

옥상잔디식재의 열환경 조절기능에 관한 기초적 연구

A Basic Study on Thermal Performance of Roof Planting Systems

전성원* 황정하** 이명호***

Jun, Sung-Won Hwang, Jung-Ha Lee, Myoung-Ho

Abstract

Roof planting system affects passive cooling effects deeply and also mitigates the hot environment in summer with its evapotranspiration mechanism. Soil-covered roofs might decrease the cooling load of buildings. Quantitative investigation of hygrothermal characteristics of grass and soil surface is indispensable for the utilization of these effects. The test box of grass with three different roof have been observed to identify their hygrothermal characteristics on roof systems. Equivalent thermal resistance of grass, volumetric soil water content and convective heat transfer coefficient of grass and soil surface were obtained from the measured data through two-month experiment. Significant results predicting evaporation rate from grass surface with covered soil were shown within a reasonable.

키워드 : 옥상잔디식재, 열환경, 잔디, 자연냉방, 증발산량

keywords : roof planting system, thermal performance, grass, passive cooling, evaporation rate

1. 머리말

21세기를 향한 현 시점에서 인류는 지구환경의 악화, 에너지·자원의 고갈, 인구폭증 등 많은 문제에 직면하고 있다. 특히 공업화사회에서 자원과 에너지의 소비, 폐기물 방출 등으로 인한 자연의 파괴가 심각한 문제로 대두되고 있으며 우리나라에서 급속한 공업화와 도시화의 추진은 자연환경의 악화를 초래하여, 대기오염, 수질오염, 도시의 열섬효과등 많은 환경문제를 일으키는 중요한 원인이 되고 있다. 특히 급속한 도시화의 추진은 자연녹지 공간의 부족현상을 야기하므로써 공기환경의 오염, 도시의 열섬효과로 인한 도시내 지역기후의 변화를 초래하게

되었고 이에 따른 냉방에너지 사용의 급증으로 과도한 에너지자원의 소비를 야기시키고 있다.

따라서 자연생태계가 갖는 자원재생 및 정화기능을 살리는 환경친화적인 도시를 조성함으로써 도시의 자원 및 에너지 소비를 저감시키고 자연생태계를 보전시킬 필요가 있다.

환경친화적 도시를 조성하는 방법으로 도심내 자연녹지 공간을 확보하는 방안이 가장 효과적이지만 이는 도심내 택지 부족현상으로 인하여 현실적으로 불가능하므로 그 보다는 도시의 건축물을 녹화함으로써 건축물로 인한 도시의 환경부하를 저감시키는 방법이 효과적일 수 있다.

건축물을 녹화하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 옥상잔디 식재에 의한 녹화방법을 채택하였다.

옥상식재 방법은 외부 환경부하 경감과 함께 최상층의 실내 열환경 개선과 에너지 절약 효과에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 열환경 및 구조적으로 비교우위를 견지할 수 있는 옥상식재 구조시스템을

* 정회원, 중앙대 대학원 건축공학과 박사과정

** 정회원, 상주대 건축공학과 전임강사, 공학박사

*** 정회원, 중앙대 건축학과 교수, 공학박사

이 논문은 1997년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임

개발하기 위한 기초연구로서 몇가지 응용가능한 옥상식재구조에 대한 열환경 특성을 정량적으로 분석·평가하는 것을 목적으로 하였다.

옥상식재의 열성능 분석을 위한 연구방법은 다음과 같다.

1) 기존 건축물의 옥상구조와 옥상식재구조의 열특성을 비교분석하기 위하여 1m²의 면적을 가진 대형실험체 4개를 제작하여 실내 및 구조체 단면 온도를 측정하여 다음 각각의 열성능을 중간 기인 5월과 6월기간동안을 비교 분석하였다.

2) 옥상식재에 있어서 열환경에 영향을 미치는 토양의 수분수지를 파악하기 위하여 대형실험체의 1/10면적으로 중량 측정이 가능한 0.1m² 소형실험체 3개를 제작하여 대형실험체와 동일한 조건하에서 중량변화를 측정하였다.

본 연구에서는 장시간의 측정결과를 분석하여 옥상식재의 온열특성 및 옥상잔디식재구조에 따른 증발산량과 외기 기상요소와의 관계를 분석하여 옥상잔디식재의 열환경 조절기능을 파악하였다.

2. 실험개요

2. 1 대형실험체

옥상잔디식재구조의 열적특성을 파악하기 위하여 옥상잔디식재에 일반토양, 혼합토양, 인공경량 토양의 3종류의 대형실험체와 기존옥상구조 단면을 위한 1개의 대형실험체를 제작하여 중앙 대 공대 건물 옥상위에 그림자의 영향이 없는 곳에 설치하였다.

대형실험체의 단면구성은 다음과 같다.

