

산악지대의 일 최저기온 공간내삽모형

윤진일 · 최재연 · 윤영관 · 정유란

경희대학교 생명자원과학연구원/농학과

(2000년 9월 19일 접수)

A Spatial Interpolation Model for Daily Minimum Temperature over Mountainous Regions

Jin-Il Yun, Jae-Yeon Choi, Young-Kwan Yoon and Uran Chung

Department of Agronomy/Institute of Life Science and Natural Resources

Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea

(Manuscript received 19 September 2000)

ABSTRACT

Spatial interpolation of daily temperature forecasts and observations issued by public weather services is frequently required to make them applicable to agricultural activities and modeling tasks. In contrast to the long term averages like monthly normals, terrain effects are not considered in most spatial interpolations for short term temperatures. This may cause erroneous results in mountainous regions where the observation network hardly covers full features of the complicated terrain. We developed a spatial interpolation model for daily minimum temperature which combines inverse distance squared weighting and elevation difference correction. This model uses a time dependent function for "mountain slope lapse rate", which can be derived from regression analyses of the station observations with respect to the geographical and topographical features of the surroundings including the station elevation. We applied this model to interpolation of daily minimum temperature over the mountainous Korean Peninsula using 63 standard weather station data. For the first step, a primitive temperature surface was interpolated by inverse distance squared weighting of the 63 point data. Next, a virtual elevation surface was reconstructed by spatially interpolating the 63 station elevation data and subtracted from the elevation surface of a digital elevation model with 1 km grid spacing to obtain the elevation difference at each grid cell. Final estimates of daily minimum temperature at all the grid cells were obtained by applying the calculated daily lapse rate to the elevation difference and adjusting the inverse distance weighted estimates. Independent, measured data sets from 267 automated weather station locations were used to calculate the estimation errors on 12 dates, randomly selected one for each month in 1999. Analysis of 3 terms of estimation errors (mean error, mean absolute error, and root mean squared error) indicates a substantial improvement over the inverse distance squared weighting.

Key words : spatial interpolation, daily temperature, lapse rate, digital elevation model, south Korea

I. 서 언

일 최저기온은 식물의 생장도일 계산, 작물생육이나 식물 병 예찰 모형의 구동뿐 아니라 저온피해의 척도

로서 강수량과 함께 농장 기상관측의 기본요소이다. 따라서 기상청 일기예보 가운데서도 다음 날의 최저기온 예보는 농작물의 재해예방 차원에서 요긴하게 활용되고 있다. 그러나 기상청에서 생산되는 최저기온 관

측 및 예보는 도시를 중심으로 한 70여개 기상관서에 한정되어 있어 영농정보로서 직접 활용하기는 곤란하다. 민간기상정보회사 등에서는 기상관서로부터 멀리 떨어진 지점의 기온값을 추정하기 위해 주변 기상관서의 기온값을 평균하여 수요자에게 제공하고 있다. 이때 가까이 있는 관측소의 실측값에 가중치를 주는 거리역산가중(Inverse distance weighting: IDW) 방법은 지형이 평탄하고 균일한 곳에서는 좋은 추정결과를 보인다. 그러나 우리 나라는 삼면이 바다로 둘러 싸여있고 북쪽은 아시아대륙과 연결되어 해양과 대륙의 영향을 동시에 받을 뿐 아니라, 국토 대부분을 차지하는 산악지형으로 인해 좁은 국토면적(약 10만 km²)에 비해 2,000 m에 이르는 표고범위를 보이는 등, 국지기온 결정인자가 매우 다양하다.

지형이 이렇게 복잡한 곳에서는 관측점으로부터의 거리에만 의존한 공간내삽의 경우 현실과 동떨어진 결과를 생성하기 쉽다. 이를 보완하기 위해 중회귀, kriging, splines 등 다양한 공간통계학적 기법이 이용되어 왔다(Eischeid *et al.*, 1995; Lennon and Turner, 1995; Ashraf *et al.*, 1997; Holdaway, 1996; Hulme *et al.*, 1995). 특히 국지기온 결정인자로서 고도의 영향이 현저하므로 비관측점과 공간내삽에 사용되는 주변 관측점간 표고편차를 기온감율에 의해 보정해주는 간단한 방법은 상대적으로 복잡한 다른 기법들에 비해 우수한 결과를 보였다(Nalder and Wein, 1998). 나아가 표고 외에 바다로부터의 거리, 경사도, 경사방향 등 지형요인을 독립변수로 둔 중회귀모형은 자료획득이 어려운 북한 등 원격지의 기온 추정에 성공적으로 적용되었다(Yun and Lee, 2000).

