

소성 점토다공체 및 코코넛 피트를 혼합한 인공토양의 물리화학적 특성과 식물생육에 미치는 영향

허근영* · 강호철* · 김인혜** · 심경구***

*진주산업대학교 조경학과 · **경상대학교 대학원 응용생명과학부 · ***성균관대학교 조경학과

Physicochemical Properties of Artificial Soil Formulated by Blending Calcined Clay and Coconut Peat and its Effect on Plant Growth

Huh, Keun-Young* · Kang, Ho-Chul* · Kim, In-Hye** · Shim, Kyung-Ku***

*Dept. of Landscape Architecture, Chinju National University

**Division of Applied Life Science, Graduate School, Gyeongsang National University

***Dept. of Landscape Architecture, Sung Kyun Kwan University

ABSTRACT

This study was carried out to compare artificial soil formulated by blending calcined clay and coconut peat with perlite, then to evaluate this soil as a perlite substitute for use as an artificial planting medium. To achieve this, a determination of the physico-chemical properties and its effect on plant growth were conducted by comparing those with large perlite grains and small grains. The results are summarized as follows:

1) The bulk density was 0.41g/cm^3 . This density was lower than that of field soil, but higher than that of large perlite grain(0.23g/cm^3) and small grain(0.25g/cm^3). The porosity, field capacity, and saturated hydraulic conductivity were 71.3%, 49.2%, and $3.8 \times 10^{-2}\text{cm/s}$, respectively. The air-permeability, water holding capacity, and drainage were better than or equal to that both large and small perlite grain.

2) It was near-neutral in reaction($\text{pH}=6.6$). It had a high organic carbon content(65.8g/kg) and a low available phosphoric acid content(84.7mg/kg). It was similar to crop soil in cation exchange capacity(11.4cmol/kg). It had a low exchangeable calcium content(0.71cmol/kg), a low exchangeable magnesium content(0.68cmol/kg), a high exchangeable potassium content(2.54cmol/kg), and a high exchangeable sodium content(1.12cmol/kg). Except for the exchangeable potassium and sodium content, the chemical properties were better than or equal to both large and small grain perlite. The excessive exchangeable potassium or sodium content will inhibit plant growth.

3) In Experiment 1, the plant growth tended to be higher compared to that of large and small perlite grains. But, in Experiment 2, it tended to be lower. This might be linked to the excessive exchangeable potassium or sodium content.

4) It could be considered as a renewable perlite substitute for greening of artificial soil. But it would be necessary to leach the excessive exchangeable potassium or sodium to avoid the risk of inhibiting plant growth.

Key Words : Artificial Soil, Calcined Clay, Coconut Peat, Perlite

1. 서론

환경보전 및 개선을 위한 방안으로서 도심의 녹지 확대에 많은 관심이 집중되고 있지만, 과밀화된 도심에서 그 실현은 상당히 어려운 문제이다. 건축물의 형태와 이용이 입체화되고 있는 도심에서 녹지 공간을 확대하고자 인공지반에 대한 관심이 집중되고 있으며, 많은 연구개발과 그 결과물의 적용이 지속적으로 이루어지고 있다(대한주택공사 주택연구소, 1995; 심경구 등, 1999). 인공지반은 식물의 생육을 건전하게 유지할 수 있으며 동시에 건물에 미치는 하중을 최소화할 수 있도록 조성되어야 한다(대한주택공사 주택연구소, 1995; 이은엽과 문석기, 2000; 최희선 등, 2001; 한국조경학회, 1999; 허근영과 심경구, 2000). 따라서 이 두 가지 필요조건을 동시에 만족시키기 위해서 식재지반 조성 시 인공토양을 단용 또는 혼용하여 토양의 물리화학적 특성이 식물 생육에 적합하도록 조절하고, 하중을 최소화하고 있다.

인공지반을 조성하기 위해서 개발된 인공토양은 보수성과 통기성이 좋고 배수성과 투수성이 우수해야 하며, '가벼움', '보다 자연스러운 소재', '보편적인 성능' 등이 요구된다. 일본에서는 펄라이트(perlite), 이솔라이트 CG(isolite CG), 그리고 이들을 주재료로 하여 혼합된 인공토양들이 슈퍼리소일 공법, a·베이스 시스템, 아쿠아소일 공법 등에 이용되어 왔으며, 독일에서는 방수재료부터 식물까지 인공지반 녹화에 필요한 모든 것을 시스템화한 녹화공법이 여러 가지 있으며 이 가운데 국내에 소개된 DAKU 시스템은 경량의 화산석 파쇄물을 인공토양으로 사용하고 있다(현대건설 기술

연구소, 1997).

국내에서 인공지반 조성을 위해서는 펄라이트를 주 재료로 한 인공토양이 사용되고 있다. 최근에는 원석을 수입하여 가공 생산하는 펄라이트를 대체하기 위한 신소재의 인공토양들이 개발되고 있으며, 소성 점토다공체(calcined clay)와 코코넛 피트(coconut peat)로 조성된 인공토양, 다공질 유리 파쇄물과 수피로 조성된 인공토양 등을 그 예로 들 수 있다(심경구 등, 1999; 허근영과 심경구, 2001).

기개발된 소성 점토다공체와 코코넛 피트로 조성된 인공토양은 물리적 특성을 장기적으로 안정화시키기 위해서 조립의 경질 무기물인 소성 점토다공체로 토양의 구조를 형성시키고 이것들에 의해서 형성된 대공극 내부에 난분해성 유기물인 코코넛 피트를 채움으로서 장기간 토양 통기성과 보수성의 적절한 균형을 유지하고 있다(심경구 등, 1999; 허근영과 심경구, 2001).

