

공간기후모형을 이용한 나주지역 배 개화기 일 최저기온 예보

한점화^{1*} · 이병렬² · 조경숙³ · 최장전¹ · 최진호¹ · 장한익⁴

¹원예연구소 배시험장, ²기상청 수원기상대,
³기상청 국가농업기상센터, ⁴원예연구소 과수과
(2007년 4월 16일 접수; 2007년 9월 13일 수락)

Forecasting of Daily Minimum Temperature during Pear Blooming Season in Naju Area using a Topoclimate-based Spatial Interpolation Model

J. H. Han^{1*}, B. L. Lee², K. S. Cho³, J. J. Choi¹, J. H. Choi¹, and H. I. Jang⁴

¹Pear Experiment Station NHRI, RDA,

²Suwon Weather Station, KMA,

³National Center for AgroMeteorology, KMA,

⁴Fruit Research Division, NHRI, RDA

(Received April 16, 2007; Accepted September 13, 2007)

ABSTRACT

To improve the accuracy of frost warning system for pear orchard in a complex terrain in Naju area, the daily minimum temperature forecasted by Korea Meteorological Administration (KMA) was interpolated using a regional climate model based on topoclimatic estimation and optimum scale interpolation from 2004 to 2005. Based on the validation experiments done for three pear orchards in the spring of 2004, the results showed a good agreement between the observed and predicted values, resulting in improved predictability compared to the forecast from Korea Meteorological Administration. The differences between the observed and the predicted temperatures were $-2.1\sim-2.7^{\circ}\text{C}$ (on average -0.4°C) in the valley, $-1.6\sim-2.7^{\circ}\text{C}$ (on average -0.4°C) in the riverside and $-1.1\sim-3.5^{\circ}\text{C}$ (on average 0.6°C) in the hills. Notably, the errors have been reduced significantly for the valley and riverside areas that are more affected by the cold air drainage and more susceptible to frost damage than hills.

Key words : Minimum temperature, Frost, Pear, Interpolation model

I. 서 언

지구온난화에 의한 기온의 상승은 과수의 생장과 발육에 영향을 주어 개화시기를 앞당기고 있으며, 불규칙한 저온 내습으로 개화기의 늦서리 피해가 증가할 것으로 예상되고 있다(Jang *et al.*, 2002; Yoon, 2005). 반면, 현재까지 우리나라 기상청에서 생산되는 기온관측 및 예보는 도시 및 특정지역을 대상으로 80

여개 기상관서에 한정되어 있으며, 미관측 지역에 대해서는 시군 단위별로 예보되고 있으나 복잡한 지형과 소규모 재배가 수행되고 있는 지역에서는 보다 정밀한 공간 단위의 기상 정보가 요구된다.

따라서 기상청의 관측 및 예보구역을 제외한 실제 영농현장의 기온 추정을 위한 여러 가지 공간내삽 모델들이 개발되고 있으며(Yun *et al.*, 2000), 일부 민간정보회사 등에서는 기상관서로부터 멀리 떨어진 지

점의 기온값을 추정하는 방법으로 주변기상관서의 기온값을 평균하여 수요자에게 신뢰성 있는 영농정보를 제공하기 위한 연구들이 이루어지고 있다.

Chung *et al.*(2002)은 소규모 재배와 복잡한 지형 구조를 갖고 있는 우리나라 특성을 반영하고 일 최저기온 추정모델 개발을 위해 산악지형에서의 일 최저기온 공간 내삽시 어려운 문제로 제기되는 냉기침강효과를 구현하여 10m 해상도의 일 최저기온 분포도를 작성하였으며, 기존의 기온값을 내삽법에 의한 추정오차를 80%이상 줄일 수 있음을 확인하였다. 또한 2004년에는 2002년 당시 하동지역을 대상으로 구현된 모델이 경기 연천지역에서도 일 최저기온 추정에 탁월한 효과가 있음을 검증한 바 있다(Chung *et al.*, 2004).

