

MODIS 지표면온도 자료를 이용한 기상관측소의 열적 공간 대표성 조사*

이창석¹ · 한경수^{1*} · 염종민² · 송봉근¹ · 김영섭¹

Thermal Spatial Representativity of Meteorological Stations using MODIS Land Surface Temperature*

Chang-Suk LEE¹ · Kyung-Soo HAN^{1*} · Jong-Min YEOM²
Bong-Geun SONG¹ · Young-Seup KIM¹

요 약

본 연구에서는 위성 기반의 지표면 온도 자료를 이용하여 기상관측소의 열적 공간 대표성을 조사하였다. 전국에는 총 76개의 기상관측소가 있으며, 그 중에서 서울, 부산, 대전, 대구, 광주, 춘천을 선택하여 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) LST(Land Surface Temperature) 자료와 비교를 하였다. 비교 방법은 위성 자료의 window size를 지상 기온 관측소에 해당하는 화소를 중심으로 1km×1km, 3km×3km, 5km×5km, 7km×7km, 9km×9km, 11km×11km, 15km×15km, 19km×19km, 25km×25km로 변환하여 만들어진 window size별 평균값을 계산하고, 지상기온과 MODIS LST를 비교하여 선형회귀분석을 하였다. 분석의 요소로 FVC(Fraction Vegetation Cover)와 DEM(Digital Elevation Model)을 순차적으로 사용하였다. 선형회귀분석으로 도출한 식으로 LST를 기온값으로 추정하여 기상관측 기온과의 RMSE를 계산하였다. 기상관측소의 열적 대표성 조사를 위한 RMSE의 임계값은 일 최고 기온 산출 모델에 관한 연구를 참고하여 4℃이하로 결정하였다. 분석결과 6곳의 기상관측소의 대표성은 대전이 15km×15km, 춘천 11km×11km, 서울 7km×7km, 대구 5km×5km, 광주 3km×3km, 부산 3km×3km로 나타났다.

주요어 : LST(Land Surface Temperature), MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)
열적 공간 대표성

ABSTRACT

Thermal spatial representativities of meteorological stations over Korea have been investigated using land surface temperature (LST) based on MODerate resolution Imaging

2007년 8월 21일 접수 Received on August 21, 2007 / 2007년 9월 20일 심사완료 Accepted on September 20, 2007

* 이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-4106)의 지원으로 수행되었습니다.

1 부경대학교 위성정보과학과 Department of Satellite Information Science, Pukyong National University

2 부경대학교 환경대기과학과 Department of Environment Atmosphere, Pukyong National University

※ 연락처 E-mail : kyung-soo.han@pknu.ac.kr

Spectroradiometer (MODIS) satellite observation. The linear regression method was used to estimate air temperatures from MODIS LST product. To compare MODIS LST with observed air temperatures at six meteorological stations, the mean values of MODIS LST with nine given window sizes were calculated. In this case, the position of centered pixel in each given window size is correspond to that of each meteorological station. We also applied 4°C threshold for RMSE comparison, which is based on a analogous study on daily maximum air temperature model using satellite data. In this study, the results showed that each station has a different representativity; Deajeon 15km×15km, Chuncheon 11km×11km, Seoul 7km×7km, Deagu 5km×5km, Kwangju 3km×3km, and Busan 3km×3km.

KEYWORDS : LST (Land Surface Temperature), MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), Thermal Spatial Representativity

서론

기온은 중요한 기상요소 중의 하나으로써, 대규모의 기상 및 기후 변화 연구뿐만 아니라 응용기상, 농업기후 분야 등의 소규모 기상 및 기후 특성 연구에 주로 사용되어 왔다(Jones 등., 1986ab; Bayer 등., 1994; Söderström 와 Magnusson, 1995). 특히, 지상기온은 지표의 상태에 따라 시·공간적으로 영향을 받기 때문에 그 패턴분포가 복잡하게 나타난다(Geiger, 1965; Oke, 1978; Prihodko 와 Goward, 1997). 현재 국내 지상기온관측시스템은 76개의 유인 기상관측소(이하 기상관측소) 및 900 여개의 자동기상관측소에서 매 분마다 기온을 관측하므로 시·공간적인 해상력은 매우 높은 편이라고 할 수 있다. 하지만 이러한 지상관측시스템은 도시 및 지형에 따른 관측소 분포가 다르고, 균일하게 위치하지 않아 상대적으로 1km의 높은 공간 해상력을 가진 위성관측에 비해 해상력이 낮고, 각 관측기기의 기계적 오차를 포함하고 있다. 따라서 관측지점 이외의 상세 기상정보를 정확하게 대표할 수 없는 단점이 있다.

