

기후자료 판별분석에 근거한 나주 배 생산지 서리발생 예측

한점화^{1*} · 최장전¹ · 정유란² · 조광식¹ · 천종필³

¹국립원예특작과학원 배시험장, ²경희대학교 생태시스템공학과,
³충남대학교 식물지원학부 원예학전공

(2009년 6월 12일 접수; 2009년 11월 28일 수정; 2009년 11월 30일 수락)

Frostfall Forecasting in the Naju Pear Production Area Based on Discriminant Analysis of Climatic Data

Jeom-Hwa Han^{1*}, Jang-Jeon Choi¹, Uran Chung², Kwang-Sik Cho¹ and Jong-Pil Chun³

¹Pear Research Station NIHHS, RDA, Naju 1034, 520-821, Korea

²Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

³Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received June 12, 2009; Revised November 28, 2009; Accepted November 30, 2009)

ABSTRACT

In order to predict frostfall, nocturnal cooling rate and air temperature changes were analyzed on days with and without frost when the maximum temperature was lower than 20°C. In general, the nocturnal cooling rates on frosty days were higher than those on non-frosty days. The cooling rates averaged from 19:00 to 24:00 on frosty and non-frosty days were 1.7°C/h and 0.7°C/h, respectively. As expected, the nocturnal temperature on frosty days was lower than that on non-frosty days. Especially, the midnight air temperature averaged about 3.9±1.5°C on frosty days, which was lower than that on non-frosty days (i.e., 10.1±2.9°C). The discriminant analysis using three independent variables (i.e., total cloud amount, air temperature at 24:00, and 5-day rainfall amount) successfully classified the presence of frost with 87% accuracy.

Key words : Frost, Cooling rate, Nocturnal temperature, Discriminant analysis, Naju pear

I. 서 론

봄철 늦서리는 과수재배농가에 치명적인 피해를 끼칠 수 있다. 기후변화에 따른 이상난동 현상으로 개화 시기가 앞당겨지는 최근의 생물계절 추세는 향후 더 잦은 서리피해를 전망케하며 그 대책마련이 시급하게 되었다(Chmielewski *et al.*, 2004; Yun *et al.*, 2001). 우리나라 대부분의 관측지점에서 최근 30년 동안 최저 기온이 상승함에 따라 서리 시작일은 늦어지고, 서리 종료일은 빨라지고 있기는 하지만, 기온 상승은 작물의 개화시기를 앞당기기 때문에 결국 서리에 의한 피

해는 기온상승에 따라 감소한다고 보기는 어려우며, 이상기상으로 인한 서리피해는 더 커질 수 있다. 서리 시작일이 빨라지고 서리종료일이 늦어져 서리현상일수가 증가한 관측지점에서는 특히 첫 서리와 늦서리가 발생하는 11월과 3, 4월의 서리현상일수가 증가하고 있어 작물의 서리에 의한 피해는 커질 수 있다(Kwon, 2006). 따라서 서리 발생을 미리 예측할 수 있다면 피해 경감에 매우 유익할 것이다. 이와 관련하여 기온과 서리와의 관계를 고려하여 일최저기온 추정 에 의한 서리피해 위험도 작성에 관한 연구들이 이루어졌으나(Blennow and Persson, 1998; Chung *et al.*,

* Corresponding Author : Jeom-Hwa Han (hanjh@rda.go.kr)

2004; Laughlin and Kalma, 1990) 실제 서리현상을 관찰하여 검증된 결과는 보고되지 않았다. 보다 간단하게 서리를 예측하는 방법으로 Kim(1994)은 낮 최고 온도가 18°C 이하 일 때 18시의 기온이 7°C, 19시의 기온이 4°C이며, 바람이 불지 않으면 다음날 아침에 서리가 내린다고 하였으나 우리나라 배 주산지에서 검토된 바가 없다.

