

하절기 실험을 통한 건물녹화용 피복재료의 복사수지 해석

최동호*, 이부용**

*대구가톨릭대학교 건축학부(dhchoi2@cu.ac.kr)

**대구가톨릭대학교 환경과학과(bylee@cu.ac.kr)

An Experimental Study of Surface Materials for Planting of Building Surface by the Radiant Heat Balance Analysis in the Summer

Choi, Dong-Ho* Lee, Bu-Yong**

*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 to understand the thermal characteristics of various surface material which compose the city through the observation in the summer. To examine passive cooling effect of planting of building, it is arranged four different materials that is natural grass, grass block, concrete slab and artificial grass. The results of this study are as follows; ① Natural grass and grass block show the lower surface temperature because of the structures of leaf can do more thermal dissipation effectively. ② There is little surface temperature between artificial grass and concrete. But there is little high surface temperature difference between natural grass and concrete because of latent heat effect. ③ The concrete can play a role of the tropical nights phenomenon as high heat capacity of concrete compare with other materials. ④ It is nearly same color in artificial grass and natural grass but there is large difference between natural grass and artificial grass at albedo. There is different albedo in near infrared ray range. ⑤ A short wave radiation gives more effect at the globe temperature than long wave radiation. ⑥ The artificial turf protected the slab surface temperature increase in spite of thin and low albedo materials.

Keywords : 복사환경(Radiant environment), 알베도(Albedo), 장파복사(Long wave radiation), 열섬현상(Heat island), 도시열환경(Urban thermal environment), 건물녹화(Planting of building)

1. 서론

도시에서의 열환경은 도시의 입지조건, 시가지 형태, 인공배열량, 구성재의 열 물리적

특성 등 다양한 요인들의 복합적인 효과에 의해 결정되며, 최근 도시 온도상승억제를 통한 쾌적환경 조성의 필요성이 높아지고 있다. 이러한 맥락에서 도시의 온도상승억제를

투고일자 : 2010년 4월 30일, 심사일자 : 2010년 5월 6일, 게재확정일자 : 2010년 5월 28일
교신저자 : 최동호(dhchoi2@cu.ac.kr)

위한 다양한 방안들이 모색되고 있는 가운데, 건축분야에서도 건물녹화와 지붕 및 지면을 구성하는 외피재료의 열특성 검토와 같은 패시브적 접근방법이 가장 효과적이며 현실적인 해법으로 인식되고 있다.

건물녹화는 증산작용에 따른 잠열냉각효과와 건물구조체 하부로 유입되는 전도열을 억제할 수 있어 단열성 향상에 의한 공조부하 저감과, 넓게는 히트 아일랜드 완화, 도시의 자연생태계 복원, 건물이용자의 거주성(쾌적감) 증대, 양호한 경관형성 등의 부가적인 효과도 함께 기대할 수 있다. 이와 같이 현실적인 필요성에 의해 필자들은 건축물과 도시를 구성하는 다양한 외피재료의 열특성 파악을 위한 일련의 연구를 수행하고 있으며, 하절기 관측을 통한 도시 구성재의 열물성 특성 파악을 통해 궁극적으로는 도시열섬 완화와 건물단열성능 개선을 위한 기초데이터를 제시코자 하였다. 이러한 연구로서 건축물과 도시의 지면 피복재료로 널리 보급되어 있는 비투수성 인공재료군(콘크리트, 석재, 목재 마감재)의 열특성을 선행연구¹⁾를 통해 조사한 바 있으며, 이들 재료간에 현저한 열적 차이가 상존함을 확인할

수 있었다. 본 연구는 후속연구로서 건물녹화에 따른 자연냉각효과를 검토하기 위해 건물 옥상에 천연잔디, 잔디석재블록 시험체(투포수성 포장재)를 배치하여 이들의 열적 효과를 콘크리트 지붕슬래브, 인조잔디면(플라스틱 소재)과 상호 비교하였다. 지붕녹화에 관한 기존의 연구에서는 주로 녹화에 따른 시험체 표면온도의 관점에서 해석한 사례²⁾⁻⁴⁾와 단순히 알베도와 장단파 복사를 관측한 연구⁵⁾는 있으나 식생조건 시험체의 표면온도와 시험체를 매개로 한 장단파 복사성분을 관측하여 복사열수지를 포함한 종합적인 열특성을 정량적으로 산출한 연구^{1),6)}는 이제 시작단계에 있다.

본 논문에서는 건물옥상에 조성된 각 시험체(그림1)의 에너지수지를 파악하기 위한 장단파 복사성분 관측과 그 시험체 표면과 내부온도를 관측하여 시험체의 열적 효과를 조사하였다. 아울러 본 연구에서는 시험체 하부에 위치한 지붕구조체(슬래브) 표면온도를 관측함으로써 시험체별 지붕의 열전달 특성을 입체적으로 해석, 분석하였다. 이러한 관측적인 접근법은 시험재료의 물성파악과 국지적인 도시 열환경 수치해석 및 평가에 필요한 기초