- 1) 기존옥상구조: R.C슬라브+5cm 단열재+8cm 누름물받
- 2) 일반토양구조: R.C슬라브+1cm 자갈+20cm 일반토양+잔디
- 3) 혼합토양구조:

R.C슬라브+1cm 자갈+20cm 마사·부엽토+잔디

- 4) 인공경량토양구조:

R.C슬라브+3cm 투수펫+20cm 팽창진주암+잔디

대형 실험체의 기본 구조는 그림 2와 같이 두께 150mm 철근콘크리트 옥상슬라브로서 표면적이 1m²인 실험체위에 각기 다른 토양을 갖는 옥상식재를 설치하였다.

옥상잔디식재를 위한 토양구조는 일반토양의 경우 배수를 위한 자갈층위에 일반 흙을 성토하였으며, 혼합토양의 경우 자갈층위에 마사토와

부엽토를 5:5 비율로 혼합 성토하였으며, 인공경량토양의 경우는 배수를 위한 투수펫위에 팽창진주암 성분의 인공 경량토양을 사용하였다.

식재된 잔디는 일반적으로 보급되어 있는 한치형 켄터키 블루그라스(Kentucky Bluegrass)이다. 그림 2는 대형실험체의 표준적 단면과 측정점이고 그림 3은 4가지 옥상식재구조의 세부 단면이다.

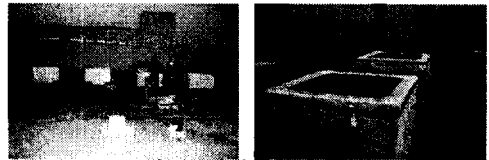


그림 1. 대형실험체 전경

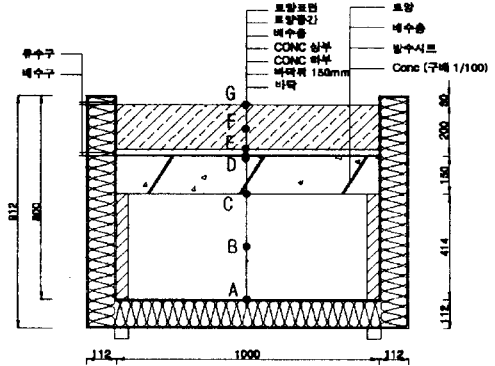


그림 2. 대형실험체 단면도 및 측정점

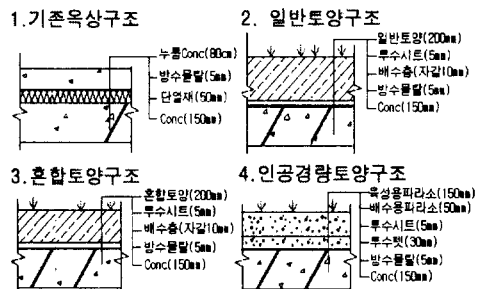


그림 3. 각 구조체 단면 상세도

2. 2 소형실험체

옥상잔디 식재의 열환경에 영향을 미치는 요소는 외부 기상요소뿐만 아니라 토양에 포함되어 있는 수분에 의한 증발냉각 효과도 고려되어야 한다. 옥상잔디식재의 수분수지 특성을 파악을 위한 잔디표면의 증발산량은 대형실험체 표면적의 1/10에 해당하는 0.1m²에 잔디를 심은 일반

토양, 혼합토양, 인공경량토양의 3가지 소형실험체의 중량측정을 통하여 파악하였다.

소형실험체 전경 및 단면을 각각 그림 4와 그림 5에 나타냈다.

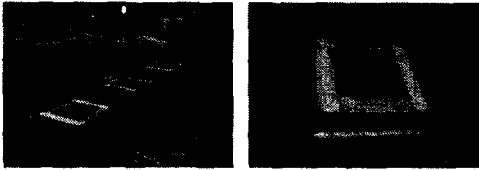


그림 4. 소형실험체 전경

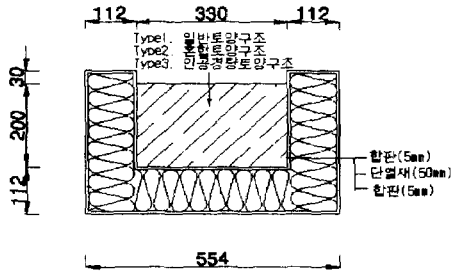


그림 5. 소형실험체의 단면

2. 3 측정방법

1) 외기 기상 자료

실험기간동안의 실험체에 영향을 미치는 외기 기상 요소 중 일사량, 외기온·습도, 풍향·풍속, 강우량 등을 10분간격으로 측정하여 Data Logger를 통해 자동기록하였다.

측정요소 및 측정장비는 다음 표1과 같다.

2) 대형실험체의 측정

각 구조별 온도분포를 파악하기 위해 열전대를 이용하여 각 부위별 온도를 측정하여 Data Logger를 통해 10분간격으로 측정하였다.

