

산악기상관측정보를 이용한 위성정보 기반의 전천후 기온 자료의 평가 - 강원권역을 중심으로

장근창* · 원명수 · 윤석희

국립산림과학원 산림보전부 기후변화연구센터

(2016년 11월 21일 접수; 2016년 12월 9일 수정; 2017년 3월 6일 수락)

Evaluation of the Satellite-based Air Temperature for All Sky Conditions Using the Automated Mountain Meteorology Station (AMOS) Records: Gangwon Province Case Study

Keunchang Jang*, Myoungsoo Won and Sukhee Yoon

Center for Forest & Climate Change, Department of Forest Conservation,

National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Republic of Korea

(Received November 21, 2016; Revised December 9, 2016; Accepted March 6, 2017)

ABSTRACT

Surface air temperature (T_{air}) is a key variable for the meteorology and climatology, and is a fundamental factor of the terrestrial ecosystem functions. Satellite remote sensing from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) provides an opportunity to monitor the T_{air} . However, the several problems such as frequent cloud cover and mountainous region can result in substantial retrieval error and signal loss in MODIS T_{air} . In this study, satellite-based T_{air} was estimated under both clear and cloudy sky conditions in Gangwon Province using Aqua MODIS07 temperature profile product (MYD07_L2) and GCOM-W1 Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) brightness temperature (T_b) at 37 GHz frequency, and was compared with the measurements from the Automated Mountain Meteorology Stations (AMOS). The application of ambient temperature lapse rate was performed to improve the retrieval accuracy in mountainous region, which showed the improvement of estimation accuracy approximately 4% of RMSE. A simple pixel-wise regression method combining synergetic information from MYD07_L2 T_{air} and AMSR2 T_b was applied to estimate surface T_{air} for all sky conditions. The T_{air} retrievals showed favorable agreement in comparison with AMOS data ($r=0.80$, $RMSE=7.9K$), though the underestimation was appeared in winter season. Substantial T_{air} retrievals were estimated 61.4% ($n=2,657$) for cloudy sky conditions. The results presented in this study indicate that the satellite remote sensing can produce the surface T_{air} at the complex mountainous region for all sky conditions.

Key words: Air temperature, MODIS, AMSR2, Brightness temperature, AMOS, Mountain weather



* Corresponding Author : Keunchang Jang
(kcjang@korea.kr)

I. 서 론

지표면 기온(T_{air} , surface air temperature)은 기상 및 기후학 분야에서 대표적인 기상인자일 뿐만 아니라 육상생태계 기능을 조절하는 주요 환경조건 인자이다 (Prihodko and Goward, 1997; Shin *et al.*, 2014). 또한 기온은 기후변화 영향에 의해 나타나는 가뭄과 열파 등과 같은 국지적 극한기상 현상을 이해하기 위한 주요한 척도로 활용되고 있으며(IPCC, 2007), 육상생태계를 비롯한 수문, 환경, 보건, 산업 등 다양한 분야에서 활용성과 중요성이 커지고 있다. 특히, 산림분야에서는 산불 및 산림병해충과 같은 산림재해예측을 통한 피해 예방을 위한 입력 자료로 활용되어 그 중요성이 커지고 있다(이시영 등, 2006). 하지만, 기상관측망의 제한된 공간 분포는 광역규모의 지역이나 우리나라와 같은 복잡한 지형에서 기온의 공간분포 특성을 나타내는데 한계가 있다(Vogt *et al.*, 1997; Jang *et al.*, 2014a).

한편, 인공위성정보 활용 기술은 지상관측이 갖는 공간적인 한계를 극복하고, 넓은 지역에 대한 기온을 추정할 수 있는 기회를 제공한다. 특히 유인관측 제한 지역 또는 접근불능지역을 포함한 넓은 지역을 대상으로 비교적 일정한 관측 주기와 오차 범위를 갖는 특징은 위성정보 기반의 기상인자의 시공간 분포 모니터링을 가능하게 한다. 이미 지표면온도-식생지수 또는 지표면온도-기온 간의 관계를 이용하여 기온을 추정하는 방법은 많은 연구에서 소개된 바 있으며(Prihodko and Goward, 1997; Stisen *et al.*, 2007), 최근에는 위성레이더 정보나 다중분광 영상정보를 활용하여 지표면 수준의 기온을 추정하는 연구도 활발하게 진행되고 있다(Aumann *et al.*, 2003; Seemann *et al.*, 2006; Jones *et al.*, 2010). 특히 미국항공우주국(NASA)의 지구관측계획의 일환으로 2000년부터 운영된 다중분광센서 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)는 지표 수준의 고해상도 기온정보를 연속적으로 획득할 수 있는 기회를 제공함으로써 기상, 기후, 수문, 생태 등 다양한 연구분야에 활용된 바 있다(Kim and Kwon, 2007; Jang *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2011; Jang *et al.*, 2013; Williamson *et al.*, 2014).

