옥상녹화의 녹화유형별 기온저감효과

A Study on the Analysis of Temperature Reduction Effect by the Types of the Green Roof

이 춘 우*
Lee, Chun-Woo

김 수 봉**
Kim, Soo-Bong

문 혜 식***
Moon, Hye-Shick

Abstract

Recently, concerns about conserving proper size of urban green spaces and accessibility are increasing, regarding it as a solution to diverse urban environmental problems including pollution, ecosystem deterioration, urban climate change. Artificial ground greening such as green roofs is regarded as the only alternative that can conserve green spaces which are impossible to be secured on the ground. However, green roofs are not popularized yet and levels are very low in provincial cities despite of related technology development and support systems of related agencies. Based on the background, this study tries to present a theoretical basis of methods for green roofs, conducting green roof simulations. Finally, it aims to offer base data which help establish policy direction for activation of green roof technology. As a result of a simulation for verifying temperature reduction effect, it was possible to affirm effect of a plot that green roofs applied. Especially, it was revealed that a green roof method using ground covers such as mixed planting was the most effective way to reduce temperature. Based on precise analysis of the users, actual study for activation of green roofs should be developed in the future, by presenting a standard model for experiments and obtaining information about examples of green roofs on private houses.

Keywords : Green Roof, Temperature Reduction, Heat Island, Urban Green Spaces

주 요 어 : 옥상녹화, 기온저감, 도시열섬, 도시녹지공간

1. 서 론

최근 도시의 수직적 수평적 확장으로 인하여 한정된 도시 공간에서의 녹지는 서서히 줄어들고 도심에서 건물이 차지하는 면적은 점차 늘어가고 있다. 또한 도시로의 인구집중으로 인해 도시 내의 토지부족 및 지가상승을 불러왔고, 고밀화를 통한 토지이용의 극대화가 추진되어 잔여공간이 줄어들게 되었다(장중근, 2004).

또 현재 많은 도시지역에서 나타나고 있는 도시 대기 악화 및 도시열섬현상은 도시화 과정에서 나타난 대표적인 환경문제로서, 이 문제를 해결하기 위해 선진 각국은 국가차원에서 노력을 하고 있으며 국내에서도 쾌적한 도시환경창출을 위해 다양한 분야에서 노력하고 있다(김수봉, 2006). 특히 여름철 태양복사열에 의해 덥혀진 건물 지붕은 도시열섬현상을 가중시킬 뿐만 아니라 도심지 주거의 대부분을 차지하고 있는 아파트와 다세대, 다가구주

택 등의 최상층 세대에 더욱 심각한 영향을 끼쳐, 실내공간의 온도상승을 유발하여 열대야를 빈발케 하는 등 거주환경을 불쾌적하게 만들고 있으며, 그에 따른 냉방에너지소비를 촉발하고 있다(유대중, 2007).

옥상녹화는 이러한 도시환경문제와 에너지소비 증가문제의 대처방안의 하나로 주목 받아 왔다. 현재 옥상녹화 등 인공지반 녹화와 관련한 많은 연구들이 환경부, 한국건설기술연구원, 한국주택공사, 서울특별시, 옥상녹화연구회, 인공지반녹화협회, 관련업체 등에 의해서 다각적으로 진행되어 왔으며, 일부 분야에서는 상당한 기술의 진보가 이루어졌다고 할 수 있다. 특히 옥상녹화가 갖는 다양한 효과를 입증하기 위한 여러가지 실험들이 외국에서는 활발하게 진행되고 있다.

외국의 옥상녹화에 관한 연구에서 Papadakis et al.(2001)은 햇빛이 건물에 미치는 영향을 줄여주는 식물이 만드는 그늘에 대한 실험연구에서 빌딩에 대한 녹음의 효과를 분석하였다. Niachou et al.(2001)과 Wong et al.(2003)은 옥상녹화의 온도 특성과 온도저감능력에 관한 연구를 수행하였으며, Yok Tan et al.(2005)은 옥상녹화 연구 프로젝트에서 식생이 있는 곳과 일반 콘크리트 옥상면 그리고 주변 대기온도에 관한 옥상녹화의 온도 저감효과에 대한 연구를 수행하였다. Theofosiou(2003)는 컴퓨터 시뮬

*정회원(주저자), 계명대학교 대학원 환경과학과, 박사과정

**정회원(교신저자), 계명대학교 생태환경디자인과 교수

***정회원, 계명대학교 대학원 환경과학과, 박사수료

이 논문은 2009년도 한국주거학회의 춘계학술발표대회에 발표한 논문을 수정·보완한 연구임.

