J. Korean Soc. Aeronaut. Space Sci. 48(12), 977-985(2020)
DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2020.48.12.977
ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

천리안2A호를 이용한 다목적실용위성3A호 중적외선 밝기 온도 편향오차 개선 가능성 연구

김희섭[1]

A Study on Possibility of Improvement of MIR Brightness Temperature Bias Error of KOMPSAT-3A Using GEOKOMPSAT-2A

HeeSeob Kim[1]
Korea Aerospace Research Institute

ABSTRACT

KOMPSAT-3A launched in 2015 provides Middle InfraRed(MIR) images with 3.3~5.2μm. Though the satellite provide high resolution images for estimating bright temperature of ground objects, it is different from existing satellites developed for natural science purposes. An atmospheric compensation process is essential in order to estimate the surface brightness temperature from a single channel MIR image of KOMPSAT-3A. However, even after the atmospheric compensation process, there is a brightness temperature error due to various factors. In this paper, we analyzed the cause of the brightness temperature estimation error by tracking signal flow from camera physical characteristics to image processing. Also, we study on possibility of improvement of MIR brightness temperature bias error of KOMPSAT-3A using GEOKOMPSAT-2A. After bias compensation of a real nighttime image with a large bias error, it was confirmed that the surface brightness temperature of KOMPSAT-3A and GEOKOMPSAT-2A have correlation. We expect that the GEOKOMPSAT-2A images will be helpful to improve MIR brightness temperature bias error of KOMPSAT-3A.

초 록

2015년 발사된 다목적실용위성 3A호는 3.3~5.2μm 파장의 중적외선 영상을 제공한다. 다목적실용위성 3A호는 지상 물체의 밝기 온도를 추정하기 위한 고해상도 영상을 제공하지만 기존 자연 과학 목적으로 개발된 위성과 차이가 있다. 다목적실용위성 3A호의 단일 채널의 중적외선 영상으로 지표 밝기 온도를 추정하기 위해서는 대기 보정 과정이 필수적이다. 하지만 대기 보정 이후에도 여러 요인으로 인하여 밝기 온도 추정 오차가 존재한다. 본 논문에서는 다목적실용위성 3A호 카메라의 물리적인 특성으로부터 영상 처리까지 신호 흐름을 추적하여 밝기 온도 추정 오차 요인을 분석하였다. 또한, 천리안위성 2A호를 이용하여 다목적실용위성 3A호와 밝기 온도 편향 오차 개선 가능성을 연구하였다. 큰 편향 오차를 가지고 있는 야간 영상에 대하여 편향 오차를 보상한 이후 다목적실용위성 3A호와 천리안위성 2A호의 지표 밝기 온도가 상관성이 있음을 확인하였다. 다목적실용위성 3A호 중적외선 밝기 온도 편향 오차를 개선하는데 천리안위성 2A호 영상이 도움이 될 것으로 예상된다.

Key Words : KOMPSAT-3A(다목적실용위성 3A호), GEOKOMPSAT-2A(천리안위성 2A호), MIR(중적외선), Brightness Temperature(밝기 온도), Bias Error(편향 오차)

† Received : August 21, 2020 Revised : October 14, 2020 Accepted : October 20, 2020

[1] Principal Researcher
[1] Corresponding author, E-mail : askhs@kari.re.kr, ORCID 0000-0002-6839-0979

© 2020 The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences

Ⅰ. 서 론

대기 및 지표 분석에 원격탐사기술이 널리 사용되고 있다. 1972년 Landsat 위성이 발사된 이후 많은 원격탐사 위성이 발사되어 운영되고 있다. 우리나라의 경우 1999년에 실용 위성으로 다목적실용위성 1호가 발사된 이후 다목적실용위성 2호, 다목적실용위성 3호, 다목적실용위성 3A호, 다목적실용위성 5호, 천리안위성 1호, 천리안위성 2A호, 천리안위성 2B호가 발사되어 운영되고 있다. 저궤도 위성인 다목적실용위성 시리즈는 위성 고도가 500~700km이며 정지궤도 위성과 비교하여 고도가 낮기 때문에 고해상도 영상을 획득할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이에 반하여 정지궤도 위성인 천리안위성 시리즈는 위성 고도가 저궤도 위성보다 50배 이상 높기 때문에 넓은 영역을 관측할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 저궤도 위성은 정밀 관측에 많이 활용되고 있으며, 정지궤도 위성은 자연과학 연구에 많이 활용되고 있다.

2015년에 발사된 다목적실용위성 3A호는 가시광 영상뿐만 아니라 중적외선 영상을 함께 제공한다. 다목적실용위성 3A호의 적외선 관측 파장 대역은 3.3~5.2μm이고 지상 해상도는 5.5m이다. 적외선 영상은 파장 대역에 따라 분류되는데 중파장(MIR, 3~8μm)과 장파장(LIR, 8~15μm) 대역이 지표 온도 연구에 많이 사용되고 있다. 위성을 이용한 지표 온도 연구에 있어서 ASTER(Advanced Spacebone Thermal Emission and Reflectance Radiometer)와 Landsat-8 TIRS (Thermal InfraRed Sensor)가 많이 활용되고 있다. ASTER는 8~12μm 파장 대역에서 90m 해상도의 5개 채널 적외선 영상을 제공한다. ASTER는 다채널의 정보를 이용하여 지표 온도와 방사율 정보를 함께 제공할 수 있다. Landsat-8 TIRS는 10~13μm 파장 대역에서 100m 해상도의 2개 채널 적외선 영상을 제공한다. 다목적실용위성 3A호의 파장 대역은 ASTER나 Landsat-8 TIRS와 차이가 있다. 흑체 복사 이론에 의하면 상온 물체는 장파장 대역에서 에너지 밀도가 높고, 중파장 대역에서 에너지 밀도가 낮다. 이러한 이유로 상온 물체를 관측하는 대부분의 위성은 장파장 대역을 관측할 수 있는 적외선 센서를 장착하고 있다. 이는 간접적으로 다목적실용위성 3A호 적외선 센서가 자연과학 목적으로 활용하는데 약점이 있음을 의미한다. 다목적실용위성 3A호의 중적외선 카메라는 고해상도 영상을 제공할 수 있다는 장점이 있는 반면에 지표의 상온 물체의 온도를 추정하기 어렵다는 단점이 있다. 예를 들면 중파장 대역에서는 물체에서 방출하는 에너지 밀도가 장파장 대역보다 작기 때문에 영상 신호가 작고, 대기 영향을 많이 받기 때문에 정밀한 대기 보정이 요구된다. 특히 주간에는 지표에서 반사된 태양 복사량이 적외선 카메라에 감지되어 오차 요인으로 작용한다. 다목적실용위성 3A호의 중적외선 영상 활용도를 높이기 위해서는 이러한 특성을 고려한 영상 처리 과정이 필요하다.

