초고층건물의 사각조망에서 촬영된 지붕표면 열화상의 신뢰도 평가

Evaluating Reliability of Rooftop Thermal Infrared Image Acquired at Oblique Vantage Point of Super High-rise Building

류택형* · 엄정섭**[†]
Ryu, Taek-Hyoung* · Um, Jung-Sup**[†]

(Submit date : 2013. 8. 6., Judgment date : 2013. 8. 13., Publication decide date : 2013. 10. 16.)

Abstract : It is usual to evaluate the performance of the cool roof by measuring in-site rooftop temperature using thermal infra-red camera. The principal advantage of rooftop thermal infrared image acquired in oblique vantage point of super high-rise building as a remote sensor is to provide, in a cost-effective manner, area-wide information required for a scattered rooftop target with different colors, utilizing wide view angle and multi-temporal data coverage. This research idea was formulated by incorporating the concept of traditional remote sensing into rooftop temperature monitoring. Correlations between infrared image of super high-rise building and in-situ data were investigated to compare rooftop surface temperature for a total of four different rooftop locations. The results of the correlations analyses indicate that the rooftop surface temperature by the infrared images of super high-rise building alone could be explained yielding R^2 values of 0.951. The visible permanent record of the oblique thermal infra-red image was quite useful in better understanding the nature and extent of rooftop color that occurs in sampling points. This thermal infrared image acquired in oblique vantage point of super high-rise made it possible to identify area wide patterns of rooftop temperature change subject to many different colors, which cannot be acquired by traditional in-site field sampling. The infrared image of super high-rise building breaks down the usual concept of field sampling established as a conventional cool roof performance evaluation technique.

Key words : 원격열화상 (Remotely sensed thermal infrared image), 사각조망 (Oblique vantage point), 지붕 표면온도 (Rooftop temperature), 상관분석(Correlation analysis), 초고층건물 (Super high-rise building)

**[†] 엄정섭(교신저자) : 경북대학교 지리학과 교수
E-mail : jsaeom@knu.ac.kr, Tel : 053-950-5229
*류택형 : 경북대학교 공간정보학과

**[†] Um Jung-Sup(Corresponding Author): Department of Geography,
Kyungpook University
E-mail : jsaeom@knu.ac.kr, Tel : 053-950-5229
*Ryu Taek-Hyoung : Department of Spatial Information
Science, Kyungpook National University

1. 서 론

우리나라에서는 5월 중순부터 태양복사에너지의 강도가 강해져서 건물의 옥상 및 지붕 표면 온도가 70-80℃까지 상승한다. 이 열이 지붕을 통해 유입되어 실내 공기를 올라가게 하여 냉방부하를 가중시키고 있다. 건물이 밀집해 있는 도시에서 지붕표면 온도의 증가는 도시열섬의 원인이 되기도 한다.¹⁾ 이런 문제를 해결하기 위해 지붕의 구조를 바꾸거나 옥상녹화사업을 실시하기도 한다. 그러나 비용이 많이 들고, 제한적인 건물에만 적용이 가능하기 때문에 효율성이 떨어진다. 지붕의 색상을 반사율이 큰 백색을 사용하여 태양복사에너지를 반사시킴으로써 지붕의 표면온도를 낮게 유지하는 쿨루프(Cool Roof)는 기존건물에 적용이 가능하고 구조변경없이 저렴하게 적용할 수 있어 실용적인 대안으로 부상되고 있다.²⁻³⁾ 쿨루프의 성능을 검증하기 위한 방법으로 현지조사는 대상 건물의 지붕에 접근하여 직접 샘플링하는 방식이어서 시간과 비용에 많은 투자가 필요해 접근이 어려운 지역이나 광역적인 쿨루프의 성능 평가로는 적합하지 않다.

열화상 카메라는 물체에서 복사되는 적외선을 카메라로 측정하여 그 강도에 따라 온도로 변환하여 온도의 높낮이에 따라 색깔로 화면에 표현해줌으로써 열화상 카메라를 이용한 Cool Roof의 성능검증은 지붕색상, 경사 등 다양한 변수에 따라 다르게 나타나는 지붕표면 온도를 정량적으로 측정하는 데 매우 유용하다. 적외선 열화상카메라를 활용하여 주변의 높은 건물(이하 초고층 건물)¹⁾에서 지붕의

표면온도 측정시 대상 건물에 근접하지 않고 조사할 수 있으며, 대상 지붕에 카메라를 겨누는 동작만으로도 대상 지붕의 표면온도분포를 파악할 수 있다.⁴⁾ 초고층 건물에서 촬영된 적외선 영상은 조사방법이 다른 방법들에 비하여 비 접촉성으로 인하여 안전하고 고속으로 원거리측정이 가능한 점 등으로 쿨루프의 성능을 검증하는 데 여러 장점을 가지고 있다.

