

위성기반의 지표면 온도를 활용한 기상관측소의 열적 공간 대표성 테스트

Test of Thermal Spacial Representativity Using Satellite based Land-Surface Temperature

이창석*, 한경수*, 염종민**, 박윤영*

Lee Chang-soek, Han Kyung-soo, Yeom Jong-min, Park Yoon-young

부경대학교 위성정보과학과*, 부경대학교 환경대기과학과**

lee.changsuck@gmail.com · kyung-soo.han@pknu.ac.kr

요약

지표면 온도(Land Surface Temperature, LST)는 지표와 대기간의 수증기 교환을 조절하는 중요한 기상변수중의 하나이다. 그 외에도 지표면 온도는 토양의 상태나 식생의 성장에도 밀접한 관계가 있어 임업과 농업에도 널리 활용되고 있다. 본 연구의 목적은 위성 지표면 자료를 이용하여 지상관측점의 열적 공간 대표성을 알아내는 것이다. 전국에 총 76개의 관측소가 있으며 그중에서 선정된 6곳의 관측소(서울, 부산, 대전, 대구, 광주, 춘천)를 MODIS LST product와 비교를 하였다. 비교 방법은 위성 자료의 pixel size를 3× 3, 5× 5, 7× 7, 9× 9, 11× 11, 15× 15, 19× 19, 25× 25로 변환하여 각 pixel size별 평균값을 계산하여 MODIS product와 비교하여 선형분석을 하였다. 분석의 요소로 Fraction Vegetation Cover(FVC)와 Digital Elevation Model(DEM)을 사용하였으며 분석 결과 FVC의 상관관계과 DEM보다 높은 상관성을 보여주었다. 선형분석으로 도출한 식으로 지표면 온도를 재산출한 뒤 지상관측값과의 RMSE를 산출하였다. 대표성 규명을 위한 RMSE는 일 최고 기온 산출 모델에 관한 연구를 참고하여 4℃로 결정하였다.

1. 서론

최근 들어 지구 곳곳에 이상 기온현상의 발생 횟수가 급격히 늘어나고 있으며, 이에 따라 기상 예측의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 우리나라에도 2006년에 유래 없이 긴 장마로 인해 전국에 큰 피해를 입었다. 워낙 강수량이 많은 탓도 있지만 강수예측 역시 제대로 되지 않아 적절한 대비를 할 수 없었던 것이다. 이것은 계속

된 산업화로 지구의 온난화가 가속화되어 많은 수증기가 대기중으로 유입되어 예전보다 기상현상의 발생과정이 가속화되었고 가속화된만큼 좀 더 정확한 기상변수의 관측이 요구되어졌다. 지표면 온도(Land Surface Temperature, LST) 역시 중요한 기상변수 중의 하나로 시·공간적 변화가 빠르고 그 변화 폭도 큰 편이다. 지표면 온도는 지표와 대기사이에 수증

기 교환을 조절하는 중요한 기상변수이며, 수치모델이나 기후모델의 초기 및 검증 자료로 활용되고 있다. 그 외에 농지와 자연림의 식생지수 연구에 관한 많은 연구에 지표면 온도를 사용하고 있다.

기온이란 일반적으로 지표에서 1.5m정도 높이의 대기온도이다. 기온은 지표면의 복사로 인한 공기의 온도이므로 지표면 온도와 밀접한 관계가 있다. 우리나라에서는 전국 76개의 기상관측소에서 기온을 관측하고 있지만 관측위치가 전국에 고르게 위치하지 못하여 자료의 공간적 해상력이 낮으며 관측소의 지점이외에는 지역적, 지형적인 특성을 전혀 반영하지 못하고 있다.

위성은 정해진 궤도에 따라 이동하면서 일정주기로 넓은 지역을 관측할 수 있으며 위성자료는 시·공간적 해상력이 높아 활용범위가 넓다.

