

단일 밴드 중적외선 영상으로부터 표면온도 추정을 위한 기초연구

박 욱* · 이윤경* · 원중선*[†] · 이승근** · 김종민**

*연세대학교 이과대학 지구시스템과학과, **국방과학연구소 영상정보체계 개발단

A Basic Study for the Retrieval of Surface Temperature from Single Channel Middle-infrared Images

Wook Park*, Yoon-Kyung Lee*, Joong-Sun Won*[†], Seung-Geun Lee**, and Jong-Min Kim**

*Department of Earth System Sciences, Yonsei University, **Agency for Defense Development

Abstract : Middle-infrared (MIR) spectral region between 3.0 and 5.0 μm in wavelength is useful for observing high temperature events such as volcanic activities and forest fire. However, atmospheric effects and sun irradiance in day time has not been well studied for this MIR spectral band. The objectives of this basic study is to evaluate atmospheric effects and eventually to estimate surface temperature from a single channel MIR image, although a typical approach utilize split-window method using more than two channels. Several parameters are involved for the correction including various atmospheric data and sun-irradiance at the area of interest. To evaluate the effect of sun irradiance, MODIS MIR images acquired in day and night times were used for comparison. Atmospheric parameters were modeled by MODTRAN, and applied to a radiative transfer model for estimating the sea surface temperature. MODIS Sea Surface Temperature algorithm based upon multi-channel observation was performed in comparison with results from the radiative transfer model from a single channel. Temperature difference of the two methods was $0.89 \pm 0.54^\circ\text{C}$ and $1.25 \pm 0.41^\circ\text{C}$ from the day-time and night-time images, respectively. It is also shown that the emissivity effect has by more largely influenced on the estimated temperature than atmospheric effects. Although the test results encourage using a single channel MIR observation, it must be noted that the results were obtained from water body not from land surface. Because emissivity greatly varies on land, it is very difficult to retrieval land surface temperature from a single channel MIR data.

Key Words : Mid-infrared, Surface temperature, Radiative transfer model, Atmospheric correction.

요약 : 3~5 μm 파장대의 중적외선 영상은 화산 활동이나 산불과 같이 고온 현상을 관측하는데 효과적이다. 그러나 중적외선 영역은 지표의 복사율과 대기의 영향으로 인한 변화가 매우 심하고, 특히 낮 영상의 경우 태양 복사량에 의한 영향도 고려해야 하는 어려움이 있다. 따라서 단일밴드인 중적외선 영상을 이용하여 표면온도를 얻기 위해서는 영상이 취득된 시간과 장소에서 관측된 태양 복사량 및 여러 가지 대기 변수가 필요하다. 이 연구는 기존의 다중밴드 기반의 중적외선 영상 활용방법과 달리 단일 밴드 중적외선 영상을 이용하여 표면온도 추정을 위한 기초연구에 그 목적이 있다. 이를 위하여 MODIS 영상을 대상으로 MODTRAN

을 사용하여 중적외선 영역의 대기보정 기법을 적용 한 뒤 복사전달 모델을 이용하여 지표의 온도를 측정하였다. 획득된 온도 영상의 정밀도를 측정하기 위해 기존의 온도 알고리즘인 MODIS Sea Surface Temperature 알고리즘에 의해 얻어진 해수온도와 비교를 통하여 오차 원인에 대해 분석을 실시하였다. 두 결과의 온도 차는 낮 영상의 경우 $0.89 \pm 0.54^\circ\text{C}$ 밤 영상의 경우 $1.25 \pm 0.41^\circ\text{C}$ 로 비교적 긍정적인 결과를 보였다. 그러나 낮 영상의 육지의 경우 대기에 의한 영향보다 태양빛의 반사가 주된 오차의 원인이 되며 이는 지표 복사율에 의한 영향이 매우 크게 작용하고 있음을 추정할 수 있다. 이 연구는 현재까지 해수에 대한 적용에 국한된 것으로 육상의 경우 복사율 변화가 매우 크기 때문에 중적외선 단일밴드에 의한 온도추정이 매우 어려울 것으로 예상된다.