원격 탐사 분야에서 적외선 영상을 이용한 지표 온도 추정 관련하여 많은 연구가 진행되어 왔다[1-3]. 흑체 복사 이론에 따르면 온도를 가지고 있는 물체는 복사열을 방출한다. 물체에서 방출되는 적외선 파장 대역의 복사열은 대기를 통과하면서 왜곡된다. 위성에서 획득된 적외선 영상을 이용하여 지표 물체의 온도를 추정하기 위해서는 대기 보정 과정과 함께 물체의 방사율 정보가 필요하다. 이와 관련하여 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 기반 방사율 추정 방법, 여러 파장 대역 영상을 이용하여 대기 보정을 하는 Split Window 방법, 주간과 야간 영상을 이용한 TISI(Temperature-Independent Spectral Index) 방법, TES(Temperature and Emissivity Separation) 방법 등이 개발되었다[4-6]. 하지만 다목적실용위성 3A호는 적외선 영상 채널이 하나이기 때문에 다채널 적외선 영상 기반의 알고리즘을 사용할 수 없다. 다목적실용위성 3A호의 경우 지표 밝기 온도를 추정하기 위해서는 대기 자료를 이용한 대기 보정 과정이 필수적이다. 대기 보정은 MODTRAN과 같은 대기 전달 모델 소프트웨어를 이용하여 수행될 수 있다[7]. 대기 전달 모델 소프트웨어는 관측 지역의 촬영 시점의 대기 자료와 촬영 조건을 입력으로 대기 효과를 보정하는데 필요한 대기 투과율, 상향 복사, 하향 복사 등의 값을 계산한다. 위성 영상 값은 대기 보정 과정을 통해 지표 값으로 변환된다. 하지만 다목적실용위성 3A호 영상에 대하여 해양 부이를 이용하여 해수 온도 추정 정확도를 분석해보면 Landsat-8보다 좋지 않는 것으로 분석되었다. 대기보정 이후 추정 해수 온도의 정확도는 촬영 시간 및 촬영 조건 등의 영향이 있는 것으로 추정되었다. 현상을 물리적으로 이해하기 위하여 다목적실용위성 3A호 카메라의 물리적 특성으로부터 영상 처리까지 신호 흐름을 추적하여 밝기 온도 추정 오차 요인에 대한 분석을 수행하였다. 또한 천리안위성 2A호를 이용한 다목적실용위성 3A호의 편향 오차 개선 가능성을 분석하였다. 천리안위성 2A호의 지표 온도 연구에 의하면 편향 오차는 +0.5K, RMS 오차는 2.0K 수준이라고 한다[8]. 이는 천리안위성 2A호 적외선 파장 대역이 다목적실용위성 3A호보다 좁기 때문에 대기에 의한 불확도가 작고, 위성이 자연과학 목적으로 개발되어 탑재체가 안정적인 값을 제공할 수 있기 때문으로 추정된다. 천리안위성 2A호가 적도에 위치하여 기하학적 관점에서 차이는 있지만 밝기 온도 값이 다목적실용위성 3A호와 상관관계가 높을 경우 활용 가능성이 높기 때문에 야간 촬영 영상을 이용하여 활용 가능성을 확인하였다.

Ⅱ. 본 론

2.1 적외선 온도

플랑크 법칙은 온도(T)를 가지고 있는 흑체의 모든 파장의 복사를 설명하며 분광복사휘도(spectral radiance)는 다음과 같다.

$$B(T,\lambda)=\frac{c_1}{\lambda^5[e^{(\frac{C_2}{\lambda T})}-1]}\ (W/m^2\cdot sr\cdot \mu m) \tag{1}$$

여기서 $c_1=2hc^2\times10^{24}$, $c_2=hc/k\times10^6$, λ는 파장(μm)이다. c는 빛의 속도($2.99792458\times10^8\,m/s$), h는 플랑크 상수($6.626070\times10^{-34}Js$), k는 볼츠만 상수($1.380649\times10^{-23}J/K$)이다.

물체에서 방출하는 복사휘도는 물체 표면 온도뿐만 아니라 구성 성분이나 표면 상태 등에 의해 영향을 받는다. 이러한 이유로 원격탐사에서 물체 온도 대신 물체 밝기 온도가 널리 사용되고 있다. 밝기 온도는 물체의 복사휘도와 동일한 복사휘도 값을 가지는 흑체 온도를 의미한다. 물체의 복사휘도와 물체와 동일한 온도를 가지고 있는 흑체의 복사휘도의 비를 방사율이라고 하며, 열평형 상태의 흑체는 방사율이 1이다. 흑체가 아닌 물체는 방사율 값이 1보다 작다. 물체 복사휘도는 방사율과 흑체 복사휘도 곱으로 표현된다.

위성 고도에서 적외선 카메라 앞단에 입사되는 복사휘도는 물체에서 방출하는 복사휘도뿐만 아니라 다양한 경로에서 적외선 카메라 시선으로 입사되는 복사휘도로 구성된다.

$$L_H=\tau(\epsilon B(T,\lambda)+(1-\epsilon)L_d+\rho L_s)+L_u \tag{2}$$

여기서 L_H는 위성 카메라 앞단에 입사되는 복사휘도, τ는 투과율, ϵ는 방사율, L_d는 하향 복사휘도, ρ는 반사율, L_s는 지표에 입사되는 태양복사휘도, L_u는 상향 복사휘도이다.

