

# 무인항공기에 탑재된 열적외선 센서 기반의 지표면 온도 정사영상 제작 및 피복별 온도 정확도 분석

## Generation of Land Surface Temperature Orthophoto and Temperature Accuracy Analysis by Land Covers Based on Thermal Infrared Sensor Mounted on Unmanned Aerial Vehicle

박진환<sup>1)</sup> · 이기림<sup>2)</sup> · 이원희<sup>3)</sup> · 한유경<sup>4)</sup>

Park, Jin Hwan · Lee, Ki Rim · Lee, Won Hee · Han, You Kyung

### Abstract

Land surface temperature is known to be an important factor in understanding the interactions of the ground-atmosphere. However, because of the large spatio-temporal variability, regular observation is rarely made. The existing land surface temperature is observed using satellite images, but due to the nature of satellite, it has the limit of long revisit period and low accuracy. In this study, in order to confirm the possibility of replacing land surface temperature observation using satellite imagery, images acquired by TIR (Thermal Infrared) sensor mounted on UAV (Unmanned Aerial Vehicle) are used. The acquired images were transformed from JPEG (Joint Photographic Experts Group) to TIFF (Tagged Image File Format) format and orthophoto was then generated. The DN (Digital Number) value of orthophoto was used to calculate the actual land surface temperature. In order to evaluate the accuracy of the calculated land surface temperature, the land surface temperature was compared with the land surface temperature directly observed with an infrared thermometer at the same time. When comparing the observed land surface temperatures in two ways, the accuracy of all the land covers was below the measure accuracy of the TIR sensor. Therefore, the possibility of replacing the satellite image, which is a conventional land surface temperature observation method, is confirmed by using the TIR sensor mounted on UAV.

Keywords : UAV, TIR Sensor, Land Surface Temperature Orthophoto, Land Cover

### 초 록

지표면 온도는 지면-대기의 상호 순환을 이해하는데 중요한 요소로 알려져 있지만 시공간적 변동성이 크기 때문에 정규적인 관측은 거의 이루어지지 못하고 있다. 기존의 지표면 온도는 위성 영상을 이용하여 관측하고 있지만 위성의 특성상 긴 재방문주기와 낮은 정확도의 한계를 가지고 있다. 본 연구에서는 기존의 위성 영상을 활용한 지표면 온도 관측의 대체가능성을 확인하기 위해 무인항공기에 열적외선 센서를 탑재하여 단일 영상을 취득하였다. 취득된 영상은 JPEG 영상에서 TIFF 영상으로 변환하여 정사영상을 제작하였으며 정사영상의 DN값을 이용하여 실제 지표면 온도로 계산하였다. 계산된 피복별 지표면 온도의 정확도를 평가하기 위해 영상촬영과 동시에 적외선 온도계로 직접 관측한 지표면 온도와 비교하였다. 두 가지 방법으로 관측한 지표면 온도를 비교 했을 때, 모든 피복들에 대해서 정확도가 열적외선 센서의 관측 정확도 이하로 나타났다. 따라서 무인항공기에 탑재된 열적외선 센서를 이용하여 기존의 지표면 온도 관측 방법인 위성 영상의 대체 가능성을 확인하였다.

핵심어 : 무인항공기, 열적외선 센서, 지표면 온도 정사영상, 토지 피복

Received 2018. 06. 21, Revised 2018. 06. 29, Accepted 2018. 08. 19

1) Korea Land and Geospatial InformatiX Corporation (E-mail: wlsghkss123@naver.com)

2) Department of Geospatial Information, Kyungpook National University (E-mail: geolee@knu.ac.kr)

3) Member, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University (E-mail: wlee33@knu.ac.kr)

4) Corresponding Author, Member, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University (E-mail: han602@knu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

최근 기후변화와 급속한 도시화에 따라 지표면 온도가 상승하고 도시의 기온이 교외보다 높아지는 도시열섬현상(UHI: Urban Heat Island)이 발생하고 있다. 이러한 원인은 콘크리트 및 포장면의 증가, 녹지 감소, 기상변화 등 여러 요인들에 의해 나타난다(Cho *et al.*, 2014). 특히, 지면-대기의 상호순환을 이해하는데 지표면온도는 매우 중요한 인자로 알려져 있을 뿐만 아니라 지표면 온도는 기후모델 및 농업 등에 사용되며, 토지피복과 식생 분포의 상태, 토양수분 및 증발산 등 다양한 인자의 영향을 받기 때문에 정확한 산출이 요구된다(Baek and Choi, 2012). 하지만 지표면은 구성요소가 다양하고 상대적으로 비열이 작아서 다른 기상요소에 비해 지표면온도는 시공간적으로 변동성이 매우 크다. 이러한 이유 때문에 지표면온도는 현재까지 정기적인 관측이 거의 이루어지지 못하고 있다(Suh, 2012).

