

복잡지형 경사면의 일사 영향을 반영한 매시 낮 기온 추정 방법

윤은정 · 김수옥*

국가농림기상센터

(2018년 12월 6일 접수; 2018년 12월 21일 수정; 2018년 12월 22일 수락)

Estimation of hourly daytime air temperature on slope in complex terrain corrected by hourly solar radiation

Eun-jeong, Yun and Soo-ock, Kim*

National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

(Received December 6, 2018; Revised December 21, 2018; Accepted December 22, 2018)

ABSTRACT

To estimate the hourly temperature distribution due to solar radiation during the day, on slope in complex terrain, an empirical formula was developed including the hourly deviation in the observed temperature following solar radiation deviation, at weather stations on the east-facing and west-facing slopes. The solar radiation effect was simulated using the empirical formula to estimate hourly temperature at 11 weather observation sites in mountainous agricultural areas, and the result was verified for the period from January 2015 to December 2017. When the estimated temperature was compared with the control, only considering temperature lapse rate, it was found that the tendency to underestimate the temperature from 9 am to 3 pm was reduced with the use of an empirical formula in the form of linear expression; consequently, the estimation error was reduced as well. However, for the time from 5 pm to 6 pm, the estimation error was smaller when a hyperbolic equation drawn from the deviation in solar radiation on the slope, which was calculated based on geometric conditions, was used instead of observed values. The reliability of estimating the daytime temperature at 3 pm was compared with existing estimation model proposed in other studies; the estimation error could be mitigated up to an ME (mean error) of -0.28°C and RMSE (root mean square error) of 1.29°C compared to the estimation error in previous models (ME -1.20°C , RMSE 2.01°C).

Key words: Hourly temperature, Daytime temperature estimation, Solar radiation, Complex terrain

I. 서 언

기후변화로 인해 폭염과 열대야와 같은 고온 현상이 장기화되면서 농작물의 생리 장애와 그로 인한 수확량 감소, 과실의 품질 및 착색 불량 등 농가 소득에 직결되는 피해가 증가할 것으로 보인다(IPCC, 2014).

기후변화와 기상이변은 여러 공간규모에서 다양하게 발생하나, 농민은 농장과 과원 등 재배규모가 작은 국지규모에서 그 영향을 경험하게 된다. 농업부문의 기상이변 대응 방안 중 하나로 기상위험에 대한 조기경보체계가 구축되어 운영되고 있다(Yun *et al.*, 2013; Yun, 2015). 조기경보체계는 개별 농장마다 지형조건



* Corresponding Author : Soo-ock, Kim
(sookim@ncam.kr)

과 토양특성 및 재배하는 작목의 생육단계를 기반으로 예견되는 기상위험을 정량화하여 해당농가에 전달하는 시스템으로 기상청의 동네예보를 활용한다. 기상청 동네예보는 5×5 km 해상도로 기온, 강수량, 강수확률, 적설, 하늘상태, 습도, 풍향, 풍속 등을 제공하고 있으나, 이는 국지규모에서의 복잡 지형으로 인한 기온변화를 반영하지 못한다. 최고기온의 경우, 해발고도의 차이와 사면 방향 및 경사도에 따른 일사량 차이로 실제 온도와 큰 차이가 발생할 수 있으며, 이는 작물 피해와 직·간접적으로 관계되므로 보다 고해상도의 신뢰성 있는 예보자료의 필요성이 대두되고 있다.

일 최고기온은 표고 차이에 의해서도 달라지지만, 사면과 태양위치 간 기하학적 관계로 인한 수광량(surface irradiance) 차이의 영향을 받는다(Bonan, 2002; Chung *et al.*, 2009; Gates, 2011; Kim and Yun, 2013; Seo *et al.*, 2008). 기상청 정보를 바탕으로 공간 통계기법 등으로 상세화할 경우, 우선적으로 격자점 대표 고도와 임의 지점 고도의 편차만큼 기온감률을 적용하는 해발고도편차 보정 과정을 거치게 된다(Kim and Yun, 2016). 여기에는 해발고도 보정만으로 설명할 수 없는 오차가 내재되어 있는데, Kim and Yun(2014)은 한낮(1500)에 동일 수준 해발고도의 두 기상관측지점 기온 편차가 발생하였으며 특히 흐린 날보다 맑은 날에 기온 편차가 크게 나타나는 것을 확인하였다.

관측된 일사효과를 정량화 하기 위한 연구는 대체로 오전 11시부터 오후 3시까지 4시간 동안의 수평면에 대한 경사면의 수광량 편차와 수평면에 대한 경사면의 기온편차 간 관계식을 도출하여 일 최고기온을 추정하는 방식으로 이루어져왔다(Regniere, 1996; Yun, 2004; Chung *et al.*, 2007; Chung *et al.*, 2009). Kim and Yun(2014)은 Chung *et al.*(2009)이 BioSIM 모형을 보완하여 제시한 ‘표준수광지수’를 기반으로 한 일사효과와 풍속으로 인한 이류효과를 결합하여 일 최고기온을 추정하였다. 이때 적용된 일사효과는 오전 11시부터 오후 3시까지의 평균풍속에 따라 오후 3시 기온에 적용되는 가온량이 달라지는데, 풍속이 0m/s 일 때 이론적으로 가능한 일사효과 최대치는 4°C이고 풍속이 0.5m/s가 되면 2.2°C, 2m/s일 때는 0.4°C, 3m/s 이상이 되면 기온에 미치는 일사효과는 사라지는 것으로 간주하였다(Kim and Yun, 2014).