표 1. 측정요소 및 측정장비

구 분	측정요소	측정장비
기상데이터	외기온·습도 풍향·풍속 강우량	Weather Monitor II (Davis Instrument)
	일사량	로비치 전천일사계
대형실험체	토양표면-G 토양중간-F 배수층-E 슬라브위-D 천장온도-C 실내기온-B 바닥온도-A	열전대 데이터로거
소형실험체	실험체중량	전자저울

대형 잔디실험체의 측정점은 7개소, 기존 옥상구조 실험체는 5개소를 정하여 측정을 실시하였다. 각 측정점은 그림 2와 표 1에 나타냈다.

3) 소형실험체의 측정

소형실험체는 2시간 간격으로 오전 8시부터 오후 8시까지 중량변화를 전자정밀중량계(±10g)을 이용하여 측정하였으며 중량변화량을 이용하여 토양내 수분의 증발산량을 산출하였다.

3. 대형실험체의 열성능 분석

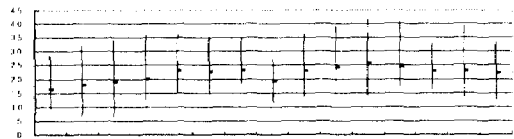
기존옥상구조와 각기 다른 토양을 가진 일반 토양, 혼합토양, 인공경량토양구조의 열환경을 비교분석하기 위하여 1998년 4월~6월까지 옥외 측정실험을 실시하였다.

3. 1 대형실험체의 일변화 분석

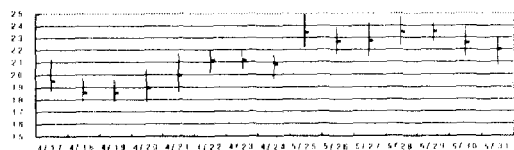
실험기간중 1주일이상 비가 오지않은 기간인 4월 17일~4월 24일, 5월 24일~5월 31일까지 15일간 각 실험체의 외표면온도와 실내 천장면 온도의 일평균 분포를 살펴보면 다음 표2와 같다.

표 2. 각 구조체별 일평균 온도

구 분	일 평균 최고, 최저, 평균온도[°C]	
	외표면온도[°C]	천정표면온도[°C]
기존옥상구조	12.6~35.2°C(21.8)	20.2~22.4°C(21.2)
	22.6°C	2.26°C
일반토양구조	11.7~32.6°C(19.7)	19.1~20.8°C(19.9)
	19.9°C	1.7°C
혼합토양구조	12.4~33.5°C(20.2)	19.2~20.9°C(20.1)
	21.1°C	1.7°C
인공경량토양구조	11.3~31.3°C(18.7)	18.8~20.8°C(19.8)
	20°C	2°C



기존옥상의 외표면온도(1일 최고·최소·평균온도)



기존옥상의 천정표면온도(1일 최고·최소·평균온도)

