

관리조방형 옥상녹화의 식재모델별 표면온도 모니터링

Temperature Monitoring of Vegetation Models for the Extensive Green Roof

윤 희 정*
Youn, Hee-Jung

장 성 완**
Jang, Seong-Wan

이 은 희***
Lee, Eun-Heui

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

Green roofs can reduce surface water runoff, provide a habitat for wildlife moderate the urban heat island effect, improve building insulation and energy efficiency, improve the air quality, create aesthetic and amenity value, and preserve the roof's waterproofing. Green roofs are mainly divided into three types : intensive, simple-intensive, and extensive. Especially, extensive roof environment is a harsh one for plant growth; limited water availability, wide temperature fluctuations, high exposure to wind and solar radiation create highly stressed environment. This study, aimed at extensive green roof, was carried out on the rooftop of the library at Seoul Women's Univ. from October to November, 2012 and from March to August, 2013. To suggest the most effective vegetation model for biodiversity and heat island mitigation, surface temperatures were monitored by each vegetation model. We found that herbaceous plants of *Aster sphathulifolius*, *Aceriphyllum rossii* and *Belamcanda chinensis*, shrub of *Syringa patula* 'Miss Kim', *Thymus quinquecostatus* var. *japonica*, *Sedum* species can mixing each other. Among them, the vegetation models including *Sedum takesimense*, *Aster sphathulifolius*, *Thymus quinquecostatus* var. *japonica* was more effective on the surface temperature mitigation, because the species have the tolerance and high ratio of covering, and also in water. Especially, in the treatment of bark mulching, they helped to increase the temperature of vegetation models. In the case of summer, temperature mitigation of vegetation models were no significant difference among vegetation types. Compared to surface temperature of June, July and August were apparent impact of temperature mitigation, it shows that temperature mitigation are strongly influenced by substrate water content.

키워드 : 식재모델, 관리집약형 옥상녹화, 단순관리형 옥상녹화, 관리조방형 옥상녹화, 생물다양성, 도시열섬완화
Keywords : Vegetation models, Intensive green roof, Simple-intensive green roof, Extensive green roof, Biodiversity, Urban heat island mitigation

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

인공지반녹화는 급격한 도시화로 인하여 불안정해진 도시 생태계에 대한 개선 방안의 하나로 도심에 녹지공간을 확보할 수 있는 자연친화적 도시구조물인 대표적인 녹화방법이라 할 수 있다. 그 중에서 최근 옥상녹화는 국내·외적으로 도시 환경문제에 대응하는 중요대책으로 증가하고 있는 추세이며 우수저감효과, 생물서식지 제공, 미기후 조절, 대기질 정화, 미적경관제공 및 지붕의 방수기능으로 인한 내구성 향상 등의 다양한 기능들을 제공한다¹⁾.

도시의 아스팔트 포장면과 콘크리트 구조물은 열용량과 비열이 크기 때문에 에너지를 많이 흡수하여 저장하고 천천히 방출하는데²⁾ 비해 옥상녹화의 경우에는, 지붕을 통해 건축물

내부로 유입되는 일사를 반사시키고 식물의 증발산작용을 통하여 여름철에 발생하는 도시 열섬 현상을 완화시키는 역할을 한다. 옥상 녹화 시 식재 가능한 초본류들은 옥상 내 낮은 토심, 높은 온도, 바람의 세기 등의 열악한 환경에서 생육이 가능해야 하기 때문에 내건성 및 내광성, 내습성, 내한성이 강한 식물들이 적합하며 이에 적합한 식물들을 선발하여 식재계획에 반영하는 것이 매우 중요하다. 옥상환경은 자연 지반과 생육환경에 차이가 있어³⁾ 다양한 초본류의 식재계획은 장기적으로 계획당시의 기대치만큼의 생육이 유지되기 어렵거나 생육이 불가능하기 때문에 특히 관리조방형 옥상녹화의 식물선정에 있어, 지속적으로 생육이 유지될 수 있는 식물의 선정을 위해서 식재계획 시 인접 식재종들간의 경관관

* Dept. of landscape architecture, Graduate School, Seoul Women's Univ. Seoul. Korea. (cornus@swu.ac.kr)

** Eco & Bio co.,Ltd. Gyeonggi-do. Korea. (jangsw22@naver.com)

*** Corresponding author, Dept. of Horticulture, Biotechnology and Landscape Architecture, Seoul Women's Univ. Seoul. Korea (ehlee@swu.ac.kr)

1) English Nature, "Green Roofs: Their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas" English Nature Report No. 498. English nature, Peterborough. 2003

2) Seo, E.C., "A Study on the Mitigation Policies for Urban Heat Island", Journal of the KIEAE, 7(2) : 17-23. 2007

3) Dunnett, N., N. Kingsbury, "Planting Green Roofs and Living Walls. Portland", Oregon, Timber Press, pp. 1-90, 2004

계도 고려해야 한다⁴⁾. 또한 녹화식물의 성장이 빠르고, 피복률이 높은 식물을 선정하는 것이 좋은데 이는 잠재적으로 토양침식의 가능성을 줄여주며, 이입식물의 유입을 억제시키며 미적으로도 좋은 경관을 연출하기 때문이다. 또한 소생태계 유입 등 생물다양성을 높이기 위해서는 다양한 식물 소재의 도입과 함께 이에 적합한 식재모델이 요구된다.

이에 본 연구에서는 도시 내 미기후 조절효과 및 생물다양성을 위한 식재모델을 개발하기 위한 선행연구로서 관리조방형 전면적 녹화형태의 옥상녹화지 내 지속가능한 식재식물의 생육건전성을 확보하고자 대표적 인공지반녹화식물인 *Sedum* 류 식물을 비롯한 다양한 지피식물들로 단일·혼합 식재모델을 구성하였고 월별로 각 식재모델별 표면온도를 모니터링한 후 이를 통하여 추후 관리조방형 옥상녹화지의 온도저감에 효과적인 식재모델 제시를 위한 기초자료로 제공하고자 하였다.

1.2. 연구방법 및 범위

본 연구를 위하여 환경부 연구과제⁵⁾에서 다년간 옥상녹화 실험을 통해 제안된 식물종과 장하경⁶⁾의 옥상 내 지피식물의 상호경쟁관계연구를 참고하여 2012년 9월 식재모델을 조성하였다. 연구대상지는 노원구 공릉 2동에 위치한 서울여자대학교 내 도서관 옥상이며 37° 37'40" N, 127° 5'25" E에 위치하고 있다.

