Journal of Environmental Science International
22(11); 1443~1449; November 2013

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2013.22.11.1443

ORIGINAL ARTICLE

한국잔디식재 옥상녹화의 온도저감 및 증발산량 평가

김세창 · 이현정[1] · 박봉주*

충북대학교 원예과학과, [1]충북대학교 주거환경학과

Assessment of Temperature Reduction and Evapotranspiration of Green Roof Planted with *Zoysia japonica*

Se-Chang Kim, Hyun-Jeong Lee[1], Bong-Ju Park*

Department of Horticultural Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea
[1]Department of Housing & Interior Design, Cheongju 361-763, Korea

Abstract

This was an experimental study to evaluate temperature reduction and evapotranspiration of extensive green roof. Three test cells with a dimension of 1.2(W)×1.2(D)×1.0(H) meters were built using 4-inch concrete blocks. Ten-centimeter concrete slab was installed on top of each cell. The first cell was control cell with no green roof installed. The second and third cells were covered with medium-leaf type Zoysiagrass (*Zoysia japonica*) above a layer of soil. Soil thickness on the second cell was 10cm and that on the third cell was 20cm. Air temperature, relative humidity and solar irradiance were measured using AWS (automatic weather system). Temperature on top surface and ceiling of the control cell and temperature on top surface, below soil and ceiling of green roof cells was measured. Evapotranspiration of the green roof cells were measured using weight changes. Compared with temperature difference on the control cell, temperature difference was greater on green roof cells. Between two green roof cells, the temperature difference was greater on the third cell with a thicker soil layer. Temperature differences below soil and on ceilings of green roof cells were found greater than those of the control cell. Between the green roof cells, there was no difference in the temperature reduction effects below soil and on ceilings based on substrate depth. In summary, green roof was found effective in temperature reduction due to evapotranspiration and shading effect.

Key words : Urban heat island, Solar irradiance, Surface temperature, Shading effect, *Zoysia japonica*

1. 서 론

급격한 도시화로 도시 내 건축물과 인구의 밀집화 현상은 태양열의 흡수가 용이하고 대량의 열을 복사시켜 건축물의 온도와 주변의 온도까지 상승시켜 주변 교외지역보다 약 3℃정도 온도가 높아지는 도시열섬현상(urban heat island)과 같은 환경문제를 발생시켰다(Wong 등, 2003; Ling 등, 2011). 이러한 문제를 해결하기 위해서는 도시 내 넓은 면적의 녹지를 조성하는 것이 가장 바람직하나, 현실적으로 높은 지가와 토지확보의 어려움으로 추가적인 녹지를 확보하기가 어려운 실정이다. 옥상녹화, 벽면녹화와 같은 건축물 녹화는 녹지확충이 어려운 상황에서 도시열섬현상을 해결할 수 있는 하나의 대안으로 주목을 받고 있다

Received 14 March, 2013; **Revised** 8 April, 2013;
Accepted 9 May, 2013
***Corresponding author** : Bong-Ju Park, Department of Horticultural Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea
Phone: +82-43-261-2528
E-mail: bjpak@chungbuk.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
ⓒ 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.

(Kim, 2012). 서울시의 경우, 옥상녹화가능 면적이 도시화지역의 70%에 해당하는 약 253.59 ㎢로 보고되었으며, 이 중에서 현실적으로 가능한 녹화지역은 200 ㎢이상으로 예측되고 있다(Park 등, 2010).

