

위성자료를 이용한 일최고온도 산출의 통계적 접근에 관한 고찰

변민정* · 한경수** · 김영섭***

부경대학교 환경대기과학과*, 프랑스 기상청 기상연구소**, 부경대학교 위성정보과학과***

A New Look at the Statistical Method for Remote Sensing of Daily Maximum Air Temperature

Min-Jeong Byun*, Kyung-Soo Han**, and Young-Seup Kim***

Dept. of Environmental Atmospheric Science, Pukyong National University*,

CNRM/GMME/MATIS, Meteo-France**,

Dept. of Satellite Information Sciences, Pukyong National University***

Abstract : This study aims to estimate daily maximum air temperature estimated using satellite-derived surface temperature and Elevation Derivative Database (EDD). The analysis is focused on the establishment of a semi-empirical estimation technique of daily maximum air temperature through the multiple regression analysis. This tests the contribution of EDD in the air temperature estimation when it is added into regression model as an independent variable. The better correlation is shown with the EDD data as compared with the correlation without this data set. In order to provide a progressive estimation technique, we propose and compare three approaches: 1) seasonal estimation non-considering landcover, 2) seasonal estimation considering landcover, and 3) estimation according to landcover type and non-considering season. The last method shows the best fit with the root-mean-square error between 0.56°C and 3.14°C. A cross-validation procedure is performed for third method to valid the estimated values for two major landcover types (cropland and forest). For both landcover types, the validation results show reasonable agreement with estimation results. Therefore it is considered that the estimation technique proposed may be applicable to most parts of South Korea.

Key Words : Daily Maximum Air Temperature, Elevation Derivative Database, Landcover, Cross-Validation.

요약 : 본 연구는 위성으로부터 얻어진 지표온도와 Elevation Derivative Database(EDD)를 사용하여 일 최고기온을 산출하기 위해 수행되었다. 실험은 다중 회귀 분석을 통하여 일 최고기온의 반 경험적 산출 시스템을 구축하는데 초점이 맞추어졌다. 회귀식 내에서 EDD가 하나의 독립변수로 추가 되었을 때 온도 산출에 어떤 영향을 미치는지도 테스트 되었다. 본 연구에서는 EDD가 회귀식에 추가 되었을 때가 그렇지 않았을 때 보다 좋은 상관을 보였고 이는 EDD가 좀 더 정확한 산출을 위해

필요한 자료임을 나타낸다. 진보된 산출시스템을 만들기 위해 본 연구는 3가지 접근을 시도하여 그 결과를 비교하였다. 3가지 접근방법은 다음과 같다: 1) 토지피복을 고려하지 않은 계절별 산출법, 2) 토지피복을 고려한 계절별 산출법, 그리고 3) 계절의 구분이 없는 토지피복 형태별 산출법이다. 세 번째 방법이 0.56°C에서 3.14°C 사이의 정확도와 함께 가장 최상의 결과를 보여주었다. 산출결과를 검증하기 위해 가장 정확도가 좋았던 세 번째 산출 시스템에 대한 교차검증을 농경지와 산림지역을 대상으로 수행하였다. 검증결과는 토지 피복의 종류에 관계없이 좋은 결과를 보였다. 따라서 제시된 일 최고기온 산출 시스템은 남한의 대부분 지역에서 적용 가능하리라 사료된다.

1. 서론

오늘날 화석연료의 과용과 산업화로 인한 환경 오염은 생태계는 물론 기후를 급속하게 변화시키고 있다. 이러한 변화를 감시하기 위한 지표면 모니터링에 대한 연구가 증가하고 있으며, 그중에서 지상 부근의 기온관측은 지구환경 변화를 나타내는 대표적인 방법이라 할 수 있다. 이것은 지구상의 대부분의 생명체가 지표 부근에서 존재하고, 기온이 광합성, 호흡, 증발 등을 조절해 주기 때문이다. 따라서 기온의 시·공간적 변화를 전 지구적 혹은 지역적으로 자세히 관찰하는 것은 기후변화는 물론 지구 생명체의 생활사를 효과적으로 이해하는데 있어 매우 중요하다(Geiger, 1965; Rosenberg *et al.*, 1983; Monteith and Unsworth, 1990). 또한, 어떤 기간 내의 최고, 최저, 평균 기온은 기후학적 상태의 특성을 묘사하거나 대규모 기후 변화를 증명하기 위해 집중적으로 분석되어 진다(Vogt *et al.*, 1997). 특히, 일 최고기온의 지속적인 관측은 그 지점에서 일어날 수 있는 최고 한계를 가늠할 수 있게 하는 중요한 도구이다.

기온은 시·공간에 종속되는 지표특성에 따라 결정되는 경향이 강하기 때문에 근 지표(near surface) 기온의 시·공간 패턴은 매우 복잡하고(Geiger, 1965; Oke, 1978), 나아가 대표성 있는 기온관측을 어렵게 한다. 현재 대부분의 기온자료는 대표성을 가지는 표본수집의 측면보다 현실적 여건에 맞게 설치한 기상관측소로부터 수집되고 있다. 게다가 지구의 많은 부분은 관측소의 수가 부

족하고, 있다고 하더라도 이용하는데 많은 시간과 비용이 요구된다(Jones, 1995; Karl *et al.*, 1995). 예를 들어, 현재 국내 기상관측소 중에는 도심과 떨어져 있거나, 관측망이 조밀하지 않고, 또한 시가지 보다 높은 해발고도에 자리 잡고 있는 경우가 많아서 도시기후를 충분히 파악하는데 어려움이 있다. 따라서 대표성 있는 자료를 획득하기 위하여 지상관측점에서의 관측 이외에 열수지해석이나 원격탐사를 통한 연구가 동시에 수행되고 있다.

