



쿨루프 적용에 따른 업무용 건물의 내·외부 온도 저감 효과

Reduction in Indoor and Outdoor Temperature of Office Building with Cool Roof

송봉근* · 김경아** · 박경훈***

Song, Bong-Geun* · Kim, Gyeong-Ah** · Park, Kyung-Hun***

* Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster Management Research Institute, South Korea (bgsong@korea.kr)

** Coauthor, Dept. of Environmental Engineering, Changwon National Univ., South Korea (wing1128@naver.com)

*** Corresponding author, Dept. of Environmental Engineering, Changwon National Univ., South Korea (landpkh@changwon.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study aims to identify the effect of temperature reduction by the application of cool roof coatings to Changwon City Hall in South Gyeongsang Province. The indoor and outdoor temperatures of the cool roofing building were analyzed and compared to that of an existing building with green-colored roof coated with waterproof polyurethane. **Method:** The surface temperatures and reflectivity of rooftops, surface temperatures of ceilings and the interior, and outdoor temperature and humidity of the two aforementioned buildings were measured from June to September in 2014. The measurements were taken every 10 min. **Result:** The surface temperature of the building with the cool roof was lower by a maximum of 9 °C with the reflectivity of the rooftop at an average of 0.55, which is higher than that of the building with green polyurethane by approximately 0.3. The temperature of the ceiling inside the building with the cool roof was about 1~2 °C lower than that of the ordinary building. Also, the indoor temperature of the office with cool roof coatings was about 0.5~1.0 °C lower than that of the office with green-colored roofing building. The results show that cool roof coatings can lower the temperature of buildings. In the next research, the reduction in consumption of energy for air conditioning will be investigated by utilizing building energy simulation tools.

KEYWORD

도시열섬
열환경
쿨루프
폭염

Urban Heat Island
Thermal environment
Cool roof
Heat wave

ACCEPTANCE INFO

Received Sep 19, 2016

Final revision received Nov 8, 2016

Accepted Nov 13, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

도시지역은 콘크리트, 아스팔트 등 열용량이 큰 인공구조물로서 대부분이 피복되어 태양열이 도시내부에 쉽게 축적되고, 자동차 등 각종 수송수단에서 배출되는 연소열도 많기 때문에 주변 근교 지역보다 기온이 2~3°C 정도 높은 도시열섬(Urban heat island) 현상이 빈번히 나타나고 있다[1-5]. 이러한 도시열섬 현상은 도시민들의 옥외 및 실내 주거환경의 열적 쾌적성을 악화시키고, 냉방 에너지 사용량을 증가시키는 결과를 초래하고 있다[6]. 최근 도시열섬완화와 실내 열환경 개선을 위해 다양한 방안들이 마련되고 있는데, 그 중에서 건물 지붕면을 반사율이 높은 마감재로 교체하는 쿨루프(cool roof)에 대한 관심이 증대되고 있다[7-11]. 쿨루프는 건물 지붕면으로 유입되는 태양 복사에너지에 대한 반사율(reflectivity)을 높이고, 흡수된 복사열(radiant heat)을 빠르게 외부로 방출될 수 있도록 방사율(emissivity)을 높인 지붕을 의미한다[12]. 쿨루프는 건물의 내·외부 온도 저감과 냉방에너지 소비량을 절감하는 효과가 있다[13-15]. 또한 옥상녹화와 비교하여 시공 및 유지관리 측면에서 경제적 효과 등이 있다는 장점이 있다[16].

쿨루프의 건물 내·외부 온도 저감과 냉방에너지 소비량 절감

효과에 대한 연구는 국외에서 활발히 진행되고 있다. Costanzo *et al.*[17]은 쿨루프의 외부 방출 대류열(convective heat) 기능에 대해 평가하였고, Remeo and Zinzi[18]은 반사율이 일반 페인트보다 높은 쿨루프용 페인트 시공 이후 지붕면의 표면온도는 20 °C, 실내온도는 2.3 °C의 저감 효과를 확인하였다. Synnefa *et al.*[19]은 그리스 아테네에 위치한 학교 건물을 대상으로 반사율 0.89의 흰색 페인트를 적용한 결과, 실내 온도 1.5~2.0 °C 저감 효과를 확인하였다. Levinson *et al.*[20]은 주거용 건물에 쿨루프를 적용하여 여름철 냉방기 소비량을 약 20~40% 정도 감소할 수 있다는 것을 규명하였다. Synnefa *et al.*[21-22]은 주거용 건물을 대상으로 시뮬레이션 기법을 이용하여 쿨루프 효과를 평가한 결과, 반사율이 0.65일 때는 전력사용량의 8~48KWh/m² 감소효과, 실내 온도 1.2~3.7 °C의 저감 효과를 보이는 것으로 나타났다. 한편, 국내의 관련 선행연구는 김준우와 엄정섭[16], 김옥[23] 등이 실제 건물이 아닌 모형실험을 통해서 쿨루프의 효과를 분석하였으며, 아직까지 실제 건물을 대상으로 한 실증적 연구사례는 매우 부족하다. 따라서 외국의 선행 연구 사례와 같이 실제 건물에 쿨루프를 적용하여 건물 내·외부의 온도 저감 효과와 냉방에너지 소비량 절감 효과 등을 실증적으로 검증할 필요가 있다. 특히, 쿨루프 효과는 대상지역의 지리적 위치와 기후적 특성 등에 따라 차이가 나타날 수 있기 때문에[24], 기존 국외 연구사례에

근거한 쿨루프 효과와 국내 사례 연구를 통한 효과를 상호 비교한 후, 국내에서의 도입 여부를 검토할 필요성이 있다.

