

옥상녹화의 온도조절효과에 적합한 세덤류 분석*

이빛나라¹⁾ · 김예슬¹⁾ · 이은희²⁾

¹⁾ 서울여자대학교 대학원 원예학과 · ²⁾ 서울여자대학교 원예생명조경학과

The Analysis of Sedum Suitable for the Effect of Modulability the Temperature of the Rooftop Greening*

Lee, Bitnara · Kim, Ye-seul¹⁾ and Lee, Eun-Heui²⁾

¹⁾ Graduate school of Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea,

²⁾ Department of Horticulture Science and Landscape Architecture, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea.

ABSTRACT

Rooftop greening is the alternative of urban heat island. The purpose of this study is selecting Sedum to the effect of temperature reduction of the rooftop greening. Since the state of growth is excellent, *Sedum kamtschaticum*, *Sedum takesimense* and *Sedum middendorffianum* surveyed as coverage. It was investigated that there is the effect of reducing the temperature. The effect of temperature reduction of Sedum counted compound was found to be associated with state of growth. When you construct a rooftop greening, planting *Sedum kamtschaticum*, *Sedum takesimense* and *Sedum middendorffianum* is helpful to the effect of temperature reduction. Also, the ingredients various types of Sedum in order to reduce the effective temperature, it must be densified. It must demonstrate an additional effect of temperature reduction of Sedum through complementary and continuous monitoring of the future temperature monitoring method.

Key Words : *Green roof*, *Extensive green roof*, *Sedum*, *Temperature Reduction*.

* 본 연구는 환경부의 차세대에코이노베이션기술개발사업 “인공지반부 도시생태계 적응, 관리 기술개발(과제번호: 416-111-016)”의 지원으로 수행되었습니다.

First author : Lee, Bitnara, Graduate school of Seoul Women's University,
Tel : +82-2-970-7717, E-mail : bling0807@naver.com

Corresponding author : Lee, Eun-Heui, Department of Horticulture Science and Landscape Architecture,
Tel : +82-2-970-5616, E-mail : ehlee@swu.ac.kr

Received : 27 February, 2015. **Revised** : 23 April, 2015. **Accepted** : 23 April, 2015.

I. 서 론

급격한 도시화로 인하여 도시의 녹지공간이 감소되고 생태계가 파괴됨에 따라 도시열섬현상, 홍수 등의 도시 내 환경문제가 야기되고 있다. 특히 도시열섬현상은 도시기온이 주변지역 기온보다 2-4°C 높게 형성되는 현상으로 대도시 일수록 가중되며, 녹지면적감소, 인공피복면의 과다, 인공열 증가 등이 원인으로 작용하고 있다(Park, 2013).

최근 이러한 도시열섬현상을 완화하기 위한 대안으로 옥상녹화, 벽면녹화 등 인공지반녹화가 주목받고 있으며(Wong *et al.*, 2010), 그 중 옥상녹화는 국내·외적으로 도시환경문제에 대응할 수 있는 방법으로 활용되고 있는 추세이다(English nature, 2003).

건축물의 옥상은 최초로 광을 투과 또는 흡수하는 지역으로 상시 잠열이 포함되어 있어, 옥상녹화조성을 통한 잠열의 증발은 온도저감을 통한 도시 열섬현상 완화에 중요한 역할을 한다(Kim, 2009).

옥상녹화는 추가적인 토지확보가 어려운 도심에서 버려진 공간으로 인식되고 있는 옥상공간을 활용하여 녹지를 제공할 수 있으며(Kang and Lee, 2005), 녹화된 지붕을 통해 건축물 내부로 유입되는 열을 반사시키고 식물의 증발산 작용을 활용하여 도시열섬현상을 완화시키는 역할을 한다(Youn *et al.*, 2013).

도시열섬현상완화를 위한 옥상녹화의 온도저감효과에 대한 연구는 국내외에서 꾸준히 진행되고 있다. Puay Yok Tan and Angelia Sia(2005)는 식생이 식재된 옥상과 일반콘크리트 옥상의 표면온도를 분석함에 따라 주변 대기온도에 관한 옥상녹화의 온도저감효과 연구를 수행하였다.

Lee *et al.*(2005)는 서울대학교에 조성된 옥상녹화지를 대상으로 토심, 토질, 모듈사용여부, 식생 등의 조건 별 온도변화 측정을 통하여 옥상녹화 조성에 따른 온도저감 효과에 관한 연구

를 진행하였다.

Oh(2006)는 경량형 옥상녹화를 대상으로 토양표면온도, 토양속온도, 바닥표면온도, 천장온도 등을 측정하여 수집된 데이터를 분석하여 옥상녹화에 따른 온도저감특성 분석 및 결과를 도출하였다.

Lee *et al.*(2011)은 지역의 지표식물을 선정된 모의실험을 통하여 실험구 내부의 온도변화 측정 데이터로 옥상녹화 조건에 따른 건물내부 온도저감효과를 분석하였다.