농업기상재해 조기경보시스템(www.agmet.kr)에서는 Kim and Yun(2014)의 방법으로 상세화된 오후 3

시 기온 실황 및 예보를 매일 생성하고 있으며, 각종 농작물의 생육단계와 고온해 등을 예측하는 데 활용하고 있다. 그러나 매시 기온을 이용하는 작물모형이나 저·고온의 지속시간 등을 산출하기 위해서는 시간대별 기온 정보가 필요할 것이다. 현재의 일사효과는 복잡지형의 최고기온 또는 오후 3시 기온 모의에 최적화되어 있으므로, 낮 동안의 매시 일사효과를 모의하기 위해서는 별도의 정량식이 필요하다. 본 연구에서는 소규모 집수역에서 서로 다른 경사면의 일사량과 기온을 토대로, 한 시간 적산 일사량 편차에 대한 매시 기온 편차를 비교하고 경험식을 도출하였다. 단, 바람이 부는 경우 가열된 사면 위쪽 공기가 주변과 빠르게 뒤섞여 일사효과가 상쇄되므로(Kim *et al.*, 2015) 미풍 조건에 한정하여 일사 편차 대비 기온변화를 정량화하고, 이것으로 복잡지형에 위치한 기상관측지점의 매시 기온을 모의하여 추정 신뢰도를 확인하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지역 기상자료

경남 하동군 악양면은 지리산 남쪽의 농산촌 지역으로써, 해발고도 편차가 크고 지형조건이 다양하여 복잡지형 내 농경지 기상관측을 수행하기 적합하다. 해발 50~510m 고도 범위에 11개 지점에 설치된 무인 기상관측망으로부터(Table 1), 2014년 10월부터 2017년 3월까지 2년 6개월간 관측된 기상자료(기온, 풍속, 일사)를 수집하였다(Fig. 1). 11개 기상관측지점 중 서향사면과 동향사면을 대표하는 AWS04, AWS07 지점은 고도가 유사하면서도 경사향은 정반대이며, 주변에 장애물이 없는 일사 관측에 적합한 환경이다(Fig. 2).

지형특성 차이로 인한 일사편차와 기온편차의 관계를 기반으로 매시 일사효과를 도출하기 위해 AWS04, AWS07 지점의 매시간 별 적산 일사량(MJ/m²)을 계산하였다. 한낮기온 모의 과정에서는 일사량이 관측되지 않는 산간지역에 대해 일사효과를 적용하기 위해 수평면 일사량으로부터 경사면 일사량을 추정하여 활용하는데(Chung *et al.*, 2009; Kim and Yun, 2014; Kim *et al.*, 2015), 이를 위해 연구대상지역에서 가장 가깝고 위도가 유사한 진주기상대의 시간단위 일사량 관측자료를 수집하였다. 진주기상대와 악양집수역은 약 9km 가량 떨어져 있어 구름으로 인한 일사량 차이가 발생할 수 있으므로, 분석과정에서 진주기상대를 중심으로 한 주변 하늘상태와 악양계곡의 하늘상태가

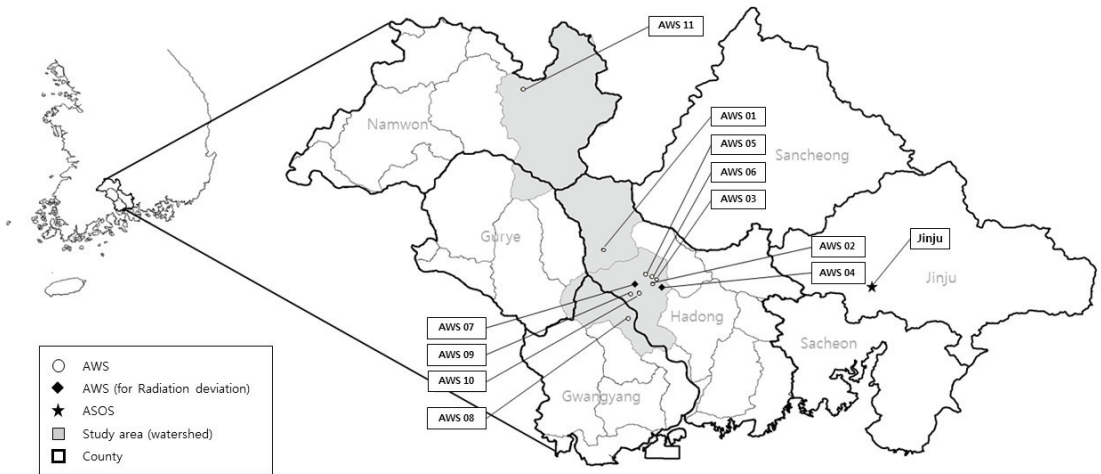


Fig. 1. Locations of the study sites.

