

하절기 복사환경 관측을 통한 석재, 목재, 알루미늄 바닥재의 열특성 평가

최동호*, 이부용**

* 대구가톨릭대학교 건축학과 교수(dhchoi2@cu.ac.kr)
** 대구가톨릭대학교 환경과학과 부교수(bylee@cu.ac.kr)

A Study of the Thermal Characteristics of Flooring Materials, Wood, Rock, Aluminum through Observation of its Radiant Environment in the Summer

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

* Professor, Dept. of Architecture, Catholic University of Daegu(dhchoi2@cu.ac.kr)
** Associate Professor, Dept. of Environmental Science, Catholic University of Daegu(bylee@cu.ac.kr)

Abstract

In this study, the experiment of the measuring of four different types of flooring materials' thermal characteristics was conducted and examined during the summer. The experimental materials were arranged on the existing slab of the roof, and then its thermal characteristics were examined from the point of view of thermal radiation analysis. The aim of this study is ultimately to draw the fundamental data for improvements in a building's thermal function and reduce the urban heat island phenomena through optimizing the thermal characteristics of the surface covering materials of a building. The results from this study are as follows; 1) Each experimental material's albedo was calculated as 0.83 on the aluminum panel, 0.40 on the rock block, 0.37 on the wood deck and 0.21 on the concrete. It shows that the concrete material, which has the lowest short wave reflective rate, absorbed the most radiation energy and the aluminium panel has absorbed the lowest radiation energy. 2) From the each experimental object's value of the long wave radiation, the concrete material measured the highest, at 628W/m², and the aluminium panel measured the lowest at 412W/m². Therefore, it verifies that the experimental objects' own radiation rate determines the amount of the long wave radiation. 3) The degree of energy absorbency of a building's surface covering materials is greatly influenced by its own albedo and radiation rate. Therefore, it needs to be considered for the improvements in a building's thermal function and reducing the urban heat island phenomena. 4) According to the evaluation result of the each experimental object's overall heat transmission screening function on the roof of a building, the wooden deck is proven to be an excellent material for excluding the outside temperature differences effectively with its characteristic of low heat capacity and conduction. Also its surface temperature on the roof slab and the temperature difference during the day were both measured at low.

Keywords : 복사환경(Radiant environment), 알베도(Albedo), 열화상(Thermal infrared image), 도시열환경(Urban thermal environment), 열섬현상(Heat island)

투고일자 : 2008년 5월 15일, 심사일자 : 2008년 5월 19일, 게재확정일자 : 2008년 6월 17일
교신저자 : 최동호(dhchoi2@cu.ac.kr)

1. 서론

도시기후는 건축물이나 지표면 등의 외부공간을 구성하는 각종 피복재료의 물리적 열특성과 건축물, 자동차 등으로부터 배출되는 인공배열, 그리고 건축물 외부공간과 시가지 형태에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려진 가운데, 도시의 확대와 고밀도화는 이러한 도시 고유의 기후특성을 강화시키는 것으로 보고되고 있다.^{1),2)} 하절기 건물외벽이나 지표면 등의 피복재료가 태양복사에 의해 온도가 상승하게 되고 이들 재료들로부터 재복사가 수반되어 열적 불쾌감이 가중될 뿐만 아니라 외피재료의 높은 열용량과 축열성이 밤늦은 시간까지 높은 온도를 유지시키는 메카니즘으로 해석되고 있다. 그러나 여러 종류의 외피재료가 가지는 열적 특성은 서로 상이하므로 외피재료로서 어떠한 재료를 선택하느냐에 따라 개개 건물의 열성능과 건물외부공간의 열환경이 결정된다. 그리고 이들 외피의 표면온도는 재료고유의 열용량과 축열성에서 비롯되는 열적 응답성, 재료표면을 통해 흡수 혹은 반사되는 열수수 특성 등의 효과들에 의해 영향을 받는 것으로 추정된다.³⁾ 이러한 외피재료의 선정에 있어서는 주로 재료 고유의 축열성, 단열성, 열흡수 및 반사성능 등의 열적인 특성보다는 일반적으로 재료의 심미성, 내구성, 시공성, 경제성 등의 요인들에 의해 선정되고 있다. 이러한 것에 착안하여 본 연구에서는 건물외피 혹은 외부공간을 구성하는 재료들의 표면복사(알베도, 복사율 등)와 지붕 열차폐 및 열전달 특성을 규명하고자 하였다. 본 논문은 그 첫 번째 연구로서 재료의 열특성이 크게 상이하고 건물 및 지면피복재로 널리 사용되는 석재, 목재와 복사율이 현저히 낮은 알루미늄패널을 시험체로 선정하여 기존의 지붕슬래브(콘크리트)와 열특성을 비교, 검토하고자 하였다. 이러한 재료의 열특성 파악은 도시 열환경과 건물의 단열성능 개선을 위한 기초데이터로 활용될 것으로 기대된다.

2. 실험개요

2.1 실험대상 및 장소

실험대상공간의 평면도와 배치도를 그림1에 나타내었으며, 이 건물은 1997년 준공한 지상 5층의 경북 경산시소재 대학건물로서 철근콘크리트조로 건축되었다. 평지붕의 지붕상부와 그 하부 강의실 2개실을 실험대상공간으로 선정하였다. 전체 건물옥상면적 중 410m²의 공간에 4종류의 시험체를 조성하였다. 시험체 및 최상층 강의실에는 각종 센서를 설치하여 시시각각 변화하는 열환경 특성을 관측하였다. 실험대상 건물의 지붕슬래브 단면상세도

