

UAV 열적외 영상을 활용한 피복재질별 표면온도 특성 분석*

송봉근¹ · 김경아² · 서경호³ · 이승원² · 박경훈^{4*}

Analysis of Surface Temperature Characteristics by Land Surface Fabrics Using UAV TIR Images*

Bong-Geun SONG¹ · Gyeong-Ah KIM² · Kyeong-Ho SEO³
Seung-Won LEE² · Kyung-Hun PARK^{4*}

요 약

본 연구는 도시 열환경 문제를 개선하기 위해 UAV 영상 표면온도 자료를 이용하여 피복재질별 표면온도 특성을 분석하였다. 그리고 UAV 영상 표면온도를 유사한 시기에 측정된 현장 실측 표면온도와 비교하였다. UAV 영상과 실측 표면온도와 비교한 결과, 가장 큰 차이를 보이는 피복재질은 회색 콘크리트 지붕 재질로 약 7.8°C로 나타났다. 우레탄은 0.3°C 차이로 가장 적었다. 산점도를 분석한 결과 설명력이 63.75%로 상관성이 높은 것으로 분석되었다. 표면온도가 가장 높은 재질은 금속지붕으로 48.9°C로 나타났고, 우레탄(43.4°C), 회색 콘크리트 지붕(42.9°C) 순이었다. 표면온도가 낮은 재질은 나지(30.2°C), 수목 및 잔디(30.2°C), 흰색 콘크리트 지붕(34.9°C)이었다. UAV 영상 표면온도 자료는 피복재질의 열적특성을 정밀하게 분석 가능하였다. 향후, 실측자료와의 비교를 통해 UAV 영상의 정확성 검·보정과 위성영상과 연계하여 UAV 영상 자료의 활용성을 확대할 필요가 있다.

주요어 : 무인항공기, 열환경, 폭염, 지리정보시스템, 열쾌적성

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the surface temperature of surface fabrics using UAV TIR images, to mitigate problems in the thermal environment of urban areas. Surface temperature values derived from UAV images were compared with those measured in-situ during the similar period as when the images were taken. The

2018년 09월 12일 접수 Received on September 12, 2018 / 2018년 09월 29일 수정 Revised on September 29, 2018 / 2018년 09월 30일 심사완료 Accepted on September 30, 2018

* 이 논문은 행정안전부 재난안전관리업무지원기술개발(NDMI-기본-2018-08) 및 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(No.2016R1A2B4015460)의 지원을 받아 수행된 연구임.

1 국립재난안전연구원 재난원인조사실 Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster of Management Institute

2 창원대학교 환경공학과 Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University

3 창원대학교 친환경해양플랜트FEED공학과 Dept. of Eco-friendly Offshore Plant FEED Engineering of Changwon National University

4 창원대학교 토목환경화학융합공학부 School of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon National University

* Corresponding Author E-mail : landpkh@changwon.ac.kr

difference in the in-situ measured and UAV image derived surface temperatures is the highest for gray colored concrete roof fabrics, at 17°C, and urethane fabrics show the lowest difference, at 0.3°C. The experiment power of the scatter plot of in-situ measured and UAV image derived surface temperatures was 63.75%, indicating that the correlation between the two is high. The surface fabrics with high temperature are metal roofs(48.9°C), urethane(43.4°C), and gray colored concrete roofs(42.9°C), and those with low temperature are barren land(30.2°C), area with trees and lawns(30.2°C), and white colored concrete roofs(34.9°C). These results show that accurate analysis of the thermal characteristics of surface fabrics is possible using UAV images. In future, it will be necessary to increase the usability of UAV images via comparison with in-situ data and linkage to satellite imagery.

KEYWORDS : *Unnamed Aircraft Vehicle, Thermal Environment, Heat Wave, GIS, Thermal Comfort*

서론

최근 기후변화에 따른 도시 환경문제에 대한 심각성이 대두되고 있다. 특히 폭염과 열대야 등 도시 열환경 문제는 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 많은 피해가 발생하고 있는 실정이다. 국내에서는 매년 발생하는 폭염현상의 피해로 인해 폭염을 자연재난으로 분류하는 법 개정을 현재 검토 중에 있다. 따라서 도시 열환경 문제를 개선하기 위해 다양한 방안이 필요한 시점이다.

도시 열환경 문제에 대한 연구는 국내·외적으로 지속적으로 연구되고 있다. 도시를 구성하는 다양한 공간구조에 대한 열환경 특성을 규명한 연구(Hung *et al.*, 2006; Kato and Yamaguchi, 2007; Buyantuyev and Wu, 2010; Li *et al.*, 2011; Sobrino *et al.*, 2011; Song and Park, 2012; Klok *et al.*, 2012)를 시작으로, 도시의 공간 구조적 특성으로 인해 발생하는 열섬현상을 파악하고 완화방안을 마련한 연구(Nichol *et al.*, 2009; Benali *et al.*, 2012; Kloog *et al.*, 2012), 열적으로 쾌적한 도시공간설계에 대한 연구(Yu and Hien, 2006; Hien and Jusuf, 2008; Hamada and Ohta, 2010; Cohen *et al.*, 2012), 열환경 개선을 위한 바람길 도입에 관한 연구(Jung *et al.*, 2008; Edward *et al.*, 2012; Song, 2011) 등이 대표적으로 진행되고 있다.

위와 같은 열환경 문제 개선에 대한 선행연구

에서 대부분 활용되고 있는 연구방법과 재료들은 현장 실측에 의한 분석과 위성영상 및 GIS 공간자료를 활용한 분석, 모델링 기법에 의한 분석으로 크게 구분되어진다. 각각의 연구방법은 연구의 특성에 따라 장단점을 지니고 있다. 현장 실측에 의한 방법은 공간특성별로 열환경에 대한 정확한 현상 규명이 가능한 장점이 있는 반면, 도시의 모든 지역에 대해 분석할 수 없다는 한계점이 있다. 위성영상 및 GIS 공간자료를 활용한 분석은 광범위한 지역에 대한 열환경 특성을 밝힐 수 있다는 장점이 있으나, 정밀한 분석이 어려워 현장 실측에 의한 방법과 장·단점이 상충된다. 모델링 기법은 공간설계에 따른 효과를 예측하는데 장점이 있으나, 실제 공간을 정밀하게 반영하여 분석하는데 한계가 있다. 따라서 도시 열환경에 대한 정확한 진단과 효과적인 방안을 마련하기 위해서는 다양한 연구방법을 적용할 필요가 있다.

