

일별 국지기온 결정에 미치는 관측지점 표고영향의 계절변동*

윤진일¹ · 최재연² · 안재훈³

¹경희대학교 생명자원과학연구원/농학과

²화성군농업기술센터, ³고령지농업시험장

(2001년 4월 16일 접수)

Seasonal Trend of Elevation Effect on Daily Air Temperature in Korea*

Jin I. Yun¹, Jae-Yeon Choi² and Jae-Hoon Ahn²

¹Department of Agronomy/Institute of Life Science and Natural Resources,
Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea

²Hwasung City Agricultural Technology Center, KARES, Hwaseong 445-890, Korea

³National Alpine Agricultural Experiment Station, RDA, Pyongchang 232-950, Korea

(Manuscript received 16 April 2001)

ABSTRACT

Usage of ecosystem models has been extended to landscape scales for understanding the effects of environmental factors on natural and agro-ecosystems and for serving as their management decision tools. Accurate prediction of spatial variation in daily temperature is required for most ecosystem models to be applied to landscape scales. There are relatively few empirical evaluations of landscape-scale temperature prediction techniques in mountainous terrain such as Korean Peninsula. We derived a periodic function of seasonal lapse rate fluctuation from analysis of elevation effects on daily temperatures. Observed daily maximum and minimum temperature data at 63 standard stations in 1999 were regressed to the latitude, longitude, distance from the nearest coastline and altitude of the stations, and the optimum models with r^2 of 0.65 and above were selected. Partial regression coefficients for the altitude variable were plotted against day of year, and a numerical formula was determined for simulating the seasonal trend of daily lapse rate, i.e., partial regression coefficients. The formula in conjunction with an inverse distance weighted interpolation scheme was applied to predict daily temperatures at 267 sites, where observation data are available, on randomly selected dates for winter, spring and summer in 2000. The estimation errors were smaller and more consistent than the inverse distance weighting plus mean annual lapse rate scheme. We conclude that this method is simple and accurate enough to be used as an operational temperature interpolation scheme at landscape scale in Korea and should be applicable to elsewhere.

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

I. 서 언

기온은 식물의 대사과정에 직접적인 영향을 끼침으로서 성장과 발육을 결정하는 중요한 환경요인이며, 식물은 개체 및 군락 수준에서 기온의 일 변화, 계절

변화, 혹은 영년 변화에 반응한다. 최근의 농업 및 산림 생태계 연구는 기온을 비롯한 환경요인의 영향을 생리과정의 정량적 모의를 근거로 이해하고, 이를 넓은 지역으로 확대하여 다양한 시간적 주기로 예측하는 방향으로 나아가고 있다(Running and Hunt, 1991;

Petersen *et al.*, 1995). 이에 따라 몇 개 지점에서 관측된 기온자료를 토대로 넓은 지역의 기온분포, 즉 국지기온의 공간변이를 추정하는 기법도 활발하게 연구되어왔다.

국지기온 결정인자 가운데 특히 고도의 영향이 현저하므로 비관측점과 공간내삽에 사용되는 주변 관측점 간 표고편차를 기온감율에 의해 보정해주는 간단한 방법은 상대적으로 복잡한 다른 기법들에 비해 우수한 결과를 보인다(Nalder and Wein, 1998). 관측점의 해발고도 영향을 고려한 연구 가운데 Dodson and Marks(1997)는 표준대기의 기온감율을 미국 북서 태평양 연안 산악지역의 일 최고 및 최저기온 내삽에 이용함으로써 총 830,000 km²의 일별 기온분포를 1 km×1 km 공간 해상도로 작성한 바 있다. Yun *et al.*(1999)은 정규기상관측소의 매시 기온관측자료를 내삽하여 전국분포를 얻기 위해 관측점과의 표고편차에 역시 표준대기의 기온감율을 날짜와 시간에 무관하게 일률적으로 적용하여 거리가중내삽 결과의 보정에 사용하였다.

지구대기의 건조단열감율은 -0.0098°C m⁻¹로 상수이지만, 수증기로 포화된 대기의 기온감율은 지표 부근의 -0.004°C m⁻¹부터 대류권 중간의 -0.007°C m⁻¹를 거쳐 권계면 부근에서는 건조단열감율과 거의 같아진다(Wallace and Hobbs, 1977). 그러나 산악지역에서 경사를 따라 이동할 때 관찰되는 기온변화양상은 표준대기의 연직 기온감율 양상과 다를 뿐 아니라 계절, 날짜, 일중 시간에 따라 변화하므로, 시공간적인 변화속성을 감안하여 내삽 대상 기온의 시간적 규모에 따라 각기 다른 상수를 적용하거나 경험적인 예측식을 얻는 것이 일반적이다.

Yun *et al.*(2000)은 한반도의 지리조건에 알맞은 일 최저기온 공간내삽기법으로서 먼저 거리역산기중에 의해 관측소 해발고도에 근거한 가상지형과 기온관측값에 근거한 초기기온표면을 각각 만들고, 각 격자점의 실제 지형과 가상지형간 고도편차에 경험적으로 얻은 기온감율의 계절변동을 적용, 초기기온표면을 보정해주는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 추구하는 기온감율 역시 연직 상방의 대기 중에서 관찰되는 것이 아니라, 산록 경사지를 수직 및 수평 양 방향으로 이동하면서 경험하게 되는 지상 1.5 m 기온의 변화율로서, 앞으로 이 논문에서 “기온감율”이라 함은 이러한 “산사면 기온감율”(mountain slope lapse rate)을 일컫

는다.