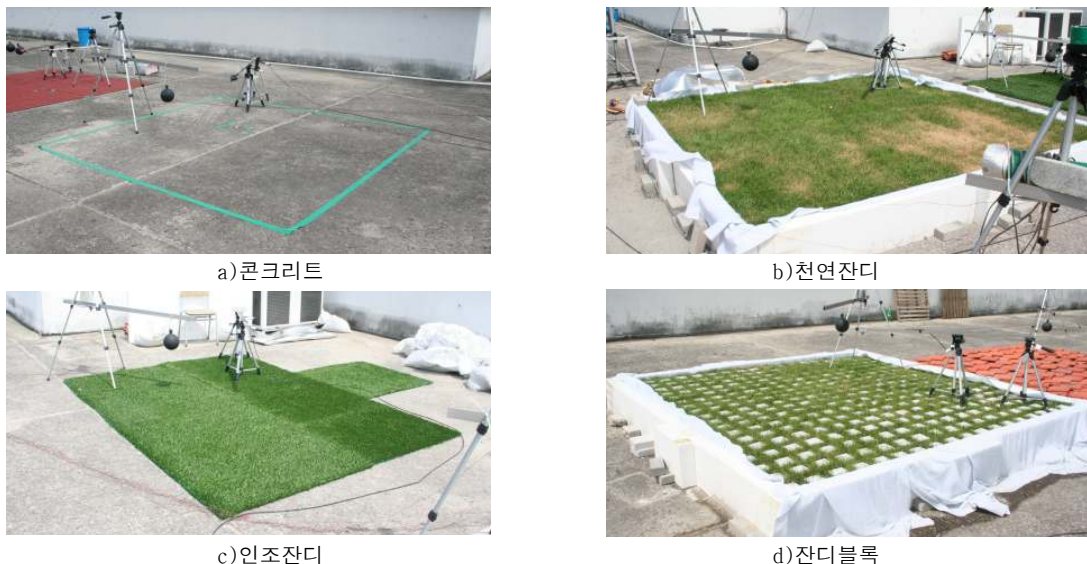


그림 1. 시험체 전경

자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 실험개요

2.1 실험대상 및 장소

실험장소는 1997년 준공한 지상 5층의 경북 소재 대학건물(철근콘크리트조)의 옥상이며 시험체는 그림2와 같이 배치하였다. 전체 건물옥상면적 중 410m²의 공간에 4종류의 시험체를 조성하였으며, 그 하부 강의실 2개실을 실험대상 공간으로 하였다. 그림3은 실험대상 건물의 지붕 슬래브 단면상세도를 나타내었으며, 이 지붕의 열관류율은 0.595W/m²K이었다(표1). 이와 같이 시험체를 조성하여 시험체별 열특성과 지붕 단열성능을 평가할 수 있게 하였다.

2.2 시험체 종류 및 실험조건

기존 건물의 옥상(평지붕)에 시험체들을 구성하여 열특성을 파악, 평가할 수 있게 하였다. 시험체들의 패시브 냉각효과를 검토하기 위하여 별도의 피복재를 설치하지 않은 콘크리트 지붕면과 병행하여 검토하였다. 시험체 하부 실내공간에서는 모든 개구부(창과 문)를 단았으며 전등과 전원은 차단하여 지붕면 일사수열에 따른 최상층 실내온도가 자연환기 등에 의한 외부영향 없이 평가할 수 있게 하였다. 실험은 2006년 8월 15일~16일에 실시하였으며 기상상태가 양호하고 기온이 높은 8월 16일을 대표일로 설정하여 이날의 열환경을 중점적으로 분석하였다. 표2, 그림4는 시험체 제원과 단면상세도를 나타낸 것으로, 콘크리트 평슬래브 상부에 추가로 설치되는 시험체 열특성(복사수지, 열용량)을 파악하고 이들 시험체 설치에 따른 열차폐 성능(단열 및 열전달 특성)의 효과를 정량적으로 파악하고자 하였다. 시험체는 콘크리트 포장면(무처리된 지붕면), 천연잔디, 인조잔디, 잔디블록의 4가지 종류로 선정하였으며, 시험체는 주변에서 흔히 접할 수 있는 식생인 천연잔디,

