

도시효과를 고려한 일최저기온의 월별 평년값 분포

최재연

화성시농업기술센터

Interpolating Monthly Normals of Daily Minimum Temperature over South Korea Based on Urban Heat Island Correction

Jae-Yeon Choi

Hwasung City Agricultural Technology Center, Hwasung, Kyunggi-Do, Korea

(Correspondence: agmet@hscity.net)

1. 서언

우리나라를 포함한 동아시아 지역의 기온상승, 특히 일최저기온 상승은 상당부분 도시화에 기인한 것으로 보고되었다(Hulme et al., 1994). 따라서 도시화 영향을 효과적으로 제거하여야 한반도에서 진행되는 온난화의 경향을 파악할 수 있으며 궁극적으로 장기 기후변화에 대한 예측과 대응이 가능하다고 할 것이다(백과 권, 1994).

일반적으로 도시화에 의한 기온증가량을 제거하기 위해 인구 등급이나 인구 증가율을 이용하는 방법이 많이 이용되고 있다. 도시와 시골간 기온차의 최대값(열섬강도)은 도시인구가 증가함에 따라 급격히 증가하다가 일정 수준 이상에서는 그 증가 추세가 둔화된다. 도시의 규모를 인구의 자연대수로 표현할 경우 도시열섬효과와 직선적인 관계를 갖는다(Oke, 1987).

본 연구에서는 1971년 ~ 2000년 동안 56개 지점의 기상청 표준기상관측자료와 거리역산가중에 의한 공간내삽기법을 이용하여 도시열섬효과의 강도와 범위를 구명하고, 250m단위 격자점으로 일최저기온 월별 평년값을 추정하는데 있어 도시열섬효과를 제거한 '시골평년기후도(Rural Climatic Normals)'를 작성하고자 하였다. 도시열섬효과를 고려한 일최저기온 평년기후도는 남한에서의 기후변화 추적을 가능하게 함으로써, 농업지대의 정밀구분, 농업지대 및 삼림의 증발산량 추정, 삼림 생태계의 변화 등 기후변화에 따른 생태계 영향평가에 이용될 수 있을 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 도시열섬효과를 고려한 기온내삽 모형

표준기상관측소의 기온을 이용하여 비관측지점의 기온을 거리역산가중법(IDW)에 의해 공간내삽하여 추정할 경우 발생하는 오차는 비관측지점의 실제고도와 표준기상관측소의 고도를 공간내삽하여 나타난 가상고도와 고도차에 의해 발생한다. 따라서 고도차에 기온감율을 곱하여 보정해주면 고도차에 의한 오차는 줄일 수 있을 것이다. 그러나 일최저기온에서는 고도차를 보정해주더라도 실제기온보다 2°C 이상 과다 추정되는 경향이 있다. 이것은 표준기상관측소의 위치가 대부분 도시지역으로서 도시열섬효과가 비도시 지역에도 동일하게 적용되어 왜곡된 기온을 나타내기 때문이다.

본 연구에서는 도시열섬효과의 구동력이 일정 면적에 거주하는 '인구'라고 가정하였다. 표준기상관측소가 위치한 시나 군의 인구를 공간내삽하여 가상의 인구표면을 만들고, 실제인구와의 편차를 계산하여 경험계수를 곱해줌으로서 도시열섬효과를 모의할 수 있을 것이다.

$$T = \frac{\sum \frac{T_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} + \left[z - \frac{\sum \frac{z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right] \Gamma + \text{LOG} \left[P - \frac{\sum \frac{P_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right] \Pi$$

T_i : 관측지점 'i'의 기온 d_i : 비관측지점으로부터 관측지점 'i'의 거리
 z : 비관측지점의 해발고도 z_i : 관측지점 'i'의 해발고도
 Γ : 기온감율 P : 비관측지점의 인구
 P_i : 관측지점 'i'의 인구 Π : 경험계수

