

원예용 배지의 물리·화학적 분석을 위한 유럽의 표준방법

김계훈* · 강지영

서울시립대학교 환경원예학과

Introduction to European Standard Methods for Physical and Chemical Analysis of Horticultural Substrates

Kye-Hoon Kim* and Ji-Young Kang

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

*corresponding author

ABSTRACT Throughout the world, physical and chemical analyses of horticultural substrates are carried out in many different ways at the different laboratories. In Europe, standardization in properties and analytical methods of horticultural substrates has been a topic over the last decades. As a result, the CEN methods as European standard methods for the physical and chemical analyses were introduced and the final draft was reported in 1999 by CEN (Committee for European Standardization). Dry matter and moisture content are analyzed after drying samples at 103°C. Laboratory compacted bulk density is analyzed by determining the weight of sample compacted in the test cylinder with constant volume. Dry bulk density, particle density, total pore space, water volume, air volume and volume shrinkage are determined by saturating, draining and drying the sample using double rings and a sand suction table. pH and EC are analyzed by 1:5(sample:distilled water) extraction method on the basis of volume. Organic matter and ash content are determined after drying and combusting the samples. Now, CEN methods are being regarded almost as European standard methods. Further study needs to be carried out for universal applicability of the CEN methods to all the substrates.

Additional key words: bulk density, EC, organic matter, particle density, pH, total pore space

서 언

오늘날 전 세계적으로 원예산업이 발달함에 따라 원예용 배지의 이용량이 증가되면서 식물생육에 더욱 적합한 배지의 탐색과 새로운 배지의 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 건전한 원예작물 생산을 위해서는 균형적인 양수분 공급과 뿌리 생장을 위한 충분한 산소공급, 적절한 삼투압, 최적의 온도, 적절한 미생물 활동을 갖는 생장배지가 필요하다(Unver 등, 1983). 현재 원예산업의 주를 이루고 있는 고품배지경, 플러그 육묘, 분화류 재배에서는 무균·무영양 상태로 물리·화학적으로 균일하며 가벼워 취급이 용이한 원예용 배지를 이용하는데 이는 원예용 배지의 이용이 토경보다 작물의 생장과 수량면에서 우수하기 때문이다(Wilson, 1983). 현재 세계적으로 많이 사용되는 배지로는 암면, 펄라이트, 피트모스, 팽화 버미큘라이트, 자갈, 모래, 훈탄, 왕겨 등이 있다. 또한 많은

국가에서는 신배지와 혼합배지에 관한 연구가 지속적으로 이뤄지고 있다.

배지는 고상(solid phase), 기상(gas phase), 액상(liquid phase)으로 구성되고, 이 세 가지 요소가 적절한 균형을 이루어 식물의 뿌리를 둘러싼 물리·화학적 환경이 식물 생육을 위한 최적조건으로 조절되어야 한다(Bunt, 1988). 배지의 물리적 특성은 수분과 공기의 상대적인 비율에 따라 식물생장에 큰 영향을 미친다. 물리적 특성은 수분함량, 액상, 기상, 가밀도, 진밀도 등을 포함하며 배지의 종류가 다양해짐에 따라 더욱 중요시되고 있다(Verdonck 등, 1983). 배지의 화학적 특성은 식물생육에 적합한 근권환경의 양분을 결정하는 요인이며 pH, EC, 다량원소 및 미량원소 함량 등이 포함된다(Gabriels 등, 1986). 따라서 배지는 작물 식재 전 조제과정에서부터 식물생육에 적합하도록 물리·화학적 성이 조절되어야 하고, 조절된 물리·화학적 성이 전 생육기간을 통해 적합하도록 유지되

* Received for publication 16 April 2001. Accepted for publication 11 June 2001. This study was supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry of The Republic of Korea from 1999 to 2000 (High-Technology Development Project: H0219400).

어야 한다(Verdonck와 Gabriels, 1988a) 이를 위해서 균일한 특성을 갖는 배지의 선정뿐만 아니라 정확하고 균일한 물리·화학적 분석방법이 매우 중요하다.