본 연구에서는 위와 같은 맥락에서 Chung *et al.* (2002, 2003, 2004)이 개발한 모형을 토대로 나주지역 익일 일 최저기온 예보값의 공간변이를 정밀하게 추정하여 지형에 따른 예보 추정의 정밀도를 높이고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 기상청에서 발표하는 일 최저기온 예보값을 기반으로 나주지역 일 최저기온 예보값을

공간 내삽하고, 관측값과의 추정오차를 검토하였다.

II. 재료 및 방법

현재 기상청에서 나주지역을 대표하는 기상관측은 수행되지 않고 있으며, 예보값은 나주시 전 지역에 대해 한 개의 값으로 발표하고 있다. 본 연구에서는 배의 개화시기인 4월 한 달 동안 기상청에서 전일 17:00에 예보되는 정읍, 남원, 장흥의 익일 일 최저기온 예보값을 이용하여 나주지역 익일의 일 최저기온 예보값을 공간내삽하여 정밀 추정하고 관측값과의 오차를 도출하였다. 또한 기상청에서 한 개의 값으로 예보되고 있는 나주지역 일 최저기온 예보값(전일 17:00)과 관측값과의 오차를 구하여, 공간내삽에 의한 예보값의 오차와 비교하였다.

2.1. 대상지역 및 기온 측정

대상지역은 배 주산단지인 나주지역에서 서리피해가 잦은 골짜기와 강변, 상대적으로 피해가 적은 구릉지

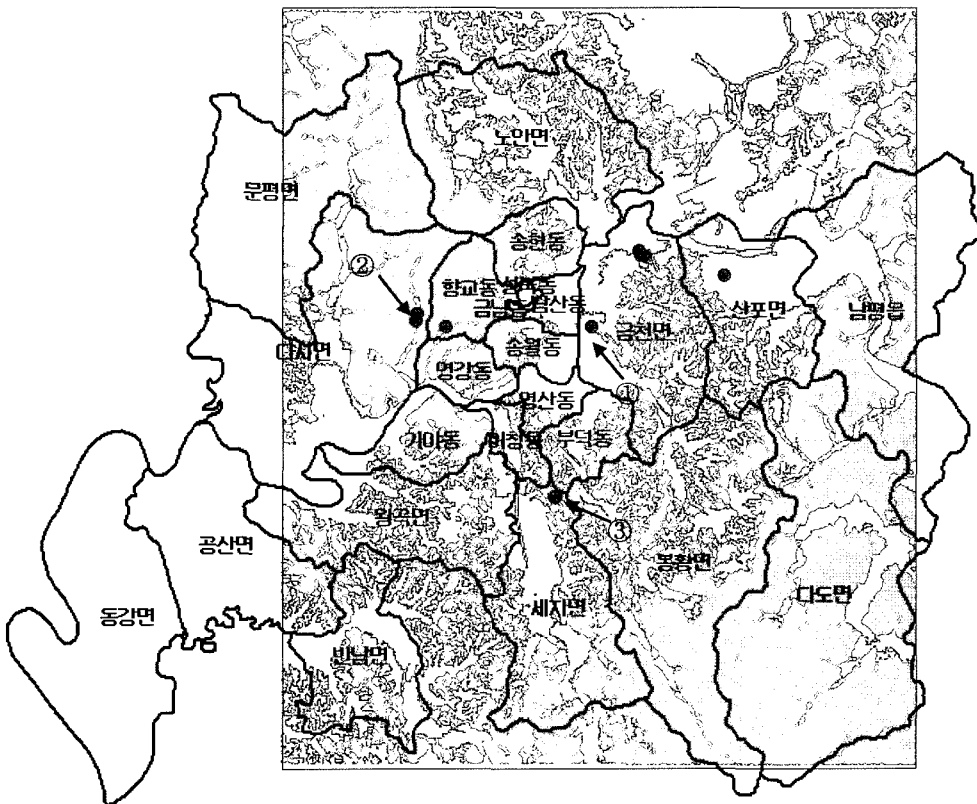


Fig. 1. Map of the studied area (● : observed point). (① Riverside, ② Vally, ③ Hillside)