본 연구에서는 개별농가에서 손쉽게 서리를 예측할 수 있는 기초연구로서 야간기온의 변화 및 공기 냉각율을 활용한 서리발생 예측 가능성과 전날 기상조건의 판별분석에 의한 서리발생 예측 가능성을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 기상관측

대상지역은 배 주산지인 나주지역에서 서리피해가 잦은 골짜기와 강변, 상대적으로 피해가 적은 구릉지와 평지에 위치한 네 곳의 과원을 선정하여 기온을 측정하였다. 기온의 측정은 기온 관측 장비를 지표 1m 높이에 설치하여 2003년부터 2005년까지 3년 동안 3월 1일부터 4월 30일까지 10분 간격으로 연속측정하고, 최저 관측 값을 일 최저기온으로 하였다. 사용된 센서는 로거 일체형 써미스터(Model HOBO H8 Pro., Onset Computer Corporation, USA)로서 제작사의 사양에 의하면 측정오차가 -30~+50°C 범위에서 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 이며 상온에서의 정확도는 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 이다. 연간 야간 공기 냉각율 및 일조량 변화는 강변에 위치한 과원에서 별도의 센서를 이용하여 2001년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지의 기온 및 풍속을 측정하였다(CR10X, HMP45C, 03001, Campbell Scientific, USA). 관측지점의 위치는 아이나비641(Thinkware systems corporation, Korea)을 이용하여 측정하였다(Table 1).

서리 내습 여부는 2003년부터 2005년까지 강변에 위

치한 과원에서 4월 한달 동안 매일 육안 관측하였다.

2.2. 야간 공기 냉각율 및 기온변화 비교

대체적으로 2~3일전에 비가 오고 전날 낮 최고온도가 18°C 이하이며 바람이 불지 않으면 서리가 내린다. 전날 낮 최고기온이 20°C 이상일 때는 서리가 오지 않는다(Kim, 1994). 따라서 본 연구에서는 2003년부터 2005년까지 3년간의 4월 한달 동안 낮 최고기온이 20°C 이하인 날 중 다음날 아침 서리가 내린 날과 서리가 내리지 않은 날의 야간 공기 냉각율을 비교하였으며, 기온과 서리와의 관계를 고려하여 3°C 이하일 때부터 피해가 발생될 수 있으므로(Chung *et al.*, 2004) 낮 최고기온이 20°C 이하이면서 다음날 최저기온이 3°C 이하인데도 서리가 내리지 않은 날을 추가적으로 비교하였다. 서리 내습일의 시간별 공기 냉각율은 매시 정각의 측정기온을 이용하여 1시간 전 기온-현시각 기온으로 표시하였다. 월별 평균 야간의 공기 냉각율(cooling rate, C.R.)은 다음과 같이 계산하였다(Hwang *et al.*, 2001).

$$\text{Cooling rate } (^\circ\text{C h}^{-1}) = (T_s - T_r) / hr \quad (1)$$

여기서 T_s (°C)는 전일 일몰 시 기온, T_r (°C)은 당일의 일출 시 기온, hr 은 야간 지속시간이다.

2.3. 요인분석 및 판별분석

서리 발생과 상관성이 높을 것으로 추정되는 기상요인과 서리발생과의 요인분석을 실시하였다. 요인분석 결과 추출된 기상요인으로 판별분석을 실시하여 판별함수에 의한 서리가 내린 날과 내리지 않은 날의 분류 가능성을 검토하였다. 판별분석에는 2003년과 2004년의 4월 중 전날 일최고기온이 20°C 이하인 32일의 자료를 이용하였으며, 판별분석 결과 도출된 판별함수의 적합성 검증에는 2005년의 4월 중 전날 일 최고기온이 20°C 이하인 14일의 자료를 활용하였다.

Table 1. The locations of the temperature observation sites at the Naju

Orchards	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Reference
1	N35° 01' 12.4"	E126° 44' 48.6"	20	River side
2	N35° 01' 26.8"	E126° 40' 40.0"	34	Valley
3	N35° 02' 14.6"	E126° 47' 57.1"	12	Plain
4	N34° 57' 51.0"	E126° 43' 59.4"	52	Hill