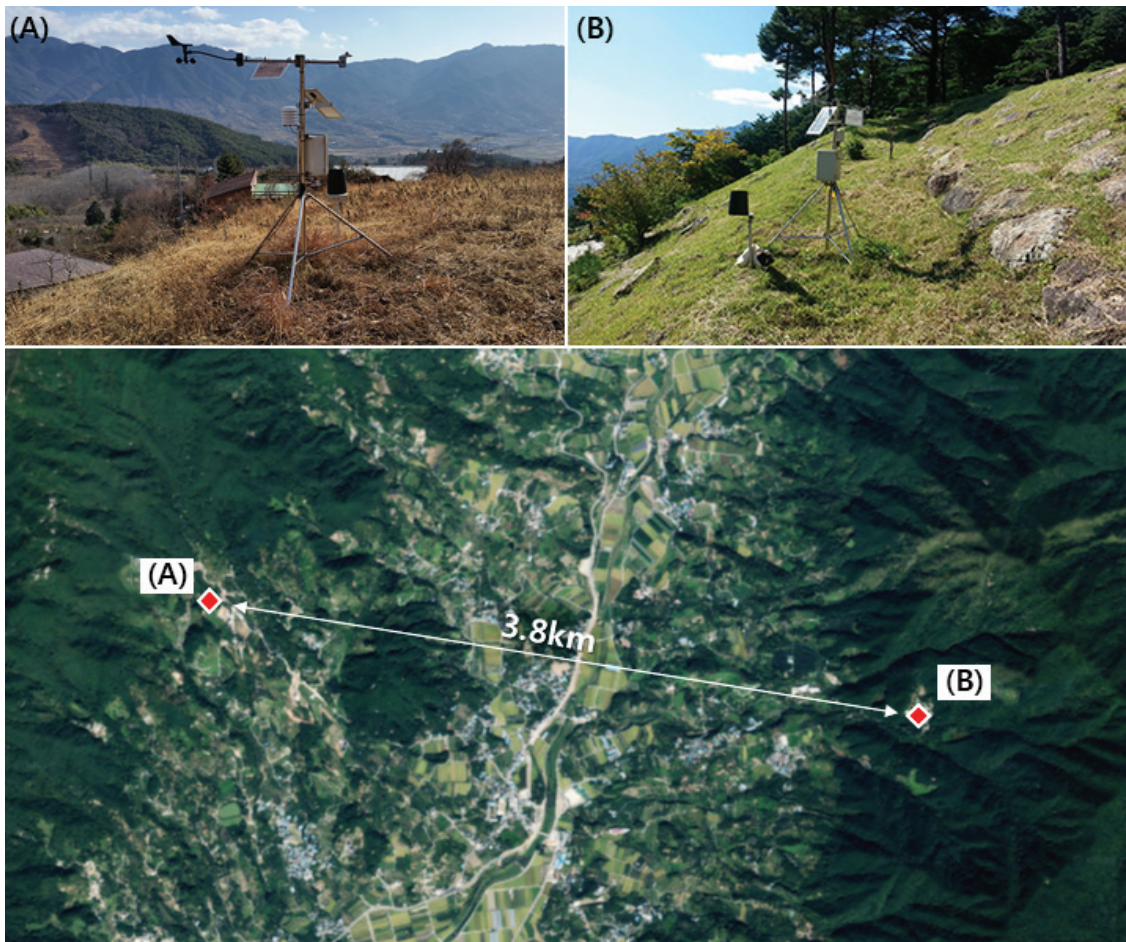


Fig. 2. Pictures of weather sites and image of the sites locations. A (AWS07) and B (AWS04) are on east-facing and west-facing slope.

Table 1. Topographical characteristics of the validation sites. Slope and aspect values are the smoothed averages by 25 grid cells (750m radius)

Site	Altitude (m)	Slope (°)	Aspect (°)	Latitude	Longitude
AWS01	212	21	267	35.220	127.648
AWS02	95	10	259	35.172	127.719
AWS03	241	16	275	35.178	127.725
AWS04	328	24	265	35.166	127.733
AWS05	267	15	110	35.186	127.708
AWS06	98	9	167	35.182	127.718
AWS07	286	17	145	35.171	127.693
AWS08	230	20	100	35.121	127.683
AWS09	122	16	126	35.157	127.686
AWS10	57	7	156	35.157	127.699
AWS11	508	4	4	35.456	127.529

동일한 경우에 한정하였다. 하늘상태 자료는 맑음(1), 구름 조금(2), 구름 많음(3), 흐림(4) 4단계로 표현된 기상청 KLAPS (KMA local analysis and prediction system)의 하늘상태 5×5km 격자자료를 이용하였으며, 대상 집수역마다 공간평균된 값을 대표값으로 간주하였다.

2.2. 일사 편차와 정량식 도출

기온에 미치는 일사량의 영향을 도출하기 위해, 관측일사량과 추정된 경사면 일사량을 두 종류를 이용하여 매시 기온편차와 직전 한 시간 적산 일사편차 간 관계를 정량식으로 나타내었다. 일사량으로 인한 가열 효과는 바람에 의해 상쇄되므로(Kim and Yun, 2014; Kim *et al.*, 2015), 2014년 10월부터 2017년 3월 동안 한 시간 평균 풍속이 0.2 m/s 미만인 경우에 한정하였다.

먼저 관측 일사는 AWS04, AWS07 지점에서 측정 한 낮 동안의 각 시간대별 한 시간 적산 일사량을 구하여 두 지점 간 편차 값(동향사면-서향사면)을 계산하였다. 두 기상관측지점의 해발고도는 각각 286m와 267m로, 고도 300m를 기준 높이로 하여 매시 기온감률로 관측기온을 보정한 후 기온편차를 계산한 다음, 일사편차 1MJ/m² 당 기온변화량을 도출하였다. 기온감률은 Kim and Yun(2016)이 제시한 방법으로 매시 계산하였으며, 하늘상태를 0~10범위의 운량 값으로 변환하여(Kim and Yun, 2015) 기온감률 산출에 활용하였다.

