

저토심 인공지반 녹화공법의 경제성 및 도입 가능한 지피식물의 생육특성

최진우* · 김학기** · 이경재*** · 강현경*

*(주)기술사사무소 L.E.T. 부설 에코플랜연구소 · **LSD코퍼레이션 · ***서울시립대학교 조경학과

Economics and Ground Cover Growth Characteristics of a New Method of Shallow Soil Artificial Foundation Planting

Choi, Jin-Woo* · Kim, Hag-kee** · Lee, Kyong-Jae*** · Kang, Hyun-Kyung*

*Eco Plan Research Center L.E.T

**LSD Corporation

***Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the characteristics of limited methods, economics and breeding appropriateness of native and imported ground cover plants in the methodology of a shallow soil rooftop garden.

The new shallow soil rooftop gardening method uses a total of 13cm in soil thickness, including 4.5cm of top soil on a 7.5cm rock-wool-mat stacked onto a 1cm roll-type-draining plate. The total construction cost for each method of soil level within the design price standard for SEDUM BLOCK is 89,433won/m², and for DAKU is 92,550won/m². By comparing those two methods, the construction cost of the shallow soil artificial foundation methodology is 45,000won/m²; this shows the new method is 50% less expensive than the existing method of shallow soil rooftop gardening.

The experiment was executed on the rooftop of the Korean National Housing Corporation to ensure validity of the shallow soil artificial foundation planting, and the sample plants which were imported and grown now in native covering. A list investigating the growing plants was made of the cover rate in each plant class, both while alive and the dry plant weight.

The native ground cover plants, *Sedum kamtschaticum*, *Sedum middendorffianum*, *Allium senescens*, *Sedum sarmentosum*, *Aquilegia buergariana*, and *Caryopteris incana* increased the cover rate, live weight and dry weight in the shallow soil artificial foundation method. Among the imported cover plants, *Sedum sprium* and *Sedum reflexum*, the cover rate increased and growth conditions improved. However, some species needed weed maintenance.

After examination with the less expensive shallow soil artificial foundation method and growth analysis, it was found that rooftop gardens are a low-cost option and the growth of plants is great. This result shows the new method can contribute to the proliferation of rooftop gardens in urban settings.

Key Words: Rooftop Garden, Rock-Wool-Mat, Cover Rate, Live Weight, Dry Weight

Corresponding author: Hyun-Kyung Kang, Eco Plan Research Center L.E.T, Seoul 138-052, Korea, Tel.: +82-2-424-7170, E-mail: hkkang109@hanmail.net

국문초록

본 연구는 저토심형 옥상녹화 시스템 개발을 위하여 제안된 공법의 특징, 경제성, 자생 및 도입 지피식물류의 생육상태를 분석하여 생육 적정성을 파악하고자 하였다.

저토심 인공지반 녹화공법은 세립토양필터가 붙은 1cm 롤형 배수관 위에 7.5cm 두께의 압면매트를 설치, 그 위에 4.5cm의 상토층을 조성하여 배수관을 포함한 전체 토심은 13cm이었다. 설계가 기준으로 공법별 토양층 공사비를 살펴보면 세립블럭공법이 89,433원/m²이었고, 저배수공법이 92,550원/m²이 소요되는 것과 비교한 결과에서 저토심 인공지반 녹화공법의 토양층 조성 공사비는 45,000원/m²으로 기존 저토심 옥상 녹화공법보다 경제적으로 50% 정도 원가절감 효과가 있었다.

저토심 인공지반 녹화공법의 유효성 검토를 위해 대한주택공사 2층 옥상부에 실험구를 설치하고, 초본식물 생육조사를 위해 국내에 도입되고 있는 옥상녹화 초본류 중 활용빈도가 높은 종들을 대상으로 자생종 및 도입종별 피복률, 생체중량, 건체중량을 측정하였다. 자생종인 기린초, 애기기린초, 두메부추, 돌나물, 매발톱꽃, 층꽃나무 등은 저토심 인공지반 녹화공법에서 피복률 증가와 함께 생체중량, 건체중량이 증가하는 경향을 보였다. 도입종에 있어 스프리움, 리플렉섬도 비슷한 경향을 보였으나, 일부 종에서는 잡초관리가 필요할 것으로 판단되었다. 결과적으로 저토심 인공지반 녹화공법은 저비용으로 옥상녹화가 가능한 것으로 분석되었고, 식물생육도 양호한 것으로 나타나 토심 내 옥상녹화의 보급화에 기여할 것으로 기대되었다.

주제어: 옥상녹화, 압면매트, 피복률, 생체중량, 건체중량

1. 서론

최근 도시의 환경오염과 토심 열섬화 그리고 생태적 문제를 해결할 수 있는 대안으로 옥상녹화에 많은 관심이 집중되고 있다. 일부 지방자치단체에서는 평지붕 건물의 옥상녹화 계획을 수립하는 등 인공지반의 녹화에 대한 관심과 적용사례가 증가되고 있다(이은엽, 2000). 특히, 서울시의 도시화 지역은 363.31 km²이며 옥상녹화가 가능한 평탄 옥상 및 지붕면적은 도시화 지역의 70%를 차지하는 약 253.59km²로 보고되었고, 실제로 녹화 가능한 건축물의 옥상 및 지붕면적이 200km² 이상으로 추측하고 있다(서울특별시, 2000). 옥상녹화는 대지의 부족 및 높은 지가 등으로 녹지공간을 확보하기 힘든 도심에서 쓸모없이 버려진 옥상공간을 활용한다는 중요한 의미를 가진다(현대건설기술연구소, 1997). 그러나 옥상녹화는 건축 및 토목구조물 등의 불투수층 구조물 위에 토양층을 포함한 식재기반을 조성하고 식재하는 것을 의미(허근영과 심경구, 2000)하므로 여러 조건들은 식물이 생육하기에 불리하며, 현실적으로 식재환경에 대한 충분한 고려와 다양한 기술의 개발이 요구되어진다.

이미 관련된 많은 연구들이 환경부, 한국건설기술연구원, 한국주택공사, 서울특별시, 옥상녹화연구회, 관련업체 등에 의해서 각각적으로 진행되어 왔으며(허근영 등, 2003b), 인공토양을 포함한 식재기반의 구성소재들은 상당한 기술적 진보가 이루어졌다(이성기, 2002). 현재 국내에서 사용되고 있는 옥상 식재지반용 토양은 크게 자연토양, 인공토양 그리고 이들을 혼합 사용하는 형태로 구분된다. 그러나 자연토양의 단독사용은 토

양의 경량화에 한계가 있고, 인공토양의 단독사용은 경량화의 목적은 해결될 수 있으나 다량의 강우나 급수시에 지반의 안정성 유지가 어렵고 비산, 건조 등의 문제가 발생되어 왔다. 따라서 인공지반 식재기반에 있어 토양의 혼용처리가 단용처리보다 우수하고, 토심 10~15cm 처리에서 생육이 양호한 시스템의 구축을 제안하고 있다(허근영 등, 2003a). 특히, 하절기 집중호우가 자주 나타나는 우리나라에서는 정체수에 의한 하중을 줄이기 위해 원활한 배수대책과 갈수기에 대비한 보수기능이 동시에 요구된다(김현수와 변혜선, 1998). 그러나 아직까지 외국의 자료나 공법을 검증 없이 그대로 적용하고 있는 실정이므로 배수층에 따른 식물생육에 대한 접근은 우리나라와 같은 지역에서는 그 의미가 더욱 부각될 수밖에 없다.

