

단일 밴드 중적외선 영상을 이용한 표면온도 추정 방법 연구

박옥⁽¹⁾, 이윤경⁽¹⁾, 원중선⁽¹⁾, 이승근⁽²⁾, 김종민⁽²⁾

(1) 연세대학교 지구시스템과학과 원격탐사연구실

(2) 국방과학연구소 영상정보체계 개발단

pw1983@yonsei.ac.kr

요약: Mid-Infrared (MIR) 영상은 화산 활동 및 산불로 인한 재난관측, 지표물질 관측, 해수 온도 측정과 같은 분야에서 사용되고 있다. 그러나 MIR영역은 지표의 복사율과 대기의 영향으로 인한 변화가 매우 심하고, 낮 영상의 경우 태양 복사량에 의한 영향도 고려해야 하는 어려움이 있다. 따라서 단일밴드인 MIR영상을 이용하여 표면온도를 얻기 위해서는 영상이 취득된 시간과 장소에서 관측된 태양 복사량 및 여러 가지 대기 변수가 필요하다.

본 연구의 목적은 기존의 MIR 영상 연구가 다중밴드를 기반으로 한 것과 달리 단일 밴드의 영상을 이용하여 표면온도를 측정하는데 있다. 이를 위하여 MODIS MIR 영상을 대상으로 MODTRAN을 사용하여 MIR 영역의 대기보정 기법을 적용 한 뒤 복사전달 모델을 이용하여 지표의 복사량을 측정하였다. 획득된 지표온도 영상의 정밀도를 측정하기 위해서 기존의 온도 알고리즘인 split-window algorithm에 의해 얻어진 해수온도 영상과의 비교를 통하여 오차 원인에 대해 분석을 실시하였다. 그 결과 낮 영상의 경우 $-4.19 \pm 1.19^\circ\text{C}$ 정도의 온도 차가 났으며, 밤 영상의 경우 $0.5 \pm 0.39^\circ\text{C}$ 정도로 비교적 좋은 결과를 보였다. 이는 낮 영상의 경우 지표의 복사율에 대한 온도의 민감도가 매우 높기 때문에 높은 오차가 발생하지만, 밤 영상의 경우 태양빛에 의한 영향이 없으므로 좋은 결과를 나타내기 때문이다. 따라서 단일밴드 MIR영상을 이용한 지표온도 추정 시 대기에 의한 영향보다 지표 복사율에 의한 영향이 높다고 추정할 수 있다.

1. 서론

Mid-Infrared (MIR)영역인 $3\sim 5\mu\text{m}$ 파장대역은 지구 환경 연구에 있어서 매우 다양한 정보를 제공한다 (Boyd, D.S and Petitcolin, F., 2004). 특히, 식생이나 토양과 같은 지표 물질들은 이 영역에서 매우 다양한 반사도를 보이고 있기 때문에 지표 환경을 연구하는데 주로 이용되어 왔으며, 표면복사를 이용한 온도 추정에도 사용되었다. 그러나 MIR

영역은 지표의 복사와 태양빛의 반사 신호를 동시에 포함하므로 지표의 신호만을 얻기 위해서는 대기효과와 태양빛의 반사 신호 제거를 수행해야 한다. 기존의 일반적인 MIR 연구의 경우 2개 이상의 밴드를 갖는 영상에 대하여 다중밴드 기반 알고리즘을 이용하여 온도 및 복사율 추정을 수행해 왔다 (Petitcolin, F. and Vermote, E., 2002). MIR영역의 단일밴드를 갖는 영상을 이용하여 지

표온도를 구하기 위해서는 대기보정 및 지표 복사율 추정을 해야 하기 때문에 영상의 활용이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 단일 밴드 MIR 영상을 이용한 표면온도 추정 방법을 시험하기 위하여 MODIS MIR Band 20 영상과 MODTRAN을 이용하여 표면 온도를 측정하고 Thermal-Infrared (TIR) 영상에 split-window algorithm (Wan, Z and Dozier, J., 1996) 으로 계산되어 나온 지표온도 영상과 비교하고자 한다.