본 연구는 펄라이트를 대체하기 위하여 개발된 소성 점토다공체와 코코넛 피트로 조성된 인공토양의 물리·화학적 특성과 식물생육 특성을 펄라이트와의 비교를 통하여 평가하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

1) 토양재료

토양재료는 소성 점토다공체와 코코넛 피트를 부피 비 6:4로 혼합하여 조제된 인공토양(이하 '인공토양-A'

라 한다.)과 펠라이트 소립 및 펠라이트 대립이었다(심경구 등, 1999).

인공토양-A의 주재료로서 이용된 소성 점토다공체는 유리화가 쉽게 되는 규산(SiO_2)을 60%이상 함유하고 있으며, 국내에서 쉽게 구할 수 있는 점토에 중유를 중량비 100:1~3으로 첨가한 후 혼합하여 압출 성형하고, 이후 1,150~1,200°C의 고온에서 팽창·성형하며, 이들 다공체를 분쇄하여 10mm이하의 입자들로 만든 파쇄물이다. 코코넛 피트는 동남아시아 현지에서 이미 발효 처리한 것을 분상으로 수입한 것이었다(심경구 등, 1999; 오일환, 1994). 그리고 펠라이트 소립과 펠라이트 대립은 인공지반 녹화에 가장 많이 사용되고 있는 제품으로 선정하였다.

2) 식물재료

식물재료는 인공지반 녹화에 이용되고 있거나 이용 가능성이 높은 식물들로 선정하였다. 생육실험 I에서는 헤데라(*Hedera helix*)와 고무나무(*Ficus elastica*)를 공시하였고, 각각 직경 6cm 포트와 9cm 포트에 심겨진 것을 사용하였다. 생육실험 II에서는 헤데라, 고무나무, 파키라(*Pachira aquatica*), 줄사철(*Euonymus fortunei*), 그리고 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*)를 식물재료로 선정하였고, 헤데라, 고무나무, 파키라는 각각 직경 6cm 포트, 9cm 포트, 9cm 포트에 심겨진 것을 사용하였으며, 줄사철과 쥐똥나무는 유리온실 내에서 재배한 1년생 삼목묘를 사용하였다.

2. 실험 및 분석 방법

1) 물리·화학적 분석

물리성 측정을 위해 기건 상태의 시료를 2인치 코어(2'core, 100cm³)에 넣은 후 충전기(SHIMADZE, Hand Press, 1984)를 이용하여 0.5kg/cm²의 압력으로 충전하고 용적밀도, 공극률, 포장용수량, 포화투수계수를 분석하였다(심경구 등, 1999). 상기한 물리성 중 용적밀도, 공극률, 포장용수량은 농촌진흥청 측정방법으로 측정하고, 포화투수계수는 각 토양을 48시간동안 수조에 담가둔 후에 Klute(1986)의 방법으로 측정하였다.

화학적 특성은 pH, 유기탄소 함량, 유효인산 함량,

양이온치환능력(cation exchange capacity, CEC), 치환성 양이온(Ca, K, Mg, Na) 함량을 분석하였다. pH는 1:5(시료:증류수) 방법으로 측정하였고, 유기탄소 함량은 Walkley-Black 법으로 정량하였으며, 유효인산은 Bray 제 1 용액으로 침출하여 환원제로서 ascorbic acid를 사용하여 비색정량하였다. 양이온치환용량은 1N NH_4OAc (pH 7.0)로 포화시키고, ethanol로 과잉의 NH_4^+ 를 제거한 후 증류하여 정량하였다. 치환성 양이온 함량은 1N NH_4OAc (pH 7.0)로 침출하여 원자흡광 분석기로 정량하였다(농촌기술연연구소, 1980).

2) 식물 생육실험 및 분석

(1) 생육실험 I

본 실험은 1996년 9월부터 12월까지 유리온실에서 수행되었다. 식물재료는 원예상으로부터 각각 80주씩 구입한 후에 다시 균일하다고 판단된 식물체를 각각 15주씩 선발하여 사용하였다. 선발된 식물체들은 뿌리에 붙은 토양을 제거한 후에 처리별로 시료가 채워진 직경 12cm× 높이 15cm 포트에 1주씩 3번 처리하고 5번 반복하여 식재하였다. 관수는 1일 2회로 오전과 오후에 자동 살수하였으며, 1일 총관수량은 약 30mm/m²였다. 실험기간 중에 비료는 전혀 공급하지 않았다. 유리온실 내의 평균온도는 21±5°C였고 생육조사는 12월에 수행하였으며, 통계처리는 던칸의 다중검정법(Duncan's multiple range test)으로 하였고, 유의수준은 5%로 하였다.

(2) 생육실험 II

인공토양-A의 화학적 특성을 평가해 볼 때, 인공토양-A에서 자란 식물체들의 생육이 다소 억제될 것으로 예측되었으나, 펠라이트 소립과 펠라이트 대립에서 자란 식물체들과의 생육량을 상호 비교해 볼 때 생육억제 현상이 뚜렷하지 않았다. 따라서 이와 같은 현상이 다른 식물종들과 다른 생육조건에서도 일관성을 가지는지 검증하기 위한 추가적인 실험이 필요하다고 판단하여 II를 수행하였다.