Kirchhoff 법칙에 의하면 반사율, 흡수율, 방사율의 합은 1이며, 흡수율을 무시할 경우 반사율은 방사율과 다음 관계를 갖는다.

$$\rho=1-\epsilon \tag{3}$$

적외선 센서는 측정 시간 동안에 획득된 에너지를 디지털 값으로 변환한다. 위성 영상 값에 대응되는 복사휘도는 적외선 카메라 앞단에 입사되는 복사휘도와 차이가 있다. 카메라 렌즈나 반사경을 통과하는 과정에서 복사휘도 값이 감소되고, 온도를 가지고 있는 위성체로부터 복사되는 에너지를 일부 흡수하여 복사휘도 값이 증가된다.

$$L_{DN}=\tau_{sat}L_H+L_{sat}+N \tag{4}$$

여기서 τ_{sat}는 적외선 카메라 앞단에서 적외선 센서까지 투과율이고, L_{sat}는 위성체에서 방출되어 적외선 센서에 감지되는 복사휘도이고, N은 잡음에 해당되는 복사휘도 값이다. 잡음은 입사량과 관련된 잡음, 하드웨어 신호 처리 과정에서 발생되는 잡음, 적외선 센서 픽셀의 비선형, 비균일, 비반복에 의한 영향을 포함한다.

적외선 센서에 의해 감지되는 복사휘도보다 카메라 앞단에 입사되는 복사휘도 값이 사용자 관점에서 영상 처리에 편리하기 때문에 대부분의 위성 영상 제공자는 카메라 앞단에 입력되는 복사휘도와 영상 신호 관계를 선형 함수로 모델링하고 모델에 사용할 계수 값을 제공한다.

$$L_H=gain\times DN+offset \tag{5}$$

2.2 적외선 온도 추정 오차 요인

2.2.1 센서 모델

적외선 영상을 이용하여 지표 밝기 온도를 추정하기 위해서는 적외선 센서 모델에 사용된 계수가 필요하다. 모델에 사용된 계수는 지상 시험과 위성 발사 이후 검보정 과정을 통해 확인된다[9,10].

위성 발사 전에 적외선 카메라 앞에 흑체를 설치하고 흑체의 온도를 바꾸면서 적외선 카메라로 촬영한 영상을 이용하여 적외선 카메라 특성을 분석하고, 적외선 센서 모델에 사용할 계수를 추정한다. 위성 발사 이후 다양한 관측 및 분석을 통해 모델 계수 값의 변화 여부를 확인한다. 일반적으로 모델 계수는 상수 값으로 제공되지만 식 (4)에서 설명한 것과 같이 적외선 카메라 시야에 있는 위성 온도에 의해 영향을 받을 수 있다. 우주는 공기가 없기 때문에 대류에 의한 에너지 교환은 발생되지 않지만, 전도와 복사에 의해 에너지가 교환된다. 이러한 이유로 우주에서 위성을 안정적으로 운영하기 위하여 히터, 히트파이프, 방열판 등을 이용하여 위성 온도 제어가 수행된다. 위성이 태양이나 전자 기기로부터 에너지를 공급받지 못한 경우에 위성 온도는 낮아진다. 위성 열제어 시스템은 위성에 장착된 온도계를 이용하여 측정된 온도 값이 설계 값보다 낮은 경우 히터를 작동하여 히터 주변 온도를 상승시킨다. 대부분의 경우 위성에 장착된 히터 크기가 작기 때문에 히터가 작동되는 동안 서서히 온도가 높아진다. 이러한 우주 환경 및 열제어 시스템 특성으로 인하여 촬영과 촬영 사이 시간 간격이 큰 경우 위성 온도 변화 영향이 적외선 영상에 나타날 수 있다. 이러한 현상은 열진공 시험 과정을 통해 확인할 수 있다. 적외선 카메라를 열진공 챔버에 설치한 이후 챔버 온도를 상온, 저온, 고온으로 바꾸면서 동일 온도의 흑체를 촬영하

면 적외선 센서에 의해 감지되는 외부 영향을 확인할 수 있다. 흑체 온도와 적외선 카메라의 분광반응함수(Spectral Response Function, SRF)를 이용하면 흑체에서 방출되어 적외선 센서에 감지되는 복사휘도를 계산할 수 있다.

$$E=\frac{\int B(T,\lambda)\times SRF(\lambda)d\lambda}{\int SRF(\lambda)d\lambda} \tag{6}$$

Table 1은 열진공 챔버 온도가 10도, 18도, 25도일 때 0도, 10도, 20도 온도의 흑체의 적외선 영상 값이다. 열진공 챔버 온도가 증가함에 따라 적외선 영상 값이 증가된다. 하지만 흑체 온도에 해당하는 복사휘도의 변화 대비 적외선 영상 값의 변화 비율은 챔버 온도 변화에 민감하지 않는다. 결과적으로 위성에서 방출되어 적외선 센서에 감지되는 복사휘도는 주로 편향 오차와 관련됨을 알 수 있다. 실제 위성의 경우 적외선 카메라가 위성 내부에 장착되기 때문에 외부 온도에 대한 민감도가 챔버에 적외선 카메라를 직접 설치한 경우보다 작다. 하지만 지상 시험 환경과 우주 환경이 다르기 때문에 발사 이후 검보정 과정을 통해 편향 오차를 제거하는 과정이 필요함을 알 수 있다.

다목적실용위성 3A호는 빠른 속도로 관측 지점을 통과한다. 적외선 센서 픽셀에 대응되는 지상 관측 지점의 크기가 작기 때문에 해당 지점을 촬영하는 시간이 매우 짧다. 일반적인 촬영 기법을 사용할 경우 적외선 센서에 검출되는 신호가 작기 때문에 이를 보상하기 위하여 TDI(Time Delay Integration) 기법이 사용되고 있다. 적외선 센서의 여러 픽셀이 동일한 지점을 순차적으로 촬영하고, 동일 지점에 대한 여러 촬영 영상을 중첩하여 영상 신호를 증폭한다. TDI를 이용하여 촬영한 경우 영상 위치가 동기화되지 않으면 영상 성능이 저하되기 때문에 위성 자세 및 센서 노출 시간을 정밀하게 제어하여 영상 품질 저하를 최소화한다. 카메라 노출 시간은 다음과 같다.

$$t_c = N\frac{GSD}{V} \tag{7}$$

여기서 t_c 카메라 노출 시간, N는 TDI 수, GSD는 위성 궤도 진행 방향의 위성 영상 지상 해상도, V는 시선벡터의 지상 속도이다.

