

## 열적외 영상과 Landsat 8 위성으로부터 관측된 지표면 온도 비교

### Comparison of Surface Temperatures between Thermal Infrared Image and Landsat 8 Satellite

조채윤 · 지준범<sup>1)\*</sup> · 박문수<sup>1)</sup> · 박성화<sup>1)</sup> · 최영진<sup>1)</sup>

서울대학교 지구환경과학부, <sup>1)</sup>한국외국어대학교 차세대도시농림융합기상사업단

(2015년 10월 27일 접수, 2015년 12월 8일 수정, 2016년 1월 4일 채택)

Chaeyoon Cho, Joon-Bum Jee<sup>1)\*</sup>, Moon-Soo Park<sup>1)</sup>, Sung-Hwa Park<sup>1)</sup>  
and Young-Jean Choi<sup>1)</sup>

*Department of Earth and Environmental Sciences*

<sup>1)</sup>*Weather Information Service Engine, Hankuk University of Foreign Studies*

(Received 27 October 2015, revised 8 December 2015, accepted 4 January 2016)

#### Abstract

In order to analyze the surface temperature in accordance with the surface material, surface temperatures between Thermal InfraRed Image (TIRI) and Landsat 8 satellite observed at the commercial area (Gwanghwamun) and residential area (Jungnang) are compared. The surface temperature from TIRI had applied atmospheric correction and compared with that from Landsat 8.

The surface temperatures from Landsat 8 at Gwanghwamun and Jungnang are underestimated in comparison with that from TIRI. The difference of surface temperature between the two methods is greater in summer than in winter. When the analysis area was divided into detailed regions, depending on the material and the position of the surface, correlation of surface temperature between TIRI with Landsat 8 is as low as 0.29 (Gwanghwamun) and 0.18 (Jungnang), respectively. The results were caused from the resolution difference between the two methods. While the surface temperatures of each zone from Landsat 8 were observed almost constant, high-resolution TIRI observed relatively precise surface temperatures. When the each area was averaged as one space, correlation of surface temperature between TIRIs and Landsat 8 is more than 0.95. The spatially averaged surface temperature is higher at Jungnang, representing residential areas, than at Gwanghwamun, representing commercial areas.

As a result, the observation of high resolution is required in order to observe the precise surface temperature. This is because it appears that the spatial distribution of the various surface temperature in the range of micro-scale according to the conditions of the ground surface.

**Key words:** Surface temperature, Thermal infrared image (TIRI), Landsat 8, Emissivity, Resolution

---

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)70-4617-3764, E-mail : rokmcjib717@gmail.com

## 1. 서 론

최근 기후 변화로 인해 지구복사에너지의 흐름과 균형에 이상이 발생하고 지구 표면의 온도가 상승하는 온난화 현상이 급격하게 증가하고 있다. 도시 지역의 경우 지속적인 개발로 불투수층인 아스팔트와 콘크리트로 피복된 지표면 열 환경의 변화와 인구 집중화 현상에 따른 인공열 배출이 현저히 많기 때문에 지표면의 온도 상승이 도시를 둘러싼 비도시 지역과 비교하여 가속화된다고(Meier *et al.*, 2011; Cleugh and Oke, 1986). 지표면의 온도 변화는 지표면과 대기 사이의 열 에너지를 교환시켜 대기 순환과 기온에 영향을 미치므로 에너지수지를 이해하기 위한 매우 중요한 변수이나 정확한 지표면 온도의 관측은 매우 어렵다(Jin *et al.*, 2005; Voogt and Oke, 1997). 지표면 온도 관측은 주로 인공위성과 같은 원격 탐측 방법을 이용하여 수행되고 있다. 인공위성을 이용한 지표면 온도 관측에 관한 선행 연구로 Park (2001)은 Landsat TM 열적외 자료로부터 지표면 온도를 추출하여 도시열섬 현상을 연구하였고, Na *et al.* (2008)은 Landsat, SPOT, MODIS 위성자료를 이용하여 연안환경 변화에 따른 지표면 온도 변화를 비교분석하였다. 또한 Jee *et al.* (2014)는 MODIS와 Landsat 위성의 지표면 온도와 자동기상관측(Automatic Weather System (AWS))의 기온 자료를 이용하여 서울을 포함한 수도권 지역의 지표면 온도를 분석하였다.

인공위성의 열적외 센서는 온도에 민감한 복사적 특성을 가지고 있기 때문에 광범위하고 접근이 어려운 지역의 지표면 온도를 관측하는 데 효과적인 것에 반해 도시 지역 내의 온도 환경을 위한 고해상도 관측에는 한계를 가지고 있다. 또한 인공위성을 사용한 지표면 온도 관측은 실제 태양의 각도에 따른 지표면의 흡수율과 방출열의 차이를 고려하지 않고 평지를 가정하여 지표면 온도의 분포를 연구한다는 문제점을 가지고 있다(Lee *et al.*, 2012). 따라서 지표면의 방출 특성을 이용하여 지표면 온도를 추정하는 방법을 적용할 때 생기는 오차와 함께 구름, 에어로졸과 같은 대기조건, 위성 센서의 감도 문제는 위성으로 관측한 지표면 온도와 실제 지표면 온도 사이의 오차를 증가시키는 요인이 된다(Jee and Choi, 2014; Wan, 2008; Wan and Li, 2008).