대부분 지표면의 온도 관측은 주로 Landsat 인공위성 자료를 활용한 원격탐사 방법으로 수행되고 있으며 넓은 지역을 한번에 관측할 수 있는 장점이 있다. 하지만 Landsat 위성은 관측 주기가 충분히 조밀하지 않기 때문에 원하는 시기에 자료를 획득하기에 어려움이 있다(Kang *et al.*, 2014). Cho *et al.* (2016)은 열적외선 영상과 Landsat-8 위성으로 관측된 지표면 온도를 기상관측소에서 측정된 온도와 비교 하였으나, Landsat-8 위성영상의 낮은 공간해상도(100m × 100m)로 인해 정교한 지표면 온도를 추출하지 못하였다. Bae *et al.* (2018)은 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 영상과 5곳의 기상관측소 온도 자료를 비교했을 때, 관측소별로 2.22°C~3.05°C의 평균제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error)를 보임을 밝혔다. 따라서 위성영상을 통한 지표면 온도는 km 규모에서 관측은 적합하지만, m 규모 범위에서는 정밀한 지표면 온도를 관측하기에는 어려움이 있음을 알 수 있다.

앞서 서술한 위성영상을 활용한 지표면 온도 측정 연구 동향에서 알 수 있듯이 위성영상 특성상 긴 재방문주기와 낮은 공간해상도의 한계를 지니고 있다. 최근 이러한 문제점을 보완하기 위해서 열적외선 센서를 이용한 연구들이 국내외에서 다양하게 진행되고 있다.

국내연구동향 중에서 Lee and Lee (2017)는 열적외선 센서가 탑재된 고정익 무인항공기를 이용하여 태양광 셀의 발열을 분석하였으며 태양광 모듈의 코드를 자동 식별함으로써 모니터링 및 유지보수가 필요한 태양광 패널을 신속하게 추출할 수 있는 방법론을 제시하였다. Kang *et al.* (2014)은 저비용의 저상용 열적외선 카메라를 항공기에 탑재하여 연안 해수표층온도를 추출연구를 수행하였으며 항공기로 추출한 해수표층온

도와 선박 현장 관측자료와 비교하였을 때 1°C 이내의 오차범위 이하에서 해수표층온도를 획득하였다. Ryu and Um (2013)은 원격 열화상 카메라를 통해 취득된 겨울철 지붕색상별 표면 온도자료를 활용하여 온도 변화 추세를 비교하였으며 쿨루프(cool roof)로 인한 겨울철 난방 부하를 예측하는데 중요한 참고 자료로 사용될 가능성을 제시하였다.

국외연구동향 중에서 Thomas (2018)는 저가의 열적외선 센서가 탑재된 무인항공기를 이용하여 고고학 프로젝트분야에서 효율적인 사용가능성을 평가하였으며 이전 연구에서 제안된 것보다 훨씬 낮은 비용으로 동등하거나 그 이상의 결과를 취득할 수 있는 가능성을 제시하였다. 정밀 농업(precision agriculture) 분야에서는 무인항공기에 탑재된 고해상도 센서를 활용한 주기적인 모니터링 및 생산량 추정과 관련된 다양한 연구가 진행되고 있으며(Khanal *et al.*, 2017), 특히, 무인항공기에 탑재된 열적외선 센서는 식물의 성장에 가장 큰 영향을 끼치는 수분 스트레스(water stress) 정도를 추정할 수 있다는 점에서 활용도가 높다(Santesteban *et al.*, 2017). Turner *et al.* (2014)은 다양한 센서가 탑재된 무인항공기를 이용하여 남극 이끼 생태계의 생리학적 상태를 조사하였으며 다양한 센서로부터 취득된 이미지 데이터 세트의 상호 등록(co-registration) 방법론에 대한 정확성을 입증하였다. Gonzalez-Dugo *et al.* (2013)은 무인항공기에 탑재된 열적외선 센서를 이용하여 서로 다른 상업용 과수원 내의 과일 나무 종의 수위 변화를 평가하고 정밀 농업 및 적자 관개 전략(deficit irrigation strategies)에서 수질관리를 위한 중요한 도구로 사용될 수 있는 가능성을 제시하였다.