2.2 자료의 수집

기상청에서 발간한 2001년판 한국기후표로부터, 표준기상관측소 68개소 중 도서지방을 제외하고 71년 이전에 설치된 56개 표준기상관측소의 1971년~2000년 월별 일최저기온의 평균값을 발췌하였다. 또한 TM좌표계로 투영된 해상도 250m의 수치고도모형을 실제고도면이라고 가정하여 고도보정을 위한 자료로 사용하였다. 도시와 시골간의 경계를 구분하기 위해 환경부에서 제공하는 토지피복분류도중 1980년 말에 작성한 대분류를 이용하였다. 이 토지피복분류도는 30m×30m 간격의 격자로 구성되어 있으며, 시가지, 농지, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역 등 7가지로 분류되어 있는 TM 좌표체계의 파일이다. 시·군별 인구자료는 통계청에서 조사한 인구총조사 자료로부터 수집하였다. 제주도를 제외한 1985년 인구자료의 연혁을 참고하여 서울특별시와 6대 광역시, 각 시·군으로 정리하였다.

2.3 인구-도시열섬효과 관계식 정립

앞서 준비된 시·군별 인구를 도시열섬효과 분석을 위해 바로 이용하기에는 많은 문제점이 있다. 첫째로 각 시·군에 포함된 인구는 같은 시·군내에서는 동일한 값을 가지고 있으므로 한 시·군에서의 도시열섬효과는 모두 동일하게 된다. 둘째로 각 시·군의 도시열섬효과는 행정구역상의 경계선을 따라 불연속적인 값을 가지게 된다. 그러므로 시·군별 인구를 이용하여 도시열섬효과를 적용하면 행정구역상의 경계선을 따라 도시열섬효과가 다르게 나타나므로 비현실적이 된다.

따라서 시·군의 인구를 행정구역이 아닌 격자점 단위로 만드는 작업이 필요하다. 이를 위해 환경부에서 작성한 30m×30m 픽셀의 지표피복도를 이용하였는데 이는 지표피복도상에서 도시지역으로 분류된 지역에만 사람이 살고 있는 것으로 가정한 것이다. 지표피복표면으로부터 도시지역 픽셀만을 추출하고, 각 시·군에 포함된 도시 픽셀 개수를 구하였다. 그리고 각 시·군 인구를 도시 픽셀 개수로 나누어 각 시·군별 도시 픽셀에 있어서의 평균인구를 계산하였다. 이것은 실제의 인구분포를 30m×30m 격자점으로 구성된 'Digital Population Model'로 표현한 것이다.

그러나 도시열섬효과는 표준기상관측소 위치의 인구뿐만 아니라 주변 픽셀들의 인구에 의해서도 영향을 받는다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 각 픽셀이 갖는 인구값은 그 픽셀의 인구뿐만 아니라 주변인구를 합한 값으로 대체되어야 한다. 따라서 기준 픽셀의 인구값을 반경 500m, 1,500m, 2,500m, 3,500m, 5,000m내의 인구를 모두 합한 값으로 각각 대체하고, '열섬인구표면'이라 명명하였다. 각 반경별 '열섬인구표면'으로부터 31개 기상대급 표준관측소 위치의 인구를 추출하여 그것을 해당 관측소 위치의 실제인구로 가정하였다. 이 31개 기상대의 인구값을 이용하여 IDW에 의해 가상인구표면을 만들고 가상인구표면과 '열섬인구표면'의 차를 계산하였다. 그리고 인구편차표면으로부터 관측소급 25개 지점의 인구편차값을 추출하였다.

고도편차에 의한 오차를 보정하기 위해 표준기상관측소 56개소 중 31개소의 해발고도값을 이

용하여 가상의 해발고도를 만들고, 가상의 해발고도와 실제 해발고도인 수치고도자료와의 편차를 계산한 후 기온감율값을 곱하여 고도편차보정을 위한 표면을 생성하였다. 그리고 표준기상관측소 31개소의 월평균 일최저기온을 거리역산가중에 의해 추정된 표면에 적용하여 고도편차가 보정된 월평균 일최저기온 표면을 생성하였다. 여기에 이용된 기온감율값은 연중날짜에 따른 사면기온감율값을 이용하였다(Yun et al., 2001).