배지의 물리·화학적 평가를 위한 분석방법은 원예용 배지의 발달에 따라 지속적으로 발달해 왔으나 각 국가마다 다양한 특성의 배지와 분석방법이 존재하고 있다. Schimilewski와 Gunther(1988)가 12개국 23개 연구실을 대상으로 동일한 배지를 각 기관의 관행 방법으로 분석하도록 하여 비교분석을 실시한 결과 각 국가별로 사용된 분석방법과 그 결과의 표현은 매우 다양하였고 같은 국가 내의 연구기관들 사이에도 상당한 차이를 나타냈다. 이러한 결과는 국제화되고 있는 원예산업에서 공급자와 소비자 사이의 논쟁과 경제적 손실 등 심각한 문제점을 야기할 수 있음을 의미한다(Gabriels와 Verdonck, 1991; Schimilewski와 Gunther, 1988). 원예산업의 선진국인 유럽 여러 나라들에서는 일찍이 이러한 사실을 인식하여 국제적으로 표준화된 분석방법의 필요성을 논의하였다. ISHS(International Society for Horticultural Science)의 식물 배지위원회(Commission Plant Substrates)는 생장배지 분석방법의 표준화 및 결과 평가를 위한 실무위원회(Working Groups for Standardization of Analytical Methods and Evaluation of the Results)를 두어 공통의 단위로 결과를 표현하고 배지의 특성을 평가하도록 하였다(Gabriels 등, 1991). 벨기에에서 1988년 개최된 ISHS 운영회의에서 표준방법이 제시되었고, 이후의 심포지엄 활동을 통해 검토 및 수정안에 대한 연구가 진행되었다. 이 표준방법의 적합성과 실용성을 판단하기 위해 1991년에는 유럽 15개국 31개 연구기관을 대상으로 표준방법을 사용하여 동일한 시료를 분석하도록 하는 교차분석을 실시하였다. 그 결과 물리성 분석방법은 표준방법으로 적합하였으나 화학성 분석방법의 결과는 다양하여 더욱 적합한 실험방법에 대한 연구가 요구되었다(Gabriels와 Verdonck, 1991). 이와 같은 과정을 거쳐 1999년에는 CEN methods 라는 유럽 표준방법의 최종안(final draft)을 유럽표준화위원회(CEN, Committee for European Standardization)에 제출하였다. 그리고 현재 표준방법의 실제적인 적용을 위해 각 연구기관의 교차분석(Interlaboratory study)을 진행 중이다(PBG, 2000). 한편, CEN은 1990년대부터 ISO(International Organization for Standardization)와 기술협력체계를 수립하고 있어 CEN이 제시한 유럽 표준방법은 세계 표준방법으로 인정될 가능성을 내포하고 있음을 알 수 있다(ISO, 1995). 실제로 유럽 표준방법으로서 CEN methods에 관한 연구는 ISO Standards에 따라 진행 중이다(PBG, 2000).

따라서 본 총설에서는 현재 유럽에서 활발히 진행중인 원예용 배지분석방법의 표준화 동향과 유럽의 표준방법을 소개하여 배지분석의 국제적인 흐름을 이해하고 아직 취약한 국내 배지분석방법의 정립과 표준화에 기여하고자 하였다.

재료 및 방법

CEN methods는 9가지 물리성 분석방법(건물함량, 수분함량, 가밀도, 진밀도, 부피 감소율, 공극률, 기상, 액상)과 4가지 화학성 분석방법(pH, EC, 유기물 함량, 회분함량)의 표준방법을 제시하고 있으며, 각각의 재료 및 방법은 아래와 같다.

1. 물리적 특성 분석

건물함량(dry matter content)과 수분함량(moisture content)

미리 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 건조 후 무게(T)를 측정할 얇은 용기에 약 50g의 배지시료를 펼쳐 넣는다. 시료와 얇은 용기의 무게(W)를 측정 후 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 건조기에서 일정시간 건조 후 시료와 얇은 용기의 무게(D)를 측정한다. 이 과정을 3회 반복한 후 건물함량과 수분함량을 다음 식을 이용하여 계산한다(prEN 13040, 1999a).

$$\text{Dry matter content (\%)} = \frac{D - T}{W - T} \times 100$$

$$\text{Moisture content (\%)} = \frac{W - D}{W - T} \times 100$$

실험 가밀도(laboratory compacted bulk density)

먼저 상부(collar)와 하부로 구성된 빈 실험용기(test cylinder, V = 약 1L)의 무게(M_0)를 측정한다. 잘 섞은 시료를 실험용기 상부에 설치한 체(망목 5mm)를 통과시켜 실험용기에 완전히 채워 상부를 평평하게 한다. 그 위에 플런저(plunger, 650g)를 올려놓고 180 ± 10 초 후 플런저를 조심스럽게 치운다(Fig. 1). 실험 용기의