근년에 들어 국내에서도 그 사용이 늘어나고 있는 작물모형 등 생태계 관리용 의사지원수단이 점 단위에서 지역규모로 그 적용공간을 확대해가는 추세를 감안한다면, 한반도를 대상으로 하여 다양한 지역규모에서 일기온값의 공간변이를 정확하게 추정하는 일은 매우 중요하다. 본 연구에서는 우리 나라의 자연환경 조건에서 관찰되는, 해발고도에 따른 일별 기온 변화양상을 분석하여 계절별 기온감율을 결정하고 이를 이용한 기온 추정값의 신뢰성을 평가하였다. 우선 기상청 표준관측망을 통해 수집된 한 해 동안의 일 평균, 최고, 최저기온값을 이들 관측지점의 위도, 경도, 해안거리 및 표고에 회귀시켜 최적모형을 작성하고, 이 모형의 표고 편회계수를 기온감율로 간주하였다. 이 기온감율의 계절별동을 수식화하여 공간내삽과정에 적용함으로써 계절별로 임의 날짜의 기온을 추정하고 이를 기존의 방법에 의해 추정된 결과와 비교하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 기온감율 추정

도서지방을 제외한 전국 63개 표준관측소(해발고도 범위 17~840 m)에서 1999년 1월 1일부터 12월 31일까지 생산한 일별 기상자료를 수집하였다. 표고가 다른 두 지점간 기온편차에는 표고차에 의한 부분 외에도 각 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 표고차에 의한 부분만을 추출하고자 하였다. 먼저 대상지역 내 날씨의 이질성에 의한 잡음을 제거하기 위해 전운량 2 미만과 8 이상이 기록된 관측소 자료만 발췌하였다. 다음에는 이들 자료 가운데 같은 날짜에 포함되는 관측소의 수가 33개 이상인 자료, 즉 남한 전역의 반 이상이 전운량 2 미만 혹은 8 이상으로 아주 맑거나 흐린 균질적인 자료만 다시 선별하였다. 따라서 선별된 날짜별로 33개 이상 63개까지의 관측값을 가진 자료세트가 준비되었다.

준비된 일별 평균, 최고, 최저기온자료를 관측소 표고값에 회귀시켜 1차회귀식을 얻었다. 이들 중 회귀식의 결정계수 (r^2)가 0.34 이상인 것만 선별하였다. 선별된 식의 회귀계수를 해당 날짜의 “외견상 기온감율”(apparent lapse rate; ALR)로 명명하였다.

다음에는 선행연구들(Shin and Yun, 1992; Shin *et al.*, 1999; Yun and Lee, 2000)에 의해 우리나라의 국지기는 결정요인으로 밝혀진 위도, 경도 및 해안으로부터 최단거리를 관측점의 표고와 함께 독립변수로 둔 중회귀 분석을 실시하여 최적모형을 작성하였다. 구체적으로 날짜별 최적 회귀모형은 유의수준 0.05를 기준으로 한 STEPWISE 선택법에 의해 선발하였고(SAS Institute, 1985), 채택된 변수의 종류나 조합과 무관하게 모형의 결정계수가 0.65 이상인 것만 채택하였다. 최적모형의 독립변수들 가운데 관측소 표고변수의 편회귀계수를 “모형 기온감율”(modeled lapse rate: MLR)로 명명하였다.

2.2. 기온감율 적용에 의한 기온 추정

기상청 자동기상관측자료를 얻을 수 있어 독립적인 검증작업이 가능한 전국 267개 지점을 대상으로 계절별 하루씩의 최고 및 최저기온을 ALR과 MLR에 의해 추정하고 이들의 추정오차를 기온감율을 고려하지 않는 거리역산가중(inverse distance weighting; IDW)에 의한 추정오차와 비교하였다. 먼저 2000년 1월 1일, 5월 5일 및 8월 6일 등 계절별로 임의 선정한 사흘에 대해 기상청 63개 지점 표준관측자료의 IDW 내삽에 의해 267개 검증지점의 초기기온값을 추정하였다. 아울러 63개 지점 표고값의 IDW 내삽에 의해 267개 지점의 “평활화 표고값”을 추정한 다음, 그 지점의 실제 표고값과 편차를 계산하였다. 계산된 표고 편차에 외견상 기온감율 ALR과 모형기온감율 MLR을 적용하여 초기기온값을 보정하였다. 대조자료로서는 보정 전의 IDW내삽 초기기온값을 사용하였다.

IDW 추정기온, ALR 추정기온 및 MLR 추정기온과 자동기상관측소의 실측기온값과 편차를 각 방법에 따른 기온 추정오차로 삼았다. 표고변이가 크지 않은 지역에서는 기온감율에 의한 보정효과를 기대하기 어려우므로 방법간 오차 분석 및 추정 신뢰도 비교는 267개 지점 가운데 표고 180 m 이상으로서 산간지대에 위치한 70개 지점에 한정시켰다.

