

맑은 날 한낮의 사면 기온분포와 일사 수광량 간 관계

김수옥¹ · 윤진일^{2*}

¹(재)국가농림기상센터, ²경희대학교 식물환경신소재공학과
(2013년 10월 3일 접수; 2013년 12월 4일 수정; 2013년 12월 19일 수락)

Distribution of Midday Air Temperature and the Solar Irradiance Over Sloping Surfaces under Cloudless Condition

Soo-ock Kim¹ and Jin I. Yun^{2*}

¹National Center for Agro-Meteorology, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²College of Life Sciences, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

(Received October 3, 2013; Revised December 4, 2013; Accepted December 19, 2013)

ABSTRACT

Automated weather stations were installed at 9 locations with, three different elevations, (i.e., 50m, 100m, and 300m a.s.l.) with different slope and aspect in a small watershed (50km² area). Air temperature at 1500 LST and solar radiation accumulated for 1100-1500 LST were collected from January to December 2012. Topography of the study area was defined by a 30 × 30 m digital elevation model (DEM) grid. Accumulated solar irradiance was calculated for each location with the spatially averaged slope and aspect of surrounding circles with 5, 10, 15, 20, 25, and 30 grid cell radii, respectively. The 1500 LST air temperature from clear sky conditions with zero cloud amount was regressed to the 1100-1500 LST solar irradiance at 9 locations. We found the highest coefficient of determination ($r^2 = 0.544$) at 25 grid cell radius and the temperature variation in this study was explained by $Y = 0.8309X + 0.0438$, where Y is 1500 LST temperature (in °C) and X is 1100-1500 LST accumulated solar irradiance (in MJ/m²).

Key Words: Daily maximum temperature, Solar irradiance, Slope and aspect, Complex terrain

I. 서 론

식물의 발아, 성장, 개화, 등숙, 휴면 등 거의 모든 생리과정은 온도 의존적이므로 생리반응속도를 나타내는 온도계수(temperature coefficient), 발육단계 및 속기를 정량적으로 표현하는 성장도일(GDD, growing degree days), 온대과수의 생물계절을 모의하는 저온요구도(chilling requirement) 및 고온요구도(heating requirement) 등, 식물의 대사과정을 온도자료에 의해 해석하거나 온도 반응을 영농에 유용한 형태로 정량화

하기 위한 노력이 계속되어왔다(Westwood 1993; Cesaraccio *et al.*, 2004; Jung *et al.*, 2005; Kim and Yun, 2008). 이런 작업에 가장 널리 쓰이는 온도자료는 기온과 지온이며 드물게 식물 체온도 사용된다. 특히 기온자료는 전국에 산재한 기상관서 및 자동기상관측망을 통해 안정적으로 제공받을 수 있으므로 활용도가 어떤 기상요소보다도 높다. 그 가운데 일 최고기온과 최저기온은 영농현장에서 저렴한 장비를 설치하여 간단히 측정할 수 있으므로 농업부문의 수치모형이나 경험식 개발과 검증에 널리 쓰여 왔다. 하지만 측정여



* Corresponding Author : Jin I. Yun
(jyun@khu.ac.kr)

건이 기상관서의 표준과는 거리가 멀어 지점 간 비교 혹은 공간분석용으로는 적합하지 않으므로, 안정적인 기상관서 측정값으로부터 내삽 등의 방법으로 추정하는 것이 일반적이다.

일 최저기온은 내삽된 배경기온에 해발고도 편차만큼의 기온감률 보정과 산중턱 온난대 효과 및 야간 찬 공기가 집적되는 계곡 및 저지대의 냉기집적효과를 적용함으로써 30 × 30 m 격자의 고해상도로 추정 가능하다(Chung *et al.*, 2006). 또한 Choi *et al.*(2003)은 농경지, 산림 인근의 시가지로 인한 도시열섬효과(UHI, urban heat island)를 인구밀도로 정량화하는 방법과 도시화로 인한 기상관서 종관자료의 왜곡을 UHI로 보정하는 최저기온 추정 기법을 제시하였으며, Kim *et al.*(2010)은 해안지역에 적용할 수 있는 바다로 인한 야간의 승온효과를 정량화하였다.