그동안 위성을 이용한 지표면 온도(Land Surface Temperature, LST)의 산출은 NOAA의 AVHRR, EOS Terra/Aqua의 MODIS, Landsat의 TM등의 thermal 센서를 이용하여 연구(Y.Kant, K.V.S.Bararinath, 2000; N.Chrysooulakis, C.Cartalis, 2002 ; S.Alsultan *et al.* 2005) 되어 왔었다. 국내에서는 지표면온도를 활용하여 지상관측소의 열적 공간 검사를 한 연구는 이루어지지 않았으며, 국외의 경우 NOAA/AVHRR 영상을 이용하여 스페인 남부 안달루시아지역의 지상 관측소들을 대상으로 각 관측소의 열적대표성을 검사한 사례가 있다(A.A. VIAU *et al.* 2000).

본 연구는 남한의 기상관측소의 열적 공간 대표성을 MODIS 위성에서 얻어진 지표면온도와 지상 관측소에서 관측한 기온자료의 비교를 통해서 지상 관측소가 어느 정도 규모의 열적 공간대표성을 가

지고 있는지를 알아보았다. 중요 지상변수 중의 하나인 지표면 온도를 사용하여 열적 공간성을 테스트함으로써 기상관측소 위치의 제고와 신설의 필요성과 위성 자료의 활용의 필요성을 재확인 할 수 있다.

2. 연구 범위 및 자료

연구기간은 2005년 1월, 4월, 7월, 10월로 하였고 범위는 한반도 남한영역(위도 33°N - 38.8°N, 경도 124.5°E - 129.9°E)의 기상관측소 서울, 부산, 춘천, 대전, 대구, 광주 6개(fig 1)의 기상관측지점과 주변지역이다.

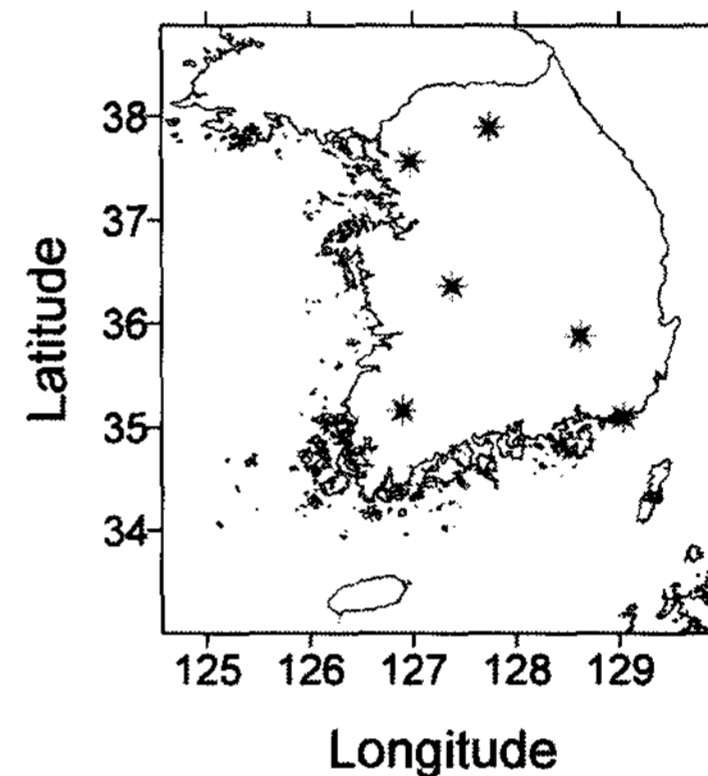


Fig 1. Location of selected ground measurement station over Korean peninsula

위성관측 지표면 온도자료는 미국항공우주국(National Astronautics and Space Administration, NASA) 산하의 Land Processes Distributed Active Archive Center(LPDAAC)에서 제공하는 동기간의 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily 5-Min L2 Swath 1km 자료를 사용했고 지상관측 기온자료는 기상청에서 제공하는 전국 관측소의 기온관측 자료를 사용했다. 그리고 지리보정자료로 Distributed Active Archive Center (DAAC)에서 제공하는 MODIS Geolocation 1km mod03 자료를 사용했으며 위성영상과 기상관측소자료의 비교를 위한 보조 자료로써 Spot/

Vegetation Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) 자료, U. S. Geological Survey (USGS)의 아시아 1km Digital Elevation Model DEM) 자료를 사용하였다.

