

맑은 날 사면 일사수광량과 한낮기온 간 관계

김수옥^{1*}, 윤진일²

¹(재)국가농림기상센터, ²경희대학교

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

S. O. Kim^{1*}, and J. I. Yun²

¹National Center for Agro-Meteorology, ²Kyung Hee University

(Correspondence: tolee7785@hanmail.net)

1. 서 언

식물의 발아, 성장, 개화, 등숙, 휴면 등 거의 모든 생리과정은 온도 의존적이다. 따라서 온도자료를 이용하여 작물의 발육단계 및 숙기를 생장도일(GDD, growing degree days)로 표현하거나, 휴면아의 저온요구도(chilling requirement) 및 고온요구도(heating requirement) 등으로 정량화하는 등의 영농활용 정보를 생산하는 것이 일반적이다 (Westwood 1993; Cesaraccio *et al.*, 2004; Jung *et al.*, 2005; Kim and Yun, 2008). 기온자료는 비관측지역에서도 인근 기상관서 측정값으로부터 공간내삽 및 해발고도차에 따른 기온 보정을 통해 추정할 수 있으며(Yun *et al.*, 2001), 일 최고기온의 경우 일사량을 인근 기상관서의 수평면 일사량과 비교하여 그 비율에 따라 기온을 보정하는 방법이 널리 사용되어 왔다(Regniere, 1996; Yun, 2009). 복잡지형에서는 사면과 태양위치 간 기하학적 관계와 그로 인한 일사수광량의 차이가 크게 나타나 최고기온의 공간변이를 증폭시키게 되는데(Seo *et al.*, 2008), Chung *et al.* (2009)과 Yun (2009)은 임의 경사면에 대하여 1100에서 1500까지 총 4시간 동안 누적된 일사량을 수평면과 비교한 과열지수(overheating index, OHI)를 통하여 복잡지형의 일 최고기온을 추정하였다. 본 연구에서는 복잡한 과열지수 기반의 일사효과 모의 방식의 대안으로 단순하면서도 쉽게 날씨조건이 반영되는 방안을 찾고자, 사면별 맑은 날 한낮의 기온과 일사수광량의 공간분포를 동시에 조사하여 두 변량 사이에 어떠한 관계가 있는지 밝히고, 그것이 기온보정에 활용할만한 정량적인 표현이 가능한지 확인하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지역 및 자료 수집

지리산 국립공원 남쪽에 위치한 경남 하동군 악양면은 해발고도가 10m에서 1,117m 까지 이르는 약 50km²의 단일 집수역으로서, 산지로 둘러싸여 있고 중심부에는 평야지가 있어 다양한 지형조건에서 일중 태양 위치에 따른 일사량 변화를 관측하기에 적합하다. 이곳에 무인기상관측기(SL100, STA Corporation, Korea)를 해발고도 300m 전후에 3대, 100m 전후에 3대, 50m 미만에 3대를 설치하여 2012년 1월 1일부터 12월 31일까지 1분 단위로 기온과 일사자료를 수집하였다(Table 1). 직달일사가 많은 맑은 날을 선별하기 위해서 악양면에서 가장 가까운 표준기상관측소인 진주기상대 및 순천기상관측소로부터 운량자료를 수집하고 연구기간 중 두 지역 모두 일평균 전운량이 0인 총 11일을 분석에 이용하였다.