레이션을 이용하여 옥상녹화의 수동적 냉각효과에 관한 연구를 수행하였다. Moyer(2005)는 옥상녹화 조성연구에서 도시열섬완화효과에 대해 설명하였으며, 옥상녹화는 식생의 증가로 인해 주위의 대기 온도를 낮추어 주며, 옥상녹화가 얼마나 온도를 낮추어 주는지는 양적으로 말할 수는 없지만 도시열섬완화효과와 잠재력이 있음을 밝히고 있다. 또 Liu et al.(2005)은 영국 콜롬비아 옥상녹화의 온도저감효과에 대한 연구에서 옥상녹화지에서의 온도저감효과를 증명하였다.

국내에서는 온도저감과 에너지 절약 측면 등에서 연구가 이루어졌으며, 강재식(1998)은 옥상녹화의 열성능에 관한 연구, 안태경(2003)은 공동주택 최상층부의 옥상녹화에 따른 에너지절약 평가연구, 박찬필과 古川修文(2004)은 옥상녹화에 따른 콘크리트 건축물의 열환경 개선효과에 관한 연구를 하였으며, 오승환(2006)는 옥상녹화 조성에 따른 온도저감효과에 관한 연구를 통해서 옥상녹화의 온도저감 효과를 분석하였다.

이처럼 국내에서는 아직까지 외국에 비해 다양한 옥상녹화 환경에 따른 온도변화에 관한 연구가 거의 드물다고 할 수 있다. 현재 각 지방자치단체에서 옥상녹화를 체계적으로 추진하기 위해 조례를 작성하였거나 추진중이므로 이를 뒷받침할 수 있는 옥상녹화와 관련된 자료의 정비가 시급하게 요구되고 있다. 특히 옥상녹화에 따른 열환경개선과 온도저감효과를 구체적으로 측정하기 위한 기초적 데이터 확보가 매우 중요한 것으로 판단된다(이동근 외, 2005).

본 연구의 목적은 옥상녹화의 여러 가지 기능 및 효과 중 도시 환경 개선효과와 경제적 효과 등의 확인을 위하여 옥상녹화 조건에 따른 건물내부 온도저감효과를 분석하는데 있으며, 특히 저관리형 옥상녹화를 통한 기온저감 효과에 있어서 기존 연구들에서 고려되지 않았던 지역의 지표식물을 추가한 모의실험을 통하여 실험구 내부의 온도변화를 측정하였다.

II. 옥상녹화의 기능 및 효과

1. 도시 환경 개선 효과

1) 도시의 녹지 공간 증대

도시 공간에서 인공 구조물의 증가는 자연지반을 감소시켰고, 그에 많은 녹지가 훼손되어 쾌적한 생활공간은 점차 사라지고 있다. 특히 도시에서 대기 환경의 문제와 기후 환경의 문제가 심각하게 대두됨에 따라 식생의 활용은 중요시 되고 있다.

이미 대도시에서는 열섬 현상 등 고온화가 문제되고 있으며, 여름철에는 옥상이나 벽면으로부터 전도되는 열은 실내 온도를 상승시키고 있다. 악화되어가는 도시 환경을 보다 쾌적하게 개선해 나가기 위해서는 많은 양의 녹지를 확보해야 한다. 도시에서 지면을 통한 수평·수직적이

고 입체적인 녹지의 확보를 통하여 부족한 도시공간의 녹지를 확대시킬 수 있으며, 온도조절, 대기정화, 차음, 방풍, 방화 등의 기능도 기대할 수 있다.

장중근(2004)에 의하면 대구광역시 중구의 연구대상지(751,206 m²)에서 옥상녹화 가능 건물에 옥상녹화를 실시하였을 경우 대상지 면적의 12.13%(91,106 m²)의 녹지를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이 면적은 기존의 대구광역시 중구 국채보상운동기념공원 면적(42,509 m²)의 2배, 또한 2.28기념중앙공원 면적(14,353 m²)의 6배가 넘는 녹지면적을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 공기정화의 효과

옥상녹화는 이산화탄소, 질소화합물, 벤젠, 분진등과 중금속을 흡수하고 산소를 방출하여 공기를 정화시킨다. 일본의 건설성 토목연구회 실험 결과에 따르면 4m의 나무가 1년 동안 흡수하는 이산화탄소는 약 11.5 kg이다. 성인 1인이 배출하는 이산화탄소는 약 60 kg이므로, 4m의 나무 5~6개 정도면 1인분의 이산화탄소를 처리한다는 것이다. 동경의 녹화가능공간에 모두 녹화할 경우 연간 이산화탄소 방출량의 0.47%, 연간 증가량의 36.4%를 절감할 수 있다는 보고가 있다. 질소산화물의 경우 4m 나무가 1년 동안 약 108 g을 흡수한다. 이는 자동차가 1km를 주행하는데 약 0.25 g을 배출하므로 나무 1그루면 432 km 주행분의 산화질소물을 처리한다는 것이다(김수봉, 2007). 따라서 옥상녹화를 통한 녹지의 증가를 통해 공기정화 효과를 기대할 수 있다.