초고층 건물에서 촬영된 적외선 진단법의 가장 큰 장점은 넓은 면적에 걸쳐 분포하고 있는 건물 지붕의 거시적인 관찰이 가능한 점에 있다. 측정결과를 화상 데이터베이스를 구축하여 다양한 계절, 시간대의 지붕표면온도를 비교 평가할 수 있으며, 쿨루프의 성능에 대한 결과를 가시적으로 보여줄 수 있다. 하지만 적외선 열화상은 지붕표면의 열분포와 관련한 진단 및 연구의 참고 기자재로 활용하는 수준⁵⁻⁷⁾이며 초고층건물에서 촬영한 적외선 열화상을 활용한 쿨루프의 성능검증에 대한 기술개발 및 연구는 확인되지 않는다.

일반적으로 원격탐사에서는 공간상의 임의의 점(또는 대상점)과 그에 상응하는 영상의 대응점 및 센서의 투영중심이 동일한 직선상에 존재한다는 공선조건(共線條件, Collinearity Condition)에 의거한, 수직조망 (vertical vantage point)의 관점에서 취득된 영상을 정량적으로 분석하는 것이 일반적인 접근 방식이다. 본 연구와 같이 주변의 초고층건물에서 적외선카메라 센서와 촬영 대상인 지붕이 기하학적인 관계가 수직이 아닐 경우 탑재된 센서의 지향점

법규의 적용에 있어 16층을 이상을 내진설계의 의무화, 스프링쿨러의 설치, 특별피난 계단의 설치, 지하층 면적규정의 강화, 인동간격의 예외적인 적용, 분양가의 차등화 등이 규정되어 있으나 8) 본 연구에서는 주변 건물의 지붕에 대한 열화상을 확보할 수 있을 정도의 조망범위를 확보할 수 있는 건물을 초고층으로 정의하였다.

1) 초고층은 법규상 명확하게 정의되지 않지만 시대 및 나라와 사회적 여건의 변화에 따라 다르게 정의되고 있다. 우리나라의 경우 건축관련

이 변화하게 된다. 영상에서 기하학적 휘어짐은 영상 내 공간 객체의 상대적인 위치 변동을 의미하며, 이렇게 휘어진 영상에 의거 정량적인 분석결과를 도출하기 위해서는 영상에 나타나는 객체의 위치를 지형도와 같은 크기와 투영 값을 갖도록 변환해 주는 과정이 반드시 필요하다. 센서의 지향점의 변화는 결국 촬영되는 물체의 위치 변화를 가져옴으로써 영상 자료에 나타나는 화소의 좌표를 변화시키게 된다. 하지만 본 연구와 같이 열화상 카메라 영상이 대상 지붕전체의 표면온도에 대한 정보를 제공할 경우 특정지점의 위치정확도가 사용자가 원하는 정보가 어느 정도 왜곡되는 지에 대한 객관적인 근거를 확인하기 어렵다.

영상을 획득하는 동안 투영 중심의 위치와 자세가 시간에 따라 변하더라도 지붕표면 전체의 온도를 어느 정도 추적하는지에 대해서는 원격탐사의 원리에 의거 촬영된 열화상과 비교 평가하는 절차가 선행되어야 한다. 수직조망이 아닌 사각 원격센서(oblique remote

sensor)에 의해 얻어진 영상과 촬영 대상 공간 사이의 기하학적인 관계를 규명하여 필요한 지붕표면 온도의 정보가 획득될 수 있는지를 확인하는 절차가 필요하다. 지붕표면에 태양에너지가 들어오는 것을 입사라 하고, 이 때 지붕표면의 법선과 입사하는 태양에너지의 방향이 이루는 각도를 입사각이라 한다. 말하자면 입사각이 수직인 상태에서 촬영된 영상과 사각영상과의 신호특성을 비교·평가하는 절차가 필요한 것이다. 이에 본 연구는 열화상을 이용하여 쿨루프의 성능평가를 위한 방안으로서 건물모형에서 촬영된 수직영상과 초고층 건물에서 촬영된 사각영상의 비교평가를 목적으로 진행되었다.