열적외 카메라(Thermal Infrared Camera)는 지상에서 지표면 온도를 관측하는 방법 중 하나로서 관측 대상의 표면에서 방출되는 적외선 파장 형태의 에너지와 복사열의 강도를 측정하고 스테판 볼츠만(Stefan-Boltzmann)법칙을 적용하여 관측하는 지점의 온도를 산출한다(Han *et al.*, 2011). 지표면 온도를 관측하는데 있어 열적외 영상(Thermal InfraRed Image (TIRI))은 지표의 피복 형태와 토지이용도에 따른 열 방출률을 반영할 수 있고 비접촉식으로 원하는 면 또는 포인트를 직접 관측할 수 있으며, 측정 대상의 표면을 점, 선, 면적 등으로 선택하여 자료를 획득할 수 있기 때문에 관측점 또는 면의 특성을 비교적 자세히 반영할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 열적외 영상을 이용하여 서울 도심 내의 상업지역과 주거지역의 지표면 온도를 관측하고 대기보정을 적용한 지표면 온도를 산출하였고 동일 지역의 Landsat 8 위성으로 관측한 지표면 온도와 비교분석하였다. 이러한 분석 결과를 이용하여 관측방법과 지표 특성에 따른 지표면 온도의 변화 경향을 분석하였으며 Landsat 8 위성자료 활용의 한계에 대하여 논하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 열적외 영상

서울 도심 내 상업지역과 주거지역의 지표면 온도를 분석하기 위하여 열적외 카메라로 관측한 연구 대상지는 그림 1과 같다. 광화문 관측소는 상업지역을 대표하는 관측소이며 지리적 위치는 37.57°N, 126.98°E이고 고도 32 m에 위치한다(그림 1b). 관측소를 기준으로 600 m 반경 내의 지역이 80 m 이상의 고층 빌딩으로 밀집되어 있으며 출, 퇴근 시간과 그 외 시간의 교통 및 인구의 편차가 매우 큰 지역으로 상업지역을 대표할 수 있다. 중랑 관측소는 주거지역을 대표하는 관측소이고 지리적 위치는 37.59°N, 126.08°E이고 고도 14 m에 위치한다(그림 1c). 관측소를 기준으로 600 m 반경 내의 48%가 주거지역, 6%가 아파트, 1%가 학교로 구성되어 있다(Kwon *et al.*, 2014).

관측 지점의 지표면 온도는 8~12  $\mu\text{m}$ 의 파장대, 320  $\times$  240 픽셀, 21.7°  $\times$  16.4°의 시야각을 가지는 열적외 카메라(Nippon Avionics, TS9230)를 이용하여 5분 간

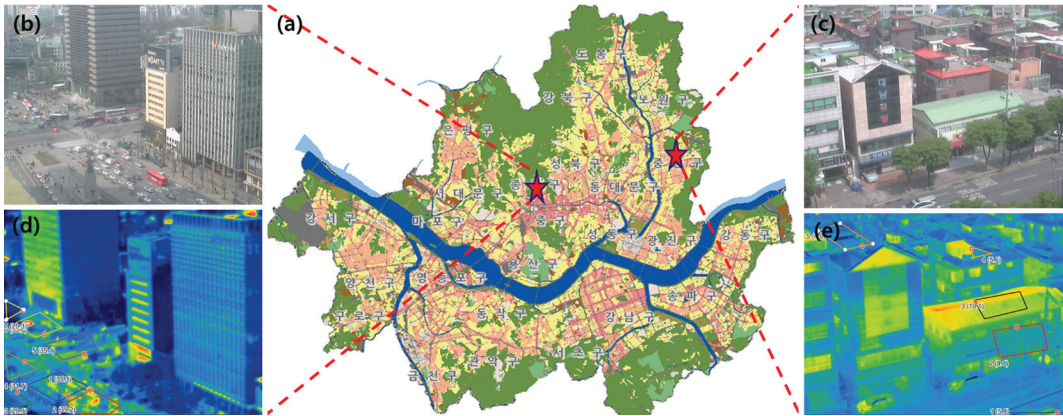


Fig. 1. The locations of WISE observation sites and images observed from visible and thermal infrared camera mounted on the observation sites. The red star on the (a) is location of the WISE observation sites named Gwanghwamun and Jungnang in Seoul. The boxes on the (d) and (e) are analyzed area and description of area are reported on the Table 1.

적으로 관측한 자료를 시간 평균하고, 지면의 이용 형태와 위치에 따라 세부적인 영역들로 분류하였다. 세부적인 영역은 가시영상과 열적외 영상을 비교하여 균질성을 확인하여 분류하였다. 광화문 관측소에서는 아스팔트 도로를 위치에 따라 7개의 세부 영역(그림 1d)으로 구분하여 각 영역들에 해당하는 열적외 온도를 추출하였고, 중랑 관측소에서는 지면의 이용 형태에 따라 5개의 세부 영역(그림 1e)으로 구분하여 각 영역의 열적외 온도를 추출하였다. 관측한 열적외 온도는 방출률과 주변 온도에 대한 대기보정을 위해 식(1)을 적용하여 지표면 온도  $T_{obj}^4$ 를 결정하였다(Rubén *et al.*, 2014).

$$T_{obj}^4 = \frac{1}{\epsilon} (T_{TIR}^4 - T_{amb}^4) + T_{amb}^4 \quad (1)$$

식(1)에서  $T_{TIR}$ 는 열적외 영상에서 감지된 온도,  $T_{amb}$ 는 주변 온도,  $\epsilon$ 는 지표면의 방출률(표 1의 Emissivity 적용)이다.

## 2.2 Landsat 8 지표면 온도

지표면 온도의 위성영상 자료는 16일에 1회 관측이 수행되고 서울시 전역을 1030 LST에서 1110 LST 사이에 관측하는 Landsat 8 위성자료를 사용하였다. Landsat 8 위성에서 관측되는 파장 중 100 m × 100 m 해상도의 대기의 창 영역에 해당되는 11 μm 자료(Band 10; 10.3 μm ~ 11.3 μm)를 이용하여 열적외 카메라로 관측한 지

역과 동일한 영역의 지표면 온도로 산출하였다. Landsat 8 위성자료는 자료와 함께 밴드별로 제공되는 선형 회귀식의 상수와 식(2)를 이용하여 복사에너지를 계산할 수 있다.

$$L_{\lambda} = A Q_{cal} + B \quad (2)$$

식(2)에서  $L_{\lambda}$ 는 위성에서 관측된 복사에너지 ( $w/m^2/sr/\mu m$ )이고  $Q_{cal}$ 은 Landsat 8 위성에서 관측된 정규화 값 (0 ~ 32767),  $A$ 와  $B$ 는 밴드별로 제공된 선형회귀식의 상수이다. 식(2)를 통해 계산된 복사에너지( $L_{\lambda}$ )와 절대 온도(K)사이의 관계성을 이용하여 위성에서 관측된 복사온도를 계산할 수 있다(USGS, 2015).

$$T(K) = \frac{K}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3)$$

식(3)에서  $T(K)$ 는 위성에서 관측한 복사온도이고,  $K_1$ 과  $L_{\lambda}$ 는 보정계수( $w/m^2/sr/\mu m$ )이다.

