

## 일 최저기온 공간내삽을 위한 지형기후학적 최적 공간규모

정유란<sup>1</sup> · 서희철<sup>1</sup> · 윤진일<sup>1</sup> · 이광희<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 생태시스템공학과/생명자원과학연구원, <sup>2</sup>상지대학교 환경식물공학과

(2003년 10월 13일 접수; 2003년 12월 1일 수락)

## An Optimum Scale for Topoclimatic Interpolation of Daily Minimum Temperature in Complex Terrain

Uran Chung<sup>1</sup>, Hee-Cheol Seo<sup>1</sup>, Jin I. Yun<sup>1</sup>, and Kwang-Hoe Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Ecosystem Engineering/Institute of Life Science and Natural Resources, Kyung Hee University

<sup>2</sup>Department of Agronomy and Horticulture, Sangji University

(Received October 13, 2003; Accepted December 1, 2003)

### ABSTRACT

Cold air accumulation plays a critical role in formulating daily minimum temperature in complex terrain on radiative cooling nights, and spatial interpolation can be improved by accommodating this important topoclimatic variable. Little is known about the spatial scale for computing cold air accumulation which influences daily minimum temperature. Air temperature was measured at 10-minute intervals during September 2002 - February 2003 at eight locations within a 1 by 1 km hilly orchard area. Minimum temperature data for suspected radiative cooling nights were collected, and the deviations from reference observations at a near-by KMA automated weather station were calculated. A digital elevation model with a 10m cell size was used to calculate the cold air accumulation at 8 locations. Zonal averages of the cold air accumulation were computed for each location by increasing the cell radius from 1 to 10. Temperature deviations were regressed to a common logarithm of the smoothed averages of cold air accumulation to derive a linear relationship between the local temperature deviation and the site topography. The highest coefficient of determination ( $r^2 = 0.78$ ) was found at a cell radius of 5, which corresponds to an approximately 1 ha boundary surrounding the point of interest.

**Key words** : minimum temperature, topography, cold air drainage, microclimate

### I. 서 언

우리나라 과원지대는 휴면기의 동해로부터 봄철 늦서리 피해에 이르기까지 저온에 의한 경제적 손실이 잦은 편이라 재배농가에서는 일 최저기온 예보에 큰 관심을 갖고 있다. 최근 수치대기모형에 의한 일기예보의 공간단위가 현재의 수 십 km에서 1 km 까지 좁혀질 것으로 기대되며, 농업기상관측 역시 시군 기

초단체 단위로 지역네트워크가 실용화 되고 있다. 그러나 한편에서는 기상관측이나 예보를 이렇게 상세하게 해야 할 필요성이나 그 효과에 대해 회의적인 시각도 있다. 사실 넓고 평탄한 지역이라면 기온의 공간변이는 심하지 않을 것이고 1 km 격자 해상도 정도의 기상정보면 대규모 농장이나 과원 혹은 삼림 관리를 위해 실용상 충분하다 할 것이다. 하지만 지형이 복잡하고 고도변이가 심한 지역에서는 더 조밀한 공간단위

가 필요할지도 모른다. 1 km 해상도는 현재 기상기술 수준에서 기상청에 의해 제공될 수 있는 국지기상정보의 최고해상도라 할 수 있지만, 지표피복, 고도변이, 지형특성 등 여러 요인에 의해 지역에 따라서는 더욱 작은 규모로 특이한 미기후가 형성될 수도 있다. 물론 이러한 미기후의 영향이 작물생육이나 농업활동에 모두 반영되는 것은 아니겠지만, 지역경관에 따른 정량적인 기온변이정보는 “지역 특이적”(site-specific) 과 원관리를 위한 유용한 수단이 될 수 있다.