하중문제로 인해 토심이 얇은 옥상지반은 특히, 건조가 계속되는 하절기와 식재 초기에는 관수를 필요로 하며, 토양개량 등을 통해 건조 방지나 토양 보수력을 증가시킬 필요가 있다. 따라서 옥상에 정착한 식물이 생체량의 큰 변화 없이 적절한 수준에서 지속적인 생육이 유지되도록 하는 것이 중요하며, 옥상녹화의 기반층으로서 유기질계와 무기질계를 적절히 혼용한 토양재료의 사용을 긍정적으로 검토하고 있다. 즉, 옥상지반의 녹화를 위해서는 최우선적으로 하중을 줄이면서도 목적하는 수준만큼의 식물생육을 최소한의 관리를 통해 유지시킬 수 있는 토양소재 및 공법 등의 개발이 요구되고 있는 것이다(이은엽, 2000). 이러한 개발 요구에 대응하기 위해 저배수공법(DAKU공법), 세립블럭공법, 에코탑공법 등 식재기반이 일체화된 제품들이 생산·유통되고 있는데, 이들 공법은 나름대로

소재수급성, 경제성, 기술의 국산화 등의 많은 문제들이 있어 현장적용에 한계를 보이고 있는 실정이다. 따라서, 옥상지반의 식재기반용 토양은 국내에서 생산 및 구입이 용이한 소재를 이용해 우리의 환경조건에 부합하는 것을 개발할 필요성이 시급한 실정이다(이은영, 2000).

이러한 시점에서 본 연구는 제안된 저토심 옥상녹화 시스템이 외국에서 도입되어 국내에 사용되어지고 있는 저토심형 옥상녹화시스템을 대체할 수 있는 지에 대한 적용성을 검토하고 기존의 옥상녹화 시스템보다 저렴한 비용으로 조성할 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다. 또한, 자생 및 도입 지피식물류의 생육상태를 분석하여 제안된 공법의 특성과 생육 적정성을 파악하고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구내용

본 연구에서 제안하는 저토심 옥상녹화 시스템과 외국에서 도입되어 국내에 사용되어지고 있는 기존의 저토심 옥상녹화 시스템의 경제성을 비교·분석하기 위하여 설계가를 기준으로 저렴한 비용으로 조성할 수 있는 가능성을 파악하였다. 또한, 저토심 인공지반 녹화공법 실험지 472m²를 대상으로 2003년 4월~2004년 9월간 피복률, 생체중량, 견체중량 등의 생육 조사를 수행하여 자생 및 도입 지피식물의 생육특성을 파악하였다.

2. 연구방법

1) 공법의 비교 및 분석

저토심 옥상녹화 시스템 공법별 차이점은 공지된 표준시공도와 카탈로그(catalogue)를 참조하여 비교하였으며, 식재초종은 육안으로 대한식물도감(이창복, 1970)을 참조하여 조사·기록하였다. 공사비 비교는 공지된 내역서와 물가자료, 물가정보를 참고하여 설계가 기준으로 비교·분석하였다.

2) 실험포지

실험포지는 1997년 7월에 준공된 경기도 성남시 분당구 구미동 소재의 대한주택공사 본사 2층 옥상부로서 기존의 인공잔디를 제거하고 잔디식재를 포함한 2,338m² 면적 중 저토심 인공지반 녹화공법 실험을 위해 2002년 9월에 조성된 포지 472m²를 대상으로 하였다(그림 1 참조).

3) 토양재료 및 배합특성

저토심 인공지반 녹화공법에 기반을 이루는 상토의 배합은 발포세라믹, 수피, 감람석을 각각 6:3:1 비율로 혼합, 적용하였다. 사용재료별 특성에 있어 발포세라믹은 유리알 제조공장에서 발생한 100 μ m 이하의 폐유리 미분에 발포제와 착색제를 증량부 0~10% 비율로 혼합하였고, 연속로에서 750~850 $^{\circ}$ C내의 온도조건으로 발포 성형되어 나온 다공질유리를 수냉식으로 급랭, 분쇄기로 이송하여 10mm 이하로 분쇄한 것으로서 개공(open pore)을 가지며 용적밀도가 0.35~0.50g/cm³이었다. 수피는 장기간 부숙시켜도 그 특성이 쉽게 변하지 않고(Mazur et al., 1975), 질소를 제외한 모든 영양분을 함유하고 있으며, 생물학적으로 병충해를 억제하는 효과와 식물의 생육을 촉진시키는 특성을 가지고 있었다(Boehm and Hoitink, 1992). 감람

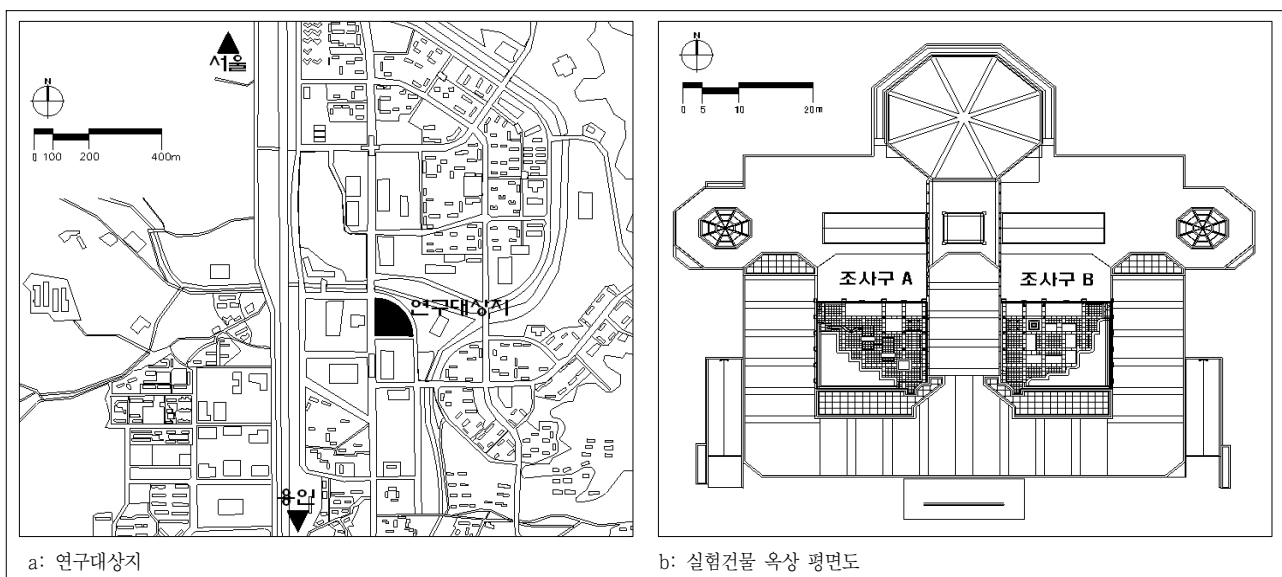


그림 1. 연구대상지 위치도

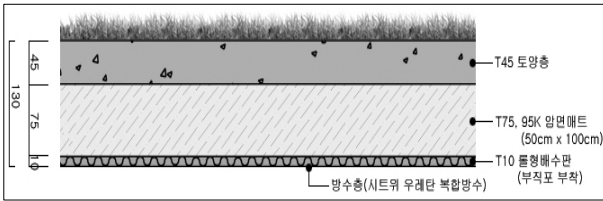


그림 2. 저토심 인공지반 녹화공법의 식재지 단면도
 자료: 대한주택공사, 2000

석은 암석을 구성하는 주요 광물의 하나로서 사방정계에 속하고 주상결정을 이루었으며 경도는 2.5~4.0이었고, 마그네슘이 매우 풍부하고, 철, 규소와 같은 토양에 절대적으로 필요한 유용성분을 포함하고 있었다. 마그네슘은 식물 광합성 중 필수 영양분(한국잔디연구소, 1998)으로 잔디와 같은 지피식물의 생육을 돕고 엽색을 진하게 유지시키는 특성을 나타내었다.