그러나 이들 방법은 월별 기후학적 평년값과 같은 장기간의 평균적인 기온값에만 적용될 뿐 일 최저기온이나 시간대별 기온과 같은 작은 시간규모에는 그대로 적용할 수 없다. 부단히 변하는 기온의 속성상 한 시점의 공간적인 변이를 그보다 규모가 큰 월별 통계량에 의해 유추한다는 것이 부적절할 뿐 아니라, 이들 통계량의 연차변이는 미래예측을 사실상 불가능하게 만들기 때문이다. 시간 해상도가 조밀해질수록 거리 외에 공간내삽 과정에서 이용할 수 있는 기온결정인자의 종류가 줄어드는데, 관측점의 해발고도 영향을 고려한 연구 가운데 Dodson and Marks (1997)는 표준대기의 기온감율을 미국 북서 태평양 연안 산악지역

의 일 최고 및 최저기온 내삽에 이용함으로써 총 830,000 km²의 일별 기온분포를 1 km×1 km 공간 해상도로 작성하였다. Yun *et al.* (1999)은 정규기상관측소의 매시 기온관측자료를 내삽하여 전국분포를 얻기 위해 관측점과의 표고편차에 역시 표준대기의 기온감율을 날짜와 시간에 무관하게 일률적으로 적용하여 IDW 결과의 보정에 사용하였다. 그러나 산악지역에서 경사를 따라 이동할 때 관찰되는 기온변화양상은 표준대기의 기온감율 양상과 다를 뿐 아니라 계절, 날짜, 일중 시간에 따라 변하므로, 특히 짧은 시간규모의 공간내삽에서는 개선의 여지가 크다.

본 연구에서는 기온감율의 경시변화를 고려한 간단한 일최저기온 공간내삽모형을 제시하고 남한지역을 대상으로 그 실용성을 검증함으로써 국지적인 일 최저기온 정보의 농업분야 활용을 촉진하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 공간내삽모형

육상의 어떤 지점에서 관측된 최저기온값에는 이미 수평 및 수직 위치효과와 바다효과는 물론 기온역전을 포함한 모든 기온결정인자의 영향이 반영되어 있다. 만약 대상지역의 지표상태가 관측점과 동질적이며, 표고변이가 관측점의 표고값에 의해 대표될 수 있다면, 거리역산가중 내삽에 의한 기온의 공간변이양상은 실제와 거의 일치할 것으로 기대할 수 있다. 하지만 실제 지형이 관측점들만의 표고값으로 대표할 수 없는 지역에서는 표고편차에 의한 기온추정오차가 실용상 허용할 수 없을 만큼 클 수도 있다. 기상관측망이 인구 밀집지역인 해안평야지대에서 조밀하고 백두대간을 중심으로 한 산악지역에서 드문 우리 나라가 바로 이러한 경우에 속한다. 산악지대에 설치된 관측소는 그 숫자가 적은 것은 물론 설치위치가 주변 지역을 대표하기 어렵기 때문에 단순한 거리역산가중에 의한 내삽결과는 실제와 다른 기온분포를 보이기 쉽다. 따라서 기존의 거리역산가중 기법을 토대로 고도-기온 관계를 결합한 공간내삽모형을 작성한다면 기온의 공간변이를 보다 정확하게 추정할 수 있을 것이다.

다른 조건, 특히 지표피복상태 등은 대상지역 내 관측점들과 같고 오직 표고만 다르다면 이 지역 내 임의지점의 기온 T는

$$T = \frac{\sum \frac{T_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} + z - \frac{\sum \frac{z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \Gamma \quad (1)$$

으로 표현할 수 있다. 여기서 T_i 는 임의지점 주변의 관측소 i 에서 실측된 기온값이며 d_i 는 이 관측소와 임의지점간 거리로서 오른쪽 식의 첫째 항은 거리자승역산가중(Inverse distance squared weighting; IDSW) 내삽에 의한 기온 추정값이 된다. z 는 임의지점의 실제 표고, 괄호 안의 둘째 항은 IDSW에 의해 추정된 가상지형상의 표고 추정값으로서 괄호 안의 수식은 임의지점의 표고편차를 나타낸다. Γ 는 내삽시점의 고도에 따른 기온감율이다. 기온감율을 제외한 나머지 요소들은 손쉽게 얻을 수 있다.