III. 결과 및 고찰

3.1. 야간 기온 변화로부터 서리발생 예측

2001년부터 2005년까지 5년동안 연간 월 평균 야간 공기 냉각을 변화는 해에 따라 약간의 차이를 보였지만 대체적으로 4월과 10월에 각 1회 최대값을 보였으며 4월의 야간 공기 냉각율이 가장 높았다(Fig. 1). 이는 2000년 3월부터 2001년 4월까지 서리위험지역으로 알려진 경남 하동군 하동읍 화심리의 배 과수원에서 조사된 자료(Hwang *et al.*, 2001)와 같은 경향이다. 2005년에는 5월과 11월에 최대값을 보여 다른 해에 비해 각각 1달 후에 가장 높은 야간 공기 냉각율을 보였다. 반면에 2002년에는 다른해에 비해 1개월 빠른 3월과 9월에 각각 가장 높은 야간 공기 냉각율을 보였다. 전반적으로 봄철인 3~5월에 가장 높은 야간 공기 냉각율을 보인 후 점점 낮아져 여름철인 7~8월에 가장 낮은 야간 공기 냉각율을 보이고 이후 다시 점점 높아져 가을철인 9~11월중에 높은 야간 공기 냉각율을 보인 후 다시 낮아지는 경향이였다. 만상에 의한 작물피해를 받기 쉬운 4월의 월평균 야간 공기 냉각율은 0.5~0.9°C h⁻¹로 해에 따른 차이를 보였으며 4월의 일평균 최대 냉각율은, 2001년부터 2005년까지 각각 1.2, 1.1, 1.3, 1.5, 1.4°C h⁻¹ 였다. 초상피해를 받기 쉬운 11월의 월평균 야간 공기 냉각율은 0.5~0.8°C h⁻¹ 였으며, 일평균 최대 냉각율은 2001년부터 2005년까지 각각 1.2, 1.0, 1.0, 1.1, 1.2°C h⁻¹ 로 4월에 비해 약간 낮았다.

2003년에는 4월 5일과 6일, 2004년에는 4월 4일~4월 10일(4월 7일 제외), 4월 25일, 2005년에는 4월 4일, 14일, 16일 등 3년 동안 12회 서리가 내렸다. 낮 최고온도가 20°C 이상일 때에는 서리가 오지 않는

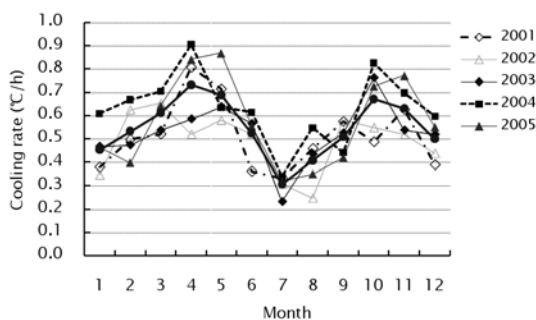


Fig. 1. Monthly mean nocturnal cooling rate at the Naju from 2001 to 2005.

다(Kim, 1994)고 하였으나 본 연구에서는 서리가 내린 12일 중 11일은 전날 최고기온이 10~19.4°C로서 20°C 이하였으며, 1일은 23.4°C로서 2°C 이상임에도 서리가 내렸다. 2003년~2005년까지 3년동안 4월의 전날 최고기온과 다음날 최저기온의 평균 일교차는 각각 10.6±5.0°C, 15.4±3.8°C, 14.9±2.9°C였으며, 최대 일교차는 각각 18.6, 21.9, 19.8°C로서, 2004년을 제외한 2년은 4월의 일교차가 20°C를 넘지 않았다. 2004년의 4월 중 일교차가 20°C 이상인 날은 5일이었으며 이 중 1일만 서리가 내렸다. 위의 결과 일 최고기온이 20°C 이상인 날은 서리가 내릴 가능성이 낮은 것으로 판단되었다. 전날 일 최고기온이 20°C 이하이면서 서리가 내리지 않은 날은 3년 동안 34일로서 서리가 내린 12일 보다 빈도수가 높았다. 서리가 내렸던 12일과 서리가 내리지 않았던 34일의 야간 공기 냉각율을 비교한 결과는 Fig. 2a와 같다. 서리 내습일

