

MTSAT-1R 자료를 이용한 지표면온도 산출 및 분석

Retrieval and analysis of LST from MTSAT-1R

곽서연*, 서명석, 강전호

Seo-Youn Kwak*, Myoung-Seok Suh, Jeon-Ho Kang

공주대학교 대기과학과

sy_kwak@kongju.ac.kr

요약 : 지표면의 파장별 방출율을 알고 있다는 가정하에 대기의 흡수효과가 상이한 두 파장역을 이용하여 대기효과를 보정해주는 일반적인 분리대기창(Generalized Split-Window) 방법으로 MTSAT-1R 자료로부터 지표면 온도(LST) 산출 알고리즘을 개발하였다. 지표면온도 산출 회귀식은 대기복사전달모델 MODTRAN4.0으로 위성으로부터 LST를 산출하는데 영향을 주는 여러 가지 요소(주/야간, 수증기, 방출율, 위성관측각 등)들을 고려하여 모의된 자료로부터 도출하였다. 개발한 LST 산출알고리즘의 수준을 분석하기 위해 MSG1 SEVIRI 센서에 적합하도록 개발된 Sobrino and Romaguera(2004)의 알고리즘과 GMS-5 VISSR 센서에 적합하도록 개발된 Prata and Cecket(1999)의 알고리즘과 비교하였다. 3 알고리즘을 MTSAT-1R 자료에 적용하여 LST를 산출한 결과 LST의 공간분포는 정성적으로 서로 유사하게 나타났으나, 정량적으로는 지리적 위치, 계절 및 주간/야간에 따라서 LST가 다르게 나타났다.

서론

지표면 온도(Land Surface Temperature: LST)는 지면-대기 상호작용에서 에너지와 수증기의 교환을 조절하는 중요한 지면의 생물리적(bio-physical) 요소 중의 하나로써 주로 농업, 수치예보 및 기후모델의 입력 및 검증자료로 활용되고 있다. LST는 지면구성 요소가 다양하고 시·공간적으로 변동이 큰 특성으로 인하여 정규적인 관측이 거의 이루어지지 못하고 있는 변수중의 하나이다.

현장관측에 대한 대안으로 위성으로부터 LST를 산출하려는 연구가 주로 정지궤도위성과 극궤도 위성을 보유한 선진국을 중심으로 이루어져 왔다(e.g., Wan and Dozier, 1996). 또한 특정지역/기후환경에 적합하도록 산출된 LST 알고리즘을 다른 지역/기후환경에서의 확장 적용 가능성에 대한 연구도 국내외적으로 이루어져 왔다(김소희, 2006). Sobrino와 Romaguera(2004)는 MODTRAN-3을 이용하여 MSG-1 SEVIRI 자료에 적합한 LST 산출 알고리즘을 개발하였고, Prata and Cecket(1999)은 GMS-5 VIS

SR자료를 이용하여 LST 산출 정확도를 높이기 위해 오스트리아에 위치한 두 지역의 현장 관측값과 GMS-5 VISSR, NOAA AVHRR-2 자료를 여러 분리대기창 알고리즘에 적용하여 비교, 분석하였다.

최근에는 기상위성자료의 정확도 향상, 지면피복 등 지표면 배경자료의 수준 향상 등으로 기상위성으로부터 LST를 현업차원에서 산출하려는 과제들이 수행중이다. 예를 들어 미국 MODIS의 Land Working Group과 유럽의 유럽기상위성기구(EUMETSAT)의 Land SAF등을 중심으로 LST 산출물을 현업화 하였으며 산출물의 정확도를 개선하기 위한 연구가 활발히 진행 중에 있다(Madeira, 2002; Wan, 1999; Wan and Dozier, 1996).

이와 같이 위성으로부터 LST를 산출하기 위한 많은 알고리즘이 개발되고 있으나, 다른 선진국들에 비해 동아시아 실정에 맞는 알고리즘 개발에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 하지만, LST 산출에 필요한 지표면의 파장별 방출율 자료 산출에 필요한 배경

자료들이 구축되고, GMS의 후속위성인 MTSAT-1R은 해상도, 위치오차 및 복사 분해능 등에서 획기적으로 성능이 개선되어 이 지역에서 LST 산출에 필요한 환경이 이루어 졌다고 볼 수 있다. 또한 우리나라 최초의 기상 위성인 통신해양기상위성(COMS)이 2008년에 발사 될 예정으로 COMS의 적외창 채널 자료로부터 LST 산출하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 LST 산출 회귀식 도출에 필요한 현장 관측 Match up data가 없기 때문에 지표면의 방출율, 대기의 연직구조, 낮과 밤의 영향 등 여러 가지 조건을 고려하여 복사전달모델 MODTRAN-4로 모의한 자료를 이용하여 LST 산출식을 도출하였다. 또한 개발된 LST 산출 알고리즘의 민감도 및 산출수준을 MTSAT-1R 자료와 다른 알고리즘을 이용하여 분석하였다.