반면, 일 최고기온의 경우 최저기온에 비해 연구성과가 적은 편인데, 인근 기상관서로부터 얻은 값을 토대로 한 공간내삽 및 고도차에 따른 보정을 통해 원하는 지점의 국지기온을 간단히 추정할 수 있으나(Yun *et al.*, 2001), 일 중 최고기온은 주로 한낮에 나타나므로 일사에너지 흡수에 의한 지표면 가열과 그로 인한 복사 및 대류열 교환의 영향이 뚜렷하다(Chung and Yun, 2004). 특히 복잡지형에서는 평지와는 달리 사면과 태양위치 간 기하학적 관계와 그로 인한 일사수광량의 차이가 크게 나타나며, 이것은 최고기온의 공간변이를 증폭시킨다(Seo *et al.*, 2008).

경사면의 일사량을 인근 기상관서의 수평면 일사량과 비교하여 그 비율에 따라 최고기온을 보정하는 방안이 널리 사용되어 왔는데(Regnier, 1996; Yun, 2009), 임의 경사면의 태양 남중 전 1시간과 남중 후 3시간 총 4시간 동안의 누적된 일사량을 수평면과 비교한 '과열지수'(OHI, overheating index)가 이 기술의 핵심이다. Seo *et al.*(2008)은 제주도의 원추형 기생화산인 '오름'을 이용하여 동일고도의 기준온도 대비

사면별 기온편차를 얻고 이를 계절별 과열지수와 비교하여 사면의 일사량 차이에 의한 기온변동을 해석하였다. Chung *et al.*(2009)은 사면 별 과열지수와 기온 편차 간 관계를 이용한 일 최고기온 추정법을 제시하고 여러 지역에서의 검증결과를 보고하였다.

과열지수는 사면의 방위는 물론 적위, 시간 별 고도 등 태양의 위치에 따라 매일 값이 달라진다. Yun (2009)은 1100에서 1500까지 시간대 별로 수평면 일사량 1.0에 대한 경사면의 이론적인 일사수광비율을 적용하여 경사면 일사량을 복원하는 방법을 제시하고, 이 방법에 의해 평년 일사조건에서 남한 전역 109,697,901개의 30m 격자 단위에 대해 과열지수를 준비하였다. 하지만 매일 달라지는 일사량과 운량을 고려하여 과열지수를 갱신하고 이를 사면 기온의 보정에 이용하는 데는 한계가 있다. 또한 Chung *et al.*(2009)에 따르면 맑은 날에도 과열지수의 영향이 남향 및 남서향 사면에서만 뚜렷이 나타났을 뿐 다른 사면에서는 예상보다 미약하여 수평면에 비해 경사면의 일사량이 더 적은 곳에서는 신뢰도가 줄어든다. 따라서 우리나라 농촌경관에 적용하기 위해서는 복잡한 과열지수 기반의 일사효과 모의 방식 대신, 단순하면서도 쉽게 날씨조건이 반영되는 방안을 찾아야 한다. 본 연구는 그 첫 번째 시도로서, 복잡지형에서 맑은 날 한낮의 기온과 일사수광량의 공간분포를 동시에 조사하여 두 변량 사이에 어떠한 관계가 있는지 밝히고, 그것이 기온보정에 활용할만한 정량적인 표현이 가능한지 확인하기 위해 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지역 선정 및 자료 수집

지리산 국립공원 남쪽에 위치한 경남 하동군 악양면은 해발고도 10m에서 1,117m에 이르기까지 평야와 산악지형을 아우르는 면적 약 50km²의 단일 집수역이

Table 1. Site elevation and topography for the 9 automated weather stations based on 30 m DEM grid cells

Site	Altitude (m)	Slope (°)	Aspect (°)	Site	Altitude (m)	Slope (°)	Aspect (°)
1	284	22	312	6	105	9	150
2	326	21	174	7	44	9	127
3	276	22	83	8	11	1	315
4	92	9	313	9	13	1	90
5	88	8	345				

