

식생모듈박스를 이용한 저토심 무관리형 옥상녹화

- 토양 배합비가 식물생육에 미치는 영향을 중심으로 -

강태호* · 조홍하** · 이홍** · 강성훈**

*동국대학교 조경학과 · **동국대학교 조경학과 대학원

Roof Greening applied a Sallow Green Roof Module System Out of Management

- Focused on the Effects on the Growth of Plants by Difference of Soil Mixture Ratio -

Kang, Tai-Ho* · Zhao, Hong-Xia** · Li, Hong** · Kang, Sung-Hoon**

*Dept. of Landscape Architecture, Dongguk University

**Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Dongguk University

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the effects on the growth of *Sedum* species by different soil in shallow green roof module system, and to find the best soil mixture. The experiment used a module system, 7cm soil depth, five types of soil mixture ratio, and it was carried out on 7th Floor rooftop in December of 2010. The growth status of the plant showed the most superior of the P5C7P2V1, next P10C7P2V1 and P1P1V1, P1 and C1 showed very poor growth. This result showed that the soil mixture ratio (P5C7P2V1) in green roof module system with minimum management can contribute to the proliferation of rooftop greening in urban settings.

Key Words: Roof Greening Module System Out of Management, Sedum Specie, Module System, Plant Growth

국문초록

본 연구는 저토심 무관리형 옥상녹화시스템을 위한 토양배합이 세덤류 생육에 미치는 영향을 연구하여 생육 적정성 토양배합을 파악하고자 하였다. 식생모듈박스를 이용하여 토심 7cm, 5종 토양배합비가 있어 2010년 12월부터 5층 옥상에서 실시하였다. 식물의 생육현황은 P5C7P2V1이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 다음으로 P10C7P2V1과 P1P1V1, P1과 C1의 생육이 가장 저조한 것으로 나타났다. 실험 결과, P5C7P2V1의 토양배합비에서 효과가 가장 양호하게 나타나, 도시내 대면적 녹화에 기여할 수 있는 토양배합비로 판단된다.

주제어: 저토심 무관리 옥상녹화, 세덤, 모듈박스, 식물생육

Corresponding author: Hong-Xia Zhao, Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Dongguk University, Gyeongju 780-714, Korea, Phone: +82-10-9690-6668, E-mail: zhhx@dongguk.ac.kr

I. 서론

급속한 도시화로 인해 도시환경이 악화되었고, 도심열섬화 현상이 증가되었다. 도시내 녹지면적이 감소하여 이를 해결할 수 있는 방안으로 옥상녹화에 대한 관심이 집중되고 있다. 옥상녹화는 도시 녹지축의 연결, 도시생태환경 확보 측면에서 중요한 의미가 있어 옥상녹화를 적극적으로 권장하고 있다. 현재 도시내 가장 많은 면적을 차지하고 있는 기존 건물들은 관리종량형이나 혼합형 옥상녹화 방식으로는 건물 하중 때문에 옥상녹화를 실시하기 어려워 저관리종량형 녹화가 적합하다.

옥상은 복사열에 의한 상층부의 고온화 현상과 폭우에 의한 식물의 생존능력 저하 및 바람이 강하고 건조하여 수분부족 현상을 나타내기 쉬우며, 건물의 지반하중 증가로 인한 건물의 부담을 가중시키는 등의 단점이 있다(권지오와 김용훈, 2007). 그러므로 옥상녹화를 위해서는 가벼우면서도 관리가 용이한 식재기반을 갖추는 것은 요구가 된다.

옥상녹화에서 가장 중요한 요소중 하나로, 토양의 조성이 안정되어 있지 않아 식물체의 활착이 어렵고, 바람이 불 경우 식물체가 쉽게 흔들리게 되기 때문에 적합한 토양의 선정하여야 한다. 기존 연구들을 토양배합과 저토심에 관한 연구로는 김인혜와 허근영(2003)의 땅채송화를 이용한 저토심 옥상녹화에서의 생육특성으로 토심이 10cm에서 땅채송화의 생육량과 생육질이 가장 높다. 이은희 등(2005)은 코코넛 섬유소와 더스트를 배합하여 조성한 실험구에서 토심 10cm와 매트 3cm의 총 13cm의 낮은 생육기반에서도 식물의 생육이 가능한 것으로 평가하였다. 주진희와 윤용한(2010)은 돌나물을 적용한 무관수 옥상녹화에서 토양배합비를 펠라이트, 피트모스, 부엽토를 부피율(v:v:v, 7:1:2; 6:2:2; 5:3:2; 4:4:2)로 섞은 실험에서 토심 15cm의 P5P3L2 실험구에서 초장과 피복율 가장 좋은 결과를 보였다. 또한 저토심 옥상녹화공법으로 최진우 등(2009)은 세립토양필터가 붙은 1cm 롤형 배수판 위에 7.5cm 두께의 압면매트를 설치, 그 위에 4.5cm의 상토층(발포세라믹:수피:감람석=6:3:1)을 조성하여 전체 토심 13cm의 구조를 이용하여 기린초, 애기기린초, 돌나물 등이 저토심 옥상녹화공법에서 양호한 생육 경향을 보였으며, 저비용으로 옥상녹화가 가능하였다. 이와 같은 연구들은 주로 10cm 이상의 토심에서 적합한 토양배합을 식물의 건전한 생육에 초점을 맞추고 있으므로, 세립류의 도입 및 이들의 건전한 생육을 중심으로 한 7cm 저토심 옥상녹화 시스템에서는 적합한 토양배합에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

모듈형 옥상녹화 시스템은 모듈형태이고, 저수, 배수, 방근, 세립토양 여과가 일체화된 제품으로 모듈을 서로 연결시킬 수 있고 파손 시 교체가 편리한 제품이다. 현재 한국 국내의 세립류 모듈형 옥상녹화 시스템은 (주)한수그린텍의 세덤블럭, (주)