에 위치한 10개소의 과원을 선정하여 기온을 측정하고 강변, 골짜기, 구릉지를 대표하는 3개소의 자료를 분석에 이용하였다. 기온의 측정은 기온 관측 장비를 지표 1 m 높이에 설치하여 2004년 4월 1일부터 4월 30일까지 10분 간격으로 연속측정하고, 최저 관측 값을 일 최저기온으로 하였다. 2005년에는 2004년에 분석에 사용되었던 3개소의 과원을 선정하여 2004년과 동일한 방법으로 측정하였다. 사용된 센서는 집록기 일체형 서미스터(Model HOBO H8 Pro., Onset Computer Corporation, U.S.A.)로서 제작사의 사양에 의하면 측정오차가 -30°C에서 +50°C범위에서 ±0.5°C이며 상온에서의 정확도는 ±0.2°C이다. 관측지점의 위치(Fig. 1)는 위성측위계(Model GeoExplorer III 및 Pathfinder 2.80, Trimble Inc., U.S.A.)를 사용하여 측정하였다.

2.2. 일 최저기온 예보값 추정

일 최저기온 예보값의 정밀 추정은 찬 공기 집적 및 온난대 효과를 기존의 고도보정 내삽모형에 추가한 지형기후모형(Chung et al., 2002)을 이용하였으며 이때 기온 결정에 가장 유효한 찬 공기 유입 범위는 반경 50 m범위를 평균하였다(Chung et al., 2003). 일 최저기온 예측 정밀 분포도 작성은 2004년에는 관측

지점이 모두 포함되는 45×50 km범위로 하였으며 2005년에는 나주 전 지역을 대상으로 하였다.

$$T = \frac{\sum \frac{T_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} + \left(z - \frac{\sum \frac{z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right) \Gamma^{-\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \tag{1}$$

- T : 목적지의 최저기온 예측값
- T_i : 표준관측소 최저기온
- d_i : 표준관측소와 목적지와의 거리
- z : 목적지의 실제 고도
- z_i : 거리역산 기중법에 의한 추정고도
- Γ : 해발고도별 기온감률
- Γ = 0.00695 + 0.0013cos{0.0172(J-30)},
- J : 연중 날짜(1월 1일=1, 12월 31일=365)
- ε₁ : 냉기집적효과, ε₂ : 온난대효과
- ε₁ = (R/R_{max}) * {log₁₀(FA₅)}
- ε₂ = (R/R_{max}) * I_{max} [1 - exp{-0.01(z-z₁)}]

나주지역 일 최저기온 예보값의 정밀 추정을 위한 배경기후도는 나주에서 가까운 정읍, 남원, 장흥의 일 최저기온 예보값(전일 17:00 발표)을 이용하여 거리역산 기중법에 의해 내삽하여 작성하였다. R은 일교차로 기상 관사의 당일 최고기온 관측 값과 배경기후도 작성에 이

샘플 이미지를 클릭하시면 예보를 확인하실 수 있습니다.

