

인공지반의 녹화를 위해서 단용 또는 노지토양과 혼합하여 이용되는 인공토양의 특성

허근영 · 심경구

성균관대학교 조경학과

Characteristics of Artificial Soils Used Alone or in a Blend with Field Soil for the Greening of Artificial Ground

Huh, Keun-Young · Shim, Kyung-Ku

Dept. of Landscape Architecture, Sung Kyun Kwan Univ.

ABSTRACT

The aim of this study is evaluate artificial soils which are used alone or in a blend with field soil for the greening of artificial ground. To achieve these, determination of physicochemical properties was made in four artificial media[perlite small grain(PSG), perlite large grain(PLG), crushed porous glass+bark(AS), crushed porous glass(CPG)] used alone and/or in a blend with field soil. then evaluation of their effect on the plant growth of *Ligustrum obtusifolium* and *Syringa vulgaris* were conducted.

In bulk density of root media at field capacity and the saturated hydraulic conductivity, PLG and AS showed good performance. But, PLG was thought to be unsuitable as artificial soil when used alone because of poor plant growth. PLG, AS, and CPG were thought to be good when it is used in a blend with field soil. But, PSG was thought to be unsuitable.

In the result, PSG is recommended as artificial soil which is used alone for greening of artificial ground. PLG is recommended as artificial soil which is used in a blend with field soil. AS is recommended as artificial soil which is used alone and in a blend with field soil. Though CPG+field soil(v/v, 1:1) might be undesirable in consideration of the chemical properties in six months after planting, it was thought to be superior to the other treatments in the plant growth. CPG can be used as artificial soil which is used in a blend with field soil. Follow-up studies are being conducted to investigate their effects on the plant growth of the other plants and the practical use of them in artificial grounds.

Key Words : Artificial Soil, Greening, Artificial Ground, Perlite, Crushed Porous Glass, Bark

I. 서 언

가속적인 경제성장과 산업화로 도시는 급속히 팽창하였고 그 결과로 인하여 도시는 고층화되고 입체화되었다. 인공지반의 녹화는 이와 같은 도시에 효율적이고 쾌적한 녹지공간을 조성하려는 맥락에서 이루어졌다. 이미 많은 건축물의 옥상과 지하주차장 상부가 녹화되었고, 지속적으로 인공지반의 녹화가 이루어지고 있다. 또한, 건축물들이 대형화하며 고층화되고 그 형태도 다양해지면서, 녹지공간을 조성하기 위한 인공지반은 점차 확대되고 있다. 그런데, 앞서 언급된 인공지반은 인위적으로 조성된 지반이며, 인공지반의 녹화는 인공구조물 위에 인위적으로 토양층을 조성하고 식재하는 것을 의미한다. 따라서 인공지반의 녹화는 특수한 녹화기술이 요구되어지며, 이미 인공지반의 녹화와 관련한 연구들이 다각적인 측면에서 진행되어 왔고, 도시 속에 새로운 녹음을 제공하기 위한 인공지반의 녹화기술은 지속적인 발전이 요구되고 있다(김유일 외, 1997).

먼저 인공지반의 녹화를 위해서 가장 고려해야 하는 기술적 사항은 건물에 미치는 하중과 식물의 생육에 관한 것이라고 할 수 있다. 일반적으로 토양의 하중이 건축물에 미치는 영향을 최소화하기 위해서 식재 토심을 낮게 조성하는 것이 바람직하다. 그러나, 인공지반은 자연지반과 단절되어 있기 때문에 지하로부터 모관수의 상승이 없고, 구조물의 열전도율이 높기 때문에 기온에 대한 변동의 폭이 크며, 그 외의 환경조건도 불량하여 식물의 생육을 보장할 수 있는 충분한 식재 토심이 요구된다. 따라서, 인공지반 녹화를 전제로 하는 건축물은 설계 당시부터 충분한 구조적 검토를 수행하여 하중에 대한 문제가 발생되지 않도록 해야 하며, 건축물에 미치는 토양의 하중을 최소화하기 위해서 경량의 인공토양을 사용하는 것이 바람직하다. 그리고, 경량의 인공토양은 최소 토심 확보로 인해 강우 또는 과잉 관수시 쉽게 포화될 수 있기 때문에 충분한 대공극을 유지하고 있어서 배수성 및 통기성이 우수해야 하며, 토양수를 보유할 수 있는 토양의 양이 한정되기 때문에 배수성 및 통기성을 희생시키지 않는 조건에서 보수성이 높아야 한다(박철수 외, 1995; 황경희 외, 1997).

그러나, 인공지반 녹화를 위해서 가장 고려해야 할 사항 중의 하나인 인공지반 녹화용 인공토양들의 특성

에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 특히, 인공토양의 가격이 고가이기 때문에, 일부에서는 인공지반 녹화시 노지토양(마사토)을 이용하거나 인공토양과 노지토양을 혼합하여 사용하고 있는 실정인데, 인공지반 조성에서 노지토양, 인공토양, 그리고 인공토양과 노지토양 혼합물의 특성에 관한 연구결과가 부족한 상황이다. 따라서, 본 연구는 인공지반 녹화시 주로 이용되고 있는 인공토양 중에서 무기질만으로 이루어진 펄라이트 소립(PSG), 펄라이트 대립(PLG), 다공질 유리 파쇄물(Crushed Porous Glass: CPG), 그리고 무기질과 유기질로 구성된 CPG+수피(bark) 혼합물의 단용 또는 노지토양과 혼용시 이화학적 특성과 식물 생육적 특성을 구명하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료