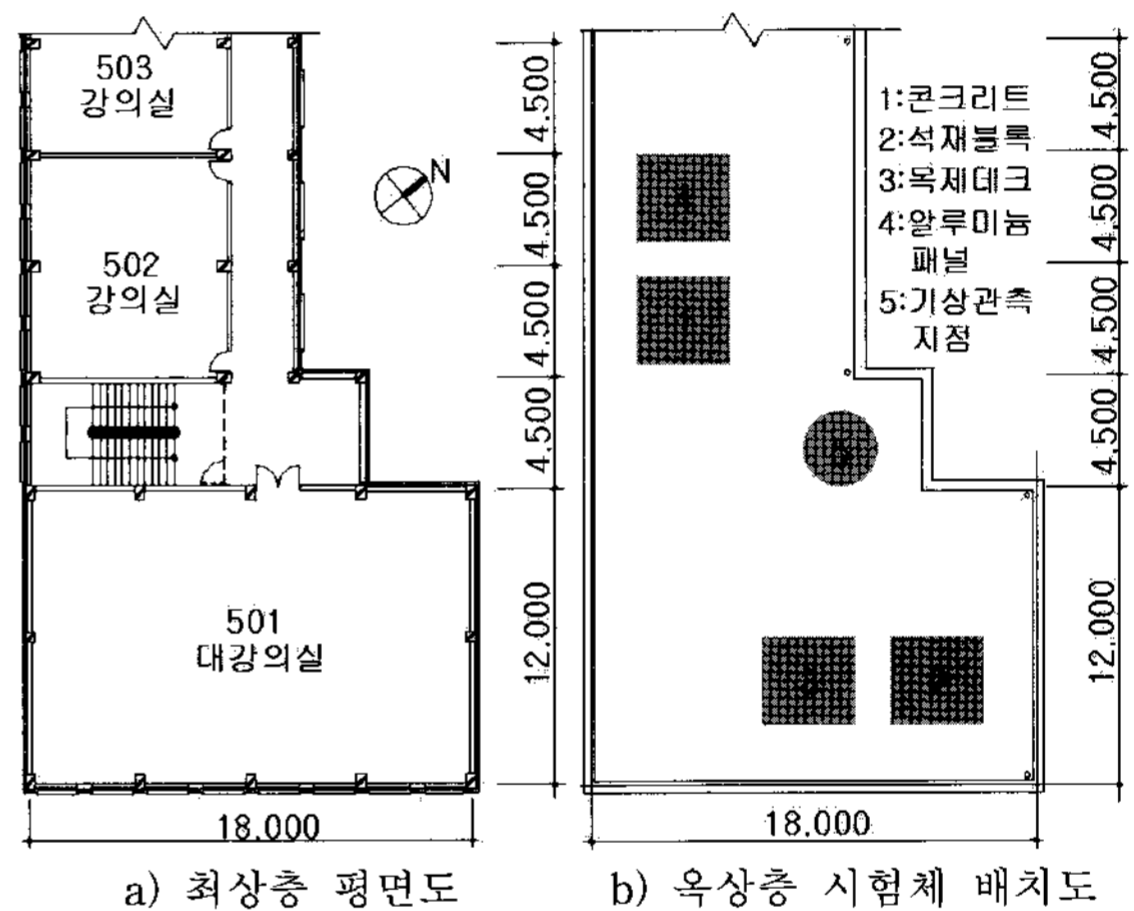
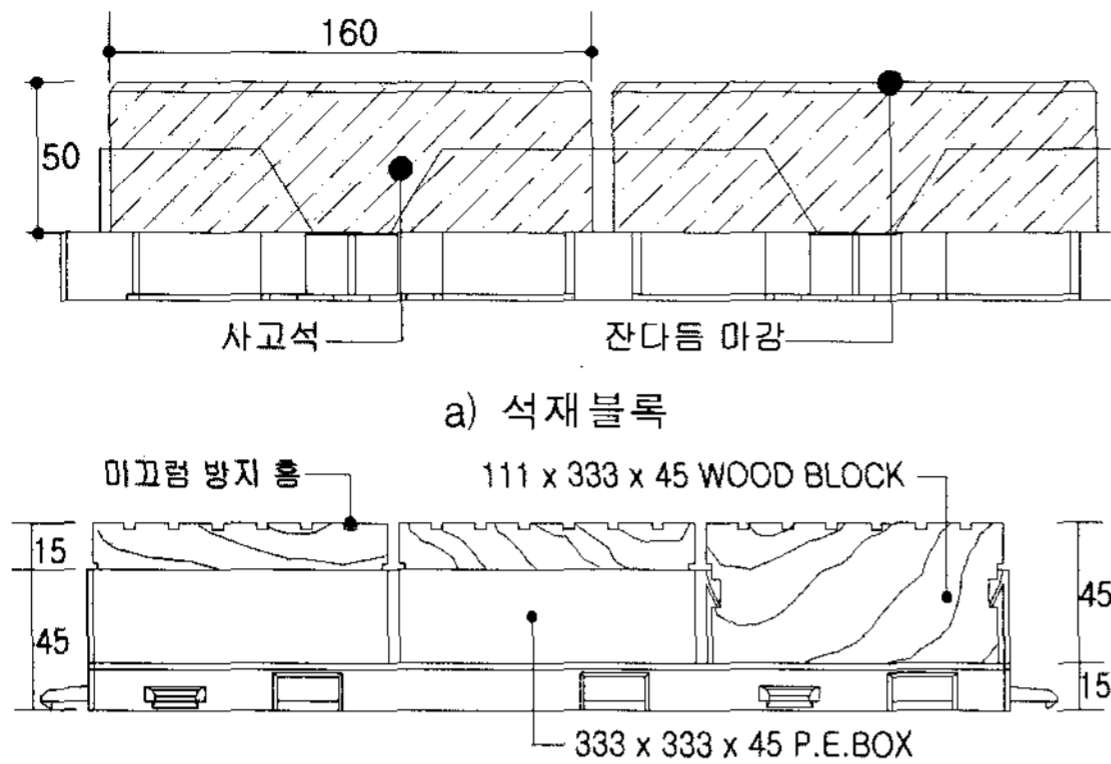


그림 1. 실험대상공간

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	



a) 석재블록
b) 목재데크
그림 2. 시험체 단면도

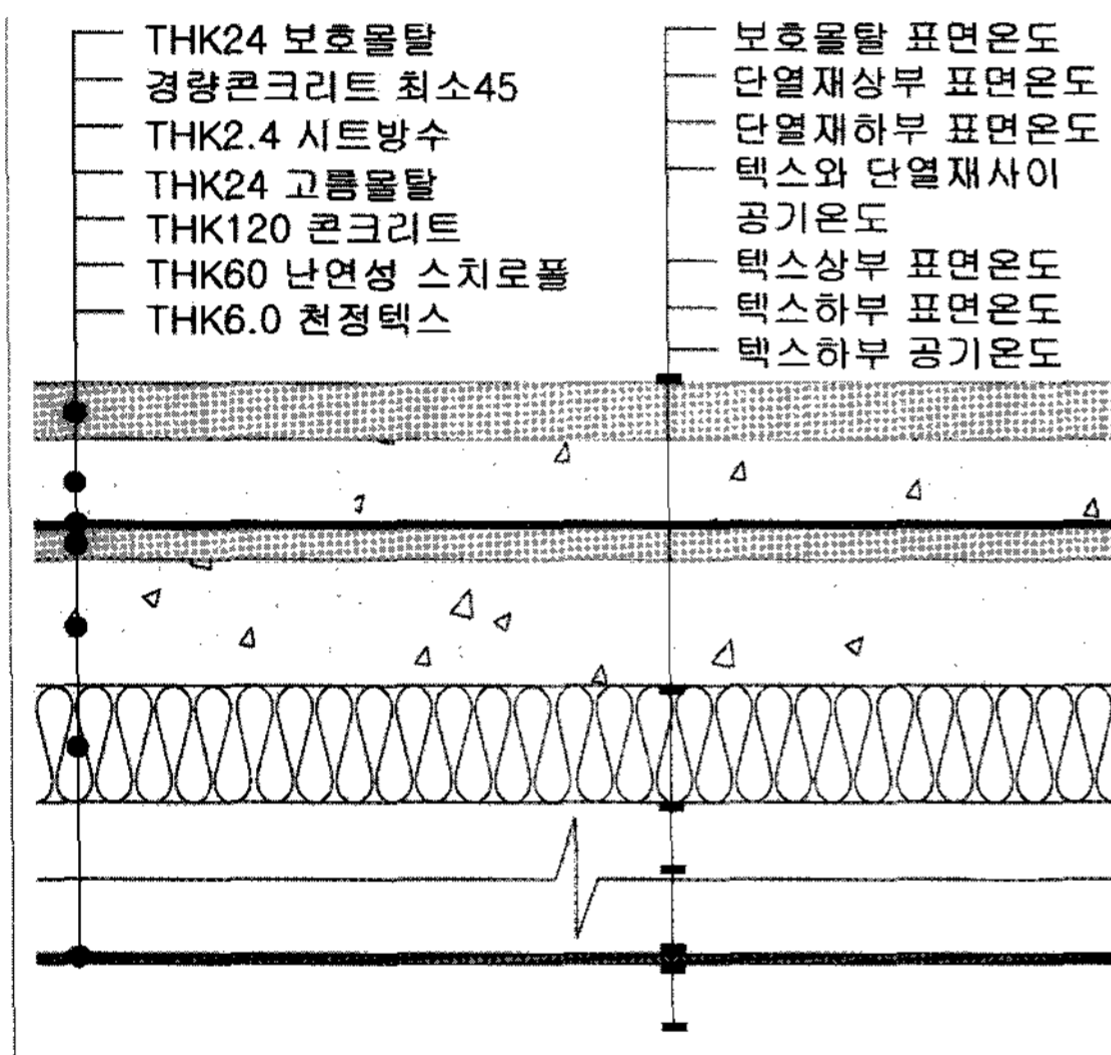


그림 3. 지붕슬래브의 단면상세도와 온도 측정점

를 그림2에 나타내었으며, 지붕의 열관류율은 0.595W/m²K이었다(표1 참조). 이와 같이 실험대상공간은 도시 열환경 개선과 지붕 단열성능을 평가할 수 있는 시험체를 구성하여 그 열적 특성을 파악할 수 있도록 하였다.

