

서울시 옥상녹화의 온도저감 효과 분석

장진* · 오충현**

*동국대학교 대학원 바이오환경과학과 · **동국대학교 바이오환경과학과

I. 서론

2002년부터 2010년까지 서울시에서 지원하여 조성된 옥상공원은 총 446개소에 202,449m²로 여의도공원 면적(229,539m²)에 상당하며, 2011년에도 총 109개소 51,527m²(공공 및 민간건물 포함)를 조성할 계획이다(서울시, 2011). 이렇듯 서울시를 중심으로 도시 내 옥상공원 조성이 지속적으로 증가하고 있는 만큼 옥상녹화 조성에 따른 효과 분석 연구도 국내·외에서 예측 모델링, 녹화지 실측, 식생·토양에 변화를 둔 실험구 측정 등 다양한 방면에서 꾸준히 진행되고 있는 실정이다.

선행 연구의 경우, 옥상녹화의 온도저감과 에너지 절약 측면에 대해 국내에서는 옥상녹화시스템의 열성능에 관한 연구(강재식 등, 1998), 공동주택 최상층부의 옥상녹화에 따른 에너지 절약 평가(안태경, 2003), 옥상녹화에 따른 콘크리트 건축물의 열환경 개선효과(박찬필과 고천수문, 2004), 잔디식재블럭에 의한 옥상녹화에서의 실내외 온도변화(이상태와 김진선, 2004), 여름철 토양심도에 따른 우수에 의한 수분증발로 인한 온도 저감 연구(이동근 등, 2005), 경량형 옥상녹화시스템의 냉방부하절감 효과(유대중, 2007) 등의 연구가 수행되어 왔다.

본 연구는 서울시에서 지원하고 있는 옥상공원화 사업 대상지를 중심으로 토지이용에 따른 온·습도 변화를 모니터링한 후, 이를 바탕으로 옥상녹화시스템의 효과 증명 및 서울시 옥상공원화 사업의 실효성을 분석하고, 발전방안의 제시를 연구 목적으로 하였다.

II. 조사범위 및 방법

1. 조사범위

1) 시간적 범위

2010년 4월~2010년 11월(총 8개월)

2) 내용적 범위

옥상녹화시스템 효과 분석은 서울시 옥상공원 모니터링 대상지 중 주거·상업·녹지지역의 토지이용에 따라 대상지 3개소를 실험구로 선정하고, 대상지 인근 동일한 특성의 건물 중

표 1. 온도측정 대상지 현황

연번	구분	건물명
1	실험구	상업지역 서울시청 별관 3동 '초록뜰'
2		주거지역 소리소빌라
3		녹지지역 동국대 만해관
4	대조구	상업지역 서울시청 별관 2동
5		주거지역 개인 T빌라
6		녹지지역 동국대 본관

옥상녹화시스템을 설치하지 않은 건물 3개소를 대조구로 선정하여 각각 온·습도를 측정하고 비교 분석을 함으로써 옥상녹화의 효과를 분석하였다. 대상지 현황은 표 1과 같다.

2. 조사방법

1) 온도측정 조사방법

온도측정은 Fourier사의 MicroLog 자동 온·습도 데이터로거를 설치하여 조사하였다. 옥상녹화 건물의 경우 옥상녹화된 상부 1.2m 높이, 옥상녹화된 토양층, 옥상녹화된 바로 하부의 실내 천장에 온·습도계를 설치하여 측정하였다. 비옥상녹화 건물의 경우 같은 방법으로 시행하되 옥상녹화면이 없으므로, 녹화된 토양층 대신 스라브 구조의 바로 상부면에서 온·습도를 측정하였다. 측정일시는 2010년 8월 2일부터 8월 10일까지 일주일 동안 시행하였으며, 측정주기는 30분으로 하였다. 측정기간 내 열대야 및 폭염주의보(기상청)는 8월 2일(열대야), 8월 4일(열대야), 8월 5일(열대야, 폭염주의보), 8월 6일(열대야), 8월 9일(폭염주의보)로서 매우 더운 시기에 조사되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 온도저감효과 분석결과

1) 주거지역

동일한 주거지역의 대기온도를 비교하면 소리소빌라가 비녹화지인 개인 T빌라 옥상보다 최대온도는 0.3℃ 높게 나타났지만, 최저 온도는 0.3℃, 평균온도는 0.7℃ 낮게 측정되었다.

