

옥상녹화 식재지반이 토양수분과 순비기나무의 생육에 미치는 영향

박준석* · 박지혜** · 주진희*** · 윤용한***

*아세아환경조경 · **건국대학교 대학원 산림과학과 · ***건국대학교 산림과학과

Effects of Planting Soil on the Soil Moisture and the Growth of *Vitex rotundifolia* for Green Roof

Park, Jun-Suk* · Park, Je-Hea** · Ju, Jin-Hee*** · Yoon, Yong-Han***

*Asia Environment Landscape Co.

**Dept. of Forest Science, Graduate School, Konkuk University

***Dept. of Forest Science, Konkuk University

ABSTRACT

This study focuses on the appropriate planting soil for *Vitex rotundifolia* by planting soil. Different soil depth levels were achieved at 15cm and 25cm in the green roof module system that was created with woody materials for a 500×500×300mm area. The soil mixture ratio was S₁₀, L₁₀, S₇L₃, S₅L₅, P₇P₁L₂, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂ and P₄P₄L₂. This study was carried out over five months between April and September, 2006.

The amount of soil moisture tends to decrease according to the planting soil. For the experimental items S₁₀, S₇L₃ and S₅L₅, the amount of soil moisture tends to decrease rapidly. However, for the experimental items P₇P₁L₂, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂ and P₄P₄L₂, conditions containing perlite and peat moss, the amount of moisture tends to decrease more gradually. As a result, the use of soil-improving amending for the afforestation planting of roofs with a low level of management is need. After experimenting with the ratio of soil mixture for *Vitex rotundifolia*, the planting soil for experimental item P₆P₂L₂, P₅P₃L₂ and P₄P₄L₂ appeared excellent. For experimental item S₁₀, the growth of *Vitex rotundifolia* seemed to be weaker than that of others, because of the low levels of moisture and organic matter in the soil. For experimental item L₁₀, there appeared to be a low level of growth, even when the levels of moisture and organic matter were high. This may have occurred because of the low level of soil pH and the excessive amount of exchangeable cation. At the depth of 25cm, the growth of *Vitex rotundifolia* is vigorous overall. For experimental item at 15cm, *Vitex rotundifolia* was able to survive for 14 days without any rainfall and *Vitex rotundifolia* was better in amended soil, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂ and P₄P₄L₂, than natural soil, SL.

Key Words: Shrub, Groundcover Plants, Amended Soil

Corresponding author: Yong-Han Yoon, Dept. of Forest Science, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea, Tel.: +82-43-840-3538, E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

국문 초록

본 연구는 옥상녹화 생태면적률 기준을 효과적으로 시행하기 위해, 식재지반이 토양수분과 순비기나무의 생육 특성에 미치는 영향을 살펴보고자 수행하였다. 500×500×300mm의 실험구에 토심 15cm와 25cm로 대별하였으며, 배합비율에 따라 S₁₀, L₁₀, S_{7L₃}, S_{5L₅}, P_{7P₁L₂}, P_{6P₂L₂}, P_{5P₃L₂}, P_{4P₄L₂} 등 총 8가지로 하였다. 본 연구는 2006년 4월에서 9월까지 약 5개월간 진행되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

옥상녹화 식재지반에 따른 토양수분함량은 점점 감소하는 경향을 보이다가 강우 시 상승한 반면, S₁₀, S_{7L₃}, S_{5L₅} 실험구의 경우 수분함량이 급격히 떨어지는 경향을 나타내었다. 이에 비해 피트모스와 펄라이트가 포함된 P_{7P₁L₂}, P_{6P₂L₂}, P_{5P₃L₂}, P_{4P₄L₂}에서는 완만하게 감소하여 저관리형 옥상녹화에 보수성이 높은 토양개량제 사용은 불가피할 것으로 판단된다. 순비기나무의 생육실험 결과, P_{6P₂L₂}, P_{5P₃L₂}, P_{4P₄L₂} 실험구의 경우 생육이 양호하였다. S₁₀은 다른 실험구에 비해 미비한 성장을 보였으며, 이것은 낮은 토양수분함량과 유기물부족이 원인으로 작용한 것으로 본다. L₁₀ 실험구는 토양수분함량 및 유기물은 풍부함에도 불구하고 낮은 성장량을 보인 것은 유기질비료의 낮은 토양산도와 과잉 양이온함량에 의한 것으로 판단된다. 토심 15cm 실험구와 25cm 실험구를 비교해 보았을 때, 확연한 차이는 없었으나 토심 25cm 실험구에서 좀 더 원활한 생육을 보였다. 하지만 토심 15cm 실험구의 14일 무관수에서도 순비기나무가 고사하지 않고 생육 가능했던 점과 P_{6P₂L₂} 이상의 피트모스 배합비에서 왕성한 생육이 이루어진 점을 미루어 볼 때, 저관리에 적합한 토양배합비는 인공토가 포함된 P_{6P₂L₂}, P_{5P₃L₂}, P_{4P₄L₂}로 파악할 수 있었다.

주제어: 관목, 지피식물, 인공배합토

1. 서론

옥상녹화는 도시 열섬 현상, 도시 홍수, 지하수 고갈 등의 환경적 문제 완화, 대기 정화, 휴식처의 제공, 냉난방 에너지 절감 등 다양한 기능을 제공하고, 대지의 부족 및 높은 지가 등으로 녹지 공간을 확보하기 어려운 도심에서 옥상 공간을 효율적으로 활용한다는 중요한 의미를 가진다. 최근 들어 옥상공간을 생물다양성 증진을 목적으로 생물서식공간인 옥상생태계로 조성하고자 하는 관심이 늘고 있다. 특히, 생태면적률은 생태적 가치를 정량적으로 제어할 수 있는 환경계획지표로, 공간계획 대상 면적 중에서 자연순환기능을 가진 토양면적의 비율로 정의하고, 토지피복특성에 맞게 피복유형을 총 12개 유형으로 구분함으로써, 각각의 가중치는 0~1 사이의 값으로 정하고 있다(한국환경과학회, 2009). 한국건설기술연구원(2006)은 총 13개 유형으로 가중치를 설정하였는데, 옥상녹화의 경우, 토심 20cm 이상에서는 가중치 0.6을, 20cm 이하에서는 가중치 0.5를 부여받는다.

인공식재지반은 옥상녹화에서 가장 중요한 요소 중 하나로, 토양의 물리적 구조가 안정되어 있지 않아 식물체의 활착이 어렵고, 바람이 불 경우 식물체가 쉽게 흔들리게 되기 때문에 적절한 입도 분포로 식물 지지력을 갖출 수 있는 토양을 선정하여야 한다. 이와 더불어 보수성 및 통기성도 우수하여 토양 내에 무수한 세균을 발달시킴으로써 식재수목을 건설히 지지할 수 있는 토양을 제공하여야 한다. 하지만 대부분의 옥상녹화에 관한 연

구들은 세덤류 및 초본류를 대상으로 한 연구가 주로 이루어져 왔으며(이은희 등, 2007), 앞으로도 옥상녹화라는 상대적으로 불리한 조건에서 건전하게 생육할 수 있는 다양한 목본류에 대한 현장검증 실험이 요구된다.