2.2 실험조건 및 시험체

본 실험에서는 기존 건물의 옥상(평지붕)에 쉽게 설치할 수 있는 시험체들로 구성하여, 이들에 대한 열특성을 실시간으로 파악함으로써 그 성능을 평가할 수 있게 하였다. 또한

표 2. 시험체 제원

시험체 명	시험체 재료명	시험체 크기 (가로×세로)	단위규격 (가로×세로×높이)	제품명
콘크리트	콘크리트	3,000×3,000	3,000×3,000×215	-
석재블록	화강암	3,000×3,000	500×500×50	그린블록 모자이크
목재데크	미송	2,997×2,997	333×333×45	우드블록
알루미늄 패널	알루미늄	3,600×3,600	1800×900×0.5	-

지붕에 설치한 시험체에 의한 패시브 냉각효과를 검토하기 위하여 지붕에 별도의 일사차폐물을 설치하지 않은 무처리상태의 콘크리트 지붕면에 대한 검토도 병행하였다. 실험대상공간의 실내개구조건에 대해서는 모든 개구부(창과 문)를 닫아 지붕면 일사수열에 따른 최상층 실내온도 상승효과를 자연환기 등의 영향 없이 객관적으로 평가할 수 있도록 하였다. 또한 실험은 하계방학 중에 이루어졌으며 실내조명부하로 인한 실온상승을 원천적으로 배제하기 위하여 실험대상공간 내부의 전등과 각종 전열기기의 전원을 차단하였다. 실험은 2006년 8월 15일~16일에 실시하였으며, 본 논문에서는 기상상태가 양호하고 기온이 높은 8월 16일을 대표일로 설정하여 대표일의 열환경에 대해 중점적으로 분석하였다. 표2, 그림3은 시험체의 제원과 단면상세도를 나타낸 것으로, 콘크리트 지붕(평슬래브) 상부에 추가로 설치되는 시험체가 가진 열적 특성(복사수지, 열용량)을 파악하고 이들 시험체 설치에 따른 열차폐 성능(단열 및 열전달 특성) 개선정도를 정량적으로 규명할 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 콘크리트 포장면(무처리된 지붕면), 석재블록, 목재데크, 알루미늄 패널의 4가지 종류의 가공재료를 시험체로 선정하였다(그림3).

콘크리트 시험체는 기존의 평지붕 마감재에 별도의 시험체를 설치하지 않은 무처리상태의 열특성을 평가하기 위한 것으로, 본 연구의 비교기준 시험체로 활용하였다. 열용

표 3. 측정항목별 측정기기와 측정점 위치

측정항목	측정기기
	측정점 위치
기온	Datascan 7320, 7020, T-type 열전대(0.25)
	지상 0.8m 높이
표면온도	Datascan 7320, 7020, T-type 열전대(0.25)
	각 시험체 표면 및 주변온도
흑구온도	Datascan 7320, 7020, T-type 열전대(0.25)
	각 시험체 상부 0.8m 높이
일사 (단파복사)	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

량과 열전도특성이 다른 석재블록, 목재데크를 설치하여 그 특성을 파악하고자 하였다. 알루미늄패널 시험체는 낮은 복사율^{4),5)}과 높은 반사효과에 의한 태양복사 차단 및 그 열적특성을 해석하기 위한 것이다. 시험체의 크기와 단면형태는 표2, 그림3에 나타낸 바와 같으며, 시험체 중 석재블록과 목재데크는 건물외부공간 및 옥상바닥재로 채택되는 기성제품(제품명: 그린블록모자이크, 우드블록)⁶⁾을 시험체로 사용하였다. 그리고 시험체는 3.0m×3.0m 크기로 조성하여 시험체 하부로의 열전달특성 및 상부의 복사환경을 적절히 평가할 수 있게 하였다. 석재블록과 목재데크는 그림3에 나타낸 바와 같이 플라스틱 받침틀 상부에 각각의 재료를 고정할 수 있는 구조로 되어 있다. 알루미늄패널 시험체는 0.5mm 두께의 것을 사용하였다.

2.3 측정기기와 측정점 위치

측정기기와 측정점 위치를 표3, 그림2에 나

타내었다. 본 연구에서는 지붕슬래브 상부에 설치된 시험체와 그 하부 최상층 실내공간에서의 열 특성을 파악하기 위해 실내외 기온, 표면온도를 포함한 온도(35점), 흑구온도(4점), 장파복사(1점), 단파복사(5점), 상대습도(1점), 풍향풍속(1점), 이 밖에 적외선 열화상 카메라로 시험체별 표면온도분포를 연속적으로 측정하였다. 특히, 시험체에서의 태양에너지 반사와 복사성분에 대해 정량적으로 관측하여 그에 따른 효과를 분석하였다. 본 논문에서는 지상 0.8m 높이를 기준높이로 설정하여 이 높이의 열환경에 대해 중점적으로 관측하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 일사량, 상대습도, 풍속분포

대표일의 기상상태를 표4에 나타내었다. 대표일의 기온은 22.2~35.3℃, 그리고 태양복사량은 최고 923W/m²으로 8월의 전형적인 기상상태를 나타내었다. 상대습도는 46~88%, 풍속범위는 최대 2.8m/s, 평균 1.3m/s로 관측되어 비교적 바람이 약한 기상조건하에서 관측이 이루어졌다.

3.2 표면온도와 흑구온도

시험체의 표면온도와 흑구온도 관측결과를 그림4, 5, 표5에 나타내었다. 그림4는 주간 태양복사와 야간 복사냉각에 의한 시험체의 표면온도변화를 나타낸 것으로, 시험체 표면온도의 일변화와 시험체별 표면온도 상호변화 특성을 관찰할 수 있다. 먼저 대표일(8월 16일)의 콘크리트 표면온도는 28.8~58.3℃(온도변화폭 29.5℃), 평균 38.8℃를 나타내어 검토대상 시험체 중 평균온도가 가장 높게 관측되었다. 석재블록은 표면온도 변화폭이 24.9~53.1℃(온도변화폭 28.2℃), 평균 34.2℃를 나타내어 앞에서 언급한 콘크리트 표면온도보다는 3.9~5.2℃, 평균치 대비 4.6℃ 낮게 나타났다(표