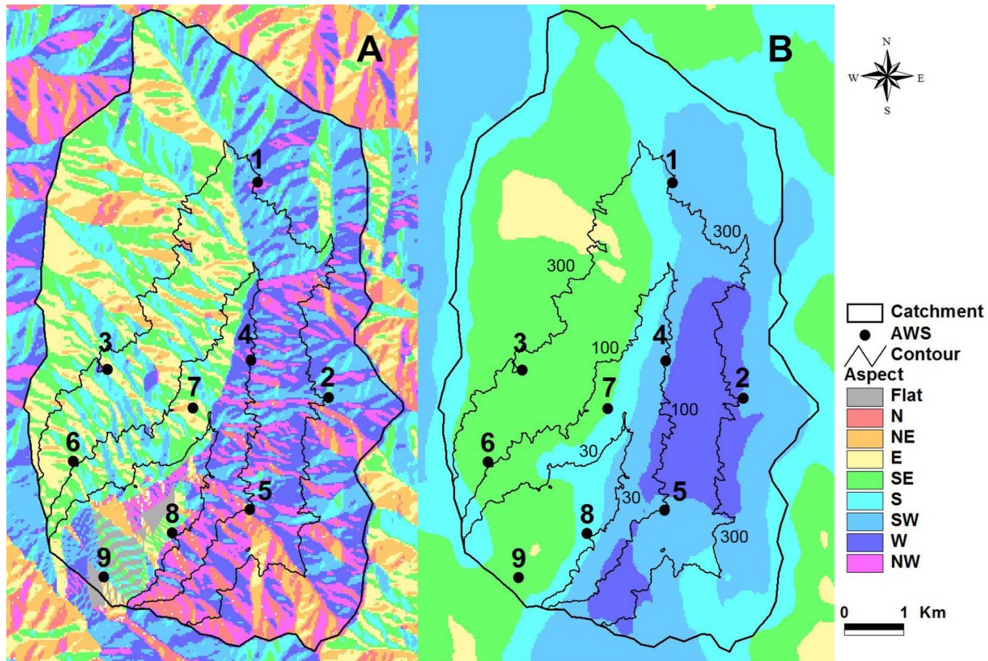


Fig. 1. (A) Aspect distribution of the study area calculated by the original 30 m DEM cells and (B) the same by the zonal mean smoothed for 25 cell radius. Solid circles 1 to 9 represent locations of the automated weather stations and the contour lines 30, 100 and 300 show altitude range (in meters).

다. 악양면은 전형적인 전원경관을 가진 농산촌으로, 남동쪽으로 흐르는 섬진강과 인접한 평야지에 벼(무덤이들)이 펼쳐져 있는 반면, 악양면 중심부 저지대를 기준으로 동쪽과 서쪽, 북쪽이 모두 산지로 둘러싸여 있어 다양한 지형조건에서 일중 태양 위치에 따른 일사량 변화를 관측하기에 적합하다. 이곳에 무인기상관측기(STA Corporation, Korea)를 해발고도 300m 전후에 3대, 100m 전후에 3대, 50m 미만에 3대를 설치하여 2012년 1월1일부터 12월 31일까지 1분 단위로 기온과 일사자료를 수집하였다(Fig.1; Table 1). 관측지점의 경사향 별 분포는 서향사면 4곳, 동향사면 3곳, 평지 2곳이다. 경사면에 따른 일사량의 차이는 일사성분 중 직달일사가 많은 맑은 날일수록 뚜렷하므로 악양면에서 가장 가까운 표준기상관측소인 진주기상대 및 순천기상관측소로부터 운량자료를 수집하였다. 연구기간 중 두 지역 모두 일평균 전운량이 0인 날을 검색하여 이 조건에 부합되는 11일 간 자료를 분석에 이용하였다.