이에 본 연구는 연간 난방일수에 비해 냉방일수가 높은 남부 지역[25]에 위치한 경상남도 창원시청 건물을 대상으로 쿨루프 공법을 적용한 후, 기존 녹색우레탄 방수 지붕포장 건물 내·외부의 온도 차이를 상호 비교·분석하여 쿨루프의 온도 저감 효과를 규명하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상지

본 연구는 창원시(35° 14'01.02"N, 128° 41'19.95"E)의 시청 건물 중 가장 높은 층에 위치한 환경수도과(ECD)와 문화관광과(CTD) 사무실을 대상으로 하였고, 이 중 ECD가 위치한 옥상에 쿨루프 기능을 가진 지붕 마감재를 시공하였다(Fig. 1).



Fig. 1. Study sites

사무실 공간의 현황은 Fig. 2에 제시된 바와 같다. 사무실 면적은 ECD 270m², CTD 216m²로 다소 차이가 있으며, 사무실에 근무하는 직원도 ECD가 6명이 많다.

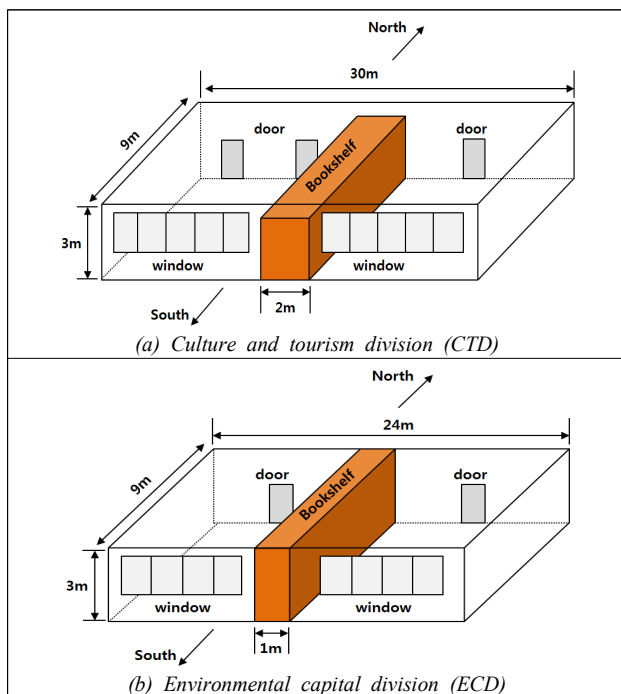


Fig. 2. Layouts and structures of two office rooms

그리고 여름철 실내 온도에 영향을 미칠 수 있는 창문과 출입문도 ECD가 많이 설치되어 있다. 냉방시설은 중앙냉방시스템으로 운영되어 26° C를 유지하도록 설정되어 있으며, ECD 5개, CTD 4개가 설치되어 있다. ECD와 CTD 사무실 사이에는 책장이 배치되어 있는데, CTD의 책장은 폭 1m, 높이 3m로 천장과 완전히 밀착되어 있는 반면에, ECD는 폭 2m, 높이 2.5m로 천장과 책장 사이에 약간의 공간이 있다.

2.2. 쿨루프 시공

쿨루프 시공은 “A”사에서 개발한 차열 성능을 갖는 에코쿨루프 시스템 UL-200 공법을 적용하였다. 이 공법은 Fig. 3과 같이 스티치 본딩법(stitch bonding method)으로 제조된 방수용 섬유시트와 쿨루프 차열성능이 우수한 에코쿨루프 베이스코트 및 피니시코트를 도포하여 방수층을 형성한 것이다[25]. 시공 시기는 2014년 5월 17일부터 베이스코트 작업을 시작하였고, 1차와 2차에 걸친 피니싱 작업 후 2014년 5월 29일에 최종 완공하였다.

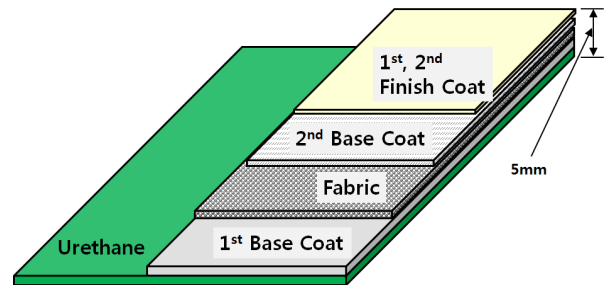


Fig. 3. Cross section of constructed Cool roof

2.3. 현장 측정항목 및 방법

쿨루프의 적용 효과는 기상 조건에 영향을 받기 때문에 연구 대상지에 가장 가까운 거리에 위치한 창원기상대에서 제공하는 기온과 강수량, 운량 등의 자료를 수집하였다. 현장 측정은 Fig. 4와 같이 옥상표면과 옥상과 천장 사이 공간, 그리고 실내 공간을 대상으로 표면온도와 기온 항목을 중심으로 실시하였다. 측정 시기는 쿨루프 시공이 완료된 2014년 5월 29일부터 시작하였고 측정 장비 개수는 두 개 사무실(ECD, CTD) 모두 동일하게 설치하였다. 옥상면 측정 장비는 접촉식 표면온도 측정계(Testo 175T1)를 이용하여 표면온도(Ts1)를 측정하였고, 설치지점은 주변 건축물로 인해 그림자가 생기지 않고 강우 시 빗물이 고이지 않는 위치로 하였다. 비가 온 후, 표면온도 측정 센서의 접촉면에 먼지와 물기로 인한 오류를 방지하기 위해 주기적으로 관리를 하였다. 천장 공간에서는 상부(Ts2)와 하부(Ts3)에 접촉식 표면온도 측정계(Testo 175T1)를 설치하였고, 하부에서 약 50cm 높이(Ta1)에 온습도 측정계(Testo 175H1)를 설치하였다. 실내공간은 천장 하부(Ts4)에 접촉식 표면온도 측정계(Testo 175T2)와 지면에서 2m 높이(Ta2)에 온습도계(Testo 175H1)를 설치하였다(Table 1). 온습도계의 설치 위치는 사람의 이동이 적고, 냉방기와 출입문의 영향이 최소화된 곳으로 하였고, 측정값의 저장 간격은 10분으로 설정하였다.

