한국토양비료학회지 제 39권 2호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 39, No. 2, 116-122 (2006)

연구보문

유럽표준분석법과 농진청 표준분석법에 의한 원예용 상토의 물리성 비교분석

이현행* · 하상건 · 김계훈[1] · 강지영[2]

농촌진흥청 농업과학기술원, [1]서울시립대학교, [2]농업과학공동기기센터

Comparison of the European Standard Methods (European Committee for Standardization, CEN methods) and the Rural Development Administration (RDA methods) Methods for Determining Physical Properties of Horticultural Substrates

Hyun-Haeng Lee*, Sang-Keon Ha, Kye-Hoon Kim[1] and Ji-Young Kang[2]

National Institute of Agricultural Science Technology, Suwon 441-707, Korea
[1]Dept. of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea
[2]National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul, 151-921, Korea

This study was carried out to compare physical properties of the horticultural substrates measured by the European standard methods (CEN methods) and the Rural Development Administration of Korea methods (RDA methods). Sixty horticultural substrates including 40 marketed substrates and 10 organic and inorganic raw materials such as peat moss, coir dust, rice hull, perlite and zeolite were sampled. The samples were then analyzed for 6 physical properties by both CEN methods and RDA methods. The results of both methods were analyzed by linear regression. Bulk density (R^2 = 0.8304), particle density (R^2 = 0.8136) and porosity (R^2 = 0.6374) values measured by the two methods were highly significant. Whereas those for easily available water (EAW, R^2 = 0.3327), water volume (R^2 = 0.2692) and air volume (R^2 = 0.0739) were not significant. Further research is needed to facilitate the conversion between the two methods.

Key words : CEN methods, RDA methods, Plug seedling, Bulk density, Particle density

서 언

플러그 육묘는 작은 공간에서 많은 작물을 육묘할 수 있는 효율성을 갖고 있고 재배과정의 자동화 및 생력화가 가능하기 때문에 원예산업의 발달과 함께 국내에 도입되어 널리 이용되고 있다. 이러한 육묘산업의 발달과 함께 상토의 이용량도 높아지고 있다. 플러그 육묘용 상토로 세계적으로 많이 사용되고 있는 유기성 상토재료로는 피트모스, 코이어, 바크 등이 있으며 무기성 재료는 암면, 펄라이트, 버미큘라이트, 클레이볼, 스티로폼, 자갈, 모래 등이 있다.

상토의 이용량이 증가함에 따라 식물생육에 효과적인 상토에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 상토 내용물은 유기성 재료 한 종류로 단일화 하여 사용하기도 하지만 대부분은 유기성 재료와 무기성 재료를 혼합하여 작물 재배에 적합한 물리화학성이 되도록 조제한 후 이 상토가 생육에 미치는 영향을 보고하고 있다(Chung et al., 1998; Lee et al., 1999; Pill and Ridley, 1998). 또한 상토의 산도를 조절하고 칼슘을 공급하기 위해 석고나 석회를 첨가하기도 하고 하수슬러지와 같은 다양한 산업부산물의 이용 가능성에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있다(Dumroese et al., 1990; Kim and Hong, 1999; Koo et al., 1999; Le Gouellec et al., 2002; Shainberg et al., 1989).

식물의 생육에 있어서 상토의 물리성과 화학성은 매우 중요한 요인이고 식물 종류에 따라 요구하는 적정 범위는 다르게 나타난다. 따라서 각 식물의 생장에 가장 효과적인 상토의 물리성과 화학성에 대한 집중적인 연구가 필요하다. 그러나 상토 물리성과 화학

접 수 : 2006. 2. 2 수 리 : 2006. 4. 11
*연락저자 : Phone: +82312900278,
E-mail: soil20@hanmail.net