이전의 연구들에서는 주로 단일 대상물에 대한 온도만을 분석하였기 때문에 다양한 지표면의 구성요소에 포함된 온도를 추출하기에는 한계가 있었다. 이에 본 연구에서는 다양한 피복들에 대한 열적외선 센서의 활용 가능성을 평가하기 위해 다양한 피복들이 산재되어있는 연구대상지역을 선정하여 무인항공기에 탑재된 열적외선 센서로부터 단일영상들을 취득하였다. 취득된 단일 영상으로 정사영상을 제작하였으며, 정사영상의 DN (Digital Number) 값을 이용하여 지표면 온도를 산출하였다. 정사영상에서 산출된 피복별 지표면 온도는 항공영상 촬영과 동시에 적외선 온도계로 직접 관측한 피복별 지표면 온도와 비교하여 정확도 평가를 수행하였다.

## 2. 자료 및 연구방법

### 2.1 무인항공기 및 열적외선 센서 제원

무인항공기는 크게 고정익 무인항공기는 크게 고정익 무인

Table 1. Specifications of UAV and TIR sensor

| UAV: Inspire 2  |                  | TIR sensor: FLIR vuepro R  |                             |
|---|------------------|--|-----------------------------|
|  |                  |  |                             |
| <b>Weight</b>   | 3290g            | <b>Resolution</b>  | 640 × 512                   |
| <b>Speed</b>  | ≤ 94km/h         | <b>Focal length</b>  | 19mm                        |
| <b>Flight altitude</b>  | ≤ 2500m          | <b>Spectral range</b>  | 7.5~13.5μm                  |
| <b>Flight time</b>  | ≤ 27min          | <b>FOV</b>   | 32° × 26°                   |
| <b>Hovering accuracy</b>  | Vertical: 0.5m   | <b>Measurement accurac</b>   | ±5°C or 5% of reading       |
|   | Horizontal: 1.5m | <b>Thermal imager</b>  | Uncooled VOx microbolometer |

항공기와 회전익 무인항공기로 나눌 수 있다. 고정익 무인항공기는 체공시간이 길기 때문에 넓은 지역을 한 번의 비행으로 촬영할 수 있지만 정지비행이 불가능하며 이착륙을 위한 별도의 활주로가 필요한 단점이 있다. 반면 회전익 무인항공기는 비행시간이 짧아 한 번의 비행으로 넓은 지역을 촬영할 수 없지만 수직 이착륙과 정지비행이 가능하다. 따라서 연구대상지역과 같이 건물들이 다수 분포되어 있는 지역의 항공사진촬영이 더 적합하기 때문에 회전익 무인항공기인 DJI사의 inspire 2 모델을 선정하였다.

열적외선 센서는 7.5~13.5μm의 파장대를 가지고 있는 FLIR사의 vuepro R을 이용하였으며 열적외선 영상촬영에 주로 사용되는 장파장 적외선(LWIR: Long-Wavelength Infrared) 대역(8~15μm)에 해당된다. 데이터 취득에 이용된 무인항공기와 열적외선 센서의 상세한 제원은 Table 1로 나타내었다.

## 2.2 연구대상지 및 데이터 취득

다양한 피복별 지표면 온도를 산출하기 위해 연구지역은 비교적 좁은 지역이면서 아스팔트, 대리석, 잔디, 우레탄, 등과 같이 다양한 피복들이 산재되어 있는 경상북도 상주시 가장동에 위치한 경북대학교 상주캠퍼스를 연구지역으로 선정하였다.

항공영상촬영은 기상요건과 지표면의 상태를 고려하여 2018년 3월 20일 실시하였다. 영상의 중복도와 무인항공기 최대비행시간에 따라서 Fig 1과 같이 총 8개의 비행코스를 Pix 4D 어플리케이션에서 수립하여 약 110m의 고도에서 7~8m/s의 속력으로 비행하여 총 444매의 열적외선 영상을 취득하였다.

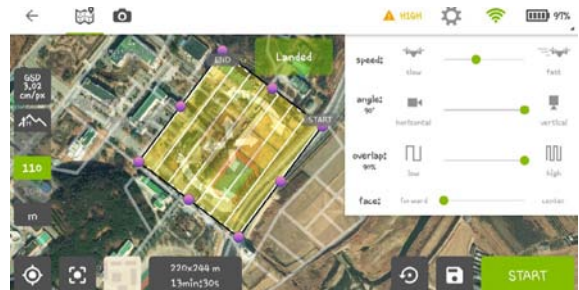



Fig. 1. Flight course of study area

열적외선 영상의 정확도 검증은 기상관측소 자료를 이용하는 것이 일반적이지만, 연구대상지는 기상관측소와 거리가 멀리 떨어져 있으며 기상관측소 자료를 다양한 피복들이 산재된 연구대상지의 온도 정확도 검증에 활용하기에는 적합하지 않다. 따라서 ±1.5°C의 정확도로 -50~380°C 범위의 온도를 측정할 수 있는 적외선 온도계(GM320)를 사용하여 지표면 온도 정사영상의 정확도 평가를 수행하였으며 상세한 제원