옥상환경은 자연환경에 비해 강한 일사, 바람, 고온, 습도 등으로 인하여 식물선택이 제한적이다(Kim *et al.*, 2003). 이로 인해 옥상녹화에 적용 가능한 식물선정에 대한 연구가 진행되고 있으며, 옥상녹화 조성 시 내건성, 내한성, 내습성이 있는 세덤류 식물들이 많이 이용되고 있다(Durhman *et al.*, 2006; Kim and Huh, 2003).

이와 관련하여 Ha(2002)는 옥상녹화에서 생육이 가능한 식물로 자생 세덤류를 제안하였으며, 이 후 옥상녹화 조성 시 발생하는 문제점을 최소화하기 위해 낮은 토심에서 생장이 가능한 세덤류 식물 선발에 관한 연구를 진행하였다(Kim and Lee, 2005; Kim, 2007).

Kim *et al.*(2010)은 전해질 용출 평가를 이용한 세덤류 식물의 내한성을 평가하여, 옥상 환경에서 월동이 가능한 세덤류를 선발하였으며, Kim and Huh(2003)는 저토심 옥상녹화 시스템에 적용 가능한 *Sedum album*의 생육특성을 연구하여 식재설계를 제안하였다.

세덤류의 성장형태와 피복형태 연구를 통하여 옥상녹화에 적합한 세덤류 식물의 적절한 식재밀도를 측정하는 연구도 진행되었다(Go *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2007; Jang and Lee, 2011). Kim and Park(2012)은 돌나물을 선정하여 옥상녹화의 온도저감효과에 대해 긍정적인 연구결과를 제시하였으며, Lee *et al.*(2005)은 식재기반층 조성 조건에 따른 옥상녹화 온도저감효과 연구를 진행하며, 세덤류별 온도저감효과에 대

하여 연구하였다.

선행연구 조사결과 대부분의 옥상녹화와 세덤에 관한 연구들은 식재기반층, 식물 생육 등에 관한 연구들이 주를 이루고 있으며, 건축물 표면 온도저감 및 조절효과에 따른 세덤류 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 옥상녹화시스템의 건축물 표면 온도저감 및 조절효과에 적합한 특정 세덤류 식물 선정을 목적으로 첫째, 세덤류의 생육상태 조사, 둘째, 콘크리트와 세덤류 표면온도 차이 분석, 셋째, 생육상태와 표면온도의 상관관계 분석을 통하여 옥상녹화에 식재된 세덤류 온도 조절효과 연구의 기초 자료로 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험구 조성

본 연구의 실험구는 남양주시 호평체육문화센터 옥상(2012년 7월 23일 조성) 일부에 조성하였으며, 관리조방형 옥상녹화를 목적으로 설계되었다.

본 실험구의 총 조성면적은 65m²이며, 세덤이 식재된 조성면적은 약 7m²로 이를 대상으로 하여 연구를 진행하였다. 실험구는 토양을 포설 후 전체 면적을 0.4m × 0.4m로 선을 나누어 구

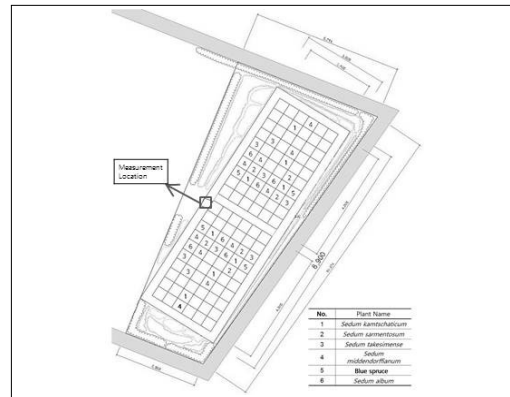


Figure 1. Plant plan.

분하였으며, pot 상태의 식물을 각각 9주씩 2반복으로 배치하여 30cm 토심에 식재하였다. 식재기반은 방수층, 배수층, 토양층, 식재층의 순서로 조성되었으며, 배수층은 E사의 EP-25¹⁾ 저배수판(규격: 500×500×30mm)을 설치하였다. 토양층은 옥상녹화용 인공토양을 포설하여, 토심 30cm 두께로 조성하였으며, 멀칭은 바크(우드칩)를 이용하여 2cm의 두께가 되도록 하였다 (Figure 1).

2. 식물재료

식재된 식물은 환경부(2008)의 “도시인공지반의 자연생태계 복원을 위한 기술개발에 관한

Table 1. Planting sedum list.

Classification	Family	Scientific name	Repeat plot	Total
Sedum	Crassulaceae	<i>Sedum kamtschaticum</i>	8	72
		<i>Sedum sarmentosum</i>	6	54
		<i>Sedum takesimense</i>	8	72
		<i>Sedum middendorffianum</i>	10	90
		Blue spruce*	4	36
		<i>Sedum album</i>	6	54

* The scientific name is not specified.

