

# 평지붕 건물 축소모형의 지붕색에 대한 표면 온도의 비교평가: 쿨루프 성능평가 차원에서

## Comparative Evaluation of Surface Temperature among Rooftop Colors of Flat Roof Building Models : Towards Performance Evaluation of Cool Roof

류택형\*                      엄정섭\*\*  
Ryu, Taek Hyoung        Um, Jung-Sup

### Abstract

Cool roofs are currently being emerged as one of important mechanism to save energy in relation to the building. It is specifically proposed that the changing trends of rooftop surface temperature in the flat roof building model could be used effectively as an indicator to reduced cooling load reduced by cool roof since it can present stable temperature record, that is not influenced according to the nearby physical as well as human variables. The temperature of cool roof in summer was lower around 20 °C, compared to the general roofs. Such a seasonal or daily comparative study for rooftop temperature in the building model will highlight that the cool roof efficiency could be calculated in much area-wide context according to rooftop color distribution in urban residential area. It is anticipated that this research output could be used as a valuable reference in identifying energy saving by cool roof since an objective monitoring has been proposed based on the rooftop temperature in the building model, fully quantitative performance of thermal infrared image.

키워드 : 쿨루프, 건물모형, 표면온도, 지붕색상

Keywords : cool roof, building model, surface temperature, rooftop colors

### 1. 연구의 배경 및 목적

지붕의 색상을 반사율이 큰 백색을 사용하여 태양 복사에너지의 흡수를 최소화하는 쿨루프(Cool Roof)는 건물내부로 들어오는 열부하를 직접적으로 줄여주기 때문에 여름철 냉방에너지 절감 방안으로 대두되고 있다. 특히 기존시설의 구조를 변경하지 않고 간단히 색상만 교체하기 때문에 해외에서는 정부정책으로 적극 추진되고 있다.<sup>1)</sup> 미국의 경우 도시이미지를 생각하여 시각적으로 정비된 색채를 이용하는데 특히 밝은 색 계통으로 칠하여 여름의 실내온도를 낮춤으로써 에너지 절약뿐만 아니라 냉방으로 인한 이산화탄소 배출 감소효과를 가지는 것으로 알려졌다. 해외에서는 밝은색 지붕이 약 20%정도 냉방에너지를 줄일 수 있다는 연구가 진행된 바 있다.<sup>2-3)</sup> 또한, 여름에 기온이 높은 캘리포니아 같은 지역에 백색지붕을 적용했을 때 건물의 냉방에너지 절감효과 뿐만 아니라 도시의 열섬현상 완화에 대한 효과가 있다는 것이 입증되었다.<sup>4)</sup>

Cool roof의 성능검증 관련 연구는 일반적으로 특정 건물

을 선정하여 Cool roof 성능에 영향을 미칠 것으로 판단되는 건물의 형태, 배치, 단열 등 다양한 변수에 대한 정량적 측정을 통해 Cool roof를 설치할 경우 절감되는 에너지 부하를 제시하는 방식의 연구가 많이 수행되어 온 것으로 확인된다.<sup>5-7)</sup> 외벽의 재질, 두께, 창호의 단열 등 개별건물에 주안점을 두고 실내온도를 측정하여 냉난방 부하를 평가하는 방식은 전통적으로 사용되는 방법이나 지붕의 표면상태, 두께, 재질 등을 모두 고려했을 때 냉난방 부하에 영향을 미치는 변수가 매우 다원적이고 복잡적이기 때문에 모든 것을 고려하여 Cool roof가 냉난방부하에 미치는 영향을 평가하는 것은 한계가 있다. 그리고, 지붕을 조사한다고 하더라도 지붕은 넓은 면적에 걸쳐 다양한 외피 부위를 갖고 있음에 따라 지붕 전체 외피의 열류를 직접 접촉적 방법으로 측정하는 것은 비용 측면에서나 시간적으로 많은 제약을 갖고 있다.

선행연구는 다양한 형태의 건물에서 Cool roof가 냉난방 부하에 미치는 다양한 지표의 유용성을 검증하는 데 도움이 되었으나 냉난방부하에 영향을 미치는 변수가 매우 다원적이고 복잡적이며 검증결과가 다양한 변수를 통제하지 못하여 계량화가 이루어지지 못해 객관성을 확보하는 데 한계를 가지고 있다. 지붕의 빛반사율에 의거한 냉난방 부하의 평가는 전통적으로 사용되는 방법이지만<sup>8)</sup>, 반사율은 결국 표면 온도로 그 결과가 도출된다. 건물 지붕의 표면온도가 높고 낮음에 따라 적정 실내온도 유지를 위해서 에너지 소비

\* Main author, Dept. of Spatial Information Science, Kyungpook National Univ. South Korea (thryu@knu.ac.kr)

\*\* Corresponding author, Dept. of Geography Kyungpook National Univ. South Korea (jsaem@knu.ac.kr)

를 유발시키기 때문에 지붕 표면 온도가 Cool Roof로 인한 냉난방 부하를 평가할 수 있는 가장 직접적이며 핵심변수이다. 하지만 보다 거시적인 물리적 주거환경에 대한 지표인 표면온도를 활용하여 지붕의 열부하에 대한 정확한 진단과 평가를 통해 Cool Roof 도입 타당성을 규명하기 위한 연구는 확인되지 않는다. 열화상 카메라를 이용하여 열분포를 진단하는 연구는<sup>9)</sup> 상당히 존재하지만 Cool Roof 성능을 평가하기 위해 열화상을 활용하는 경우는 찾아보기 어렵다.