소리소빌라의 토양 내면온도와 비녹화지인 개인 T빌라의 비

표 2. 주거지역(단위: 온도 °C, 습도 %)

구분		대기	옥상 아래층 계단부	토양 내면/비녹화지표면
소리소빌라	최대	온도	37.0	36.0
		습도	97.0	81.5
	최저	온도	24.0	27.7
		습도	43.0	47.5
	평균	온도	28.5	30.0
		습도	75.7	70.9
개인 T빌라	최대	온도	36.7	31.0
		습도	96.5	78.5
	최저	온도	24.3	28.7
		습도	42.5	52.5
	평균	온도	29.2	29.6
		습도	73.1	69.9

녹화지 바닥표면 온도차이를 비교하면 최대온도의 차이가 27.0°C이었으며, 평균 5.2°C의 온도차이가 나타났다.

소리소빌라와 비녹화지인 개인 T빌라의 옥상 아래층의 평균 온도 차이를 비교해 보면 소리소빌라가 0.4°C 더 높게 나타났다(표 2 참조).

2) 상업지역

상업지역의 대기온도 비교 결과, 옥상녹화가 되어 있는 초록뜰이 비녹화지인 시청 2동 옥상의 최대온도보다 2.0°C 낮게 나타났고, 평균온도는 0.6°C 더 낮게 나타났다.

초록뜰의 토양 내면온도와 비녹화지인 시청 2동 옥상의 바닥표면 온도차를 비교하면 최고온도는 34.0°C의 차이를 보였고, 평균온도는 초록뜰이 8.2°C 더 낮게 측정되었다.

초록뜰과 비녹화지인 시청 2동의 옥상 아래층 온도 차이를 비교해 보면 시청 2동 옥상 아래층이 평균온도 0.5°C 더 높게 나타났다(표 3 참조).

3) 녹지지역

녹지지역의 대기온도를 비교 결과, 옥상녹화지인 만해관이 비녹화지인 동국대 본관 옥상보다 최대온도는 1.7°C 더 낮게 나타났고, 평균온도는 0.8°C 더 낮게 나타났다.

만해관의 토양 내면과 비녹화지인 동국대 본관 바닥표면 온도차이를 비교하면 최고온도 차이가 24.0°C를 보였으며, 평균 온도 차이는 4.3°C 차이를 보였다.

만해관과 비녹화지인 동국대 본관의 옥상 아래층의 평균 온도 차이는 본관 옥상 아래층이 0.2°C 온도가 더 높게 나타났다(표 4 참조).

4) 종합

옥상녹화된 건물의 아래층 실내온도는 비녹화건물의 아래층보

표 3. 상업지역(단위: 온도 °C, 습도 %)

구분		대기	옥상 아래층 계단부	토양 내면/비녹화지표면
초록뜰	최대	온도	36.7	31.0
		습도	96.0	85.0
	최저	온도	24.3	27.0
		습도	38.5	44.5
	평균	온도	29.0	28.7
		습도	73.2	71.6
시청별관 2동	최대	온도	38.7	31.0
		습도	94.0	77.5
	최저	온도	24.7	28.0
		습도	36.5	46.5
	평균	온도	29.6	29.2
		습도	70.9	68.5

표 4. 녹지지역(단위: 온도 °C, 습도 %)

구분		대기	옥상 아래층 계단부	토양 내면/비녹화지표면
동국대만해관	최대	온도	36.3	33.7
		습도	98.5	77.5
	최저	온도	23.7	28.0
		습도	45.0	45.0
	평균	온도	28.1	30.1
		습도	76.5	65.3
동국대본관	최대	온도	38.0	33.7
		습도	97.0	74.0
	최저	온도	24.0	28.3
		습도	39.5	49.5
	평균	온도	28.9	30.3
		습도	73.7	64.5

다 0.2~0.5°C 가량 낮고, 습도는 2.6~3.1% 정도 높아 옥상녹화가 쾌적한 실내환경을 제공하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

또한 열대야 및 폭염주의보가 발생한 8월 5일 하루 동안 토지이용 구분에 따라 구분한 실험구 3개소의 대기온도 변화를 조사한 결과, 평균온도는 녹지지역인 만해관이 26.0°C로 가장 낮게 나타났고, 그 다음으로 주거지역인 소리소빌라 27.0°C, 상업지역인 초록뜰의 평균온도는 27.3°C로 가장 높았다(그림 1, 표 5 참조).

이는 옥상에 녹화를 한 건물이 식물의 피복과 증산작용, 광합성 작용에 의해 온도저감이 일어나고, 토양수분의 증발에 의해 온도를 유지하여 비녹화지보다 확연히 온도는 낮게 나타나지만, 더불어 대상지의 토지이용 특성 역시 주변 환경의 바람, 미기후 등의 변수발생으로 온도차가 약 1°C 이상 나타난 것으로 판단된다. 따라서 녹지지역 주변의 옥상녹화 건물이 주거 및 상업지역에 옥상녹화된 건물보다 대기온도 저감효과가 높