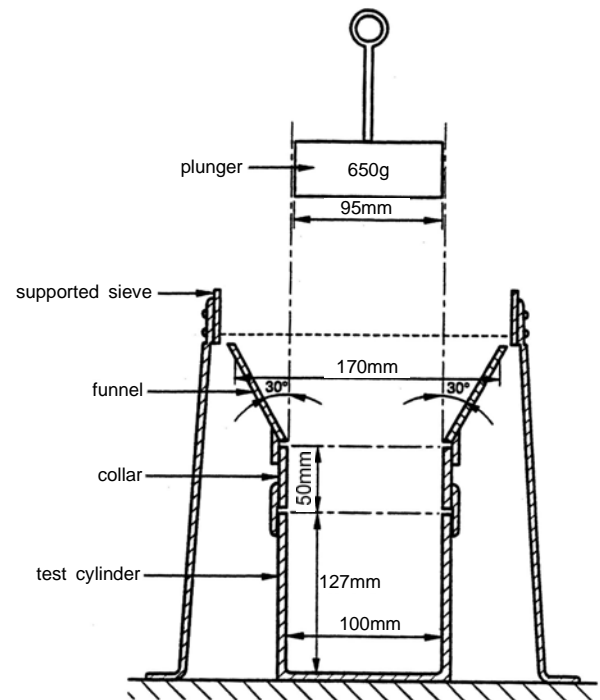


Fig. 1. Test cylinder, plunger and sieve to analyze laboratory compacted bulk density by the CEN methods.

상부를 분리시키고 실험 용기 하부의 시료를 평평하게 한 후 실험 용기 하부와 시료의 무게를 측정한다. 3회 반복 실험하여 평균무게 (ML)를 구한다. 가밀도 값을 다음 식을 이용하여 계산한다(prEN 13040, 1999a).

$$\text{Laboratory compacted bulk density (g} \cdot \text{L}^{-1}) = \frac{M_L - M_0}{V} \times 100$$

가밀도, 진밀도, 공극률, 부피 감소율, 액상, 기상

시료를 습윤·포화시킨 후 일정한 장력 하에서 배수하는 과정을 통해 분석한다. 먼저 2개의 플라스틱 튜브(plastic tube, 약 2L용량)에 시료를 채우고 각각의 상부를 합성거즈로 덮고 고무밴드로 잘 봉한다. 이 플라스틱 튜브를 물통(water bath) 내부의 땅 위에 놓는다(Fig. 2). 플라스틱 튜브의 선단에서 1cm 아래 높이까지 일정한 흐름으로 천천히 물을 채우며 시료가 완전히 젖을 때까지 일정한 수위를 유지시켜준다. 시료가 완전히 습윤해지면 플라스틱 튜브를 꺼내 바로 sand suction table로 옮긴다. 48시간 동안 플라스틱 튜브 기부에서부터 -50cm pressure head를 가한다. -50cm pressure head를 가한 플라스틱 튜브의 시료를 깨끗한 표면 위에 비워내고 물리성을 손상시키지 않도록 하면서 잘 섞는다.

-50cm pressure head를 가한 위의 시료를 미리 lower sample

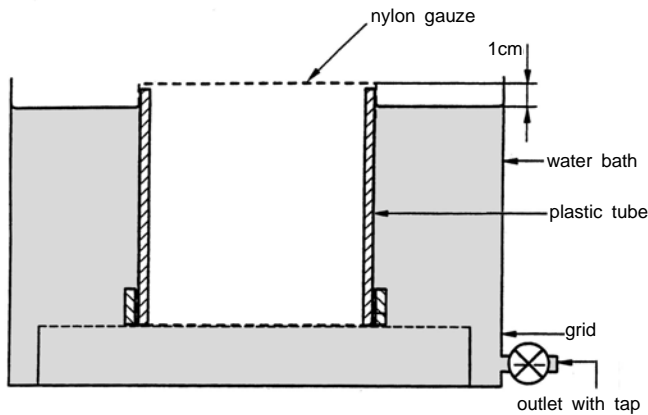


Fig. 2. Test tube in the water bath moistening the sample to analyze physical properties by the CEN methods.

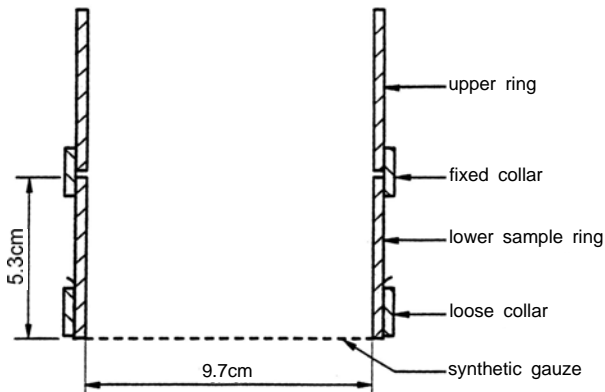


Fig. 3. Double ring to analyze physical properties by the CEN methods.

ring의 무게(W_1)를 측정하여 든 double ring(Fig. 3)에 채우는데 한 시료 당 4회 반복한다. 물통(water bath) 안에 시료를 채운 double ring을 넣고 수위를 용기 상부에서 아래로 1cm 높이까지 유지시키면서 완전히 포화되도록 24시간 동안 방치한다(Fig. 4). 완전히 포화된 double ring의 시료를 즉시 sand suction table로 옮긴다. Double ring의 lower sample ring 중앙에서부터 -10cm가 되도록 pressure head를 유지하면서 최소 48시간에서 72시간까지 배수시킨다(Fig. 5).