옥상녹화를 추진하는 데 있어 제한 요인 중 하나는 건축물에 부가되는 하중이다. 일반적인 기존 건축물의 하중제한은 200 ㎏/㎡이나, 비상시 피난의 장소로 인간의 하중을 제외하면 허용하중으로 100 ㎏/㎡를 산정한다. 따라서 기존 건축물에 옥상녹화 조성은 위험부담을 지니기 때문에 기존 건축물에 적용이 가능하며, 관리 · 유지가 용이한 저관리 · 경량형 옥상녹화(extensive green roof)가 주목 받고 있다(Park 등, 2010). 그러나 저관리 · 경량형 옥상녹화 시스템은 낮은 토심으로 인하여 식물의 수분 이용효율이 떨어지기 때문에 천근성 식물이면서 척박한 생육환경에 대한 내성을 지닌 기린초, 돌나물, 땅채송화와 같은 *Sedum*속 식물들이 많이 이용되고 있다(Bang 등, 2004). 대부분의 *Sedum*속 식물은 CAM형의 광합성 특성으로 밤에는 CO_2를 취하며, 낮 동안에는 광합성경로를 통하여 기공을 닫아 증산작용을 억제 하여 건조로 인한 탈수현상을 피해 내건성은 우수하지만(Thuring 등, 2010), 이로 인해 낮 동안 증산량이 적기 때문에 잠열의 소비가 적어 도시열섬현상 및 미기후 완화효과가 다른 식물에 비해 효과가 적은 것으로 알려져 있다(Durhman 등, 2006).

잔디는 저관리 · 경량형 옥상녹화에 적용가능성이 높으며, 하절기와 동절기 식물생육과 관리에도 용이하며(Koh 등, 2009), 잔디를 이용한 옥상녹화 조성 시 순복사량에 대한 잠열의 비율이 평균 96.5%까지 발생하여, 주위 온도를 상승시키는 현열 발생량을 감소시켜 열수지를 변화시키는 것으로 보고되고 있다(Jones와 Suckling, 1983). 본 연구는 건축물의 온열환경 개선을 위하여 옥상녹화 소재로서 한국잔디를 선정하여 토심에 따른 온도저감 및 증발산량을 정량화하여 향후 옥상녹화에 한국잔디 도입 시 최저한의 식재기반 정비를 위한 기초자료를 제시하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험구 조성

2011년 6월에 충북대학교 부속농장 2층 옥상에 원활한 배수를 위하여 전기드릴로 바닥에 24개의 구멍을 뚫은 황색 플라스틱 상자를 이용하여 토심 10 cm (용기 외부 450(W)×270(D)×120(H) mm)와 20 cm (용기 외부 445(W)×273(D)×200(H) mm)의 실험구를 각각 15개씩 조성한 후, 부직포를 깔고 펄라이트(파라소, 경동세라텍, Korea):피트모스(BP-F, Berger, Canada):원예용상토(원조믹스, 농경, Korea)를 6:3:1(v:v:v)의 비율로 혼합하여 식재기반을 조성하였다. 식물재료는 시중 원예점에서 판매하는 중엽형 한국잔디(*Zoysia japonica*)를 구입하여 사용하였으며, 식물의 초기 활착 시기에는 1주에 2회의 빈도로 두상관수하였으며, 그 밖의 기간에는 자연강우에 의존하여 1년간 옥상에서 재배하였다.

2012년 4월에 4인치 콘크리트 블록(100×190×390 mm)을 이용하여 1.2(L)×1.2(W)×1.0(H) m 크기의 모의실험구를 제작한 다음, 지붕에는 10 cm의 두께로 별도의 콘크리트 판을 만들어 시공하였다. 1년간 재배된 토심 10 cm와 20 cm의 한국잔디를 식재한 플라스틱 용기를 모의실험구에 올려 옥상녹화실험구(이하, 토심 10 cm 실험구와 토심 20 cm 실험구라 한다)로 하였으며, 옥상녹화를 실시하지 않은 다른 하나의 모의실험구는 대조구로 하였다(Fig. 1).

2.2. 측정항목 및 분석

2.2.1. 기상환경

실험기간 옥상의 외부 기상 조건은 자동기상관측장비(AWS)를 이용하여 온 · 습도, 일사량, 풍향, 풍속, 강우량 등을 측정하였다. 높이 3 m의 폴대 최상부에 풍향 · 풍속계를 설치하였으며, 일사계(2 m 높이), 통풍식온습도계(1.5 m 높이)를 설치하여 측정하였다.