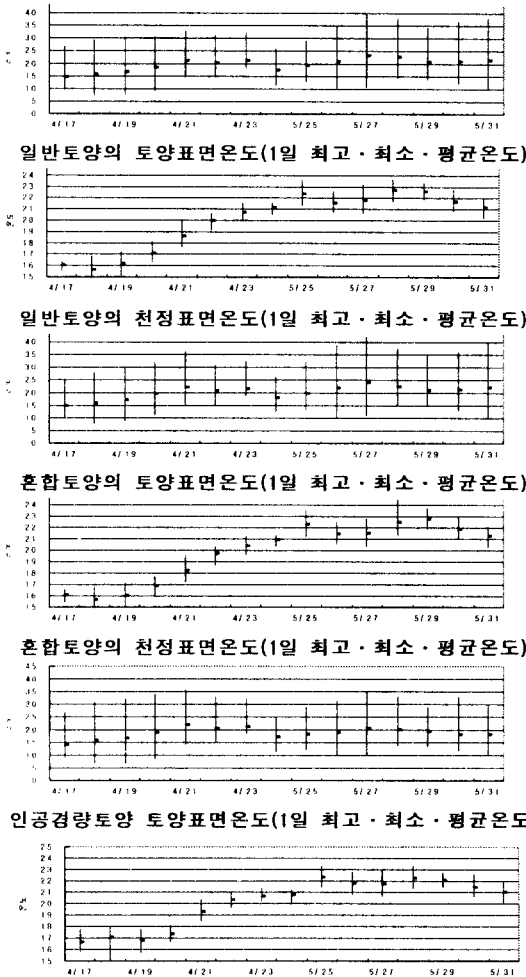


그림 6. 대형 실험체의 구조별 온도분포

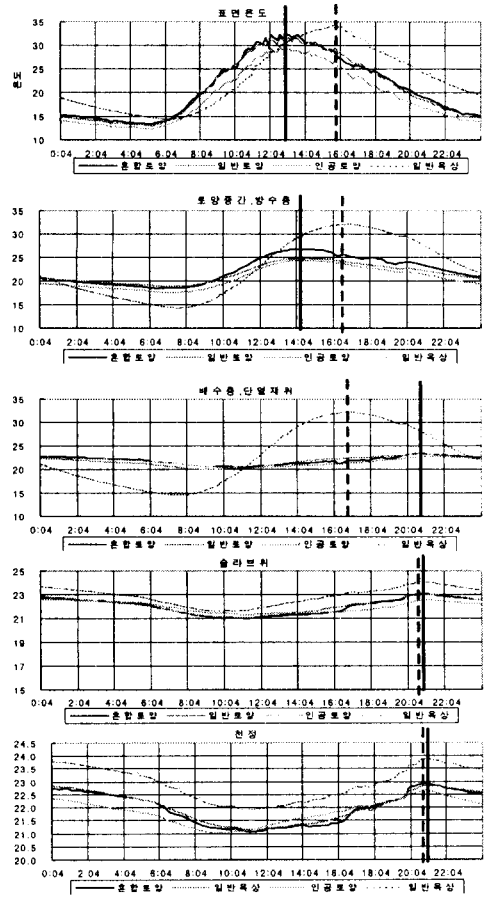
실험기간중 각 실험체 일 평균 최고·최저 외 표면온도와 천장표면온도를 살펴보면 일반 옥상 구조의 외표면온도는 12.6~35.2℃(평균 21.8℃)로 일변화폭이 22.6℃, 천장표면온도는 20.2~22.4℃(평균 21.2℃)로 일변화폭이 2.2℃로 나타났다. 일반토양의 토양표면 온도분포는 11.8~32.6℃(평균 19.7℃)로 일변화폭은 약 20℃ 정도이며, 천장표면온도 분포는 19.1~20.8℃(평균 19.9℃)로 일변화폭이 1.7℃로 나타났다. 혼합토양의 토양표면 온도분포는 12.4~33.5℃(평균 20.2℃)로 일변화폭이 21℃이며, 천장표면온도는 19.2~20.9℃(평균 20.1℃)로 일변화폭이 1.7℃, 인공경량토양의 경우 토양표면 온도분포는 11.3~31.3℃(평균 18.7℃)로 일변화폭이 20℃, 천장

표면온도는 18.8~20.8℃(평균 19.8℃)의 분포로 일변화폭이 2℃로 나타났다. 따라서 잔디식재를 한 구조의 경우 거의 유사한 온도분포유형을 나타내고 있으며 인공경량토양이 외표면 및 천장 내부 표면온도가 가장 낮게 나타났다.

인공경량토양을 기존 옥상구조와 비교해 볼 때 천장표면온도가 약 1~2℃정도 낮게 나타났으며, 외표면 온도의 경우 기존 옥상구조의 일 평균 온도가 21.8℃로 잔디식재의 표면온도보다 평균 약 2~3℃ 정도 높게 나타나 잔디식생구조의 경우 온도감쇄효과가 있는 것으로 나타났다.

3. 2 대형실험체의 시각별 온도변화 분석

실험기간인 1998년 4월말~ 6월중 비교적 날씨가 맑은 기간인 연속된 5월 24일~5월 30일 까지(7일간)의 일일 평균 시각별 구조체의 온도 변화를 살펴보면 다음 그림 7과 같다.



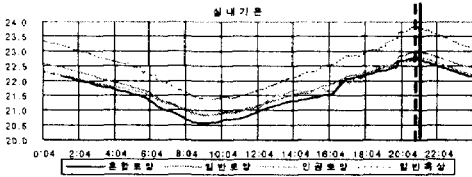


그림 7. 옥상구조체의 시각별 온도변화

※ ——— 잔디식재 Peak - - - - 기존옥상 Peak

1) 구조체 표면온도 분포

각 구조체의 표면온도의 시각별 평균 온도분포를 살펴보면 기존옥상구조의 경우 14.4~34.2 8°C의 (평균 21.8°C, 온도변화폭 20°C) 온도분포로 15:55분을 전후로 최고온도를 나타내고 있다. 혼합토양의 경우는 13.8~32.2°C(평균 20.2°C, 온도변화폭 19.3°C)의 온도분포로 12:04분을 전후하여 최고온도를, 일반토양의 경우 12.9~31.5°C(평균 19.7°C, 온도변화폭 18.9°C)의 온도분포로 12:54분을 전후하여 최고온도를, 인공경량토양의 경우는 12.3~29.3°C(평균 18.7, 온도변화폭 17°C)의 온도분포로 혼합토양·일반토양과 같이 12:34분을 전후로 최고온도를 보이고 있다.

