

관측에 의한 옥상 수공간의 자연냉각효과 평가

정성진*, 최동호**, 이부용***

* 대구가톨릭대학교 대학원 건축학과(korjsj@naver.com)

** 대구가톨릭대학교 건축학과(dhchoi2@cu.ac.kr)

*** 대구가톨릭대학교 환경과학과(bylee@cu.ac.kr)

Evaluation of Passive Cooling Effect on Roof Pond through Field Observation

Jeong, Seong-Jin*, Choi, Dong-Ho**, Lee, Bu-Yong***

* Dept. of Architecture, Graduate School, Catholic University of Daegu(korjsj@naver.com)

** Dept. of Architecture, Catholic University of Daegu(dhchoi2@cu.ac.kr)

*** Dept. of Environmental Science, Catholic University of Daegu(bylee@cu.ac.kr)

Abstract

This study carried out field observations of measuring thermal environment, especially evaluating amount of water evaporation at roof pond by field observations during the summer. Thermal environment measuring was categorized as air temperature, water temperature of roof pond, surface temperature, globe temperature, short and long wave radiation, net radiation, and amount of water evaporation by water level measurement. Results from this study could be used as fundamental for reducing heat island phenomena.

Keywords : 복사환경(Radiant environment), 자연냉각(Passive cooling), 잠열(Latent heat)

1. 서론

도시는 건물과 도로 등 주로 인공재로 피복되어 있고 상대적으로 낮은 녹지면적 비율로 인해 증발에 의한 냉각작용이 미약하다. 그리고 건물의 냉난방과 교통 등 각종 도시 활동에 수반되어 소비되는 에너지량은 방대하여 도시특유의 기후를 형성하는 주요원인으로 작용하고 있다. 건축외부공간을 포함하는 도시고온화의 원인분석과 고온화억제를 위한 연구^{1), 2)}들이 다각적으로 검토되고 있는 가운데, 옥외 수공간 조성과 건축녹화 등 증

발잠열³⁾에 의한 자연냉각효과는 도시의 지표면주변 온도상승을 억제하는 가장 효과적인 방안으로 주목받고 있다.

본 연구에서는 건물옥상에 인공수조를 설치하여 증발잠열에 의한 자연냉각효과를 관측에 의해 추정하였다. 하절기 수조로부터의 증발량을 실시간으로 관측함으로써 수분증발에 의한 잠열효과를 정량적으로 산정하였다. 본 연구를 통해 얻어진 관측자료는 도시고온화 완화 등 도시기후 해석을 위한 기초데이터로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험개요

2.1 실측장소

실측은 경북에 소재한 대학건물(지상 5층 규모)의 옥상에서 실시되었으며 평지붕 상부에 인공수조를 설치하여 수조내의 온도변화와 증발잠열, 그리고 수조상부의 복사환경을 관측하였다. 실측대상 건물의 지붕슬래브의 단면상세도 및 측정점 위치를 그림1에 나타내었다.

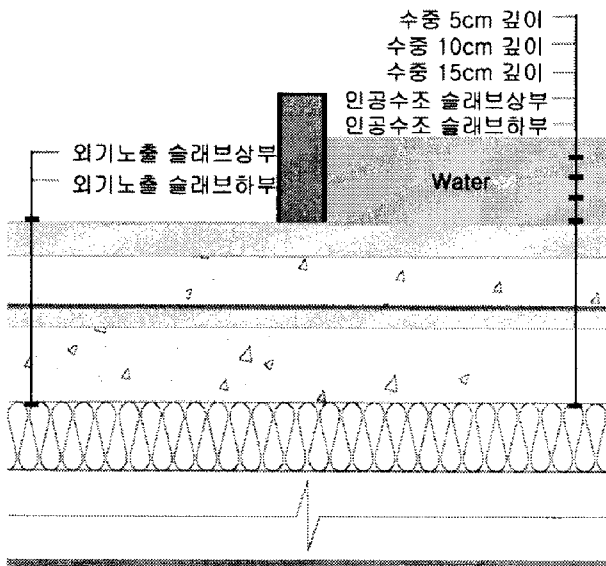


그림 1. 지붕슬래브의 단면상세도와 측정점

2.2 인공수조 및 실험조건

인공수조는 2.8m X 2.8m 크기로 제작되었으며 수조의 바닥에는 2겹의 비닐막을 설치하여 하부 구조체로의 수분이동을 차단하였다. 또한 수조의 측면은 합판으로 제작된 형틀로 고정하고 4면에 수평사재를 보강함으로써 변형에 의한 수위변화를 방지할 수 있도록 하였으며, 측벽의 내측에는 스티로폼을 설치하여 측벽을 통한 열유출·입을 차단할 수 있도록 하였다(그림2).