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

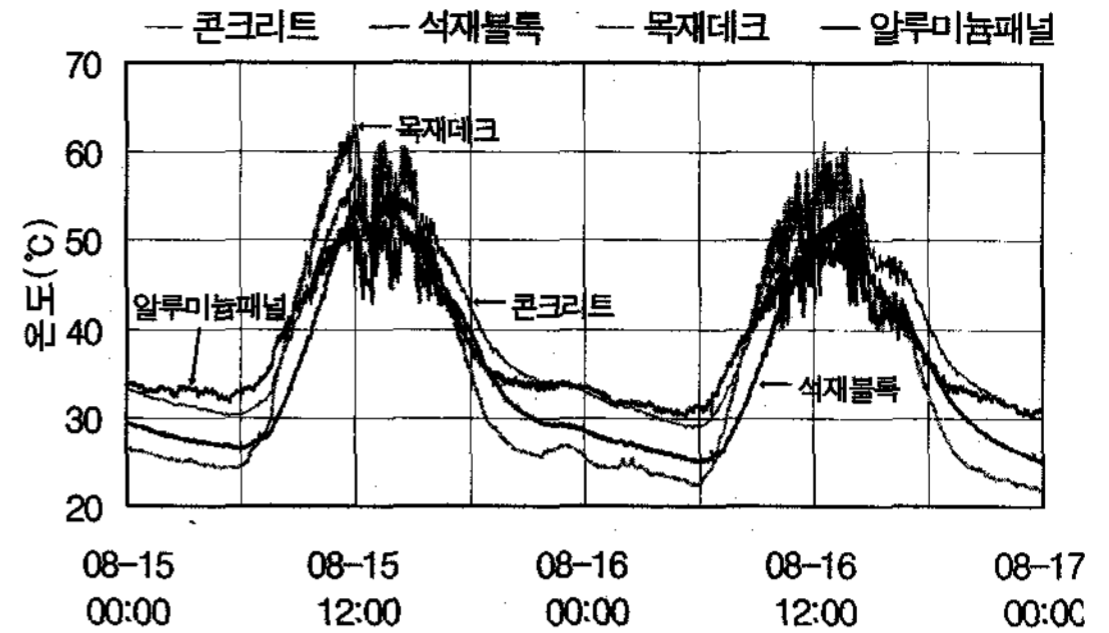


그림 4. 시험체 표면온도 비교

표 5. 대표일의 표면온도, 흑구온도 측정결과

시험체 종류	시험체 표면온도/흑구온도[°C]								
	06:00	12:00	13:00	18:00	24:00	최저	최고	평균	온도 변화폭
콘크리트	29.0 / 24.7	52.2 / 46.7	56.2/46.6	40.5 / 33.9	29.9 / 24.4	28.8(05:15) / 24.0(05:30)	58.3(13:44) / 51.3(12:30)	38.8 / 33.7	29.5 / 27.3
석재블록	25.2 / 23.7	47.6 / 48.1	51.4/47.5	36.4 / 33.3	25.1 / 23.4	24.9(06:07) / 23.0(05:33)	53.1(13:44) / 53.4(12:31)	34.2 / 33.3	28.2 / 30.4
목재데크	22.7 / 23.1	53.1 / 49.1	56.4/48.7	32.8 / 33.2	21.8 / 22.7	21.8(05:50) / 22.6(05:40)	61.2(12:32) / 54.3(12:31)	34.0 / 33.2	39.4 / 31.7
알루미늄패널	31.2 / 23.0	47.5 / 49.1	48.4/47.4	36.3 / 34.0	30.9 / 23.1	30.0(05:16) / 21.7(05:53)	51.2(13:45) / 53.8(12:11)	37.0 / 33.7	21.2 / 32.1

5). 또한 목재데크는 시험체 중 표면온도가 61.2°C로 가장 높게 나타났으며 일변화가 21.8~61.2°C(온도변화폭 39.4°C), 평균온도는 34.0°C를 나타내어 콘크리트 대비 2.9~7.0°C, 평균 4.8°C 낮게 나타났다(표5). 마지막으로 알루미늄패널의 경우에는 일변화 30.0~51.2°C(온도 변화폭 21.2°C), 평균 37.0°C로 관측되었으며 시험체 중 표면온도의 변화폭은 가장 작게 나타났다(표5).

열전대에 의한 표면온도 측정자료와 적외선 열화상장치에 의해 획득된 영상자료로부터 각 시험체별 복사율을 산출하였다. 콘크리트 포장면 0.97, 석재블록 0.85, 목재데크 0.90, 알루미늄패널 0.30으로 구해져 시험체 중 알루미늄패널의 복사율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이러한 복사율과 표6에서 구해진 알베도는 시험체 상부에서 측정된 흑구온도를 해석하는데 중요한 데이터로 사용하였다. 이를 바

탕으로 콘크리트 시험체에 대해 살펴보면, 13:00시 자료(표5)에서는 주간 최고온도가 높음에도 불구하고 흑구온도는 상대적으로 낮게 나타났다. 그 이유는 타 시험체에 비해 알베도가 상대적으로 낮아 상부로 반사되는 복사에너지의 양이 적기 때문에 나타난 현상으로 해석된다. 또한 석재블록의 흑구온도가 콘크리트 시험체에 비해 표면온도가 낮음에도 불구하고 높게 나타난 것은 석재블록 시험체의 알베도가 콘크리트보다 높아 더 많은 에너지가 반사된 결과로 해석된다. 한편, 목재데크 시험체에서 흑구온도가 가장 높게 나타난 것은 높은 표면온도(낮은 열전도율과 열용량을 가진 시험체 물성 때문)와 반사에 의한 효과로 풀이된다. 마지막으로 알루미늄패널 시험체에서는 최고온도가 53.8°C로 콘크리트 시험체보다 2.5°C 높게 나타난 것은 낮은 표면온도와 복사율에도 불구하고 높은 알베도(0.83)의 효과가

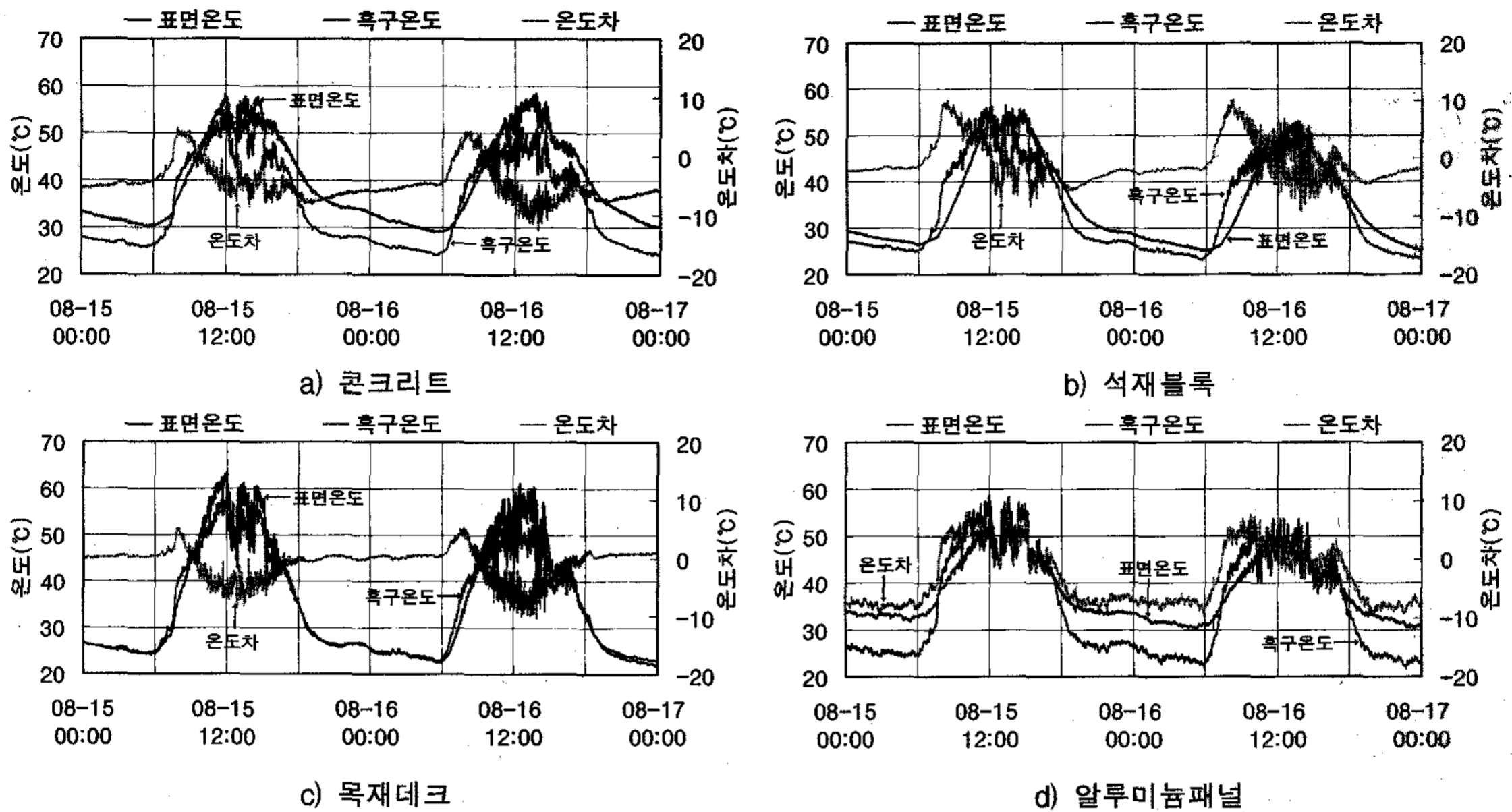


그림 5. 표면온도와 측구온도분포

크게 작용하였기 때문으로 사료된다.