이텍의 식생모듈박스, (주)한국도시녹화의 조방형 옥상녹화 시스템, (주)에코엔바이오의 모듈형 옥상녹화 시스템(MRG), (주)한설그린의 그린블록레인 등의 옥상녹화 공법이 도시에서 많이 이용되고 있다. 그중에서 토심 10cm 모듈형 옥상녹화 시스템(MRG: (주)에코엔바이오)을 이용하여 저관수형 옥상녹화에서 토양 유기물함량 및 토심에 따른 식물생장 변화(김성기, 2007)를 연구하였으며, 또한 수분과 양분변화에 따른 두메부추의 성장변화(어양준, 2007), 그리고 옥상녹화에서 토양 종류에 따른 자생초화류 생육(김형태, 2011)을 연구하였지만, 하중의 영향이 더 적고 시공이 간편한 모듈형 옥상녹화 공법에 대한 연구가 필요하다. 특히 식생모듈박스를 이용한 저토심 무관리형 옥상녹화를 위한 토양 배합이 식물 생육에 미치는 영향 연구는 매우 필요하다. 기존 건축물의 옥상에 녹화를 위해서는 가벼우면서도 관리가 용이한 식재기반을 갖추는 것은 물론, 비용 및 인력의 낭비를 줄이면서 효율적인 시공과 하중부담이 절감되는 옥상녹화 시스템이 구축되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 국내 공법 중에서 주로 세덤에 관한 공법을 중심으로 조사 분석하였으며, 세덤류의 생육을 건전하게 유지하고, 건축물에 미치는 하중을 최소화하는 저토심 무관리 옥상녹화시스템을 연구하였다. 세덤의 최소 토심인 5cm, 피복을 위한 화산석 2cm로 구성된 식생모듈박스를 이용하여 옥상녹화 실험을 실시하였다. 옥상녹화 식물소재는 관상 가치와 내건성이 높은 세덤류 4종을 대상으로, 저토심 무관리 옥상녹화에서 식물생육변화를 평가하여 식생모듈박스 옥상녹화시스템에 적합한 토양 배합비율을 제시하기 위하여 수행하였다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구범위 및 대상지 현황

연구의 대상지는 경상북도 경주시에 위치한 동국대학교 자연과학관 5층 옥상에서 실시하였다. 2010년 12월 12일에 옥상

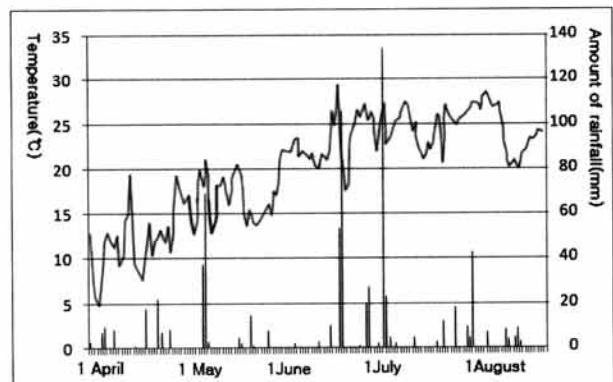


그림 1. 실험기간 대상지의 평균 기온 및 강우량

녹화를 시공하였으며, 2011년 4월 1일부터 8월 31일까지 식물 생육측정을 수행하였다. 실험기간 동안 관수는 자연강우에 의존하여 실시하였다. 실험구가 완료된 후 실험 실시 기간의 강수량은 총 757.3mm, 평균기온은 19.97℃를 나타냈으며, 실험기간 중 생육초기인 4월의 경우 무강우의 기간이 길어진 반면, 강우는 7월과 8월에 집중되는 경향을 보였다(그림 1 참조).

2. 연구방법

1) 공법의 비교 및 분석

문헌조사를 통하여 국내 공법을 조사하였고, 공법 중에서 주로 세덤에 관한 공법을 중심으로 조사 분석하였다. 저토심 옥상녹화시스템 공법별 차이점은 공지된 표준시공도와 카탈로그(catalogue)를 참조하여 비교·분석하였다.

2) 실험 재료 및 실험구 조성

옥상녹화용 식물재료는 키가 너무 크지 않으며, 치밀하게 표면을 덮는 것이 좋으며, 토심의 제약을 받으므로 내건성이 우수한 식물이어야 한다(조용현과 한규희, 2009). 저관리 경량형 옥상녹화에서 사용되고 있는 식물종을 강규이(2005)는 토심 8cm의 낮은 토심에서도 생존이 가능한 섬기린초, 돌나물, 큰평의비름, 애기기린초를 적합수종으로 제시하였다. 따라서 본 연구에서 건조에 잘 견딜 수 있는 세덤류를 위주로 섬기린초(*Sedum takevimensense*), 애기기린초(*S. middendorffianum*), 흰꽃세덤(*S. album*), 분홍세덤(*S. spurium*) 4종을 이용하여 실험을 진행하였다.

인공토양의 배합비는 토양의 보수성과 배수성을 고려하고, 식물의 유기물 요구도를 기준으로 만들었다. 옥상녹화용 토양은 시장성이 좋은 펄라이트와 코코피트 단일배합 인공경량토양과 여러 가지 인공토양혼합으로 구분하여 실험용 토양을 만들었다. 토양배합은 저관리 옥상녹화에 주로 활용되는 펄라이트(Perlite, Korea), 피트모스(Peatmoss, Canada), 코코피트(Cocopeat), 버미큘라이트(VermiCulite)를 부피비율에 따라 Perlite:Peatmoss:VermiCulite = 1:1:1(v/v/v), Perlite:Cocopeat:Peatmoss:VermiCulite = 5:7:2:1(v/v/v/v), Perlite:Cocopeat:Peatmoss:VermiCulite = 10:7:2:1(v/v/v/v) 등 총 5종류로 구분하였으며, 표기법은 표 1과 같다.

표 1. 실험토양의 조성

| 구분 | 약어 표기명 | 토양배합 |
|-----|-----------|---|
| 대조구 | P1 | Perlite=1 |
| | C1 | Cocopeat=1 |
| 실험구 | PIP1V1 | Perlite:Peat moss:VermiCulite=1:1:1 |
| | P5C7P2V1 | Perlite:Cocopeat:Peat moss:VermiCulite=5:7:2:1 |
| | P10C7P2V1 | Perlite:Cocopeat:Peat moss:VermiCulite=10:7:2:1 |

식생모듈박스는 400mm×625mm×80mm의 크기에 토양배합비 5가지를 토심 5cm로 포설 후 2인치 균일하게 생육한 식물을 선택하여 12주 2반복으로 15cm×10cm 간격으로 2010년 12월 12일에 정식하였다. 식재 후 토양표층에 화산석을 2cm 두께로 덮고 관수하였으며, 이후부터 무관리 상태로 실험을 진행하였다.