1. 서론

중적외선 영역인 $3\sim 5\mu\text{m}$ 파장대역은 지표의 복사 및 태양빛의 반사가 모두 일어나는 영역으로 지구 환경 연구에 있어서 매우 다양한 정보를 제공한다(Boyd and Petitcolin, 2004). 특히, 이 영역에서 식생이나 토양과 같은 지표 물질들은 이 영역에서 매우 다양한 반사도를 보이고 있기 때문에 지표 환경 연구에 많이 사용되며 표면복사를 이용한 해수 온도 추정에도 활용된다(Brown and Minnett, 1999). 또한 높은 온도를 정밀하게 관측할 수 있으므로 산불 탐지와 같은 재난 관측 분야에도 이용된다(Siegert et al., 2004). 센서에 감지되는 중적외선 영역의 신호는 지표의 복사와 태양빛의 반사 신호를 동시에 포함하므로 지표의 신호만을 획득하기 위해서는 대기효과와 태양빛의 반사신호를 제거해야 한다. 기존의 연구의 경우 중적외선 영역내의 두 개 이상의 밴드를 가지고 있는 센서에 다중밴드 기반 알고리즘을 적용하여 표면의 온도 및 복사율을 추정한다(Wan and Dozier, 1996; Petitcolin and Vermote, 2002). 그러나 다중밴드가 아닌 단일밴드를 사용하여 지표의 온도를 획득하기 위해서는 대기보정과 지표 복사율 추정이 동시에 이루어져야 하며 특히 낮 영상의 경우에는 태양 빛에 의한 영향이 추가적으로 고려되어야 한다.

본 연구에서는 단일밴드 중적외선 영상의 활용을 위하여 단일밴드를 사용한 표면온도 추정 알고리즘을 개발하여 지표 및 해수의 온도를 측정하고자 한다. 대기 인자를 계산하기 위해 MODTRAN을 사용하여 한반도 지역의 대기 인자를 계산한 뒤, MODIS 중적외선 밴드 20 영상을 복사전달모델에 적용하여 대기보정 및 온도 추정을 하고자 한다.

2. 중적외선 영역의 특징과 배경이론

단일밴드 중적외선 영상의 대기보정을 위해서는 이 영역에 대한 대기 효과가 우선적으로 고려되어야 한다. Fig. 1은 이런 대기효과를 MODTRAN으로 모사한 투과율로 H_2O , CO_2 , O_3 등의 기체에 의한 흡수대를 보여준다. 따라서 중적외선 영역의 대기보정을 위해서는 사용하는 파장대역에 따라 H_2O 이외에 CO_2 , O_3 , 에어로졸 같은 다른 인자에 의한 영향도 고려해야 한다. 대기 보정을 하기 위해 선택된 기체들에 대한 영향을 보정하기 위해서는 영상획득시의 대기자료가 필요하다. 하지만 매 영상마다 필요한 대기자료를 모두 얻을 수는 없기 때문에 모델을 이용해 대기 인자 값들을 추출하여 근사적인 알고리즘을 만드는 방법을 사용한다.

센서에 들어오는 총 복사량($L_{\lambda, \text{sensor}}$)은 식 1과 같이 계산될 수 있으며 중적외선 영역의 복사 전달 모델은 태양빛의 반사와 지표의 복사량이 모두 고려되어야 한다(Griffin et al., 2004).

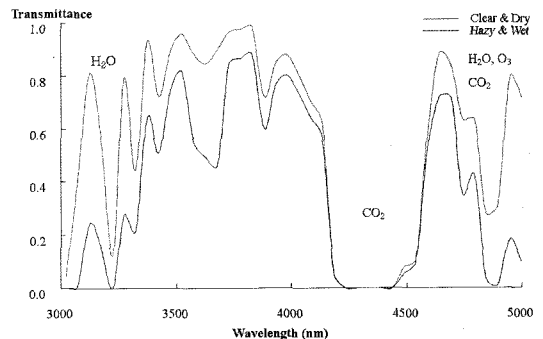


Fig. 1. The atmospheric transmittance across the MIR spectral region for two atmospheric conditions: pink line represents clear and dry condition, while blue line shows hazy and wet condition.