계산된 위성관측 복사온도는 토지이용도에 따른 방출률( $\epsilon$ , Mallick *et al.*, 2008; Jin and Liang, 2006)을 식(4)에 적용하여 지표면 온도( $T_s$ )를 산출하였다.

$$T_s = \epsilon^{\frac{1}{4}} T(K) \quad (4)$$

지표면 온도는 대기에 의한 영향이 있으나 대기조건이 전체 관측지역 위에서 영역적으로 동일하다고 가정

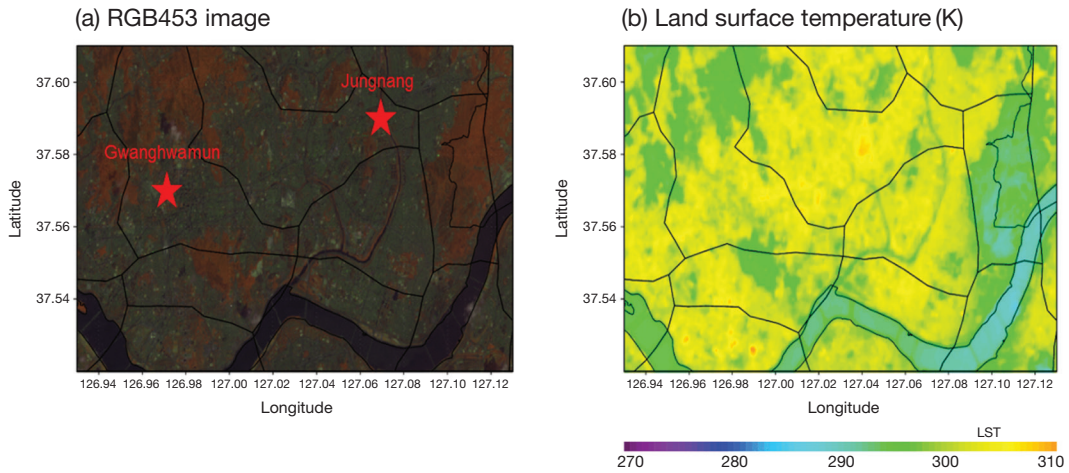


Fig. 2. (a) RGB composite image (R: Band 4, G: Band 5, B: Band 3) and (b) land surface temperature (K) from Landsat 8 satellite at 1120 LST June 15 2014. And red star on the (a) are locations of WISE observational sites.

Table 1. The geolocation and material properties of analyzed areas on Gwanghwamun and Jungnang sites from Figure 1(d) and (e).

Site	Area	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Materials	Emissivity
Gwanghwamun	1	37.5708	126.9767	Asphalt	0.94
	2	37.5705	126.9768	Asphalt	0.94
	3	37.5706	126.9770	Concrete&Grass	0.63
	4	37.5702	126.9770	Asphalt	0.94
	5	37.5702	126.9762	Asphalt	0.94
	6	37.5698	126.9765	Asphalt	0.94
	7	37.5699	126.9770	Trees	0.45
Jungnang	1	37.5912	127.0796	Asphalt	0.94
	2	37.5913	127.0796	Trees	0.45
	3	37.5914	127.0796	Zinc Tin	0.95
	4	37.5914	127.0793	Concrete	0.80
	5	37.5915	127.0791	Concrete	0.80

하여 대기보정은 하지 않았다.

Landsat 8의 특성을 알아보기 위하여 연구영역의 2014년 6월 15일 1100 LST의 Red Green Blue (RGB) 영상과 지표면 온도를 그림 2에 나타내었다. RGB 영상은 조합 방법에 따라 위성의 관측(R (Band 4: 0.655 μm), G (Band 5: 1.365 μm), B (Band 3: 0.5625 μm))의 특성들이 반영되기 때문에 다양한 지표의 특성을 뚜렷하게 구분지을 수 있다(Jee and Choi, 2014).

그림 2a의 RGB 453 영상에서 산림지역은 갈색, 도시는 푸른색 그리고 강은 검은색으로 나타난다. Landsat 8으로 관측한 관측 지역의 지표면 온도(그림 2b)는 강

과 호수 그리고 산림에서 낮게 나타나고 상업지역, 도로, 다리, 아파트 등의 인공적인 피복지역에서 높게 나타난다.

### 2.3 연구 방법

열적외 카메라와 Landsat 8 위성으로 관측한 지표면 온도를 비교하기 위하여 두 자료를 시간 및 공간 일치하였다. Landsat 8 위성영상으로부터 서울 지역을 100 m × 100 m의 해상도로 지표면 온도를 추출하였으며 열적외 영상에서 지표면의 이용 형태와 위치에 따라 구분한 세부 영역의 위, 경도(표 1의 위도와 경도)를 기

준으로 가장 가까운 화소의 값을 공간을 일치시켰다. Landsat 8 위성은 16일을 주기로 관측이 수행되고 1110 LST에 광화문과 중랑 관측소에 해당하는 지점을 통과한다. 관측 시간을 일치시키기 위해 1110 LST에 관측된 열적외 영상 자료를 추출하였다. 열적외 영상과 Landsat 8 위성영상 자료가 모두 사용 가능한 날짜는 총 7일(2013년 12월 21일, 2014년 1월 22일, 2014년 3월 27일, 2014년 5월 14일, 2014년 5월 30일, 2014년 6월 15일, 2014년 7월 1일)이었으며, 해당 날짜의 세부 영역별 지표면 온도 자료는 광화문 관측소에서 총 98개, 중랑 관측소에서 총 70개의 자료가 사용되었다. 시간 및 공간 일치된 열적외 영상과 Landsat 8 위성 영상 자료는 분류에 따라 선형 회귀분석과 상관계수 등의 기초 통계값을 분석하였다.