완전히 배수되면 sand suction table에서 double ring을 꺼내 평평한 표면 위에 둔다. 예리한 칼을 사용하여 조심스럽게 double ring의 상부를 분리시킨다. 용기가 움직이지 않도록 주의하면서 lower sample ring 표면에 붙어있는 물질들을 제거하고 lower sample ring과 시료의 무게(W_2)를 기록한다. 이것을 drying oven에 넣고 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 완전히 건조한 후 무게를 잰다(W_3). 용기를 제거하고 calliper gauge를 사용하여 건조한 sample의 평균높이 (H_2)를 4회 반복하여 측정하고, 평균직경(상부, 중앙부, 하부의 3회 반복측정, D_2)을 측정하여 부피(M_v)를 구한다. 물리적 특성을 분석하기 위한 계산식들은 아래와 같다. 먼저 lower ring의 부피(V_1)를 직경(D_1)과 H_1 의 값으로부터 계산한다. 가밀도(dry bulk density, D_{BD}), 진밀도(particle density, D_p), 부피 감소율(shrinkage), 공극률(total pore space, P_s), 기상(air volume, A_v), 액상(water

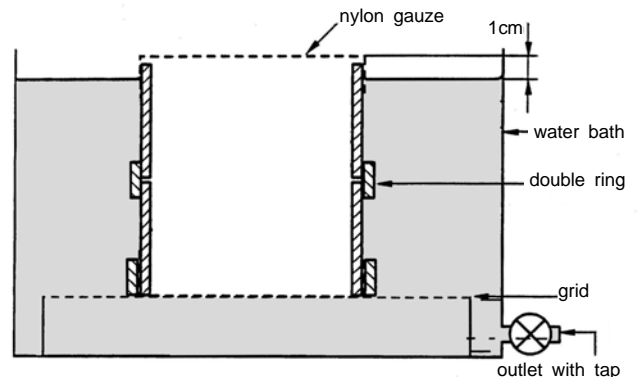


Fig. 4. Double ring in the water bath saturating the sample to analyze physical properties by the CEN methods.

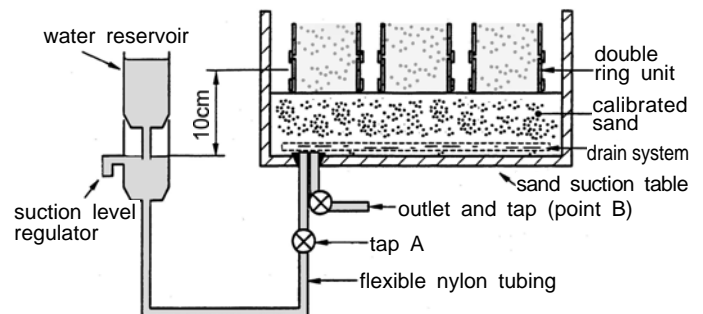


Fig. 5. Sand suction table applying -10 cm pressure head to the sample to analyze physical properties by the CEN methods.

volume, W_v)은 각각 아래의 계산식을 이용한다(prEN 13041, 1999e).

$$V_1(\text{cm}^3) = \{\pi \times (0.5D_1)^2 \times H_1\}$$

$$D_{BD}(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) = \frac{(W_3 - W_1)}{V_1} \times 1000$$

$$M_v(\text{cm}^3) = \{\pi(0.5 \times D_2) \times H_2\}$$

$$D_P(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) = \frac{1}{\{C_{om}/(100 \times 1550)\} + \{C_{ash}/(100 \times 2650)\}}$$

$$P_s(\%, v/v) = (1 - \frac{D_{BD}}{D_P}) \times 100$$

$$W_v(\%, v/v) = \frac{(W_2 - W_3)}{V_1} \times 100$$

$$AV(\%, v/v) = P_s - W_v$$

2. 화학적 특성 분석

pH

먼저 가밀도(laboratory compacted bulk density)를 측정할 후 시료 60mL를 정량하여 용기에 넣고 증류수 300mL를 첨가한다(1:5, v/v). 마개를 덮어 22±3℃의 진탕기에서 1시간 동안 진탕한 후 25℃로 온도 보정이 가능한 pH meter를 사용하여 pH를 측정한다(prEN 13037, 1999b).

