda and Schnitzler, 2004a)에 따라 식물생육에 가장 적합한 것으로 알려진 공극률 85% 이상의 범위를 갖는 혼합비율은 피트모스, 펄라이트 버미큘라이트 혼합비율 10:0:0, 8:2:0, 6:2:2, 0:8:2로 대부분 피트모스의 함량이 높을수록 식물생육에 적

합한 공극률을 갖는 것으로 조사되었다. 하지만 분석 방법의 차이로 인해 EN 분석법 결과에서는 모든 혼합 상토가 공극률 85% 이상으로 조사된 점에 비해 RDA 분석법에서는 상대적으로 낮은 결과를 나타냈다.

또한, 가밀도와 공극률 간의 관계는 EN 분석법으로 실험한 결과와는 달리 RDA 분석법으로 실험한 결과에서는 낮은 부 (-)의 관계를 갖는 것으로 조사되었다 (Fig. 4).

Table 5. Water volume, air volume, easily available water and water buffering capacity of horticultural substrates by RDA method.

Substrate [†]	W _v ^{‡**}	Av	EAW	WBC
	----- % -----		----- %, v/v -----	
Peatmoss	80.42	10.93	25.81	7.52
Perlite	25.36	54.78	0.62	9.75
Vermiculite	47.23	24.30	8.39	14.82
8:2:0	66.77	19.31	14.59	6.64
6:4:0	55.31	27.47	9.77	7.29
4:6:0	36.87	42.66	2.03	6.90
2:8:0	32.66	46.26	2.17	8.81
0:8:2	30.36	55.77	2.63	8.23
0:6:4	38.24	42.89	5.18	9.48
0:4:6	42.41	33.51	8.04	11.70
0:2:8	43.48	31.59	7.77	12.92
8:0:2	77.73	6.17	12.85	8.33
6:0:4	75.82	5.58	13.27	7.85
4:0:6	54.52	25.71	12.28	8.36
2:0:8	53.05	24.40	11.46	8.63
2:6:2	46.14	33.83	7.24	8.43
2:4:4	52.18	24.67	8.26	7.96
4:2:4	56.61	26.25	4.42	7.36
4:4:2	61.29	21.22	12.76	5.32
6:2:2	59.66	25.47	13.48	4.52
2:2:6	56.76	16.07	10.35	3.55

[†]Peatmoss:Perlite:Vermiculite.

[‡]W_v: water volume, Av: air volume, EAW: easily available water, WBC: water buffering capacity.

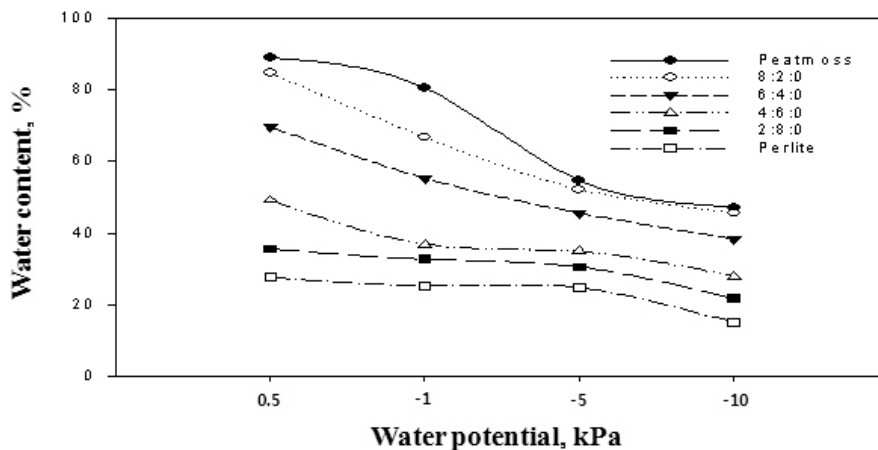


Fig. 5. Water retention curve of peatmoss to perlite by RDA method.

이를 통해 펄라이트의 함량이 높은 원예용 상토의 진밀도 분석에는 헬륨 (He)가스를 사용하여 분석하는 비활성 기체식 Pycnometer법을 사용해야 할 것으로 판단된다.