1) EP-25: P.P. 재질로 깊이 30mm의 저수조 25개가 연결되어 있는 구조이며 저수용량은 최대 16L/m²로 천공된 배수채널 4조를 통해 배수되도록 설계

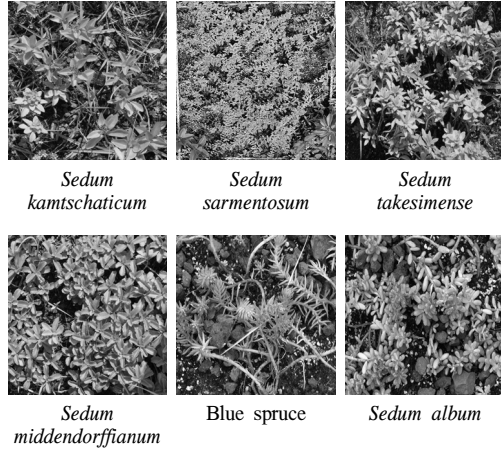


Figure 2. Growth picture.

연구”에서 모니터링 된 자료를 바탕으로 관리 조방형 옥상녹화지에서 생육이 가능한 세덤류를 선정하여 대상지 내에 식재하였다.

실험구에 식재된 세덤류는 한 개의 반복구 당 9주씩 식재하여 총 기린초(*Sedum kamtschaticum*) 72본, 들나물(*Sedum sarmentosum*) 54본, 섬기린초(*Sedum takesimense*) 72본, 애기기린초(*Sedum middendorffianum*) 90본, 은청세덤(Blue spruce) 36본, 흰꽃세덤(*Sedum album*) 54본 총 378본이 식재되었다(Table 1, Figure 2).

3. 측정 및 분석방법

1) 측정방법

대상지의 환경, 식재된 세덤류의 생육상태, 표면온도측정으로 세분하여 조사하였으며, 측정시기는 2014년 3월부터 11월까지 매월 1회 일사량이 가장 높은 오후 2시에 실시하였다.

측정방법으로 첫째, 대상지의 대기온도, 상대습도, 조도 등 미기후 관련요소 측정을 위하여 온습도와 조도를 측정하였다. 이를 위하여 온습도측정계(testo 625)와 조도측정계(testo540)를 사용하였으며, 측정 위치의 바닥에서부터 수직으로 160cm 높이에서 측정을 실시하였다. 측정 위치는 다음과 같다(Figure 1). 둘째, 세덤류별 생육상태 분석을 위하여 디지털카메라(Nikon

D80, D90)를 사용하여 0.4m × 0.4m구획 별 세덤을 등비율로 촬영, 피복률을 분석하였다. 셋째, 표면온도 측정을 위하여 열화상 카메라(FLIR System, T 200)를 이용하여 세덤류 표면과 콘크리트 표면의 온도를 측정하였다.

2) 분석방법

본 연구의 분석방법으로 첫째, 세덤의 생육상태 분석을 위하여 CAD 프로그램(Auto CAD 2007)을 이용하여 피복률을 측정하였다.

둘째, 표면온도를 통한 온도조절효과 분석을 위하여 FLIR Tools 프로그램을 이용하여 콘크리트와 세덤류 표면온도변화를 분석하였으며, 실험구 별로 9spot을 지정하여 평균값을 산출하였다. 세덤류 수종별 온도 관계 분석을 위하여 표면온도의 평균값을 바탕으로 SPSS version 18.0 프로그램을 이용하여 일원배치 분산분석을 시행하였다. 세덤류별 표면온도와 콘크리트의 표면온도가 통계적으로 유의한지 여부를 확인하기 위하여 Duncan의 다중검정법(Duncan's multiple range test)을 활용하여 유의수준 95%에서 유의성 분석을 시행하였다.

셋째, 세덤류의 생육상태와 표면온도의 상관관계를 예측하기 위하여 세덤류의 피복률과 표면온도의 평균값을 바탕으로 SPSS version 18.0 프로그램을 이용하여 분석하였다.

향후 지속적인 모니터링을 통하여 옥상녹화지 내에 지속가능하고 온도조절에 적합한 최적의 세덤류 제안을 위한 기초자료로 활용 가능할 것이라 판단된다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 생육환경

대상지의 대기환경 조사결과 대기온도는 7월 32.5°C로 가장 높았으며, 11월 5.1°C로 가장 낮게 측정되었다. 상대습도는 8월 52.8%로 가장 높은 것으로 조사 되었으며, 11월 13.1%로 가

Table 2. The study site's atmospheric environment.

Classification	Air temperature (°C)	Relative humidity (%)	Illuminance (lux)
March	18.2	25.0	79,920
April	21.4	41.1	23,390
May	29.8	45.3	74,000
June	30.2	51.4	20,970
July	32.5	45.0	H1
August	29.4	52.8	85,120
September	23.4	36.7	63,190
October	19.8	41.4	45,690
November	5.1	13.1	28,770

장 낮게 조사되었다. 조도는 7월 H1lux²⁾로 장 높게 측정 되었으며, 6월 20,970lux로 가장 낮게 측정되었다(Table 2).