기존옥상구조의 경우 일평균 최고온도가 34.2°C로 16시까지 지속적으로 온도가 상승하는데 반해 옥상잔디식재의 경우 일반옥상의 경우보다 2~4°C 정도 낮게 나타났으며 최고온도 시간도 3시간정도 빠르게 나타났으며 온도변화폭도 2~3°C정도 낮게 나타났다.

2) 토양중간층 및 방수층 온도분포

옥상식재구조체의 토양중간층과 일반옥상구조체의 방수층 온도분포를 살펴보면 일반옥상의 경우 14.4~32.2°C(평균 22.8°C, 온도변화폭 7.8°C)의 온도분포로 16:54분을 전후로 최고온도를, 혼합토양의 경우 18.4~26.2°C(평균 22.2°C, 온도변화폭 7.8°C)의 온도분포로 13:54분을 전후로 최고온도를, 일반옥상의 경우 18.9~24.8°C(평균 21.7°C, 온도변화폭 5.9°C)의 온도분포로 14:04분을 전후로 최고온도를, 인공경량토양의 경우 17.6~24.4°C(평균 22.0°C, 온도변화폭 6.8°C)의 온도분포로 13:54분을 전후로 최고온도를 나타내고 있다.

3) 단열재위, 배수층 온도분포

일반옥상구조의 단열재위와 옥상잔디식재구조의 배수층 온도분포를 살펴보면 기존옥상구조의 경우 14.6~32.2°C(평균 22.9°C, 온도변화폭 5.6°C)의 온도분포로 16:54분을 전후로 최고온도

를, 혼합토양의 경우 20.5~23.4°C(평균 22.1°C, 온도변화폭 2.9°C)의 온도분포로 20:34분을 전후로 최고온도를, 일반토양의 경우 20.02~23.3°C(평균 22.8°C, 온도변화폭 3.3°C)의 온도분포로 20:34분을 전후로 최고온도를, 인공경량토양의 경우 20.3~22.8°C(평균 21.9°C, 온도변화폭 2.5°C)의 온도분포로 21:04분을 전후로 최고온도를 나타내고 있다.

4) 슬라브위 온도분포

기존 옥상구조와 옥상잔디식재구조의 슬라브위 온도분포를 살펴보면 기존옥상구조의 경우 21.6~24.1°C(평균 22.8°C, 온도변화폭 2.5°C)의 온도분포로 20:44분을 전후로 최고온도를, 혼합토양의 경우 21.1~23°C(평균 22.02°C, 온도변화폭 1.9°C)의 온도분포로 20:44분을 전후로 최고온도를, 일반토양의 경우 21.04~23°C(평균 22.07°C, 온도변화폭 1.7°C)의 온도분포로 20:44분을 전후로 최고온도를, 인공경량토양의 경우 21.3~22.5°C(평균 21.9°C, 온도변화폭 1.2°C)의 온도분포로 21:14분을 전후로 최고온도를 나타내고 있다.

5) 천장 온도분포

기존옥상구조와 옥상잔디식재구조의 천장면 온도분포를 살펴보면 기존옥상구조의 경우 21.98~23.9°C(평균 22.9°C, 온도변화폭 2°C)의 온도분포로 20:54분을 전후로 최고온도를, 혼합토양의 경우 21.07~22.9°C(평균 21.9°C, 온도변화폭 1.9°C)의 온도분포로 21:04분을 전후로 최고온도를, 일반토양의 경우 21.1~22.8°C(평균 22°C, 온도변화폭 1.7°C)의 온도분포로 21:04분을 전후로 최고온도를, 인공경량토양의 경우 21.03~22.6°C(평균 21.8°C, 온도변화폭 1.6°C)의 온도분포로 21:34분을 전후로 최고온도를 나타내고 있다.

5) 실내기온분포

기존옥상구조와 옥상잔디식재구조의 실내기온분포를 살펴보면 기존옥상구조의 경우 21.4~23.8°C(평균 22.55°C, 온도변화폭 2.4°C)의 온도분포로 20:54분을 전후로 최고온도를, 혼합토양의 경우 20.6~22.8°C(평균 21.64°C, 온도변화폭 2.2°C)의 온도분포로 21:04분을 전후로 최고온도를, 일반토양의 경우 20.8~22.9°C(평균 21.8°C, 온도변화폭 2.1°C)의 온도분포로 21:04분을 전후로 최고온도를, 인공경량의 경우 20.82~22.8°C(평균 21.7°C, 온도변화폭 1.6°C)의 온도분포로

21:34분을 전후로 최고온도를 나타내고 있다.

