

재활용재료를 포함한 옥상녹화용 인공토양의 성능평가*

- 토양배합비가 자생식물 생육에 미치는 영향을 중심으로 -

김경훈 · 고정현 · 김 용

일송환경복원(주)

A Study on Green Roofing Applied Artificial Soil Containing Recycled Materials*

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

Kim, Kyung-Hoon · Koh, Jeung-Hyun and Kim, Yong

Il Song ERT., Co., Ltd.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze an availability of green roof soil based on the bottom ash soil and compost using sludge derived from food factory as comparing and analysing the growth of native plants.

Analysing the physical properties and chemical resistance of 12 different type mixing soils which is mainly used in green roof, selected 4 types of soil, experiments were conducted to compare plant growth. The growth status of the plant showed the most superior of the soil 13(control), next soil 9(Pearlite : Bottom Ash : Compost = 20 : 60 : 20) and soil 10(Pearlite : Zeolite : Compost = 60 : 20 : 20)

This result showed that native plants grow well in the soil based on the bottom ash and compost using sludge derived from food factory, and this soil type is determined that is available the green roof soil.

Key Words : *Rooftop greening, Soil type, Artificial soil, Plant growing, Native plant.*

* 본 연구는 환경부의 2012년도 차세대 에코이노베이션 기술개발사업 “도시폐자원순환기법을 활용한 도시입체녹화기술 개발”의 지원으로 수행되었음(과제번호 403-112-002).

First author : Kim, Kyung-Hoon, Il Song ERT., Co., Ltd.,
Tel : +82-10-8769-3388, E-mail : kim-hooney@hanmail.net

Corresponding author : Koh, Jeung-Hyun, Il Song ERT., Co., Ltd.,
Tel : +82-10-9471-3070, E-mail : koh1031@hanmail.net

Received : 7 October, 2013. Revised : 22 October, 2013. Accepted : 18 October, 2013.

I. 서 론

현대 도시는 고밀도 개발에 따른 도시 내 열섬현상, CO₂ 배출량 증가 등의 환경오염을 유발하고, 이로 인한 생물서식처 훼손, 도시 경관의 훼손 등의 환경 파괴가 이루어지고 있다.

도시에서는 도로 및 건축물로 인해 아스팔트, 벽돌 및 콘크리트 표면이 식물을 대신하고 있다. 이러한 표면들은 반사율이 낮아 태양에너지를 반사하는 대신에 흡수하고 저장하기 때문에 도시주변의 외곽보다 온도가 더 높게 나타난다. 이로 인해 도시열섬현상이 발생하고 환경오염과 생물들이 서식할 수 있는 환경기반이 점차 파괴되면서 이를 복구하기에 많은 어려움이 따르는 상황에 직면하게 되었다. 또한 토지를 확보해 녹지를 조성하기에는 비용적 측면에서 많은 어려움이 있다.

이를 해결하기 위한 녹지 공간 조성 대책방안으로 인공지반녹화를 통한 도시 녹지의 증대에 대한 관심이 높아지고 있다.

특히 녹지공간을 확보하기 힘든 도심에서 녹색방수페인트로 칠해진 채 빈 공간으로 방치된 옥상과 같은 인공지반을 녹지로 활용한다는 측면에서도 상당한 의미를 가진다고 할 수 있다.

도시 내 녹지는 인공적인 도시경관에 시각적 안정감을 줄 뿐만 아니라 도시인에게 정신적인 편안함을 주며, 도시 기후의 조절, 대기의 정화, 소생물권 형성의 조건 제공 등 삶의 터전으로서 갖추어야 할 중요한 환경제공의 기능을 담당(Park *et al.*, 1996)하고 있는 등 도시의 부족한 녹지를 확보하기 위한 공간으로서 건축물의 옥상은 매우 유용한 공간으로 인식되고 있다. 이처럼 옥상녹화는 도시의 환경개선과 생태적 공간 조성을 위한 하나의 대안으로서 중요성이 높아지고 있다(Lee *et al.*, 2005).

그러나 옥상 등의 인공지반 녹화는 무엇보다 하중에 따른 안전성 문제가 중요한 사항이므로 강우 및 관수에 따른 정체수가 생기지 않고 가급적 배수가 원활하여 하중에 대한 부담을 덜어 줄 필요가 있다(Lee and Moon, 2000). 옥상녹화는 충분한 토심의 확보와 불량한 환경에서도 식물생육이 유지되어야 할 과제를 안고 있다(An and Kim, 2001).

우리나라의 기존 건물옥상의 적재하중이 100kg/m²이고, 사무실, 학교, 주거용 건축물이 180~200kg/m²인 건축현실을 반영하여 초기 도입단계에서 기존 건축물에 적용가능하며, 관리가 용이한 경량형 저토심 옥상녹화에 관심이 집중되었고, 이에 대한 기술개발이 중점적으로 이루어졌다(Kim and Huh, 2003).

현재 인공지반의 녹화에서 사용되는 인공토양은 하중, 보습성 및 배수성을 고려하여 필라이트를 기반으로 하는 경량형 인공토양이 대부분이며(Shin *et al.*, 2012), 필라이트는 원석을 수입하여 가공 생산하는 것으로서, 그 대체품의 개발이 필요하다고 판단하고 있다(Huh and Sim, 2001).