PSG, PLG, CPG+수피(bark) 혼합물의 이화학적 특성을 분석하고, PSG, PSL, CPG+수피 혼합물을 노지토양과 용적비 1:1로 혼합한 시료들과 노지토양의 이화학적 특성을 분석하였다. CPG는 약 100 μ m 이하의 유리 미분에 발포제(탄산칼슘)와 착색제(산화철)를 증량비 100.1-2:1로 첨가하여 750-850 $^{\circ}$ C의 온도조건에서 발포성형한 후, 분쇄하고 입도조절한 다공질의 경량체이다. 인공토양과 노지토양의 혼합비는 인공토양을 노지토양과 혼용하여 시공하는 현장에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 혼합비로 하였다. 단용으로 사용되고 있지는 않지만, 노지토양과 혼합하면 이용이 가

Table 1. The abbreviation of field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

Materials	Abbreviation
Field soil	-
Perlite small gran	PSG
Perlite small gran+field soil(v/v, 1.1)	PSGF
Perlite large gran	PLG
Perlite large gran+field soil(v/v, 1.1)	PLGF
Crushed porous glass+bark(v/v, 6.4)	AS
Crushed porous glass+bark+field soil(v/v, 3.2*5)	ASF
Crushed porous glass	CPG
Crushed porous glass+field soil(v/v, 1*1)	CPGF

능할 것으로 판단되는 CPG의 이화학적 특성을 분석하고, CPG와 노지토양을 용적비 1:1로 혼합한 시료의 이화학적 특성을 분석하였다. CPG를 제외한 모든 시료에 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*)와 라일락(*Syringa vulgaris*)을 식재하고 식물 생육적 특성을 분석하였다.

2. 이화학적 특성 분석

시료들의 이화학적 특성 분석은 농촌진흥청 농업과학연구소에 의뢰하였으며, 물리적 특성의 분석을 위해서 입도분포, 건조시 용적밀도, 공극률, 포장용수량, 기상률 및 포화투수계수를 측정하였다. 화학적 특성의 분석을 위해서는 pH, 전기전도도(EC), 유기탄소(Org. C) 함량, 전질소(T-N) 함량, 유효인산(Bray 1-P) 함량, 양이온치환용량(CEC) 및 치환성 양이온(K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+) 함량을 측정하였다.

입도분포는 두가지로 구분하여 측정하였다. 동일한 입자밀도를 가지는 재료만으로 구성된 노지토양, PSG, PLG, CPG는 입도분리기(Benmedow, 1994)에서 10분간 교반한 후, 각 입도분포별 중량비로 산출하였다. 상이한 입자밀도를 가지는 재료들이 혼합된 PSGF, PLGF, AS, ASF, CPGF는 Table 2와 같은 방법으로 산출하였다. 입자 크기를 구분하는 기준은 Bilderback(1982), Fonteno *et al.*(1981), 그리고 Mazur *et al.*(1975)의 연구방법을 이용하였다. 입도분포를 제외한 나머지 물리적 특성 분석은 측정시 채현성을 확보하기 위해서, 본 실험을 위해 채취한 노지토양을 다짐하며 얻어진 기준을 근거로, 풍건 상태의 시료를 2인치 코어(2' core, 100cm)에 넣은 후 충전기(Shimadze, 1984)를 이용하여 0.25kg/cm²의 압력으로 충전하고 그 특성을 분석하였다. 건조시 용적밀도는 건조기에서 건조한 시료의 단위용적당 중량으로써, 열건토양의 중량/열건토양의 용량으로 산출하였다. 공극률은 2인치 core에 충전한 토양을 48시간 동안 저면관수 방법으로 포화시킨 후 토양이 보유한 총수분량으로 산출하였으며, 포장용수량은 48시간 동안 포화시킨 후 다시 대기압상태에서 48시간을 배수시킨 후 토양이 보유한 수분량으로 계산하였다. 포화투수계수는 각 토양을 48시간동안 수조에 담가둔 후에, 정수위법으로

측정하였다(Klute, 1986). pH는 1:5(시료:증류수) 방법으로 측정하였고, pH를 측정한 용액을 이용하여 EC meter로 전기전도도를 측정하였다. 유기탄소(Org. C) 함량은 Walkley-Black 법으로, 전질소(T-N)는 Kjeldahl method로, 유효인산은 Bray 제 1 용액으로 침출하고 ascorbic acid를 사용하여 비색정량하였다. 양이온치환용량(CEC)은 1N NH_4OAc (pH 7.0)로 포화시키고, ethanol로 과잉의 NH_4^+ 를 제거한 후 증류하여 정량하였다. 치환성 양이온(K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+) 함량은 1N NH_4OAc (pH 7.0)로 침출하여 원자흡광분석기로 정량하였다(농촌기술연구소, 1980). 그리고, 각 시료의 이화학적 특성 분석은 3회 분석 실시한 분석치를 평균하여 사용하였다.

Table 2. The estimative particle size distribution of mixture

Particle size (mm)	Distribution (weight, %)		Mixture of A and B (v/v, m'n)
	A	B	
> 560	a	g	$a \times m + g \times n$
335 - 560	b	h	$b \times m + h \times n$
170 - 335	c	i	$c \times m + i \times n$
085 - 170	d	j	$d \times m + j \times n$
050 - 085	e	k	$e \times m + k \times n$
< 050	f	l	$f \times m + l \times n$

3. 식물 생육적 특성 분석

1999년 1월 7일부터 같은 해 8월 18일까지 하우스(5m × 7m) 내에서 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*)와 라일락(*Syringa vulgaris*)을 이용하여 실험을 수행하였다. 쥐똥나무는 3년생 삼목묘이고, 라일락은 2년생 삼목묘였는데, 재배농가에서 구입한 후 균일한 개체를 선발하고, 뿌리에 붙은 토양을 제거한 후 실험재료로 이용하였다. 쥐똥나무는 112주의 균일한 식물체를 선발하여 1월 7일에 각각의 시료가 채워진 포트(70L)에 식재하였다(8처리 × 2반복/처리 × 7식물체/반복). 라일락은 128주의 균일한 식물체를 선발하여 1월 7일에 각각의 시료가 채워진 포트(70L)에 식재하였다(8처리 × 2반복/처리 × 8식물체/반복). 식재한 후에 쥐똥나무와 라일락은 토양면으로부터 각각 60cm, 40cm 높이에서 주간(主幹)을 절단하고 주간

(主幹)에 붙은 가지도 모두 제거하였다. 생육조사는 식재후 생육조사, 관수중단전 생육조사, 관수중단후 생육조사로 구분하여 수행하였다.