성을 분석하기 위한 분석법은 국가나 연구기관별로 다르기 때문에 상토를 분석하고 결과를 해석하는데 있어 많은 어려움이 있는 실정이다. 이러한 문제점을 인식한 유럽 여러 나라에서는 상토의 분석 방법을 국제적으로 표준화하기 위한 연구를 오랫동안 진행해 왔다(Schmilewski and Gunter, 1988; Verdonck and Gabriels, 1998a, 1998b). 이 결과를 종합하여 오스트리아, 네덜란드 등 19개국의 관련 학자들은 상토에 관한 유럽 표준분석법(CEN, European committee for standardization method)을 1999년에 제시하였다(CEN, 1999a, 1999b, 1999c, 1999d, 1999e). 한편, 국내에서는 상토, 특히 원예용 상토를 이용한 많은 연구에서 기관마다 다른 몇 가지 분석방법이 이용되었으나 통일된 분석법이 없어 연구 결과 간 상호 비교가 불가능하였으며 이 때문에 상토 제조업체와 사용자간의 상토에 관한 분쟁이 발생했을 때 이를 조정하는 데에도 많은 어려움이 있었다. 이에 따라 농촌진흥청에서 상토 분석방법에 관한 표준화 연구를 수행하기 시작하였다. 2001년 상토표준분석법에 대한 그 표준안을 제시하였고 우리나라 유통 상토에 알맞은 물리성과 화학성을 분석하기 위한 국내외 실험분석을 계속하여 2002년 국내 상토의 표준분석법(RDA, Rural Development Adminstration method)을 제정하였다(RDA, 2002). 그러나 CEN 분석법과 RDA 분석법으로 동일한 재료를 분석하였을 때 분석결과는 매우 다르기 때문에 상호간의 결과를 비교하는데 문제가 되고 있다.

따라서 농가에서 일반적으로 이용되고 있는 여러 종류의 유·무기성 원자재 및 시판용 상토를 수집하여 유럽에서 널리 이용하고 있는 CEN 분석법과 RDA 분석법으로 물리성을 분석하여 상관관계를 구하고자 본 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

분석에 사용된 유기성 원자재와 무기성 원자재는 국내외에서 가장 널리 이용하고 있는 종류를 선택하였다. 분석에 이용된 4종류의 유기성 원자재는 인도네시아와 스리랑카산 코코피트, 캐나다산 피트모스, 국내산 훈탄이고, 6종류의 무기성 원자재는 중국산 원석을 가공한 펄라이트(1-3 mm)와 입자 크기가 각각 0.3-1, 2 및 3 mm인 실버 질석과 골드질석, 그리고 국내산 제올라이트이다. 또한 국내에서 시판되어 농가에서 많이 이용하고 있는 40여 종류의 채소 육묘용 상토를 수집하여 총 50개의 상토분석을 실시하였다. 상토의 물리성(가밀도, 입자밀도, 공극률, 액상, 기상, 유효수분함량)은 CEN 분석법과 RDA 분석법을 이용하여 측정한 후 두 분석법간의 상관관계를 조사하였다.

CEN 분석법 가밀도, 진밀도, 공극률, 액상, 기상은 다음과 같은 방법을 이용하여 측정하였다. 실험 용기는 직경 100 mm, 높이가 50 mm인 원통형 상부용기와 직경 100 mm, 높이가 127 mm인 원통형 하부용기를 준비하여 상부와 무게가 측정된 하부용기(M_1)를 연결한다. 망목 5 mm 체를 통과시킨 잘 섞은 시료를 실험용기에 고르게 채운 후 상부용기를 제거하여 위를 평평하게 했다. 용기의 아래와 위를 거즈로 씌운 후 아래에 배수구가 달린 통에 상토를 채운 용기를 넣고 용기 높이에서 바로 아래 1 cm 까지 증류수로 천천히 채워서 24-48시간 동안 시료를 완전히 습윤시킨 후 sand suction table(Fig. 1)로 옮겨서 48시간 동안 -50 cm(-5 kPa)의 수두(water pressure head)차이를 두었다.