2. 연구 대상지 및 자료 취득

연구대상지역은 Fig. 1과 같이 대구광역시에 위치한 경북대학교 캠퍼스이다 경북대학교는 대구광역시 북구에 소재하며 경위도 상으로 동경 128°36′-128°37′의 동서구간과 북위

Fig. 1 Experimental area : The super high-rise building and the colored building located within the campus boundary (Google earth image, 2012/11/5)

35°53'에 위치하며, 지형적인 높이는 약 35~62 m로 완만한 구릉지를 이루고 있다. 연구지역은 단지구획이 명확하고, 다양한 색상의 지붕을 가진 건물이 있는데 Google Earth 영상을 통해 백색과 흑색계통의 지붕의 가시적으로 구별된다. 관측지점은 높이가 약 78.6m로 17층의 초고층 건물이다. 관측지점에서 바라볼 때 주변 건물의 지붕을 내려다 볼 수 있다. Fig. 1은 우리나라에서 흔히 관측되는 지붕색상을 캠퍼스 안에서 표본으로 추출하였다. 쿨루프를 대표할 수 있는 흰색지붕으로 선정(R1)하였고, 시멘트 지붕에 이물질이 묻어서 지붕전체가 검게 보이는 색상(R2), 그리고 방수제를 칠한 녹색(R3), 공장에서 흔히 볼 수 있는 청색(R4)이다. 단, 붉은색지붕은 일반적으로 지붕의 각도가 큰 맨사드 지붕²⁾형태로 이루어져 표면온도측정에 오차가 크게 나타나고, 평면지붕에는 도입한 사례가 없기 때문에 본 연구에서는 제외하였다.

적외선 열화상카메라는 피사체의 표면으로부터 복사되는 열에너지를 온도로 환산하여 실시간으로 영상을 제공한다. 본 연구에서 사용된 FLIR i7(Table. 1)은 -20 °C~250 °C 범위에서 표면 온도 측정이 가능하며 0.1~1.0의 방사율 선택 및 보정 기능을 가지고 있다.

Table. 1 Specification of thermal infrared camera

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

2) 맨사드 지붕(mansard roof) : 모임지붕의 상부와 하부의 지붕면에서 경사를 완급 2단으로 한 형식의 지붕을 말한다.

열화상 카메라의 이미지 분해능은 120×120으로 총 14,400픽셀이며, 물체에 따라 표면온도의 측정값을 컬러화면으로 구별하여 관찰할 수 있다. ±2 %의 높은 정밀도와 0.1 °C이하의 열 민감도를 가지고 있어 미시적인 열변화를 탐지할 수 있으며 무초점으로 편리한 시야를 확보할 수 있다.

원격탐사 영상을 취득하는 경우 자료의 수집 과정에서 여러 가지 요인에 의해 자료의 훼손, 왜곡 등이 발생하게 된다. 본 연구와 같이 수직영상이 아니고 사각(oblique) 영상의 경우 획득된 자료는 영상에 나타나는 각 점의 위치와 실제지상에 존재하는 지형지물과의 상대적인 위치가 왜곡되어서 나타나게 된다. 촬영과정에서 열화상 카메라의 흔들림, 렌즈의 왜곡 등을 삼각대를 이용하여 카메라를 고정하여 최대한 수직을 유지하면서 영상을 취득하여 열분포 조사에 필요한 영상을 확보하는데 큰 무리가 없었을 것으로 사료된다.

실제건물의 지붕 표면온도와 비교하기 위한 모형실험을 하기 위해 1,000 × 1,000 × 1,000(mm) 규격의 축소모형 4개를 제작하였다. 모형은 실제 건물과 유사한 재료를 이용하여 제작하여야 하나 이동성과 경제성에 있어 제한적이기 때문에 샌드위치 판넬을 이용하여 일반 평지붕 형태로 제작하였다. 지붕색상은 실제 건물과 유사한 색상인 흰색, 검은색, 청색, 녹색으로 도색하였다 (Table. 2, M1-M4).