생육실험 II에서는 식물종수를 보다 다양하게 하였으며 실험조건을 현장조건과 유사하게 하기 위해서 소형의 포트 재배에서 컨테이너 재배로 전환하였고 관수량을 상대적으로 감소시켰다. 생육실험 II의 구체적인 내

용은 다음과 같다. 식물재료로 고무나무, 헤데라, 파키라는 원예상에서 각각 100주씩 구입한 후에 균일한 식물체로 각각 30주씩 선발하고, 줄사철과 쥐똥나무는 유리온실내에 재배한 1년생 삼목묘 중에서 균일한 식물체로 각각 30주씩 선발하여 사용하였다. 선발된 식물체들은 뿌리에 붙은 토양을 제거한 후에 처리별로 시료가 채워진 가로 1.2m × 세로 1m × 높이 0.3m의 컨테이너에 각각 10주씩 3번 처리하고 10번 반복하여 식재하였다. 관수는 1일 1회로 오전에 살수하였으며, 1일 총관수량은 약 5mm/m²였다. 실험기간 중에 비료는 전혀 공급하지 않았다. 본 연구는 1997년 4월부터 9월까지 유리온실에서 수행되었으며 유리온실내의 평균온도는 27±4℃였다. 생육조사는 9월에 수행하였고, 통계처리하는 단칸의 다중검정법(Duncan's multiple range test)으로 하였으며, 유의수준은 5%로 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공시토양의 물리·화학적 특성

인공토양-A의 용적밀도는 0.41g/cm³로 일반 토양의 1.00~1.55g/cm³, 또는 경작지 토양의 1.1~1.4g/cm³와 비교할 때 1/2~1/4정도 가벼웠다(임선옥과 류순호, 1995; Bray and Weil, 1996). 펠라이트 소립의 용적밀도와 비교할 때 0.16g/cm³정도 무겁고, 펠라이트 대립의 용적밀도와 비교하면 0.18g/cm³정도 무거웠다(표 1 참조). 인공토양-A에 포함된 소성 점토다공체 파쇄물의 입자들은 직경 1mm이상인 것이 96%를 차지하며 코코넛 피트의 입자들은 0.5mm이하인 것이 27%만을 차지하는 것으로 나타났다(심경구 등, 1999). 그리고 인공토양-A의 공극률은 71.3%로 사질 토양이 35~50%, 미사질 토양이 40~60%, 그리고 양토가 50%인 것과 비교하여 매우 높은 수준이었다. 따라서 통기성이 매우 양호한 것으로 판단된다(Bray and Weil, 1996). 펠라이트 소립과 펠라이트 대립의 공극률도 각각 69.3%와 69.0%로 매우 높은 수준이었다. 인공토양-A의 포장용수량은 49.2%로 사질 양토, 미사질 양토, 점토가 각각 12%, 30%, 35%인 것과 비교하여 매우 높은

수준이었다. 이는 인공토양-A의 주재료인 코코넛 피트의 높은 보수성이 주된 요인이며 부가적인 요인으로는 다공질인 소성 점토다공체 내부의 미세공극에 모세관력에 의해 흡착된 수분 때문이라고 판단된다(Hudson, 1994). 펠라이트 소립과 펠라이트 대립도 각각 51.6%와 46.1%의 포장용수량으로 매우 높은 수준이었다. 포화투수계수는 토양의 배수성을 나타내는 지표로서 일반적으로 1×10⁻⁴cm/s 이상이면 양호한 수준이며, 인공토양의 포화투수계수가 1×10⁻³cm/s 이상이 되면 최적이라고 보고된 바 있다(한국조경학회, 1999; 東京新宿, 1994). 인공토양-A, 펠라이트 소립, 그리고 펠라이트 대립의 포화투수계수는 앞서 제시한 기준에 포함하였다.

표 1. 공시토양의 물리적 특성

| 분석항목 | 인공토양-A | 펠라이트 소립 | 펠라이트 대립 |
|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 용적밀도(g/cm ³) | 0.41 | 0.25 | 0.23 |
| 공극률(%) | 71.3 | 69.3 | 69.0 |
| 포장용수량(%) | 49.2 | 51.6 | 46.1 |
| 포화투수계수(cm/s) | 3.8×10 ⁻² | 1.3×10 ⁻² | 13.2×10 ⁻² |

인공토양-A의 pH는 6.6으로 약산성이며 식물이 생육하기에 적절한 수준이었고, 펠라이트 소립과 펠라이트 대립의 pH는 각각 7.7과 7.4로 약알칼리성이었다(표 2 참조). 인공토양-A의 유기탄소 함량은 65.8g/kg으로 추가적으로 분석된 일반 토양의 유기탄소 함량이 0.5g/kg인 것과 비교하여 매우 높은 수준이었는데, 이것은 인공토양-A의 주재료인 코코넛 피트에 기인한 결과라고 판단된다. 인공토양-A의 유효인산 함량은 84.7mg/kg으로 적정함량 범위인 300~1,000mg/kg보다는 낮은 수준이었고, 펠라이트 소립과 펠라이트 대립의 유효인산 함량도 각각 14.2mg/kg과 6.0mg/kg로 매우 낮은 수준이었다. 인공토양-A의 양이온치환용량은 11.4cmol/kg이며 발토양의 표토가 10.3cmol/kg인 것과 비교하여 유사한 수준으로 보비력과 토양원충능력이 양호하다고 판단된다(Bradley and Weil, 1996). 펠라이트 소립과 펠라이트 대립의 양이온치환용량은 동일하게 1.7cmol/kg으로 매우 낮게 나타났다. 인공토양-A의 치환성 칼슘 함량은 0.71cmol/kg으로 발토양의 표토가 4.20cmol/kg인 것과 비교하여 낮은 수준이었고, 펠라이트