반면에, 위성 원격탐사는 정해진 궤도에 따라 일정주기로 넓은 영역의 관측이 가능하기 때문에 자료의 시·공간적 해상력이 상대적으로 매우 높아 활용성이 높으며, 유인관측이 불

가능하거나 어려운 지역의 관측이 가능하다. 그리고 인공위성을 이용한 관측은 공간적 자료의 질적 불균형에 대한 오차를 피할 수 있다(신사철과 안태용, 2007) 이미 Seguin(1991)은 위성영상이 기상학적 지표변수에 대해 지상관측 보다 좀 더 나은 공간적 해상도를 제공한다 밝힌바 있다. 그러나 위성에서는 위성의 관측특성과 기온에 영향을 주는 여러 요인(풍속, 토양의 습도, 지표의 기복 등)으로 인해(Prince 등., 1998), 지상기온의 직접적인 관측이 불가능하다. 하지만 지상기온은 LST (Land Surface Temperature)와 대기의 열 교환에 의해 결정되기 때문에, 위성으로부터 직접관측이 가능한 LST를 사용하여 경험적인 방법으로 추정되었다(Crosswell 등., 1999; Stathopoulou 등., 2006; Vogt 등., 1997). 그동안 위성을 이용한 LST의 산출은 극궤도위성인 NOAA/AVHRR(Price 1984; Becker 1987), EOS Terrs/Aqua의 MODIS(Wan 와 Dozier, 1996; Mao 등., 2005), Landsat/TM(Sobrino 등., 2004; 조명희 등, 2001) 와 정지궤도위성인 GMS-5/VISSR(Prata와 Cechet, 1999)와 GOES-8/IMAGER(Sun와 Pinker, 2003; 2005) 등의 Thermal IR 센서를 이용하여 연구되었다. 지상기온 산출에 관한 연구 역시 LST 연구와 유사한 NOAA/AVHRR, TERRA/AQUA의 MODIS, MSG/SEVIR, MEOTEOSAT 등

을 사용하여 LST와 지상기온 사이에 높은 상관관계를 나타내고, 약 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ - 3°C 정도의 오차가 나타남을 보이고 있다(Prihodko와 Goward, 1997; Vogt 등., 1997; Crosswell 등., 1999; Florio 등, 2004; Stisen 등, 2007).

본 연구에서는 Terra/Aqua 위성의 MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) 센서에서 얻어진 LST를 기온으로 산출하여, 기상관측소에서 관측한 기온자료의 비교를 통해 기상관측소가 어느 정도 규모의 열적 공간 대표성을 가지고 있는지를 조사하였다.

연구 범위 및 자료

연구기간은 각 계절의 대표 월인 2005년 1월, 4월, 7월, 10월을 선택하였고 범위는 한반도 남한 전체영역(33°N - 38.8°N , 124.5°E - 129.9°E)안의 기상관측소 지점 76개 중에서 서울, 부산, 춘천, 대전, 대구, 광주 6개의 각기 다른 지형 특성을 가진 기상관측소를 선택하였다. 서울은 대표적인 대도시 지역이며, 부산은 해안도시, 대전과 대구는 분지지형이다. 그리고 춘천은 다수의 호수가 있으며 광주는 평지와 산지의 중간지점에 위치하고 있다.

위성 관측 LST 자료는 NASA(National Aeronautics and Space Administration) 산하의 LPDAAC(Land Processes Distributed Active Archive Center)에서 제공하는 동기간의 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily 5-Min L2 Swath 1km 자료를 사용했고 지상 관측 기온 자료는 기상청의 전국 기상관측소 기온 자료를 사용했다. 그리고 지리보정을 위한 자료로 DAAC(Distributed Active Archive Center)에서 제공하는 MODIS Geolocation 1km mod03 자료를 사용했으며 위성영상과 기상관측소자료의 비교를 위한 보조 자료로써 SPOT/VEGETATION의 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)자료, USGS(U. S. Geological Survey)의 아시아 1km DEM(Digital Elevation Model)

자료를 사용하였다.

MODIS MOD11_L2 LST 자료는 MODIS 센서휘도자료(MOD021KM)와 Geolocation 자료 (MOD03), cloud mask 자료 (MOD35_L2), 분기별 land cover (MOD12Q1), 그리고 snow 자료 (MOD10_L2)를 사용하여 split-window 알고리즘(Wan 와 Dozier, 1996)으로 산출되었으며, LST, quality assurance (QA), error in LST, band 31, 32의 복사율, zenith angle 과 시간, 그리고 위·경도로 구성된 SDSs (Scientific Data Sets)를 포함한다.

LST 산출에는 지표면의 밴드별 방출율을 알고 있다고 가정하고 산출하기 때문에 전 지구 육지의 밴드별 방출율을 관측하여 데이터베이스로 구축하여야 한다. 하지만 현실적으로 전 지구상의 육지에 대해 밴드별 방출율을 관측하여 데이터베이스를 구축 하는 것이 불가능하다. 그 대안으로 모든 육지 화소는 토양과 식생으로 구성되어 있다고 가정하고 식생비율을 고려하여 산출하게 된다. NDVI를 이용하여 산출되는 Fraction Vegetation Cover(FVC) 역시 화소 내에 식생이 차지하는 비율로 관련이 깊어 FVC를 비교자료로 사용하였다. 또한, 기온을 산출할 때 많은 연구들이 VI(Vegetation Index)와 LST의 상관관계를 이용한 TVX(Temperature-Vegetation index Method) 방법을 사용하여 기온을 산출하였다(Price, 1990; Prihodko 와 Goward, 1997; Prince 등., 1998; Stisen 등., 2007).