자료 및 연구 방법

본 연구에서 사용한 자료는 크게 시간에 따라서 변하지 않는 정적자료와 시간에 따라서 변하는 동적자료로 나눌 수 있다. 정적자료에는 각 화소의 위치(위/경도), 육지/바다 구분자료, 지면피복 및 토양 종류별 파장에 따른 방출율 자료, 지면피복자료 등이 있고, 동적자료에는 식생지수, 기상위성인 MTSAT-1R의 적외 채널 자료 등이 있다. 지면피복자료는 극궤도 기상위성인 NOAA/AVHRR 1km 의 1992년 4월부터 1993년 3월까지 1년간의 자료를 이용하여 USGS(24종), IGBP(17종), UMD(14종)의 지면피복 분류자료를 상호 비교하여 동아시아 영역에 맞게 17종으로 재분류한 것(강전호, 2006)이다. LST 산출에 사용된 자료는 MTSAT-1R의 적외창 1과 2자료로 계절 및 시간에 따른 산출수준을 비교하기 위하여 구름이 거의 없는 날의 여름/겨울의 주간/야간의 자료(2006. 9. 2. 04:33/13:33UTC; 1. 9. 03:00/13:00UTC)를 이용하였다.

지면은 토양, 식생, 인공구조물 등 다양한 요소로 구성되어 있지만, 여기서는 지면이 토양과 식생으로 되어있다는 가정을 전제로 Valor and Caselles(1996)의 VCM방

법을 사용하여 방출율을 계산하였다.

$$\epsilon_i = \epsilon_{i,v} \times FVC + \epsilon_{i,g} \times (1 - FVC) \quad (1)$$

위식에서 ϵ_i 는 각 채널별(IR1, IR2) 방출율이며, $\epsilon_{i,v}$, $\epsilon_{i,g}$ 는 지면피복 종류에 따른 각 채널에서의 식생 토양의 최대 방출율을 나타낸다. 그 값은 Peres and DaCamara(2002a)가 작성한 표를 이용하였다. FVC는 주어진 화소에서 식생이 차지하는 비율로 이 값은 Kerr *et al.*(1992)의 방법으로 계산하였다.

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (2)$$

위 식에서 $NDVI_{\max}$, $NDVI_{\min}$ 는 각각 주어진 화소가 전부 식생으로 된 경우와 전부 토양으로 된 경우를 나타낸다. 본 연구에서는 극궤도 위성인 NOAA의 AVHRR 센서를 이용하여 1993년부터 1994년까지 1년간 자료를 한 달 주기로 합성한 NDVI 값을 가지고 계산에 사용하였다.

본 연구에서 개발한 LST 산출 알고리즘을 이용하여 MTSAT-1R 자료로부터 LST를 산출하고 그 산출수준을 분석하기 위하여 사용된 알고리즘들은 다음과 같다. 수증기의 흡수 차, 위성 관측각, 방출율, 대기하층 기온변화 패턴 등 모든 조건을 고려하여 하나의 식으로 개발한 알고리즘(KLST)과 대기 프로파일에 대한 알고리즘 중 한반도가 속해 있는 중위도 여름(MLS)/중위도 겨울(MLW) 프로파일에 대한 알고리즘을 사용하였다. 그리고 개발한 알고리즘과의 산출수준을 분석하기 위하여 정지기상위성인 MSG1의 SEVIRI 센서 자료를 이용하여 개발된 알고리즘과 GMS-5의 VISSR 센서자료를 이용하여 개발된 알고리즘인 Sobrino and Romaguera(2004)의 T_{Sob} 와 Prata and Cechet(1999)의 T_{Pra} 을 사용하였다.

사용한 알고리즘은 다음과 같이 5개의 다른 종류의 분리대기창 알고리즘이며 KLST, MLS 및 MLW의 개발에 대한 소개는 Kwak *et al.*(2006)에 설명되어 있다.