오차분석을 위해 추정오차의 산술평균(mean error: ME), 오차절대값의 평균(mean absolute error: MAE), 그리고 오차 평방근의 평균(root mean square error: RMSE)을 상호비교하였다. ME는 오차가 어느 한 방향으로 치우치는 편기성(bias)을, MAE는 오차범위의 확산성(scatter)을, 그리고 RMSE는 평균분포 패턴을

벗어나는 특이값(outliers)의 존재 여부를 판정하는 데 각각 유용하다.

III. 결과 및 고찰

3.1. “외견상 기온감율”의 계절변화

전운량 2 미만이거나 8 이상인 날의 “외견상 기온감율”은 일평균기온의 경우 겨울철에 증가하고 여름철에 감소하는 경향이다(Fig. 1a). 그러나 기온감율의 변동폭은 여름철이 0.008(최소 -0.001°C m⁻¹, 최대 -0.009°C m⁻¹)로서 겨울철 0.004(최소 -0.008°C m⁻¹, 최대 -0.012°C m⁻¹)의 약 두 배에 달한다. 맑은 날과 흐린 날 사이에 기온감율의 차이는 뚜렷하지 않다.

일최고기온의 외견상 감율은 평균기온과 비슷한 계절변동양상을 보이는데, 다만 평균기온에 비해 줄어드

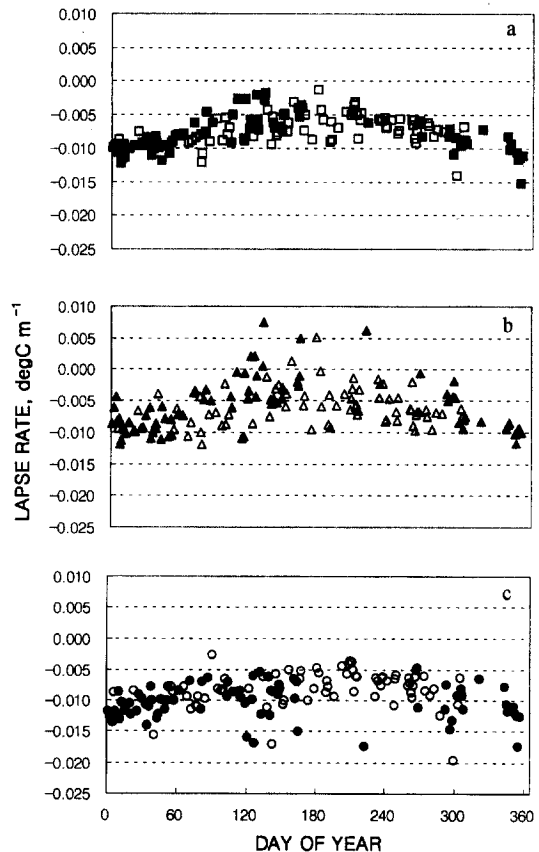


Fig. 1. “Apparent lapse rate” of daily average (top), maximum (middle), and minimum (bottom) temperatures. Sky condition of each day is expressed as solid (clear: cloud amount < 2) or empty (overcast: cloud amount > 8) symbol.

는 방향으로 그 변동폭이 확대되었다(Fig 1b). 즉 겨울철에도 평균기온 경우의 두 배 정도로 최고기온 감율의 변동폭이 늘어나며, 특히 5월초에서 8월 중순까지는 고도증가에 따라 기온이 오히려 상승하는 역전사례도 발견되는 등, 그 변동폭이 매우 크다. 관측되는 8개 기온 역전사례 중 6개는 전운량 2 미만인 맑은 날 발생하였는데, 이는 Kim and Hong(1996)이 보고한 영동지방의 “유사 핀 (Foehn)” 현상, 즉 “화풍”의 발생과 연관이 있을 것으로 추정된다. 화풍은 4월에서 7월 사이에 일사가 강한 날이 2~3일 지속되고, 서풍 계열이 탁월할 때 영동지방에 고온건조현상이 나타나는 것을 일컫는다. 일반적으로 알려진 “핀” 현상이 풍상측의 강수탈락에 기인하는 데 비해 화풍의 원인은 우리 나라 남서쪽으로부터 상륙한 공기가 태백산맥 풍상측에 이르기까지 지형적인 고도상승에 따르는 기온의 건조단열하강이 지표면 가열에 의해 상쇄되기 때문으로 추정된다. 이 현상이 나타날 때 영서지방 대기하층(850 hPa 이하)에는 온도 역전층이 관측되며(Kim and Hong, 1996), 본 실험에서 관찰되는 맑은 날의 일최고기온 역전사례와 그 발생시기에 있어 유사하다.

일최저기온의 경우 몇 개의 예외적인 높은 값을 제외한다면 계절에 따른 기온감율의 변동폭이 0.006 정도로 거의 일정하다(Fig. 1c). 평균기온이나 최고기온의 경우 여름철 감율변동폭의 증대가 주로 평균에 비해 낮은 쪽으로의 확산에 기인하는 데 비해 최저기온의 경우에는 오히려 높아지는 쪽으로 몇 개의 특이값이 나타나는 등, 전체적으로 $-0.005^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 이상의 안정된 값을 보인다.

이들 외견상 기온감율이 도출된 단순회귀식의 결정계수를 비교해보면 일평균기온의 경우 이른 봄과 늦가을에 0.7 정도의 최대점이 나타나며, 여름철에 가장 낮은 경향이다(Fig. 2a). 일최고기온 회귀식의 결정계수는 더욱 뚜렷한 계절적 특징을 보이는데, 역시 여름철에 상대적으로 작아졌다(Fig. 2b). 일최저기온의 결정계수는 반대로 봄, 여름, 가을에 걸쳐 주로 흐린 날 결정계수가 높고, 겨울에 낮은 특징을 보인다(Fig. 2c). 그러나 그 변동폭은 역시 여름철에 더 크다.