위성자료로부터 지표면온도(LST)는 대기의 창이면서 흡수효과가 다른, 10.8 μ m 와 12.0 μ m 두 파장을 이용한다. 10.8 μ m은 별다른 감쇠요인이 없는데 비해 12.0 μ m 파장은 H₂O에 의해 흡수가 되는 것을 이용하여 두 파장대의 복사차이를 비교하여 대기 수증기에 의한 감쇠정도를 알아내는 것이다.

MODIS의 지표면 온도 자료 역시 일반적인 split-window algorithm을 사용하여 산출하며 형식은 아래와 같다(Wan and Dozier, 1996).

$$T_s = C + (A_1 + A_2 \frac{1-\epsilon}{\epsilon} + A_3 \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon^2}) \frac{T_{10.8} + T_{12.0}}{2} + (B_1 + B_2 \frac{1-\epsilon}{\epsilon} + B_3 \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon^2}) \frac{T_{10.8} - T_{12.0}}{2}$$

$\epsilon = 0.5(\epsilon_{10.8} + \epsilon_{12.0})$ 와 $\Delta\epsilon = \epsilon_{10.8} - \epsilon_{12.0}$ 에서 $\epsilon_{10.8}$ 과 $\epsilon_{12.0}$ 는 MODIS 채널의 31, 32 밴드의 방출율에 해당하며 ϵ , $\Delta\epsilon$ 은 31, 32밴드의 표면방출율의 평균과 차이이다. T_{31} , T_{32} 는 두 밴드의 휘도온도를 나타내며 A , B , C 는 회귀상수이다.

그리고 보조자료로 Spot/Vegetation에서 제공하는 S10 NDVI 자료를 사용하였다. NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 정규화 식생지수로 다음과 같다.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

본 연구에서 사용한 S10은 10일 동안의 Spot/Vegetation 채널의 평균값이며 이 채널값을 이용하여 NDVI값을 산출하며 Maximum Value Composite(MVC)로 10

일 동안의 NDVI중 최고값을 취하여 제공한다. 본 연구에서는 S10을 이용하여 FVC(Fraction Vegetation Cover)을 산출, 회귀식에 이용하였다. FVC는 주어진 화소 내에서 식생이 차지하는 비율을 나타내며 0.0-1.0 사이의 값을 갖는다. FVC의 일반적인 식(Gutman & Ignatov, 1998)은 다음과 같다.

$$FVC = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

$NDVI_i$ 는 현재 화소의 NDVI값이며 $NDVI_{min}$ 는 맨땅일 때의 값이고 0.1이며 $NDVI_{max}$ 는 화소전체가 식생일 경우를 의미한다. $NDVI_{max}$ 는 경험적인 값으로 각 연구별로 값이 다르며 본 연구에서는 0.89로 설정하였다.

LST 산출에는 전 지구육지의 밴드별 방출율을 관측하여 DB로 구축하여야 하지만 현실적으로 지구상의 모든 육지에 대해서 밴드별 방출율DB를 구축하는 것은 불가능하다. 대안으로 모든 육지 화소는 토양과 식생으로 구성되어 있다고 가정하고 식생비율을 고려하여 방출율을 산출하게 되는데 FVC 역시 화소 내에 식생이 차지하는 비율로 관련이 깊어 FVC를 사용하였다.

3. 방법

전체적인 연구 방법은 다음과 같다.

- (1) 2005년 1월, 4월, 7월, 10월의 MODIS LST product를 획득한 다음 LST값만을 추출하였다. Land Processes Distributed Active Archive Center, LPDAAC에서 제공하는 MODIS Swath Reprojection Tool(MRT Swath)와 MODIS geolocation (MOD03)자료를 이용하여 지리보정을 하면서 동시에 한반도의 영역(38.8°N - 33°N, 124.5°E - 129.9°E)을 잘라내었다.
- (2) 같은 기간의 NDVI 자료를 획득한 다음 월별로 3개의 자료를 평균하여 월별 1개

의 대푯값을 산출하고 이것을 이용하여 월별 FVC를 산출한다.