실측은 2007년 6월 10일~15일에 실시하였으며 수조내의 온도변화, 증발량, 그리고 수조상부의 복사환경을 실시간으로 관측함으로써 옥상수조에 의한 자연냉각효과를 정량적

으로 규명할 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 기상상태가 양호하고 기온이 높은 6월 12일을 대표일로 설정하여 대표일의 열환경에 대해 중점적으로 분석하였다.

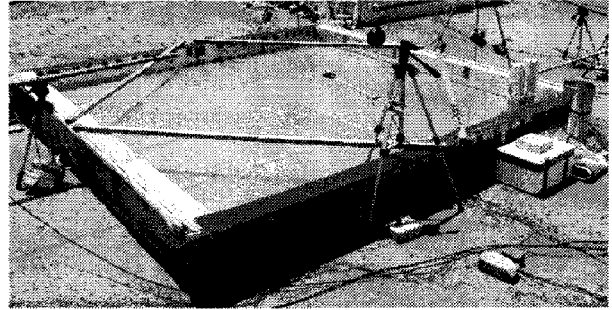


그림 2. 인공수조 설치모습

2.3 측정점 위치와 측정기기

실측에 사용된 측정기기를 표1에 나타내었다. 본 연구에서는 수조 및 수조주변의 상대습도, 풍향풍속, 온도, 흑구온도, 장파복사,

표 1. 측정항목별 측정기기와 측정점 위치

측정항목	측정기기
	측정점 위치
기온	Datascan 7320, 7020, T-type열전대(0.25)
	지상 0.8m 높이 1개소
온도	Datascan 7320, 7020, T-type열전대(0.25)
	시험체 하부 콘크리트 표면과 수중(5cm, 10cm, 15cm)를 포함한 15개소
흑구온도	Datascan 7320, 7020, T-type열전대(0.25)
	시험체 상부 0.8m 높이 1개소
일사(단파복사)	①CM6B Pyranometer / Kipp&Zonen ②LI200X Pyranometer / Campbell Scientific
	시험체의 상향 및 하향복사
상대습도	HMP45AC / Campbell Scientific
	시험체 주변 1.2m 높이 1개소
복사온도(열화상)	ThermaCAM S60 / FLIR사
	시험체 및 시험체 주변
장파복사	CGR3 Pyrgeometer / Kipp&Zonen
	시험체 주변 1개소
풍향풍속	05103 / Campbell Scientific
	시험체 주변 1개소
순복사계	Q7.1(Fritechen Type) / Campbell Scientific
	시험체 상부 1개소
수위계	BYL-EV250 증발기록계 2개소
	인공수조 내부 2개소

단파복사, 순복사를 관측하였다. 이 밖에도 적외선 열화상 카메라를 이용하여 인공수조의 표면온도를 시간대별로 측정하였으며, 인공수조의 증발량 관측을 위해 수조내에 부력식 수위계를 설치하였다. 인공수조의 증발량 관측을 통해 증발잠열의 정량화와, 아울러 인공수조 상부의 단파복사, 장파복사, 순복사량 관측을 병행함으로써 인공수조 상부의 복사환경까지 종합적으로 파악할 수 있도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 일사량, 상대습도, 풍속분포

대표일의 기온은 18.5~32.1℃로서 6월의 기온으로서는 비교적 높은 온도를 나타내었으며, 태양복사량은 최고 932W/m²으로 관측되었다(그림 5, 표2). 상대습도는 29~83%, 풍속은 최대 1.5m/s, 평균 0.9m/s로 관측되어 비교적 바람이 약한 기상조건하에서 관측이 이루어졌다(표2).

표 2. 대표일의 기상측정결과

실험기간		2007.06.10 ~ 06.15
대표일		2007.06.12
기온[℃] / 상대습도[%]	최고	32.1℃ / 83%
	최저	18.5℃ / 29%
	평균	24.7℃ / 55.6%
태양복사량 [W/m ²]	최고	932
	평균	425
풍속 [m/s]	최고	1.5
	최저	0.1
	평균	0.9

3.2 인공수조의 온도

대표일의 인공수조 내 수중(5cm깊이)온도는 20.3~29.6℃, 평균 24.7℃를 나타내어 상대적으로 물의 큰 비열과 열용량의 영향으로 일중 온도변화폭은 비교적 작은 9.3℃로 관측되었다(그림3). 그림3은 인공수조의 수온과 수조하부 슬래브표면온도를 비교한 것이다. 수온과 수조하부 슬래브표면온도는 거의 유사한 온도변화추이를 나타내었으나 주간시간