Table 2. Specifications of thermometer

| Thermometer: GM320  |                          |                       |
|---|--------------------------|-----------------------|
|  | <b>Temperature range</b> | -50~380°C (-58~716°F) |
|   | <b>Accuracy</b>          | 1.5% or 1.5°C         |
|   | <b>Resolution</b>        | 0.1°C                 |
|   | <b>Wave length</b>       | 8~14μm                |
|   | <b>Emissivity</b>        | 0.95                  |

은 Table 2로 나타내었다. 지표면 온도의 시간적 오차를 최소화하기 위해 항공영상촬영과 동시에 각각의 피복에 해당하는 온도를 측정하였다. 항공영상촬영보다 실제 지표면 온도를 온도계로 측정하는데 시간이 더 많이 소요되었으며, 최대 15분 정도의 시간차이가 발생하였다.

### 3. 연구내용

Fig. 2는 연구흐름을 그림으로 나타낸 것이다. 먼저 다양한 종류의 지표면이 포함되도록 비행 코스를 수립한 후 시간적 오차를 최소화하기 위해 항공영상촬영과 동시에 지표면 온도를 적외선 온도계로 직접 측정하였다. 항공영상촬영으로 취득된 초기 단일 열적외선 영상은 8-bit JPEG (Joint Photographic Experts Group) 형식으로 저장되기 때문에 정사영상으로 제작하기 이전에 원시 데이터(raw data)가 포함된 TIFF (Tagged Image File Format) 영상으로 변환하는 과정이 필수적으로 선행되어야 제작된 정사영상의 DN값으로 지표면 온도를 계산할 수 있다. 계산된 피복별 지표면 온도는 적외선 온도계로 직접 관측한 온도와 비교하여 정확도 평가를

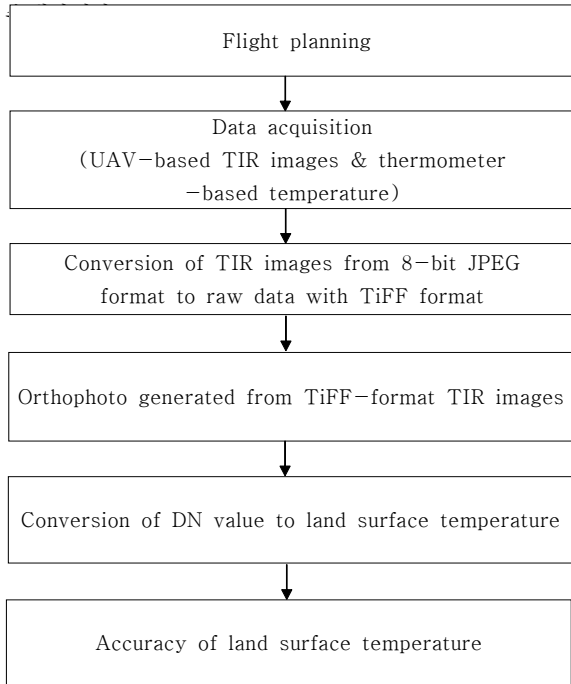


Fig. 2. Work flow of the proposed approach

### 3.1 원시 데이터 변환

항공영상촬영으로 취득된 초기 열적외선 영상은 8bit JPEG 영상으로 취득되며 이 영상들은 FLIR사에서 제공하는 전용 소프트웨어에서만 지표면의 온도를 확인할 수 있다. 이를 정사영상으로 제작할 경우에는 온도 값이 아닌 8bit DN 값으로 저장이 된다. 따라서 접합된 정사영상의 DN값으로 지표면의 온도를 계산하기 위해 각각의 단일 JPEG 영상을 exiftool 소프트웨어를 이용하여 온도 영상으로 복원할 수 있는 원시 데이터가 포함된 16bit TIFF 영상으로 변환하는 과정이 선행되어야 한다.

취득된 열적외선 영상은 복사휘도(radiance) 데이터와 임베디드(embedded) 이미지 메타 데이터(Exif: EXchangable Image File format)가 포함된 JPEG 이미지로 구성된다. Exif 정보는 예상 온도를 계산하는데 필요하며 특정 메타데이터 태그를 추가하여 기존 JPEG 파일 형식을 사용하며 계산을 위해 여러 매개 변수값을 제공한다(Di Felice *et al.*, 2018). 따라서 cmd창에서 exiftool을 실행하여 취득된 444매의 초기 JPEG 영상에 저장된 메타 데이터와 -rawthermalimage -b 명령어를 이용하여 모두 원시 데이터가 포함된 TIFF 영상으로 변환하였다.