2.2. 산악지대의 기온감율

기온감율은 시공간적인 변화속성을 가지므로 내삽 대상 기온의 시간적 규모에 따라 각기 다른 상수를 적용하거나 경험적인 예측식을 얻는 것이 일반적이다. 일 최저기온의 공간내삽을 위해서는 먼저 최저기온 발생시점의 기온감율을 결정해야 한다. 여기서 추구하는 기온감율은 연직 상방의 대기중에서 관찰되는 것이 아니라 산록 경사지를 수직 및 수평 양 방향으로 이동하면서 경험하게 되는 기온의 변화율이므로 대상지역 내에서도 수평적 공간변이가 존재할 수 있다. 본 연구에서는 남한 전역을 대상지역으로 하므로 섬 지역에 위치한 관측소를 제외한 63개 지점 (해발고도 범위 17~840 m)에서 1999년 한 해 동안 관측된 일 최저기온값과 이들 관측지점의 표고로부터 일별 기온감율을 추정하고자 하였으며 표준대기의 감율과 구별하여 산사면 기온감율(Mountain slope lapse rate; MSLR)로 명명하였다.

표고가 다른 두 지점에서 관측된 기온값의 편차에는 표고차와 기온감율에 의한 부분 외에도 두 지점의 지리적 위치(위도, 경도, 바다와의 인접 여부, 산사면의 방향 등)와 날씨(일사량, 운량, 하늘 상태 등)에 의한 효과도 포함되어 있으므로 우선 이들 다양한 효과들로부터 고도차에 의한 부분만을 추출해야 한다. 이를 위해 먼저 대상지역 내 날씨의 이질성에 의한 잡음을 제거하기 위해 관측소별 최저기온자료 가운데 전운량 0.2 이하인 맑은 날과 0.8 이상인 흐린 날에 해당되는

부분만 발췌하였다. 두 집단별로 같은 날짜에 포함되는 관측소의 수가 30개 이상인 날짜의 자료, 즉 남한 전역의 반 이상이 맑음 혹은 흐림으로 동질적인 날짜의 자료만 다시 선별하였다.

다음에는 지리적인 위치 차이에 따른 잡음을 제거하기 위해 선행연구들(Shin and Yun, 1992; Shin et al., 1999; Yun and Lee, 2000)에 의해 남한의 국지기온 결정요인으로 밝혀진 위도, 경도, 해안으로부터 거리, 경사면의 방향 등을 관측점의 표고와 함께 후보변수로 둔 중회귀 분석을 이들 날짜에 대해 수행하였다. 날짜별 최적 회귀모형은 유의수준 0.05를 기준으로 한 STEPWISE 선택법에 의해 선별하였는데, 채택된 변수의 종류나 조합과 무관하게 모형의 결정계수가 0.6 이상인 것만 분석에 이용하였다. 각 관측점과 해안으로부터의 최단거리 및 관측점의 경사방향은 1 km×1 km 간격의 한반도 수치고도모형(digital elevation model: DEM)으로 부터 계산하였다.

선발된 회귀모형은 144일 가운데 77개로서 가을, 겨울에는 주로 맑은 날이, 봄과 여름에는 흐린 날의 자료가 이용되었다. 이들 모형의 구성 변수 중 관측점 표고의 편회계수만을 날짜에 따라 작도한 것이 Fig. 1이다. 분포의 변이계수가 0.19로서 비슷한 시기에도 기온감율의 편차가 심한 편이지만 전체적인 경향은 겨울에 크고 여름에 낮은 주기성을 보인다. 연중 날짜에 따른 기온감율 절대값 변화경향을 Fourier fitting에 의한 365일 주기의 함수로 표현하면

$$|\Gamma| = 0.00685 + 0.00135 \cos \{0.0172(i - 15)\} \quad (2)$$

이 된다. 여기서 i 는 Julian day(1월 1일 = 1, 12월 31일 = 365)를 가리킨다. 이 식에 의해 추정되는 일 최저기온의 고도 100 m 상승에 따른 감율은 7월의 0.55°C 부터 1월의 0.82°C로서 평균값은 표준대기의 평균감율 0.65°C와 크게 다르지 않다. 하지만 이 식에 의한 날짜별 기온감율 대신 날짜에 무관하게 표준대기의 기온감율을 일률적으로 적용할 경우 표고편차 1,000 m 지역에서 발생할 수 있는 내삽과정의 오차가 최대 2.7°C에 이를 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 식 (1)에 상기 기온감율 추정식을 결합하여 임의날짜 미관측지점의 일 최저기온을