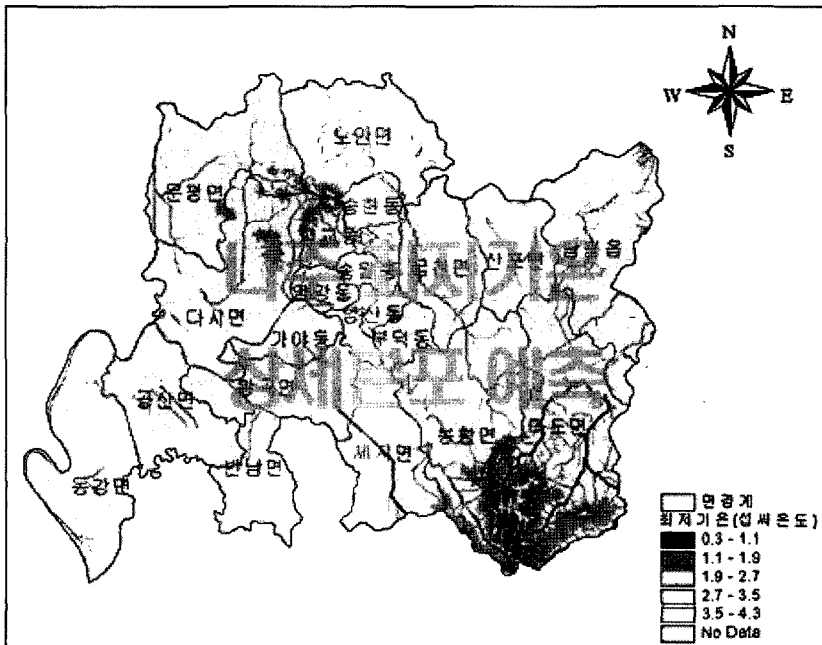


Fig. 2. Example of the map of predicted daily minimum temperature distribution provided for the end user (farmer) by internet web service in Naju area in April 2005.

용되었던 익일 아침 최저기온 예보값의 차이로 구했으며, 2004년에는 정읍, 남원, 장흥의 평균값을, 2005년에는 정읍의 자료를 이용하였다. R_{max} 는 일교차의 최대값으로 18°C로 간주하였다. 온난대 효과에 의한 온도상승분의 최대값(I_{max})은 매일 달라지는 값이나 편의상 경험적으로 얻어진 4°C에 대해 당일 기온 일교차의 상대 비율에 직선적으로 비례한다고 가정하였다. 온난대 효과가 나타나기 시작하는 고도(z_1)는 시간과 지형의 고도에 따라 다르나 편의상 300 m로 간주하였다. 분포 정밀도는 2004년에는 10 m, 2005년에는 30 m로 실시하였다.

2.3. 개화기 저온피해 대비를 위한 시험 운영(2005년) 및 평가

2004년의 결과에 근거하여, 기상청 국가농업기상센터와 공동으로 2005년 4월 1일부터 4월 30일까지 기상청 국가농업기상센터의 홈페이지와 배시험장(<http://www.nhri.go.kr/pear/>), 배종합정보시스템([\[epinet.co.kr/\]\(http://epinet.co.kr/\)\)에 전일 17:00이후에 나주지역의 일 최저기온 예측 정밀 분포도를 게재하여 농가에서 참고하도록 하였다\(Fig. 2\). 2004년 분석에 사용되었던 3곳의 과원에서 일 최저기온을 관측하여 예보 추정값과 비교하였고, 시험과원의 서리내습 여부는 육안관찰하였다.](http://pear.</p>
</div>
<div data-bbox=)

III. 결과 및 고찰

3.1. 일 최저기온 예보값 정밀 추정을 위한 모형의 실용성 검토 (2004년)

친공기 집적 및 온난대 효과를 기존의 고도보정 내삽 모형에 추가한 지형기후모형을 이용하여 10 m의 해상도로 Fig. 3과 같이 나주지역 일 최저기온 예보값의 정밀 추정 분포도를 작성하였다. 일 최저기온 예보값의 추정에 이용한 지형기후모형은 개발 당시(Chung *et al.*, 2002) 복사냉각에 의한 서리가 발생하는 시기(강우가 없고 야간운량 2이하며 풍속이 $1\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 이하)