2.2.2. 온도저감

옥상녹화에 따른 온도저감효과를 살펴보기 위하여 T형 열전대(Ø 0.32 mm, DOO KWANG MFG, Korea)를 이용하여 대조구(표면, 내부 천정면)와 옥상녹화 실험구(표면, 하부, 내부 천정면)의 온도를 2012년 6월25일부터 26일까지 48시간 동안 연속하여 측정하였다. 데이터는 데이터로거(DT80, dataTaker, UK)를 이용하여 1분마다 측정하여 30분 평균값을 저장하였다(Fig. 1).

2.2.3. 증발산량

옥상녹화 토심에 따른 증발산량은 한국잔디를 식

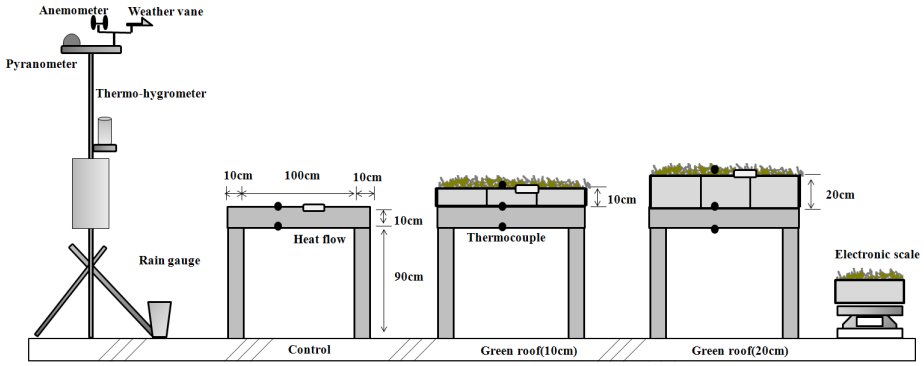

Fig. 1. Observation points of experimental setup for the green roof study.

재한 토심 10 cm와 토심 20 cm의 플라스틱 상자 하나씩 이용하여 구하였다. 즉, 측정하기 전에 충분한 양의 물을 관수한 다음 중력수가 빠져나간 24시간 후 전자저울(EC-D, CAS, Korea)을 이용하여 30분단위로 데이터로거에 연결하여 자동계측하였다. 이것을 용기로부터의 증발산량으로 간주하고 면적비율로 1 ㎡ 당 증발산량으로 환산하였다(Ohno 등, 2006).

3. 결과 및 고찰

3.1. 기상환경

측정기간 동안의 기상환경은 Fig. 2와 같다. 6월 25일과 6월 26일의 일 최고기온은 각각 28.9℃와 27.8℃이었으며, 평균기온은 23.9℃로 청주기상의 평년(평균기온 23.3℃)과 유사하였다. 2일간의 평균 상대습도는 54.8%이었으며, 일 최고 상대습도는 6월 25일 59.9%, 6월 26일 65.1%이었다. 최고 일사량은 6월 25일 872.5 W/㎡, 6월 26일 737.9 W/㎡로 기온 변화와 유사한 경향을 보였다.

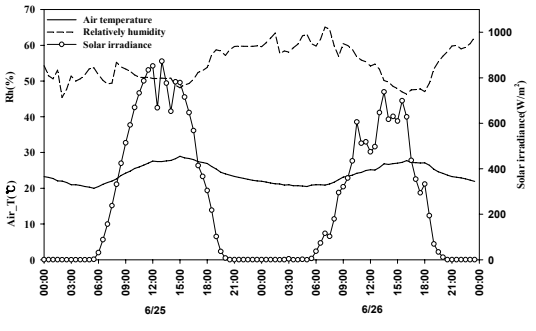

Fig. 2. Air temperature, relatively humidity and solar irradiance at study site (June 25-26, 2012).