1) 식재후 생육조사

각 포트에서 초기 신초 발달이 균일한 2-3주를 선발하여 인식번호를 표시하고, 1개월 간격으로 주간(主幹)에서 자란 신초의 총길이를 측정하였으며, 다음과 같은 방법으로 상대 신초 성장률을 산출하였다: $L_2 - L_1 / t_2 - t_1$, 여기서 L_1 과 L_2 는 일정 시간(t_1 과 t_2)에서의 총신초 길이이다(Wood *et al.*, 1994). 조사 기간중 비가림한 비닐 하우스의 평균온도는 $26 \pm 3^\circ\text{C}$ 였고, 관수는 오전에 두상살수하였으며, 관수회수는 1월에서 2월까지 5일간격, 3월에서 5월까지 3일 간격, 6월에서 7월까지 2일 간격으로 1회 관수하였고, 관수량은 5L였으며, 비료는 공급하지 않았다.

2) 관수중단전 생육조사

관수를 중단하기 전, 인식번호를 가진 식물체에 대하여 7월 5일부터 3일간 총엽수(total leaf number), 총엽 생체중(total leaf fresh weight), 총신초 길이(total shoot length), 총신초 생체중(total shoot fresh weight), 뿌리 건물중(root dry weight)을 측정 또는 분석하였고, 통계처리는 Duncan의 다중범위검정(유의수준, 5%)으로 하였다.

3) 관수중단후 생육조사

7월 8일부터 6주동안 각 처리내에서 한 반복은 관수를 실시하고 다른 한 반복은 관수를 중단한 후에, 일주일 간격으로 각 처리내의 상대 엽 수분함량을 측정하여 각 시료에서 자란 식물체의 내건성을 분석하고자 하였다(Wood *et al.*, 1994). 상대 엽 수분함량의 조사방법은 오후 2-3시에 각 식물체의 성엽(成葉)중에서 3개를 채취하여 엽생체중을 측정하고, 이것을 70°C 에서 건조시킨 후 엽건물중을 측정하였다(Wood *et al.*, 1994). 그리고, 상대 엽 수분함량은 다음과 같이 산출되었다: (위조중 - 건물중)/(생체중 - 건물중) \times 100(Bennett *et al.*, 1987). 조사기간중 관수는 관수를 실시하는 포트에만 2일 간격으로 5L씩 공급하였다.

4. 토양 온도 및 토양의 화학적 특성 변화 분석

1) 토양 온도

겨울철의 토양 온도 조사는 2월 2일부터 5일간 오전 7-8시에 노지토양과 나머지 시료들에서 수행되었으며, 여름철의 토양 온도 조사는 7월 12일부터 5일간 오후 2-3시에 수행되었다. 토양 온도 측정은 토양표면으로부터 15cm 깊이에서 수행되었다(이경준, 1993).

2) 토양의 화학적 특성 변화

식재후 6개월이 경과한 후에 각 토양 시료를 채취하여 화학적 특성을 분석하고 이것을 식재 전에 분석된 각 토양 시료의 화학적 특성과 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 이화학적 특성 분석

입도분포의 분석에서 노지토양은 3.35mm이하의 입자가 일정하게 분포하고 있으며, PSG는 1.70-3.35mm 입자가 41%를 차지하고 있고, PLG는 1.70-3.35mm 입자가 80%를 차지하고 있으며, AS는 3.35mm이상의 입자가 55%를 차지하였다(Table 3). PSGF는 PSG에 비해 1.70-3.35mm 입자가 9%정도 감소하고 1.7mm이하의 입자가 8%정도 증가하였다. PLGF는 PLG에 비해 1.70-3.35mm 입자가 28%정도 감소하고 1.7mm이하의 입자가 22%정도 증가하였다. ASF는 AS에 비해 3.35mm이상의 입자가 24%정도 감소하고 1.7mm이하의 입자가 22%정도 증가하였다. 1.7mm이상의 입자만으로 구성된 CPG와 노지토양을 부피비 1:1로 혼합된 CPGF는 1.7mm이하의 입자가 46%를 차지하고 있었다.

건조시 노지토양의 용적밀도는 $1.60\text{g}/\text{cm}^3$ 이며, 인공토양(PSG, PLG, AS)의 용적밀도는 $0.23-0.38\text{g}/\text{cm}^3$ 이고, 인공토양과 노지토양을 부피비 1:1로 혼합한 것(PSGF, PLGF, ASF, CPGF)은 $0.88-1.03\text{g}/\text{cm}^3$ 로 나타났다(Table 4). 건조시 인공토양은 노지토양에 비해 1m^3 당 1,220-1,370kg을 경량화할 수 있으며, 인공토양과 노지토양을 부피비 1:1로 혼합한 처리들은 1m^3 당 570-720kg을 경량화할 수 있는 것으로

Table 3 Particle size distribution of field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

Particle size (mm)	Distribution (weight, %)								
	Field soil	PSG ^a	PSGF ^b	PLG ^c	PLGF ^d	AS ^e	ASF ^f	CPGF ^g	CPG
> 5.60	1	0	1	0	1	35	18	29	57
3.35 - 5.60	5	1	3	9	7	20	13	15	25
1.70 - 3.35	23	41	32	80	52	17	20	21	18
0.85 - 1.70	26	27	27	9	18	6	16	13	0
0.50 - 0.85	18	7	13	1	10	6	12	19	0
< 0.50	27	24	26	1	14	16	22	14	0

^a Perlite small grain: PSGF Perlite small grain+field soil(v/v, 1:1).
^b Perlite large grain+field soil(v/v, 1:1);
^c [crushed porous glass+bark(v/v, 6:4)]+field soil(v/v, 1:1).
^d crushed porous glass+field soil(v/v, 1:1)

