

Research Report

소나무 수피를 포함한 원예작물 재배용 혼합상토의 개발

박은영, 최종명*

충남대학교 원예학과

Development of Root Media Containing Pine Bark for Cultivation of Horticultural Crops

Eun Young Park and Jong Myung Choi*

Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract: This research was conducted to develop root media containing ground and aged pine bark (GAPB) and ground and raw pine bark (GRPB). After analysis of physico-chemical properties, the pine barks were blended with peat moss (PM) or coir dust (CD) in various ratios to formulate 12 root media. Then, two out of 12 root media were chosen based on the physical properties for further experiments. The pre-planting nutrient charge fertilizers (PNCf) were incorporated into two root media and chemical properties were analysed again. The total porosity (TP), container capacity (CC), and air-filled porosity (AFP) of GAPB were 78.7%, 39.4%, and 38.3%, respectively, while those of GRPB were 74.7%, 41.2%, and 33.4%, respectively. The percentage of easily available water (EAW, from CC to 4.90 kPa tension) and buffering water (BW, 4.91-9.81 kPa tension) in GAPB were 12.7% and 8.5%, respectively, which were a little lower than the 13.5% and 8.8% in GRPB. The pH and EC were not different significantly, but cation exchange capacity was different between the two pine barks (GAPB: pH 5.26, EC 0.61 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, CEC 15.7 $\text{meq}\cdot 100\text{ g}^{-1}$; GRPB: pH 5.19, EC 0.32 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, CEC 9.32 $\text{meq}\cdot 100\text{ g}^{-1}$). The concentrations of exchangeable cations in GAPB were Ca 0.32, K 0.05, Mg 0.27 and 0.12 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, whereas those in GRPB were Ca 0.28, K 0.08, Mg 0.25 and 0.09 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. The concentrations of $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ were 485.8, 0.62 and 0.91 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in GAPB and 578, 1.00 and 0.82 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in GRPB, respectively, when those were analyzed in the solution of the saturated paste. The TP, CC and AFP in the two selected media were 89.3 and 76.3, and 13.0% in PM+GAPB (8:2, v/v) and 88.2, 68.2 and 20.0% in CD+GRPb (8:2), respectively. The pHs and ECs were 3.8 and 0.24 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ in PM+GAPB which were a little lower than 5.8 and 0.65 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ in CD+GRPb. However, the pHs analysed before and after incorporation of PNCf in the two root media did not show large differences. This is because the solubility of dolomitic lime is very low, and the pH is expected to rise gradually when crops are cultivated in the root media. The information obtained in this study should facilitate effective formulation of root media containing pine bark.

Additional key words: air space, chemical properties, container capacity, nutrient contents, physical properties

서 언

전 세계적으로 산업부산물을 재활용하기 위해 많은 노력을 하고 있으며, 식물공장 또는 온실에서 작물을 재배하는 경우도 산업부산물을 상토 또는 혼합상토의 구성재료로 활용하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 특히 펄프제

조과정에서 부산물로 생산되는 수피, 톱밥 또는 우드칩을 활용하기 위해서 많은 연구가 미국에서 수행되고 있으며 (Fields et al., 2012; Owen et al., 2012), 국내에서도 이들을 활용하기 위한 연구가 일부 수행된 바 있다(Choi et al., 1999a, 1999b, 2000).

국내·외를 통해 혼합상토의 구성재료로써 활엽수보다 삼

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

※ Received 23 January 2013; Revised 10 April 2013; Accepted 30 April 2013. This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ907050)", Rural Development Administration, Republic of Korea.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

나무, 전나무 또는 소나무 등의 침엽수 수피가 더 많이 활용되고 있다(Nelson, 2003). 이러한 이유는 침엽수 수피가 활엽수 수피보다 더욱 치밀하고, 작물재배에 이용할 때 분해도가 낮으며, 따라서 작물 재배기간 동안 상토의 물리·화학적 성을 안정되게 유지하기 때문이다. 국내에서는 주로 소나무 수피가 난재배 또는 원예작물의 분화생산을 위해 상토 구성 재료로써 활용되어 왔다(Choi et al., 2009).

우리나라는 소나무 재배면적이 많고 소나무를 펄프의 원료로 가공하고 있으며, 소나무 수피의 생산량이 많다. 소나무 수피를 펄프의 원료인 우드칩으로 가공하기 위해서는 일차적으로 수피를 탈피한 후 계란 정도 크기의 칩으로 분쇄하고, 이들을 제지회사에 납품하고 있다. 그러나 탈피는 몇 종류의 방법으로 이루어지며 큰 통나무끼리 부딪쳐서 부수어진 수피가 탈피되도록 하거나, 굵은 쇠갈고리로 수피를 긁어내어 탈피하기도 한다(Choi et al., 1999b). 정도의 차이가 있지만 두 종류 수피 모두 많은 양의 부름켜(cambium) 또는 잔가지가 포함되며 이들이 포함된 수피를 그대로 작물 재배에 이용할 경우 토양미생물에 의해 쉽게 분해되므로 작물이 질소부족 현상을 유발하고 생장이 억제된다(Nelson, 2003).