Wexler(1954)는 기상위성으로 지구의 상향복사(upwelling radiance)를 관측하여 지표면온도, 대기의 평균기온 및 지구의 알베도 등을 구할 수 있는 가능성을 처음으로 보고하였다. Carlson *et al.*(1977)은 극궤도 위성자료를 이용하여 미국 로스앤젤레스의 지표면온도 분포를 연구하였고, Van de Grained and Owe(1993)은 원격탐사 자료를 이용한 식생지수와 지표면온도의 상관성 분석을 통하여 지표면의 피복 상태에 따른 온도분포의 추정 가능성에 관하여 분석한 바 있다. 또, Gallo *et al.*(1993)은 도시 열섬효과를 평가하기 위하여 NOAA/AVHRR(National Oceanic and Atmospheric Administration/ Advanced Very High Resolution Radiometer) 자료를 사용하여 연구하였다.

위성자료로부터 얻은 지표온도를 이용하여 기온을 산출하기 위한 여러 연구(Paquet *et al.*, 1997; Vogt *et al.*, 1997; Viau *et al.*, 2000; Han *et al.*, 2003a)가 지역규모에서 성공적으로 수행되었다는 연구가 있었다. 국내에서는, 조명희등(2001)이 원격탐사자료와 지리정보시스템을 이용해서 도시

지역 지표면 온도의 공간적 분포 특성 해석에 그 적용 가능성을 규명하였고, Ha *et al.*(2001)은 AVHRR에 의해 추정된 정규식생지수, 지표면 온도, 열 면적 지수의 변동성을 연구 분석하였다. 그러나 우리나라를 대상으로 위성자료를 이용하여 기온을 직접 추정하는 연구는 거의 이루어지지 않았다.

본 연구의 주목적은 우리나라를 대상영역으로 하여 위성자료를 이용하여 신뢰성 높은 기온을 산출할 수 있는 방법과 절차를 제시하는 것이다. 이를 위하여 기상변수와 위성에서 얻어진 지표자료와의 상관성을 조사하고, 아울러 보조 자료로서 EDD(Elevation Derivative Database)와 토지피복 지도의 역할도 알아 보았다.

2. 자료 및 처리과정

1) 자료

본 연구에서는 자세한 기온장 모니터링을 위해 대상지역을 한반도의 남부지역으로 국한하였다. 미국 Geological Survey에서 작성한 전 지구 토지피복 분류에 따르면, 연구 영역은 산림지역이 60.5%를 차지하고 있고, 나머지 영역의 대부분은 농경지이고(37.2%), 도시는 0.7%, 초지는 1.6%이다(Fig. 1). 기온과 지표온도는 이 토지피복에 따라 크게 달라 질 수 있기 때문에 온도 산출에 있어 토지피복 분류를 중요한 인자로 고려하여 분석하였다.

사용된 모든 자료는 2000년 1월부터 2001년 12월까지 2년 동안에 NOAA위성과 기상관측소에서 얻어진 것이다. 지상 기상관측자료는 비교적 고르

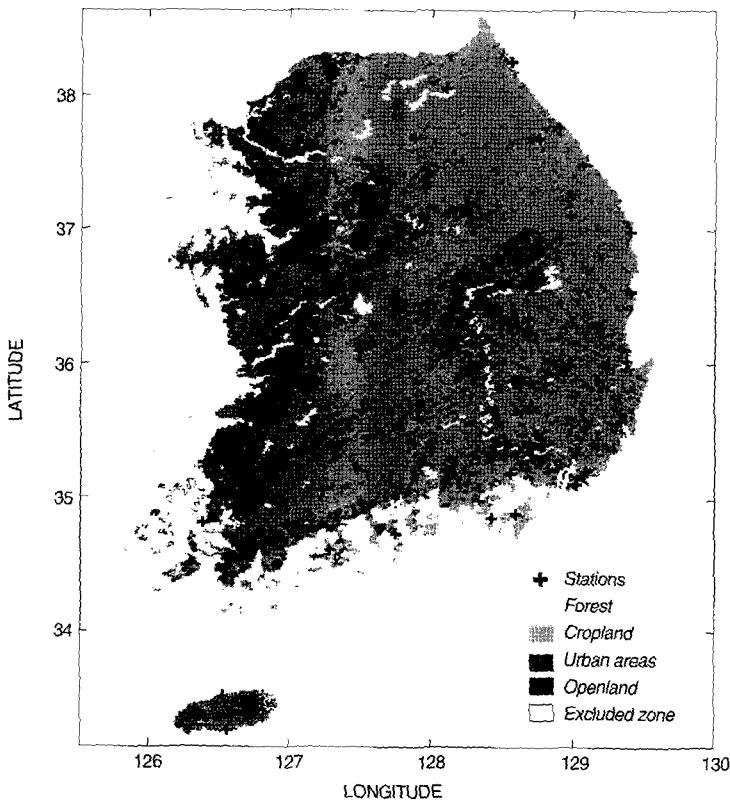


Fig. 1. Location of meteorological stations and land cover distribution.

계 분포되어 있는 전국의 64개 기상대관측소에서 일 최고기온 자료를 사용하였다(Fig. 1). Table 1은 토지피복 분류에 따른 관측소의 분포를 나타낸다. 위성자료는 NOAA-14에 탑재되어있는 AVHRR 센서로부터 얻어진 것으로, 공간분해능은 1.1km×1.1km이다. AVHRR 자료 중, 채널 1번과 2번은 정규식생지수를 얻기 위해, 그리고 채널 4번과 5번은 지표면 온도를 얻기 위하여 사용되었다. 자료는 2000년과 2001년의 각 계절을 대표하는 달인 1, 4, 7, 9월중 연구영역 내에 구름이 비교적 적은 맑은 임의의 50일을 선택하여 수집되었다. Table 2는 본 연구에 선정된 날짜와 위성의 관측 시각이다. 일반적으로 최고기온이 나타나는 시각은 일남중(日南中) 시각보다 늦은 오후 2시경이기 때문에 위성자료는 14시~17시경에 한반도 상공에서 수집된 화상을 채택하였다.