먼저, 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도의 관측일별 시계열을 분석하였다. 관측소별 세부 영역에 대한 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도의 상관성을 분석한 후 관측일별 상관성을 분석하였다. 마지막으로 관측소별 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도의 상관성을 분석하였고 이에 대한 박스플롯을 분석하여 관측소별 관측일별 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도의 특성을 정리하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도

열적외 카메라와 Landsat 8 위성으로 관측한 광화문 관측소와 중랑 관측소의 각 지점별 지표면 온도를 그림 3에 선정된 사례일에 대하여 시계열로 나타내었다. 분석에 사용된 자료는 위성의 관측 시간과 기상 상태 등 원인으로 적용 가능한 자료만을 활용하였다. Landsat 8의 지표면 온도는 열적외 영상의 지표면 온도와 시간에 따른 경향은 유사하였으나 과소 추정되었다. Landsat 8으로 관측한 지표면 온도의 평균과 표준편차는 광화문 관측소에서  $17.05 \pm 13.79^\circ\text{C}$ , 중랑 관측소에서  $19.27 \pm 14.67^\circ\text{C}$ 로 두 관측소에서 비슷한 수준의 지표면 온도가 관측되었다. 열적외 카메라로 관측한 지표면 온도의 평균과 표준편차는 광화문에서  $22.07 \pm 16.66^\circ\text{C}$ , 중랑에서  $26.20 \pm 16.93^\circ\text{C}$ 로 두 관측소의 지표면 온도 차이가 최저  $1.2^\circ\text{C}$ 에서 최고  $8.9^\circ\text{C}$ 의 차이를 보였다.

두 지역에 대하여 Landsat 8은 비슷한 수준의 지표면 온도를 관측하였지만 열적외 카메라로 관측한 두 지역의 지표면 온도는 상당한 차이를 보이며 지역의

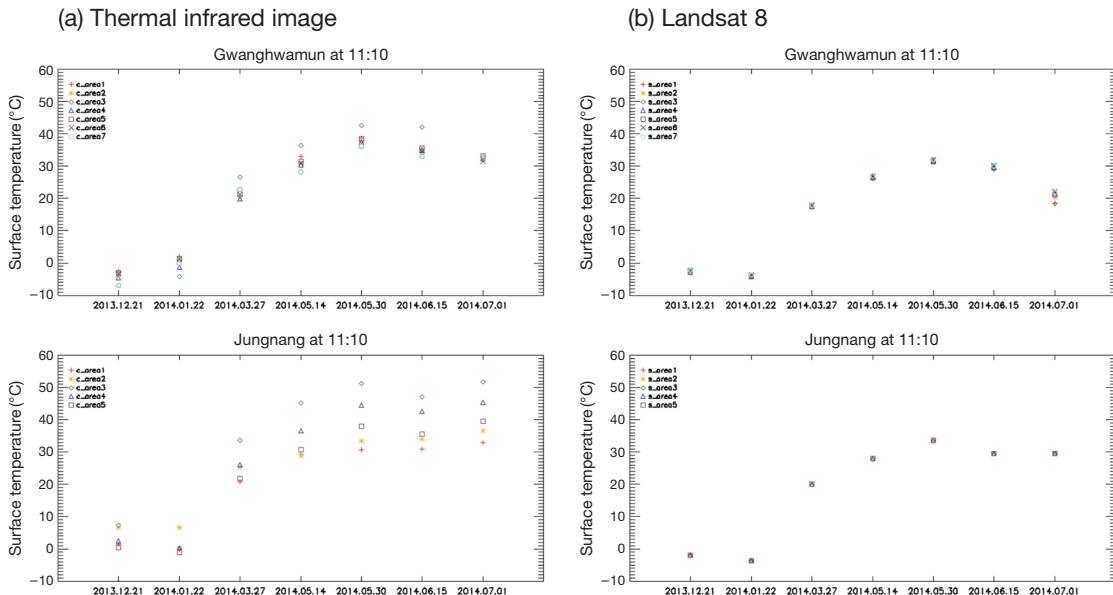


Fig. 3. Timeseries of the surface temperature observed from (a) TIRI and (b) Landsat 8 at the analyzed areas on the Gwanghwamun and Jungnang sites.

