

# 산지 경사면의 야간 대기 냉각 특성

황규홍, 이정택, 허승오, 심교문  
농업과학기술원

## Characteristics of Nocturnal Atmospheric Cooling on a Mountain Slope

Kyu-Hong Hwang, Jeong-Taek Lee, Seung-Oh Hur, and Kyo-Moon Shim

National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA

(Correspondence : khhwang@hanmail.net)

### 1. 서언

맑고 바람이 없는 저녁, 지표근처의 냉각은 많고 일출 전후에 최저기온이 나타난다(Nishiyama, 1985). 그리고 기온은 지표근처에서 가장 낮고 고도가 높아질수록 높아진다. 이러한 상태를 지표 역전(surface inversion) 또는 지면역전(ground inversion)이라 한다. 지표 역전층은 지표근처에 강한 복사냉각(radiative cooling)에 의해 형성되고, 다른 하나는 차가운 공기의 drainage에 의해 이류(advection) 되어 지표근처에 축적된다. 이것은 차가운 공기의 drainage의 이류와 축적 때문에 하향 단파복사의 양이 줄어들고 지표면에 복사냉각이 강해지는 것이다(Maki et al., 1985a, b, 1986). 최근들어 Kondo and Okusa(1990)는 분지에서 야간냉각을 수치모델로 작성하였고, Gudiksen et al.(1992)은 야간 drainage flow에서 대기 기상의 효과를 모델로 만들었고, Lee et al.(1995)은 야간 drainage flow를 모델로 작성하였다.

복잡지형에서 야간 대기 냉각특성은 경사각, 계곡의 형태, 계곡의 길이, 산정상의 높이 등 지형의 형태에 따라 다양하다. 그러나 국내에서는 지형 형태별 산지 경사면의 대기특성에 관한 연구가 미흡하였다. 본 연구에서는 경상남도 하동지역을 대상으로 경사면에서의 대기 특성에 관하여 구명하고자 한다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 측정지점선정 및 기상자료 수집

경사면의 지형특성을 고려하여 6개 지점을 선정하였다(Fig. 1). 5개 지점은 6m 또는 7m의 간이형 타워에 층위별로 3개에서 5개의 온도/습도의 일체형 센서(Model H08 Pro, Onset, USA)를 radiation shield에 넣어 설치하였고 1시간 간격으로 측정하고 저장하도록 하였다.

1개 지점(site 2)은 6m 간이형 타워에 각 1, 2, 4, 6m 높이에 온/습도센서(Model HMP35C, Vaisala, Finland), 6m 높이에 풍속/향 센서(Model 05103, RMYoung, USA), 순복사센서(Model Q7, REBS, USA), silicon pyranometer(Model LI200X, Licor, USA), 1m 높이에 강우량센서(Model TE525MM, Texas Instrument, USA), 지중온도는 지표면에서 5, 10, 20, 30cm 깊이에 termistor(Model 107, Campbell, USA), 지중열류는 지표면에서 2cm깊이에 soil heat flux센서(Model HFT3, REBS, USA)를 설치하였다. 각 센서가 1분간 측정된 값은 자료기록장치(CR10X-1M, Campbell, USA)에 기록하고, 60분 간격으로 평균, 누적값을 저장하였다.