옥상의 인공식재지반은 자연지반보다 온도가 높고 바람이 강하여 식물체의 증산작용과 토양 내 수분증발이 더욱 많아 지속적인 관수가 요청되므로, 관수설비를 통한 정기적인 관수가 요구된다. 하지만, 인력 및 비용 상승이 초래되므로 근본적인 해결책인 무관수에서도 식물생육이 건전하게 유지될 수 있는 토양수분에 대한 관심이 필요하다.

순비기나무(*Vitex rotundifolia*)는 마편초과에 속하는 낙엽활엽관목으로 주로 우리나라 해안 주변의 모래땅에 자생하고 있는 식물로서(이창복, 1989), 민간에서 잎과 가지를 목욕용 향료 재료로서 이용하고 있으며, 과실은 만형자라 하여 한방에서 해열, 강장, 청장에 처방되는 것으로 알려져 있다(한국화학연구소, 1988). 또한, 잎, 꽃, 열매의 아름다움을 갖고 있어 관상이나 식물재료로서의 이용가치가 기대되는 식물이다. 박종민과 박을수(2001)는 순비기나무가 토양 적응성이 넓고, 내건성과 내염성이 강하여 해안지역과 육지의 다양한 녹화·조경용으로서의 이용범위가 대단히 넓은 유용한 식물자원인 것으로 보고하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 옥상녹화 소재로 활용가능성이 높은 순비기나무를 대상으로 생태면적률 적용 토심을 기준으로 식재지반 따른 토양수분과 생육에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험구 및 식재지반 조성

옥상녹화 모의실험구는 500×500×300mm 크기의 장방형으로 제작하였으며, 토심별 생육조건을 알아보기 위해 15cm, 25cm의 높이로 각각 8개씩 제작하였다. 실험구의 하부에 배수판을 설치하여 배수가 용이하도록 하였으며, 공시토양이 빠져 나가지 않도록 부직포를 깔고 그 위에 식재토양을 포설하였다.

공시토양은 흔히 옥상식재기반재로 많이 사용되고 있고, 시중에서 쉽게 구할 수 있는 제품을 사용하였으며, 배합비는 표 1과 같다. 본 실험에서 사용된 공시토양은 8개의 유형으로 일반토양과 인공토양으로 대별되며, 식물의 생육에 있어 중요한 요소라고 볼 수 있는 양분과 수분특성을 고려해서 토양재료를 배합비별로 조제하였다. 먼저 일반토양은 모래와 부엽토로 구성되었으며, 배합비에 따라 S₁₀, L₁₀, S₇L₃, S₅L₅ 등 4종류로 조제되었다. 한편, 인공토양은 펄라이트, 피트모스, 부엽토가 주 구성재료이며, 배합비에 따라 P₇P₁L₂, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂ 등 4종류를 조제하였다(표 1 참조). 토심은 옥상녹화 생태면적률 기준으로 20cm 이상과 이하의 깊이로 설정하여 토심 15cm와 25cm로 구분하였다. 따라서, 모의실험구에서 토양배합비 8가지와 토심 2종류를 조합하여 총 16가지로 설계하였다.

2. 식물재료 및 식재방법

본 연구에서 사용한 순비기나무의 묘목은 경북 청송의 순비기나무 재배농장에서 평균 수고는 20±3cm 내외, 평균 근원직경은 2.0±0.5cm로 비교적 규격이 동일한 삼목 후 2년생 묘목을 사용하였다. 한 실험구당 10 그루씩 식재하였으며, 실험은 충청북도 충주시에 위치한 건국대학교 내 복합실습동 2층 옥상에서 2006년 4월부터 9월까지 수행하였다.

표 1. 토양배합구성성분과 배합비율

| 구분 | 공시토양 기호 | 배합비율 |
|-------|--|---------------------------|
| 일반 토양 | S ₁₀ | 모래 100% |
| | L ₁₀ | 부엽토 100% |
| | S ₇ L ₃ | 모래 70%+부엽토 30% |
| | S ₅ L ₅ | 모래 50%+부엽토 50% |
| 인공 토양 | P ₇ P ₁ L ₂ | 펄라이트 70%+피트모스 10%+부엽토 20% |
| | P ₆ P ₂ L ₂ | 펄라이트 60%+피트모스 20%+부엽토 20% |
| | P ₅ P ₃ L ₂ | 펄라이트 50%+피트모스 30%+부엽토 20% |
| | P ₄ P ₄ L ₂ | 펄라이트 40%+피트모스 40%+부엽토 20% |

3. 측정방법

1) 식재지반 이화학적 및 토양수분 특성

토양의 물리성을 위한 시료채취는 설치된 실험구에서 5달이 경과한 후 산중식(山中式) 경도계를 이용하여 실험구별로 25회 측정하여 평균값을 산출하였다. 기상 및 고상값은 100cc 토양코어를 이용하여 3번 반복해 토양시료를 채취하여 DAIKI 토양삼상계를 이용하여 도출하였다. 드라이오븐에서 24시간 이상 건조한 후 정량하여 액상의 값을 구하였다. 토양의 화학성은 일정한 밀봉봉투에 채취하여 실험실로 운반한 다음 농촌진흥청(2000)의 토양 및 식물체 분석법에 준하여 토양산도, 전기전도도, 유기물함량, 양이온치환용량을 각각 측정하였다. 실험기간 동안 토양 자체의 용적수분 변화를 알아보기 위해 40일 동안 매일 09시, 14시, 16시, 20시에 수분측정기(Theta Meter)를 이용해 토양표면에서부터 토양하부 7cm까지의 용적수분함량을 측정하였다. 토양수분장력은 텐시오미터(tensiometer)를 토심 15cm 실험구는 S₁₀, L₁₀, S₅L₅, P₆P₂L₂, P₄P₄L₂ 등에 5개, 토심 25cm 실험구는 S₁₀, L₁₀, S₅L₅, P₆P₂L₂, P₄P₄L₂ 등에 5개를 각각 설치하였다. 텐시오미터와 같은 지름을 가지는 오거(auger)를 사용하여 구멍을 파고 물에 갠 벤토나이트(bentonite)를 넣은 다음, 텐시오미터를 넣고 약간 비틀어 고정시킨 다음 틈이 없도록 벤토나이트로 채워 물이 흐르지 않게 하였다. 증류수를 사용하여 텐시오미터 튜브를 채우고 토양과 텐시오미터가 평형을 이루는 3~6시간 후 측정을 시작하여 매일 09시, 14시, 16시, 20시의 압력계 수치를 읽었다. 텐시오미터에 공기가 차지 않도록 증류수를 공급하였다.