NDVI는 위성의 Red 밴드와 Near Infrared 밴드의 반사값을 이용하여 식생의 특성을 간단한 수치로 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용한 NDVI는 10일 동안에 각 픽셀의 NDVI수치가 가장 높은 값만을 취해서 합성한 것이며, 이러한 보정방법을 MVC(Maximum Value Composite)라고 한다. MVC방법을 사용하여 NDVI를 보정하는 이유는 위성의 Red 밴드와 Near Infrared 밴드로 관측된 복사값으로 NDVI를 산출했을 때, 대기 중의 여러 가지 가스(CO_2 , H_2O 등)와 에어로졸 등의 산란, 반

사, 구름이나 강수의 영향으로 NDVI수치가 감소되기 때문이다. 이러한 대기 중의 영향을 제거하기 위해서 10일중에서 대기의 감쇄를 적게 받은 값인, NDVI 수치가 가장 높은 값들을 합성하게 된다(Holben, 1986).

방 법

전체적인 연구 모식도는 그림 1과 같다. 2005년 중에 각 계절의 특성을 나타내는 1월, 4월, 7월, 10월의 MODIS LST 자료를 획득한 다음 자료내의 SDSs(Scientific Data Sets)중에서 LST값만을 추출하였다. MODIS LST 자료는 spilt-window 방법(Wan 와 Dozier, 1996; Wan, 1999; Wan, 2001)으로 LST를 산출하였으며, 그 원리는 12.0 μ m과 10.8 μ m의 두 파장이 수증기에 대한 흡수 차이를 이용하여, 대기 중의 수증기에 의한 감쇠정도를 알아내는 것이다. 이것은 SST(Sea Surface Temperature)

를 산출할 때 사용되었으나(McMillin, 1975), Price(1984)에 의해 LST에 적용되었다. LPDAAC에서 제공하는 MODIS Swath Reprojection Tool(MRT Swath)와 MODIS Geolocation(MOD03) 자료를 이용하여 지리보정하였으며, 지리보정의 매개변수로는 WGS84 타원체와 Geographic 투영법, 그리고 resampling 방법으로 Nearest Neighbor 내삽법을 사용하였다. 같은 기간의 NDVI MVC자료를 획득한 다음 월별의 자료를 평균하여 월별 1개의 대표값을 산출하고 이것을 이용하여 월별 FVC를 산출한다. FVC는 주어진 화소내에서 식생이 차지하는 비율을 나타내며 0.0~1.0 사이의 값을 갖는다. FVC의 일반적인 식은 다음과 같다(Gutman 와 Ignatov, 1998).

$$FVC = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (1)$$

FVC 산출식에서 NDVI_i는 현재 화소의 NDVI값이며 NDVI_{min}는 식생이 없을 때의 NDVI수치로 0.1이며, NDVI_{max}는 관측기간 중

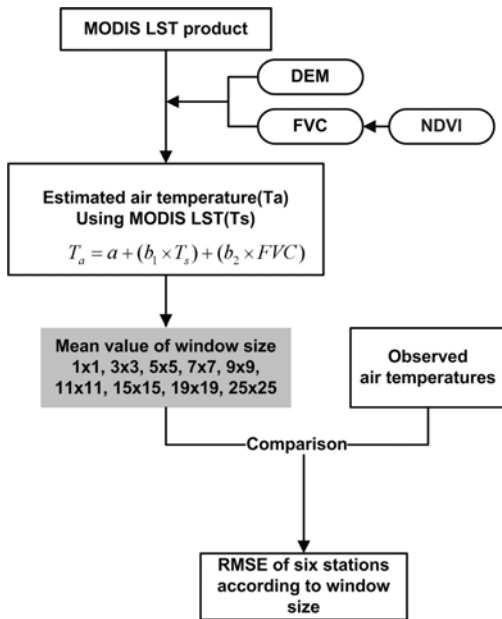


FIGURE 1. Flowchart of method that calculates RMSE of six stations according to window size

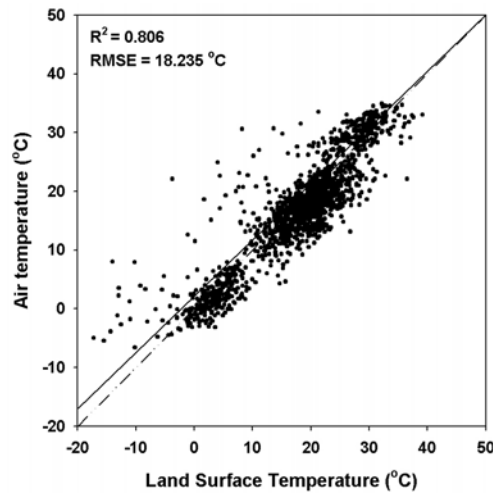


FIGURE 2. Scatter plot versus MODIS LST and air temperature observed by meteorological stations