이러한 측면에서 현재 무인항공기(Unnamed aircraft vehicle, UAV)에 대한 활용성이 두드러지고 있다. UAV는 사람이 접근하기 어렵고 위험한 지역에 대해 고해상도의 정밀한 정보를 취득할 수 있어 현재 재난, 방송, 측량 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 열환경 분야에서도 위성영상이 지닌 중저해상도 영상 분석의 한계점을 극복하기 위해 고해상도의 UAV 열적외 영상을 활용한 연구가 이루어지고 있다. 고해상도의 UAV 영상은 도시공간의 특성을 보다 정

밀하게 분석할 수 있고 원하는 시기에 UAV로 촬영할 수 있어 공간변화에 따른 열환경 특성을 비교하는데 효과적으로 활용할 수 있다.

따라서 본 연구는 경상남도 창원시에 위치한 창원대학교 공과대학을 대상으로 UAV의 고해상도 영상정보를 활용하여 피복재질별 표면온도 특성을 분석하였고, 현장측정 온도와 비교 등을 통해 도시 열환경 분야에서 UAV 영상의 활용 가능성에 대해 알아보았다.

연구 방법

1. 연구대상지

본 연구는 창원시 의창구에 위치한 창원대학교 공과대학을 대상으로 연구를 수행하였다(그림 1). 창원시 의창구는 주변에 고도 약 600m의 산으로 둘러싸인 분지형태의 지형으로 인해 공기순환성이 취약하고(Song and Park, 2013), 고온의 열이 발산되는 대규모 국가산업단지가 위치해 있어 도시열섬현상이 뚜렷한 지역이다. 이로 인해 매년 여름철 폭염과 열대야 등의 열환경 문제가 지속적으로 발생되고 있다.

창원대학교 공과대학은 5층 높이의 건물이

보행로를 중심으로 위치해 있다. 보행로는 약 20m의 폭으로 넓은 공간을 형성하고 있는데, 지면은 갈색의 보도블록이 대부분을 차지하고 있고, 곳곳에 나무판과 우레탄, 아스팔트 등이 포장되어 있다. 수목 및 잔디는 건물 주변에 위치하고 있고, 수목의 높이는 약 4m 정도로 잎면적이 넓지 않은 수종이 식재되어 있다. 따라서 여름철 보행로 공간은 그늘의 형성이 적어 열쾌적성이 좋지 않다. 따라서 대상지는 본 연구의 피복재질별 열적특성 결과를 활용하여 열환경을 개선할 필요가 있는 지역으로 판단되어 연구를 진행하였다.

2. UAV 영상 정보 취득 및 처리

UAV 영상 촬영은 2017년 9월 26일에 수행하였다. 촬영시기의 기상상황은 구름이 거의 없는 맑은 날씨였고, 풍속은 약 3m/s 이하로 낮았다. 또한 1주일 동안 비가 내리지 않아 지표면이 건조한 상태였다. UAV 기체는 DJI 社의 수직 이착륙이 가능한 회전익 Inspire 1으로 비행시간은 최대 18분, 기체 중량은 2.846kg, 최대 속도는 22m이다. 세부적인 장비 규격은 표 1과 같다.

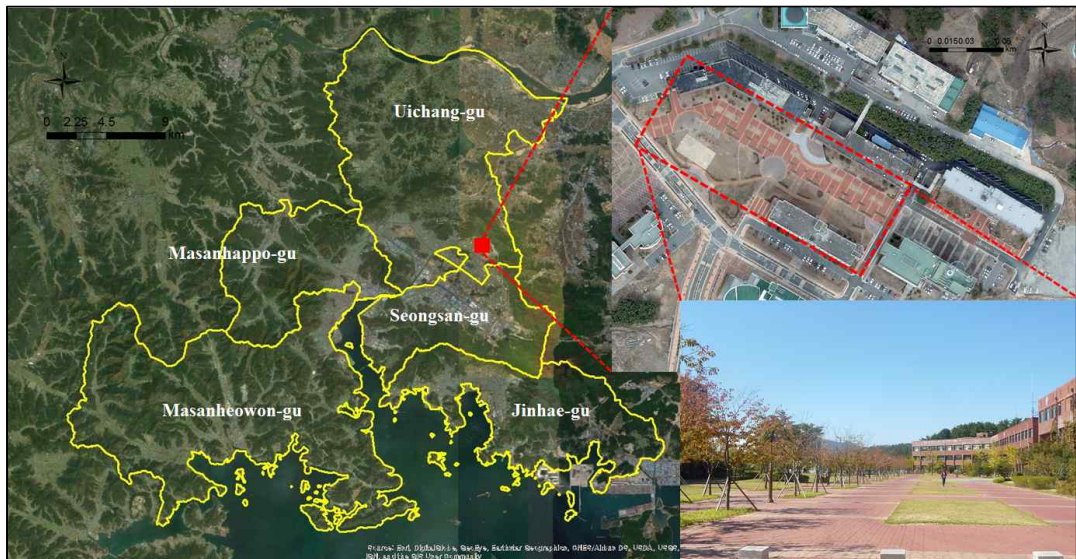


FIGURE 1. Study site

TABLE 1. The specification of Inspire 1 UAV

Items	Specification
Flying speed	under 22m/s
Weight	2.846kg
Flying time	under 18min

본 연구에서는 UAV 기체에 광학카메라(DJI 社, Zenmuse X3)와 열적외 카메라(FLIR 社, Vue Pro R)를 동시에 촬영하였다. 1회 촬영 시간은 약 10분으로 하였고, 각각 총 3번의 촬영을 통해 창원대학교 캠퍼스에 대한 RGB 영상과 열적외 표면온도 영상을 취득하였다. 취득된 영상은 Pix4D Mapper S/W를 활용하여 정사영상을 제작하였다.

3. 피복재질 분류

피복재질은 Song(2014)의 연구에서 제작된 피복재질 분류도를 기반으로 UAV RGB 영상을 활용하여 수정 및 보완하여 구축하였다. Song(2014)의 피복재질 분류도는 2009년에 제작된 창원시 환경지도의 1:1,000 축척의 토지피복도를 기초로 공간해상도 10cm급의 항공사진 정사영상을 활용하여 피복재질의 종류와 색상을 1차적으로 구분하였고, 현장조사를 통해 수정 및 보완하여 총 21개의 유형으로 분류된 지도이다.

피복재질의 유형은 기존의 토지피복유형에서 고려되지 않았던 보도블록(sidewalk brick)과 목재데크(wooden deck), 우레탄(urethane), 회색 및 녹색의 콘크리트, 인조 잔디(artificial turf) 등이 포함되어 있다(그림 3). 본 연구에서 활용하고자 하는 피복재질 분류도는 Song(2014)의 자료에서 대상지의 특성 등을 고려하여 피복유형을 추가 및 재편집하여 작성하였다.