수두차이를 가한 시료는 무게를 알고 있는 하부용기(M_1)에 다시 고르게 담은 다음 같은 방법으로 시료를 포화시킨 후 포화시킨 시료는 sand suction table

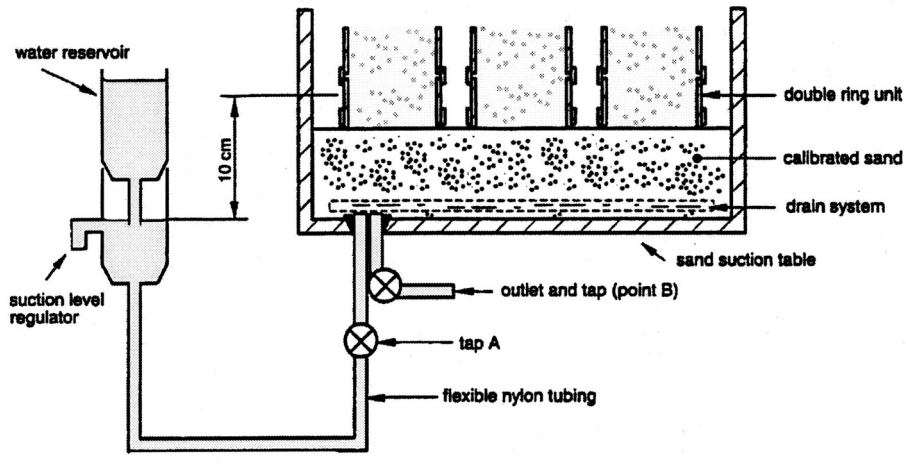

Fig. 1. Schematic diagram of sand suction table.

로 옮겨 48-72시간 동안 -10 cm(-1 kPa)로 처리한 후 하부 용기와 시료의 무게(M_2)를 측정하였다. 무게를 측정한 후 48시간 이상 103±2℃로 완전히 건조시킨 후 건조된 시료는 무게(M_3)를 측정하여 가밀도를 계산하는데 이용하였고 시료의 높이(d)와 직경을 측정하여 시료의 부피(V)를 구하였다.

진밀도는 유기물 함량(W_{om})과 회분 함량(W_{ash})을 이용하여 구하는데 유기물 함량은 빈 도가니를 450±10℃의 전기로에서 16시간 가열한 후 데시케이터에서 실온으로 냉각시킨 후 무게를 측정하였다(W_0). 시료를 75℃에서 건조시킨 후 곱게 분쇄하여 무게를 알고 있는 도가니에 시료를 5 g 이상 넣고 103±2℃의 전기로에서 4시간 이상 건조시킨 후 데시케이터에 넣어 실온으로 냉각시킨 후 무게를 측정하였다(W_1). 이 시료를 전기로에 넣어 450±10℃의 온도에서 6시간 이상 완전히 연소시킨 다음 실온으로 생각시킨 후 무게를 측정하였다(W_2). 유기물 함량(W_{om})과 회분함량(W_{ash})의 계산방법은 다음과 같다.

$$W_{om}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100$$

$$W_{ash}(\%) = \frac{W_2 - W_0}{W_1 - W_0} \times 100$$

$$P_D\ (kg \cdot m^{-3}) = \frac{1}{(W_{om}/(100\times1550)+(W_{ash}/(100\times2650)}$$

W_0: 도가니 무게,
W_1:시료무게 측정(103±2℃에서 건조 후),
W_2: 완전히 연소 후 시료무게측정

가밀도(dry bulk density, D_B), 공극률(porosity, P_s), 기상의 부피(air volume, A_v), 액상의 부피(water volume, W_v)은 각각 아래의 계산식을 이용하여 구하였다.

식물이 쉽게 이용가능한 수분인 유효수분함량은 다음과 같은 방법으로 측정하였다. 직경 100 mm, 높이가 50 mm인 원통형 상부용기와 하부용기를 연결한 후 시료를 고르게 채워서 증류수로 24-48시간 동안 충분히 포화시켰다. 포화된 시료는 sand suction table로 옮겨서 -50 cm (-5 kPa)에서 24-48시간 동안 배수시킨 후 상부용기와 시료를 제거하고 하부용기와 시료의 무게를 측정하였다. 같은 방법으로 시료를 포화시키고 -10 cm (-1 kPa)의 수두차이에서 24-48시간 동안 배수시킨 다음 시료의 무게를 측정하였다. 이와 같이 유효수분함량은 시료를 -10 cm (-1 kPa)와 -50 cm (-5 kPa)에서 배수시킨 후 수분함량 차이를 측정하여 구하였다.