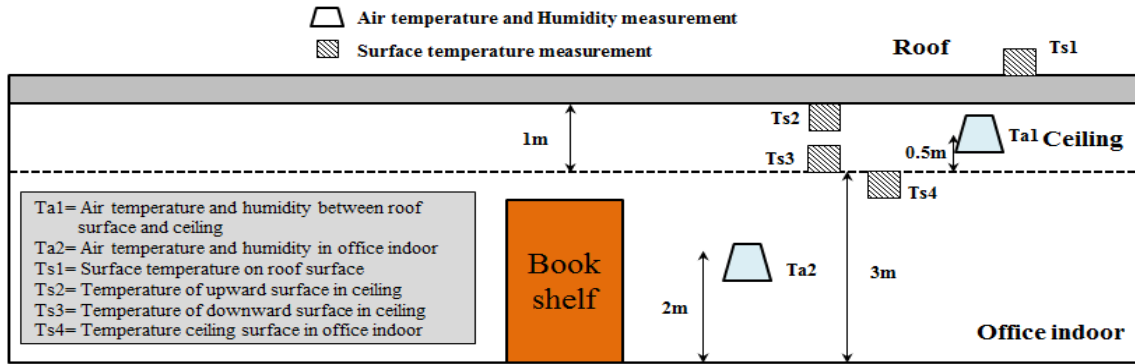


Fig. 4. Position of measurement equipment in office indoor

Table 1. Characteristics of installed equipment in office indoor

Position	equipment	parameter	accuracy	Start time
Ta1	Testo 175H1	Air temperature, Humidity	±0.4°C, ±2%	08/15/2014
Ta2	Testo 175H1	Air temperature, Humidity	±0.4°C, ±2%	05/30/2014
Ts1	Testo 175T1	Surface temperature	±0.5°C	05/30/2014
Ts2	Testo 175T1	Surface temperature	±0.5°C	08/15/2014
Ts3	Testo 175T1	Surface temperature	±0.5°C	08/15/2014
Ts4	Testo 175T2	Surface temperature	±0.5°C	05/30/2014

반사율은 태양복사에너지의 반사정도를 나타내는 것으로 표면의 열에너지 축적량을 결정하는 중요한 요인이기 때문에, 순복사량 측정계(CNR4, Kipp & Zonen 사)가 장착된 이동식 측정장비를 활용하여 ECD 4개 지점, CTD 4개 지점을 측정하였다. 측정 시기는 구름이 거의 없는 맑은 기상상태였던 2014년 8월 12일 10시부터 15시까지로 하였다. 측정 시간은 각 지점당 2분으로 총 10회 반복하였고, 지면에서 약 15cm 정도 이격한 상태에서 측정하였다.

3. 연구결과

3.1. 기상상태

측정 기간 동안 기상상태를 수집·분석한 결과는 Fig. 5와 같다.

낮 시간 동안은 평균적으로 약 25~30° C까지 기온이 상승하는 무더운 날씨를 보였으며, 특히 7월 11월부터 8월 6일까지 최고 기온이 35° C까지 육박하는 폭염현상이 나타났다. 8월 8일부터 22일까지는 많은 비가 내렸으며, 시간당 최고 강우량이 70mm까지 내리는 폭우도 발생하였다. 또한, 이 시점을 기준으로 기온이 점차 내려갔으며, 9월 중순부터는 기온이 평균 20° C 이하로 나타났다. 외부의 기상상태는 건물 옥상에 유입되는 복사에너지의 양과 표면의 수분량에 영향을 미치며, 이는 본 연구에서 쿨루프의 조성 효과를 비교하는데 직접적인 영향을 미칠 수 있다.

따라서 본 연구에서는 구름이 많거나 강우가 발생한 일시는 제외하였으며, 이에 6월은 4일(7일, 14일, 15일, 19일), 7월은 4일(1일, 21일, 27일, 30일), 8월은 3일(6일, 22일, 30일), 9월은 4일(4일, 8일, 13일, 28일)의 측정 자료를 대상으로 분석하였다.