천연잔디와 화강석이 격자상으로 배치된 잔디블록면(이하 잔디블록), 그리고 천연잔디와 시각

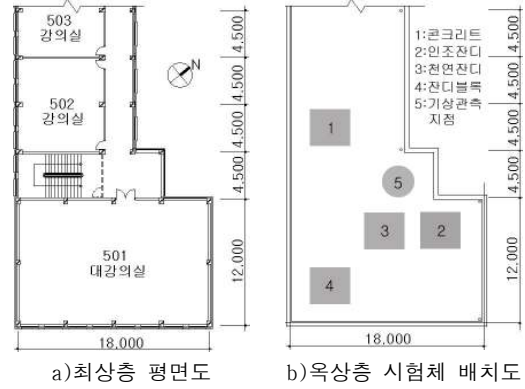


그림 2. 실험대상공간

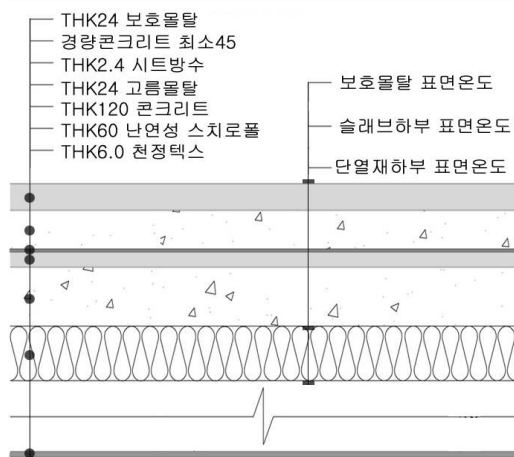


그림 3. 슬래브의 단면상세도와 온도 측정점

표 1. 지붕 열관류율

재료명	두께 [mm]	열전도율 [W/m·K]	열전도저항 [m ² ·K/W]	열관류율 [W/m ² ·K]
실외측 표면	-	-	0.043	0.595
보호 모르터	24	1.512	0.016	
경량 콘크리트	45	1.860	0.024	
시트방수	2	0.256	0.008	
고름 모르터	24	1.628	0.015	
콘크리트 슬래브	120	1.860	0.065	
발포폴리스티렌	60	0.043	1.394	
공기층	-	-	0.043	
천장텍스	6	0.209	0.028	
실내측 표면	-	-	0.043	

적으로는 동일하나 열특성이 상이할 것으로 추정되는 인조잔디면을 검토대상 시험체로 선정하였다. 콘크리트 시험체는 지붕슬래브상부에 별도의 장치를 설치하지 않은 무처리 상태에서의 열특성을 평가하기 위한 것으로 본 연구의 비교기준으로 활용하였다. 시험체의 크기와 단면형태는 표2, 그림3, 4에 나타내었다. 시험체 중 잔디블록은 건물외부공간 및 옥상바닥재로 채택되는 기성제품(제품명:그린블록스텝⁷⁾을 시험체로 사용하였다. 그리고 시험체는 3.0m×3.0m 크기로 조성하여 시험체 주변의 영향없이 열전달과 복사환경 특성을 평가할 수 있게 하였다. 그림4는 천연잔디, 잔디블록의 단면을 나타낸 것으로 잔디식재를 위해 인공토(경량토)를 각각 일정 두께로 배치하였다.

2.3 측정개요

측정기와 측정점 위치를 표3, 그림3에 나타내었다. 잔디블록의 경우 열적인 효과가 클 것으로 생각되는 석재(화강석)부분에 표면온도를 측정하였으며 천연잔디의 경우에는 잔디 아래 줄기부분에서 관측을 하였다. 지붕슬래브 상부에 설치된 시험체와 그 하부 슬래브 구조체의 열 특성을 파악하기 위해 실내외 기온, 표면온도를 포함한 온도(33점), 흑구온도(4점), 장파복사(1점), 단파복사(5점), 상대습도(1점), 풍향풍속(1점), 이 밖에 적외선 열화상 카메라에 의한 표면온도를 함께 측정하였다. 특히, 태양에너지 반사와 복사성분에 대해 정량적으로 관측할 수 있도록 관측기기를 배치하였다. 본 연구에서는 지상 0.8m를 기준높이로 하여 열환경을 관측, 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 일사량, 상대습도, 풍속분포

대표일의 기온은 표4에서 나타낸 바와 같이 22.2~35.3℃, 태양복사량은 최고 923W/m², 상대습도 46~88%, 풍속범위는 최대 2.8m/s, 평균 1.3m/s로 8월의 전형적인 기상조건하에서 관측되었다.

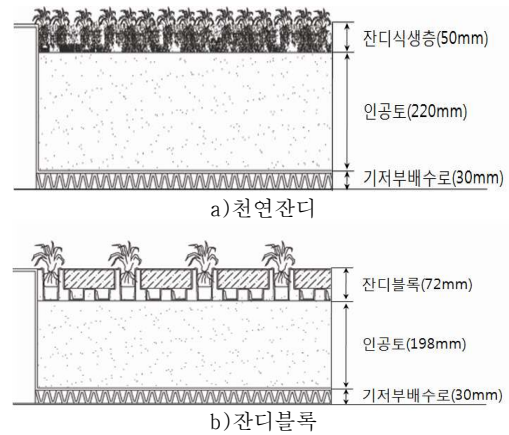


그림 4. 시험체 단면도

표 2. 시험체 제원 (단위:mm)

시험체 명	시험체 재료	시험체 크기 (가로×세로)	시험체 두께
콘크리트	콘크리트	3,000×3,000	215
인조잔디	합성섬유	3,000×2,000	12
천연잔디	잔디	3,000×3,000	300 (경량토 포함)
잔디블록	화강석, 잔디	3,000×3,000	300 (경량토 포함)

표 3. 측정항목별 측정기와 측정점 위치

측정항목	측정기기	
	측정점 위치	
기 온	Datascan 7320, 7020, T-type열전대(0.25) 지상 0.8m 높이	
표면온도	Datascan 7320, 7020, T-type열전대(0.25) 각 시험체 표면 및 주변온도	
흑구온도	Datascan 7320, 7020, T-type열전대(0.25) 각 시험체 상부 0.8m 높이	
일사 (단파 복사)	①CM6B Pyranometer / Kipp&Zonen ②LI200X Pyranometer / Campbell Scientific 각 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 각 시험체 상부	

표 4. 대표일의 기상측정결과

실험기간		2006. 08. 15~08. 16	
대표일		2006.08.16	
기온[°C] / 상대습도[%]	최고	35.3°C / 88%	
	최저	22.2°C / 46%	
	평균	28.3°C / 63%	
태양복사량 [W/m ²]	최고	923	
	평균	512	
풍속 [m/s]	최고	2.8	
	최저	0.1	
	평균	1.3	