(1) KLST :

$$KLST = -4.07 + 1.02T_{IR1} + 2.31(T_{IR1} - T_{IR2}) + 0.318(T_{IR1} - T_{IR2})^2 + 0.424(\sec\theta - 1) + 89.4(1 - \epsilon) \quad (3)$$

$$* \epsilon = \frac{\epsilon_{IR1} + \epsilon_{IR2}}{2}$$

* $T_{IR1}, T_{IR2}, \epsilon_{IR1}, \epsilon_{IR2}$: MTSAT-1R IR1과 IR2의 휘도온도와 방출율

(2) MLS/MLW :

$$MLS = 64.2 + 0.776T_{IR1} + 4.52(T_{IR1} - T_{IR2}) + 0.0891(T_{IR1} - T_{IR2})^2 + 0.948(\sec\theta - 1) + 101.0(1 - \epsilon) \quad (4)$$

$$MLW = -2.36 + 1.01T_{IR1} + 3.14(T_{IR1} - T_{IR2}) - 0.746(T_{IR1} - T_{IR2})^2 + 0.199(\sec\theta - 1) + 91.3(1 - \epsilon) \quad (5)$$

(3) Sobrino and Romaguera(2004):

$$T_{Sob} = T_{IR1} + [3.17 - 0.64\cos\theta](T_{IR1} - T_{IR2}) + [-0.05 + \frac{0.157}{\cos\theta}](T_{IR1} - T_{IR2})^2 + [65 - \frac{4}{\cos^2\theta}](1 - \epsilon) - [11.8 + \frac{5.1}{\cos\theta}]W(1 - \epsilon) + [-180 + \frac{24}{\cos\theta}]\Delta\epsilon + [-4 + 34\cos\theta]W\Delta\epsilon - 0.6 \quad (6)$$

* $\Delta\epsilon = \epsilon_{IR1} - \epsilon_{IR2}$ * W : 총 가강수량

(4) Prata and Cechet.(1999) :

$$T_{pra} = T_{IR1} + [1.34 + 0.507(T_{IR1} - T_{IR2})](T_{IR1} - T_{IR2}) + 0.56 + a(1 - \epsilon) - \beta\Delta\epsilon \quad (7)$$

$$* b_4 = (0.198 + 0.167W)T_{IR1} - (62.3W - 10),$$

$$b_5 = (0.234 + 0.206W)T_{IR2} - (78.9W - 5)$$

$$* a = 2.157(b_4 - b_5) + b_4, \beta = 2.517b_5 + \frac{a}{2}$$

결과

LST 산출 알고리즘의 산출 수준이 기후 조건 및 대기연직구조에 영향을 받으므로 여기서는 동아시아의 대표적 기후조건 및 대기연직구조를 대표하는 4개 사례에 대해 5개의 알고리즘을 적용하여 LST를 산출하고 비교 분석하였다. Fig. 1은 여름/낮의 기후조건을 나타내는 2006년 9월 2일 1시 33분에 LST의 공간분포를 나타낸 것으로 영상에서 흰색은 확실한 구름이고 푸른색은 구름으로 오염된 화소를 의미한다. 5개 알고리즘 모두가 LST를 사막과 중국남부지역에서는 높게, 연

해주지역에서는 낮게 산출하고 있다. 여름철 주간의 경우 KLST는 전체적으로 Sobrino와 Prata 알고리즘보다 LST를 높게 산출하였는데 이러한 현상은 특히 중국 남부지역, 사막 지역 및 한반도 지역에서 뚜렷하다. MLS도 Sobrino와 Prata 알고리즘보다 LST를 높게 산출하였지만 KLST보다는 낮게 산출하고 있다. 반면에 MLW는 5개 알고리즘 중에서 LST를 가장 낮게 산출하고 있다. 여름철 주간의 경우 Sobrino 알고리즘과 가장 유사한 회귀식은 MLS이다. 그림에는 보이지 않았지만 겨울과 야간에는 알고리즘 간 LST 차가 주간보다 작게 나타나고 있다.