### 3.2 영상접합

8-bit JPEG 영상에서 TIFF 영상으로 변환된 열적외선 단일영상들은 SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) 기법과 SfM (Structure from Motion) 기법을 이용하여 자동으로 영상접합이 가능한 Photoscan 소프트웨어를 통해 정사영상

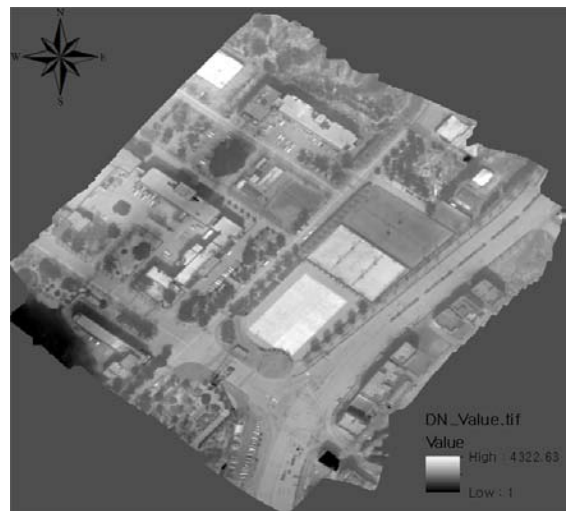


Fig. 3. Orthophoto generated from TIFF-format TIR images

을 제작하였다. SIFT기법은 축척과 조명 그리고 회전에 강인한 특성을 지니는 키포인트 서술자(keypoint descriptor)를 생성하는 기법이며 scale-space extrema detection, keypoint localization, orientation assignment, keypoint descriptor의 4 단계로 구성되어 있다(Lowe, 2004). Fig. 3은 제작된 정사영상의 DN값을 gray-scale로 나타낸 것으로 DN값이 높을수록 밝게 나타난다. 영상의 중복도는 가장자리를 제외하고 대부분 9매 이상으로 나타났으며 단일영상의 중복된 부분에서 SIFT 기법을 이용하여 키포인트 서술자를 추출하였다. 추출된 키포인트 서술자는 SfM 기법을 이용하여 3차원 모델로 구축하고 최종적으로 영상의 질감생성과 최적화 작업을 통하여 정사영상을 생성하였다.

### 3.3 지표면 온도 산출

제작된 정사영상의 DN값을 Eq. (1)에 적용하여 전체적인 지표면 온도로 변환할 수 있다(Aubrecht *et al.*, 2016; Di Felice *et al.*, 2018). Eq. (1)에 대한 각각의 매개변수들은 열적외선 센서 및 촬영당시의 환경에 따라 다르다. 본 연구에서 사용된 열적외선 센서의 매개변수 *PlanckR1*, *PlanckR2*, *PlanckB*, *PlanckF*, *PlanckO*,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , *X*는 대기에 의한 감쇠량을 계산하기 위해 센서마다 저장된 고유의 값이며(Aubrecht *et al.*, 2016), 촬영환경에 대한 매개변수 *Dist*, *RAT*, *Hum*, *AirT*, *E*는 사용자가 촬영환경에 따라 설정할 수 있다. 각각의 정의된 매개변수들은 열적외선 영상의 헤더(header)에 포함이 되며 값들은 Table 3에 정리하였다. 눈과 물이 없는 표면의 방사율(emissivity)은 일반적으로 0.95 이상으로 높게 나타난다(Karbou and Prigent, 2005). 따라서 방사율을 0.95로 설정하였으며, 이는 정확도 검증에 사용된 적외선 온도계의 방사율과도 동일하다. 항공영상 촬영 시 비행고도를 110m로 설정하였다. 온도 측정 대상물과 센서의 거리는 비행고도에 가장 큰 영향을 받으며, 비행 자세, 비행 환경, 영상에서 대상물의 위치 요인에 의해 약간의 차이가 있을 수 있지만 이는 비행고도에 비해 무시할만한 정도로 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지표면 온도를 계산할 때 필요한 변수인 센서와 대상물간의 거리를 비행고도와 동일한 110m로 설정하였다. 지표면 온도 산출과정은 matlab 소프트웨어를 이용하여 구축하였으며 Fig. 4는 TIFF 영상의 DN값을 실제 지표면 온도로 변환한 예를 그림으로 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned}
 H_2O &= Hum * EXP(1.5587 + 0.06939 * AirT - 0.00027816 * AirT + 0.00000068455 * AirT) \\
 Raw_{B_{ref}} &= \frac{PlanckR1}{PlanckR2 * (EXP(\frac{PlanckB}{AirT + 273.15}) - PlanckF) - PlanckO} \\
 T &= X * EXP(-\sqrt{Dist} * (\alpha_1 + \beta_1 * \sqrt{H_2O})) + (1 - X) * EXP(-\sqrt{Dist}) * (\alpha_2 + \beta_2 * \sqrt{H_2O}) \\
 Raw_{Atmos_{B_{ref}}} &= \frac{PlanckB}{PlanckR2 * (EXP(\frac{PlanckB}{RAT + 273.15}) - PlanckF) - PlanckO}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 Raw_{object} &= \frac{DN - ((1 - \tau) - Raw_{Atmos_{B_{ref}}}) - (1 - E) * Raw_{B_{ref}}}{\tau} \\
 T_{object} &= \frac{PlanckB}{LN(\frac{PlanckR1}{PlanckR2 * (Raw_{object} + PlanckO) + PlanckF}) - 273.15}
 \end{aligned}$$

