Estimation of daily maximum air temperature using NOAA/AVHRR data

Byun, Min Jeong* · Young Ho Han* · Young Seup Kim**

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

NOAA/AVHRR 자료를 이용한 일최고기온 추정에 관한 연구

변 민 정* · 한영호* · 김영섭**

부경대학교 환경대기과학과*, 부경대학교 위성정보과학과**

Abstract

This study estimated surface temperature by using split-window technique and NOAA/AVHRR data was used. For surface monitoring, cloud masking procedure was carried out using threshold algorithm. The daily maximum air temperature is estimated by multiple regression method using independent variables such as satellite-derived surface temperature, EDD, and latitude. When the EDD data added, the highest correlation shown. This indicates that EDD data is the necessary element for estimation of the daily maximum air temperature. We derived correlation and experience equation by three approaching method to estimate daily maximum air temperature : 1) non-considering landcover method as season, 2) considering landcover method as season, and 3) just method as landcover. The last approaching method shows the highest correlation. So cross-validation procedure was used in third method for validation of the estimated value. For all landcover type 5, the results using the cross-validation procedure show reasonable agreement with measured values(slope=0.97, intercept=-0.30, R^2=0.84, RMSE=4.24℃). Also, for all landcover type 7, the results using the cross-validation procedure show reasonable agreement with measured values(slope=0.993, intercept=0.062, R^2=0.84, RMSE=4.43℃).

1. 서 론

산업화와 도시화에 따른 인공적인 개발로 인해서, 기온의 상승, 국지적인 바람장의 변화 등 국지 기후의 변화를 초래하고 있다. 이러한 대기 변화의 예측은 현재의 대기상태를 세밀하고 정확하게 파악함으로써 개선되어 질 수 있지만, 현재는 도시 기후를 충분히 파악할 만큼 기상 관측망이 조밀하지 않으며, 기상 관측망이 도심과 떨어져 있어서 도시 기후를 충분히 파악하는데 어려움이 있다. 따라서 이러한 관

측지점에서 얻은 값이 지역적인 대표성을 가진다라고 보기는 힘들다. 이 문제를 해결하는 방법의 하나로 Wexler(1954)는 기상위성으로써 지구의 상향복사를 관측하여 지구표면온도, 대기의 평균 기온 및 지구의 알베도 등을 구할 수 있는 가능성을 처음 보고하였다. Carlson et al.(1977)은 극궤도 위성 자료를 이용하여 미국 로스엔젤레스의 지면 온도 분포를 연구하였다. 국내에서는, 조명희 외(2001)은 원격탐사자료와 지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)을 이용해서 도시지역 지표면 온도의 공간적 분포 특성 해석에 그 적용가능성을 규명하였다.

본 연구는 NOAA-14호 AVHRR 채널을 이용하여 Becker and Li(1990)가 제시한 split-window 테크닉을 이용해서 지표면 온도를 추정하였으며, 추정된 지표면 온도와 EDD(Elevation Derivative Database) 및 위도를 독립변수로 하여 다중회귀 방법으로 일 최고 기온을 추정하고자 한다. 이 때 추정 값을 검증하기 위해서 69개의 비교 관측 지점을 선택하였다. 일 최고 기온을 추정하기 위해 다음의 3가지 접근 방법이 도입되었으며, 이 중 최상의 결과가 산출 가능한 방법에 대해 교차검증을 통한 추정값 검증을 실시하였다.

본 연구의 목적은 기상변수와 위성으로부터 얻어진 지표자료의 상관을 고찰하고 보조자료인 EDD의 역할을 평가함과 동시에 일 최고 기온 추정을 위한 반 경험적 산출 시스템을 원격탐사 기법을 통해 제시하고 그것의 적용 가능성을 알아보는 것이다. 또한 이것을 연구 영역에 적용하고, 적용 영역의 확장 가능성에 관해 고찰해 보았다.

2. 자 료

지표면 온도를 추정하기 위해 NOAA-14호에 탑재되어 있는 5개 AVHRR 채널을 사용하였으며, 이 채널의 공간 분해능은 1.1km×1.1km이다. 자료기간은 2000년과 2001년의 각 계절별 (1, 4, 7, 9월) 임의의 50일이며, 이 기간 중에 연구 영역 내에 구름이 비교적 적은 맑은 날을 선택하였으며, 위성이 지나간 지각은 오후3시에서 4시경이다.

지상 기상관측자료는 비교적 고르게 분포되어 있는 전국의 기상대와 관측소 69개 지점이다 (Figure 1).