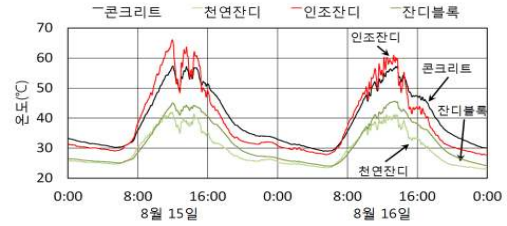


그림 5. 각 시험체별 표면온도

3.2 표면온도와 흑구온도

시험체의 표면온도와 흑구온도 관측결과를 그림5, 6, 표5에 나타내었다. 대표일(8월 16일)의 콘크리트 표면온도는 29.0~57.3°C

(온도변화폭 28.3°C), 평균 38.8°C를 나타내어 검토대상 시험체 중 평균온도는 가장 높게 관측되었다. 그리고 잠열효과가 기대되는 천연잔디는 표면온도 변화폭이 22.9~41.3°C(온도변화폭 18.4°C), 평균 29.0°C를 나타내어 앞에서

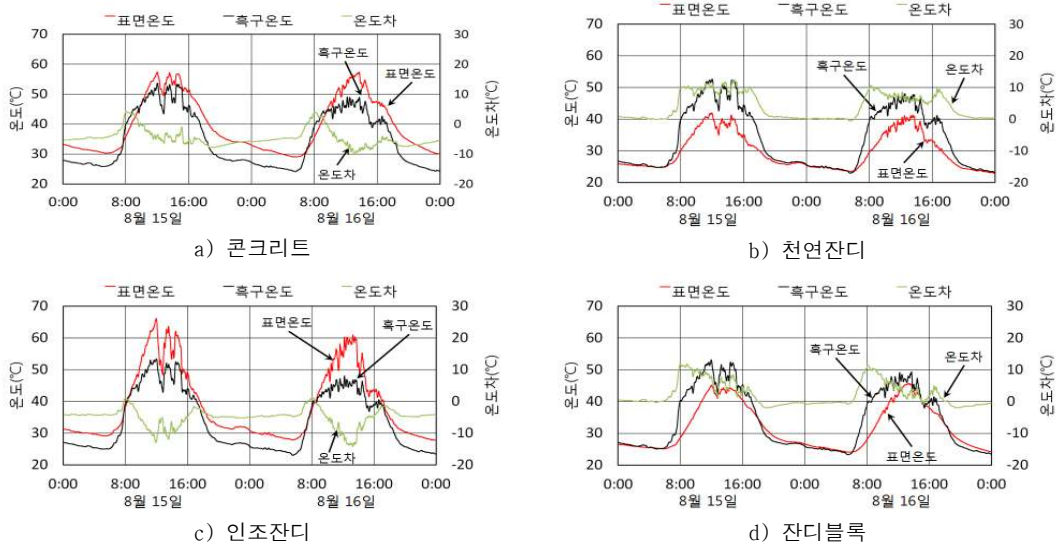


그림 6. 표면온도와 흑구온도 분포

표 5. 대표일의 표면온도, 흑구온도 측정결과

시험체 종류	시험체 표면온도[°C]					시험체 흑구온도[°C]			
	06:00	12:00	13:00	18:00	24:00	최저	최고	평균	변화폭
	콘크리트	29.1	52.5	56.0	40.5	30.0	29.0 (05:16)	57.3 (13:43)	38.8
천연잔디	24.7	45.6	46.5	34.4	24.4	24.2 (05:36)	49.1 (12:11)	33.8	24.9
	23.6	38.4	39.4	27.8	22.9	22.9 (23:59)	41.3 (13:31)	29.0	18.4
인조잔디	23.5	45.1	46.1	33.3	23.3	22.9 (05:36)	48.4 (12:11)	32.7	25.5
	28.2	54.3	58.5	35.0	27.8	27.8 (23:49)	61.0 (13:17)	37.5	33.2
잔디블록	23.6	44.2	45.0	32.7	23.5	23.0 (05:34)	48.0 (12:12)	32.6	25.0
	24.1	42.1	45.3	32.9	24.1	24.0 (05:46)	45.6 (13:17)	31.2	21.6
	23.8	45.2	46.7	33.0	23.5	23.3 (05:33)	49.3 (13:44)	33.0	26.0

언급한 콘크리트 표면온도보다는 6.1~16.0℃, 콘크리트 평균보다는 9.8℃가 낮아 시험체중 가장 낮았다(표5). 또한 상대적으로 낮은 알베도(0.08)의 인조잔디는 시험체 중 표면온도가 61.0℃로 가장 높게 나타났으며 일변화 또한 27.8~61.0℃(온도변화폭 33.2℃)로 가장 크게

나타났으며, 평균온도는 37.5℃를 나타내어 콘크리트 대비 1.2~3.7℃, 평균 1.3℃ 낮게 나타났다(표5). 마지막으로 부분적인 잠열효과가 기대되는 잔디블록의 경우에는 일변화 24.0~45.6℃ (온도변화폭 21.6℃), 평균 31.2℃로 천연잔디의 29.0℃보다는 2.2℃ 높게 관측되었다(표5).