EC(electrical conductivity, 전기전도도)

pH와 같은 방법(1:5, v/v)으로 침출한 후 여과하여 여액의 EC를 25℃로 온도 보정이 가능한 EC meter로 측정하고, $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 표기한다(prEN 13038, 1999d).

유기물 함량(organic matter content)과 회분 함량(ash content)

시료는 75±5℃에서 건조하고 분쇄하여 사용한다. 550±10℃의 전기로에 도가니를 넣어 가열하고 건조기(desiccator)에서 실온으로 냉각시킨 후 무게를 측정한다(M_0). 이 도가니에 시료 5g을 넣고 건조기(103±10℃)에서 4시간 동안 건조시킨다. 이것을 건조기(desiccator)에서 실온으로 냉각시킨 후 무게를 측정하고 다시 건조하는 과정을 일정한 무게가 될 때까지 반복한다. 용기와 건조된 시료의 무게를 측정한다(M_1). 이 시료를 450±10℃ 온도의 전기로에서 약 6시간 연소시킨다. 다시 건조기(desiccator)에서 실온으로 냉각시킨 후 무게를 측정하고 태우는 과정을 일정한 무게가 될 때까지 반복한다. 용기와 태운 시료의 무게를 측정한다(M_2). 유기물 함량(C_{om})과 회분 함량(C_{ash})의 계산방법은 다음과 같다(prEN 13039, 1999c).

$$C_{om}(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100$$

$$C_{ash}(\%) = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \times 100$$

고찰

세계적으로 원예산업에 있어 배지의 특성에 관한 표준화 연구는 지난 세기 동안 원예학계의 주요 관심사였다. 특히 유럽에서는 1999년에 CEN methods를 공식적으로 소개하였고, CEN에 최종안까지 제출하였다. 현재는 CEN methods의 유럽 표준방법으로서의 적합성 여부를 확인하는 단계에 있다. CEN methods는 9가지 물리성 분석방법(건물함량, 수분함량, 실험가밀도, 가밀도, 진밀도, 부피 감소율, 공극률, 기상, 액상)과 4가지 화학성 분석방법(pH, EC, 유기물 함량, 회분함량)의 표준방법을 제시하고 있다.

수분함량(moisture content)은 토양의 수분함량 측정법과 동일하게 약 105℃로 건조하여 일정해진 무게를 측정하도록 하였다. 전체 시료 중 수분이 차지하는 무게를 수분함량으로, 그 나머지를 건물함량으로 정의한다. 측정된 수분함량과 건물함량은 화학성 분석 중 무기원소 분석시 침출제와 건조하지 않은 시료와의 비를 계산할 때 중요한 요소가 된다(Gabriels와 Verdonck, 1991). 수분함량은 대부분의 연구기관에서 CEN methods에서와 동일한 방법으로 분석하고 동일하게 결과를 표현하고 있는 항목이다(Schmilewski와 Gunther, 1988).

실험 가밀도(laboratory compacted bulk density)는 화학성 중 pH와 EC를 측정할 때 시료의 무게를 부피로 환산하기 위해 필요한 항목이다. 즉 1L 용량의 실험용기에 채워질 수 있는 시료의 무게를 측정하는데, 이때 일정한 무게를 갖는 플런저를 이용하여 일정한 압력을 가함으로써(Waller와 Harrison, 1986) 실험자에 따른 압축의 오차를 줄일 수 있도록 하였다.

다른 물리성들은 double ring과 sand suction table이라는 장치를 이용하여 먼저 시료를 습윤·포화시킨 후 -10cm water pressure head로 배수하여 평형에 이르게 한 후 배수 전후의 무게를 이용하여 계산된다. Double ring은 일반적으로 가밀도가 낮은 배지들을 가급적 균일하게 담을 수 있도록 큰 용기(약 500mL)를 취하고, 시료를 채울 때 발생하는 오차를 줄이기 위해 상하부로 구성하여 실제 측정 시 하부 ring(약 250mL)의 시료만을 사용하도록 하였다(Verdonck과 Gabriels, 1988b). Sand suction table은 시료에 압력을 가하여 수분을 배수시킬 수 있도록 한 장치로 CEN methods에서 제시한 모래(calibrated sand)를 이용하여 제조하도록 하였다(prEN 13041, 1999e).