3) 실험용 토양의 화학적 특성 분석

옥상녹화 실험에서 대조구가 인공토양의 화학적 특성은 토양 산도(pH), 유기물 함량(OM), 전질소 함량(T-N), 유효인산 함량(T-P)을 제품의 품질보증성분에 의해 산출하였다. 실험구가 인공토양의 화학특성은 농촌진흥청(2000)에 토양 및 식물체 분석법에 의하여 분석하였다.

4) 식물생육 측정 방법

식물생육 측정은 4월부터 8월까지 초장, 초폭, 피복률, 엽록소 함량 등 지상부 생육을 지속적으로 모니터링을 실시하였다. 생체중량과 근체중량은 실험을 통하여 측정하였다. 활착율은 2011년 6월 말까지 나타난 식물개체수를 기록하였다. 초장은 줄기 기부에서 선단엽까지 길이를 측정하였으며, 초폭은 식물체 지상부분 넓이를 측정하였다. 피복률은 조사구 위에서 등비율로 사진 촬영 후 AutoCAD 2009(Autodesk, 2008)로 면적을 산출하였다. 생체중량은 생육측정이 종료된 시점에서 각 실험구별로 식물을 굴취한 후, 흙을 씻어낸 후 저울로 측정하였으며, 근체중량은 생체중량 측정 후 70℃에서 24시간 건조시킨 후 더 이상 변하지 않을 때 저울로 측정하였다. 재배환경에 따라 엽록소 함량은 5월부터 8월까지 식물을 채취하여 엽록소 함량을 분석하였다. 엽록소 함량은 0.1g의 잎을 채취하여 80% Acetone 5mL 용액에 12시간 동안 암 상태에서 담가두었다가 UV spectrophoometer(CARY-4000)를 이용하여 파장 645nm와 633nm에서의 흡광도로 측정하여(Boo et al., 1997) 다음과 같이 Arnon(1949)의 방법으로 식물종별 엽록소 함량을 측정하였다.

$$\text{Chlorophy II a} = 12.7A_{663} - 2.69A_{645}$$

$$\text{Chlorophy II b} = 22.9A_{645} - 4.68A_{663}$$

$$\text{Chlorophy II (a + b)} = 20.29A_{645} + 8.02A_{663}$$

실험 측정 자료에 대한 통계적 분석은 SPSS Ver.18.0(SPSS Inc, 2009)을 이용해 Duncan의 다중범위검정(Multiple range test)을 실시하여 유의성을 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 실험용 토양의 화학적 특성

표 2. 실험토양의 화학적 특성

| 약어 표기명 | pH (1:5) | OM (%) | T- N (mg/L) | T-P (mg/L) |
|-----------|----------|--------|-------------|------------|
| P | 6.40 | 1.5 | 1.05 | 2.7 |
| C | 5.76 | 51.4 | 4.23 | 0.82 |
| PIP1V1 | 6.73 | 39.8 | 2.45 | 1.37 |
| P5C7P2V1 | 6.43 | 69.6 | 2.69 | 1.89 |
| P10C7P2V1 | 6.46 | 47.3 | 2.55 | 1.26 |

옥상녹화에 적용된 인공토양의 화학적 특성은 표 2와 같다. 토양 산도는 C1이 5.76로 가장 적게 나타났으며, 기타 처리구의 토양 산도가 6.40~6.73로 측정되었다. 유기물 함량은 P5C7P2V1 > C1 > P10C7P2V1 > PIP1V1 > P1순으로 측정되었다. 질소 함량과 같은 경우는 P1이 1.05mg/L로 가장 적게 나타났고, C1이 4.23mg/L로 가장 높은 수치로 나타났다. 유효인산 함량은 C1 0.28mg/L로 나타났으며, P5C7P2V1은 1.89mg/L로 높은 함량으로 나타났다.

2. 공법별 조성 특성 비교

국내에서 기존에 사용되는 저토심 옥상녹화공법은 독일에서 도입된 세덤블럭공법과 저배수공법이 주로 이용되어 왔다. 세덤블럭공법의 블럭층은 P.E계열 소재의 배수와 저수 기능을 가진 8cm 두께의 블럭을 사용하였고, 블럭 내부가 화산석로 채워졌으며, 블럭층 위에 세립토양 필터를 설치, 상부에 5cm 두께의 토양층을 조성하였다. 전체 토심은 13cm, 식재는 세덤이 주요종을 이루었다(한수그린텍, 2004). 저배수공법의 구성요소는 저배수판, 세립토양 필터, 토양층으로 구분되었다. 구체적으로 EPS 소재의 저배수판 위에 세립토양 필터를 설치하고, 상부에 일반토양, 화산석, 유기물 등으로 토양층을 조성하였다. 전체 토심은 10cm, 식재수종은 초화류와 세덤류를 주로 식재하였다(한국CCR, 2004). 저토심 인공지반 녹화공법의 구성요소는 롤형 배수판, 암면매트, 상토층으로 이루어졌다. 세부적으로 세립