EDD 데이터는 Land Processes Distributed Active Archive Center에서 제공하는 각 대륙별 자료로서 수치표고모형, 경사, 경사의 방향, 토지피복자료가 있으며, 1km×1km의 격자의 자료이다.

3. 방 법

3.1 지표면 온도 산출

지표면 온도를 추정하기 위해 split-window 방법의 사용은 원격탐사에 널리 적용되어져 왔다(Ehrlich *et al.*, 1994). 이 중 산출오차의 범위가 적고 자주 응용되는 방법 중 하나가 Becker and Li(1990)가 제시한 알고리즘이며, 식은 다음과 같다.

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

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

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

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

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

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

여기서, T_s는 지표면 온도이고, T_4, T_5는 각각 AVHRR 채널 4번과 5번의 밝기 온도이다. ε은 $(\varepsilon_4 + \varepsilon_5)/2$이고, ε_4와 ε_5는 각각 AVHRR 채널 4번과 5번의 방출율 값이다. $\Delta\varepsilon$은 $\varepsilon_4 - \varepsilon_5$이다.

3.2 일최고기온의 추정

Paquet *et al.*(1997)이 제안한 다중 회귀 방법

을 사용해서 다음과 같이 일최고기온을 추정하였다.

$$T_{a\max} = a + b_1 \cdot T_s + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \ldots\ldots + b_i \cdot x_i \quad (2)$$

여기서, $T_{a\max}$는 일최고기온이고, T_s는 위성에서 추정한 지표면 온도이다. i 는 1에서 n까지고, n은 독립변수의 수이며, a, b_1, b_2, b_i 는 계수이다. 또, x_2, x_3, x_i는 독립변수이다.

본 연구에서 사용된 독립 변수로는 위성에서 추정한 지표면 온도, 위도, 수치표고모형, 경사, 경사의 방향을 사용하였다. 각 해의 1, 4, 7, 9월은 각각 겨울, 봄, 여름, 가을을 대표한다고 가정하여 이후로는 모든 결과에 대하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절로 표기한다.

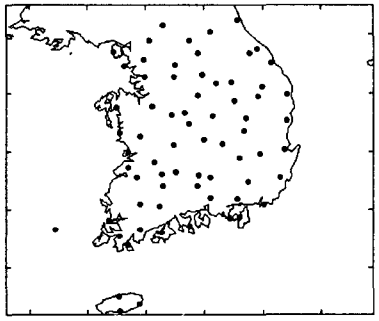

Fig.1. Location of observation stations

4. 결 과

위성으로부터 추정된 지표면 온도를 이용하여 일 최고 기온을 추정하기 위해 다중회귀 방법을 사용하였다. 이 때, 독립변수로 사용된 지표면 온도와 위도, EDD와 일 최고 기온과의 상관성을 먼저 살펴보았다. 독립변수들과 일최고기온과의 상관관계를 보기 위해 각 계절별로 대표적인 날을 선정해서 나타낸 결과는 Table 1와 같다. 각각의 독립변수들을 단계적으로 추가였을 때, 모든 독립변수를 넣었을 때 가장 상관관계가 높았다. 물론, 단계적으로 추가하였을 때 이전 단계와 큰 차이가 없는 경우도 있었지만, 대부분은 단계적으로 상관 계수 값이 증가하였다. 이는 보조 자료인 EDD가 지표면 온도와 함께 일 최고 기온을 추정하는데 필요한 요소라는 것을 보여주는 결과이다.

또한, 일최고기온과 지표면 온도의 상관관계를 3가지로 분류하여 알아보았다. 이때 69개의 관측소 지점에 해당하는 토지피복은 총 17종이 분포되어 있으며, 이 분류가 너무 세분화되어 있어서 7종류로 재분류되었다(Table2).이 때, sea water로 분류된 것은 이 자료의 격자가 1km×1km이고, sea water로 분류된 지역은 연안에 위치하고 있거나, 조그만 섬의 가장자리에 위치하고 있기 때문으로 보인다. 일최고기온과의 상관관계를 알아보기 위한 3가지 방법은 다음과 같다.