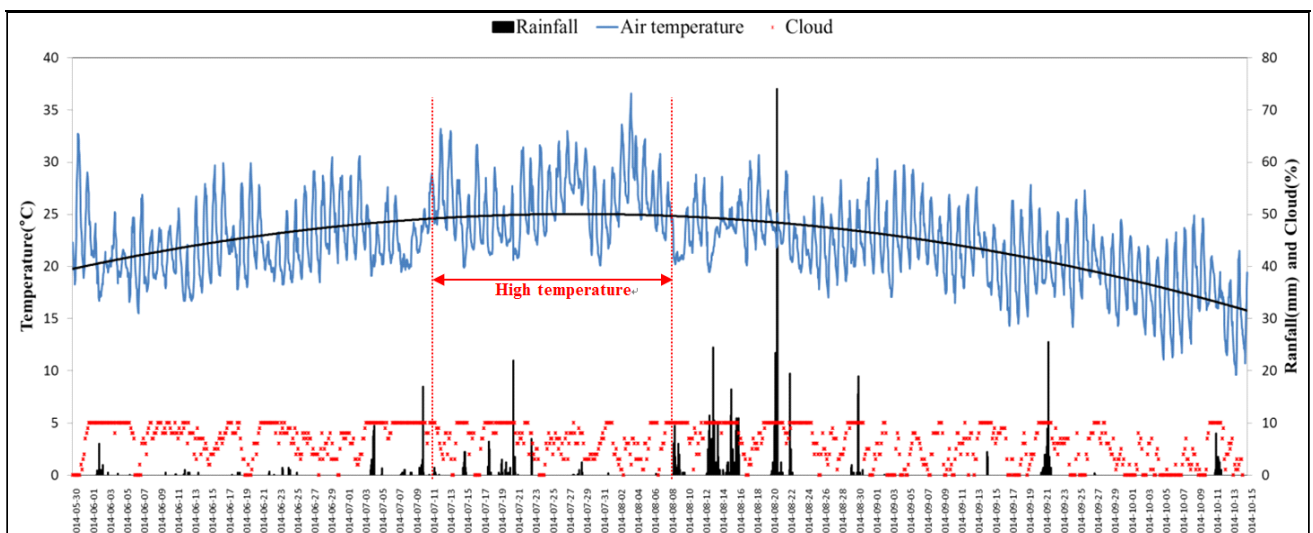


Fig. 5. Weather conditions during measurement periods

3.2. 현장측정 결과

1) 옥상 표면온도

옥상 표면온도(Ts1)의 시계열 패턴을 보면, 측정이 시작된 6월 7일부터 8월 6일까지 서서히 온도가 증가하는 경향을 보이다가 8월 7일부터 8월 20일까지 내린 많은 양의 비로 인해 8월 22일 이후부터는 온도가 점차 내려가는 추세를 보였다(Fig. 6(a)). 쿨루프 조성 유무에 따른 표면온도 차이는 전체적으로 쿨루프가 조성된 ECD의 온도가 낮은 것을 알 수 있으며, 온도가 상승되는 기간인 8월 6일까지의 차이보다 온도가 하강하는 8월 22일 이후의 차이가 더 작은 것으로 나타났다(Fig. 6(d)). 즉, 표면온도에 대한 쿨루프의 효과는 태양복사에너지가 강렬한 한 여름철에 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 표면온도와 반사율 간의 상관관계를 통해 이를 증명한 결과, ECD의 반사율은 0.50~0.60인 반면에, CTD는 0.20~0.25로 약 0.3 정도의 차이를 보였다. Pearson 상관계수는 유의수준 1% 이내에서 순복사에너지와 표면온도의 상관성이 0.801, 표면온도와 반사율은 -0.872로 강한 상관성을 보였다(Table 2). 따라서 태양복사에너지량이 많아 지표면에 순복사에너지가 높아지면 표면온도가 상승하며, 반사율이 높은 쿨루프를 조성하게 되면 표면온도는 낮아지는 효과를 볼 수 있다. 이러한 결과는 선행연구에서도 유사한 것으로 나타났으며[11, 15, 26-27], 본 연구에서 시공된 쿨루프도 동일한 효과가 있는 것으로 확인되었다.

Table 2. Coefficient of Pearson's correlation of net radiation and surface temperature in accordance with albedo

	Net radiation	Surface temperature	Albedo
Net radiation	1	0.801**	-0.956**
Surface temperature		1	-0.872**
Albedo			1

** : p<0.01

시간대별 변화를 분석한 결과, 해가 뜨는 06시 이후 온도가 상승하였고, 12~14시에 가장 높게 상승한 후 서서히 감소하였다. 쿨루프 유무에 따른 차이는 해가 뜨기 이전까지 1° C를 유지하다가 이후 점차 증가하였으며, 10~14시에 가장 높은 4° C의 차이를 꾸준히 유지하였다(Fig. 7(a)). 이러한 결과는 앞서 언급된 표면온도와 반사율, 순복사에너지의 상관성에 대한 결과와 동일한 이유 때문으로 판단된다.

2) 천장공간 상·하부 온도

천장 측정 장비는 8월 15일에 설치되었기 때문에 이후에 측정된 자료로 분석하였다. 천장공간은 상부(Ts2)와 하부(Ts3)의 표면온도와 기온(Ta1) 간의 차이는 크지 않았고, 패턴도 유사한 것으로 나타났다(Fig. 7(b)). 하지만 쿨루프 조성 유무에 따른 온도 차이는 1~2° C 정도로 뚜렷하였다(Fig. 7(d)).

월별로 살펴보면, 9월 8일 상·하부 표면온도와 기온이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이후 급격하게 온도가 낮아지는 경향을 보였다. 쿨루프 조성 유무에 따른 온도차이도 9월 8일에 가장 큰 것으로 나타났으나, 이후 온도 차이는 크게 감소하지 않았다(Fig.

6(d)). 이러한 이유는 천장공간에 세워진 온도가 외부공간으로 빠져나가지 않고 오랜 기간 동안 갇혀있어 온도차이가 유지되는 것으로 판단된다.

시간대별 변화는 Fig. 7(b)과 같다. 표면온도와 기온은 모두 8시 이후부터 온도가 서서히 증가하기 시작하였다. 최고온도에 도달하는 시간은 쿨루프 조성 유무에 따라 상이하였는데, 쿨루프가 미조성된 CTD는 19시까지 온도가 상승하였고, 쿨루프가 조성된 ECD는 15시에 최고온도에 도달하였다. 따라서 쿨루프의 조성은 온도가 지속적으로 상승하는 효과를 저감시키는 것으로 확인되었다. 온도 차이에서는 기온은 약 1.5° C 이상의 차이를 보이고 있으며, 6시 이후부터 지속적으로 차이가 커짐을 알 수 있다.