이들 144일 자료 가운데 회귀식의 결정계수가 0.34 미만인 자료를 제거하여 좀더 명확한 경향을 보면, 일평균기온의 경우 변동양상은 크게 달라지지 않으나 주로 여름철의 낮은 값들이 소거됨에 따라 여름철 $-0.004\sim-0.009^{\circ}\text{C m}^{-1}$, 겨울철 $-0.009\sim-0.013^{\circ}\text{C m}^{-1}$

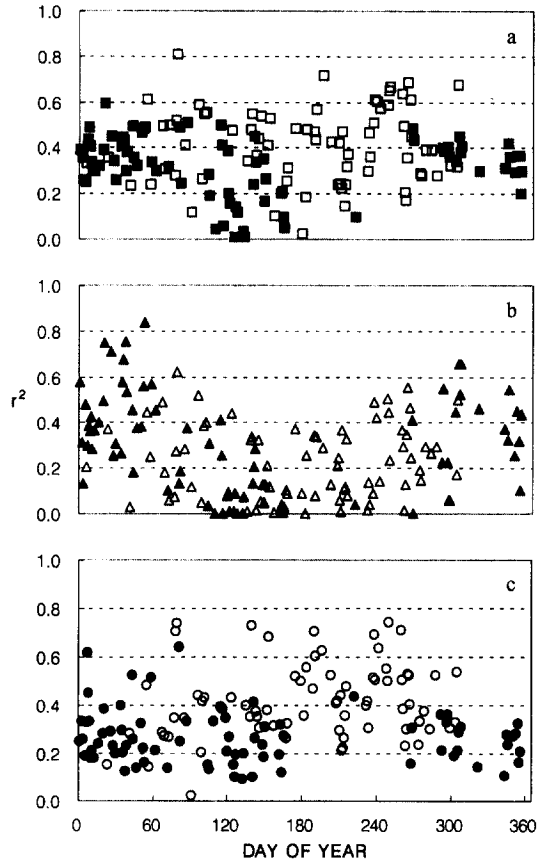


Fig. 2. Coefficients of determination for the simple linear regression of the observed daily average (top), maximum (middle), and minimum (bottom) temperature to the station elevation. Solid and empty symbols indicate clear (cloud amount < 2) and overcast (cloud amount > 8) sky conditions, respectively.

정도로 안정화 된다(Fig. 3a). 일최고기온의 외견상 기온감율 역시 여름철의 역전사례들이 모두 소거되고 연중 $-0.004\sim-0.012^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 의 비교적 안정된 양상을 보인다(Fig. 3b). 일최저기온의 경우 상대적으로 잡음제거 효과가 적어 오히려 계절적인 변동양상이 불규칙해진다(Fig. 3c). 일 평균기온을 제외하고는 변동경향을 토대로 기온감율의 계절에 따른 주기성을 정량화 하기에는 미흡하다. 회귀식의 결정계수가 0.34 이상인 자료가 평균기온 88일, 최고기온 55일, 그리고 최저기온 63일에 그쳐 그 신뢰성이 낮긴 하나, 이들 자료를 토대로 계산된 연평균 기온감율은 평균기온 $-0.0081^{\circ}\text{C m}^{-1}$, 최고 및 최저기온 각각 $-0.0087^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 로서 흔히 사용되는 연평균값 $-0.0065^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 에 비해 높은 경향이다.

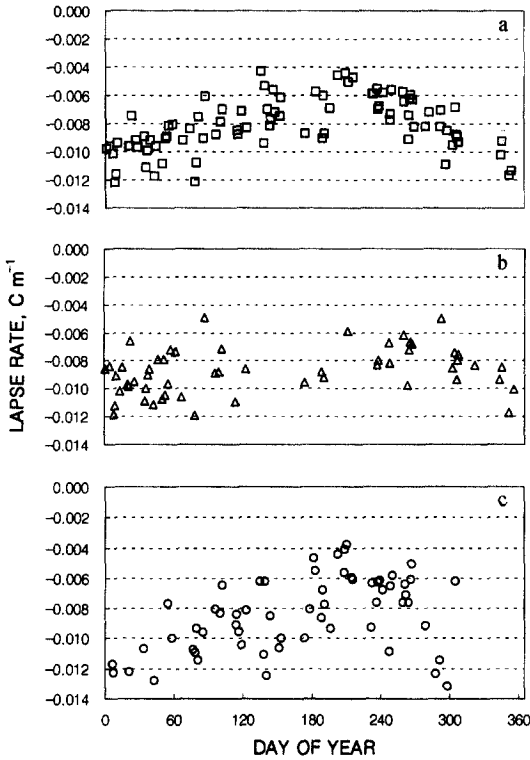


Fig. 3. "Apparent lapse rate" with r^2 values of 0.34 and over for the simple linear regression of the observed daily average (top), maximum (middle), and minimum (bottom) temperature to the station elevation.