트 소립과 펄라이트 대립의 치환성 칼슘 함량도 각각 0.37cmol/kg과 0.17cmol/kg으로 낮은 수준이었다. 인공 토양-A의 치환성 마그네슘 함량은 0.68cmol/kg으로 발 토양의 표토가 1.20cmol/kg인 것과 비교하여 낮은 수 준이었고, 펄라이트 소립과 펄라이트 대립의 치환성 마 그네슘 함량은 각각 0.06cmol/kg과 0.02cmol/kg으로 매우 낮은 수준이었다. 인공토양-A의 치환성 칼륨 함 량은 2.54cmol/kg으로 발토양의 표토가 0.32cmol/kg인 것과 비교하여 매우 높은 수준이었다. 펄라이트 소립과 펄라이트 대립의 치환성 칼륨 함량은 각각 0.05cmol/kg 과 0.02cmol/kg으로 낮은 수준이었다(임선옥과 류순호, 1995). 인공토양-A의 치환성 나트륨 함량은 1.12 cmol/kg으로 Amalu(1998), Cassman *et al.*(1992), 그 리고 Phool *et al.*(1996)의 보고내용과 비교할 때 식물 의 생육을 억제시킬 수 있는 수준으로 판단된다. 그들 은 치환성 나트륨의 토양 중 적정 농도가 0.20 ~ 0.40cmol/kg 또는 0.40cmol/kg을 초과하지 않는 수준 일 때 우수한 식물생육을 보인다고 하였다(Amalu, 1998; Cassman *et al.*, 1992; Phool *et al.*, 1996). 펄라 이트 소립과 펄라이트 대립의 치환성 나트륨 함량은 각 각 0.16cmol/kg과 0.13cmol/kg으로 낮은 수준이었다. 인공토양-A의 치환성 양이온 함량을 살펴보면 칼슘과 마그네슘이 다소 부족하며 칼륨과 나트륨이 지나치게 많은 것으로 나타났다.

표 2. 공시토양의 화학적 특성

| 분석항목 | 인공토양-A | 펄라이트 소립 | 펄라이트 대립 |
|-------------------|--------|---------|---------|
| pH | 6.6 | 7.7 | 7.4 |
| 유기탄소(g/kg) | 65.8 | 1.0 | 0.4 |
| 유효인산(mg/kg) | 84.7 | 14.2 | 6.0 |
| 양이온 치환용량(cmol/kg) | 11.4 | 1.7 | 1.7 |
| Ca(cmol/kg) | 0.71 | 0.37 | 0.17 |
| 치환성 Mg(cmol/kg) | 0.68 | 0.06 | 0.02 |
| 양이온 K(cmol/kg) | 2.54 | 0.05 | 0.02 |
| Na(cmol/kg) | 1.12 | 0.16 | 0.13 |

2. 식물생육 특성

1) 생육실험 I

헤데라의 식물체 크기, 엽장, 총엽수, 생체중, 그리고 건물중은 인공토양-A에서 자란 것이 펄라이트 소립과

펄라이트 대립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의 성 있게 높았다(표 3 참조). 그리고 펄라이트 소립에서 자란 것은 펄라이트 대립에서 자란 것과 비교하여 통계 적으로 유의성을 나타내지 않았지만 높은 경향을 나타 냈다.

고무나무의 엽장과 생체중은 인공토양-A에서 자란 것이 펄라이트 소립에서 자란 것과 유사하였고, 펄라이 트 대립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의성 있게 높았다(표 4 참조). 그리고 식물체 크기, 총엽수, 건물 중은 인공토양-A에서 자란 것이 펄라이트 소립과 펄라 이트 대립에서 자란 것에 비하여 높은 경향을 나타냈지 만 통계적인 차이는 인정되지 않았다.

화학적 특성분석을 고려해 볼 때에 개발된 인공토양 -A에서 자란 식물체들은 매우 높은 치환성 칼륨 또는 나트륨 함량에 의하여 생육이 억제될 것으로 예상되었 지만(Amalu, 1998; Kreij and Leeuwen, 2001; Mapa and Kumara, 1995; Yau *et al.*, 2000), 인공토양-A에서 자란 고무나무와 헤데라의 생육에서 뚜렷한 억제현상 은 나타나지 않았으며, 생육량 분석에서 펄라이트 소립 과 펄라이트 대립에서 자란 것들과 비교하여 전체적으 로 높은 경향을 나타냈다. 따라서 이와 같은 현상이 다 른 식물종들과 다른 생육조건에서도 일관성을 가지는 지 검증하기 위한 추가적인 실험이 필요하다고 보았다.