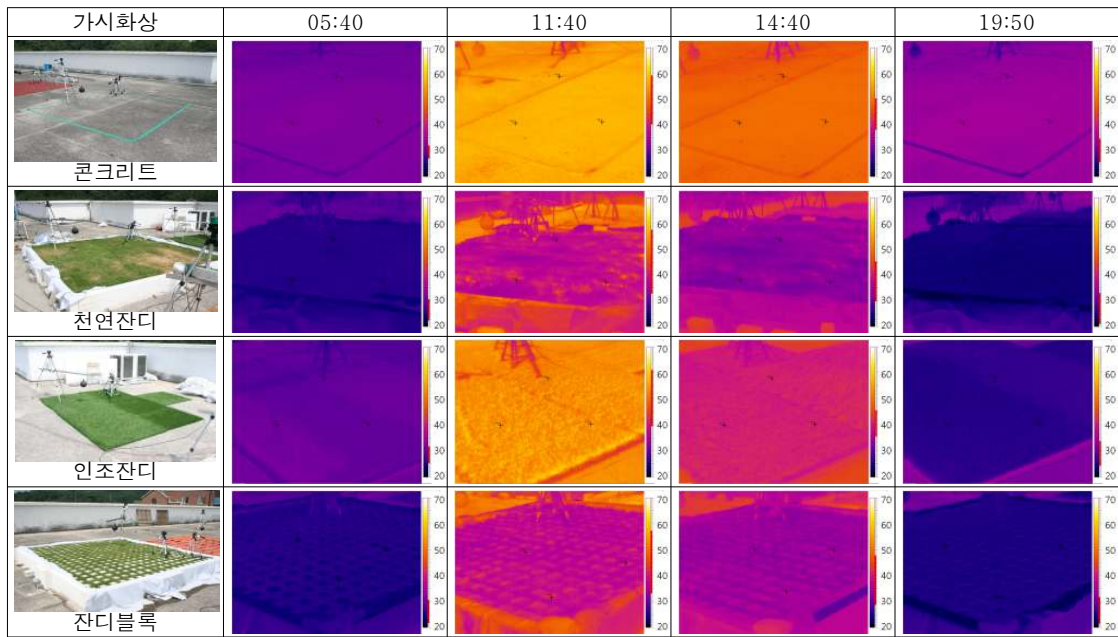


그림 7. 각 시험체별 열화상 촬영 결과

열전대에 의한 표면온도 관측치 이외에 적외선 열화상을 통해 표면온도를 검토하였다. 열화상에 의한 온도와 열전대에 의한 온도관측결과에서 각 시험체 표면 형태의 상이함과 복사율 값 추정의 난점으로 표면온도에 대한 완전한 일치는 볼 수 없었으나, 전체적인 온도분포의 경향은 확인할 수 있었다(그림7).

4개 시험체의 흑구온도는 48.0~49.3℃의 거의 유사한 온도를 나타내었으나, 표면온도는 시험체에 따라서 41.3~61.0℃로 큰 차이가 있었다. 그 중에서 특히 인조잔디의 경우 표면온도는 61.0℃로 가장 높았으나 흑구온도는 48.0℃로 가장 낮았다. 이러한 원인은 인조잔디의 낮은 알베도(0.08)에 의해 반사되는 에너지가

감소하기 때문으로 추정된다. 잔디블록의 경우에는 높은 알베도(0.31)의 영향으로 49.3℃의 가장 높은 흑구온도가 관측되었다(표5). 4개의 시험체중 천연잔디, 잔디블록은 나머지 두 시험체들과는 달리 증산작용과 주변공기와 접촉면적(입상형태)이 넓은 윗표면 형상으로 열소산이 비교적 용이한 구조를 가지고 있어 낮은 표면온도를 나타낸 것으로 해석된다.

시험체의 주야간 표면온도 비교에서는 주간(13:00시)의 경우 인조잔디가 가장 높은 온도(58.5℃)를 나타낸 반면, 야간(24:00시)에는 콘크리트가 최고온도(30.0℃)를 나타내었다(표5). 타 시험체에 비해 이들 시험체가 주간과 야간에서 가장 높은 온도를 나타낸 것은 시험체의

열용량과 알베도에 의한 것으로 해석된다. 열용량이 큰 콘크리트는 야간까지 고온이 지속됨으로써 콘크리트 위주의 인공재로 구성된 도시의 야간 고온화(열대야)의 주요요인으로 작용할 수 있음을 확인할 수 있었다. 한편, 주야간 모두 상대적으로 낮은 온도인 잔디시험체(식생)는 도시고온화를 억제할 수 있는 유력한 도시구성재임을 확인할 수 있었다.

3.3 복사환경

표6은 대표일의 13:00시 무렵에 관측된 단파복사량, 장파복사량, 순복사량을, 그림8은 관측된 상·하향 복사분포를 나타내었다. 단파복사 상·하향성분과 장파복사 하향성분에 대해서는 연속관측이 이루어졌으나, 순복사량은 각 시험체별로 이동하며 순차적으로 관측하였다. 장파복사 상향성분은 관측된 단파복사(상·하향), 장파복사(하향), 순복사량으로부터 계산하였다.