한편 런던 협약(폐기물 및 기타 물질의 투기에 의한 해양 오염 방지에 관한 협약)에 따라 음식물 폐기물, 하수 슬러지 등의 폐기물에 대한 해양 투기가 전면 금지될 예정에 있어 육상처리 방안의 모색이 시급한 실정이며, 이에 따른 대안으로 음식물 폐기물 및 하수 슬러지 등의 도시 폐자원을 재활용 인공지반 녹화용 퇴비 등으로 재활용하는 방안이 좋은 대안으로 평가 받고 있다.

이에 본 연구에서는 인공지반에서 이용되고 있는 기존의 식생기반재와 더불어 대체재로 이용될 수 있는 화력발전소에서 배출되는 바텀애쉬(bottom ash)를 이용한 인공토양까지 검토하였으며, 이를 통하여 옥상녹화용 퇴비로써의 활용가능성을 파악해보고자 하였다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 실험 재료

인공토양은 옥상녹화용으로 주로 활용되는 펄라이트, 피트모스, 코코피트, 질석중립, 질석미립, 제올라이트와 폐기물재활용 인공토양으로 바텀에쉬를 Table 1과 같은 배합으로 만든 후 화학성 및 물리성을 분석하였다.

퇴비는 원유슬러지와 식품슬러지를 부숙시켜 만들어진 퇴비를 1:1로 혼합하여 사용하였다. 원유(原乳)슬러지는 우유 및 우유 가공품을 생산하기 위해 원유(原乳)를 가공하고 남은 슬러지로서 M사의 S공장에서 배출된 슬러지를 사용하였다. 음료 슬러지는 식혜, 녹차 음료 등을 생산하기 위해 사용된 맵쌀, 엇기름, 녹차 잎, 설탕 등을 가공하고 남은 슬러지로서 Y사 J공장에서 배출된 슬러지를 사용하였다.

대조구로는 코코피트, 펄라이트, 질석, 피트모스 등이 들어있는 조경 관엽용 배양토로 시중에 판매되고 있는 A제품을 이용하였다.

2. 실험용 토양의 화학적 특성 분석

인공토양의 화학적 특성을 파악하기 위하여 유기물 함량, 질소함량, 유효인산, 치환성칼륨, 염분, 토양산도(pH), 전기전도도 7개 항목을 농촌진흥청의 상토 표준분석법에 의하여 분석하였다(농촌진흥청, 2002).

3. 실험용 토양의 물리적 특성 분석

인공토양의 물리적 특성을 파악하기 위하여 포화수리전도도, 가비중, 진비중, 공극률, 수분함량의 5개 항목을 농촌진흥청의 상토의 표준분석법으로 분석하였다.

포화수리전도도(hydraulic conductivity)는 Darcy의 법칙을 통해 상토내의 수분의 흐름을 나타내는 것으로(Kim, 2009), 지름 7.2cm, 높이 7.6cm의 코어에 토양을 균일하게 충전한 후 가스를 제거하고, 24시간에 걸쳐 서서히 포화시켰다. 포화된 코어를 일정수두(water head)로 맞춘 후 물이 떨어지도록 하여 떨어지는 물을 받아 부피와 시간을 측정하였다. 그리고 Darcy의 이론에 따라 계산하였다.

Table 1. Soil mixture ratio.

Type	Contents
Soil 1	Cocopeat : Compost = 80 : 20
Soil 2	Pearlite : Compost = 80 : 20
Soil 3	Vermiculite medium : Compost = 80 : 20
Soil 4	Vermiculite dust : Compost = 80 : 20
Soil 5	Bottom Ash : Compost = 80 : 20
Soil 6	Zeolite : Compost = 80 : 20
Soil 7	Pearlite : Vermiculite dust : Compost = 60 : 20 : 20
Soil 8	Cocopeat : Bottom Ash : Compost = 60 : 20 : 20
Soil 9	Pearlite : Bottom Ash : Compost = 20 : 60 : 20
Soil 10	Pearlite : Zeolite : Compost = 60 : 20 : 20
Soil 11	Vermiculite dust : Bottom Ash : Compost = 20 : 60 : 20
Soil 12	Bottom Ash : Zeolite : Compost = 60 : 20 : 20
Soil 13	Culture medium product = 100 (contral)

$$K_{sat} = \frac{QL}{tA} \times \frac{1}{H}$$

K_{sat} : 포화수리전도도 (cm/s)

Q : 수집한 물의 부피 (mL)

t : 물을 수집한 시간 (s, 초)

H : 수두 (cm)

A : 토양 컬럼의 단면적

L : 토양 컬럼의 길이



Figure 1. Experimental site.

4. 식물생육 실험구 조성 및 생육측정방법

실험구는 64.3mm×24.0mm×17.5mm(가로×세로×높이)의 포트에 토양의 물리성 및 화학성, 경제성을 고려하여 선발된 토양(Soil 8, 9, 10, 12)을 충전한 후 자생식물종 16종(Table 2)을 5주씩 3반복으로 식재하였다. 대조구(Soil 13)로는 원예용 상토를 이용하였다.

식물생육 실험을 위한 토양선발은 단일토양과 퇴비의 조합(Soil 1~6)을 제외하고, 2가지 이상의 토양과 퇴비의 조합(Soil 7~12)에서 토양의 물리성 및 화학성, 경제성을 고려하여

4개의 토양을 선발하였다. 특히 Soil 8, 9, 12는 바텀에쉬가 20%~60% 포함되어 있는 폐자원의 재활용률이 높은 토양이라는 측면에서 선발하였다. 질석미립이 함유된 Soil 7과 11의 경우 경제성면에서 제외를 시켰다.