가밀도(dry bulk density)는 세계적으로 매우 다양한 방법으로 분석되고 있어 문제가 되고 있는 특성 중 하나이다(Schmilewski와 Gunther, 1988). 모든 물리성은 서로 밀접하게 관련되어 있는데 가밀도는 특히 부피로 측정되는 특성인 공극률과 기상에 큰 영향을 끼치므로 매우 중요하다(Bunt, 1974; Cattivello, 1991). 또한 가밀도는 배지 요건으로 가벼워야 한다는 점과 식물체를 지지하여야 한다는 점을 좌우하는 중요한 특성이다. CEN methods에서는 시료의 건조중량과 시료의 부피 비율로 정의하고 있다(prEN 13041, 1999e).

진밀도(*particle density*)는 고상의 부피에 대한 건조시킨 무게의 비율로 시료에서 입자들 사이의 공극과 입자들의 내부 공극의 부피를 제외한 값이다. 무기 토양은 대개 진밀도가 $2.3-3.0\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 의 범위에 있고, 정확한 진밀도 값이 필요하지 않을 경우 평균값인 $2.65\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 을 계산에 사용한다. 그러나 주로 유기물질로 구성되어 있는 원예용 배지는 유기성분들이 완전한 고상이 아니며 내부에 수분을 흡수하거나 표면에 수분을 흡착할 수 있어 측정이 어렵다 (Blake와 Hartge, 1986). 따라서 CEN methods에서는 진밀도를 비중병(*pycnometer*)이나 침수(*submersion*)방법(Blake와 Hartge, 1986) 보다는 건조하고 태워서 분석한 고상인 유기물과 무기물의 합량과 그 밀도($1550\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $2650\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)를 이용하여 계산하도록 하였다(prEN 13039, 1999c).

부피 감소율(*shrinkage value*)은 습윤한 시료를 건조시킨 후의 부피 감소 정도를 나타낸다. 부피 감소율은 통기성과 밀접한 관련이 있으며 작물재배를 위해 배지는 부피 감소율이 30% 이하여야 한다 (Boertje, 1983). 특히 peat 배지에서는 부피 감소율이 25% 이하여야 뿌리 생육에 적당하다(Aendeker, 1993).

토양 물리성 중 작물생육에 절대적인 영향을 미치는 요인은 기상과 액상의 상대적 비율이며 특히 기상률이 증가하면 통기성이 증가하므로 통기성 정도를 나타내는 지표로서 기상률이 많이 이용되고 있다(Choi, 1998). 또한 작물의 뿌리가 이용할 수 없는 결합수가 무기 토양에서는 5-10% 인 반면 일반적으로 원예용 배지에서는 20-25%로 높으므로(Fonteno와 Nelson, 1990) 수분 보유력, 즉 액상은 배지 조성에서 중요한 물리적 특성으로 고려되어야 한다. 장력에 따른 수분보유력은 배지에 따라 다르며, 이러한 토양수분장력과 식물 생육의 관계는 관수관리의 기준을 결정하는데 있어 매우 중요하다(Karlovich와 Fonteno, 1986). CEN methods에서는 기상(*air volume*)은 일정한 장력인 -10cm suction에서 보유된 공기로 채워진 부피로, 액상(*water volume*)은 -10cm suction에서 수분으로 채워진 부피로 정의하며, 총공극률(*total pore space*)은 수분과 공기로 채워진 공극의 총부피로 정의하고 있다(prEN 13041, 1999e).

이와 같은 배지의 물리성 분석방법은 DeBoodt와 Verdonck (1972)이 처음으로 제시하였고, 이를 바탕으로 유럽 각 국에서 이용되어 왔고, 여러 가지 연구 및 수정을 거쳐 CEN methods로 확립되었다. DeBoodt와 Verdonck(1972)은 최적의 식물 성장을 위해서는 근권, 즉 배지내의 공기와 수분의 부피 비율이 중요하고 이는 수분보유곡선(*water retention curve*)으로 결정된다고 하였다. 그리고 -10-50cm water pressure head(장력 1kPa-5kPa) 사이의 수분함량을 쉽게 이용 가능한 수분(*easily available water*, EAW)이라 하고, -50-100cm water pressure head(장력 5kPa-10kPa)의 수분을 완충수분(*water buffering capacity*, WBC), -100cm water pressure head 이상(장력 10kPa-1.5MPa)의 수분을 난용수분(*less readily water*)으로 정의하여 원예배지의 수분보유곡선을 구분하는 개념을 제시하였다. 따라서 실제로 작물에게 쉽