EDD 데이터는 NASA(National Aeronautics and

Space Administration)의 EOS(Earth Observing System)와 EOSDIS(Earth Observing System Data and Information System)을 관할하고 있는 Land Processes Distributed Active Archive Center에서 제공되었다. EDD 데이터는 각 대륙별로 제공되는 자료로서 고도, 경사, 경사의 방향에 대한 자료가 있으며, 1km×1km의 격자의 자료이다. 수치표고 모형은 고도를 미터로 표시한 값이며, 경사 데이터는 각각의 픽셀과 주변의 8개의 픽셀 사이에서 고도의 최대 변화를 나타내는 0에서 90°의 정수로 나타내는 값이다. 경사의 방향은 각각의 픽셀과 주변 8개의 픽셀 사이에서 고도의 최대 변화 방향을 나타내는 것으로, 북쪽에서 시계방향으로 0에서 360°의 정수로 측정된다.

2) 처리과정

(1) 구름제거

구름제거는 위성이 발사된 이래 지표면의 변화 연구의 가장 중요한 부분을 차지해왔다. 즉, 지표면 온도, 알베도나 식생지수와 같은 변수의 정확한 산정에서 발생하는 오차의 상당량이 구름제거 과정에 기인한다. 그러므로 부분적 혹은 전체적인 구름화소의 탐지와 제거는 지표변수 산출을 위한 자료처리 이전에 필요한 단계이다. 구름정보를 추출하기 위해 본 연구에서는 임계값 알고리즘

Table 1. Distribution of the meteorological stations according to landcover type.

Flag	Land type	Number of corresponding stations
Type-1	Urban areas	7
Type-2	Cropland	26
Type-3	Openland	8
Type-4	Forest	23

Table 2. NOAA-14 pass time list for the scenes used in the study.

Date	time(UTC)	Date	time(UTC)	Date	time(UTC)	Date	time(UTC)
2000.01.10	06:17:58	2000.07.08	06:55:34	2001.01.17	07:42:28	2001.04.23	07:06:35
2000.01.14	05:45:48	2000.07.09	06:43:25	2001.01.18	07:30:58	2001.04.27	07:59:45
2000.01.16	06:50:46	2000.07.11	06:19:18	2001.01.20	07:07:12	2001.07.02	08:14:05
2000.01.18	06:27:26	2000.07.24	07:05:44	2001.01.21	06:55:09	2001.07.07	07:14:16
2000.01.25	06:48:16	2000.07.26	06:46:35	2001.01.27	07:24:40	2001.07.16	07:05:27
2000.01.26	06:36:36	2000.07.30	07:36:04	2001.01.28	07:12:30	2001.07.20	07:59:31
2000.01.27	06:22:04	2000.09.23	07:01:29	2001.01.29	07:00:37	2001.07.22	07:34:02
2000.01.29	06:01:58	2000.09.24	06:49:26	2001.04.02	07:56:36	2001.07.23	07:22:59
2000.01.30	07:27:45	2000.09.26	06:26:24	2001.04.03	07:44:06	2001.09.01	07:43:57
2000.04.10	07:17:04	2000.09.29	05:50:34	2001.04.12	07:37:06	2001.09.02	07:32:25
2000.04.11	07:05:34	2001.01.10	07:23:37	2001.04.15	07:01:00	2001.09.10	07:36:10
2000.04.28	07:10:15	2001.01.11	07:12:08	2001.04.19	07:54:27		
2000.04.29	06:58:55	2001.01.16	07:54:29	2001.04.20	07:42:07		

방법을 적용하였다. 이 방법으로 구름을 탐지하는 과정에서 기본적으로 발생하는 문제는 임계값을 어떻게 정하느냐 하는 것이다(서명석과 이동규, 1999). 본 연구에서는 Shin *et al.*(1996), Saunders and Kriebel(1988)과 Gutman *et al.*(1987) 등에 의해 제시된 임계값 알고리즘을 통합해서 사용하였다. 수많은 연구와 노력에도 불구하고 정확한 구름제거는 아직 알고리즘이 포함하고 있는 몇몇 불확실성 때문에 큰 신뢰를 주지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 그러한 오류를 막기 위한 방법으로 각 단계에서 사용되는 임계값을 가시영역일 경우는 충분히 낮게, 적외 영역일 경우는 충분히 높게 결정하여 구름제거를 수행하였다. 이로써 구름화소를 다소 과대평가하여 구름제거 후에 나타나는 잔차를 최소화 하였다.

(2) 지표온도 추정

지표온도를 추정하기 위한 split-window 방법이 널리 이용되어왔다(Ehrlich *et al.*, 1994). 위성으로부터 관측되는 적외 복사에는 수증기나 다른 가스들에 의한 대기흡수의 영향이 포함되어 있어서 이를 이용한 지표온도 산출에는 오차가 발생하게 된다. 보통 이러한 수증기의 흡수는 10.5~12.5 μ m 대기창 내의 서로 다른 두 파장의 동시 관측으로부터 제거될 수 있다. 이 이론을 바탕으로 한 방법을 split-window 방법이라 하고, AVHRR 자료를 이용한 지표온도 추정에 성공적으로 이용되어 왔다.

이 알고리즘에서 사용되는 두 파장대는 NOAA/AVHRR 의 채널 4번과 5번이다. 이중 산출오차의 범위가 작고 자주 응용되는 방법 중의 하나가 Becker and Li(1990)가 제시한 알고리즘이며 다음과 같다.

$$T_s = 1.274 + A \cdot \frac{T_4 + T_5}{2} + B \cdot \frac{T_4 - T_5}{2} \quad (1)$$

$$A = 1 + 0.15616 \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} - 0.482 \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \quad (2)$$

$$B = \frac{6.26}{38.33} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} + 3.98 \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + \quad (3)$$

여기서, T_s 는 지표온도이고, T_4, T_5 는 각각 AVHRR 채널 4번과 5번의 밝기온도이다. ε 은 $(\varepsilon_4 + \varepsilon_5)/2$ 이고, ε_4 와 ε_5 는 각각 AVHRR 채널 4번과 5번의 방출률 값이다. $\Delta\varepsilon$ 은 $\varepsilon_4 - \varepsilon_5$ 이다. Becker and Li(1990)는 식(1)을 이용한 결과와 실측치를 비교하여 -0.57에서 0.37K 이내의 근사치를 얻었고, Sobrino *et al.*(1994)은 1.4K 이내의 RMSE(root mean square error)와 8.7K의 최대오차를 보고하였다.