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

여기서, ε_{λ} 는 지표의 복사율, $B[T]$ 는 절대온도 T에서의 흑체의 복사량, $L_{\lambda, T, S}$ 는 태양빛의 복사량 및 대기의 하향 복사량으로 다중산란 효과가 포함되어 있으며 특히 태양 복사량의 경우 태양-지구-센서 간의 기하모델이 적용된 값이 포함되어 있다. $L_{\lambda, T}$ 는 대기의 상향 복사량, $L_{\lambda, S}$ 는 단일 산란효과에 의한 태양복사의 반사이다. 표면온도를 추정하기 위해서는 $B[T]$ 값을 알아야 한다. 단일 밴드를 사용 할 경우 나머지 대기 인자들의 값과 ε_{λ} 를 구해야 한다.

3. 자료 및 방법

연구에 사용된 MODIS영상은 촬영주기가 매우 짧고 다양한 파장 대역에 걸쳐서 36개의 밴드를 가지고 있다. MODIS 영상의 밴드 별 특징은 Table 1과 같다. 공간 해상도는 밴드에 따라 250m (Band 1-2), 500m (Band 3-7), 1000m (Band 8-36)로 다양하며 중적외선 영역에 6개 밴드를 가지고 있어 대기 및 해수 온도 측정 등에 많이 사용된다. 본 연구에서 사용된 자료는 NASA에서 제공하는 MODIS L1B 영상 중 밴드 20 (3.660 - 3.840 μm) 영상이다. 이 영역은 CO₂와 O₃의 흡수 대역을 포함하지 않으므로 H₂O만 고려해도 되기 때문에 중적외선 영역의 다른 영역에 비해 모델링이 비교적 간단하다.

연구에 사용된 영상은 Table 2와 같이 낮과 밤에 획득되었고, 연구지역은 한반도 및 주변해역으로 제한하였다. 대기의 수분량을 구하기 위해 기상청의 서울지역 일일 평균기온과 상대습도 관측 값을 사용하였다. 이때, 모델의 단순화를 위해 육상과 해상을 포함하는 영상의 전 지역이 동일한 평균기온과 상대습도를 갖는다고 가정한다. 이론적인 가정은 구름이 없는 기상조건, 평행 대기, Lambertian surface를 가정하였다. 대기 인자를 계산하기 위해 MODTRAN을 이용하였고 수분율을 입력하기 위한 대기자료는 기상청의 일 관측 값 자료를 사용하였다. 표면 복사율 값은 MODIS emissivity library를 사용하여 값을 정의할 수 있다. 육지의 경우 아주 다양한 물질로 지표면이 이루어져 큰 이질성을 갖

Table 1. MODIS bands characteristic

Primary Use	Band	Bandwidth ¹	Spectral Radiance ²	Required SNR ³
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670	21.8	128
	2	841 - 876	24.7	201
Land/Cloud/Aerosols Properties	3	459 - 479	35.3	243
	4	545 - 565	29.0	228
	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7.3	275
	7	2105 - 2155	1.0	110
Ocean Color/Phytoplankton/Biogeochemistry	8	405 - 420	44.9	880
	9	438 - 448	41.9	838
	10	483-493	32.1	802
	11	526 - 536	27.9	754
	12	546 - 556	21.0	750
	13	662 - 672	9.5	910
	14	673 - 683	8.7	1087
	15	743 - 753	10.2	586
	16	862 - 877	6.2	516
Atmospheric Water Vapor	17	890 - 920	10.0	167
	18	931 - 941	3.6	57
	19	915 - 985	15.0	250
Primary Use	Band	Bandwidth ¹	Spectral Radiance ²	Required NE[delta]T(K) ⁴
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840	0.45 (300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38 (335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
	23	4.020 - 4.080	0.79 (300K)	0.07
Atmospheric Temperature	24	4.433 - 4.498	0.17 (250K)	0.25
	25	4.482 - 4.549	0.59 (275K)	0.25
Cirrus Clouds Watervapor	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.18 (240K)	0.25
	28	7.175 - 7.475	2.18 (250K)	0.25
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700	9.58 (300K)	0.05
Ozone	30	9.580 - 9.880	3.69 (250K)	0.25
	31	10.780 - 11.280	9.55 (300 K)	0.05
Surface/Cloud Temperature	32	11.770 - 12.270	8.94 (300K)	0.05
	33	13.185 - 13.485	4.52 (260K)	0.25
Cloud Top Altitude	34	13.485 - 13.785	3.76 (250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11 (240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08 (220K)	0.35

¹ Bands 1 to 19 are in nm; Bands 20 to 36 in μm .