토양층은 부직포가 붙은 1cm 롤형 배수층 위에 밀도 95kg/m²의 7.5cm 암면매트를 설치하고 발포세라믹, 부숙바크, 감람석의 배합토양을 4.5cm로 포설하였다(그림 2 참조). 주요 토양층이 되는 암면매트는 자연석인 현무암, 도석, 제철산화물인 슬라그 등을 용해로에서 1,600℃의 고온으로 용융 분사하여 만든 인공 광물질 섬유로서 발암물질인 석면과 대별되며, 암면입상면은 양액재배농업의 배지로 많이 사용되고 있었고, 주요 성분으로 SiO₂은 45%, Al₂O₃은 20%, CaO은 20%를 이루었으며, 그 외 MgO, Fe₂O₃ 등으로 구성되어 있었다.

저토심 인공지반 녹화공법에 적용된 배합토양의 이화학적 특성은 유기물함량(OM), 전질소함량(T-N), 유효인산(Avail.-P), 토양산도(pH), 치환성 양이온(K, Ca, Mg, Na), 양이온치환용량(CEC), 전기전도도(EC)를 토양 화학 분석법(농촌기술연구소, 1988)에 의해 분석하였다. 세부항목으로 유기물함량 4.37%, 질소 0.043%, 유효인산 16.7mg/kg, pH 7.82, 치환성 K 0.32me/100g, 치환성 Ca 7.78me/100g, 치환성 Mg 2.58me/100g, 치환성 Na 0.89me/100g, 양이온치환용량 7.58me/100g, 전기전도도 0.15dS/m인 화학적 특성을 나타내었다. 유기물의 함량은 우리나라 논토양과 밭토양이 각각 2.6%, 2.0%(조백현, 2002)인 것과 비교해 볼 때 배합토양 유기물함량이 4.37%로 논토양이나 밭토양보다 높았다. 우리나라 주요 토양 중 하나인 부식이 적은 회색토를 보면 치환성 K 0.15me/100g, 치환성 Ca 2.15me/100g, 치환성 Mg 1.25me/100g, 치환성 Na 0.22me/100g, pH 4.8(조백현, 2002)로서 회색토보다 배합토양의 수치가 높았으며, 알칼리성이 강한 것으로 나타났다(표 1 참조).

표 1. 배합토양의 이화학적 특성

구분	유기물함량 (%)	전질소함량 (%)	유효P ₂ O ₅ (mg/kg)	pH (1:5)	치환성 양이온(me/100g)				양이온치환용량 (me/100g)	전기전도도 (dS/m)
					K	Ca	Mg	Na		
분석값	4.37	0.043	16.7	7.82	0.32	7.78	2.58	0.89	7.58	0.15

4) 식재식물선정 및 고정조사구 설정

(1) 식재식물의 선정기준

국내에 시공되어 있는 저토심 인공지반 녹화지를 사례조사하여 일반적으로 사용되고 있는 자생지피류 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*), 두메부추(*Allium senescens*), 돌나물(*Sedum sarmentosum*), 땅채송화(*Sedum oryzifolium*), 매발톱꽃(*Aquilegia buergeriana*), 섬백리향(*Thymus quinquecostatus*), 층꽃나무(*Caryopteris incana*)와 도입지피류 알BUM(*Sedum album*), 아크레(*Sedum acre*), 스프리움(*Sedum sprium*), 리플렉섬(*Sedum reflexum*), 코랄카펫(*Coral carpet*)을 선정하였다.

(2) 고정조사구 설정

조사구 설정은 방형구법(quadrat method)에 의하여 1×1m로 설치하였으며, 조사구는 지피식물 중 자생종 8종과 도입종 5종을 대상지 내 일조량 조건에 따라 양지와 음지로 구분하여 개체당 3개체 반복 처리하였으며, 조사구는 주위 건물에 의해 생기는 일조량에 따라 실험구 A에서 양지와 음지, 실험구 B에서 양지, 음지로 각각 나누어 설치하였다(그림 3, 4 참조). 대상지 내 건물높이, 향, 일사각 등을 조사하여 SKETCH UP Ver 4.0 (Lastsoftware, 2002)에 입력하여 1월부터 12월까지 2시간 단위로 일조조건을 시뮬레이션하여 양지와 음지를 구분하였다. 하루 중 일조량이 70% 이상인 곳을 양지로, 일조량이 40% 이하인 곳을 음지로 구분하였다. 조사구당 25포트(pot)를 정식하였으며, 관수는 정식 후 1주일 동안 1일 1회 실시하였고 그 이후는 관수를 실시하지 않았으며, 생육조사를 하는 기간 동안 시비 및 잡초 제거는 실시하지 않았다.

(3) 피복률

피복률은 정식 후 8개월이 경과한 2003년 5월, 6월, 7월, 9월과 2004년 9월에 각각의 1×1m 크기로 설치된 조사구 위에서 등비율로 사진촬영을 하고 AutoCAD 2002 ver. 15.6(Autodesk, 2002)을 이용하여 그 면적을 계산하고 환산하여 산출하였다.

(4) 생체중량 및 전체중량

생체중량은 2003년 6월, 9월과 2004년 9월에 조사구에서 굴취한 후, 뿌리부분의 흙을 씻어낸 후 저울로 측정하여 생체중량을 구하였다. 전체중량은 2003년 6월, 9월과 2004년 9월에 조