Cihlar *et al.*(1997)은 여러 연구(Wan and Dozier, 1989; Nerry *et al.*, 1990; Van de Griend and Owe, 1993; Salisbury and D' Aria, 1994)의 실측 결과를 토대로 NDVI(Normalized Difference of Vegetation Index)와 채널 4번과 5번의 방출률 사이의 로그 선형 관계를 제시하였다. 본 연구에서 사용된 Cihlar *et al.*(1997)의 채널 방출률과 NDVI와의 관계는 다음과 같다.

$$\varepsilon_4 = 0.9897 + 0.029 \cdot \ln(NDVI_c) \quad (4)$$

$$\varepsilon_4 - \varepsilon_5 = 0.01019 + 0.01344 \cdot \ln(NDVI_c) \quad (5)$$

여기서 NDVI와 방출률은 픽셀단위에서 하루 동안 일정하다고 가정되었다. 그리고 $NDVI_c$ 는 태양 천정각을 보정한 NDVI 값이다. NOAA/AVHRR 자료로부터의 식생지수는 채널 1번과 2번이 사용된다(Tucker 1979).

$$NDVI = \frac{(CH2 - CH1)}{(CH2 + CH1)} \quad (6)$$

여기서, $CH1$ 과 $CH2$ 는 각각 AVHRR 채널 1번과 2번의 반사율이다.

방목지 같은 초지에서는 강수 후에 식물의 광합성 활동이 증가하고, 따라서 이러한 강수나 안개는 식물의 방출률을 다소 변화시킬 수 있다(Han *et al.*, 2003b). 본 연구에서는 이 영향을 최소화하기 위해 전날이나 다음날 비가 없고 구름이 적은 비교적 맑은 날의 화상을 채택하였다. 아울러 Cihlar *et al.*(1997)은 방출률의 변화가 상대적으로 큰 나지(barren land)에서 NDVI와 방출률의 상관식이 단지 통계적 대표치에 불과 할 수 있다고 지적한 것에 따라, 연구영역 내에서 분포가 극히 적은 나지는 본 연구 대상에서 제외하였다.

3) 일 최고기온의 추정

Paquet *et al.*(1997)은 다중회귀방법을 이용해서 스페인 남부지역에서 일 최고기온을 성공적으로 추정할 바 있는데, 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$T_{a_{max}} = a + b_1 \cdot T_s + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \dots + b_i \cdot x_i, (i = 1, 2, 3 \dots n) \quad (7)$$

여기서, $T_{a_{max}}$ 는 일 최고기온이고, T_s 는 위성에서 추정된 지표온도이다. n 은 독립변수의 수, a 는 상수, b_1, b_2, b_i 는 각각 독립변수 T_s, x_2, x_i 에 대한 계수이다. 본 연구에서는, $n = 5, x_2 = \text{Latitude (degree)}, x_3 = \text{Slope (degree)}, x_4 = \text{Aspect (degree)}, x_5 = \text{DEM (m)}$ 이다. 일 최고기온과 각 변수들과의 상관관계를 다양한 각도에서 분석하기 위하여 온도의 산출 방법을 3가지로 다원화 하였는데 그것은 다음과 같다.

Method-1: 토지피복을 고려하지 않았을 때 계절별 산출.

산출 식을 계절별로 나타내고 이때 토지피복은 고려하지 않는다.

Method-2: 토지피복을 고려한 계절별 산출.

산출식이 방법-1과 같이 계절별로 만들어지나 토지피복분류를 하나의 독립변수로 추가한다.

Method-3: 토지피복별 산출.

계절의 구분 없이 산출식이 4개의 토지피복별로(산림, 농경지, 초지, 도시) 만들어진다.

3. 결과 및 고찰

일 최고기온 추정에 있어 여러 파라미터들 영향을 평가하기 위하여 다음의 5가지의 상관관계를 연구기간 내 전 관측점에 대하여 조사하였다. 여기서 T_s , 위도(L), DEM(D), slope(S), aspect(A)가 독립변수로서 단계적으로 추가되었다.

$$\text{상관-1: } T_{a_{max}} \text{ vs. } T_s \quad (8)$$

$$\text{상관-2: } T_{a_{max}} \text{ vs. } T_s + L \quad (9)$$

$$\text{상관-3: } T_{a_{max}} \text{ vs. } T_s + L + D \quad (10)$$

$$\text{상관-4: } T_{a_{max}} \text{ vs. } T_s + L + D + S \quad (11)$$

$$\text{상관-5: } T_{a_{max}} \text{ vs. } T_s + L + D + S + A \quad (12)$$

Table 3은 위에 열거한 각 상관 카테고리의 계절별 상관계수를 나타내며 위성으로부터 얻어진 지표온도가 일 최고기온 추정에 가장 큰 영향을 미치는 변수라는 것을(Vogt *et al.*, 1997) 잘 보여준다. 지표온도 이외의 변수들(위도, DEM, slope, aspect)이 단계적으로 추가됨에 따라 상관계수 역시 소폭씩 증가하였다. 상관-1과 상관-5 사이의 증가치는 적게는 0.09(여름) 많게는 0.27(봄) 이었다. 이는 지표온도를 주 변수로 하는 일 최고기온 산출 알고리즘에서 EDD가 보조 자료의 역할을 함으로서 산출 정확도를 향상 시킬 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 지표온도, 위도, DEM, slope, aspect가 변수로 이용된 3가지(Method-1, -2, -3) 일 최고기온 추정 알고리즘이 수행 되었다. 우선 토지피복을 독립변수로 추가시킨 계절별 산출(Method-2)의 R^2 (결정계수) 값이 토지피복을 고려하지 않고 산출한 경우(Method-1)보다 아주 근소하게 높기는 하나 모든 계절에서 거의 같은 값을 보여 주었다(Fig. 2). 게다가 산점도 역시 모든 계절에서 두 방법은 거의 동일한 분포를 보여주었다. 이것은 계절별 산출 경험식을 구축함에 있어 토지 피복분류의 기여도가 아주 적다는 것을 보여 준다.