에 최대NDVI 수치를 의미한다. $NDVI_{max}$ 는 지역의 기후대나 식생의 종류에 따라 각기 다르므로 각각의 연구영역에 따라 값이 다르며, 본 연구에서는 2005년 한반도 연구영역 NDVI의 최대값인 0.89로 설정하였다. 위성관측 LST 자료와 지상기온값의 상관성을 알아보기 위해 산점도를 나타내었다(그림 2). 선형회귀 분석을 한 결과 상관계수(R) 0.898, 결정계수(R^2) 0.806으로 상당히 높게 나타났다. 결정계수가 높은 이유는 지표면 온도에 의한 난류로 대류가 발생하여 기온이 결정되며, 지표면 온도의 변동 역시 기온 변동의 주요 인자이기 때문이다. 하지만 복사하는 과정에 토지피복이나 바람 등의 영향을 받기 때문에 지표온도가 온전히 복사되었다고 볼 수 없다. 그리고 기상관측소가 위치하는 지점이외에는 지상에서 관측된 기온자료가 없기 때문에 LST와 지상기온값 간의 일정한 수식을 도출하여 관측소 위치가 위치하지 않는 곳의 기온을 산출하였다. 수식도출에는 FVC, DEM을 사용하여 선형회귀 분석하였다. FVC와 DEM은 지상기온 형성에 영향을 미치는 인자이다. 특히 FVC는 위성을 이용한 LST나 지상기온 산출시 사용되며, LST와 T_a 의 감산의 절대치와 FVC의 산점도를 나타내었을 때, FVC가 높을수록 LST와 지상기온의 차가 줄어드는 경향을 보여주었다

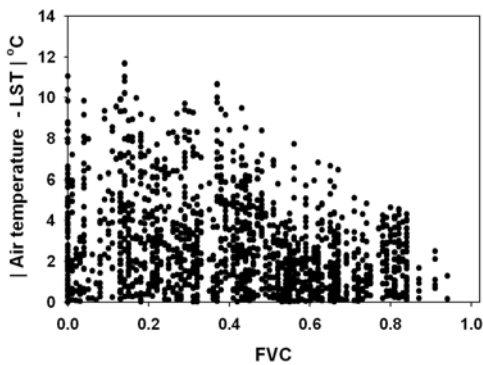


FIGURE 3. Scatter plot versus FVC and difference between air temperature and MODIS LST

(그림 3). 회귀분석 시, 첫 분석에는 FVC만 사용하였고, 두 번째 분석에는 FVC와 DEM을 분석인자로 사용하였다. 분석결과는 표 1과 같으며, FVC를 인자로 사용했을 때 상관계수 0.015, 결정계수 0.028상승하였으며, DEM과 함께 회귀분석 했을 경우에는 FVC만을 사용한 경우 보다 상관계수 0.001, 결정계수 0.002정도 상승하였다. 상승폭이 두 번째 분석에서 상관계수 0.001, 결정계수 0.002로 DEM이 FVC보다 기온과 지표면 온도의 상관성에 미치는 영향이 미비하였다. 분석 회귀식은 아래와 같으며 영향이 미비한 DEM은 사용하지 않았다.

$$T_a = a + (b_1 \cdot T_s) + (b_2 \cdot FVC) \quad (2)$$

T_a 는 지상에서 관측소가 측정한 기온 값이고, T_s 는 위성으로 관측한 LST이다. a, b_1, b_2 는 회귀분석으로 도출된 상수와 계수이다. 선택된

TABLE 1. Result of linear Regression analysis between air temperature and MODIS LST

Factor	R	R ²	standard deviation(°C)
LST	0.898	0.806	3.9987899
LST+FVC	0.913	0.834	3.6990532
LST+FVC+DEM	0.914	0.836	3.6783035

TABLE 2. Constant(a) and Coefficients (b_1, b_2) in Eq. 2, according to six stations

	a	b_1	b_2
Chuncheon	-2.367	1.009	-1.103
Seoul	-16.212	1.018	58.291
Daejeon	-1.577	0.773	16.979
Deagu	-5.158	0.603	64.930
Kwangju	-7.337	0.989	-6.635
Busan	-2.033	1.096	-17.362