Fig. 2는 여름철 주간 사례에 대해 각 알고리즘 간 일치성을 나타낸 것이다. 각 알고리즘 간 상관계수의 경우 0.919에서 0.999에 이르는 등 각 알고리즘에 차이가 크게 나타나고 있다. 산점도, 상관계수, RMSE 및 편의 측면에서 볼 때 KLST가 Sobrino와 Prata 알고리즘과 유사하며 특히 Prata 알고리즘과 가장 잘 일치(상관계수: 0.999, 편의: -2.62 RMSE: 2.72)하는 것으로 나타나고 있다. MLS의 경우 Sobrino 보다는 Prata 알고리즘과 더 유사하며 LST가 낮을 때는 두 알고리즘 보다 과대하게 추정하나 LST가 높아질수록 과소하게 추정하고 있다. 중위도 겨울 기후조건에 적합한 MLW는 산점도, 상관계수, RMSE 및 편의 모두에서 두 알고리즘과 차이가 가장 크게 나타나고 있다.

Fig. 3은 겨울철 야간 사례에 대해 각 알고리즘 간 일치성을 나타낸 것이다. 산점도, 상관계수, RMSE 및 편의 모두에서 각 알고리즘 간의 차이가 여름보다 현저하게 줄어들었음을 볼 수가 있다. 겨울/야간에는 중위도 겨울 기후조건에 적합한 MLW가 Sobrino와 Prata 알고리즘과 중위도 여름 기후조건에 적합한 MLS가 Sobrino와 Prata 알고리즘과 차이가 크게 나타나고 있으며 특히 Sobrino와의 차가 현저하다. MLS의 경우 겨울에도 여름과 같이 LST가 낮을 때는 두 알고리즘 보다 과대하게 추정하나 LST가 높아질수록 과소하게 추정하고 있다.

전 사례에서 각 알고리즘간의 일치성을

Table 1에 요약하였다. 상관계수의 경우 최소 0.909에서 최대 0.999에 이르는 등 알고리즘 간 차이가 크게 나타나고 있다. 전체 알고리즘의 평균으로 보면, LST 산출수준의 유사성은 겨울철/

주간 - 겨울철/야간 - 여름철/야간 - 여름철/주간 순이다. 또한 알고리즘 간 유사성은 KLST와 Prata가 가장 높은 반면 MLS와 MLW는 계절에 따라 유사성이 현저히 변하고 있다.