² Spectral Radiance values are (W/m² μm sr)

³ SNR = Signal-to-noise ratio

⁴ NE(delta)T = Noise-equivalent temperature difference
<http://modis.gsfc.nasa.gov/>

기 때문에 복사율 값을 결정하기에 어려움이 있다. 따라서 상대적으로 매우 균질한 해수의 복사율을 이용하여

Table 2. Descriptions of the tested data

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

대기보정의 결과를 시험하기로 하였다. 해수의 복사율을 계산한 결과 MODIS 밴드 20 영상의 해수 복사율의 값은 0.975의 값을 나타냈다.

대기보정 결과 및 온도영상의 정확도 평가를 위하여 MODIS 20, 22, 23, 31, 32번 밴드를 이용하여 MODIS SST (Sea Surface Temperature) Algorithm 을 사용해 획득한 해수온도와 영상과 비교·분석하였으며 해수 온도를 이용하여 대기보정 결과를 평가 하였다.

4. 결과 및 고찰

영상처리에 필요한 대기 인자들은 수분율을 이용해 MODTRAN으로 계산되었으며 그 결과는 Table 3에 나타났다. 대기모델은 중위도 겨울 표준대기모델을 이용하였다. 하향 복사량의 경우 대기의 하향복사에 의한 효과와 태양복사의 효과가 모두 포함된 값이며 태양 복사량 값은 영상 내의 위도 별 태양 고도 변화에 따른 태양 복사량의 변화 효과를 보정하였다. 에어로졸의 경우 MODTRAN을 이용해 실험한 결과 에어로졸 모델에 따라 약 2~15%정도의 투과율 감소 효과를 나타냈다. 본 연구에서는 해수온도를 비교하기 때문에 에어로졸 모델은 MODTRAN내에 내장된 Maritime Extinction 23Km를 사용하였다. MODTRAN으로 계산된 대기 인자 값들과 MODIS Emissivity library를 이용해 구한 해수의 복사율을 식 (1)을 이용하여 MODIS 밴드 20영상의 온도를 추정하였다.

MODIS 밴드 20 영상을 복사전달모델에 적용해 획득된 온도영상과 MODIS SST algorithm을 이용해 구한 온도영상은 Fig. 2와 같다. 정확한 비교를 위하여 비교적 구름이 없는 A, B, C, D 지역을 선택하여 온도 차 영상을 만들었고 온도 비교를 수행하였다. 밤 영상의 경우 MODIS SST algorithm으로 구한 온도 영상과 비교한 결과 평균 $1.25 \pm 0.41^\circ\text{C}$ 의 온도 차이를, 낮 영상의 경우 평균 $0.89 \pm 0.54^\circ\text{C}$ 정도의 비교적 작은 온도 차이를 나타냈다. 그러나 낮 영상의 경우 육지에서는 2월 하순의 온도가 약 30°C 정도로 약 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 정도 크게 나타났다. 이는 영상 전체에 해수의 복사율을 사용했기 때문이며 육지의 경우 해수보다 물질 별로 약 5~10%정도 낮은 복사율을 가지기 때문에 태양 빛의 반사량이 해수보다 크다. 또한 지표에 도달하는 태양복사량이 지표에서 방출하는 복사량에 비해 매우 크기 때문에 지표의 복사율의 변화에 따라 태양복사량이 반사되는 양이 큰 영향을 받는다. 즉 식(1)을 보면 해수의 복사율이 사용되었기 때문에 육지의 경우 태양빛의 반사량이 덜 제거 되고 표면온도가 과평가된 것으로 생각된다. 특히 MODIS 밴드 20 ($3.660 - 3.840\mu\text{m}$) 영역은 MODIS 중적외선 밴드 중에서도 다른 밴드보다 태양복사량의 영향이 지표 복사량 보다 매우 큰 밴드이므로 지표 복사율에 따른 온도반응이 크다. 온도 오차는 지표의 복사율 오차 외에도 영상 내에 각 지역에서 태양의 고도별로 다르게 나타난다. 이번 연구에 사용한 영상에서 영상의 중심점 부근에서는 1%의 복사율 오차에 대해서 약 2°C 정도의 온도 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 육지의 경우 상대적으로 대기보정에 의해 발생할 수 있는 오차보다 지표 복사율의 오차에서 오는 온도 오차가 매우 크며 지표 온도를 정확하게 측정하기 위해서는 지표의 복사율 값을 결정하는 것이 매우 중요하다. 열적외선(Thermal Infrared) 두 개 이상의 밴드를 통한 육지표면온도를 추