표 3. 생육실험 I의 각 시료들에서 자란 헤데라의 생육량

| 시료 | 식물체 크기 (cm) | 엽장 (cm) | 총엽수 | 생체중 (g) | 건물중 (g) |
|---------|--------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 인공토양-A | 12.4 ^{a*} | 4.5 ^c | 16.0 ^c | 4.2 ^b | 0.8 ^b |
| 펄라이트 소립 | 5.2 ^b | 3.2 ^d | 9.3 ^b | 1.8 ^b | 0.4 ^b |
| 펄라이트 대립 | 4.7 ^b | 3.0 ^b | 8.0 ^b | 1.7 ^b | 0.4 ^b |

*: 단칸의 다중검정법에 의한 평균간 비교: $\alpha = 0.05$

표 4. 생육실험 I의 각 시료들에서 자란 고무나무의 생육량

| 시료 | 식물체 크기 (cm) | 엽장 (cm) | 총엽수 | 생체중 (g) | 건물중 (g) |
|---------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 인공토양-A | 23.6a* | 13.9 ^a | 9.8 ^a | 65.5 ^a | 10.6 ^a |
| 펄라이트 소립 | 17.6 ^b | 13.3 ^{ab} | 9.5 ^a | 62.3 ^a | 10.4 ^a |
| 펄라이트 대립 | 17.5 ^b | 12.4 ^b | 8.8 ^a | 47.4 ^b | 8.5 ^b |

*: 단칸의 다중검정법에 의한 평균간 비교: $\alpha = 0.05$

2) 생육실험 II

본 생육실험은 인공토양-A를 보다 정확하게 평가하

기 위해서 생육실험 I 을 보완하여 수행된 실험으로 기존의 식물종들과 세 가지 식물종들을 추가하고 보다 현장조건에 근접한 생육조건에서 수행되었으며, 그 결과는 다음과 같았다.

식물체 크기와 뿌리길이를 제외한 헤데라의 생육량에서 인공토양-A에서 자란 것은 펠라이트 소립 또는 펠라이트 대립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의성 있게 낮았다(표 5 참조). 식물체 크기에서도 인공토양-A에서 자란 것은 펠라이트 소립과 펠라이트 대립에서 자란 것에 비하여 통계적 유의성을 나타내지 않았지만 낮은 경향을 나타냈다. 뿌리길이에서는 인공토양-A에서 자란 것이 펠라이트 대립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의성 있게 높았다. 펠라이트 대립에서 자란 것의 생육은 뿌리길이를 제외하고 모두 우수하였다.

뿌리길이를 제외한 고무나무의 생육량에서 인공토양-A에서 자란 것은 펠라이트 소립과 펠라이트 대립에서 자란 것과 비교하여 통계적 유의성을 나타내지 않았다(표 6 참조). 뿌리길이에서는 인공토양-A에서 자란 것이 펠라이트 소립과 펠라이트 대립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의성 있게 높았다. 전체적으로 인공토

양-A에서 자란 고무나무의 생육은 펠라이트 소립과 펠라이트 대립에서 자란 것과 비교하여 뚜렷한 통계적 유의성을 나타내지 않았고 유사한 경향을 보였다.

식물체 크기와 뿌리 건물중을 제외한 파키라의 생육량에서 인공토양-A에서 자란 것은 펠라이트 소립과 펠라이트 대립에서 자란 것과 비교하여 통계적 유의성을 나타내지 않았다(표 7 참조). 그러나 전체적으로 인공토양-A에서 자란 것의 생육량은 펠라이트 소립에서 자란 것에 비하여 엽장과 뿌리길이를 제외하고 일관성 있게 낮은 경향을 보였다. 총엽수에서는 인공토양-A에서 자란 것이 펠라이트 소립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의성 있게 낮았으며, 뿌리 건물중에서는 펠라이트 대립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의성 있게 낮았다.

줄기 생체중 및 건물중과 뿌리길이를 제외한 쥐똥나무의 생육량에서 인공토양-A에서 자란 것은 펠라이트 소립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의성 있게 낮았다(표 8 참조). 그리고 인공토양-A에서 자란 것의 줄기 생체중 및 건물중과 뿌리길이는 펠라이트 소립에서 자란 것에 비하여 통계적 유의성은 나타내지 않았지

표 5. 생육실험 II의 각 시료들에서 자란 헤데라의 생육량

| 시료 | 식물체 크기 (cm) | 총엽수 | 총엽 생체중 (g) | 총엽 건물중 (g) | 줄기 생체중 (g) | 줄기 건물중 (g) | 뿌리 생체중 (g) | 뿌리 건물중 (g) | 뿌리 길이 (cm) |
|---------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 인공토양-A | 22.0 ^{a*} | 13.2 ^b | 1.2 ^b | 0.3 ^b | 0.6 ^b | 0.1 ^b | 0.3 ^b | 0.1 ^b | 7.0 ^b |
| 펠라이트 소립 | 30.5 ^a | 15.4 ^{ab} | 1.8 ^a | 0.5 ^a | 1.0 ^a | 0.3 ^a | 0.3 ^b | 0.1 ^b | 8.5 ^a |
| 펠라이트 대립 | 36.0 ^a | 17.2 ^a | 1.7 ^a | 0.5 ^a | 1.0 ^a | 0.3 ^a | 0.5 ^a | 0.2 ^a | 5.8 ^b |