이렇게 하여 생성된 월별 일최저기온 표면에서 기온추정시 사용된 31개소를 제외한 25개소 위치의 기온값을 추출하고 실측기온과의 편차를 계산하여 기온추정오차로 간주하였다.

추출된 인구편차의 자연대수를 독립변수로 두고 기온추정 오차값을 종속변수로 하여 월별로 직선회귀식을 구하였다. 각 반경별 회귀모형의 결정계수를 비교하여 결정계수가 가장 높은 회귀모형으로 선택하였다.

2.4 검증 및 적용

남한내 표준기상관측소 56개소의 월별 일최저기온값을 이용하여 해발고도와 도시열섬효과가 보정된 평년기온표면을 생성하였다. 이 방법에 의해 추정된 기온값의 신뢰도를 알아보기 위해 Cross Validation을 실시하였다. 우선 표준기상관측소 56개소 중 임의의 한 곳을 제외한 55개소의 월평균 일최저기온 값을 이용하여 단순내삽에 의한 기온표면과 해발고도 보정 기온표면, 도시열섬효과 보정 기온표면을 각각 생성하고 제외된 관측소가 위치한 픽셀의 기온추정값과 실제 관측값 간의 차이를 얻었다. 동일한 과정을 56개 관측소에 각각 적용하여 ME(Mean Error), MAE(Mean Absolute Error), RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 최적회귀모형

각 반경에 따라 월별로 회귀식을 구하여 나타난 결정계수를 비교한 결과 반경 2,500m인 인구 표면에서 가장 높은 결정계수를 갖는 것으로 나타났다(Fig. 1). 결정계수가 가장 높은 달은 8월로 0.653이었으며 가장 낮은 달은 1월로 0.342였다. 평균적으로 보면 도시간 월평균 일최저기온차의 48%를 인수로 대표되는 도시열섬효과로 설명할 수 있다. 회귀모형의 X축 절편, 즉 기온에 영향을 주지 않는 인구의 규모를 보면 겨울철에 15,000명 정도이며 여름철에는 9,000명 정도이다. 평균적으로 보면 13,000명 정도임을 알 수 있다. 결론적으로 도시열섬효과는 반경 2,500m내의 인구가 최소한 1월에는 15,000명 이상, 6월에는 9,000명 이상은 되어야 도시 열섬효과가 나타나는 것으로 판단할 수 있다(Fig. 2).

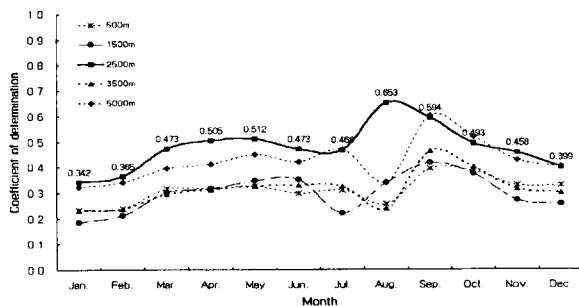


Fig. 1. The determination coefficient of linear regression model by each radius

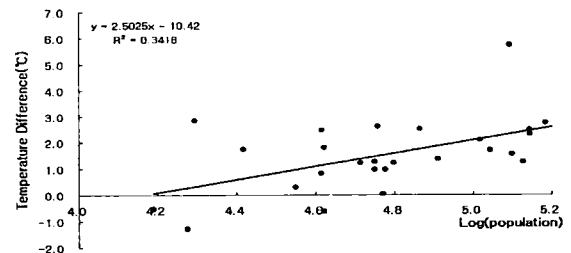


Fig. 2. Relationship between the population and the estimated error for daily minimum temperature in January.