산 사면의 적산 일사량은 경사도와 경사방향 및 태양의 위치에 따라 수평면 일사량을 기반으로 추정된다. 지점 i 에서의 태양의 천정각을 θ 로, 경사면에 입

사되는 태양광선과 경사면이 이루는 각을 r 로 보았을 때, 지점 i 의 수평면에 도달하는 일사량 직달성분 (S_0)은 다음과 같이 경사면 일사량(S_i)으로 변환된다(Kondratyev and Federova, 1977).

$$S_i = S_0 \times \frac{\cos r}{\cos \theta} \quad (1)$$

또한 α 를 태양고도, β 를 태양의 방위각으로 두면, $\cos \theta$ 는 $\sin \alpha$ 와 같으며 경사도(A)와 경사향(B)을 통해 해당지점에 대한 매시간 적산 경사면 일사량을 추정할 수 있다.

$$S_i = S_0 \times \frac{\sin \alpha \times \cos A + \cos \alpha \times \sin A \times \cos(\beta + B)}{\sin \alpha} \quad (2)$$

관측지점별 A 와 B 는 30×30m 격자해상도의 DEM 으로부터 산출한 경사도 및 경사향 raster에서 관측지점이 포함된 격자로부터 25번째 cell까지를 반경으로 삼아 공간평균한 값을 할당하였다(Kim and Yun, 2013). 계산된 경사면 일사량은 일사효과 정량식 도출 및 모형 검증에 이용하였다.

정량식 도출은 통계프로그램 SAS (statistical analysis system, SAS Institute Inc.)으로 선형 및 비선형회귀분석을 실시하였다. 일사 편차를 x , 기온 편차를 y 로 간주하고 SAS를 이용하여 Table 2에 제시한 후보식에 대한 적합한 모수를 추정하였으며, 잔차의 제곱합(SSE, Sum of Squares Error)이 가장 작은 식을 선정하였다.

Table 2. Fitted equations for the relationship between the solar radiation deviation ($x>0$) and the temperature deviation (y). Performance of each equation is represented by the sum of squares

Case	Equation	Sum of squares	
		Eq.3	Eq. 4
Log Function	$y = Ax^B$	310.1	196.4
Hyperbolic	$y = \frac{Ax}{B+x}$	310.1	191.6
Exponential	$y = A \times \exp(Bx)$	547.9	215.2
Exp. Saturation	$y = -A \times [1 - \exp(Bx)]$	310.1	192.0
Maxima	$y = Ax \times \exp(Bx)$	310.1	192.3
Linear	$y = Ax + B$	310.2	236.9

2.3. 검증

AWS04, AWS07 지점에 대해 도출된 정량식은 연구대상지역 내 타 기상관측값을 이용하여 검증하였다. 기상청 종관 및 방재기상관측망으로부터 2015년 1월부터 2017년 12월까지 매시 기온자료를 수집하여 배경이 되는 가상기온분포(virtual temperature)을 270m 격자해상도로 제작하였는데, GIS 프로그램(ArcGIS, ESRI Inc., USA)을 이용, 각 격자점 별 반경 50km 이내의 기상관측지점을 대상으로 거리자승역산가중(IDSW, inverse distance squared weighting)방법을 통해 기온 값을 보간하였다. 또한 기상청 종관 및 방재 기상관측지점의 해발고도 값으로는 배경기온과 동일한 공간내삽 방식으로 가상지형(virtual terrain)을 제작하였다. 연구대상지역의 각 검증지점별로 가상지형 값을 확인, 실제 해발고도와와의 편차를 구한다음 Kim and Yun(2016)의 방법으로 계산한 매시 기온감률을 곱하여 고도편차로 인한 기온변화량을 산출하였고 이것을 배경기온에 더함으로써 일사효과가 없는 매시 기온을 추정하였다. 진주기상대 수평면 일사량으로 계산된 각 검증지점별 일사량과 수평면 일사량 간의 편차 값을 이용, Table 2에서 선별된 식으로 매시 일사효과를 산출하여 매시 기온을 보정하였다. 최종 추정값은 실측기온과 비교하여, 일사효과 적용 전후의 오차 개선 정도를 확인하였다. 오후 3시 기온은 Kim and Yun(2014)의 선행연구에서 제시한 방법과 본 연구에서 도출된 일사효과를 적용하는 방법을 모두 적용하여 모형의 신뢰도를 비교하였다. Kim and Yun(2014)은 청천일사량 대비, 식 (1)~(2)를 통해 계산된 경사면 일사량과 수평면 일사량 간의 편차를 4시간(1100-1500) 적산하여 표준화한 수광지수를 일사효과

관계식에 따라 기온 변화량으로 변환하고, 4시간 평균 수평풍속에 따라 일사효과를 상쇄시킨다. 다만, 본 연구에서 검증하는 일사효과 정량식은 청명미풍 조건 하에 얻은 것으로, 검증 역시 한 시간 평균 풍속이 0.2 m/s 미만인 경우로 한정하였으며, 일사효과 모의과정에서 바람의 영향은 배제되었다. 또한 연구대상지역 집수역과 진주기상대가 위치한 집수역의 하늘상태 값이 동일한 날을 대상으로 하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 일사-기온 관계

청명미풍 조건하에 연구대상지역 동향사면과 서향사면 대표 관측지점 AWS04, AWS07 지점 간의 한 시간 적산일사량 편차는 $-0.2 \sim 0.8 \text{ MJ/m}^2$ 정도로 나타났다. 오전에는 태양빛을 먼저 받는 동향사면의 기온이 급격히 상승하여 일사편차와 기온편차 모두 거의 양(+)의 값을 보였고, 기온편차는 분석기간 중 최대 7.6°C 까지 발생하였다. 반면, 오후에는 오전에 비해 일사편차가 상대적으로 작거나 다소 음(-)의 값을 나타내었고, 기온편차 역시 비교적 미미한 수준에 머물렀다(Fig. 3). 매시 평균풍속이 0.2m/s 미만인 날, 해발고도 300m 기준의 기온편차가 일사편차에 비례하여 커지는 현상을 기온의 일사효과가 강하게 작용하는 것으로 간주하고, 일사편차가 0이상인 경우에 대해 일사효과 관계식을 도출한 것이 Fig. 4이다.