2) 식물생육

순비기나무의 생육특성을 알아보기 위해 실험기간 동안 6회에 걸쳐 수고와 근원직경을 측정하였다. 또한, 식물의 생리적 활성정도를 보기 위해 휴대용 광합성 측정기 Li-6400(Li Cor Inc., 2007)를 사용하여, 배합비 및 토심에 따른 순비기나무 잎의 CO₂ 흡수량을 측정하여 광합성 반응을 조사하였다. 측정할 앞에 조사되는 빛의 광도와 챔버(chamber)에 유입되는 공기의 CO₂ 농도를 임의로 조절하기 위하여 광합성측정기에 LED 광원(light source)와 이산화탄소 주입시스템(CO₂ injector system)을 부착하여 사용하였다. 측정장치 챔버에 임의로 설정한 빛의 광도는 PPFD 1000 μmol·m⁻²·s⁻¹이며, CO₂ 농도는 400 μmolCO₂·mol⁻¹, 온도는 20℃의 조건에서 측정하였으며, 측정일은 시험기간 내 8월 13일 1회 측정하였다. 실험구별 배합비 및 토심에 따라 생육상태가 변화되는 정도를 알아보고 순비기나무의 건강성을 보기 위해 실험기간 중 7월 31일부터 8월 20일까지 2일에 1회, 총 10회에 걸쳐 엽록소 측정기 SPAD-502(Minolta, 2002)를 사용해 엽록소 함량을 측정하였다.

4. 통계 분석

자료의 분석은 SPSS Ver 12.0(SPSS Inc., 2004)을 이용하여, 식재지반과 토양수분, 순비기나무 생육과 토양수분과의 회귀분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식재지반의 이화학적 특성

물리성에 있어 15cm 실험구에서의 토양삼상 중 S₁₀에서 61.37의 가장 높은 고상율을, P₆P₂L₂에서 45.43의 가장 높은 액상율을, P₄P₄L₂에서 48.92의 가장 높은 기상율을 나타내었다. 25cm 실험구에서의 토양삼상 중 S₁₀에서 공극률이 45.59%로 가장 낮았고, P₄P₄L₂에서 83.41%의 가장 높은 공극률을 나타내었다(표 2 참조). 토심 15cm와 토심 25cm 모두 인공토양에서 낮은 고상율을 나타내었는데, 이것은 피트모스와 펠라이트의 높은 공극률에 의한 영향(김이열, 1996)으로 판단된다.

L₁₀, S₇L₃, S₅L₅의 토양산도(pH)는 부엽토양에 비례하여 증가하였으며, 인공토양에서의 산도는 피트모스가 증가함에 따라 약산성에 가까워지는 것으로 나타났다. 일반적으로 인공토양의 최저 pH는 5.4~6.8이나, 5.0~7.0 정도는 크게 무리 없이 식물은 생육할 수 있다(나우현, 1997). 따라서, 부엽토 100%인 L₁₀ 및 모래 70%, 부엽토 30%인 S₇L₃과 모래 50%, 부엽토 50%인 S₅L₅에서 적정 pH 범위를 벗어났다고 할 수 있다.

전기전도도(EC)는 L₁₀ 배합비에서 조경설계 기준의 중급(한국조경학회, 2002)에 해당하며, 나머지 배합비에 비해 조금 높은 수치를 나타내고 있음을 알 수 있고, 부엽토가 30%까지 혼합된 배합비에서는 모두 조경설계 기준의 상급에 해당하는 0.12dS/m~0.20dS/m의 범위로 나타났다. 다만, L₁₀, S₅L₅의 경우 전기전도도가 높아 식물의 염해가 우려(최희선과 이용범,

2001)되는 것으로 판단된다.

유기물 함량(OM)의 경우, 피트모스와 부엽토의 영향을 받아 부엽토 100% 실험구에서 72.4%로 가장 높은 반면, 혼합하지 않은 모래의 경우 0.6%로 가장 낮게 나타났다.

2. 토양수분함량변화

토심 15cm 배합비 S₁₀ 처리구의 수분함량변화를 살펴보면, 실험시작 후 10일 정도 후부터 거의 0.00%에 가까운 수치를 나타내었으며, 22일, 25일 강우에 의한 영향으로 수분함량이 늘어난 경향을 나타내었다. L₁₀ 실험구의 수분함량변화는 실험시작 후 수분함량이 서서히 낮아지는 추세를 보였지만 0.00%를 나타내지는 않았으며, S₇L₃ 실험구는 실험시작 후 14일 후부터 수분함량이 0.00%를 나타내었으며, 22일 강우 이후에는 수치가 조금씩 떨어졌으나, 0.00%를 나타내지는 않았다. S₅L₅ 실험구의 수분함량변화를 살펴보면, 실험시작부터 그리 높지 않은 수분을 함유하고 있었으며, 이후 점차적으로 수치가 떨어져 13일 쯤 지난 후의 수분함량은 약 0.00%를 나타내었다. 또한, 22일 강우 후 수치가 급격하게 상승하였다가 빠르게 감소하는 경향을 나타내었다. P₇P₁L₂ 실험구의 수분함량변화를 살펴보면, 실험시작일로부터 계속 낮아지는 추세를 보이지만 15일 만에 유일하게 0.00%에 가까운 수치를 보였다. 또한, 22일, 25일 강우 이후 수분함유량은 실험을 시작했을 때와 비슷한 수치를 나타내었다. P₆P₂L₂ 실험구의 수분함량은 실험기간 동안 0.00%를 보이지 않았으나, 8월 21일을 전후로 하여 최저수치를 나타내었다. P₅P₃L₂ 실험구의 수분함량변화를 살펴보면, P₆P₂L₂와 마찬가지로 8월 21일을 전후로 하여 최저수치를 나타내었으며, 22일, 25일강우 이후 높은 수분함량을 나타내 실험 초기와 비교하였을 때는 낮았다. P₄P₄L₂ 실험구의 수분함량변화를 살펴보면, 실험시작 직후에 수분함량이 매우 높은 수치를 나타내었으며, 20일에 걸쳐 수분함량이 낮아지는 추세를 보였다.

표 2. 공시토양의 이화학적 특성

| 공시토양 | 경도(mm) | | 공극률(%) | | pH (g: ml, cc: ml) | EC (dS/m) | OM (%) | 치환성 양이온(cmd/ℓ) | | | |
|--|--------|------|--------|-------|-----------------------|--------------|-----------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| | 15cm | 25cm | 15cm | 25cm | | | | K ⁺ | Na ²⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ |
| S ₁₀ | 3.85 | 3.38 | 38.63 | 45.59 | 6.7 | 0.08 | 0.6 | 1.585 | 0.895 | 3.65 | 37.5 |
| L ₁₀ | 0.95 | 1.11 | 81.33 | 81.21 | 7.3 | 0.53 | 72.4 | 32.940 | 3.286 | 56.52 | 316.6 |
| S ₇ L ₃ | 5.10 | 3.61 | 48.93 | 54.20 | 7.2 | 0.18 | 6.2 | 6.781 | 1.200 | 14.53 | 136.7 |
| S ₅ L ₅ | 1.61 | 3.51 | 54.60 | 58.94 | 7.4 | 0.38 | 8.4 | 8.022 | 1.334 | 20.53 | 163.7 |
| P ₇ P ₁ L ₂ | 0.63 | 0.73 | 77.56 | 77.58 | 6.8 | 0.20 | 25.6 | 4.244 | 1.691 | 10.89 | 100.1 |
| P ₆ P ₂ L ₂ | 0.66 | 1.50 | 79.48 | 77.17 | 6.6 | 0.18 | 36.8 | 2.943 | 1.754 | 10.32 | 84.09 |
| P ₅ P ₃ L ₂ | 0.81 | 0.66 | 86.64 | 80.47 | 6.3 | 0.19 | 43.9 | 2.802 | 1.795 | 14.34 | 94.59 |
| P ₄ P ₄ L ₂ | 0.75 | 0.66 | 86.43 | 83.41 | 6.1 | 0.12 | 54.0 | 3.120 | 1.555 | 14.02 | 83.86 |

22일 강우 시 수치가 증가하였으나, 25일 강우와 비교하였을 때 매우 낮은 변화량을 보인 것을 알 수 있다. 25일 강우 후 급격한 증가 추세를 보였으나, 이후에는 전과 비슷하게 서서히 감소하는 경향을 나타내었다(그림 1 참조).