따라서 일부 회사에서는 수집된 수피를 분쇄하고 질소를 첨가한 후 수차례의 뒤집기를 하면서 속성으로 부숙시킨다. 또한 일부는 수집된 수피를 1년 이상 장기간 야적하면서 자연상태에서 부숙시키고, 부숙된 수피를 분쇄한 후 판매하고 있으며 후자가 더 보편적으로 이루어지는 방법이다(Choi et al., 1999b). 두 방법 모두 부숙기간 동안 적재된 수피 내부의 온도가 60°C 이상으로 상승할 만큼 고온성 미생물에 의해 많은 열이 발생하며, 수피나 각종 잔재물 속에 포함된 성장 저해물질, 병원성 미생물, 잡초 종자 등이 제거된다. 또한 미생물에 의해 분해되면서 수피의 입자가 작아지고 양이온교환용량이 높아지는 것이 일반적인 경향이다(Nelson, 2003).

수피를 혼합상토의 구성재료로 활용하기 위해서는 가공 전과 가공 후의 물리·화학적 특성이 정확하게 분석 또는 측정되어야 하며, 이들 특성들이 정확하게 구명되어야 원예용 상토의 핵심인 균일성을 갖는 혼합 상토를 조제할 수 있다(Argo, 1998a, 1998b). 상토가 균일성을 갖지 못하면 작물 재배에 이용할 때마다 물리·화학적 성이 변하고, 동일한 시비 방법이나 물 관리 방법을 적용하여도 작물 생장이 달라질 수밖에 없다. 이러한 점들을 고려하여 국내에서 보편적으로 적용하는 장기간 야적 방법으로 부숙된 수피와 탈피 후 분쇄된 수피를 수집하였으며, 물질 자체의 특성과 다른 물질

과 혼합된 후의 물리·화학적 특성을 구명하여 수피가 포함된 혼합상토를 개발하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

상토 재료

본 연구를 위해 탈피 후 부숙하지 않고 분쇄한 수피(분쇄수피로 지칭)와 탈피 후 분쇄하고 부숙시킨 수피(분쇄부숙수피로 지칭)를 금정원 상토(Keumjeongwon Co., Ltd., Yeongi-gun, Korea)로부터 수집하였다. 분쇄부숙수피의 경우 탈피된 후 야적하고 자연상태에서 1년간 부숙시킨 수피였다. 피트모쓰와 코이어 더스트는 (주)신성미네랄(Shinsung Mineral Co., Ltd., Jincheon-gun, Korea)에서 확보하였다.

물리적 특성

상토 재료인 두 종류 수피를 수집한 후 물리성을 측정하였다. 다시 피트모쓰 또는 코이어 더스트와 두 종류 수피를 6:4(v/v), 7:3, 또는 8:2 비율로 혼합한 후 물리성을 측정하여 원예작물 재배에 적합하다고 판단한 상토를 선발한 후 추후의 실험을 진행하였다. 상토 재료 또는 재료를 혼합한 후의 물리적 특성은 “재료의 입도 분포 조사 ⇒ 공극률, 기상률, 용기용수량 및 가비중 측정 ⇒ 쉽게 이용할 수 있는 수분과 완충수의 비율 측정”의 순으로 진행하였다.

입도분포는 Choi et al.(1999a)의 방법에 준하여 조사하였다. ROTAP-II sieve shaker(Model A.S.T.M.E-11, Fisher Scientific Co., USA)를 사용하였으며, 미국 표준규격(American standard) 번호 3 1/2(직경 5.6mm), 7(2.8mm), 14(1.0mm), 25(710 μ m), 45(355 μ m), 100(150 μ m) 및 140(106 μ m)의 체(sieve)를 사용하여 4반복으로 수행하였다.

공극률(total porosity, TP), 용기용수량(container capacity, CC), 기상률(sir-filled porosity, AFP) 및 가비중(bulk density, BD)은 347.5mL의 알루미늄 실린더(직경 7.6cm, 높이 7.6cm)를 사용하여 측정하였다. 실험 시작 전 작물 재배를 위하여 적합하다고 판단되는 용적밀도를 파악한 후 목표 용적밀도가 되도록 실린더에 상토를 채워 넣고 측정하였으며 3반복으로 수행하였다. 물리성 측정을 위한 전반적인 방법과 공극률, 기상률, 용기용수량과 가비중의 계산은 Choi et al.(1997)의 방법을 따랐다.

각각의 상토 재료 또는 이들을 혼합한 상토가 보유할 수 있는 수분 중 쉽게 흡수할 수 있는 수분(4.903KPa보다 낮은 장

력 하에 존재하는 수분, easily available water, EAW)과 완충 수분(4.903KPa-9.806KPa 장력 하에 존재하는 수분, buffering water, BW)의 비율은 sand box(Model 08.27, Eijkelkamp, Netherlands)를 사용하여 측정하였다. 실험을 위해 코어 안에 상토를 충전하고 물로 포화시켜 시료를 준비하였으며, 수주 높이를 10, 30, 50, 70, 그리고 100cm의 압력으로 조절 한 뒤 sand box를 물로 채웠다. 다시 포화된 상토가 들어있는 코어를 넣고 24시간 뒤 무게를 측정하여 EAW와 BW의 비율을 계산하였는데 전반적인 과정은 Milks et al.(1989)과 Wallach et al.(1992)의 방법을 따랐다.