하지만 광학 및 열적외를 기반으로 하는 위성정보로부터 산출된 기온정보는 구름 등의 영향으로 인해 연속적인 육상관측이 크게 제한된다. 특히 대표적인 몬순지역인 우리나라에서는 크게 영향을 받는다. 선행연구에 의하면 우리나라 남부지역의 MODIS 기온정보의 자료

연간 평균 획득률은 구름의 영향에 의해 35% 내외라고 보고된 바 있다(Jang *et al.*, 2013). 최근 이러한 한계를 극복하기 위한 시도로 MODIS 기온정보와 위성레이더 발 기온도 정보간의 회귀모형식을 기반으로 전천후 기온정보 산출연구가 소개된 바 있다(Jang *et al.*, 2014a). 그러나 세계적으로 인공위성정보 기반의 기상자료 획득률 제고 연구는 큰 관심사이기는 하지만(Tang and Li, 2008; Bisht and Bras, 2010; Jang *et al.*, 2014a), 아직은 전반적으로 기술개발 단계라고 할 수 있다. 또한, 구름의 영향 이외에 우리나라와 같은 복잡지형에서는 위성정보로부터 고도에 따른 기온의 변화를 고려하는데 한계가 있다. Jang *et al.*(2014b)는 MODIS07_L2 대기 프로파일 산출물로부터 획득한 기온 정보에 기온감률효과를 적용하여 전국 77개소 기상청 기상관측소 자료와 비교한 결과, 위성정보 기반의 기온의 정확도가 향상되었음을 보고하였다. 하지만, 우리나라 산악지역에 대한 신뢰도 평가는 이루어진 바가 없어 복잡지형에 대한 적용가능성을 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 복잡 산악지역의 기온정보를 산출하기 위해 Aqua 위성에 탑재되어 지표환경을 감시하고 있는 MODIS 자료와 GCOM-W1에 탑재된 AMSR2 자료를 이용하였다. MODIS07_L2 (MYD07_L2) 대기 프로파일 자료로부터 획득한 기온정보를 국내 주요 산악지역의 기상상황을 모니터링하고 있는 산악기상관측정보와 비교하여 산악지역에서의 MYD07_L2 기온의 정확도를 평가하고, 대기기온감률을 적용하여 복잡 산악지역에서의 고도 영향을 고려하였다. 또한, 산악지역에서의 연속적인 정보 생산을 위해 Jang *et al.*(2014a)에 의해 제안된 위성정보 융합기술을 사용하여 자료 획득률을 제고하고자 하였다.

II. 자료 및 방법

2.1. 연구 지역

위성정보로부터 산출된 기온정보를 평가하기 위해 산림청 국립산림과학원에서 운영중인 산악기상관측소(automated mountain meteorology stations, AMOS) 중 복잡 산악지형의 영향을 평가하기 위해 강원도 지역에 위치한 자료를 활용하였다(Table 1). AMOS는 최근 기후변화의 영향으로 빈번해지고 있는 산불, 산사태, 산림병해충 등 산림재해를 예방 및 대응하기 위해 전국 주요 산악지역에 구축하여 운영중인 자동기상관측장비이다. 기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 대기압, 지면온도 등의

항목을 실시간으로 관측하고 있으며, 관련 정보는 산악 기상정보시스템(<http://mtweather.nifos.go.kr>)에서 확인할 수 있다. 본 연구에서는 강원도 지역의 해발고도 700m 이상인 지점 6곳을 대상으로 2013년 1월 1일부터 12월 31일까지 관측한 1 시간 단위 기온자료를 수집하여 위성정보로부터 산출된 기온정보의 평가자료로 사용하였다. 위성정보와 관측정보 간의 관측시간 불일치를 해결하여 비교하기 위해 Jang *et al.*(2014b)에 의해 제안된 방법을 사용하였다(Eq. 1).

$$T_{int} = \{T_{i-1}(60 - OPT_{min}) + T_{i+1}OPT_{min}\} / 60 \quad (1)$$

여기서, T_{int} 는 내삽된 관측자료, T_{i-1} 과 T_{i+1} 은 위성통과시간(overpass time, OPT) 전과 후의 관측자료, OPT_{min} 은 위성통과시간 중 분(minute)을 한다.