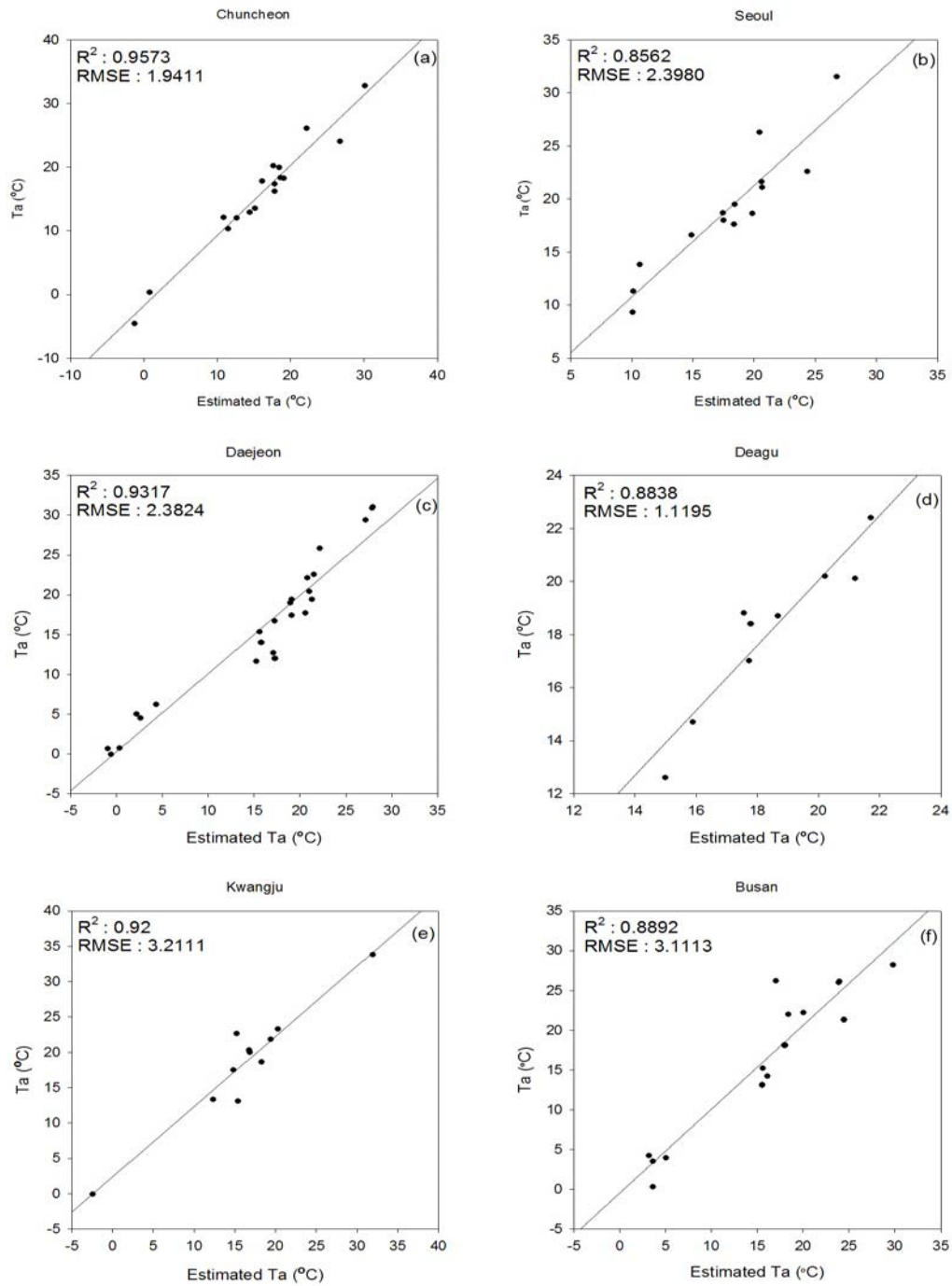


FIGURE 4. Scatter plot for estimated air temperature versus air temperature according to six stations (a) Chuncheon, (b) Seoul, (c) Daejeon, (d) Deagu, (e) Kwangju, and (f) Busan

6곳의 관측소의 지형적인 특성을 반영하기 위해 각각을 따로 분석하였으며, 분석결과 표 2와 같이 6개의 상수와 계수를 산출하였다. 관측소의 기온자료는 관측소 지점의 기온값만을 제공한다. LST와 지상기온을 바로 비교할 수 없기 때문에 본 연구에서는 도출된 식을 사용하여 LST를 T_a 로 추정하였다. LST를 사용하여 추정된 T_a 와 실제 관측한 지상기온의 산점도를 나타내었다(그림 4). 6곳의 관측소 지역 모두 LST를 바로 기온과 비교했을 때 보다 결정계수가 높아졌으며 RMSE(Root-Means-Square Error)는 낮아졌다. 추정된 T_a 의 1km×1km 크기 window size를 3km×3km, 5km×5km, 7km×7km, 9km×9km, 11km×11km, 15km×15km, 19km×19km, 25km×25km의 크기로 변환하여 각 size별 window의 평균을 구하여 관측소의 지상기온자료와 비교하여 RMSE와 표준편차를 계산하였다.