2. MIR 영역의 특징과 배경이론

인공위성이나 항공기를 이용해서 MIR 영역의 지표복사량을 알기 위해서는 이 영역에 대한 대기 효과에 대해서 먼저 고려해야 한다. Fig.1은 MODTRAN으로 계산된 MIR 영역의 투과율로 H₂O, CO₂, O₃와 같은 기체들로 인한 흡수대를 보여준다. 따라서 MIR 영역을 대기보정 하기 위해서는 사용하는 파장대역에 따라 H₂O 이외에 CO₂, O₃, 에어로졸 같은 다른 영향도 고려해야 한다.

MIR 영역의 복사 전달 모델은 태양빛의 반사와 지표의 복사량이 모두 고려되어야 한다. 이론적인 가정은 clear-sky, plane-parallel atmosphere, Lambertian surface 를 가정하였다. 센서에 들어오는 총 복사량($L_{\lambda, sensor}$)은 식 1과 같이 계산될 수 있다 (Griffin, M., Burke, H., and Kerekes, J., 2004).

$$L_{\lambda, sensor} = (\varepsilon_{\lambda} B[T] + (1 - \varepsilon_{\lambda}) L_{\lambda, T, S}) \tau + (L_{\lambda, T}^{\uparrow} + L_{\lambda, S}^{\uparrow}) \quad (1)$$

여기서, ε_{λ} 는 지표의 복사율, $B[T]$ 는 절대 온도 T에서의 흑체의 복사량, $L_{\lambda, T, S}$ 는 태양 및 대기의 하향 복사량으로 다중산란 효과가 포함되어 있다. $L_{\lambda, T}^{\uparrow}$ 는 대기의 상향 복사

량, $L_{\lambda, S}^{\uparrow}$ 는 단일 산란효과에 의한 태양복사의 반사이다.

3. 사용된 자료 및 실험 방법

연구에 사용된 MODIS 영상은 촬영주기가 매우 짧고 다양한 파장 대역에 걸쳐서 36개의 밴드를 가지고 있는 장점이 있다. 공간 해상도는 밴드에 따라 250m (Band 1-2), 500m (Band 3-7), 1000m (Band 8-36)로 다양하며 MIR영역에 6개 밴드를 가지고 있어 대기 및 해수 온도 측정 등에 사용되고 있다. 본 연구를 위해 사용된 자료는 NASA에서 제공하는 MODIS L1B 영상 중 Band 20 (3.660 - 3.840 μ m) 으로 MIR영역에서 가장 흡수가 적게 나타나는 영역인 3.7-3.8 μ m 근처에 위치해 있다. 이 영역은 CO₂와 O₃의 흡수대를 피해 있으므로 H₂O만 고려해도 되기 때문에 MIR의 다른 영역에 비해 모델링이 비교적 간단하다. 또한, 에어로졸에 의한 흡수와 산란 효과는 에어로졸의 종류나 양에 따라 약 2-15%정도의 투과율 감소 효과를 나타낸다.

사용된 영상의 날짜는 Table.1 과 같다. 연구지역은 한반도 및 주변해역으로 제한하였다. 평균기온과 상대습도는 기상청의 자료를 이용하였고 표면 복사율 값은 MODIS emissivity library를 사용하였다. 모든 대기 파라미터는 MODTRAN을 이용하여 모델링되었으며 수분율에 따른 함수로 나타내었다.