*: 단칸의 다중검정법에 의한 평균간 비교: $\alpha = 0.05$

표 6. 생육실험 II의 각 시료들에서 자란 고무나무의 생육량

| 시료 | 식물체 크기 (cm) | 총엽수 | 총엽 생체중 (g) | 총엽 건물중 (g) | 줄기 생체중 (g) | 줄기 건물중 (g) | 뿌리 생체중 (g) | 뿌리 건물중 (g) | 뿌리 길이 (cm) |
|---------|--------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 인공토양-A | 16.2 ^{a*} | 6.8 ^a | 22.9 ^a | 3.3 ^a | 10.9 ^a | 1.9 ^a | 6.9 ^a | 1.4 ^a | 64.3 ^a |
| 펠라이트 소립 | 17.3 ^a | 6.6 ^a | 27.2 ^a | 3.9 ^a | 13.4 ^a | 2.3 ^a | 7.2 ^a | 1.4 ^a | 46.2 ^b |
| 펠라이트 대립 | 16.2 ^a | 6.5 ^a | 22.7 ^a | 3.6 ^a | 10.7 ^a | 2.1 ^a | 8.2 ^a | 1.7 ^a | 47.3 ^b |

*: 단칸의 다중검정법에 의한 평균간 비교: $\alpha = 0.05$

표 7. 생육실험 II의 각 시료들에서 자란 파키라의 생육량

| 시료 | 식물체 크기 (cm) | 총엽수 | 총엽 생체중 (g) | 총엽 건물중 (g) | 줄기 생체중 (g) | 줄기 건물중 (g) | 뿌리 생체중 (g) | 뿌리 건물중 (g) | 뿌리 길이 (cm) |
|---------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| 인공토양-A | 39.1 ^{ab*} | 8.0 ^b | 13.1 ^d | 3.1 ^a | 44.4 ^a | 9.1 ^a | 2.2 ^a | 0.46 ^b | 25.2 ^a |
| 펠라이트 소립 | 46.0 ^a | 11.8 ^a | 20.6 ^a | 5.8 ^b | 48.9 ^a | 8.6 ^a | 1.9 ^a | 0.62 ^{ab} | 28.5 ^a |
| 펠라이트 대립 | 34.6 ^b | 9.8 ^{ab} | 17.5 ^a | 3.9 ^a | 48.4 ^a | 9.5 ^a | 2.8 ^a | 0.75 ^a | 24.6 ^a |

*: 단칸의 다중검정법에 의한 평균간 비교: $\alpha = 0.05$

표 8. 생육실험 II의 각 시료들에서 자란 쥐똥나무의 생육량

| 시료명 | 식물체 크기 (cm) | 총엽수 | 총엽 생체중 (g) | 총엽 건물중 (g) | 줄기 생체중 (g) | 줄기 건물중 (g) | 뿌리 생체중 (g) | 뿌리 건물중 (g) | 뿌리 길이 (cm) |
|---------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| 인공토양-A | 13.8 ^{ab} | 19.7 ^a | 0.5 ^c | 0.1 ^c | 1.4 ^c | 1.0 ^c | 0.3 ^c | 0.19 ^b | 35.6 ^{ab} |
| 펄라이트 소립 | 38.4 ^d | 63.7 ^c | 1.4 ^a | 0.5 ^b | 1.9 ^a | 1.3 ^a | 0.7 ^a | 0.55 ^c | 40.8 ^a |
| 펄라이트 대립 | 18.3 ^b | 36.5 ^b | 0.7 ^b | 0.3 ^b | 1.7 ^{cd} | 1.2 ^c | 0.6 ^c | 0.43 ^c | 31.3 ^b |

*: 던칸의 다중검정법에 의한 평균간 비교: $\alpha = 0.05$

표 9. 생육실험 II의 각 시료들에서 자란 줄사철의 생육량

| 시료명 | 식물체 크기 (cm) | 총엽수 | 총엽 생체중 (g) | 총엽 건물중 (g) | 줄기 생체중 (g) | 줄기 건물중 (g) | 뿌리 생체중 (g) | 뿌리 건물중 (g) | 뿌리 길이 (cm) |
|---------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| 인공토양-A | 14.9 ^{ab} | 9.6 ^a | 1.1 ^a | 0.3 ^a | 0.9 ^b | 0.31 ^b | 1.3 ^a | 0.25 ^b | 32.6 ^a |
| 펄라이트 소립 | 18.0 ^b | 14.1 ^b | 1.2 ^a | 0.3 ^a | 1.4 ^a | 0.49 ^a | 1.7 ^a | 0.37 ^a | 29.1 ^{ab} |
| 펄라이트 대립 | 16.3 ^a | 12.9 ^a | 1.0 ^a | 0.3 ^a | 1.2 ^{cd} | 0.46 ^{ab} | 1.5 ^a | 0.30 ^{ab} | 22.2 ^b |

*: 던칸의 다중검정법에 의한 평균간 비교: $\alpha = 0.05$

만 낮은 경향을 나타냈다. 뿌리길이를 제외하고 인공토양-A에서 자란 것의 모든 생육량은 펄라이트 대립에서 자란 것에 비하여 통계적 유의성은 나타내지 않았지만 낮은 경향을 나타냈다.

줄기 생체중 및 건물중과 뿌리 건물중을 제외한 줄사철의 생육량에서 인공토양-A에서 자란 것은 펄라이트 소립과 펄라이트 대립에서 자란 것과 비교하여 통계적 유의성을 나타내지 않았다(표 9 참조). 그러나 전체적으로 인공토양-A에서 자란 것의 생육량은 펄라이트 소립과 펄라이트 대립에서 자란 것에 비하여 뿌리길이를 제외하고 낮은 경향을 보였다. 인공토양-A에서 자란 것의 뿌리길이는 가장 길었으며, 펄라이트 대립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의성 있게 높았다. 인공토양-A에서 자란 것의 줄기 생체중 및 건물중과 뿌리 건물중은 가장 낮은 경향을 나타냈으며, 펄라이트 소립에서 자란 것에 비하여 통계적으로 유의성 있게 낮았다.