영상의 지상 해상도는 위성 고도와 위성 자세에 의해 영향을 받는다. 위성 고도가 높을수록 위성 자세 값이 클수록 위성 영상의 지상 해상도는 커진다. 결과적으로 위성 자세 값이 큰 경우 카메라 노출 시간이 커지기 때문에 동일한 물체를 관측하더라도 위성 영상 값이 크게 측정된다. 이러한 이유로 식 (5)를 이용하여 위성 영상 값을 복사휘도로 변환한 경우 카메라 노출 시간 효과를 보정하는 과정이 추가로 필요하다.

Table 1. Spacecraft Temperature Effect

Black Body Temperature	Environment Temperature		
	10	18	25
0	2.61	2.90	3.18
10	3.00	3.31	3.59
20	3.55	3.88	4.15

일반적으로 위성 영상에서 하나의 픽셀은 하나의 지상 지점과 일대일 대응한다고 가정한다. 하지만 실제 물리적 현상은 카메라 성능으로 인하여 위성 영상은 일대일 대응 지점뿐만 아니라 주변 값을 포함하게 된다. 위성 영상 성능 지표인 MTF(modulation transfer function)는 물리적인 공간에서 점확산함수(Point Spread Function)로 표현된다[11]. 카메라의 MTF 성능이 좋지 않는 경우 점확산함수가 넓어지기 때문에 주변 영역의 영향이 커진다. 특히, 주변 값이 일대일 대응 지점과 차이가 큰 경우에 영향이 크게 나타날 수 있다.

2.2.2 대기 보정

위성 적외선 영상을 이용하여 지표 밝기 온도를 추정하는데 있어서 대기 보정은 매우 중요한 과정중 하나이다. 대기 보정 정확도는 대기 전달 모델의 정확도와 대기 전달 모델에 사용되는 입력 자료의 정확도에 의해 영향을 받는다. 중적외선 대역의 경우 다양한 대기 요소에 의해 영향을 받는다.

Figure 1은 중적외선 대역에서 대기 성분에 의한 흡수율을 보여준다[12]. 복사 전달 이론에 의하면 중적외선 대역에서 수증기와 이산화탄소 영향이 가장 크고, 메탄이나 질소 등에 의해서도 흡수가 발생된다.

본 논문에서는 0.2~100μm 파장 대역의 대기 전달을 모델링하는 MODTRAN을 사용하여 분석을 수행하였다. MODTRAN은 촬영 시간, 촬영 위치, 촬영 조건, 대기 정보 등을 입력 값으로 사용하여 대기 투과율, 상향 복사휘도, 하향 복사휘도 등을 계산한다. 물체의 복사휘도를 추정하는데 있어서 투과율 오차는 영상 신호 크기에 비례하는 오차를 발생시킨다. 이에 반하여 상향 및 하향 복사휘도 오차는 편향 오차를 발생시킨다.

대기 보정을 위해서는 촬영 지점의 촬영 시간의 대기 자료가 필요하다. 현재 미국 및 유럽 기상청에서는 전세계 대기 자료를 제공하고 있다. 본 논문에서는 미국 기상청 자료를 사용하였다. 미국 기상청의 경우 세계 기준시로 0시, 6시, 12시, 18시에 해당하는 전지구 대기 자료를 제공하고 있다. 한국시는 세계 기준시와 9시간 차이가 있기 때문에 제공되는 대기 자료는 한국 시간으로 3시, 9시, 15시, 21시에 해당된

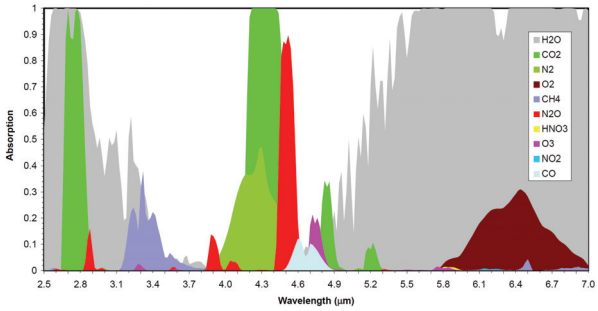

Fig. 1. Atmosphere Absorption

다. 대부분의 경우 촬영 시간과 대기 자료 시간이 일치되지 않기 때문에 촬영 전과 촬영 후 가용한 대기 자료를 이용하여 촬영 시점의 대기 자료를 생성한다. 많은 경우 촬영 시간에 해당하는 대기 자료를 생성하는데 있어서 선형 보간법이 사용되고 있다. 선형 보간법 결과가 의미 있는 값이 되기 위해서는 선형 보간법이 적용되는 구간에서 대기 변화가 시간에 비례하는 형태이어야 한다. 만약 보간법을 사용하는 구간에 극대점이 존재하는 경우 선형 보간법 정확도가 저하될 수 있다. 다목적실용위성 3A호의 위성 궤도 지방시는 오후 1시 30분이다. 위성 궤도 주기는 약 90분이며, 오후 1시 30분에 적도 부근을 통과하면 북반구 지역을 1시 30분에서 1시 55분 사이에 촬영하게 된다. 다목적실용위성 3A호가 주간에 북반구를 촬영하는 경우 대기 보정을 위해서는 오전 9시와 오후 3시 대기 자료가 필요하다. 하지만 지표 대기 온도는 태양 활동으로 많은 경우에 오후 2시 전후에 최대값을 갖는다. 이러한 현상으로 인하여 오전 9시와 오후 3시 대기 자료를 이용하여 선형 보간법으로 지표 대기 온도를 추정할 경우 오차가 커질 수 있다. 촬영 시간이 오후 1시 40분 전후의 경우 오후 3시 지표 대기 온도 자료를 사용하는 것이 선형 보간법을 적용하는 것보다 정확도가 높을 수 있다. 다목적실용위성 3A호의 중적외선 파장 대역에서 대기 효과는 대기 수증기 총량, 지표 대기 온도, 위성 자세에 의해 영향을 크게 받는다[13]. 상향 및 하향 복사휘도 값은 대기 수증기 총량뿐만 아니라 지표 대기 온도 영향을 많이 받는다. Table 2는 대기 수증기 총량, 지표 대기 온도, 위성 자세 값으로 모델링된 대기 전달 모델을 이용하여 대기 수증기 총량과 지표 대기 온도에 의한 대기 효과를 보여준다. 수증기 총량의 변화는 대기 투과율, 상향 복사, 하향 복사 값에 영향을 준다. 이에 반하여 수증기 총량이 같은 경우에 지표 대기 온도가 변하더라도 투과율 변화는 거의 없지만, 상향 복사 및 하향 복사 값은 크게 변한다. 즉, 다목적실용위성 3A호의 경우 대기 보정을 하는데 있어서 지표 대기 온도 정보 오차는 주로 편향 오차 형태로 발생됨을 알 수 있다.