일정한 온습도(20~25°C, 40~60%)를 유지할 수 있는 유리온실에 설치하여 실험을 실시하였다(Figure 1).

옥상녹화용 식물재료는 열악한 옥상의 미기

Table 2. List of experimental native plants.

Common name	Scientific name
구절초	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i> KITAMURA
기린초	<i>Sedum kamschaticum</i> Fisch. & Mey.
꼬리풀	<i>Veronica linariaefolia</i> Pall.
꽃잔디	<i>Phlox subulata</i> L.
평의비름	<i>Hylotelephium erythrostictum</i> (Miq.) H.Ohba
눈향나무	<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> Henry
두메부추	<i>Allium senescens</i> L.
등골레	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>Pluriflorum</i> OHWI
땅채송화	<i>Sedum oryzifolium</i> Makino
무늬비비추	<i>Hosta longipes</i> (Franch. & Sav.) Matsum.
맥문동	<i>Liriope platyphylla</i> F. T. Wang & T. Tang
백리향	<i>Thymus quinquecostatus</i> Celak.
섬기린초	<i>Sedum takevimense</i> NAKAI.
섬백리향	<i>Thymus quinquecostatus</i> var. <i>japonica</i> HARA
쑥부쟁이	<i>Kalimeris yomena</i> Kitam.
원추리	<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L.

후, 하중에 따른 토심 제한 등의 환경적 요인을 고려하여 내건성이 우수한 식물을 이용하여야 한다. Kang and Lee(2005)는 섬기린초, 돌나물, 큰평의비름, 애기기린초, 층꽃나무 등이 무관리아에서도 생육이 좋음을 증명하였고, Yoon *et al.*(2006)은 별개비취, 원추리, 꽃잔디, 섬백리향, 애기기린초, 두메부추 등이 잘 자라고 있음을 보여주었다. 저관리 경량형 옥상녹화에서 사용되고 있는 식물종을 토심 8cm의 낮은 토심에서도 생존이 가능한 섬기린초, 돌나물, 큰평의비름, 애기기린초를 적합수종으로 제시하였다.

따라서 본 연구에서 선행연구 결과들을 바탕으로 건조에 잘 견딜 수 있는 자생식물 16종을 선발하여 실험을 진행하였다.

식물생육 측정은 2월부터 8월까지 초장, 초폭, 생육활착율 등을 지속적으로 모니터링 하였다. 생중량과 건중량은 실험구 설치 6개월 후 측정하였다. 활착율은 이식 후 살아있는 식물개체수를 기록하였고, 초장은 줄기 기부에서

선단엽까지 길이를 측정하였으며, 초폭은 식물체의 지상부분 넓이를 측정하였다. 생중량은 생육측정이 종료된 시점에서 각 실험구별로 식물을 굴취하여 흙을 털어낸 후 저울로 측정하였으며, 건중량은 생중량 측정 후 70°C에서 24시간 건조시킨 후 저울로 측정하였다.

실험측정 자료에 대한 통계적 분석은 SPSS Ver12.0(SPSS Inc.)을 이용하여 일원배치분산 분석을 실시하였으며, Duncan의 다중범위검정(multiple range test)을 실시하여 유의성을 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 실험용 토양의 화학적 특성

실험용 토양의 화학적 특성은 Table 3과 같다.

유기물함량은 원예용상토가 55.84%로 가장 높게 나타났고 질석미립 : 퇴비 = 80 : 20(Soil 4)의 토양에서 가장 적게 나왔다. 질소의 함량의 경우도 원예용상토(Soil 13)가 0.71%로 가장

Table 3. Soil chemical properties.

Treatment	Organic content (%)	T-N (%)	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. K (me/100g)	Salinity content (%)	pH [1 : 5]	EC (ds/m)
Soil 1	42.31	0.50	1221.87	13.24	0.27	5.99	2.78
Soil 2	12.49	0.27	1294.92	1.13	0.06	7.52	0.68
Soil 3	14.99	0.41	1318.64	1.51	0.05	7.38	0.78
Soil 4	1.73	0.06	598.89	0.22	0.01	6.81	0.19
Soil 5	17.27	0.35	1573.38	1.32	0.05	7.02	0.88
Soil 6	5.62	0.12	819.78	3.22	0.11	7.07	0.59
Soil 7	9.09	0.27	1404.18	0.36	0.05	7.40	0.61
Soil 8*	31.04	0.48	1539.67	3.57	0.13	6.50	2.28
Soil 9*	15.96	0.31	1562.14	1.30	0.05	7.11	0.82
Soil 10*	8.99	0.20	1412.92	3.05	0.12	7.78	0.80
Soil 11	11.20	0.24	1289.30	0.88	0.05	6.98	0.59
Soil 12*	9.44	0.22	1338.01	2.60	0.10	7.22	0.65
Soil 13*	55.84	0.71	977.74	6.42	0.26	5.61	3.76

* Selected soil.

높게 나타났고, 질석미립 : 퇴비 = 80 : 20(Soil 4)의 토양에서 0.06%로 가장 적게 나왔다.