Method-2와는 다르게 토지 피복을 독립변수로 하지 않는 대신 토지피복에 따라 산출 경험식을 만들었을 경우(Method-3)의 결과를 알아보았다. 여기서 연구기간 내 모든 시계열 자료는 계절 구

Table 3. Correlation coefficients of the relationship of $T_{a_{max}}$ versus T_s , with respect to Latitude and EDD.

Category	Spring	Summer	Autumn	Winter
상관-1: Eq. (8)	0.57	0.66	0.48	0.63
상관-2: Eq. (9)	0.70	0.60	0.48	0.80
상관-3: Eq. (10)	0.71	0.63	0.61	0.80
상관-4: Eq. (11)	0.71	0.73	0.62	0.80
상관-5: Eq. (12)	0.74	0.75	0.65	0.83

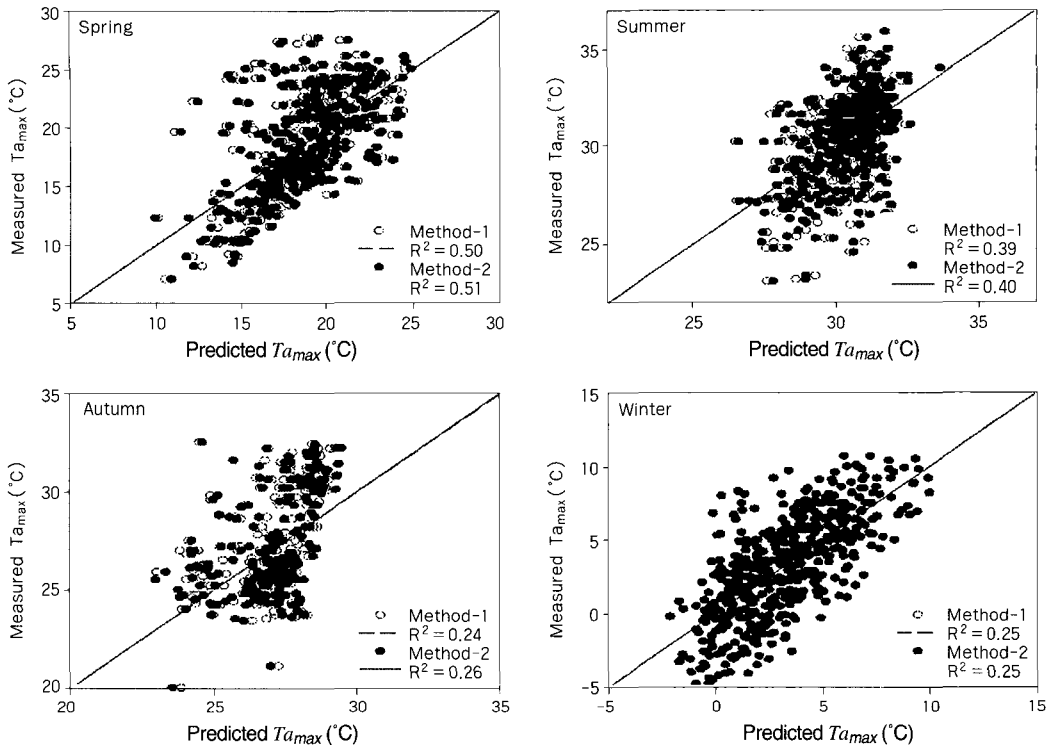


Fig. 2. Scatter plots of Ta_{max} values measured at ground level and estimated by Method-1 (circle in white) and Method-2 (circle in black).

분 없이 토지피복별로 분류 되었고, 독립변수 선정에 있어 유의 수준이 0.05 이상 일 경우 산출 모델구축에서 제외 시켰다. 각 토지 피복에 대한 산출 기법(식 (7))에 사용된 변수들의 계수는 Table 4에 나타내었다. Fig. 3은 네 가지 토지 피복형태(도심지, 초지, 산림, 농경지)에 대한 산출 추정치와 실측치와의 산점도를 보여준다. 산출 결과는 Method-1과 Method-2의 경우보다 상당히 향상되었다(Fig. 3). 모든 피복 형태에서 결정계수는 0.9 이상이었으며 RMSE는 약 3°C 이하였다. Type-1

(도심지)에 대한 산출에 있어 RMSE가 0.56°C로 가장 정확한 산출을 보여주었다. 다음은 Type-3(초지, 1.15°C), Type-4(산림, 2.9°C), Type-2(농경지, 3.14°C) 순이었다. 복잡한 지표형태들로 구성된 도심지에서 가장 낮은 오차를 보여주는 것이 다소 의외이긴 하나, 도심지나 초지가 일반적으로 지대가 낮은 평지에 위치해있고 고도변화가 심하지 않기 때문인 것으로 사료된다. 이것은 Table 4에서 제시된 바와 같이, 도심지 기온 산출에 있어 지표 온도를 제외한 다른 변수들(EDD)의 기여도가 0인

Table 4. Coefficients corresponding independent variables. The coefficient is zero when significance level is larger than 0.05.