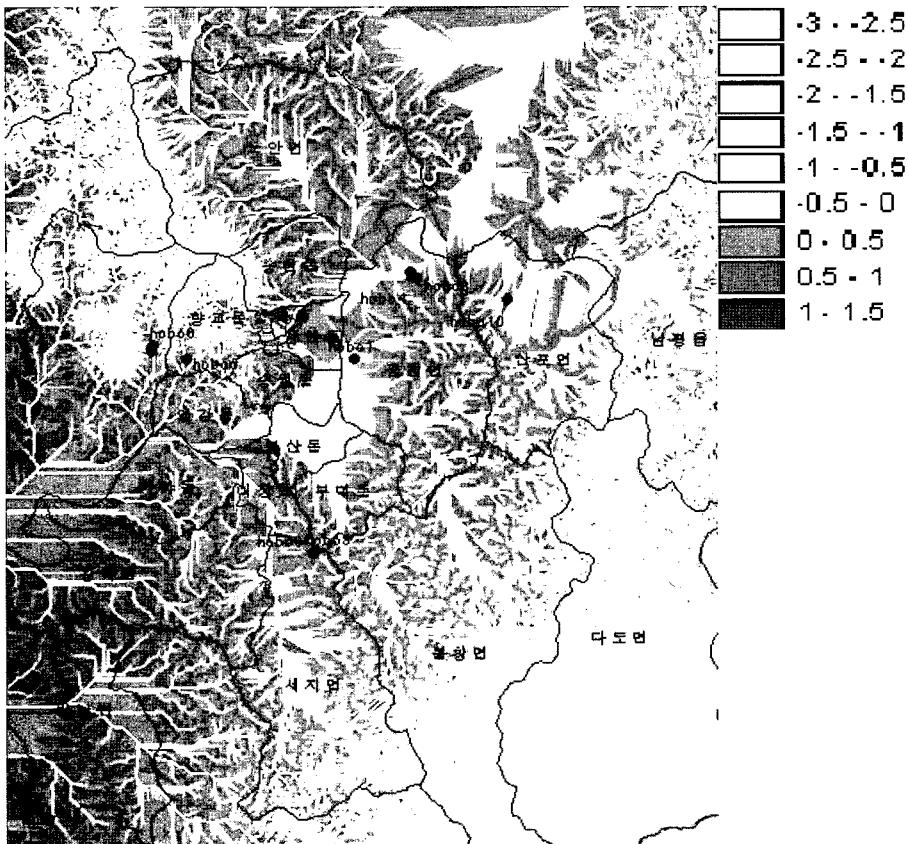


Fig. 3. Map of the minimum temperature in Naju area predicted by Topoclimatic-based Spatial Interpolation Model on April 4th, 2004.

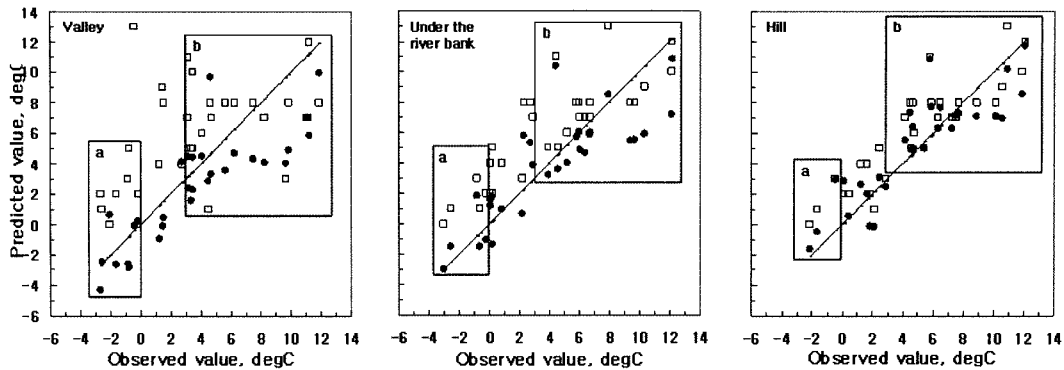


Fig. 4. Comparison of the minimum temperature distribution predicted by Topoclimatic-based Spatial Interpolation Model (●) and forecasted by Korea Meteorological Administration (□) in Naju area in April 2004.