식재모델별 표면온도측정 모니터링은 적외선 열화상카메라를 이용하였는데, 이 카메라의 가장 큰 특징은 비접촉식으로 넓은 면적의 진단이 가능하고 진단결과를 화상으로 기록보존이 가능하므로 데이터의 설득력이 높아 건물 단열진단 및 식물별 표면온도측정에도 이용되고 있다⁷⁾.

측정시기는 겨울철을 제외하고 가을(2012년 10월~11월), 봄(2013년 3-5월, 6-8월)에 2주 간격으로 하여 하루 중 가장 높은 온도를 보이는 오후 2시경에 8가지 구간별 표면온도 촬영을 실시하였으며 본 연구에 사용된 적외선 카메라(FLIR System사, T200)의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Specifications of FLIR T 200

Specifications	
Field of View (FOV)/ Close Focus Limit	25° × 19° / 0.4 m
Object temperature ranges	20°C to +120°C (4°F to +248°F), 0°C to 350°C (32°F to 662°F), Optional up to +1200°C (+2192°F)
Operating temperature range	-15°C to +50°C (5°F to 122°F)
Storage temperature range	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
Accuracy	±2°C (±3.6°F) or ±2% of reading
Thermal sensitivity (NETD)	0.10°C @ +30° (+86°F) / 100mK
Infrared ray resolution	200 × 150(30,000) pixels
Produced by	U.S.A.

2. 이론적 고찰 및 연구의 차별성

2.1. 옥상녹화의 분류

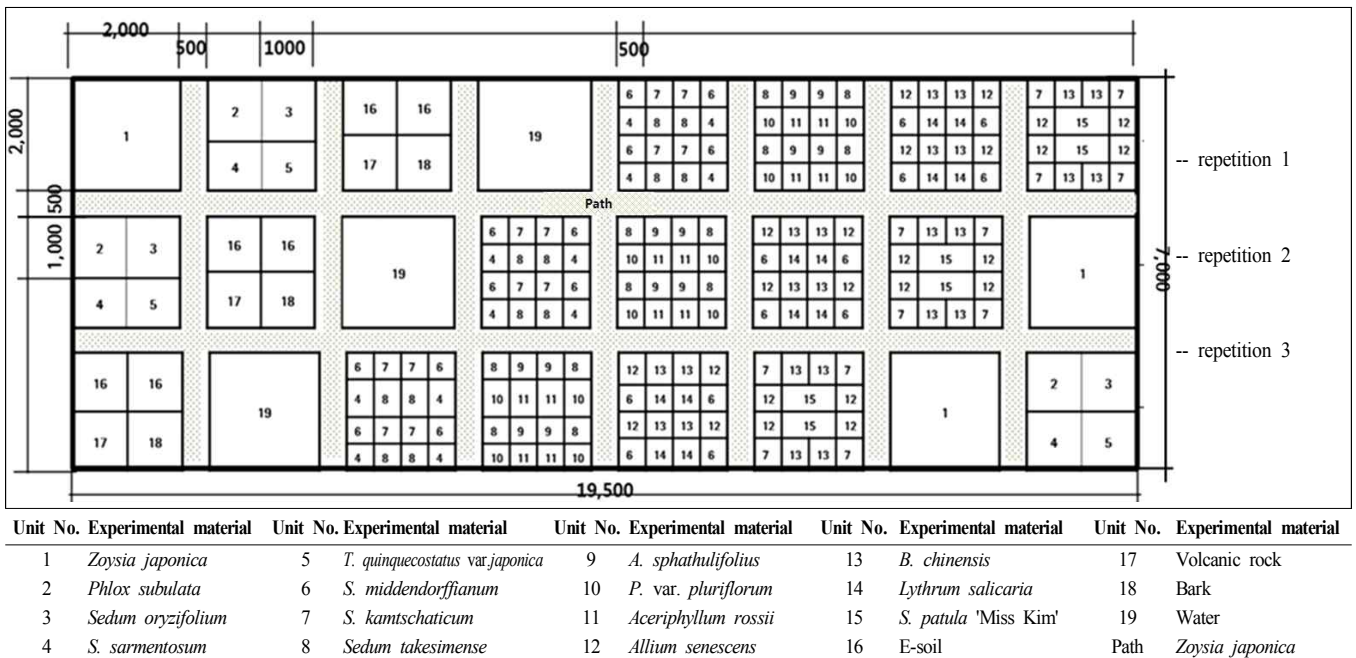
옥상녹화 유형에 있어 관리요구도에 따라 관리집약형(Intensive green roofs), 단순관리형(Simple-intensive green roofs), 관리조방형(Extensive green roofs)으로 나눌 수 있다⁸⁾⁹⁾. 관리집약형(Intensive green roofs)의 경우, 20cm 이상의 토심에 해당되며 휴식공간 등의 이용성에 초점을 맞추어 사람의 접근이 용이하며 세덤류를 포함한 초본류뿐만 아니라 관목, 교목 등도 함께 식재 가능하여 높은 하중을 견딜 수 있으나, 관수 및 시비 등의 관리요구도가 매우 높은 유형이다. 단순관리형(Simple-intensive green roofs)의 경우, 12~20cm 내외의 토심에 해당하며 세덤류를 포함한 초본류 외 관목류의 식재가 가능하나 관리집약형에 비해 제약이 있는 유형이다. 관리조방형(Extensive green roofs)의 경우, 4~10cm내외의 낮은 토심에 해당되며 관수 및 시비 등의 관리요구도가 낮아 유지비용이 절감되는 이점이 있으나 주로 사람의 접근이 어렵거나 하중의 제한이 있는 건물의 구성에 적합하고 직사광선을 받고 풍압의 피해 등의 높은 환경스트레스에 영향을 받아 식물의 선택이 제한된다.⁸⁾⁹⁾ 따라서 식물의 선정에 있어, 척박한 환경에서 잘 자라는 식물 및 번식과 관리가 용이한 종을 선택해야 하며 이를 위하여 증식이 빠르고 피복률이 높은 식물의 선정이 적당하다.¹⁰⁾¹¹⁾ 이러한 종류의 식물은 주로 *Sedum*류 식물이 이용되며, 수분보유능력을 지녀 내건성에 강하고 번식이 쉬워 특히 관리조방형 옥상녹화에 적합하다¹²⁾.