3.2. 온도저감

옥상녹화 조성에 따른 온도저감효과를 살펴보면, 표면 온도는 6월 25일 기온이 28.9℃로 가장 높았던 15:00시에 대조구는 48.6℃로 나타난 반면, 토심 10 cm 실험구는 42.7℃, 토심 20 cm 실험구는 29.9℃로 각각 5.9℃와 18.7℃의 온도차이가 나타났다. 6월 26일에는 27.8℃로 최고기온을 나타낸 16:00시에 대조구는 44.2℃로 나타났으며, 토심 10 cm 실험구는 42.8℃, 토심 20 cm 실험구는 27.7℃로 각각 1.4℃와 16.5℃의 온도차이가 나타나, 옥상녹화 조성에 의한 온도차이가 확인되었으며, 토심이 깊어질수록 온도저감효과가 증가하는 경향을 보였다. 이는 식재층의 식물과 토양에 의한 증발산량이 증가하여 토양표면의 온도를 낮춰주고(Onmura 등, 2001), 엽면적지수에 의한 열차단과 토양표면 위의 그늘 형성으로 인한 온도상승을 억제했기 때문으로 판단된다(Wong 등, 2003; Jim, 2012).

같은 시각 토양 하부의 온도는 6월 25일에는 토심 10 cm 실험구에서 28.0℃로 나타났으며, 토심 20 cm 실험구에서 26.7℃로 토심에 의한 온도 차이는 1.3℃로 크게 나타나지 않았다. 6월 26일에는 토심 10 cm 실험구에서 27.5℃, 토심 20 cm 실험구에서 25.9℃로 1.6℃의 온도 차이를 보여 표면온도와 비교하면 토심에 의한 온도 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 같은 시각 모의실험구 내부의 천정면 온도는 6월 25

Table 1. Temperature in each observation point at the hottest time on June 25-26, 2012

	Ceiling (℃)		Concrete surface (℃)		Below soil (℃)		Soil surface (℃)	
	June 25 (15:00[z])	June 26 (16:00)	June 25	June 26	June 25	June 26	June 25	June 26
Control	40.7	38.3	48.6	44.2	-	-	-	-
10 cm soil depth	29.1	28.0	-	-	28.0	27.5	42.7	42.8
20 cm soil depth	28.7	27.5	-	-	26.7	25.9	29.9	27.7

[z]Time of highest temperature(hh:mm)

일의 경우 대조구에서는 40.7℃로 측정되었으며, 토심 10 cm 실험구에서는 29.1℃, 토심 20 cm 실험구에서는 28.7℃로 각각 11.6℃와 12.0℃의 온도차이를 나타냈으며, 6월 26일은 대조구에서는 38.3℃를 보였으며, 토심 10 cm 실험구에서는 28.0℃, 토심 20 cm 실험구에서는 27.5℃로 각각 10.3℃와 10.8℃의 온도차이가 나타났다(Table 1). 토양하부와 마찬가지로 옥상녹화에 의한 온도차이는 확인되었지만, 토심에 의한 온도차는 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 건축물의 하중문제를 고려할 경우 식물생육에 큰 문제가 없다면 낮은 토심에서도 온도저감효과를 얻을 수 있을 것으로 예측된다.

각 측정 지점의 온도변화폭을 살펴보면 표면의 경우 대조구는 6월 25일 31.9℃, 6월26일 26.4℃의 온도변화를 나타냈다. 토심 10 cm 실험구는 6월 25일 27.7℃, 6월 26일 26.8℃의 온도변화를 나타냈으며, 토심 20 cm 실험구는 6월 25일 18.7℃, 6월 26일 11.7℃의 온도변화를 보여 옥상녹화 조성과 토심이 깊을수록 온도변화 폭이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 토양하부의 경우 토심 10 cm 실험구는 6월 25일 6.3℃, 6월 26일 5.8℃이며, 토심 20 cm 실험구는 6월 25일 5.2℃, 6월 26일 4.6℃의 온도변화폭을 나타냈다. 모의실험구 내부 천정면은 대조구가 6월 25일 21.6℃, 6월 26일 18.2℃이며, 토심 10 cm 실험구가 6월 25일 6.7℃, 6월 26일 6.0℃, 토심 20 cm 실험구가 6월 25일 5.7℃, 6월 26일 4.9℃의 온도변화폭을 나타냈다(Table 2). 표면과 비교하여 모의실험구 내부 천정면의 온도변화는 토심에 의한 차이가 크지 않았다. 이와 같은 온도변화의 감소는 건축물 내부의 안정된 열환경을 조성함으로써 냉 · 난방에너지의 이용을 줄여 비