(3) 지리보정이 끝난 LST값을 Scale Factor를 이용하여 켈빈온도로 변환하고 다시 섭씨온도로 변환한다. LST자료를 관측소 위치를 중심으로 3×3, 5×5, 7×7, 9×9, 11×11, 15×15, 19×19, 25×25의 Pixel size의 평균값을 계산하여 지상관측값과 비교하여 각 Pixel size마다 RMSE와 표준편차를 산출한다.

4. 분석 및 결과

MODIS LST product와 기상 관측소 관측 기온값에 대한 산점도(Fig 2.)를 그려본 결과 위성관측 지표면온도와 지상관측 기온은 결정계수 0.898, 상관계수 0.806이라는 높은 상관관계를 가지고 있었다. 지상관측기온자료가 관측소위치만을 가지고 있기 때문에 보다 정확한 비교를 위해서 위성관측 지표면온도로 기온자료를 추정하였다. 기온자료 추정에는 회귀분석을 통해 도출한 회귀식을 사용하였고 회귀분석의 인수로 LST(위성에서 관측한 지표면온도 이하 T_s 라고 하겠다.), FVC, DEM을 순차적으로 넣어 분석하였다. 분석시마다 결정계수(table 1.)가 0.806, 0.834, 0.836으로 상승하였다. Table 1에서 보듯이 DEM보다 FVC의 영향이 크게 나타났다. T_s 에서 T_a 를 산출하기 위한 회귀식 인수에는 FVC만을 사용하였으며 회귀식은 다음과 같다.

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

a 와 b_1 , b_2 는 선형 회귀분석하여 도출된 상수와 계수이다. 관측소의 지역별 지형적인 특성을 반영하기 위해 6개 관측소마다 회귀분석을 하였고 분석결과 table 2와 같이 6개의 상수와 계수를 산출하였다. 각각의 회귀식에서 위성 지표면 온도자료를 이용하여 기온 추정값을 산출하고 기온 추정값과 기상관측소의 기온값을 산점도

(Fig 4)로 나타내었으며 결정계수가 0.9104로 이전보다 좀 더 높은 상관관계를 보였다.

각각의 회귀식을 산출하여 Pixel size별로 RMSE를 계산하여 Pixel size별 RMSE를 그래프(Fig 3)로 나타내었다. 그림과 같이 부산을 제외한 5개의 관측지점은 대체적으로 Pixel Size가 점차 커지면서 RMSE역시 올라가는 자연스러운 형태를 보였다.

부산의 경우 3×3km Pixel size에서부터 7×7km까지 RMSE가 급격히 상승했다가 9×9km부터 미약하게 RMSE가 떨어지는 경향이 보였다. 이것을 알아보기 위해서 부산과 대전의 각 Pixel size별 DEM과 FVC의 표준편차와 평균을 계산하였다(Fig 5.). 부산의 DEM 표준편차는 1×1에서 25×25까지 기복이 심하였다. 이것은 부산의 지형 변화가 급격하다는 것이다. 부산의 기온 RMSE는 완전히 일치하지는 않았지만 전반적인 경향이 DEM의 표준편차와 어느 정도 일치하였다. 부산은 FVC의 변동이 커 LST와 기온자료의 오차가 크다고 생각되며 픽셀사이즈가 커지며 평균 FVC가 높아지자 RMSE의 변동 폭이 작아진 것으로 추정된다. 이와 반대로 대전은 DEM의 변동의 폭이 작았으며, FVC의 변동역시 비교적 작은편 이었다. 이러한 영향으로 기온 RMSE의 변화폭이 작았던 것으로 사료된다.