일 최저기온의 형성은 야간 복사냉각 및 찬 공기 집적 등 지형기후와 관련이 깊다. 규모가 작은 과원지대 내에서도 지점에 따라 일 최저기온이 6°C까지 차이나며 (Chung et al., 2003), 이러한 기온 공간변이의 대부분은 찬 공기 집적 및 운난대 효과를 기존의 기온내삽모형에 포함시킨 지형기후모형에 의해 해석할 수 있다. 현재 많이 쓰이고 있는 고도차 보정 IDW (Inverse distance weighting) 방법으로 일 최저기온을 추정할 경우 발생하는 오차 가운데 80% 정도는 관측소가 위치한 지역에 흘러 들어오는 찬 공기 유입량으로부터 해소시킬 수 있음이 알려져 있다 (Chung et al., 2002). 그러나 어떤 지점의 최저기온에 미치는 지형의 영향은, 고려되는 주변지역의 면적에 따라 달라질 수 있음을 쉽게 예견할 수 있다. 예를 들어 한 지점의 기온 순간값은 바로 그 지점에 유입된 찬 공기에 의해 결정되겠지만, 시간규모가 한 시간 혹은 하루 등으로 증가하면 단순히 그 지점의 유입량뿐 아니라 점차 주변 지역의 유입량으로 그 영향권이 확대될 것이다.

본 연구는 먼저 수평거리 1 km 이내의 좁은 공간에서도 과연 농업적으로 의미 있는 기온차가 존재하는지 여부를 확인하고, 이를 토대로 일 최저기온의 지형기후학적 모의에 필수적인 찬 공기 유입량의 최적 영향권을 찾기 위하여 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 지역 선정 및 기온자료 수집

연구대상지역은 경상남도 하동군 하동읍 만지리 분지봉 남향 사면일대로서 주요 경관은 배 과원이다. 이 지역을 단위면적 1×1 km 격자로 나누고 그 중 한 개 격자에 해당하는 지역 내에 8개의 기온관측소를 설치하였다 (Fig. 1). 관측지점간 거리는 가장 가까운 것이 50 m, 가장 먼 곳은 735 m 떨어져 있다. 격자

에 해당되는 지역의 지형특성을 10 m 해상도의 수치 고도모형 (digital elevation model, DEM)을 토대로 분석해 보면 해발고도 범위는 10 - 290 m이나 기온관측소의 위치는 모두 27 - 88 m 범위에 놓여있다 (Table 1). 관측점이 위치한 사면의 방향은 남서향이 3개소, 남향 및 서향이 각각 2개소, 그리고 북동향이 1개소이었으며, 경사도는 10 - 28도 정도였다.

관측은 10분 간격으로 2002년 9월에 시작하여 2003년 2월까지 계속하였다. 사용된 센서는 집록기 일체형 써미스터 (Model HOBO H8 Pro, Onset Computer Corporation, U.S.A.)로서 산악지대의 경관 규모 기온변이 연구에 널리 이용되어왔다. (Lookingbill and Urban, 2003). 제작사의 사양에 의하면 측정오차가 -30°C에서 +50°C 범위에서 ±0.5°C이며, 상온에서의 정확도는 ±0.2°C이다. 센서는 자연 대류형 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.

수집된 10분 간격 기온자료는 품질관리를 거친 다음, 임의의 두 지점간 편차 가운데 가장 큰 값을 선 발하였다. 또한 하루 144개씩의 10분 간격 기온 측정값 가운데 최소값을 찾아 그날의 최저기온으로 간주하

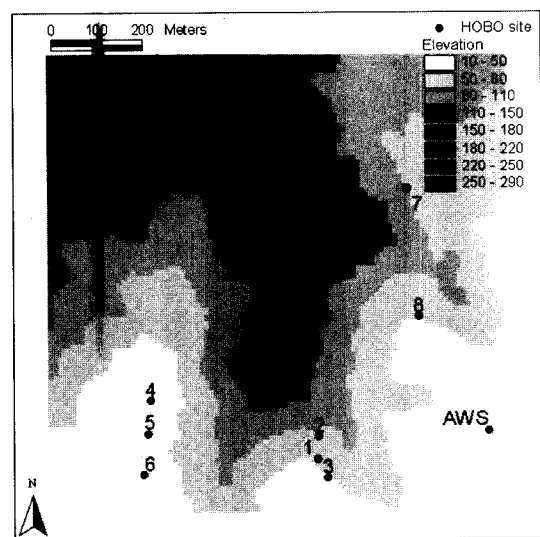


Fig. 1. Map of the study area with locations of temperature observation.