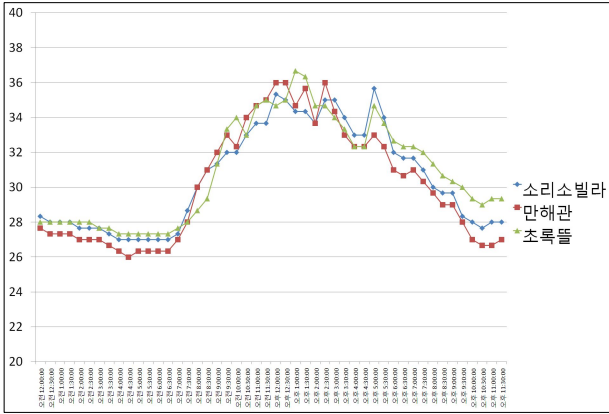


그림 1. 토지이용에 따른 대상지 대기온도 변화(2010.08.05, 단위 °C)

표 5. 토지이용에 따른 대상지 온도 변화(2010.08.05, 단위 °C)

	구분	주거지역 (소리소빌라)	녹지지역 (만해관)	상업지역 (초록뜰)
대기온도	평균	27.0	26.0	27.3
	최대	35.7	36.0	36.7
	최저	27.0	26.0	27.3

은 것으로 나타나 녹지의 연결이 기후변화 대응에 매우 효과적인 것으로 판단된다.

2. 옥상공원의 경제적 효과분석

옥상녹화의 경제적 효과는 옥상녹화 시행으로 인한 냉난방비 절감 효과를 대상으로 분석하였다. 효과분석을 위해 사용된 기본모델은 2007년 일본 카나자와 공대의 실험을 바탕으로 개발된 모델이다. 이 모델은 카나자와 옥상녹화 건축에 있어 관류열 저감효과에 관한 연구(공조부하 삭감량의 검토를 포함함)를 바탕으로 개발되었으며, 옥상녹화를 통해 얻을 수 있는 소비전력 절감량의 차이를 단위면적당(m²) 연간, 여름철, 겨울철 소비전력을 금액으로 산정하였다. 이를 위해 옥상녹화된 6개

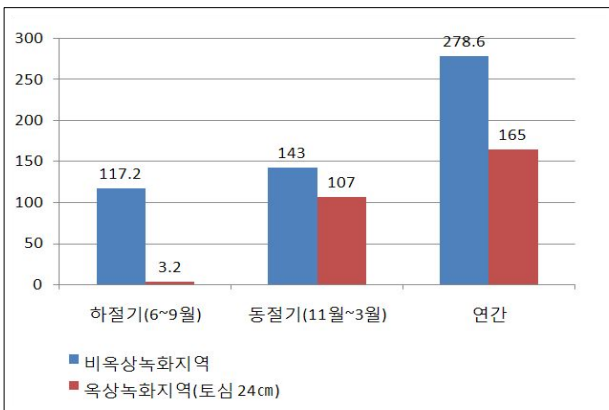


그림 2. 여름철, 겨울철, 연간 소비전력량(단위: kWh)

구획에 열전대와 열류계를 설치하고, 단면온도(토양온도, 토양속 온도)와 관류열량을 측정하였다. 이 모델은 토심 24cm의 옥상녹화 사례를 기준으로 개발되었으며, 냉방이 필요한 하절기는 7월에서 9월, 난방이 필요한 동절기는 12월에서 3월로 결정하여 개발되었다.

본 연구에서는 서울의 상황을 고려하여 냉방기간을 6월에서 9월로 1개월 연장하고, 난방기간은 11월에서 3월까지로 1개월 연장하여 우리 실정에 맞는 모델로 개선한 후 경제적 효과를 분석하였다.

<냉난방 소비전력량 산출식, 서울의 경우로 환산>

$$\text{연간소비전력량(kWh/m}^2 \cdot \text{년)} = \{[\text{관류열취득량(kWh/m}^2 \cdot \text{년)} \cdot \text{냉방기간(개월)} \div 3(\text{COP, 냉방운전시 계수})] + \{[\text{관류열손실량(kWh/m}^2 \cdot \text{년)} \cdot \text{난방기간(개월)} \div 4(\text{COP, 난방운전시 계수})]\} \times \text{천정면적(m}^2)$$

* Yoshie KAMITOMAI and Hiroo TARUMI의 연구의 실험조건은 냉방기간은 6~9월(4개월), 난방기간은 10~4월(7개월), 천정면적은 40,173m²임

따라서 실험 결과 고찰을 통해 국내실정에 대입하여 비교해 본 결과 옥상녹화를 했을 경우 옥상녹화를 하지 않은 건물보다 소비되는 전력량 요금은 1m² 기준, 여름철(6월~9월, 4개월)은 총 7,357원(여름철 월 평균 1,839원)이 절약되고, 겨울철(11월~3월, 5개월)은 총 4,179원(겨울철 월 평균 836원)이 절약된다. 그리고 옥상녹화를 했을 경우 옥상녹화를 하지 않은 건물보다 녹화면적 1m²당 연간(12개월) 총 18,171원(연간 월 평균 1,514원)이 절감되는 것으로 분석되었다.