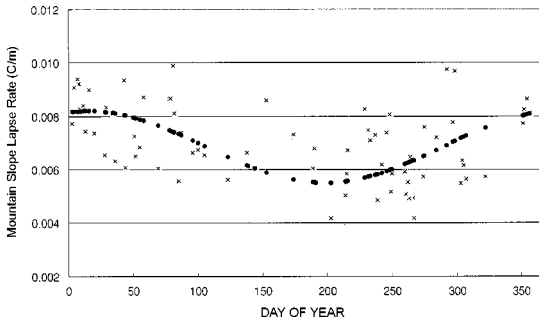


Fig. 1. Scatter plot of the partial regression coefficients of station elevation in the daily minimum temperature models. The sinusoidal line consisting of solid dots was fitted for this plot and expressed as $|\Gamma| = 0.00685 + 0.00135 * \cos \{0.0172(i - 15)\}$, where i is the day of year.

추정하기 위한 내삽모형으로 삼았다.

2.3. 모형의 성능 검증

예측값의 검증을 위한 독립자료 확보가 쉽지 않으므로 기후통계학에서는 한 개 관측점씩 순차적으로 제거한 자료를 이용하는 교차검증 (cross-validation) 방법을 흔히 사용한다. 관측점의 수가 많을 경우 보다 엄격한 검증을 위해 모형 작성과정에서 일부 관측자료를 제외시켰다가 검증과정에서 사용하는 방법도 있다 (Hulme *et al.*, 1995). 하지만 독립자료가 없을 경우 사실상 공간내삽모형의 충분한 검증은 불가능하다. 다행히 기상청에서는 표준기상 관측소 외에 기온, 강수량, 풍향, 풍속만을 관측하는 458개 자동기상 관측소를 운영하고 있으므로 검증을 위한 독립자료로서 이들을 이용할 수 있다. 자동기상 관측소의 관측여건이 표준관측소와는 다를 뿐 아니라 자동기상관측소 상호간에도 서로 달라 본 연구에서 제시하는 공간내삽 모형의 전제조건인 대상지역 내 “지표피복의 동질성”을 만족시키지는 못한다. 그러나 현재로서는 표준관측망 외에 공인된 실측값을 검증용 독립자료로 활용할 수 있는 유일한 수단이며, 절대오차가 아닌 기존 내삽방법 (IDSW)에 의한 결과와의 비교를 통한 상대오차를 분석하는 것이 목적이므로 심각한 문제는 없을 것으로 판단하였다.

458개 자동기상관측소 중에서 표준기상 관측소와 위치가 중복되거나 섬 지방에 설치된 것을 제외한 267개 지점(해발고도 범위 3~850 m) 자료를 분석에 이

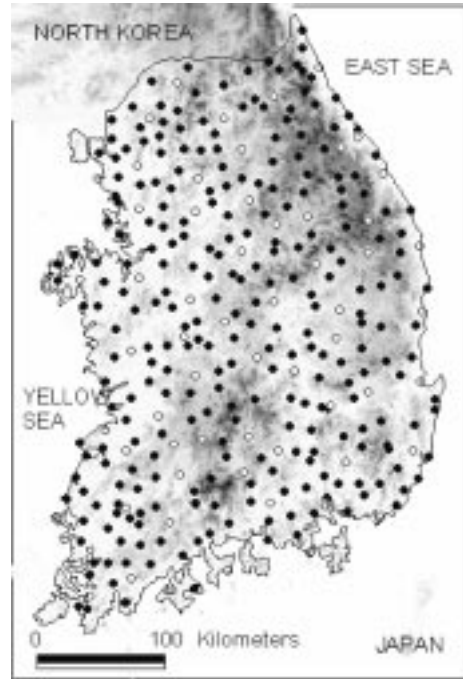


Fig. 2. Geographical location of the 267 automated weather stations (solid circle) in South Korea. The 63 standard weather station locations are expressed as empty circles. Elevation surface is shown as a gray scale background image.