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

2.2. 기온-일사 분석방법

선행연구에 따라 1100부터 1500까지 4시간 동안의 일사량이 1500 기온에 영향을 가장 많이 미칠 것으로 간주하고(Regniere, 1996), 청천조건에서 고도가 동일한 지점 간에 한낮의 기온차는 각 지점의 일사수광량 차이에 기인한다는 가설을 확인하기 위해 실측 일사량과 기온 간 회귀분석을 수행하였다. 먼저 연구대상지역의 기상관측지점 9곳을 해발고도 50m 이하, 100m 급, 300m 급 등 세 집단으로 구분하고, 각 집단별 평균고도(각각 25m, 95m, 300m)와 실제고도와의 편차만큼을 건조단열감률 (-0.9°C/100m)로 보정하여 고도차에 의한 기온의 오차를 최소화 하였다. 각 그룹 내 3지점에서는 임의 두 지점 간 기온차를 구하는 방식으로, 고도계급 당 3개의 쌍에 대한 매일의 기온편차값

을 계산하였다. 같은 방법으로 4시간 동안의 적산 일사량 역시 동일 그룹 내에서의 임의의 두 지점 간 편차를 산출할 수 있다. 이때 실측일사량은 수평면에 설치된 전천일사계(Model: SP-110, Apogee Instruments Inc., USA)에 의해 측정된 값으로서 실제 지형(경사면)이 받는 일사량과는 차이가 있으므로, Kondratyev and Federova(1977)의 방법을 이용하여 관측지점의 경사면 방향(aspect)과 각도(slope) 및 태양위치에 따라 경사면 일사량으로 변환하였다. 경사도와 경사향은 30m × 30m 격자해상도의 DEM (digital elevation model)으로부터 생성하여 관측지점에 해당하는 값을 추출하였는데, 30m 격자뿐만 아니라 인접한 격자, 즉 중심 격자로부터 5, 10, 15, 20, 25, 30개 격자를 반경으로 하는 공간범위 만큼 평활화한 평균값을 함께 이용하였다. 이는 한 지점의 기온에 미치는 주변 지형의 영향을 반경 150m, 300m, 450m, 600m, 750m 및 900m 까지 단계적으로 넓혀가면서 최적 범위를 찾기 위한 것이다. 경사면의 1500 기온 변화량에 미치는 일사수광량 차이를 정량적으로 나타내기 위해 총 7가지의 경사면 일사량 및 실측 일사량의 경우에 대하여 4시간 적산값 편차를 독립변수로 두고 1500 기온 편차를 종속변수로 하는 회귀 분석을 실시하였다.

3. 결 과

Fig. 1은 청천조건에 한정하여, 실측지점 9곳에서 동일 해발고도의 임의 지점 간 1500 기온 편차와 같은 지점의 4시간(1100-1500) 적산 일사량 편차를 1:1로 비교해 본 결과이다. 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. 1A). 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. 1B~H). 먼저 관측지점이 포함된 30m × 30m 격자의 900m² 면적을 대표하는 경사도/경사향을 기반으로 경사면 일사량을 계산한 경우에는, 수평면 일사량과 마찬가지로 일사량과 기온간의 관계가 뚜렷하지 않았다. 그러나 해당 격자 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 최

대에 달했다(Fig. 1G). 이때의 선형회귀식은 $y = 0.8309x + 0.0438$ 으로서, 4시간 적산 일사량이 1 MJ/m^2 가 변화할 때 1500의 기온은 0.83°C 만큼 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 0.2에도 미치지 못하였다. 전운량이 0인 아주 맑은 조건에서 얻은 일사기온당량($0.83^\circ\text{C/MJ m}^{-2}$)은 계절이나 날씨에 관계없이 한낮 기온이 미치는 일사효과의 최대치로 볼 수 있다. 복잡지형 내 1500 기온은 여러 요인에 의해 영향을 받을 수 있으나, 동일 고도 상의 여러 지점에서 관찰된 기온의 변이 가운데 최소한 절반은 이 경험적인 일사기온당량에 근거한 보정이 가능할 것이다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ907129)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- 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., 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)
- 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