2. 생육상태

대상지 내 세덤류의 피복률 조사 결과 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)가 평균 62.8%로 지상부를 가장 높은 비율로 피복하고 있는 것으

로 조사되었으며, 섬기린초(*Sedum takesimense*)가 평균 45.2%, 기린초(*Sedum kamtschaticum*)가 평균 18.7% 순으로 지상부 피복률이 높은 것으로 나타났다. 온도가 높아지는 5월의 경우 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)가 119.2%로 가장 높은 피복률을 보였으며, 이러한 피복률을 11월 까지 지속적으로 유지하는 것으로 나타났다. 섬기린초(*Sedum takesimense*)의 경우 7월의

Table 3. Monthly covering ratio.

(unit: %)

Classification	<i>Sedum kamtschaticum</i>	<i>Sedum sarmentosum</i>	<i>Sedum takesimense</i>	<i>Sedum middendorffianum</i>	Blue spruce	<i>Sedum album</i>
March	2.3	4.5	13.6	4.5	0.2	0.2
April	25.5	11.6	44.3	78.7	1.4	1.2
May	23.0	17.7	50.4	119.2	3.4	2.2
June	32.3	24.3	66.6	86.9	4.5	1.5
July	29.1	9.3	81.2	79.4	1.5	0.5
August	39.0	8.7	76.2	92.8	3.9	0.6
September	8.0	4.8	45.2	46.8	1.6	0.4
October	9.2	0.0	24.0	32.7	0.1	0.4
November	0.0	0.0	5.4	24.6	0.0	0.2
Ave.	18.7	9.0	45.2	62.8	1.8	0.8

2) H1: 조도측정계 Testo-540의 측정범위는 0~999,99lux로 측정수치가 측정범위 한계를 넘으면 H1으로 표시됨.

Table 4. Monthly growth status.

Classification	<i>Sedum kamtschaticum</i>	<i>Sedum sarmentosum</i>	<i>Sedum takesimense</i>	<i>Sedum middendorffianum</i>	Blue spruce	<i>Sedum album</i>
March	-	-	-	-	-	-
April	○	○	○	○	-	-
May	○	-	◎	◎	-	-
June	○	-	◎	◎	-	-
July	○	-	◎	◎	-	-
August	○	-	◎	◎	-	-
September	-	-	○	○	-	-
October	-	-	○	○	-	-
November	-	-	-	-	-	-

Superior: ◎, Good: ○, Poor: -.

피복률이 81.2%로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 기린초(*Sedum kamtschaticum*)의 경우 8월의 피복률이 39%로 가장 높은 것으로 조사되었다. 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)를 제외하고 들나물(*Sedum sarmentosum*), 은청세덤(Blue spruce), 흰꽃세덤(*Sedum album*)의 지상부 피복률이 높지 않은 것으로 나타났다(Table 3).

들나물(*Sedum sarmentosum*)의 경우 4월의 신초상태는 양호하였으나, 5월부터 생장이 저조한 것으로 조사되었으며, 은청세덤(Blue spruce)과 흰꽃세덤(*Sedum album*)은 생장이 저조하여 육안으로 생존 사실만 확인이 가능하였다(Table 4).

대상지 내 식재된 세덤류 중 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)가 번식 및 증식이 우수하고, 피복률이 높아 생육상태가 가장 우수한 것으로 나타났다.

향후 건조하고 척박한 옥상녹화지에 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*), 기린초(*Sedum kamtschaticum*)의 선정을 통한 식재계획이 가능할 것이라 판단된다.

3. 표면온도분석

콘크리트와 세덤류 표면온도 분석 결과 3월의 경우 세덤류 식물 표면온도가 높은 것으로 나타났으며, 4월부터 콘크리트 온도보다 식물 표면온도가 낮은 것으로 나타났다. 특히 대기온도가 높아지기 시작하는 5월의 경우 콘크리트의 표면 온도와 세덤류의 표면온도가 급격히 높아지는 것으로 조사되었다. 콘크리트와 비교하여 표면온도 차이가 최소 5.6°C, 최고 8.1°C로 나타났으며, 세덤류의 온도조절 효과가 뚜렷하게 나타나고 있는 것으로 판단된다(Figure 3).