^e Perlite large grain;
^f crushed porous glass+bark(6:4, v/v);
^g crushed porous glass;

나타났다. 수분포화시 노지토양의 용적밀도는 1.99g/cm³이며, 인공토양의 용적밀도는 0.92-1.05g/cm³이고, 인공토양과 노지토양을 부피비 1:1로 혼합한 것은 1.35-1.55g/cm³로 나타났다. 수분포화시 인공토양은 노지토양과 비교하여 1m³ 당 940-1,070kg을 경량화할 수 있으며, 인공토양과 노지토양을 부피비 1:1로 혼합한 것은 1m³ 당 440-640kg을 경량화할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나, 인공지반에서 토양이 완전히 건조하거나 수분으로 완전히 포화된 경우는 드물고, 일반적으로 고려되어야 할 포장용수시 용적밀도는 노지토양이 1.82g/cm³이며, PSG가 0.76g/cm³이고, PLG가 0.69g/cm³이며, AS가 0.75g/cm³로 측정되었다. 그리고, 인공토양과 노지토양을 부피비 1:1로 혼합한 PSGF가 1.23g/cm³이고, PLGF가 1.13g/cm³이며, ASF가 1.33g/cm³이고, CPGF가 1.27g/cm³로 나타났다. 포장용수시 노지토양과 비교하여 PSG는 1,060kg, PLG는 1,130kg, AS는 1,070kg을 경량화할 수 있으며, 인공토양과 노지토양을 부피비 1:1로 혼합한 PSGF는 590kg, PLGF는 690kg, ASF는 520kg, CPGF가 550kg을 경량화시킬 수 있는 것으로 나타났다.

포화투수계수는 AS > ASF > PLG > CPGF >

PLGF > PSG > 노지토양 > PSGF 순으로 나타났고, AS, ASF, PLG, 그리고 CPGF는 18.7×10⁻²cm/s, 18.610⁻²cm/s, 13.210⁻²cm/s, 12.310⁻²cm/s로 측정되어 포화투수계수가 높았다. 포화투수계수가 높은 토양은 중력수를 신속하게 배수시키므로 강우 또는 과잉관수시 인공지반에 미치는 무리한 하중을 빠르게 경감시킬 수 있으며, 신속한 배수로 인한 토양 통기성 증가로 식물에 긍정적인 효과를 미친다. 보수력을 나타내는 포장용수량은 PSG > PLG > AS > ASF > PLGF > CPGF > PSGF > 노지토양 순으로 측정되어 인공토양의 보수력이 가장 높고, 다음으로 인공토양과 노지토양 혼합물이 높으며, 노지토양이 가장 낮게 나타났다. 인공토양을 단독으로 이용하거나 노지토양과 혼합하여 인공지반에 이용할 경우 보수성을 증가시킬 수 있음을 의미하고 있다.

인공지반에 미치는 하중을 고려할 때에는 포장용수시 용적밀도와 포화투수계수를 동시에 고려하는 것이 바람직하며, 이와 같은 기준으로 인공지반을 조성할 때, 인공토양만으로 조성할 경우에는 PLG와 AS가 적합하다고 판단되었다. 그리고, 인공토양의 단독과 노지토양과 혼용시의 물리적 특성을 살펴보면, PSG는 노지토양과 혼합하면 상대적으로 용적밀도의 증가량이

Table 4. Physical properties of field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

	Unit	Field soil	PSG	PSGF	PLG	PLGF	AS	ASF	CPGF	CPG
Bulk density	g/cm ³	1.60	0.25	1.01	0.23	0.88	0.38	0.97	1.03	0.43
Porosity	%	39.2	69.3	46.7	69.0	47.7	67.8	58.2	48.9	57.5
Field capacity	%	22.5	51.6	22.8	46.1	25.4	37.6	36.1	24.0	21.2
Saturated hydraulic conductivity	10-2 cm/s	1.1	1.3	0.4	13.2	4.5	18.7	18.6	12.3	81.3

Table 5. Chemical properties of field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

	Unit	Field soil	PSG	PSGF	PLG	PLGF	AS	ASF	CPGF	CPG
pH		6.1	8.3	6.5	8.6	6.3	7.0	7.1	7.3	8.7
EC	mS/cm	0.23	0.5	0.12	0.2	0.08	0.71	0.45	0.52	1.07
Org C	g/kg	0	0	0.8	0	0.5	62.6	18.4	0.6	0
T-N	g/kg	0	0	0.06	0	0.12	0.73	0.22	0.07	0
Bray 1-P	mg/kg	5.6	2.0	1.8	0.5	1.8	7.3	6.5	5.2	2.0
CEC	cmol/kg	3.0	0.9	4.7	1.0	5.0	11.2	4.5	2.7	0.6
Ex-Ca	cmol/kg	5.19	0.42	0.67	0.2	0.83	4.74	3.85	4.25	2.14
Ex-Mg	cmol/kg	0.33	0.08	0.26	0.04	0.26	0.67	0.32	0.26	0.13
Ex-K	cmol/kg	0.02	0.06	0.05	0.02	0.04	0.31	0.02	0.04	0
Ex-Na	cmol/kg	0.09	0.58	0.14	0.28	0.12	0.42	0.18	0.2	0.43

높게 나타나며, 전공극과 포장용수량의 감소량도 높게 나타나고, 포화투수계수가 노지토양보다도 낮게 나타났다. PLG는 노지토양과 혼합하면 상대적으로 용적 밀도의 증가량이 낮게 나타났다. AS는 노지토양과 혼합하면 상대적으로 용적밀도의 증가량도 높지 않고 전공극과 포장용수량의 감소도 크게 나타나지 않았다. 따라서, 인공토양을 노지토양과 혼합하여 조성할 경우에는 PLGF, ASF, CPGF가 적합하다고 판단되었다.