- 4) Jang, H.K., H.J. Youn, and E.H. Lee "A study on Competitive Relationship of Ground Cover Plants for Artificial Roof Greening," Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con., 2012
- 5) Ministry of Environment, "Technology Development for Restoration Natural Ecosystem of Urban Artificial Ground" Final report. 2008
- 6) Jang, H.K., E.H. Lee, "Covering Types and Covering Ratio Changes of Planted Species on an Extensive Green Roof" J. Kor. Soc. Env. Eco., 25(3):404-411, 2011
- 7) Han, S.W., H.K. Jang, and J.S. Kim, "Research on the Surface Temperature of Greenery Plants for the Quantization of the Urban Heat Island Effects" Pro. Archi. Inst. Kor. Con. 32(2) : 247-248, 2011
- 8) FLL, "Guidelines for the planning, execution and upkeep of green roof sites" 2002
- 9) Lee, E.H., H.J. Youn, J.A. Lee, M.J. Im, and S.W. Jang "A Study on the Planting Classification of Herbaceous Species on Rooftop Greening Space" Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con. 21(1) : 11-115, 2011
- 10) White, J.W., E. Snodgrass "Extensive green roof plant selection and characteristics In: Proc. of 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Chicago. 29-30 May, 2003
- 11) Getter, K.L., D.B. Rowe "The role of extensive green roofs in sustainable development" HortScience 41(5):1276-1285, 2006
- 12) Getter, K.L., D.B. Rowe "Media depth influences Sedum green roof establishment, Urban Ecosyst. 11:361-372, 2008

2.2. 선행연구 고찰

관리조방형 옥상 내 식물소재 선정에 대한 중요성이 부각되면서 옥상 내 초본류를 포함한 다양한 식물소재와 관련한 연구들이 이루어지고 있다¹³⁾¹⁴⁾. 그러나 실질적으로 *Sedum*류 이외의 초본류 식재빈도는 다양하지 못하는데, 농촌진흥청에서 2008년도까지 서울시 옥상녹화 지원사업을 통하여 조성된 사례지 내 식재식물 조사 결과, 세덤류의 식재 빈도는 218.3%로 모든 지역에서 두 종류 이상의 세덤류를 심었고, 특히 관리요구도가 낮은 녹화에는 *Sedum* 류 이외의 식물이 이용된 사례는 없는 것으로 나타났다.

식재식물에 따른 온도저감을 확인하였으나 잔디류 등으로 한정되어 혼합식재유형이 다양하지 못하고 플랜트형으로 진행된 한계가 있었다. 또한 Daisuke N.(2009)¹⁹⁾ 등의 도시 내 미기후 시스템개발과 관련한 연구에서, 전면녹화형의 경우, 플랜터를 이용한 식재유형에 비해 스프링클러, 공조기 등의 인공처리를 하지 않아도 지상녹화에 비해 높은 열섬완화효과를 나타내는 것이 확인되었다. Jim과 Tsang (2012)²⁰⁾의 연구에서는 식물을 식재한 경우, 10cm의 토심에서도 열에 대한 차단효과가 확인되었으며 한승원 등 (2011)의 연구에서는 옥상녹화지 내 식재토양이 빗물을 저장함으로써 전체 유출량을 감소시킬 뿐 아니라 이를 천천



* Refer to table 3 for plant materials

Fig. 1. Experimental green roof plan

이은희 등(2007)¹⁵⁾의 연구에서는 관리조방형의 녹화에서도 건조에 강한 다양한 초본류의 도입이 가능하여 식재 유형의 다양한 제시가 가능하다는 것을 보여주었으며 장하경과 이은희(2011)¹⁶⁾는 식재된 식물이 월동 후 생육이 급격히 저하하거나 건조피해를 받는 등 인공지반이라는 특수한 환경 조건에 부합되지 않아 식재식물이 고사하는 등의 문제점이 종종 발생하기 때문에 지속가능성을 고려한 식재기법이 요구된다고 하였다.

식재식물간 조합과 관련하여, 단일식재 외 혼합식재와 관련된 연구도 진행되고 있는데, Nagase와 Dunnett¹⁷⁾는 관리조방형 옥상 내 식재식물의 내건성에 대한 연구에서, 식물 식재 시 단일식물식재 처리구에 비해 초본류를 혼합식재한 처리구의 경우 수분요구도가 낮았으며 이에 따른 식물의 생존율도 더 높다고 하였다. 또한 이춘우 등¹⁸⁾은 옥상녹화의 녹화유형별로 온도저감효과 연구를 실시한 결과, 단일 식재에 비해 지피식물을 이용한 혼합식재의 녹화방법이 기온저감에 효과적이라고 하였다. 이 연구에서는

13) Lee, E.H., E.J. Cho, M.Y. Park, and D.W. Kim, "Selecting Plants for the Extensive Rooftop Greening Based on Herbal Plants." J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech. 10(2) : 84-96, 2007

14) Choi, J.W., H.K. Kim, K.J. Lee, and H.K. Kang "Economics and Ground Cover Growth Characteristics of a New Method of Shallow Soil Artificial Foundation Planting" J. Kor. Inst. Landscape Archi. 37(5) : 98-108. 2009

15) Lee, E.H., E.J. Cho, M.Y. Park, D.W. Kim and S.W. Jang, "Selecting Plants for the Extensive Rooftop Greening Based on Herbal Plants" J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech.. 10(2) : 84-96, 84-96, 2007

16) Jang, H.K., E.H. Lee, "Covering Types and Covering Ratio Changes of Planted Species on an Extensive Green Roof" J. Kor. Soc. Env. Eco., 25(3):404-411, 2011

17) Nagase, A., N. Dunnett, "Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity." Landscape and Urban Planning 97:318-327, 2010

18) Lee, C.W., S.B. Kim, and H.S. Moon. A Study on the Analysis of Temperature Reduction Effect by the Types of the Green Roof. J. Korean Housing Association 22(3) : 25-33, 2011

히 증발시킴으로서 도시를 냉각시킨다고 하였다.

이동근 등(2005)의 옥상녹화에 따른 온도저감연구에서는 식물이 만드는 녹음과 증산작용 그리고 광합성 작용에 따라 온도 저감이 일어나기 때문에 옥상녹화지가 일반 콘크리트 옥상보다 온도를 저감시킬 수 있으며 안정적으로 유지시킬 수 있다고 하였다. 또한 박찬필과 古川修文(2004)의 옥상녹화에 따른 콘크리트 건축물의 열환경 개선효과 연구에서는 옥상녹화를 실시하지 않은 옥상보다 옥상녹화를 실시한 옥상면의 온도가 여름철에는 약 2.5°C 낮았고, 겨울철에는 0.8°C 높게 나타나 옥상녹화는 일사량이 강한 여름철에는 온도를 저하시키는 효과를 주고 일사량이 약한 겨울철에는 실내를 따뜻하게 유지하는 효과가 있다는 결과를 도출하였다.