화학적 특성 분석

수집한 두 종류 수피 또는 이들과 피트모스 또는 코이어 더스트를 혼합한 상토의 화학적 특성은 “수피의 화학적 특성 및 성장 저해물질 함량 분석 ⇒ 재료들을 혼합한 후 상토의 pH 및 EC 측정을 통해 기비로 혼합될 비료의 종류 및 양 결정 ⇒ 각종 비료를 기비로 혼합 ⇒ 혼합상토의 화학성 분석”의 순으로 진행하였다.

상토 재료의 pH 및 EC는 포화추출법(saturated paste method, Warncke, 1986)으로 측정하였고, 시료를 일정한 용기에 담은 뒤 증류수로 saturated phaste를 만들고 2시간을 기다려 화학평형상태에 도달한 후 추출하여 측정하였으며, 3반복으로 수행하였다.

양이온교환용량의 분석은 ammonium acetate(pH 7.0) 방법(Hendershot et al., 1993)으로 수행하였고, 치환성양이온은 양이온교환용량 분석을 위해 NH_4OAc 로 치환시킨 용액 속에 존재하는 양이온을 원자흡광분석계(atomic absorption/flame emission spectrophotometer, Model 680, Shimadzu)로 분석하여 정량하였다(Hendershot et al., 1993). $\text{NH}_4\text{-N}$ (Chaney and Marback, 1962), $\text{NO}_3\text{-N}$ (Cataldo et al., 1975) 및 P_2O_5 (Chapman and Pratt, 1961) 농도는 분광광도계(Raman spectrophotometer, OPETIZEN 2120UV, Mecasys, Korea)로 비색정량하였다.

회분분석과 상토재료의 성장저해물질 함량은 TAPPI 분석법(1975)에 준하여 간접적 방법으로 수행하였다. 냉수추출(불가용성 탄수화물, 탄닌, 배당체 등이 추출), 온수추출(냉수추출보다 양이 많은 불가용성 탄수화물, 탄닌, 배당체 등이 추출), 그리고 알칼리 추출(냉수추출 및 온수추출물이 추출됨. 이 외에 폴리페놀류, 저분자 리그닌, 수지산, 유지 등이 추출됨)을 정량하여 성장저해 물질 함량을 판단하였다.

이상의 방법으로 두 종류 수피의 화학성을 분석하고 피트

모스 또는 코이어 더스트와 다양한 비율로 혼합하였다. 혼합한 후 pH 및 EC를 측정한 결과 산성 반응을 보였으며, Bunt(1988)와 Nelson(2003)이 보고한 내용을 고려하여 다음과 같이 기비로 혼합될 비료의 양을 결정하였고 모든 비료는 건조 상태에서 혼합하였다. 피트모스가 혼합된 상토는 백운석계 고토석회(Dolomitic limestone) $6\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 용과린 $0.6\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 미량원소 복합제(Micronutrient mix) $2\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $0.6\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, KNO_3 $0.6\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 혼합하였다. 그러나 코이어 더스트가 혼합된 상토는 조제 후 측정된 토양 반응이 약산성을 띠었으며 고토석회를 $3\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 조절하였고 다른 비료는 상기한 바와 동일하게 혼합량을 조절하였다.

기비를 혼합한 상토는 상기한 방법과 동일하게 화학적 특성을 분석하였다.

통계처리 방법

물리·화학적 특성을 분석한 후 CoStat 프로그램(Monterey, California, USA)을 사용하여 세 처리 이상의 평균 비교는 $p \leq 0.05$ 수준의 Duncan 다중 검정으로, 두 처리간 비교는 T-검정으로 수행한 후 그 결과를 각각의 표에 나타내었다.

결과 및 고찰

수피의 물리·화학적 특성

분쇄수피와 분쇄부숙수피는 $710\mu\text{m}$ 이상의 직경을 갖는 입자의 비율이 각각 80.4 및 72.0%로 그리고 $710\mu\text{m}$ 이하는 각각 19.6 및 28.0%로 조사되었다(Fig. 1). 분쇄수피가 분쇄부숙수피보다 큰 입자의 비율이 높았지만 두 물질 모두 유기배양 상토로 이용할 경우 토양통기성이 우수한 반면 보

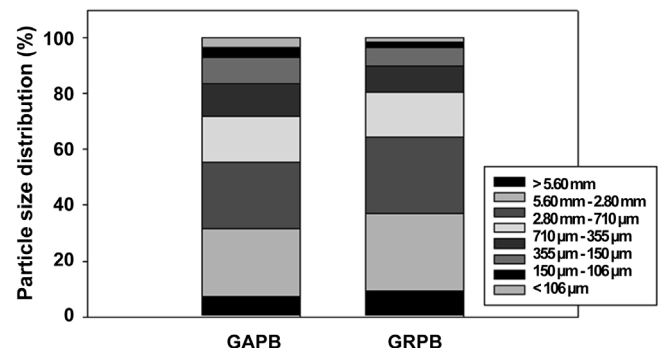


Fig. 1. Particle size distribution of two kinds of pine bark (GAPB, ground and aged pine bark; GRPB, ground and raw pine bark).

수성이 불량할 것으로 예상되었고(Argo, 1998a; Choi et al., 1999a, 1999b, 2000), 보수성이 높은 다른 물질과 혼합하여 보수성을 증가시켜야 작물 재배가 가능할 것으로 판단하였다.

