

구릉지 과원의 고도에 따른 기온변이

정유란 · 서희철 · 윤진일

경희대학교 생명자원과학연구원

(2003년 1월 11일 접수; 2003년 2월 20일 수락)

Air Temperature Variation Affected by Site Elevation in Hilly Orchards

Uran Chung, Hee-Cheol Seo and Jin I. Yun

Institute of Life Science and Natural Resources, Kyung Hee University, Korea

(Received January 11, 2003; Accepted February 20, 2003)

ABSTRACT

Air temperature was continuously measured in hilly pear orchards at 4 sites with elevations of 10, 49, 104 and 253 m above sea level. The mean air temperature, averaged over the 10-month period from August 2001 to June 2002, decreased as the site elevation increased by 0.2°C per 100 m. This weak lapse condition was amplified during daytime by sun-slope geometry. But on most days an inversion condition began by sunset and persisted until the next sunrise. During the observation period, daily minimum temperature at the valley bottom was lower than that of the hilltop on 67% of the days, and the average temperature difference was 1.4°C. Inversion of daily minimum temperature under clear sky conditions was stronger in spring and autumn than in winter with a maximum of 6°C. Lapse condition was predominant in daily minimum temperature on rainy days, and the lapse rate was strongest in winter.

Key words : cold air drainage, lapse rate, daily minimum temperature, topography

I. 서 언

기온의 공간변이는 수평에 비해 수직규모에서 훨씬 크기 때문에 국토가 좁은 우리나라의 경우에도 복잡지형의 기온변이 덕분에 다양한 기후자원과 작부체계를 농업에 활용할 수 있었다. 널리 알려진 복잡지형의 기온변이양상은 첫째, 고도에 따른 기온감율에 의해 평야지보다 산간지에서 저온이 형성되고, 둘째, 청명미풍인 날은 찬 공기의 집적에 의해 저지대에서 더 낮은 최저기온이 관찰되며, 셋째, 산중턱에는 온난대로 불리는 상대적으로 고온인 곳이 나타난다고 알려져 있다 (Bonan, 2002). 하지만 이런 현상이 하루 중 지속적

으로 나타나는지, 어느 시간대에 한정되는지, 계절적으로는 어떻게 달라지는지, 농업적으로 의미 있는 기온변이가 생기기 위한 고도차는 얼마인지 등에 대한 구체적인 정보는 찾아보기 어렵다. 만약 실측에 근거하여 시공간적 규모에 따른 기온변이정보를 얻을 수 있다면 농림업 현장에서의 활용성이 크게 증가할 것이다.

본 연구는 동일한 집수역(watershed) 내에서 고도에 따라 일중 기온이 어떻게 변화하는지 알아보기 위해 수행하였다. 구체적으로는 첫째, 서로 다른 고도에 위치한 지점들 사이에 발생하는 기온차의 경시변화특징을 밝히고, 둘째, 장기간에 걸친 일 최저기온에 대한 고도 체감효과와 찬 공기 집적효과의 상대적인 발현빈

도를 알아내고자 하였다.

II. 재료 및 방법

연구대상지역은 경상남도 하동군 하동을 만지리 분지봉 남향 사면일대로서 주요 경관은 배 과원이다. 동일한 집수역 내의 직선거리 200 m 이내에 위치한 해발 49, 104, 253 m 등 3 지점에서 2001년 9월부터 2002년 6월까지 10개월 동안 30분 간격으로 기온을 측정하였다(Table 1). 사용된 센서는 집록기 일체형 써미스터(Model HOBO H8 Pro, Onset Computer Corporation, U.S.A.)로서 제작사의 사양에 의하면 측정오차가 -30°C 에서 $+50^{\circ}\text{C}$ 범위에서 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이며, 상온에서의 정확도는 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이다. 센서는 자연대류형 차광틀(radiation shield)에 넣어서 알루미늄제 관측탑의 2 m 높이에 북향으로 설치하였다. 관측지점의 위치좌표는 위성측위계(Model GeoExplorer III 및 Pathfinder 2.80, Trimble Inc., U.S.A.)에 의해 측정하고 기준국(경남 진주)의 보정값으로 후처리하여 얻었다. 이 집수역의 맨 아래쪽 해발 10 m 지점에 위치한 배 과원 내에는 농업과학기술원에서 운영중인 무인기상관측소가 있는데, 기온의 경우 6 m 타워의 1, 2, 4 및 6 m 높이에서 매분마다 측정하고 있다.