Table 2. Temperature comparison among the experimental plots on June 25-26, 2012

Plot		Average temperature (℃)		Range of temperature (℃)		Difference in temperature (℃)		Time of highest temperature (hh:mm)		Time lag[z]	
		June 25	June 26	June 25	June 26	June 25	June 26	June 25	June 26	June 25	June 26
Air temperature		24.3	23.6	20.0-28.9	20.5-27.8	8.9	7.3	15:00	14:30	±0:00	±0:00
Control	Ceiling	29.5	28.1	19.5-41.1	20.7-38.9	21.6	18.2	15:30	16:30	+0:30	+2:00
	Concrete surface	29.8	29.7	16.7-48.6	18.3-44.7	31.9	26.4	15:00	15:30	±0:00	+1:30
10 cm soil depth	Ceiling	27.1	26.3	23.7-30.4	23.6-29.6	6.7	6.0	18:00	19:00	+3:00	+4:30
	Below soil	26.8	26.3	23.5-29.9	23.6-29.4	6.3	5.8	16:30	19:00	+1:30	+4:30
	Soil surface	25.9	27.3	15.0-42.7	16.9-43.7	27.7	26.8	15:00	15:30	±0:00	+1:00
20 cm soil depth	Ceiling	26.9	26.1	24.0-29.7	23.8-28.7	5.7	4.9	18:00	19:00	+3:00	+4:30
	Below soil	26.3	25.6	23.7-28.9	23.5-28.1	5.2	4.6	19:30	19:30	+4:30	+5:00
	Soil surface	23.4	22.7	15.2-33.9	16.9-28.6	18.7	11.7	15:00	14:30	±0:00	±0:00

[z]The time lag is the lagged time of the highest temperature obtained compared with the highest air temperature.

용절감에 효과적일 것으로 판단된다(Chen 등, 2004).

기온, 대조구 표면, 옥상녹화 표면이 서로 같은 시간에 가장 높은 온도를 보였으나, 옥상녹화 하부와 모의실험구 내부 천정면의 온도 최고점은 3시간에서 4시간30분 정도 지연되는 현상을 보였다. 이는 옥상녹화 조성으로 인하여 식재기반인 토양층에 의해서 건축물로 유입되는 전도열을 지연시켰기 때문인 것으로 사료된다(Lin과 Lin, 2005).

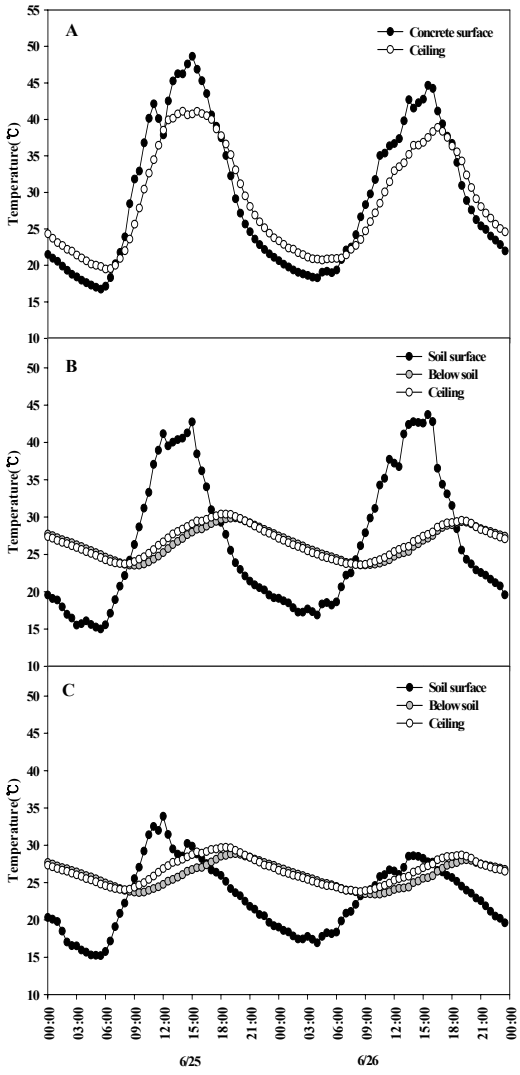

Fig. 3. Change in temperatures at each point in experimental plots (A, Control; B, Soil depth of 10 cm; C, Soil depth of 20 cm).