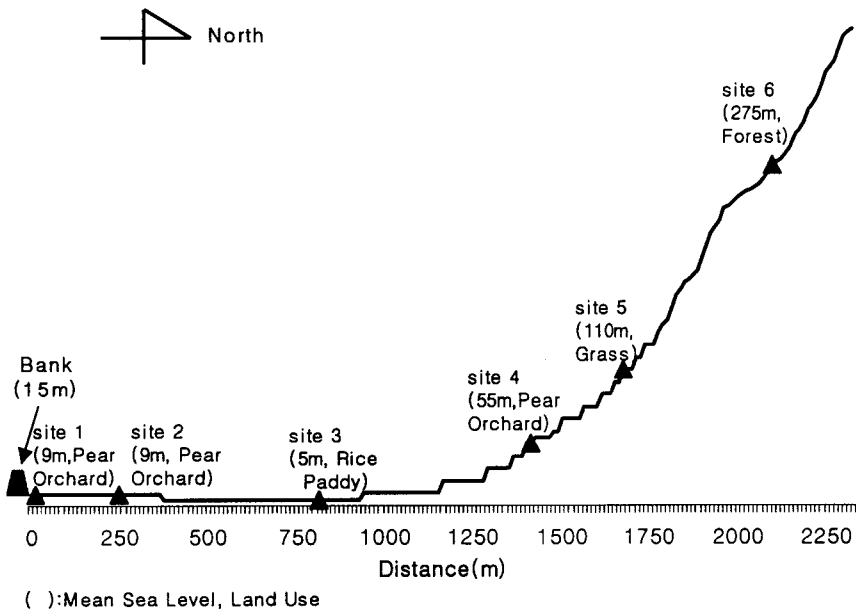


Fig. 1. Characteristics of the studied sites at Hwashimri, Hadongup, Hadong county, Kyungnam province.

### 3. 결과 및 고찰

야간의 기온의 변화는 다음과 같이 냉각률(cooling rate; C.R.)로 표현할 수 있다.

$$\text{Cooling Rate}(\text{°C/h}) = \frac{T_s - T_r(\text{°C})}{h(\text{h})}$$

여기서  $T_s(\text{°C})$ 는 일몰 기온,  $T_r(\text{°C})$ 은 일출 기온,  $h(\text{h})$ 는 야간지속시간이다.

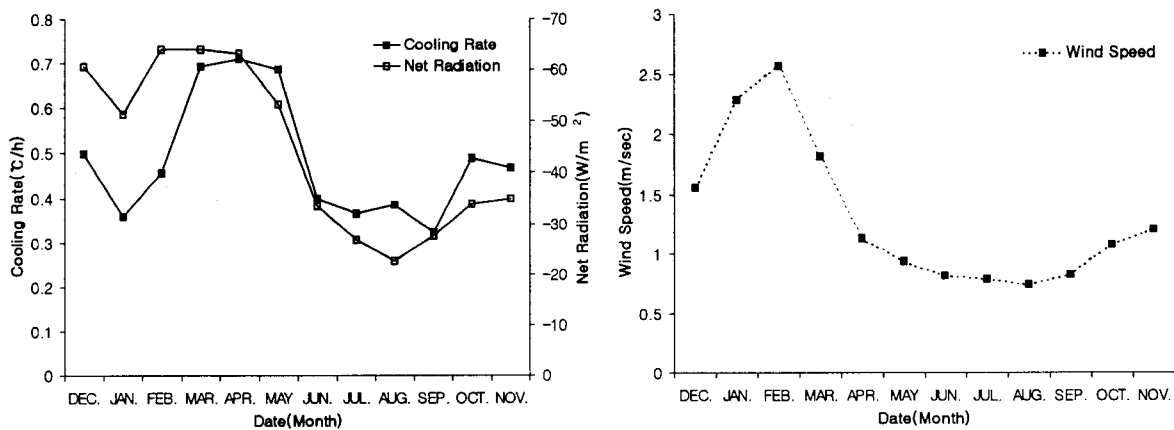


Fig. 2. The seasonal variations of cooling rate, net radiation and wind speed at Hadong county, Kyungnam province from Dec. 1999 to Nov. 2000.