3) 실내 온도

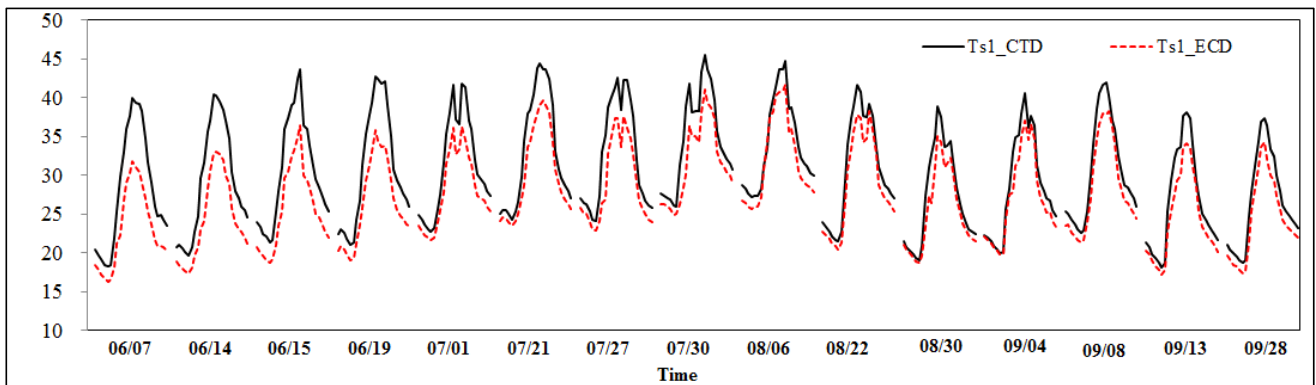
6월 7일부터 7월 27일까지 온도가 꾸준히 상승하다가 이후 감소하였고, 9월 4일부터 9월 8일까지 다시 상승하여 감소하는 경향을 보였다. 이는 옥상 표면온도와는 다른 경향을 보이고 있고 시간에 따른 변화도 뚜렷하지 않았는데, 그 이유는 7월 21일부터 8월 22일까지 중앙조절 방식의 냉방기가 가동되면서 실내온도에 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다. 냉방기가 가동되기 이전에는 쿨루프가 조성된 ECD 사무실의 온도가 약 0.5~1.0° C 낮았으나, 냉방기가 가동된 이후 차이가 명확하지 않았다(Fig. 6(c)).

시간대별 변화는 냉방기가 가동된 시간을 제외하고 분석하였다. 08시부터 13시까지 실내온도와 상부표면온도가 상승하였고, 이후 감소하다가 18시부터 일정한 온도를 유지하였다. 쿨루프 조성 유무에 따른 온도 차이에서 실내온도(Ta2)와 상부표면온도(Ts4) 모두 약 1° C정도 차이를 보였다(Fig. 7(c)).

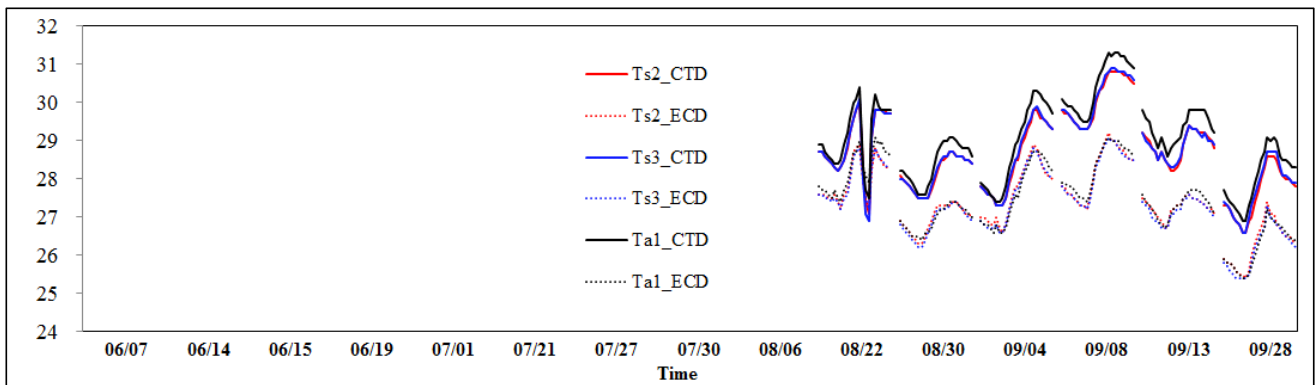
3.3. 쿨루프 적용 효과

본 연구는 쿨루프를 조성한 후 건물 옥상면과 천장, 실내 사무실 공간에 대해 표면온도와 기온을 모니터링하였고, 쿨루프가 조성된 ECD가 미조성된 CTD보다 모든 지점에서 온도가 낮은 것으로 나타나 쿨루프의 적용효과가 뚜렷한 것으로 확인되었다. 이는 쿨루프의 반사율이 일반 마감재보다 높기 때문에 표면에 축적되는 순복사에너지가 적어 표면온도가 낮으며, 이로 인해 건물 내부의 천장과 실내에도 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