$$V(cm^3) = \pi \times (0.5 \times d)^2 \times h$$

$$D_B(kg \cdot m^{-3}) = \frac{M_3 - M_1}{V} \times 1000$$

$$P_s(\%, v/v) = \left(1 - \frac{D_B}{P_D}\right) \times 100$$

$$W_v(\%, v/v) = \frac{M_2 - M_1}{V} \times 100$$

$$A_v(v/v) = P_s - W_v$$

M_1: 하부용기 무게,
M_2: 하부링과 시료의 무게,
M_3: 건조된 시료의 무게.

RDA 분석법 가밀도 분석을 위해 상토를 105℃의 온도에서 16시간동안 건조기에서 건조시킨 후 상부(높이 25 mm, 직경 74 mm)와 하부(높이 76 mm, 직경 74 mm)로 구성된 300 mL 원통형용기(V)에 채워 넣었다. 채워 넣은 상부의 상토를 평평하게 한 후 500 g의 플런저를 올려놓고 3분간 방치한 후 실험용기 하부의 시료를 평평하게 한 후 실험용기 하부(M_0)와 시료(M_1)의 무게를 측정하여 가밀도를 측정하였다. 진밀도는 헬륨, 질소가스를 이용하여 미세 공극을 충진하여 기체의 분압차로 입자의 부피를 측정한 후 구하였다. 진밀도는 풍건 상토시료를 잘 분쇄한 후 105℃의 건조기에 넣고 16시간 동안 건조시켜 데시케이터에서 식힌 건조시료 3 g(M_2)을 헬륨기체 진밀도 측정기기(Micrometrics, USA)를 사용하여 측정하였다. 공극률, 액상, 기상은 풍건된 원예용 상토를 건조기에서 105℃의 온도로 16시간 건조시켜 수분을 완전히 제거했다. 100 mL 원통형 용량(높이 51 mm, 직경 50 mm)의 빈 실험용기에 상토를 채운 다음 48시간 동안 포화시킨 후 sand suction table로 옮겨서 24시간 동안 -10 cm (-1 kPa)의 수두차를 주었다. 24시간 후 용기위로 팽창한 시료를 제거한 후 다시 24시간동안 포화시켰다. 포화시킨 용기는 다시 sand suction table로 옮겨서 48시간동안 -10 cm (-1 kPa)의 수두높이로 용기 내에 있는 물을 배수시켰다. 완전히 배수되면 sand suction table에서 용기를 꺼내 무게(M_3)를 측정한 후 105℃의 온도로 완전히 건조시킨 후 건조된 시료의 무게(M_4)를 측정하였다. 가밀도(D_B), 진밀도(P_D), 공극률(P_s), 액상(W_v), 기상(A_v)은 다음과 같은 식을 이용하여 측정하였다.

유효수분함량을 측정하기 위하여 시료를 높이 51 mm, 직경 50 mm의 용기에 채운 후 24시간 동안 포

화시켰다. 완전히 포화된 시료는 sand suction table에서 24시간동안 -50 cm (-5 kPa)로 수두차이를 두어 시료내의 수분을 배수시킨 후 무게를 측정하였다. 같은 방법으로 시료를 포화시켜 -10 cm (-1 kPa)에서 24시간 동안 수두차이를 가한다음 시료의 무게를 측정하였다. 유효수분함량은 -10 cm (-1 kPa)와 -50 cm (-5 kPa)에서 각각 측정된 시료무게차이를 측정하여 구하였다.