3) 도시 생태계의 보호효과

옥상녹화는 지상의 소음감소, 일조, 통풍의 우수 등의 혜택이 있으므로 지상보다 생물의 서식환경에 적합하며 생태계의 다양화를 도모하고 식재식물을 다양화함으로써 도시 내 생태계의 안정화를 기대 할 수 있다. 이를 위해서는 옥상정원이 하나의 작은 생태계로서의 조건을 지니도록 할 필요가 있는데 작은 새나 곤충이 좋아하는 수목이나 생태계 등을 계획하여야 한다. 생물들의 이동, 둥지, 먹이의 제공, 휴식거점의 창출, 야생조류와 곤충의 개체수, 종류 등의 증가를 도모하고 녹지를 다양화함으로써 도시 생태계가 향상될 수 있다.

4) 도시 열섬 완화 효과

도시의 온난화, 사막화는 도시 내 포장률, 도로율의 증가로 인해 더욱더 가중되고 있다. 지표면에서 더워진 공기가 상승하여 대기권 내에 온난 기류를 형성시켜 결국 도시 열섬현상을 야기하였고, 하절기인 경우 야간에도 대기온도가 내려가지 않는 열대야 현상 등을 흔히 볼 수 있다. 한여름 포장지역의 온도는 55°C에 달한다. 실제로 도시 내에서 여름의 지표면 온도를 열화상으로 분석하면 녹지피복 지역은 포장지역에 비해 온도가 현저하게 낮으며, 일교차 또한 녹지지역이 낮다. 이는 결국 녹지에 따른 일사의 반사 및 증발산 작용이 도시 열섬현상을 완화시키는 작용을 한다(김기형, 2008).

2. 사회적 효과

1) 생리적·심리적 효과

옥상녹화의 생리적·심리적 효과로는 일반적으로 스트레스의 해소가 대표적이다. 정신피로와 긴장감의 해소, 정신의 안정, 육체피로의 회복 촉진 등의 효과가 기대된다. 수목을 이용한 요법으로는 아로마 치료법이 주목되고 있고, 시설물 등을 이용하여 휴식공간을 창출함으로써 얻는 만족감 등이 그 대표적인 예이다.

2) 공간창출 효과

옥상조경은 레크리에이션과 교육문화의 공간 등으로 이용될 수 있다. 특히 옥상정원으로 조성하여 기존까지 이용되지 않았던 공간을 활용함으로써 공간의 절약과 함께 도심에서의 쾌적함을 즐길 수 있다. 옥상정원을 이용하여 각종 채소나 과일을 재배하는 등의 기능도 기대할 수 있다.

3) 도시경관의 향상 효과

인공구조물들의 그 형태나 색채적인 면에서 뛰어난 미적 가치를 지니고 있다고 하더라도 탈색되거나 시간이 경과하고 나면 무미건조한 느낌을 받을 때가 많다. 특히, 고층건물 등에서 볼 때 대부분의 건물 옥상은 각종 시설물이나 잡자재들이 무질서하게 방치되어 있고, 이는 도시미관을 한층 악화시키는 요소로 작용하고 있다. 추한 모습의 옥상을 변화시킬 수 있는 가장 효과적인 방법 중의 하나는 녹화와 시설물의 도입을 통한 옥상조경 조성일 것이다. 옥상조경은 무미건조한 건축물에 생명력을 불어넣어 좁은 물론 시각적으로도 아름다워 도시경관의 형성에 효과적이다. 다음 <그림 1>은 대구시 중구 남일동의 옥상녹화 가능지 분석을 통한 옥상녹화가 가능한 건물의 옥상을 녹화한 시뮬레이션 결과이다.

그림 1. 옥상녹화의 도시경관 향상 효과(옥상녹화 시뮬레이션)

3. 경제적 효과

1) 냉·난방비 절감 효과

옥상 녹화는 기존의 비 녹화 지붕에 비해 열전도율이 낮아 외기 온도가 전달되는데 시간이 오래 걸리기 때문

에 건축물 냉방 에너지 절약에 상당한 효과를 가져 올 수 있다.

김기형(2008)은 한국건설기술연구원 실험 자료를 통해서 여름철의 경우 주간 시간대의 외기 온도 보다, 옥상녹화시스템은 8°C 정도 낮은 온도 분포를 보이고, 콘크리트 표면은 15°C 정도 높은 온도를 보여주고 있고 하였으며. 이와 같은 현상은 토양층 상부에 위치한 식생층의 반사를 포함한 일사 차단효과와 식생부분의 증발산 작용에 의한 잠열효과 및 토양층이 지닌 물리적인 단열성능이 복합되어 영향을 미친 것으로 판단된다 하였다. 또 겨울철의 경우 최고온도와 최저온도의 온도차는 콘크리트 11°C, 옥상녹화의 경우 4°C로 콘크리트와 옥상녹화의 온도차는 6°C가 측정되어 옥상녹화 시스템은 겨울철 단열에도 상당한 효과가 있다고 말했다.