Table 1. Descriptions of the automated mountain meteorology stations (AMOS) used in this study

No.	Site name	Location	Altitude
1	Galgogae	Gangwon Jeongseon	862
2	Gamtubong	Gangwon Yangyang	879
3	Bongwhachi	Gangwon Jeongseon	754
4	Seonjaryeong	Gangwon Pyeongchang	1157
5	Jeiwangsan	Gangwon Gangneung	822
6	Hambaeksan	Gangwon Taebaek	1537

2.2. 인공위성 자료

2.2.1. MODIS 자료

미국항공우주국(NASA)의 지구관측계획(EOS, Earth Observing System Program)의 일환으로 개발된 MODIS 센서는 1999년과 2002년에 Terra와 Aqua 위성에 각각 탑재되어 지구탐사 임무를 수행하고 있다. 36개의 다중분광밴드를 가지고 있는 MODIS는 태양동주기 궤도로 하루 혹은 이틀에 한 번씩 전 지구의 표면을 관측한다(Masuoka *et al.*, 1998). MODIS07 대기 프로파일 자료(atmospheric profile product)는 5×5 km의 격자해상도를 바탕으로 지표 수준의 다양한 기상정보를 제공할 뿐만 아니라 연직대기층에 대한 정보를 함께 제공하여 대기안정도 연구나 수치기상모형의 자료동화 입력자료로의 활용 등 다양한 분야에서 활용된다.

이 연구에서는 산악지역에서의 기온 자료를 산출하기 위해 Aqua 위성에서 관측하여 생산한 Collection 6

MODIS07_L2 자료(MYD07_L2)를 이용하였다. MYD07_L2로부터 산출된 기온 프로파일 자료는 고도가 높은 산악 지역에 위치한 AMOS 자료와 비교하기 위해 관측고도 오차보정 과정을 수행하였다. MYD07_L2 기온 프로파일 자료는 20 개의 대기압층을 기준으로 산출되는데(Borbás *et al.*, 2011), 이때 지형의 복잡성 때문에 실제 관측지점과의 고도차가 발생할 수 있다(Tang and Li, 2008; Bisht and Bras, 2010; Jang *et al.*, 2014b). 우리나라 산악지역의 경우 복잡한 경관을 이루고 있어 위성정보 기반의 기온 프로파일의 고도보정이 필요하다. 이 연구에서는 Jang *et al.*(2014b)가 제안한 대기온감률(ambient lapse rate) 방법을 적용하여 산악지역의 기온 정보를 추정하였다(Eq. 2).

$$T_a^S = T_a^L + \frac{L_R}{\rho g} (P_a^S - P_a^L) \quad (2)$$

여기서, T_a^S 와 T_a^L 는 고도 보정된 기온(K)과 MYD07_L2로부터 산출된 기온(K)을 의미한다. P_a^S 와 P_a^L 는 지표 대기압(hPa)과 프로파일 대기압층의 대기압(hPa), ρ 와 g 는 각각 대기 밀도(1.22 kg m^{-3})와 중력가속도(9.8 m s^{-2})를 의미한다. L_R 은 기온감률을 의미하는데, 본 연구에서는 Bisht and Bras(2010)가 제안한 -6.5 K km^{-1} 를 적용하였다.

2.2.2. AMSR2 자료

일본 우주항공연구개발기구(Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA)에서 발사한 GCOM-W1 위성에 탑재되어 운용 중인 Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2) 센서는 NASA Aqua 위성에 탑재된 Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System (AMSR-E)의 후속 센서이다. 2012년 5월에 발사된 이 센서는 기존의 AMSR-E와 거의 유사한 성능을 가지고 있으며, 관측고도와 적도 통과시간이 거의 비슷해 AMSR-E의 임무를 지속적으로 수행하고 있다. AMSR 시리즈와 같은 위성레이더 정보는 극초단파(microwave)를 이용하여 지표를 관측하는데, 광학·열적의 위성정보와는 달리 구름에 의한 관측제한이 거의 없다. 따라서 위성레이더 정보의 사용 또는 정보간 융합기술은 광역지역에 대한 연속적인 전천후 기온정보를 산출할 수 있는 가능성이 있다. 본 연구에서는 MYD07_L2 기온정보 내 구름의 영향을 최소화하여 산악지역에 대한 연속적인 기온정보 산출을 위해 10km 공

간해상도의 AMSR2 37GHz 밝기온도(brightness temperature) 자료를 활용하였다. 선행연구에서는 기온과 AMSR-E 37GHz 밝기온도 간의 높은 상관성이 있음을 제시한 바 있다(Jones *et al.*, 2010; Jang *et al.*, 2014a). 본 연구에서 사용된 인공위성 센서의 특성과 자료 설명은 Table 2에 정리하여 제시하였다.