3.2. "모형 기온감율"의 계절변화

기온감을 위도, 경도, 해안거리, 그리고 해발고도에 회귀시켜 얻은 중회귀모형들 가운데 결정계수가 0.65 이상인 경우는 일평균기온 99개, 일최고기온 67개, 일최저기온 77개로서 가을, 겨울에는 주로 맑은 날이, 봄과 여름에는 흐린 날의 자료가 이용되었다. 이들 모형의 구성 변수 중 관측점 표고의 편회귀계수, 즉 "모형 기온감율"만을 날짜에 따라 작도한 것이 Fig. 4이다.

전체적으로 외견상 기온감율과 비교할 때 연중 변동 경향에 일정한 주기성이 나타남을 알 수 있다. 가장 뚜렷한 것은 역시 일 평균기온으로서 3월초에 최대값, 9월초에 최소값이 되는 전형적인 파동성을 보인다 (Fig. 4a). 연중 날짜에 따른 기온감율 절대값 변화 경향을 Fourier fitting에 의한 365일 주기의 함수로 표현하면

$$|\Gamma| = 0.00688 + 0.0015 \cos \{0.0172(i - 60)\} \quad (1)$$

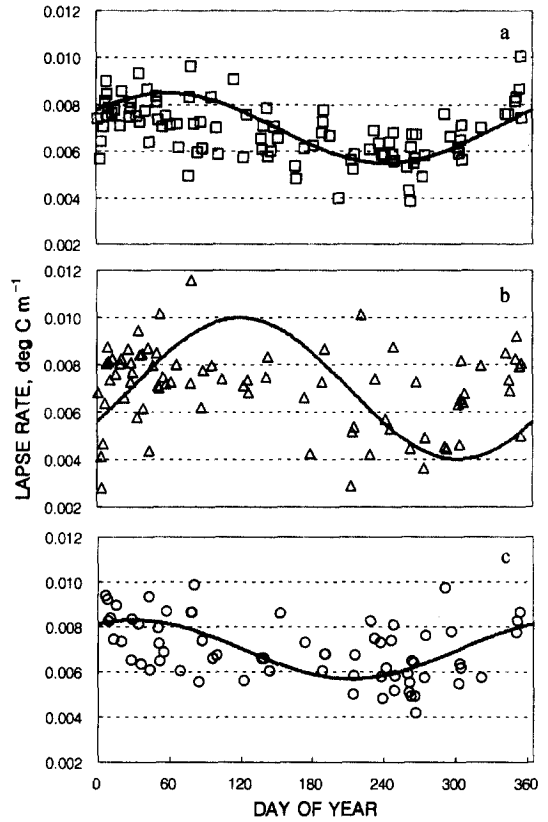


Fig. 4. Scatter plot of the partial regression coefficients of station elevation in the daily average (top), maximum (middle), and minimum (bottom) temperature models. The sinusoidal lines were manually fitted for the corresponding scatter plots.

이 된다. 여기서 i 는 연중날짜(1월 1일 = 1, 12월 31일 = 365)를 가리킨다. 관측된 사례들 중 90% 이상이 이 파동을 중심으로 $\pm 0.002^\circ\text{C m}^{-1}$ 범위에 포함되는데, 이 식에 의해 추정되는 일 평균기온의 고도 100 m 상승에 따른 감율은 9월의 0.56°C 부터 3월의 0.84°C 로서 평균값은 표준대기의 평균 기온감율과 크게 다르지 않다.

그러나 일최고기온의 경우에는 선발된 회귀모형이 67개로서 일평균기온에 비해 훨씬 적었고, 연중 변동 폭도 불규칙하다(Fig. 4b). 육안에 의해 불연속적인 부분의 변화 경향을 추정하면 최대값은 5월초에, 최소값은 11월초에 출현하여 평균기온에 비해 두 달 정도 지연된다. 역시 주기함수를 도출하면

$$|\Gamma| = 0.00708 + 0.003 \cos \{0.0172(i - 120)\} \quad (2)$$

이며, 90% 이상의 관측사례가 이 파동을 중심으로 $\pm 0.003^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 범위에 포함된다.

일 최저기는 감율분포의 경우 최대값의 출현시기가 1월말 경으로 평균기온에 비해 두 달 정도 이르다 (Fig. 4c). 연중 날짜에 따른 변화경향을 주기함수로 표현하면

$$|\Gamma| = 0.00695 + 0.0013 \cos \{0.0172(i - 30)\} \quad (3)$$

이 된다.

산악지대에 위치한 기상관측소의 표고에 따른 기온 변화양상은 표준대기의 연직 기온 프로파일과는 달리 지역, 계절, 그리고 분석방법에 따라 달라진다. 남북한 51개 정규기상관측소(표고범위 3 m~1,386 m)의 14년 간 월평균 기온값을 관측소의 지리지형특성에 회귀시켜 얻은 평균 기온감율의 절대값은 월별로 최저기온 $0.008 \sim 0.01^{\circ}\text{C m}^{-1}$, 최고기온 $0.006 \sim 0.008^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 로서 월별로는 이른 봄에 가장 크고 여름철에 작아지는 경향이 있었다(Yun and Lee, 2000). 한편, 비슷한 공간규모인 북미 애팔래치아 산악지대(표고범위 239 m~1,967 m)의 지역평균 기온감율(regional lapse rate)은 일 최저기온 $0.003 \sim 0.006^{\circ}\text{C m}^{-1}$, 일 최고기온 $0.004 \sim 0.008^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 로서 한반도의 경우와 그 크기나 계절변동이 다르며, 최대값 출현시기도 여름철로서 상반된 결과를 보였다(Bolstad *et al.*, 1998). 하지만 이 지역 내 특정 분지에서 관측된 자료만을 이용할 경우 국지 기온감율(local lapse rate)은 그 최대값이 4월에 나타났으며, 특히 최고기온의 감율은 여름철에 가장 낮아 같은 지역이라 할지라도 분석대상 공간의 규모에 따라 상충되는 결과를 보였다. 우리 실험에서 표준기상관측소 자료를 이용하여 도출한 MLR은 지역규모의 기온감율로서 Bolstad *et al.*(1998)의 regional lapse rate와 유사하나, 그 계절변동 추세는 오히려 local lapse rate와 더 닮아 보인다.