용하였다(Fig. 2). 난수 생성기에 의해 1999년 월별 3일씩의 날짜를 선발하고 이들 날짜 가운데 실측 최저 기온값을 얻을 수 있는 기상청 자동기상 관측소의 수가 가장 많은 것들을 월별로 하루씩 총 12일을 선택하였다. 이들 자동기상 관측지점의 표고값으로부터 63개 표준관측소 표고값 내삽에 의해 작성한 남한 전역 기상지형 상의 자동기상 관측지점에 해당되는 격자점의 표고값을 뺀 표고편차를 얻었다. 선택된 월별 해당 날짜에 대하여 식 (2)에 의해 기온감율을 계산하고 이것을 식 (1)에 대입하여 자동기상 관측지점의 일 최저 기온을 추정하였다. 결과는 자동기상 관측소 실측값과 직접 비교하였는데, 표고편차 보정을 하기 전에 얻은 IDSW 기온 추정값과 실측값간 편차를 대조오차로 삼았다. 자동기상 관측지점의 기온 및 표고 내삽에 사용된 인접 표준 관측소의 수는 각각 3개씩이었다.

오차 분석은 날짜별로 내삽에 의한 추정기온으로부터 AWS에 의한 실측기온을 뺀 값을 추정오차로 두고 이 추정오차의 산술평균(mean error: ME), 추정오차 절대값의 평균(mean absolute error: MAE), 그리고

평방근오차의 평균(root mean squared error: RMSE)을 각각 계산하였다. ME는 추정오차 분포의 편기성(bias) 정도를, MAE는 추정값이 실측값으로부터 얼마나 멀리 벗어나는지를 나타내며, RMSE는 평균적인 오차범위로부터 크게 벗어나는 특이값(outliers)의 존재여부에 민감하다.

III. 결과 및 고찰

추정오차 평균값(ME)으로부터 판단해보면, 기존의 IDSW에 의해 계산되는 일 최저기온값은 실측값보다 항상 높아서 검증에 이용된 12일 자료 모두 “정”의 값을 보였으나, 여름철인 7월 3일, 8월 6일, 9월 4일에는 이러한 경향이 크게 완화되었다(Table 1). 기온감율을 고려한 내삽모형(Lapse Rate Corrected IDSW: LRCI)을 사용할 경우 12일 가운데 여름철 사흘을 제외한 나머지 날짜의 평균값이 0.29로서 IDSW의 0.61에 비해 오차분포의 편기성이 크게 개선되었음을 알 수 있다. 즉 이 기간 중에는 IDSW에 의한 일 최저기온 추정값이 AWS 실측값에 비해 평균 0.61°C 높지만 이 과다추정분 가운데 0.32°C는 기온감율에 의한 고도 영향 보정만으로 제거할 수 있다는 뜻이다. 여름철 사흘의 경우에는 IDSW 계산결과가 실측값에 가깝지만 여전히 “정”의 과다추정 경향을 벗어나지 않았으나,

LRCI 추정오차의 평균값은 “부”의 값으로서 오히려 실측 최저기온보다 더 낮게 추정하는 것으로 나타났다.

IDSW에 의한 추정값이 연중 지속적으로 ‘정’의 ME를 보이는 원인을 두 가지 측면에서 생각해 보았다. 먼저 AWS 관측값 자체의 체계적 오차(systematic error)일 가능성이 있다. 즉 AWS에 의한 관측값이 기상대 노장에서 표준관측법에 의해 측정된 것보다 낮을 수 있다는 것이다. Tanner *et al.* (1996)은 AWS용 기온센서 보호상자의 환기방법에 따라 관측값에 차이가 있음을 보고하였다. 특히 강제환기에 비해 자연대류의 경우 일 최고기온은 더 높게, 최저기온은 더 낮아질 수 있다. 그러나 기상청 AWS의 경우 교류전원에 의한 강제환기법을 이용하므로 오차가 심하지는 않을 것으로 생각된다.