3.3. 증발산량

한국잔디를 식재한 옥상녹화실험구의 증발산량 측정결과, 일반적으로 일사량이 증가함에 따라 증발산량도 증가하는 것으로 나타났다. 토심 10 cm 실험구의 일적산 증발산량은 6월 25일 2,688.3 g/㎡, 6월 26일 1,169.9 g/㎡로 48시간 동안 총 증발산량은 3,858.2 g/㎡로 나타났다. 일중 최대 증발산량은 25일 13:00시에 232.3 g/㎡로 조사되었으며, 6월 26일에는 6월 25일과 비교하여 증발산량이 감소하는 것으로 나타났다.

토심 20 cm 실험구의 일적산 증발산량은 6월 25일 3,266.4 g/㎡, 6월 26일 2,533.4 g/㎡로 48시간 동안 총 증발산량은 5,800.0 g/㎡이었다. 일중 최대 증발산량은 6월 25일 15:30분에 262.9 g/㎡로 조사되었다. 토심 20 cm 실험구의 총 증발산량은 토심 10 cm 실험구와 비교하여 1,941.8 g/㎡이 더 많은 것으로 나타났다. 옥상녹화 식재층에 의한 증발산은 잠열의 형성으로 인하여 현열 및 전도열의 발생을 줄여줄 수 있기 때문에(Ono 등, 2005), 옥상녹화 적용 시 식재기반인 토심과 식물재료에 따른 증발산 능력에 대한 이해는 매우 중요하다(Onmura 등, 2001).

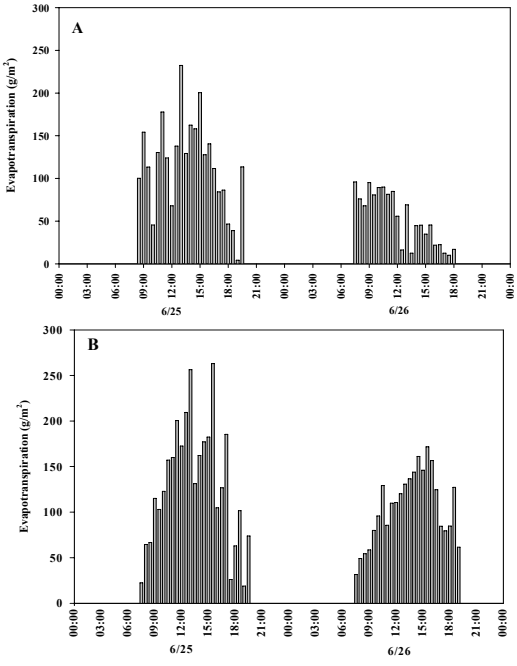

Fig. 3. Evapotranspiration of green roof system by soil depths (A, 10 cm of soil depth; B, 20 cm of soil depth).

