

산악지대 기온감율의 계절변이

윤영관¹, 김경희¹, 최재연², 윤진일¹
¹경희대학교 농학과, ²화성군농업기술센터

Seasonal Trend of Elevation Effect on Daily Air Temperature in Korea

Young-Kwan Yoon¹, Kyung-Hee Kim¹, Jae-Yeon Choi² and Jin I. Yun¹

¹Department of Agronomy, Kyung Hee University; ²Hwasung City Agricultural Technology Center,
KARES

(Correspondence: jiyun@khu.ac.kr)

1. 서언

국지기온 결정인자 가운데 특히 고도의 영향이 현저하므로 비관측점과 공간내삽에 사용되는 주변 관측점간 표고편차를 기온감율에 의해 보정해주는 간단한 방법은 상대적으로 복잡한 다른 기법들에 비해 우수한 결과를 보인다 (Nalder and Wein, 1998). 지구대기의 건조단열감율은 $-0.0098^{\circ}\text{Cm}^{-1}$ 로 상수이지만, 수증기로 포화된 대기의 기온감율은 지표 부근의 $-0.004^{\circ}\text{Cm}^{-1}$ 부터 대류권 중간의 $-0.007^{\circ}\text{Cm}^{-1}$ 를 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 변하므로, 시공간적인 변화속성을 감안하여 내삽 대상 기온의 시간적 규모에 따라 각기 다른 상수를 적용하거나 경험적인 예측식을 얻는 것이 일반적이다.

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.

2. 재료 및 방법

2.1 기온감율 추정

도서지방을 제외한 전국 63개 표준관측소 (해발고도 범위 17 ~ 840m)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 선행연구들에 의해 우리나라의 국지기온 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, 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 표고값간 편차를 계산하였다. 계산된 표고편차에 외견상 기온감율 ALR과 모형기온감율 MLR을 적용하여 초기기온값을 보정하였다. 대조자료로서는 보정 전의 IDW내삽 초기기온값을 사용하였다.

IDW 추정기온, ALR 추정기온 및 MLR 추정기온과 자동기상관측소의 실측기온값간 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 180m 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.

3. 결과 및 고찰

전운량 2 미만이거나 8 이상인 날의 “외견상 기온감율”은 일평균기온의 경우 겨울철에 증가하고 여름철에 감소하였다. 그러나 기온감율의 변동폭은 여름철이 0.008 (최소 $-0.001^{\circ}\text{Cm}^{-1}$, 최대 $-0.009^{\circ}\text{Cm}^{-1}$)로서 겨울철 0.004 (최소 $-0.008^{\circ}\text{Cm}^{-1}$, 최대 $-0.012^{\circ}\text{Cm}^{-1}$)의 약 두 배에 달한다. 맑은 날과 흐린 날 사이에 기온감율의 차이는 뚜렷하지 않았다. 일최고기온의 외견상 감율은 평균기온과 비슷한 계절변동양상을 보이는데, 다만 평균기온에 비해 줄어드는 방향으로 그 변동폭이 확대되었다. 즉 겨울철에도 평균기온 경우의 두 배 정도로 최고기온 감율의 변동폭이 늘어나며, 특히 여름철에는 고도증가에 따라 기온이 오히려 상승하는 역전사례도 발견되는 등, 그 변동폭이 매우 크다. 관측되는 8개 기온 역전사례 중 6개는 전운량 2 미만인 맑은 날 발생하는데, 이는 영동지방의 “유사 편 (Foehn)” 현상, 즉 “화풍”의 발생과 연관이 있을 것으로 추정된다. 화풍은 4월에서 7월 사이에 일사가 강한 날이 2~3일 지속되고, 서풍계열이 탁월할 때 영동지방에 고온건조현상이

나타나는 것을 일컫는다. 일반적으로 알려진 “푼” 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(850hPa 이하)에는 온도 역전층이 관측되며 (Kim and Hong, 1996), 본 실험에서 관찰되는 맑은 날의 일최고기온 역전사례와 그 발생시기에 있어 유사하다. 맑은 날과 흐린 날의 기온감률 차이는 역시 뚜렷하지 않았다. 일최저기온의 경우 몇 개의 예외적인 높은 값을 제외한다면 계절에 따른 기온감률의 변동폭이 0.006 정도로 거의 일정하였다. 평균 기온이나 최고기온의 경우 여름철 감률변동폭의 증대가 주로 평균에 비해 낮은 쪽으로의 확산에 기인하는 데 비해 최저기온의 경우에는 오히려 높아지는 쪽으로 몇 개의 특이값이 나타나는 등, 전체적으로 $-0.005^{\circ}\text{Cm}^{-1}$ 이상의 안정된 값을 보인다.