일반적인 Cool Roof 성능 검증결과는 이를 뒷받침할 논리적이고 객관적인 근거 자료가 분명치 않다. Cool Roof를 설치할 경우를 가상하여 제작된 건물 축소모형은 지붕표면온도에 영향을 미치는 요소인 방향, 고도, 일사량, 운량, 바람 등 다양한 자연현상과 주변 토지 이용에 영향을 받지 않고 객관성을 확보하면서 개별건물에 대한 실내 온도 조사에서 소요되는 많은 시간과 비용은 절약하게 될 것이다. 건물 축소모형은 실제 건물에 대한 지붕표면 온도 조사시 발생할 수 있는 외부요인으로 인한 왜곡 문제와 조사대상 지붕의 재질 차이로 인한 조사결과와 정량적인 비교과정에서 한계를 해결할 수 있을 것이다. 모형건물의 다양한 지붕색에 대한 표면 온도 변화추세 평가는 다양한 시기의 열환경 변화 실태를 정량적으로 제시하고 있기 때문에 그 결과가 Cool Roof 성능 검증과정에서 설득력을 지닌 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

건물축소모형에서 도출된 결과는 실제 건물 지붕에서 제기되는 한계점을 극복하고 논리적이고 객관적인 설명이 가능하게 된다. 일반적인 Cool Roof 성능 검증은 주변 여건을 통제할 수 없기 때문에 특정건물과 시간대에 대해서만 결과가 도출되지만 축소건물 표면온도의 시계열 분석을 통한 성능 검증은 구체적인 장소와 다양한 계절과 시간에 대해 계량적인 결과의 도출이 가능하다. Cool Roof의

성능 검증을 위한 지표로 건물축소모형의 지붕표면온도를 비교 평가하여 냉난방부하를 예측하는 것은 단시간에 적은 경비로 정량적이고 거시적인 분석결과를 제시할 수 있다. 따라서 본 연구는 건물축소모형의 지붕표면온도를 계절별, 시간대별로 정량적으로 산출하고 Cool Roof의 성능을 검증하기 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 데이터 취득

건물 축소모형은 대구광역시에 위치한 경북대학교 캠퍼스의 사회과학대학 건물의 옥상에 설치되었다(fig. 1c). 경북대학교는 대구광역시 북구에 소재하며 경위도 상으로 동경 128° 36'~128° 37'의 동서구간과 북위 35° 53'에 위치하며, 지형적인 높이는 약 35~62 m로 완만한 구릉지를 이루고 있다. (fig. 1a)는 경북대학교 사회과학대학 옥상의 모습으로 대학건물의 특성상 옥상 거주인원이 없고, 옥상은 강의 혹은 연구를 목적으로 하는 건물이 아니기에 이 동인구가 거의 없다. 옥상층은 상주인원이 없어 실내 냉난방이 이루어지지 않아 내부열기나 냉기가 건물 축소모형의 표면 온도에 미치는 영향이 아주 미미할 것으로 판단된다. 따라서 통제된 조건에서 Cool Roof가 지붕 표면온도에 미치는 영향을 평가하는 데 다양한 여건을 충족하고 있다. 모형구조체는 1,000 × 1,000 × 1,000(mm) 규격의 축소모형으로 구성하였으며, 서로 다른 재질을 사용했을 때 서로 다른 방사율을 갖기 때문에 재료와 표면구조 및 내부사이드를 동일하게 하였다. 우리나라 건물의 지붕형태 중 대부분을 차지하고 있는 평지붕은 태양에너지를 수직으로 받기 때문에 건물내부로 많은 열이 전달된다. 특히, 건물 외피 중 지붕은 태양에너지를 받는 비율이 가장 높아 건물 에너지소비에 큰 변수로 작용한다. 학교 및 관공서 건물은

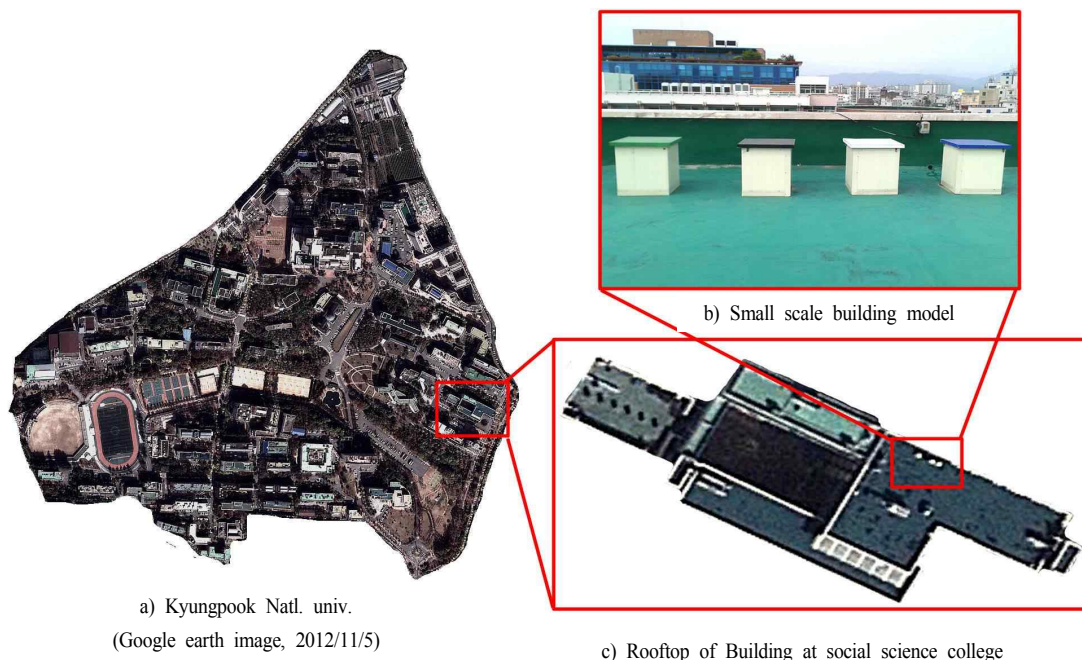


Fig. 1. Small scaled building model installed at rooftop of Social Science College, Kyungpook National University

대다수 평지붕형태로 되어 있어 취약한 열환경을 가중시키고 있다. 모형은 실제 건물과 유사한 재료를 이용하여 제작하여야 하나 이동성과 경제성에 있어 제한적이기 때문에 샌드위치 판넬을 이용하여 일반 평지붕 형태로 제작하였다. 지붕의 색상은 우리나라 평지붕에서 흔히 볼 수 있는 시멘트 지붕에 이물질이 묻어 지붕전체가 검게 보이는 색상, 그리고 방수제를 칠한 녹색, 공장에서 흔히 볼 수 있는 청색, 그리고 Cool roof를 대표할 수 있는 백색을 적용하였다(fig. 1b).