6월에서 8월의 경우 콘크리트 표면 온도가 각 40.8°C, 40.1°C, 43.3°C로 나타났다. 표면 온도차는 6월의 경우 최소 5.6°C, 최대 8.7°C의 온도 차이를 보였으며, 7월의 경우 최소 3.7°C, 최대 6.9°C의 온도 차이를 보였다. 8월의 경우 최소 6.8°C, 최대 12.1°C로 가장 높은 온도 차이를 보였다. 특히 6월, 7월의 경우 기린초(*Sedum kamtschaticum*)가 32.0°C, 33.1°C로 표면온도가 가장 낮게 측정되었으며, 8월의 경우 섬기린초(*Sedum takesimense*)가 31.2°C로 표면온도가 가장 낮게 측정되었다. 이는 기린초(*Sedum kamtschaticum*)와 섬기린초(*Sedum takesimense*)

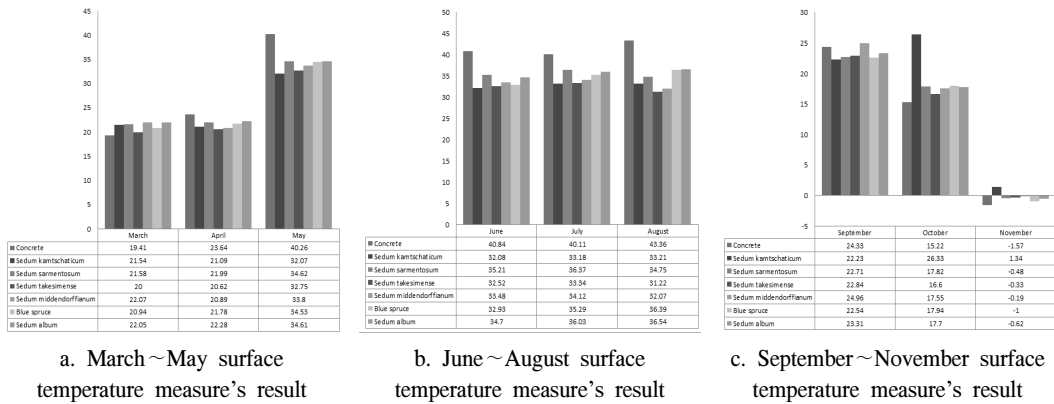


Figure 3. Surface temperature measure's result of month.

의 토양 피복률이 높고 생육상태가 양호하기 때문에 나타난 결과로 판단된다(Figure 3).

9월의 경우 콘크리트의 표면온도가 24.3°C로 비교적 낮게 측정되었으며, 세덤류 표면온도가 콘크리트의 표면온도보다 낮은 것으로 조사되었다. 10월과 11월의 경우 콘크리트 표면온도에 비하여 세덤류 표면온도가 높은 것으로 나타났으며, 10월의 경우 기린초(*Sedum kamtschaticum*)가 26.3°C로 가장 높은 것으로 조사되었다. 대기온도가 낮아지기 시작하는 11월의 경우 기린초(*Sedum kamtschaticum*)가 1.3°C로 표면온도가 가장 높은 것으로 조사되었다(Figure 3).

표면온도 분석결과 하절기(5월~8월)에 대부분의 세덤류 식재구에 온도저감효과가 있는 것으로 조사되었다. 특히 섬기린초(*Sedum takesimensis*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*), 기린초(*Sedum kamtschaticum*)의 온도저감효과가 우수한 것으로 조사되었는데, 이는 초장이 증가하다가 가장자리 가치가 누우면서 서서히 피복면적을 확장하고, 식재지에서 크게 벗어나지 않는 조밀한 피복형태(Jang, 2010) 로 인한 결과라고 사료된다.

조사 결과를 바탕으로 온도저감 및 조절 효과를 목적으로 조성되는 옥상녹화 식재 수종으로 기린초(*Sedum kamtschaticum*)와 섬기린초(*Sedum takesimensis*)의 선정이 가능할 것이라 판단된다.

4. 세덤류 수종 별 온도관계 분석

세덤류의 수종에 따른 표면온도와 콘크리트 표면온도의 평균값의 온도관계가 통계적으로 유의한지 여부를 확인하고자 일원배치 분산분석을 시행하였다. 분석 결과 유의수준 0.05를 기준으로 3월~11에 대한 유의수준은 p=0.000로 나타나 통계적으로 유의한 것으로 나타났으나, 10월은 유의확률이 0.098로 나타나 유의하지 않을 것으로 나타났다. 이 후 사후검정(Duncan)을 통하여 세덤류의 수종 별 온도관계를 분석하였다(Table 5).

3월의 경우, 세덤류와 콘크리트간의 통계적 차이는 있는 것으로 나타났으나, 세덤류별 간의 표면온도 차이는 명확하지 않은 것으로 나타났다. 이는 신초가 아직 발생하지 않은 식물이 많은 것에서 기인된 것으로 보이며, 세덤류 중 섬기린초(*Sedum takesimensis*)가 가장 낮은 표면온도로 나타났다.

4월의 경우, 통계적 차이는 나타났으나, 세덤류별 간에 표면온도 차이는 명확하지 않았다. 그러나 콘크리트의 표면온도와 비교하여 세덤류의 표면온도가 낮은 것으로 나타났다. 세덤류의 표면온도 조사 결과 섬기린초(*Sedum takesimensis*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*) 순으로 표면온도가 낮게 측정되었으며, 이는 해당 식물의 피복률이 다른 세덤류 보다 높은 것

Table 5. Significance test of surface temperature (post-hoc comparison: Duncan).