2) 선전, 집객, 이미지상승 효과

옥상녹화에 의한 새로운 녹음공간의 형성은 주위의 시선을 집중시키고, 본 건물의 선전효과를 향상시켜, 상업시설이나 레크리에이션 시설에서는 사람들의 이목을 끌며 오는 집객효과가 기대된다.

또 그러한 시설을 활용한 기업이나 관공서에 대한 시각적 이미지 상승 효과를 기대할 수 있으며 건물의 상업적 가치 또한 상승한다.

3) 건축물의 내구성 향상 효과

옥상녹화는 건축물의 내구성을 향상시키는 효과가 있다. 옥상녹화의 토양층은 산성비와 자외선에 의한 방수층 보호 및 콘크리트 노화 방지로 건축물의 내구성을 향상시키게 된다.

박기원(2006)은 일본의 1994년 조사자료를 통해서 18년이 지난 건물의 녹화된 부분은 거의 노화가 없던 것으로 나타나 노출된 부분과 대조적이라고 하였으며, 녹화된 부분의 콘크리트는 알칼리성이었지만 노출부분은 완전히 중성화되었다고 하였다. 즉, 구조물의 온도변화 영향이 줄어들기 때문에 옥상녹화 밑의 콘크리트면은 온도변화가 거의 없어지므로 내구성이 향상되는 것이다.

III. 연구방법

1. 옥상녹화 모의실험

1) 실험구 조성 및 방법

본 연구의 옥상녹화 모의실험을 위하여 1 m×1 m×1 m 규격의 건물모형 6개를 제작하였다. 모형은 실제 건물과 유사한 재료(콘크리트, 벽돌)를 이용하여 제작하여야 하나 경제성 및 이동성에 있어서 제한적이기 때문에 50 mm 샌드위치판넬을 이용하여 제작하였으며 6개의 동일한 재료·규격의 모형으로 모형 내부온도를 비교하였다.

본 모의실험은 2007년 7월~10월 약 4개월 동안 계명대학교 환경대학(오산관)건물 4층 옥상에 실험구를 설치하고, 실험구 옥상에 식물을 식재를 하였으며 월요일에서 금요일까지 하루 4번씩 주5회 실험구 내부의 온도를 측정하였다.

그림 2. 옥상녹화 모의실험 실험장비

2) 실험 변수

본 연구에서 <그림 5>와 같이 실험구 6개를 건물 4층 옥상에 설치하여 식재 패턴 및 옥상환경에 따른 실험구 내부 온도를 측정하고자 하였다. 본 실험에서의 옥상녹화 변수는 <표 1>에서 보는 것과 같이 잔디 식재, 옥상녹화 미실시, 플랜트(화분) 녹화, 쇠석깔기, 혼합초 식재, 녹색 페인트 도색의 여섯가지로 설정하였으며, 옥상녹화를 실시한 실험구의 토양깊이(15 cm) 및 기타 환경요인은 동일하게 적용하였다. 각각의 옥상녹화 모형은 N1~N6으로 코드화하였다.

표 1. 옥상녹화 모의실험 변수

변 수		비 고
N1	잔 디	국내 옥상녹화의 열 특성 연구에 가장 많이 사용된 식물
N2	무 식 생	옥상녹화 미실시
N3	플랜트(화분) 녹화	옥상녹화를 실시하였을 경우 관·교목을 대신하여 화분으로 식재
N4	쇄석깔기	투수율과 공극률의 차이로 인한 온도 변화 측정
N5	혼합초	잔디 및 지표식물(들풀) (지역에서 흔히 볼수 있는 식물)
N6	녹색페인트 도색	알베도의 차이에 따른 온도 변화 측정

N1은 국내 옥상녹화 연구에서 가장 많이 사용된 식물인 잔디를 사용하여 녹화하였고, N2는 다른 옥상녹화 모형과 비교할 수 있는 비교군으로서 옥상에 아무런 장치를 하지 않았으며, N3는 옥상녹화를 실시하였을 경우 관목과 교목을 대신하여 플랜트(화분)로 식재를 하였다. N4는 옥상에 쇠석을 깔아 투수율과 공극률의 차이로 인한 온도 변화를 측정하고자 하였으며, N5는 주변에서 흔히

그림 3. 유형별 옥상환경 조성

구할 수 있는 잔디 및 지표식물(들풀) 등의 혼합초를 사용하여 녹화하였고 마지막 N6은 알베도의 차이에 따른 온도 변화를 알아보기 위해 현재 옥상에 가장 많이 사용되고 있는 방수용 페인트의 색과 같은 녹색 페인트를 사용하여 옥상을 도색하였다.

이처럼 6개의 실험구는 크게 3가지 유형으로 옥상에 식물을 식재한 N1, N3, N5 세 개의 실험구와 식물식재가 아닌 다른 방법에 의한 온도저감효과를 확인하고자 했던 N4, N6 두 개의 실험구 그리고 옥상에 아무것도 실시하지 않은 N2실험구로 나뉜다.