3.3.1 단파복사

표6에서 인조잔디 시험체의 단파복사 상향성분은 69W/m^2 로 관측되어 하향성분 880W/m^2 에 대한 비율인 알베도는 0.08로 시험체 중 가장 낮은 값을 나타내었다. 이에 반해 잔디블록 시험체의 상향복사는 278W/m^2 로 알베도는 0.31로 가장 높았다. 나머지 두 시험체의 알베도는 0.26(천연잔디)과 0.21(콘크리트)을 나타내어 지표면의 일반적인 알베도 값인 $0.30\sim 0.35^{(8)}$ 보다 다소 낮은 것으로 관측되었다. 알베도가 가장 낮은 인조잔디가 표면온도도 58.5°C 로 가장 높게 관측되었다. 인조잔디와 천연잔디는 시각적으로는 동일 색상이지만, 알베도 값에 있어서는 각각 0.08과 0.26으로 큰 차이가 있었다. 이는 천연잔디가 가시광선 영역($0.35\sim 0.78\mu\text{m}$)보다 긴 파장인 근적외 영역($0.78\sim 2.5\mu\text{m}$)의 반사율이 인조잔디보다 더 높기 때문으로 해석된다.⁽⁶⁾

3.3.2 순복사 및 장파복사

시험체 상부에서 상향과 하향의 에너지 유

출입 차를 나타낸 순복사량은 인조잔디(584W/m^2), 천연잔디(560W/m^2), 잔디블록(508W/m^2),

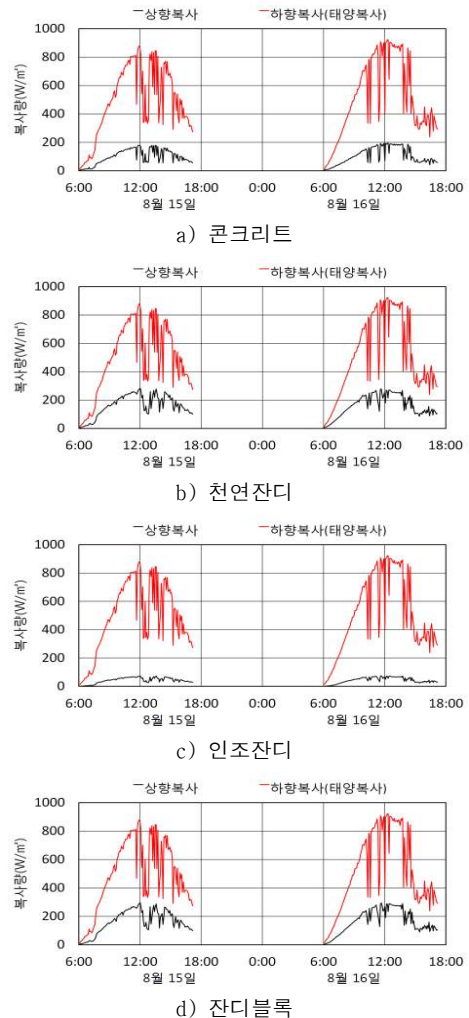


그림 8. 각 시험체의 상·하향 복사분포

콘크리트(479W/m^2)의 순으로 높게 나타나 관측이 이루어진 주간 13:00시경에는 모든 시험체에서 에너지를 흡수하는 것으로 확인되었다. 이때 알베도가 가장 낮은 인조잔디에서 가장 많은 에너지의 흡수가 있었으며 표면온도 또한 가장 높게 나타났다(표6).

한편, 각 시험체별 장파복사 상향성분은 인조잔디(689W/m^2), 콘크리트(678W/m^2), 잔

디블록(556W/m²), 천연잔디(527W/m²)의 순으로 높게 관측되었다(표6). 인조잔디에서의 장파복사 상향성분은 689W/m²로 가장 높은 반면, 이때의 흑구온도는 45.0℃로 시험체중 가장 낮게 나타났다. 이에 반해 천연잔디는 장파복사 상향성분이 527W/m²로 인조잔디(689W/m²)보다 약 24%(162W/m²) 적은 반면, 흑구온도는 인조잔디(45.0℃)보다 1.1℃ 높은 46.1℃로 나타났다. 그리고 상향 단파복사량에 있어서 인조잔디(69W/m²)는 천연잔디(255W/m²)의 31%에 해당하는 186W/m²정도 적게 관측된 것은 인조잔디(0.08)와 천연잔디(0.26)간의 알베도 차이에 따른 것으로 해석할 수 있다. 따라서 주간 흑구온도 형성에는 여러 가지 요인들 중 장파복사보다는 알베도에 의해 결정되는 단파복사가 더 큰 영향을 미치고 있음을 본 관측을 통해 확인할 수 있었다.

3.4 시험체 하부와 슬래브 표면온도 변화특성

시험체 하부 토양의 깊이별 온도 관측결과를 그림9에 나타내었다. 먼저 천연잔디와 잔디블록의 경우 표면온도의 일변화는 각각 18.4℃, 21.6℃의 비교적 작은 일교차를 나타내었다. 그리고 깊이에 따른 온도의 일변화는 감소하는 추세로 그 깊이에 따라 크게 나타나 16cm 깊이에서는 2.0℃전후의 극히 작은 일변화만이

관측되었으며, 온도의 시간지연효과 또한 뚜렷하게 나타났다.