토양의 pH를 살펴볼 때, PSG, PLG는 알칼리성을 나타냈고, 노지토양, PSGF, PLGF는 약산성을 나타냈으며, AS와 ASF, CPGF는 중성을 나타냈다 (Table 5). 전기전도도는 모든 시료가 1mS/cm 이하로 양호한 수준으로 나타났다. 유기탄소(Org. C)는 수피(bark)가 함유된 AS와 ASF에서 그 함량에 따라서 상대적으로 높게 나타났다. AS와 ASF는 양이온치환용량(CEC), 전질소, 유효인산 함량이 상대적으로 높게 나타났다. 인공토양의 단용과 노지토양과 혼용시의 화학적 특성을 살펴보면, PSG와 PLG는 노지토양과 혼합하면 상대적으로 pH가 낮아지며, 전기전도도가 감소하였고, 양이온치환용량과 치환성 양이온 함량이 증가하였다. AS는 pH의 변화는 크게 나타나지 않았고 전기전도도가 감소하였으며, 양이온치환용량과 치환성 양이온 함량이 감소하였다.

2 식물 생육적 특성 분석

1) 식재후 생육조사

쥐똥나무에서 식재후 48일이 경과한 초기의 신초 생장률은 노지토양 > AS > PLGF > PSG > CPGF

> ASF > PSGF > PLG 순으로 나타났다(Table 6). 초기의 신초 생장률은 일반적으로 식재후의 활착 정도를 평가할 수 있다고 판단하였는데, 노지토양, AS(인공토양), PLGF(인공토양+노지토양)에서 식재후 쥐똥나무의 활착이 상대적으로 양호한 것으로 보였다. 모든 시료에서 식재후 82일까지는 빠른 신초 생장률을 보였으며, 이 시기에는 CPGF와 PLGF에서 자란 것이 높은 신초 생장률을 나타냈다. 인공토양과 노지토양 혼합물에서 자란 것은 식재후 114일이 경과하여도 노지토양보다 높은 신초 생장률을 유지하였고, 노지토양에서 자란 것의 신초 생장률은 급격히 감소하였다. 식재후 181일이 경과한 후, 전체적으로 신초 생장률이 둔화되었다.

라일락에서 식재후 53일이 경과한 초기의 신초 생장률은 CPGF > PSGF = AS > PLGF > PLG > ASF > 노지토양 > PSG 순으로 나타났다(Table

Table 6 Relative shoot growth rates of *Ligustrum obtusifolium* grown in field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

Materials \ DAP*	48	82	114	181
	Field soil	1.64	4.13	0.80
PSG	1.27	4.32	1.77	1.01
PSGF	0.72	4.02	2.89	0.39
PLG	0.47	3.20	1.86	0.45
PLGF	1.50	5.20	2.50	0.44
AS	1.57	3.23	1.75	0.22
ASF	0.91	4.00	3.25	0.13
CPGF	1.15	5.98	3.05	0.60

*: Days after planting

7). CPGF(인공토양+노지토양), PSGF(인공토양+노지토양), AS(인공토양), PLGF(인공토양+노지토양), PLG(인공토양)에서 식재후 활착이 상대적으로 양호한 것으로 보였다. 모든 시료에서 식재후 81일까지는 빠른 신초 성장률을 보였으며, 이 시기에는 CPGF, AS, ASF, PLGF에서 자란 것이 높은 신초 성장률을 나타냈다. 식재후 113일이 경과하면서 신초 성장률이 둔화되었으며, AS와 CPGF에서 자란 것은 상대적으로 높은 신초 성장률을 유지하였다. 식재후 181일이 경과한 후, 전체적으로 신초 성장률이 둔화되었고, AS에서 자란 것은 지속적으로 높은 신초 성장률을 나타냈다.

Table 7. Relative shoot growth rates of *Syringa vulgaris* grown in field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

DAP* Materials	53	81	113	181
Field soil	0.46	0.65	0.26	0.04
PSG	0.40	0.69	0.29	0.04
PSGF	0.66	0.70	0.06	0.11
PLG	0.61	0.53	0.12	-0.01
PLGF	0.63	0.78	-0.11	0.02
AS	0.66	0.81	0.39	0.17
ASF	0.56	0.81	0.12	0.04
CPGF	0.73	1.54	0.36	0.04

*: Days after planting

2) 관수중단전 생육조사

쥐똥나무의 관수중단전 생육량을 전체적으로 살펴볼 때, CPGF에서 자란 것은 총엽수, 총엽 생체중, 총신초 길이, 총신초 생체중, 뿌리 건물중 모두에서 가장 높은 생육량을 나타냈으며, 통계적으로도 유의성이 있는 것으로 나타났다(Table 8). PLGF와 PSG에서 자란 것도 상대적으로 높은 생육량을 나타냈다. PLG에서 자란 것은 가장 낮은 생육량을 나타냈으며, 통계적으로도 유의성이 있는 것으로 나타났고, 노지토양에서 자란 것도 상대적으로 낮은 생육량을 나타냈다.

라일락의 관수중단전 생육량을 전체적으로 살펴볼 때, AS에서 자란 것은 총엽수, 총엽 생체중, 총신초 길이, 총신초 생체중, 뿌리 건물중 모두에서 가장 높은 생육량을 나타냈으며, 통계적으로도 유의성이 있는 것으로 나타났다(Table 9). CPGF와 노지토양에서 자란 것은 쥐똥나무에서와 같이 상대적으로 높은 생육량을 나타냈다. PLG에서 자란 것은 쥐똥나무에서와 같이 가장 낮은 생육량을 나타냈으며, 통계적으로도 유의성이 있는 것으로 나타났다.