Table 1. Mean absolute error (MAE) of observed and predicted values

	Valley			Riverside			Hillside		
	a	b	Total	a	b	Total	a	b	Total
TSIM	1.25	2.63	2.12	1.11	2.04	1.76	1.71	1.50	1.49
KMA	4.91	3.09	3.77	2.86	1.74	2.46	2.77	1.45	1.73

로 한정하여 개발하였으나 본 연구에서는 추정 당시 (전일 17:00) 이러한 조건에 부합되는지의 판단여부가 어려워 이러한 조건을 구별하지 않았다. 4월 1일부터 4월 30일까지 Fig. 3과 같은 일 최저기온 예보 정밀 추정 분포도를 작성하여 관측지점의 추정값과 실측값의 차이를 검토한 결과, 나주 지역에 한 개의 값으로 예보되고 있는 기상청 예보값에 비해 정밀도가 크게 향상되었으며 그 정도는 냉기침강효과가 큰 골짜기나 강변이 구릉지에 비해서 컸다(Fig. 4). 즉, 모형에 의한 추정값과 관측값과의 평균절대오차(Mean Absolute Error, MAE)와 기상청 예보값과 관측값과의 평균절대오차를 비교하면 모형에 의한 평균 절대오차값이 현저히 작은 것을 알 수 있다(Table 1). 기상청 예보 값은 실측 값에 비해 높게 예보된 반면 지형기후모형을 이용하여 예보값을 추정한 결과, 구릉지에서는 다소 높게, 강변과 골짜기에 위치한 과원에서는 다소 낮게 추정되었다(Fig. 4).

Chung *et al.*(2004)은 기온과 서리와의 관계를 고려하여 3°C이하일 때부터 서리피해 위험이 발생한다는 가정을 하였고, 배의 개화기간 중 서리 내성이 가장 약한 만개기의 저온피해 한계온도가 -1.7°C임을 고려하여 4월 한 달 동안 0°C이하의 일 최저기온이 내습한 날의 지형기후모형을 이용한 예보 추정값과 실측값, 기

상청 예보값을 비교하였다(Fig. 4). 0°C이하의 일 최저기온이 내습한 날의 빈도는 과원이 위치한 지형에 따라 달랐으며, 골짜기에서는 8일로 가장 많았고, 그 다음으로 강변에서 5일이었으며 구릉지에서는 가장 적은 3일이었다. 그러나 기상청 예보는 8일 동안 0~4°C로 예보되어 실측값에 비해 높게 예보되었으며 실측값과의 편차는 골짜기에서는 1.7~5.1°C(평균 3.3), 강변에서는 1.6~3.9°C(평균 2.7), 구릉지에서는 0.2~3.5°C(평균 1.7)로 골짜기에서의 편차가 크고, 구릉지에서는 현저히 낮아짐을 알 수 있었다. 반면에 지형기후모형을 이용하여 예보값을 추정한 결과, 0°C이하의 일 최저기온 내습 발생 일수는 골짜기에서는 6일, 강변에서는 5일, 구릉지에서는 4일로 나타나 기상청 예보 값에 비해 정밀도가 향상됨을 알 수 있었다. 실측값과의 편차를 보면 골짜기에서는 -2.1~+2.7°C(평균 -0.4), 강변에서는 -1.6~+2.7°C(평균 -0.4), 구릉지 -1.1~+3.5°C(평균 0.6°C)로 냉기침강효과가 크고 서리 내습 가능성이 높은 골짜기와 강변의 오차가 크게 줄어들었다.

그러나 서리 및 저온피해에서 비교적 안전한 3°C이상의 일 최저기온이 내습한 날에는 지형기후모형을 이용한 예보 추정값이 기상청 예보값에 비해 편차가 큰 경향을 보였다(Fig. 4). 특히 골짜기의 경우 3°C이상의 일 최저기온이 관측된 16일 중 3°C이하로 추정된 경우는 3

Table 2. Feasibility of daily minimum temperature in Naju area predicted by Topoclimatic-based Spatial Interpolation Model (TSIM) in April 2005.