3.3. 외견상 기온감율과 모형 기온감율에 의한 기온 추정오차

다양한 농업모형에서 구동변수로 요구되는 기온자료는 일평균기온이 아니라 최고 및 최저기온인 경우가 흔하다. 이는 두 극기온값을 알면 내삽에 의해 시간대별 기온값을 추정할 수 있기 때문이다(Parton and Logan, 1981). 본 연구에서는 일 최고기온과 최저기온을 연 평균 ALR(최고기온 및 최저기온 각 -0.0087

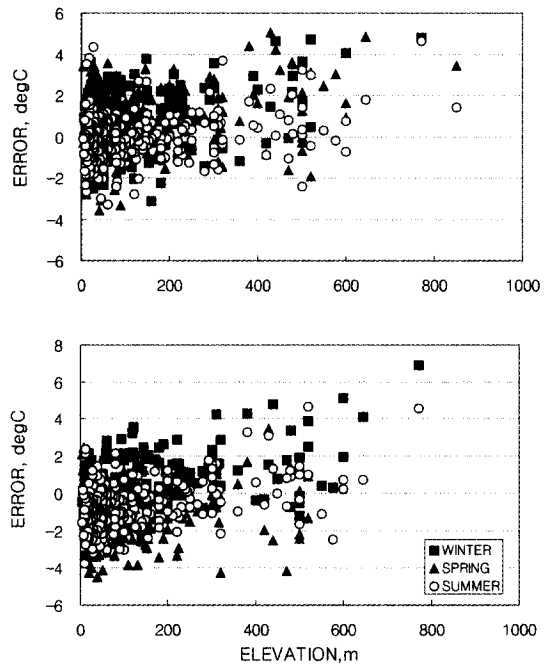


Fig. 5. Estimation errors of IDW interpolated daily minimum (top) and maximum (bottom) temperatures at 267 locations on a winter (1 January), a spring (5 May), and a summer (6 August) date in 2000.

$^{\circ}\text{C m}^{-1}$)과 식 (2)와 (3)으로 표현되는 MLR에 의해 추정하여 상대적인 추정신뢰도를 비교하고자 하였다.

먼저 IDW에 의해 추정된 267개 지점의 1월 1일, 5월 5일, 8월 6일의 최고 및 최저기온값과 자동기상관측소의 실측값간 편차를 관측지점의 표고에 따라 표현해보면, 봄철 일 최고기온을 제외한 모든 경우에 기온 추정 대상지점의 표고가 높아질수록 과대추정 쪽으로 오차가 커지고 있다(Fig. 5). 표고 200 m 부근부터는 대부분 실측기온보다 높은 값을 예측하며, 겨울철 일 최고기온의 경우 해발 800 m 부근에서는 추정오차가 최대 7°C 에 달한다. 기상관측소의 표고가 200 m 이상이라 함은 이들이 설치된 지역이 대개 산간지대임을 의미한다. 이곳은 평야지에 비해 표고변이가 심할 것이며, 내삽과정에 이용된 주변 표준기상관측소에 비해 상대적으로 높은 위치일 가능성이 크다. 따라서 표준기상관측소 기온값의 내삽에 의해 추정된 이들 지역의 기온값이 실측값에 비해 높아지는 것은 당연하다.

이러한 산간지대의 추정오차를 줄이기 위해, 내삽과정에 이용된 표준관측소 표고값으로 이루어진 가상지형과 실제 표고간 편차에 ALR과 MLR을 적용하여

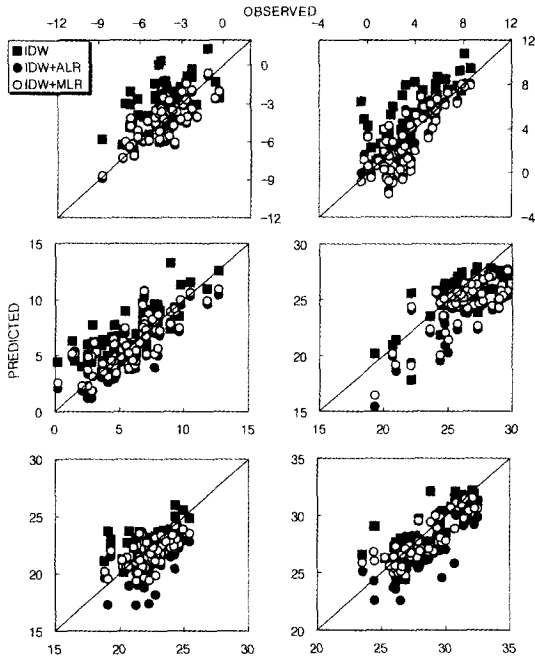


Fig. 6. Daily minimum (left panel), maximum (right panel) temperature for the sites with higher than 180m elevation predicted by IDW, IDW+ALR, and IDW+MLR interpolation schemes, respectively. Plotted against the observations on 1 January (top), 5 May (middle), and 6 August (bottom) in 2000.