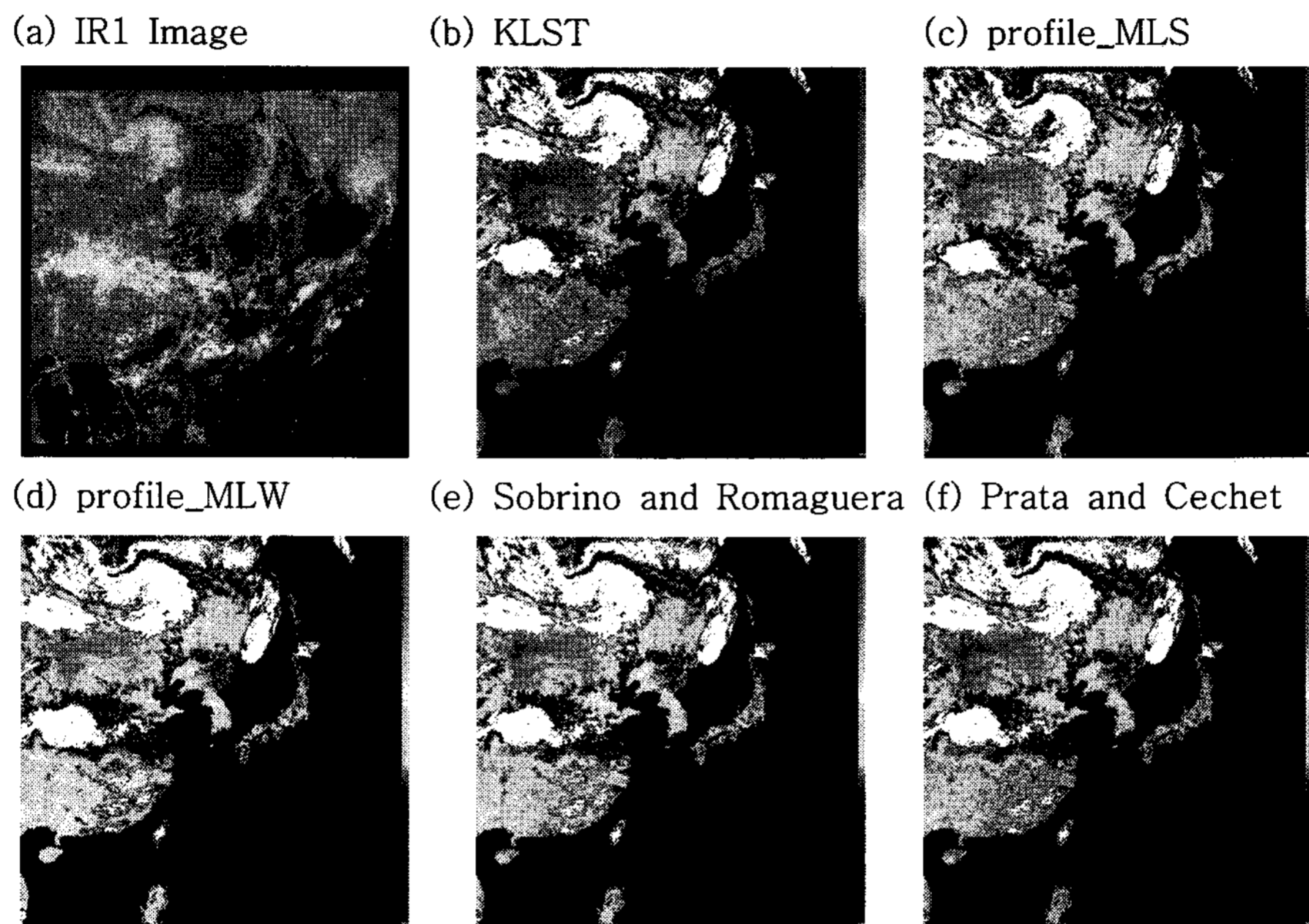


Fig. 1 Image of LST for the five different split-window algorithms on 2 September, 2006, 0433UTC - summer/day case(scale bar: 273 ~ 333K).