2.2. 분석방법

구름이 전혀 없이 맑은 날, 고도가 동일한 지점 간

에 한낮의 기온차가 생기는 데는 각 지점의 일사수광량이 다르기 때문일 것이라는 가설을 확인하기 위해 실측일사량과 기온 간 관계를 확인하고자 하였다. 그런데 실측일사량은 수평면에 설치된 전천일사계(Model: SP-110, Apogee Instruments Inc., USA)에 의해 측정된 값으로서 실제 지형(경사면)이 받는 일사량과는 차이가 있다. 태양이 동쪽 하늘에 머무는 오전 중에는 동향사면에서 일사계로 측정된 것보다 실제 수광량이 더 많을 것이며, 서향사면에서는 수광량이 적어진다. 반면, 오후에는 태양이 서쪽하늘에 위치하여 오전과 반대의 상황이 될 것이다.

시간에 따른 수평면 일사 측정값과 경사면의 실제 일사 수광량은 경사면의 방향(aspect) 및 각도(slope)에 따라 달라진다. 태양의 천정각을 θ 로, 경사면에 입사되는 태양광선과 경사면이 이루는 각을 r 로 보았을 때, 지점 i 의 수평면상에 도달하는 일사량 직달성분(S_0)은 다음과 같이 경사면 일사량(S_i)으로 변환된다(Kondratyev and Federova, 1977).

$$S_i = S_0 \cdot \frac{\cos r}{\cos \theta} \tag{1}$$

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.

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

선행연구에 따라 1100부터 1500까지 4시간 동안의 일사량이 1500 기온에 영향을 가장 많이 미칠 것으로 예상하여 이 시간대의 자료만을 분석하였다(Regniere, 1996). 위 식에서 매 시간 수평면 일사량(MJ/m^2)은 1분 단위 적산값(1101-1200, 1201-1300, 1301-1400, 1401-1500)을 이용하였고, 태양고도와 방위각 역시 시간단위(1130, 1230, 1330, 1430)로 추정하였다.

경사도와 경사향은 30m 격자해상도의 DEM (digital elevation model)으로부터 생성하여 관측지점에 해당하는 픽셀 값을 추출하였다. DEM에 기반한 경사도, 경사향은 DEM과 동일한 격자해상도를 갖게 되는데, 국지기온에 미치는 일사수광량의 영향이 격자규모에 따라서도 달라질 것으로 예상하였다. 따라서 대상 지점의 경사도와 경사향은 30m 기본 격자뿐만 아니라 인접한 격자의 평활화에 의해 공간평균값으로도 준비하였다. 평활화에 이용된 공간범위는 중심격자로부터 5, 10, 15, 20, 25, 30개 격자를 반경으로 하는 구역으로서, 반경이 각각 150m, 300m, 450m, 600m, 750m 및 900m인 원에 해당한다. 즉 한 지점의 기온에 미치는 주변 지형의 영향을 반경 900m까지 단계적으로 넓혀가면서 최적 범위를 찾기 위한 것이다. 단위격자를 포함한 7가지 경우에 대해 식 (2)를 이용하여 경사면 일사량을 계산하였다.

1500 기온은 한낮의 일사량 외에도 고도차에 따라 달라질 것이므로 연구대상지역의 기상관측지점 9곳을 고도계급에 따라 집단화 하여 고도차에 의한 오차를 최소화 하였다. 먼저 해발고도 50m 이하, 100m 급, 300m 급 등 세 집단으로 구분하였고, 다음에는 각 집단별 평균고도(각각 25m, 95m, 300m)와 실제고도와의 편차만큼을 건조단열감률($-0.9^\circ\text{C}/100\text{m}$)로 보정하였다. 이 보정된 기온을 각 그룹별 동일 고도에서의 1500

기온으로 간주하고 그룹 내 3지점을 돌씩 짝지어 3개의 쌍을 만들어 임의의 두 지점 간 기온 편차를 계산하였다. 같은 방법으로 4시간 동안의 수평면 및 경사면 적산일사량 역시 동일 그룹 내에서의 임의의 두 지점 간 편차를 산출하였다.