한편, 공간내삽모형은 통계학적 이론에 근거하므로 일반적인 통계모형의 ‘conservative’한 속성을 가지고 있다. 즉 통계모형에 의한 추정값은 ‘집단’(population)의 평균을 모의하도록 되어있으므로, 이 평균으로부터 벗어난 ‘표본’(samples)을 대상으로 할 경우 과소 혹은 과다추정이 되기 쉽다. 본 연구에서 ‘표본’에 해당되는 것이 AWS 관측값이며, 기존 정구관측망을 보완하기 위해 대부분 시골지역에 설치되어있다. 모형 작성용 자료가 수집된 ‘집단’, 즉 표준관측소 자료는 거의 도시지역을 중심으로 존재하므로, 이 모형에 의

Table 1. Validation errors averaged across the automated weather observation sites on randomly selected 12 dates in 1999. IDSW and LRCI indicate the interpolation schemes by inverse distance squared weighting and the lapse rate corrected IDSW, respectively (units: degree C)

DATE	Mean Error		Mean Absolute Error		Root Mean Squared Error	
	IDSW	LRCI	IDSW	LRCI	IDSW	LRCI
9-Jan	0.52	0.12	1.42	1.34	1.80	1.66
2-Feb	0.60	0.28	1.35	1.23	1.58	1.51
1-Mar	0.70	0.38	1.57	1.43	1.80	1.68
1-Apr	0.59	0.23	1.47	1.44	1.72	1.77
1-May	0.64	0.32	1.49	1.43	1.76	1.77
4-Jun	0.46	0.28	1.38	1.31	1.64	1.62
3-Jul	0.01	-0.32	0.96	0.99	1.29	1.24
6-Aug	0.04	-0.31	0.97	1.06	1.22	1.29
4-Sep	0.17	-0.18	1.11	1.05	1.44	1.36
28-Oct	0.61	0.29	1.44	1.36	1.68	1.68
7-Nov	0.70	0.37	1.43	1.28	1.64	1.56
10-Dec	0.67	0.34	1.55	1.47	1.79	1.80
AVERAGE	0.47	0.14	1.34	1.28	1.64	1.60

한 추정값에는 ‘도시열섬’(urban heat island) 효과가 반영되어 있어 실측값에 비해 과다추정되었다고 생각할 수 있다. 봄과 가을의 과다추정이 심하고 여름철에 완화되는 본 실험의 경향과, 우리나라의 도시 승온현상이 봄과 가을에 뚜렷하다는 보고(Yoon *et al.*, 1994)는 이를 부분적이거나 뒷받침한다고 할 수 있다.

추정값이 실측값으로부터 벗어나는 정도를 표현하는 MAE도 ME의 경우와 마찬가지로 다른 계절에 비해 여름철의 오차변이가 줄어들었는데, 여름철 이들을 제외한 열흘 평균값은 1.42대 1.33으로 항상 LRCI에서 낮았다.

RMSE 값은 12일 중 5일 자료에서 두 방법간 큰 차이가 없는 것으로 보아 기온감율에 의한 보정만으로는 평균적인 오차범위에서 크게 벗어나는 특이값의 개선 효과를 거두기는 어려운 것으로 보인다. 그러나 12월 10일을 제외한 겨울철 사흘의 경우에는 뚜렷한 개선효과가 나타났다.

분석대상 오차의 성분에는 내삽모형의 불완전성 외에도 참값으로 설정한 AWS 기온관측값 자체의 오류와 AWS 설치지점의 관측여건 차이를 무시할 수 없다. 일 최고, 최저기온의 경우 전기식 센서에 의한 자동기상 관측값이 표준 수온온도계의 육안 관측값과 어느 정도 차이가 있으며, 특히 앞서 언급된 radiation shield에 따라 상당한 편차가 있는 것으로 인정된다(Tanner *et al.*, 1996). 더구나 표준화된 관측노장에서의 측정값에 비해 나지, 숲, 작물군락, 심지어 건물 옥상에 이르기까지 다양한 관측여건 하에서 얻어지는 AWS 기온값은 본 연구의 전제조건에 비추어 검증자료로서는 취약한 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서 얻은 결과만으로 내삽모형의 정확도를 완전히 평가했다고 볼 수는 없다.