게 이용 가능한 수분을 흡수시키고 5kPa 장력에서 관개함이 원칙이며, 완충수분은 토양 중 양분의 용해, pH, 온도 등 각종 물리·화학적 급격한 변화를 막아주므로 작물생육을 좋게 한다고 보고하였다. 또한 식물의 최적 성장을 위해서 공기와 쉽게 이용 가능한 수분함량이 중요하므로 이상적인 배지는 공극률이 85% 이상이고 1kPa에서 기상이 20-30%, 쉽게 이용 가능한 수분함량이 20-30%인 배지라고 하였다(De Boodt와 Verdonck, 1972). 작물의 생육은 토양의 수분장력이 증가함에 따라 감소하는데, 혼합배지에서 10kPa 이상의 수분장력 범위에 있는 수분은 이용할 수 없으므로 10kPa보다 낮은 수분장력에서의 보수력이 중요하며, 대부분의 온실작물은 수분장력 1-10kPa 범위의 수분을 이용한다고 한다(DeBoodt와 Verdonck, 1972). 이를 기본으로 CEN methods는 -10cm pressure head(1kPa)를 가하고 그 압력에서 건디는 수분을 측정하여 물리성을 분석하도록 하고 있다. 그러나 이러한 방법은 분석을 위해 완전한 포화와 배수를 하는데 있어 24-48시간이나 소요되므로 개선이 필요할 것으로 보인다(Milks 등, 1989).

pH는 작물의 양분 유효도에 영향을 끼치는 매우 중요한 화학성이다. Nelson(1991)은 배지에서 모든 원소가 흡수될 수 있는 적절한 산도는 5.6-6.2라고 제시하였다. 그러나 이를 평가하는 방법은 시료의 건조여부, 침출액의 종류, 침출액과 시료의 비율, 침출하여 평형에 도달하는 시간 등에 따라 연구기관별로 상당한 차이를 보였다(Schmielewski와 Gunther, 1988). CEN methods에서는 침출액으로 H₂O를 사용하고 1:5의 부피비로 분석하도록 하였고, 침출시간은 1시간으로 정하였다(prEN 13037, 1999b).

EC는 배지의 가용성 염함량을 평가하여 작물의 염류장해와 수분스트레스에 대한 내성을 결정하는 중요한 특성이다(Waller와 Wilson, 1983). EC 또한 pH와 마찬가지로 다양한 방법으로 분석되고 있으며(Schmielewski와 Gunther, 1988), 단위의 표현에 있어서도 상당한 차이를 보이고 있는데, CEN은 EC를 $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 표현하도록 하였다(prEN 13038, 1999d).

일반적으로 유기물은 통기성과 토양에 의한 물의 흡착, 배수를 좋게 하여 식물생육을 위해 더 좋은 물리적 환경조성을 위해 필요하다. 이러한 면에서 유기물은 토양개량제 및 배지로 널리 이용되고 있다(Taha와 De Boodt, 1985). 그러나 배지에 첨가된 유기물이 분해되면 토성이 변하고 토양부피가 줄어 공극이 감소되므로 분해속도가 더딜수록 좋다. 따라서 배지의 유기물 안정성 여부를 판단하기 위해서 유기물 함량 분석이 중요하다. 또한 유기물 함량은 회분함량과 함께 배지의 물리성 중 진밀도를 분석하는데 중요한 요소가 된다. CEN methods에서는 유기물 분석을 위해 건조하여 직접 태우는 방법을 이용하도록 하고 있다(prEN 13039, 1999c). 이 방법은 유럽 대부분 연구기관에서 사용하는 방법이며 유기물 함량이 매우 높은 배지에서 더욱 유용하다.

다른 화학성, 즉 무기원소들의 함량은 대부분 침출법(*extraction*)을 이용하나 아직 표준방법은 제시되지 않았다. 무기 원소들의 함량은 pH나 EC와 마찬가지로 침출액, 침출비율, 침출시간 등에 따

Table 1. Standard units used in the CEN methods for analysis of horticultural substrates.

Properties	Type	Units
Physical properties	Dry matter content	%
	Moisture content	%
	Laboratory compacted bulk density	$g \cdot L^{-1}$
	Dry bulk density	$kg \cdot m^{-3}$
	Particle density	$kg \cdot m^{-3}$
	Total pore space	%
	Water volume	%
	Air volume	%
Chemical properties	EC	$mS \cdot m^{-1}$
	Organic matter content	%
	Ash content	%

라 다양한 결과를 나타내기 때문에 표준화를 위해서는 꾸준한 연구가 필요하다(Verdonck와 Gabriels, 1988b).

CEN methods는 각 국가의 동의를 통해 표준 방법으로 제시되었고, 분석시에는 제시된 방법, 실험기구, 단위 등을 동일하게 사용함을 원칙으로 하고 있다. Table 1에는 유럽 표준으로 제시된 CEN methods의 단위들을 나타내었다.