**Table 1.** Location and land use of 8 observation sites at the study area.

Station ID	Elevation (m)	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Aspect	Land use
1	60	35.0915	127.7331	SW	Forest
2	74	35.0919	127.7331	S	Pear orchard
3	52	35.0911	127.7333	SW	Pear orchard
4	34	35.0927	127.7291	SW	Pear orchard
5	32	35.0920	127.7291	W	Pear orchard
6	27	35.0912	127.7290	W	Pear orchard
7	88	35.0968	127.7353	NE	Forest
8	56	35.0943	127.7356	S	Pear orchard

고, 역시 임의의 두 지점간 편차 가운데 가장 큰 값을 얻어 “최대공간변이”라고 명명하였다.

## 2.2. 관측점의 기온편차와 찬 공기 영향권 분석

기상청 발간 기상월보로부터 인근 진주기상대 및 순천기상관측소의 일 기상자료를 발췌하여, 연구기간 중 평균해면기압이 1,020 hPa 이상이며 풍속이 1 m/s 이하이고, 이틀연속 일사량 9 MJ m<sup>-2</sup> 혹은 일조시간 7 시간 이상인 날짜를 선별하였다. 이들 날짜에 대하여 기상청 자동기상관측망 가운데 연구대상지역에 인접한 하동읍 자동기상관측소(Automated Weather Station, AWS)의 일 최저기온자료를 수집하였다. 설치지점은 연구대상지역으로부터 동쪽으로 약 1 km에 위치한 농업기술센터 옥상으로서, 주변으로부터 찬 공기가 유입되지 않는 곳이므로 이 지역의 중규모 기후를 대표한다고 간주하였다. 하동 AWS 관측기온을 기준으로 8개 HOB0 관측소의 최저기온 편차를 각각 계산하였다.

8개 지점의 냉기유입량을 Chung et al. (2002)의 방법으로 계산하였는데, 요약하면 다음과 같다. 야간 장파복사교환에 의해 지표면이 냉각되면 대상지역 내에서 가장 높은 위치(예, 언덕이나 산 정상)의 공기가 중력에 의해 아래쪽으로 흘러간다. 무거워진 공기가 지표면의 한 개 격자점에 놓이면 땅 속으로 스며들지 않고 모두가 8개 방위의 인접한 격자점들 중 한 개로 흘러간다고 가정하면, 8개의 인접 격자점들 가운데 중심 격자점과의 고도차가 가장 큰 격자점 쪽이 흐름의 방향이 된다. 임의 격자점 주변에는 항상 8개의 인접 격자점들이 각각의 흐름 방향을 갖고 에워싸고 있으므로, 이들 가운데 흐름 방향이 중심 격자점을 향한 것들만 선택하여 그 개수를 합치면 찬 공기 유입량을 알 수 있다. 이를 위해 연구대상지역의 표고를 사방

10m의 격자 cell로 표현한 수치고도모형을 이용하였으며, 영향권의 범위를 파악하기 위해 반경을 1 cell로부터 10 cell 까지 늘려가며 유입량의 근린평균값 10종을 추가로 계산하였다.