3.3 복사환경

대표일(8월 16일)의 13:00시 무렵에 관측된 단파복사량, 장파복사량, 순복사량을 표6에, 실험기간 중의 상·하향 복사분포를 그림6에 나타내었다. 이들 요소 중 단파복사 상·하향성분과 장파복사 하향성분에 대해서는 연속관측이 이루어졌으나, 순복사량은 각 시험체별로 이동하며 순차적으로 관측하였다. 장파복사 상향성분은 관측된 단파복사(상·하향), 장파복사(하향), 순복사량으로부터 산출한 값이다.

3.3.1 단파복사량

표6에서 콘크리트 시험체의 단파복사 상향성분은 185W/m^2 로 관측되어 하향성분 880W/m^2 에 대한 비율인 알베도(상향 단파복사량/하향 단파복사량)는 0.21로 계산되어 시험체 중 가장 낮은 값을 나타내었다. 이에 반해 알루미늄패널 시험체의 상향복사는 726W/m^2 으로 알베도는 0.83으로 계산되어 가장 높았다. 나머지

두 시험체의 알베도는 0.37(목재데크)과 0.40(석재블록)을 나타내어 지표면의 일반적인 알베도 값인 0.30~0.35⁴⁾보다 다소 높은 것으로 관측되었다. 결과적으로는 콘크리트 시험체가 가장 많은 단파복사(태양복사에너지)를 흡수한 것으로 확인되었다.

3.3.2 장파복사량 및 순복사량

시험체의 표면온도와 복사율에 따라 주변으로 복사되는 장파복사에 대해 살펴보면 콘크리트 시험체의 상향성분($\blacktriangle 628\text{W/m}^2$)은 하향성분($\blacktriangledown 412\text{W/m}^2$)보다 클 뿐만 아니라 시험체 중 가장 큰 값을 나타내었다(표6). 알루미늄패널 시험체의 상향성분은 하향성분과 동일한 412W/m^2 을 나타내었다. 이것은 시험체 중에서 가장 작은 값으로 낮은 복사율(0.30)에 의한 효과로 추정된다. 한편, 콘크리트 시험체는 높은 복사율(0.97)로 인하여 상향성분은 628W/m^2 으로 가장 높게 나타났다. 석재블록과 목재데크는 각각 563W/m^2 , 559W/m^2 으로 나타나 콘크리트 시험체와 알루미늄패널 시험체의 사이에서 분포하였다. 이러한 상향

표 6. 각 시험체에서의 복사수지
(2006년 8월 16일 13:00시 전후의 10분간 평균값임)

측정대상	항목	단파복사 [W/m ²]	장파복사 [W/m ²]	총복사량 [W/m ²]	순복사량 [W/m ²]
콘크리트	하향성분	880	412	1,292	479
	상향성분	185	628	813	
	차	▼ 695	▲ 216	▼ 479	
	합	1,065	1,040	2,105	
	비율 (상향/하향) (알베도)	0.21	▲ 1.52	-	
석재블록	하향성분	880	412	1,292	378
	상향성분	351	563	914	
	차	▼ 529	▲ 151	▼ 378	
	합	1,231	975	2,206	
	비율 (상향/하향) (알베도)	0.40	▲ 1.37	-	
목재데크	하향성분	880	412	1,292	407
	상향성분	326	559	885	
	차	▼ 554	▲ 147	▼ 407	
	합	1,206	971	2,177	
	비율 (상향/하향) (알베도)	0.37	▲ 1.36	-	
알루미늄패널	하향성분	880	412	1,292	154
	상향성분	726	412	1,138	
	차	▼ 154	0	▼ 154	
	합	1,606	824	2,430	
	비율 (상향/하향) (알베도)	0.83	1.00	-	

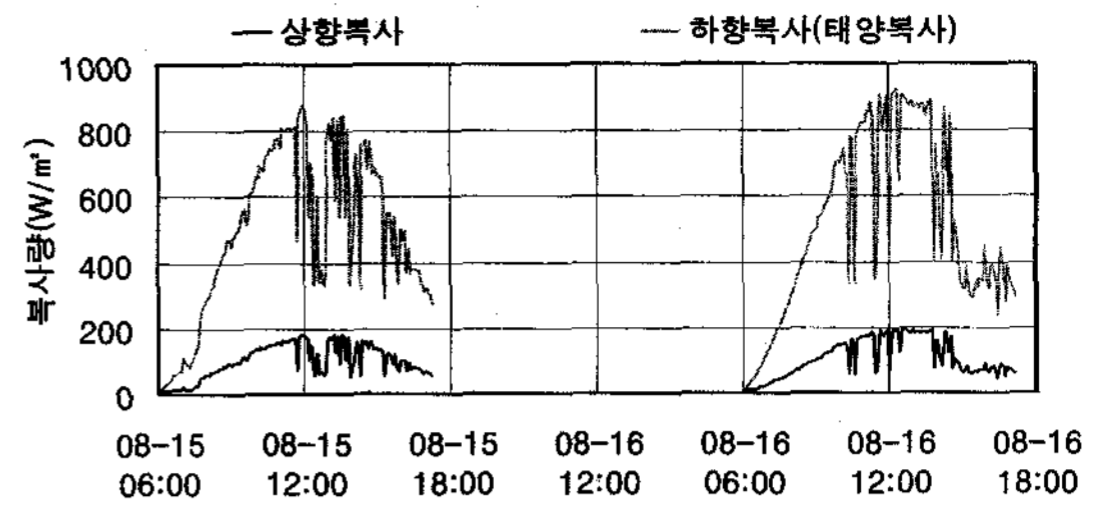
주) ▲, ▼는 에너지의 이동방향을 나타냄

복사량 값의 분포는 각 시험체가 갖는 고유 복사율에 의해 결정되는 것으로 해석된다.

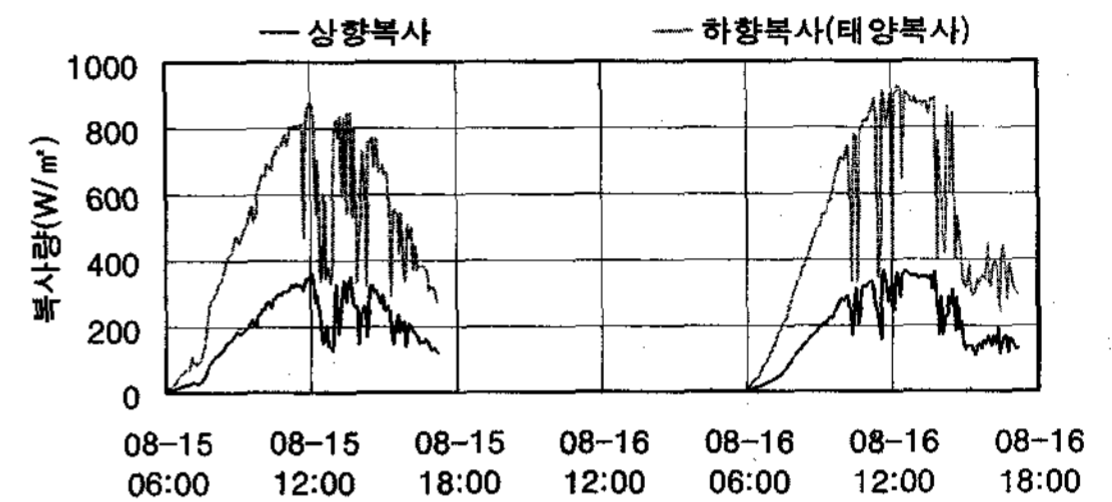
시험체 상부에서 상·하향 에너지 유·출입의 차를 나타낸 순복사량은 모든 시험체에서 표면으로 유입되는 것으로 확인되었으며 알베도가 낮은 콘크리트 시험체에서 에너지 흡수가 가장 많은 것으로 나타났다. 그리고 상대적으로 알베도가 높아 에너지 흡수가 적은 알루미늄패널 시험체에서 가장 작은 값을 나타내었다. 이러한 에너지 흡수량의 차이는 그 물체의 알베도와 관계가 있는 것으로 해석되어 그 중요성을 확인할 수 있었다.