Flag	a	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
Type-1	4.612	0.872	0	0	0	0
Type-2	7.293	0.915	-0.094	0.409	-0.0024	-0.0022
Type-3	-74.434	0.817	0	47.697	0	0
Type-4	6.594	0.933	-0.056	-0.352	0.0015	0.0025

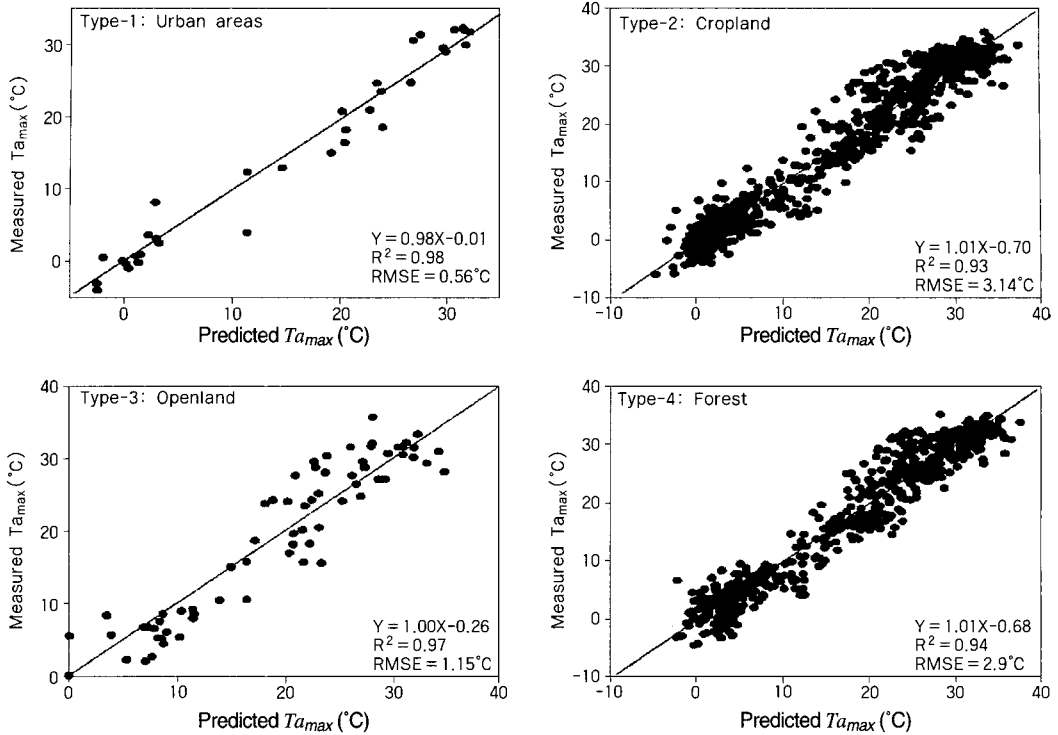


Fig. 3. Scatter plots of T_{max} values measured at ground level and estimated by Method-3.

(즉, $b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = 0$) 이유로 보인다.

본 연구에서 수행된 분석에서는 물을 포함하고 있는 토지피복 형태는 제외되었다. 이는 수표면이 지표면과는 다른 방출율 특성을 가지고 있고 육상의 그것과 비교하였을 때 공간적으로 그 변화가 균일하며 지표면 온도와 수표면 온도의 산출 시스템이 다르기 때문이다. 본 연구와 같이 내륙에 위치한 수계에서 실제 관측치를 확보하지 못한 경우, 수표면상에서의 온도가 육상에 대한 산출 알고리즘을 통해 적절히 산출되어 질 수 있는지에 대한 검증이나 분석은 상당히 어렵거나 거의 불가능하다.

이 연구에서 제시된 일 최고기온 산출 기법을 검증하기 위해, 재 표본 추출에 근거해서 에러를 분석하는 교차검증을 가장 정확도가 높았던 Method-3에 대해 실시하였다. 이 때, 각각의 토지피복에 해당하는 지점의 수가 적은 경우는 각 지점의 기여도가 크게 작용하므로, 네 가지 형태의

토지피복 중 비교적 지점의 수가 많은 Type-2(농경지)와 Type-4(산림)에 대해 임의의 10개의 지점을 선정하여 검증을 수행하였다. 사례 1-1에서 1-10은 Type-2에 해당하는 지역의 검증모델이며, 사례 2-1에서 2-10은 Type-4에 해당하는 지역의 검증모델이다. 교차검증의 과정은 아래와 같다.

1. 각 토지피복별로 검증하고자하는 지점을 제외한 지점의 자료를 사용하여 경험식을 만든다(검증모델).
2. 검증모델을 통해 1단계에서 제외시킨 지점의 기온을 산출한다.
3. 검증모델 출력값과 1단계에서 제외시킨 지점의 실측치를 비교한다.
4. 산출모델과 검증모델의 정확도를 비교한다.

검증결과는 Table 5에 나타내었다. 토지피복 Type-2에 대해 지점 7(model 1-7)이 가장 높은 에러 값을(RMSE = 4.84°C) 보인 반면에 지점 5(model 1-5)이 가장 낮은 에러 값을(RMSE =

Table 5. Results of the cross-validation for the estimates of daily maximum air temperature.

Type-2: Cropland				Type-4: Forest			
Model No.	R^2	RMSE	Number of data	Model No.	R^2	RMSE	Number of data
1-1	0.85	3.31	42	2-1	0.90	3.28	36
1-2	0.80	3.38	41	2-2	0.82	3.86	37
1-3	0.82	3.95	38	2-3	0.87	3.21	35
1-4	0.88	3.83	34	2-4	0.79	3.51	44
1-5	0.93	2.11	41	2-5	0.86	3.12	43
1-6	0.89	3.08	39	2-6	0.86	3.43	40
1-7	0.89	4.84	45	2-7	0.86	3.82	41
1-8	0.86	4.12	34	2-8	0.87	3.16	41
1-9	0.82	3.54	35	2-9	0.86	3.14	36
1-10	0.95	2.86	32	2-10	0.81	3.49	39

2.11°C) 보였다. 토지피복 Type-4 대해서는 지점 2(model 2-2)가 가장 높은 에러 값을(RMSE = 3.86°C)보인 반면에 지점 5(model 2-5)가 가장 낮은 에러 값을(RMSE = 3.12°C) 보였다. 20개의 검증모델 중 토지피복 Type-2 속하는 10개의 지점 각각은 평균 RMSE보다(3.65°C) 6개의 지점에서는 낮게 그리고 나머지에 대해서는 높게 나타났다. 토지피복 Type-4에 대해서는 평균 RMSE보다(3.59°C) 8개의 지점에서는 낮게 그리고 나머지 지점에 대해서는 높게 나타났다. 검증 결과를 통해, Type-4의 경우가 Type-2의 경우보다 검증 지점에 대한 오차의 변동이 적었으며, 평균