산출한 일 최저 및 최고기온값을 실측치와 비교한 것이 Fig. 6이다. 1월 1일 최저기온의 경우 ALR과 MLR값이 거의 비슷해지므로 추정오차 역시 서로 유

사하다. 이 날 최고기온은 ALR을 적용한 경우가 실측치와 좀더 가깝다. 기온감율을 고려하지 않은 IDW 내삽은 5월 5일 최고기온에서는 오히려 고도보정을 한 것보다 나은 결과를 보였다. 이는 ALR의 결정계수 (r^2)가 봄-여름철에 가장 낮았던 사실과 함께, 봄철의 일 최고기온 결정과정에서 위도, 경도, 해안거리 및 표고 외에 다른 요인이 심각하게 작용하므로 이들 변수만으로 구성된 통계모형 역시 신뢰성이 낮다는 것을 의미한다. 이들 사례 외 모든 경우에는 MLR을 적용하여 추정된 기온값이 실측치에 가장 근접하였다. 즉 몇 개 특이한 경우를 제외하고는 기온감율의 계절 변동을 설명하는 중회귀모형의 표고 편회귀계수로 나타난 MLR을 적용하는 것이 IDW는 물론, 연중 같은 값을 갖는 ALR을 사용한 결과보다 더 우수하거나 최소한 동등한 예측능력을 보였다.

이 같은 사실은 추정오차를 ME, MAE, 그리고 RMSE로 표현할 경우 더욱 확실하게 드러난다(Table 1). ME 값에 의해 추정기온의 편기성을 비교해 보면, 기존의 IDW 추정기온은 5월 5일 최고기온을 제외하고는 모두 실제보다 높은 방향으로 편기되며, ALR을 적용한 추정기온은 항상 실제보다 낮은 쪽으로 편기될 뿐 아니라 그 폭도 다른 추정법에 비해 크다. 반면 MLR을 적용해서 추정된 기온값은 5월 5일 최고기온에서만 1.5°C 정도의 낮은 값 쪽으로 편기될 뿐, 나머지 경우에는 +0.03에서 -0.57°C로 양호하다. MAE 값으로 표현되는 추정오차의 분포범위도 MLR 적용시

Table 1. Estimation errors of 3 interpolation schemes averaged across 70 observation sites in mountainous area (altitude of 180m and above) on randomly selected winter, spring and summer dates in 2000

Date	Maximum temperature				Minimum temperature		
	Error	IDW	IDW+ALR	IDW+MLR	IDW	IDW+ALR	IDW+MLR
1 Jan.	ME	1.26	-0.16	-0.33	1.31	-0.08	0.03
	MAE	1.38	1.04	1.13	1.64	0.94	0.94
	RMSE	1.61	1.44	1.52	1.62	1.18	1.17
	R	0.78	0.84	0.82	0.55	0.76	0.76
5 May	ME	-0.50	-1.77	-1.51	1.22	-0.14	0.16
	MAE	1.00	1.54	1.34	1.66	1.25	1.11
	RMSE	1.56	1.66	1.54	1.67	1.62	1.50
	R	0.72	0.74	0.76	0.75	0.78	0.80
6 Aug.	ME	0.19	-1.28	-0.51	0.36	-1.09	-0.57
	MAE	0.97	1.39	0.89	0.97	1.54	1.09
	RMSE	1.40	1.31	1.07	1.28	1.55	1.22
	R	0.75	0.79	0.85	0.49	0.45	0.55

ME, mean error; MAE, mean absolute error; RMSE, root mean square error; R, correlation coefficient

0.89~1.34°C로서 비교적 낮고 안정된 값을 보인 반면, ALR을 이용한 오차범위는 0.94~1.54, IDW만으로 추정된 경우에는 0.97~1.66으로 확대되었다. RMSE의 경우 MLR 추정오차는 여름철 최고기온 추정시 가장 낮고, 봄철에 가장 높았지만 그 폭은 1.07~1.54°C로 다른 방법에 비해 낮았다. 겨울철에는 ALR 추정기온의 오차가 가장 작은 값을 보였으나, 여름철에는 반대로 ALR 추정오차가 가장 컸다. IDW에 의한 추정오차는 여름철만 제외하고 거의 1.6°C를 상회하였으며, 상대적으로 낮은 추정오차를 보인 5월 5일 최고기온에 있어서도 RMSE 만큼은 MLR 추정오차에 비해 오히려 높았다.

결론적으로 기존의 IDW 혹은 ALR을 이용하는 방법은 일년 중 특정 기간에 제한적으로 좋은 추정능력을 보이나 다른 대부분 기간에는 취약점을 보이므로, 이들 대신에 MLR을 적용할 경우 연중 지속적으로 추정오차를 줄일 수 있을 것이다.