토심 25cm 배합비 S₁₀ 실험구의 수분함량변화를 살펴보면, 실험 시작 직후의 수분함량이 매우 낮은 수치를 보였고, 이에 따라 서서히 감소하여 8월 12일을 전후로 하여 수분함량 0.00%를 나타내었다. 이후 22일과 25일 강우에 의해 상승세를 보였으나 높은 수치를 기록하지는 않았다. L₁₀ 실험구의 수분함량변화를 살펴보면, 실험 시작 후 서서히 떨어지는 추세를 보이다가 22일 강우에 의한 영향으로 급격히 상승 후 감소하였다. 또한, 25일 강우에 의해 급격히 상승하였다가 서서히 떨어졌으며, 9월 이후로는 지속적으로 감소하였다. S₇L₃ 실험구는 7월 31일 시작 일에도 수분함량은 높지 않았으며 서서히 감소하여 8월 13일에는 0.00%에 가까웠다. 또한, 22일 강우에 의해 높은 수치를 나타내며 상승하였고, 25일 강우에는 큰 영향을 받지 않은 것으로 판단된다. 토심 25cm 배합비 S₅L₅ 실험구의 수분함량변화를 살펴보면 서서히 떨어지다가 8월 14일에 약 0.00%를 나타내었으며, 이후 미약하게나마 증가하는 경향을 보이다가 22일 강우에 의해 급격히 상승하였고, 이후 25일 강우의 영향을 받아 증가 추세를 보이다가 다시 감소하였다. P₇P₁L₂ 실험구는 실험시작 후 서서히 떨어지기 시작하였고, 22일 강우 이후 급격히 상승하였으며, 다시 감소하였다가 25일 강우의 영향으로 상승하는 경향을 보였다. 25일 이후 수분함량의 수치변동은 있었으나 미약하게 감소하였으며, 수분함량이 0.00%가 되는 경우는 없었다. P₆P₂L₂ 실험구도 마찬가지로 실험 시작 후 14일 동안 서서히 떨어지다가 14일 관수의 영향으로 상승하였다. 또한, 22일, 25일 강우의 영향으로 높아졌으며, 서서히 감소하는 것을 알 수 있다. P₅P₃L₂, P₄P₄L₂ 실험구도 마찬가지로 수분함량 0.00%는 기록하지 않았

으며, 25일 강우 이후 급격히 상승하였으며 다시 감소하는 경향을 보였다(그림 1 참조).

토심 15cm 실험구의 날짜 경과에 따른 수분함량변화에 대해 알아보기 위해 회귀분석을 통해 분석하였으며, 이것은 무강우 기간인 7월 31일부터 8월 13일까지의 수분변화를 살펴보았다. L₁₀이 17.89일 경과 후 수분함량이 0.00%가 되는 반면, S₁₀ 실험구가 12.46일로 가장 빠른 수분 감소율을 나타내었다. 또한, 인공 토양의 경우 P₇P₁L₂ 배합비에서 가장 낮은 감소율을 보였다(표 3 참조).

토심 25cm 배합비에 따른 수분변화도 토심 15cm와 같이 날짜가 경과함에 따라 서서히 감소하였으나 15cm 토심에 비하여 대부분 낮은 수분감소율을 보였다. P₇P₁L₂ 실험구가 22.82일 경과 후 수분함량이 0.00%가 되는 반면 S₅L₅ 실험구가 14.87일로 가장 빠른 수분 감소율을 나타내었다. 모래가 포함된 S₁₀, S₇L₃, S₅L₅에서 15~17일로 대체로 높은 감소율을 보였다. 토심 25cm 실험구의 날짜 경과에 따른 수분감소 회귀식은 다음과 같으며, 이 회귀식의 경우 유의수준 1%에서 유의상관이 인정되었다(표 4 참조).

3. 토양수분장력변화

토심 15cm 배합비 S₁₀ 실험구의 수분장력변화를 살펴보면, 대부분이 -20kpa 이하로 전체적으로 낮은 수치를 나타내었다. 원예용 상토는 일반적으로 0~-10kPa의 범위에서 유효수분을 가지며, 이 범위에서의 수분특성 변화는 관수에 중요한 영향을 미친다. pF나 압력이 낮으면 토양 중에 저장되지 못하는 중력수가 되어 토층 밖으로 흘러나가고, 토양 중에 저장되었다가 식물에 이용되는 수분(유효수)은 모세관수 중에서도 15기압 또는 pF 4.2 이하의 장력으로 흡인된 것이다. 이 수분량은 사토에서

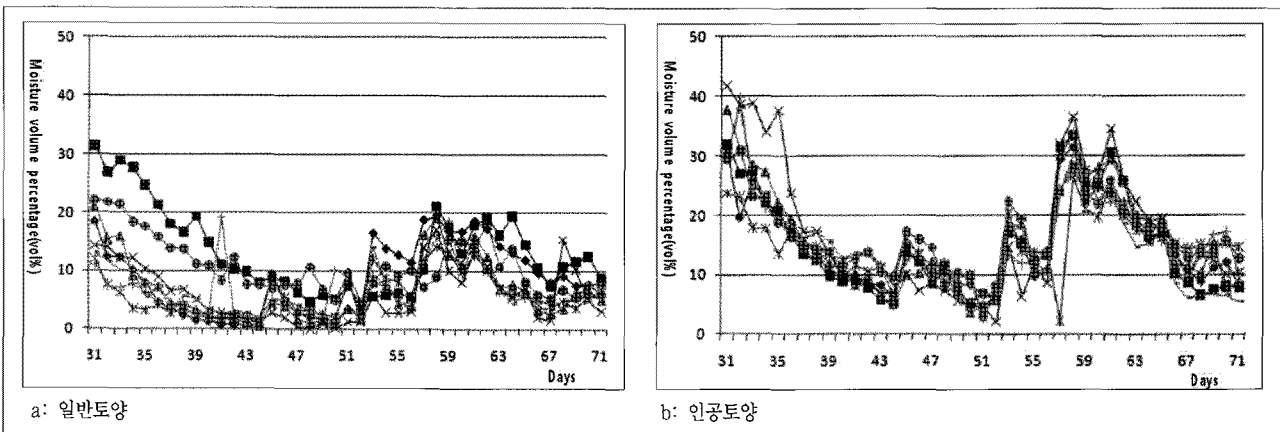


그림 1. 15cm와 25cm 토심에서 토양배합비에 따른 용적수분함량의 변화
 법례: a: ◆ 15cm S₁₀, ■ 15cm L₁₀, ▲ 15cm S₇L₃, × 15cm S₅L₅, * 25cm S₁₀, ● 25cm L₁₀, | 25cm S₇L₃, — 25cm S₅L₅
 b: ◆ 15cm P₇P₁L₂, ■ 15cm P₆P₂L₂, ▲ 15cm P₅P₃L₂, × 15cm P₄P₄L₂, * 25cm P₇P₁L₂, ● 25cm P₆P₂L₂, | 25cm P₅P₃L₂, — 25cm P₄P₄L₂