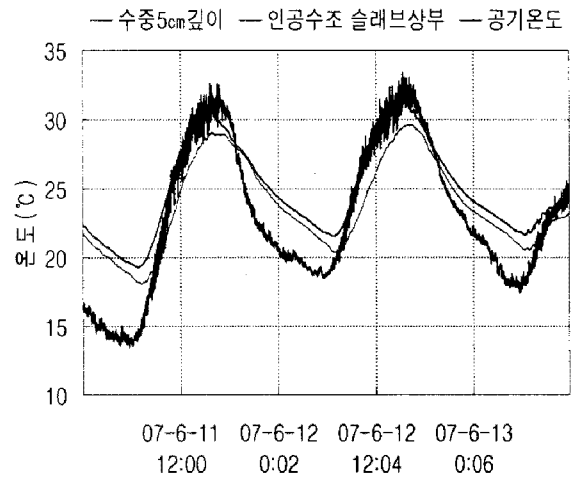


그림 3. 수중온도와 슬래브 표면온도 비교

대에는 태양복사의 영향으로 상대적으로 열용량이 작은 슬래브상부 표면온도가 다소 높게 나타난 반면, 야간시간대에는 두 지점간의 온도차는 크게 축소되었다. 한편, 외기에 노출된 슬래브상부의 표면온도는 21.8~48.6℃(온도변화폭 26.8℃), 평균 32.8℃로 관측되어 인공수조하부 슬래브표면온도보다 현저히 높게 나타나 인공수조 설치에 따른 자연냉각효과를 확인할 수 있었다.

한편, 수조상부에서 관측된 흑구온도는 강한 태양복사와 야간복사의 영향으로 18.1~46.5℃(일중 온도변화폭 28.4℃), 평균 29.9℃를 나타내었다(그림4).

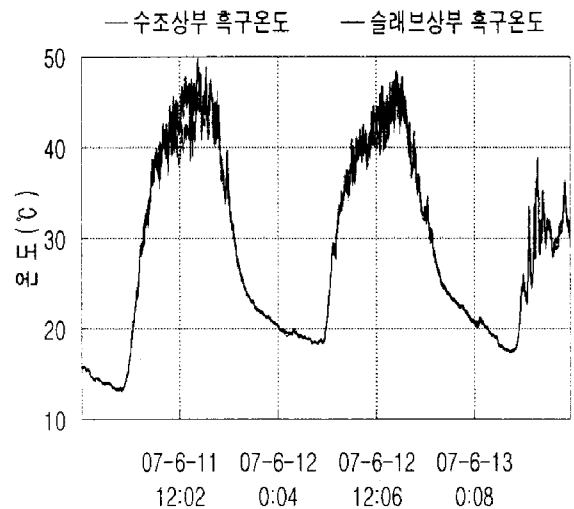


그림 4. 흑구온도 비교

3.3 복사환경

대표일(6월 12일)의 12:20분 무렵에 관측된 단파복사량, 장파복사량, 순복사량을 표3에, 인공수조 상부에서 관측한 상·하향 복사분포를 그림5에 나타내었다. 인공수조의 장파복사 상향성분은 관측된 단파복사(상·하향), 장파복사(하향), 순복사량으로부터 산출한 값이다(표3).

표 3. 인공수조의 복사수지
(2007년 6월 12일 12:20분 전후의 10분간 평균값임)

항 목	단파복사 [W/m ²]	장파복사 [W/m ²]	총복사량 [W/m ²]	순복사량 [W/m ²]
하향 성분	926	423	1,349	606
상향 성분	169	574	743	
차	▼ 757	▲ 151	▼ 606	
합	1,095	824	2,092	
비율 (상향/하향)	0.18 (알베도)	1.35	-	

주) ▲, ▼는 에너지의 이동방향을 나타냄

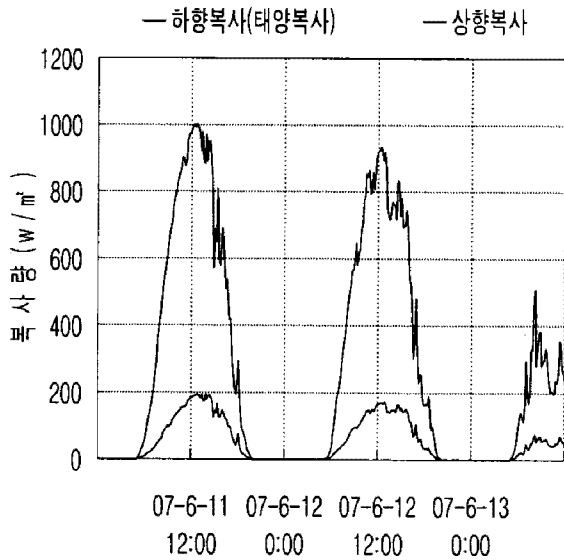


그림 5. 인공수조의 상·하향 복사분포

3.3.1 단파복사량 및 알베도

표3에서 인공수조의 상향복사는 169W/m²로 관측되어 하향성분 926W/m²에 대한 비율인 알베도(상향 단파복사량/하향단파복사량)는 0.18로 나타났다. 이는 지표면의 일반적인 알베도 값인 0.30~0.35⁴⁾보다 다소 낮은 것으로서 인공수조는 많은 단파복사(태양복사에너지)를 흡수하는 것으로 확인되었다.