RMSE와 비교하였을 때에도 좀 더 안정된 결과를 보여주었다. 검증 지점들로부터 얻어진 모든 산출치와 실측치를 비교한 산점도는 Fig. 4에서 보여 준다. 검증에 사용된 두 토지피복 형태에 대해서, 검증 모델과의 산점도의 분포(Fig. 4)는 산출모델과의 산점도 분포(Fig. 3)와 유사한 경향을 보이고 있고 RMSE를 통해 표현된 정확도역시 허용될만한 수준의 차이를 보이고 있다. 검증모델과 산출모델간의 RMSE의 차이는 농경지에 대해 0.51°C, 산림에 대해 0.69°C이었으며, 결정계수의 차이 역시 근소하게 관측되었다(농경지: 0.02, 산림: 0.04). 교차 검증 결과에 의해, 본 연구가 제시한 일 최

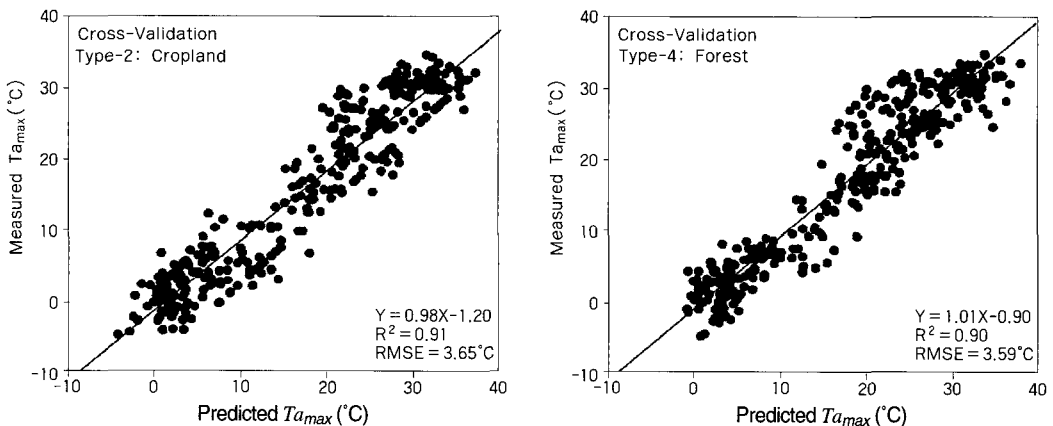


Fig. 4. Scatter plots of T_{max} values measured at ground level and estimated by cross-validation models for cropland and forest land types.

고기온의 산출모델은 한반도 남한에서의 그 유효성을 가지고 있다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 NOAA-14호 AVHRR 채널을 이용하여 Becker and Li(1990)가 제시한 split-window 방법을 이용해서 지표면 온도를 추정하였으며, 지표 모니터링을 위해 수반되는 구름제거 과정은 여러 연구자들이 제시한 임계값 알고리즘을 통하여 수행되었다. 그리고 위성으로부터 추정된 지표면 온도와 EDD 및 위도를 독립변수로 하여 다중회귀 방법으로 일 최고기온을 추정해 보았다. 보조 자료로 사용된 EDD자료와 위성에서 추정된 지표면 온도를 이용해서 일 최고기온과의 상관성을 알아본 결과, 대체적으로 EDD자료가 추가되었을 때 가장 높은 상관성을 보였다. 이것은, 보조 자료인 EDD자료가 일 최고기온을 추정하는데 필요한 요소라는 것을 확인시켜 주는 결과였다. 일 최고기온을 추정하기 위해 3가지 접근 방법으로 상관 및 반경험식을 산출하였다. 첫 번째와 두 번째 접근 방법인 토지피복을 고려하지 않았을 때와 고려했을 때의 계절별 산출(최고: $R^2 = 0.51$, 최저: $R^2 = 0.24$)은 큰 차이가 없었고, 세 번째 접근 방법, 즉 토지피복별 상관은 본 연구에서 수행된 모든 지표형태에서 높은 상관(최고: $R^2 = 0.98$, 최저: $R^2 = 0.93$)과 $0.56^{\circ}\text{C} \sim 3.14^{\circ}\text{C}$ 사이의 좋은 정확도를 보여주었다.

이 중 세 번째 방법에 의해 제시된 반 경험 시스템에 대해, 교차검증을 통한 추정값 검증을 농경지와 산림에 위치하는 20개 지점에서 실시하였다. 농경지에 위치한 10개의 지점에 대해, 교차검증 방법을 사용한 결과가 산출에 사용된 측정값과 잘 일치하였다. 산림에 위치한 지점들에 대해서도 교차검증 방법을 사용한 결과가 농경지에서처럼 잘 일치하였으나 각 지점들 간의 정확도의 변동이 상대적으로 다소 높았다. 그러나 이것이 검증에 대한 실패를 의미하는 것은 아니며 물을 제외한

모든 형태의 지표 형태에 대해서도 역시 적용 가능하다고 사료된다. 몇 개의 지점에서 RMSE 다소 높게(약 4.43°C) 나타나는 이유는 이 지점에 해당하는 화소($1\text{km} \times 1\text{km}$)내 지표형태가 복잡하거나 고도변화가 심해 관측소의 화소내 공간적 대표성이 약하기 때문이다(Han *et al.*, 2003a). 즉, 한 화소 내에서 고도의 변화가 심할수록 관측소에서 관측된 값의 대표성은 낮아진다. 이러한 문제를 해결하고 정확도를 좀 더 높이기 위해서 이후 연구는 Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) 같은 좀 더 향상된 해상력(열적 채널의 경우 60m)을 가지고 있는 자료를 통한 시도와 비교가 필요하며, 기상 관측 지점의 공간적인 대표성을 독립적으로 시험해 보는 방향으로 나아가야 할 것으로 보인다. 또한 지표면 온도와 최고기온 사이의 차이가 기상조건에 따라서 차이가 클 수 있으므로 지면 피복별로 RMSE가 큰 경우와 작은 경우의 기상 조건에 대한 해석이 뒤따라야 할 것이다.