유효인산의 경우 바텀애쉬 : 퇴비 = 80 : 20(Soil 5)의 토양에서 가장 높게 나왔고, 질석미립 : 퇴비 = 80 : 20(Soil 4)의 토양에서 가장 적게 나왔다. 치환성K의 경우 코코피트 : 퇴비 = 80 : 20(Soil 1)에서 가장 높게 나왔고, 질석미립 : 퇴비 = 80 : 20(Soil 4)에서 가장 적게 나왔다.

국토해양부(2012)는 건축물녹화 설계기준에서 식재기반층의 식재토양 pH는 중량형 녹화의 경우 pH 5.5~8.0, 경량형 녹화의 다층조성 방식은 pH 5.5~8.0, 단층조성방식의 경우는 pH 5.5~9.5를 권장하고 있다. 토양분석 결과 Soil 13(control)에서 pH가 5.61로 가장 낮게 나왔으나 pH의 범위가 5.61~7.78로 국토해양부 건축물녹화 설계기준(2012)을 충족하는 것으로 나타났다.

염분의 경우 질석미립 : 퇴비 = 80 : 20(Soil 4)

에서 가장 적게 나왔고, 코코피트 : 퇴비 = 80 : 20(Soil 1)의 토양에서 가장 높게 나왔다. 토양산도는 5.61~7.78로 측정되었고, 원예용상토(Soil 13)가 5.61로 가장 적게 나타났다. EC의 경우 원예용상토(Soil 13)에서 3.76으로 가장 높게 나왔고, 질석미립 : 퇴비 = 80 : 20(Soil 4)에서 0.19로 가장 낮게 조사되었다.

2. 실험용 토양의 물리적 특성 분석

토양의 물리적 특성은 Table 4와 같다. 실험용 토양의 포화수리전도도의 경우 Soil 12(바텀애쉬 : 제올라이트 : 퇴비 = 60 : 20 : 20)가 가장 높았고, Soil 2, 5, 9, 10, 11, 12에서 원예용 상토보다 물의 포화흐름 및 배수성이 높았다. 가비중 및 진비중은 Soil 6에서 가장 높게 측정되었고, Soil 13(원예용 상토)가 가장 낮게 측정되었다. 토양의 공극률은 코코피트 : 퇴비 = 80 : 20의 Soil 1에서 가장 높게 나왔고, 질석중립 : 퇴비 = 80 : 20의 Soil 3에서 가장 낮게 나왔다. 토

Table 4. Soil physical properties.

Treatment	Saturated hydraulic conductivity (cm/s)	Dry bulk density (g/cm ³)	Particle density (g/cm ³)	Total pore space (%)	Water content (%)
Soil 1	0.207	0.24	1.51	84.11	49.86
Soil 2	0.466	0.22	1.25	82.40	27.93
Soil 3	0.229	0.26	0.75	65.33	25.21
Soil 4	0.215	0.53	2.06	74.27	14.96
Soil 5	0.385	0.42	2.04	79.41	27.48
Soil 6	0.248	0.83	3.24	74.38	20.35
Soil 7	0.260	0.30	1.71	82.46	18.42
Soil 8*	0.258	0.34	1.64	79.27	36.43
Soil 9*	0.577	0.37	1.43	74.13	21.90
Soil 10*	0.517	0.47	2.05	77.07	23.03
Soil 11*	0.584	0.45	1.90	76.32	23.98
Soil 12	0.585	0.54	2.14	74.77	21.64
Soil 13*	0.335	0.15	0.71	78.87	60.18

* Selected soil.

양수분함량은 원예용상토(Soil 13)가 60.18로 가장 높게 나왔고, Soil 4가 14.96으로 가장 낮게 나왔다(Table 4).

조경설계기준(2013)에 의하면 인공지반위에 조성되는 토양환경은 중급이상의 토양평가 등급을 적용하여야 한다고 하고 있다. 조경용 토양의 물리성 기준에서 유효수분량의 경우 12% 이상일 경우 상급으로 평가되고 있는데 실험용 배합토양 모두가 상급으로 평가되었다. 또한 공극률의 경우 60%이상일 경우, 투수성의 경우 0.001이상일 경우 상급으로 평가되어지는데, 실험에 사용된 배합토양 모두가 상급으로 평가되었다.

3. 식물의 활착률과 초장 및 초폭, 생중량

1) 식물의 활착률

선발된 토양에서의 식물 활착률을 보기위해 자생식물 16종에 대한 식재 180일 후의 생육 활착률을 조사하였다(Table 5).

대조구인 상토처리구는 맥문동과 백리향이 각각 1주씩 고사된 것을 제외하고는 모두 100%의 생육활착률을 보였다.

Soil 8(코코피트 : 바텀에쉬 : 퇴비 = 60 : 20 : 20)의 경우 4가지 토양 실험구 중 가장 낮은 생육 활착률을 보였으며, 토양 특성상 배수가 불량하여 생육활착률에 악영향을 주고 있었다. Soil 9(펠라이트 : 바텀에쉬 : 퇴비 = 20 : 60 : 20)에서는 구절초와 기린초, 꼬리풀이, Soil 10(펠라이트 : 제올라이트 : 퇴비 = 60 : 20 : 20)에서는 구절초, 기린초가, Soil 12(바텀에쉬 : 제올라이트 : 퇴비 = 60 : 20 : 20)에서는 구절초와 꼬리풀만이 생육활착률이 좋지 않았고 나머지 실험 식물은 100%의 생육활착률을 보였다.