3.3.2 장파복사량 및 순복사량

인공수조의 표면온도와 복사율에 따라 주변으로 복사되는 장파복사에 대해 살펴보면 상향성분(574W/m²)은 하향성분(423W/m²)보다 크게 나타났다. 이는 인공수조의 비교적 높은 복사율(0.85)에 의한 효과로 추정된다. 또한, 인공수조 상부에서 상하향 에너지 유출입의 차를 나타낸 순복사량 측정결과, 606W/m²의 복사에너지가 인공수조의 표면으로 유입되는 것으로 확인되었다(표3).

3.4 인공수조의 증발량

인공수조의 증발량 관측결과를 그림6에 나타내었다. 부력식 수위계에 의해 관측된 증발량은 상대습도가 높은 새벽 무렵에 낮은 증발량을, 상대습도가 낮고 태양복사가 강한 낮시간대에 높은 증발량이 관측되었다. 대표일의 증발량은 수온이 높고 상대습도가 낮은 16:00시를 전후하여 최고의 증발량(0.45mm/h)이 관측되었으며, 02:00시 무렵에 최저치(0.1mm/h)를 나타내었다. 증발량을 열량으로 환산하면 16:00무렵에 약 2,500W/m², 02:00시 무렵에 약 463W/m²의 증발잠열을 필요로 함으로, 이러한 인공수조의 증발산작용에 의한 자연냉각효과는 수온 및 인공수조 슬래브상부의 온도저하에 크게 기여하고 있음을 확인할 수 있었다.

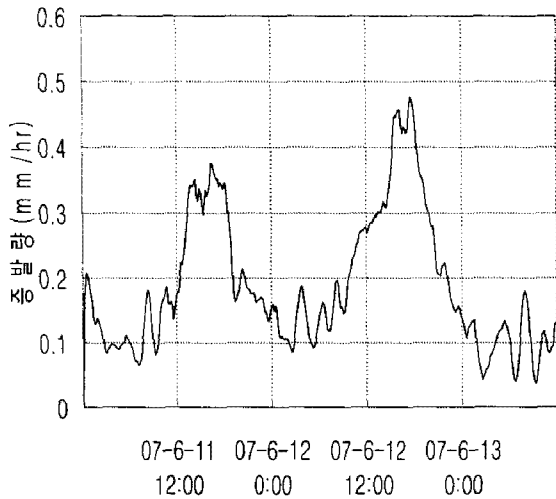


그림 6. 인공수조의 증발량

4. 결론

본 연구에서 관측된 결과들을 요약 정리하면 다음과 같다.

- 1) 인공수조의 수온 및 수조하부 슬래브표면 온도는 인공수조의 낮은 알베도로 인해 태양복사에너지를 많이 흡수하였음에도 불구하고 물의 높은 열용량과 증발산작용에 의한 자연냉각효과의 영향으로 비교적 안정된 온도를 유지하는 것으로 확인되었다.
- 2) 하절기 정오 무렵 인공수조 상부에서 관측한 복사수치는 단파복사 $757\text{W}/\text{m}^2$ (하향), 장파복사 $151\text{W}/\text{m}^2$ (상향), 순복사량 $606\text{W}/\text{m}^2$ (하향)로 관측되었다.
- 3) 수공간의 증발량은 기상조건 등의 변수에 따라 차이가 있을 것으로 사료되나, 본 연구를 통해 관측된 6월의 비교적 고온, 청명일의 증발량은 시간당 $0.1\sim 0.45\text{mm}$ 를 나타낸 것으로 관측되었다.
- 4) 수공간의 증발량은 계량의 어려움 때문에 산정에 많은 제약을 받아 왔으나, 본 연구에서는 부력식 수위계를 활용하여 하절기 인공수조의 증발량을 실시간으로 산출하였다. 향후 보다 다양한 환경에서의 증발량 관측을 통해 도시기후 해석에 활용될 수 있는 실질적인 자료들을 제시할 예

정이다.

참고문헌

- 1) 최동호, 이부용, 하절기 복사환경 관측을 토한 석재, 목재, 알루미늄 바닥재의 열특성 평가, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.28, No.3, pp.35-44, 2008.6
- 2) 森山正和, ヒートアイランドの對策と技術, 學藝出版社, 2004.08
- 3) 한진수, 이부용, 김현철, 김대원, 자유수면 증발량과 기상요소의 관계, 한국기상학회 2004년도 가을학술대회 논문집, 2004.10
- 4) 甲藤好郎, 傳熱概論, 養賢堂, 1989