2.3. 연구의 차별성

본 연구는 관리조방형 옥상녹화지 내 월별 온도모니터링을 통한 최적의 온도저감식재모델 도출을 목적으로 하고 있다. 모니터링 결과에 있어 조성기간 및 모니터링 기간이 짧고, 열화상 카메라만을 이용한 표면온도모니터링이라는 한계를 가지고 있으나 선행연구사례에서 나타난 바와 같이, 플랜터를 이용한 식재유형, *Sedum*류 위주의 제한적인 식물 선정 및 식재조합이 아닌, 기존 장기간 모니터링 된 연구결과를 토대로 관리조방형에 적합한 다양한 식재모델을 전면 녹화형으로 조성하여 식물종류별, 식재유형별(단일식재/혼합식재), 식재구/비식재구별, 멀칭재료별 모니터링을 통하여 기존연구들과 차별성을 갖는다. 뿐만 아니라 관리조방형 옥상녹화 식재기법에 있어, 특히 관리적 측면에서 적정 수준 내 지속적으로 생육이 유지될 수 있는 식물의 선정이 중요하며, 피복특성과 피복률 변화 양상에 따라 식재 후 혼식된 타 식재종과의 경쟁관계 유발로 인하여 생육불량을 초래하기도 하기 때문에 이러한 적정 식재모델 제시는 중요하다. 본 연구는 장기적으로 지속적인 모니터링을 통하여 추후 관리조방형 옥상 내 지속가능하고 온도저감에 적합한 최적의 식재모델 제안이 가능할 것으로 판단된다.

3. 관리조방형 옥상 내 식재모델 조성

3.1. 실험구 조성

관리조방형태의 실험구 토심은 10cm로 하였다. 토심이 깊을수록 온도저감 효과가 높다는 것은 Nardini(2012)²¹⁾ 등의 연구에 의해 확인되고 있으나 관리조방형태는 하중의 제한이 있어 온도저감에 적합한 적정 토심 조성에는 한계가 있으므로 하중의 제한이 있는 도서관 옥상 내 토심을 10cm로 하여 관리조방형태로 조성하고자 하였고 토양은 E사의 E-soil(코코피트, 펄라이트 등을 혼합한 인공토)을 포설 후 실험구 전체 면적을 1m×1m로 선을 나누어 구분하였으며 식재식물은 구분선 당 pot 상태의 식물을 각각 36주씩 4반복으로 배치하여 식재하였고 바크를 이용하여 멀칭처리 하였다. 무식재구에는 인공토양, 화산석, 바크, 수조를 설치하였

다. 실험구는 총 8가지로 6가지 식재유형과 2가지의 무식재구(토양별, 수조)로 나누었고, 6가지 식재유형의 경우, 2m × 2m 실험구 안에 1m × 1m 크기로 배치하여 4반복이 되도록 하였고 이와 같은 형태로 2개구를 더 배치하여 총 12반복이 되도록 하였다. 또한 6가지 식재유형에서 단일식재는 잔디류, 포복형 식물식재구 2가지 유형이며 혼합식재는 *Sedum*류와 초본류를 조합한 4가지 유형이다(Table 3, 4).

총 조성 면적은 식재구 총 72㎡, 비녹화지(인공토양, 화산석, 바크, 수조) 총 24㎡, 조사를 위한 이동로로 잔디를 식재한 면적 총 40.5㎡를 포함하여 전체면적은 136.5㎡이다(Fig. 1).

관수는 조성 직후 1주일간 매일 1회씩 실시하였고 이후에는 전혀 관수를 하지 않았다.

대상지 환경은 Table 2와 Fig. 2와 같다.

Table 2. Means of monthly environmental factor (measured 2p.m.)

Years	Month	Mean Temp. (°C)	Mean Humidity (%)	Mean light intensity (lux)
2012	Oct.	21.5	42.0	30,206
	Nov.	10.6	25.9	22,400
	Mar.	17.7	31.7	62,475
	Apr.	23.2	29.6	75,370
2013	May	30.5	30.5	78,660
	June	30.4	34.8	93,980
	July	31.0	57.5	49,450
	Aug.	31.9	53.0	81,980

온도와 습도는 Testo 625, 조도는 Testo 540을 이용하여 측정하였으며 강수량은 기상청(<http://www.kma.go.kr>)의 서울관측소 월별 데이터를 참조하였다. 10-11월(가을)의 온도범위는 10.6-21.5°C, 습도범위는 25.9-42.0%, 조도범위는 22,400-30,206lux를 나타냈으며, 3-5월(봄)의 온도범위는 17.7-30.5°C, 습도범위는 29.6-31.7%, 조도범위는 62,475-78,660lux, 6-8월(여름)의 온도범위는 30.4-31.9°C, 습도범위는 34.8-57.5%, 조도범위는 49,450-93,980lux를 나타내었다. 강수량은 7월에 집중되는 경향을 나타내었다.

3.2. 식재식물

관리조방형 녹화의 경우, 관리집약형 녹화에 비해 상대적으로 열악한 환경조건을 가졌기 때문에 식물소재가 *Sedum*류 식물에 한정되어 있고 다양하지 못한 단점이 있다. 그러나 *Sedum*류 식물 외에도 섬백리향, 두메부추, 해국과 같은 식물은 내건성이 매우 강한 식물로 알려져 있어 관리조방형

- 19) Daisuke N., Natsu T., Katsuya H., M. Minoru. "Development of an environmental thermal load evaluation system for the purpose of mitigating urban thermal environment Part 3." The soc. of Heating, Air conditioning Sanitary Eng. of Japan. 153 : 1-11, 2009
- 20) Jim CY., SW. Tsang, "Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof" Build Environ. 46:1263-1274, 2012
- 21) Nardini A., Andri S., M. Crasso, "Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: shrubs versus herbaceous plants" Urban Ecosystems. 15 : 697-708, 2012

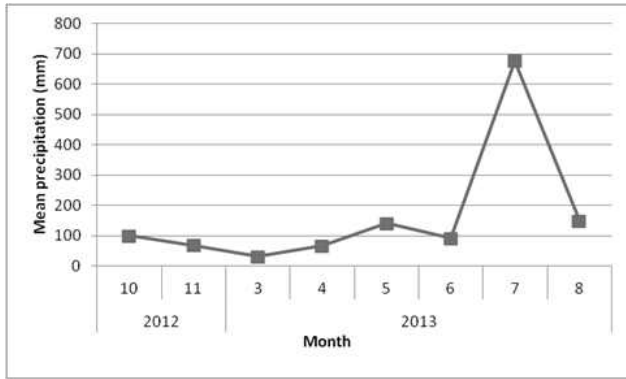


Fig. 2. Monthly mean precipitation in Seoul

옥상 내 조성이 가능하다²²⁾. 돌단풍의 경우, 일반적으로 수분 요구도가 높은 식물로 알려져 있으나 장기간 모니터링된 환경부 연구과제를 비롯한 연구들을 통하여 관리조방형 옥상 내 생육이 가능한 것이 확인 되었다. 또한 미스킴라일락은 낙엽관목으로 낮은 토심에서 식재가 가능하며 내건성 및 내한성이 강한 식물로 옥상 내 식재가 가능하다. 식물의 피복률이 높은 경우, 온도저감에 효과적이라 알려져 있는데²³⁾ 이와 관련하여 관리조방형 옥상 내 적용 가능한 식물은 섬백리향, 지면패랭이, 들나물, 지면패랭이 등의 포복성 식물이다.