Table 2. Effect of Surface Temperature Error

WV $(\frac{g}{cm^2})$	T air (^oC)	τ	L_u	L_d
0.5	5	0.5893	0.090	0.238
0.5	10	0.5893	0.1099	0.2957
0.5	20	0.5893	0.1592	0.4383
1.5	5	0.5228	0.1264	0.2843
1.5	10	0.5228	0.1512	0.3502
1.5	20	0.5228	0.2108	0.5209

2.2.3 방사율

적외선 영상을 이용하여 관측 대상의 온도를 추정하기 위해서는 방사율 값이 필요하다. 미국 JPL은 ASTER Spectral Library를 통해 대표 물질에 대한 파장 대역별 방사율 정보를 제공하고 있다[14]. 물, 식물 등 많은 자연물의 경우 방사율 값이 0.9보다 크지만 알루미늄과 같이 방사율 값이 0.5보다 작은 경우도 있다.

다목적실용위성 3A호의 중적외선 대역은 장파장 대역과 달리 태양 복사량이 지표에서 반사되어 위성 고도에서 감지된다. 방사율 값이 낮은 물체는 반사율이 높기 때문에 주간에 방사율이 낮은 물체를 관측할 경우 관측 대상에서 반사된 태양 복사휘도로 인하여 적외선 영상 값이 크게 측정된다. 적외선 영상에서 관측 대상에서 반사된 태양 값을 보정하지 않을 경우 밝기 온도 추정 오차가 발생될 수 있다. 물체의 반사 특성은 양방향 반사율 분포 함수(Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF)로 표현된다. 관측 표면이 모든 방향으로 골고루 일정한 양을 반사하는 완전확산면(lambertial surface)이 아닌 경우 태양 영향을 제거하는 것은 어렵다. 특히 도시 지역의 경우 태양, 관측 대상, 위성의 기하학적인 관계뿐만 아니라 관측 대상의 구성 성분, 상태, 형태 등에 의해 복잡한 특성을 보이기 때문에 이를 보정하는 것이 쉽지 않다. 결과적으로 다목적실용위성 3A호 적외선 영상을 분석하는데 있어서 야간 영상이 주간 영상보다 태양 반사 효과가 없어서 장점은 있다. 주간 영상을 사용할 경우에는 방사율 값이 높은 영역을 선택하는 것이 태양 반사 효과를 최소화할 수 있다.

2.3 정지궤도위성 영상 활용 가능성

저궤도 위성은 고도가 낮아 관측 지역에 대한 고해상도 영상을 획득할 수 있지만 위성이 빠른 속도로 관심 지역을 지나기 때문에 관심 지역을 반복적으로 촬영하는 것이 어렵다. 이에 반하여 정지궤도

Table 3. GK-2A AMI Specification

Bands		Resolution @nadir	SNR
VNIR	VIS0.4	1km	261
	VIS0.5	1km	299
	VIS0.6	0.5km	130
	VIS0.8	1km	300
	VIS1.3	2km	300
	VIS1.6	2km	300
MWIR	IR3.8	2km	
	IR6.3	2km	
	IR6.9	2km	
	IR7.3	2km	
	IR8.7	2km	
LWIR	IR9.6	2km	
	IR10.5	2km	
	IR11.2	2km	
	IR12.3	2km	
	IR13.3	2km	

위성은 고도가 높기 때문에 넓은 영역을 관측할 수 고 관심 지역을 연속하여 촬영할 수 있다. 천리안위성 2A호 탑재체 Advanced Meteorological Imager (AMI)의 파장 대역별 해상도는 Table 3과 같다.

천리안위성 2A호는 전구 촬영, 확장 국지 촬영, 국지 촬영을 지원한다. 전구 촬영은 10분 주기로, 확장 국지 촬영은 2분 주기로 수행된다. Table 3에 기술된 것과 같이 천리안위성 2A호는 가시광 파장 대역 영상뿐만 아니라 다양한 채널의 적외선 파장 대역 영상을 제공한다. 천리안위성 2A에서 제공하는 중파장 및 장파장 대역의 적외선 영상의 해상도는 2km이다.

물리적으로 동일한 시간에 동일한 지점을 관측한 경우 적외선 센서에서 측정된 영상 값은 파장에 따라 다를 수 있지만 적외선 영상을 대기 보정한 이후 추정된 지표 온도 값은 동일하여야 한다. 즉, 천리안위성 2A호의 3.8μm와 10.5μm 파장 적외선 영상에서 추정된 지표 온도와 다목적실용위성 3A호 적외선 영상에서 추정된 지표 온도는 동일하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 원리를 바탕으로 천리안위성 2A호 적외선 영상을 이용하여 다목적실용위성 3A호 적외선 영상의 편향 오차 개선 가능성을 분석하였다.

천리안위성 2A호 영상과 다목적실용위성 3A호 영상을 비교하기 위해서는 공간 및 시간을 일치하는 과정이 필요하다.

다목적실용위성 3A호로 촬영된 영상의 크기가 12km x 12km인 경우 천리안위성 2A호 적외선 영상에서 36개 지점이 이에 대응된다.