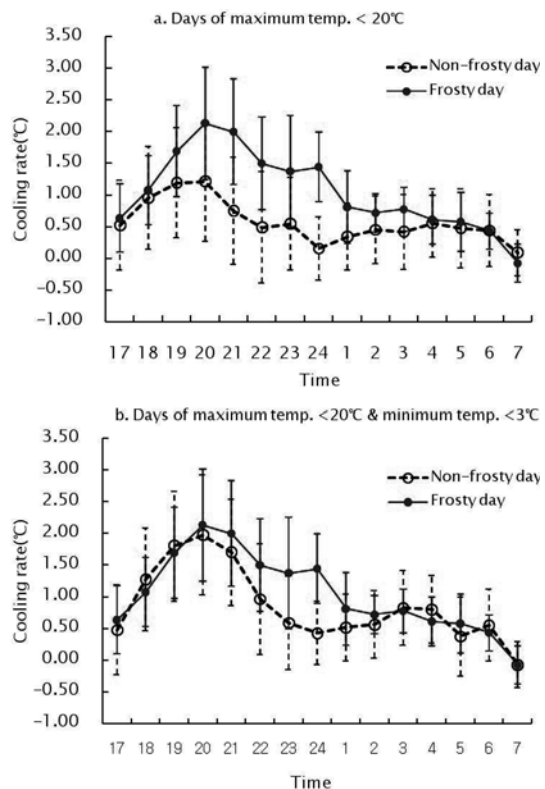


Fig. 2. Comparison of nocturnal cooling rates on frosty day and non-frosty day in April at the Naju from 2003 to 2005: (a) the maximum temperature of the day before non-frosty day <20°C and (b) the maximum temperature of the day before non-frosty day <20°C and the minimum temperature of non-frosty day <3°C.

과 비내습일 모두 17시 이후 야간 공기 냉각율이 점점 높아지다가 20시에 가장 높은 공기 냉각율을 보이고 이후 점차 감소하는 경향을 보였으며, 기온이 다시 상승하기 시작하여 공기 냉각율이 음의 값을 보이는 시각은 대체로 다음날 7시 이후인 것으로 나타났다. 17시부터 다음날 7시까지 공기 냉각율은 $-2.6\sim 4.0^{\circ}\text{C}$ 였으며, 공기 냉각율이 가장 높았던 20시의 공기 냉각율은 $-0.4\sim 4.0^{\circ}\text{C}$ 로 날짜에 따라 큰 차이를 보였다. 야간 동안 내내 서리 내습일이 비내습일에 비해 공기 냉각율이 컸다. 서리 내습일과 비내습일의 야간 공기 냉각율은 각각 $-0.5\sim 4.0^{\circ}\text{C}$, $-2.6\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 였으며, 평균 야간 공기 냉각율은 각각 1.0°C , 0.6°C 였다. 특히 서리내습일의 19시부터 24시까지 공기 냉각율은 $0.3\sim 4.0^{\circ}\text{C}$ 로, 비내습일의 $-2.6\sim 3.4^{\circ}\text{C}$ 에 비해 높았으며, 평균 냉각율은 각각 1.7°C , 0.7°C 로서 현저한 차이를 보였다. 기온과 서리와와의 관계를 고려하여 3°C 이하일 때부터 피해가 발생할 수 있으므로 전날 일 최고기온이 20°C 이하이고, 일 최저기온이 3°C 이하이면 서리가 내리지 않은 날과 서리가 내린 날의 야간 공기 냉각율 비교는 Fig. 3(b)와 같다. 전날 일 최고기온이 20°C 이하이고, 당일 일 최저기온이 3°C 미만이나 서리가 내리지 않은 날은 2003년 1일, 2004년 3일, 2005년 3일로 총 7일이었다. 20시까지는 서리내습일과 비내습일간에 차이를 보이지 않았으나 20시 이후 다음날 1시까지 내습일이 비내습일에 비해 높은 공기 냉각율을 보였으며, 2시 이후에는 같은 수준을 유지하였다. 20시부터 다음날 2시까지의 평균 공기 냉각율은 서리내습일과 비내습일 각각 1.4°C , 1.0°C 였다. 특히 24시의 공기 냉각율은 서리 내습일 $1.4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 서리

비내습일 $0.4\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 로 차이가 가장 크게 나타났다.