본 연구에서 사용된 적외선 열화상카메라는 피사체의 표면으로부터 복사되는 열에너지를 온도로 환산하여 실시간으로 영상을 제공한다. 실험에 사용된 FLIR i7(Table 1.)은 물체가 방사하는 적외선을 검출하여 그 온도 분포를 영상화하는 장치로써 원리는 물체가 발산하는 적외선을 탐지하여 물체와 배경 사이의 온도차를 이용하는 것이며, 주간은 물론 야간에도 몇 킬로미터 앞에서 검출할 수 있다. -20 ℃ ~ 250 ℃ 범위에서 표면 온도 측정이 가능하며 0.1 ~ 1.0의 방사율 선택 및 보정 기능을 가지고 있다. 이미지 분해능은 120×120으로 총 14,400픽셀의 고해상도 컬러화면으로 물체에 따라 표면온도의 측정값을 구별하여 관찰할 수 있는 특징을 가지고 있다. ±2 %의 높은 정밀도와 0.1 ℃ 이하의 열 민감도를 가지고 있어 상당히 미시적인 열변화를 탐지할 수 있으며 무초점으로 편리한 시야를 확보할 수 있다. 측정환경은 일반적으로 물질의 방사율과 색상, 측정대상의 표면에 의한 영향을 크게 받는다. 본 연구에서는 물질과 표면은 동일하기 때문에 변수에 포함시키지 않았다. 측정 환경내 습도는 열화상카메라의 렌즈에 응축이 생기지 않을 정도이면 결과값을 신뢰할 수 있다. 촬영일시는 모두 구름이 없는 맑은날에 실시하였다. 이때의 상대습도는 50%이하이다. 원격탐사 영상을 취득하는 경우 자료의 수집 과정에서 여러 가지 요인에 의해 자료의 훼손, 왜곡 등이 발생하게 된다. 축소모형 지붕의 촬

영과정에서 열화상 카메라의 흔들림, 렌즈의 왜곡 등을 피하기 위해 삼각대를 이용하여 카메라를 고정하고 최대한 수직을 유지하면서 영상을 취득하여 열분포 조사에 필요한 영상을 확보하였다.

Table 1. Specification of thermal infrared camera.

Detector Type (Focal plane array)	120×120 pixel (14,400)
Temperature sensitivity	below 0.1℃
Temperature range	-20℃ ~ 250℃
Focus	Focus free
Emissivity	0.1 to 1.0 Adjustable

지붕표면 온도변화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 외기 일사량으로 구름이 없는 청천공의 기상조건에서 열화상을 확보하는 것이 이상적이다. 각 계절마다 운량이 0 인 날은 한달 평균 2~3일정도이며, 그중 가장 청명한 날을 선정하여 촬영을 실시하였다. 촬영기간은 2012년 8월부터 2013년 4월까지이며 봄철(2013년 3월 26일)의 평균기온은 6.6 ℃, 최고 12.3 ℃, 평균운량 0.0, 여름철(2012년 7월 28일)의 평균기온 31.1 ℃, 최고기온은 36.0 ℃, 평균운량은 2.1로 7월 한달내에 청천공이 없어 가장 구름이 적은 날을 선정하였다. 가을철(2012년 10월 18일)의 평균기온은 12.9 ℃, 최고기온은 18.5℃, 평균운량 0.0 이다. 겨울철(2013년 1월 3일)의 평균기온은 -7.8℃, 최고기온 -4.2 ℃ 평균운량은 0.1에 실시하였다. 태양고도의 변화가 명확히 구분되는 2시간 단위로 촬영이 이루어졌으며 계절마다 일몰시간이 다르지만 태양이 가장 빨리 지는 겨울철을 기준으로 18시

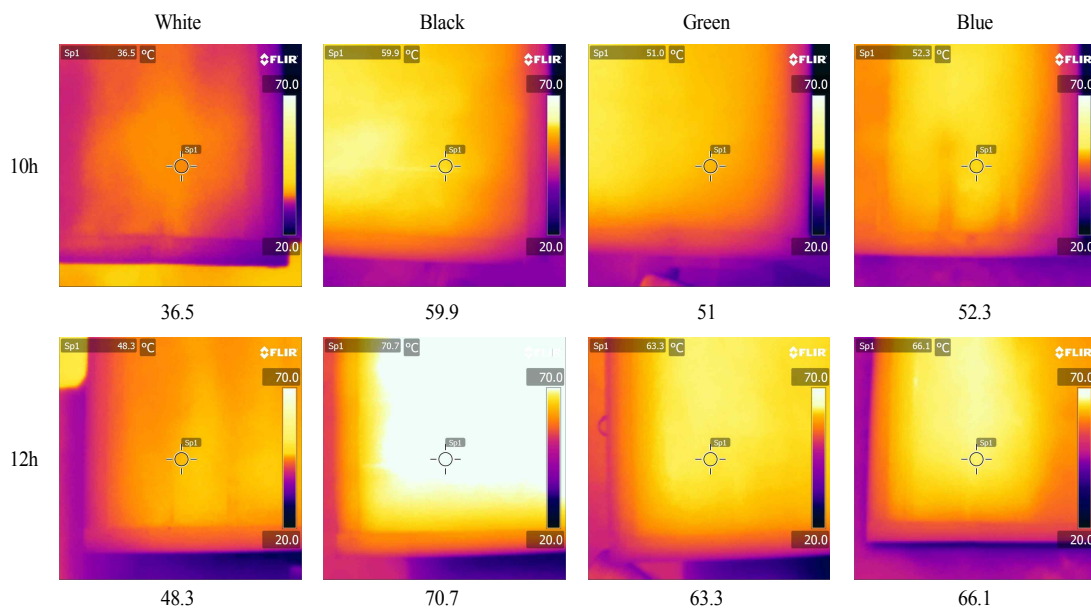


Fig.2. Rooftop surface temperature according to different time interval(10-12h) in Summer.