분석 및 결과

각각의 회귀식에서 추정한 T_a 를 해당 관측소별 지상 기온값과의 RMSE를 계산하였고 T_a 를 이용하여 window size별로 평균값을 계산하여 지상 기온값과의 RMSE를 그래프로 나타내었다(그림 5a). 그림 5a와 같이 대체적으로 window size가 점차 커지면서 RMSE역시 올라가는 자연스러운 형태를 보였다. 선택된 관측소별로 RMSE의 변화량을 살펴보기 위해서 RMSE수치를 정규화 하였고, 아래 식과 같다.

$$NRMSE = \frac{SE_i - SE_{\min}}{SE_{\max} - SE_{\min}} \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

정규화식에서 SE_i 는 현재 RMSE값, SE_{\min} 와 SE_{\max} 는 각각 RMSE의 최소값과 최대값을 나타낸다. 각각의 관측소별로 정규화를 하여 그

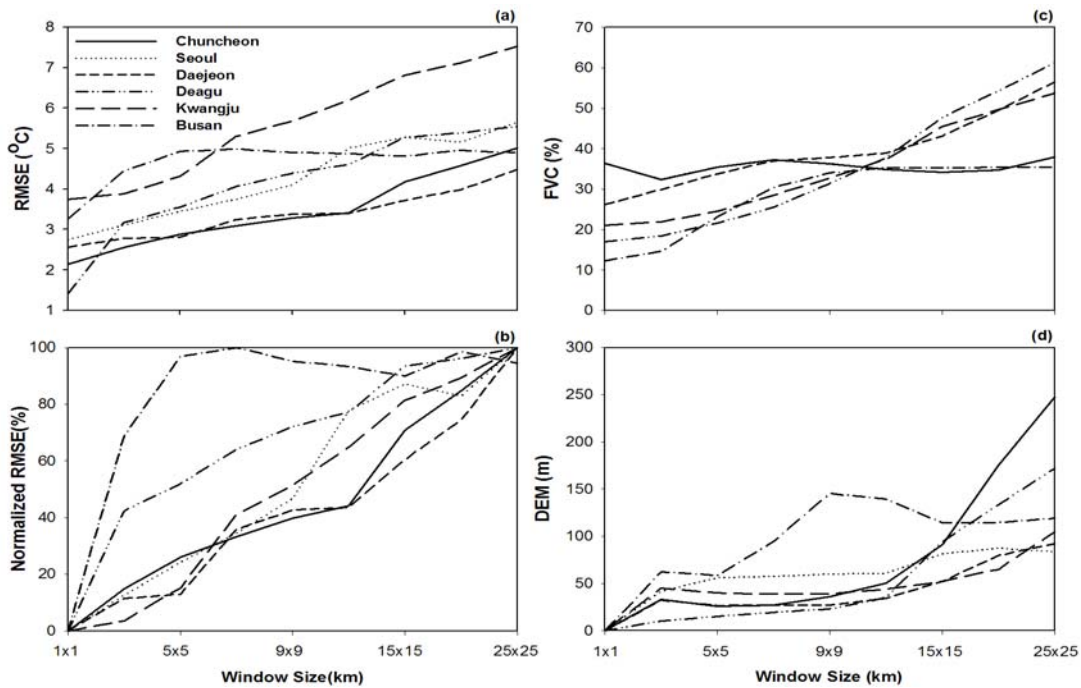


FIGURE 5. RMSE distribution(a) and Normalized RMSE(b) and Mean FVC(c) and DEM standard deviation(d) distribution according to station and window size

림 5b와 같이 그래프로 나타내었다. 정규화된 RMSE의 그래프는 RMSE 그래프의 경향과 일치하며 변화량이 급격하게 증가하는 구간의 경우 평균 FVC수치가 낮으며 DEM의 표준편차가 큰 것을 알 수 있었다. 각 지역의 window size별 평균 FVC(그림 5c)와 DEM(그림 5d)의 표준편차 그래프를 보게 되면, 대표적인 구간으로 부산의 1km×1km에서 3km×3km 구간을 볼 때 DEM의 편차가 50m이상 나타나면서, FVC의 평균이 타 지역에 비해 현저히 낮게 나타난다. 다른 지역의 경우에도 DEM의 편차가 그리 높지 않아도 평균 FVC가 낮은 경우 RMSE가 증가하는 경향을 보여주었다. DEM 편차의 경우 window size가 커짐에 따라 RMSE에 영향을 미치는 것과 마찬가지로 FVC의 평균수치 역시 RMSE에 영향을 주었다. 이것은 산점도(그림 3)에서 보듯이 FVC가 높을수록 두 관측온도간의 차이가 줄어드는 것으로 확인되어 진다.

선정된 지역의 각 window size별 RMSE를 보면, 부산에 위치한 관측소의 경우, 다른 5곳과는 다르게 window size에 따라 증가하지 않고 증감이 반복되고 있으며, 3km×3km window size에서부터 7km×7km까지 RMSE가 급격히 상승했다가 9km×9km부터 다소 RMSE가 떨어지는 경향을 보였다. 이러한 부산 관측소의 RMSE 변화 원인을 분석하기 위해, 부산과 전국 구간의 RMSE차가 가장 작은 대전의 각 window size별 DEM과 FVC의 표준편차와 평균을 계산하였다(그림 6). 부산의 DEM 표준편차는 모든 size에서 서로 상이한 값을 나타내었으며, 이것은 지형 변화가 급격하다는 것을 의미한다. 부산의 지상기온 RMSE는 완전

히 일치하지는 않았지만 전반적인 경향이 DEM의 표준편차와 어느 정도 일치하였다. 부산은 FVC의 변동이 커 LST와 지상기온자료의 오차가 크다고 생각되며, window size가 커지면서 평균 FVC가 높아지게 되자, RMSE의 변동 폭이 작아진 것으로 생각된다. 이와 반대로 대전은 DEM의 변동의 폭이 작았으며, FVC의 변동 역시 비교적 작은 편이었다. 이러한 영향으로 기온 RMSE의 변화폭이 작았던 것으로 생각된다