천리안위성 2A호는 전구 촬영, 확장 국지 촬영(북반구 아시아 지역 촬영), 국지 촬영(한반도 촬영)의 경우 고정된 좌표계에 대한 영상을 제공한다. 즉, 영상의 픽셀 위치(행, 열)에 대하여 하나의 지상 위치(위도, 경도)가 대응된다. 이에 반하여 다목적실용위성 3A호는 영상마다 위성 위치 및 위성 자세가 다를 수 있기 때문에 영상마다 픽셀 위치에 대하여 지상 위치 값이 다를 수 있다. 이러한 이유로 다목적실용위성 3A호에서는 위성 위치, 위성 자세, 탑재체 정보를 이용하여 위성 영상 픽셀의 지상 위치 값을 계산하고 이를 위성 영상과 함께 제공하고 있다. 표준 영상 제품에는 영상의 4개 모서리 지점에 대한 위도와 경도 정보를 제공하고 있으며, 위도 및 경도에 대응하는 픽셀의 행과 열을 계산할 수 있는 함수를 다항식 형태로 제공하고 있다. 결과적으로 다목적실용위성 3A호에서 제공한 위성 영상의 모서리 좌표 정보를 이용하여 다목적실용위성 3A호 영상에 대응되는 천리안위성 2A호 영상 영역을 추출할 수 있고, 반대로 천리안위성 2A호 영상 픽셀의 위도와 경도 정보를 이용하여 천리안위성 2A호 픽셀에 대응되는 다목적실용위성 3A호 영상의 행과 열 정보를 추출할 수 있다.

다목적실용위성 3A호 영상의 촬영 시간에 해당하는 천리안위성 2A호 영상은 시계열 영상을 이용하여 생성할 수 있다. 다목적실용위성 3A호가 한반도 주변 아시아 지역을 촬영한 경우 천리안위성 2A호 촬영 주기가 10분이기 때문에 촬영 시간 차이는 최대 5분이고 한반도의 경우에는 촬영 주기가 2분이기 때문에 촬영 시간 차이는 최대 1분이다.

공간 및 시간이 일치된 영상에 대한 대기 보정 이후 추정된 지표 온도는 동일하여야 하지만 여러 요인에 의해 차이가 존재할 수 있다.

오차 요인 중 하나는 구름이다. 적외선 센서는 시선 방향에 있는 물체로부터 방출하는 복사열을 검출하고 이를 이용하여 영상을 생성한다. 적외선 센서 시선 방향에 구름이 있는 경우 적외선 센서는 지상의 관측 대상이 아닌 구름의 복사휘도 값을 획득한다. 천리안위성 2A호, 다목적실용위성 3A호, 구름이 동일선 위에 있지 않는 경우 구름 영향이 나타날 수 있다. 적외선 카메라의 시선벡터 방향에 구름이 있는 경우 구름에 의해 가려지는 영역은 위성 위치와 구름 위치에 의해 영향을 받는다. 구름에 의해 가려지는 영역이 크고 해당 지표에서 방출되는 복사휘도의 차이가 큰 경우 천리안위성 2A호와 다목적실용위성 3A호로부터 추정된 값이 다를 수 있다. 천리안위성 2A호는 해상도가 낮기 때문에 구름의 존재 유무를 판단할 수 없지만 다목적실용위성 3A호는 해상도가

높기 때문에 영상에서 구름 유무를 확인할 수 있다. 다목적실용위성 3A호 영상에서 구름이 많은 지역은 비교 대상으로 적합하지 않을 수 있다. 일반적으로 지표 온도는 태양 및 대기 영향을 많이 받지만 구름이 없고 외부 변화가 없는 경우 지표 온도 변화는 원만한 곡선 형태이다. 이러한 관점에서 천리안위성 2A호 영상에서 시간에 따라 변화가 심한 영역은 비교 대상에서 적합하지 않을 수 있다.

지표 온도를 추정하기 위해서는 대기 보정이 필요하다. 대기 보정 이론은 주간이나 야간 차이는 없지만 대기 보정 값은 3.8μm 적외선 파장 대역의 경우 주간과 야간 차이가 크다. 앞에서 설명한 것과 같이 주간의 경우 3.8μm 적외선 파장 대역에서는 지표에서 반사된 태양 복사휘도 값이 상온 지표의 복사휘도 값보다 큰 경우가 있다. 주간 영상에서 3.8μm 파장 대역과 10.5μm 파장 대역 영상에서 추정된 지표 값의 차이가 큰 경우 지표 반사가 원인일 수 있다. 다목적실용위성 3A호의 3.3~5.2μm 적외선 파장 대역에서도 동일한 현상이 나타날 수 있다. 이러한 이유로 천리안위성 2A호와 다목적실용위성 3A호 영상의 상관관계는 주간보다 야간 영상이 더 높을 수 있다. 주간 영상의 경우 방사율 값이 낮은 영역은 비교에 적합하지 않을 수 있다.

천리안위성 2A호의 적외선 영상의 해상도는 2km이며 영상의 위치 정확도는 km 수준이다. 이에 반하여 다목적실용위성 3A호의 적외선 영상의 해상도는 5.5m이며, 위치 정확도는 수십 미터 수준이다. 위성에서 제공하는 기하 정보만을 이용하여 천리안위성 2호 영상과 다목적실용위성 3A호 영상을 공간적으로 일치시킬 경우 km 수준에서 위치가 일치하지 않을 수 있다. 이러한 공간 불일치로 인하여 천리안위성 2A호와 다목적실용위성 3A호에서 추정한 지표 값이 다를 수 있다. 이러한 공간 불일치로 발생되는 오차를 최소화하기 위해서는 픽셀 위치에 민감하지 않는 영역을 선택하는 것이 필요하다. 다목적실용위성 3A호 영상에서 민감도를 계산하는 것은 계산 시간이 많이 소요되기 때문에 천리안위성 2A호 영상에서 픽셀 값이 주변과 비슷한 지점을 선택하는 것이 대안이 될 수 있다.