Classification	March	April	May	June	July	August	September	October	November
Concrete	19.4 a	23.6 e	40.2 c	40.8 e	40.1 e	43.3 e	24.3 c	15.2 a	-1.5 a
<i>Sedum kamschaticum</i>	21.5 bc	21.0 b	32.0 a	32.0 a	33.1 a	33.2 b	22.2 a	26.3 b	1.3 d
<i>Sedum sarmentosum</i>	21.5 bc	21.9 cd	34.6 b	35.2 d	36.3 d	34.7 c	22.7 ab	17.8 ab	-0.4 c
<i>Sedum takesimense</i>	20.0 a	20.6 a	32.7 a	32.5 ab	33.3 a	31.2 a	22.8 ab	16.6 a	-0.3 c
<i>Sedum middendorffianum</i>	22.0 c	20.8 ab	33.8 b	33.4 c	34.1 b	32.0 a	24.9 c	17.5 ab	-0.1 c
Blue spruce	20.9 b	21.7 c	34.5 b	32.9 bc	35.2 c	36.3 d	22.5 ab	17.9 ab	-1.0 b
<i>Sedum album</i>	22.0 c	22.2 d	34.6 b	34.7 d	36.0 cd	36.5 d	23.3 b	17.7 ab	-0.6 bc

* $p < 0.05$

으로 인해 나타난 결과로 판단된다.

5월의 경우, 세덤류별 표면온도가 확연하게 차이를 보이는 것으로 나타났다. 세덤류의 표면 온도 조사 결과 기린초(*Sedum kamschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*) 순으로 표면온도 값이 낮게 측정되었으며 콘크리트의 표면온도 값이 가장 높게 나타났다. 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)의 경우 생육상태가 우수하며 피복률이 가장 높게 나타났으나, 기린초(*Sedum kamschaticum*)와 섬기린초(*Sedum takesimense*)에 비해 표면온도가 약 1°C 높은 것으로 조사되었다. 이는 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)가 상대적으로 키가 작은 세덤류에 속해 기인된 결과인 것으로 판단된다. 이에 기린초(*Sedum kamschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)의 혼합식재 계획을 통해 온도 조절 효과를 증대시킬 수 있을 것이라 사료된다.

6월과 7월의 경우, 집단 간에 분명하게 식물이 나누어지지 않아 표면온도 차이가 확연하지 않으나 세덤류의 표면온도가 콘크리트 표면온도보다 낮게 측정되어 온도저감에 효과가 나타나는 것으로 판단된다. 기린초(*Sedum kamschaticum*)

와 섬기린초(*Sedum takesimense*)가 6월, 7월 모두 표면온도가 낮게 측정되어 온도저감 효과가 비교적 높은 식물인 것으로 조사되었다.

8월의 경우, 세덤류별과 콘크리트 집단 간 차이가 분명하게 보였으며 세덤류의 표면온도 조사 결과 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*) 순으로 표면온도가 낮게 측정되었다. 섬기린초(*Sedum takesimense*)와 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)는 생육상태가 우수하고, 피복률이 다른 세덤류에 비해 높아 온도저감 효과가 좋게 나타난 것으로 판단된다.

9월의 경우 통계적 차이는 있었으나, 세덤류별과 콘크리트 표면온도 간의 차이는 확연하게 나타나지 않았다. 각 표면온도 간에 대한 특성은 규명하기 어려우나, 세덤류가 전반적으로 콘크리트 보다 표면온도가 낮은 것으로 나타났다.

10월의 경우, 통계적인 차이가 나타나지 않아 집단별로 유의성이 확인되지 않았으나 세덤류의 표면온도가 콘크리트 표면온도 보다 상대적으로 낮게 조사되었다.

11월의 경우, 집단 간에 차이가 분명하지 않아 세덤류별 특성은 미비한 것으로 분석되었다.

대기온도가 낮아지는 시점임을 고려하여 분석한 결과 콘크리트의 표면온도가 세덤류의 표면온도보다 낮은 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 세덤류의 동절기 건축물 온도조절 및 유지효과와 관련된 기초자료로 활용 가능 할 것이라 판단된다.

세덤류의 표면온도와 콘크리트 표면온도의 유의성 분석결과 콘크리트와 비교하여 전반적으로 생육이 우수한 세덤류의 표면온도가 낮은 것으로 나타났으며, 식재된 세덤류 중 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)의 온도조절효과가 상대적으로 우수한 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 옥상의 표면온도 조절을 위한 식물 식재시 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)의 식물선정이 가능할 것으로 판단된다.