표 3. 공법별 조성특성 비교

| 구분 | 세덤블럭공법 | 저배수공법 | 저토심 인공지반 녹화공법 | 식생모듈박스 |
|-----|--|--|---|---|
| 배수층 | P.E 계열소재의 블럭이 배수판과 저수 기능을 가지며, 세립토양 필터 설치 | EPS 소재의 저배수판 및 세립토양 필터 설치 | 세립토양필터가 붙은 1cm 롤형 배수판 | HDPE 재질로 압축성형한 제품인데 배수와 저수의 복합기능을 가지고 있으며, 하부에 구배조절용 판이 설치되어 있음 |
| 식재층 | 화산석, 마사 등을 블럭에 채운 후 필터를 설치하고, 5cm 두께의 토양층 조성 | 저배수판 상부에 필터를 설치한 후 일반토양, 화산석, 유기물 등으로 토양층 조성 | 롤형 배수판 위에 암면매트를 설치한 후 발포세라믹, 바크, 감람석 등의 배합토를 4.5cm 두께로 상토층 조성 | 코코넛칩, 코코피트, 피트모스, 석회질비료(패석회), 무기계 미량원소 첨가제를 일정한 비율로 혼합한 인공토양 |
| 토심 | 13cm | 10cm | 13cm | 7cm |
| 식재 | 지피류(국내외종) | 지피류(국내외종) | 지피류(국내외종) | 지피류(국내외종) |

자료: 한수그린텍, 2004; 한국 CCR, 2004

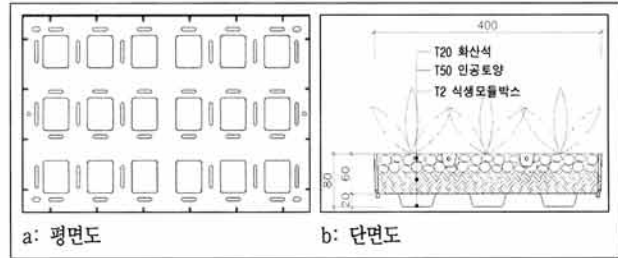


그림 2. 세덤 모듈박스옥상녹화시스템

토양 필터가 붙은 1cm 롤형 배수판 위에 7.5cm 두께의 암면매트를 설치, 상부에 4.5cm의 인공토양층을 조성하였다. 전체 토심은 13cm, 자생 및 도입 지피류를 주로 식재하였다(표 3 참조).

본 연구에 사용된 식생모듈박스는 저배수공법으로 저수와 배수가 일체화된 식재 박스로 국내 공법 중 토심이 낮고, 화산석을 상부에 피복하여 수분의 증발산 및 잡초 이입을 제어한 공법이다. 옥상녹화시스템으로 하단에 2cm 높이의 빗물 저류판이 있어, 이로 인해 빗물에만 의존하여 식물생육에 필요한 수분공급이 가능하므로 별도 관수가 필요 없다(그림 2 참조).

저토심 옥상녹화공법이 기존공법과 다른 차이점은 세립토양 필터가 부착된 롤형 배수판을 사용하여 시공 공정을 간편화한 특성을 가지고 있다. 식재층에 보수성과 통기성이 뛰어난 암면매트를 식재기반으로 이용하여 저배수공법의 저배수판이 가지는 저배수 기능을 동시에 수반한 특성을 가지고 있다. 식생모듈박스는 저수와 배수가 일체화된 식재박스로서, 하단에 2cm 높이의 빗물 저류 판이 있어 수분공급 가능한 특성을 가지고 있다.

3. 식물의 활착율, 초장 및 초폭

식물의 활착율은 2011년 1월 최저 기온이 -18℃까지 내려 갔지만, 6월 말 실험구별 차이 없이 100%의 활착이 관찰되었다. 4월 3일에 식물 활착이 후 초장은 토양배합별 차이가 거의 없어 1~2cm로 측정되었으나, 시간에 지나면서 토양배합에 따

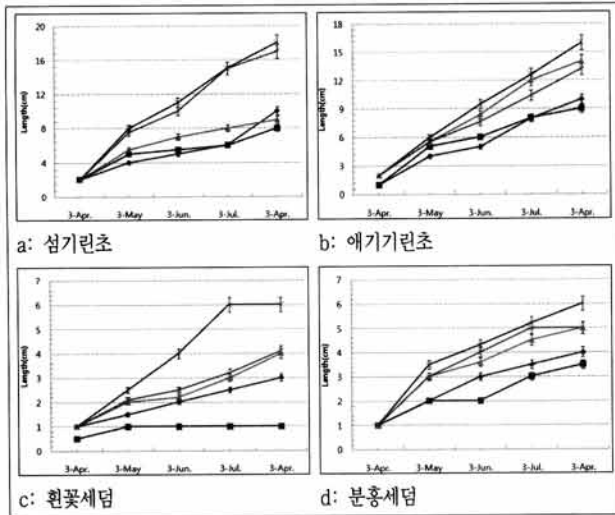


그림 3. 토양별 초장 변화

범례: P1, C1, P1P1V1, P5C7P2V1, P10C7P2V1

른 차이가 많이 나타났다. 4월에서 8월 사이의 총 변화량을 살펴보면 C1에서는 섬기린초 6cm, 애기기린초 7cm, 흰꽃세덤 0.5cm, 분홍세덤 2cm로 가장 낮은 성장량을 보였고, P5C7P2V1에서는 섬기린초 16cm, 애기기린초 14cm, 흰꽃세덤 5cm, 분홍세덤 5cm로 가장 높은 성장량으로 측정되었다(그림 3 참조).

식생모듈박스에 토심 7cm 처리구에서 섬기린초의 초장은 P1이 5.40cm, C1이 5.30cm, P1P1V1, P5C7P2V1, P10C7P2V1이 각각 6.30cm, 10.80cm, 10.60cm로 P5C7P2V1의 배합비가 단용인 인공토양의 P1, C1에 비해 약 90% 높은 성장세를 보였다. 애기기린초의 초장은 P1이 5.60cm, C1이 5.80cm, P1P1V1, P5C7P2V1, P10C7P2V1이 각각 8.38cm, 9.22cm, 7.74cm로 실험구가 대조구에 비해 35% 이상의 높은 성장세를 보였다. 흰꽃세덤의 초장은 P5C7P2V1이 3.90cm로 가장 높은 수치를 보였지만 C1이 0.90cm 가장 낮은 수치로 측정되었으며, 분홍세덤의 초장도 비슷한 경향을 보였다. 4종 세덤의 초장은 배합비에 있어서는 P5C7P2V1이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 다음으로 P10C7P2V1과 P1P1V1, P1과 C1의 초장이 가장 저조한 것으로 나타났다(표 4 참조).