한편, 옥상 내 식재식물은 주변 곤충과 조류 등의 생물에 있어 생태적으로도 중요한 요소로 작용하기 때문에 환경에 적합한 식물선정 뿐만 아니라 소생태계를 유인할 수 있는 장소 제공의 생태적 측면 또한 중시하여 식재계획을

반영하여야 한다. 꽃이 피고 열매를 맺는 식물종의 경우, 곤충 및 조류의 유입이 가능하기 때문에 이 중 개화기간이 길고 오래 유지되는 두메부추와 같은 식물 및 섬백리향, 털부처꽃, 미스킴라일락과 같이 꽃이 화려한 밀원식물의 경우, 곤충의 유입률을 더 높일 수 있다. 장하경 등²⁴⁾의 연구에서 다양한 경쟁사례를 통한 식재조합을 확인한 결과, *Sedum*류가 우세인 조합에 있어서는 기린초+무늬등굴레, 섬기린초+각시원추리가 확인되었고, *Sedum*류가 열세인 조합에 있어서는 기린초+포복성 식물인 섬백리향, *Sedum*류+별개미취, 구절초 등의 국화과 식물로 확인되었는데 이렇게 식재계획 시 인접종간의 경쟁관계를 고려하여 설계 시 계획된 경관조성 및 옥상 내 건조비오톱을 기대할 수 있다.

본 연구에서는 다년간 옥상녹화 모니터링을 통해 제안된 식물종 관련 결과²⁵⁾를 통하여 관리조방형 옥상녹화지 식재에 적합한 식물 중에서 대부분 자생식물로 구성된 15종을 선발하였고 이와 관련하여 식재식물과 식재위치는 Table 3과 같다.

Table 3의 식물을 대상으로 하여 조합한 6가지 식재유형은 Table 4와 같다. 잔디류와 포복성 식물의 2가지 식재 유형은 처리별 1㎡당 36주씩 단일식재하였고, *Sedum*류 조합유형인 <*Sedum*류 종류별, *Sedum*류+키 작은 초본, *Sedum*류+키 작은 초본+키 큰 초본, *Sedum*류+키 작은 초본, *Sedum*류+키 작은 초본+키 큰 초본+관목류> 4가지 식재유형은 1㎡당 유형별 식재식물을 혼합하여 36주

Table 3. Plant materials used in this experiment

Combination	vegetation type	Unit No.	Species	Plant height (cm)	Flowering (Month)	
Monoculture	Grass	1	<i>Zoysia japonica</i>	10-20	-	
		2	<i>Phlox subulata</i>	10	4-9	
	Ground cover plants	3	<i>Sedum oryzifolium</i>	5-12	6-7	
		4	<i>Sedum sarmentosum</i>	15	8-9	
		5	<i>Thymus quinquecostatus</i> var. <i>japonica</i>	-	6	
	<i>Sedum</i>	7	<i>Sedum kamschaticum</i>	5-30	6-7	
		8	<i>Sedum takesimense</i>	30-50	7-8	
		6	<i>Sedum middendorffianum</i>	20	6-8	
		4	<i>Sedum sarmentosum</i>	15	8-9	
	Mixture	Small herbaceous	9	<i>Aster spathulifolius</i>	30-50	7-11
			10	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>	30-50	4-5
		11	<i>Aceriphyllum rossii</i>	30	5-6	
		Tall herbaceous	12	<i>Allium senescens</i>	20-49	5-9
			13	<i>Belamcanda chinensis</i>	50-100	6-8
	Small tree	14	<i>Lythrum salicaria</i>	120	6-8	
15	<i>Syringa patula</i> 'Miss Kim'	100-200	5-6			

Table 4. The combination of plant materials

vegetation models	Plant name
Grass	<i>Zoysia japonica</i>
Ground cover plants	<i>Phlox subulata</i> , <i>Sedum oryzifolium</i> , <i>Sedum sarmentosum</i> , <i>Thymus quinquecostatus</i> var. <i>japonica</i>
S*	<i>Sedum middendorffianum</i> , <i>Sedum kamschaticum</i> , <i>Sedum sarmentosum</i> , <i>Sedum takesimense</i>
S+Sh	<i>Sedum takesimense</i> + <i>Aster spathulifolius</i> , <i>Aceriphyllum rossii</i> , <i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>
S+Sh+Th	<i>S. middendorffianum</i> + <i>Belamcanda chinensis</i> + <i>Allium senescens</i> , <i>Lythrum salicaria</i>
S+Sh+Th+St	<i>Sedum kamschaticum</i> + <i>Belamcanda chinensis</i> + <i>Allium senescens</i> + <i>Syringa patula</i> 'Miss Kim'

* S : *Sedum*
 S+Sh : *Sedum* + Small herbaceous
 S+Sh+Th : *Sedum* + Small herbaceous + Tall herbaceous
 S+Sh+Th+St : *Sedum* + Small herbaceous + Tall herbaceous + Small tree

22) Lee, E.H., E.J. Cho, M.Y. Park, D.W. Kim and S.W. Jang, "Selecting Plants for the Extensive Rooftop Greening Based on Herbal Plants" J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech.. 10(2) : 84-96, 84-96, 2007

23) Lee, D.K., S.W. Yoon, S.H. Oh, and S.W. Jang, "The Effect of Temperature Reduction as Influenced by Rooftop Greening-" J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech. 8(6) : 34-44, 2005

24) Jang, H.K., H.J. Youn, and E.H. Lee, A study on Competitive Relationship of Ground Cover Plants for Artificial Roof Greening, Pro. Kor. Soc. Env. Eco. 2012

25) Ministry of Environment, "Technology Development for Restoration Natural Ecosystem of Urban Artificial Ground" Final report, 2008

씩 식재하였다(Table 4). 식재모델 조성일인 2012년 9월부터 2013년 8월까지의 모니터링 기간 동안 모든 식재식물의 생육상태는 양호하였다.