Table 2. Properties of satellite remotely sensed dataset

Satellite/Sensor	Product	Variables	Resolutions
Aqua MODIS	MYD07_L2	T_{air} , P_{surf} , ClearPix	5-min, 5km
GCOM-W1 AMSR2	Brightness Temperature	37 GHz T_b	Daily, 10km

2.3. 전천후 기온 자료의 생산

MYD07_L2 기온정보는 국지, 지역, 전구규모를 대상으로 상대적으로 고해상도인 5km 공간해상도로 제공되어 많은 연구분야에서 활용되고 있지만, 구름 등 대기의 영향을 크게 받아 맑은 날 자료로 제한된다. 본 연구에서는 흐린 날에도 연속적으로 기온정보를 생산하기 위해서 Jang *et al.*(2014a)이 제안한 다중 인공위성정보 융합 활용 기술을 적용하였다. 그들은 MODIS 기온정보와 AMSR-E 밝기온도를 이용하여 픽셀기반의 회귀모형(pixel-wise regression model)을 개발하여 구름이 끼어 결측된 픽셀 내 기온정보를 추정하는 기술을 제안하였다. 회귀모형은 방법이 간단하고 활용이 용이한 측면이 있다. 특히 기온정보와 AMSR-E 밝기온도간의 높은 상관성은 이 방법이 효과적으로 적용될 수 있음을 보여 준다.

Fig. 1은 MODIS 기온정보(MYD07_L2)와 AMSR2 밝기온도 자료 간의 픽셀기반 회귀모형을 이용하여 전천후 기상자료 생산 과정을 나타낸 것이다. 10km 공간해상도의 AMSR2 밝기온도 자료는 5km 공간해상도의 MYD07_L2 기온정보와 해상도 일치를 위해 5km 공간해상도로 변환하였다. 이때 10km 픽셀 내 4개의 하부 픽셀의 값은 동일하다고 가정하였다. 선형 회귀식은 개별 픽셀 단위에서 생성되며, 이것은 구름이 끼어 기온이 생산되지 않은 MYD07_L2 픽셀에 적용되어 기온정보를 추정하였다. 마지막으로 맑은 날에 MYD07_L2로부터 획득한 기온과 회귀모형에 의해 추정된 기온 정보를 합쳐 연속적인 기온정보를 생산하였다.

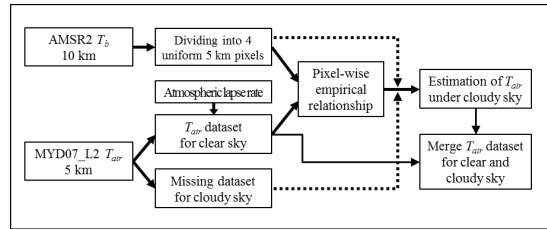


Fig. 1. Schematic diagram for gap-filling on T_{air} for cloudy sky conditions using the pixel-wise regression between MYD07_L2 T_{air} and AMSR2 brightness temperature (T_b).

III. 결과 및 고찰

3.1. 산악기상정보를 이용한 MYD07_L2 기온정보 평가

산악지역에 대해 MYD07_L2로부터 획득한 기온정보의 정확도를 평가하기 위해 1 시간 단위로 관측한 산악 기상관측망(AMOS) 관측자료와 비교하였다. 본 연구에서 사용한 Collection 6 MYD07_L2 기온정보는 전반적으로 AMOS 관측자료와 좋은 일치도(87.0%)를 보였다 (Fig. 2). 전 지점에 대한 평균 오차(mean error, ME)는 +1.68K로 약간 과다모의의 경향을 보였으며, 평균제곱근오차(root mean square error, RMSE)는 4.17K로 나타났다. 지점별로 보았을 때, 강원도 정선군 봉화치의 RMSE 오차(2.38K)가 가장 작게 나타난 반면, 강원도 태백군 함백산에서는 가장 큰 오차(5.45K)를 보였다. 하지만, 다수의 선행연구에서 보고한 MOD07_L2과 MYD07_L2 기온정보의 오차범위가 3~5K인 것을 감

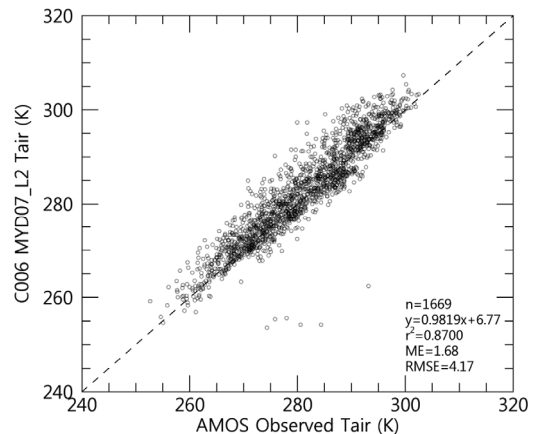


Fig. 2. Comparison of surface air temperature (T_{air}) derived from MYD07_L2 with AMOS measurements.