Table 3. Atmospheric Parameters Calculated Using MODTRAN

	Transmittance ¹	Atmospheric Reflection ²	Upwelling Radiance ^{2,3}	Downwellin Radiance ^{2,4}
Day 2007.2.28	84.53	0.0025	0.0214	1.7626
Night 2007.3.27	80.73	0.0035	0.0308	0.0326

1. (%)

2. ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)

3. Atmospheric emission

4. (Solar Reflectance + Solar reflection after atmospheric scattering + Atmospheric emission and surface reflection) * Transmittance

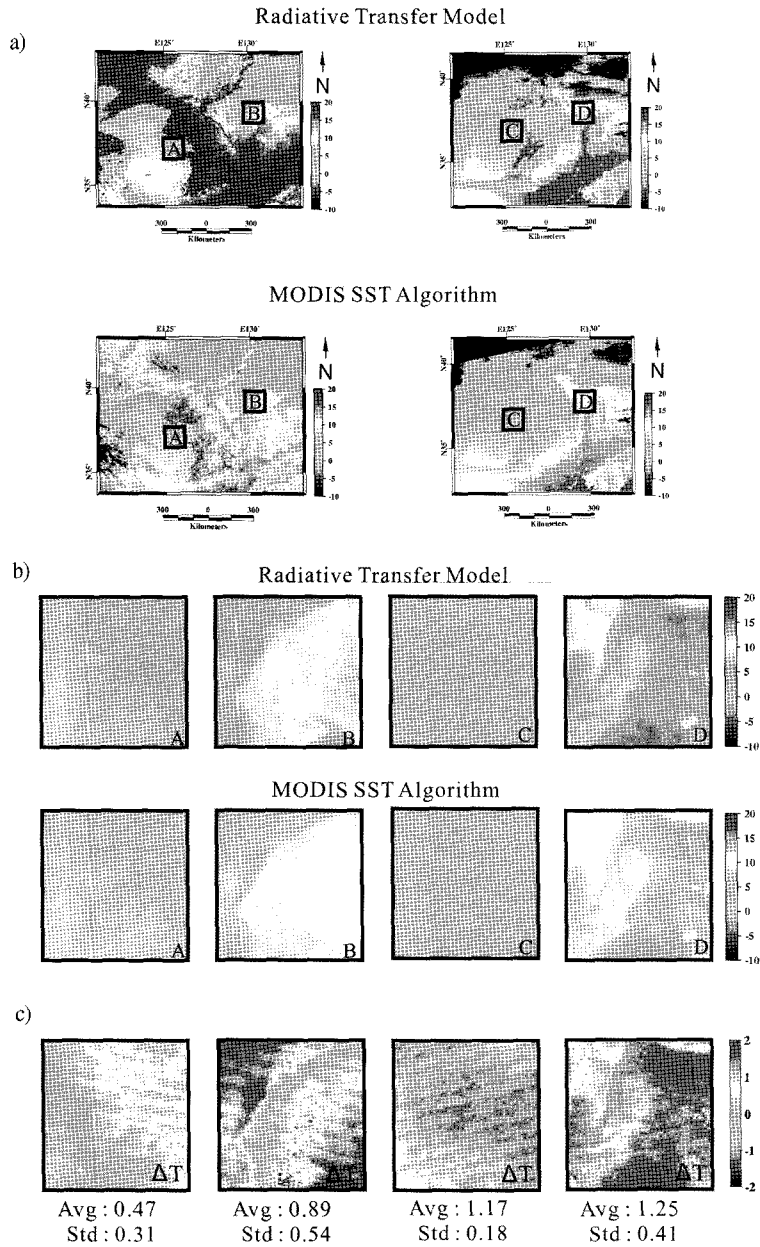


Fig. 2. a) Sea surface temperature images derived from Radiative Transfer Model and MODIS SST Algorithm b) comparison of surface temperature algorithms over Radiative Transfer Model using MODIS MIR band 20 image and MODIS SST Algorithm using MODIS MIR/TIR 20,22,23,31,32 images, and c) ΔT (MIR-TIR) images.