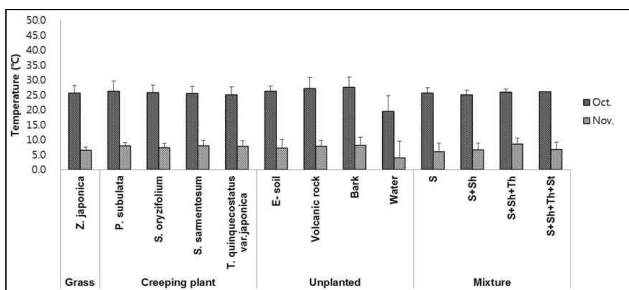
4. 식재모델별 온도분석

2012년 10~11월, 2013년 3~5월, 6~8월 동안 모니터링을 통하여 식재유형에 따른 월별 표면온도는 SPSS version 15.0(Statistical Package for the Social Science, SPSS Inc., 2006) 프로그램을 이용하여 기술통계분석 및 Duncan의 다중검정법(Duncan's multiple range test)으로 유의수준 95%에서 유의성 분석을 수행하였고 그 결과는 Table 5와 같다.

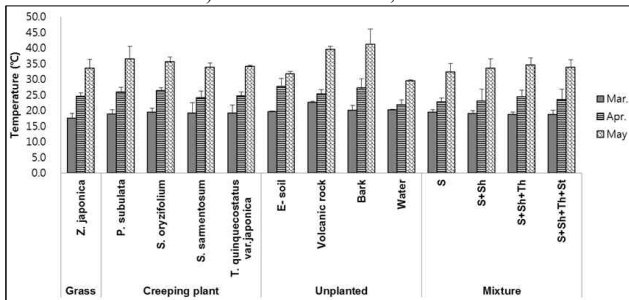
2012년 9월 조성 후 10~11월, 2013년 3~5월, 6~8월까지 2주 간격으로 열화상카메라를 이용하여 옥상 내 표면온도 모니터링을 실시한 결과, 가을철 10월의 경우 외부평균온도는 21.5°C였으며 콘크리트 표면온도는 27.9°C인데 비해, 수조를 제외한 무식재구의 온도는 26.3~27.6°C로 다른 처리구에 비해 전체적으로 온도가 높았으나 19.5°C인

수조를 제외하고 나머지 무식재구와 식재구의 처리별 유의성이 크지 않았다. 11월의 경우 외부기온의 일교차가 커짐에 따라 10월에 비해 온도변화의 차이가 크게 나타났다. 11월의 외부평균온도는 10.6°C로 유형별 식재구 중 *Sedum* 류+키 작은 초본류+키 큰 초본류 처리구의 온도가 8.7°C로 높았으며, 다음으로는 무식재구의 바크처리구의 온도가 8.2°C로 높았다. 그 외의 식재처리구에서는 포복형의 식물의 온도가 높았는데 특히 돌나물과 섬백리향, 지면패랭이의 온도가 높았다(Table 5, Fig. 3). 그러나 10~11월 모니터링의 경우, 9월 조성한 실험구 내 식물의 활착과 피복이 더딘 한계가 있어 실제 식재유형별 온도차이가 크지 않았다.

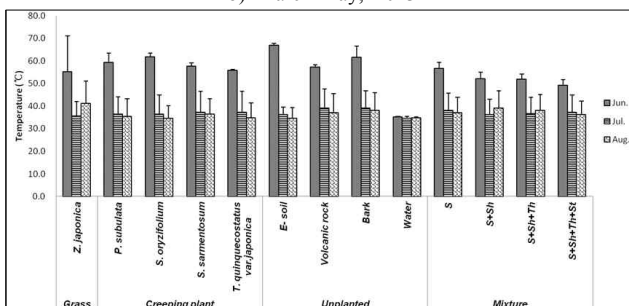
봄철(3~5월)의 모니터링 결과, 3, 4월의 경우 외부온도가 각각 평균 17.7°C, 23.2°C(Table 2)로 대부분의 처리구에서 외부온도에 비해 온도가 높았고 식재구에 비해 무식재구 처리에서 온도가 높았으나 처리별 차이가 크지는 않았다. 3월의 경우 수조 처리와 다른 처리간의 온도변화가 크지 않았으나 4, 5월의 경우 다른처리에 비해 수조처리의 온도가 상대적으로 온도가 낮았다(Table 5, Fig. 3). 외부온도가 평균 30.5°C로 높아진 5월의 경우, 3, 4월에 비해 식재모델의 온도저감이 뚜렷하게 나타났는데, 식물이 식재된 처리구에서는 옥상 내 콘크리트 표면온도인 45.2°C보다 온도가 8.7~12.9°C 정도 낮았다. 이동근 등²⁶⁾은 옥상녹화의 온도저감효과에 관한 연구에서 돌나물, 기린초 등의 다양한 식물을 식재하여 피도를 높인 실험구에서 온도저감효과가 높았다고 하였는데, 본 연구에서는 5월의 경우 대부분의 식물 피도가 80% 이상을 나타내면서 다른 처리구에 비해 상대적으로 온도가 낮았는데 특히 성장속도가 빠르고 피도가 높은 돌나물과 섬백리향의 경우, 다른 처리에 비해 온도가 낮았다. 한편, 일반적으로 활발한 증산작용으로 인하여 온도저감에 효과가 있다고 알려진 잔디의 경우, 5월 표면온도가 33.6°C로 다른 처리구에 비해서는 온도가 낮은 편이었다. 그러나 CAM(Crassulacean acid metabolism) 식물로 증산능력이 낮은 식물로 알려진 *Sedum* 류의 경우, 혼합식재하는 경우에는 표면온도가 32.3°C로 식재 처리구 중 온도가 가장 낮게 나타남에 따라 본 연구에서는 식물별 증발산능 정도에 따른 온도저감효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 온도 모니터링 기간이 짧은 점을 감안하여 추후 지속적이고 장기적인 모니터링이 요구된다. 한편 5월의 무식재구의 경우, 전체적으로 식물을 식재한 처리구에 비해 인공상토인 E-soil과 수조를 제외한 화산석과 바크 처리구의 표면온도가 높았다. 특히 바크처리구의 경우, 5월의 표면온도가 처리 중 가장 높았고 외부온도가 높을수록 표면온도가 높은 경향을 보였는데 이는 목질재료의 낮은 열용량 특성으로 인해 표면온도가 높은 것으로 사료된다²⁷⁾.



a) October-November, 2012



b) March-May, 2013



c) June-August, 2013

* S : Sedum
 S+Sh : Sedum + Small herbaceous
 S+Sh+Th : Sedum + Small herbaceous + Tall herbaceous
 S+Sh+Th+St : Sedum+Small herbaceous + Tall herbaceous + Small tree

Fig. 3. Mean surface temperatures per plots (Error bar = mean±S.D.)