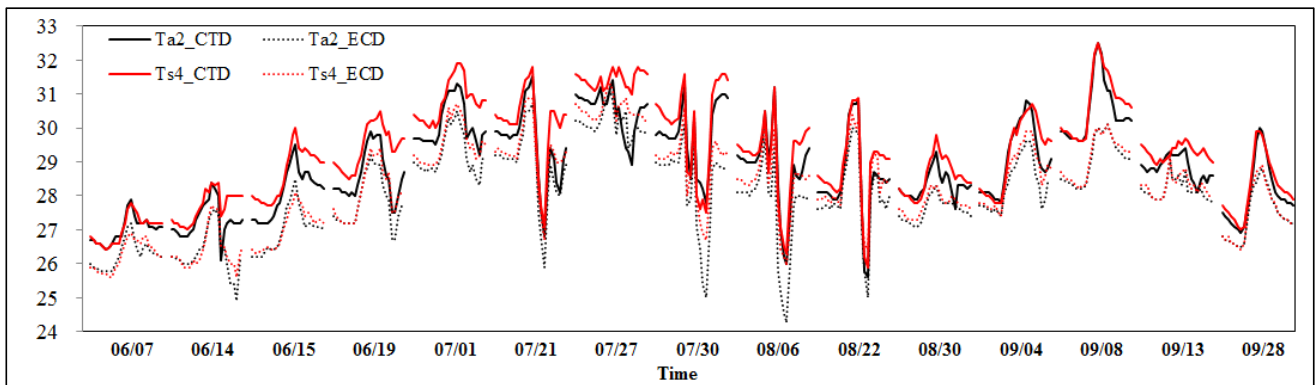
기존의 선행연구의 결과와 비교해 보면, Pisello and Cotana [28]은 주거용 건물을 대상으로 반사율과 방사율이 높은 페인트 재료를 활용하여 쿨루프를 조성하고 실내 온도 저감 효과를 분석하였다. 여름철은 4.7° C, 겨울철은 1.2° C의 온도 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. Bozonnet *et al.*[29]은 공공시설을 대상으로 여름철의 쿨루프 온도 저감효과를 분석한 결과, 표면온도가 약 8.4° C까지 낮게 나타났다. Kolokotroni *et al.*[30]은 런던의 대학교 건물을 대상으로 쿨루프의 효과를 분석하여, 여름철의 평평한 지붕형태의 쿨루프에서 실내 온도가 2.5° C 감소하는 것으로 나타났다. 이 밖에도 Simpson and McPherson[31], Parker and Narkaszi[32], Zinzi and Agnoli[33], Shariah *et al.*[34] 등 다양한 연구자에 의해 쿨루프의 실내 온도 저감 효과를 확인하였다.



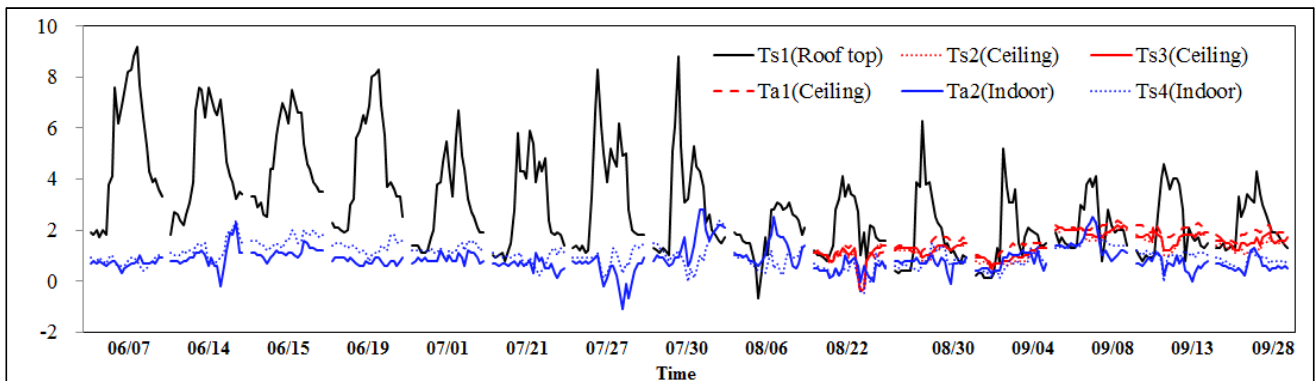
(a) Roof top



(b) Ceiling



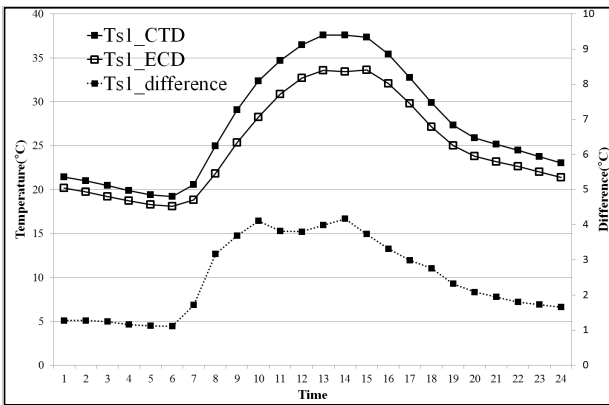
(c) Indoor



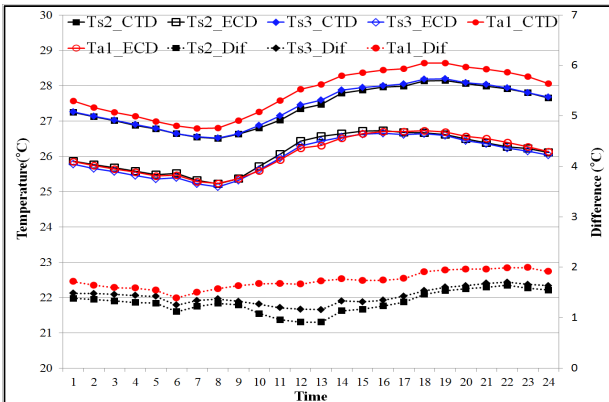
(d) Difference of measured values by each measurement situations

Fig. 6. Monitoring results of Culture and tourism division and Environmental capital division