안한다면(Bisht *et al.*, 2005; Ryu *et al.*, 2008; Jang *et al.*, 2009; Borbas *et al.*, 2011; Jang *et al.*, 2014a) 고도가 높은 복잡 산악지역을 대상으로 한 본 연구의 오차는 평지를 대상으로 했던 연구 결과와 큰 차이를 보이지 않는다. 이것은 일반 평지와 산악지역을 대상으로 MYD07_L2 기온 프로파일 정보의 활용은 일정한 오차 범위 내에서 기온정보의 시공간적 모니터링이 가능하다는 것을 의미한다.

3.2. 위성정보의 관측고도 오차 보정

이 연구에서는 고도가 높은 산악지역에서의 기온 자료의 정확도 개선을 위해 Eq. 2에 제시된 대기기온감률 방법을 적용하여 기온 자료를 보정하였다. Fig. 3은 MYD07_L2로부터 산출된 기온정보에 대기기온감률을 적용시킨 후 산악기상관측 자료와 비교한 결과를 제시한 것이다. 두 자료간의 일치도는 86.2%로 나타나 보정 전과 큰 차이를 보이지 않았지만, 오차는 전반적으로 감소하는 결과를 보였다. ME는 +0.09K로 보정 전에 비해 약 95% 가량 오차가 감소하는 결과를 보였다(Table 3). 반면 RMSE의 경우에는 보정 전에는 4.17K에서 4.00K로 약 4%가량 감소하였다. 기상청 정규기상관측소 77개소 지점에 대해 대기기온감률 방법을 적용한 선행 연구에서는 약 3%의 RMSE 개선효과가 있었음을 보고한 바 있다(Jang *et al.*, 2014b). 이러한 결과를 바탕으로 MYD07_L2 기온정보는 평지지역과 산악지역 모두 대기기온감률 방법을 적용함으로써 정확도를 다소 개선시킬 수 있음을 보였다. 하지만 실제 기온감률은 계절별,

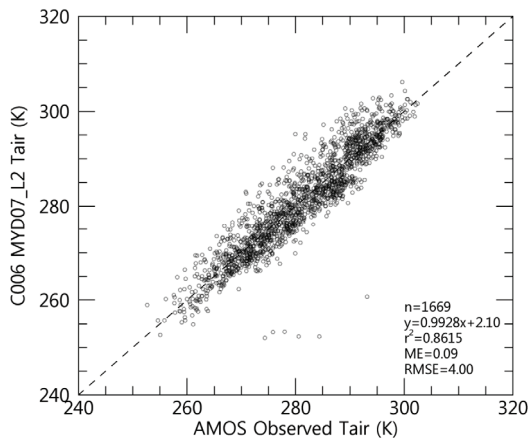


Fig. 3. Comparison of altitude-corrected T_{air} using the ambient temperature lapse rate with AMOS measurements.

사면별로 다르기 때문에(Choi *et al.*, 2010; Choi, 2011), 향후 연구에서는 이러한 요인을 고려하여 위성정보 기반의 기온정보의 상세공간화를 수행할 예정이다.

Table 3. Error statistics for the surface air temperature (T_{air}) from MYD07_L2. The ambient lapse rate was applied to match the retrieval height corresponding with AMOS observations

ID	N. Of Data	Non-corrected			Corrected			
		r^2	ME	RMSE	r^2	ME	RMSE	
1	284	0.9218	1.47	3.28	0.9232	-0.17	2.99	
2	308	0.8945	1.39	3.71	0.8912	-0.60	3.58	
3	259	0.9462	0.32	2.38	0.9462	-1.02	2.64	
4	268	0.8225	2.71	5.32	0.8235	0.80	4.71	
5	297	0.8621	0.38	4.13	0.8575	-1.53	4.49	
6	253	0.8701	4.06	5.45	0.8701	3.48	5.04	
		1669	0.8700	1.68	4.17	0.8615	0.09	4.00

대기기온감률을 적용하여 일부 정확도를 개선하였다고는 하지만, 신뢰도 높은 시공간 기온정보를 생산하기 위해서는 원시 위성정보의 정확도가 우선적으로 확보되어야 필요가 있다. 이러한 정확도는 대기 중 에어로졸이나 구름 등과 같은 요인에 많은 영향을 받는다. 실제로 MYD07_L2 산출물에는 청천화소수(Number of Clear Pixels) 정보를 제공하는데, 이것은 픽셀 내 구름의 영향 정도를 0-25로 표현한다. 청천화소수가 25일 경우는 구름이 없는 맑은 날을 의미하고, 5 미만일 경우에는 구름이 많이 끼어 있다고 판단하여 자료가 결측된다. Ryu *et al.*(2008)과 Jang *et al.*(2014b)의 보고에 의하면 MODIS 대기 프로파일 자료 5km 픽셀 내 구름의 존재 여부가 정확도에 많은 영향을 미친다고 하였고, Lee *et al.*(2011)은 이러한 영향을 고려하여 청천화소수가 20 이상인 자료만을 활용한 바 있다. 이러한 구름의 영향은 자료의 획득률에 영향을 미치기도 하지만, 직접적으로 자료의 품질과 연관되기 때문에 향후 픽셀 내 구름과 자료의 품질간의 관계에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