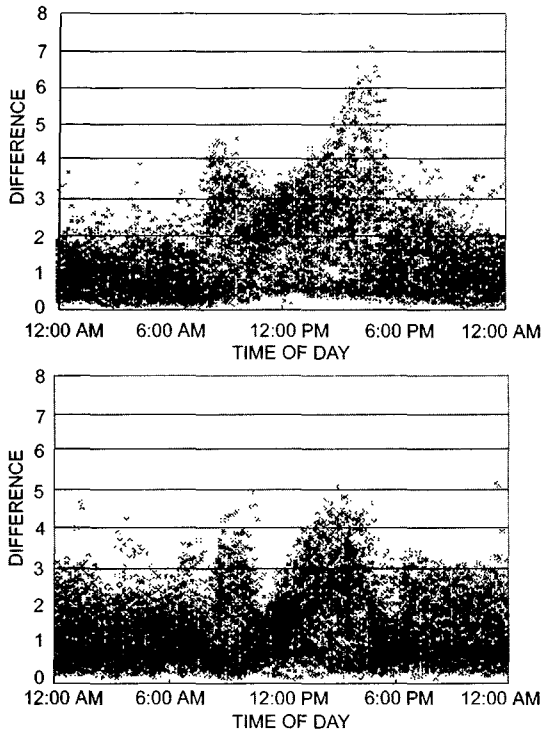
앞서 얻은 복사생각일의 8개 관측점 최저기온 편차(기상청 AWS와 HOB0 관측값간 차이)를 관측점의 냉기유입량 11종에 각각 회귀시켜 통계모형을 작성하였다. 이때 냉기유입량은 Chung et al. (2002)의 제안에 따라 상용대수로 표현하였으며 1차형만 독립변수로 사용하였다.

## III. 결 과

### 3.1. 매 10분 기온 공간변이의 경시변화

2002년 9월과 10월 두 달간 관측된 10분 간격 기온을 8개 지점별로 평균해보면 16.4 - 17.0°C로서 지점간 편차가 예상만큼 크지 않았다. 같은 기간 중 관측된 최고기온과 최저기온 역시 지점간 편차 최대값이 각각 2.5도 및 1.1도로서 8개 관측지점 모두 기온 측면에서 동질적인 중기후권에 속함을 보여주었다. 11월부터 이듬해 1월까지 겨울에도 평균이 2.9 - 3.4°C 범위로서 그 편차가 가을철과 비슷하였으며, 최고 및 최저기온 역시 지점간 편차 최대값이 각각 2.2도 및 1.1도로서 가을철과 그 양상이 동일하였다.

하지만 8개 관측지점 가운데 두 지점씩 무작위로 짝을 지어 각각의 편차를 얻은 다음, 이들 중 가장 큰 값, 즉 최대공간변이를 시간대별로 나타내면 지점간 변이가 상당히 크다는 것을 알 수 있다 (Fig. 2). 최대공간변이는 오후 3-4시 및 오전 9-10시경 하루에 두 번 피크를 이루는데, 이는 오전에는 남동향, 오후에는 남서향 사면에서 수평면보다 많은 일사량을 받아 다른 향의 사면에 위치한 관측점에 비해 높은 기온을 보이기



**Fig. 2.** Diurnal march of the temperature difference maxima among random pairs from 8 locations within a 1 by 1 km area. Each panel represents September - October 2002 (top) and November 2002 - January 2003 (bottom).

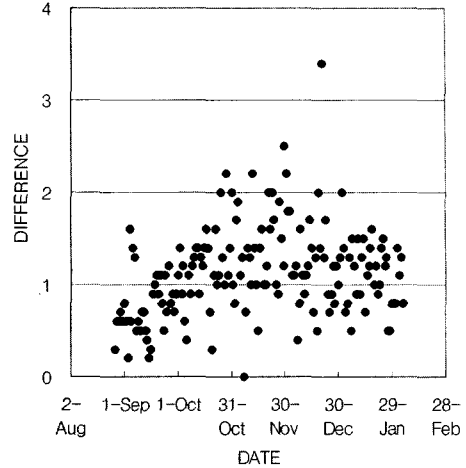
때문이다. 9 - 10월중에는 오후 3시 무렵의 최대공간변이가 7°C에 달하며, 오전 9시에도 5°C까지 편차가 커진다. 야간에는 상대적으로 변이폭이 줄어들지만 그래도 새벽에 3 - 5°C까지 기온차가 생기는 날이 있다.