분쇄부숙수피는 공극률 78.7%, 용기용수량 39.4%, 기상률 38.3% 그리고 가비중은 $0.15\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 였으며, 분쇄수피는 공극률 74.7%, 용기용수량 41.2%, 기상률 33.4% 그리고 가비중은 $0.19\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 로 측정되었다(Table 1). 보편적인 원예작물 재배용 혼합상토는 공극률 85-95%, 용기용수량 70-80%, 그리고 기상률 10-20%로 보고되고 있다(Argo, 1998a; Bunt, 1988; Nelson, 2003). 따라서 두 종류 수피를 작물 재배용 상토로 이용할 경우 용기용수량이 낮고 기상률이 과도하게

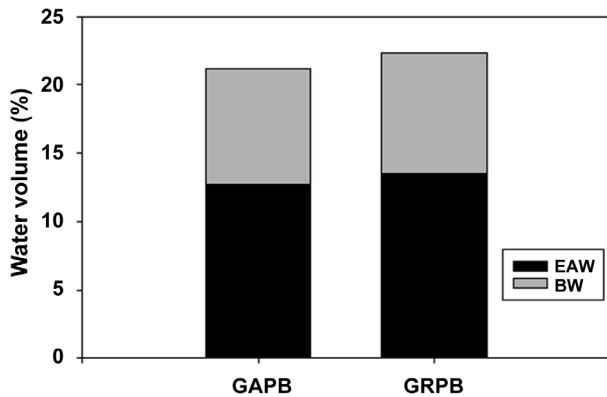


Fig. 2. The percentage of easily available water (EAW) and buffering water (BW) in ground and aged pine bark (GAPB) or ground and raw pine bark (GRPBP).

Table 1. Soil physical properties of ground and aged pine bark (GAPB) or ground and raw pine bark (GRPBP).

Treatment	TP ^z (%)	CC (%)	AS (%)	BD ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
GAPB	78.7	39.4	38.3	0.15
GRPBP	74.7	41.2	33.4	0.19
Significant	***	***	***	***

^zTP, total porosity; CC, container capacity; AS, air space; BD, bulk density.

***Significant at the $p \leq 0.001$ by t-test.

높아 관수를 자주해야 하며, 낮은 보수성과 높은 기상률로 인해 상토로 이용하기에 부적절하다고 판단하였다. 상토 재료로 이용할 경우 보수성 증진 보다는 통기성을 향상시키는데 더 유리한 물질이라고 판단하였고, 보수성이 높은 물질과 혼합해야 할 것으로 판단하였다. 이미 Choi et al.(1999b)도 수피의 이러한 문제점을 인식하고 보수성을 개선하기 위하여 폐암면을 혼합한 바 있다.

EAW와 BW의 비율은 분쇄부숙수피가 각각 12.7% 및 8.5%로, 분쇄수피는 각각 13.5% 및 8.8%로 측정되었고(Fig. 2), 두 물질 간 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 그러나 Maher et al.(2008)의 보고 내용을 고려할 때 EAW와 BW 비율이 매우 낮으며, 이는 입경 분포(Fig. 1)에서 큰 입자들의 비율이 과도하게 높아 상토 내부에 존재하는 대공극의 비율이 높고 소공극의 비율이 낮은 것이 원인이 되었다고 생각한다(Argo, 1999a; Fonteno and Nelson, 1990).

화학적 특성

수집한 후 측정된 pH 및 EC가 분쇄부숙수피는 각각 5.26 및 $0.61\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 였지만 분쇄수피는 5.19 및 $0.32\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 측정되었다(Table 2). 두 종류 수피 모두 약산성의 반응을 보였고, EC는 분쇄부숙수피가 약 2배 가량 높았지만 혼합상토의 구성재료로 이용하기에 큰 문제가 없는 수준이라고 판단하였다(Bunt, 1988; Nelson, 2003).

분쇄부숙수피의 양이온교환용량(CEC)은 $15.70\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 으로 분쇄수피의 $9.32\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ 보다 월등히 높았다. 이는 수피가 부숙되는 과정에서 작은 입자의 비율이 증가하고, 작은 입자의 비율이 증가할 때 단위용적당 입자의 표면적이 증가하여 발생한 현상이라고 생각한다(Nelson, 2003). 두 종류 물질의 치환성양이온 함량을 분석한 결과 분쇄부숙수피는 K 0.05, Ca 0.32, Mg 0.27 및 Na $0.12\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 그리고 분쇄수피는 K 0.08, Ca 0.28, Mg 0.25 및 Na $0.09\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 로 분석되었다. 또한 분쇄부숙수피는 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 0.62, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 0.91 및 $\text{PO}_4\text{-P}$ $485.8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 였고, 분쇄수피는 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 1.00,

Table 2. The pH, EC, CEC and nutrient contents of ground and aged pine bark (GAPB) and ground and raw pine bark (GRPBP).

Treatment	pH	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	CEC ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	K	Ca	Mg	Na
				$(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$						
GAPB	5.26	0.61	15.70	0.91	0.62	486	0.05	0.32	0.27	0.12
GRPBP	5.19	0.32	9.32	0.82	1.00	578	0.08	0.28	0.25	0.09
Significant	***	**	***	***	NS	*	**	**	**	**

NS,*,**,** Nonsignificant or significant at the $p \leq 0.05$, 0.01 or 0.001, respectively, by t-test.

NO₃⁻-N 0.82 및 PO₄-P 578mg·L⁻¹의 함량을 갖는 것으로 분석되었다.