액상과 기상의 측정값은 EN 및 RDA 분석법 간에 상이한 결과를 나타냈는데 Lee et al. (2006b)은 이를 EN 분석법에 사용하는 상토는 건조하지 않고 측정하는 반면, RDA

분석법은 상토를 105°C에서 완전히 건조시킨 후 측정하기 때문이라고 하였다. 피트모스가 혼합된 상토는 105°C 건조 후 물로 포화시키는 과정에서 수분을 흡수하지 못해 증류수에 알코올을 혼합하여 포화시켜야 하는 문제점이 발생했다. 따라서 유기성 재료가 주재료가 되는 원예용 상토의 RDA 분석법에서는 상토 105°C 건조 후 분석을 수행

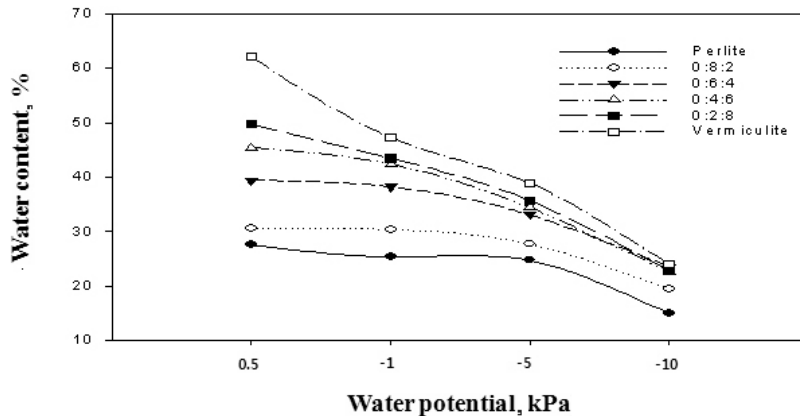


Fig. 6. Water retention curve of perlite to vermiculite by RDA method.

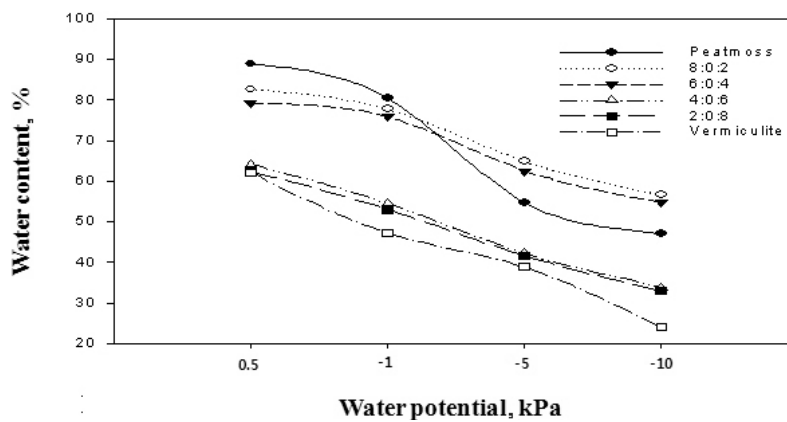


Fig. 7. Water retention curve of peatmoss to vermiculite by RDA method.

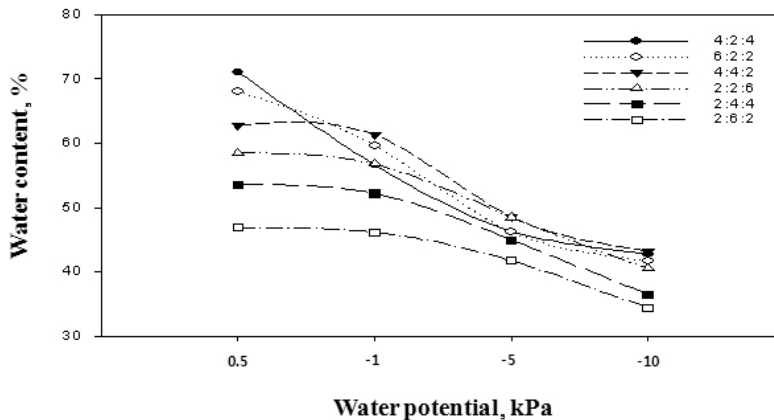


Fig. 8. Water retention curve of the others (4:2:4, 6:2:2, 4:4:2, 2:2:6, 2:4:4, 2:6:2) by RDA method.