국내 연구 중 위성 지표면 온도 자료를 이용하여 일 최고기온을 산출한 사례(변민정 *et al.* 2004)에 보면 온도산출에 유효한 모델이 RMSE가 약 3°C 후반이었다. 본 연구에서는 대표성을 정하기 위한 임계값이므로 반올림하여 4°C를 임계값으로 설정하였다. 그 결과 대전이 15×15, 춘천이 11×11, 서울 7×7, 대구 5×5, 광주 3×3, 부산 1×1범위가 4°C의 임계값을 만족하였다.

5. 결론

남한 전체의 76개소의 관측소간의 최단 거리의 평균은 36.28km정도이다. 모든 관측소가 평균적으로 18km정도의 반경의 규모를 대표하고 있는 것이다. 하지만 6곳의 관측지점 중에 RMSE를 4°C로 설정하였을 때 25×25km의 범위를 대표할 만큼 대표성을 가진 곳이 없는 것으로 보인다. 가장 넓은 대표성을 보인 대전의 경우에도 15×15km의 대표성으로 반경 7.5km에 불과하다. 부산처럼 고도차가 심한 경우 그 대표성의 범위는 더욱 작아지게 된다. 4°C 일 때 부산 기상관측소의 대표성은 3×3km, 반경 1.5km이다. 기장에서 김해까지 직선거리로 약 35km에 이른다. 본 연구에서 나온 대표성 반경 1.5km로는 부산의 온도를 제대로 대표한다고 하기에는 무리가 있는 것으로 보인다.

본 연구는 해상력 1km의 MODIS LST product를 사용하였다. 하지만 1km 이하의 RMSE의 분석에 어려움이 있었다. 향후에는 좀 더 고해상력의 자료를 이용하여 정확한 RMSE분석과 현재 관측소 위치의 합리성도 향후 연구되어야 할 과제이다. 그리고 관측소의 이동이나 신설이 현실상 어렵다면 해답은 위성을 통한 원격 탐사가 될 것으로 사료되며 위성 자료 신뢰성 향상을 위한 연구가 실행되어야 할 것이다.

Table 1. Linear Regression analysis

Factor	R	R ²	ST_DEV(°C)
Ts	0.898	0.806	3.9987899
Ts+FVC	0.913	0.834	3.6990532
Ts+FVC+DEM	0.914	0.836	3.6783035

Fig 2. Correlation between Ta and Ts.

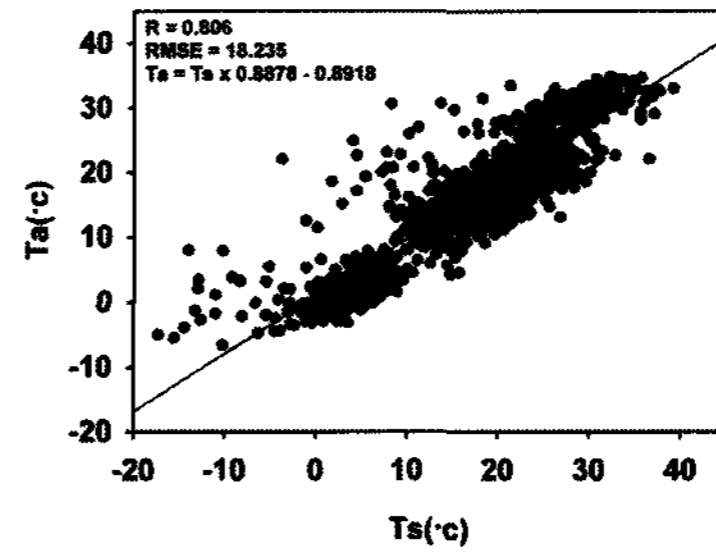


Table 2. Each Station's coefficients and RMSE

	a	b ₁	b ₂
춘천	-2.367	1.009	-1.103
서울	-16.212	1.018	58.291
대전	-1.577	0.773	16.979
대구	-5.158	0.603	64.930
광주	-7.337	0.989	-6.635
부산	-2.033	1.096	-17.362