이러한 취약점을 감안하더라도 ME와 MAE의 비교 결과만 놓고 판단해보면 LRCI는 최소한 가을, 겨울, 봄 등, 일 최저기온의 농업적 의미가 더욱 부각되는 계절에는 기존의 IDSW보다 우수한 추정능력을 보인다고 할 수 있다. 한편 여름철의 경우에도 사흘간의 일 최저기온 추정값과 실측값을 비교해 보면 ME와 MAE의 단순비교에서는 알 수 없었던 사실을 발견할 수 있다(Fig. 3). LRCI가 기존의 IDSW에 비해 일 최저기온 추정에 있어서 오히려 못한 것으로 생각되는 여름철 사흘의 경우에도 추정값과 실측값간 직선회귀식의 결정계수가 IDSW에서 0.698인데 비해 LRCI에

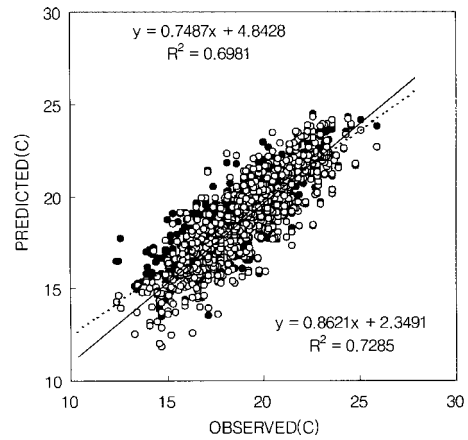


Fig. 3. Predicted temperatures by IDSW(dark circles) and LRCI(empty circles) plotted against the temperatures recorded by automated weather stations on three summer days (July 3, August 6, and September 4). Trend lines for IDSW (dotted) and LRCI(solid) are also shown with their regression equations.

서는 0.729로서 더 높고, 특히 추세선의 기울기가 0.749에 비해 0.862로서 이상적인 기울기 1.0에 더욱 가깝다. 비록 ME나 MAE 값이 작을지라도 IDSW에 의한 기온 추정값은 이 그림의 저온역, 즉 표고가 높은 산악지역에서는 실제보다 높아지는 경향이 뚜렷하다. 즉 여름철일지라도 산악지역의 최저기온 추정에는 LRCI가 우월하다고 판단된다. 결국 기존의 방법에 기온감율 보정항을 추가하면 계절에 관계 없이 실제값에 접근시킬 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

덧붙여 이 방법은 사용하기 매우 간단하므로 일 최저기온 예보 혹은 실험의 전국분포 작성에 즉시 활용할 수 있다. 이미 1 km×1 km 국토면적 단위로 남한 전역의 최저기온 예보도가 작성되고 있으며, 이 전국 분포도를 토대로 하여 국지적인 저온 피해(냉해, 동상해) 정보를 만들 수 있다. 대표적인 산지농업지대인 강원도 평창에서는 조밀한 자체 AWS 관측자료에 의해 전국 분포도 가운데 해당지역 최저기온을 보정하여 고랭지 채소농업에 이용하고 있다.

IV. 결 론

장기적인 기후값이 아닌 일 최저기온의 공간내삽을 위한 간단한 방법을 제시하였다. 이 방법은 계절에 무관하게 기존 방법에 의한 추정오차를 줄여주며, 특히

산악지역에서 우수한 추정능력을 보인다. 기존의 방법에 고도편차 보정항을 추가하는 간단한 방식이므로 민간기상정보회사 등 이미 공간내삽을 활용하는 곳에서는 기존 시스템을 용이하게 개선할 수 있다. 일 최고 기온 공간내삽모형이 만들어지면 생장도일, 난방도일 등 기후지수의 계산은 물론, 작물 생장모형, 식물병 예찰모형 등 일 기상자료를 입력자료로 요구하는 모든 분야에서 정확한 기온 추정값을 쓸 수 있게 될 것이다. 앞으로 일중 기온감을 변화의 정량적 추정이 가능해진다면 시간해상도를 더욱 높여 시간대별 기온의 정확한 공간변이 예측도 추진해볼 만 하다.