대구를 제외한 모든 관측소에서 1km×1km 일 때도 RMSE가 1°C이상의 값을 나타내었으나, 부산과 광주에 경우 3°C이상의 RMSE가 나타났다. 이것은 1km안의 고도차의 영향을 보여주는 것이며(표 3), 대체적으로 1km×1km의 DEM과 각 지역 관측소의 고도차이가 큰 경우, RMSE도 증가하는 것을 보여주었다. 이외에도 위성관측 당시 구름의 제거가 제대로 이루어지지 않았을 경우도 있으며 1km×1km 내의 토지 피복이나 바람 등의 영향으로 사료된다. 그 영향을 감소시키기 위해서 각각의 window size의 RMSE에서 1km×1km의 RMSE를 감산하였다. 하지만 이 방법은 1km×1km 내의 모든 오차를 무시하는 것으로 실제 오차가 있을지 없을지 확실하지 않은 상태라면 정확하지 못한 보정방법이라 생각되어 제외하였다. 국내 연구 중 위성 지표온도 자료를 이용하여 일 최고기온을 산출한 사례에 보면 온도 산출에 유효한 모델이 RMSE가 약 3°C 후반이었다(변민정 등, 2004). 본 연구에서는 열적 대표성을 결정하기 위한 임계값이므로 반올림하여 4°C를 임계값으로 설정하였다. 그 결과 대전이 15km×15km, 춘천이 11km×11km, 서울

TABLE 3. RMSE according to altitude difference between stations and 1km×1km DEM


	Chuncheon	Seoul	Daejeon	Deagu	Kwangju	Busan
Altitude difference (m)	3	32	29	6	49	61
RMSE(°C)	2.1387	2.7453	2.5618	1.14110	3.7462	3.2635

7km×7km, 대구 5km×5km, 광주 3km×3km, 그리고 부산 3km×3km의 범위가 4°C의 임계값을 만족하였다.

결론

전국 76개소의 기상관측소 간의 최단 거리의 평균은 36.28km 정도로, 모든 관측소가 평균적으로 18km 정도의 반경의 열적 규모를 대표하고 있다. 본 연구의 가장 큰 window size 인 25km×25km의 반경이 12.5km 정도으로써, 6곳의 관측지점 중에 경계 RMSE를 4°C 이하로 설정하였을 때 25km×25km 범위의 대표성을 가진 곳이 없는 것으로 나타났다. 연구지점의 대부분이 평지인 대전의 경우 15km×15km의 대표성으로 반경 7.5km에 불과하다. 부산처럼 고도차가 심한 경우 그 대표성의 범위는 더욱 작아지게 된다. 본 연구에서 부산 기상관측소의 대표성은 3km×3km으로 나타났다. 실제 기장에서 김해까지 직선거리로 약 35km에 이르며, 대표성 반경 1.5km로는 부산의 온도를 제대로 대표한다고 하기에는 무리가 있는 것으로 보인다. 부산뿐 아니라 연구지역 6곳 모두 현재 관측소의 관측값이 해당지역의 기온값을 대표하지 못하는 것으로 생각된다.

본 연구는 해상력 1km의 MODIS LST 자료를 사용하였으며, LST를 이용하여 추정한 Ta와 관측소에서 관측한 지상기온 간의 1km×1km RMSE가 커서 분석의 어려움이 있었다. 향후 좀 더 정확한 분석을 위해서 FVC와 DEM 외에도 다양한 인자(풍향, 풍속, 강우강도 등)를 이용한 연구가 수행되어야 하며 도시 내 관측소 위치의 적합성도 함께 연구되어야 할 것이다. 본 연구 결과를 토대로 미루어 보면, 연구지역 6곳과 같이 식생의 분포가 적고, 지표형태가 복잡한 도시에 위치한 대부분 기상관측소의 기온 대표성도 낮을 것으로 예상되고, 900여개의 자동기상관측소가 어느 정도 보완성 가진다고 가정 하더라도 지형변화 및 고도차가 심한 지역에서는 관측

소 주변의 정확한 기온정보를 제공할 수 없을 것으로 생각된다. 또한 관측소의 신설이나 이동은 경제적, 인적 측면에서 고비용이 소모될 것이며, 결국 이러한 문제를 해결하기 위해서는 위성을 통한 원격탐사를 응용하는 것이 가장 효과적인 방법이 될 수 있을 것이다. 이를 위해서는 위성 관측을 통한 자료의 신뢰성 향상을 위한 보다 다양한 연구가 선행되어야 할 것이다. 