Fig. 4의 왼쪽 그래프는 동향사면과 서향사면 간 '관측'일사편차 중 양의 값과 그에 해당하는 기온편차로써, Table2의 case별로 정량식을 도출하면 모두 직선 형태에 가까워지고 SSE 값에 큰 차이가 없었기 때

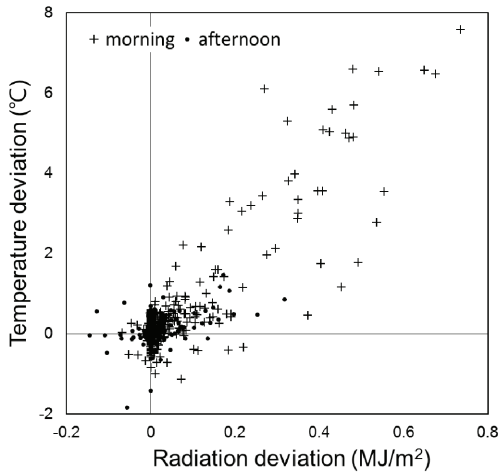


Fig. 3. Comparison of solar radiation deviation and temperature deviation between AWS 07 and AWS 04, during the 2 years from October 2015 to December 2017 under the conditions of windless time.

문에 일차회귀식을 최종 선택하였다(식 3).

$$y = 8.5472x - 0.0016 \quad (3)$$

반면, 진주기상대 수평면 일사량으로 경사면 일사량을 추정하여 동향사면과 서향사면 간 일사편차를 산

출한 경우, 일사편차와 기온편차 간 관계는 지수 함수에 가깝게 나타났다(Fig. 4, right). 또한, Table 2의 case별로 일사효과 정량식을 도출하였을 때 hyperbolic equation의 경우가 가장 SSE값이 작았다(식 4).

$$y = -\frac{3.1301x}{x - 1.73} \quad (4)$$

3.2. 모형의 신뢰도

미풍 조건에 한정하여, 연구대상지역 전체 관측지점 11곳에 대해 주간(06:00~20:00)의 매시 기온 추정 평균 제곱근 오차(root mean square error, RMSE)가 가장 작은 방법은 경사면 추정 일사량을 기반으로 도출된 일사효과(식 4)를 적용하는 경우였다(Fig. 5B). 이 때의 평균 오차(mean error, ME)는 -0.5°C, RMSE는 1.5°C으로, 단순히 매시 기온감률로 고도보정만 수행한 것(ME -0.7°C, RMSE 1.5°C)보다 오차의 편기성이 다소 줄어들었다. 관측 일사편차를 기반으로 한 일사효과(식 3)를 이용한 결과는 평균 ME -0.2°C, RMSE 1.6°C으로(Fig. 5C), 과소추정경향은 거의 사라졌으나 RMSE가 기온감률보정만 진행한 경우에 비해 더 증가하였다. 다만, B나 C 모두 일사효과 기온상승분을 적용함으로써, A의 편향된 오차를 다소 개선시

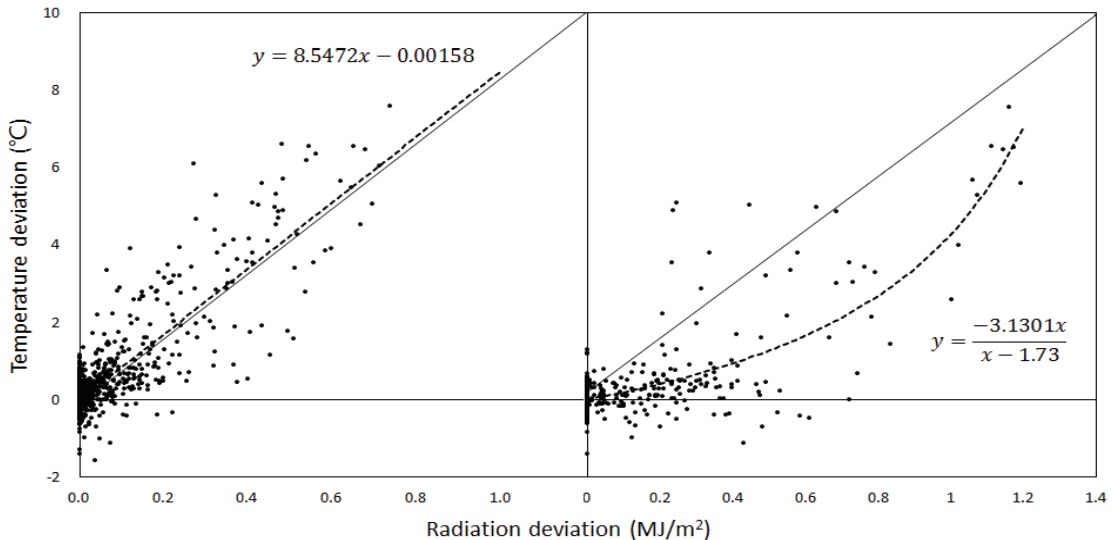


Fig. 4. Scatter plots of the observed and estimated solar radiation deviation and temperature deviation between AWS 07 and AWS 04 with the different estimation methods during the 2 years from October 2014 to December 2017 under the conditions of windless time.