MODTRAN으로 획득된 대기 파라미터들과 MODIS Emissivity library를 이용해 얻은 복사율 자료를 식 1)을 이용하여 영상의 온도를 추정하였으며, 위도 별 태양의 고도 변화에 따른 태양복사량의 변화량을 보정해주었다. 이질성이 큰 육지의 경우 물질별로 복사율

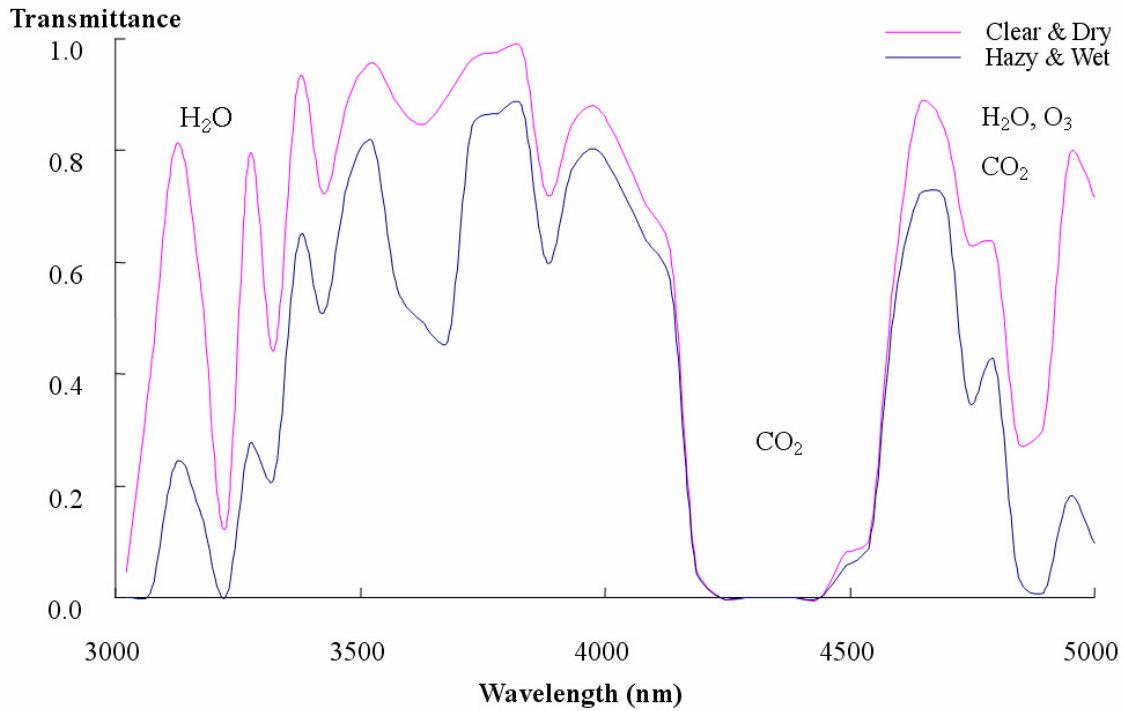


Figure 1. Plot of the atmospheric transmittance across the MIR spectral region for two atmospheric conditions: hazy and wet and clear and dry

Table .1 Descriptions of the tested data

Date	Time (GMT)	Average temperature(°C)	Relative humidity(%)
2007.2.26	2 : 25	8.30°C	48.90%
2007.3.27	13 : 10	10.50°C	67.60%

의 변화가 크기 때문에 본 연구에서는 육지를 제외한 해양의 온도를 계산하였다.

위의 방법으로 측정된 온도영상의 정확도 검증을 위하여 MODIS Thermal-Infrared (TIR) 인 31, 32번 밴드에 다중밴드를 사용한 온도 측정에 많이 사용되는 split window algorithm 을 이용한 온도결과 영상과 비교 분석을 실시하였다.

4. 실험 결과

MODIS Band 20 영상을 이용해 구한 온도영

상과 MODIS Band 31,32를 이용해 구한 온도 영상은 Fig.2 와 같다. 구름이 없는 A, B, C, D 지역을 선택하여 온도 차 영상을 만들었고 온도 비교를 수행하였다. 밤 영상의 경우 기존의 알고리즘으로 구한 온도 영상과 평균 $0.5 \pm 0.39^\circ\text{C}$ 정도의 비교적 비슷한 온도를 나타내었으나 낮 영상의 경우 평균 $-4.14 \pm 1.19^\circ\text{C}$ 정도의 온도 차이가 났다. 따라서 이 결과로 인해 밤 영상의 경우 대기보정이 잘 되었다고 평가할 수 있었으며 대기 보정은 비교적 큰 문제가 되지 않는다는 것