5. 세덤류 생육상태와 표면온도 관계 분석

세덤류별 생육상태와 표면온도 조사결과를

바탕으로 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 6). 생육상태가 우수한 것으로 조사된 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)의 경우 상관계수가 각각 0.815 ($p < 0.01$), 0.802($p < 0.01$)로 표면온도와 강한 상관관계가 나타났다. 세덤류의 생육상태와 표면온도의 상관관계분석 결과 세덤의 생육상태가 우수할수록 온도조절효과가 좋은 것으로 조사되었다.

6. 종합분석

본 연구의 분석결과 대부분의 세덤류 실험구에서 온도 저감 및 조절효과가 확인되었으며 특히 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*) 실험구에서 우수한 온도저감 및 조절효과가 있는 것으로 조사되었다. 온도저감 및 조절효과가 우수한 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*)의 경우 다른 세덤류보다 생육상태가 우수하고, 피복률이 높은 것으로 나타나, 생

Table 6. Correlations between growth status and surface temperature.

Classification	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. <i>Sedum kamtschaticum</i> growth	1											
2. <i>Sedum sarmentosum</i> growth	.316	1										
3. <i>Sedum takesimense</i> growth	.625	-.449	1									
4. <i>Sedum middendorffianum</i> growth	.625	-.449	1.000	1								
5. Blue spruce growth	.632	-.250	.718	.718	1							
6. <i>Sedum album</i> growth	.632	-.250	.718	.718	1.000	1						
7. <i>Sedum kamtschaticum</i> surface temperature	.645	-.136	.817	.817	.592	.592	1					
8. <i>Sedum sarmentosum</i> surface temperature	.756	-.093	.820	.820	.657	.657	.959	1				
9. <i>Sedum takesimense</i> surface temperature	.737	-.091	.815**	.815	.622	.622	.955	.998	1			
10. <i>Sedum middendorffianum</i> surface temperature	.699	-.115	.802	.802**	.600	.600	.953	.994	.998	1		
11. Blue spruce surface temperature	.752	-.088	.819	.819	.644	.644	.963	.996	.993	.989	1	
12. <i>Sedum album</i> surface temperature	.751	-.090	.813	.813	.656	.656	.958	.998	.995	.992	.999	1

** $p < 0.01$

육상태가 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

육상녹화의 온도저감은 식물이 만드는 녹음과 증산작용, 광합성 작용에 따라 일어나며(Lee et al., 2005), 식물에 의해 만들어진 그늘로 인하여 한낮동안 태양열을 차단하는 역할을 한다(Wong et al., 2003).

이에 생육상태가 우수한 것으로 조사된 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)를 밀식하여 피복률을 증가시킬수록 증산작용과 광합성 작용에 의해 육상녹화의 온도저감 및 조절 효과를 볼 수 있을 것이라 판단된다.

또한 다양한 식물을 식재하여 저관리형 육상녹화 조성 할 경우 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)를 다른 식물과 혼합 식재하는 방법을 통하여 육상녹화의 온도조절효과를 더 높일 수 있을 것이라 사료된다.

IV. 결 론

육상녹화에 식재된 세덤류의 온도조절효과에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)가 식재된 실험구에서 상대적으로 높은 표면온도저감효과가 나타나고, 실험 기간 동안 그 효과가 안정적으로 유지되었던 이유로 식물의 생육상태가 연관이 있는 것으로 조사되었다.

둘째, 온도조절효과를 목적으로 조성되는 육상녹화에 식재 가능한 세덤류 수종으로 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 섬기린초(*Sedum takesimense*), 애기기린초(*Sedum middendorffianum*)의 선정이 가능하며, 이러한 세덤 식재는 육상녹화의 온도 조절 효과를 극대화 시킬 수 있을 것이다.

셋째, 다양한 종류의 세덤 식재와, 식재밀도를 높이면 육상녹화의 안정적인 온도조절효과 및 온도유지 효과를 가져 올 수 있을 것이라 판

단된다.

본 연구는 적외선 열화상카메라를 이용하여 표면온도측정을 통한 온도조절효과 연구로 외부환경에 영향을 많이 받는 한계점이 있으나, 향후 지열온도센서를 사용한 온도 모니터링 방법의 보완 및 지속적인 모니터링을 통하여 육상녹화의 온도저감 및 온도조절효과에 효과적인 세덤류 선정의 기초자료로 역할을 할 것이라 사료된다. 또한, 본 연구에서는 2차원 면적과 표면온도와의 관계를 분석하여 열전도 영향 분석에 대한 한계가 있어, 3차원적 부피와 식재 열전도에 관한 후속 연구가 진행되어야 할 것이라 판단된다.