하는 부분에 대해 개선이 필요할 것으로 판단된다.

공극률을 구성하는 액상과 기상의 분석 결과 액상은 25.36~80.42%로 피트모스에서 가장 높고, 펄라이트에서 가장 낮은 결과를 나타냈다. 또한, 기상은 5.58~55.77%로 피트모스 함량이 많을수록 낮아지고 펄라이트 함량이 많을수록 높아지는 경향을 나타냈다. EAW와 WBC는 -1 kPa, -5 kPa, -10 kPa의 수두차마다 수분함량의 차이를 계산하여 나타냈다 (Table 5).

EAW와 WBC는 값의 변화가 일정하지 않았지만, 펄라이

트 혼합 비율이 증가할수록 값이 낮아지는 경향을 나타냈다. 식물생육에 적합한 물리성으로 보고된 EAW 20~30%, WBC 4~10% (De Boodt and Verdonck, 1972; Gruda and Schnitzler, 2004a)의 범위는 피트모스 100%에서만 나타냈다. 하지만 피트모스도 기상의 부피가 10.93%로 식물생육 적합 물리성 범위 (20~30%)에 미치지 못해 RDA 분석법으로 분석한 혼합 상태 중에는 적정 물리성을 갖는 상태가 없는 것으로 나타났다. 이는 식물생육 적합 물리성 범위에 사용된 분석방법과 국내 분석방법의 차이로 인한 것으로

판단된다.

수분곡선은 -0.5 kPa, -1 kPa, -5 kPa, -10 kPa에서의 수분함량으로 나타냈으며 각각의 혼합비율에 따라 고유의 특성을 나타냈다 (Fig. 5-8).

요 약

원예용 상토 생산 시 자재의 혼합으로 결정되는 상토의 물리적 특성은 화학적 특성과는 달리 식물생육기간동안 변화가 거의 없고, 식물 생육에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 자재의 혼합비율 설정은 매우 중요하며, 이에 대한 분석 연구는 지속적으로 이뤄져야 한다. 하지만 우리나라의 상토 분석법과 국제적으로 표준화되어 있는 분석법간의 차이로 인해 외국의 분석결과와 국내의 분석결과를 비교 해석하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 EN 분석법과 RDA 분석법에 따라 피트모스, 펄라이트, 버미큘라이트의 혼합비율에 따른 물리적 특성 변화를 관찰하고, 분석법 간의 차이점을 조사하였다. 연구결과, 각각의 분석법에 따른 상토의 물리적 특성에 차이가 있었으며, 이는 상토 분석 시 전처리 과정의 차이에 의한 것으로 보인다. 또한 원예용 상토 자재로 널리 사용 중인 펄라이트는 내부 공극은 많으나 길이 막혀있는 특성 때문에 농촌진흥청 상토 분석법에 제시된 입자밀도 항목 중 기준 Pycnometer를 응용한 입자밀도의 측정으로 분석할 경우 EN 분석법과 다른 경향의 결과를 나타냈다.

식물 생육에 적합한 물리성인 공극률 85% 이상, 기상 20-30% 등과 비교 시 EN 분석법으로 분석한 결과에서 피트모스가 혼합된 상토 중 8:2:0과 6:4:0 (peatmoss:perlite:vermiculite)의 상토가 적정기준을 만족하였고, RDA 분석법으로 분석한 결과에서는 6:2:2로 혼합된 상토가 적정기준을 만족하였다. 하지만 RDA 분석법에 제시된 전처리 과정 중 건조처리의 영향으로 인해 EAW와 WBC의 기준까지 만족하는 상토는 없었으며, 분석 방법 전처리 과정에 대한 수정이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 결과를 바탕으로 상토 자재 혼합에 따른 물리적 특성 변화를 삼각도에 응용하게 되면 향후 상토 물리성 연구 및 분석 방법 간의 관계 연구에 많은 도움을 줄 것으로 생각한다.