where *Dist* = Distance to target, *RAT* = Reflected Apparent Temperature (varies with sky condition and humidity), *Hum* = humidity, *AirT* = Air Temperature, *E* = Emissivity.

Table 3. Each parameter included in the formula

|                      | Parameter       | Value     |
|----------------------|-----------------|-----------|
| TIR sensor           | <i>PlanckR1</i> | 17096.453 |
|                      | <i>PlanckR2</i> | 0.0468789 |
|                      | <i>PlanckB</i>  | 1428      |
|                      | <i>PlanckF</i>  | 1         |
|                      | <i>PlanckO</i>  | -374      |
|                      | $\alpha_1$      | 0.006569  |
|                      | $\alpha_2$      | 0.01262   |
|                      | $\beta_1$       | -0.002276 |
|                      | $\beta_2$       | -0.00667  |
|                      | <i>X</i>        | 1.9       |
| Shooting environment | <i>Dist</i>     | 110m      |
|                      | <i>RAT</i>      | 22°C      |
|                      | <i>Hum</i>      | 45%       |
|                      | <i>AirT</i>     | 22°C      |
|                      | <i>E</i>        | 0.95      |

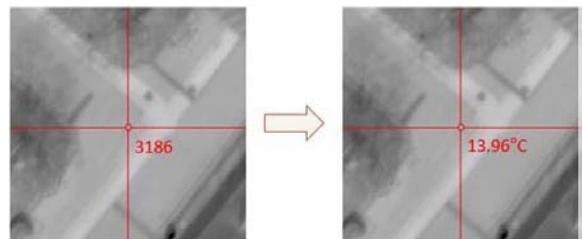


Fig. 4. Example of conversion of DN value to land surface

## 4. 연구결과 및 정확도 비교

Fig. 5는 DN값으로 저장된 정사영상을 온도 값으로 저장된 정사영상으로 변환한 영상과 피복별 온도를 측정된 측정별 위치와 번호를 중첩하여 그림으로 나타낸 것이다. 접합된 영상의 위치정확도를 평가하기 위해 VRS (Virtual Reference Service) 측량을 수행하여 산출하였으며 표준편차는 X방향

**Table 4. Analysis of land surface temperature accuracy(°C)**

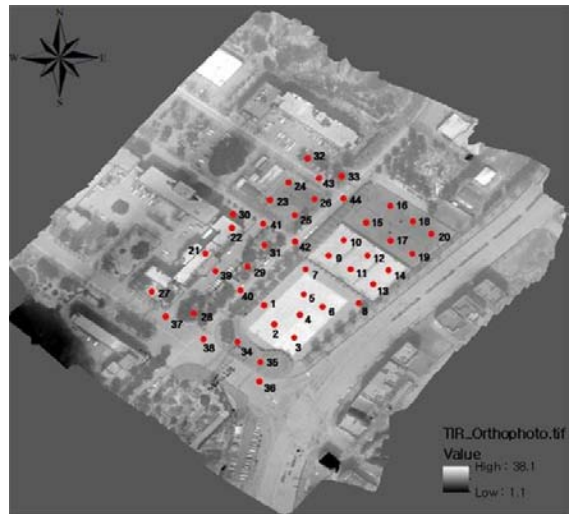
| Point (EA) | Land surface cover | Orthophoto-based average temperature | Thermometer-based average temperature | Absolute difference of average temperature | RMSE  | STDEV |
|------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|-------|-------|
| 1-8(8)     | Urethane           | 25.79                                | 25.94                                 | 2.4  | ±2.88 | ±3.08 |
| 9-14(6)    | Artificial turf    | 25.02                                | 23.13                                 | 2.38                                       | ±2.77 | ±2.23 |
| 15-20(6)   | Bare soil          | 11.95                                | 10.98                                 | 1.03                                       | ±1.37 | ±1.07 |
| 21-22(2)   | Rooftop            | 22.15                                | 22.10                                 | 2.55                                       | ±2.55 | ±3.61 |
| 23-33(11)  | Vegetation         | 12.87                                | 13.00                                 | 1.53                                       | ±1.88 | ±1.97 |
| 34-35(2)   | Marble             | 14.05                                | 13.80                                 | 0.85                                       | ±0.89 | ±1.20 |
| 36-44(9)   | Asphalt            | 18.86                                | 18.80                                 | 2.68                                       | ±2.93 | ±3.11 |