**3.2. 일 최저기온 최대공간변이의 계절변동**

8개 지점에서 관측된 일 최저기온만을 발췌하여 임의의 두 지점간 편차를 구하고, 그 가운데 최대값을 날짜별로 작도한 것이 Fig. 3이다. 11월말까지 일 최저기온의 최대공간변이는 지속적으로 증가하여 2.5°C에 도달하며, 이후 봄까지는 감소하는 경향을 보인다. 매 10분값의 공간변이에는 미치지 못하지만 이렇게 좁은 지역 내에서도 가을-겨울의 일 최저기온은 공간변이가 상당히 크다는 사실을 알 수 있다.

**3.3. 날씨에 따른 최저기온의 공간변이**

인근의 기상청 진주기상대에서 관측한 일사량, 운량, 강수량을 근거로 맑은 날과 흐린 날로 분류하여 대표적

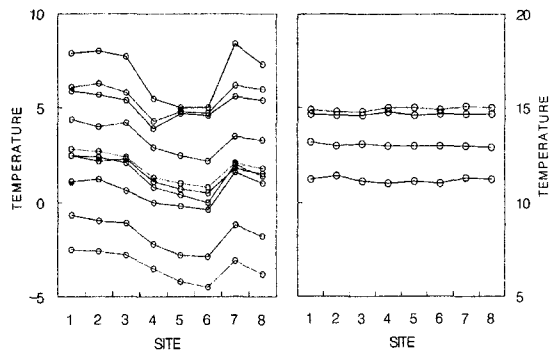


**Fig. 3.** Seasonal trend of the temperature difference maxima in daily minimum temperature observed at 8 locations within a single grid cell of 1 by 1 km.

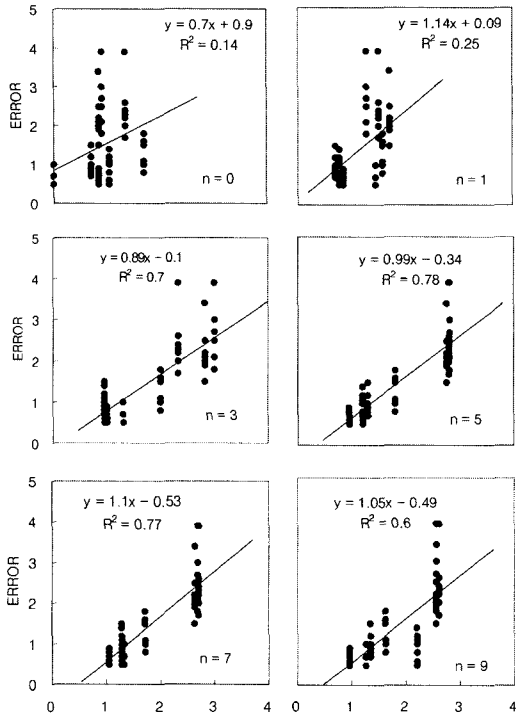
인 날씨에 8개 지점에서 관측된 일 최저기온을 비교한 것이 Fig. 4이다. 예상대로 흐리고 비오는 날은 지점간에 기온차가 거의 나타나지 않고, 청명미풍인 날에는 기온편차가 뚜렷함을 알 수 있다. 청명미풍 조건에서 지점간 기온변이의 양상은 날짜별로 거의 일정한데, 예를 들어 6번 지점은 거의 모든 날씨에서 가장 낮은 기온을 기록하였다. 이 관측소는 8개 지점 가운데 가장 낮은 위치에 설치되었으므로 야간 복사냉각시 찬 공기가 다른 곳보다 많이 유입될 수 있는 곳이다.

**3.4. 최저기온 형성에 미치는 찬 공기 유입량의 영향권**

지형의 영향을 받지 않는 하동의 AWS 최저기온을 기준으로, 지형의 영향을 받는 각 HOBO 관측소 최



**Fig. 4.** Spatial pattern of daily minimum temperature on clear - calm (left) and on rainy - overcast (right) periods.



**Fig. 5.** Relationship between the temperature deviation from a reference station and the cold air accumulation at 8 observation sites. Cold air accumulation is represented by zonal means smoothed for various cell radii. Highest coefficient of determination ( $r^2$ ) is found at 5-cell radius ( $n = 5$ ).