References

- Durhman AK · Rowe DB and Rugh CL. 2006. Effect of Watering Regimen on Chlorophyll Fluorescence and Growth of Selected Green Roof Plant Taxa. HortScience. 41: 1623-1628.
- English Nature. 2003. Green roofs: Their Existing Status and Potential for Conserving Biodiversity in Urban Areas. English Nature Report No. 498. English nature. Peterborough.
- Goh AR · Jang HG and Lee EH. 2009. Analysis of Growth Pattern of Sedum genus in Roof Garden for Derivation of Planting Density. Journal of Korean Society of Environment and Ecology. 19(1): 149-151.
- Ha HY. 2002. Development of Roof Garden Materials Using Sedum genus. Master's Thesis, Hankyong National University.
- Jang HK. 2010. A Study of Planting Models for Extensive Green Roof System with Plant Growth Characteristics. Ph.D dissertation, Seoul Women's University.
- Jang HK and Lee EH. 2011. Covering types and covering ratio changes of planted species on

- an extensive green roof. *Journal of the Korean Society of Environment and Ecology*. 25(3): 404-411.
- Kang KY and Lee EH. 2005. The study on native plants and planting soil for extensive rooftop greening. *Journal of the Korean Environmental Restoration Revegetation Technology*. 8: 23-31.
- Kim DH · Lee KW · Lee JY · Seok YC and Huh MR. 2009. The Study on Temperature Reduction and Survey of Roof Garden in Gaho-dong, Jinju City. *Journal of the Korean Society People Plants Environment*. 12(3): 39-44.
- Kim IH and Huh KY. 2003. Growth Characteristics of *Sedum oryzifolium* in Extensive Green Roof Systems. *Journal of the Korean Horticulture Science Technology*. 21(4): 346-352.
- Kim IH · Huh KY and Huh MR. 2010. Cold Tolerance Assessment of Sedum Species for Shallow-Extensive Green Roof System. *Journal of Korea Horticulture Science Technology*. 28(1): 22-30.
- Kim JH · Kwon KU · Joo CH and Yoon YH. 2014. Comparative of Energy-Saving by Green Roof Type on Urban Office Building. *Journal of Environmental Science International*. 23(8): 1437-1446.
- Kim MH · Bang KJ · Ju JH and Han SW. 2003. Effects of Light-Weight Soil Mixture and Depth on the Three Native Plants in Extensive Roof Garden. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 31: 101-107.
- Kim SC and Park BJ. 2012. Assessment of Heat budget of Extensive Modular Green Roof System with *Sedum Sarcmentosum*. *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference*. 21: 462-463.
- Kim YS. The Change of Plant Growth and Media by Genus Sedum in a Less Intensive and Light Weight Rooftop Afforestation System. *Journal of Korea Flower Research Society*. 15(3): 169-173.
- Kim YS and Lee JS. 2005. Selection of Appropriateness Genus Sedum Low Management and Light Weight Rooftop Greening. *Journal of Korea Flower Research Society*. 13(1): 14-20.
- Lee CW · Kim SB and Moon HS. 2011. A Study on the Analysis of Temperature Reduction Effect by the Types of the Green Roof. *Journal of the Korean Housing Association*. 22(3): 25-33.
- Lee DK · Yoon SW · Oh SH and Jang SW. 2005. The Effect of Temperature Reduction as Influenced by Rooftop Greening. *Journal of the Korean Environmental Restoration and Revegetation Technology*. 8(6): 34-44.
- Lee EH · Jo EJ · Park MY · Kim DW and Jang SW. An Analysis on Covering Shape of the Ground Cover Plants for Rooftop Greening. *Journal of the Korean Society of Environment and Ecology*. 2007(1): 215-218.
- Lee JS · Kim YS and Ro SM. 2005. The Change of Growth for 3 years of No Management in Less Intensive and Lightweight Rooftop Afforestation System Made Genus Sedum. *Korean journal of horticultural science & technology*. 23: 64.
- Ministry of Environment. 2008. Technology Development for Restoration Natural Ecosystem of Urban Artificial Ground Final Report.
- Nagase A and Dunnett N. 2010. Drought Tolerance in Different Vegetation Types for Extensive Green Roofs: Effects of Watering and Diversity. *Landscape Urban Planning*. 97:

- 318-327.
- Oh SH. 2006. The Analysis of Temperature Reduction Effect of an Extensive Greenroof. Master's Thesis, Seoul National University.
- Park JH. 2013. Air temperature reduction effects of small green spaces in urban blocks of Seoul, Korea. Master's Thesis, Seoul National University.
- Puay YT and Sia A. 2005. A Pilot Green Roof Research Project in Singapore. Green Roof Conference.
- Wong NH · Chen Y · Ong CL and Sia A. 2003. Investigation of Thermal Benefits of Rooftop Garden in the Tropical Environment. *Energy and Building*. 38: 261-270.
- Wong NH · Tan AY · Chen K · Sekar Y · Tan K · Chan PY · Chiang DK and Wong NC. 2010. Thermal Evaluation of Vertical Greenery Systems for Building Walls. *Building Environment*. 45: 663-672.
- Youn HJ · Jang SW and Lee EH. 2013. Temperature Monitoring of Vegetation Models for the Extensive Green Roof. *Journal of the Korea institute of Ecological Architecture and Environment*. 13(5): 89-96.