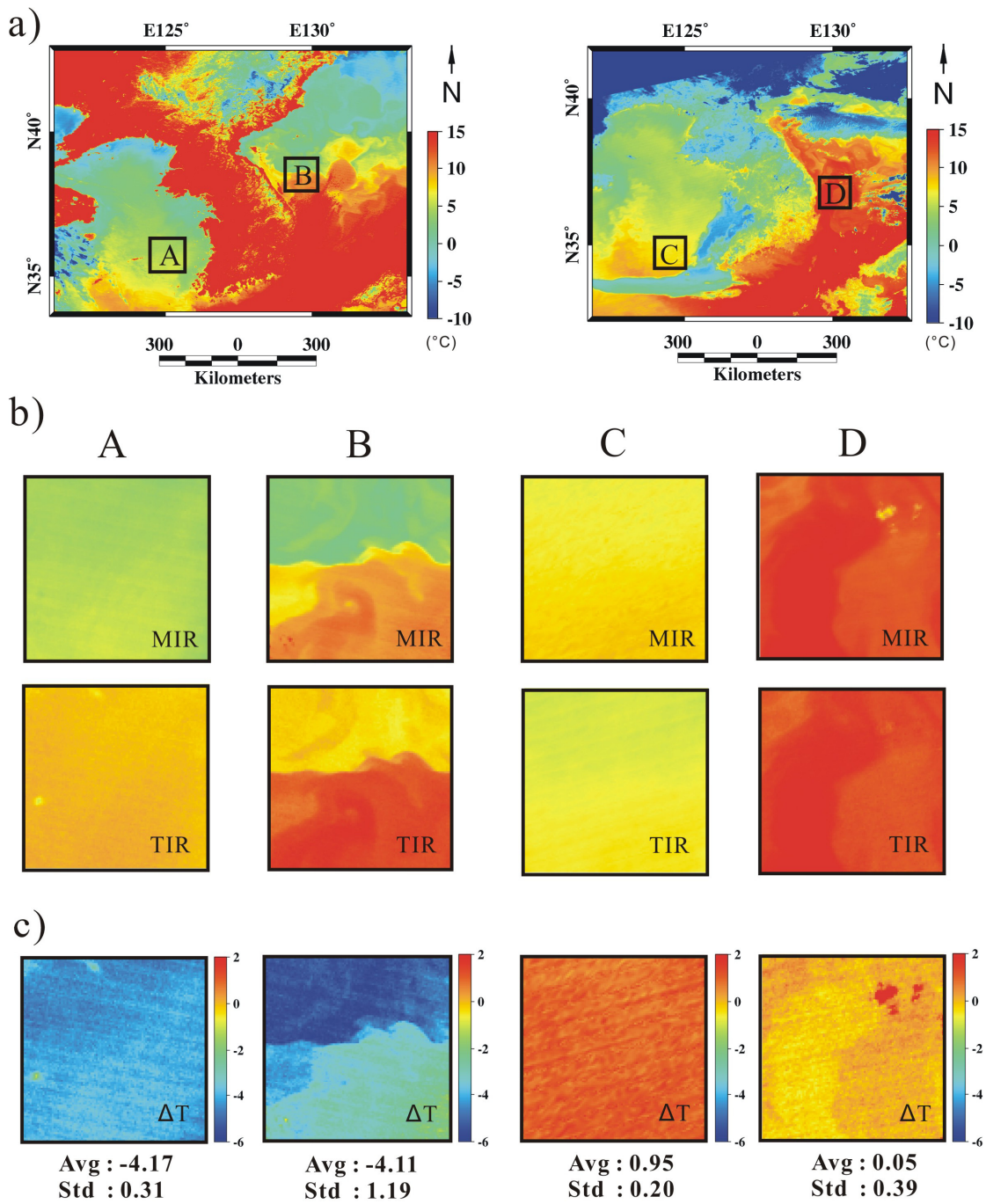


Figure.2 a) Sea surface temperature images derived from MODIS MIR/TIR images and b) comparison of surface temperature algorithms over Radiative Transfer Model using MODIS MIR band 20 image and c) split-window algorithm using MODIS TIR band 31,32 images, and ΔT (MIR-TIR) images

을 보여준다.