Nelson(2003)은 바람직한 혼합상토의 C/N 비율을 약 20-30:1로 보고한 바 있으며 C/N율이 과도하게 높은 상토에서 작물을 재배할 경우 작물이 질소 결핍증상을 발현하고 생장이 어렵다고 보고한 바 있다. 그러므로 두 종류 수피의 질소 함량이 매우 낮아 상토조제 과정에서 많은 양의 질소를 첨가해야 작물 생육에 지장이 없을 것으로 판단하였다. 그러나 인산함량이 매우 높게 분석되었던 것은 예상하지 못한 결과이며 추후 정밀한 보완 연구가 필요하다고 판단하였다.

간접적인 분석 방법으로 성장저해물질 함량을 분석한 결과 분쇄부숙수피는 회분함량 7.7%, 냉수추출물 13.0%, 온수추출물 14.0%, 알칼리추출물 19.5%로 분석되었고, 분쇄수피는 회분함량 7.3%, 냉수추출물 15.0%, 온수추출물 18.7%, 알칼리추출물 17.2%로 분석되었다(Table 3).

TAPPI 분석법(1975)에서는 냉수추출물에 불가용성 탄수화물, 탄닌, 배당체 등이 포함되고, 온수추출물에는 냉수추출물 보다 양이 많은 불가용성 탄수화물, 탄닌, 배당체 등이, 그리고 알칼리 추출에는 냉수추출물 및 온수추출물 외에 폴리페놀류, 저분자 리그닌, 수지산, 유지 등이 포함된다고 하였다. 본 연구에서 분쇄부숙수피가 분쇄수피보다 냉수 및 온수 추출물이 적고 알칼리 추출물이 많았는데, 이는 부숙 과정을 통해 분해되기 쉬운 물질들이 분쇄부숙수피에서 제거되고 분해되기 어려운 물질들이 많이 남아 있음을 의미한다. 또한 원예작물 재배용 혼합상토로 이용하기 위해서는 작물을 파종하거나 정식하기 전에 충분한 부숙과정을 거쳐야 할 것으로 판단하였다.

혼합물의 물리·화학적 특성

피트모스 또는 코이어 더스트와 분쇄수피 또는 분쇄부

Table 3. Ash contents and cold water, hot water, and alkali extracts of ground and aged pine bark and ground and raw pine bark.

Treatment ^z	Ash contents	Cold water extracts	Hot water extracts	Alkali extracts
	[%]			
GAPB	7.7	13.0	14.0	19.5
GRPB	7.3	15.0	18.7	17.2
Significant	*	***	***	***

^zGAPB, ground and aged pine bark; GRPB, ground and raw pine bark.

***Significant at the $p \leq 0.05$ or 0.001, respectively, by t-test.

Table 4. The physical properties of root media formulated with various ratio of peatmoss (PM), coir dust (CD), ground and aged pine bark (GAPB), and ground and raw pine bark (GRPB).

Treatment	TP ^z (%)	CC (%)	AS (%)	BD (g·cm ⁻³)
PM + GAPB (6:4)	84.5 cde ^y	72.6 bc	12.0 de	0.13 abcd
PM + GAPB (7:3)	84.3 de	72.9 b	11.4 e	0.12 bcd
PM + GAPB (8:2)	89.3 abc	76.3 a	13.0 de	0.13 abcd
CD + GAPB (6:4)	83.7 de	65.0 f	18.7 abc	0.15 a
CD + GAPB (7:3)	82.6 e	66.7 def	15.9 bcd	0.15 a
CD + GAPB (8:2)	84.3 de	69.6 cd	14.7 cde	0.16 a
PM + GRPB (6:4)	91.1 ab	76.3 a	14.9 cde	0.12 bcd
PM + GRPB (7:3)	87.2 bcde	68.6 de	18.6 abc	0.11 d
PM + GRPB (8:2)	93.0 a	73.4 a	14.6 cde	0.11 cd
CD + GRPB (6:4)	87.0 bcde	65.8 ef	21.2 a	0.12 bcd
CD + GRPB (7:3)	85.9 cde	67.9 def	18.0 abc	0.14 abc
CD + GRPB (8:2)	88.2 bcd	68.2 def	20.0 ab	0.13 abcd

^zTP, total porosity; CC, container capacity; AS, air space; BD, bulk density.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test, $p < 0.05$.

숙수피를 다양한 비율로 혼합한 후 물리성을 측정하였고, 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 원예작물 재배용으로 유통되는 혼합상토는 보편적으로 공극률 85-90%, 용기용수량 65-70%, 그리고 기상률 10-20% 정도로 보고되고 있다 (Nelson, 2003). 본 연구에서 혼합된 다수의 상토가 Nelson (2003)이 보고한 범위의 물리성을 갖는 것으로 확인되었지만 공극률이 높으면서 가급적 용기용수량의 비율이 높은 두 종류 상토 즉, 피트모쓰 + 분쇄부숙수피(PM + GAPB, 8:2, v/v)와 코이어 더스트 + 분쇄수피(CD + GRPB, 8:2, v/v)를 선발한 후 추후 실험을 진행하였다. PM + GAPB(8:2)는 공극률 89.3%, 용기용수량 76.3%, 기상률 13.0%로, CD + GRPB(8:2)는 공극률 88.2%, 용기용수량은 68.2%, 그리고 기상률 20.0%였다.