Location of the orchard	Daily minimum temperature (°C)								
	14 April			15 April			16 April		
	Observed	Predicted	F ^z	Observed	Predicted	F ^z	Observed	Predicted	F ^z
Riverside	-0.69	1.3~2.0	3	3.26	-1.6~-0.5	1	-2.18	2.2~2.9	3
Valley	-1.09	-0.1~0.6	3	2.17	-3.7~-2.7	1	-2.23	0.6~1.4	3
Hillside	-0.61	1.3~2.0	3	3.02	-1.6~-0.5	1	-1.29	2.2~2.9	3

^zForecasted daily minimum temperature by Korea Meteorological Administration

일로, 복사냉각이 적어 냉기침강효과가 적은 날에는 실제보다 낮게 추정되는 것으로 판단된다. 이상의 결과, 일부 오차는 존재하지만 고도보정 내삽모형과 연계하여 농가에서 편리하게 이용할 수 있는 일 최저기온 예보값 정밀 추정 웹서비스가 구축된다면 매우 유익한 재배정보로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다(Fig. 4).

3.2. 개화기 저온 피해 대비를 위한 시험 운영 (2005년)

2005년 4월 한 달 동안 시험 과원에서 서리가 관측된 날은 4월 4일, 14일, 16일의 3일이었다. 4월 4일은 출퇴기로서 피해가 없었으며, 4월 14일은 꽃봉오리 상태에서 서리가 관측되었으나 관측지점으로 선택한 세 과원 모두 피해가 없었다. 4월 16일은 개화 직전의 꽃봉오리 상태로 강변과 계곡에 위치한 과원에서는 매우 심한 화기 피해가 발생되었으나 구릉지에 위치한 과원에서는 피해를 받은 꽃을 거의 찾아볼 수 없었다. 4월 14일부터 4월 16일의 기상청 일기예보와 실측값을 살펴보면(Table 2) 4월 14일에는 3°C로 예보되었으며, 모형에 의한 예보값 추정 결과, 2.0~-0.1°C로 어느 정도 저온피해 가능성이 예상되었으며, 실측값은 이 보다 낮은 -0.6~-1.1°C로 3곳의 시험과원에서 서리가 관측되었으나 화기피해는 발생되지 않았다. 4월 15일의 예보값은 1°C, 모형에 의한 예보 추정값은 -3.7~-0.5°C로 저온피해 가능성이 매우 높게 예상되었으나 실측값은 2.2~3.3°C로 추정값에 비해 높게 관측되었고, 서리는 관측되지 않았으며 화기피해도 없었다. 4월 16일에는 3°C로 예보되었고, 모형에 의해 0.6~2.9°C로 예보값이 추정되어, 4월 14일에 비해 0.6~0.9°C정도 높을 것으로 추정되었으나 -1.3~-2.2°C로 실측되었다. 따라서 3개소 모두 서리가 관측되어, 최저기온 -1.3°C를 기록한 구릉지에 위치한 과원을 제

외한 강변과 계곡에 위치한 과원에서는 개화 직전의 꽃봉오리 상태에서 심한 피해가 발생되었다.

15일과 16일의 실측값과 예보 추정값의 현저한 차이의 원인을 알아보기 위해 강변에 위치한 과수원(배시험장)의 해당일 강우량, 일사량, 풍속을 살펴보았다. 강우는 4월 10일 12.5 mm의 강우가 있었고, 4월 11일부터 16일 사이에는 강우가 없었다. 일사량은 13일 31.5 MJ·m², 14일 22.8, 15일 23.7로 13일이 가장 일사량이 강했으며 14일과 15일은 거의 비슷한 수준이었다. 1:00부터 7:00까지의 평균 풍속은 14일 0.2 m·s⁻¹, 15일 1.0, 16일 0.3으로 모두 1.0 m·s⁻¹ 이하였으나 15일의 5:00부터 7:00까지의 평균 풍속은 1.7~2.0 m·s⁻¹였다. 위의 결과를 요약하면, 2~3일 전의 강우량은 3일 모두 동일하였으며 전일의 일사량은 3일 모두 20 MJ·m⁻²이상으로 양호하였다. 야간의 풍속은 15일 5:00이후 1.7~2.0 m·s⁻¹의 약간 강한 경향을 보였으며 14일과 16일은 1.0 m·s⁻¹ 이하로 차이가 없었다. 이상의 결과, 야간의 운량이 제시되지는 않았지만 일사량이 양호했던 것으로 미루어 14일과 16일은 본 모형을 적용하는데 적합한 것으로 판단되었다. 그러므로 예보 추정값과 실측값간의 오차는 예보값 자체의 오차에서 발생하는 분석상의 오차의 영향도 크게 받는 것으로 추정된다. 또한 본 모형은 복사냉각에 의한 서리가 발생되기 쉬운 때 적합한 모형이므로 배 개화기간 동안 매일 일 최저기온 예보 정밀 추정 분포도를 서비스하기 위해서는 복사냉각 효과가 크지 않은 경우의 일 최저기온 예보 추정 모형과 연계한 분포도 작성이 필요할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