낮 영상의 경우 온도차이가 크게 나타나는 것은 지표에 도달하는 태양복사량이 지표에서 방출하는 복사량에 비해 매우 크기 때문에 복사율 변화에 따라 태양복사량이 반사되는 양이 큰 영향을 주기 때문이다. 따라서 이론적인 복사율과 실제표면 복사율은 오차를 가질 수 있기 때문에 낮 영상은 온도 차가 매우 크게 발생하였고 측정결과 1%정도의 복사율 오차에 대해서 약 2°C 정도의 온도차이가 생겼다. 특히 MODIS Band 20 (3.660 - 3.840 μ m) 영역은 MODIS MIR 밴드 중에서도 다른 MIR 밴드보다 태양복사량에 의한 효과가 지표 복사량 보다 매우 큰 밴드이므로 복사율에 따른 온도반응이 크다. 육지의 경우에는 상대적으로 온도가 매우 높게 나타났는데 이번 실험에서는 영상의 모든 지점의 복사율을 해수의 복사율로 주었기 때문이다. MIR영역은 일반적으로 지표 복사율이 해수보다 낮고 반사도는 해수보다 높다. 반사도가 높을수록 지표에서 반사되어 센서에 들어오는 태양복사량의 에너지가 크게 측정 되기 때문에 온도는 더 낮게 측정 될 것이다. 따라서 복사율만 정확하게 구할 수 있다면 지표에서도 단일밴드 MIR영역을 이용해 신뢰도 있는 표면온도를 추정할 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

MIR영역의 단일 밴드를 이용하여 표면 온도를 추정하기 위해 MODIS Band 20과 복사 전달 방정식을 이용하였다. 대기 파라미터는 MODTRAN을 이용하여 모델링 했다. MIR영역이 지표 복사율에 대해 매우 민감한 영향을 보였기 때문에 대기보정의 결과를 정확히 평가하기는 어려웠다. MIR영역에

서 낮 영상의 경우 표면온도는 약 1%의 복사율 오차에 약 2°C 정도의 매우 큰 반응을 보였다. 그 이유는 태양빛의 복사량이 지구 표면에서 방출하는 복사량에 비해 매우 큰 값을 갖기 때문이다. 그러므로 단일 밴드의 MIR영역에서 표면온도를 추정하기 위해서는 정확한 표면의 복사율을 구하는 것이 중요하다. 그리고 만약 밴드영역이 약 3~5 μ m로 넓다면 태양복사량에 비해 지표 복사량이 상대적으로 커지기 때문에 복사율 오차에 따른 온도의 민감도는 줄어들 것으로 예측된다.

추후 지표 복사율을 결정하는 방법에 대한 연구를 통해 지표온도를 정확하게 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

7. 참고문헌

- Boyd, D.S and Petitcolin, F., 2004, Remote sensing of the terrestrial environment using middle infrared radiation (3~5 μ m), Int. J. Remote sensing, Vol. 25, No. 17, 3343-3368
- Petitcolin, F. and Vermote, E., 2002, Land surface reflectance, emissivity and temperature from MODIS middle and thermal infrared data, Remote Sensing of Environment, Vol. 83, 112-134
- Griffin, M., Burke, H., and Kerekes, J., 2004, Radiative Transfer in the Midwave Infrared Applicable to Full Spectrum Atmospheric Characterization, IEEE IGASS'04 Proceedings, 2004
- Wan, Z., 1999, MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD) Version 3.3, Institute for Computational Earth System Science University of California, Santa Barbara, CA

93106-3060

Wan, Z and Dozier, J., 1996, A Generalized Split-Window Algorithm for Retrieving Land-Surface Temperature from Space, IEEE Geoscience and Remote Sensing, Vol. 34, No. 4