2.62m, Y방향 0.88m로 나타났다. 적외선 온도계로 실측한 실제 지표면 부분은 영상의 위치정확도를 고려하여 각 측정별 피복의 순수한 온도 값이 측정되도록 각 측정점의 중앙부에서 30cm 정도의 간격을 두고 3~5회 측정하여 평균값으로 취득하였다. 온도로 변환된 정사영상 역시 gray-scale로 나타내었으며 온도 값이 높을수록 영상이 밝게 출력되고, 온도 값이 낮을수록 어둡게 출력된다. 정사영상에서 온도가 1도로 나타나는 지역은 정사영상 제작과정에서 정합이 제대로 수행되지 않아 발생하는 오차로 판단된다.

Table 4는 정사영상에서 산출한 지표면 온도와 적외선 온도계로 직접 관측한 지표면 온도를 각각의 피복정보별로 분류하여 평균 온도, 절대차(absolute difference) 평균 온도, 평균제곱근오차, 표준편차(STDEV: Standard Deviation)로 나타낸 것이다.

두 방법으로 관측한 지표면 온도를 비교했을 때, 온도계로 관측한 실제 지표면 온도보다 정사영상에서 추출된 지표면 온도가 우레탄을 제외하고 더 높게 나타나는 경향을 보였다. 피복별 절대차 평균 온도는 각각 우레탄 2.4°C, 인조잔디 2.38°C, 흙 1.03°C, 건물옥상 2.55°C, 식생 1.53°C, 대리석 0.85°C, 아스팔트 2.68°C로 나타났으며 평균제곱근오차 및 표준편차 또한 비슷한 경향으로 나타났다. 정확도 평가 결과가 일정한 경향을 보이지 않는 이유는 제작된 정사영상으로 관측한 위치와 온도계로 관측한 피복의 위치가 정확하게 일치하지 않아 발생하는 것으로 판단된다. 하지만 열적외선 센서의 측정 정확도(±5°C or 5% of reading)를 감안했을 때, 모든 종류의 피복들에 대해서 지표면의 온도가 정확하게 산출되었음을 알 수 있었다. 이는 위성영상을 통해 계산된 지표면 온도의 정확도와 유사하거나 소폭 향상된 수준임을 알 수 있다(Bae et al., 2018). 이를 통해 무인항공기에 탑재된 열적외선 센서를 이용하여 기존의 지표면 온도관측

방법인 위성 영상의 대체 가능성 및 제작된 정사영상의 DN 값을 이용하여 계산된 실제 지표면 온도의 활용가능성을 확인할 수 있었다.



**Fig. 5. The location where the land surface temperatures were measured**

### 5. 결론

본 연구에서 긴 재방문 주기와 낮은 정확도의 한계를 가지고 있는 위성 영상의 대체가능성을 확인하기 위해 무인항공기에 열적외선 센서를 탑재하여 단일 영상을 취득하였다. 단일 영상을 JPEG 형식에서 원시데이터가 포함된 TiFF 형식으로 변환하여 제작한 정사영상의 DN값을 이용하여 계산된 지표면 온도의 정확도가 열적외선 센서의 측정 정확도 이하로 나타났다. 이는 위성영상으로 추출된 지표면 온도 정확도와