표 6. 각 시험체에서의 복사수지
(대표일 13:00시 전후 10분간 평균값임)

측정대상	항목	단파복사 [W/m ²]	장파복사 [W/m ²]	총복사량 [W/m ²]	순복사량 [W/m ²]
콘크리트	하향성분	880	462	1,342	479
	상향성분	185	678	863	
	차	▼695	▲216	▼479	
	합	1,065	1,140	2,205	
	비율 (상향/하향) (알베도)	0.21	▲1.47	-	
천연잔디	하향성분	880	462	1,342	560
	상향성분	255	527	782	
	차	▼625	▲65	▼560	
	합	1,135	989	2,124	
	비율 (상향/하향) (알베도)	0.26	▲1.14	-	
인조잔디	하향성분	880	462	1,342	584
	상향성분	69	689	758	
	차	▼811	▲227	▼584	
	합	949	1,151	2,100	
	비율 (상향/하향) (알베도)	0.08	▲1.49	-	
잔디블록	하향성분	880	462	1,342	508
	상향성분	278	556	834	
	차	▼602	▲94	▼508	
	합	1,158	1,018	2,176	
	비율 (상향/하향) (알베도)	0.31	▲1.20	-	

주)▲, ▼는 에너지의 이동방향을 나타냄

시험체 표면온도에서는 무처리상태의 콘

표 7. 대표일의 슬래브 표면온도 비교

시험체	슬래브 상부 표면온도(단위:℃)									
	슬래브 하부 표면온도(단위:℃)									
	06:00	12:00	13:00	18:00	24:00	최저	최고	평균	변화폭	
콘크리트	29.1	52.5	56.0	40.5	30.0	29.0	57.3	38.8	28.3	
	38.9	37.0	37.4	41.3	40.8	36.8	41.9	39.6	5.1	
천연잔디	32.4	31.9	32.0	32.6	32.5	31.7	32.7	32.3	1.0	
	32.5	32.5	32.5	32.6	32.5	32.5	32.6	32.5	0.1	
인조잔디	33.6	45.1	47.9	40.1	34.1	33.6	49.0	38.7	15.4	
	36.8	35.8	36.3	38.8	37.7	35.5	39.2	37.5	3.7	
잔디블록	31.7	31.0	31.1	31.9	31.9	30.8	32.0	31.6	1.2	
	32.6	32.7	32.7	32.6	32.6	32.5	32.7	32.6	0.2	

크리트시험체의 경우 최고·최저온도가 각각 57.3℃, 29.0℃, 일교차가 28.3℃로 관측되어 천연잔디, 잔디블록에 비해서는 각각 9.9℃, 6.7℃ 더 높게 나타났으나, 인조잔디에 비해 4.9℃ 더 낮게 나타났다(그림9, 표7). 한편, 슬래브하부의 표면온도 평균은 콘크리트 시험체 39.6℃, 천연잔디 32.5℃, 잔디블록 32.6℃, 인조잔디 37.5℃를 나타내어 슬래브상부에 30cm 두께의 인공

토가 배치된 천연잔디와 잔디블록의 탁월한 열차폐 성능을 확인할 수 있었으며, 인조잔디의 경우에도 무처리상태의 콘크리트보다는 2.1℃ 낮아 인조잔디에 의한 차열효과를 확인할 수 있었다. 따라서 지붕표면을 무처리상태로 노출하기보다는 그 상부에 간이 시설물을 배치하는 것이 하부 실내공간으로 유입되는 관류열량 감소에 효과적인 것으로 확인되었다.