전체적으로 인공토양-A에서 자란 고무나무의 생육량은 펄라이트 소립과 펄라이트 대립에서 자란 것과 유사하였으며 헤데라, 파키라, 쥐똥나무, 그리고 줄사철의 생육량은 상대적으로 낮았다. 이 결과는 앞서 화학적 특성분석을 토대로 예측하였던 인공토양-A에서 자란 식물체들의 생육특성과 일관성을 가지는 것이며 생육실험 I의 결과와는 상반되는 결과였다. 즉, 생육실험 II의 인공토양-A에서 자란 식물체들의 생육은 생육실험 I의 인공토양-A에서 자란 식물체들의 생육과 비교하

여 억제된 것으로 나타났다.

위와 같은 결과들이 나타나게 된 주 요인은 인공토양-A의 주재료인 코코넛 피트에 함유된 과도한 치환성 칼륨 또는 나트륨의 용탈 또는 잔류라고 판단된다 (Kreij and Leeuwen, 2001; Mapa and Kumara, 1995; Yau *et al.*, 2000). 즉, 과도한 치환성 칼륨 또는 나트륨 함량을 제외하고 인공토양-A는 통기성, 보수력, 배수성이 높고 pH가 적정하며 보비력이 양호하고 영양성분의 함량이 지나치게 낮지 않으며, 관수량이 상대적으로 많았던 생육실험 I에서는 생육이 양호하였지만, 상대적으로 관수량을 줄이고 포트 재배에서 컨테이너 재배로 토량을 증가시킨 생육실험 II에서는 식물의 생육이 억제되는 현상을 나타냈기 때문이다.

인공토양-A의 치환성 칼슘과 마그네슘 함량은 발토양의 표토와 비교하여 낮은 수준이었고, 치환성 칼륨과 나트륨 함량은 매우 높은 수준이었다. 특히 인공토양-A의 치환성 나트륨 함량은 1.12cmol/kg으로 Amalu(1998), Cassman *et al.*(1992), 그리고 Phool *et al.*(1996)의 연구결과와 비교할 때 식물의 생육을 억제시킬 수 있는 수준으로 판단된다. 그들은 치환성 나트륨의 토양 중 적정 농도가 0.20~0.40cmol/kg 또는 0.40cmol/kg을 초과하지 않는 수준일 때 우수한 식물 생육을 보인다고 하였다. 그리고 인공토양-A의 특성은 인공토양-A의 화학적 특성에 결정적인 영향을 미치는 코코넛 피트의 특성과 동일하였다.

코코넛 피트는 환경적인 관심과 모스피트(moss

peat)의 공급량 감소로 인하여 새로운 모스 피트 대체 품으로 여겨지고 있지만, Yau *et al.*(2000)은 식물의 생육을 억제하는 물질이 함유되어 있다고 하였다. Konduru *et al.*(1999)은 가공되지 않은 원료들간의 화학적 특성 차이가 현저하며 그 중에서 나트륨과 칼륨의 함량도 차이가 큰 것으로 보고하였다. Kreij and Leeuwen(2001)은 몇몇 작물에서 생육이 억제되는 현상을 보였다고 하였고, 이것이 높은 칼륨과 나트륨 함량과 코코넛 피트에 의한 칼슘과 마그네슘의 흡착에 기인한다고 하였으며, 나트륨과 칼륨의 함량이 낮고 칼슘과 마그네슘의 흡착이 일어나지 않은 코코넛 피트에서는 식물의 생장이 모스 피트보다 우수하거나 동일하다고 하였다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 사용 전에 물을 이용하여 코코넛 피트에 함유된 과도한 치환성 칼륨 또는 나트륨을 용탈시키고 질소를 포함하여 부족한 칼슘과 마그네슘을 첨가하는 것이 필요하다고 보고되었다(Handreck, 1993; Kreij and Leeuwen, 2001; Mapa and Kumara, 1995; Meerow, 1994). 향후 인공토양-A에서 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위해서는 앞서 언급한 것과 같은 방법으로 가공 처리된 코코넛 피트를 사용하는 것이 필요하다고 판단된다(Kreij and Leeuwen, 2001; Yau *et al.*, 1997).

IV. 결론

본 연구는 소성 점토다공체와 코코넛 피트를 혼합하여 조성된 인공토양을 펠라이트와 비교하며 인공지반에서의 이용을 위한 펠라이트 대체물로서 평가하고자 수행되었다. 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 인공토양의 물리·화학적 특성의 평가와 식물 생육에 대한 효과는 펠라이트 대립 및 소립과의 비교를 통하여 수행되었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 인공토양-A의 용적밀도는 $0.41g/cm^3$ 이다. 이것은 노지토양의 용적밀도보다는 낮지만, 용적밀도가 $0.23g/cm^3$ 인 펠라이트 대립과 용적밀도가 $0.25g/cm^3$ 인 펠라이트 소립보다는 높았다. 인공토양-A의 공극률, 포장용수량, 그리고 포화투수계수는 각각 71.3%,

49.2%, $3.8 \times 10^{-2}cm/s$ 였다. 인공토양-A의 통기성, 보수력, 그리고 배수성은 펠라이트 대립 및 소립의 것들과 비교하여 우수하거나 유사하였다.