표 3. 토심 15cm 실험구에서 날짜 경과에 따른 토양배합비 내 토양 수분감소 단순 회귀분석

| 배합비 | 회귀계수 | | R ² |
|--|--------|---------|----------------|
| | X(경과일) | Y(수분함량) | |
| S ₁₀ | -1.119 | 13.945 | 0.850* |
| L ₁₀ | -1.759 | 31.475 | 0.953* |
| S ₇ L ₃ | -1.124 | 14.329 | 0.854* |
| S ₅ L ₅ | -1.096 | 15.473 | 0.978* |
| P ₇ P ₁ L ₂ | -1.758 | 28.724 | 0.898* |
| P ₆ P ₂ L ₂ | -2.087 | 31.145 | 0.943* |
| P ₅ P ₃ L ₂ | -2.388 | 35.933 | 0.948* |
| P ₄ P ₄ L ₂ | -2.906 | 43.002 | 0.917* |

*: 1% 유의수준에서 양측 검정 결과 유의성 있음.

표 4. 토심 25cm 실험구에서 날짜 경과에 따른 토양배합비 내 토양 수분감소 단순 회귀식

| 배합비 | 회귀계수 | | R ² |
|--|--------|---------|----------------|
| | X(경과일) | Y(수분함량) | |
| S ₁₀ | -0.503 | 7.588 | 0.680* |
| L ₁₀ | -1.332 | 24.220 | 0.939* |
| S ₇ L ₃ | -0.549 | 9.143 | 0.854* |
| S ₅ L ₅ | -0.858 | 12.767 | 0.954* |
| P ₇ P ₁ L ₂ | -0.963 | 21.983 | 0.833* |
| P ₆ P ₂ L ₂ | -1.429 | 27.561 | 0.862* |
| P ₅ P ₃ L ₂ | -1.531 | 29.152 | 0.929* |
| P ₄ P ₄ L ₂ | -1.715 | 31.578 | 0.916* |

*: 1% 유의수준에서 양측 검정 결과 유의성 있음.

적고, 양토, 식토 등 점토와 부식의 함량이 많고 구조가 잘 발달된 토양일수록 많아(송영환, 2002), S₁₀ 실험구는 보비력과 보수력이 떨어지는 모래의 특성으로 인한 것으로 판단된다. L₁₀ 실험구의 수분장력변화를 살펴보면 대체적으로 수치변화의 폭이 컸으며, 이는 배수를 양호하게 하는 부엽토의 특성으로 인해 토양 수분 손실이 높았기 때문인 것으로 분석된다. S₅L₅ 실험구 수분장력변화는 비가 오지 않는 가뭄현상이 계속되면서 실험시작 2주 후부터는 수분장력 수치가 급격히 상승하였다. 또한 25일 강우에 의한 영향으로 급격히 감소하였으나, 가뭄현상으로 인해 다시 상승하는 경향을 나타내었다. 수치변화의 폭이 큰 것으로 나타났다. P₆P₂L₂ 실험구의 수분장력변화를 살펴보면 대체적으로 수치변화의 폭이 크지 않았으며, 강우에 의한 영향 또한 크게 받지 않은 것으로 나타났다. P₄P₄L₂ 실험구는 P₆P₂L₂ 실험구에 비

해 수분장력변화 수치가 약간 높게 나타났다. 22일 강우 이후 감소하였으나 25일 강우의 영향을 받지 않았고, 이후 서서히 증가하는 경향을 나타내었다(그림 2 참조). 이는 80% 이상의 보수능력이 있는 피트모스의 영향(신상섭과 김세천, 2009)으로 사료된다.

토심 25cm 배합비 S₁₀ 실험구의 수분장력변화를 살펴보면 15cm 실험구에 비해 더 낮은 수분장력 수치를 나타내었으며, 대부분이 -10kpa 이하로 이는, 모래의 낮은 보비력과 보수력에 기인한 것으로 판단된다. L₁₀ 실험구의 수분장력변화를 살펴보면 토심 15cm L₁₀ 실험구에 비해 비교적 고른 형태로 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 배합비 S₅L₅ 실험구의 수분장력변화를 살펴보면 실험 시작 이후 증감의 변화폭이 낮았으며, 8월 26일 이후부터는 계속 증가하였다. 이는 22일, 25일 강우 이후의 가뭄현상에 따른 영향으로 판단된다. P₆P₂L₂ 실험구의 수분장력변화를 살펴보면 다른 실험구와는 달리 매우 낮은 수치의 수치를 나타내고 있으며, 실험 시작 후부터 종료까지 -20kPa를 넘어가는 현상은 나타나지 않았다. 반면에 P₄P₄L₂ 실험구의 수분장력변화를 살펴보면 P₆P₂L₂에 비해 실험 시작 후 낮은 폭으로 상승과 감소를 반복하였다. 8월 25일 이후 강우에 의한 영향으로 낮은 수치를 유지하다 8월 30일 이후에는 꾸준히 상승하였다(그림 2 참조).

4. 식재지반에 따른 순비기나무의 생육특성

1) 수고

일반토양에서의 수고생장을 보면, S₁₀ 실험구에서는 평균 1.3cm로 낮은 성장량을 보였으며, L₁₀ 실험구에서는 평균 2.4cm 성장하였다. S₇L₃ 실험구의 경우 S₁₀과 L₁₀ 실험구보다 높은 8.8cm의 성장량을 나타내었고, S₅L₅ 실험구는 평균 10.8cm로 가장 많이 성장하였다. 인공배합토인 P₇P₁L₂, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂ 실험구의 경우 각각 평균 5.32, 12.1, 11.9, 21.1cm의 성장량을 보여 배합비 간에는 대체적으로 피트모스의 배합율이 많을수록 수고생장이 양호한 경향을 나타냈으며, P₄P₄L₂에서 가장 높은 성장량을 나타내었다. 토심 15cm인 모든 실험구에서 토양수분이 거의 0.00%임에도 불구하고 고사한 식물체가 없는 것은 순비기나무가 다른 식물에 비해 내건성이 매우 강한 것으로 판단된다. 이러한 경향은 화강암질풍화토와 황토에서 수분함량이 매우 낮음에도 실생묘의 생존율이 각각 76%와 72%로 조사된 결과(박종민과 김도균, 2004)와 모래나 마사토가 황토보다 실생묘와 삼목묘의 생존율이 높다는 결과(김계환 등, 2007)에서도 살펴볼 수 있다.