4. 피복재질별 표면온도 특성 분석

UAV 열적외 영상에서 분석된 표면온도와 피복재질 분류도 자료를 토대로 피복재질별 표면온도 특성을 분석하였다. 또한, Song(2014)의 연구자료에서 UAV 영상의 촬영시기와 유사한 기간인 2014년 9월 23일에 현장에서 측정된 표면온도 자료를 활용하여 피복재질별 UAV 영상 표면온도와 비교·분석을 실시하였다. Song(2014) 연구의 현장측정 표면온도 자료는 열적외 온도계(testo 380, 정확도 : $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, 방사율 : 0.95)를 지표면에서 약 10cm 정도 수직방향으로 세운 후 측정된 자료이며, 그림 3과 같이 총 78개의 지점에서 측정되었다. 측정당시의 기상은 구름이 거의 없는 맑은 날씨였으며, 측정 시간은 약 1시간이 소요되었고, 그림 3에서 가장 우측지점부터 측정을 시작하였다.

피복재질별 표면온도의 특성을 분석하는 방법

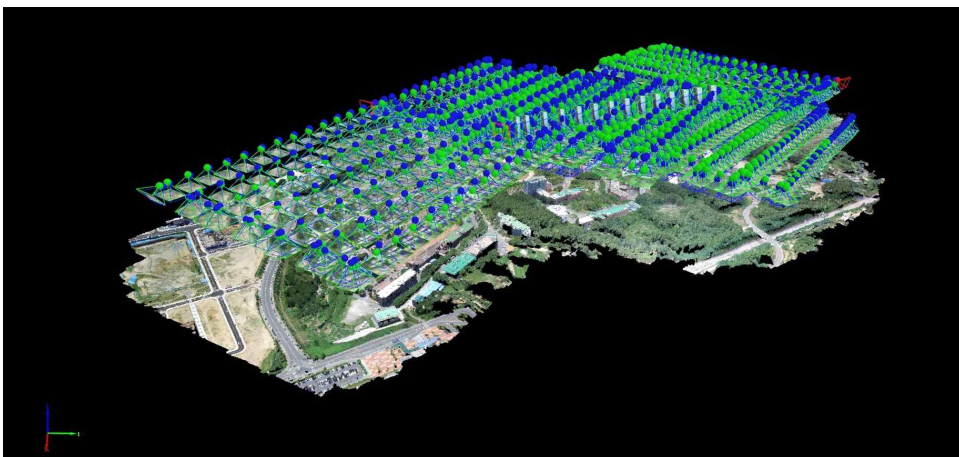


FIGURE 2. Ortho image cartography

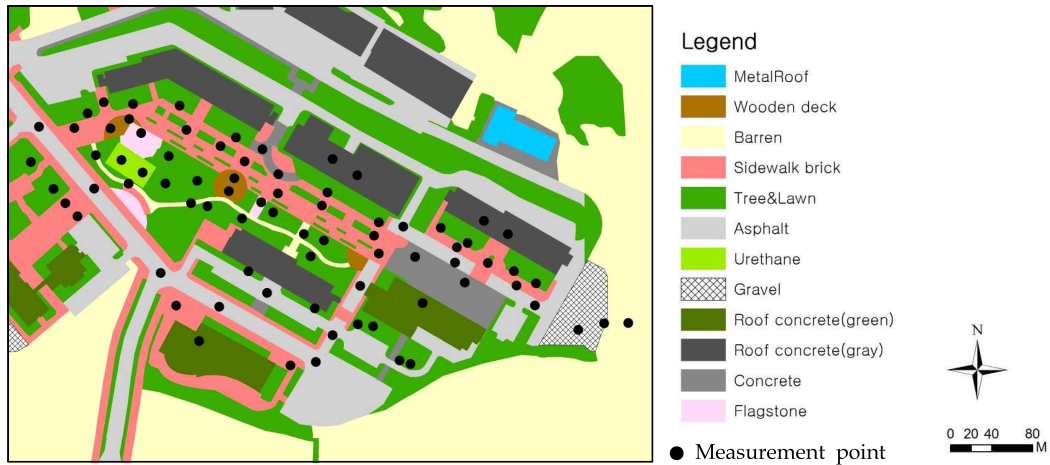


FIGURE 3. Surface fabric type map and measurement points (Song, 2014)

은 우선 GIS 프로그램에서 zonal statistics 기능을 이용하여 피복재질별 표면온도의 평균값을 산출하였다. 그리고 UAV 영상에서 표면온도가 높은 공간을 중심으로 반경 10m의 북-남, 동-서 방향 profile graph 분석을 실시하여 피복재질별 표면온도를 구체적으로 살펴보았다.

결과 및 고찰

1. UAV 영상처리 결과

UAV에서 촬영된 광학영상과 열적외 표면온도 영상을 처리한 결과는 그림 4와 같다. 광학영상의 공간해상도는 $0.06 \times 0.06\text{m}$ 로 촬영되었고, 열적외 표면온도 영상은 $0.19 \times 0.19\text{m}$ 로 나타났다. 표면온도는 최고 62.5°C 에서 최저 15.2°C 로 나타났으며, 본 연구의 대상지인 창원대학교 공과대학의 표면온도가 타 지역보다 다소 높은 것을 그림으로 확인할 수 있다. 이는 공과대학에 분포하는 피복재질 유형이 타 지역과 상이하고, 건물 내부의 실험시설 등이 외벽의 온도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이는 향후 추가적인 연구로 규명되어야 할 필요가 있을 것으로 보인다.

2. 피복재질 분류 결과

그림 5은 피복재질을 분류한 결과이다. 기존

Song(2014)의 피복재질 분류도는 건물의 옥상 표면의 재질 중 흰색 콘크리트는 분류되지 않았으나, 본 연구에서는 [A] 구역에서 보는바와 같이 유형을 추가 분류하였다. 그리고 [B] 구역과 같이 기존 회색의 콘크리트 재질에서 갈색의 보도블록과 수목 재질을 추가하여 보다 세밀하게 분류하였다. [C] 구역의 경우에는 회색 콘크리트의 건물 옥상 표면재질에서 녹색 콘크리트 재질로 수정하였다. 총 유형수는 기존 12개 유형에서 13개 유형으로 증가하였다.