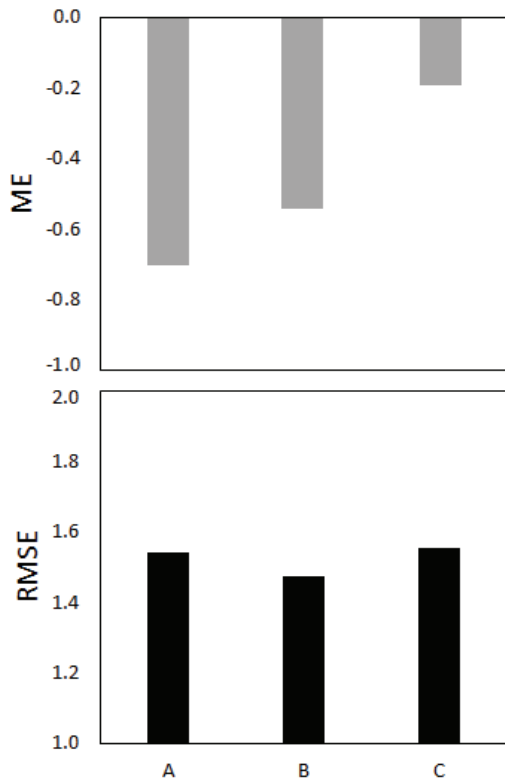


Fig. 5. Bar graphs of the mean errors and root mean square errors at the 11 sites during 0600-2000 LST. (A: No effect, B: Eq. 4, C: Eq. 3)

킬 수 있었다(Fig. 5).

낮 동안(06:00~20:00) 식 (3), (4)의 방법으로 일사효과를 보정한 기온의 ME를 단순기온감을 적용결과와 매 시간대 비교해보면, 일출 이후부터 오후 4시까지 고도보정된 기온의 과소추정오차가 식 (3), (4)의 일사효과로 인해 모두 감소되었고, 식 (3)의 일차회귀식이 식 (4)의 hyperbolic equation 보다 기존 편기성의 개선효과가 더 탁월하였다(Fig. 6, Up). 반면 오후 5시~7시 사이에는 일차회귀식에서 과대추정경향이 나타났는데, 해질 무렵은 단위면적당 일사 편차로 인한 기온 변화량이 상대적으로 작기 때문에 주로 오전 현상을 기반으로 도출된 회귀식으로는 일사효과가 과도하게 모의된 것이다. 식 (4)로 일사효과를 적용하였을 경우에는 식 (3)에 비해 전반적으로 ME의 감소량이 적었으나 오후 5~7시 사이의 과대추정오차는 훨씬 작은 것으로 조사되었다.

Fig. 6의 아래 그래프를 보면 오전 8시부터 오후 4시까지의 일사효과 보정을 통해 RMSE가 감소된 것을

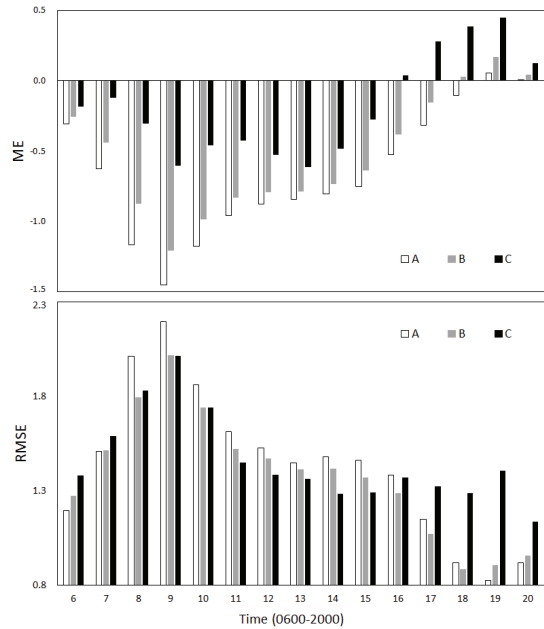


Fig. 6. Hourly the mean errors and root mean square errors at the 11 sites. (A: No effect, B: Eq. 4, C: Eq. 3)

Table 3. The mean errors and root mean square errors of 1500 LST temperature estimation at the 11 sites during the 2 years from January 2015 to December 2017

		ME	RMSE
A	Old	-1.20	2.01
B	Eq. 4	-0.64	1.37
C	Eq. 3	-0.28	1.29

확인할 수 있다. 그 중 오전 11시부터 오후 3시 동안은 식 (3)을 통한 일사효과 보정 방법이 RMSE 1.29~1.45℃, 식 (4)를 통한 방법이 RMSE 1.37~1.52℃로 식 (3)을 적용한 값이 가장 오차가 작았다. 오전 8시와 오후 4~6시의 경우에는 식 (3)을 이용한 것이 RSME 1.29~1.83℃, 식 (4)를 활용하는 것이 RMSE 0.88~1.79℃로, 식 (4)를 활용한 경우가 오차를 가장 줄일 수 있었다. 반면 오전 6~7시와 오후 7~8시는 오히려 고도보정만 수행한 결과가 더 적합하였다. 특히 일출 시기의 경우, 일사효과를 반영하여 추정오차의 편향 (ME)이 조정되었음에도 불구하고 매일의 추정오차 (RMSE)는 오히려 더 증가되었다. 일출과 일몰 시점은 일사량은 적어도 태양고도가 매우 낮아 일사 편차가 상대적으로 크게 계산될 수 있어, 경사면 일사량이 정