3.4 지붕슬래브의 축열특성과 온도변화

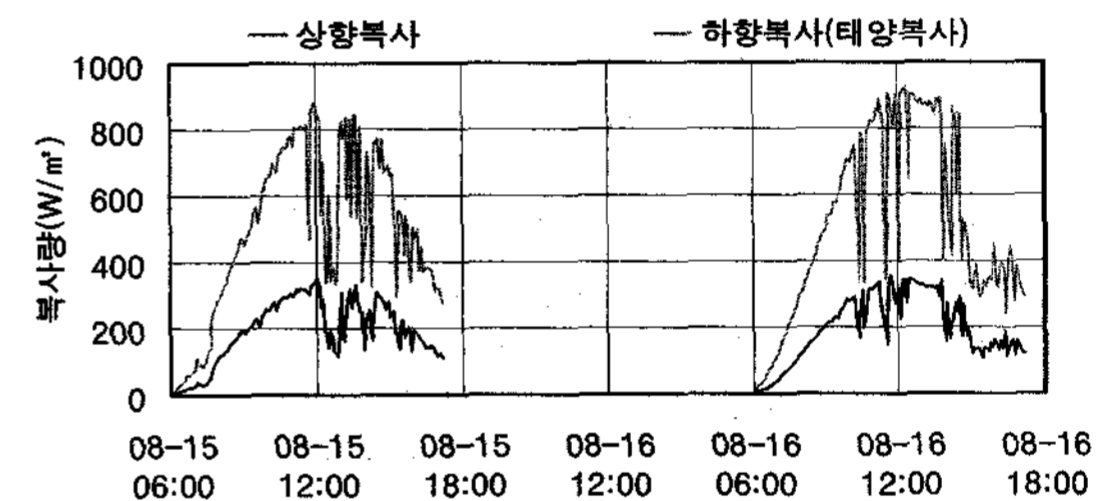
콘크리트의 경우 슬래브상부 표면온도는 최



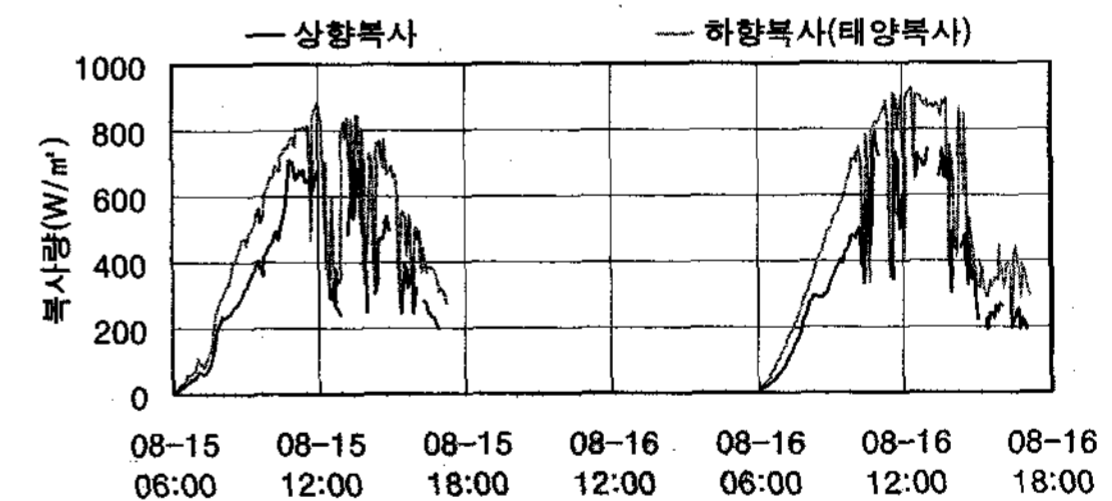
a) 콘크리트



b) 석재블록



c) 목재데크



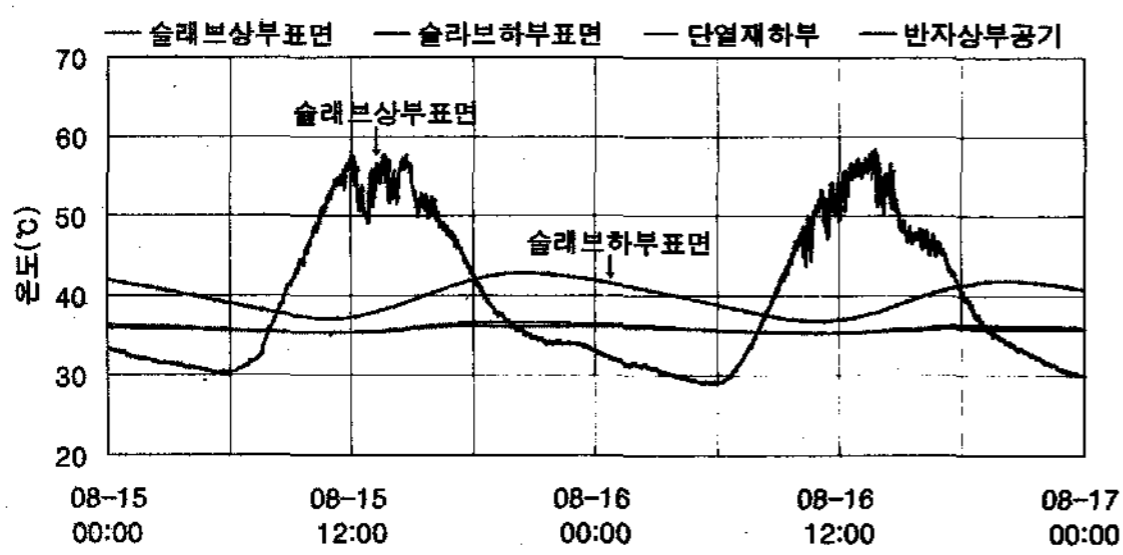
d) 알루미늄패널

그림 6. 각 시험체의 상·하향 복사분포

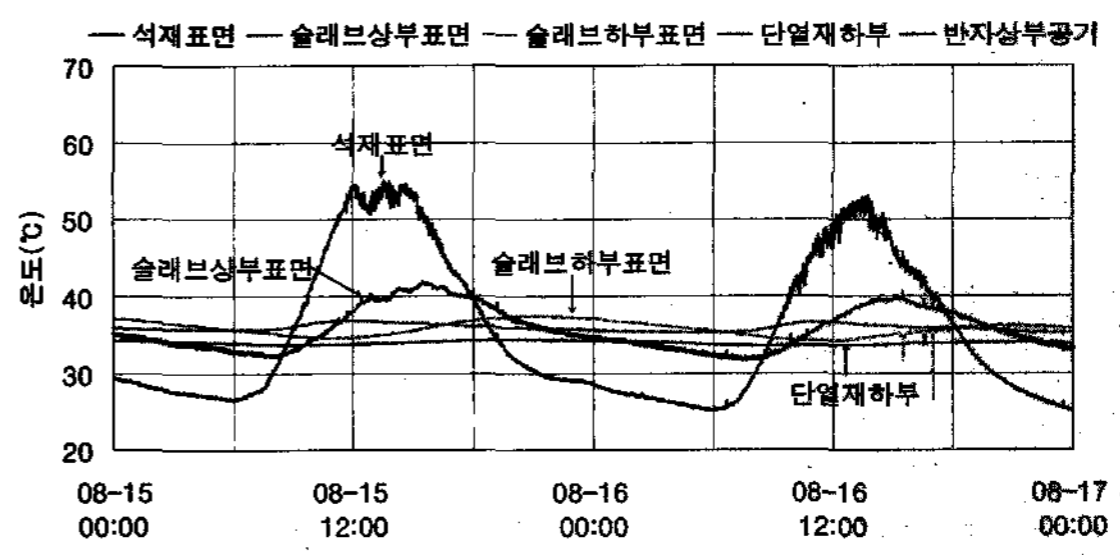
고온도 58.3°C (13:44경)로 그 변화폭은 29.5°C를 나타내었다(표5,7). 슬래브하부 표면온도는 전형적인 sin wave의 대칭형으로 최고온도는 41.8°C (20:00경)로서 슬래브상부 표면온도에 비해 16.5°C가 낮고 6시간 정도의 time lag가 확인되었다. 슬래브하부 표면온도 변화

표 7. 대표일의 슬래브상부 표면온도 비교(단위 : °C)

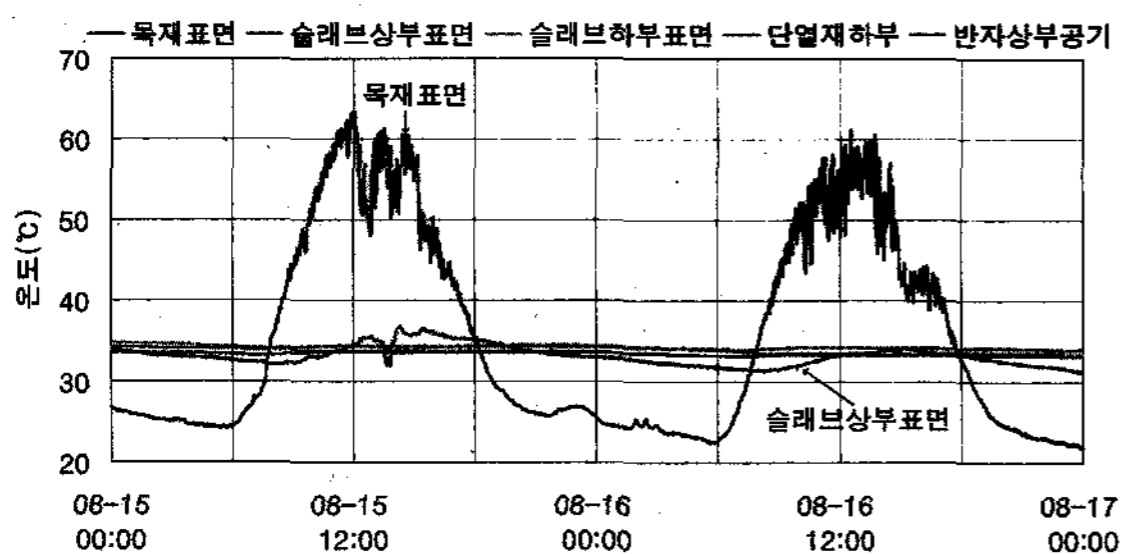
시험체 종류	06:00	12:00	13:00	18:00	24:00	최저	최고	평균	온도 변화폭
콘크리트	29.0	52.2	56.2	40.5	29.9	28.8	58.3	38.8	29.5
석재블록	32.4 (▲3.4)	36.4 (▼15.8)	37.8 (▼18.4)	37.8 (▼2.7)	33.0 (▲3.1)	31.8 (▲3.0)	40.0 (▼18.3)	35.1 (▼3.7)	8.2 (▼21.3)