정하는 경우에도 최소한 6개 표본, 즉 식생, 해수, 담수, 토양, 암석, 그리고 불투수층의 도심지(manmade materials)에 대한 복사율 상관관계가 요구되고 필요하다. 중적외선 단일밴드 영상에 의한 육지표면온도 추정

을 하기 위해서도 복사율과 표면온도의 지상검정을 수반해야 할 것이다.

5. 결론

중적외선 영역의 단일 밴드를 이용하여 표면 온도를 추정하기 위해 MODIS 밴드 20과 복사전달 방정식을 이용하였고 대기 인자는 MODTRAN을 이용하여 계산하였다. 복사전달모델에서 획득된 온도영상과 MODIS SST algorithm에 의해 구해진 해수 영상을 비교한 결과 밤 영상의 경우 평균 $1.25 \pm 0.41^\circ\text{C}$, 낮 영상은 평균 $0.89 \pm 0.54^\circ\text{C}$ 정도의 온도 차이를 나타내었다. 실험 결과 두 알고리즘에 의해 구해진 밤과 낮 영상 모두 비교적 작은 온도차이를 나타냈으며 복사전달 모델을 이용한 대기보정이 비교적 긍정적인 결과를 보였다고 평가를 하였다. 이번 실험 결과를 통해 대기보정 보다는 표면의 복사율에 따른 민감도가 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 향후 지표 복사율을 결정하는 방법에 대한 연구를 통해 대기보정 결과를 정량적으로 다시 검증할 것이다. 그 결과들을 이용해 중적외선 영상의 표면 온도추정 알고리즘을 개발한다면 단일밴드 중적외선 영상을 이용하여 정확한 표면온도 추정을 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Berk, A., G. P. Anderson, P. K. Acharya, M. L. Hoke, J. H. Chetwynd, L. S. Bernstein, E. P. Shettle, M. W. Matthew, and S. M. Adler-Golden, 2003. *MODTRAN4 Version 3 Revision 1 User's Manual*, Air Force Research Laboratory Space Vehicles Directorate, Air Force Materiel Command Hanscom AFB, MA 01731-3010.
- Boyd, D. S. and F. Petitcolin, 2004. Remote sensing of the terrestrial environment using middle infrared radiation ($3\sim 5\mu\text{m}$), *International Journal of Remote sensing*, 25(17): 3343-3368.
- Brown, O. B. and P. J. Minnett, 1999. *MODIS Infrared Sea Surface Temperature Algorithm Algorithm Theoretical Basis Document Version 2.0.*, University of Miami, FL, 33149-1098.
- Griffin, M., H. Burke, and J. Kerekes, 2004. Radiative Transfer in the Midwave Infrared Applicable to Full Spectrum Atmospheric Characterization, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium '04 Proceedings*, 6: 4191-4194.
- Petitcolin, F. and E. Vermote, 2002. Land surface reflectance, emissivity and temperature from MODIS middle and thermal infrared data, *Remote Sensing of Environment*, 83: 112-134.
- Siegert, F., B. Zhukov, D. Oertel, S. Limin, S. E. Page, and J. O. Rieley, 2004. Peat fires detected by the BIRD satellite, *International Journal of Remote Sensing*, 25(16): 3221-3230.
- Vermote, E. F., El N. Saleous, C. O. Justice, Y. J. Kaufman, J. L. Privette, L. Remer, J. C. Roger, and D. Tanre, 1997. Atmospheric correction of visible to middle-infrared EOS-MODIS data over land surfaces: Background, operational algorithm and validation, *Journal of Geophysical Research*, 102(D14): 17131-17141.
- 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 J. Dozier, 1996. A Generalized Split-Window Algorithm for Retrieving Land-Surface Temperature from Space, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(4): 892-905.
- Wan, Z., Y. Zhang, and Z. Li, 2002. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data, *Remote Sensing of Environment*, 83: 163-180.