EAW와 BW의 비율은 PM + GAPB(8:2)가 각각 52.1% 및 35.1%로, CD + GRPB(8:2)는 각각 47.4% 및 29.1%로 측정되었다(Fig. 3). Table 4에서 나타낸 바와 같이 두 종류 상토 간 공극률 차이가 크지 않았음에도 PM + GAPB(8:2)은 CD + GRPB(8:2)보다 통계적으로 유의하게 용기용수량이 높았고, 기상률이 낮았다. 이는 상토 내부에 존재하는 공극의 직경과 관련된 문제로 CD + GRPB(8:2)이 PM + GAPB(8:2)보다 직경이 큰 공극을 많이 보유하여 EAW나 BW의 비율이 낮고(Fig. 3) 기상률이 높은(Table 4) 원인이 되었다고 판단한다(Argo, 1998a; Maher et al., 2008).

피트모쓰 또는 코이어 더스트와 분쇄부숙수피 또는 분쇄수피를 혼합한 후 측정된 pH 및 EC를 Table 5에 나타내었다. 피트모쓰에 분쇄부숙수피 또는 분쇄수피를 혼합한 경우

pH가 3.8-3.9 범위로, EC는 0.244-0.284dS·m⁻¹에 포함되었다. 이는 피트모쓰가 강산성 물질이며(Lee et al., 2001; Nelson, 2003), 혼합상토로 조제한 후에도 지속적으로 상토의 pH를 낮게 유지하는 것을 알 수 있었다. 그러나 코이어 더스트와 분쇄부숙수피 또는 분쇄수피를 혼합한 경우 pH 6.0-6.1 범위, EC는 0.400-0.464dS·m⁻¹로 측정되었다.

본 연구에서 토양 물리성이 우수하여 원예작물 용기재배에 적합하다고 판단하여 선발한 PM + GAPB(8:2)는 pH가 3.8, EC는 0.24dS·m⁻¹로 측정되었고, CD + GRPB(8:2)는 pH 5.8 그리고 EC 0.652dS·m⁻¹로 측정되었다. 두 종류 상토 모두 적절한 pH로 조절하기 위하여는 기비 혼합 과정에서 고도석회를 혼합하여야 하며, CD + GRPB(8:2) 혼합상토보다 PM + GAPB(8:2)에 혼합량을 증가시켜야 할 것으로 판단하였다.

기비 첨가 후 혼합상토의 화학적 특성

두 종류 상토 모두 토양 반응이 산성을 띄었으며 재료 및 방법에서 나타낸 바와 동일하게 기비를 혼합하였다. 기비를 혼합한 후 분석한 토양 화학적 특성은 Table 6에 나타내었다.

Table 5. The pH and EC of root media analysed just after formulation with various ratios of peatmoss (PM), coir dust (CD), ground and aged pine bark (GAPB), and ground and aged pine bark (GRPB).

Treatment ^z	pH	EC (dS·m ⁻¹)
PM + GAPB (6:4)	3.9 e ^y	0.28 g
PM + GAPB (7:3)	3.8 e	0.28 g
PM + GAPB (8:2)	3.8 f	0.24 h
CD + GAPB (6:4)	6.0 b	0.48 d
CD + GAPB (7:3)	6.1 a	0.40 f
CD + GAPB (8:2)	6.1 a	0.46 e
PM + GRPB (6:4)	3.9 e	0.28 g
PM + GRPB (7:3)	3.8 f	0.20 i
PM + GRPB (8:2)	3.8 f	0.20 i
CD + GRPB (6:4)	5.7 d	0.51 c
CD + GRPB (7:3)	5.9 c	0.59 b
CD + GRPB (8:2)	5.8 d	0.65 a

^zPM, peatmoss; CD, coir dust; GAPB, ground and aged pine bark; GRPB, ground and raw pine bark.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test, $p < 0.05$.

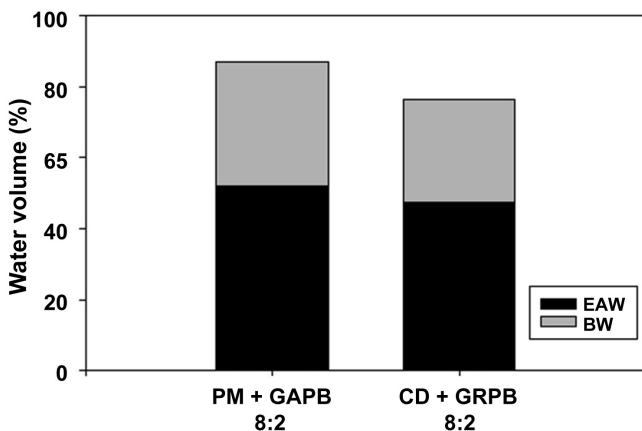


Fig. 3. The percentage of easily available water (EAW) and buffering water (BW) in peatmoss (PM) + ground and aged pine bark (GAPB) and coir dust (CD) + ground and raw pine bark (GRPB) root media.

Table 6. The pH and EC of peatmoss (PM) + ground and aged pine bark (GAPB) and coir dust (CD) + ground and raw pine bark (GRP) media analysed at the just after incorporation of pre-planting fertilizers.