26) Lee, D.K., S.W. Yoon, S.H. Oh, and S.W. Jang, "The Effect of Temperature Reduction as Influenced by Rooftop Greening" J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech. 8(6) : 34-44, 2009

27) Hideki, T., M. Masakazu, "Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking" Solar Energy. 83 : 1211-1223, 2009

Table 5. Changes in surface temperature per units (°C)

Types	Unit	2012				2013			
		Oct.	Nov.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.
Grass	<i>Zoysia japonica</i>	25.6 a*	6.6 a	17.6 b	24.6 abcd	33.6 cd	55.3 ab	35.6 a	41.2 a
	<i>Phlox subulata</i>	26.2 a	8.0 a	19.0 b	26.0 abc	36.5 bc	59.3 ab	36.6 a	35.4 a
Ground cover plants	<i>Sedum oryzifolium</i>	25.8 a	7.5 a	19.6 b	26.5 abc	35.6 bc	61.9 ab	36.5 a	34.7 a
	<i>Sedum sarmentosum</i>	25.5 a	8.1 a	19.2 b	24.1 abcd	33.8 cd	57.8 ab	37.3 a	36.4 a
	<i>Thymus quinquecostatus</i> var. <i>japonica</i>	25.0 a	8.0 a	19.3 b	24.7 abcd	34.1 cd	55.9 ab	37.3 a	34.8 a
Unplanted unit	E-soil	26.3 a	7.2 a	19.7 b	27.8 a	31.7 cd	67.0 a	36.3 a	34.6 a
	Volcanic rock	27.1 a	8.0 a	22.6 a	25.3 abcd	39.6 ab	57.3 ab	39.1 a	37.1 a
	Bark	27.6 a	8.2 a	20.1 ab	27.2 ab	41.2 a	61.7 ab	39.2 a	38.1 a
Sedum	Water	19.5 b	4.0 b	20.3 ab	21.9 d	29.5 d	35.2 b	34.7 a	34.8 a
	<i>S.middendorffianum</i> , <i>S. kamschaticum</i> , <i>S.sarmentosum</i> , <i>S.takesimense</i>	25.6 a	6.1 ab	19.6 b	22.8 cd	32.3 cd	56.7 ab	38.2 a	37.2 a
	<i>S. takesimense</i> + <i>A. sphathulifolius</i> , <i>A. rossii</i> , <i>P. odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i>	25.0 a	6.8 ab	19.1 b	23.1 cd	33.6 cd	52.2 ab	36.4 a	39.2 a
S+Sh+Th	<i>S.middendorffianum</i> + <i>B. chinensis</i> + <i>A.senescens</i> , <i>L. salicaria</i>	25.9 a	8.7 a	18.8 b	24.4 abcd	34.7 cd	51.9 ab	36.6 a	38.2 a
S+Sh+Th+St	<i>S.kamschaticum</i> + <i>B.chinensis</i> + <i>A.senescens</i> + <i>S.patula</i> 'Miss Kim'	26.1 a	6.8 ab	18.8 b	23.6 bcd	33.9 cd	49.4 ab	37.3 a	36.4 a

* Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, P = 0.05

여름철(6~8월)의 모니터링 결과, 외부온도가 30.4°C를 나타낸 6월에 비해 외부온도가 각각 31.0, 31.9°C였던 7, 8월의 경우, 처리별 온도차가 적었고 처리구의 표면온도가 전체적으로 더 낮게 나타났는데, 이는 7월 들어 6월에 비해 강우량이 약 7배 이상 높아짐(28)에 기인한 것(Fig. 2)으로 판단된다. 특히 수조를 제외하고, 식재구와 무식재구를 포함하여 인공상토처리(E-soil)가 된 곳은 모두 온도가 낮게 나타났는데 이는 강우로 인하여 토양 내 일사의 차폐효과가 커지고, 토양 내 수분이 증가함에 따라 저장된 수분의 증발산량이 높아져(29) 표면온도가 낮아진 것으로, 인공상토 자체의 입자의 물리적 특성으로 인해 증발속도가 느리기 때문에 판단되며 이에 비해 화산석과 바크의 경우 수분의 증발속도가 빠르기 때문에 상대적으로 온도가 높았던 것으로 판단된다. 6월의 경우, 7, 8월에 비해 온도변화가 뚜렷하게 나타났으며 단일식재에 비해 혼합식재, 특히 관목인 미스키파일락을 혼합하여 식재하는 경우, 온도저감이 우수하였는데 이는 식물면적에 따른 일사차폐효과와 식재구의 증산능력이 높고, 이로 인한 증산량의 변동이 적기 때문인 것으로 판단된다. 7~8월의 경우 전체적으로 식재식물별, 조합별 온도차가 크지 않았고 처리별 유의성이 없었다. 그러나 인공상토(E-soil)단일처리보다 식재처리구의 온도가 약간 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 식재처리구 내 식재된 식물면적을 제외한 바크 멀칭부분의 온도가 상대적으로 높았기 때문인 것으로, 이는 앞서 언급한대로 목질재료의 낮은 열용량 특성으로 인한 것으로 판단되며 이와 관련하여 옥상녹화 조성 시 식재구 표면온도의 변화를 고려하여 멀칭재료를 선택하여야 할 것으로 사료된다.

수조처리의 경우, 4~7월, 10월에 처리구 중 가장 온도가 낮았고, 전체적으로 월별 변화폭도 적었는데 이는 물의 높은 열용량 특성으로 인하여 온도변화가 적기 때문으로

옥상 내 하중이 가능한 범위 내에서라면 수생태계 공간 조성이 온도저감과 관련한 대안이 될 수 있을 것이라고 판단된다.

5. 결론

열섬완화효과를 높이기 위한 전면적 관리조방형 옥상녹화의 식재모델을 구성 시에는 잔디류, *Sedum*류 외 두메부추, 범부채, 해국, 미스키파일락 등의 초본, 관목류의 식재조합이 가능하다. 또한 관리조방형 녹화의 지속성 유지 및 온도저감을 위해서는 식물을 단일 식재하는 것보다 혼합식재하는 것이 유리하다.

미기후 조절을 위해서는 월동이 가능하고 지면을 피복할 수 있는 식물종을 선택하는 것이 좋으며, 월동 가능한 섬기린초, 해국과 포복형 식물인 섬백리향 등의 식물의 선택이 유리하다.