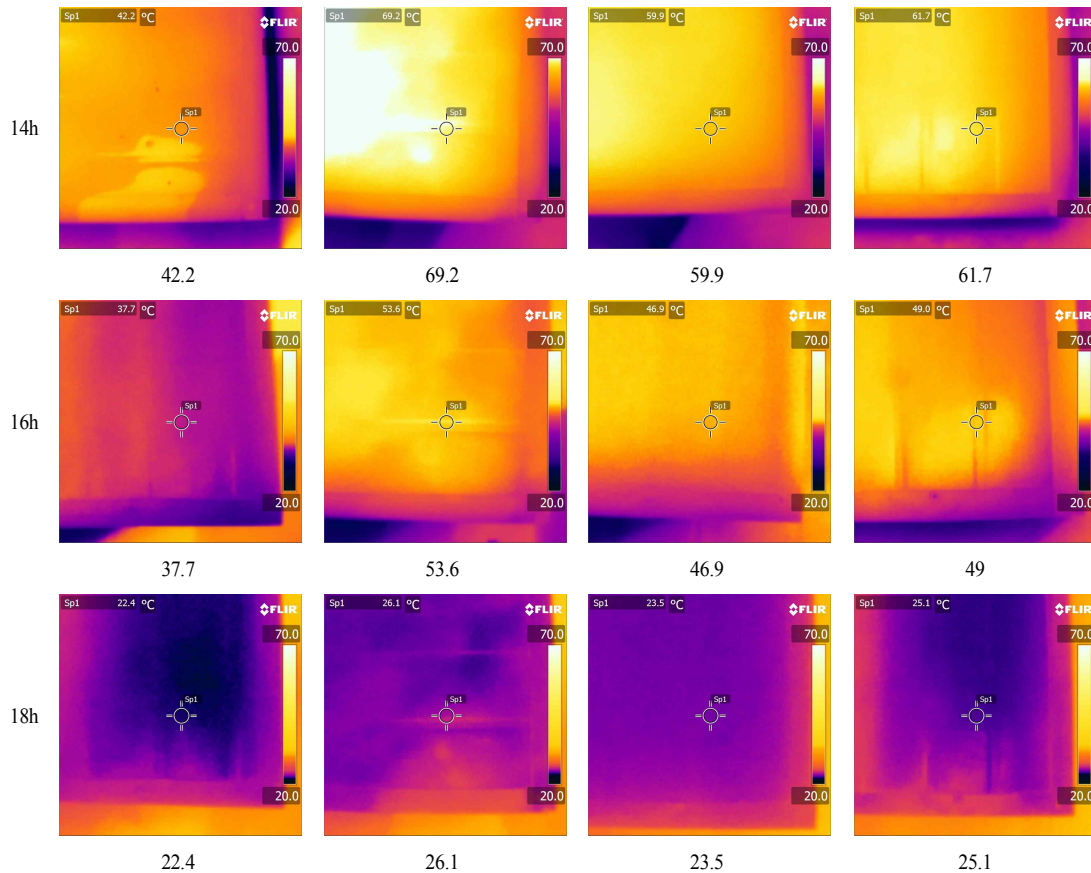


Fig.3. Rooftop surface temperature according to different time interval(14-18h) in Summer.

에 실험을 종료하였다.

Cool roof를 대표할 수 있는 백색과 일반 지붕에서 대부분 차지하고 있는 색상인 검은색, 청색, 녹색을 정하여 열화상카메라를 이용하여 각계절마다 오전 10시부터 18시까지 2시간 간격으로 촬영하였다(fig.2. ~ fig.5.). 봄철 지붕표면온도는 가을철과 매우 유사하기 때문에 본 실험결과에 제시하지 않았다. 표면온도 측정에서 촬영거리가 1m 정도 매우 짧은 거리이기 때문에 온도 편차가 크게 없을 것으로 판단하여 온도 스팟의 대표값을 하나로 설정하였다. 지붕의 정중앙을 촬영하지 못한 이유는 데이터 정리시 온도분포만으로 영상을 비교할 수가 없어 영상들을 서로 구분하기 위해 지붕의 오른쪽 아래를 기준을 맞춰서 촬영하였다.

### 3. 계절별 표면온도 비교평가

열화상 영상에서 온도상태바는 온도가 높을때 노란색에 가깝고 낮을때는 진한 보라색에 가깝게 나타난다. fig. 2., 3은 여름철 두시간마다 지붕색상별 표면온도 영상이다. 오전 10시부터 검은색, 녹색, 청색의 표면온도가 50℃ 이상 측정되었지만 백색은 10℃ 이상 낮다. 태양고도가 가장 높을때인 12시는 지표면과 수직에 가까워 태양에너지의 유입이 최대가 된다. 이때 표면온도를 측정하게 되면 검은색은 70℃, 녹색은 63.3℃, 청색은 66.1℃를 나타냈었다. 백

색도 표면온도가 급격히 상승되기는 하나 다른 색상에 비해 20℃가량 낮은 분포를 보였다. 대기온도가 31℃로 상당히 무더운 여름에 지붕의 표면온도가 60℃ 이상 올라가게 되면 이 열이 실내로 유입되어 열적 불쾌감을 초래할 수 있다. 그에 반해 백색은 낮 최고 외기온도와 비교해 10℃ 정도밖에 차이나지 않기 때문에 실내로 유입되는 열은 많지 않다. 따라서 백색지붕이 색상을 지닌 다른 지붕보다 난방에너지의 수요를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 12시 이후 태양의 고도는 서서히 줄어들면서 지붕표면온도도 떨어지고 있다. 18시의 표면온도는 열화상카메라의 온도영상에서 볼 수 있듯이 4가지 색상 모두 비슷한 온도분포를 보이고 있으며 진한 보라색으로 상당히 온도가 떨어졌음을 확인할 수 있다.