옥상잔디식재구조와 기존옥상구조의 열성능을 비교하여 볼 때 혼합토양을 제외한 일반토양 및 인공경량토양의 경우 실내기온 및 천장표면온도가 기존옥상구조에 비해 1~2℃정도 낮게 나타났으며 옥상잔디식재구조체의 토양층 온도 감쇄폭이 기존옥상구조보다 1~3℃정도로 나타났으며 Time Lag는 기존 옥상구조체의 경우 16시를 정점으로 슬라브위까지의 Time lag가 4시간 정도로 나타났으며 옥상잔디식재구조의 경우 12시 30분을 정점으로 슬라브위까지의 Time Lag가 8시간 정도로 나타나 온도분포, 온도진폭 및 Time Lag에 있어서 옥상잔디식재가 양호한 것으로 나타났다.

또한, 야간시간대의 표면온도를 비교하여 보면 기존옥상구조의 경우 낮동안에 축열된 열의 영향으로 외기온보다 다소 높게 나타났으나 잔디식재구조의 경우 14시이후로 외기온보다 3~4℃정도 하강하였다. 이는 기존옥상구조의 경우 낮동안 축열된 열이 야간시간대에 지속적으로 복사되어 외기온을 상승시키는 요인으로 작용하는데 반하여 잔디식재구조의 경우 외기온보다 낮아 야간시간대에 건물주변의 국부기후를 낮은 온도로 유지시키므로써 도심내 열섬현상을 줄일 수 있는 것으로 판단된다.

각 시간대별 옥상구조체의 단면온도를 살펴보면 다음 그림 8과 같다.

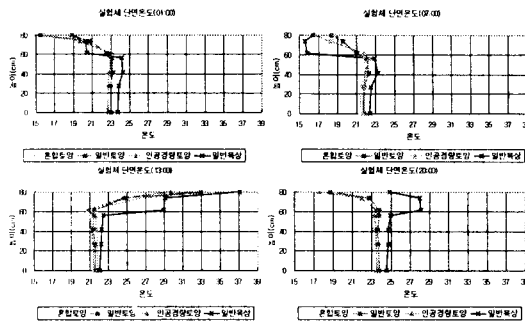


그림 8. 옥상구조체의 시간별 단면온도 변화

옥상구조체별 단면온도 변화를 살펴보면 각 구조체의 실내기온은 19시를 기점으로 최고 온도를, 7시에 최저온도를 나타내고 있다. 바닥면, 실내기온, 천장표면온도는 거의 일정한 온도분포를 나타내고 있으며 특히 잔디식재 구조체의 경우 21~24℃의 온도분포로 단열재 위치인 60cm까지의 온도분포 유형이 기존옥상구조와 비슷

한 것으로 나타나 잔디식재의 토양이 단열효과를 유지하는 것으로 파악되었다. 또한 잔디식재 구조체의 실내기온이 기존옥상구조보다 약 1~2℃ 정도 낮게 나타나 토양에 포함된 수분의 증발냉각이 실내열환경에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 잔디식재의 수분수지 특성 분석

4.1 소형실험체의 증량변화 특성

옥상잔디식재의 수분수지 특성을 파악하기 위하여 98년 4월말~5월말까지 소형실험체의 증량계측을 실시하였다. 실험기간동안 강우가 없는 기간에는 잔디의 생육을 위해 물 500g을 계량하여 살수를 실시하였다.

소실험체의 증량계측은 방수를 위한 아크릴판과 단열재 처리가 된 실험체 자체의 증량을 뺀 두께 20cm의 토양(잔디포함)을 0.1m²면적당 증량으로 산출하였다.

각 구조체의 증량변화폭을 살펴보면 다음 표 4와 같다.

표 3. 소형실험체의 증량변화

실험체	증량변화 [kg]
일반토양구조	27.69~34.35 kg
혼합토양구조	23.94~30.50 kg
인공경량토양구조	7.28~14.94 kg

각 실험체의 증량변화와 외기온, 일사량, 강수량 및 살수량 등의 기상상태는 그림 9와 같다.

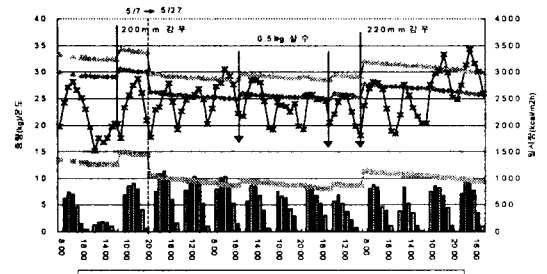


그림 9. 잔디식재 증량변화와 기상요소

잔디식재 구조체의 0.1m²당 두께 20cm를 기준으로 수분수지 특성을 파악하기 위한 증량변화를 살펴보면 일사량의 세기에 따라 직선적으로 증량이 감소하는 경향이 나타나고 있다.