피복재질 면적변화는 전체 0.16km^2 면적 중 건물 옥상의 녹색 콘크리트 재질이 기존 3.80%에서 5.26%로 증가하였고, 회색 콘크리트 재질은 6.73%에서 3.98%로 감소하였다. 흰색 콘크리트 재질은 1.15% 증가하였다. 금속지붕(0.57%→0.72%), 갈색 보도블록(9.54%→9.65%), 수목 및 잔디(22.67%→22.80%)도 소폭 증가하였다(표 2).

3. 피복재질별 표면온도 특성

1) 현장측정 표면온도와와의 비교

UAV 영상과 유사한 시기에 촬영된 현장측정 표면온도와 비교한 결과는 다음과 같다. 먼저 그림 6는 피복재질별로 현장측정과 UAV의 평균 표면온도를 비교한 것으로 현장에서 목재데크에서 측정된 표면온도가 50.6°C 로 가장 높았

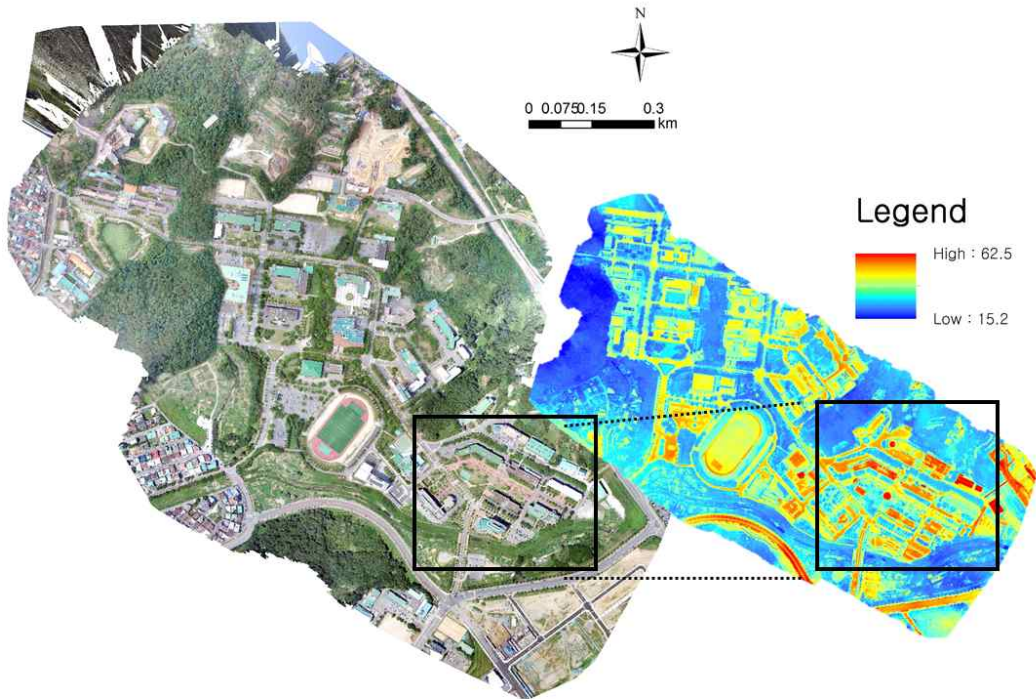


FIGURE 4. RGB and TIR surface temperature images from UAV

TABLE 2. The variation of surface fabric

Surface fabric	Before		After	
	Area(km ²)	Ratio(%)	Area(km ²)	Ratio(%)
Metal roof	928	0.57	1,166	0.72
Wooden deck	883	0.55	891	0.55
Barre	57,244	35.34	57,251	35.34
Sidewalk brick(brown)	15,456	9.54	15,633	9.65
Treen and lawn	36,730	22.67	36,936	22.8
Asphalt	26,482	16.35	26,487	16.35
Urethane	456	0.28	454	0.28
Gravel	2,379	1.47	2,381	1.47
Roof concrete(green)	6,161	3.80	8,521	5.26
Roof concrete(gray)	10,904	6.73	6,448	3.98
Roof concrete(white)	-	0.00	1,863	1.15
Concrete	3,726	2.30	3,321	2.05
Flagstone	649	0.40	648	0.4

으나, 동일한 지점에서 UAV 영상에서는 46.1°C로 4.5°C 차이가 있었다. 가장 큰 차이를 보이는 피복재질은 회색 콘크리트 지붕 재질로 현장측정은 46.9°C인 반면, UAV 영상은 39.1°C로 차이가

약 7.8°C로 분석되었다. 반면, 가장 작은 차이를 보인 피복재질은 우레탄으로 현장측정은 49.3°C, UAV 영상은 49.6°C로 0.3°C 차이를 보였다. 회색 콘크리트 지붕과 목재데크, 보도블록, 판석,



FIGURE 5. Results re-classified surface fabric types

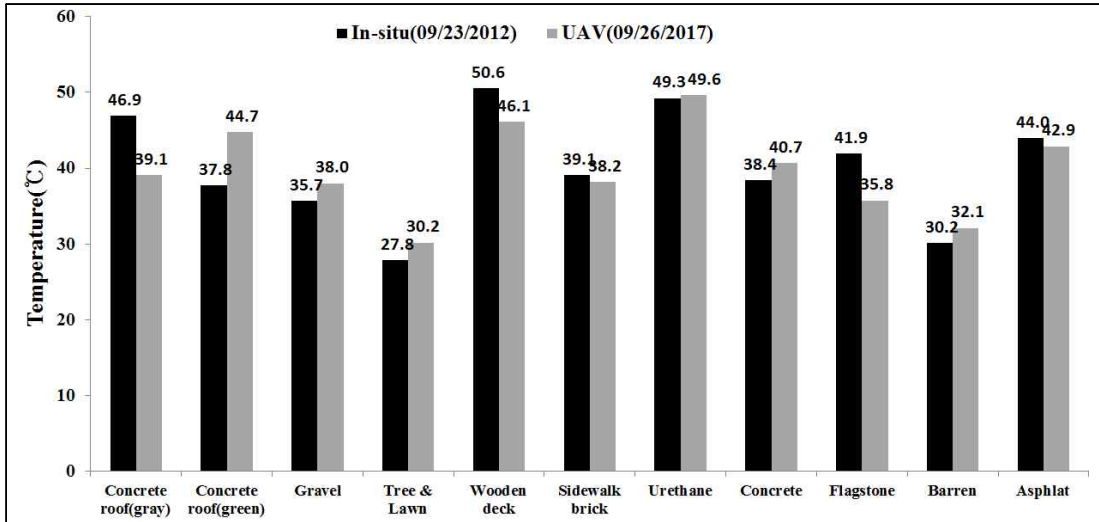


FIGURE 6. Comparison of mean surface temperature between In-situ and UAV on each surface fabrics