현재 도심의 대부분은 인간에 의한 토지이용이 이루어지고 있어 녹지를 확충할 공간이 부족하고, 용지확보면에서 지가가 비싸기 때문에 옥상녹화는 기존의 건물 옥상을 녹화함으로써 녹지를 확보하는데 효과적인 방안으로 각광받고 있다. 옥상공원을 통한 경제적 효과로 산성비와 자외선 등에 의한 방수층과 벽면의 열화현상을 경감시키며, 온도변화에 따른 손상예방 및 내구성도 향상시킨다. 또한 옥상녹화를 하지 않은 건축물에 비해 단열효과가 증진되고, 냉·난방을 위한 에너지 비용이 절감된다.

그리고 지상의무 조경면적을 대체함으로써 경제적인 효과를 달성하고, 옥상공원 조성으로 경관향상 및 쾌적한 환경조성으로 건축물 임대료의 수입을 증가시킬 수 있다.

IV. 결론

국내외 사례와 본 연구의 온도측정 모니터링의 결과를 대조구와 실험구 설정을 통해 온도측정을 비교해 본 결과, 비녹화 표면이 쉽게 가열되고 냉각되며, 열전도율이 식물이 식재된 토

양보다 높기 때문에 평균 온도가 높게 나타났다. 그리고 측정 기간 동안 대기온도는 대조구 건물에 비해 초록뜰에서는 최고 2°C, 만해관은 1.7°C, 소리소빌라는 0.7°C의 차이가 나타났다. 옥상녹화된 건물의 아래층 실내온도는 비녹화건물의 아래층보다 0.2~0.5°C 가량 낮고, 습도는 2.6~3.1% 정도 높아 옥상녹화가 쾌적한 실내환경을 제공하는 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 경제적 효과로 옥상녹화를 했을 경우 옥상녹화를 하지 않은 건물보다 녹화면적 1m²당 총 18,171원(연간 월 평균 1,514원)이 절감되는 것으로 분석되었다. 그리고 서울시의 '02년~'10년까지 조성된 옥상공원(202,449m²)으로 산출하게 되면 연간 36억원 상당의 에너지 비용 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 물론 본 연구에서는 일본의 옥상녹화 건축물에 있어 관류열 저감효과 연구 결과를 바탕으로 적용하였기 때문에 차후 우리나라 대상지를 중심으로 실험구를 선정하여 보다 정밀한 검증과 연구가 후속되어야 할 것이다.

그리고 옥상공원이 경제적 효과 외에 녹지와 생태계를 복원하고 조류나 곤충의 서식지를 제공하는 등 생물다양성 확보, 비오톱 형성, 생물 서식처 제공 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후에는 이를 적극 활용하여 어린이 및 청소년들의 자

연학습장소, 시민 휴게 및 커뮤니티공간, 옥상텃밭, 원예치료가 가능한 장소 등으로 적극 이용됨으로써 시민들의 세대간, 이웃간에 소통할 수 있는 참여와 소통의 장소로서의 역할도 할 것이라 기대된다.

인용문헌

1. 강계식, 변혜선, 김현수(1998) 옥상녹화시스템의 열성능에 관한 연구. 대한설비공학회 학술발표대회 논문집 2: 702-707.
2. 박찬필, 고천수문(2004) 옥상녹화에 따른 콘크리트 건축물의 열환경 개선 효과. 한국환경복원녹화기술학회지 7(1): 1-9.
3. 안태경(2003) 공동주택 최상층부의 옥상녹화에 따른 에너지 절약 평가. 한국생활환경학회지 10(3): 182-186.
4. 이동근, 오승환, 윤소원, 장성완(2005) 옥상녹화조성에 따른 온도 저감효과에 관한 연구-서울대학교 실험구를 중심으로. 한국환경복원녹화기술학회지 8(6): 34-44.
5. 이상태, 김진선(2004) 잔디(*Zoysia japonica* Steud) 식재블럭에 의한 옥상녹화지에서의 실내의 온도변화. 한국환경복원녹화기술학회지 7(6): 54-60.
6. 유대중(2007) 경량형 옥상녹화시스템의 냉방부하절감 효과에 관한 연구. 중앙대학교 대학원 석사학위논문.
7. Kamitomai, Yoshie and Hiroo Tarumi(2007) 金澤の屋上緑化建築における貫流低減効果に関する研究 - 空調負荷削減の検討を含めて. 日本建築學會北陸支部研究報告集 第50号.
8. <http://green.seoul.go.kr>.