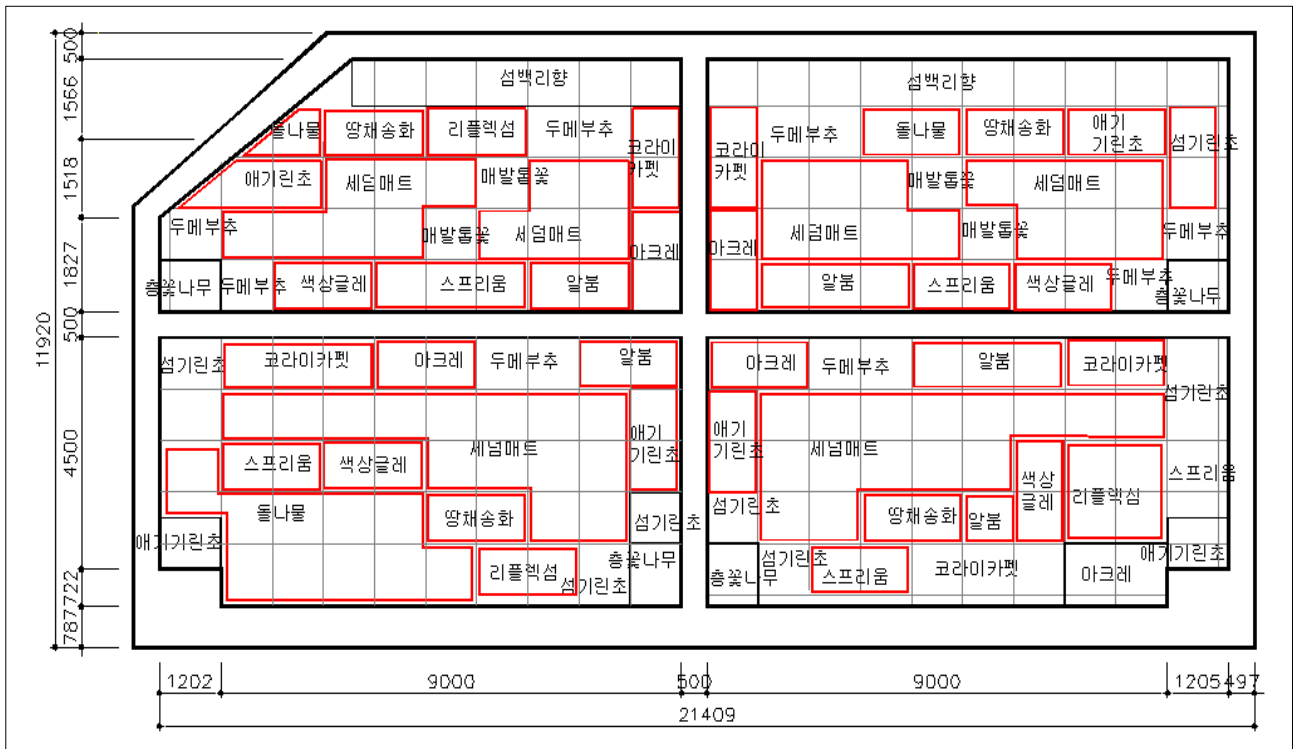


그림 3. 조사구 A의 설치도 및 식재도

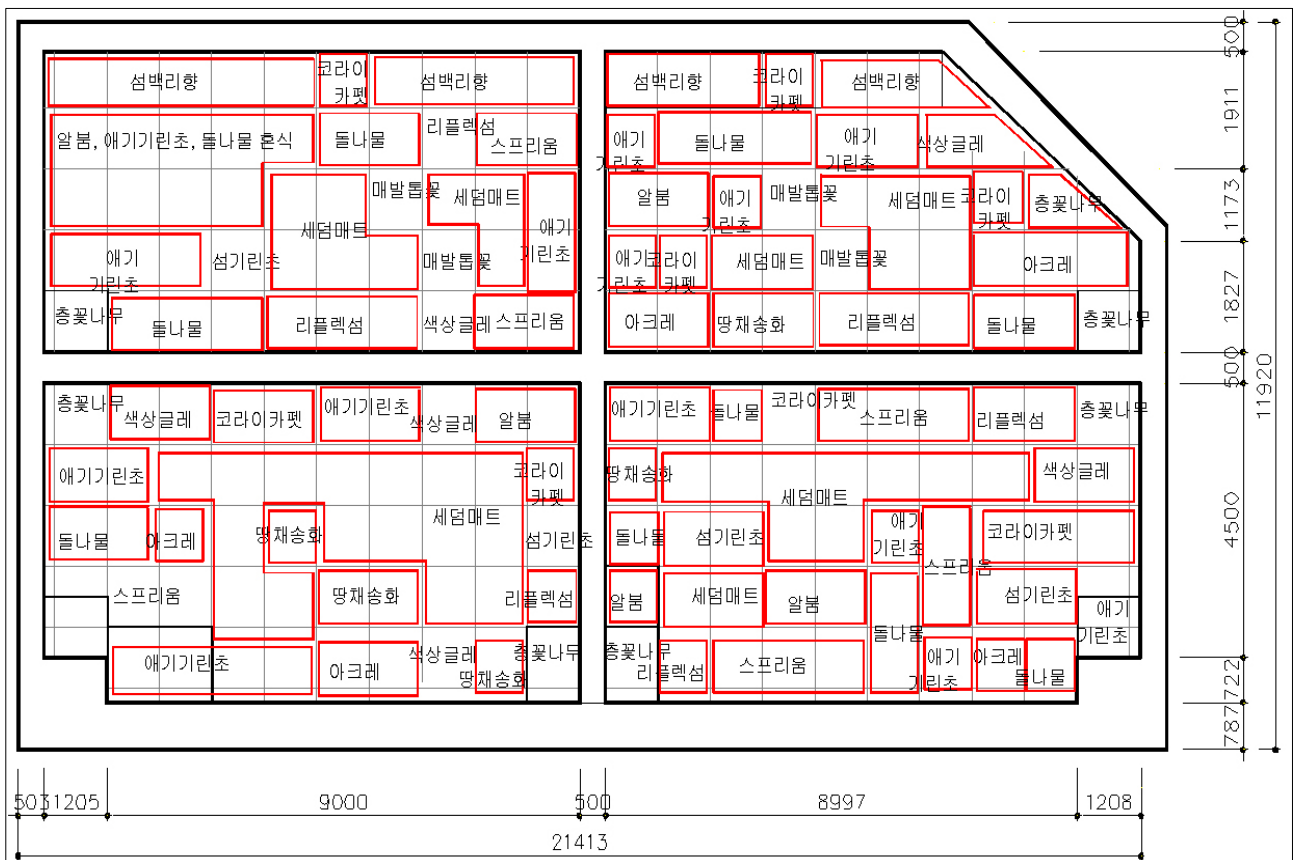


그림 4. 조사구 B의 설치도 및 식재도

사구에서 굴취하여 뿌리부분의 흙을 씻어낸 후 잎, 줄기, 뿌리를 구분하지 않고 드라이오븐에 넣어 70°C에서 24시간 건조시킨 후 저율로 측정하였다(정병간, 2000). 이는 양지와 음식로 구분하여 식물종별로 3개소씩 설치된 실험구를 중심으로 이루어졌다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 저토심 인공지반 녹화공법의 경제성 분석

1) 공법별 조성특성 비교

국내에서 기존에 사용되는 저토심형 인공지반 녹화공법은 독일에서 도입된 세덤블럭공법과 저배수공법이 주로 이용되어 왔다. 세덤블럭공법의 구성요소는 배수 및 저수 블록, 세립토양 필터, 토양층으로 이루어졌다. 세부적으로 블록층은 P.E계열 소재의 배수 및 저수 기능을 가진 8cm 두께의 블록을 사용하였고, 화산석, 마사토 등으로 블록 내부가 채워졌으며, 블록층 위에 세립토양 필터를 설치, 상부에 5cm 두께의 토양층을 조성하였다. 전체 토심은 13cm, 식재수종은 세덤종이 주요종을 이루었다(한수그린텍, 2004). 저배수공법의 구성요소는 저배수관, 세립토양 필터, 토양층으로 구분되었다. 구체적으로 EPS 소재의 저배수관 위에 세립토양 필터를 설치하고 상부에 일반토양, 화산석, 유기물 등으로 토양층을 조성하였다. 전체 토심은 10cm, 식재수종은 초화류와 세덤류를 주로 식재하였다(한국 CCR, 2004).

저토심 인공지반 녹화공법의 구성요소는 롤형 배수관, 암면 매트, 상토층으로 이루어졌다. 세부적으로 세립토양 필터가 붙은 1cm 롤형 배수관 위에 7.5cm 두께의 암면매트를 설치, 상부에 4.5cm의 상토층을 조성하였다. 전체 토심은 13cm, 자생 및 도입 지피류를 주로 식재하였다. 저토심 인공지반 녹화공법이 기존공법과 다른 차이점은 세립토양 필터가 부착된 롤형 배수관을 사용하여 시공 공정을 간편화하였고, 식재층에 보수성과

통기성이 뛰어난 암면매트를 식재기반으로 이용하여 세덤블럭 공법의 세덤블럭이나 저배수공법의 저배수관이 가지는 저배수 기능을 동시에 수반하였다(표 2 참조).