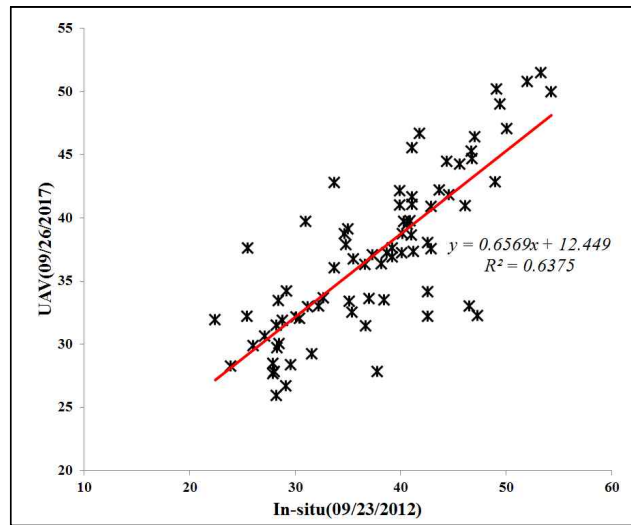


FIGURE 7. Scatter plots of surface temperature between In-situ and UAV

아스팔트는 현장측정 표면온도가 UAV 영상보다 높았고, 그 외 재질은 반대 양상을 보였다.

본 연구에서 현장측정과 UAV 영상과의 차이를 보이는 이유는 측정 당시의 기상적인 요인도 있겠지만, 열적외 온도계와 열화상 카메라의 장비 특성 또는 규격에 따른 요인도 작용할 것으로 판단된다. 하지만, 그림 7과 같이 현장측정

과 UAV 영상간의 표면온도에 대한 산점도를 분석한 결과, 설명력이 63.75%로 나와 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 따라서 UAV 영상에서 도출된 표면온도자료가 현장측정 자료와 다소 차이가 있긴 하나, 실측자료에 의한 보정을 통해 활용이 가능할 것으로 판단된다.

2) 공간특성별 비교

피복재질별 평균 표면온도를 비교한 결과는 그림 8와 같다. 표면온도가 가장 높은 재질은 금속 지붕으로 48.9°C로 나타났고, 우레탄(43.4°C), 회색 콘크리트 지붕(42.9°C), 녹색 콘크리트 지붕(41.7°C), 목재데크(41.2°C) 순으로 확인되었다. 반면에 나지(30.2°C)와 수목 및 잔디(30.2°C), 판석(33.5°C), 흰색 콘크리트 지붕(34.9°C), 갈색 보도블록(35.2°C)는 표면온도가 낮았다. 판석은 건조한 인공적 피복재질이라 표면온도가 높을 것으로 예상했으나, 분석결과 표면온도가 낮았는데, 이는 판석이 분포하는 위치가 나무 그늘이 지거나, 수목과 잔디에 인접해 있어 다른 인공적 피복재질보다 표면온도가 낮은 것으로 판단된다. 흰색 콘크리트 지붕은 녹색과 회색의 콘크리트 지붕에 비해 표면온도 차이가 약 8~9°C 정도 낮았다. 이는 동일한 피복재질이더라도 색상 차이에 의해 표면온도가 상이한 결과도 도출되었다. 지표면에 있는 콘크리트 재질의 표면온도도 평균 36.0°C로 지붕의 콘크리트 재질보다 다소 낮은 것으로 분석되었는데, 지표면은 수목이나 건물에 의한 그림자 형성지역이 많아 태양 복사에너지를 지속적으로 흡수하기 때문으로 판단된다.

그림 9와 그림 10은 UAV 열적외 표면온도 영상에 대해 profile graph 분석을 실시하여 피복재질별 표면온도 특성을 자세하게 분석한 결과이다. A→A' 에서는 목재데크와 갈색 보도블록, 수목 및 잔디, 회색 콘크리트 지붕 등의 피복재질이 분포하고 있다. 이 중 가장 표면온도가 높은 피복재질은 목재데크로 표면온도가 53°C로 나타났다. 목재데크와 인접해 있는 수목 및 잔디와 갈색 보도블록과의 온도 차이는 수목 및 잔디가 약 25~30°C, 갈색 보도블록은 13~18°C로 분석되었다.

B→B' 라인에서는 녹색 콘크리트 지붕과 수목 및 잔디, 목재데크, 회색 콘크리트 지붕, 아스팔트 재질이 분포하고 있다. 녹색 콘크리트 지붕의 재질은 약 48°C로 목재데크와의 차이가 5°C 정도로 크지 않았다. 또한 회색 콘크리트 지붕(45°C)과도 8°C 차이가 났다. 아스팔트(43°C)와의 차이는 10°C로 나타났다(그림 10(b)).

C→C' 라인의 분석결과는 그림 10(c)와 같다. 흰색 콘크리트 지붕과 아스팔트, 수목 및 잔디, 금속지붕의 피복재질이 위치하고 있다. 금속 지붕의 표면온도는 약 58°C로 본 연구에서 분석된 피복재질의 표면온도에서 가장 높은 것으로 나타났다. 인근에 위치한 아스팔트와의 차이