일몰 후부터 익일 일출 전까지의 기온, 순복사량, 풍속의 매시간값을 누적하여 야간지속시간으로 나누어 1999년 12월부터 2000년 11월까지 월별 평균값을 그림으로 나타낸 것이 Fig. 2이다. 기온의 냉각률은 겨울(12, 1, 2월)에 시간당 0.4-0.5°C, 봄(3, 4, 5월)은 0.6-0.7°C, 여름(6, 7, 8월)에 가장 낮아 시간당 0.3-0.4°C, 가을(9, 10, 11월)에는 여름 보다 약간 높아 0.4-0.5°C씩 하강하였다. 일반적으로 야간에 순복사(net radiation)는 지중에서 대기중으로 에너지를 방출하는데, 전체적인 양상이 기온의 변화양상과 유사하였다. 2월은 순복사량이  $60W \cdot m^{-2}$ 이상으로 대기중으로 방출되는 에너지량이 가장 많았으나 야간 풍속이 강해(2.5m/sec이상) 냉각률은 0.4-0.5°C 정도로 낮았다. 8월은 순복사량이  $25W \cdot m^{-2}$ 정도로 가장 낮아 냉각률이 낮을 것으로 예상되었으나 풍속이 가장 낮아서 냉각률이 0.4°C 정도를 보였다.

Table 1. The correlation coefficient between cooling rate and other meteorological components.

Component	Correlation Coefficient
Total Net Radiation	0.611
Net Radiation(WS<0.5m/sec)	0.728
Net Radiation(0.5<WS<1m/sec)	0.738
Net Radiation(1<WS<2m/sec)	0.787
Net Radiation(WS>2m/sec)	0.459
Wind Speed	0.036
Soil Heat Flux	0.203

냉각률과 순복사, 풍속 0.5m/sec이하일 때 순복사, 풍속이 0.5이상 1m/sec이하의 순복사, 풍속이 1이상 2m/sec이하의 순복사, 풍속이 2m/sec이상일 때의 순복사, 풍속, 지중열류의 상관계수를 보인 것이 Table 1이다. 순복사와 풍속의 관계와 냉각률과의 상관은 풍속이 증가하면서 계속 상승하다가 풍속이 2m/sec 이상이 되면 상관이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 풍속과 냉각률은 상관계수가 0.036으로 아주 낮았으며, 지중열류도 상관계수가 0.203 정도 였다. 결국 냉각률과 순복사의 의존도는 풍속이 2m/sec 이상일 때는 약해진다. 즉 강한 풍속은 공기의 역학 대류열(mechanical convective heating)의 증가를 의미한다.

#### 인용문헌

- Gudiksen, P. H., J. M. Leone Jr., C. W. King, D. Ruffieux, and W. D. Neff. 1992: Measurements and modeling of the effects of ambient meteorology on nocturnal drainage flows. *J. Appl. Meteor.*, 31, 1023-1032.
- Kondo, J., and N. Okusa. 1990: A simple numerical prediction model of nocturnal cooling in a basin with various topographic parameters. *J. Appl. Meteor.*, 29, 604-619.
- Lee, I. Y., R. L. Coulter, H. M. Park, and J. H. Oh, 1995: Numerical simulations of nocturnal drainage flow properties in a rugged canyon. *Bound.-Layer Meteor.*, 72, 305-321.
- Maki, M., Harimaya, T. and Kikuchi, K. 1985 a: Nocturnal cooling systems in basin.(1) Heat balance analysis. In: The study of mechanism and quantitative prediction of occurrence of the extraordinary cooling in boundary layer as a primary factor of the damage of crops. ed. by Kondo, J., *Report of*

*Research Group of Natural Disasters*, No. A-60-4, 192-215(in Japanese).

Maki, M., Harimaya, T. and Kikuchi, K. 1985 b: Nocturnal cooling systems in basin.(1) Effects of cold air drainage. In: The study of mechanism and quantitative prediction of occurrence of the extraordinary cooling in boundary layer as a primary factor of the damage of crops. ed. by Kondo, J., *Report of Research Group of Natural Disasters*, No. A-60-4, 216-232(in Japanese).

Maki, M., Harimaya, T. and Kikuchi, K. 1986: Heat budget studies on nocturnal cooling in a basin. *Jour. Met. Soc. Japan*, 64, 727-741.

Nakamura, K. 1985: Minimum temperature and radiation balance at Tateno. *Jour. Aero. Obser. Tateno*, No.45.6-10(in Japanese with English abstract).