2.4 지표 밝기 온도 편향 오차 보정

2020년 2월 8일 다목적실용위성 3A호 야간 촬영 영상을 이용하여 분석을 수행하였다. Fig. 2는 전체 영상 처리 과정을 보여준다. Fig. 3은 다목적실용위성 3A호 적외선 영상이다. 앞에서 설명한 것과 같이 다목적실용위성 3A호 영상에서 천리안위성 2A호 픽셀 위치에 해당하는 픽셀을 선택하고 이를 중심으로 2km 해상도 영상을 생성하였다. 실험에 사용된 다목적실용위성 3A호 영상의 경우 대기 보정 후 추정된 지표 밝기 온도 값이 매우 크게 계산되었다. 이를 보정하기 위하여 천리안위성 2A호 영상에서 시간 및 공간적으로 변화가 적은 지점을 선택하였다. 선택 지점에 대한 방사율 값은 MODIS 영상에서 제공하는 값을 사용하였다. 파장 대역에 따라 방사율 값이 다르기 때문에 이로 인하여 편향 오차를 완전히 제거하지는 못할 것으로 예상된다.

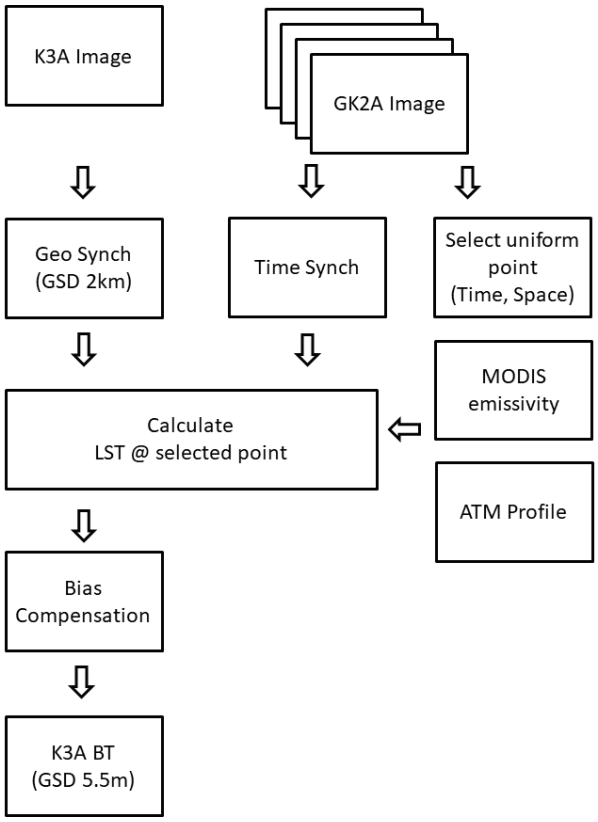

Fig. 2. Data Processing Flow

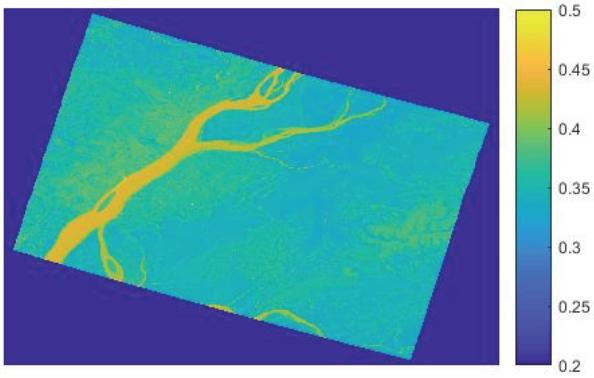

Fig. 3. K3A Image

다목적실용위성 3A호 영상과 함께 제공되는 모델 계수를 이용하여 위성 고도에서 복사휘도를 계산하였다. 관측 영역을 촬영할 때 위성 자세 값이 직하를 기준으로 약 30도 수준으로 크기 때문에 촬영 노출 시간 정보를 이용하여 값을 보정하였다. 이후 미국 기상청에서 제공하는 대기 자료를 이용하여 대기 보

정을 수행하였다. 천리안위성 2A호의 3.8um 파장 대역 영상에 대해서도 대기 자료를 이용하여 대기 보정을 수행하였다. 최종적으로 선택된 지점에 대해 추정된 지표 온도 값이 동일하도록 다목적실용위성 3A호의 편향 오차를 제거하였다. Fig. 4는 천리안위성 2A호의 3.8um 파장 대역 영상을 이용하여 추정된 지표 밝기 온도 영상이다. Fig. 5는 편향 오차를 보정한 이후 다목적실용위성 3A호 지표 밝기 온도 영상이다. 다목적실용위성 3A호 영상에서 외부 영역은 값이 없기 때문에 유효 영역만을 선택하기 위하여 마스크를 적용하였다. Fig. 4와 Fig. 5를 비교해 보면 공간 및 시간을 일치시킨 천리안위성 2A호와 다목적실용위성 3A호의 지표 밝기 온도가 유사한 패턴을 가지고 있음을 알 수 있다. 분석 사례의 경우 유효 영역에서 상대 오차가 1도 이내로 편향 오차가 제거됨을 확인할 수 있었다. 앞에서 설명한 것과 같이 방사율 정보 오차, 대기 정보 오차, 공간 불일치 등으로 지표 밝기 온도 값이 모든 영역에서 일치하지는 않지만 다목적실용위성 3A호 적외선 영상에서 과도한 편향 오차가 있는 경우 이를 보정하는데 천리안위성 2A호 적외선 영상이 사용될 수 있음을 확인하였다.