토심 25cm 모든 실험구에 고사는 나타나지 않았으나, 토심 15cm에 비해 전반적으로 높은 성장량을 보였다. 일반토양인 S₁₀ 실험구에서는 2.9cm의 더딘 성장량을 보인 반면, L₁₀ 실험

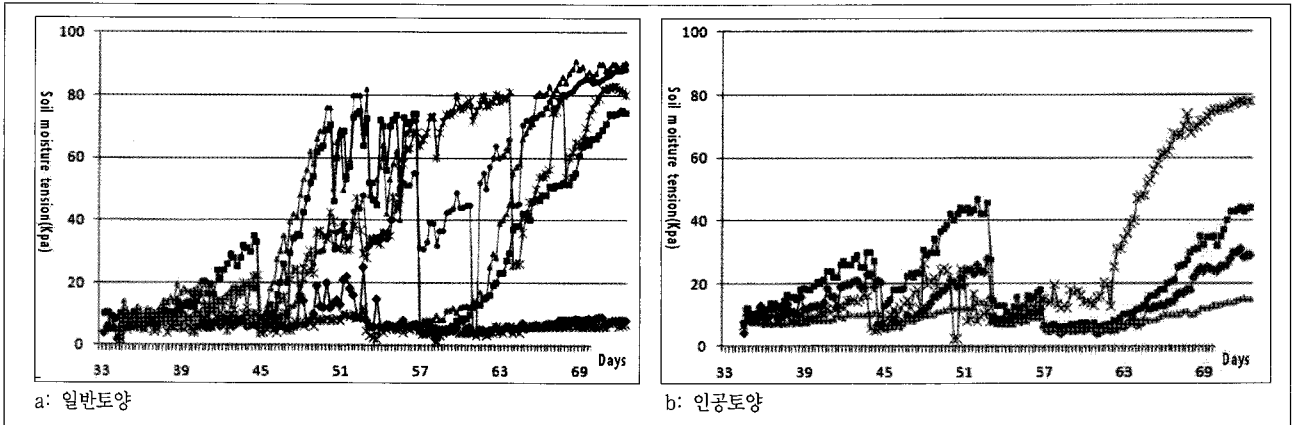


그림 2. 15cm와 25cm 토심에서 토양배합비에 따른 토양수분장력 변화
 범례: a: ◆ 15cm S₁₀, ■ 15cm L₁₀, ▲ 15cm S₅L₅, × 25cm L₁₀, * 25cm L₁₀, ● 25cm S₅L₅
 b: ◆ 15cm P₆P₂L₂, ■ 15cm P₄P₄L₂, ▲ 25cm P₆P₂L₂, * 25cm P₄P₄L₂

구에서는 6.46cm의 성장량을, S₇L₃과 S₅L₅에서는 각각 5.63cm, 5.63cm의 성장량을 나타내, 순비기나무가 토양적응성이 넓은 수종이나(박을수, 2001), 원활한 생육을 위해서는 유기질성분이 필요한 것으로 판단된다. 인공배합토인 P₇P₁L₂, P₆P₂L₂ 실험구는 각각 12.1cm, 6.1cm의 성장량을 보였으며, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂ 실험구는 각각 24.0cm, 24.6cm로 토심 15cm에서와 같이 피트모스의 함량이 높을수록 수고의 성장량도 높았다. 이러한 결과는 토양함수율에 따른 성장량의 차이가 줄기길이에서 가장 뚜렷하게 나타난 것(박종민과 김도균, 2004)과 유사한 결과를 보이고 있다.

2) 직경성장

토심 15cm 실험구의 직경성장에 있어서, 일반배합토인 S₁₀, L₁₀ 실험구에서는 각각 0.24mm, 0.26mm로 낮은 성장량을 보였고, S₇L₃, S₅L₅ 실험구는 각각 1.58mm, 1.75mm로 나타났다. 인공배합토인 P₇P₁L₂, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂ 실험구의 근원직경

변화는 평균 2.1mm, 3.17mm, 3.49mm, 3.59mm로 일반배합토보다 전반적으로 높았다.

토심 25cm 실험구에서 일반배합토인 S₁₀ 실험구의 직경성장은 평균 0.22mm로 낮은 성장량을 보였으나, L₁₀ 실험구는 3.13mm로, 토심 15cm 실험구에 비해 비교적 높은 성장률을 보였다. S₇L₃, S₅L₅ 실험구는 각각 평균 2.95mm, 2.31mm으로 나타났다. 인공배합토의 경우, P₇P₁L₂ 실험구에서는 1.48mm로 낮은 성장량이었으나, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂ 실험구에서는 평균 3.54mm, 3.43mm, 5.31mm로 각각 성장량을 보여, 피트모스 함량이 가장 높은 P₄P₄L₂ 실험구의 순비기나무가 가장 높은 직경 성장량을 나타냈다.

3) 엽록소 함량변화

토심 15cm의 엽록소 함량변화는 일반배합토인 S₁₀ 실험구에서 가장 낮은 수치인 평균 25.98의 함량을, L₁₀, S₇L₃, S₅L₅ 실험구에서는 각각 35.9, 40.69, 42.12의 함량을 나타내었다. 이에 반

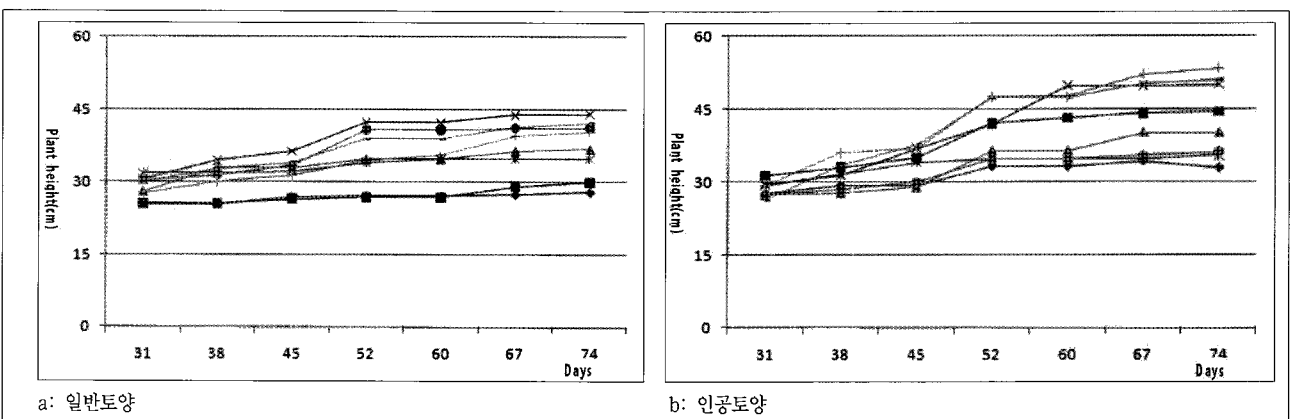


그림 3. 15cm와 25cm 토심에서 토양배합비에 따른 순비기나무의 수고 변화
 범례: a: ◆ 15cm S₁₀, ■ 15cm L₁₀, ▲ 15cm S₇L₃, × 15cm S₅L₅, * 25cm S₁₀, ● 25cm L₁₀, | 25cm S₇L₃, — 25cm S₅L₅
 b: ◆ 15cm P₇P₁L₂, ■ 15cm P₆P₂L₂, ▲ 15cm P₅P₃L₂, × 15cm P₄P₄L₂, * 25cm P₇P₁L₂, ● 25cm P₆P₂L₂, | 25cm P₅P₃L₂, — 25cm P₄P₄L₂