IV. 결과 및 고찰

본 실험의 결과에 사용된 데이터는 2007년 7월 2일부터 10월 19일까지 약 4개월 동안 월요일에서 금요일까지 주5회 측정된 온도데이터 중에서 장마 및 태풍 등 기상 악화로 인한 오차(변수) 데이터를 제외한 45일간의 실험 데이터를 가지고 분석하였다.

그리고 최초 6개의 실험구를 설치하여 실험 데이터를 측정하였으나 N6(녹색페인트 도색) 실험구의 데이터는 실험모형의 재료로 사용된 샌드위치판넬의 특성과 페인트 색의 잘못된 선택으로 인한 데이터의 오차발생으로 분석 결과에서 제외하였다. 또 본 연구에서는 옥상환경에 따른 기온저감을 분석하기 위한 실험으로 각 실험구의 내부온도변화를 비교분석하였다.

표 2. 전체 측정 데이터간 상관분석 결과

		10 hr					12 hr					14 hr					16 hr				
		N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5
10 hr	Pearson's r	1	.957**	.929**	.876**	.858**	.839**	.789**	.812**	.800**	.797**	.771**	.675**	.774**	.710**	.763**	.405**	.424**	.429**	.429**	.437**
	Prob.		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.006	.004	.003	.003	.003
	Pearson's r		1	.914**	.929**	.870**	.873**	.836**	.851**	.842**	.835**	.780**	.720**	.802**	.759**	.783**	.428**	.458**	.462**	.458**	.475**
	Prob.			.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.003	.002	.001	.002	.001
	Pearson's r			1	.930**	.945**	.828**	.800**	.835**	.800**	.827**	.832**	.770**	.853**	.786**	.834**	.478**	.505**	.503**	.502**	.507**
12 hr	Prob.				.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r			1	.925**	.931**	.848**	.822**	.842**	.831**	.852**	.835**	.818**	.850**	.840**	.817**	.489**	.529**	.512**	.523**	.507**
	Prob.				.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r				1	.805**	.805**	.783**	.813**	.772**	.830**	.869**	.831**	.878**	.837**	.858**	.542**	.565**	.544**	.550**	.539**
	Prob.					.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
14 hr	Pearson's r					1	.979**	.989**	.989**	.980**	.980**	.865**	.803**	.883**	.836**	.870**	.579**	.580**	.605**	.586**	.611**
	Prob.						.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r						1	.984**	.986**	.986**	.966**	.851**	.817**	.867**	.844**	.862**	.597**	.606**	.613**	.611**	.627**
	Prob.							.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r							1	.983**	.983**	.985**	.853**	.799**	.884**	.828**	.866**	.579**	.581**	.609**	.588**	.617**
16 hr	Prob.									.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r									1	.976**	.845**	.799**	.865**	.841**	.860**	.576**	.580**	.598**	.594**	.607**
	Prob.										.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r										1	.890**	.838**	.912**	.871**	.901**	.612**	.607**	.629**	.613**	.637**
	Prob.											.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r											1	.968**	.987**	.974**	.980**	.736**	.740**	.716**	.734**	.715**
	Prob.												.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r												1	.954**	.989**	.950**	.741**	.766**	.710**	.749**	.711**
	Prob.													.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r													1	.966**	.988**	.730**	.737**	.729**	.732**	.730**
	Prob.														.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r															1	.967**	.742**	.699**	.733**	.701**
	Prob.																.000	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r																1	.980**	.995**	.995**	.974**
	Prob.																	.000	.000	.000	.000
	Pearson's r																	1	.984**	.990**	.990**
	Prob.																		.000	.000	.000
	Pearson's r																		1	.977**	.977**
	Prob.																			.000	.000
	Pearson's r																			1	.977**
	Prob.																				.000

**: p<0.01.

표 3. 옥상녹화를 실시한 데이터간 상관분석 결과

			10 hr			12 hr			14 hr			16 hr		
			N1	N3	N5	N1	N3	N5	N1	N3	N5	N1	N3	N5
10hr	N1	Pearson's r	1	.929**	.858**	.839**	.812**	.797**	.771**	.774**	.763**	.405**	.429**	.437**
		Prob.		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.006	.003	.003
	N3	Pearson's r		1	.945**	.828**	.835**	.827**	.832**	.853**	.834**	.478**	.503**	.507**
		Prob.			.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.000
	N5	Pearson's r			1	.805**	.813**	.830**	.869**	.878**	.858**	.542**	.544**	.539**
		Prob.				.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
12hr	N1	Pearson's r				1	.989**	.980**	.865**	.883**	.870**	.579**	.605**	.611**
		Prob.					.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N3	Pearson's r					1	.985**	.853**	.884**	.866**	.579**	.609**	.617**
		Prob.						.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N5	Pearson's r						1	.890**	.912**	.901**	.612**	.629**	.637**
		Prob.							.000	.000	.000	.000	.000	.000
14hr	N1	Pearson's r							1	.987**	.986**	.736**	.716**	.715**
		Prob.								.000	.000	.000	.000	.000
	N3	Pearson's r								1	.988**	.730**	.729**	.730**
		Prob.									.000	.000	.000	.000
	N5	Pearson's r									1	.730**	.719**	.730**
		Prob.										.000	.000	.000
16hr	N1	Pearson's r										1	.986**	.979**
		Prob.											.000	.000
	N3	Pearson's r											1	.990**
		Prob.												.000
	N5	Pearson's r												1
		Prob.												