전체적으로 살펴볼 때, PLG를 제외하고 PSG와 AS에서 자란 쥐똥나무와 라일락의 뿌리 건물중은 상대적으로 PSGF와 ASF에서 자란 것보다 높은 경향을 나타냈다. 이와 관련한 연구에서 Veen(1982)은 근권부에서 뿌리의 신장을 억제하는 기계적인 힘이 증가하면, 뿌리에서는 에틸렌(ethylene)이 발생되며, 이 물질에 의해서 뿌리를 구성하는 세포들이 작고 단단해진다고 하였다. 이것은 토양의 용적밀도가 증가하면 뿌

Table 8. Total leaf number, total leaf fresh weight, total shoot length, total shoot fresh weight, and root dry weight of *Ligustrum obtusifolium* grown in field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

Materials	Total leaf number	Total leaf fresh weight(g)	Total shoot length(cm)	Total shoot fresh weight(g)	Root dry weight(g)
Field soil	227ab*	20.11b	288.88abc	8.91bc	32.41ab
PSG	320a	31.2a	333.16abc	13.55abc	30.94ab
PSGF	183b	26.79ab	290.80abc	13.03ab	27.90ab
PLG	210b	22.95ab	221.26c	7.39c	24.94b
PLGF	270ab	32.25ab	359.66ab	15.20a	28.25ab
AS	215b	27.67ab	253.68bc	10.75abc	36.96ab
ASF	240ab	25.99ab	293.54abc	11.27ab	29.24ab
CPGF	308a	33.85a	397.28a	15.40a	39.68a

*: Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level

Table 9 Total leaf number, total leaf fresh weight, total shoot length, total shoot fresh weight, and root dry weight of *Syringa vulgaris* grown in field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

Materials	Total leaf number	Total leaf fresh weight(g)	Total shoot length(cm)	Total shoot fresh weight(g)	Root dry weight(g)
Field soil	40ab*	11.60a	54.96b	2.33ab	12.47ab
PSG	33ab	11.36a	53.02b	2.25ab	11.05ab
PSGF	44ab	9.71a	65.24ab	2.05ab	9.65ab
PLG	26b	9.96a	50.8b	2.17ab	9.04b
PLGF	35ab	9.76a	53.50b	1.50b	9.26ab
AS	53a	15.88a	82.58ab	4.44a	15.17a
ASF	31ab	9.40a	59.32b	2.66ab	12.47ab
CPGF	46ab	13.96a	96.88a	4.27a	12.13ab

*: Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

리의 신장이 상대적으로 감소한다는 의미이다. 상대적으로 큰 입자를 많이 가지며 용적밀도가 낮은 인공토양과 작은 입자를 많이 가지며 용적밀도가 높은 노지토양을 혼합하여 이용하면 뿌리의 신장에 대한 기계적인 저항이 증가하여 단용의 인공토양에 비해 뿌리의 신장이 억제되기 때문이라고 판단하였다(Veen, 1982). 토양의 기계적 저항은 적지만, PLG에서 자란 쥐똥나무와 라일락은 생육이 불량하여 뿌리의 생육량이 상대적으로 PLGF보다 낮게 나타난 것으로 보였다.

3) 관수중단후 생육조사

생육중인 쥐똥나무의 상대 엽 수분함량을 살펴볼 때, 노지토양과 PSG에서 자란 것은 전체적으로 낮은 수준의 상대 엽 수분함량을 나타냈으며, 잎이 떨어지는 현상이 나타났다(Table 10). PLG에서 자란 것도 낮은

수준의 상대 엽 수분함량을 나타냈으며, 잎이 떨어지는 현상이 나타났다. AS에서 자란 것은 초기 상대 엽 수분함량이 높고, 조사기간 중간에 약간 감소는 하는 경향이 나타났지만 최종적으로 상대 엽 수분함량이 높았으며, 잎이 떨어지는 현상은 나타나지 않았다. PSGF, PLGF, ASF 및 CPGF에서 자란 것은 모두 잎이 떨어지는 현상이 나타났는데, PSGF에서 자란 것이 심하게 나타났고, 다음이 PLGF에서 자란 것이며, ASF, CPGF에서 자란 것은 약하게 나타났다.

생육중인 라일락의 상대 엽 수분함량을 살펴볼 때, 노지토양에서 자란 것은 전체적으로 상대 엽 수분함량이 낮게 나타났으며, 잎말림 현상이 나타났다(Table 11). PSG에서 자란 것은 상대 엽 수분함량이 조사기간중 약간 감소하였고, 최종적으로 낮은 상대 엽 수분함량을 나타냈으며, 잎말림 현상이 나타났다. PSGF에서 자란 것은 상대 엽 수분함량이 조사기간중 지속적으로 낮게 나타났으며, 잎말림 현상이 나타났다. PLG에서 자란 것은 상대 엽 수분함량이 조사기간중 낮게 나타났으며, 잎말림 현상이 나타났다. PLGF에서 자란 것은 상대 엽 수분함량이 조사기간중 약간의 감소가 있었지만, 전체적으로 관수중단후에도 정상적으로 관수된 것과 엽 수분함량의 차이는 나타나지 않았다. 그러나 PLGF에서 자란 것도 잎말림 현상이 나타났다. AS에서 자란 것은 상대 엽 수분함량이 조사기간중 약간의 감소가 있었지만, 전체적으로 관수중단후에도 정상적으로 관수된 것과 엽 수분함량의 차이는 나타나지 않았고 잎말림 현상도 나타나지 않았다. ASF와 CPGF에서 자란 것은 상대 엽 수분함량이 조사기간중

Table 10. Relative leaf water contents of *Ligustrum obtusifolium* grown in field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

Materials \ DAP ^s	14	19	28	33	41
Field soil	0.97	0.75	0.93	0.57	0.69
PSG	0.86	0.76	1.00	0.92	0.51
PSGF	1.16	1.27	0.95	0.89	1.19
PLG	0.79	0.71	0.89	0.80	0.92
PLGF	0.85	1.13	0.98	1.26	1.46
AS	1.28	1.28	0.91	1.07	1.17
ASF	1.38	1.03	0.95	1.04	1.18
CPGF	1.05	0.96	0.93	1.03	0.91