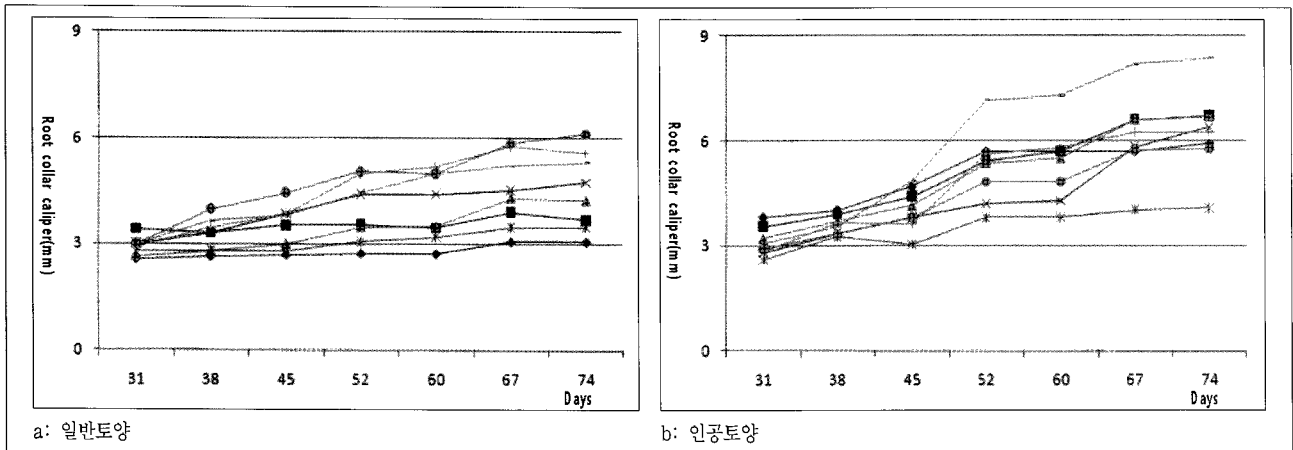


그림 4. 15cm와 25cm 토심에서 토양배합비에 따른 순비기나무의 직경변화

범례: a: ◆ 15cm S₁₀, ■ 15cm L₁₀, ▲ 15cm S₇L₃, × 15cm S₅L₅, * 25cm S₁₀, ● 25cm L₁₀, | 25cm S₇L₃, — 25cm S₅L₅
 b: ◆ 15cm P₇P₁L₂, ■ 15cm P₆P₂L₂, ▲ 15cm P₅P₃L₂, × 15cm P₄P₄L₂, * 25cm P₇P₁L₂, ● 25cm P₆P₂L₂, | 25cm P₅P₃L₂, — 25cm P₄P₄L₂

해, 인공배합토인 P₅P₃L₂ 실험구에서는 가장 높은 수치인 평균 43.17의 함량을 나타내었으며, P₇P₁L₂, P₆P₂L₂, P₄P₄L₂의 실험구는 각각 37.02, 37.46, 38.58 함량으로 일반배합토와 큰 차이를 나타내지는 않았다. 하지만 토양수분감소변화가 심하고 유기물함량이 부족한 S₁₀ 실험구에서 엽록소 함량이 가장 낮은 수치를 나타내, 잎의 건강도와 관상가치가 떨어졌다(그림 5 참조).

토심 25cm에서 일반배합토의 경우, S₁₀ 실험구는 토심 15cm와 마찬가지로 평균 28.89의 함량으로 가장 낮은 수치를, S₇L₃ 실험구는 평균 41.01 함량으로 가장 높은 수치를 나타내었다. L₁₀과 S₅L₅ 실험구는 각각 평균 39.16, 40.69 함량으로 측정되었다. 인공배합토의 경우, P₇P₁L₂ 실험구는 평균 37.02, P₆P₂L₂ 실험구는 평균 36.23의 수치를 나타내었으며, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂ 실험구는 각각 평균 40.68, 40.77로, S₁₀ 실험구를 제외하고 토심과

토양 배합비에 따른 차이는 뚜렷하지 않았다(그림 5 참조).

4) 토양수분함량에 따른 순비기나무의 광합성을

토양수분함량이 광합성에 영향을 미치는지 알아보기 위해, 14일간 가뭄스트레스를 받은 8월 13일에 광합성율과 토양수분함량과의 회귀분석을 한 결과, 수분함량이 1% 증가함에 따라 광합성율은 2.82u mol CO₂ m⁻¹s⁻¹ 증가하는 것으로 나타났으며, 수분함량에 따른 광합성율에 대한 회귀식은 식 1과 같다. 이 회귀식의 경우 유의수준 1%에서 유의상관이 인정되었다.

$$y=4+2.82x \tag{식 1}$$

여기서, y=광합성율

x=토양수분함량

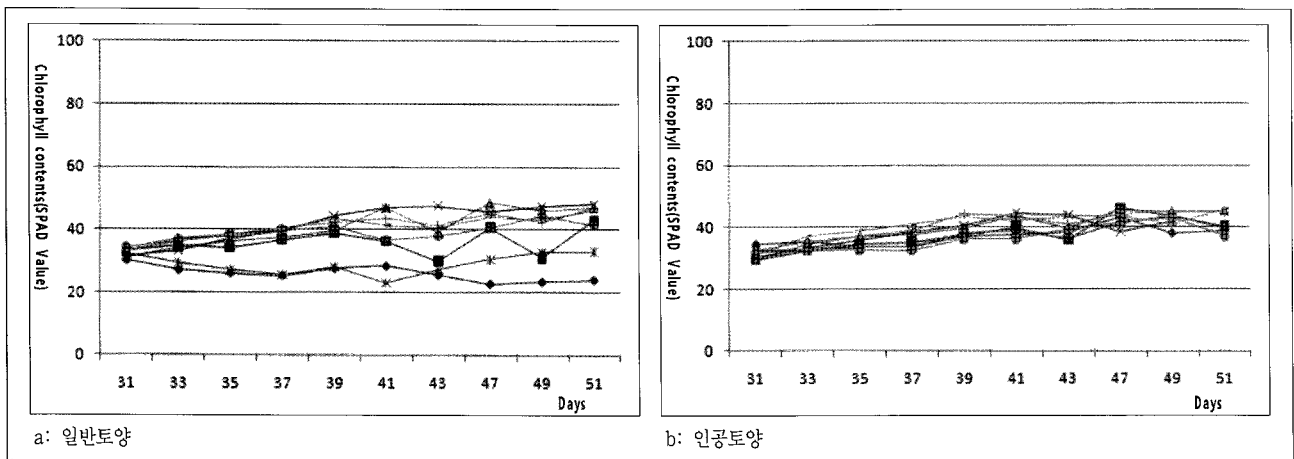


그림 5. 15cm와 25cm 토심에서 토양배합비에 따른 순비기나무의 엽록소 함량변화

범례: a: ◆ 15cm S₁₀, ■ 15cm L₁₀, ▲ 15cm S₇L₃, × 15cm S₅L₅, * 25cm S₁₀, ● 25cm L₁₀, | 25cm S₇L₃, — 25cm S₅L₅
 b: ◆ 15cm P₇P₁L₂, ■ 15cm P₆P₂L₂, ▲ 15cm P₅P₃L₂, × 15cm P₄P₄L₂, * 25cm P₇P₁L₂, ● 25cm P₆P₂L₂, | 25cm P₅P₃L₂, — 25cm P₄P₄L₂