**: p<0.01.

1. 변수별 신뢰도분석 및 상관분석

본 연구에서 측정된 데이터의 분석에 앞서 측정 데이터간의 상관성 및 신뢰수준을 알아보기 위해 spss17.0 통계분석 프로그램을 이용하여 상관성 분석 및 신뢰도 분석을 실시하였다. 전체 측정 데이터간의 신뢰도분석결과 Cronbach α 가 0.982로 신뢰도가 있다고 판단되고, Pearson의 상관분석에서 각 항목 간에 $p<0.01$ 에서 유의한 상관이 있음을 알 수 있었으며, 옥상녹화를 실시한 실험구들의 신뢰수준을 분석한 결과 Cronbach α 가 0.971로 신뢰도가 있다고 판단되고, Pearson의 상관분석에서 각 항목 간에 $p<0.01$ 에서 유의한 상관이 있음을 알 수 있었다<표 2><표 3>.

2. 변수별 온도 데이터 분석

1) 시간대별 온도변화 분석

옥상녹화 유형에 따른 시간대별 온도변화를 분석한 결과 10시의 경우 혼합초를 식재한 N5실험구의 평균온도가 26.1°C로 가장 낮게 측정되었으며, 옥상에 식물을 식재 하지 않은 N2, N4실험구의 평균온도가 27.9°C로 가장 높게 측정되었다. 12시에도 N5실험구의 평균온도가 26.1°C로 가장 낮게 측정되었으며, N2실험구의 평균온도가 30.6°C로 가장 높게 측정되었다. 하루 중 가장 높은 온도가

측정된 14시의 경우 또한 N5실험구의 평균온도가 가장 낮았으며, 옥상에 식물을 식재 하지 않은 N2실험구의 온도가 가장 높았다<표 4>.

표 4. 옥상녹화 유형에 따른 시간별 온도변화(°C)

구분		N1 (잔디)	N2 (미설시)	N3 (화분)	N4 (채석)	N5 (혼합초)
10시	평균	26.5	27.9	26.6	27.9	26.1
	최고	33.8	36.6	34.8	35.8	33.5
	최저	19.4	19.6	18.5	19.7	17.4
12시	평균	29.1	30.6	29.5	30.4	28.8
	최고	34.7	38.2	35.8	38.2	34.4
	최저	21.1	20.4	18.7	19.1	17.5
14시	평균	30.2	32.0	30.4	31.6	30.1
	최고	36.1	39.1	37.2	38.5	35.7
	최저	18.3	18.1	17.7	18.0	17.9
16시	평균	28.5	29.7	28.2	29.4	28.5
	최고	35.7	37.1	36.3	37.3	35.0
	최저	20.4	20.8	20.4	21.0	21.3
최고온도		36.1	39.1	37.2	38.5	35.7
최저온도		18.3	18.1	17.7	18.0	17.4
평균		28.6	30.1	28.7	29.8	28.4

실험결과 온도가 가장 높게 측정된 N2실험구의 최고 평균온도가 31.9°C이었으며, 최저 평균온도는 27.9°C로 나타났다. 반면 온도가 가장 낮게 측정된 N5실험구의 최고 평균온도는 30.1°C이었고 최저 평균온도는 26.1°C이었다.

평균 온도가 가장 높게 측정되었던 옥상녹화를 미실시한 N2실험구와 N5실험구의 일일 평균 온도를 비교한 결과 1.6°C의 온도 차이를 보였으며, 옥상에 식물을 식재한 실험구와 식물을 식재하지 않은 실험구의 평균 온도차이가 1.4°C로 측정되었다.

또 옥상녹화 유형에 따른 시간별 최고, 최저, 평균기온 분포와 전체 평균온도 변화율을 분석한 결과에서 옥상에 식물을 식재한 N1, N3, N5실험구의 온도 변화율이 18.5°C로 측정되어 옥상에 식물을 식재하지 않은 N2, N4실험구의 온도 변화율 20.8°C보다 낮은 것을 확인할 수 있었다.<그림 4><그림 5>. 따라서 건축물에 옥상녹화를 실시하였을 경우 건물 실내온도 변화를 최소화 할 수 있을 것으로 생각된다.