비관측지점의 기온값을 추정하는 과정에서 우리가 사용한 지역평균 기온감율보다는 인근 관측소간에 관찰되는 국지적인 기온감율을 적용하는 것이 바람직하지만, 국지기온감율은 시공간적으로 더욱 변이가 심하므로 정확한 적용을 위해서는 훨씬 조밀한 관측망과 자료분석 노력이 요구된다. 이는 계절별, 지역별로 국지기온 결정인자가 매우 다양한 데서 그 이유를 찾을 수 있다. 한 두 지점에서 얻은 국지기온감율을 전국적으로 적용한다면 오히려 지역 평균기온감율을 적용한 것보다 더 큰 오류를 범할 수 있다. 예컨대 계곡하부에서 관측된 국지기온감율은 냉기침강에 의한 기온역전 등의 영향으로 계곡상부 혹은 산간 고지대의 실제 기온감율에 비해 낮은데(Bolstad *et al.*, 1998), 만약 이를 확대 적용한다면 기온 추정오차 역시 확대될 수밖에 없다.

본 실험에서 제시한 MLR 적용기법은 기존의 IDW 내삽기온을, 비교적 용이하게 얻을 수 있는 중회귀모형의 표고 편회귀계수에 의해 보정함으로써 신뢰성 있는 기온값을 연중 지속적으로 얻을 수 있다는 데 기술진보의 의미를 갖는다. 또한 이미 보편화된 IDW 내삽과정에 MLR 계산함수만 추가하면 되기 때문에 실용적인 측면에서도 이점이 있다.

일최고기온의 감율 추정이 다른 기온에 비해 어려운 이유는 사면 일사 수광량의 차이를 이 방법에서 전혀 고려하지 않았기 때문으로 보인다. 복잡한 산악지대의 낮시간대 기온 분포는 특히 사면 경사(방향과 크기)와

태양의 위치간 기하학적 관계에 크게 의존하므로, 그 과정을 일 기온 공간내삽모형에 반영하거나 혹은 간이 방법으로서 사면 노출도(Regniere, 1996)를 이용할 수 있을 것이다.

IV. 적 요

작물모형 등 생태계 관리용 의사지원수단의 적용공간이 점 단위에서 지역규모로 확대되는 추세에 따라 이들 모형의 구동변수로 가장 널리 이용되는 일 최고 및 최저기온 공간변이의 정확한 추정이 요구된다. 특히 고도변이가 심하고 지형이 복잡한 우리 나라의 경우 국지기온의 결정인자가 다양하여 단순한 기존의 공간내삽기법을 개선할 필요성이 더욱 절실하다. 본 연구에서는 해발고도에 따른 일별 기온 변화양상을 분석하여 계절별 기온감율을 결정하고 이를 이용한 기온 공간내삽방법에 의해 일 최고 및 최저기온을 추정하여 그 추정오차를 기존 방법과 비교하였다. 먼저 기상청 63개 표준관측소에서 수집된 1999년 한 해 동안의 일 최고, 최저기온값을 이들 관측지점의 위도, 경도, 해안 거리 및 표고에 회귀시켜 최적모형을 작성하고, 이 모형의 표고 편회귀계수를 기온감율로 간주하였다. 이 기온감율의 계절변동을 주기함수화 하여 거리가중에 의한 내삽과정에 표고편차의 영향을 추가하였다. 기상청 지동기상관측소 267개 지점에 이 방법을 적용하여 2000년 1월, 5월, 8월의 임의 날짜 최고 및 최저기온을 추정하고 이를 기존의 방법에 의해 추정된 결과와 비교한 결과, 오차평균, 절대오차평균, 그리고 평방근 오차평균 측면에서 연중 지속적인 개선효과를 보였다. 이 방법은 적용이 간편하고 추정값의 신뢰도가 높아 기존의 거리가중법이나 연평균 기온감율 적용법을 대신하여 하루 단위의 시간규모와 1 km 이상 수 km 단위의 공간규모에서 실용적인 기온변이 추정법으로 사용할 수 있다.

인용문헌

- Bolstad, P. V., L. Swift, F. Collins, and J. Regniere, 1998: Measured and predicted air temperatures at basin to regional scales in the southern Appalachian mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*, **91**, 161-176.
- Dodson, R. and D. Marks, 1997: Daily temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountain-

- ous region. *Climate Research*, **8**(1), 1-20.
- Kim, Y. S., and S. G. Hong, 1996: A study of quasi-Foehn in the Youngdong district in late spring or early summer. *Journal of Korean Meteorological Society*, **32**, 593-600. (In Korean with English abstract)
- 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.
- Parton, W. J., and J. A. Logan, 1981: A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agricultural Meteorology*, **23**, 205-216.
- Petersen, G. W., J. C. Bell, K. McSweeney, G. A. Nielsen and P. C. Robert, 1995: Geographic information systems in agronomy. *Advances in Agronomy*, **55**, 67-111.
- Regniere, J., 1996: A generalized approach to landscape-wide seasonal forecasting in temperature-driven simulation models. *Environmental Entomology*, **25**, 869-881.
- Running, S., and E. L. Hunt, 1991: Regional hydrologic and carbon balance responses of forests resulting from potential climate change. *Climatic Change*, **19**, 349-368.
- SAS Institute, 1988: *SAS/STAT User's Guide, Release 6.03* Edition. SAS Institute Inc., NC, USA.
- 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)
- Wallace, J. M., and P. V. Hobbs, 1977: *Atmospheric Science-an introductory survey*. Academic Press, New York, USA.
- 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)
- 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)