$$D_B(Mg \cdot m^{-3}) = \frac{(M_0+M_1) - M_0}{V}$$

$$V_{calib} = V_{cell} - \frac{V_{exp}}{P_1/P_2 - 1}$$

$$V_{exp} = \left(\frac{P^*_1}{P^*_2} - 1\right) \times Vcell$$

$$D_w(\text{시료의 부피 } cm^3) = V_{cell}(cm^3) - \frac{V_{exp}}{P_1/P_2 - 1}$$

$$P_D(Mg\ m^{-3}) = \frac{M_2}{D_w}$$

$$P_S(\%, v/v) = \left(1 - \frac{D_B}{P_D}\right) \times 100$$

$$W_V(\%, v/v) = \frac{M_3 - M_4}{M_4} \times 100$$

$$A_V(\%, v/v) = P_S - W_V$$

V_{calib}: calibration용 금속 구슬의 부피,
V_{cell}: 용기의 부피,
V_{exp}: 대기/시험 밸브를 시험위치에 놓을 때 확장되는 부피,
M_0: 실험용기 하부의 무게,
M_1: 시료의 무게,
M_2: 입자밀도 측정기내의 건조시료 무게,
M_3: sand suction table 내의 용기와 시료무게,
M_4: 건조 후 시료의 무게

결과 및 고찰

본 실험에서 사용한 상토와 피트모스, 코코피트, 훈탄, 질석 등 원자재의 물리성을 CEN 분석법과 RDA 분석법으로 분석한 결과를 Table 1과 2에 나타내었다.

본 실험에서 CEN 방법으로 분석한 상토의 가밀도는 0.11-0.33 g cm^{-3}을 나타내었고 RDA 방법으로 분석한 결과 가밀도는 0.07-0.23 g cm^{-3}이었다. 각 분석방법으로 분석한 결과 다소 차이를 나타냈으나 분석방법간에 높은 상관관계(R^2=0.8304, $p<0.01$)를 나타내었다. 이와 같이 두 방법으로 분석한 가밀도는 높은 상관관계를 나타냈는데 이는 부피는 다르지만 일정한 용기를 이용하여 같은 방법으로 측정하였기 때문인 것으로 생각된다(Fig. 2). 가밀도는 부피로 측정되고 공극률과 기상에 가장 큰 영향을 미치는데(Bunt, 1974; Cattivello, 1991) 이러한 가밀도는 두 분석방법으로 분석하여 결과를 비교할 수 있었다.

진밀도는 CEN 방법으로 분석한 결과 1.6-2.7 g cm^{-3}이었고 RDA 방법으로 분석한 결과 1.0-2.4 g cm^{-3} 범위를 나타내었다. 진밀도는 두 분석방법간 결과가 유사한 경향을 보였고 같은 시료에 대한 분석결과도 비슷한 수치를 나타내었으며 두 분석법간에 높은 상관

Table 1. Physical properties of the horticultural substrates analyzed by CEN method.

Substrate	D_B†	D_P	P_S	W_V	A_V
	g m^{-3}	g m^{-3}	---------- % ----------		
Min.	0.11	1.6	85	52	5
Max.	0.33	2.7	94	86	38
Avr.	0.19	2.1	91	74	17

† D_B: dry bulk density, D_P: particle density, P_S: total pore space, W_V: water volume, A_V: air volume.

Table 2. Physical properties of the horticultural substrates analyzed by RDA method.

Substrate	D_B†	D_P	P_S	W_V	A_V
	g m^{-3}	g m^{-3}	---------- % ----------		
Min.	0.07	1.0	88	20	30
Max.	0.23	2.4	95	63	75
Avr.	0.13	1.8	93	51	41

† D_B: dry bulk density, D_P: particle density, P_S: total pore space, W_V: water volume, A_V: air volume.

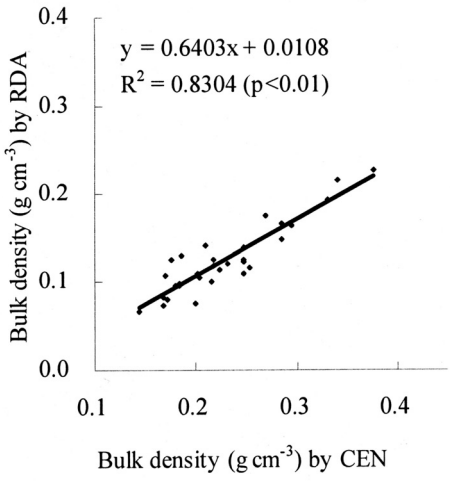

Fig. 2. Relationship between CEN method and RDA method for bulk density.