수집된 30분 간격 기온자료는 품질관리를 거친 다음, 해발 104 m에 위치한 2번 지점 기온을 기준으로 삼아, 해발 49 m의 1번과 해발 253 m의 3번 지점간 편차를 각각 계산하였다. 또한 하루 48개씩의 30분 간격 기온 자료를 가운데 최소값을 찾아 그날의 최저기온으로 간주하고, 역시 2번-1번 및 2번-3번간 편차를 얻었다.

III. 결과 및 고찰

10개월 동안의 모든 측정자료를 시간에 관계없이 평

Table 1. Characteristics of temperature observation sites

Station ID	Elevation (m)	Latitude (DD)*	Longitude (DD)*	Aspect
0**	10	35.0840	127.7255	Flat
1	49	35.0936	127.7293	SW
2	104	35.0956	127.7279	SE
3	253	35.0985	127.7273	S

*Decimal Degree

**Reference station operated by National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST)

균해서 비교해 보면 기준점인 2번은 150 m 가량 높은 위치에 있는 3번 지점에 비해 0.3°C 높았고, 55 m 아래쪽에 위치한 1번 지점보다는 0.1°C 가 낮아서 대체로 고도에 따른 기온체감현상이 사실임을 보여준다. 그러나 일반적으로 사용되는 기온감율인 100 m 당 0.65°C 에 비해서는 훨씬 적은 값이다. 나아가 시간대별 평균값을 구해서 비교해 보면 고도에 따른 기온 변화가 일중 시간대별로 주기적인 양상을 띠는 것을 알 수 있다(Fig. 1). 낮 시간에는 높은 곳일수록 낮은 기온을 보이는 감율양상(lapse condition)이 증폭되어 기준점과 다른 두 지점간에 4 내지 5°C 까지 차이가 벌어지기도 한다. 이런 최대편차는 오전과 오

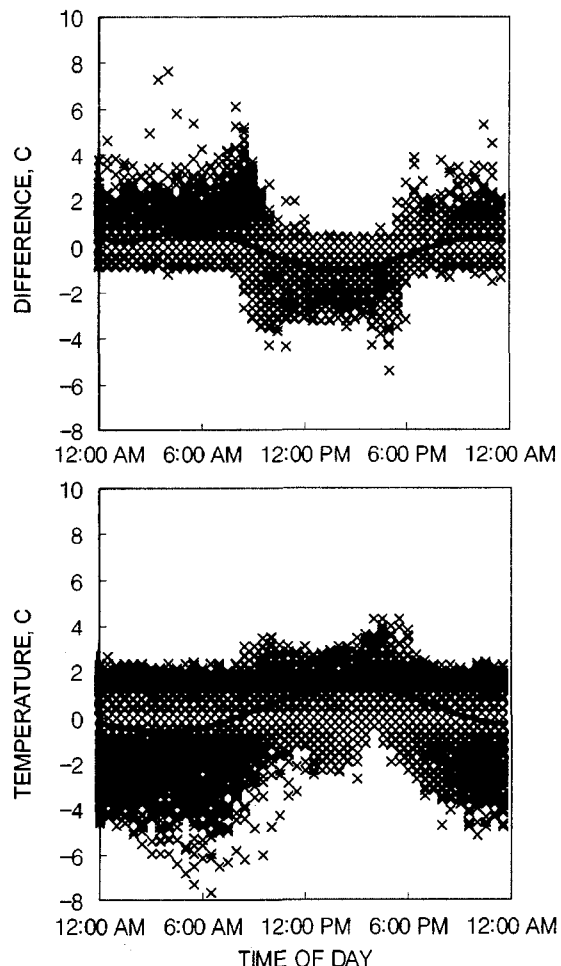


Fig. 1. Diurnal variation of the observed temperature deviation at site 2 (104 m above sea level) compared with site 1 (49 m above sea level, upper panel) and site 3 (253 m above sea level, lower panel).