Treatment ^z	pH	EC (dS·m ⁻¹)	CEC (meq·100 g ⁻¹)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg	Na
				(mg·L ⁻¹)						
PM+GAPB (8:2)	4.2	2.31	88.4 ^y	4.9	46.7	606	31.3	19.5	4.5	31.3
CD+GRP (8:2)	5.6	2.21	99.1	1.4	34.4	739	46.7	15.0	2.0	32.2
Significant	**	NS	***	NS	***	***	***	***	NS	***

^zPM, peatmoss; CD, coir dust; GAPB, ground and aged pine bark; GRPB, ground and raw pine bark.

^{NS,*,***} Nonsignificant or Significant at the $p \leq 0.01$ or 0.001 by t-test.

PM + GAPB(8:2)는 pH 4.2, EC 2.31dS·m⁻¹, CEC는 88.4 meq·100g⁻¹였다. 치환성양이온 함량을 측정한 결과 Ca 19.5, K 31.3, Mg 4.5 및 Na 31.3cmol+·kg⁻¹였고, NH₄-N 4.9, NO₃-N 46.7 그리고 PO₄-P 606.0mg·L⁻¹로 분석되었다. CD + GRPB (8:2)는 pH 5.6, EC 2.21dS·m⁻¹로, CEC는 99.1meq·100g⁻¹이고, 치환성 양이온 함량은 Ca 15.0, K 46.7, Mg 2.0 및 Na 32.2cmol+·kg⁻¹로서 분석되었다. 또한 NH₄-N 1.4, NO₃-N 34.4 및 PO₄-P 739mg·L⁻¹로 분석되었다.

기비를 혼합한 후 분석한 두 종류 상토의 화학성에서 pH는 PM + GAPB(8:2)가 4.2로 CD + GRPB(8:2)가 5.6으로 측정되었다. Lee et al.(2001)은 기비로 혼합된 고토석회와 탄산석회가 작물 재배 중 근권부 pH 변화에 미치는 영향을 보고한 바 있으며, 탄산석회의 경우 혼합 후 2일 이내에 근권부 pH를 원하는 수준으로 변화시키지만 고토석회는 pH를 매우 느리게 변화시키고 5주 이후에 가장 높아진다고 하였다. Nelson(2003)도 유사한 보고를 한 바 있다. 본 연구에서 혼합상토 조제과정에서 기비를 혼합하였고, 기비 혼합 후 즉시 상토의 화학적 특성을 분석하였으므로 pH가 낮게 측정되었지만 Lee et al.(2001)과 Nelson(2003)의 보고내용을 고려할 때 큰 문제가 되지 않을 것으로 예상하였다.

또한 PM + GAPB(8:2)가 CD + GRPB(8:2)에 비해 K 농도가 낮았는데, 이는 코이어 더스트의 K 함량이 피트모스보다 높은 것이 원인이 되었다고 생각한다(Choi et al., 2009). PM + GAPB(8:2)의 Ca 및 Mg 농도가 높은 것은 조제 후 측정된 pH에서 PM + GAPB(8:2)가 CD + GRPB(8:2)보다 강산성을 띄었고 기비로 혼합된 고토석회[CaMg(CO₃)₂]의 양이 PM + GAPB(8:2)에서 많았던 것이 원인이 되었다고 생각한다.

근권부에 존재하는 인산은 쉽게 Ca, Mg 또는 Na와 결합하여 불용화된다(Hanan, 1998; Marschner, 1995). 두 종류 상토에 동일한 양의 인산질 비료를 기비로 혼합하였음에도,

가용화된 Ca 및 Mg 양이 많아짐에 따라 이들과 결합하여 불용화된 인산량이 증가하므로 PM + GAPB(8:2)에서 인산 농도가 낮게 분석되었다고 판단한다.

이상의 결과를 요약하면 국내에서 부산물로 유통되는 분쇄수피와 분쇄부속수피를 피트모스 또는 코이어 더스트와 혼합한 상토를 개발하기 위한 목적으로 본 연구를 수행하였다. 본 연구에서 개발된 상토는 보편적인 원예작물 재배에 적합한 물리성을 가지며, 비록 pH가 낮은 단점이 있었지만 혼합된 고토석회의 양 조절을 통해 작물 재배에 적합하도록 토양 물리·화학성을 조절하였다.

초 록

국내에서 유통되고 있는 각종 분쇄부속수피(GAPB)와 분쇄수피(GRPB)를 포함한 혼합상토를 개발하기 위해 본 연구를 수행하였다. 연구목적 달성을 위해 두 종류 수피의 물리·화학성을 분석한 후 피트모스(PM) 또는 코이어 더스트(CD)와 다양한 비율로 혼합하였다. 혼합물 중 물리성이 적합하다고 판단한 두 종류 상토의 pH 및 EC를 측정하고 기비를 혼합하고 다시 화학성을 분석하였다. GAPB는 공극률 78.7%, 용기용수량 39.4%, 기상률 38.3%, 가비중 0.15g·cm⁻³, GRPB는 공극률 74.7%, 용기용수량 41.2%, 기상률 33.4%, 가비중 0.19g·cm⁻³로 측정되었다. 쉽게 이용할 수 있는 수분(EAW)과 완충수(BW)의 비율은 GAPB는 12.7% 및 8.5%, GRPB는 13.5% 및 8.8%로 각각 분석되었다. 화학적 특성에서 GAPB는 pH 5.26, EC 0.61dS·m⁻¹, 양이온교환용량(CEC) 0.32cmol·kg⁻¹, GRPB는 pH 5.19, EC 0.32dS·m⁻¹, CEC 9.32 cmol·kg⁻¹로 분석되었다. 치환성양이온 함량을 분석한 결과 GAPB는 Ca 0.32, K 0.05, Mg 0.27 및 Na 0.12cmol·kg⁻¹, GRPB는 Ca 0.28, K 0.08, Mg 0.25 및 Na 0.09cmol·kg⁻¹로 분석되었다. 질소 및 인산함량은 GAPB는 PO₄-P 485.8, NO₃-N