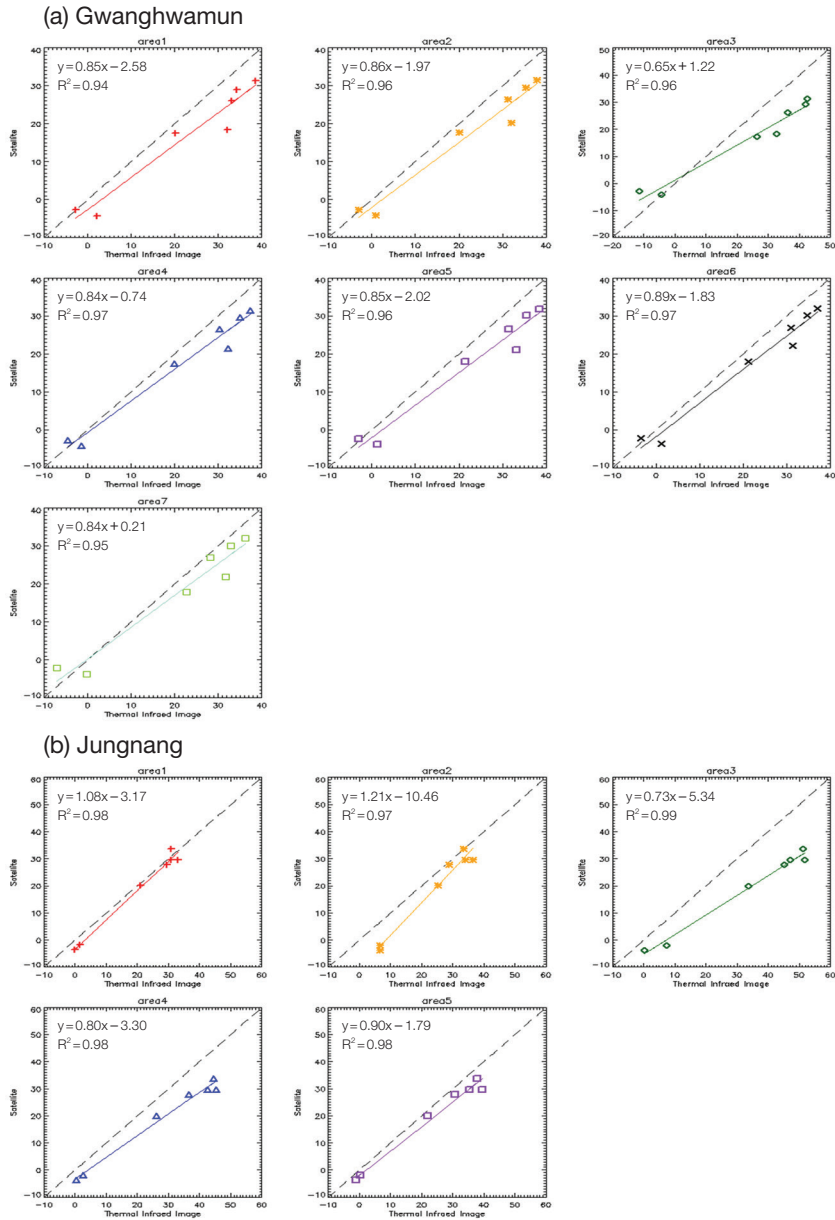


Fig. 4. Scatterplots of surface temperature between TIRI and Landsat 8 depending on analyzed areas on the (a) Gwanghwamun and (b) Jungnang.

지표 특성에 따라 서로 다른 지표면 온도를 나타내는 것을 볼 수 있다. Landsat 8과 열적외 영상의 지표면 온도 차이는 시간과 영역에 따라 광화문 관측소의 경우 0.02°C에서 14.6°C의 차이를 보였으며, 중랑 관측소의 경우 0.09°C에서 22.20°C의 차이로 광화문 관측소보

다 더 큰 차이를 보였다. 계절에 따른 Landsat 8과 열적외 영상의 지표면 온도 차이는 겨울철(12, 1월) 광화문 관측소에서 0.75°C, 중랑 관측소에서 5.28°C이며, 여름철(6, 7월) 광화문 관측소에서 8.89°C, 중랑 관측소에서 10.08°C로 두 관측소 모두에서 겨울보다 여름의 지표

면 온도 차이가 더 크게 나타났다. 이는 Cristóbal *et al.* (2009)의 결과와 같이 위성관측에서 관측된 지표면 온도가 여름철 대기 중 수증기량에 크게 영향을 받은 것으로 분석된다.

### 3.2 지면특성과 위치에 따른 영역별 지표면 온도

열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도를 표 1에 나타난 영역의 위치, 지면의 재질 그리고 방출률을 적용하여 각 영역별 지표면 온도의 상관성 분석을 수행하였다(그림 4). 광화문 관측소에서 7개의 영역별로 관측한 열적외 영상과 Landsat 8의 두 지표면 온도는 0.94에서 0.97의 높은 상관성을 보였고 회귀분석의 기울기가 1.0 이하로 열적외 영상과 비교하여 Landsat 8이 지표면 온도를 과소 추정하였다(그림 4a). 중랑 관측소에서 5개의 영역에 대해 관측한 두 지표면 온도의 상관성은 0.97에서 0.99로 광화문 관측소에서 보다 높은 상관성을 보였다(그림 4b). 그리고 그림 5는 선정 사례일별로 구분하여 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도 상관성을 나타내었다. 광화문 관측소에서 관측한 두 지표면 온도의 사례일별 상관성은 0.17에서 0.63(그림 5a), 중랑 관측소의 경우 0.02에서 0.79(그림 5b)로 사례일에 대한 차이가 있으나 비교적 매우 낮은 상관성을 보였다. 또한 열적외 영상의 지표면 온도 변화와 비교하여 Landsat 8으로 관측한 지표면 온도는 일정하였다. Landsat 8의 해상도는  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 로 지상 관측용 열적외 카메라와 해상도의 차이가 있기 때문에 열적외 카메라는 각 영역별 지표면 온도의 정밀한 고해상도 관측이 가능하나 상대적으로 해상도가 낮은 Landsat 8은  $0.001^\circ$  간격( $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ )의 지표면 온도는 구분되었으나 뚜렷하지 않았다.

열적외 카메라와 Landsat 8의 서울 도심 지역 내 지표 특성에 따른 지표면 온도의 고해상도 관측 비교는 해상도와 관측 시각에 따른 한계가 있으므로 광화문 관측소와 중랑 관측소의 세부 영역들을 하나의 공간으로 평균하여 광화문과 중랑에 대해 산포도와 박스분석을 수행하였다. 그림 6에 나타난 것과 같이 영역 평균하였을 때 열적외 카메라와 Landsat 8으로 관측한 지표면 온도의 상관성은 광화문과 중랑에서 각각 0.96, 0.99로 지면의 이용 형태와 위치에 따라 분류한 각 영역들에 대한 두 지표면 온도의 상관성보다 좋은 상관

성을 보였다. 열적외 영상과 Landsat 8의 영역 평균된 지표면 온도의 평균과 표준편차를 사례일별로 표 2에 나타내었다. 영역 평균된 두 관측소의 지표면 온도 변화를 함께 비교해보면 광화문보다 중랑에서 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도가 더 높게 관측된 반면, 지표면 온도의 편차는 열적외 영상과 Landsat 8의 관측에서 서로 다른 결과를 보였다. 열적외 영상의 지표면 온도 편차는 광화문보다 중랑에서 더 크게 나타났으나, Landsat 8은 광화문의 지표면 온도 편차가 중랑의 지표면 온도 편차보다 큰 값을 보였다(그림 7). 열적외 영상의 지표면 온도 편차에 비해 Landsat 8의 지표면 온도 편차는 두 지역 모두에서 매우 낮은 값으로 영역에 따른 변화가 거의 없이 일정하게 관측되며 열적외 카메라의 관측과 달리 각 영역별 지표면 온도를 관측하지 못했다.