표 4. 토양 조성별 초장 유의성 분석

| Soil mixture ratio | Highth | | | |
|--------------------|------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| | <i>S. takevimensse</i> | <i>S. middendorffianum</i> | <i>S. album</i> | <i>S. spurium</i> |
| P1 | 5.40a | 5.60a ² | 2.00b | 2.70a |
| C1 | 5.30a ² | 5.80a | 0.90a ² | 2.30a ² |
| P1P1V1 | 6.30b | 8.38c | 2.44b | 3.42b |
| P5C7P2V1 | 10.80d | 9.22d | 3.90c | 4.00c |
| P10C7P2V1 | 10.30d | 7.74b | 2.58b | 3.60b |

² The Mean same letter in the column are not significant difference at $p=0.05$ level in Duncan's multiple range test.

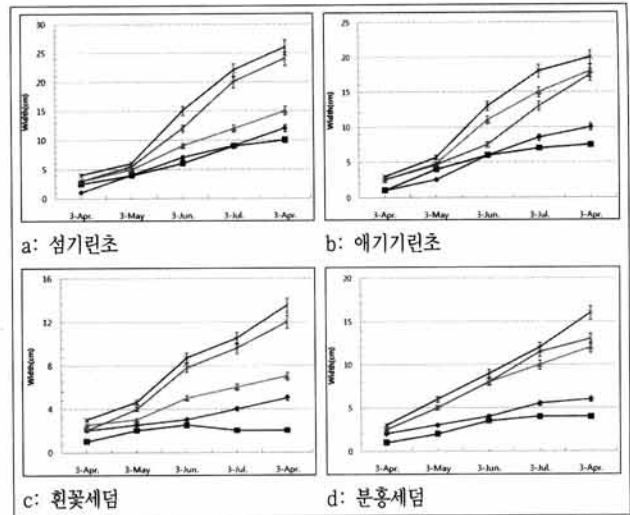


그림 4. 토양별 초폭 변화

범례: P1, C1, P1P1V1, P5C7P2V1, P10C7P2V1

실험기간 내 초폭은 토양배합에 따른 차이가 뚜렷하게 보였으며, 단일 인공토양으로 조성한 대조구보다 실험구가 식물들이 양호한 상태로 나타났다. 4월 3일에 초폭은 토양배합별 차이가 거의 없어 1~3cm로 측정되었으나, 시간이 지나면서 토양배합에 따른 차이가 많이 나타났다. 4월에서 8월 사이의 초폭의 총 변화량은 C1이 섬기린초 7.5cm, 애기기린초 6.5cm, 흰꽃세덤 1cm, 분홍세덤 3cm로 가장 낮은 수치를 보였고, P5C7P2V1에서는 섬기린초 21cm, 애기기린초 15.5cm, 흰꽃세덤 9.5cm, 분홍세덤 10cm로 가장 높은 수치로 측정되었다(그림 4 참조).

토양배합에 따른 C1에서 초폭은 섬기린초 6.30cm, 애기기린초 5.10cm, 흰꽃세덤 1.90cm, 분홍세덤 2.90cm인 것에 비해 P5C7P2V1이 섬기린초 14.60cm, 애기기린초 11.94cm, 흰꽃세덤 8.06cm, 분홍세덤 9.20cm로 C1과 평균 2배 이상의 차이를 보였으며, 전반적으로 인공배합토에서 양호한 것으로 나타났다. 토양배합에 따른 처리구의 평균 초폭은 P5C7P2V1이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 다음으로 P10C7P2V1과 P1P1V1, P1과 C1의 초폭이 가장 저조한 것으로 나타났다(표 5 참조).

표 5. 토양 조성별 초폭 유의성 분석

| Soil mixture ratio | Width | | | |
|--------------------|------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| | <i>S. takevimensse</i> | <i>S. middendorffianum</i> | <i>S. album</i> | <i>S. spurium</i> |
| P1 | 6.60a | 5.60a | 3.30ab | 4.10a |
| C1 | 6.30a ² | 5.10a ² | 1.90a ² | 2.90a ² |
| P1P1V1 | 8.80b | 10.26c | 4.70b | 7.50b |
| P5C7P2V1 | 14.60d | 11.94c | 8.06d | 9.20d |
| P10C7P2V1 | 12.90c | 9.02b | 7.08c | 8.00c |

² The Mean same letter in the column are not significant difference at $p=0.05$ level in Duncan's multiple range test.

4. 피복률

식재된 식물들의 피복률은 인공배합토 실험구가 대조구보다 높았고, 8월의 피복률은 P5C7P2V1에서는 섬기린초 100%, 애기기린초 95%, 흰꽃세덤 71.2%, 분홍세덤 95.2%로 가장 높은 결과가 측정되었지만, C1에서는 섬기린초 65.9%, 애기기린초 26.6%, 흰꽃세덤 8.9%, 분홍세덤 41.9%로 가장 낮은 것으로 조사되었다. 전반적으로 시간에 따른 피복률은 점차 증가하는 추세를 보였으나, C1에서의 애기기린초 피복률은 증가하다가 감소하는 현상을 보였고, 흰꽃세덤도 같은 경향을 보였다(그림 5 참조).

실험구에서 식물의 피복률과 대조구에서 식물의 피복률 차이가 뚜렷하게 나타났다. 섬기린초는 대조구가 48.40%이었으며, P1P1V1, P5C7P2V1, P10C7P2V1이 각각 62.48%, 86.10%, 79.00%로 조사되었고, 애기기린초는 대조구의 피복률 차이 거의 없었으며, P1P1V1, 2, 3이 각각 50.75%, 76.68%, 70.38%로 조사되었다. 흰꽃세덤은 C1이 10.65%로 가장 적게 나타났으며, P5C7P2V1이 60.83%로 조사되었다. 분홍세덤의 피복률은 대조