0.91, $\text{NH}_4\text{-N}$ $0.62\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, GRPB는 $\text{PO}_4\text{-P}$ 578, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.82, $\text{NH}_4\text{-N}$ $1.00\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 분석되었다. PM + GAPB(8:2, v/v) 혼합상토의 공극률, 용기용수량, 기상률은 각각 89.3, 76.3 및 13.0%였지만 CD + GRPB(8:2)는 각각 88.2, 68.2 및 20.0%로 측정되었다. 혼합 후 측정된 pH와 EC는 PM + GAPB는 3.8 및 $0.24\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 CD + GRPB 혼합상토의 5.8 및 $0.65\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 보다 낮았다. 그러나 두 종류 상토에 기비를 혼합한 후 측정된 pH는 기비 혼합 전과 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 pH를 상승시키기 위해 혼합된 고토석회의 용해도가 낮은 것이 주요 원인이라고 판단하였다. 이상의 연구를 통해 도출된 결과는 추후 각종 수피를 이용한 혼합상토 개발에 유효하게 활용될 것이라고 생각한다.

추가 주요어 : 기상률, 화학성, 용기용수량, 무기물 함량, 물리성

인용문헌

- Argo, W.R. 1998a. Root medium physical properties. HortTechnology 8:481-485.
- Argo, W.R. 1998b. Root medium chemical properties. HortTechnology 8:486-494.
- Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman, London.
- Cataldo, D.A., M. Haren, L.E. Schrader, and V.L. Young. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 6:71-80.
- Chaney, A.L. and E.P. Marback. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinical Chem. 8:130-132.
- Chapman, H.D. and P.F. Pratt. 1961. Method of analysis for soil, plants and waters. Univ. of Calif., Div. Agr. Sci., Berkeley, CA.
- Choi, J.M., J.W. Ahn, J.H. Ku, and Y.B. Lee. 1997. Effect of medium composition on physical properties of soil and seeding growth of red pepper in plug system. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:618-624.
- Choi, J.M., H.J. Chung, and J.S. Choi. 2000. Physico-chemical properties of organic and inorganic materials used as container media. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 18:529-535.
- Choi, J.M., H.J. Chung, B.G. Seo, and C.Y. Song. 1999a. Improved physical properties in rice-hull, saw dust and wood chip by milling and blending of recycled rockwool. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:755-760.
- Choi, J.M., J.H. Chung, and J.S. Choi. 1999b. Physical properties of pine bark affected by peeling method and improving moisture retention capacity. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:363-367.
- Choi, J.M., I.Y. Kim, and B.K. Kim. 2009. Root Substrates. Hackyesa, Daejeon, Korea.
- Fields, J.S., W.C. Fonteno, and B.E. Jackson. 2012. Hydrologic properties of potential wood components for greenhouse substrates. Amer. Soc. Hort. Sci. 2012 Ann. Conf., Miami, July 31-August 3, 2012. (Abstr. 268)
- Fonteno, W.C. and P.V. Nelson. 1990. Physical properties of and plant responses to rockwool-amended media. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:375-381.
- Hanan, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Hendershot, W.H., H. Lalonde, and M. Duquette. 1993. Ion exchange and exchangeable cations, p. 167-176. In: M.R. Carter (ed.). Soil sampling and methods of analysis. Can. Soc. Soil Sci., Lewis Publisher, Toronto.
- Lee, P.O., J.S. Lee and J.M. Choi. 2001. Effect of liming fertilization on changes in medium pH, nutrient concentrations, and seed germination of 'Potomac Red' snapdragon in plug production. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42:596-600.
- Maher, M., M. Prasad, and M. Raviv. 2008. Organic soilless media components, p. 459-504. In: M. Raviv and J.H. Leith (eds.). Soilless culture: Theory and practice. Elsevier, London.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego, CA.
- Milks, R.R., W.C. Fonteno, and R.A. Larson. 1989. Hydrology of horticultural substrates: II. Predicting physical properties of media in containers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:53-56.
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Owen, G.W., B.E. Jackson, and W.C. Fonteno. 2012. Liming requirements for greenhouse substrates containing wood aggregates. Amer. Soc. Hort. Sci. 2012 Ann. Conf., Miami, July 31-August 3, 2012. (Abstr. 264)
- Rowell, D.L. 1994. Soil science: Methods and applications. Longman Science & Technical Bunt Mill, Harlow, England.
- Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1975. Tappi standards and suggested methods. TAPPI.
- Wallach, R., F.F. da Silva, and Y. Chen. 1992. Hydraulic characteristics of Tuff (Scoria) used as a container medium. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117:415-421.
- Warncke, D.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 211:223-225.