원격 열화상의 촬영은 기상조건에 상당히 민감하기 때문에 열은 구름에도 많은 영향을 받는다. 여름철 구름의 영향으로 인한 오차를 최소화하기 위해 운량이 없는 평균온도가 가장 높을때와 부합하는 날짜인 2012년 8월 26일에 수행하였다. 촬영 당시 대구지역 평균기온은 27.9 °C이고 낮 최고, 최저 기온은 각각

Table. 2 Representative colors for real and model roof

	Youngsun dong's small roof	Youngsun dong	Student center	Auditorium
	R1. white roof	R2. black roof	R3. Green roof	R4. Blue roof
Real Roof image
Model image	M1. white	M2. black	M3. Green	M4. blue

※ The codes assigned to Real Building's Roof(R1-R4) and Model Roof(M1-M4)

R1,M1 (White): Cool roof color R2,M2 (Black): common cement color

R3,M3 (Green): Waterproof color R4,M4 (Blue): general sandwich panel color

33.8 ℃, 23.3℃, 상대습도는 50%, 평균 풍속은 1.5 m/s으로 비교적 바람이 약한 기상조건하에서 촬영을 진행하였다. 태양고도의 변화가 명확히 구분되는 2시간 단위로 각 건물의 지붕색에 따라 실제 건물과 모형건물의 지붕표면 온도를 동시에 촬영하였다. 여름철 일몰시간인 19시 03분이지만 촬영 기록은 18시까지 진행하였다. 열화상 카메라를 이용하여 색상에 따른 온도의 변화를 두시간 간격으로 초고층건물에서 실제 지붕을 촬영하고 동시에 모형지붕의 표면온도를 촬영한 후 신뢰도와 상관관계 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 지붕 표면온도 결과

쿨루프를 대표할 수 있는 백색과 일반 지붕

에서 대부분 차지하고 있는 색상인 검은색, 청색, 녹색을 정하여 열화상카메라를 이용하여 오전 10시부터 18시까지 2시간 간격으로 촬영하였다. 태양 고도가 가장 높을 시간인 12시와 태양의 고도가 수평인 18시의 영상을 Fig. 2와 같이 비교하였다.

실제지붕에서의 표면 온도는 모두 세군데에서 측정하였다. 이것은 촬영지점에서 실제지붕과의 거리가 있기 때문에 편차를 줄이기 위해 3지점을 찍고, 평균값으로 대표온도를 정하였다. 12시일 때, 검은색 지붕(R2)은 52.7℃에 비해 백색 지붕(R1)의 온도는 15.4℃나 낮았다. R1과 R2는 같은 건물로써 색에 의한 표면 온도값이 확연히 드러나기 때문에 빛의 흡수와 빛 반사에 의한 쿨루프 성능이 잘 드러난다. 청색지붕(R4)은 검은색 지붕(R2)보다 5℃ 더 높은 57.7℃를 나타냈다. 이것은 R1,

Fig. 2 Surface temperature of real and model roof using remotely infrared camera(°C)

R2, R3의 지붕 표면재질이 시멘트바닥이지만 R4는 샌드위치 판넬로 금속재질이기에 때문에 태양에너지의 흡수가 더 크게 일어나 표면온도가 다소 높게 측정되었다.

한편, 모형지붕은 수직으로 촬영하여 태양의 고도가 최고일 때(12시)와 태양고도가 수평일 때(18시)의 영상을 제시하였다. 열화상 카메라와 지붕과의 각도가 수직이기 때문에 열의 분포를 나타내는 색상이 확연히 드러남을 확인할 수 있다. 촬영거리가 1m 정도 매우 짧은 거리이기 때문에 온도 편차가 크게 없을 것으로 보고 온도 스팟의 대표값을 모형지붕의 가운데를 한 포인트로 잡았다. 같은 시간대에 촬영된 영상이라도 태양에너지를 가장 많이 받는 12시에 상대적으로 실제지붕에 비해 10°C 이상 높게 나타났다. 태양에너지를 수직으로 받을 때 검은색 지붕(M2)은 70.1°C까지 상승했으며, 백색지붕(M1)도 45.5°C까지 측정되었다. 태양의 각도가 수평이 되어 태양에너

지를 지붕에 직접 받지 않는 18시에는 모든 모형 지붕의 표면온도는 22~25°C 내외로 비슷한 온도분포를 보였다.

4가지 지붕색상인 백색, 검은색, 녹색, 청색의 표면온도는 열화상카메라를 이용하여 매 2시간 간격으로 촬영하여 Fig. 3과 같이 정리하였다. 태양에너지를 받기 시작하는 오전 10시부터 실제지붕과 모형지붕 모두 온도차이가 상당히 났다. 실제지붕에서 백색지붕은 33°C, 검은색지붕은 43.8°C, 녹색지붕은 42.7°C, 청색지붕은 52.8°C부터 시작하였다. 시간이 지남에 따라 온도상승 폭은 모형지붕이 훨씬 크다. 모형지붕에서 백색지붕과 다른 색상지붕과의 온도차이는 상당히 컸으며 최대 20°C까지 차이를 보였다. 18시일때 태양의 고도가 수평에 가까워 지붕표면에 직접 일사되지 않는 시간이므로 지붕표면온도는 실제지붕에서는 대기온도와 비슷한 30°C에 가까운 분포를 보였지만 모형지붕에서는 대기온도보다 5°C 낮게 측정되었다.