후에 한 번씩 하루에 두 번 나타나는데, 이는 기준점의 사면방향이 남동향인데 비해 1번은 남서향, 3번은 정남향으로 각각 최대 일사 수광시각이 다르기 때문이다(Table 1).

그러나 감율양상은 주로 낮 시간대에만 뚜렷할 뿐, 오후 6시를 전후하여 고도가 높음에도 불구하고 오히려 기온이 더 높은 역전양상(inversion condition)이 나타나기 시작한다. 일몰 후에는 저지대 기온하강이 고지대 기온하강보다 훨씬 빠르게 진행되어 다음날 일출 때까지 지속적으로 낮은 기온을 보이는 날이 상당히 많다. 즉 날씨와는 무관하게 야간에는 감율양상보다 역전양상이 더 자주 나타난다. 특히 오전 6시를 전후한 아침시간에는 역전강도가 5°C를 넘는 경우도 여러 번 관측된다. 이는 사면상의 위치에 따른 불균일한 복사생각과 그에 따른 찬 공기의 흐름과 집적 때문이라고 해석할 수 있다. 주목할만한 사실은 이러한 역전양상이 반드시 청명미풍인 조건하에서만 발생한다는 교과서적인 이론과 (Rosenberg *et al.*, 1983; Oke, 1987; Bonan, 2002), 이 지역에서 실제 관측한 양상이 다르다는 점이다. 관측기간 중 날씨를 인근 순천과 진주의 종관기상자료로부터 판정하였을 때, 청명미풍이 아닌 날임에도 불구하고 찬 공기의 흐름은 매우 흔하게 나타났다. 뿐만 아니라 해질 무렵이면 이미 저지대에서 고지대보다 더 낮은 기온이 관측되었다. 고기압권에서 산간지의 경계층 내 국지풍 순환, 소위 산곡풍은 일반적인 현상이다. 하지만 낮시간대에 지속되어 온 감율양상이 역전양상으로 전환되기 위해서는, 즉, 산정상보다 계곡부에서 저온이 관측되기 위해서는 바람의 방향이 바뀐 후 찬 공기가 집적될 만큼 충분한 시간이 경과해야 한다. 예상보다 일찍 역전양상이 나타난 것은 연구대상지역의 남단이 섬진강을 접하고 있어 강을 끼고 있지 않은 다른 산지에 비해 열적인 불균형과 그에 따른 국지풍의 순환강도가 더욱 심하기 때문으로 판단된다. 이는 일몰 무렵에 바다와 육지간 해륙풍 순환교대와 활강풍의 발생, 이에 따른 강력한 기온역전이 관측된 한라산 남사면에서의 연구결과에서 확인된 바 있다(Yun *et al.*, 1988).

시간대별 기온편차 양상에 의하면 일 최저기온이 나타나는 일출 무렵에 기온역전현상이 가장 뚜렷하며 역전강도 역시 커지는 것을 알 수 있다. 일 최저기온은 발육단계에 따라서는 식물생육에 치명적인 영향을 끼치며, 작물생산관리 측면에서도 가장 중요한 기상요소 중

하나이다. 이번에는 2번 지점 대신에 가장 아래쪽의 농업과학기술원 무인기상관측소를 기준점으로 삼아 이곳에서 수집된 10개월 동안의 일 최저기온에 대비한 고도