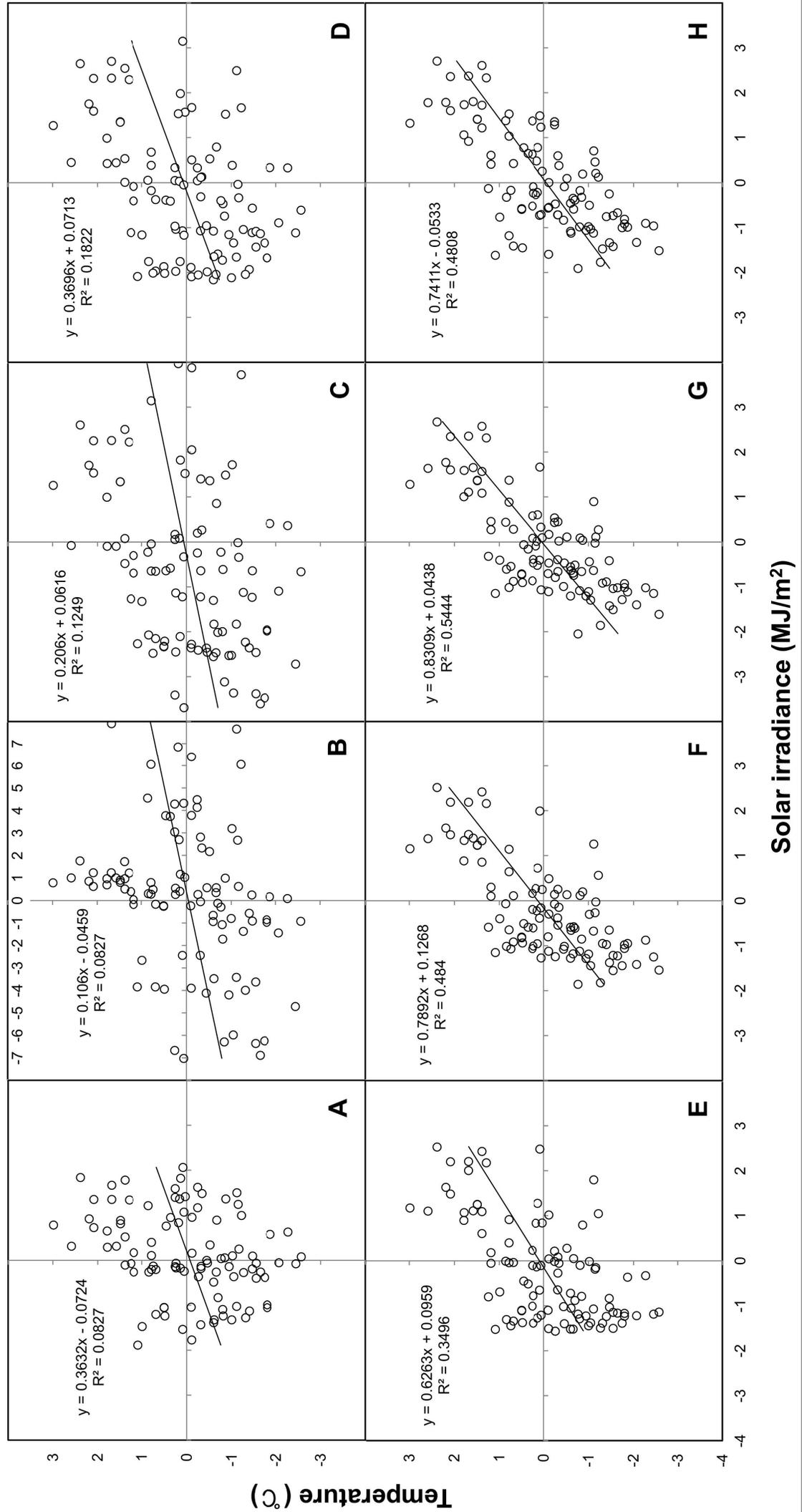


Fig. 2. Relationship between the temperature at 1500 LST and the solar irradiance accumulated for 1100-1500 LST, both of them represented by differences between any two locations on the same altitude. Solar irradiance stands for zonal means smoothed for various cell radii: A for the horizontal surface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