이상에서 살펴본 바와 같이 배지분석에 관한 유럽 표준방법은 부피가 크고 가벼운 배지의 특성에 맞도록 각 국가의 동의를 거쳐 여러 가지 분석항목을 제시하고 있다. 그러나 점차 배지의 종류가 다양해지고 원예산업이 발달함에 따라 다양한 특성을 갖는 배지에서의 이용 가능성, 아직 확립되지 않은 분석 항목들, 특히 화학성의 표준 분석방법의 제시 등에 관한 연구가 필요할 것이다. 그리고 앞으로 더욱 향상된 표준 방법으로서의 연구가 지속되어야 할 것으로 보인다.

초 록

원예용 배지의 물리화학적 특성을 파악하기 위해 전세계적으로 다양한 분석 방법이 사용되고 있다. 유럽은 배지 분석방법의 표준화 연구를 지속적으로 수행해왔다. 유럽표준화 위원회에서는 유럽 표준방법으로 CEN methods를 최종안까지 제출하였으며 사실상 유럽표준 배지분석방법의 제정을 확립하는 단계에 있다. 물리적 특성 중 건물함량과 수분함량은 건조 후 분석하였고, 실험 가밀도는 일정한 부피에 채워진 시료의 무게로 측정하였다. 가밀도, 진밀도, 공극률, 액상, 기상, 부피 감소율은 double ring과 sand suction table이라는 장치를 사용하여 배지를 포화, 배수시킨 후 건조시켜 분석하였다. 화학적 특성 중 pH와 EC는 부피 기준 1:5로 침출하여 분석하였다. 유기물과 회분함량은 건조와 연소 과정을 통해 분석하였다. CEN methods는 유럽표준방법으로 확립을 앞두고 있으나 더 지속적인 연구가 필요할 것이다.

추가 주요어 : 가밀도, 공극률, 유기물, 진밀도, EC, pH

Aendekerk, Th.G.L. 1993. Standards of physical properties for substrates for cuttings. *Acta Hort.* 342:273-292.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Particle density, p. 377-381. In: A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis. Part I.* 2nd ed. Physical and Mineralogical Methods. ASA and SSSA, Madison, WI.

Boertje, G.A. 1983. Physical laboratory analyses of potting composts. *Acta Hort.* 150:47-50.

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. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Haymen LTD., London.

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(2):279-281.

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

Fonteno, W.C. and P.V. Nelson. 1990. Physical properties of and plant response to rockwool-amended media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(3):375-381.

Gabriels, R., O. Verdonck, and O. Meekers. 1986. Substrate requirement for pot plants in recirculating water culture. *Acta Hort.* 178:93-99.

Gabriels, R. and O. Verdonck. 1991. Physical and chemical characterization of plant substrates: towards a European Standardization. *Acta Hort.* 294:249-259.

Gabriels, R., W. Van Keirsbulcks, and O. Verdonck. 1991. Reference

- method for physical and chemical characterization of growing media: An international comparative study. *Acta Hort.* 294:147-160.
- ISO (International organization for standardization). 1991. Agreement on technical cooperation between ISO and CEN (Vienna agreement). ISO/CEN 1:1991.
- Karlovich, P.T. and W.C. Fonteno. 1986. Effect of soil moisture tension and soil water content on the growth of Chrysanthemum in 3 container media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(2):191-195.
- Milks, R.R., W.C. Fonteno, and R.A. Larson, 1989. Hydrology of Horticultural substrates: I. Mathematical models for moisture characteristics of horticultural container media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(1):48-52.
- Nelson, P.V. 1991. *Greenhouse operation and management*. 4th ed. Prentice Hall. Englewood Cliff, N. J.
- PBG (Research station for Floriculture and Glasshouse Vegetables). 2000. Interlaboratory study CEN-methods. PBG.
- Schmilewski, G. and J. Gunther. 1988. An international comparative study on the physical and chemical analysis of horticultural substrates. *Acta Hort.* 221:425-441.
- Taha T.A. and M. De Boodt. 1985. Characterization of organic materials from different origins. *Acta Hort.* 172:125-131.
- Unver, I., Y. Ataman, and N. Munsuz. 1983. Water retention characteristics of some substrates used in Turkey. *Acta Hort.* 150:161-167.
- 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.
- Verdonck, O., R. Pennincks, and M. De Boodt. 1983. The physical properties of different horticultural substrates. *Acta Hort.* 150:155-159.
- Waller, P.L. and A.M. Harrison. 1986. A rapid method for the assessment of air-filled porosity and its relationship with other methods. *Acta Hort.* 178:107-114.
- Waller, P.L. and F.N. Willson. 1983. Evaluation of growing media for consumer use. *Acta Hort.* 150:51-58.
- Wilson, G.C.S. 1983. The physico-chemical and physical properties of horticultural substrates. *Acta Hort.* 150:19-32.