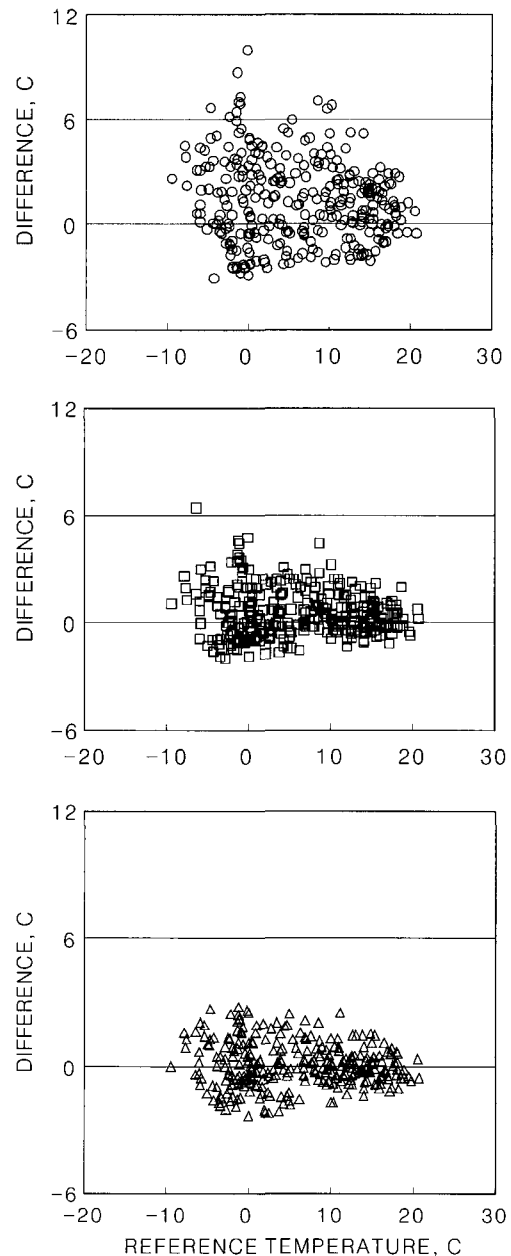


Fig. 2. Difference in daily minimum temperature at site 3 (253 m above sea level, top panel), site 2 (104 m above sea level, middle panel) and site 1 (49 m above sea level, bottom panel) in comparison with site 0. The x-axis ticks are daily minimum temperature observed at site 0 (10 m above sea level).

별 3개 지점의 최저기온 편차를 비교하였다(Fig. 2). 기준점보다 243 m 높은 곳에 위치한 3번 지점의 일 최저기온이 기준점에 비해 낮았던 날은 총 302일 가운데 94일 뿐인 반면, 역전현상이 나타났던 날은 201일에 달했다. 302일 간 전체 평균값도 기준점에 비해 1.4°C 높았는데, 가장 큰 편차는 무려 +10°C 인 반면 기준점보다 기온이 낮았던 날 가운데 가장 큰 편차는 -3.1°C에 불과했다. 기준점보다 94 m 위쪽에 위치한 2번 지점의 경우에도 기준점보다 최저기온이 더 높았던 날이 177일이나 되었고 최대편차는 +6.4°C 이었다. 반면 기준점보다 기온이 낮았던 날도 116일로 증가하였고 그에 따라 편차의 평균값은 +0.6°C로 감소하였다. 기준점과의 표고차가 39 m 인 1번 지점에서는 최저기온이 더 높거나 낮은 날이 거의 비슷하게 분포하였는데 평균값은 역시 +0.1°C로서 기준점보다 약간 높았고, 최대편차는 +2.8°C로서 상당한 차이를 보였다. 이 결과에 따르면 연구대상지역의 경우 청명 미풍인 날이 아니더라도 현재 과원이 조성되어 있는 저지대에서 더욱 낮은 일 최저기온이 나타날 확률이 크다. 만약 이러한 현상이 배의 만개기와 겹친다면 저지대 과원에서 피해를 입을 확률 또한 높아진다고 할 것이다.