*: Days after drought initiation

약간의 감소가 있었지만, 전체적으로 관수중단후에도 정상적으로 관수된 것과 열 수분함량의 차이는 나타나지 않았다. 그러나, PLGF에서와 같이 ASF와 CPGF에서 자란 것도 잎말림 현상이 나타났다. 모든 시료에서 잎이 떨어지는 현상은 나타나지 않았다. Hiroshi *et al.*(1991)의 연구에 통하여 다공질 유리 파쇄물은 습한 상태에서 시간이 경과하며 수분흡수량이 증가함을 알 수 있었고, Spomer(1975)의 연구를 통하여 수피가 수분을 장기간 보유할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 일반적으로 수피와 같은 유기물은 분해되며 토양중의 수분흡수량을 증가시킨다. 이와 같은 원인에 의해서 AS와 ASF의 초기 포장용수량이 PSG와 PLG보다 상대적으로 낮지만, 관수중단후에도 쥐똥나무와 라일락의 생육을 장기간 양호하게 유지시켜 주는 것으로 판단되었다(Hiroshi *et al.*, 1991; Spomer, 1975).

Table 11. Relative leaf water contents of *Syringa vulgaris* grown in field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil

Materials \ DAPT*	14	19	28	33	41
Field soil	0.94	1.05	0.89	0.79	0.93
PSG	1.02	0.74	1.08	1.20	0.77
PSGF	0.80	0.76	0.99	0.85	0.58
PLG	1.02	0.86	1.18	1.10	1.32
PLGF	1.50	0.93	1.43	1.75	1.33
AS	0.88	1.13	1.13	0.91	2.07
ASF	1.12	0.92	1.06	1.10	1.32
CPGF	0.96	1.38	0.99	1.07	1.47

*: Days after drought initiation

Table 12. Changes of soil temperature of field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil in winter and summer(Unit: °C)

Materials	Winter(month/day)					Summer(month/day)				
	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6	7/12	7/14	7/15	7/17	7/18
Atmosphere	4.5	4	5	4	8.5	32.5	35	31	35	39.5
Field soil	6.5	-1	-0.5	1	7.5	31	31	26	29	31.5
PSG	10	3	2.5	2	8.5	27	22.3	22	22	19.5
PSGF	11.5	8	8	3	8	23	28	25	29	26
PLG	11	2	2	3	11	22	26	23	25	28.5
PLGF	12.5	11	5.5	2.5	7.5	24	29	24.5	27.5	29
AS	11	8	8	7.5	10	26.5	28	23.5	26	32
ASF	11	6	3.5	0	7.5	32	32	26	29	32
CPGF	10	1	0.5	0.5	7	30	31	28	27.5	30

3. 토양온도 및 토양의 화학적 특성 변화 분석

1) 토양온도

겨울철의 토양온도를 조사한 결과, 노지토양의 토양온도와 비교하여 PSG는 1-4°C, PLG는 2-4.5°C, AS는 2.5-9°C 정도 높게 나타났고, PSGF는 0.5-9°C, PLGF는 0-12°C, ASF는 -1-7°C, CPGF는 -0.5-3.5°C 정도 높게 나타났다(Table 12) 인공토양의 보온효과는 AS > PLG > PSG 순으로 나타났다. 그리고 상대적으로 인공토양보다 낮지만, 인공토양과 노지토양 혼합물도 보온효과가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 보온효과는 필라이트와 다공질 유리 파쇄물이 근본적으로 다공성이고 노지토양과 비교하여 토양의 공극률이 높아서 상대적으로 열전도율이 낮기 때문이다. 여름철의 토양온도를 조사한 결과, 노지토양의 토양온도와 비교하여 PSG는 4-12°C, PLG는 3-9°C, AS는 -1.5-4.5°C 정도 낮게 나타났고, PSGF는 0.5-9°C, PLGF는 0-12°C, ASF는 -1-0°C, CPGF는 -3-1.5°C 정도 낮게 나타났다. 인공토양의 단열효과는 PSG > PLG > AS 순으로 나타났는데, 겨울철과 비교하여 차이가 나타나는 것은 AS의 토양색에 의한 영향으로 보였다. AS는 토양색에 의하여 단열효과가 경감되어 노지토양과 유사한 토양온도를 나타낸 것으로 보였다. PSGF와 PLGF는 상대적으로 PSG와 PLG보다 낮지만 단열효과가 나타났다. 그러나, ASF와 CPGF는 단열효과가 거의 나타나지 않는 것으로 나타났는데, 토양색에 의하여 단열효과가 경감된 것으로 보였다.

Table 13. Chemical properties of field soil, artificial soils, and the mixtures of artificial soil and field soil determined at 6 months after planting

	Unit	field soil	PSG	PSGF	PLG	PLGF	AS	ASF	CPGF
pH		7.3(6.1)*	6.9(8.3)	7.5(6.5)	7.1(8.6)	6.8(6.3)	7.0(7.0)	7.2(7.1)	8.4(7.3)
EC	mS/cm	0.19(0.23)	1.31(0.5)	0.49(0.12)	1.76(0.2)	0.37(0.08)	1.26(0.71)	0.61(0.45)	1.00(0.52)
Org.C		1.3(0)	2.3(0)	1.7(0.8)	0.9(0)	1.3(0.5)	59.0(62.6)	24.5(18.4)	0.7(0.6)
T-N	g/kg	0.1(0)	0.18(0)	0.11(0.06)	0.16(0)	0.07(0.12)	0.89(0.73)	0.38(0.22)	0.05(0.07)
Bray 1-P	mg/kg	3.0(5.6)	0.8(2.0)	5.7(1.8)	0.9(0.5)	1.6(1.8)	8.7(7.3)	3.3(6.5)	1.7(5.2)
CEC	cmol/kg	5.0(3.0)	1.1(0.9)	5.7(4.7)	2.3(1.0)	8.2(5.0)	16.2(11.2)	6.9(4.5)	3.6(2.7)
Ex-Ca	cmol/kg	3.01(5.19)	3.28(0.42)	7.02(0.67)	4.96(0.2)	1.99(0.83)	9.07(4.74)	4.32(3.85)	4.06(4.25)
Ex-Mg	cmol/kg	0.41(0.33)	0.13(0.08)	0.47(0.26)	0.24(0.04)	0.14(0.26)	1.09(0.67)	0.43(0.32)	0.63(0.26)
Ex-K	cmol/kg	0.1(0.02)	0.03(0.06)	0.04(0.05)	0.07(0.02)	0.09(0.04)	0.08(0.31)	0.09(0.02)	0.11(0.04)
Ex-Na	cmol/kg	0.13(0.09)	0.22(0.58)	0.09(0.14)	0.34(0.28)	0.19(0.12)	0.48(0.42)	0.31(0.18)	1.55(0.2)