Shin(2006)은 분화용 배양토가 구절초의 생육에 미치는 영향과 관련된 실험에서 부엽이나 피트모스를 이용할 때보다 퇴비를 이용하였을 경우 구절초의 생육이 불량하고 사멸하는 개체수가 증가하는 경향을 보이는 것으로,

Table 5. Survival percentage of 180 days after planting.

Experimental plant	Soil 8	Soil 9	Soil 10	Soil 12	Soil 13 (control)
<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	0.0%	0.0%	0.0%	26.7%	100.0%
<i>Sedum kamtschaticum</i>	80.0%	73.3%	80.0%	100.0%	100.0%
<i>Veronica linariaefolia</i>	100.0%	80.0%	100.0%	40.0%	100.0%
<i>Phlox subulata</i> L.	73.3%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Hylotelephium erythrostictum</i>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Juniperus chinensis</i>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Allium senescens</i>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Polygonatum odoratum</i>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Sedum oryzifolium</i>	86.7%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Hosta longipes</i>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Liriope platyphylla</i>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	80.0%
<i>Thymus quinquecostatus</i>	73.3%	100.0%	100.0%	100.0%	80.0%
<i>Sedum takevimensense</i>	53.3%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Thymus quinquecostatus</i>	60.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Kalimeris yomena</i>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
<i>Hemerocallis fulva</i>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

이는 산도가 높고 유효인산 함량 또한 매우 높아 구절초의 생육을 저해했던 것으로 보고 있다. 본 실험에서도 사용된 토양의 경우도 인산의 함량이 상대적으로 높은 실험구(Soil 8, 9, 10, 12)의 경우 구절초의 생육이 저해되었던 것으로 조사되었다.

Kim(1999)은 펠라이트 배지에 백리향 식재 시 배양액 농도가 높을수록 생육이 감소한다고 하였다. 본 실험에서도 Soil 8과 Soil 13에서 백리향의 활착률이 각각 73.3%, 80%를 보인 것은 유기물 함량이 높아서 식물에 생리 장애를 일으킨 것으로 판단된다.

2) 초장

식물 생육활착률과 비슷하게 초장에 따른 전반적인 식물생육상태도 Soil 13(원예용상토) > Soil 9 > Soil 10 > Soil 12 > Soil 8 순서로

나타났다(Table 6).

구절초는 식재초기에는 양호한 생육을 보였으나 대조구를 제외하고 급격히 고사가 일어났다. 맥문동의 경우 초장의 크기는 토양 간 차이가 없는 것으로 조사되었다.

둥굴레, 쑥부쟁이, 원추리는 생육상태가 아주 양호했지만, 초장이 50cm로 토심(20cm)에 비하여 상대적으로 매우 크게 자라면서 생육 저하가 되고 있었다.

기린초, 꼬리풀, 무늬비비추, 맥문동을 제외한 다른 식물의 초장은 상토에서 다른 토양에 비해 높게 조사되었다.

기린초와 꼬리풀의 경우 Soil 8에서 가장 높은 초장을 기록하였으며, 무늬비비추는 Soil 9, 맥문동은 Soil 10에서 가장 초장이 길게 조사되었다.

Kang(2012)은 토심 7cm 처리구에서 섬기린

Table 6. Significance analysis of plant height.

Experimental plant	Height				
	Soil 8	Soil 9	Soil 10	Soil 12	Soil 13 (Contal)
<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	0.0a	0.0a	0.0a	3.6c	12.8c
<i>Sedum kamtschaticum</i>	39.2c	20.2ab	25.0b	13.6a	35.6c
<i>Veronica linariaefolia</i>	39.2c	20.2ab	25.0b	13.6a	35.6c
<i>Phlox subulata</i> L.	10.4a	14.6b	8.4a	7.6a	14.8b
<i>Hylotelephium erythrostictum</i>	7.6a	11.0a	10.2a	8.8a	21.4b
<i>Juniperus chinensis</i>	19.4a	23.4b	22.2ab	19.6a	24.4b
<i>Allium senescens</i>	26.2a	33.0b	31.8b	29.6ab	38.0c
<i>Polygonatum odoratum</i>	23.2a	35.4c	22.0a	28.8b	35.6c
<i>Sedum oryzifolium</i>	7.6a	14.2c	10.2b	8.6ab	15.6c
<i>Hosta longipes</i>	8.6a	20.4c	9.0a	10.0a	17.4b
<i>Liriope platyphylla</i>	20.2a	20.2a	20.8a	19.8a	12.6a
<i>Thymus quinquecostatus</i>	8.0a	9.6a	8.6a	8.6a	12.8b
<i>Sedum takevimensense</i>	7.4a	10.2b	8.2ab	10.2b	15.6c
<i>Thymus quinquecostatus</i>	8.0a	14.0c	11.2b	13.8c	18.0d
<i>Kalimeris yomena</i>	15.0a	29.6c	23.2b	22.6b	54.8d
<i>Hemerocallis fulva</i>	37.8a	44.8b	40.8ab	38.0a	45.6b

* Each different letter indicate statistically different group by Duncan's test ($p < 0.05$).