3.3. 전천후 기온 자료의 평가

위성정보를 기반으로 연속적인 기온정보를 생산하기 위해서 Fig. 1의 흐름에 따라 전천후 기온자료를 생산하였다. Fig. 4는 AMOS 관측지점을 대상으로 위성으로

부터 생산된 전천후 기온정보를 추정하여 비교한 그림을 제시한 것이다. 파란색 원은 맑은 날 MYD07_L2로부터 산출된 기온정보를 나타낸 것이고, 녹색 원은 흐린 날 결측된 기온정보를 복원한 것이다. MYD07_L2 기온정보와 AMSR2 밝기온도 간의 회귀모형을 통해 복원된 흐린 날의 기온정보량(n=2,657)은 맑은 날 산출된 기온정보(n=1,669)의 약 1.6배로 구름 등에 의해 결측되었던 61.4%를 복원할 수 있었다. 강원권역 6개소 AMOS를 대상으로 획득한 자료는 총 4,326개로 관측소별로 낮과 밤 자료를 포함하여 평균 721개의 자료를 얻을 수 있었다.

위성정보 융합 기반의 전천후 기온정보는 AMOS 관측자료와 전반적으로 좋은 상관성을 보이고 있지만 (r=0.80), 여름 일부와 겨울철 기온이 과소모의 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이러한 경향은 흐린 날 복원된 결과에서 뚜렷하게 드러났는데, 이러한 원인은 AMSR2 밝기온도에 대한 강우 및 강설에 대한 영향일 수 있다. AMSR2와 같은 위성레이더 정보는 구름 등 대기의 영향을 거의 받지 않는지만, 지표 특성에 따른 지표 방사율 (surface emissivity)은 밝기온도에 큰 영향을 미치기도 한다. Jones *et al.*(2012)은 AMSR-E 자료를 바탕으로 전구 기온 추정 시 강수, 토양 염도 등 지표 특성에 따른 지표 방사율의 영향에 대해 보고한 바 있다. 향후 연구에서는 AMSR2 계절적 지표 특성 변화에 따른 방사율 변화를 고려하여 위성정보 기반의 지표면 기온정보 산출 고도화를 진행할 계획이다.

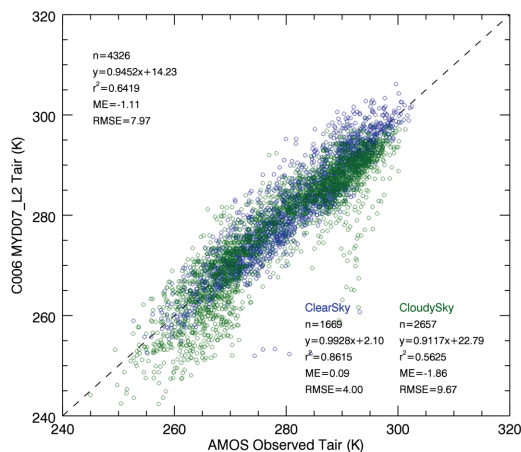


Fig. 4. Comparison of the satellite-based T_{air} retrievals for clear (blue circles) and cloudy (green circles) sky conditions relative to AMOS T_{air} measurements.

Fig. 5는 본 연구에서 제안한 픽셀 기반의 회귀모형을 강원 권역에 적용하여 2013년 7월 9일에 대한 전천후 기온 지도를 작성한 예를 나타낸 것이다. Fig. 5a는 MYD07_L2 기온정보 자료를 나타낸 것으로 양구군과 인제군을 제외한 지역에서 구름에 의한 자료 결측이 명확하게 드러나 있다. Fig. 5b는 동일한 날짜를 대상으로 MYD07_L2 기온과 AMSR2 밝기온도 간의 영상융합을 통하여 추정된 기온 분포도를 나타낸 것이다. 상기 결과를 바탕으로 이 연구에서 제시한 영상융합기술은 흐린 날 AMOS 관측지점에 대한 기온정보의 복원뿐만 아니라 광역지역에 대한 기온정보도 연속적으로 생산이 가능하다는 것을 확인하였다. 또한 이 기술은 장기적으로 관측한 위성정보를 활용한다면 과거 산악지역에 대한 기온정보의 생산이 가능할 것으로 사료되며, 현재 운영되고 있는 AMOS 관측망 간의 공간상의 한계를 극복할 수 있는 기초정보를 효과적으로 제공할 수 있을 것이라고 판단된다.