그림 4. 시간별 최고·저 평균기온 분포

옥상녹화 유형에 따른 일일 평균온도실험구에 식물을 식재하지 않은 N2과 채석을 깔았던 N4실험구의 온도를 비교하였을 경우 N2실험구의 온도가 N4실험구보다 높게 측정되었다. 그리고 옥상에 유형별로 식물을 식재한 실험구의 온도를 비교하였을 경우 혼합초를 식재한 N5실험구의 온도(28.4°C)가 가장 낮게 측정되었으며, 플랜트(화분)로 식재했던 N3실험구의 온도(30.1°C)가 가장 높게 측정되었다<그림 6>.

2) 월별 온도변화 분석

옥상녹화 유형에 따른 월별 온도변화를 분석한 결과 각 실험구들의 평균온도가 가장 높게 측정된 8월의 온도를 비교하였을 때 잔디를 식재한 N5실험구의 평균온도가 30.3°C로 가장 낮았으며, N2실험구의 온도가 32.0°C로 가

그림 5. 시간별 전체평균 온도변화(°C)

그림 6. 옥상녹화 유형에 따른 일일 평균온도(°C)

장 높게 나타났다. 또 7월~10월 중 최저온도는 N5실험구에서 17.4°C로 측정되었으며, 최고 온도는 옥상녹화를 실시하지 않은 N2실험구에서 39.1°C로 측정되었다<표 5>.

전체 데이터중 각 실험구들의 평균온도가 가장 높게 나타난 8월의 온도를 외부 대기온도와 비교하여 분석하였을 때 옥상녹화를 실시한 실험구 중에서 N5실험구의 온도가 가장 낮으며 온도 변화가 가장 적은 것으로 분석되며 N3 실험구가 외부 온도에 가장 민감하게 반응하는 것으로 분석되었다<그림 9>.

온도 데이터를 월 별로 나누어 분석한 결과, 모든 실험구에서 8월의 평균온도가 가장 높게 측정되었으며 7월, 9월, 10월 순으로 온도가 측정되었다. 또한 옥상에 식물을 식재한 N1, N3, N5실험구의 평균온도가 식생이 없는 N2,

표 5. 옥상녹화 유형에 따른 월별 온도변화(°C)

구분		N1 (잔디)	N2 (미설시)	N3 (화분)	N4 (쇄석)	N5 (혼합초)
7월	평균	29.8	31.6	29.7	31.4	29.4
	최고	35.6	38.5	36.5	38.5	35.2
	최저	22.3	23.1	21.7	22.5	22.1
8월	평균	31.0	32.0	30.7	31.5	30.3
	최고	33.9	37.1	34.6	33.4	32.4
	최저	28.1	29.4	28.1	27.4	26.7
9월	평균	28.6	29.7	29.0	29.6	28.1
	최고	36.1	39.1	37.2	38.5	35.7
	최저	20.6	20.6	20.3	22.1	20.2
10월	평균	25.3	26.5	25.2	26.2	25.0
	최고	32.3	34.1	32.4	34.6	31.8
	최저	18.3	18.1	17.7	18.0	17.4
최고온도		36.1	39.1	37.2	38.5	35.7
최저온도		18.3	18.1	17.7	18.0	17.4
평균		28.6	30.1	28.7	29.8	28.4

그림 9. 월별 평균 온도변화(°C)

장 뚜렷하고 많은 차이를 보였으며, 9월이 1.1°C로 가장 작은 평균온도 차이를 보였다<그림 9>.

3) 분석결과 고찰

본 연구에서 옥상녹화 환경에 따른 기온 저감 효과를 분석한 결과 옥상녹화시 건물 내부 기온저감에 가장 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.

이동근 등(2005)의 연구에서 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. 또 박찬필과 古川修文(2004)의 옥상녹화에 따른 콘크리트 건축물의 열환경 개선효과연구에서 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 있다고 하였다.

본 실험의 결과에서 옥상녹화를 실시한 유형의 실험구의 평균온도가 옥상녹화를 실시하지 않은 실험구의 평균온도보다 1.38°C 낮게 측정되었다. 그리고 옥상에 식물을 식재한 실험구의 온도를 비교하였을 경우 혼합초를 식재한 실험구의 평균온도가 28.4°C로 가장 낮게 측정되었으며, 플랜트(화분)로 식재했던 실험구의 온도가 28.7°C로 가장 높게 측정되었다. 또 대기 기온 변화에 따른 온도 변화율은 혼합초를 식재한 실험구가 가장 작았으며, 플랜트(화분)로 식재했던 실험구가 가장 많은 영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 옥상녹화시 혼합초등의 지피식물을 이용한 녹화방법이 기온저감에 가장 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과를 통해서 옥상녹화는 미기후완화, 온도저감과 함께 열유량을 낮추어주는 단열재의 역할을 함으로써 건물내부의 온도까지 낮추어줄 수 있으며 이것은 단위 건물의 에너지 소비감소로 이어질 수 있을 것으로 판단되며, 여름철 건물 내부 온도를 1~2°C가량 저감할 수 있을 것으로 분석되었다.