2) 공법별 경제성 비교

인공지반녹화 공사공정은 방수층공사, 토양층공사, 식재공사로 나누어지며, 기존에 도입되고 있는 저토심공법인 세덤블럭 공법, 저배수공법과 저토심 인공지반 녹화공법의 경제성을 비교해 보면 방수층공사에서는 큰 차이를 보이지 않았지만 식재층공사에서는 많은 차이점이 있는 것으로 조사되었다.

세덤블럭공법은 세덤블럭 깔기, 인공화산석, 부직포 깔기, 상토층 조성에서 설계가 기준으로 89,433원/m²이 소요되었고, 세덤류를 주로 식재하는 식재공사에서는 85,840원/m²이 소요되는 것으로 나타났다. 저배수공법은 저배수단열판 설치, 화산석 개량토, 방수방근시트 깔기, 분리막부직포 설치에서 설계가 기준 92,550원/m²이 소요되었고, 식재공사비로 58,500원/m²이 소요되었다. 저토심 인공지반 녹화공법에서는 롤형배수층, 암면 매트, 상토층 조성에서 설계가 기준 45,000원/m²이 소요되었고, 자생 및 도입 지피류를 식재하는 식재공사에서 55,000원/m²이 소요되었다. 식재공사는 현장에 따라 시공비의 편차가 있어 경제성의 객관적 비교가 어려우므로 단위면적 1m²당 토양층의 공사비를 비교해 보았을 때 세덤블럭공법에서 89,433원, 저배수공법에서 92,550원, 저토심 인공지반 녹화공법에서 45,000원으로 타공법과 비교하여 50% 정도의 원가 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

2. 환경조건에 따른 식물종별 생육특성

1) 피복률

그림 5는 양지환경에서 생육한 식물들의 평균 피복률 변화로서 식재후 2년이 경과한 2004년 9월에 자생종인 기린초, 애기기린초, 섬백리향은 95% 이상의 높은 피복률을 나타내었다.

표 2. 공법별 조성특성 비교

구분	세덤블럭공법	저배수공법	저토심 인공지반 녹화공법
배수층	P.E계열소재의 블록이 배수관과 저수 기능을 가지며 세립토양 필터 설치	EPS 소재의 저배수관 및 세립토양 필터 설치	세립토양필터가 붙은 1cm 롤형 배수관
식재층	화산석, 마사 등을 블록에 채운 후 필터를 설치하고 5cm 두께의 토양층 조성	저배수관 상부에 필터를 설치한 후 일반토양, 화산석, 유기물 등으로 토양층 조성	롤형 배수관 위에 암면매트를 설치한 후 발포 세라믹, 바크, 감람석 등의 배합토를 4.5cm 두께로 상토층 조성
토심	13cm	10cm	13cm
식재수종	지피류(국내외종)	지피류(국내외종)	지피류(국내외종)
관리	저관리	저관리	저관리

자료: 한수그린텍, 2004; 한국 CCR, 2004

표 3. 공법별 경제성 비교(단위: 원/m²)

구분	세덤블럭공법		저배수공법		저토심 인공지반 녹화공법	
	세덤블럭갈기		저배수 단열판		롤형 배수층	
토양층공사	인공화산석	41,161	화산석 개량토	18,500	암면 매트	12,000
	부직포갈기	32,131	방수방근시트	26,650	상 토	15,000
	상 토	1,090	분리막 부직포	45,400	-	-
	소 계	15,051	소 계	2,000	소 계	45,000
	소 계	89,433	소 계	92,550	소 계	45,000
식재 공사	세덤류	85,840	초화류	58,500	지피류	55,000
	소 계	85,840	소 계	58,500	소 계	55,000
합계	175,273		151,050		100,000	

자료: 한국물가정보, 2004; 한국물가자료, 2004

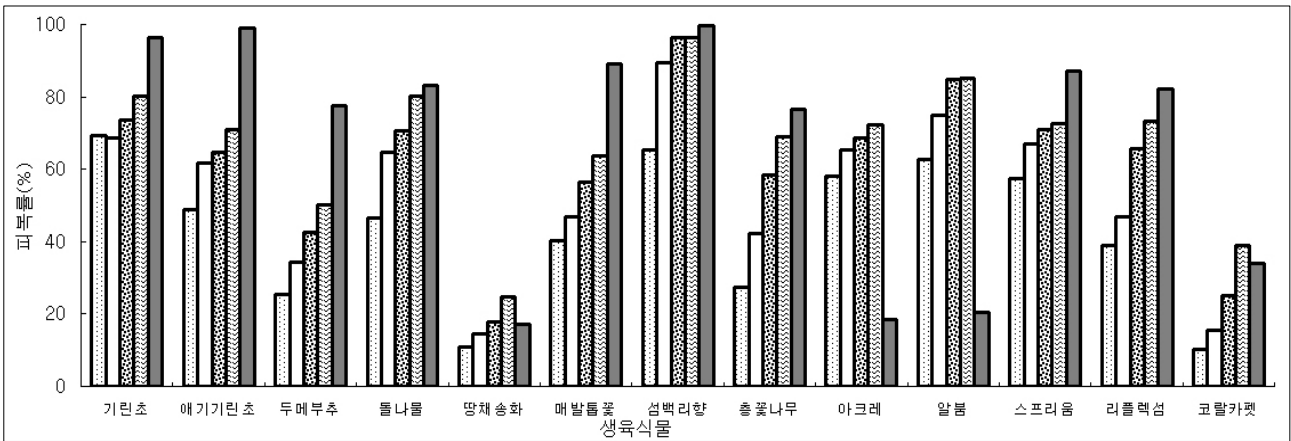


그림 5. 양지 생육식물별 평균 피복률 변화

범례: □ 2003년 5월, □ 2003년 6월, ■ 2003년 7월, ▨ 2003년 9월, ■ 2004년 9월

그 외 두메부추, 돌나물, 매발톱꽃, 총꽃나무는 75% 이상의 피복률로 양호한 현황이었으나, 땅채송화는 17.2%의 낮은 피복률을 보였다.

전체적으로 피복률 조사를 시작한 2003년 이후 높은 피복률 변화를 나타낸 자생종은 두메부추 52.3%, 애기기린초 50.4%, 총꽃나무 49.2%, 매발톱꽃 48.7%이었으며, 반면에 땅채송화는 6.4%의 낮은 피복률을 나타내었다. 도입종에 있어 스프리움, 리플렉섬은 80% 이상의 높은 피복률을 보였으나, 아크레, 알бом, 코랄카펫은 35% 이하의 낮은 피복률을 나타내었다. 2003년 5월 이후 피복률 변화에서 리플렉섬은 43%의 높은 증가를 보였으나, 아크레와 알бом의 피복률은 각각 39.6%, 42.1%로 감소하였다.

음지 내 생육식물의 피복률 변화를 파악한 결과(그림 6 참조), 식재 후 2년이 경과한 2004년 9월 음지에서 자생종인 섬백리향, 돌나물, 매발톱꽃은 80%이상의 높은 피복률을 나타내었다. 세부적으로 애기기린초, 두메부추는 각각 71.1%, 79.5%로 양호하였으며, 총꽃나무는 50% 이하의 피복률을 보였고, 땅채송화는 10% 미만의 낮은 피복률을 나타내었다.

2003년 5월 이후 피복률 변화는 기린초, 두메부추, 돌나물, 매발톱꽃 등이 40% 이상의 높은 피복률 증가를 보였으며, 땅채송화는 10% 미만의 낮은 피복률 증가를 나타내었다. 2004년 9월 피복률 조사결과, 도입종인 리플렉섬은 80%에 가까운 높은 피복률을 보였고, 아크레, 알бом, 코랄카펫은 30% 미만의 피복률을 보였다. 2003년 5월 이후 피복률 변화는 리플렉섬이 50% 이상의 피복률로 증가하였고, 아크레, 알бом의 피복률이 각각 21.5%, 27.8%로 감소하였다.