사 사

본 연구에서 사용한 NOAA-14호 AVHRR 위성 영상자료와 보조자료는 Land Processes Distributed Active Archive Center를 통해 수집되었으며, 기상관측 자료는 기상월보를 이용하였습니다. 관계 기관에 감사드립니다.

참고문헌

- 서명석, 이동규, 1999. NOAA/AVHRR 주간 자료로부터 지면 자료 추출을 위한 구름 탐지 알고리즘의 개발, 대한원격탐사학회지, 15(3): 239-251.
- 조명희, 이광재, 김운수, 2001. 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시표면 온도의 공간적 분포 특성에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 4(1):

- 56-65.
- Becker, F. and Z. L. Li, 1990. Towards a local split window method over land surface, *Int. J. Remote Sens.*, 11(3): 369-393.
- Carlson, T. N., J. A. Augustime, and F. E. Boland, 1977. Potential application of satellite temperature measurement in the analysis of land use over urban areas, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 58: 1301-1304.
- Cihlar, J., H. Ly, Z. Li, J. Chen, H. Pokrant, and F. Huang, 1997. Multitemporal, multichannel AVHRR data sets for land biosphere studies-artifacts and corrections, *Remote Sens. Environ.*, 60: 35-57.
- Ehrlich, D., J. E. Estes, and A. Singh, 1994. Applications of NOAA-AVHRR 1km data for environmental monitoring, *Int. J. Remote Sens.*, 15: 145-161.
- Gallo, K. P., J. F. Brown, J. J. Hood, J. D. Tarpley, A. L. McNab, and T. R. Karl, 1993. The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect, *J. Appl. Meteor.*, 32: 899-908.
- Geiger, R., 1965. *The climate near the ground*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Gutman, G., D. Tarpley, and G. Ohring, 1987. Cloud screening for determination of land surface characteristics in a reduced resolution satellite data set, *Int. J. Remote Sens.*, 8(6): 859-970.
- Ha, K. J., H. M. Oh, and K. Y. Kim, 2001. Inter-annual and intra-annual variabilities of NDVI, LAI and Ts estimated by AVHRR in Korea, *Korean. J. Remote Sens.*, 17(2): 111-119.
- Han, K. S., A. A. Viau, and F. Anctil, 2003a. High-resolution forest fire weather index computations using satellite remote sensing, *Can. J. Forest Res.*, 33: 1134-1143.
- Han, K. S., A. A. Viau, and F. Anctil, 2003b. An analysis of GOES- and NOAA-derived land surface temperatures estimated over a boreal forest, *Int. J. Remote Sens.*, accepted.
- Jones, P. D., 1995. Land surface temperatures: is the network good enough?, *Climate Change*, 31: 545-558.
- Karl, T. R., V. E. Derr, D. R. Easterling, C. K. Folland, D. J. Hofmann, S. Levitus, N. Nicholls, D. E. Parker, and G. W. Withee, 1995. Critical issues for long-term climate monitoring, *Climate Change*, 31: 185-221.
- Monteith, J. L. and M. H. Unsworth, 1990. *Principles of Environmental physics*, Edward Arnold, New York.
- Nerry, F., J. Labeled, and M. P. Stoll, 1990. Spectral properties of land surface in the thermal infrared band: 1 laboratory measurements of absolute spectral emissivity and reflectivity sinatures, *J. Geophys. Res.*, 95: 7027-7054.
- Oke, T. R., 1978. *Boundary layer climates*. Methuen. London.
- Paquet, F., J. V. Vogt, and A. A. Viau, 1997. Regionalisation of air temperatures using AVHRR derived surface skin temperature together with terrain and landcover data, *Proceeding Int Symp. Geomatics in the Era of Radarsat(GER'97)*, 24-30 May 1997, Ottawa/Canada, 14p.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad, and S. B. Verma, 1983. *Microclimate: The biological environment*, Wiley, New York.
- Salisbury, J. W. and D. M. D'Aria, 1994. Emissivity of terrestrial materials in the 8-14mm atmospheric window, *Remote Sens. Environ.*, 47: 345-361.
- Saunders, R. W. and K. T. Kriebel, 1988. An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data, *Int J. Remote Sens.*, 9(1): 123-150.

- Shin, D., J. K. Pollard, and J. P. Muller, 1996. Cloud detection from thermal infrared images using a segmentation technique, *Int. J. Remote Sens.*, 17(14): 2845-2856.
- Sobrino, J. A., Z. L. Li, M. P. Stoll, and F. Becker, 1994. Improvement in the split-window technique for land surface temperature determination, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 32: 243-253.
- Tucker, C. J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 8: 127-150.
- Van de Griend, A. A. and M. Owe, 1993. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces, *Int. J. Remote Sens.*, 14(6): 1119-1131.
- Viau, A. A., J. V. Vogt, and F. Paquet, 2000. Evaluation de la representativite spatiale thermique des stations meteorologiques du reseau d'Andalousie, *Int. J. Remote Sens.*, 21(16): 3083-3113.
- Vogt, J. V., A. A. Viau, and F. Paquet, 1997. Mapping regional air temperature fields using satellite-derived surface skin temperatures, *International J. Climatol.*, 17: 1559-1579.
- Wan, Z. and J. Dozier, 1989. Land-surface temperature measurement from space : physical principles and inverse modelling. *IEEE Trans, Geosci. Remote. Sens.*, 27: 268-277.
- Wexler, H., 1954. Observing the weather from a satellite vehicle. *J. British International Soc.*, 13: 269-276.