겨울철의 지붕 표면온도는 fig. 4와 같이 여름철과 다르게 전체적으로 온도가 낮음을 열화상영상으로 확인된다. 10시에서는 4가지 색상이 비슷한 온도분포를 보이다가 12시일때 온도차이가 확연히 드러난다. 백색은 7℃ 증가되었지만 검은색과 청색은 20℃ 이상 증가하여 태양에너지의 흡수가 급격히 일어났다. 백색지붕이 다른 색상에 비해 표면온도가 낮아 난방에너지의 소비가 증가할 것으로 생각될 수 있으나 열화상 영상에서도 볼 수 있듯이 시간에 따른 백색은 온도의 변화폭이 다른 색상에 비해 가장 낮다. 반면에 검은색, 녹색, 청색의 온도변화는 상당히 급격함이 보여 오히려 난방에너지의 소비를 증가시킬 수 있는 요인

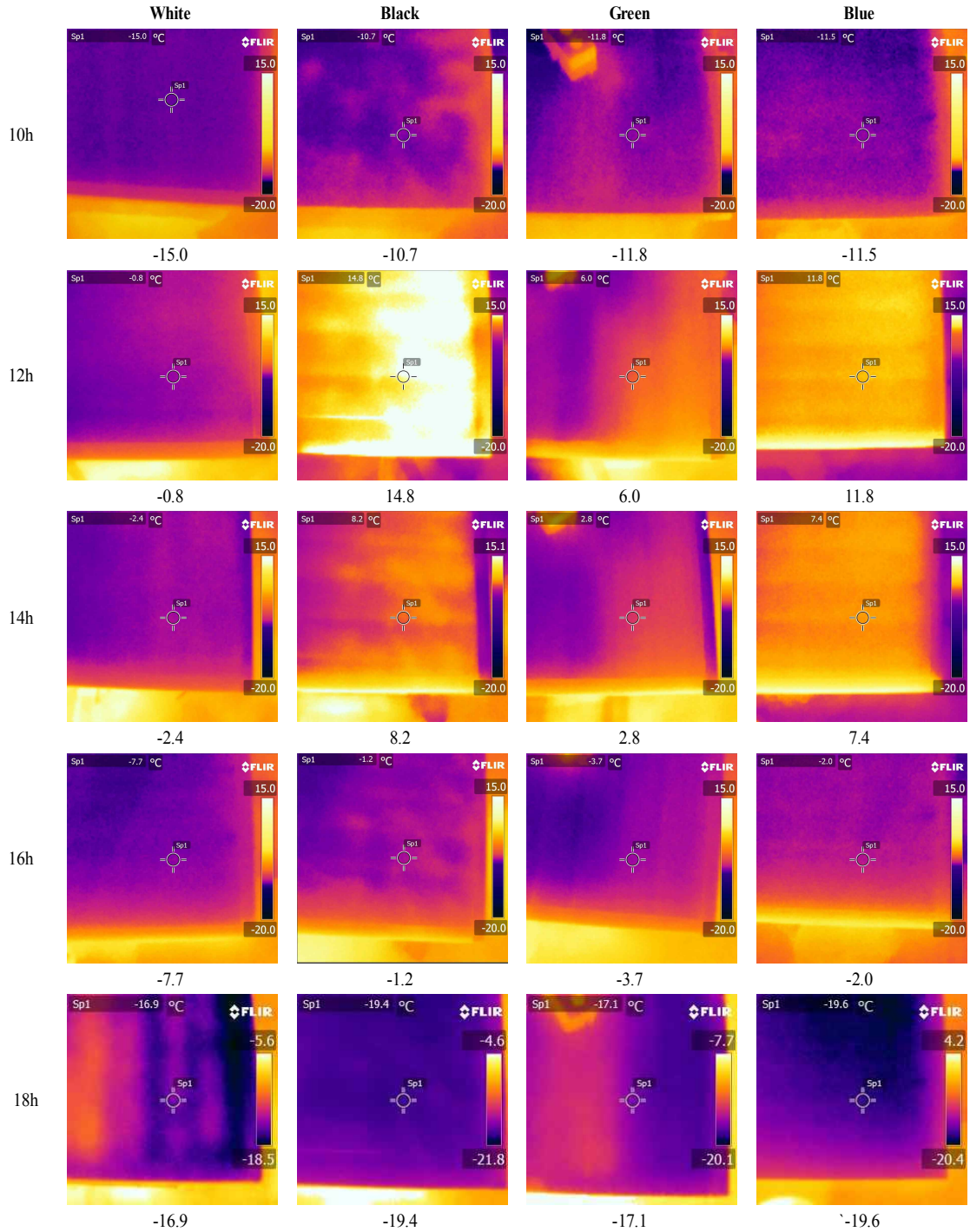


fig. 4. Rooftop surface temperature according to different time interval in winter.

이 된다. 18시는 겨울철 일몰시간이 17시23분으로 촬영시에는 해가 지고난 뒤에 더 이상의 태양에너지의 유입이 없고 풍속이 5.5m/sec<sup>10</sup>로 매우 강하기 불었기 때문에 지붕표면온도가 영하 15°C 이하로 떨어졌다. fig. 5.에서 가을철의 지붕표면 온도변화 특징을 살펴보면, 태양고도의 증가에 따라 표면온도의 상승폭은 매우 크다. 그러나 태양의 고도가 낮아지고 16시이후 색상예 상관없이 표면온도가 비슷해지는 경향을 보이고 있다. 가을철 일몰시간인 17시 51분일 때 대기온도는 15.5°C로 각 색상별 지붕온도는 외

부온도보다 3~7°C 정도 밖에 차이하지 않았다. 가을철에도 백색의 온도변화폭은 가장 작았으며, 태양이 진 후 햇빛을 받지 않을 시간일 때 다른 색상의 지붕 온도와 유사하기 때문에 백색으로 인해 실내온도가 더 낮아진다고 볼 수 없다.