이와 같은 결과는 도시 지역 내의 특성화된 산업 종류에 따라 다양한 토지 이용과 불규칙하고 복잡한 건물의 구조가 형성되며 도시 내에서 지면의 이용 형태와 위치에 따라 지표면 온도의 다양한 수평 공간 분포가 나타난다. 따라서 수 km 이내의 국지 기상현상이 나타나는 대도시의 기상 특성을 제대로 규명하기 위해서는 지면 부근의 미세규모 고해상도 관측을 이용한 정밀한 지표면 온도의 관측이 요구된다. 고해상도 위성영상 자료로부터 추출한 지표면 온도는 도시 전체에 대한 열 환경의 공간적 분포 특성 해석을 위해서 활용될 수 있으나, 지면 조건을 반영한 수 m 규모 범위에 적용할 경우에는 해상도 문제를 고려하여 활용해야 할 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

서울의 상업지역에 위치한 광화문 관측소와 주거지역에 위치한 중랑 관측소에서 열적외 카메라로 관측한 지표면 온도를 지면 조건의 특성을 적용하여 대기보정하였고 Landsat 8 위성으로 관측한 지표면 온도와 비교하여 지역의 지표면 온도 특성을 분석하였다. 지표면 온도 분석을 위하여 2013년 12월부터 2014년 7월까지 Landsat 8 위성이 연구 대상 지역을 통과하는 1110 LST에 관측된 자료를 사용하였다.

광화문과 중랑에서 Landsat 8의 지표면 온도는 열적

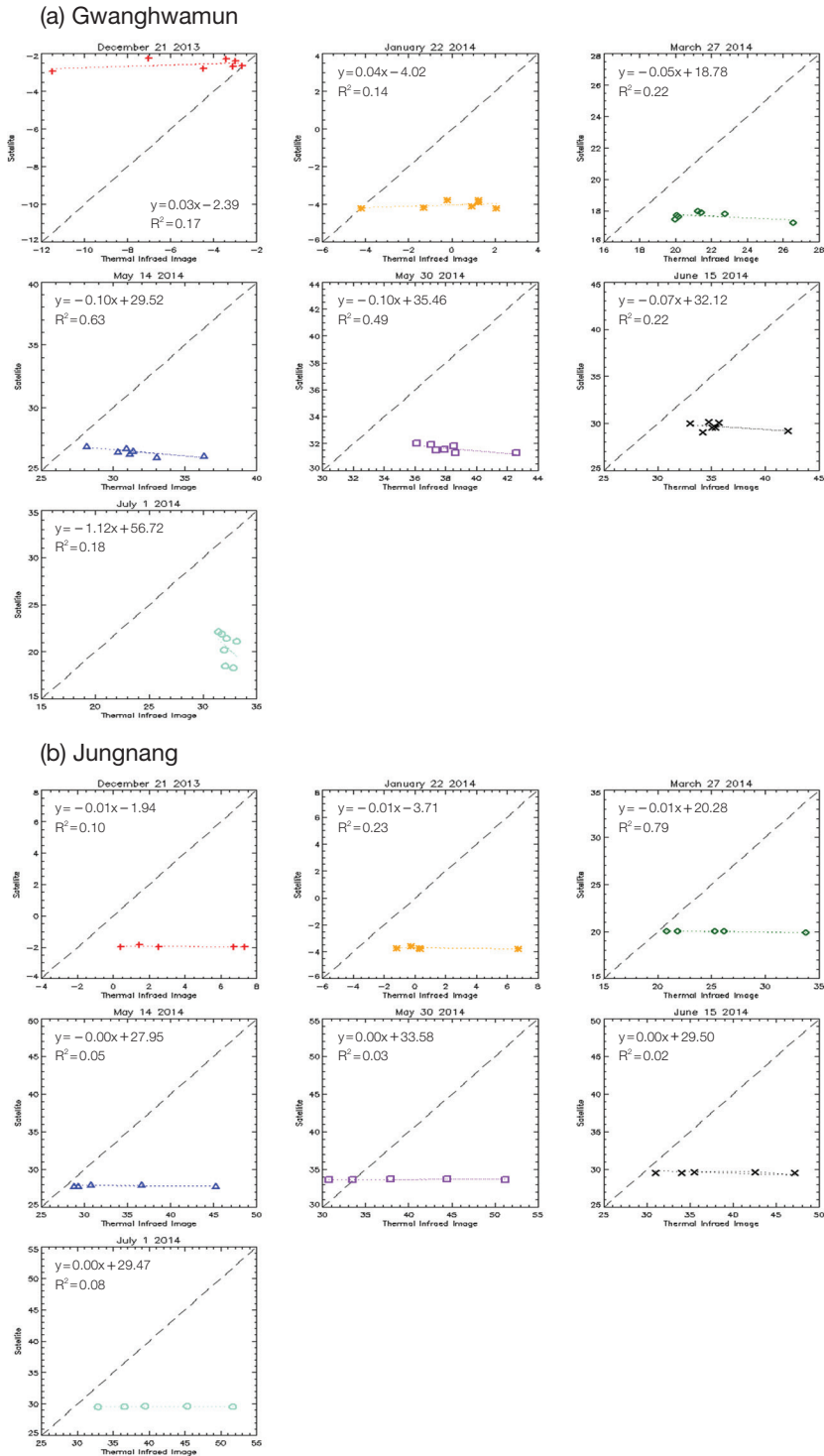


Fig. 5. Scatterplots of surface temperature between TIRI and Landsat 8 depending on observation date at the (a) Gwanghwamun and (b) Jungnang.