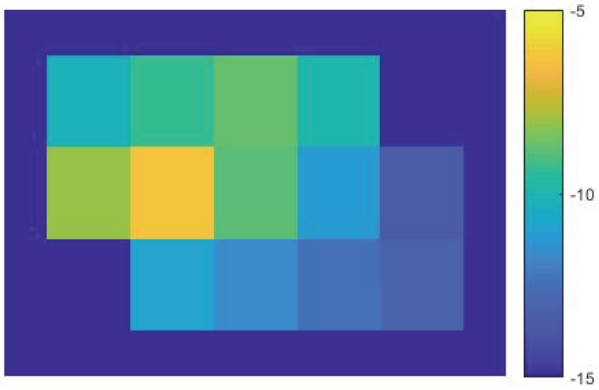

Fig. 4. GK2A BT (3.8μm, GSD 2km)

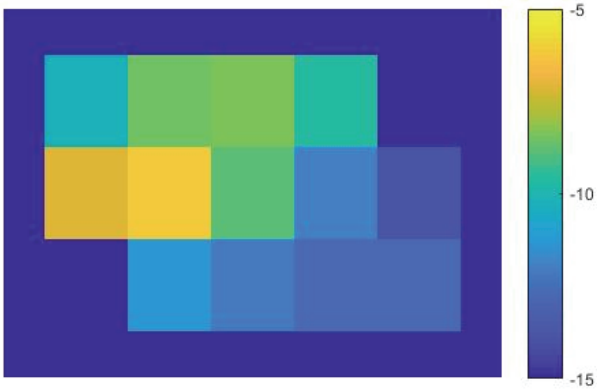

Fig. 5. K3A BT after Bias Compensation (GSD 2km)

III. 결 론

본 논문에서는 다목적실용위성 3A호 영상을 이용하여 지표 밝기 온도를 추정하는데 있어서 오차를 발생시키는 요인에 대한 분석을 수행하였다. 분석을 통해 지표 대기 온도 정보 오차, 위성 내부 온도 변화 등은 지상 관측 대상의 복사 휘도를 추정하는데 있어서 편향 오차와 관련됨을 확인하였다. 또한 천리안위성 2A호를 이용한 다목적실용위성 3A호의 편향 오차 제거 가능성을 분석하기 위하여 야간 영상을 이용하여 상관관계 분석을 수행하였다. 편향 오차가 큰 다목적실용위성 3A호 야간 촬영 영상 샘플에 대하여 천리안위성 2호 적외선 영상을 이용하여 편향 오차를 보상한 이후 지표 밝기 온도 비교 분석을 통해 다목적실용위성 3A호 영상과 천리안위성 2호 영상이 상관관계가 있음을 확인하였다. 이를 통해 다목적실용위성 3A호 적외선 영상에서 과도한 편향 오차가 있는 경우 천리안위성 2A호 영상을 이용하여 편향 오차 보정 가능성이 있음을 간접적으로 확인하였다. 본 논문에서는 현장 자료를 이용하여 천리안위성 2A호의 영상 보정을 수행하지 않았다. 해수 부이 등 지상 현장 데이터를 이용하여 천리안위성 2A호의 영상을 보정할 경우 기준 데이터의 정확도 개선으로 다목적실용위성 3A호 편향 오차 개선에 도움이 될 것으로 예상된다.

천리안위성 2A호 영상을 이용한 다목적실용위성 3A호의 적외선 영상 편향 오차 보정은 위성 자료간의 일관성을 높임으로써 다목적실용위성 3A호의 지표 밝기 온도 추정 정확도를 높임과 동시에 적외선 영상의 활용 증진에 도움이 될 것으로 예상된다.

주간 촬영의 경우 지표에서 반사되는 태양 영향이 크게 나타나는데 이를 보상하기 위한 연구가 추후 필요할 것으로 예상된다.

References

1) Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F. and Sobrino, J. A., “Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives,” *Remote Sensing of Environment*, Vol. 131, 2013, pp. 14~37.

2) Petitcolin, F. and Vermote, E., “Land surface reflectance, emissivity and temperature from MODIS middle and thermal infrared data,” *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, 2002, pp. 112~134.

3) Park, S. H., Jung, H. S. and Shin, H. S., “An efficient Method to Estimate Land Surface Temperature Difference (LSTD) Using Landsat Satellite Images,” *Korean Journal of Remote Sensing,*

Vol. 29, No. 2, 2013, pp. 197~207.

4) Yu, X., Guo, X. and Wu, Z., "Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS – Comparison between Radiative Transfer Equation – Base Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method," *Remote Sensing*, 2014, Vol. 6, pp. 9829~9852.

5) Gillespie, A. M., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothern, J. S., Hook, S. and Kahle, A. B., "A Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* 1998, Vol. 36, No. 4, pp. 1113~1125.

6) Petitcolin, F. and Vermote, E., "Land surface reflectance, emissivity and temperature from MODIS middle and thermal infrared data," *Remote Sensing of Environment*, 2002, Vol. 83, pp. 112~134.

7) Berk, A., Anderson, G. P., Acharya, P. K. and Shettle, E. P., "*MODTRAN 5.2.0.0 User's Manual,*" Air force research laboratory, 2008.

8) Choi, Y. Y. and Suh, M. S., "Development of a Land Surface Temperature Retrieval Algorithm from KG2A/AMI," *Remote Sensing*, 2020, Vol. 12, No. 18, 3050.

9) Barsi, J. A., Schott, J. R., Hook, S. J., Raqueno, N. G., Markham, B. L. and Radocinski, R. G., "Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration," *Remote Sensing*, 2014, Vol. 6, No. 11, pp. 11607~11626.

10) Cook, M., Schott, J. R., Mandel, J. and Raqueno, N., "Development of an Operational Calibration Methodology for the Landsat Thermal Data Archive and Initial Testing of the Atmospheric Compensation Component of a Land Surface Temperature (LST) Product from the Archive," *Remote Sensing*, 2014, Vol. 6, No. 11, pp. 11244~11266.

11) Kim, H. S., Chung, D. W. and Kim G. S., "Method of Generating Satellite Simulated Image in the Point of MTF," Aerospace Engineering and Technology, 2007, Vol. 6, No. 1, pp. 97~1023.

12) Griffin, M. K., Burke, H. K. and Kerekes, J. P., "Understanding radiative transfer in the midwave infrared: A precursor to full spectrum atmospheric compensation," *In Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery X, International Society for Optics and Photonics*, 2004, Vol. 5425, pp. 348~356.

13) Won, J. S., "A Study of Absolute and Relative Temperature Retrieval from Space-borne High Resolution Mid-wavelength Infrared(MWIR) Images," *Research Report of Korea Aerospace Research Institute*, 2019.

14) Baldridge, A. M., Hook, S. J., Grove, C. I. and Rivera, G., The Aster Spectral Library Version 2.0, *Remote Sensing of Environment,* 2009, Vol. 113, pp. 711~715.