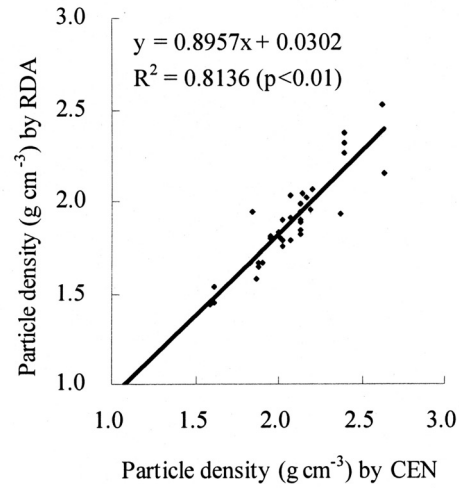

Fig. 3. Relationship between CEN method and RDA method for particle density.

관계(R^2=0.8136, p<0.01)를 나타내었다(Fig. 3).

CEN 방법으로 분석한 결과 공극률은 85-94%를 나타냈고 RDA 방법으로 분석한 결과 88-95%%로 같은 시료에 대한 분석결과도 유사하였으며 R^2은 0.6374(p<0.01)를 나타내었다(Fig. 4). CEN 방법으로 분석한 결과 액상의 부피는 52-86%였고 기상은 5-38%였다. RDA 분석결과 액상의 부피는 20-63%였고 기상의 부피는 30-75%를 나타내었다. 기상과 액상의 부피는 CEN 방법과 RDA 방법에 의한 분석결과가 매우 달랐으며 두 방법간에 관계를 보면 액상은 R^2=0.2692 (p<0.01), 기상은 R^2=0.0739 (p<0.05)로 매우 낮은 값을 보였다. 공극률을 분석하는 데는 두 분석법 모두 진밀도와 가밀도 결과를 가지고 조사하였다. 진밀도와 가밀도의 분석 결과는 두 분석법간에 유사한 결과를 보였기 때문에 공극률도 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 CEN이나 RDA 중 하나의 분석법만 선택하여 공극률을 측정한다면 다른 분석법으로 측정되어 도출될 수 있는 공극률의 결과를 어느 정도 예측할 수 있다.

공극률은 상토 내에 공급되는 공기와 수분에 따라 달라지는 부분으로 공극률이 높아지면 용기내 수분과 공기 보유량이 증가하는데 보통 유기성 상토의 공극률은 75-85% 이다. 토양 물리성 중 작물 생육에 절대적인 영향을 미치는 요인은 기상과 액상의 상대적 비율이며 특히 기상이 증가하면 통기성이 증가하여 식물생육에 양호한데 통기성 정도를 나타내는 지표로 기상이 많이 이용되고 있다(Choi, 1998).

작물 생육에 적합한 공극률은 75-90%,이고 액상은 65-70%, 기상은 20-30%로 보고된바 있다(Bunt, 1974; Cattivello, 1974; Fonteno and Nelson, 1990; Goh and Haynes, 1977). 액상과 기상을 분석하는데 있어서 두 방법 모두 각각 일정한 용량을 가진 용기에 상토를 채워 포화시킨 후 수두 높이 차에 의한 압력을 가하여 측정하는 방법은 같지만 CEN 방법에서는 시료를 건조하지 않고 용기의 용적을 고려하여 측정하는 반면에 RDA 방법은 시료를 완전히 건조시킨 것과 중량수분함량을 함께 고려하여 측정하기 때문에 상관관계가 매우 낮았을 것으로 생각된다.