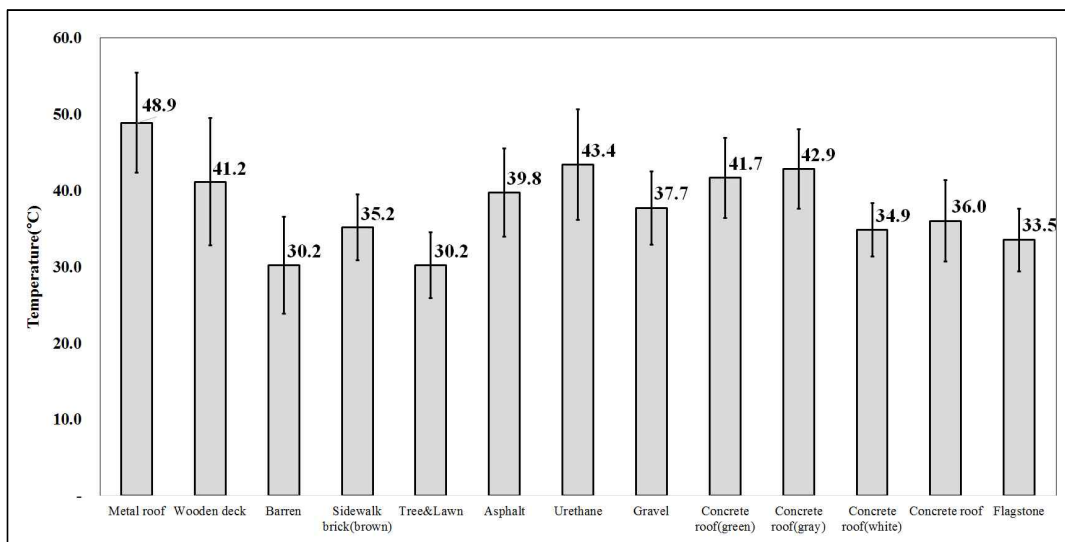


FIGURE 8. Mean surface temperature of each surface fabric types

는 15°C로 나타났다. 흰색 콘크리트 지붕재질은 약 34°C로 금속지붕과의 표면온도 차이는 24°C로 분석되었으며, 인근의 수목 및 잔디 재질(26°C)와 표면온도 차이가 8°C 이내로 크지 않았다. 즉, 흰색 콘크리트 지붕재질은 수목 및 잔디와 같은 자연적 피복재질이 지닌 옥외공간의 기온저감 기능과 유사한 효과를 보이는 것으로 확인되었다.

마지막으로, D→D' 라인을 분석한 결과, C→C' 라인과 유사한 재질이 분포하고 있으며, 금속지붕의 표면온도(54°C)는 앞서 C→C' 라인의 금속지붕보다 약 4°C 낮았다. 아스팔트의 표면온도도 약 40°C 정도로 다른 지역의 것보다 다소 낮은 것을 알 수 있다. 흰색 콘크리트 지붕의 재질은 앞선 결과와 동일한 위치이기 때문에 표면온도도 34°C로 같았다(그림 10(d)).

이와 같은 결과를 통해, 건물 지붕을 구성하는 피복재질의 표면온도는 금속지붕(55~58°C), 녹색 콘크리트(48°C), 회색 콘크리트(45°C), 흰색 콘크리트(34°C) 순으로 나타났다. 특히, 국내 단독 주거지나 상업시설, 공공시설의 건물에서는 방수를 위해 녹색의 재질이나 회색의 콘크리트

재질을 많이 활용하고 있다. 하지만, 본 연구의 결과에서도 알 수 있듯이 녹색과 회색의 재질은 표면온도가 높아 옥외 공간의 기온을 상승시킬 뿐만 아니라, 건물 내부의 실내온도를 상승시킬 수 있다. 이에 최근에는 고반사율의 특성을 지닌 쿨루프(Cool roof)를 조성하는 움직임이 많다. Kim and Park(2018)은 본 연구와 같은 창원대학교 공과대학교를 대상으로 쿨루프를 옥상에 적용하여 건물의 레이어별 온도 변화를 분석하였다. 그 결과 쿨루프 시공 옥상이 미시공 옥상에 비해 2016년 8월과 9월에 옥상표면온도가 최대 8.4°C, 6.6°C, 냉방기를 가동하지 않은 9월에 천장 및 방 내부온도가 최대 3.7°C, 1.7°C 낮게 나타났다. Song *et al.*(2016)의 연구에서는 창원시 청사 건물을 대상으로 고반사율의 방수페인트 조성 유무에 따른 사무실 실내온도의 차이를 비교하였고, 고반사율 방수페인트를 조성한 사무실이 그렇지 않은 곳보다 실내온도가 약 2°C 저감된 것으로 확인되었다. Gyeon-gnam Green Environmental Center(2014)의 연구결과에서는 다양한 피복재질을 조성한 모형 실험을 통해 녹색과 검은색의 어두운 색 계통의

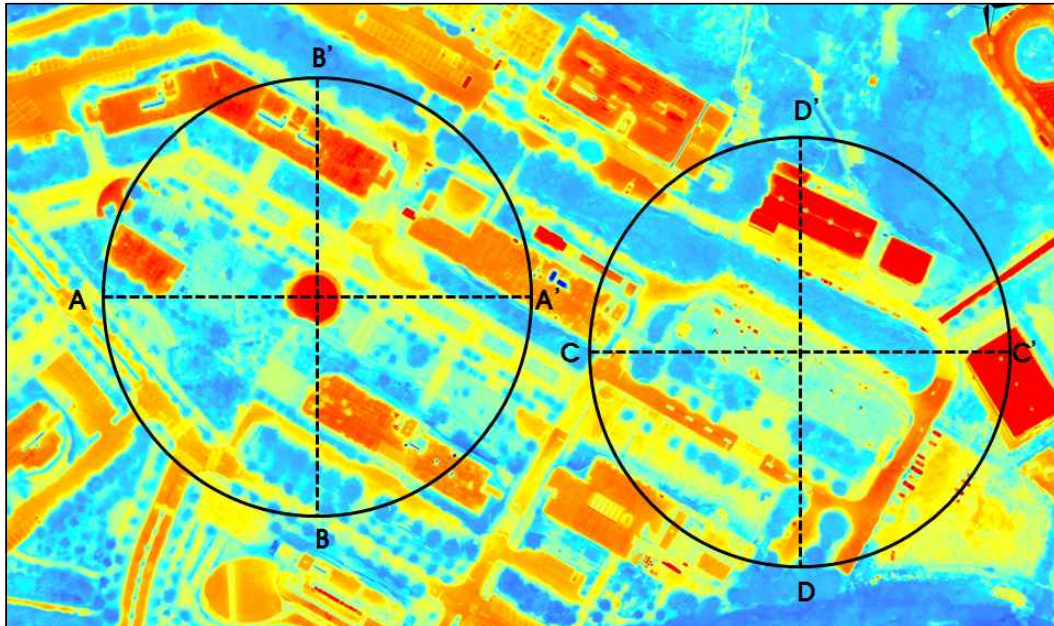
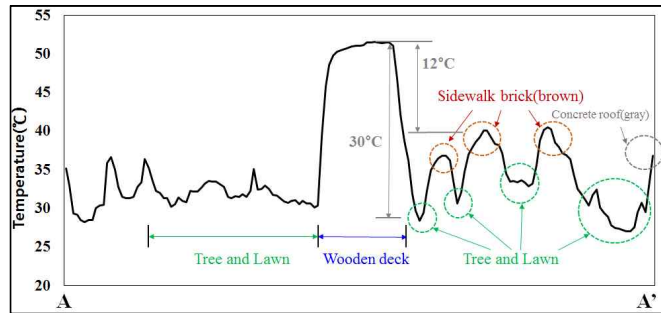
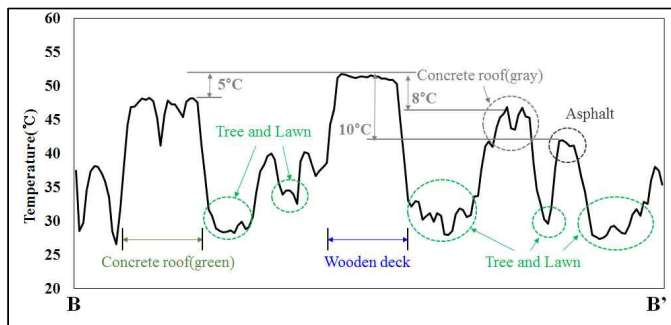