그림 7. 월별 최고·저 평균기온 분포

그림 8. 대기 기온에 따른 온도변화(8월)

N4 실험구의 평균온도보다 낮게 측정되었다. 그리고 7월의 경우, 옥상에 식물을 식재한 실험구(N1, N3, N5)와 식생이 없는 실험구(N2, N4)의 평균온도 차이가 1.9°C로 가

V. 결 론

본 연구에서는 기존의 연구에서 언급된 옥상녹화의 도시환경 개선효과에 대한 가시적인 근거를 마련하고자 건물 축소 모형에 대한 유형별 옥상녹화를 실시하여 내부 온도차를 비교하는 모의실험을 실시하였다.

실험결과 옥상녹화를 실시한 실험구 내부의 온도저감효과를 확인할 수 있었으며, 옥상에 유형별로 식물을 식재한 실험구의 온도를 비교하였을 경우 혼합초를 식재한 실험구의 온도가 가장 낮게 측정되었으며, 플랜트(화분)로 식재했던 실험구의 온도가 가장 높게 측정되었다.

이처럼 연구결과를 통해 건축물에서 옥상녹화에 의한 기온저감 효과를 가져올 수 있었으며, 옥상녹화시 혼합초 등의 지피식물을 이용한 녹화방법이 기온저감에 가장 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 옥상녹화시 지피식물을 이용한 녹화를 장려한다면 옥상녹화로 인한 건물내 온도저감효과를 증대시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 건물 축소 모형을 이용하여 옥상녹화 유형별 건축물 내부 온도차를 비교하는 모의실험을 실시하였으나 옥상녹화 모의실험의 실험모형 제작 시 모형의 규격 및 재질 설정의 어려움 등으로 인해 식생의 피복율과 토양의 종류에 따른 실질적인 건축물 온도저감효과분석이 부족하였다.

또 본 연구에서는 여름철동안의 건축물 기온저감 효과에 대해서만 실험하였지만, 향후 연구에서는 겨울철 등 다른 계절에서의 옥상녹화의 효과에 관한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것이며, 옥상녹화 실험시 국내 옥상녹화 표준모델의 제시를 바탕으로 건물축소 모형에서의 옥상녹화 비교실험이 아닌 동일한 실제 건물을 이용한 옥상녹화 실험이 필요하다 사료된다.

참 고 문 헌

- 강재식 (1998). 옥상녹화시스템의 동·하계 열적 특성. 건설기술정보, 178(98-9), 6-13.
- 김기형 (2008). 대도시의 옥상조경실태와 개선방안에 관한 연구. 석사학위논문, 영남대학교, 대구.
- 김수봉 (2006). 대구시 대기환경 개선을 위한 녹지축 구축 및 옥상녹화사업 활성화 방안 연구(대구지역환경기술개발센터 연구보고서 No. 200602). 대구: 대구지역환경기술개발센터.
- 박기원 (2006). 옥상녹화의 개선방안에 관한 연구. 석사학위논문, 동국대학교, 서울.
- 박찬필 · 古川修文 (2004) 옥상녹화에 따른 콘크리트 건축물의 열환경 개선효과. 한국환경복원녹화기술학회지, 7(1), 1-9.
- 안태경 (2003). 공동주택 최상층부의 옥상녹화에 따른 에너지절약 평가, 한국생활환경학회지, 10(3), 182-186.
- 오승환 (2006). 저관리 경량형 옥상녹화의 온도저감효과 분석. 석사학위논문, 서울대학교, 서울.
- 유대종 (2007). 경량형 옥상녹화시스템의 냉방부하절감 효과에 관한 연구. 석사학위논문, 중앙대학교, 서울.
- 이동근 · 윤소원 · 오승환 · 장성완 (2005). 옥상녹화조성에 따른 온도저감효과에 관한 연구: 서울대학교 실험구를 중심으로. 한국환경복원녹화기술학회지, 8(6), 34-44.
- 장중근 (2004). 도심의 공원녹지 확충을 위한 옥상녹화의 환경 및 경제적 효과 분석. 석사학위논문, 계명대학교, 대구.
- Liu, K., & Minor, J. (2005). Performance evaluation of an extensive green roof. *Greening rooftops for sustainable communities*, 3, 8.
- Moyer, K. (2005). Waterloo green roof feasibility study, summary. *Greening rooftops for sustainable communities*, 3, 20.
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Building*, 33, 719-729.
- Papadakis, G., Tsamis, P., & Kyritsis, S. (2001). An experimental investigation of the effect of shading with plans for solar control of buildings. *Energy and Building*, 33, 831-836.
- Tan, P. Y., & Sia, A. (2005). A pilot green roof research project in singapore. *Greening rooftops for sustainable communities*, 3, 9.
- Theofosiou, T. G. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Building*, 35, 909-917.
- 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.

접수일(2010. 12. 24)

수정일(1차: 2011. 4. 22)

게재확정일(2011. 5. 25)