3.2 Cross Validation

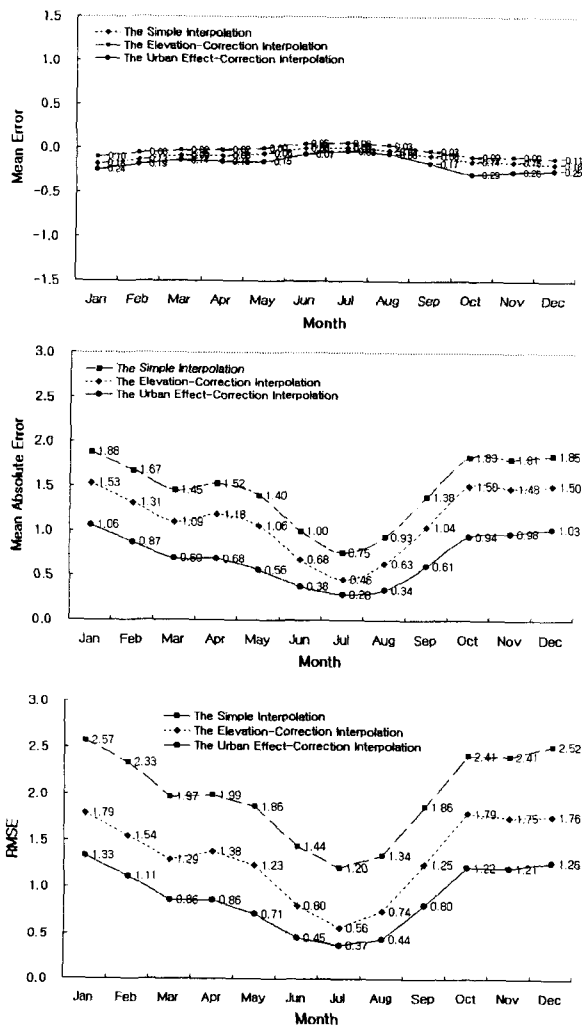


Fig. 3. Mean error(top), mean absolute error(middle), RMSE(bottom) of estimated temperature.

이 인구-기온간 회귀모델을 이용하여 도시열섬효과를 보정한 월평균 일최저기온 표면을 생성하고 Cross Validation에 의한 ME, MAE, RMSE를 각각 구한 결과, ME는 -0.3에서 0.1사이로 단순내삽이나 고도보정, 고도보정과 도시열섬효과 보정을 한 것 모두 큰 차이가 없고 오차의 편기성도 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 MAE를 보면 단순내삽을 하여 추정된 추정기온은 1.85에서 0.71로 오차가 큰 반면 고도보정을 한 것은 다소 개선되어 1.53에서 0.46에 분포하고 있다. 그러나 고도보정과 도시열섬효과를 보정한 것은 그 분포범위가 1.06에서 0.28로 단순내삽이나 고도보정에 의해 생성된 추정기온보다 크게 개선되었다. RMSE의 경우에도 고도편차와 도시열섬효과를 같이 보정한 경우 추정오차가 1.33에서 0.31로 상당한 개선이 이루어졌음을 알 수 있다. 추정오차는 여름에 작고, 겨울에 큰 것으로 나타났으며 고도보정을 한 것이나 도시열섬효과를 보정한 것 모두 같은 경향을 나타내었다.

인용문헌

Hulme, M., Z. -C. Zhao, and T. Jiang, 1994: Recent and future climate change in East Asia. *International Journal of Climatology* 14(6), 637-658.

Oke, T. R., 1987: *Boundary Layer Climates* (2nd Edition). Methuen, 291-292.

Yun, J. I., J. Y. Choi, Y. K. Yoon, and U. Chung, 2000: A Spatial interpolation model for daily minimum temperature over mountainous regions. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 2, 175-182. (In Korean with English abstract).

백희정, 권원태, 1994: 도시화로 인한 한반도 기온의 변화 경향 분석, 기상연구논문집. 11(1), 12~26.