목재데크	31.7 (▲2.7)	33.3 (▼18.9)	33.5 (▼22.7)	33.2 (▼7.3)	31.3 (▲1.4)	31.1 (▲2.3)	34.1 (▼24.2)	32.5 (▼6.3)	3.0 (▼26.5)
알루미늄패널	33.7 (▲4.7)	43.0 (▼9.2)	43.9 (▼12.3)	38.0 (▼2.5)	33.7 (▲3.8)	30.3 (▲1.5)	45.1 (▼13.2)	37.4 (▼1.4)	14.8 (▼14.7)



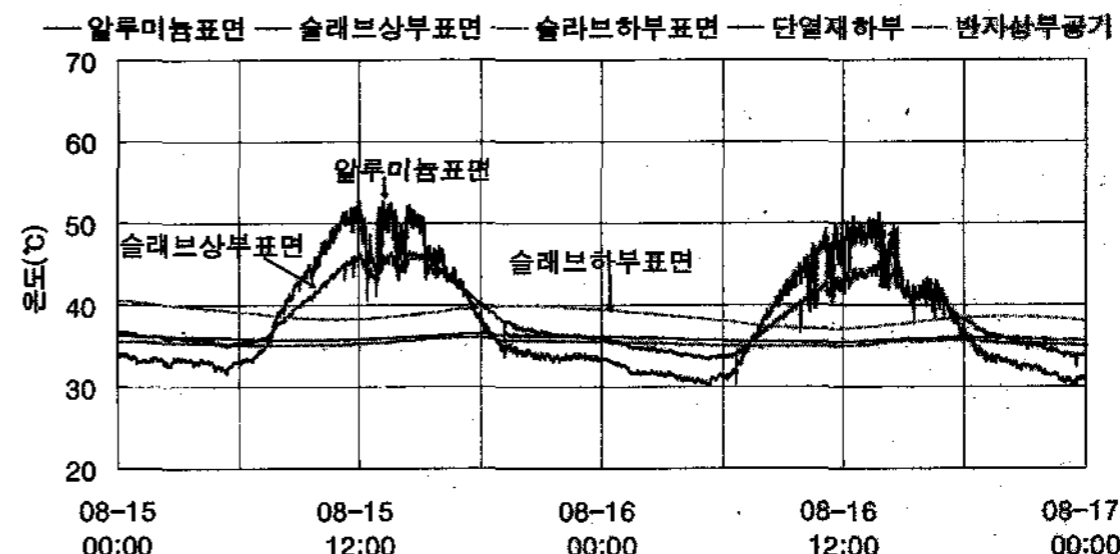
a) 콘크리트



b) 석재블록



c) 목재데크



d) 알루미늄패널

그림 7. 시험체의 연직단면 온도변화 추이

폭은 5.1°C로 상부표면에 비해 온도변화폭이 24.4°C 낮게 관측되었다(표7,8). 이러한 현상은 슬래브의 축열성과 열전달 특성의 결과로 사료된다. 또한 석재블록의 표면 최고, 최저 온도는 각각 53.1°C(13:44시), 24.9°C(06:07시)로 콘크리트 시험체와 같은 시각에 그 최고온도가 나타났으나 콘크리트 대비 5.2°C 낮게 관측되었다(표5). 석재블록 상부표면의 일중온도 변화폭은 28.2°C로 콘크리트보다 1.3°C 낮게 관측되었으나 전체적인 온도경향과 특징은 콘크리트와 매우 유사하였다(표5). 그리고 시

험체 하부(슬래브상부) 표면온도는 최고온도가 40.0°C, 최저온도는 31.8°C로서 불과 8.2°C의 작은 온도변화만을 확인할 수 있었다(표7). 시험체 표면의 최고온도가 콘크리트에 비해 낮은 것은 콘크리트(0.21)보다 2배정도 높은 표면 알베도(0.40) 때문으로 풀이된다.