동일 시료를 이용하여 각각의 수두차이(-10 cm, -50 cm)에 따른 수분함량을 조사해본 결과 수분함량간에는 큰 차이를 나타냈다. 유효수분함량은 수두차이가 -10--50 cm (1-5 kPa)내에 있는 수분함량차이로 측정한 결과 CEN 분석법으로 이용하였을 때는 5-71% 였고 RDA 분석법을 이용하였을 때는 1-35% 로 두 분석법 간에 큰 차이를 보였다. 따라서 수분함량은 -10 cm 에서는 58-85% 였고 -50 cm에서는 29-47% 였다. 유효수분함량은 수두차이가 -10--50 cm (1-5 kPa)내에 있는 수분함량으로 식물이 쉽게 이용할 수 있는데(Deboodt and Verdonck, 1972) 두 분석법 간의

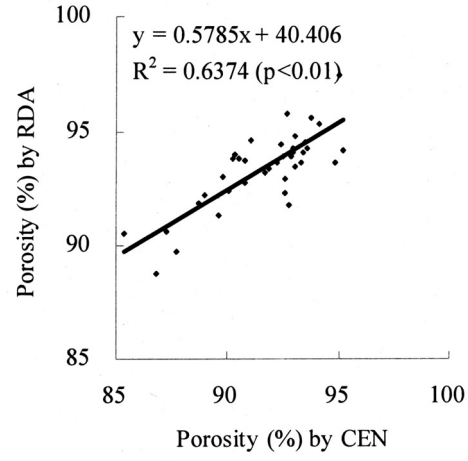

Fig. 4. Relationship between CEN method and RDA method for porosity.

유효수분함량의 상관관계는 하나의 분석법으로 다른 하나의 분석법을 설명하기에는 낮은 값을(R^2=0.3327, $p<0.01$) 나타내었다. 두 분석법 모두 유효수분을 측정할 때 같은 압력에서 수두차이를 두어 측정하는 방법은 같지만 CEN 방법에서 용기는 높이 50 mm에 직경 100 mm인 용기를 상하로 연결하여 수두차이를 두고 RDA에서는 높이 50 mm에 직경 50 mm의 용기를 사용하여 측정하는 용기의 용량에 차이가 있다. 또한 RDA 방법에서는 시료를 105 에서 건조를 시킨 후 이용하는데 이때 포화가 잘 안되는 경우가 있었다. 이러한 이유로 인해 같은 시료에 대한 유효수분함량의 결과가 다르게 나왔으며 상관관계 또한 매우 낮았을 것으로 생각된다. 이상으로 CEN 분석법과 RDA 분석법으로 상토의 물리성을 비교 분석한 결과, CEN 분석법을 이용하여 측정된 가밀도와 진밀도의 결과값은 이에 대응하는 RDA 분석법 결과와도 밀접한 관계를 보여주고 있다. 따라서 두 분석법간에 모두 유의한 정의 상관관계를 구할 수 있었고 보다 손쉽게 이용할 수 있는 분석법을 택하여 분석한 후 상호 결과값을 비교하는데도 용이할 것으로 판단된다. 액상과 기상, 유효수분함량은 상관관계가 낮게 측정되어 하나의 방법만을 이용하여 분석하면 측정된 결과를 호환하여 해석하는데 다소 어려움이 있기 때문에 두 분석 간의 결과를 해석하기 위한 연구를 계속해서 수행할 필요가 있다고 본다.

적 요

플러그 육묘 산업에서 상토의 중요성은 높아지고 있고 식물 생육에 적절한 상토의 물리성과 화학성에 대해 중점을 두어 보다 더 집중적인 연구가 이루어지고 있다. 그러나 이러한 상토 분석을 위한 분석법이 국내외적으로 표준화되지 않아서 분석 결과를 비교하여 해석하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구는 유럽에서 표준화된 상토 분석법(CEN 분석법)과 국내에서 표준화된 상토 분석법(RDA)을 이용하여 상토를 분석한 후 각각 분석법에 따른 결과를 조사하고 상호간에 결과를 호환하기 위하여 실시하였다. 상토는 국내에서 시판되고 있는 상토와 피트모스, 코코피트, 훈탄, 질석 등의 원자재를 이용하였고 상토의 물리성은 CEN 분석법과 RDA 분석법으로 각각 측정하여 두 분석법간에 상관관계를 조사하였다. 가밀도(R^2=0.8304, $p<0.01$)와 진밀도(R^2=0.8136, $p<0.01$) 및 공극률(R^2=0.6374, $p<0.01$) 측정에서는 두 분석법 간에 높은 상관관계를 나타냈고 액상(R^2=0.2692, $p<0.01$)과 기상(R^2=0.0739, $p<0.05$) 및 유효수분함량(R^2=0.3327, $p<0.01$)은 CEN 분석법과 RDA 분석법 간에 낮은 상관관계를 나타냈다. 액상과 기상, 유효수분 함량은 측정된 결과를 서로 비교하기 위해서는 기존 분석방법에 대한 연구를 수행하면서 계속해서 수정 보완해야 할 것으로 생각된다.