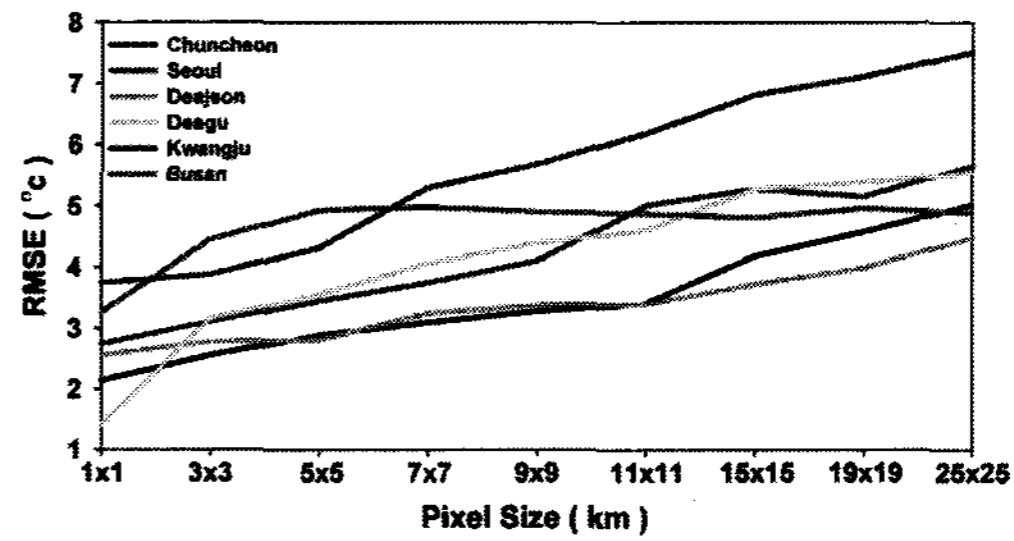


Fig 3. Each Station's RMSE according to Pixel size.

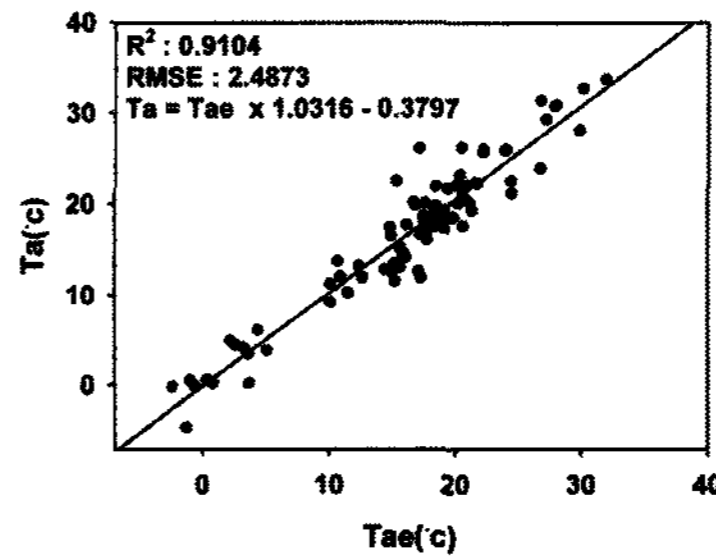


Fig 4. Correlation between satellite data Estimated Ta and measured Ta.