초의 초장은 단용인 인공토양에 비해 펄라이트 : 코코피트 : 피트모스 : 버미큘라이트 = 5 : 7 : 2 : 1(부피비) 배합토양에서 약 90%의 높은 성장세를 보이는 것으로 조사되었다. 본 실험에서 섬기린초의 경우 대조구인 Soil 13에서 가장 초장이 크게 조사되었으며, 다음으로 Soil 9와 Soil 12에서 높은 초장이 나타났다.

3) 초폭

초폭 조사에 의한 식물생육상태 결과도 Soil 13(대조구) > Soil 9 = Soil 10 > Soil 12 > Soil 8 순서로 나타났다(Table 7).

토양 조성별 초폭 조사결과 기린초, 눈향나무, 맥문동은 토양간 차이가 없는 것으로 조사되었다. 대조구의 경우 꼬리풀, 무늬비비추, 백리향을 제외한 모든 실험 식물에서 초폭이 가장 크게 조사되었다.

기린초, 눈향나무, 맥문동의 경우 토양에 따른 초폭은 유의성이 없는 것으로 조사되었다.

꼬리풀의 경우 Soil 10, Soil 12에서 상토에 비해 초폭이 더 컸으며, 꽃잔디의 경우에는 Soil 13(대조구)와 Soil 9에서 다른 토양에 비해 초폭이 더 크게 조사되었다. 평의비름의 경우 Soil 10에서 가장 초폭이 컸으나 Soil 9, 10, 13에서 유의미한 차이가 있는 것으로 조사되었다.

4) 생중량

식물의 생육상태를 좀 더 객관적인 지표로 살펴보기 위하여 각 식물체의 지상부와 지하부를 수집하여 생중량(FW)을 측정하였다(Table 8, 9).

지상부생중량의 경우 무늬비비추와 섬백리향을 제외한 모든 식물들에서 각 토양에 따른 차이가 있는 것으로 조사되었다(Table 8).

Table 7. Significance analysis of plant width.

Experimental plant	Width				
	Soil 8	Soil 9	Soil 10	Soil 12	Soil 13 (Contal)
<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	0.0a	0.0a	3.6b	13.8c	0.0a
<i>Sedum kamtschaticum</i>	10.6a	10.4a	10.8a	9.8a	8.6a
<i>Veronica linariaefolia</i>	13.2ab	16.6b	16.6b	12.6a	13.8ab
<i>Phlox subulata</i> L.	17.6b	12.2a	11.6a	17.0b	12.4a
<i>Hylotelephium erythrostictum</i>	12.2ab	13.6b	10.4ab	12.4ab	10.2a
<i>Juniperus chinensis</i>	11.2a	10.4a	10.8a	11.4a	10.6a
<i>Allium senescens</i>	31.0b	35.2c	34.2bc	35.4c	23.4a
<i>Polygonatum odoratum</i>	16.0b	10.6a	13.2ab	15.4b	16.0b
<i>Sedum oryzifolium</i>	4.2b	3.3a	2.9a	5.2c	3.4a
<i>Hosta longipes</i>	27.4b	21.2a	28.6b	22.0a	23.4ab
<i>Liriope platyphylla</i>	11.0a	11.0a	10.6a	10.8a	10.8a
<i>Thymus quinquecostatus</i>	13.2b	16.0c	12.6b	9.4a	8.4a
<i>Sedum takevimensense</i>	6.4a	8.2b	8.8b	11.2c	6.0a
<i>Thymus quinquecostatus</i>	14.4b	14.2b	15.0b	16.4b	8.6a
<i>Kalimeris yomena</i>	15.0b	22.4c	15.8b	20.6c	10.0a
<i>Hemerocallis fulva</i>	39.4b	37.2b	31.2a	40.6b	28.0a

* Each different letter indicate statistically different group by Duncan's test ($p < 0.05$).

Table 8. Fresh biomass of shoot.

Experimental plant	Shoot (FW)				
	Soil 8	Soil 9	Soil 10	Soil 12	Soil 13
<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	6.9 ± 0.7b	8.7 ± 1.1c
<i>Sedum kamtschaticum</i>	7.3 ± 0.5a	14.5 ± 0.5b	13.6 ± 1.8b	13.1 ± 1.9b	12.5 ± 0.8b
<i>Veronica linariaefolia</i>	10.7 ± 1.0a	12.3 ± 0.6ab	13.8 ± 2.9ab	12.8 ± 1.5ab	16.5 ± 4.0b
<i>Phlox subulata</i> L.	10.2 ± 1.1ab	13.4 ± 0.5cd	11.9 ± 0.5bc	9.5 ± 0.4a	14.6 ± 2.3d
<i>Hylotelephium erythrostictum</i>	31.2 ± 4.0a	47.9 ± 2.7b	50.3 ± 2.2b	45.2 ± 1.7b	58.5 ± 3.5c
<i>Juniperus chinensis</i>	15.4 ± 1.2b	16.5 ± 1.1b	16.8 ± 1.4bc	12.5 ± 0.9a	19.2 ± 1.9c
<i>Allium senescens</i>	30.1 ± 1.7a	48.0 ± 2.8b	33.9 ± 1.2a	32.3 ± 1.2a	50.4 ± 2.5b
<i>Polygonatum odoratum</i>	8.3 ± 0.6a	12.7 ± 0.3b	8.5 ± 0.7a	8.6 ± 0.5a	12.4 ± 1.2b
<i>Sedum oryzifolium</i>	10.0 ± 0.7a	14.2 ± 3.2b	10.3 ± 1.2a	11.6 ± 2.0ab	18.2 ± 0.7c
<i>Hosta longipes</i>	17.3 ± 2.2a	20.2 ± 2.0a	17.6 ± 0.7a	17.3 ± 1.7a	20.0 ± 0.7a
<i>Liriope platyphylla</i>	18.8 ± 1.4c	18.0 ± 1.3bc	17.2 ± 0.9abc	16.5 ± 0.8ab	15.5 ± 0.7a
<i>Thymus quinquecostatus</i>	11.8 ± 1.3a	14.4 ± 0.7b	11.5 ± 1.2a	10.7 ± 0.5a	14.3 ± 1.1b
<i>Sedum takevimensense</i>	14.9 ± 5.5a	24.3 ± 6.4b	20.5 ± 6.0ab	18.1 ± 1.6ab	39.9 ± 1.5c
<i>Thymus quinquecostatus</i>	10.6 ± 0.8a	14.6 ± 5.0a	13.7 ± 5.4a	16.4 ± 0.8a	14.3 ± 0.9a
<i>Kalimeris yomena</i>	14.2 ± 1.4a	21.6 ± 2.1b	13.0 ± 0.6a	12.0 ± 1.3a	28.5 ± 3.7c
<i>Hemerocallis fulva</i>	14.4 ± 0.8c	15.0 ± 0.8cd	10.5 ± 0.6b	8.6 ± 0.6a	16.4 ± 1.2d