Reference

- 변민정, 한경수, 김영섭, 2004. 위성자료를 이용한 일최고온도 산출의 통계적 접근에 관한 고찰. 대한원격탐사학회지 20(2):65-76.
- 신사철, 안태용, 2007. 인공위성 자료를 활용한 광역증발산량의 산정방법 개발. 한국지리정보학회지, 10(2):70-80.
- 조명희, 이광재, 김운수, 2001. 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시 표면온도의 공간적 분포 특성에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 4(1): 57-66
- Bayer, D., M. Denhard, S. Meyhöfer, J. Rapp and Chr. -D. Schönwiese. 1994. Trend- and multiple Signalanalyse globaler bzw. europäischer Klimavariationen, Berichte des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main. Nr. 98. Frankfurt, 172pp.
- Becker, F., 1987. The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite. International Journal of Remote Sensing 8:1509-1522.
- Crosswell, M. P., A. P. Morse, M. C. Thomson and S. J. Connor. 1999. Estimating surface air temperatures, from Meteosat land surface temperatures, using an empirical solar zenith angle model. International Journal of Remote Sensing 20(6):1125-1132.

- Geiger, R., 1965. *The Climate Near the Ground*. Harvard University Press, Cambridge, MA. 626pp.
- Gutman, G., A. Ignatov. 1998. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numeric weather prediction models. *International Journal of Remote Sensing* 19(8):1533-1543.
- Holben, B. N., 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 7(11):1417-1434.
- Jones, P. D., S. C. B. Raper, R. S. Bradley, H. F. Diaz, P. M. Kelly and T. M. L. Wigley. 1986a. Northern hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984. *Journal of Climate Applied Meteorology* 25:161-179.
- Jones, P. D., S. C. B. Raper, T. M. L. Wigley. 1986b. Southern hemisphere surface air temperature variations:1951-1984. *Journal of Climate Applied Meteorology* 25:1213-1230.
- Mao, K., Z. Qin, J. Shi and P. Gong. 2005. A practical split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from MODIS data. *International Journal of Remote Sensing* 26(15):3181-3204.
- McMillin, L. M., 1975. Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption. *Journal of Geophysical Research* 80:5113-5117.
- Oke, T. R., 1978. *Boundary Layer Climates*, Methuen, London. 318pp
- Florio, E. N., S. R. Lele, C. Y. Chi, R. Sterner and G. E. Glass. 2004. Integration AVHRR satellite data and NOAA ground observations to predict surface air temperature: a statistical approach. *International Journal of Remote Sensing* 25(15):2979-2994.
- Prata, A. J. and R. P. Cecket. 1999. An Assessment of the Accuracy of Land Surface Temperature Determination from the GMS-5 VISSR. *Remote Sensing of Environment* 67(1):1-14.
- Price, J. C., 1984. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA-7/AVHRR. *Journal of Geophysical Research* 89:7231-7237.
- Price, J. C., 1990. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28:940-948.
- Prihodko, L. and S. N. Goward. 1997. Estimation of Air Temperature from Remotely Sensed Surface Observations. *Remote Sensing of Environment* 60(3):335-346.
- Prince, S.D., S.J. Goetz, R. O. Dubayah, K. P. Czajkowski and M. Thawley. 1998. Inference of surface and air temperature, atmospheric precipitable water and vapor pressure deficit using Advanced Very High-Resolution Radiometer satellite observations: Comparison with field observations. *Journal of Hydrology* 213:230-249.
- Seguin, B., 1991. Use of surface temperature in agrometeorology. In *Applications of Remote Sensing to Agrometeorology*. Kluwer Academic Press, Boston, pp. 221-240.
- Sobrino, J. A., J. C. Jimenez-Munoz, L. Paolini. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5. *Remote Sensing of Environment* 90(4):434-440.
- Söderström, M. and B. Magnusson. 1995. Assessment of local agroclimatological condition - a methodology, *Agricultural and Forest Meteorology* 72:243-260.

- Stathopoulou, M., C. Cartalis and N. Chrysoulakis. 2006. Using midday surface temperature to estimate cooling degree-days from NOAA-AVHRR thermal infrared data: An application for Athens, Greece. *Solar Energy*, 80:414-422.
- Stisen, S., I. Sandholt, A. Norgaard, R. Fensholt and L. Eklundh. 2007. Estimation of diurnal air temperature using MSG SEVIRI data in West Africa. *Remote Sensing of Environment* In Press, Corrected Proof, Available online 22 June 2007. 13pp.
- Sun, D. and R. T. Pinker. 2003. Estimation of land surface temperature from a Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES-8). *Journal of Geophysical Research* 108(d11): 4326.
- Sun, D. and R. T. Pinker. 2005. Implementation of GOES-based land surface temperature diurnal cycle to AVHRR. *International Journal of Remote Sensing* 26(18):3975-3984.
- Vogt, Jürgen V., Alain 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.
- Wan, Z., 1999. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document(LST ATBD) Ver 3.3. Institute for Computational Earth System Science University of California, Santa Barbara, USA, 77pp.
- Wan, Z., 2001. Land Surface Temperature Measurements from EOS MODIS Data. Semi-Annual Report, National Aeronautics and Space Administration, Santa Barbara, USA, 28pp.
- Wan, Z and J. Dozier, 1996. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing* 34:892-905. **KAGIS**