경남 하동지역을 대상으로 개발된 일 최저기온 예측 모형(Chung *et al.*, 2002, 2003)을 이용하여 나주지

역의 배 개화기인 4월중 전날의 17시에 다음날 아침의 일최저기온은 예보값을 정밀 추정한 결과, 기상청의 일기예보 대비 우수한 개선 효과를 보였다. 그러나 본 모형은 복사생각에 의해 서리가 발생될 가능성이 높은 시기를 대상으로 개발되었고, 기상청의 예보값을 기본 자료로 활용하고 있어 예보값 자체의 오차를 포함하고 있기 때문에 실측값과 다소 차이를 보이는 경우도 발생하였다. 이상의 결과에서 본 모형과 복사생각효과가 크지 않은 경우의 일 최저기온 예보 추정 모형과 연계한 서비스가 제공된다면 과수재배농가에서 매우 유용한 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

2004년부터 2005년까지 복잡 지형에 위치한 나주 지역 배 과수원에 대하여 광역적 기후 지형 모형을 적용, 일 최저 기온의 공간분포를 정밀 추정함으로써 서리 경고 시스템의 정확성을 향상시키고자 하였다. 2004년 봄, 세 곳의 배 과수원에 대해 모형을 적용한 결과, 관측값과 일치함을 보여 주었고 예측력은 기상청 예측 결과보다 더 향상되었다. 실측과 모형에 의한 일 최저 기온의 차이는 골짜기에서 $-2.1 \sim +2.7^{\circ}\text{C}$ (평균 -0.4°C), 강변에서 $-1.6 \sim +2.7^{\circ}\text{C}$ (평균 -0.4°C), 구릉지에서 $-1.1 \sim +3.5^{\circ}\text{C}$ (평균 0.6°C)였다. 냉기침강 효과가 크고 서리 내습 가능성이 높은 골짜기와 강변의 오차가 크게 줄어들었다.

REFERENCES

- Chung, U., H. C. Seo, and J. I. Yun., 2004: Site-specific frost warning based on topoclimatic estimation of daily minimum temperature. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 6(3), 164-169. (in Korean with English abstract)
- Chung, U., H. C. Seo, J. I. Yun, and K. H. Lee., 2003: An optimum scale topoclimatic interpolation of daily minimum temperature in complex terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 5(4), 261-265. (in Korean with English abstract)
- Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, and J. I. Yun., 2002: Minimum temperature mapping in complex terrain considering cold air drainage. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 4(3), 133-140. (in Korean with English abstract)
- Jang, H. I., H. H. Seo, and S. J. Park. 2002: Strategy for fruit cultivation research under changing climate. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 20(3), 270-275. (in Korean)
- Yoon, S. T. 2005: Effect of global warming and coping with vulnerability of agricultural production. *Korean Journal of International Agriculture* 17(3), 199-207. (in Korean)
- Yun, J. I., 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., J. Y. Choi, Y. K. Yoon, and U. Chung. 2000: A Spatial interpolation model for daily minimum temperature over mountainous regions. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 2(4), 175-182. (in Korean with English abstract)