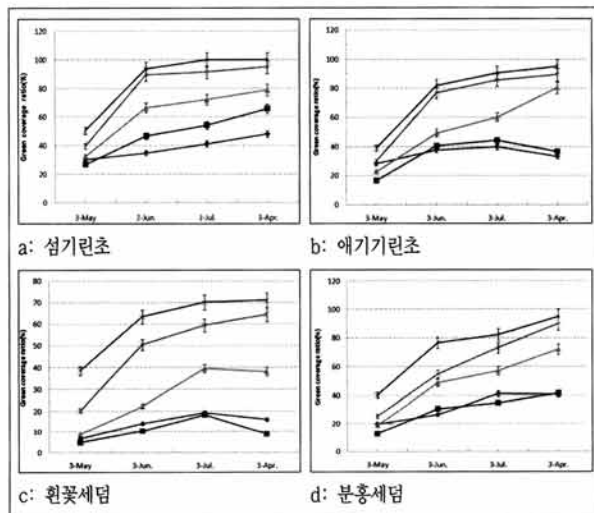


그림 5. 토양별 생육식물별 평균 피복률 변화
범례: ● P1, ■ C2, ▲ P1P1V1, ★ P5C7P2V1, ◆ P10C7P2V1

표 6. 토양 조성별 피복률 유의성 분석

| Soil mixture ratio | Green coverage ratio | | | |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| | <i>S. takevimense</i> | <i>S. middendorffianum</i> | <i>S. album</i> | <i>S. spurium</i> |
| P1 | 38.65a ² | 34.78a | 14.03a | 32.25a |
| C1 | 48.40a | 34.53a ² | 10.65a ² | 30.15a ² |
| P1P1V1 | 62.48b | 50.75ab | 27.25b | 49.28b |
| P5C7P2V1 | 86.10c | 76.68c | 60.83d | 73.60d |
| P10C7P2V1 | 79.00b | 70.38c | 48.73c | 60.93c |

² The Mean same letter in the column are not significant difference at $p=0.05$ level in Duncan's multiple range test.

구가 35% 미만으로 조사되었으며, 실험구가 50% 이상으로 조사되었고, 전체적으로 필라이트 함량이 낮을수록, 피트모스와 코코피트함량이 높을수록 피복률이 증가하는 경향을 보였다. 토양 배합에 따른 처리구의 평균 피복률은 P5C7P2V1이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 다음으로 P10C7P2V1과 P1P1V1, P1과 C1의 피복률이 가장 저조한 것으로 측정되었다(표 6 참조).

5. 생체중량 및 견체중량

식재한 후 8개월이 경과한 2011년 8월 모듈박스에서 생육한 세덤류 중에서 가장 높은 생체중량을 보인 종은 P5C7P2V1에서는 섬기린초 177.67g, 애기기린초 62.85g, 흰꽃세덤 61.10g, 분홍세덤 46.16g이었으며, C1에서는 각각 16.92g, 4.14g, 2.66g, 1.91g의 낮은 값이 조사되었다. 견체중량은 코코피트로 조성한 C1에서는 각각 2.80g, 0.77g, 0.32g, 0.31g의 낮은 값이 측정되었으며, P5C7P2V1에서는 각각 34.55g, 15.98g, 15.72g, 7.86g으로 측정되었다(표 7 참조). 토양배합에 따른 실험구의 평균 생체중량과 견체중량은 유사한 경향을 보였으며, P5C7P2V1이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 다음으로 P10C7P2V1과 P1P1V1, P1과 C1의 생체중과 견체중이 가장 저조한 것으로 측정되었다.

토양배합별 건물률의 경우, 섬기린초는 대조구 0.17, 실험구 0.18 이상으로 조사되었으며, 애기기린초는 C1이 0.19보다 P10C7P2V1이 0.28로 높은 수치를 보였으나, 토양배합비율의 차이가 뚜렷하게 나타났다. 흰꽃세덤의 건물률은 대조구가 0.12,

표 7. 토양별 생체중량 및 견체중량(8월)

| Soil mixture ratio | Green coverage ratio | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-------|----------------------------|-------|-----------------|-------|-------------------|------|
| | <i>S. takevimense</i> | | <i>S. middendorffianum</i> | | <i>S. album</i> | | <i>S. spurium</i> | |
| | 생중 | 건중 | 생중 | 건중 | 생중 | 건중 | 생중 | 건중 |
| P1 | 25.13 | 4.22 | 8.27 | 1.43 | 2.83 | 0.33 | 9.51 | 1.47 |
| C1 | 16.92 | 2.80 | 4.14 | 0.77 | 2.66 | 0.32 | 1.91 | 0.31 |
| P1P1V1 | 41.26 | 7.41 | 19.31 | 3.21 | 12.11 | 1.74 | 10.68 | 1.57 |
| P5C7P2V1 | 177.67 | 34.55 | 62.85 | 15.98 | 61.10 | 15.72 | 46.16 | 7.86 |
| P10C7P2V1 | 93.96 | 18.14 | 38.66 | 10.98 | 55.74 | 8.53 | 17.84 | 3.34 |

표 8. 토양별 건물률 유의성 분석

| Soil mixture ratio | Green coverage ratio | | | |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| | <i>S. takevimense</i> | <i>S. middendorffianum</i> | <i>S. album</i> | <i>S. spurium</i> |
| P1 | 0.17a ² | 0.17a ² | 0.12a ² | 0.15a ² |
| C1 | 0.17a | 0.19b | 0.12a | 0.16a |
| P1P1V1 | 0.18ab | 0.17a | 0.14ab | 0.16a |
| P5C7P2V1 | 0.19b | 0.25c | 0.26c | 0.17ab |
| P10C7P2V1 | 0.19b | 0.28c | 0.15b | 0.19b |

² The Mean same letter in the column are not significant difference at $p=0.05$ level in Duncan's multiple range test.

PIP1V1, P5C7P2V1, P10C7P2V1이 각각 0.14, 0.26, 0.15이었으며, 토양별 차이가 뚜렷하게 나타났지만 분홍세덤은 P1, C1이 각각 0.15, 0.16이었으며, P1P1V1, P5C7P2V1, P10C7P2V1이 각각 0.16, 0.17, 0.19로 측정되었다(표 8 참조).