보다 구체적인 경향을 파악하기 위해 무인기상관측

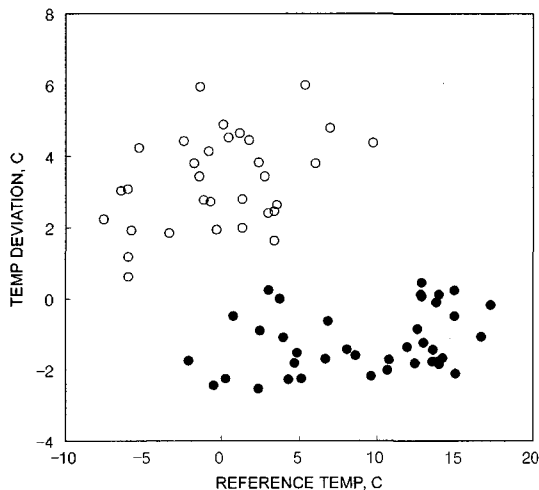


Fig. 3. Inversion strength which is expressed as drop in daily minimum temperature at reference site (10 m above sea level) compared with site 3 (253 m above sea level) is plotted against the observed temperature at reference site on clear nights (empty circles). Lapse rates observed on rainy days are also plotted for the comparison (solid circle).

소 최저기온에 대한 1번 지점의 최저기온 편차를 관측된 최저기온에 대응시켜 산포도를 얻은 것이 Fig. 3이다. “맑은 날”의 경우 예상대로 저지대인 무인기상관측값에 비해 항상 높은 기온을 보이는데, 대체로 관측기온이 높을수록 상승폭이 커진다. 관측기간이 2001년 가을부터 2002년 봄까지인 점을 고려하면 기온이 높은 시기는 봄이나 가을에 해당된다. 즉 저지대의 찬 공기 집적에 의한 기온하강효과는 겨울보다는 봄가을에 커진다는 의미로서, 봄철 늦서리와 가을철 첫서리에 의한 작물피해 가능성을 함축하고 있다. 반면 이주 추운 겨울철 맑은 날에는 표고차에 의한 기온역전강도가 오히려 작아짐을 알 수 있다. 한편, “비온 날”은 약하긴 하나 감율경향이 나타나서 저지대보다 고지대에서 낮은 기온이 관측된다. 일 최저기온에 미치는 기온감율의 강도는 봄가을보다는 겨울철에 더 크다는 사실을 확인할 수 있다.

IV. 적 요

2001년 9월부터 2002년 6월까지 소규모 집수역 내 고도가 다른 3개 지점(해발 49, 104, 253 m)에서 30분 간격으로 기온을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 평균기온은 100 m 당 0.2°C 씩 하강하였으며, 이 감율양상은 낮 시간대 지형에 의한 일사 수광량 변이에 의해 증폭되었다. 그러나 감율양상은 일몰시점부터 고도가 높을수록 기온이 더 높아지는 역전양상으로 전환되어 다음 날 일출시점까지 지속되었다. 이에 따라 계곡기저의 일 최저기온이 253 m 지점에 비해 더 낮은 날이 연중 67%를 차지하였고 연평균 기온편차는 1.4°C 이었다. 맑은 날의 최저기온 역전강도는 겨울보다 봄가을에 더 커지며 대상지역에서 관측된 최대값은 6°C 이었다. 흐리고 비온 날의 최저기온은 감율양상이 지속되었으며 봄가을보다 겨울철의 기온감율이 더 컸다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 대형공동연구사업(과제명: 사과 저수고 밀식재배과원 종합관리기술 개발) 및 한국과학재단 목적기초연구(R01-1999-000-00175-0) 지원으로 수행되었다. 현지기상관측에 많은 도움을 준 농업과학기술원 관계자에게 감사드린다.

인용문헌

- Bonan, G. B., 2002: *Ecological Climatology : Concepts and applications*. Cambridge University Press, 678p.
- Oke, T. R., 1987: *Boundary Layer Climates* (2nd edition). Methuen, 435p.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad, and S. B. Verma, 1983: *Microclimate : the Biological Environment* (2nd edition). John Wiley and Sons, 495p.
- Yun, J. I., M. Y. Lee, C. H. Cho, C. B. Lee, and K. W. Chung, 1988: Nocturnal air temperature variation over southern slope of Mt. Halla : a case study. *Journal of Atmospheric Research* **5**(1), 35-42.