Fig. 3 Surface temperature of real and model roof using remotely infrared camera(°C)

Table. 3 Hourly temperature variation of real and model roof(°C)

	White	Black	Green	Blue	Outdoor Temp.
Real Roof	R1	R2	R3	R4	
10h	33	43.8	42.7	52.8	28.8
12h	37.3	52.7	49.5	57.7	32.2
14h	37.6	51.1	47.2	51.3	33.5
16h	36.7	43.4	42.9	44.9	32.0
18h	30.0	32.5	35	30.7	30.5
Model Roof	M1	M2	M3	M4	Outdoor Temp.
10h	36.5	59.9	51	52.3	28.8
12h	45.5	70.1	61.8	63.8	32.2
14h	46.6	69.2	59.9	61.7	33.5
16h	37.7	53.6	46.9	49	32.0
18h	22.4	26.1	23.5	25.1	30.5

실제 건물의 지붕에서 태양에너지를 수직으로 일사받는 12시일때 표면온도가 가장 높았으며 예상과 다르게 검은색(52.7°C)보다 파란색(57.7°C)에서 5°C 더 높게 나타났다.(Table. 3) 이것은 색상에 의한 영향보다 지붕재질의 차이에 의한 표면온도 차이로 판단된다. 태양 에너지의 일사를 직접적으로 받는 시간이므로

실제지붕과 모형지붕의 온도는 최고 57.7°C, 70.1°C로 측정되어 실내온도에 영향을 줄 것으로 판단된다. 이에 반해 백색지붕은 다른 색상에 비해 10°C 이상 낮게 측정되어 실내로 유입되는 열이 적을 것으로 본다.

18시에서 모형 지붕표면 온도는 25°C 내외로 대기온도보다 낮게 측정되었다. 이것은 모형지붕의 재질이 샌드위치 판넬로써 금속재질로 인해 태양의 열에너지를 받지 않게 되면 빠르게 식기 때문에 표면온도가 상당히 낮게 나타난다. 그리고, 색상이 다름에도 불구하고 비슷한 온도 분포를 보이는 것도 더 이상 태양에너지의 유입이 없으며, 비슷한 재질로 인해 18시 이후에는 동일한 온도로 유지될 것으로 판단된다.

3.2 데이터간 신뢰도분석 및 상관분석

초고층건물에서 사각영상으로 촬영된 실제 지붕의 표면 온도와 모형지붕에서 수직영상으로 촬영된 온도값을 비교하여 두 데이터간의 신뢰도와 상호 연관성을 분석하기 위해 SPSS20 통계분석 프로그램을 이용하였다.

Fig. 4 Correlation between real roof and model roof according to color

신뢰도는 측정의 정확성이나 일관성을 나타내는 것으로 신뢰도계수인 Cronbach α 로 나타내는데 1에 가까울수록 신뢰도가 높다. 전체 측정 데이터간의 신뢰도 분석결과 Cronbach α 가 0.863으로 신뢰도가 높다고 할 수 있다. 실제

지붕과 모형지붕의 두 온도 데이터간의 선형적인 연관성을 알아보기 위해 Pearson의 상관분석으로 분석하였는데 백색지붕은 $p<0.05$ 에서 유의하고, 나머지 색상은 $p<0.01$ 에서 유의한다. 각 색상별 시간에 따른 모형지붕과 실제지붕간의 상관분석결과, Pearson 상관계수가 백색지붕 간에는 0.934, 검은색지붕 간에는 0.978, 녹색지붕 간에는 0.981, 파란색지붕 간에는 0.960으로 매우 강한 정(正)의 상관성을 보였다(Fig. 4). 따라서, 모형지붕의 수직영상을 통해 얻어진 표면온도 데이터를 바탕으로 초고층 건물에서 비스듬히 촬영한 사각영상을 통해 얻은 표면온도는 서로 상관성이 높고 신뢰할 수 있으므로 고급장비를 활용하지 않더라도 간편하게 지붕표면온도를 파악하는데 문제없을 것으로 사료된다.