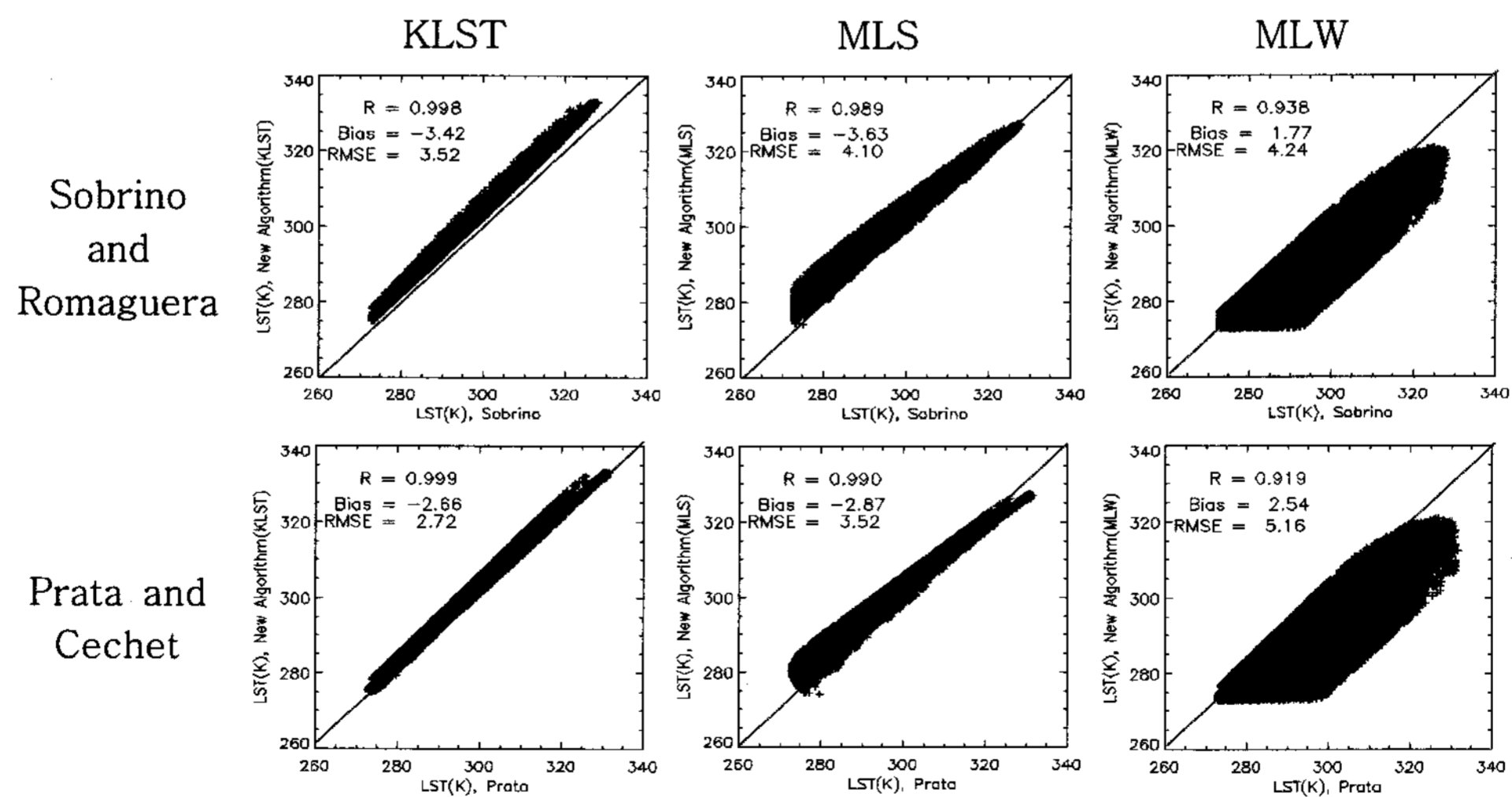


Fig. 2 Scatter plot for the paired split-window algorithms for 2 September, 2006, 0433 UTC - Summer/day case.