토지피복을 고려하지 않았을 때 계절별 상관관계

토지피복을 고려한 계절별 상관관계

토지피복별 상관관계

분석 결과 3가지 경우 모두 비교적 높은 상관을 보였다. 계절별 상관에서도 토지피복을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 상관은 큰 차이는 없었지만, 토지피복을 고려한 계절별 상관과 고려하지 않은 계절별 상관(최고: R=0.710, 최저: R=0.490)은 토지피복별 상관(최고: R= 0.959, 최저: R=0.885)보다 낮은 상관을 보였다. 3가지 분석 중 가장 높은 상관을 보인 토지피복별 상관은 상관계수가 토지피복 형태 6(R=0.885)을 제외하고 모두 0.90이상의 높은 상관을 보였다. 첫 번째, 두 번째 경우는 모두 모든 독립변수를 넣었을 때 가장 적합한 경험식이 산출되었고, 세 번째의 경우는, 토지피복 형태에 따라서 독립변수의 종류가 다른 경험식이 산출되었다. 따라서, 토지피복별로 나누었을 때, 일 최고 기온을 가장 정확하게 구할 수 있다고 사료된다.

분석에서 물을 포함하고 있는 토지피복 형태 2와 3은 제외되어졌다. 수표면이 지표면과는 다른 방출율 특성을 가지고 있고 육상의 그것과 비교하였을 때 공간적으로 그 변화가 균일

하다. 이것은 수표면의 온도 산출이 육상의 지표온도 산출 알고리즘을 통해 적절히 표현되어질 수 없다는 것을 보여준다. 각각의 경우의 R 및 R^2, RMSE, N(Number)는 Table 3, 4, 5에 정리하였다.

Table 1. Relationship between daily maximum air temperature(Ta_{max}) and surface temperature, EDD (Lat.:Latitude)

	Spring	Summer	Autumn	Winter
Ta_{max} vs Ts	0.57	0.66	0.48	0.63
Ta_{max} vs Ts, Lat.,	0.699	0.603	0.478	0.799
Ta_{max} vs Ts, Lat., DEM	0.709	0.631	0.612	0.802
Ta_{max} vs Ts, Lat., DEM, Slope	0.711	0.725	0.617	0.803
Ta_{max} vs Ts, Lat., DEM, Slope, Aspect	0.712	0.751	0.618	0.809

다음은 3가지 경우의 경험식을 산출한 것이며, 그 때의 각각의 계수도 구해졌다.

첫 번째 경우,

$$Ta_{\max} = a + (b_1 \cdot Ts) + (b_2 \cdot Lat.) + (b_3 \cdot Slope) + (b_4 \cdot Aspect) + (b_5 \cdot Elevation)$$

두 번째 경우,

$$Ta_{\max} = a + (b_1 \cdot Ts) + (b_2 \cdot Lat.) + (b_3 \cdot Slope) + (b_4 \cdot Aspect) + (b_5 \cdot Elevation) + (b_6 \cdot land_{type})$$

세 번째 경우,

landcover 1 : $Ta_{\max} = a + (b_1 \cdot Ts)$

landcover 4:

$$Ta_{\max} = a + (b_1 \cdot Ts) + (b_3 \cdot Slope) + (b_4 \cdot Aspect) + (b_5 \cdot Elevation)$$

landcover 5:

$$Ta_{\max} = a + (b_1 \cdot Ts) + (b_2 \cdot Lat.) + (b_3 \cdot Slope) + (b_4 \cdot Aspect) + (b_5 \cdot Elevation)$$

landcover 6:

$$Ta_{\max} = a + (b_1 \cdot Ts) + (b_3 \cdot Slope)$$

landcover 7 :

$$Ta_{\max} = a + (b_1 \cdot Ts) + (b_2 \cdot Lat.) + (b_3 \cdot Slope) + (b_4 \cdot Aspect) + (b_5 \cdot Elevation)$$

Table 2. Rearranged landcover type for 69 stations

Landcover type	Description	Stations
1	Urban	Seoul, Incheon, Yeongwol, Daegu, Ulasn, Busan, Mokpo
2	Inland water	Hapcheon
3	Sea water	Donghae, Heuksando, Wando, Seongsanpo
4	Crops and town	Cheorwon, Chuncheon, Chungju, Jecheon, Jangsu
5	Rice paddy and field	Dongducheon, Gangneung, Suwon, Seosan, Cheongju, Andong, Yangpyeong, Taebaek, Cheonan, Boryeong, Buyeo, Buan, Imsil, Jeongeup, Jangheung, Haenam, Goheung, Yeongdeok, Gumi, Yeongcheon , Miryang
6	Grassland	Yeosu, Uljin, Namwon, Chunyang, Pohang, Gunsan, Jeju, Jinju
7	Wood(forest, savanna)	Tongyeong, Sokcho, Daejeon, Jeonju, Chupungnyeong, Inje, Hongcheon, Suncheon, Geochang, Geoje, Wonju, Gwangju, Ganghwa, Icheon, Boeun, Geumsan, Yeongju, Mumgyeong, Uiseong, Sancheong, Masan, Seogwipo, Daegwallyeong