2) 생체중량

양지의 생육식물들의 생체중량 변화를 파악한 결과(그림 7 참조), 식재 후 2년이 경과한 2004년 9월 양지에서 생육한 자생종 중에서 가장 높은 생체량을 보인 종은 기린초 80.8g, 애기기린초 101.2g이었으며, 두메부추와 돌나물의 생체량은 각각 35.9g, 32.8g, 땅채송화는 5.3g의 낮은 생체량을 보였다. 즉, 기린초, 애기기린초, 총꽃나무는 각각 40.2g, 53.9g, 52.8g의 높은 생체량 증가를 보인 반면 매발톱꽃, 섬백리향, 땅채송화는 각각

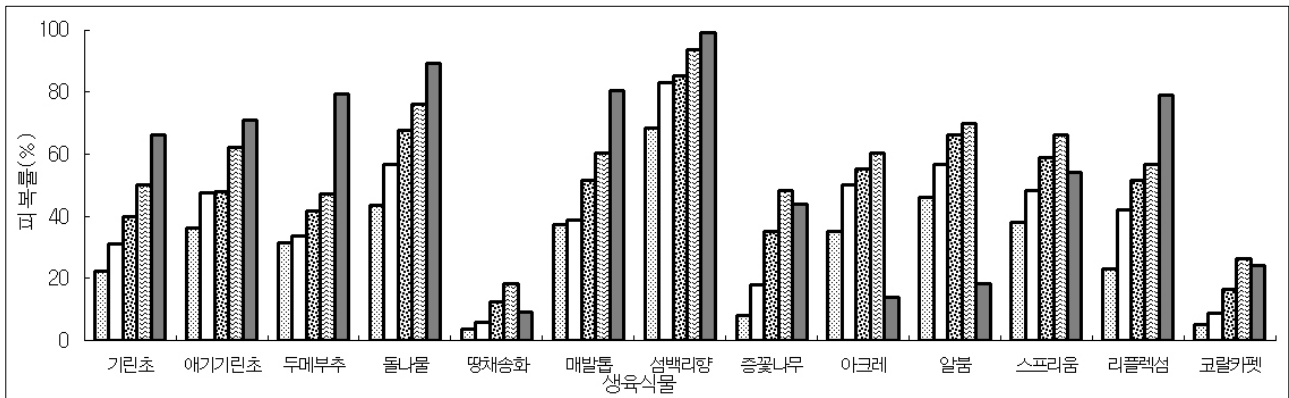


그림 6. 음지 생육식물별 평균 피복률 변화
 범례: □ 2003년 5월, ▤ 2003년 6월, ▨ 2003년 7월, ▩ 2003년 9월, ■ 2004년 9월

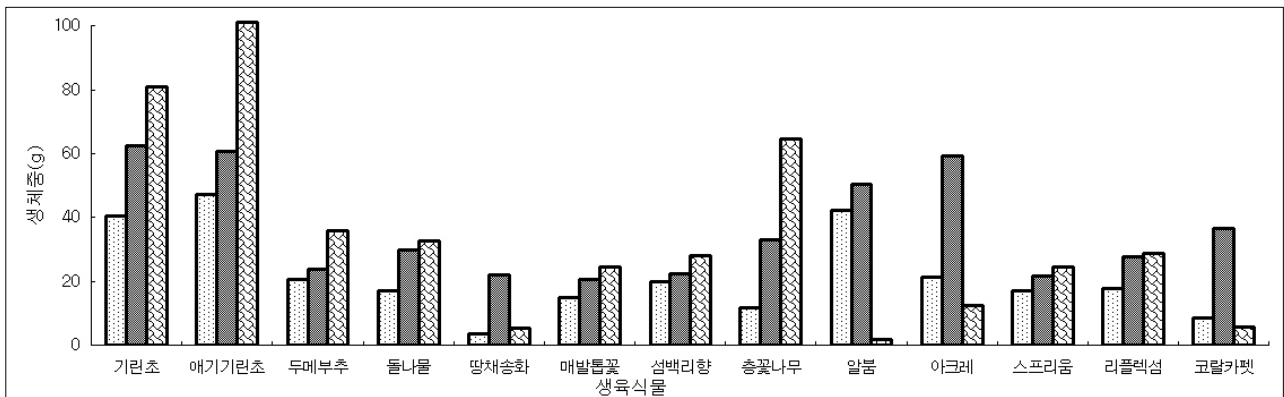


그림 7. 양지 생육식물별 평균 생체중량 변화
 범례: □ 2003년 6월, ■ 2003년 9월, ▨ 2004년 9월

9.3g, 8.2g, 1.6g의 낮은 생체중량 증가를 보였다. 도입종은 2004년 9월 알бом과 아크레에서 각각 1.9g, 12.4g의 생체중량을 보였으며, 2003년 이후 생체중량 변화는 알бом이 40.1g, 아크레가 8.9g으로 감소하였다.

음지 내 생육식물들의 평균 생체중량 변화(그림 8 참조)에

서 자생종인 기린초, 애기기린초는 2004년 9월 음지에서 70.4g, 91.5g으로 양호하였으며, 두메부추, 매발톱꽃, 섬백리향은 30% 미만, 땅채송화는 7.9g으로 가장 낮은 경향을 나타내었다. 음지에서 평균 생체중량 변화는 기린초 40.2g, 애기기린초 53.7g으로 가장 높았으며, 두메부추와 땅채송화는 각각 6.5g, 5.1g으로