#### 4. 표면온도 변화추세 평가

각 계절마다 시간에 따른 지붕표면 온도변화를 같은 지붕색상으로 비교한 그래프를 fig. 6에 나타내었다. 백색지

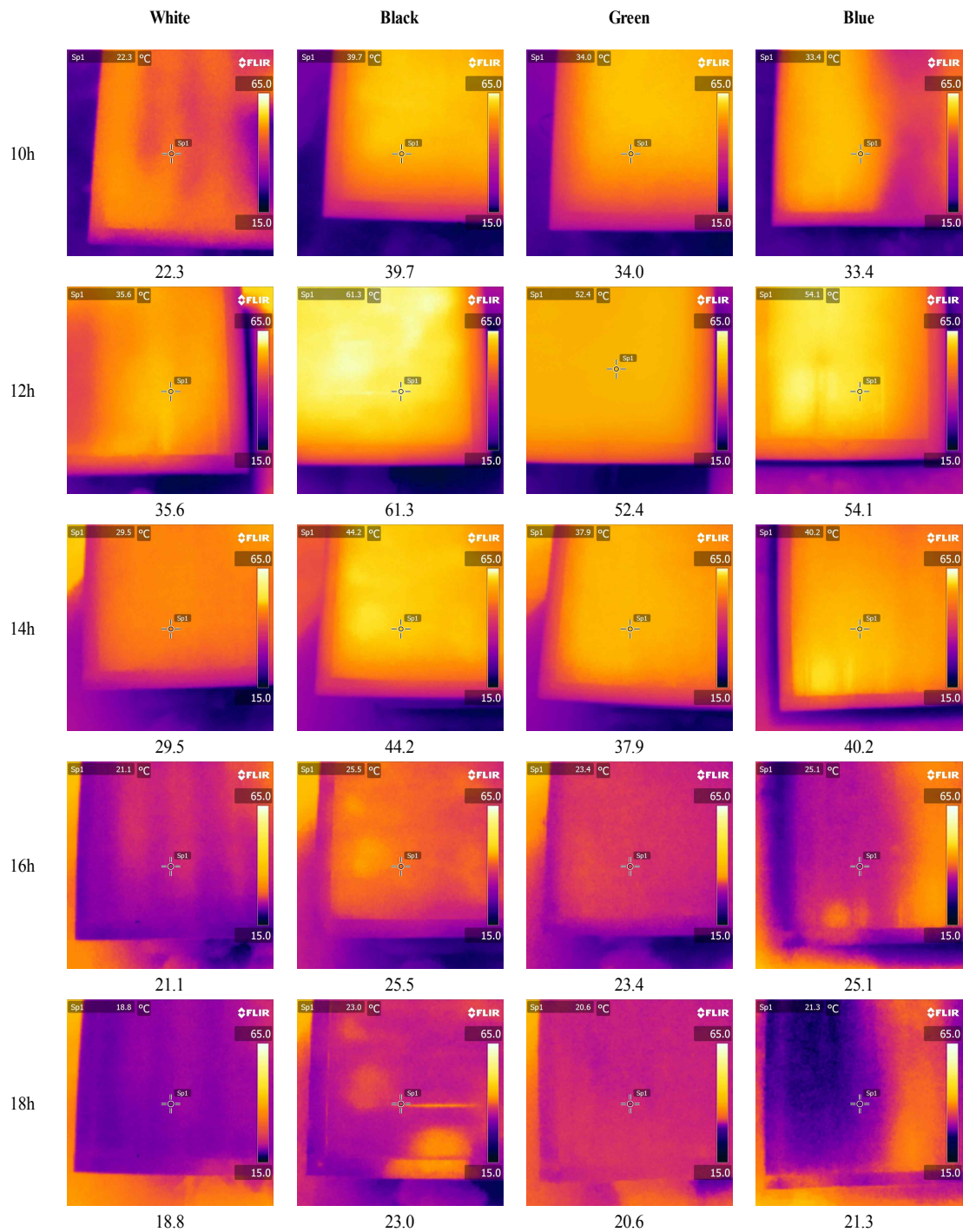


fig. 5. Rooftop surface temperature according to different time interval in Fall.

붕에서 여름철과 겨울철의 차이가 다른 색상에 비해 가장 적었다.(fig. 6a) 태양고도가 가장 높을 때 지붕의 표면온도가 가장 높게 올라가며 이때 받은 열은 일부 반사되지만 대부분 실내로 유입된다. 백색지붕은 검은색, 녹색, 청색과 비교해 빛 반사율이 가장 높아 흡수되는 열보다 반사되는 열이 많기 때문에 실험결과에서도 마찬가지로 태양에너지의 세기를 가장 적은 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, 겨울철에는 표면온도가 낮지만 다른 색상에 비

해 백색지붕은 시간에 따른 온도변화 패턴이 매우 완만하여 온도유입의 변화가 적을 것으로 사료된다.

검은색 지붕은 계절에 따라 현저하게 온도차이가 나타나는 것을 보여주는데(fig. 6b), 12시에서 표면온도가 여름철에는 70.7°C, 가을철에는 61.3°C, 겨울철에는 14.8°C로 큰 차이를 보였다. 여름철 검은색 지붕표면이 태양에너지를 가장 많이 흡수하였음을 보여주는 결과이다. 검은색임에도 불구하고 겨울철 표면온도에서 오전 1시와 오후 18