경사면의 1500 기온 변화량에 미치는 일사수광량 차이를 정량적으로 나타내기 위해 4시간 적산 일사량 편차를 독립변수로, 1500 기온 편차를 종속변수로 하는 회귀분석을 실시하였다. 이 과정은 수평면 일사량은 물론 7가지 경사면 일사량에 대하여 모두 동일하게 수행하였다.

III. 결 과

3.1. 맑은 날 복잡지형의 기온 편차

2012년 한 해 동안 진주와 순천 모두 일평균 전운량이 0인 날은 1월, 2월, 3월이 각각 하루씩, 4월과 12월은 3일씩이었으며, 10월은 2일이 해당하였다. 맑은 날 동일한 고도 조건에서 서로 다른 사면 간에 한 낮기온의 차이가 발생한다면, 그 중 상당부분은 사면 간 일사량 차이에 기인한 것으로 볼 수 있다.

연구대상지역의 기상관측지점 9곳에서 해발고도가 유사한 두 지점 간 1500 기온 차이를 보면, 기온감률($-0.9^\circ\text{C}/100\text{m}$)을 이용하여 동일한 해발고도의 기온으로 보정한 이후에도 0.5°C 이상의 기온편차를 나타내는 경우가 전체 99개(9쌍 \times 11일) 중 68개(69%)에 달했다. 해발고도 300m급의 세 지점(1, 2, 3번)은 경사도 20° 이상의 산사면이며, 이 중 동향사면과 서향사면인 3번과 1번 및 3번과 2번간에는 맑은 날 11일 중 각각 9일과 8일이 0.5°C 이상의 기온편차를 나타내었다. 이 두 경우의 지점 간 기온편차 11일치 평균값은 각각 -1.2°C , -1.1°C 로, 서향사면쪽의 기온이 더 높았다. 반면, 2번과 1번 간 기온편차는 $-1.2\sim-1.7^\circ\text{C}$ 이었으며 평균값은 -0.2°C 로, 기온편차가 편향되어 있지 않았다(Table 2).

경사도 $8\sim10^\circ$, 평균 해발고도 95m인 그룹 2의 경

Table 2. Mean and standard deviation of temperature difference between any two sites on 11 cloudless days in 2012

Site	Temperature difference								
	2-1	3-1	3-2	4-5	4-6	6-5	7-8	7-9	8-9
Average	-0.2	-1.2	-1.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.7	1.2	1.9
SD	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.5	0.8	0.7	0.5

우, 4번과 5번, 4번과 6번 간 기온편차가 0.5°C 이상인 날은 11일 중 각각 6일과 7일이었고 6번과 5번 간에는 2일만이 0.5°C 이상의 기온 차이가 나타났다. 단, 세 경우 모두 두 지점간의 기온편차 평균은 0에 가까워 편기성은 나타나지 않았다.

평균 해발고도가 25m 정도인 관측지점들(그룹 3의 7, 8, 9번) 중에서 7번 위치는 경사도가 약 9° 정도이고 8번과 9번은 평지에 가깝다. 7번과 8번 사이에 0.5°C 이상 기온 차이가 발생한 날은 8일, 편차평균은 -0.7°C로 주로 평야지인 8번 지점의 기온이 더 높았던 것으로 나타났다. 반면, 7번과 9번 사이에서는 주로 7번의 기온이 더 높아 편차평균값이 1.2°C 이었고, 하루를 제외하고는 기온편차가 0.5°C 이상 나타났다. 같은 평야지인 8번과 9번 사이에는 항상 8번 지점의 기온이 높게 나타나, 편차평균이 무려 1.9°C이었다. 8번 지점은 폐교 운동장에 설치되어 있고, 9번 지점은 섬진강과 맞닿은 무덤이들 벼논에 설치되어 있는데, 이와 같은 지표피복의 차이로 인해 기온편차가 발생했을 가능성이 있다.