6. 엽록소 함량

엽록소 함량은 식물이 광합성을 하는데 필수적인 색소이며, 지구상에서 가장 많은 색소로 일반적으로 광합성 능력을 간접적으로 추정할 수 있고, 식물생육과 밀접한 관계가 있다(Kim et al., 2001). 엽록소는 여러 종류가 있지만, 가장 보편적으로 볼 수 있는 것은 엽록소 a와 b이다. 본 연구에서는 주로 엽록소 총량을 측정하였다.

4월에서 8월 사이의 엽록소 함량은 토양배합비에 따라 차이가 많이 나타났으며, 섬기린초는 PIP1V1의 수치가 가장 높았고, 대조구의 엽록소 함량이 가장 적게 나타났다. 애기기린초는 PIP1V1의 엽록소 함량이 가장 높았고, P1의 수치가 가장 적게 조사되었으며, 흰꽃세덤과 분홍세덤은 C1에서 가장 낮은 값을

보였다(그림 6 참조).

엽록소 함량 측정값을 평균으로 계산한 결과, C1에서는 섬기린초 5.04, 애기기린초 8.98, 흰꽃세덤 2.04, 분홍세덤 6.61로 측정되었으며, P1과 비슷한 결과를 보였다. 실험구에서의 엽록소 함량은 큰 차이가 없으며, 대조구는 엽록소 함량이 낮은 것으로 나타났지만, C1보다 P1에서는 섬기린초와 애기기린초의 엽록소 함량이 높게 측정되었다. 김유선(2007)의 실험결과에서는 섬기린초의 엽록소 함량은 5.35~8.0mg/g으로 나타났다.

실험구에서는 식물의 엽록소 함량이 높은 값으로 측정되었다. PIP1V1에서는 섬기린초 18.37, 애기기린초 10.58로 가장 높은 수치를 측정되었고, P5C7P2V1에서 분홍세덤 12.01로 높은 수치로 나타났으며, 전체적으로 배합비에 따른 차이가 많은 것으로 나타났다(표 9 참조).

IV. 결론

본 연구의 목적은 7cm의 저토심 무관리 경량형 식생모듈박스 옥상녹화시스템에 있어 토양배합비에 따른 세덤류의 생육 결과를 연구하여 적합한 토양배합비를 찾고자 수행하였다. 연구범위 및 방법과 같은 실험을 실시하였고, 그 결과가 아래 내용과 같이 기술하였다.

식물 생육현황 조사결과 토양배합비에 따른 초장은 인공배합토가 단일 인공토양보다 생장이 양호하였고, P5C7P2V1에서 세덤의 초장이 가장 길었으며, C1에서 세덤의 초장이 가장 짧게 나타났다. 초폭은 P5C7P2V1에서 수치가 가장 높게 나타났으며, 대조구의 수치가 가장 적게 나타났다. 피복률은 P5C7P2V1에서 4종 세덤이 70%이상으로 나타났으며, C1의 4종 세덤 대부분은 50%이하의 피복결과를 보였다. 전반적으로 시간에 따른 피복률은 점차 증가하는 추세를 보였으며, 인공토양인 펠라이트 함량이 적을수록 피트모스 함량이 높을수록 피복률이 증가하는 경향을 보였다. 최진우 등(2009)은 높이 13cm의 시스템에서 섬기린초와 애기기린초의 피복률이 비슷한 측정결과를 보였으며, 장하경과 이은희(2011)는 2008년 6월에 토양층 10cm 두께로 E사에서 개발한 펠라이트, 버미큐라이트, 코코피트, 부엽토가 6:2:1:1의 비율로 혼합된 실험구에서 섬기린초 67.0%, 애기기린초 87.2%의 피복률 측정하였다. 토양 성분에 있어서 다른 배합비보다 P5C7P2V1의 성분이 더 우수한 것으로 판단된다.

생체중량과 전체중량 측정결과는 비슷한 경향이 있어 토양 배합에 따른 실험구의 평균 생체중량은 P5C7P2V1이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 다음으로 P10C7P2V1과 P1P1V1, P1과 C1의 생육이 가장 저조한 것으로 나타났다. P5C7P2V1에서는 식물의 생체나 전체중량이 가장 크게 나타났고 양호한 생육 상태를 보였으며, C1의 식물이 가장 낮은 값으로 나타났고 식

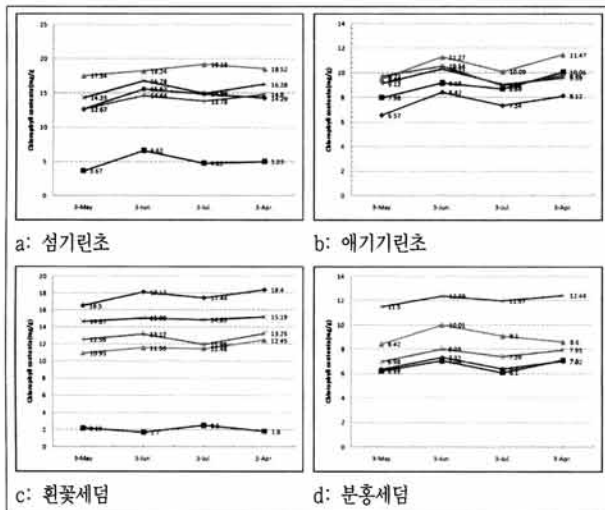


그림 6. 토양별 생육식물별 엽록소함량 변화
 범례: ◆P1, ■C2, ▲P1P1V1, ◆P5C7P2V1, ◆P10C7P2V1

표 9. 토양별 엽록소 함량 유의성 분석

| Soil mixture ratio | Chlorophyll (mg/g) | | | |
|--------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| | <i>S. takevimense</i> | <i>S. middendorffianum</i> | <i>S. album</i> | <i>S. spurium</i> |
| P1 | 14.36a | 7.61a ^z | 17.62b | 6.78a |
| C1 | 5.04a ^z | 8.98a | 2.04a ^z | 6.61a ^z |
| PIP1V1 | 18.37b | 10.58ab | 11.61a | 9.03a |
| P5C7P2V1 | 15.59ab | 9.51a | 14.96a | 12.01b |
| P10C7P2V1 | 13.98a | 9.73a | 12.74a | 7.59a |

^z The Mean same letter in the column are not significant difference at p=0.05 level in Duncan's multiple range test.