인 용 문 헌

Bunt, A.C. 1974. Some physical and chemical characteristics of loamless pot-plant substrates and their relation to plant growth. *Acta Hort.* 37:1954-1965.
Bunt, A.C. 1984. Physical properties of mixtures of peats and

minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. *Acta Hort.* 150:143-153.
Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Haymen LTD, UK.
Cattivello, C. 1991. Physical parameters in commercial substrates and their relationship. *Acta Hort.* 294:183-195.
CEN (European committee for standardization). 1999a. Soil improvers and growing media-Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density. EN 13040.
CEN (European committee for standardization). 1999b. Soil improvers and growing media-Determination of organic matter and ash. EN 13039.
CEN (European committee for standardization). 1999c. Soil improvers and growing media-Determination of physical properties-Dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space. EN 13041.
De Boodt, M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26:37-44.
Fernandes C. and J.E. Corá. 2004. Bulk density and relationship air/water of horticultural substrate. *Sci. agric.* 61(4):446-450.
Gruda, N. and W. H. Schnitzler. 2004a. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants, I. Physical properties of wood fiber substrates. *Sci. Hort.* 100:309-322.
Gruda, N. and W. H. Schnitzler. 2004b. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants, II. The effect of wood fiber substrates and their volume weights on the growth of tomato transplants. *Sci. Hort.* 100:333-340.
Heiskanen, J. 1995. Physical properties of two-component growth media based on *Sphagnum* peat and their implications for plant-available water aeration. *Plant and Soil* 172:45-54.
Kim, K.H. and J.Y. Kang. 2001. Introduction to European Standard methods for physical and chemical analysis of horticultural substrates. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 19(2): 179-185.
Kim L.Y. 2006. Measure of quality management on Korean bedsoil. *Korean Study Group of Artificial Substrates.* 1:1-6.
Kim L.Y. and H.K. Cho. 2002. Development of standard analysis methods for physical properties on Korean bedsoil 1. Particle density and bulk density. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(6):327-334.
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(6):335-343.
Kim L.Y., Y.C. Ku, W.H. Yang, and Y. Nam. 2008. Bed soil and raising seeding. Hakyesa. Daejeon, Korea.
Kipp, J.A., G. Wever, and C. de Kreij. 2000. International substrate manual. Elsevier. doetinchem, Netherlands.

- Klougart, A. 1983. Substrates and nutrient flow. *Acta Hort.* 150:297-313.
- Lee, H.H., S.K. Ha, and K.H. Kim. 2007. Optimum condition of the coir-based substrate for growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.) plug seedlings. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(5):369-376.
- Lee, H.H., S.K. Ha, B.H. Kim, Y.J. Seol, and K.H. Kim. 2006a. Optimum physical condition of peatmoss-based substrate for growth of chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp.) plug seedlings. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 24(3):322-329.
- Lee, H.H., S.K. Ha, K.H. Kim, and J.Y. Kang. 2006b. Comparison of the European Standard methods and the Rural Development Administration methods for determining physical properties of horticultural substrates. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(2):116-122.
- Lee J.W. 2006. Use-cases of Domestic Horticultural Substrate Products and Improvement Programs. Korean Study Group of Artificial Substrates. 1:211-224.
- Nkongolo, N.V. and J. Caron. 2006. Pore space organization and plant response in peat substrates: I. *Prunus x cistena* and *Spiraea japonica*. *Scientific Research and Essay.* 1(3): 77-89.
- Papadopoulos A.P., A. Bar-Tal, A. Silber, U.K. Saha, and M. Raviv. 2008. Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixes. p. 505-544. In Raviv, M. and Lieth, J.H. (ed.) *Soilless Culture: Theory and Practice.* Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands.
- RDA. 2002. Standard analysis of substrate. Suwon. Korea.
- Sahin, U., Anapali, O. and S. Ercisli. 2002. Physico-chemical and physical properties of some substrates used in horticulture. *Gartenbauwissenschaft* 67(2):55-60.
- Verdonck, O., R. Penninck, and M. De Boodt. 1984. The physical properties of different horticultural substrates. *Acta Hort.* 150:155-159.
- Verdonck, O. and P. Demeyer. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *Acta Hort.* 644:99-101.
- Verdonck, O. and R. Gabriels. 1988. Substrate requirements for plants. *Acta Hort.* 221:19-23.