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.

Cattivello, C. 1991. Physical parameters in commercial substrates and their relationships. 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. CEN. prEN 13040.

CEN (European committee for standardization). 1999b. Soil improvers and growing media-Determination of pH. CEN. prEN 13037.

CEN (European committee for standardization). 1999c. Soil improvers and growing media-determination of organic matter and ash. CEN. prEN 13039.

CEN (European committee for standardization). 1999d. Soil improvers and growing media-Determination of electrical conductivity. CEN. prEN 13038.

CEN (European committee for standardization). 1999e. Soil improvers and growing media-Determination of physical properties-dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space. CEN. prEN 13041.

Choi, J.M. 1998. Substrate and nutrition for plug production of floral crops. Kor. J. Hort. Sci. & Tech. 16:279-281.

Chung, H.D., Y.J. Choi, and S.H. Shin. 1998. Effects of top dressing fertilizers on growth of pepper plug seedling in vermiculite based root media. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:1-7.

De Boodt, M., and O. Verdonck. 1972. The Physical properties of the substrates in horticulture. Acta Hort. 26:37-44.

Dumroese, R.K., T. Gale, and L. David 1990. Lime-amended growing medium causes seedling growth distortions. Tree Planters' Notes. 41:12-17.

Fonteno, W.C., and P.V. Nelson. 1990. Physical properties and plant response to rockwool-amended media. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:375-381.

Goh, K.M. and R.J. Haynes. 1977. Evaluation of potting media for commercial nursery production of container grown plants. N. Z. J. Agr. Res. 20:363-370.

Kim, J.J., and S.D. Hong, 1999. Effect of fly ash application on the saturated hydraulic conductivity of soils with different soil texture. Korean J. Soil Sci. Fert. 32:279-284.

Koo, J.K., Y.T. Moon, and I.B. Lee, 1999. A study on the artificial culture soil using alum sludge. J. KOWREC. 7:1-12.

Lee, B.S., S.G. Park, J.G. Park, and S.J. Chung. 1999. Effect of mixing ratio of perlite and coir dust on the growth and nutrient uptake of hydroponically grown chrysanthemum. J. Kor. Soc.

Hort. Sci. 40:225-230.

Le Gouellec, Yann A., and M. Elimelech. 2002. Calcium sulfate (gypsum) scaling in nanofiltration of agricultural drainage water. Journal of Membrane Science 205:279-291.

Pill, W.G., and K.T. Ridley, 1998. Growth of tomato and coreopsis in response to coir dust in soilless media. Hortechnology. 8:401-405.

RDA (Rural Development Administration). 2002. Standard analysis of substrate. NIAST, Suwon.

Schmilewski, G. and J. Gunther. 1988. An international comparative study on the physical and chemical analysis of horticultural substrates. Acta Hort. 221:425-441.

Shainberg, I., M. E. Sumner, W. P. Miller, M. P. W. Farina, M. A. Pavan, and M. V. Fey. 1989. Use of gypsum on soil: a review. Advances in Soil Sci. 9:59-77.

Verdonck, O., and R. Gabriels. 1988a. Substrate requirement for plants. Acta Hort. 221:19-23.

Verdonck, O., and R. Gabriels. 1988b. Summary and discussion session "Standardization of analytical methods". Acta Hort. 221:443-444.