*: 6 months after planting(before planting)

2) 토양의 화학적 특성 변화

6개월 경과한 후, PSG와 PLG는 산성화되었고, 생육에 적합한 pH를 나타냈다. PSGF와 PLGF는 pH가 상승하였지만, 약산성 상태를 유지하였다(Table 13). AS와 ASF의 pH는 큰 변화를 보이지 않고 중성을 유지하였다. CPGF는 알칼리화되었다. Hiroshi et al.(1991)은 다공질 유리를 끓는 물에 8시간정도 넣어두면 탈알칼리화되며 다공질 유리의 수분흡수량이 향상된다고 하였는데, 이와 같은 현상에 의하여 일정한 기간 일어나는 다공질 유리 파쇄물의 탈알칼리화에 기인한 것으로 보였다. 전기전도도는 모든 시료에서 증가하였지만, 생육에 장애를 일으키는 수준은 아니며, 양이온치환용량은 모든 시료에서 증가하였다(이병일, 1993).

IV. 결론

포장용수시 용적밀도와 포화투수계수를 동시에 고려하여 인공지반을 조성할 때, 인공토양만으로 조성할 경우에는 PLG와 AS가 적합하고, 인공토양을 노지토양과 혼합하여 조성할 경우에는 PLGF, ASF, CPGF가 적합하다고 판단되었다. 그러나, PLG에서 자란 쥐똥나무와 라일락의 생육이 불량한 것을 고려해 볼 때, PLG만으로 인공지반을 조성하는 것은 부적합하다고 판단되었다. 화학적 특성을 살펴볼 때, CPGF를 제외한 모든 시료들의 식재전과 6개월 경과후 pH와 전기전도도(EC)는 식물의 생육에 양호한 수준을 나타냈다. 생육조사를 살펴볼 때, AS, CPGF, PLGF에서

자란 쥐똥나무와 라일락은 상대적으로 양호한 생육을 나타냈다. 종합적으로 살펴볼 때, PSG는 노지토양과 혼합하여 사용하는 것이 부적합하며, PLG는 단용으로 사용하는 것이 부적합하고 노지토양과 혼합하여 사용하는 것이 적합하다고 판단되었다. AS는 단용과 노지토양과 혼합하여 사용하는 것이 가능하고, CPGF는 노지토양과 혼합하여 사용하면 PLGF보다 우수한 특성을 나타낼 수 있다고 보았다.

인용문헌

1. 김유일, 심경구, 하유미, 오정학, 허근영, 함지현, 김인혜 (1997) 인공지반 조정 녹화기술에 관한 연구. 현대건설 기술연구소, pp 66-83.
2. 농촌기술연구소(1980) 토양화학분석법 농촌진흥청 pp 26-214.
3. 박철수, 황경희, 이재준(1995) 아파트단지내 인공지반 조경녹화방안 연구 대한주택공사 주택연구소, 연구 95-24 129-144.
4. 이정준(1993) 수목생리학 서울대학교출판부 p. 56
5. 이병일(1993) 신관 시철원예학 향문사, pp 205-207.
6. 황경희, 이경계(1997) 도시녹지면적 확보를 위한 조경수목 선정 및 식재지 조성방안 연구 - 건축물 옥상, 지하주차장 상부를 중심으로 환경생태학회지 11(1). 46-60
7. Bennett, J. M., T. R. Sinclair, R. C. Muchow, and S. R. Costello(1987) Dependence of stomatal conductance on leaf water potential, turgor potential, and relative water content in field-grown soybean and maize, Crop. Sci. 27: 984-990.
8. Bilderback, T. E.(1985) Physical properties of pine bark and hardwood bark media and their effects with 4 fertilizers on growth of Ilex × 'Nelshe R. Stevens' holly,

- J Env. Hort, 3(4): 181-185
9. Fonteno, W. C., D. K. Cassel, and R. A. Larson(1981) Physical properties of three container media and their effect on *Poinsettia* growth J. Amer. Soc Hort Sci 106(6): 736-741
10. Hiroshi Itami, AKira Nagara, Hiroshi Taguchi, and Takashi Ehara(1991) Method for producing granular multi-cellular glass and the glass produced by the method. United States Patent Appl No. p. 649, 216.
11. Klute, A.(1986) Methods of soil analysis-Part I -Physical and Mineralogical Methods(2nd Ed.) American Society of Agronomy, Inc, Soil Sci. Soc. of Amer., Inc, Publisher Madison, Wisconsin USA pp 187-734.
12. Mazur, A. R., T. D. Hughes, and J. B. Gartner(1975) Physical properties of hardwood bark growth media HortScience 10(1): 30-33
13. Spomer, L. A.(1975) Availability of water absorbed by hardwood bark soil amendment Agronomy J, 67 589-590.
14. Veen, B. W.(1982) The influence of mechanical impedance on the growth of maize roots. Plant and Soil 66: 101-109
15. Wood, C. B., T. J. Smalley, M. Rieger, and D. E. Radcliffe(1994) Growth and Drought tolerance of *Viburnum phcatum* var. *tomentosum* 'Martesii' in pine bark-amended soil J Amer. Soc. Hort Sci 119(4). 687-692