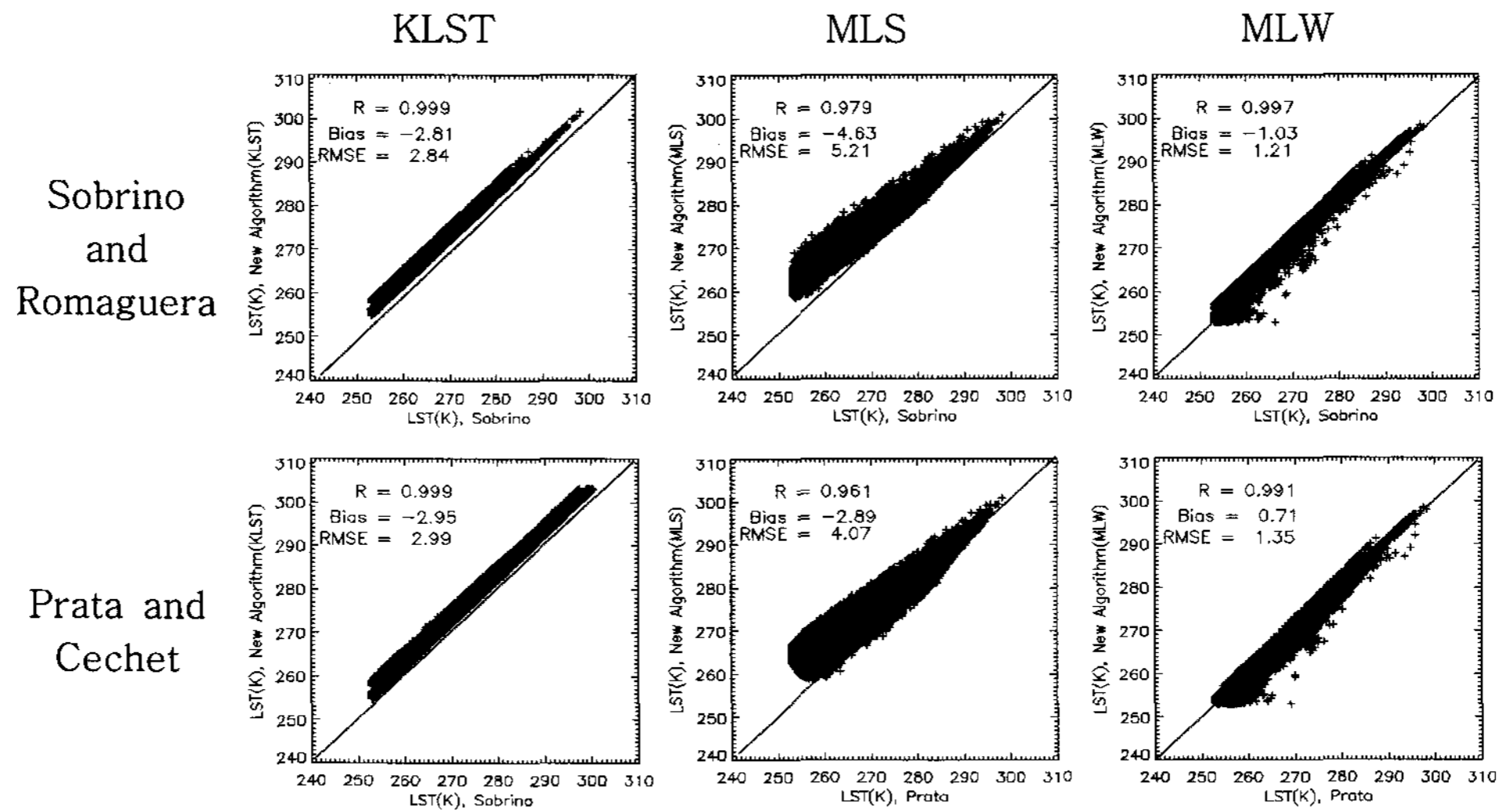


Fig. 3 Same as Fig. 2 except for 1300UTC - Winter/night case.

Table 1 Comparison results between paired split-window algorithms for land surface temperature from MTSAT-1R under the various climate regimes.

(case 1) Sobrino and Romaguera - KLST, case 2) Sobrino and Romaguera - MLS, case 3) Sobrino and Romaguera - MLW, case 4) Prata and Cechet - KLST, case 5) Prata and Cechet - MLS, case 6) Prata and Cechet - MLW)

		R	RMSE(K)	Bias(K)			R	RMSE(K)	Bias(K)
2 Sep. (Day)	case 1)	0.998	3.52	-3.42	9 Jan. (Day)	case 1)	0.999	2.99	-2.95
	case 2)	0.989	4.10	-3.63		case 2)	0.982	4.67	-3.74
	case 3)	0.938	4.24	1.77		case 3)	0.997	1.30	-1.00
	case 4)	0.999	2.72	-2.66		case 4)	0.998	1.27	-1.09
	case 5)	0.990	3.52	-2.87		case 5)	0.964	3.86	-1.88
	case 6)	0.919	5.16	2.54		case 6)	0.989	1.75	0.86
Summer	Day Average	0.97	3.88	-1.38	Winter	Day Average	0.00	0.00	0.00
2 Sep. (Night)	case 1)	0.998	3.09	-3.03	9 Jan. (Night)	case 1)	0.999	2.84	-2.81
	case 2)	0.969	4.46	-3.97		case 2)	0.979	5.21	-4.63
	case 3)	0.926	3.07	-0.07		case 3)	0.997	1.21	-1.03
	case 4)	0.997	2.31	-2.23		case 4)	0.998	1.21	-1.06
	case 5)	0.963	3.85	-3.17		case 5)	0.961	4.07	-2.89
	case 6)	0.909	3.44	0.73		case 6)	0.991	1.35	0.71
Summer	Night Average	0.96	3.37	-1.96	Winter	Night Average	0.00	0.00	0.00

요약 및 결론

본 연구에서는 기상위성자료로부터 동아시아 기 후에 적합한 LST 산출 알고리즘을 개발하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다. 1) 지표면상태를 반영하기 위해 식생비율과 각 채널별 방출율을 산출하였으며, 2) 정지 기상위성 MTSAT-1R에 탑재된 자료를 5개의 분리대기창 알고리즘(개발한 식 3개 - KLST, MLS, MLW, 비교검증을 위한 식 2개 - Sobrino and Romaguera, Prata and Cechet)에 적용하여 새로 개발한 알고리즘의 산출수준

을 분석하였다. 이와 같은 연구결과는 다음과 같다.

1) 지표면의 파장별 방출율은 각 화소가 토양과 식생으로 되어 있다는 가정 하에 사용되는 VCM 방법으로 산출하였고, 이 때 식생비율은 식생지수 자료를 이용하여 Kerr *et al.*(1992) 방법으로 산출하였다.

2) 여름/겨울, 주간/야간을 대표하는 MTSAT-1R 4개 사례에 5개의 LST 산출 알고리즘을 적용하여 LST 산출 수준을 분석하였다. 각 알고리즘들은 지리적 위치, 계절 및 시간에 따른 LST의 변동을 정성적으로 잘 도출하였으며, 각

알고리즘 간 상관계수가 0.9이상으로 알고리즘 사이의 상관성이 매우 높게 나타났다. 5개 알고리즘 중에서 KLST 알고리즘이 가장 높게, MLW 알고리즘이 가장 낮게 LST를 산출하며 KLS T는 4개의 사례에 대하여 Sobrino and Romaguera와 Prata and Cechet 알고리즘과 가장 유사하였다.