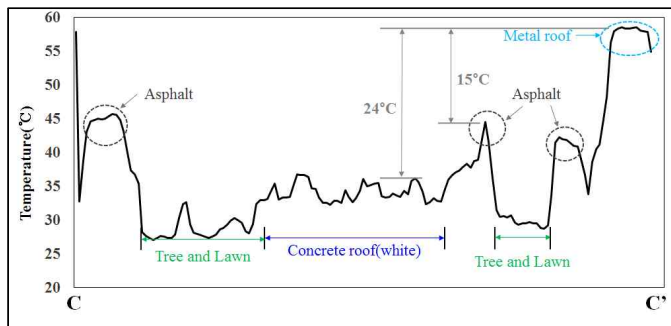
FIGURE 9. Position of lines for analyzing profile graph



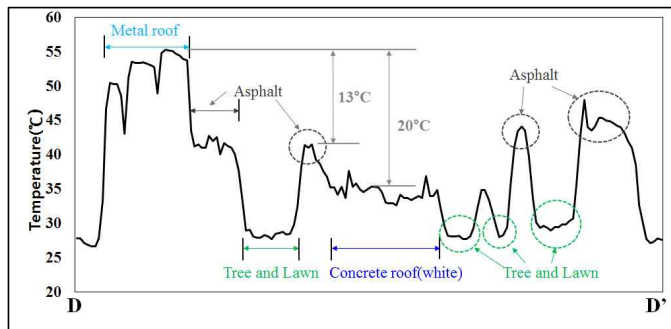
(a) Line A → A'



(b) Line B → B'



(c) Line C → C'



(d) Line D → D'

FIGURE 10. Characteristics of surface temperature on each lines

재질보다는 밝은 색 계통의 피복재질의 표면온도가 약 20°C 이상 낮으며, 실내 온도 또한 0.5°C 낮은 것으로 확인되었다. 따라서 고반사율의 피복재질은 표면온도 및 실내·외의 온도를 저감시켜 도시열섬완화 및 열환경 개선효과가 있는 것을 알 수 있다.

지표면에서는 수목 및 잔디 재질의 표면온도가 낮았다. 이는 많은 선행연구에서도 증명된 결과이다(Oliveira *et al.*, 2011; Winston *et al.*, 2011; Song, 2014.). 반면, 공원이나 보행 공간에 많이 조성되고 있는 목재데크 재질은 높은 표면온도로 인해 기온을 상승시키는 원인이 될 수 있을 것으로 판단된다. 경관적인 측면에서 목재데크의 활용은 장점일 수 있으나, 폭염과 같은 도시 열환경 관점에서는 단점으로 작용할 수 있다. 따라서 도시공간설계 시 도시 열환경 완화를 위해 이러한 피복재질이 지닌 열적 특성 장·단점을 적절히 활용할 필요가 있을 것으로 보인다. 그 예로, 아스팔트의 경우 도시공간에서 고온의 열적 특성을 지니고 있으나(Song, 2014), 수목과 건물이 인접한 공간에서는 그림자가 형성되어 태양복사에너지의 유입이 지속적이지 않기 때문에 표면온도가 콘크리트 등 인공적 피복재질에 비해 다소 낮은 것으로 나타났다. 따라서 도시 열환경 개선을 위한 공간설계 시 수목과 건물의 공간적 위치 및 그림자 형성정도 등을 파악하여 목재데크 등 고온의 열적특성을 지닌 피복재질을 조성할 필요가 있을 것으로 판단된다.

결 론

본 연구는 UAV 영상 표면온도 자료의 활용하여 도시 열환경 문제를 개선하기 위해 창원대학교 공과대학을 대상으로 UAV 영상 표면온도 분석 및 피복재질별 표면온도 특성을 파악하고자 하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

UAV 영상 촬영과 유사한 계절에 현장에서 측정된 표면온도와 비교한 결과, 가장 큰 차이를 보이는 피복재질은 회색 콘크리트 지붕 재질로 약 7.8°C의 차이를 보였다. 반면에 우레탄은

0.3°C의 차이로 나타나 가장 적었다. 당시의 기상적인 요인과 장비의 특성 등으로 인해 UAV 영상자료와 현장 실측자료간의 차이가 있을 수 있다. 하지만 산점도를 분석한 결과 설명력이 63.75%로 분석되어 상관성이 높은 것으로 나타나 실측 자료에 의한 UAV 영상의 보정을 통해 정확한 분석이 가능할 것으로 판단되었다.

공간특성별로 비교한 결과, 표면온도가 가장 높은 재질은 금속지붕으로 48.9°C로 나타났고, 우레탄(43.4°C), 회색 콘크리트 지붕(42.9°C), 녹색 콘크리트 지붕(41.7°C), 목재데크(41.2°C) 순으로 확인되었다. 표면온도가 낮은 재질은 나지(30.2°C), 수목 및 잔디(30.2°C), 판석(33.5°C), 흰색 콘크리트 지붕(34.9°C)이었다. Profile graph 분석을 실시간 결과에서는 녹색과 회색의 콘크리트 지붕은 흰색 콘크리트 지붕에 비해 표면온도가 약 10°C 이상 높은 것으로 나타났다. 이는 옥외 공간의 열환경 뿐만 아니라, 실내 온도에도 영향을 미치기 때문에 고반사율의 특성을 지닌 흰색 콘크리트 지붕의 조성이 열환경 개선과 실내 온도 저감에 효과가 있을 것이다. 지표면에서는 보행공간의 열환경 개선을 위해 수목과 건물의 공간적 위치와 그림자 형성정도를 파악하여 목재데크와 같은 고온의 열적특성을 지닌 피복재질의 조성을 고려할 필요가 있다.