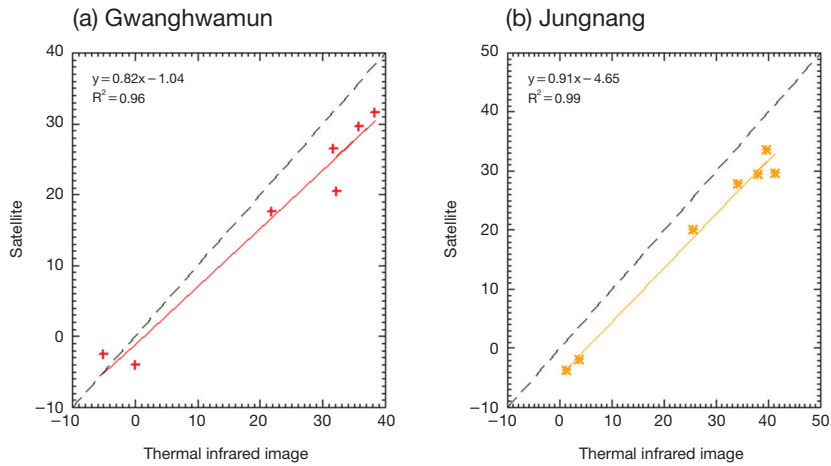


Fig. 6. Scatterplot of surface temperature of averaged areas between TIRI and Landsat 8 at the (a) Gwanghwamun and (b) Jungnang.

Table 2. The mean and standard deviation of surface temperature retrieved from TIRI and Landsat 8 for the all dates.

Site	Date	Mean (°C)		Standard Deviation	
		TIRI	Landsat 8	TIRI	Landsat 8
Gwanghwamun	21 Dec. 2013	-5.03	-2.56	3.21	0.26
	22 Jan. 2014	-0.04	-4.02	2.14	0.20
	27 Mar. 2014	21.72	17.67	2.35	0.25
	14 May 2014	31.64	26.49	2.54	0.30
	30 May 2014	38.33	31.64	2.08	0.29
	15 Jun. 2014	35.71	29.66	2.95	0.43
	01 Jul. 2014	32.21	20.48	0.59	1.57
Jungnang	21 Dec. 2013	3.69	-1.96	3.12	0.05
	22 Jan. 2014	1.19	-3.72	3.15	0.06
	27 Mar. 2014	25.58	20.00	5.09	0.06
	14 May 2014	34.16	27.84	6.94	0.09
	30 May 2014	39.57	33.65	8.32	0.08
	15 Jun. 2014	38.06	29.54	6.61	0.05
	01 Jul. 2014	41.20	29.56	7.41	0.05

외 영상의 지표면 온도와 비교하여 과소 추정하였다. 특히, Landsat 8으로 관측한 광화문과 중랑의 지표면 온도의 차이는 0.1°C에서 2.0°C에 불과했으나 열적외 카메라로 관측한 광화문과 중랑의 지표면 온도는 최고 8.9°C의 차이를 보이며 더 정교한 지표면 온도를 관측하였다.

계절에 의한 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도 차이는 겨울철(12, 1월)에는 광화문과 중랑에서 각각 0.74°C, 5.27°C, 여름철(6, 7월)에는 광화문과 중랑

에서 각각 8.23°C, 10.08°C이었고 겨울철과 비교하여 여름철에 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도 차이가 더 크게 나타났다. 계절에 따른 기상 상태를 고려해 볼 때 여름철에 증가한 수증기량의 영향으로 위성 관측이 여름철 지표면 온도를 더욱 과소 추정하는 것으로 분석된다.

광화문과 중랑의 관측영역을 지면의 재질과 위치에 따라 세부 영역(광화문 7구역, 중랑 5구역)으로 구분하여 각 영역별로 지표면 온도를 분석하였다. 세부 영역

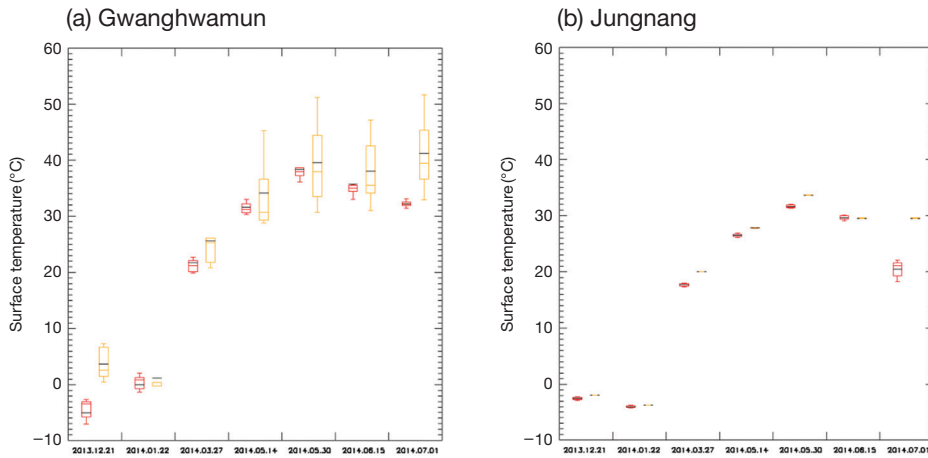


Fig. 7. Boxplots of surface temperatures from TIRI (red) and Landsat 8 (yellow) at Gwanghwamun and Jungnang. X-axis represent date of cases.