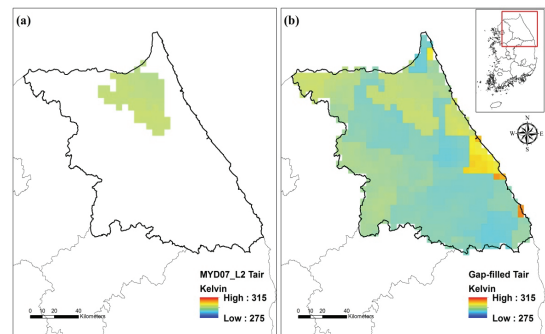


Fig. 5. Instantaneous estimation of satellite-based T_{air} for all sky conditions on 9th July, 2006. (a) T_{air} from MOD07_L2 data over the Gangwon Province; (b) estimates of T_{air} for all sky conditions merging (a) and T_{air} retrievals using the pixel-wise regression method for cloudy sky conditions.

IV. 요약 및 결론

이 연구에서는 위성정보를 기반으로 복잡 산악지역에서의 기온정보를 생산하고 강원도 산악지역에서 관측한 산악기상관측자료를 이용하여 평가하였다. 우선 산악기상관측지점을 대상으로 Aqua MODIS 기온 프로파일 자료(MYD07_L2)로부터 지표면 기온정보를 산출하여 관측자료와 비교 평가하였고, 대기기온감률 방법을 적용하여 MYD07_L2 기온정보의 정확도를 개선한

결과 ME와 RMSE는 각각 95%, 4% 감소하였다. 또한 맑은 날과 흐린 날에 대한 구분 없이 산악지역에 대한 연속적인 시공간 정보를 산출하기 위해 MYD07_L2 기온 정보와 GCOM-W1 AMSR2 37 GHz 밝기온도 자료간의 픽셀 기반의 회귀모형을 이용하여 전천후 기온정보를 생산하였다. 그 결과 전체 자료 중 구름 등의 영향으로 결측되었던 61.4%의 자료($n=2,657$)가 복원되어 다중 위성정보를 기반으로 연속적인 기상자료 생산하였다. 비록 기온정보의 정확도 고도화를 위한 후속 연구가 필요하지만, 본 연구 결과를 통해 얻어진 결과는 위성정보를 기반으로 복잡 산악지역에서 기온정보의 시공간적 산출이 가능하다는 것을 보였다. 향후 이 연구에서 사용한 간단하고 효과적인 회귀모형 방법은 과거 및 최신 위성정보를 활용을 통한 시공간적인 확장이 가능할 것으로 사료된다.

적 요

지표면 기온(T_{air} , surface air temperature)은 기상 및 기후학 분야에서 대표적인 기상인자일 뿐만 아니라 육상생태계 기능을 조절하는 주요 환경조건 인자이다. MODIS와 같은 인공위성정보 활용 기술은 지표면 기온을 연속적으로 모니터링 할 수 있는 기회를 제공한다. 하지만 복잡 산악지역에서의 관측 정확도의 한계와 구름 등에 의한 자료 결측은 연속적인 모니터링을 제한한다. 이 연구에서는 위성정보를 기반으로 복잡 산악지역에서 인강원도 지역을 대상으로 전천후 기온정보를 생산하여 산악기상관측자료를 이용하여 평가하였다. 산악지역에 대한 정확도 개선을 위해 Aqua MODIS 기온정보(MYD07_L2)에 대기기온감률 방법을 적용한 결과, 기존보다 약 4% RMSE 개선효과(ME의 경우 95%)가 나타났다. 전천후 기온정보 산출을 위해 MYD07_L2 기온 정보와 GCOM-W1 AMSR2 37 GHz 밝기온도 자료간의 픽셀 기반의 회귀모형 방법을 적용하였다. 산악기상 관측 자료와 비교한 결과 전반적으로 좋은 일치도를 보였으나($r=0.80$, $RMSE=7.9K$), 겨울철에 다소 과소모의 경향을 나타냈다. 그럼에도 불구하고 전체 자료 중 결측되었던 61.4%의 자료($n=2,657$)를 복원하여 복잡 산악지역에 대해 위성정보 기반의 전천후 기온정보 생산이 가능함을 확인하였다. 향후 이 연구에서 사용한 간단하고 효과적인 회귀모형 방법은 과거 및 최신 위성정보를 활용을 통한 시공간적인 확장이 가능할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Aumann, H. H., M. T. Chahine, C. Gautier, M. D. Goldberg, E. Kalnay, L. M. McMillin, H. Revercomb, P. W. Rosenkranz, W. L. Smith, D. H. Staelin, L. L. Strow, and J. Susskind, 2003: AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: design, science objectives, data products, and processing systems. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **41**(2), 253-264.
- Bisht, G., and R. L. Bras, 2010: Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. *Remote Sensing of Environment* **114**(7), 1522-1534.
- Bisht, G., V. Venturini, S. Islam, and L. Jiang, 2005: Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. *Remote Sensing of Environment* **97**(1), 52-67.
- Borbas, E. E., S. W. Seemann, A. Kern, L. Moy, J. Li, L. E. Gumley, and W. P. Menzel, 2011: *MODIS atmospheric profile retrieval algorithm theoretical basis document*. 1-32.
- Choi, G., 2011: Variability of Temperature Lapse Rate with Height and Aspect over Halla Mountain. *Journal of climate research* **6**(3), 171-186.
- Choi, G., B. Lee, S. Kang, and J. Tenhunen, 2010: Variations of summertime temperature lapse rate within a mountainous basin in the Republic of Korea -A case study of Punch Bowl, Yanggu in 2009. *Journal of the Korean Association of Regional Geographers* **16**(4), 339-354.
- IPCC, 2007: *Climate change 2014: The physical science basis*. Cambridge University Press, NY, USA.
- Jang, K., S. Kang, H. Kim, and H. Kwon, 2009: Evaluation of Shortwave Irradiance and Evapotranspiration Derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**(2), 233-246.
- Jang, K., S. Kang, J. S. Kimball, and K. S. Hong, 2014a: Retrievals of all-weather daily air temperature using MODIS and AMSR-E data. *Remote Sensing* **6**, 8387-8404.
- Jang, K., S. Kang, and S. Y. Hong, 2014b: Comparison of collection 5 and 6 Aqua MODIS07_L2 air and dew temperature products with ground-based observation dataset. *Korean Journal of Remote Sensing*, **30**(5), 571-586.
- Jang, K., S. Kang, Y. Lim, S. Jeong, J. Kim, J. S. Kimball, and S. Y. Hong, 2013: Monitoring daily evapotranspiration in Northeast Asia using MODIS