이들 자료를 토대로 계산된 연평균 기온감률은 평균기온 $-0.0081^{\circ}\text{Cm}^{-1}$, 최고 및 최저기온 각각 $-0.0087^{\circ}\text{Cm}^{-1}$ 로서 흔히 사용되는 연평균값 $-0.0065^{\circ}\text{Cm}^{-1}$ 에 비해 높은 경향이다.

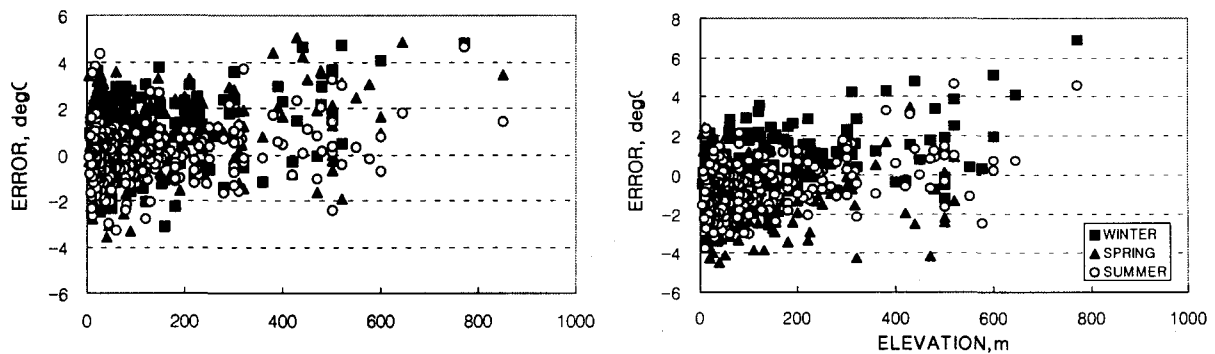


Fig. 1 Estimation errors of IDW interpolated daily minimum (left) and maximum (right) temperatures at 267 locations on a winter (1 January), a spring (5 May), and a summer (6 August) date in 2000.

기온값을 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 기온감률”을 날짜에 따라 작도하면, 일정한 주기성이 나타남을 알 수 있다. 가장 뚜렷한 것은 역시 일 평균기온으로서 3월초에 최대값, 9월초에 최소값이 되는 전형적인 파동성을 보인다. 연중 날짜에 따른 기온감률 절대값 변화경향을 Fourier fitting에 의한 365일 주기의 함수로 표현하면,

$$|T| = 0.00688 + 0.0015 \cos\{0.0172(i - 60)\} \text{ ----- (평균기온)}$$

$$|T| = 0.00708 + 0.003 \cos\{0.0172(i - 120)\} \text{ ----- (최고기온)}$$

$$|T| = 0.00695 + 0.0013 \cos\{0.0172(i - 30)\} \text{ ----- (최저기온)}$$

이 된다. 여기서 i 는 연중날짜 (1월 1일 = 1, 12월 31일 = 365)를 가리킨다.

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 기온추정 대상지점의 표고가 높아질수록 과대추정 쪽으로 오차가 커지고 있다 (Fig. 1). 이러한 산간지대의 추정오차를 줄이기 위해, 내삽과정에 이용된 표준관측소 표고값으로 이루어진

가상지형과 실제 표고간 편차에 ALR과 MLR을 적용하여 산출한 일 최저 및 최고기온값을 실측치와 비교해보면 (Table 1), 기존의 IDW 혹은 ALR을 이용하는 방법은 일년 중 특정 기간에 제한적으로 좋은 추정능력을 보이거나 다른 대부분 기간에는 취약점을 보이므로, 이들 대신에 MLR을 적용할 경우 연중 지속적으로 추정오차를 줄일 수 있을 것이다.

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.

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
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
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

Acknowledgements:

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

인용문헌

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.

Wallace, J. M., and P. V. Hobbs, 1977: *Atmospheric Science - an introductory survey*. Academic Press, New York, USA.

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)