Table 3. Correlation as season for non-considering landcover

	January	April	July	September
R	0.710	0.626	0.490	0.504
R^2	0.504	0.392	0.240	0.254
RMSE	2.425	3.374	2.017	2.295
N	533	394	426	263

Table 4. Correlation as season for considering landcover

	January	April	July	September
R	0.710	0.633	0.507	0.518
R^2	0.505	0.400	0.257	0.269
RMSE	2.426	3.356	1.996	0.251
N	533	394	426	263

Table 5. Correlation as landcover

	land-type 1	land-type 4	land-type 5	land-type 6	land-type 7
R	0.959	0.937	0.933	0.885	0.924
R^2	0.919	0.878	0.871	0.783	0.853
RMSE	3.68	4.46	4.25	4.75	4.44
N	35	145	692	73	625

5. 검 증

교차검증 방법은 재 표본 추출에 근거해서 에

러를 추정하는 방법이다(Weiss and Kulikowski, 1991). 본 연구에서는 일 최고 기온의 추정 결과 비교적 상관관계가 높게 나타난 3번째 방법에 대해 검증을 수행하였다. 이때, 각각의 토지피복에 해당하는 지점의 수가 적은 경우는 각 지점의 기여도가 크게 작용하므로, 7종류의 토지피복 중 비교적 지점의 수가 많은 5번과 7번에 대해 연구 영역 내에 비교적 고르게 분포하도록 임의의 10개의 지점을 선정하여 검증을 하였다. 모델 1에서 10은 토지피복 형태 5에 해당하는 지역의 검증모델이며, 모델 11에서 20은 토지피복 형태 7에 해당하는 지역의 검증모델이다.

교차검증의 과정은 아래와 같다.

1. 각 토지피복별로 검증하고자하는 지점을 제외한 지점으로 경험식을 만든다(검증모델).

2. 각 지점에 해당하는 독립변수들을 검증모델에 적용해서 기온을 출력한다.

3. 2에서 출력된 기온을 실제 기온과 비교하여 회귀 분석을 한다.

검증결과는 Table 6에 나타내었으며, 20개의 검증모델 중 토지피복 형태 5에 속하는 10개의 지점 각각은 토지피복 형태 5 전체에 대한 결과에 대해(RMSE=4.24℃), 4개의 지점에서는 낮게 그리고 나머지에 지점에 대해서는 높게 나타났다. 또, 토지피복 형태 7(RMSE=4.43℃)에 대해서도, 토지피복 형태 5와 똑같이 4개의 지점에서는 낮게 그리고 나머지 지점에 대해서는 높게 나타났다.

토지피복 형태 5의 전체에 대해, 교차검증 방법을 사용한 결과가 측정값과 잘 일치하는 것을 보여준다(slope=0.97, intercept=-0.30, R^2=0.84, RMSE=4.24℃)(Figure 2). 토지피복 형태 7의 전체에 대해서도 교차검증 방법을 사용한 결과가 토지피복 형태 5에 대한 결과처럼 잘 일치하는 것을 보여주고 있다(slope=0.993, intercept=0.062, R^2=0.84, RMSE=4.43℃)(Figure 3).

Table 6. Results of the cross-validation for the estimates of daily maximum air temperature (SE : Standardized Error, MAE : Mean Absolute Error)

Model No.	Slope	Intercept	R	R^2	RMSE	SE	MAE	Number of data
1	0.83	3.45	0.924	0.85	4.519	4.519	3.31	42
2	0.86	1.14	0.897	0.80	4.810	4.810	3.38	41
3	0.79	3.53	0.908	0.82	5.196	5.197	3.95	38
4	0.89	3.96	0.939	0.88	4.522	4.522	3.83	34
5	0.96	1.22	0.962	0.93	3.487	3.488	2.11	41
6	0.82	3.68	0.943	0.89	4.127	4.127	3.08	39
7	0.91	5.60	0.943	0.89	3.697	3.70	4.84	45
8	0.83	5.26	0.927	0.86	4.696	4.696	4.12	34
9	0.83	2.15	0.906	0.82	5.350	5.350	3.54	35
10	0.92	-0.86	0.975	0.95	2.612	2.612	2.86	32
11	0.85	4.14	0.949	0.90	3.946	3.946	3.28	36
12	0.83	4.34	0.906	0.82	5.156	5.156	3.86	37
13	0.82	2.30	0.933	0.87	4.305	4.305	3.21	35
14	0.86	3.23	0.889	0.79	4.748	4.748	3.51	44
15	0.91	2.17	0.927	0.86	4.480	4.480	3.12	43
16	0.85	2.97	0.927	0.86	4.605	4.605	3.43	40
17	0.82	1.62	0.927	0.86	4.166	4.166	3.82	41
18	0.84	2.18	0.933	0.87	4.166	4.166	3.16	41
19	0.89	2.35	0.927	0.86	4.537	4.537	3.14	36
20	0.83	2.42	0.901	0.81	5.259	5.259	3.49	39