여름철의 경우, 6월에 비해 상대적으로 강수량이 높은 7, 8월의 경우, 온도저감이 뚜렷이 나타났는데 이는 토양 내 수분이 증가함에 따라 저장된 수분의 증발산량이 높아져 표면온도가 낮아진 것으로 판단되며, 식재처리별 차이는 크지 않았다.

전체 식재구에 멀칭처리를 한 바크의 경우 식재처리구의 온도를 전체적으로 높여주는 결과를 보여 멀칭재료로 선택 시 이점이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

수조처리구의 경우 높은 열용량으로 인해 온도변화가 적기 때문에 옥상 내 하중이 가능한 범위 내에서 수생태계 공간조성이 온도저감 관련한 대안이 될 수 있다.

28) Korea Meteorological Administration, Monthly weather report, 2013

29) Cho, S.M., Y.H. Yoon, E.R. Ryu, B.J. Park, and W.T. Kim "The Influence of Land Cover and Zoning on the Urban Heat Island in Cheongju." J. Environ. Sci. 18(2) : 169-176. 2009

본 연구에서는 전면적 옥상녹화유형의 관리조방형 옥상 내 다양한 식재모델을 제시함으로써, 식물별 유형뿐 만 아니라 토양 종류별 표면온도모니터링을 통하여 각 유형별 온도변화 차이를 확인하였다. 2012년 9월 식재 후 현재까지 활착기간을 포함하여 식재조합별 온도모니터링의 모니터링기간이 한정적이어서 식재모델별 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았고 식재모델별 온도모니터링에 있어, 적외선 열화상카메라만을 이용한 표면온도측정으로 현황 제시 정도의 연구의 한계가 있으나 추후 지열 온도센서를 이용한 온도모니터링 방법의 보완 및 계절별 지속적인 모니터링을 통하여 식재식물별, 조합별 관리조방형 옥상녹화의 온도저감에 효과적인 식재모델 제안이 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgements

This study was supported by Eco-Innovation Technology Development project -Development of urban artificial ground ecosystem adaptation and management technique- of Ministry of Environment in Korea (Grant 416-111-016)."

References

[1] Cho, S.M., Y.H. Yoon, E.R. Ryu, B.J. Park, and W.T. Kim (2009) The Influence of Land Cover and Zoning on the Urban Heat Island in Cheongju. *J. Environ. Sci.* 18(2) : 169-176

[2] Choi, J.W., H.K. Kim, K.J. Lee, and H.K. Kang (2009) Economics and Ground Cover Growth Characteristics of a New Method of Shallow Soil Artificial Foundation Planting *J. Kor. Inst. Landscape Archi.* 37(5) : 98-108

[3] Daisuke N., Natsu T., Katsuya H., M. Minoru (2009) Development of an environmental thermal load evaluation system for the purpose of mitigating urban thermal environment Part 3. The soc. of Heating, Air conditioning Sanitary Eng. of Japan. 153 : 1-11

[4] Dunnett, N., N. Kingsbury (2008) *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland, Oregon, Timber Press, pp. 1-90

[5] English Nature (2003) *Green Roofs: Their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas*. English Nature Report No. 498. English nature, Peterborough

[6] FLL(ForschungsgesellschaftLandschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V) (2002). *Guidelines for the planning, execution and upkeep of green roof sites*. FLL

[7] Getter, K.L., D.B. Rowe (2006) The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience* 41(5):1276-1285

[8] Getter, K.L., D.B. Rowe (2008) Media depth influences Sedum green roof establishment. *Urban Ecosyst.* 11:361-372

[9] Han, S.W., H.K. Jang, and J.S. Kim, (2012) Research on the Surface Temperature of Greenery Plants for the Quantization of the Urban Heat Island Effects *Pro. Archi. Inst. Kor. Con.* 32(2) : 247-248

[10] Hideki, T., M. Masakazu (2009) Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking. *Solar Energy.* 83 : 1211-1223

[11] Jang, H.K. A Study of Planting Models for Extensive Green

Roof System with Plant Growth Characteristics (2010) Dotor's degree thesis. Seoul Women's Univ.

[12] Jang, H.K., E.H. Lee (2011) Covering Types and Covering Ratio Changes of Planted Species on an Extensive Green Roof *J. Kor. Soc. Env. Eco.* 25(3):404-411

[13] Jang, H.K., H.J. Youn, and E.H. Lee (2012) A study on Competitive Relationship of Ground Cover Plants for Artificial Roof Greening, *Pro. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech. Con.*

[14] Jim CY., SW. Tsang (2011) Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof. *Build Environ.* 46:1263-1274

[15] Korea Biodiversity Information System (www.nature.go.kr). Korea National Arboretum Service.

[16] Korea Meteorological Administration, Monthly weather report, 2013

[17] Lee, C.W., S.B. Kim, and H.S. Moon (2011) A Study on the Analysis of Temperature Reduction Effect by the Types of the Green Roof. *J. Korean Housing Association* 22(3) : 25-33

[18] Lee, D.K., S.W. Yoon, S.H. Oh, and S.W. Jang (2005) The Effect of Temperature Reduction as Influenced by Rooftop Greening. *J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech.* 8(6) : 34-44

[19] Lee, E.H., E.J. Cho, M.Y. Park, D.W. Kim and S.W. Jang (2007) Selecting Plants for the Extensive Rooftop Greening Based on Herbal Plants. *J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech.* 10(2) : 84-96

[20] Lee, E.H., H.J. Youn, J.A. Lee, M.J. Im, and S.W. Jang (2011) A Study on the Planting Classification of Herbaceous Species on Rooftop Greening Space. *Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con.* 21(1) : 111-115

[21] Ministry of Environment (2008) *Technology Development for Restoration Natural Ecosystem of Urban Artificial Ground-Final report*

[22] Nagase, A., N. Dunnett (2010) Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity. *Landscape and Urban Planning* 97 : 318-327

[23] Nardini A., S. Andri, and M. Crasso (2012) Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: shrubs versus herbaceous plants. *Urban Ecosystems*, 15 : 697-708

[24] Park, C.P. N. Hুরুkawa. (2004) Study on Improvement of Thermal Environment by Green Roof Systems on RC Building -utilization of solar insulating block and the grass- *J. Kor. Env. Res. & Reveg. Tech.* 7(1) : 1-9

[25] Seo, E.C. (2007) A Study on the Mitigation Policies for Urban Heat Island. *Journal of the KIEAE.* 7(2) : 17-23

[26] White, JW., E. Snodgrass (2003) Extensive green roof plant selection and characteristics. In: *Proc. of 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Chicago. 29-30 May 2003. Cardinal Group, Toronto, pp 166-176

Received August 12, 2013;
Final revision received October 07, 2013;
Accepted October 28, 2013