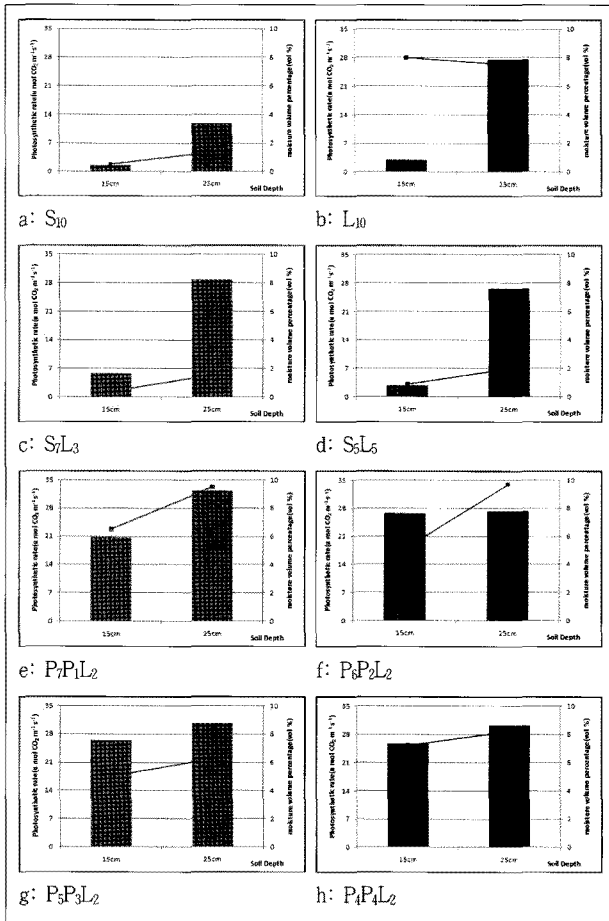


그림 6. 토양배합비별 토양수분함량에 따른 순비기나무의 광합성율
 범례: ■ 광합성율, — 토양수분함량

IV. 결론

본 연구는 옥상녹화 생태면적률 기준을 효과적으로 시행하기 위해, 식재지반이 토양수분과 순비기나무의 생육에 미치는 영향을 살펴보고자 수행하였다. 500×500×300mm의 실험구에 토심 15cm와 25cm로 대별하였으며, 토양배합비에 따라 S₁₀, L₁₀, S₇L₃, S₅L₅, P₇P₁L₂, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂ 등 총 8개로 구성하였다. 본 연구는 2006년 4월에서 9월까지 약 5개월간 진행되었으며, 그 결과는 다음과 같다.

식재층과 식재기반에 따른 토양수분함량은 점점 감소하는 경향을 보이다가 강우 후 상승한 반면, S₁₀, S₇L₃, S₅L₅ 실험구의 경우 수분함량이 급격히 떨어지는 경향을 나타내었다. 이에 비해 피트모스와 펄라이트가 포함된 P₇P₁L₂, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂에서는 완만하게 감소하여 저관리형 옥상녹화에 보수성이 높은 토양개량제 사용은 불가피할 것으로 판단된다. 순비기나무의 생육 실험 결과, P₆P₂L₂, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂ 실험구의 경우 생육이 양호하였다. 수고와 근원직경 생육 측정 결과 15cm 토심에서는 P₄P₄L₂ 근원직경에서 가장 왕성한 성장을 보였으며, P₅P₃L₂와 수고 생장

율이 비슷하였다. S₁₀은 다른 실험구에 비해 미비한 성장을 보였으며, 이것은 낮은 토양수분함량과 유기물부족이 원인으로 작용한 것으로 본다. L₁₀ 실험구는 토양수분함량 및 유기물은 풍부한데도 불구하고 낮은 성장률을 보인 것은 유기질비료의 낮은 토양산도와 과잉 치환성 양이온함량에 의한 것으로 판단된다.

토심 15cm 실험구와 25cm 실험구를 비교해 보았을 때, 확연한 차이는 없었으나 토심 25cm 실험구에서 좀 더 원활한 생육을 보였다. 15cm 실험구의 14일 무관수에서도 순비기나무가 고사하지 않고 생육 가능했던 점과 P₆P₂L₂ 이상의 피트모스 배합비에서 왕성한 생육이 이루어진 점을 미루어 볼 때 저관리형 옥상녹화에 적합한 토양배합비는 인공토가 포함된 P₆P₂L₂, P₅P₃L₂, P₄P₄L₂로 파악할 수 있었다.

후후 무관수 옥상녹화시스템에 따른 다양한 목본수종에 대한 폭넓은 연구가 필요하며, 특히, 뿌리호흡에 악영향을 주지 않으면서 토양수분함량을 높일 수 있는 멀칭(mulching)과 토양수분보조제(water-retaining granules)에 대한 세밀한 연구가 집중되어야 할 것이다.

인용문헌

- 김계환, 박종민, 서병수, 윤세익(2007) 토양과 비배관리에 의한 순비기 나무의 재배방법에 관한 연구. 한국환경생태학회지 21(6): 544-553.
- 김이열(1996) 코코피트와 피트모스의 특성, 토양과 비료 13: 14-21.
- 나우현(1997) 한국의 양약재배 현황과 문제점. 한국양약재배연구회지 33: 163-171.
- 농촌진흥청(2000) 토양 및 식물체 분석법. 농업과학기술원.
- 박을수(2001) 해안사구 녹화식물 개발을 위한 순비기나무의 생장특성 및 번식에 관한 연구. 전북대학교 대학원 석사학위논문.
- 박종민, 김도균(2004) 순비기나무의 녹화소재 이용성 확대를 위한 토양 및 토양수분 적응성에 관한 연구. 한국환경생태학회지 18(3): 316-325.
- 박종민, 박을수(2001) 해안사구 녹화식물 개발을 위한 순비기나무의 생장특성 및 번식에 관한 연구. 한국환경생태학회지 15(1): 57-68.
- 송영환(2002) 옥상녹화 시스템의 재료별 열성능 및 수분수지 특성에 관한 연구. 한양대학교 대학원 석사학위논문.
- 신상섭, 김세천(2009) 조경시설재료학. 서울: 문운당.
- 이은희, 조은진, 박민영, 김동욱, 장성환(2007) 초화류를 중심으로 한 관리조방적 옥상녹화용 식물소재 선정. 한국환경복원녹화기술학회지 10(2): 84-96.
- 이창복(1989) 대한식물도감. 서울: 향문사.
- 최희선, 이용범(2001) 광 환경에 따른 옥상녹화용 자생 초화류 선발 및 중 자생초화류들의 CO₂ 및 SO₂ 흡수능력. 원예과학기술지 19(1): 112.
- 한국조경학회(2002) 조경설계기준. 서울: 기문당.
- 한국화학회연구소(1988) 한국유용식물자원연구총람. 서울: 한국화학연구소.
- 한국환경과학회(2009) 그린조경학. 서울: 문운당.

원 고 점 수 일: 2010년 1월 14일
 심 사 일: 2010년 3월 24일(1차)
 2010년 6월 15일(2차)
 2010년 6월 27일(3차)
 계 재 확 정 일: 2010년 6월 28일
 3인익명 심사필