* Each different letter indicate statistically different group by Duncan's test ($p < 0.05$).

Table 9. Fresh biomass of root.

Experimental plant	Root (FW)				
	Soil 8	Soil 9	Soil 10	Soil 12	Soil 13
<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	0.0 ± 0.0a	3.9 ± 1.6b	5.1 ± 1.1b
<i>Sedum kamtschaticum</i>	6.6 ± 0.6a	10.7 ± 0.5b	9.9 ± 0.4b	10.1 ± 1.3b	10.0 ± 0.8b
<i>Veronica linariaefolia</i>	9.8 ± 1.2b	13.5 ± 0.7c	10.8 ± 0.4b	8.4 ± 0.5a	16.0 ± 4.0d
<i>Phlox subulata</i> L.	9.2 ± 0.7b	9.2 ± 0.8b	7.1 ± 0.5a	7.1 ± 0.3a	7.3 ± 2.3a
<i>Hylotelephium erythrostictum</i>	10.8 ± 2.5a	19.8 ± 2.0b	17.6 ± 1.8b	11.8 ± 5.1a	17.5 ± 3.5b
<i>Juniperus chinensis</i>	12.1 ± 1.2a	13.9 ± 1.6a	12.5 ± 0.9a	12.4 ± 1.2a	12.2 ± 1.9a
<i>Allium senescens</i>	9.0 ± 1.3a	11.6 ± 0.8b	11.4 ± 1.0b	10.2 ± 0.6ab	20.0 ± 2.5c
<i>Polygonatum odoratum</i>	12.3 ± 1.2a	21.4 ± 2.2c	13.3 ± 0.9ab	13.2 ± 1.8ab	15.5 ± 1.2b
<i>Sedum oryzifolium</i>	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.7
<i>Hosta longipes</i>	11.2 ± 3.2a	17.9 ± 2.6bc	15.3 ± 4.0ab	12.9 ± 3.7ab	19.2 ± 0.7c
<i>Liriope platyphylla</i>	21.1 ± 1.7ab	22.5 ± 1.0b	19.3 ± 0.8a	22.2 ± 1.8b	20.3 ± 0.7ab
<i>Thymus quinquecostatus</i>	7.0 ± 0.8a	8.4 ± 1.0a	7.8 ± 0.9a	7.3 ± 1.0a	8.5 ± 1.1a
<i>Sedum takevimensense</i>	9.1 ± 1.5a	13.5 ± 1.8b	11.2 ± 0.4a	10.5 ± 1.1a	23.4 ± 1.5c
<i>Thymus quinquecostatus</i>	7.5 ± 0.7a	8.6 ± 0.7ab	7.9 ± 0.4a	8.5 ± 0.8ab	9.1 ± 0.9b
<i>Kalimeris yomena</i>	13.0 ± 1.3a	19.0 ± 0.9c	14.1 ± 0.7ab	11.8 ± 0.6a	16.1 ± 3.7b
<i>Hemerocallis fulva</i>	34.3 ± 2.8b	26.8 ± 2.2a	24.3 ± 2.2a	22.6 ± 3.0a	24.7 ± 1.2a

* Each different letter indicate statistically different group by Duncan's test ($p < 0.05$).

맥문동을 제외하고는 대조구에서 지상부생중량이 높게 조사되었고, 기린초, 두메부추, 둥굴레, 백리향은 대조구와 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

기린초의 경우 Soil 8을 제외하고 Soil 13(대조구)를 포함한 다른 토양에서 지상부생중량이 높게 조사되었으며, 둥굴레, 백리향, 썩부쟁이에서는 Soil 13(대조구) > Soil 9 > Soil 8 = Soil 9 = Soil 10 순으로 유의수준 내에서 조사되었다.