한편 목재데크의 표면온도는 최고 61.2°C(12:32경), 최저 21.8°C(05:50경)로 시험체 중 가장 높은 온도와 일중온도변화(39.4°C)를 나타내었다(표5). 또한 시험체 하부(슬래브상부 표면온도)의 평균온도(32.5°C/콘크리트시험체 대비 6.3°C

표 8. 대표일의 슬래브하부 표면온도 비교(단위 : °C)

시험체 종류	06:00	12:00	13:00	18:00	24:00	최저	최고	평균	온도 변화폭
콘크리트	38.8	36.9	37.4	41.2	40.7	36.7	41.8	39.6	5.1
석재블록	35.4 (▼3.4)	34.2 (▼2.7)	34.3 (▼3.1)	35.6 (▼5.6)	35.6 (▼5.1)	33.4 (▼3.3)	37.0 (▼4.8)	35.4 (▼4.2)	3.6 (▼1.5)
목재데크	33.8 (▼5.0)	33.2 (▼3.7)	33.2 (▼4.2)	33.5 (▼7.7)	33.3 (▼7.4)	33.2 (▼3.5)	34.4 (▼6.4)	33.6 (▼6.0)	1.2 (▼3.9)
알루미늄패널	37.9 (▼0.9)	37.0 (▲0.1)	37.2 (▼0.2)	38.4 (▼2.8)	38.0 (▼2.7)	36.9 (▲0.2)	39.4 (▼2.4)	38.0 (▼1.6)	2.5 (▼2.6)

낮음)는 물론 일중온도변화(3.0°C)가 시험체 중 가장 낮게 관측되어 낮은 열용량과 열전도 특성을 지닌 목재데크가 외부온도변화에 대해 효과적으로 작용하였음을 확인할 수 있었다(표7).

마지막으로 알루미늄패널의 경우 표면의 높은 반사율(알베도 0.83)로 인하여 일중에는 타 시험체에 비해 상대적으로 낮은 표면온도(최고 51.2°C(13:45경))를 나타내었다(표5). 또한 슬래브상부(시험체 하부)표면에서의 일중온도 변화는 별도의 시험체를 설치하지 않은 무처리상태의 콘크리트 시험체 최고온도보다는 13.2°C, 평균온도보다는 1.4°C 각각 낮게 나타나 알루미늄패널 설치에 따른 효과를 확인할 수 있었다(표7). 그리고 슬래브 하부 온도변화는 무처리상태의 콘크리트 시험체 하부 슬래브 표면온도(39.6°C)와는 불과 1.6°C 낮은 온도차만이 관측되어 결과적으로 패널 설치에 따른 하부실내공간으로의 열차단 효과는 일부 확인되었다(표8).

3.5 시험체의 열특성에 대한 종합적 고찰

대표일 13:00시경 콘크리트 시험체의 상향장파복사량은 628W/m², 그리고 이때의 표면온도는 56.2°C(329.4K), 알루미늄패널 시험체는 412W/m², 48.4°C(321.6K)로 각각 관측되었다(표5,6). 두 시험체간에 표면온도 차이는 7.8K로 매우 작았음에도 불구하고 복사에너지는 콘크리트 시험체 대비 약 34%(216W/m²:복사에너지 차) 정도의 현격한 차가 관측되었다.

이는 시험체의 복사율(콘크리트 시험체 0.97, 알루미늄패널 0.30)이 주된 요인으로 해석된다.

그리고 하향복사(태양복사)에 대한 상향복사의 비율인 알베도를 각 시험체별로 살펴보면 콘크리트 시험체의 상향복사가 185W/m²(알베도: 0.21)로 가장 낮게 관측되었으며, 목재데크 326W/m²(0.37)와 석재블록 351W/m²(0.40)은 콘크리트 시험체에 비해 141~166W/m² 정도 높게 관측되었다(표6). 한편, 알루미늄패널은 726W/m²(0.83)으로 가장 높은 값을 나타내었다. 이렇게 각 시험체에서의 알베도는 순복사량 값에도 영향을 주어 알베도가 가장 높은 알루미늄패널이 154W/m²로 가장 낮게, 나머지 시험체들은 378~479W/m²사이의 값을 나타내었다(표6). 또한 총복사량에 대해서도 콘크리트, 석재블록, 목재데크는 2,105~2,206W/m²로 비슷한 값을 나타내었으나 표면알베도가 특히 높은 알루미늄패널의 경우에는 2,430W/m²로 다른 시험체들에 비해 높은 총복사량 값을 기록하였다(표6). 따라서 각 시험체의 알베도는 복사수지에 대단히 중요하게 작용하였음을 재차 확인할 수 있었다.

한편, 최상층 지붕면 상부에서 실내로 유입되는 열관류 차폐성능을 시험체별로 평가한 결과 목재데크는 낮은 열용량과 열전도 특성으로 시험체 중 일중 가장 높은 표면온도와 가장 큰 일중 온도변화폭(39.4°C)을 나타내었다(표5). 시험체 하부(슬래브상부 표면온도)의 평균온도(32.5°C/콘크리트시험체 대비 6.3°C 낮음)

와 일중 온도변화(3.0℃) 또한 시험체 중 가장 낮게 관측되었다. 이렇게 목재데크는 외부온도변화를 효과적으로 차단할 수 있는 우수한 재료임을 확인할 수 있었다. 또한 알루미늄패널 시험체는 높은 알베도에 의한 태양복사 차단효과에도 불구하고 그 하부(슬래브상부) 표면온도는 목재데크와 석재블록보다 높게 나타났다. 그리고 알루미늄패널은 높은 열전도 특성과 판상(두께 0.5mm)의 얇은 형상으로 인해 지붕상부 열차폐 성능이 석재블록과 목재데크보다 낮은 것으로 확인되었다.

4. 결 론

본 연구에서 관측된 결과들을 요약 정리하면 다음과 같다.

- (1) 각 시험체의 알베도는 알루미늄패널(0.83), 석재블록(0.40), 목재데크(0.37), 콘크리트 시험체(0.21)의 순서로 높게 나타나 단파복사(태양복사에너지)의 반사율이 가장 낮은 콘크리트 시험체는 가장 많은 복사에너지를, 알루미늄패널 시험체가 가장 적은 양의 복사에너지를 흡수한 것으로 확인되었다.
- (2) 시험체 고유의 복사율에 의해 결정되는 장파복사량의 경우 콘크리트 시험체(628W/m²)는 높은 복사율의 영향으로 크게 관측된 반면, 복사율이 낮은 알루미늄패널 시험체(412W/m²)는 가장 작은 값으로 관측되어 복사율의 영향을 본 연구에서 확인할 수 있었다.
- (3) 에너지흡수 정도는 그 재료의 알베도와 복사율에 의해 결정되므로 건물 열성능 개선과 도시열섬 완화의 관점에서 건물외피 재료에 대한 지속적인 검토가 필요한 것으로 사료된다.
- (4) 시험체별로 최상층 지붕면 열관류 차폐성을 평가한 결과 목재데크는 낮은 열용량과 열전도 특성으로 지붕슬래브 상부표

면온도(시험체하부 평균온도)와 일중온도 변화에서 시험체 중 가장 낮게 관측되어 외부온도에 대한 영향을 효과적으로 감소시켰음을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2007년 대구가톨릭대학교 교비해외파견 연구지원금에 의한 것임.

또한 본 연구를 수행함에 있어 시료제공과 도움을 준 (주)한설그린 관계자에게 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. International Workshop on Countermeasures to Urban Heat Islands, MLIT & IEA, Tokyo, Japan, 2006.08.03~04
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. 최동호, 이부용, “하절기 복사환경 관측을 통한 수목과 일사차폐 막 구조물의 자연냉각효과”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.27, No.4, pp.137-146, 2007.12.
4. 甲藤好郎, 『傳熱概論』, 養賢堂, 1989.
5. FLIR Systems, ThermaCAM S60 사용자 매뉴얼, 18.1장, 2003.04.
6. <http://www.handsel.co.kr/>