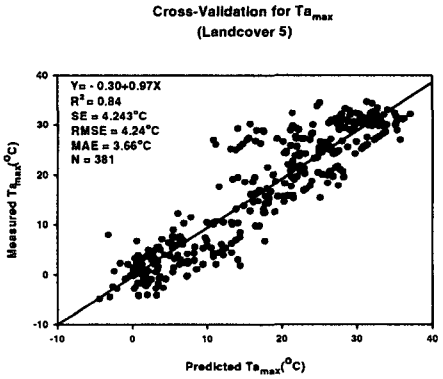

Fig. 2. Cross-validation of the daily maximum air temperature(Ta_{max}) estimation for landcover 5

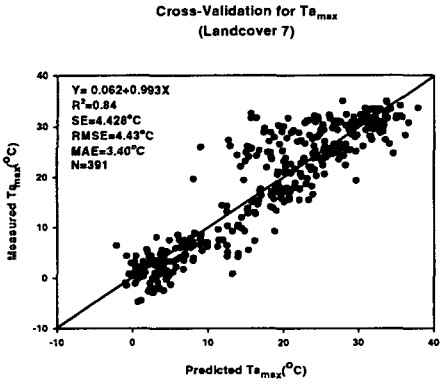

Fig. 3. Cross-validation of the daily maximum air temperature(Ta_{max}) estimation for landcover 7

6. 결 론

본 연구는 NOAA-14호 AVHRR 채널을 이용하여 Becker and Li(1990)가 제시한 split-window 방법을 이용한 추정된 지표면 온도와 EDD및 위도를 독립변수로 하여 다중 회귀 방법으로 일 최고 기온을 추정해보았다. 위성으로부터 추정한 지표면 온도와 일 최고 기온의 상관관계는 겨울(R=0.638)과 봄(R=0.62)이 여름(R=0.454)과 가을(R=0.455)에 비해 높은 값을 보였다.

보조자료로 사용된 EDD자료와 위성에서 추정된 지표면 온도를 이용해서 일 최고 기온과의 상관성을 알아본 결과, 대체적으로 겨울이 EDD자료가 추가되었을 때 가장 높은 상관을 보였다. 이것은, 보조 자료인 EDD자료가 일 최고 기온을 추정하는데 필요한 요소라는 것을 확인시켜 주는 결과였다. 일 최고 기온을 추정하기 위해 3가지 접근 방법으로 상관 및 반경험식을 산출하였을 때, 토지피복별 상관이 각 형태별로 높은 상관(최고: R= 0.959, 최저: R=0.885)을 보여주었다. 따라서 그 때의 반경험식을 구할 수 있었다.

따라서 이 방법에 대해, 교차검증을 통한 추정값 검증을 실시하였다. 토지피복 형태 5와 7의 전체에 대해, 교차검증 방법을 사용한 결과가 측정값과 잘 일치하였다. 하지만, RMSE가 4℃ 정도로 나타난 것은, 지상 관측소는 한 지점이고 위성에서 추정된 지표면 온도는 1km×1km의 격자 값이기 때문에 관측점이 상당히 비 균일하여 대표성이 미치는 범위가 작기 때문이다. 이러한 차이는 분석에 있어서 지상 관측 지점의 수를 늘여야 될 필요성을 제시하는 부분이다.

따라서, 앞으로의 연구는 장기간 동안 충분한 관측 지점을 통한 추정 알고리즘의 개발이 필요하고, 기상 관측 지점의 공간적인 대표성을 시험해 보는 방향으로 나아가야 할 것으로 보인다.

7. 참고문헌

조명희, 이광재, 김운수, 2001 : 원격탐사자료와 GIS를 활용한 도시표면 온도의 공간적 분포 특성에 관한 연구. *한국지리정보학회지*, **4**, 1, 56-65.

Becker and 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.

Ehrlich, D., Estes, J. E., and Singh, A., 1994 : Applications of NOAA-AVHRR 1km data for environmental monitoring. *Int. J. Remote Sens.*, **15**, 145-161.

Paquet, F., Vogt, J. V., and Viau, A. A. 1997 : Regionalisation of air temperature 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/Canda, 14p.