4. 결 론

본 연구는 모의실험을 통해 한국잔디식재 옥상녹화의 온도저감효과와 증발산량을 평가하였다. 콘크리트 블록을 이용하여 1.2(W) × 1.2(D) × 1.0(H) m크기의 모의실험구를 조성 후 토심10 cm와 20 cm의 옥상녹화실험구를 배치하였으며, 옥상녹화를 조성하지 않은 모의실험구를 대조구로 하였다. 자동기상관측시스템을 이용하여 실험기간동안의 온 · 습도, 풍속, 풍향, 일사량, 강우량 등을 측정하였으며, 대조구인 콘크리트표면과 천정면, 옥상녹화 토양표면, 토양하부, 천정면의 온도를 측정하였다. 증발산량 측정은 실험구의 중량변화로 측정하였다. 모든 데이터는 데이터로거를 이용하여 1분마다 측정하여 30분간의 평균값을 이용하였다. 온도저감효과 측정 결과, 대조구와 비교하여 옥상녹화조성 시 표면에서 온도차이가 나타났으며, 토심이 깊을수록 온도저감효과가 큰 것으로 나타났다. 그러나 토양하부와 모의실험구 내부 천정면 온도저감효과는 옥상녹화를 조성할 때에는 그 효과가 크게 나타났으나, 토심에 따른 온도 차이는 크지 않았다. 온도변화 폭은 표면에서 대조구와 토심 10 cm 실험구에서 큰 온도변화를 보였지만, 토심 20 cm 실험구의 경우에는 식재층에 의한 증발산량과 그림자 효과의 영향으로 온도변화량이 적은 것으로 나타났다. 토양하부와 모의실험구 내부 천정면의 경우 토심에 따른 온도변화는 적은 것으로 나타났다. 증발산량은 토심이 깊을수록 증가하는 경향을 보였으나, 하중문제가 발생할 수도 있기 때문에 토심에 대해서는 향후 충분한 검토가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

Bang, K. J., Ju, J. H., Kim, S. H., 2004, Effects of soil depth and irrigation period on some of the native plants in an artificial substrate of roof garden, Journal of the Korean Society of Environment Restoration Technology, 7(6), 75-83.

Chen, Y., Teo, C. M., Wong, N. H., Tan, P. Y., 2004, Preliminary study of leaf area index and thermal protection of vegetation in the tropical climate, Built Environment and Environmental Buildings, 1, 221-226.

Durhman, A. K., Rowe, D. B., Rugh, C. L., 2006, Effect of watering regimen on chlorophyll fluorescence and growth of selected green roof plant taxa, HortScience, 41, 1623-1628.

Jim, C. Y., 2012, Effect of vegetation biomass structure on thermal performance of tropical green roof, Landscape and Ecological Engineering, 8(2), 173-187.

Jones, C. A., Suckling, W., 1983, Comparison of the radiation balance of a rooftop lawn with that of a conventional rooftop surface, Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology Series B, 33, 77-87.

Kim, T. H., 2012, A study on thermal simulation for extensive green roof system using a plant canopy model, Journal of the Korean Society of Environment Restoration Technology, 15(2), 137-147.

Koh, S. K., Shin, H. K., Tae, H. S., Kim, Y. S., Ahn, G. M., 2009. Effect of heating system on roof garden for turf growth, Kor. Turfgrass Sci., 23(2), 279-286.

Lin, Y. J., Lin, H. T., 2011, Thermal performance of different planting substrates and irrigation frequencies in extensive tropical rooftop greeneries, Building and Environment, 46, 345-355.

Ling, P., Kawamura, M., Nakane, K., 2011, Effect on rooftop temperatures and heat fluxes of a bamboo charcoal sublayer in rooftop greening soil at a factory office, International Journal of Environmental Protection, 1(3), 15-20.

Ohno, T., Yamamoto, S., Maenaka, H., 2006, Evapo-transpiration from sedum mat and cynodon turf, Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture, 69(5), 431-436.

Onmura, S., Matsumoto, M., Hokoi, S., 2001, Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens, Energy and Building, 33, 653-666.

Ono, K., Yanagi, M., Kudo, T., Teshirogi, J., Shibuya, Y., Koshimizu, H., 2005, Evapotranspiration of rooftop gardening plants and their effect on the thermal environment of building, The 2005 world sustainable

building Conference, Tokyo, Japan, 771-776.
Park, J. S., Ju, J. H., Kim, W. T., Yoon, Y. H., 2010, Application analysis of *Vitex rotundifolia* by difference of the shallow-extensive green roof system, Journal of the Korean Society of Environment Restoration Technology, 13(4), 10-17.
Thuring, C. E., Verghage, R. D., Beattie, D. J., 2010, Green roof plant responses to different substrate types and depths under various drought conditions, HortTechnology, 20, 395-401.
Wong, N. H., Chen, Y., Ong, C. L., Sia, A., 2003, Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment, Energy and Building, 38, 261-270.