3.2. 한낮의 기온-일사 관계

복잡지형 내 1500 기온은 여러 요인에 의해 영향

을 받을 수 있으나, 매우 맑은 날 조건에 한정하여 보면 지형적인 일사량 차이에 의한 효과만 추려낼 수도 있다. 2012년 중 선별된 맑은 날에 대하여 실측지점 9곳에서 동일 해발고도의 임의 지점 간 1500 기온 편차를 얻고, 같은 지점의 4시간(1100-1500) 적산 일사량 편차를 1:1로 비교해 보았다. 이 때 일사수광량은 수평면 일사량과 경사면 일사수광량으로 나누어 검토하였고, 경사면 일사수광량은 다시 평활화 면적에 따라 7가지 경우를 각각 비교하였다(Fig. 2).

수평면 일사계의 측정값은 실제 지면이 받는 일사량과는 차이가 있기 때문에, 관측값 그대로 4시간 동안 적산하여 두 지점 간 편차를 기온편차와 비교한 경우 일사-기온 간의 관계가 나타나지 않았다(Fig. 2A). 반면, 관측된 일사량을 해당 위치의 경사도와 경사향을 이용하여 경사면 일사량으로 변환한 다음 두 지점 간 수광량 편차를 기온 편차와 비교하면, 경사도/경사향 적용 조건에 따라 결과가 달라졌다(Fig. 2B-H). 먼저 관측지점이 포함된 30 × 30 m 격자의 900m² 면적을 대표하는 경사도/경사향을 기반으로 경사면 일사량을 계산한 경우에는, 수평면 일사량과 마찬가지로 일사량과 기온간의 관계가 뚜렷하지 않았다. 그러나 해당 격

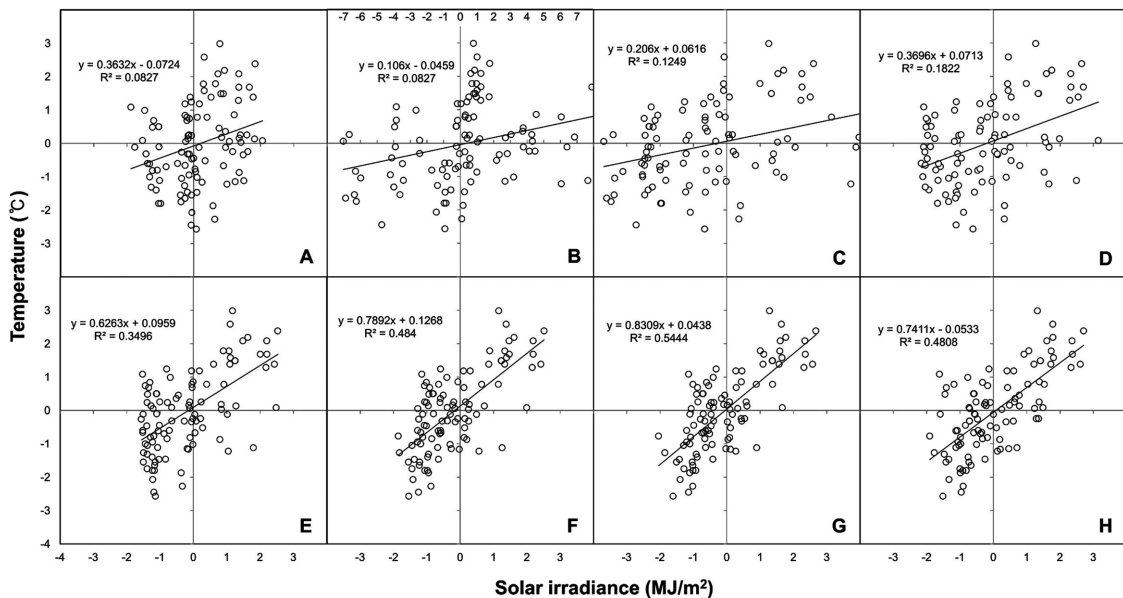


Fig. 2. Relationship between the temperature at 1500 LST and the solar irradiance accumulated for 1100-1500 LST, both represented by differences between any two locations on the same altitude. Solar irradiance stands for zonal means smoothed for various cell radii: A is for the horizontal surface radiation measured by pyranometers, B is for the sloping surface irradiance calculated with the original 30 m DEM grid, and C to H are for the calculated solar irradiance on sloping surfaces with the cell radii of 5, 10, 15, 20, 25 and 30, respectively.