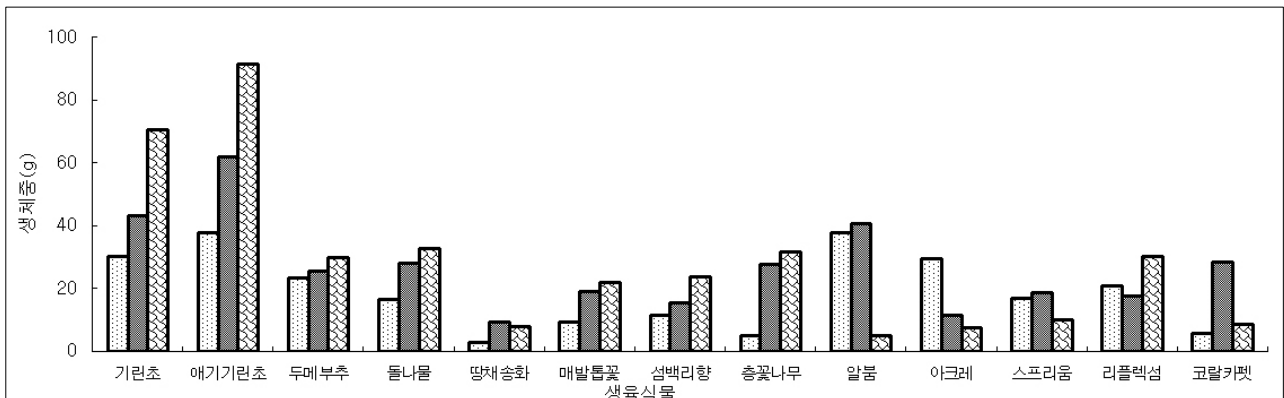


그림 8. 음지 생육식물별 평균 생체중량 변화
 범례: □ 2003년 6월, ■ 2003년 9월, ▨ 2004년 9월

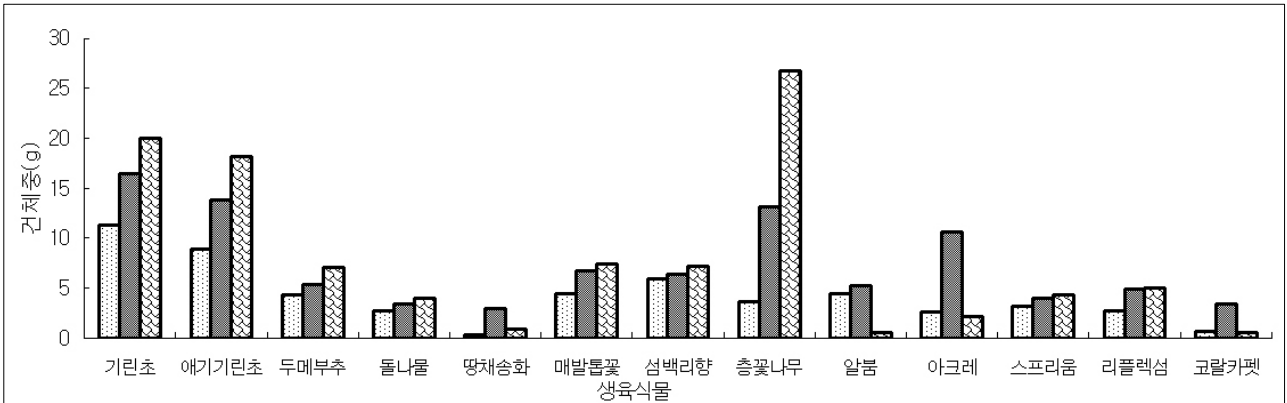


그림 9. 양지 생육식물의 평균 건조중량 변화
 범례: □ 2003년 6월, ■ 2003년 9월, ▨ 2004년 9월

낮게 나타났다. 2004년 9월 도입종인 알붐, 아크레는 8g 이하의 생체량을 보였으며, 스프리움은 10.1g, 코랄카펫은 8.5g의 생체량을 나타내었다. 알붐, 아크레, 스프리움은 2003년 6월 이후 평균 생체중량 변화에서 각각 32.4g, 22.0g, 6.9g으로 생체량이 감소하였다.

3) 건조중량

양지의 생육식물의 평균 건조중량 변화(그림 9 참조)에서 자생종인 기린초는 2004년 9월 양지에서 20g의 건조중량을 보였다. 식물중에 있어 애기기린초와 층꽃나무는 각각 18.2g, 26.8g의 건조중량을 보였으며, 두메부추, 돌나물, 땅채송화, 매발톱꽃, 섬백리향은 8g 이하의 건조중량을 나타내었다. 2003년 이후 건조중량은 기린초가 8.7g 증가하였고, 층꽃나무, 애기기린초가 각각 23.1g, 9.2g 증가하였으며, 두메부추, 돌나물, 땅채송화, 매발톱꽃, 섬백리향은 3g 이하의 변화를 보였다. 도입종에서 2004년 9월 건조중량 측정결과 리플렉섬이 5.0g이었으며, 알붐, 아크레, 코랄카펫은 4g 이하를 나타내었다. 2003년 이후 건조중량의 변화를 보면 알붐, 아크레가 3.9g, 0.4g으로 감소하였고, 리플렉섬은 2.3g 증가하였으며, 스프리움과 코랄카펫은 2g 이하

의 변화를 나타내었다.

음지의 생육식물들의 평균 건조중량 변화(그림 10 참조) 측정 결과(2004년 9월), 자생종인 기린초는 17.9g, 애기기린초와 층꽃나무는 각각 21.0g, 10.9g을 나타내었다. 그 외 두메부추, 돌나물, 땅채송화, 매발톱꽃, 섬백리향은 8g 이하의 건조중량을 나타내었다. 건조중량 변화에서 기린초가 14.5g으로 가장 높은 증가를 보였고, 애기기린초와 층꽃나무가 각각 14.1g, 9.4g의 변화를 보였으며, 두메부추, 돌나물, 땅채송화, 매발톱꽃, 섬백리향은 4g 이하의 낮은 증가를 나타내었다. 도입종에서 2004년 9월 리플렉섬이 4.8g의 건조중량을 보였으며, 알붐과 아크레는 건조중량에서 각각 3.0g, 1.7g의 감소량을 나타내었다.

식물종별 피복률, 생체중량, 건조중량을 파악한 결과, 자생종의 월별 피복률의 변화는 시간이 경과함에 따라 점진적으로 증가하였으며, 전체적으로 피복의 속도가 유사하다는 측면에서 시간에 따른 생장의 변화로 파악되었다. 특히, 기린초, 애기기린초, 두메부추, 돌나물 등은 옥상환경의 적응력이 높은 종으로 평가되었으며, 10~15cm의 토심에서 활발한 생육현황을 보인 것으로 조사된 기존 연구(김명희 등, 2003; 장복만, 1990; 허근영 등, 2003a; 허근영 등, 2003b)와 동일한 경향을 나타내었다.

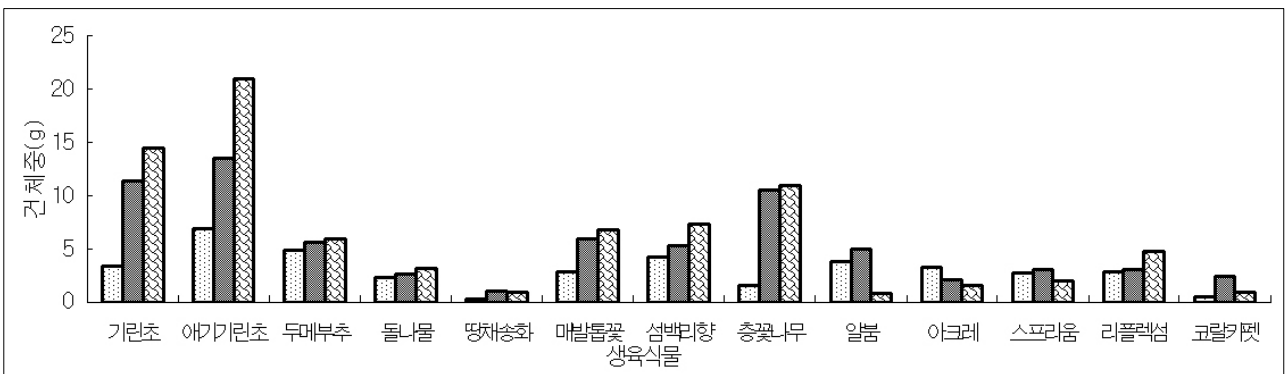


그림 10. 음지 생육식물별 평균 건조중량 변화
 범례: □ 2003년 6월, ■ 2003년 9월, ▨ 2004년 9월

그에 반해 도입종에 관한 실험연구에서는 알붐이 국내 기후조건에 적응력이 높고 식재 1년 후 피복률 및 생체중량, 건체중량이 증가하는 경향을 나타낸 종으로 보고하였으나(김인혜 등, 2005), 본 연구에서는 초기 피복률은 높았으나 식재 16개월 후 잡초유입으로 인하여 급격히 피복면적이 감소하였으며, 스프리움, 리플렉섬이 고르게 생장하였다. 따라서 도입종에 관한 시간적 추이에 따른 다양한 생장현황의 구명이 필요할 것으로 판단되었다.

IV. 결론

본 연구는 제안된 저토심 인공지반 녹화공법에 있어 기존의 저토심 옥상녹화공법과의 경제성을 비교·검토하였다. 또한, 제안된 저토심 인공지반 녹화공법에서 자생 및 도입 지피식물의 생육상태를 분석하여 제안된 공법의 특징과 생육 유효성을 파악하였다.