물생육 상태도 좋지 않았다. 본 실험 중에서 P5C7P2V1에서 섬기린초의 생체중량 178g, 견체중량 46.9g으로 측정되었다. 김유선(2007)은 펠라이트와 피트모스 1:1(v/v)로 혼합한 인공토양을 100mm 깊이로 하였으며, 실험결과에서 섬기린초의 생체중 79.20~88.99g, 견체중 16.93~21.70g으로 나타났다. 본 실험에 녹화시스템에서는 토양 성분에서 다른 배합비보다 P5C7P2V1의 성분이 더 좋다는 것으로 판단된다.

엽록소 함량은 실험구에 있어 큰 차이가 없었으며, 대조구의 엽록소 함량이 낮은 것으로 나타났지만, C1보다 P1에서는 섬기린초와 애기기린초의 엽록소 함량이 높게 측정되었다. 실험구에서의 엽록소 함량은 큰 차이가 없으며, 대조구는 엽록소 함량이 낮은 것으로 나타났지만, C1보다 P1에서는 섬기린초와 애기기린초의 엽록소 함량이 높게 측정되었다.

식생모듈박스 옥상녹화시스템의 저토심 무관리 옥상녹화용 토양배합은 세덤류를 식재할 경우, 펠라이트, 코코피트 단일 기반재를 사용하는 것보다 적당한 인공토양배합비로 쓰는 것이 녹화효과가 양호한 것으로 나타났다. 인공토양의 통기성을 확보하고 유기물의 함량이 적합하려면 펠라이트와 피트모스의 배합비가 중요하다. 실험구가 토양배합비는 7cm 저토심 무관리 옥상녹화의 양호한 효과가 있는 것으로 나타났다. 그중에서 P5C7P2V1의 배합비가 가장 좋은 결과를 보였으며, 저토심 식생모듈박스 옥상녹화시스템에 적합한 토양배합비로 판단되고, P1P1V1과 P10C7P2V1의 토양배합비는 모듈박스옥상녹화시스템에 적용 가능한 토양기반재로 판단된다.

식생모듈박스 옥상녹화시스템은 옥상녹화에 세덤을 이용한 저토심 무관리 녹화시스템으로서 도시내 대면적 녹화에 기여할 수 있는 우수한 시스템으로 판단된다. 향후 토양배합에 따른 토양수분의 변화 및 토양별 식물의 내건성에 미치는 영향과 관련된 추가적인 연구가 필요하다. 본 연구의 한계점은 실험 표본의 수량은 많았지만 반복성이 부족하였으므로, 향후 후속 연구의 진행을 통해 더욱 논리적인 검증자료를 구축할 것이다.

인용문헌

1. 강규이(2005) 관리조방적 옥상녹화 식재기반 연구. 서울여자대학교 대학원 원예학과 석사학위논문. pp. 76.
2. 권지오, 김용훈(2007) 생태도시 조성을 위한 옥상녹화 활성화 방안. 인천발전연구원. pp. 31-35.
3. 김성기(2007) 저관수형 옥상녹화에서 토양 유기물함량 및 토심에 따른 식물생장 변화. 성균관대학교 대학원 석사학위논문.
4. 김유선(2007) 저관리 경량형 옥상녹화지의 *Sedum*속 식물의 생장과 배지특성의 변화. 화훼연구 15(3): 169-173.
5. 김인혜, 허근영(2003) 저토심 옥상녹화 시스템에 따른 땅채송화(*Sedum oryzifolium*)의 생육특성. 원예과학기술지 21(4): 346-352.
6. 김형태(2011) 옥상녹화에서 토양 종류에 따른 자생초화류 생육에 관한 연구. 성균관대학교 대학원 석사학위논문.
7. 농촌진흥청(2000) 토양 및 식물체 분석법. 농촌진흥청. pp. 29-130.
8. 박준석, 박지혜, 주진희, 윤용한(2010) 옥상녹화 토심 및 토양배합비에 따른 토양수분변화와 순비기나무의 광합성 특성. 한국인간식물환경학회지 13(2): 31-42.
9. 어양준(2007) 저관수형 옥상녹화에서 수분과 양분변화에 따른 두메부추의 생장변화. 성균관대학교 대학원 석사학위논문.
10. 이은희, 강규이, 신상희, 남미아, 이광우(2005) 옥상녹화용 식생매트에 적합한 토양과 토심 선정. 한국환경복원기술학회지 8(4): 12-22.
11. 장하경, 이은희(2011) 관리조방형 옥상녹화 식재식물의 피복률 변화 및 피복유형. 한국환경생태학회지 25(3): 404-411.
12. 조용현, 한규희(2009) (알아야 할) 옥상녹화의 Q&A. 서울: 기문당. pp. 75-80.
13. 주진희, 윤용한(2010) 돌나물을 적용한 무관수 옥상녹화시스템 평가. 한국인간식물환경학회지 13(5): 25-31.
14. 최진우, 김학기, 이경재, 강현경(2009) 저토심 인공지반 녹화공법의 경제성 및 도입 가능한 지피식물의 생육특성. 한국조경학회지 37(5): 98-108.
15. 한국 CCR(2004) 저배수공법 카탈로그 및 설계내역서.
16. 한수그린텍(2004) 세덤블럭 카탈로그 및 설계내역서.
17. Amon, D. I.(1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24: 1-15.
18. Autodesk(2009) Autodesk AutoCAD2009.
19. Boo, H. O., T. Saito and Y. Tomitaka(1997) Effect of plant growth regulators on the anthocyanin synthesis of *Perilla ocymoides* L. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38: 9-14.
20. Kim, P. G., Y. B. Koo, J. C. Lee, S. W. Bae, Y. S. Yi and Y. M. Cheong(2001) Chlorophyll content and genetic variation of *Ginkgo biloba* planted on the street in Seoul. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 3(2): 114-120.

원 고 접 수 일: 2012년 1월 12일
 심 사 일: 2012년 2월 21일(1차)
 2012년 6월 8일(2차)
 계 재 확 정 일: 2012년 6월 25일
 3 인 의 명 심사필