4. 결 론

초고층 건물과 실제지붕의 열화상 카메라 영상이 색상에 상관없이 매우 높은 상관성을 보였다. 원격탐사에서는 수직영상을 얻는 것이 기본 원리로 자리잡고 있다. 수직영상으로부터 대상물의 높이, 면적, 둘레길이를 얻을 수 있기 때문에 왜곡이 일어나지 않아야 하기 때문이다. 쿨루프 성능 검증을 위한 열화상은 일반적인 사진영상에서 나타나는 대상물의 면적 및 높이값 보다 대상 지붕 전체의 표면온도가 필요하기 때문에 정확한 수직영상을 쓰지 않아도 실제 지붕의 표면온도를 확인할 수 있었다. 연직 원격사진에 의한 일차원 기록변위가 기하학적 에러를 일으킨 하지만 건물의 온도 특징을 조사하고자 할 때에는 화상해석에 큰 문제를 일으키지 않았다. 어느 정도 촬영각도의 차이가 있어도 온도 검증과 색상간의 비교와 시간에 따른 변화양상을 분석하는데 무리가 없기 때문에 본 연구의 결과가 도

출된 것으로 사료된다.

적외선 열화상 영상을 얻기 위해서 Landsat 과 같은 적외선 센서가 탑재된 위성영상을 쓰는 것이 일반적이다. 그러나 영상의 해상도가 매우 낮아 개별 지붕 표면온도를 분석하는데 많은 한계가 있다. 높은해상도를 얻기 위해 항공기에 적외선 센서를 장착하여 촬영하기도 하는데 매우 고가의 장비이고 항공기를 운용하는데 날씨와 시간에 영향을 많이 받기 때문에 촬영이 상당히 제한적이다. 일반연구자로서는 항공영상에 접근하는데 많은 한계를 내포하고 있다. 그에 대한 대안으로 초고층 건물에서 촬영된 영상은 건물의 지붕표면 온도를 쉽게 확인할 수 있고 언제든지 촬영이 가능하기 때문에 날씨와 시간에 영향을 받지 않고 데이터를 확보할 수 있는 장점을 보여주었다. 원격 열화상은 기존의 직접 접촉식 센서를 통한 특정 지점만의 온도측정 한계를 극복하고, 순간적인 촬영으로 쿨루프의 성능을 검증하는데 매우 유용한 도구라는 것이 본 연구에서 확인되었다.

본 연구에서는 건물 축소모형을 이용하여 다양한 색상을 가진 지붕의 표면온도와 백색으로 된 쿨루프의 성능을 확인하였으나 실험모형의 규격 및 재질 설정의 어려움 등으로 인해 다양한 재질에서 표면온도 분석이 부족하였다. 여름철 표면온도 효과에 대해서만 실험하였지만 향후 연구에서는 봄철, 가을철 등 다른 계절에서의 표면온도 변화 및 쿨루프 성능효과에 관한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것이며 쿨루프의 색상 표준 모델을 바탕으로 건물 내부온도 비교실험이 필요하다고 사료된다.

사 사

이 논문은 2013(2014)학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

1. Taha H., Akbari, H., Rosenfeld, A., Huang, J., Cooling loads and the urban heat island, the effects of albedo, Building and environment, 23(4), pp. 271-283, 1988
2. Suehrcke, H., Peterson, E., Selby, N., Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate, Energy and buildings, 40, pp. 2224 - 2235, 2008
3. Bakhlah, M. S., Hassan, A. S., The effect of roof colour on indoor house temperature in case of hadhramout, Yemen, American transactions on engineering & applied sciences, 1(4), pp. 365-378, 2012
4. Lee, T. C., Yoon, S. H., Review on radiation temperature distribution of a multipurpose high-rise building by infrared rays camera, Architectural sustainable environment and building systems, pp. 77-81, 2012
5. Jang, Y. S., Um, C. D., Park, J. H., Lee, J. J., Park, J. S., Park, M. J., Yeo, H. M., Thermal environment evaluation of wooden house using infra-red thermal image and temperature difference ratio(TDR), The Korean society of wood science technology, 38(6), pp. 518-525, 2010
6. Choi, K. S., Son, J. Y., Thermal performance evaluation of apartment housing using infra-red camera, international journal of air-conditioning and refrigeration, 22(6) pp. 404-412, 2010
7. Han, J. H., Yoon, J. O., Comparisons of insulation properties for school building using infrared thermography, ecological architecture and environment, 18(10), pp. 43-47, 2010
8. Jin, S. K., Study on improvement of public space of mixed-use high rise apartments, Thesis, Yonsei University, 2002