증량변화는 일반토양구조에서 27.69~34.35 kg, 혼합토양구조에서 23.94~30.50 kg, 인공경량토양구조에서 7.28~14.94 kg로 나타났으며

중량 변화폭의 경우 일반토양구조는 6.6kg이며, 혼합토양은 6.56kg으로, 인공경량토양구조는 7.66kg으로써 인공경량토양구조가 중량변화폭이 큰 것으로 나타났다. 이는 인공경량토양의 경우 함습율이 높고 수분의 증발량이 많아 잔디식생에 유리하며 또한 증발냉각 효과가 커 열환경 측면에 있어서도 효과가 있는 것으로 나타났으며 구조체에 미치는 하중도 인공경량 토양이 가장 경량으로 기존 옥상구조의 누름콘크리트 면적 0.1m² 두께 8cm의 중량이 약 19kg인 점을 감안할 때 기존 옥상구조와 중량 차이가 거의 없어 다른 토양구조와 달리 구조적인 영향이 적은 것으로 판단된다.

4-2 소형실험체의 증발산량

잔디식재의 증발산량은 수분의 증발냉각에 의한 온도저감효과를 나타내고 있어 열환경에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 판단된다.

따라서 소형실험체의 시각별 증량계측에 따른 증발변화량으로 잔디식재의 증발산량을 산정하였다. 각 옥상잔디식재별 증발산량을 살펴보면 다음 그림 10과 같다.

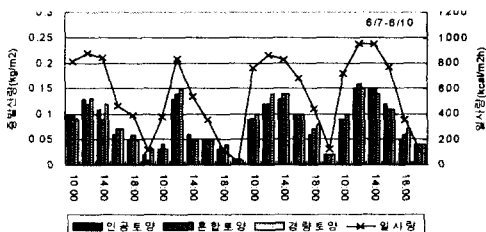


그림 10. 옥상잔디식재의 증발산량과 일사량의 변화

그림 10과 같이 시각별 증발산량과 일사량의 변화를 살펴보면 일사량의 증가에 따라 증발산량도 비례적으로 증가하는 관계를 나타내고 있어 증발산량에 직접적인 영향을 끼치는 기상요소는 일사량인 것으로 판단된다.

옥상식재구조체의 증발산량은 토양구조체에 따라 증발산량의 차이가 크며 증발산량의 최대, 최소, 평균치는 다음 표 4에 나타났다.

각 잔디식재 구조체별 증발산량을 살펴보면 단위면적당 일평균 증발산량은 일반토양구조체는 0.393kg, 혼합토양구조체는 0.4kg, 인공경량토양구조체는 0.453kg으로 나타났으며 잔디식재 구조체의 증발산량은 12시와 14시에 하루중 50%이상으로 가장 활발히 일어나 대부분의 수

분의 증발이 12시에서 14시 사이에 일어나는 것으로 나타났다.

표 4. 옥상구조체의 증발산량(최대·최소·평균치[kg])

구분	일반토양	혼합토양	인공경량토양
10시	최대	0.15	0.17
	평균	0.061	0.061
	최소	0.02	0.02
12시	최대	0.16	0.17
	평균	0.11	0.118
	최소	0.07	0.09
14시	최대	0.18	0.18
	평균	0.105	0.108
	최소	0.05	0.05
16시	최대	0.11	0.11
	평균	0.061	0.06
	최소	0.03	0.03
18시	최대	0.08	0.07
	평균	0.036	0.036
	최소	0.01	0.01
20시	최대	0.04	0.04
	평균	0.02	0.017
	최소	0.0	0.01

또한 옥상식재 구조체 가운데 인공경량 토양 구조체의 경우 증발산량이 가장 크게 나타나 증발냉각 효과가 다른 옥상식재 구조체에 비해 높은 것으로 파악되었다.

4-3. 증발산량과 기상요소와 상호관계

옥상식재의 열적특성에 영향을 미치는 요소 가운데 토양에 포함된 증발산량은 중요한 요소이다. 이는 구조체 표면의 온도 및 토양 내부에 잠열로 작용하여 구조체 온도를 낮추는 저감효과를 가지고 있기 때문이다.

증발산량은 강수량과 잔디생육의 활성화도에 기상요소(외기온, 일사량, 습도)에도 영향을 받는 것으로 판단되어 본 연구에서는 증발산량과 기상요소와의 관계를 중회귀분석을 이용하여 검토하였다. 청천일 8시~20시까지 소형실험체의 시각별 증발산량을 종속변수로 사용하였으며 독립변수는 외기온, 일사량, 상대습도로 잔디식재와 기상요소와의 상관관계는 다음 표 5와 같다.

표 5. 옥상식재의 증발산량과 기상요소의 상관관계

구분	일반	혼합	인공
외기온	0.619**	0.422**	0.594**
일사량	0.724**	0.551**	0.809**
습도	-0.541**	-0.466**	-0.612**

(** : 유의도 0.01)

중회귀분석을 통하여 살펴본 결과 옥상식재의

증발산량과 상관관계가 높은 기상요소는 일사량으로 나타났다. 상관관계에 따른 중회귀분석을 한 결과는 다음과 같다.