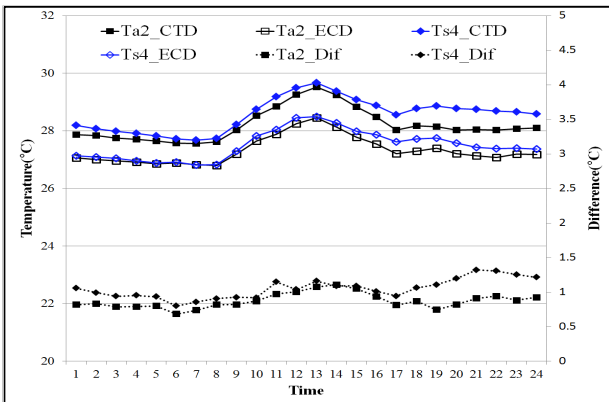
본 연구에서는 냉방기 가동 및 장마의 영향을 받은 시기를 제외 하였을 때, 표면온도의 경우 최대 9° C정도로 선행연구와 유사한 결과를 보였으나, 실내 온도는 약 0.5~1.0° C로 선행연구보다 다소 차이가 적었다. 실내 공간은 업무시간에 사람들의 출입과 컴퓨터 등 전자기기 등에서 방출되는 열에너지 등의 다양한 요인들이 작용하기 때문에 쿨루프의 효과를 직접적으로 선행연구와 비교 하기에는 한계가 있다고 판단된다. 하지만 외부 요인들에 영향을 비교적 덜 받는 천장에서는 쿨루프 적용 사무실이 최대 2° C정도 낮게 나타나, 국외의 사례와 마찬가지로 국내에서도 쿨루프의 적용 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Roof top



(b) Ceiling



(c) Indoor

Fig. 7. Mean measured values and difference by hourly

4. 결론

본 연구는 건물 지붕면으로 유입되는 태양복사에너지의 반사율을 높이고, 흡수된 복사열을 빠르게 방출하는 방사율을 높인 쿨루프의 건물 내·외부 온도 저감 효과를 난방일수 대비 냉방일수가 높은 우리나라 남부의 경상남도 창원시 시청사 건물에 적용하여 분석하고자 하였다.

연구 결과를 요약하면, 먼저 순복사에너지를 측정하여 산정된 쿨루프의 반사율은 0.55로 기존 옥상면의 0.22보다 약 0.3 정도 높았으며, 이로 인해 쿨루프의 옥상표면온도가 최고 9° C정도 낮게 나타났다. 쿨루프 적용 사무실과 미적용 사무실의 실내 온도 저감 효과는 천장내부 온도는 쿨루프의 영향으로 약 1~2° C 정도 있었다. 사무실 실내 온도는 냉방기의 영향이 있었지만 쿨루프가 적용된 사무실(ECD)에서 약 0.5~1.0° C 낮게 나타나, 쿨루프의 실내 온도 저감 효과를 확인할 수 있었다. 시간대별로 차이를 비교한 결과, 옥상 표면온도는 11~15시 사이에 쿨루프 적용에 따른 차이가 가장 컸으나, 천장과 실내온도는 사무실의 물리적 환경 특성 차이와 직원들의 행동패턴 등으로 인해 다른 패턴을 보였다.

모든 측정항목에서 쿨루프를 조성한 사무실(ECD)에서 온도가 낮은 것으로 나타나, 쿨루프의 실내 열환경 개선 효과를 확인할 수 있었다. 물론, 국외 선행연구의 결과와는 쿨루프의 효과 정도가 다소 차이가 있었으며, 이는 대상지역의 지리적 위치와 기후 조건의 차이, 쿨루프의 재질, 색상, 실내 환경 등에 영향을 받은 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 쿨루프는 실내 열환경 개선효과가 있으며, 이를 통해 냉방기 사용 절감 등에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

본 연구는 현재 국내 업무용 건물을 대상으로 쿨루프의 적용 효과를 규명한 연구가 부재한 시점에서 실증적인 결과를 제시함으로써 국내의 쿨루프 적용 가이드라인을 제시하는데 기초적인 자료로 활용이 가능할 것으로 보인다. 향후에는 건물에너지 시뮬레이션 도구를 이용하여 쿨루프의 효과를 예측하고, 실제 측정자료와의 비교·검증할 필요성이 있다. 또한 건물 내·외부의 온도 저감 효과뿐만 아니라, 쿨루프의 적용한 따른 냉방에너지 사용량의 저감 효과를 정량적으로 예측하는 후속연구를 진행할 필요가 있다. 아울러, 겨울철 쿨루프 적용에 따른 태양복사에너지의 건물 유입 감소로 난방에너지 사용량에 어느 정도 영향을 미치는지를 분석하여 쿨루프의 적용 여부를 판단하는데 객관적인 근거자료를 제공할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2013R1A1A2008033) and Gyeongnam Green Environmental Center(14-1-90-92-1)

Reference

[1] I. Livada, M. Santamouris, K. Niachou, N. Papanikolaou, G. Mihalakakou, Determination of places in the great Athens area where