자 경계면으로부터 150m (5cell), 300m (10cell), 450m (15cell), 600m (20cell), 750m (25cell) 및 900m (30cell) 까지를 반경으로 하는 구역을 적용하면 점차 결정계수값이 증가하여 반경 750m 조건에서 최대에 달했다(Fig. 2G). 이때의 선형회귀식은 $y = 0.8309x + 0.0438$ 으로서, 4시간 적산 일사량이 1 MJ/m²가 변화할 때 1500의 기온은 0.83°C만큼 증감하는 것으로 해석할 수 있다. 이 식의 결정계수(r^2)는 0.5444로서 전체 기온편차 변이의 절반 이상은 사면 일사수광량 편차에 의해 설명이 가능하다. 750m 평활화 전후의 450m, 600m 및 900m 평활화 조건에서는 선형회귀식의 결정계수가 모두 0.5 미만으로 떨어졌으며, 300m 이하로 평활화 하였을 경우에는 0.2 에도 미치지 못했다.

IV. 고 찰

구름이 없는 맑은 날 1500 기온은 직전 4시간 동안 적산 일사량이 수평면에 비해 1 MJ/m² 많은 경사면에서 0.83°C 높아진다는 사실을 실측자료에 의해 확인하였다. 단 일사량 편차를 모의할 때 반경 750m로 확장된 지역의 평활화 경사도와 경사향을 사용해야 이런 관계를 얻을 수 있었다. 이 면적(약 1.8 km²)을 일사편차가 기온에 영향을 미칠 수 있는 ‘유효면적’으로 정의하면, 이것은 집수역의 지형을 묘사하는 데 사용한 기준격자 면적(900m²)의 2,000배에 해당한다. 유효면적이 50km²인 악양 집수역의 지형은 당초 56,000개의 기준격자로 상세하게 묘사되었지만, 한낮기온을 추정하는 데는 28개 ‘유효면적’으로 단순화 된 지형이면 충분하다(Fig. 1B). 이런 일사-기온 관계 특성이 악양집수역에 국한된 것인지, 집수역의 지형이나 규모에 따라 달라질 것인지는 추가적인 연구가 필요하다.

지표 부근의 한낮기온 결정요인 가운데 사면 일사수광량 편차 외에 이류의 영향을 무시할 수 없다. 작은 규모의 사면에 인접한 공기주머니가 지면가열에 의해 데워지더라도 주변 지역의 열특성이 다른 공기주머니들과 빠르게 섞이면 특정 사면의 일사효과는 차별성을 잃게 된다. 이러한 현상은 일 최저기온 형성과정에서도 확인되는데, 맑은 날 아침기온 분포가 냉기호 내부의 풍속에 의해 영향을 받는 것이 악양집수역에서 관찰된 바 있다(Kim *et al.*, 2012). 이 연구에서 한낮기온을 결정하는 ‘유효면적’의 규모가 반경 750m에서 최적화 된 것은 악양집수역의 낮시간대 바람특성에 의

한 것일 수도 있다. 예를 들어 악양집수역에 비해 평균풍속이 큰 지역이라면 유효면적이 더 넓어질 수도 있으므로 다른 지역에서도 확인할 필요가 있다.