위와 같은 결과를 통해 UAV 영상 표면온도 자료는 도시공간의 피복재질에 따른 열적특성을 정밀한 분석이 가능한 것으로 나타났다. 다만, 본 연구에서는 기존 선행연구의 현장 실측된 표면온도 자료를 활용하여 UAV 영상 표면온도자료와 비교하였으나, 시기적인 차이가 크기 때문에 한계점이 있다. 따라서 UAV 영상 표면온도 자료의 정확성을 분석하기 위해 추가적으로 동일한 시기에 실측된 자료와의 비교 및 검·보정이 필요할 것이다. 또한, UAV는 기체의 운용시간이 제한적이기 때문에 촬영 범위에 한계가 있다. 따라서 위성영상 자료와의 비교를 통해 광범위한 지역에 대한 분석이 가능할 수 있도록 UAV 영상 자료의 활용성을 확대할 필요가 있을 것으로 판단된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Benali, A., A.C. Carvalho, J.P. Nunes, N. Carvalhais and A. Santos. 2012. Estimating air temperature in Portugal using MODIS LST data. *Remote Sensing of Environment* 124:108–121.
- Buyantuyev, A. and J. Wu. 2010. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land–cover and socio–economic patterns. *Landscape Ecology* 25(1):17–33.
- Cohen, P., O. Potchter, and A. Matzarakis. 2012. Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. *Building and Environment* 51:285–295.
- Edward, N., L. Chen, Y. Wang and C. Yuan. 2012. A study on the cooling effects of greening in a high–density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment* 47:256–271.
- Edward, N. 2009. Policies and technical guidelines for urban planning of high density cities–air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and Environment* 44:1478–1488.
- Gyeongnam Green Environmental Center. 2014. Exhibition installation and effect analysis of cool roof for mitigating urban heat island responding climate change, Report of Gyeongnam Green Environmental Center pp.99 (경남녹색환경지원센터. 2014. 기후변화 대응 도시열섬완화를 위한 쿨루프의 시범설치 및 효과 분석. 경남녹색환경지원센터 연구보고서 99쪽.).
- Hamada, S. and T. Ohta. 2010. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*. 9(1):15–24.
- Hien, W.N. and S.K. Jusuf. 2008. GIS–based greenery evaluation on campus master plan. *Landscape and Urban Planning*. 84 (2):166–182.
- Hung, T., D. Uchihama, S. Ochi and Y. Yasuoka. 2006. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo–information* 8(1):34–48.
- Jung, E.H., D.W. Kim, J.W. Ryu, J.G. Cha and K.S. Son. 2008. Evaluation of spatial characteristic of wind corridor formation in Daegu area using satellite data. *Journal of The Korean Association of Geographic Information Studies* 11(2):73–84 (정응호, 김대욱, 류지원, 차재규, 손경수. 2008. 위성자료를 활용한 대구지역 바람길 생성의 공간적 특성평가. 한국지리정보학회지 11(2):73–84).
- Kato, S. and Y. Yamaguchi. 2007. Estimation of storage heat flux in an urban area using ASTER data. *Remote Sensing of Environment* 110(1):1–17.
- Kim, G.A. and K.H. Park. 2018. Temperature change in building layers according to cool roofs application – A case study at Changwon National University. *KIEAE Journal* 18(4):103–111.
- Klok, L., S. Zwart, H. Verhagen and E. Mauri. 2012. The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. *Resources, Conservation and Recycling* 64:23–29.
- Kloog, I., A. Chudnovsky, P. Koutrakis and J. Schwartz. 2012. Temporal and spatial assessments of minimum air temperature using satellite surface temperature measurements in Massachusetts, USA. *Science*

- of the Total Environment 432:85-92.
- Li, J., C. Song, L. Cao, F. Zhu, X. Meng and J. Wu. 2011. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment* 115(12):3249-3263.
- Nichol, J.E., W.Y. Fung, K. Lam and M.S. Wong. 2009. Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and 'in situ' air temperature. *Atmospheric Research* 94(2):276-284.
- Oliveira, S., H. Andrade and T. Vaz. 2011. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon, *Building and Environment* 46(11):2186-2194.
- Sobrino J.A., R. Oltra-Carrío, G. Soria, R. Bianchi and M. Paganini. 2011. Impact of spatial resolution and satellite overpass time on evaluation of the surface urban heat island effects. *Remote Sensing of Environment* 117:50-56.
- Song, B.G. 2011. Development of integrated spatial environmental assessment and planning methods for improving the urban climate and air quality. Master Thesis, Changwon National Univ., Changwon, South Korea. pp.1-93 (송봉근. 2011. 도시기후 및 대기질 개선을 위한 통합적 공간설계 기법 개발. 창원대학교 대학원 석사학위논문. 1-93쪽).
- Song, B.G. 2014. Development of environment planning methodology for mitigation of climate change and heat island effect in urban. Doctoral Thesis, Changwon National Univ., Changwon, South Korea. pp.36-50 (송봉근. 2014. 도시지역의 기후변화 및 열섬효과 완화를 위한 환경계획 기법의 개발. 창원대학교 대학원 박사학위논문. 36-50쪽).
- Song, B.G. and K.H. Park. 2010. An analysis of cold air generation area considering climate-ecological function—a case study of Changwon, South Korea—. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(1):114-127 (송봉근, 박경훈. 2010. 기후생태적 기능을 고려한 찬공기 생성지역 분석-창원시를 대상으로-. 한국지리정보학회지 13(1):114-127).
- Song, B.G. and K.H. Park. 2012. Analysis of heat island characteristics considering urban space at nighttime. *Journal of the Korea Association Geographic Information Studies* 15(1):133-143 (송봉근, 박경훈. 2012. 도시공간을 고려한 야간시간대의 열섬특성 분석. 한국지리정보학회지 15(1):133-143).
- Song, B.G. and K.H. Park. 2013. Air ventilation evaluation at nighttime for the construction of wind corridor in urban area. *Journal of the Korea Association Geographic Information Studies* 16(2):16-29 (송봉근, 박경훈. 2013. 도시지역의 바람길 조성을 위한 야간시간대의 공기순환성 평가. 한국지리정보학회지 16(2):16-29).
- Song, B.G., G.A. Kim and K.H. Park. 2016. Reduction in indoor and outdoor temperature of office building with cool roof. *KIEAE Journal* 16(6):95-101 (송봉근, 김경아, 박경훈. 2016. 쿨루프 적용에 따른 업무용 건물의 내·외부 온도 저감 효과. 한국생태환경건축학회지 16(6):95-101).
- Winston, T.L.C., L.P. Ronald, A.M. Chris and J.B. Anthony. 2011. Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts. *Theoretical and Applied Climatology* 103(1-2):197-211.
- Yu, C. and W.N. Hien. 2006. Thermal benefits of city parks. *Energy and Buildings* 38(2):105-120. **KAGIS**