유사하거나 소폭 향상된 수준이다. 또한, 열적외선 센서로 취득한 지표면 온도 자료는 기존의 지표면 온도 관측 방법인 중/저해상도인 위성영상에서 추출하지 못하는 정보들을 추출할 수 있으며, 이는 인공위성의 긴 재방문주기와 낮은 공간해상도의 한계점을 무인항공기에 탑재된 열적외선 센서를 이용하여 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 지면-대기의 상호순환을 이해하는데 중요한 인자로 작용하는 지표면 온도를 정규적으로 관측할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 연구에서는 보다 유의미한 정확도 검증을 위해 본 연구에서 사용된 적외선 온도계 보다 정확한 지표면 온도 자료를 이용하여 더 다양한 환경에서 취득된 열적외선 영상의 지표면 온도 정확도 검증 부분을 보완하여 수행할 예정이다. 또한, 적외선 온도계로 실제 지표면 온도를 측정할 때, 측정 위치의 정확도 부족으로 발생하는 오차에 대한 보완과 시계열적 지표면 온도의 데이터 부족으로 계절별 시계열 정확도 분석 또한 필요할 것으로 판단된다.

## References

- Aubrecht, D.M., Helliker, B.R., Goulden, M.L., Roberts, D.A., Still, C.J., and Richardson, A.D. (2016), Continuous, long-term, high-frequency thermal imaging of vegetation: Uncertainties and recommended best practices, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 228, pp. 315-326.
- Bae, D.H., Kim, H.M., and Ha, S.R. (2018), The factor analysis of land surface temperature (LST) change using MODIS imagery and panel data, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 21, No. 1, pp. 46-56. (in Korean with English abstract)
- Baek, J.J. and Choi, M.H. (2012), Availability of land surface temperature from the COMS in the Korea peninsula, *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 45, No. 8, pp. 755-765. (in Korean with English abstract)
- Cho, C.Y., Jee, J.B., Park, M.S., Park, S.H., and Choi, Y.J. (2016), Comparison of surface temperatures between thermal infrared image and landsat 8 satellite, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 32, No. 1, pp. 46-56.
- Cho, H.S., Joung, Y.J., and Choi, M.J. (2014), Effects of the urban spatial characteristics on urban heat island, *Journal of Environmental Policy and Administration*, Vol. 22, No. 2, pp. 27-43.
- Di Felice, F., Mazzini, A., Di Stefano, G., and Romeo, G. (2018), Drone high resolution infrared imaging of the lusi mud eruption, *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 90, pp. 38-51.
- Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P., Nicolás, E., Nortes, P.A., Alarcón, J.J., Intrigliolo, D.S., and Fereres, E. (2013), Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard, *Precision Agriculture*, Vol. 14, No. 6, pp. 660-678.
- Kang, K.M., Kim, D.J., Kim, S.H., Cho, Y.K., and Lee, S.H. (2014), Extraction of sea surface temperature in coastal area using ground-based thermal infrared sensor on-boarded to aircraft, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 30, No. 6, pp. 797-807. (in Korean with English abstract)
- Karbou, F. and Prigent, C. (2005), Calculation of microwave land surface emissivity from satellite observations: Validity of the specular approximation over snow-free surfaces?, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 2, No. 3, pp. 311-314.
- Khanal, S., Fulton, J., and Shearer, S. (2017), An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 139, pp. 22-32.
- Lee, G.S. and Lee, J.J. (2017), The detection of heat emission to solar cell using UAV-based thermal infrared sensor, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 25, No. 1, pp. 71-78. (in Korean with English abstract)
- Lowe, D.G. (2004), Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110.
- Ryu, T.H. and Um, J.S. (2013), Evaluating changing trends of surface temperature in winter according to rooftop color using remotely sensed thermal infrared, *Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science*, Vol. 21, No. 1, pp. 27-37. (in Korean with English abstract)
- Santesteban, L.G., Di Gennaro, S.F., Herrero-Langreo, A., Miranda, C., Royo, J.B., and Matese, A. (2017), High-resolution UAV-based thermal imaging to estimate the instantaneous and seasonal variability of plant water status within a vineyard, *Agricultural Water Management*, Vol.

183, pp. 49-59.

Suh, M.S. (2012), *Land Surface Temperature (LST) Algorithm Technical Analysis (LST-v5.0)*, NMSC/SCI/ATBD/LST, Issue 1, rev.0, National Meteorological Satellite Center, Jincheon, pp. 1-38.

Thomas, H. (2018), Some like it hot: The impact of next generation FLIR systems thermal cameras on archaeological thermography, *Archaeological Prospection*, Vol. 25, No. 1, pp. 81-87.

Turner, D., Lucieer, A., Malenovsky, Z., King, D.H., and Robinson, S.A. (2014), Spatial co-registration of ultra-high resolution visible, multispectral and thermal images acquired with a micro-UAV over Antarctic moss beds, *Remote Sensing*, Vol. 6, No. 5, pp. 4003-4024.