들에 대해 Landsat 8으로 관측한 지표면 온도는 열적외 영상의 지표면 온도와 비교하여 대체로 과소 추정하였다. 각각의 세부 영역별로 구분하여 분석된 시간에 따른 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도 상관계수의 평균과 표준편차는 광화문과 중랑에서 각각  $0.96 \pm 0.01$ 과  $0.98 \pm 0.01$ 로 높은 상관성을 보였고 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도는 시간에 따라 비슷한 변화 경향을 나타냈다. 선정 사례일별로 구분하여 분석된 각 영역에 대한 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도 상관계수의 평균과 표준편차는 광화문과 중랑에서 각각  $0.29 \pm 0.18$ 과  $0.18 \pm 0.27$ 로 낮은 상관성을 보였다. 이러한 결과는 Landsat 8의 경우 공간 해상도 문제로 정교한 지표면 온도를 추출하지 못하기 때문에 관측한 각 영역들의 지표면 온도가 거의 일정하게 나타났다. 반면에 해상도가 높은 열적외 카메라는 수 m 규모의 지표면 온도를 정밀하게 관측하여 수평영역 내에서 매우 다양한 지표면 온도의 변화 경향이 나타나는 것을 보여준다. 관측소별로 세부 영역들을 평균하여 분석한 경우, 열적외 영상과 Landsat 8의 지표면 온도 상관계수는 광화문과 중랑에서 각각 0.96과 0.99의 높은 상관관계를 보였다. 영역 평균된 두 관측소의 지표면 온도는 광화문보다 중랑에서 평균적으로 더 높게 관측되었으며, 광화문에서의 지표면 온도가 중랑에 비해 일관성이 적었다.

결과적으로 도시 내에서 지역의 특성을 반영한 지면

의 이용 형태와 위치에 따라 다양한 지표면 온도의 공간 분포가 나타나고 있지만, 위성영상은 해상도의 한계와 기상 상태에 따른 대기 중 수증기량 등의 영향으로 인하여 지면 조건을 반영한 수 m 규모 범위에서는 정밀한 지표면 온도를 관측하지 못한다. 따라서 수 km 이내에서 발생하는 국지 기상현상을 정확히 파악하고 이를 분석하기 위해서는 지면 부근의 직접 관측을 이용한 도시 기상 연구가 수행되어야 한다. 열적외 카메라를 이용한 관측은 수 m 규모의 기상 요소 변화를 관측할 수 있는 하나의 방법으로 지표면의 관측자료가 부족한 지역의 고해상도 지표면 온도와 도시열섬 현상, 에너지수지 등의 연구에 유용할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 기상청 차세대도시농림융합스마트기상서비스개발(WISE) 사업의 지원으로 수행되었습니다(KMIPA-2012-0001-1).

### References

Cleugh, H.A. and T.R. Oke (1986) Suburban-rural energy balance comparisons in summer for Vancouver, B. C.

- Boun.-Lay. Meteorol., 36(4), 351-369.
- Cristóbal, J., J. Jiménez-Muñoz, J. Sobrino, M. Ninyerola, and X. Pons (2009) Improvements in land surface temperature retrieval from the Landsat series thermal band using water vapor and air temperature, *J. Geophys. Res.*, 114(D8), doi:10.1029/2008JD010616.
- Han, S.W., J.K. Jang, and J.S. Kim (2011) Research on the surface temperature of greenery plants for the quantization of the urban heat island effects, *Proc. Archi. Inst. Kor. Con.*, 32(2), 247-248. (in Korean with English abstract)
- Jee, J.B. and Y.J. Choi (2014) Conjugation of Landsat data for analysis of the land surface properties in capital area, *J. Korean Earth Sci. Soc.*, 35(1), 54-68. (in Korean with English abstract)
- Jee, J.B., K.T. Lee, and Y.J. Choi (2014) Analysis of land surface temperature from MODIS and Landsat satellite using by AWS temperature in capital area, *Korean J. Remote Sens.*, 30(2), 315-329. (in Korean with English abstract)
- Jin, M., R.E. Dickinson, and D.L. Zhang (2005) The footprint of urban areas on global climate as characterized by MODIS, *J. Climate*, 18(10), 1551-1565.
- Jin, M. and S. Liang (2006) An improved land surface emissivity parameter for land surface models using global remote sensing observations, *J. Climate*, 19(12), 2867-2881.
- Kwon, T.H., M.S. Park, C.Y. Yi, and Y.J. Choi (2014) Effects of different averaging operators on the urban turbulent fluxes, *J. Korean Meteor. Soc.*, 24(2), 197-206. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.D., K.J. Bhang, and S.H. Han (2012) Analysis of correlation between topography and ground surface temperature using Landsat 7 ETM+ satellite data, *Proc. Kor. Con. Assoc.*, 2012(5), 131-132. (in Korean with English abstract)
- Meier, M., D. Scherer, J. Richters, and A. Christen (2011) Atmospheric correction of thermal-infrared imagery of the 3-D urban environment acquired in oblique viewing geometry, *Atmos. Meas. Tech.*, 4(5), 909-922.
- Na, S.I., J.H. Park, and H.S. Shin (2008) Change detection of NDVI, surface temperature and VTCI in Saemangeum area using satellite imagery, *Korean Natl. Comm. Irrigation and Drain. Jour.*, 15(1), 28-38.
- Park, M.H. (2001) A study on the urban heat island phenomenon using Landsat TM thermal infrared data-in the case of Seoul, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, 21(6-D), 861-874. (in Korean with English abstract)
- Rubén, U., P. Venegas, J. Guerediaga, L. Vega, J. Molleda, and G.B. Francisco (2014) Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing, *Sensors*, 14(7), 12305-12348, doi:10.3390/s140712305.
- USGS (2015) LANDSAT 8 (L8) Data Users Handbook. Department of the Interior US Geological Survey, L8DS-1574 Version 1.0, 105 pp.
- Voogt, J.A. and T.R. Oke (1997) Complete urban surface temperature, *J. Appl. Meteor.*, 36(9), 1117-1132.
- Wan, Z.M. (2008) New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/ emissivity products, *Remote Sens. Environ.*, 112(1), 59-74.
- Wan, Z. and Z.L. Li (2008) Radiance-based validation of the V5 MODIS land surface temperature product, *Int. J. Remote Sens.*, 29(17-18), 5373-5395.