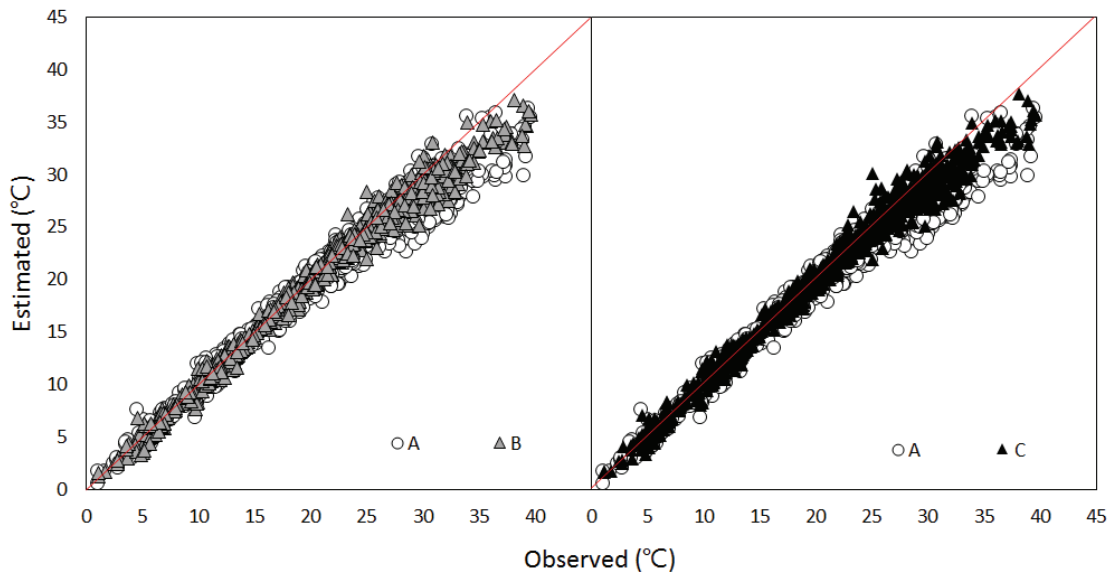


Fig. 7. Relationship between the observed and estimated 1500 LST temperature at 11 sites. The temperatures were estimated by Eq. 3 (C), Eq. 4 (B) and a method by Kim and Yun (2014) (A).

확하지 않을 경우 일사효과를 잘못 모의할 수 있다. 현행 경사면 일사량 계산 방법은 반대편 사면에 의한 직달 일사의 차광효과를 반영하지 않고 있기 때문에 경우에 따라서는 복잡지형 내에서 산출된 일출, 일몰 시기의 일사량이 실제보다 많았을 가능성이 있다.

오후 3시 기온의 경우, Kim and Yun(2014)이 제시한 방법으로 추정된 결과보다 식 (3), (4)를 이용하였을 때 기온 추정오차가 더 개선됨을 확인하였다(Table 3). 선행연구의 일사효과를 적용한 경우(Table 3A) ME -1.2°C 정도로 과소추정오차가 나타난 반면, 동일한 기간에 대해 식 (3)과 식 (4)를 적용하였을 때 각각 ME가 -0.28°C , -0.64°C 를 나타내었다. 선행연구를 기반으로 오후 3시 기온을 모의한다면 RMSE 2.01°C 정도의 오차가 발생하지만(A), 일사효과를 식 (4)로 대체하였을 때(B) RMSE가 1.37°C 까지 감소하였다. 식 (3)은 오후 3시 기온의 과소추정경향을 상당부분 제거하였고, RMSE는 1.29°C 로 나타났다(C). Fig. 7은 11개 검증지점에 대해 오후 3시 실측값과 추정값을 일대일 대응시킨 것으로, 25°C 이상 기온이 높을 때 기존 A에서 과소추정경향이 증가하였으나 B와 C의 방법으로 이러한 현상을 완화시킬 수 있었다. 기온이 30°C 를 크게 상회하는 경우, 특히 일사량을 많이 받는 지역에서는 고온으로 인해 농작물과 과실에 피해를 입을 수 있는데, 한낮기온 예측을 A와 같은 기존 방법으로 수

행한다면 고온을 실제만큼 예상하지 못할 가능성이 크다. 동네예보를 기반으로 지형적으로 상세한 낮 기온을 예보하고 고온해를 판단하기 위해서는 Fig. 7의 B 또는 C의 방법을 일사효과로 적용하는 것이 낫다.

IV. 결 론

기상청 동네예보나 관측기온을 배경기온 삼아 복잡 지형의 매시 기온을 모의한다면, 낮 기온의 경우 해발 고도보정 외에 일사효과로 인한 기온변화량 보정이 필요하다. 본 연구에서 시도한 다양한 일사효과 적용 방법들은 시간대별로 추정신뢰도가 달랐으며, 최적의 방법을 선택한다면 역시 시간대별로 각기 다른 방법을 적용해야 할 것이다. 오전 6시는 기온감률만 적용하고, 오전 9시부터 오후 3시까지는 식 (3)의 일사효과를 적용하면 과소추정오차를 감소시킬 수 있다. 오전 7~8시의 경우, 매시 기온감률에 따른 고도편차 보정만 수행하거나, 일사효과를 식 (4)로 적용하였을 때 RMSE가 더 작았지만, 식 (3)을 적용하였을 때 과소추정경향이 크게 감소되는 효과를 볼 수 있다. 마찬가지로 오후 4시 역시, 식 (3) 적용 시 상대적으로 RMSE가 약간 높은 것을 감안하여도 ME는 거의 0에 가까워 편기성이 사라진다. 그러나 오후 5시부터는 식 (3)이 과대추정오차를 야기시키기 때문에 오후 6시까지는

식 (4)의 방법으로 일사효과를 적용하는 것이 오차와 편기성을 줄이는 가장 최적의 선택이다. 오후 7~8시에는 매시 기온감률을 통한 고도편차 보정만 수행하는 것이 가장 추정오차가 작았다.