- and a regional Land Data Assimilation System. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* **118**(23), 12927-12940.
- Jones, L. A., C. R. Ferguson, J. S. Kimball, K. Zhang, S. T. K. Chan, K. C. McDonald, E. G. Njoku, and E. F. Wood, 2010: Satellite microwave remote sensing of daily land surface air temperature minima and maxima from AMSR-E. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* **3**, 111-23.
- Kim, D. S., and B. H. Kwon, 2007: Vertical structure of the coastal atmospheric boundary layer based on Terra/MODIS data. *Atmosphere* **17**(3), 281-289.
- Lee, J., S. Kang, K. Jang, J. Ko, and S. Y. Hong, 2011: The evaluation of meteorological inputs retrieved from MODIS for estimation of gross primary productivity in the US Corn Belt Region. *Korean Journal of Remote Sensing* **27**(4), 481-494.
- Lee, S. Y., I.-U. Chung, and S. K. Kim, 2006: A study of on establishment of the optimum mountain meteorological observation network system for forest fire prevention. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**(1), 36-44.
- Masuoka, E., A. Fleig, R. E. Wolfe, and F. Patt, 1998: Key characteristics of MODIS data products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **36**(4), 1313-1323.
- National Institute Forest Of Science, 2017: <http://mtweather.nifos.go.kr/>
- Prihodko, L., and S. N. Goward, 1997: Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations. *Remote Sensing of Environment* **60**(3), 335-346.
- Ryu, Y., S. Kang, S. Moon, and J. Kim, 2008: Evaluation of land surface radiation balance derived from moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) over complex terrain and heterogeneous landscape on clear sky days. *Agricultural and Forest Meteorology* **148**(10), 1538-1552.
- Seemann, S. W., E. E. Borbas, J. Li, W. P. Menzel, and L. E. Gumley, 2006: MODIS atmospheric profile retrieval algorithm theoretical basis document. NASA, Greenbelt, MD, USA, 1-4.
- Shin, H. S., E. Chang, and S. Hong, 2014: Estimation of near surface air temperature using MODIS land surface temperature data and geostatistics. *Journal of Korea Spatial Information Society* **22**(1), 55-63.
- Stisen, S., I. Sandholt, A. Nørgaard, R. Fensholt, and L. Eklundh, 2007: Estimation of diurnal air temperature using MSG SEVIRI data in West Africa. *Remote Sensing of Environment* **110**(2), 262-74.
- Tang, B., and Z. Li, 2008: Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud-free data. *Remote Sensing of Environment* **112**(9), 3482-3492.
- Vogt J. V., A. A. Viau, and F. Paquet, 1997: Mapping regional air temperature fields using satellite-derived surface skin temperatures. *International Journal of Climatology* **17**(14), 1559-1579.
- Williamson, S., D. Hik, J. Gamon, J. Kavanaugh, and G. Flowers, 2014: Estimating temperature fields from MODIS land surface temperature and air temperature observations in a sub-Arctic Alpine environment. *Remote Sensing* **6**, 946-63.