1) 일반토양구조

$$Y = 0.00009009 \cdot X_2 + 0.002662 \cdot X_1 - 0.0002404 \cdot X_3 - 0.0587 \quad (R = 0.738)$$

2) 혼합토양구조

$$Y = 0.0008271 \cdot X_2 + 0.0003177 \cdot X_1 - 0.000358 \cdot X_3 + 0.03387 \quad (R = 0.555)$$

3) 인공경량토양구조

$$Y = 0.0001359 \cdot X_2 + 0.0001879 \cdot X_1 + 0.00002121 \cdot X_3 - 0.00435 \quad (R = 0.829)$$

여기서, Y = 시각별 증발산량(g/m²·2h)

X₁ = 외기온(°C)

X₂ = 일사량(kcal/m²·2h)

X₃ = 상대습도(%)

증발산량에 대한 기상요소의 중회귀분석의 경우 혼합토양구조를 제외한 일반토양구조와 인공경량토양구조는 상관계수 R값이 0.7이상으로 통계적으로 설명력이 다소 낮은 것으로 나타났다.

옥상식재의 증발산량에 가장 큰 영향을 미치는 일사의 영향에 따라 증발산량이 증가하며 특히 인공경량토양구조의 경우 일사에 의한 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 시각별 증발산량 추정치와 실측치의 비교는 다음 그림11과 같다.

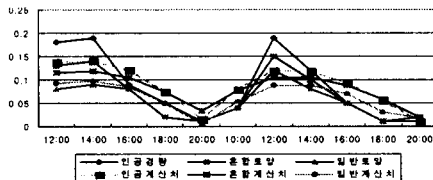


그림 11. 시각별 증발산량 추정치와 실측치 비교

그림 11에서와 같이 중회귀식에 의한 시각별 증발산량의 추정결과는 최대치를 나타내는 12시와 14시를 제외하면 실험치와 일치하고 있다.

5. 결론

본 연구는 환경친화적인 도시를 조성하기 위한 방안으로 기존 건축물 옥상구조를 녹화함으로써 건축물에 의한 도시의 환경부하 경감과 함께 환경친화적 건축물을 조성하기 위한 기초적 연구로서 건축물의 최상층 실내 열환경 개선과 에너지 절약 효과를 정량적으로 파악하기 위하여 기존옥상구조체, 일반토양구조체, 혼합토양구조체, 인공경량토양구조체 등 4종류의 대형실험

체와 옥상식재 3종류의 소형실험체를 제작하여 옥상잔디식재구조체의 열성능과 식재 토양의 수분수지 특성에 영향을 미치는 증발산량에 대한 측정 실험을 실시하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

1) 옥상구조체의 일 평균 온도변화를 살펴보면 외표면온도와 실내기온의 경우 인공경량토양구조체가 가장 낮게 나타났으며 일반토양구조체, 혼합토양구조체, 기존옥상구조체 순으로 나타났다.

2) 옥상식재 구조체의 경우 기존 옥상구조체보다 실내기온이 평균 1~2°C 정도 낮게 나타났으며 표면온도에 있어서도 평균 2~3°C 정도 낮게 나타났다. 특히 야간에는 기존 옥상구조체의 외표면온도는 외기온보다 높게 나타난 반면 옥상식재 구조체의 잔디표면온도가 외기온보다 3~4°C 낮게 나타났다.

3) 표면에서 슬라브위까지의 Time Lag을 살펴보면 기존 옥상구조체의 경우 16시에서 20시까지 약 6시간, 옥상식재구조체의 경우 13시에서 21시까지의 약 8시간의 Time Lag을 갖는 것으로 나타났다.

4) 옥상식재구조체의 증량변화폭을 살펴보면 인공경량토양구조체가 가장 경량구조체이며 증량변화가 많은 것으로 나타났으며 일반토양구조체, 혼합토양구조체 순으로 나타났다. 또한 증발산량을 살펴보면 인공경량토양구조체가 일 평균 증발산량이 가장 많으며 일반토양구조체, 혼합토양구조체 순으로 나타났다.

5) 인공경량토양의 경우 경량구조체이며 흡습율이 높고 증발산량도 많아 잔디식생에 유리하며 증발냉각 효과가 커서 열환경 및 구조적 측면에서 효과적인 것으로 나타났다.

이상의 결과를 살펴보면 옥상식재구조는 건축물 최상층의 실내열환경 개선, 에너지 절약 효과 및 도시 환경부하 경감에 효과적인 것으로 판단되며, 특히 인공경량토양을 이용한 옥상식재구조의 개발 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 대한건축학회, 2000년대의 건축비전 : 범세계적 환경건축의 추구, 1995. 10
2. 興水肇, 都市建築物の綠化手法, 彰國社, 1994
3. Akira Hoyano, "Passive solar control effects of roof-top lawn-planting", ISES Solar

(接受 : 1998. 6. 30)