V. 적 요

표준관측소의 점 단위 기온 관측 및 예보값을 농업 분야에서 활용하기 위해서는 공간내삽이 필요한 경우가 많지만 기후학적 평년값 같은 장기간의 평균값 내삽과는 달리 지형효과를 반영하기 어려워 거리역산가중법이 수정 없이 사용되고 있다. 우리 나라처럼 지형이 복잡한 산악지역에서는 수평 거리에만 의존한 내삽 결과에 심각한 오류가 포함될 수 있으므로, 영농지원 정보로서 중요한 일 최저기온을 대상으로 추정오차의 최대근원인 해발고도의 영향을 보정할 수 있는 간단한 공간내삽모형을 작성하였다. 먼저 남한 육지 상에 위치한 63개 표준관측소에서 수집된 일 최저기온자료와 관측소의 위치, 해안으로부터 거리, 경사향, 표고 등 국지기온 결정인자를 회귀분석 하여 표고에 따른 기온감을 추정식을 날짜의 함수로 표현하였다. 63개 관측점의 표고값을 공간내삽 하여 재구성한 전국의 가상 지형으로부터 1 km×1 km 공간단위의 전국 수치고도값 편차를 계산하고, 여기에 해당 날짜의 기온감을 적용하여 보정값을 계산한다. 기존의 거리역산가중법에 의한 기온추정값을 이 보정값에 의해 수정함으로써 최종 기온값을 얻는다. 임의로 선발된 1999년의 월별 하루씩 총 12일에 대하여 이 모형과 기존 거리역산가중법을 각기 적용하여 267개 자동기상관측지점의 일 최저기온을 추정한 후 실측값과 비교하였다. 오차평균, 절대오차평균, 그리고 평방근오차평균 등 세 가지 추정오차를 분석한 결과 이 방법이 거리역산가중법에 비해 산악지역에서의 일 최저기온 추정에 있어 뚜렷한 개선효과를 보였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(1999-2-221-002-5) 지원으로 수행되었음.

인용문헌

- Ashraf, M., J. C. Loftis, and K. G. Hubbard, 1997: Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks. *Agricultural and Forest Meteorology* **84**, 225-271.
- Dodson, R. and D. Marks, 1997: Daily temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. *Climate Research* **8**(1), 1-20.
- Eischeid, J. K., F. B. Baker, T. R. Karl, and H. F. Diaz, 1995: The quality control of long-term climatological data using objective data analysis. *Journal of Applied Meteorology* **34**, 2787-2795.
- Holdaway, M. R., 1996: Spatial modeling and interpolation of monthly temperature using kriging. *Climate Research* **6**, 215-225.
- Hulme, M., D. Conway, P. D. Jones, T. Jiang, E. M. Barrow, and C. Turney, 1995: Construction of a 1961-1990 European climatology for climate change modelling and impact applications. *International Journal of Climatology* **15**, 1333-1363.
- Lennon, J. J., and J. R. G. Turner, 1995: Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. *Journal of Animal Ecology* **64**, 370-392.
- Nalder, I. A., and R. W. Wein, 1998: Spatial interpolation of climatic normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology* **92**, 211-225.
- Shin, M. Y., and J. I. Yun, 1992: Estimation of monthly temperature distribution in Cheju Island by topoclimatological relationships. *Journal of Korean Forestry Society* **81**, 40-52. (In Korean with English abstract)
- Shin, M. Y., J. I. Yun, and A. S. Suh, 1999: Estimation of daily maximum and minimum temperature distribution over the Korean Peninsula by using spatial statistical technique. *Journal of Korean Society of Remote Sensing* **15**, 9-20. (In Korean with English abstract)
- Tanner, B. D., E. Swiatek, and C. Maughan, 1996: Field comparisons of naturally ventilated and aspirated radiation shields for weather station air temperature measurements. *Preprints from 22nd Conference on Agricultural and Forest Meteorology*, American Meteorological Society (Atlanta, Georgia), 227-230.
- Yoon, I. H., K. D. Min, and K. E. Kim, 1994: A study on the meteorological characteristics of Taegu area and its application to the atmospheric dispersion modelling: II.

- Characteristic features of the urban heat island : a case study. *Journal of Korean Meteorological Society* **30**, 303-313. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., D. S. Yi, J. Y. Choi, S. I. Cho, E. W. Park, and H. Hwang, 1999: Elevation-corrected spatial interpolation for near-real time generation of meteorological surfaces from point observations. *AgroInformatics Journal* **1**, 28-33. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., and K. H. Lee, 2000: Agroclimatology of North Korea for paddy rice cultivation: preliminary results from a simulation experiment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **2**, 47-61. (In Korean with English abstract)