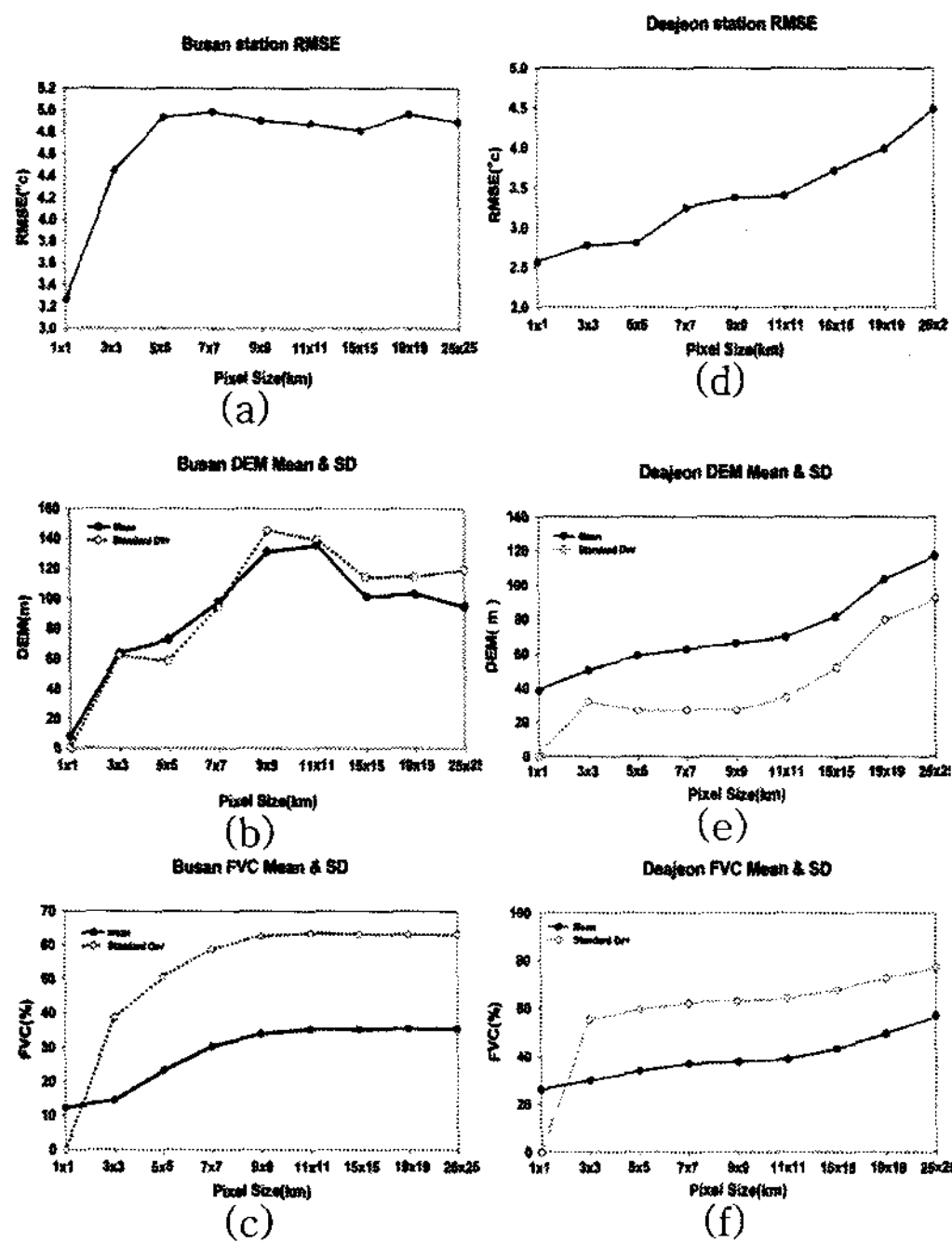


Fig 5. RMSE(a) and DEM(b) and FVC(c) of Busan according to pixel size and RMSE(d) and DEM(e) and FVC(f) of Deajeon according to pixel size

6. 참고문헌

M.J. Byun, Y.H. Han, Y.S. Kim, 2003
 :Estimation of daily maximum air temperature using NOAA/AVHRR data, KSRS Spring Conference 2003 291-296

H.S. Andersen, 1997 :Land surface temperature estimation based on NOAA-AVHRR data during the HAPEX-Sahel experiment, Journal of Hydrology, 188-189(1997), 788-814

John R. Jensen, 2000 : Remote Sensing of Environment An Earth Resource Perspective

L.F. Prers, C.C. Dacamara, 2006
 :Improving Two-Temperature Method Retrievals Based on a Nonlinear Optimization Approach, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol3(2), 232-236