대상지역에 일사효과를 모의할 때 사용되는 경사면 일사량은 태양고도가 낮을 경우 주변 지형으로 인해 발생할 수 있는 차광 현상은 반영되어 있지 않다. 연구 대상지역은 주로 산간지인 관계로 일출 직후 및 일몰 직전에 모의된 경사면 일사량이 실제보다 더 과대 추정되어 결과적으로 단순 해발고도보정보다도 오차가 증가될 수도 있다(오전 6~7시, 오후 4시 이후). 현재 방법보다 더 정확한 매시 기온을 모의하기 위해서는, 대상지역의 실제 일사량과 계산한 경사면 일사량 간의 비교 검토와 일사량 추정기법 개선이 선행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 한 시간 평균 풍속이 0.2 m/s 미만인 미풍조건에 한정하여 일사의 영향을 정량화하고 검증한 것으로, 바람에 의한 일사효과와 상쇄는 다루지 않았다. 매시 낮 기온에 대해 실시간으로 국지적인 상세 실태 및 예보를 산출하기 위해서는 풍속 영향 등 모든 기상조건에 대해 적용 가능한 모형식을 구성하고 장기간에 대한 신뢰성 검증이 필요할 것이다.

적 요

일출 이후부터 일몰 전까지 낮 동안 태양 일사로 인한 복잡지형 내 산사면 매시 기온 분포를 추정하기 위해, 동향사면과 서향사면 간 대표 기상관측지점에 대하여 매시 일사량 편차에 따른 관측기온의 편차(기온변화량)로 경험식을 산출하였다. 해당 경험식으로 일사효과를 모의하여 2015년 1월부터 2017년 12월까지 농산촌 지역 기상관측지점 11곳에 대해 매시 기온을 추정한 후 검증하였다. 매시 기온감률로 해발고도 보정만을 수행한 결과와 대조하였을 때, 일차식 형태의 경험식을 이용할 경우, 오전 9시부터 오후 3시까지 기온의 과소추정경향이 감소되어 추정오차를 줄일 수 있었다. 다만, 오후 5~6시에는 관측값 대신 기하학적 조건으로 계산된 경사면 일사량 편차로 도출된 hyperbolic equation이 더 추정오차가 작았다. 오후 3시 기준의 한낮기온은 선행연구에서 제시한 기존 모형과 추정신뢰도를 대조하였는데, 기존 모형의 추정오차 (ME -1.20°C, RMSE 2.01°C)를 ME -0.28°C, RMSE 1.29°C까지 개선시킬 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ01329003)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Bonan, G., 2015: *Ecological climatology : Concepts and applications* (3rd ed.). Cambridge University Press, 754pp.
- Chung, U., H. C. Seo, J. I. Yun, S. J. Jeon, K. H. Moon, H. H. Seo, and Y. S. Kwon, 2009: Extrapolation of daily maximum temperature in a mountainous terrain. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **45**, 473-482.
- Chung, U., K. H. Lee, and J. I. Yun, 2007: Performance of northern exposure index in reducing estimation error for daily maximum temperature over a rugged terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**(3), 195-202.
- Gates, D. M., 2011: *Biophysical ecology*. Springer Verlag, 611pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014: Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group III to the IPCC Fifth Assessment Report 2014, 1820pp.
- Kim, S. O., and J. I. Yun, 2016: Feasibility of the lapse rate prediction at an hourly time interval. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **18**(1), 55-63. (In Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2016.18.1.55
- Kim, S. O., and J. I. Yun, 2015: Improving the usage of the Korea Meteorological Administration's digital forecasts in agriculture: IV. Estimation of daily sunshine duration and solar radiation based on 'Sky Condition' product. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(4), 281-289. DOI: 10.5532/KJAFM.2015.17.4.281
- Kim, S. O., and J. I. Yun, 2014: Improving usage of the Korea Meteorological Administration's digital forecasts in agriculture: III. Correction for advection effect on determination of daily maximum temperature over sloped surfaces. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(4), 297-303. DOI: 10.5532/

- KJAFM.2014.16.4.297
- Kim, S. O., and J. I. Yun, 2013: Relationship between midday air temperature and solar irradiance over sloping surfaces under cloudless conditions. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(4), 291-297. (In Korean with English abstract) doi:10.5532/KJAFM.2013.15.4.291
- Kim, S. O., J. H. Kim, D. J. Kim, K. M. Shim, and J. I. Yun, 2015: Combined effects of wind and solar irradiance on the spatial variation of midday air temperature over a mountainous terrain. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **51**(3), 239-247.
- Kondratyev, K. Y., and M. P. Federova, 1977: Radiation regime of inclined slopes. WMO Technical Note No. 152pp.
- Regniere, J., 1996: generalized approach to landscapewide seasonal forecasting with temperature-driven simulation models. *Environmental Entomology* **25**(5), 896-881
- Seo, H. C., S. J. Jeon, and J. I. Yun, 2008: Azimuthal distribution of daily maximum temperature observed at sideslopes of a grass-covered inactive parasitic volcano ("Ohreum") in Jeju Island. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**(1), 25-31. (in Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 2004: Visualization of local climates based on geospatial climatology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**(4), 272-289. (in Korean with English abstract)
- Yun, J. I., S. O. Kim, J. H. Kim, and D. J. Kim, 2013: User-specific agrometeorological service to local farming community: A case study. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(4), 320-331. (in Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2013.15.4.320
- Yun, J. I., 2015: A feasibility study of a field-specific weather service for small-scale farms in a topographically complex watershed. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**(4), 317-325. (in Korean with English abstract) doi: 10.5532/KJAFM.2015.17.4.317