이 연구에서 얻은 일사기온당량(0.83°C/MJm⁻²)은 전운량 0인 아주 맑은 조건에서 얻었으므로 계절이나 날씨에 관계없이 한낮 기온이 미치는 일사효과의 최대치로 간주된다. 동일고도 상 여러 지점에서 관찰된 기온의 변이 가운데 최소한 절반은 이 경험적인 일사기온당량에 근거한 보정이 가능하다. 나아가 기존의 일 최고기온 추정과정에 적절하게 반영할 수 있는 방법을 찾아낸다면 복잡지형 상 수평면 일사량에 대한 사면 일사수광량 간 편차만으로 한낮 기온분포를 정밀하게 추정하는 데 도움이 될 것이다. 예를 들어 기존의 일 최고기온 추정방법인 고도편차 보정 이후 과열지수를 이용한 일사효과 모의에서, 과열지수 적용단계를 본 연구에서 찾아낸 일사기온당량으로 대체할 수 있을 것이다(Regnier, 1996). 즉 4시간 동안 적산된 인근 수평면 일사량과 대상 지역의 일사수광량 간 편차를 계산하여 일사기온당량에 의해 대상 지역 기온의 잠재 변화량을 구한 다음, 전운량이나 평균풍속과 같은 날씨조건에 따라 실제 변화량으로 조정할 수 있을 것이다.

적 요

소규모 집수역에서 한낮 기온의 분포와 일사수광량 간 관계를 관찰하기 위해 고도 50m급 3곳, 100m급 3곳, 300m급 3곳 등 9지점의 사면에 경사향을 달리 하여 무인기상관측기를 설치하고 1년간 매일 1500 기온과 직전 4시간(1100-1500) 일사량자료를 수집하였다. 운량이 0인 맑은 날에 한정하여 각 지점의 사면 일사수광량을 계산하고 1500 기온과 비교하였다. 이때 각 지점의 경사도(slope)와 경사향(aspect)은 30 × 30 m 격자를 기준으로 반경이 5, 10, 15, 20, 25, 30개 격자로 평활화 하여 사용하였다. 1500 기온에 미치는 직전 4시간 일사수광량 간에는 통계적으로 유의한 회귀관계가 인정되었으며, 반경 25개 격자(750m)로 평활화한 경우 사면 기온변이의 54%를 설명할 수 있었다($y = 0.8309x + 0.0438$, $r^2 = 0.5444$).

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호:

PJ907129)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Cesaraccio, C., D. Spano, R. L. Snyder, and P. Duce, 2004: Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agricultural and Forest Meteorology* **126**, 1-13.
- Choi, J. Y., U. Chung, and J. I. Yun, 2003: Urban-effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea. *Journal of Applied Meteorology* **42**(12), 1711-1719.
- Chung, U., and J. I. Yun, 2004: Solar irradiance – corrected spatial interpolation of hourly air temperature in complex terrain. *Agricultural and Forest Meteorology* **126**, 121-131.
- Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, J. Choi, J. T. Lee, and J. I. Yun, 2006: Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential. *Agricultural and Forest Meteorology* **137**, 15-24.
- 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.
- Jung, J. E., E. Y. Kwon, U. Chung, and J. I. Yun, 2005: Predicting cherry flowering date using a plant phenology model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**, 148-155. (In Korean with English abstract)
- Kondratyev, K. Y., and M. P. Federova, 1977: Radiation regime of inclined slopes. WMO Technical Note No. 152pp.
- Regniere, J., 1996: A generalized approach to landscape-wide seasonal forecasting with temperature-driven simulation models. *Environmental Entomology* **25**, 869-881.
- 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)
- Kim, J. H., and J. I. Yun, 2008: On mapping growing degree-days (GDD) from monthly climatic surfaces for South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**, 1-8. (In Korean with English abstract)
- Kim, S. O., J. I. Yun, U. Chung, and K. H. Hwang, 2010: A geospatial evaluation of potential sea effects on observed air temperature. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**(4), 217-224. (In Korean with English abstract)
- Kim, S. O., J. H. Kim, D. J. Kim, and J. I. Yun, 2012: Wind effect on the distribution of daily minimum temperature across a cold pooling catchment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(4), 277-282. (In Korean with English abstract)
- Westwood, M. V., 1993: Temperate-zone pomology physiology and culture (3rd ed.), Timber Press. 523pp.
- Yun, J. I., J. Y. Choi, and J. H. Ahn, 2001: Seasonal trend of elevation effect on daily air temperature in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**(2), 96-104. (In Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 2009: A simple method using a topography correction coefficient for estimating daily distribution of solar irradiance in complex terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(1), 13-18.