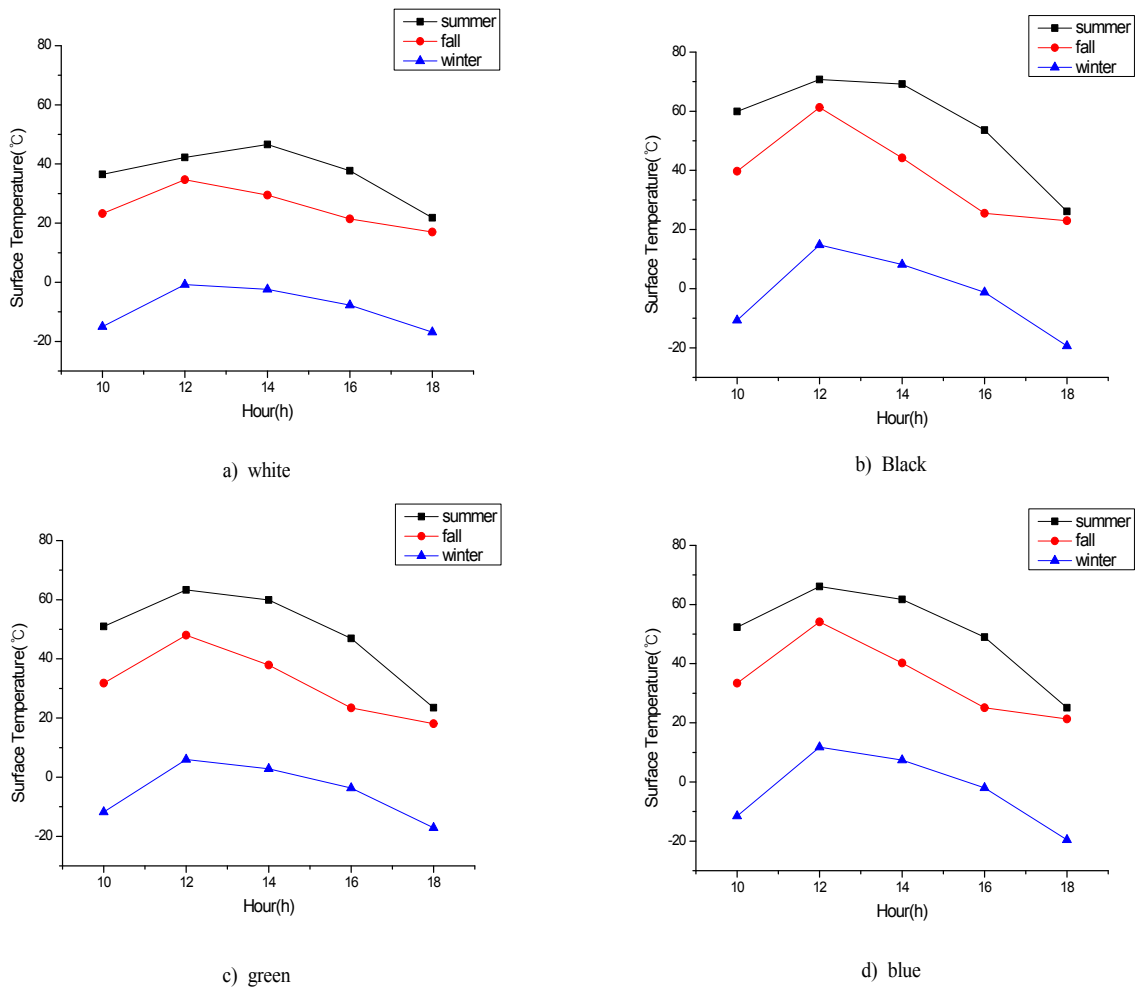


Fig. 6. Changing trends of seasonal rooftop surface temperature by color

시에는 백색지붕과 온도차이가 크게 없음을 확인할 수 있다. 이는 태양에너지를 직접적으로 받지 않은 시간에는 표면온도의 차이는 없다는 것을 실험결과로 나타냈다. 12시 이후 태양의 고도가 낮아짐에 따라 지붕의 표면온도변화는 급격히 떨어지며 온도변화가 심한 겨울철에 온도변화는 가장 크다. 동절기는 태양의 천공상태에 따라 온도차이가 크게 나타난다. 겨울철을 90일을 기준으로 조사하였을 때 청천공 36일, 부분담천공 42일, 담천공 12일로 확인된다. (Modified Korea Meteorological Administration data(2010), <http://www.kma.go.kr/>) 쿨루프로 인해 겨울철 난방부하에 직접적으로 영향을 미칠 수 많은 날씨는 36일로 확인된다. 청천공이 아닌 겨울철 날씨에는 태양에너지의 반사와 흡수가 혼재되어 나타나기 때문에 쿨루프로 인해 난방부하가 증가되기 어렵다. 즉 동절기의 경우, 천공의 상태가 주로 담천공의 상태로 빈번하게 발생하여, 지붕의 반사율로 인해 증가되는 태양 에너지량은 미미하다. 우리나라와 비슷한 위도상에 위치하고 있거나 고위도 지역에서 쿨루프를 도입하고 있는 많은 사례가 확인되고 있다.<sup>11)</sup> 선행연구와 마찬가지로 본 연구에서도 검은색 지붕은 겨울철에 태양에너지의 유입으로 실내온도를 높이는 효과가 어느 정

도 있겠으나 백색지붕과 비교했을 때 온도차이가 크게 없으므로 난방부하에 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

녹색과 청색은 온도 분포도 비슷하고 변화 패턴도 매우 유사하게 나타났다(fig.6 c,d). 태양에너지를 가장 많이 받는 여름철에는 표면온도가 최고 60°C 까지 올라갔으며 겨울철에도 약 10°C 정도 되며, 여름철과 겨울철의 온도 차이는 50°C 정도 되며 계절에 의한 온도 변화 분포가 가장 잘 두드러지게 나타났다. Ronnen Levinson<sup>12)</sup>은 thermistors라는 온도측정기기를 사용하여 적외선 코팅된 실제건물의 지붕과 Cool roof지붕 간의 온도차이에 대한 연구를 진행하였다. 이 연구에서도 다양한 색상에 대한 지붕표면온도를 측정하였는데 검은색지붕은 68.3°C 까지 올라갔으며 회색지붕은 53.9°C로 측정되었으며, 김옥<sup>13)</sup>의 연구에서는 지붕의 외부 표면온도 변화양상을 온도센서와 데이터로거를 통한 측정에서 하절기일 때 일반마감은 최대 63.9°C, Cool roof 마감은 49.8°C로 최대 14.1°C 차이가 나는 것을 확인하였다. 동절기에는 일반지붕의 평균 표면온도가 10.1°C, Cool roof는 1.4°C로 여름과 겨울의 온도차이가 본 연구와 매우 유사함을 알 수 있었다. 반면에 여름철에 쿨루프는 지붕 표면온도가 일반지붕과 비교하여 최대 약 20 °C 차이

가 있음을 실험 결과에서 알 수 있으므로 쿨루프로 인해 줄어드는 냉방부하가 난방부하보다 훨씬 클 것이라는 것을 정량적으로 확인할 수 있다.