지하부생중량은 Table 9에서 나타났다. 눈향나무, 맥문동, 백리향, 섬백리향의 지하부생중량은 토양 간 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

지상부생중량과 달리 구절초, 기린초, 꼬리풀, 평의비름, 두메부추, 무늬비비추, 섬기린초에서만 Soil 13(대조구)에서 지하부생중량이 높게 나왔으며, 기린초와 평의비름은 Soil 9에서 비슷한 경향을 보였다. 둥굴레와 썩부쟁이는 Soil 9에서 다른 토양에 비해 가장 높은 지하부생중량이 측정되었다.

Kim(1999)은 백리향의 경우 펠라이트 배지에서 배양액의 EC가 높을수록 생체중은 감소한다고 밝혔으나, 본 실험결과 지하부생체량은 토양 간 유의수준이 없는 것으로, 지상부생체량의 경우 토양의 EC와 다른 양상을 보이는 것으로 조사되어 생육토양의 EC와 백리향의 생체량과는 관련이 없는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

옥상녹화용 재활용 퇴비의 활용가능성을 파악하기 위하여 다양한 인공토양 배합과 자생식물의 생육특성을 비교분석한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

본 연구에서 평의 비름, 눈향나무, 두메부추, 둥굴레, 무늬비비추, 맥문동, 썩부쟁이, 원추리 등 자생식물 7종은 식품공장에서 배출되는 슬러지(원유슬러지, 음료슬러지)로 만들어진 퇴

비가 포함되어 있는 인공토양(Soil 8, 9 10, 12) 모두에서 100%의 활착률을 보임으로써, 이 식물들을 적용 시에도 충분히 생육에 적합한 인공토양으로 판단된다.

특히 바텀에쉬 60%, 펠라이트 20%, 식품슬러지로 만들어진 퇴비 20%가 포함되어 있는 Soil 9의 경우 일부 자생식물을 제외하고 인공지반용으로 사용가능한 토양으로 나타났다.

본 실험에서 개발된 토양에서 생육이 부진한 식물 종도 조사되었지만 옥상녹화 시 폐자원을 재활용한 인공토양의 적용이 가능하다는 점에서는 환경문제에 하나의 해결 가능한 방안을 제시하였다고 판단된다.

그러나 본 실험에 사용된 인공토양을 유리온실이라는 제한된 환경에서 기존 식물생육용상토와 비교실험만으로 식물의 생육적합성을 판단하였다는 점에서는 한계가 있어 실외옥상에 설치하여 비교하는 추가적인 실험연구가 필요하다고 판단된다.

인 용 문 헌

- An, W. Y. and Kim, D. Y. 2001. Changes in the Physiochemical Characteristics of Artificial Soil after Rooftop Planting. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture Vol. 28(6) : 77-84.
- Huh, K. Y. and Sim, K. K. 2001. Development of Artificial Soil by Advanced Materials for the Greening of Artificial Ground. Horticulture, Environment, and Biotechnology Vol. 42(3) : 355-364.
- Kang, K. Y. and Lee, E. H. 2005. The Study on Native Plants and Planting Soil for Extensive Rooftop Greening. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology Vol. 8(4) : 23-31.
- Kang, T. H. · Zhao, H. X · Li, H. and Kang, S. H.

2012. 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 -. Joinal of the Korean Institute of Landscape Architecture Vol. 40(3) : 91-98.
- Kim, H. S. 2009. Physical Properties of the Horticultural Substrate According to Mixing Rate of Peatmoss, Cocopeat, Perlite and Vermiculite. Master's thesis. The University of Seoul.
- Kim, I. H. and Huh, K. Y. 2003. Growth Characteristics of *Sedum oryzifolium* in Extensive Green Roof Systems. Korea Journal of Horticultural Science & Technology Vol. 21(4) : 346-352.
- Kim, Y. H. · Lee, J. M. and Park, K. W. 1999. Effects of Nutrient Solution Concentration and Substrate on the Growth of Common Thyme(*Thymus vulgaris* L.). Journal of Bio-Environment Control. Vol. 8(2) : 90-98.
- Lee, D. K · Yoon, S. W · Oh, S. H and Jang, S. W. 2005. The Effect of Temperature Reduction as Influenced by Rooftop Greening. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology Vol. 8(6) : 34-44.
- Lee, E. Y. and Moon, S. K. 2000. Effects of Drainage Types of Soil Media on the Plant Growing in Rooftop Planting. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology Vol. 3(4) : 11-21.
- Park, C. S. · Lee, J. J. and Hwang, K. H. 1996. A Comparative Perspective on Artificial Ground Condycted in Japan and Korea. Rural Development Administration. 2002. The Substrate Analysis Method of Rural Development Administration. Su Won : SangRok Co.
- Shin, S. H. · Jang, D. H. · Nam, M. A. and Kim, H. S. 2012. Effect of Soil Depth and Soil for Plant Growth in Extensive Rooftop Greening. Journal of the Korea Institute of ecological architecture and environment Vol. 23 : 273-276.
- Shin, Y. S. and Yun, S. Y. 2006. Effect of Soil Mixture on the Growth of *Chrysanthemum zawadskii* var. latilobum KITAMURA. Korean Journal of Plant Resources Vol. 19(1) : 68-75.
- The Korean Institute of Landscape Architecture. 2013. The Standards of Landscape Design. Seoul : Kimoondang.
- Yoon, P. S. · Lee, J. H. and Yoo, B. R. 2006. Study on the Planted Plants of Rooftop Garden in Seoul city. The Journal of the Korea Institute of Interior Landscape Architecture Vol. 8(2) : 11-15.