저토심 옥상녹화 공법별 경제성을 비교·검토한 결과, 세덤블럭공법이 89,433원/m², 저배수공법이 92,550원/m²이 소요되었으며, 저토심 인공지반 녹화공법의 토양층 조성 공사비는 45,000원/m²으로 기존 저토심 옥상녹화 공법보다 50% 이상의 경제적 효율이 높은 것으로 나타났다.

피복률 측정 결과, 양지환경에서 기린초, 애기기린초, 섬백리향, 두메부추, 돌나물, 매발톱꽃, 층꽃나무는 비교적 양호한 현상을 나타내었으나, 땅채송화는 25% 이하의 낮은 피복률로 저조한 경향을 나타내었다. 도입지피식물로서 스프리움, 리플렉섬은 지속적인 생장증가를 나타내었으나, 아크레, 알붐, 코랄카펫은 잡초의 유입으로 경쟁에 의한 세력 감소가 뚜렷하게 나타났다. 음지환경에서 섬백리향, 기린초, 애기기린초, 두메부추, 돌나물, 매발톱꽃은 비교적 양호하였으나, 층꽃나무는 50% 이하로 양지환경보다 저조한 현황이었으며, 땅채송화는 10% 이하의 저조한 피복률을 나타내었다. 도입 지피류에 있어 스프리움, 리플렉섬은 비교적 양호한 경향이었으며, 아크레, 알붐, 코랄카펫은 30% 이하의 피복률을 나타냈다. 전체적으로 양지환경에서의 피복률이 높은 것으로 조사되었으며, 이러한 경향은 일조환경에 따른 생육의 저조현상으로 판단되어졌다.

생체중량, 건체중량 측정결과, 피복률과 비슷한 경향을 나타내었으며, 양지·음지환경에서 기린초, 애기기린초, 층꽃나무가 양호하였으며, 피복률이 저조하였던 땅채송화는 가장 낮은 값을 나타내었다. 도입지피종은 전반적으로 자생종보다 저조하였다.

종합적으로 자생종인 기린초, 애기기린초, 두메부추, 돌나물, 매발톱꽃, 층꽃나무 등은 저토심 인공지반 녹화공법에서 피복률 증가와 함께 생체중량, 건체중량이 증가하는 경향을 보였으며, 땅채송화 1종이 저조하였다. 도입종인 스프리움, 리플렉섬

도 양호한 생육상태를 나타내었으나, 알붐과 아크레, 코랄카펫은 잡초에 의한 피압으로 피복률 및 생체중량, 건체중량이 낮은 현황으로 조사되었다. 본 연구에서 제시한 저비용 저토심 인공지반 녹화공법은 외국에서 도입된 기존 공법과의 경제성 비교·검토 결과, 저비용으로 옥상녹화가 가능할 것으로 판단되어졌으며, 식물종 13종에 대한 피복률, 생/건체중량 조사 결과, 기린초, 애기기린초, 두메부추, 돌나물, 매발톱꽃, 층꽃나무, 스프리움, 리플렉섬의 생육이 양호하였으므로 향후, 도심 내 옥상녹화의 보급화에 적용가능할 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 국내에서 개발된 저토심 인공지반 녹화공법을 적용하여 경제적인 효율성을 밝히고, 녹화를 위한 식물생육 조사를 통하여 신공법의 유효성을 제시하였다. 그러나 국내 저토심형 인공지반 녹화공법 구분에 따른 식재종별 비교대상이 없었으므로, 다양한 지역에서의 비교·검토가 이루어지지 않은 한계점을 가지고 있다. 향후, 본 공법의 일반적인 적용을 위해서는 본 연구결과를 토대로 세부적인 후속연구가 요구된다. 구체적으로 저토심 인공지반 녹화공법별 식재지반 차이에 따른 식물생육의 비교, 잡초유입에 따른 식물생육에 미치는 영향, 바람에 의한 식물생육의 영향 등에 관한 세부적인 통계치 분석을 통한 유형화가 이루어져야 할 것이다. 즉, 현장에서 검증된 저토심 인공지반 녹화공법의 적용 및 인공지반 환경에 적합한 지피식물에 관한 생육환경 검토가 지속적으로 수행되어 옥상공간의 생태적 녹지축 조성방안이 효율적으로 수립될 수 있는 토대를 마련해야 할 것이다.

인용문헌

1. 김명희, 방광자, 주진희, 한승원(2003) 옥상조경용 경량토양의 혼합비와 토심이 3가지 자생초화류의 생육에 미치는 영향. 한국조경학회지 31(1): 101-107.
2. 김인혜, 허무룡, 허근영(2005) 국내에 도입된 *Sedum album L.*의 생육 특성 및 저토심 옥상 녹화시스템에 관한 연구. 한국조경학회지 33(5): 69-82.
3. 김현수, 변혜선(1998) 보급형 옥상녹화시스템의 개발과 적용. 서울: 환경과 조경.
4. 농촌기술연구소(1988) 토양 화학 분석법. 농촌기술연구소 보고서.
5. 대한주택공사(2000) 대한주택공사 사옥 옥상 공사 실시설계 보고서.
6. 서울특별시(2000) 건물옥상녹화 학술용역 보고서.
7. 이성기(2002) 인공지반 녹화에서 토심별 토양층의 특성에 관한 연구. 진주산업대학교 대학원 석사학위논문.
8. 이은엽(2000) 옥상녹화 식재기반층의 토양조성과 관리조건이 식물생육에 미치는 영향. 청주대학교 대학원 박사학위논문.
9. 이창복(1970) 대한식물도감. 서울: 향문사.
10. 장복만(1990) 중국의 채소농업. 서울: 최선원에.
11. 정병간(2000) 토양 및 식물체 분석법. 농업과학원 보고서.
12. 조백현(2002) 토양학. 서울: 향문사.
13. 한국물가자료(2004) 물가자료지.
14. 한국물가정보(2004) 물가정보지.
15. 한국잔디연구소(1998) 잔디관리의 이론과 실제 연구보고서.
16. 한수그린텍(2004) 세덤블럭 카탈로그 및 설계내역서.
17. 한국 CCR(2004) 저배수공법 카탈로그 및 설계내역서.

18. 허근영, 김인혜, 강호철(2003a) 저토심 옥상녹화에서 들나물의 생육에 대한 인공배지 종류, 토심, 그리고 배수 형태의 효과. 한국조경학회지 31(2): 102-112.
19. 허근영, 김인혜, 류남형(2003b) 저토심 옥상 녹화시스템에서 기린초의 생육에 대한 인공배지 종류, 토심, 그리고 배수 형태의 효과. 한국조경학회지 31(4): 90-100.
20. 허근영, 심경구(2000) 인공지반의 녹화를 위해서 단용 또는 노지토양과 혼합하여 이용되는 인공토양의 특성. 한국조경학회지 28(2): 23-38.
21. 현대건설기술연구소(1997) 인공지반 조경녹화기술에 관한 연구보고서.
22. Boehm, M. J. and H. A. J. Hoitink(1992) Sustenance of microbial activity in potting mixes and its impact on severity of Phythium root rot of Poinsettia. Phytopathology 82: 259-264.
23. Mazur, A. R., T. D. Hughes, and J. B. Gartner(1975) Physical properties of hardwood bark growth media. Hort Science 10(1): 30-33.

원 고 접 수 일: 2009년 9월 25일
 심 사 일: 2009년 10월 8일(1차)
 2009년 10월 20일(2차)
 계 재 확 정 일: 2009년 10월 30일
 3 인 의 명 심 사 필