저기온 편차를 얻어, 관측소가 위치한 격자구역 (10×10 m)에 흘러 들어오는 찬 공기 유입량에 회귀시킨 결과가 Fig. 5이다. 이 그림은 11개 결과 가운데 평활화 하지 않은 경우와 관측소가 포함된 격자 cell을 중심으로 반경을 1, 3, 5, 7, 9 cell로 확대시키면서 평활화 시킨 경우 등 6개를 보여준다. 찬 공기 유입량은 상용대수로 표현되어있으며, 각 관측지점에서 얻은 일 최저기온 편차와의 추세선을 1차 회귀식으로 나타내고 있다. 만약 찬 공기 유입량을 변형 없이 그대로 쓴다면 회귀식의 결정계수는 0.14로 매우 낮지만, 평활화 반경을 늘려 가면 점차 결정계수도 증가하여 반경 5 cell에서 0.78의 결정계수를 보인다. 이후 반경이 더 넓어지면 결정계수는 오히려 작아지는 경향을 보이므로 연구대상지역에서 최저기온에 미치는 지형의 영향은 5 cell 반경 내의 찬 공기 유입량을 평활화한 평균값에 의해 가장 잘 표현된다고 결론지을 수 있다. 즉 복사냉각일의 최저기온 형성에는 1 ha 정도의 주변지역 지형이 중요한 역할을 한다.

**IV. 적 요**

복잡지형상의 일 최저기온 공간내삽 과정에서 유용한 설명변수로 등장한 찬 공기 유입량은 적용면적, 즉 공간규모에 따라 그 값이 크게 변하므로, 지형기후학적 최저기온 내삽모형의 실용화를 위해서는 최적규모를 파악해야 한다. 본 연구에서는 동질적인 중규모 기후구역을 대표하는 기준 관측값에 대한, 같은 구역 내 여러 지점의 기온편차를 계산하고, 이를 다양한 반경의 주변지역 찬 공기 유입량에 회귀시켜 일 최저기온에 미치는 지형의 최적 영향권을 도출하고자 하였다. 경남 하동의 배 과원지대에 1×1 km 구역을 설정하고 8개 지점에서 2002년 9월부터 2003년 2월까지 10분 간격으로 기온을 측정하였다. 동일 구역 내 기상청 자동기상관측자료를 기준으로 삼아 복사냉각일의 최저기온 편차를 8개 지점별로 얻었다. 연구지역의 고도를 10 m 해상도의 수치고도모형으로 표현하고 이를 토대로 8개 지점의 냉기 유입량을 계산하였다. 이 때 10 m 단위로 100 m까지 반경을 증가시키면서 유입량의 평활화 평균값을 계산하여 최저기온 편차를 회귀시켰다. 그 결과 복사냉각일의 국지적인 최저기온 결정에는 반경 50 m 범위 (약 1 ha)의 주변지역 지형이 가장 유효함을 알 수 있었다.

**감사의 글**

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(1999-2-221-002-5) 및 농촌진흥청 농업특정연구사업 (과제명: 포도동해 발생의 지형기후학적 해석연구) 지원으로 수행되었음.

**인용문헌**

Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, J. I. Yun, 2002: Minimum temperature mapping in complex terrain considering cold air drainage. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**, 133-140. (In Korean with English abstract)

Chung, U., H. C. Seo, and J. I. Yun, 2003: Air temperature variation affected by site elevation in hilly orchards. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **5**, 43-47. (In Korean with English abstract)

Lookingbill, T. R., and D. L. Urban, 2003: Spatial estimation of air temperature differences for landscape-scale studies in montane environments. *Agricultural and Forest Meteorology* **114**, 141-151.