3) 각 알고리즘간 상관계수의 경우 최소 0.909에서 최대 0.999에 이르는 등 알고리즘 간 차이가 크게 나타나고 있다. 전체 알고리즘의 평균으로 보면, LST 산출수준의 유사성은 겨울철/주간 - 겨울철/야간 - 여름철/야간 - 여름철/주간 순이다. 또한 알고리즘 간 유사성은 KLST와 Prata가 가장 높은 반면 MLS와 MLW는 계절에 따라 유사성이 현저히 변하고 있다.

Sobrino 와 Prata 알고리즘은 KLST, MLS 및 MLW 알고리즘의 유효성을 판단하기 위한 비교대상은 되지만, 절대적 검증의 척도는 되지 못한다. KLST가 Sobrino와 Prata 알고리즘가 가장 유사하게 LST를 산출한 것은 이 두 알고리즘이 대기의 연직구조의 계절변화를 고려하지 않은 것이 때문으로 판단된다. 또한 MLS와 MLW가 전체적으로 두 알고리즘과의 일치성이 낮을 뿐 아니라 계절에 따라 일치성이 변한 것은 이 두 알고리즘이 대기연직구조의 계절변화를 고려한 것이기 때문이다. 따라서 계절별 대기연직구조의 변화에 대한 정보가 없는 경우에는 계절 및 주/야에 관계없이 두 알고리즘과 유사한 LST를 산출한 KLST를 이용하여 동아시아 지역의 LST를 산출하는 데에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 하지만, 계절별 대기연직구조의 변화에 대한 정보를 활용할 수 있다면, 각 계절별 대기연직구조에 적합한 MLS와 MLW 알고리즘을 이용하여 LST를 산출하는 것이 LST의 산출수준을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

우리나라 최초의 기상위성인 통신해양기상 위성(COMS)이 2008년에 발사될 예정이다. 본 연구는 COMS의 적외창 채널 자료로부터 동아시아 기후에 적합한 LST를 현업차원에서 산출하는 알고리즘을 개발하고자 하였다. MSG1/SEVIRI 자료에 적합하도록 개발된 Sobrino and Romaguera의 알고리즘과 GMS-5/VISSR 자료

에 적합하도록 개발된 Praga and Cechet의 알고리즘을 사용하여 본 연구에서 개발한 LST 산출 알고리즘의 산출수준을 비교분석 한 결과 LST를 산출하기에 유효함을 알 수 있었으나 향후에는 지상관측자료와의 비교를 통하여 보완이 필요하다.

사사

본 연구는 “통신해양기상위성”의 “기상자료 처리시스템 개발(V)”의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- 강전호, 2006: 동아시아 지면피복 분류 및 지면피복의 변화가 집중호우의 모의에 미치는 영향. *공주대학교 대기과학과 석사학위 논문*.
- 김소희, 2006: 기상위성자료를 이용한 지표면온도 산출 알고리즘의 상호비교. *공주대학교 대기과학과 석사학위 논문*.
- Kerr, Y. H., J. P. Lagouarde, and J. Imbernon, 1999: Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window. *Remote Sensing of Environment*, 41, 197-209.
- Kwak, S.-Y., M.-S., Suh and J.-H., 2006, Kang, Retrieval of land surface temperature from MTSAT-1R, 22, 385-388.
- Madeira, C. P., 2002: A generalized split-window algorithm for retrieval of land surface temperature from MSG/SEVIRI Data. *SAF on Land Surface Analysis Training Workshop, Lisbon, Portugal, July 8-10*.
- Prata, A. J. and R. P. Cechet, 1999: An assessment of the accuracy of land surface temperature determination from the GMS-5 VISSR. *Remote Sensing of Environment*, 67, 1-14.
- Sobrino, J. A. and M. Romaguera, 2004: Land surface temperature retrieval from MSG1-SEVIRI data. *Remote sensing of Environment*, 92, 247-254.
- Valor, E. and V. Caselles, 1996: Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, 57, 164-184.
- Wan, Z., 1999: MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document(LST AT BD): LST calculations. *Electronic document*.
- Wan, Z. and J. Dozier, 1996: A generalized split-window algorithm for retrieving of land surface temperature from space. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 34, 892-905.