2. 토양반응에서 인공토양-A의 pH는 6.6으로 약산성이었다. 인공토양-A는 $65.8g/kg$ 의 높은 유기 탄소 함량과 $84.7mg/kg$ 의 낮은 유효인산 함량을 가졌다. 양이온 치환용량은 $11.4cmol/kg$ 으로 경작토양과 유사하였다. 치환성 칼슘 함량은 $0.71cmol/kg$ 으로 낮고, 치환성 마그네슘 함량도 $0.68cmol/kg$ 로 낮았다. 치환성 칼륨 함량은 $2.54cmol/kg$ 으로 높고, 치환성 나트륨 함량도 $1.12cmol/kg$ 으로 높았다. 치환성 칼륨과 나트륨을 제외하고 인공토양-A의 화학적 특성은 펠라이트 대립 및 소립의 화학적 특성과 비교하여 우수하거나 유사하였다. 인공토양-A의 과도한 치환성 칼륨과 나트륨 함량은 식물의 생육을 억제할 수 있었다.

3. 생육실험 I에서 인공토양-A의 식물생육은 펠라이트 대립 및 소립의 식물생육과 비교하여 더 높은 경향을 나타냈다. 그러나 생육실험 II에서 인공토양-A의 식물생육은 더 낮은 경향을 나타냈다. 이것은 과도한 치환성 칼륨 또는 나트륨 함량과 연관된 것으로 판단된다.

4. 인공토양-A는 인공지반 녹화를 위한 새로운 펠라이트 대체물로서 고려될 수 있었다. 그러나 인공토양-A에서의 식물 생육억제의 위험을 방지하기 위해서 과도한 치환성 칼륨 또는 나트륨을 용탈시키는 것이 필요하다.

인용문헌

1. 농촌기술연구소(1980) 토양화학분석법-토양·식물체·토양미생물-. 수원: 농촌진흥청.
2. 대한주택공사 주택연구소(1995) 아파트 단지내 인공지반 조정 녹화방안 연구. 대한주택공사.
3. 심경구, 강호철, 허근영(1999) 소성 점토 다공체 및 코코넛 피트를 이용한 인공지반용 혼합배지의 개발. 한국조경학회 27(3): 1-5.
4. 오일환(1994) 세라믹스 과학. 서울: 학문사.
5. 이은영, 문석기(2000) 옥상녹화공법의 배수층 구조별 식물생육 효과. 환경복원녹화 3(4): 1-21.
6. 임선옥, 류순호(1995) 토양비료. 서울: 한국방송통신대학교출

- 관부.
7. 최희선, 이상수, 이용범(2001) 옥상정원에 이용 가능한 혼합 인공토양의 종류 및 토심에 따른 비비추의 생육반응. 한국조경학회지 29(3): 46-54.
 8. 한국조경학회(1999) 조경설계기준. 서울: 조경.
 9. 허근영, 심경구(2000) 인공지반의 녹화를 위해서 단용 또는 노지토양과 혼합하여 이용되는 인공토양의 특성. 한국조경학회지 28(2): 28-38.
 10. 허근영, 심경구(2001) 인공지반의 녹화용 신소재 인공토양 개발. 한국원예학회지 42(3): 355-364.
 11. 현대건설 기술연구소(1997) 인공지반 조경 녹화기술에 관한 연구. 현대건설주식회사.
 12. 東京新宿教(1994) 都市建築物の緑化手法. 東京 日本: 彰國社. p. 48.
 13. Amalu, U.C.(1998) Evaluation of properties of selected soils of cross river area and their management for increased cassava yields. Global Journal of Pure and Applied Sciences 4: 243-249.
 14. Brady, N. C. and R. R. Weil(1996) The nature and properties of soils(11th Ed.). New Jersey USA: Prentice-Hall, Inc.
 15. Cassman, K.G., B.A. Roberts and D.C.T.I. Bryant(1992) Cotton response to residual fertilizer potassium on vermiculitic soil: organic matter and sodium effects. Soil Science Society of America Journal 56: 823-830.
 16. Handreck, K.A.(1993) Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. Communications in Soil Science and Plant Analysis 24: 349-363.
 17. Hudson, B.D.(1994) Soil organic matter and available water capacity. J. Soil and Water Cons. 49: 189-196.
 18. Klute, A.(1986) Methods of soil analysis-part I: physical and mineralogical methods(2nd Ed.). Wisconsin USA: Agronomy.
 19. Konduru, S., M.R. Evans, and R.H. Stamps(1999) Coconut husk and processing effects on chemical and physical properties of coconut coir dust. HortScience 34: 88-90.
 20. Krejci, C. and G.J.L. Leeuwen(2001) Growth of pot plants in treated coir dust as compared to peat. Communications in Soil Science and Plant Analysis 32: 2255-2265.
 21. Mapa, R.B. and G.K.K.P. Kumara(1995) Potential of coir dust for agricultural use. SriLankan Journal of Agricultural Sciences 32: 1-15.
 22. Meerow, A.W.(1994) Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. HortScience 29: 1484-1486.
 23. Phool, C., R.D. Sharma, and K. Suman(1996) Effect of organic and inorganic soil amendments on some physico-chemical properties of a sodic soil. Advances in Forestry Research in India 14: 169-182.
 24. Yau, P.Y., R.J. Murphy, M. Herregods, P. Boxus, W. Baets, and Jager A. de(2000) Acta-Horticulturae 517: 275-278.

원고접수: 2002년 8월 26일

최종수정본 접수: 2002년 10월 14일

3인인명 심사필