- the heat island effect is observed, *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, Volume 71, 2002
- [2] G. Mihalakakou, M. Santamouris, N. Papanikolaou, C. Cartalis, A. Tsangrassoulis, Simulation of the urban heat island phenomenon in Mediterranean climates, *Journal of Pure and Applied Geophysics*, Volume 161, 2004
- [3] T.R Oke, *Boundary layer climate*, 2nd edition, London, Methuen, 1987
- [4] T. Hung, D. Uchiyama, S. Ochi, Y. Yasuoka, Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 8, 2006
- [5] T. Ichinose, K. Shimodozono, K. Hanaki, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, *Atmospheric Environment*, Volume 33, 1999
- [6] N. Schwarz, U. Schlink, U. Franck, K. Großmann, Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators-An application for the city of Leipzig(Germany), *Ecological Indicators*, Volume 18, 2012
- [7] A. Synnefa, M. Dandou, M. Santamouris, M. Tombrou, N. Soulakellis, On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Volume 47, 2008
- [8] T. Ayata, P.C. Tabares-Velasco, J. Srebric, An investigation of sensible heat fluxes at a green roof in a laboratory, *Building and Environment*, Volume 46, 2011
- [9] A. Niachou, K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis, G. Mihalakakou, Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, *Energy and Buildings*, Volume 33, 2001
- [10] C. Rosenzweig, W.D. Sloecki, J. Cox, S. Hodges, L. Parshall, B. Lynn, Mitigating New York city's heat island: integrating stakeholder perspectives and scientific evaluation, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Volume 90, 2009
- [11] H. Takebayashi, M. Moriyama, Surface heat budget on green roof high reflection roof for mitigation of urban heat island, *Building and Environment*, Volume 42, 2007
- [12] A. Synnefa, M. Santamouris, Advances on technical, policy and market aspects of cool roof technology in Europe: The Cool Roofs projects, *Energy and Building*, Volume 55, 2012
- [13] EPA, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool roofs, <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>, 2009
- [14] S. Konopacki, H. Akibari, Measured energy savings and demand reduction from a reflective roof membrane on a large retail store in Austin, Lawrence Berkley Laboratory Report, 2001
- [15] H. Taha, Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin, *Atmospheric Environment*, Volume 31, 1997
- [16] 김준우, 엄정섭, 설비 투자비용의 관점에서 쿨루프와 옥상녹화의 비교 평가: 경북대학교 캠퍼스 사례를 중심으로, *환경영향평가학회지 제21권 6호*, 2012(Kim, J.W., Um, J.S. (2012) Comparative Evaluation between Cool Roof and Green Roof in terms of Installation Cost: a Case Study of KNU Campus, *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(6), 927-939)
- [17] V. Costanzo, G. Evola, L. Marletta, A. Galiano, Proper evaluation of the external convective heat transfer for the thermal analysis of cool roofs, *Energy and Buildings*, Volume 77, 2014
- [18] C. Romeo, M. Zinzi, Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building: A Sicilian case study, *Energy and Building*, Volume 67, 2013
- [19] M. Synnefa, M. Saliari, M. Santamouris, Experimental and numerical assessment of the impact of increased roof reflectance on a school building in Athens, *Energy and Buildings*, Volume 55, 2012
- [20] R. Levinson, H. Akibari, S. Konopacki, S. Bretz, Inclusion of cool roofs in non-residential Tile 24 prescriptive requirements, *Energy Policy*, Volume 33(2), 2005
- [21] A. Synnefa, M. Santamouris, H. Akbari, Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions, *Journal of Energy and Buildings*, Volume 39, 2007
- [22] A. Synnefa, M. Santamouris, K. Apostolakis, On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, *Journal of Solar Energy*, Volume 81, 2007
- [23] O. Kim, A Study on the Performance Standards and Design Guidelines of Cool Roof System, Doctorate thesis of Chunang University, 2010
- [24] M. Kolokotroni, B.L. Gowreesunker, R. Giridgaran, Cool roof technology in London : An experimental and modelling study, *Energy and Building*, Volume 67, 2013
- [25] 경남녹색환경지원센터, 기후변화 대응 도시열섬완화를 위한 쿨루프(cool roof)의 시범설치 및 효과 분석, *경남녹색환경지원센터 연구보고서*, 2014(Gyeongnam Green Environmental Center, Exhibition installation and effect analysis of cool roof for mitigating urban heat island responding climate change, Report of Gyeongnam Green Environmental Center, 2014)
- [26] J.H. Jo, J.D. Carlson, J.S. Golden, H. Bryan, An integrated empirical and modeling methodology for analyzing solar reflective roof technologies on commercial buildings, *Building and Environment*, Volume 45, 2010
- [27] L. Doulos, M. Santamouris, I. Livada, Passive cooling of outdoor urban spaces, The role of materials, *Solar Energy*, Volume 77, 2004
- [28] A.L. Pisello, F. Cotana, The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy: Results from two years of continuous monitoring, *Energy and Buildings*, Volume 69, 2014
- [29] E. Bozonnet, M. Doya, F. Allard, Cool roofs impact on building thermal response: a French case study, *Energy and Buildings*, Volume 43, 2011
- [30] M. Kolokotroni, B. L. Gowreesunker, R. Giridgaran, Cool roof technology in London: An experimental and modelling study, *Energy and Buildings*, Volume 67, 2013
- [31] J. R. Simpson, E. G. McPherson, The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona, *Energy and Buildings*, Volume 25, 1997
- [32] D. S. Parker, S. F. Barkaszi, Roof sola reflectance and cooling energy use: field research results from Florida, *Energy and Buildings*, Volume 25, 1997
- [33] M. Zinzi, S. Agnoli, Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region, *Energy and Buildings*, Volume 55, 2012
- [34] A. Shariyah, B. Shalabi, A. Rousan, B. Tashtoush, Effect of absorptance of external surface on heating and cooling loads of residential buildings in Jordan, *Energy Conversion and Management*, Volume 39, 1998
- [35] B. L. Wang, T. Takigawa, Y. Yamasaki, N. Sakano, D. H. Wang, K. Ogino, Symptom definitions for SBS (sick building syndrome) in residential dwellings, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Volume 211, 2008
- [36] S. S. Y. Lau, F. Yang, Introducing healing gardens into a compact university campus: design natural space to create healthy and sustainable campuses, *Landscape Research*, Volume 34, 2009
- [37] T. P. Lin, A. Matarakis, R. L. Hwang, Shading effect on long term outdoor thermal comfort, *Building Environment*, Volume 45, 2010
- [38] F. Yang, S. S. Y. Lau, F. Qian, Thermal comfort effects of urban design strategies in high-rise urban environments in a sub-tropical climate, *Architectural Science Review*, Volume 54(4), 2011