## 5. 결론

Cool roof의 성능평가에 필요한 객관적이고 핵심적인 자료를 확보하기 위해 모형지붕과 원격 열화상카메라를 이용하여 온도변화를 측정하였다. 우리나라 지붕색의 대표 색상을 추출하여 모형지붕에 적용한 색상과 Cool roof의 색상인 백색을 적용했을 때 계절별 온도변화 양상은 확연히 드러났다. 여름철에서 검은색, 청색 녹색과 같은 색상을 가진 지붕의 표면온도는 건축물의 실내온도에 큰 영향을 미칠만큼 높은 온도인 70℃에 가깝게 상승하였다. 그러나 백색으로 칠한 모형지붕의 표면온도는 다른 지붕에 비해 최대 20℃만큼 낮은 48℃로 측정되어 실내로 유입되는 열을 상당히 줄일 수 있다는 객관적인 근거가 도출되었다. 일몰후 태양에너지의 유입이 없기 때문에 색상으로 인한 표면온도 변화가 없으므로 Cool roof 적용시 난방부하의 증가는 없을 것으로 판단된다. 모형건물은 실제 건축물에서 개입될 수 있는 다양한 변수를 고정하고 지붕색상에 의한 효과만 제시되게 되어 효과적으로 온도분포 및 패턴을 취득할 수 있었다. 어느 정도 거리에서 떨어져서 온도를 간접적으로 측정하는 열화상카메라는 다양한 요소에 의해 측정오차를 발생할 수 있다. 그러나 여러 계절과 시간별 비교를 통해 온도변화 패턴이 일정하여 온도값을 사용하였다. 열화상카메라 영상은 지붕의 온도분포를 시간에 따라 시각화할 수 있어서 온도분포변화를 분석하는데 매우 유용한 도구가 될 수 있었다. 모형지붕을 통한 Cool roof 성능 평가는 조사에 소요되는 많은 시간과 비용을 절감할 수 있고 신속히 정량적인 데이터를 확보할 수 있었다. 본 연구결과는 모형지붕을 이용한 Cool roof의 성능 평가를 위해 일관적이고 객관성있는 자료로 활용할 수 있을 것이다. 지붕색상별 표면온도 비교의 결과는 매우 조심스럽게 해석되어야 할 것으로 판단된다. 왜냐하면, 분석의 결과가 평면 모형지붕의 표면온도에만 한정되어 있어, 다양한 지붕형태, 건물의 실내온도, 건물의 냉난방 부하, 에너지 사용량 등 쿨루프 성능에 관련된 다양한 변수를 통합적으로 고려하지 못하고 있다. 본 연구의 표면온도 비교평가는 대학캠퍼스에서 평지붕 건물모형만을 대상으로 한 것이므로, 전용주거지역, 일반주거지역, 상업지역, 공업지역 등 다양한 지역을 상정하여 추가연구가 필요하다. 아울러 단독주택, 집합건물, 탑상형, 판상형 아파트 등 건물 유형별 표면온도 비교평가가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 학술연구라는 자체적인 한계 때문에 단기간에 수행된 단 1개의 평지붕 모형에 걸친 국한된 결과이며 청천공의 이상적인 기상 조건하에서 수행된 결과이다. 지붕의 표면상태, 건물실내의 온도, 재질, 건물의 주변환경 등에 의해 지붕표면온도가 다르게 나타나기 때문에 이를 일반화하기에는 한계가 있다. 보다 다양한 조건을 고려하여 연구결과와의 통계적인 유의성을 확보하여야 할 것으로 판단

된다. 본 연구는 평지붕의 표면온도만을 고려한 지표의 한계 때문에 연구의 결과를 박공지붕 등 다양한 지붕에 적용하는 데는 한계점이 있다. 본 연구의 타당성을 검증하기 위해서는 실내온도와 에너지 사용량 등 현지조사를 통하여 수집된 다양한 데이터와 비교하는 등 본 연구 결과의 실용성을 증진시킬 수 있는 방안에 대해서 보다 심도있는 후속 연구가 필요하다.

## Acknowledgement

This research was supported by Kyungpook National University Research Fund, 2013(2014).

## References

- [1] 최진호, 엄정섭, "해외 사례분석을 통한 Cool Roof의 도입 방안", 2010, 환경영향평가. 19(6), p. 591-605 / (Chojinho, Umjungsup, Introducing strategy of cool roofs based on comparative evaluation of foreign cases, Journal of Environmental Impact Assessment, 2010, 19(6), p. 591-605)
- [2] Gu L, Cummings JE, Swami MV, Fairey P, Awwad S. Comparison of dust system computer models that could provide input to the thermal distribution standard method(SPC-152P), 1996, FSEC-CR-929-96.
- [3] Akbari H, Konopacki S. Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada, Energy 2004, 29, pp. 191-210.
- [4] Akbari H. Cool roofs save energy, ASHRAE Transactions, 1998, 104, 1B, p. 783-788.
- [5] Konopacki S, Akbari H. Simulated Impact of Roof Surface Solar Absorptance, Attic, and Duct Insulation on Cooling and Heating Energy Use in Single-Family New Residential Buildings, 1998, LBNL-41834, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA.
- [6] Hildebrandt E, Bos W, Moore R. Assessing the impacts of white roofs on building energy loads, ASHRAE Technical Data Bulletin, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 1998, 14(2), p. 28-36.
- [7] Konopacki S, Akbari H. Measured Energy Savings and Demand Reduction from a Reflective Roof Membrane on a Large Retail Store in Austin, LBNL-47149, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 2001.
- [8] Bohm B, Danig PO. Monitoring the energy consumption in a district heated apartment building in Copenhagen, with specific interest in the thermodynamic performance, Energy and Buildings, 2004, 36(3), p. 229-236.
- [9] 장윤성, 엄창득, 박준호, 이진제, 박주생, 여환명, "적외선 열화상과 온도차비율법을 이용한 목조 주택의 열환경평가", 목재공학, 2010, 38(6), p. 518-525 / (Jangyunsung, Umchangdeuk, Parkjunho, Leejeonje, Parkjusaeng, Yeohwanmyung, Thermal environment evaluation of wooden house using infra-red thermal image and temperature difference ratio(TDR), The Korean Society of Wood Science Technology, 2010, 38(6), p. 518-525)
- [10] 기상청, 2012 / (KMA, 2012, Korea Meteorological Administration), <http://www.kma.go.kr/>
- [11] Synnefa A, Santamouris M. Advances on technical, policy and market aspects of cool roof technology in Europe: The Cool Roofs



project, Energy and Buildings, 2012, 55, p. 35-41.

[12] Levinson R, Akbari H, Reilly J. Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings, Building and Environment, 2007, 42, p. 2591-2605.

[13] 김 옥, "Cool Roof 시스템의 성능기준 및 설계지침에 관한 연구", 2010, 박사학위 논문 / (Kimok, A study on the performance standards and design guidelines of cool roof system, 2010, Thesis, Chung-ang University)

---

---

Received October 8, 2013;

Final revision received November 27, 2013;

Accepted December 3, 2013