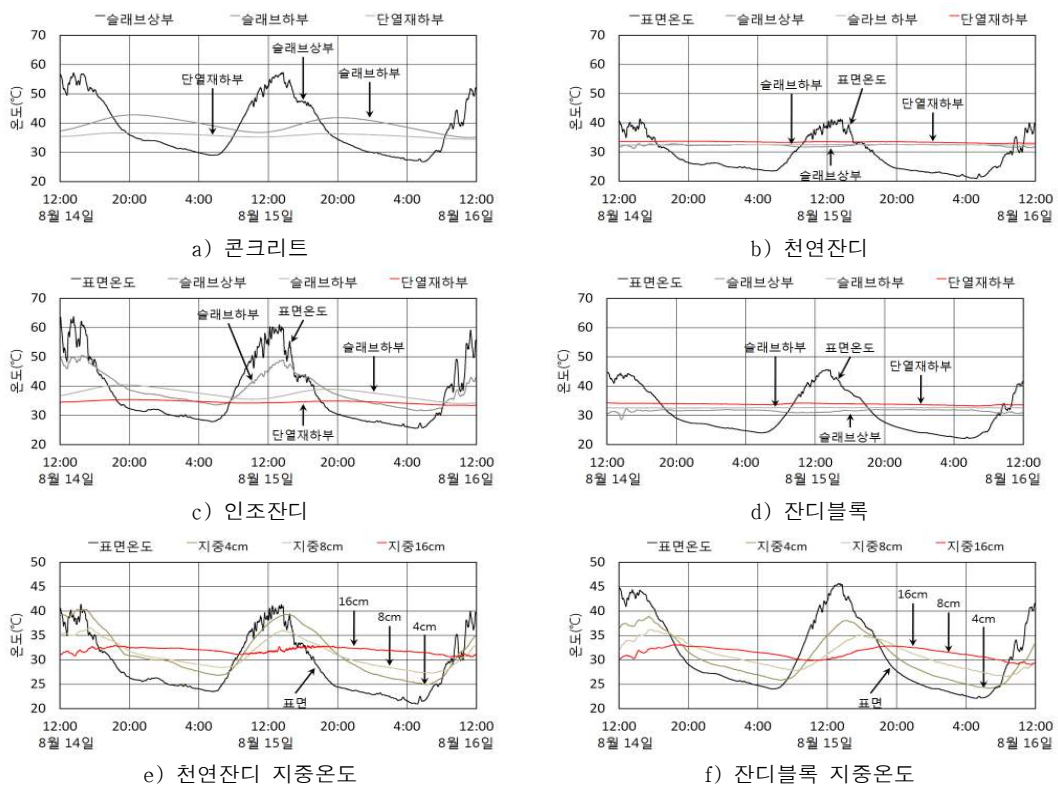


그림 9. 시험체의 연직단면 온도변화 추이

4. 결 론

본 연구에서 관측을 통해 확인된 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 4개의 시험체 중 천연잔디, 잔디블록은 나머지 두 시험체들과는 달리 증산작용과 주변공기와의 넓은 접촉면적(입상형태)을

가진 좁고 긴 입상 형태, 즉 열소산이 비교적 용이한 구조를 취하고 있어 타 시험체에 비해 상대적으로 낮은 표면온도를 나타내었다. 따라서 도시 내의 식생면적 확대는 열적 쾌적성 향상을 통한 도시 amenity 증진에 기여할 것으로 추정된다.

- (2) 표면온도 일변화에서 인조잔디는 콘크리

트보다 최저와 최고에서 각각 1.2~3.7℃, 평균온도에서는 1.3℃ 낮게 관측되어 수치적으로는 차이가 크지 않은 반면, 잠열 효과가 기대되는 천연잔디 식재조건의 경우에는 작은 일변화 22.9~41.3℃(온도변화폭 18.4℃)와 콘크리트(38.8℃) 대비 9.8℃ 낮은 평균온도(29.0℃)로 관측됨으로서 잔디의 우수한 온도상승 억제 효과를 확인할 수 있었다.

- (3) 콘크리트의 경우 타 시험체와는 달리 높은 열용량의 영향으로 24:00시 무렵까지도 표면온도가 30.0℃의 고온이 관측되어, 콘크리트는 도시에서의 야간 고온화(열대야형성)의 주요요인으로 작용하는 것으로 확인되었다.
- (4) 인조잔디와 천연잔디는 시각적으로는 동계열의 색상을 띠고 있지만, 알베도 값에 있어서는 각각 0.08과 0.26으로 큰 차이가 있음이 확인되었다. 이렇게 천연잔디에서 알베도가 높게 나타난 이유는 태양의 복사에너지 중 가시광선 영역(0.35~0.78μm)이외의 열적인 효과가 큰 근적외 영역(0.78~2.5μm)에서 인조잔디보다 반사율이 더 높기 때문이며, 이에 따라 두 시험체간에는 온도차가 더욱더 크게 형성된 것으로 해석되었다.
- (5) 인조잔디에서의 장파복사 상향성분은 689W/m²로 가장 높은 반면, 이때의 천연잔디는 527W/m²로 162W/m² 작게 나타났으나, 단파복사 상향성분은 인조잔디 69W/m², 천연잔디는 이보다 186W/m² 더 높게 관측되어 흑구온도상승에 영향을 미쳤다. 따라서 주간 흑구온도 형성에는 여러 가지 요인 중 장파복사보다는 알베도에 의해 결정되는 단파복사가 더 큰 영향을 미치고 있음을 본 관측을 통해 확인할 수 있었다.
- (6) 시험체 설치에 따른 지붕슬래브 표면온도는 인공토의 잔디식재조건(천연잔디, 잔디블록)이 인조잔디보다 우수한 열차폐 성능을 나타낸 반면, 충분한 두께를 확보하

지 않은 인조잔디와 같은 간이시설만으로도 지붕슬래브 표면온도 상승을 일정수준 억제할 수 있는 것으로 확인되었다.

후 기

이 논문은 2004년 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단에 지원을 받아 연구되었음(KRF-2004-202-D00702).

또한 본 연구를 수행함에 있어 시료제공에 도움을 주신 (주)한설그린 관계자에게 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 최동호, 이부용, “하절기 복사환경 관측을 통한 석재, 목재, 알루미늄 바닥재의 열특성 평가”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.28, No.3, pp.35-44, 2008.06
2. International Workshop on Countermeasures to Urban Heat Islands, MLIT & IEA, Tokyo, Japan, 2006.08.03~04
3. 森山正和, ヒートアイランドの対策と技術, 學藝出版社, 2004.08
4. 최동호, 이부용, “하절기 지붕 일사수열량 경감을 위한 일사차폐물의 차열성능 및 패시브 냉각효과 비교”, 대한건축학회 논문집(계획계), Vol.22, No.10, pp.319-328, 2006.10
5. 한승호, 류남형, 윤용한, 김원태, 강진형, “조경용 투수성 블록포장의 열특성”, 한국환경과학회지, 제17권 제5호, pp.573-580, 2008.10
6. 石野久彌外 3人, エコスクールへの変換ー屋上緑化の実測およびシミュレーション評価、東京都立大学 21世紀COEプログラム、巨大都市建築ストック賦活・更新技術育成 D311, 2005.04.28
7. <http://www.handseel.co.kr/>
8. 甲藤好郎, 『傳熱概論』, 養賢堂, 1989