과수원이 위치한 지형조건에 따른 서리 내습일의 야간 공기 냉각율을 비교하기 위해 서리피해가 발생되기 쉬운 계곡, 강변에 위치한 과원, 서리피해 발생이 적은 구릉과 평지에 위치한 과원을 선정하여, 2003년과 2004년의 4월 중 서리가 내린 9일간의 야간 공기 냉각율을 비교하였다(Fig. 3). 각 지형별 과원의 17시부터 다음날 6시까지의 평균 공기 냉각율은 강변, 계곡, 구릉, 평지에 위치한 과원에서 각각 $0.4\sim 2.0$, $0.0\sim 3.0$, $0.5\sim 2.3$, $0.4\sim 2.2^{\circ}\text{C}$ 였으며, 4곳에서 모두 당일 아침 7시에는 공기 냉각율이 음의 값을 보여 6시 이후 기온이 상승함을 알 수 있었다. 각 지형별 과원에서 야간의 공기 냉각율 변화는 17시부터 19시까지, 24시 이후부터 다음날 7시까지 지형별 큰 차이가 없었으며, 20시부터 23시까지 차이를 보였다. 계곡에 위치한 과원에서는 19시부터 21시까지의 공기 냉각율이 다른 과원에 비해 상대적으로 높았으며, 특히 20시 공기 냉각율은 3.0°C 로서, 다른 과원의 $1.9\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ 에 비해 월등히 높았다. 계곡에 위치한 과원의 서리내습일 20시의 공기 냉각율은 내습일에 따라 최대 4.85°C 인 날도 있었다. 강변에 위치한 과원의 특징은 다른 과원들이 19~20시 이후 공기 냉각율이 낮아지는 경향을 보인 반면, 강변에 위치한 과원은 19시부터 23시까지 일정한 경향을 보이면서 높은 값을 유지하였다. 구릉에 위치한 과원과 평지에 위치한 과원은 야간 공기 냉각율 변화 경향이 큰 차이가 없었다. 이로써 계곡에 위치한 과원과 강변에 위치한 과원이 구릉과 평지에 위치한 과원에 비해 온도 하강율이 높고, 계곡에 위치한 과원에서 보다 급격한 하강이 이루어짐을 알 수 있었다.

4월 한달 동안 일 최고기온이 20°C 이하인 날 중 서리가 내린 날과 서리가 내리지 않은 날의 야간 기온의 변화를 비교하였다(Fig. 4(a)). 낮 최고 온도가 18°C 이하 일 때 18시의 기온이 7°C , 19시의 기온이 4°C 이며, 바람이 불지 않는 경우 다음날 아침에 서리가 내린다고 알려져 있다(Kim, 1994). 본 연구에서 서리가 내린 날과 서리가 내리지 않은 날의 18시 기온은 $14.0\pm 3.1^{\circ}\text{C}$, $14.4\pm 2.3^{\circ}\text{C}$ 였으며, 19시 기온은 $12.3\pm 2.6^{\circ}\text{C}$, $13.3\pm 2.1^{\circ}\text{C}$ 로서, 위의 7°C 및 4°C 보다 훨씬 높았으며 서리가 내린 날과 내리지 않은 날 간에 큰 차이가 없었다. 20시부터 서리가 내린 날과 내리지 않은 날간에 기온 차이가 발생하였으며, 이후 차이는 점점 증가하여 다음날 6시에 가장 큰 차이가 발

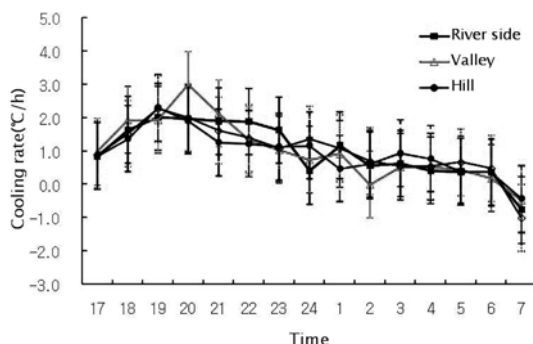


Fig. 3. Comparison of nocturnal cooling rate at the observation sites on frosty days in April at the Naju province from 2003 to 2004.

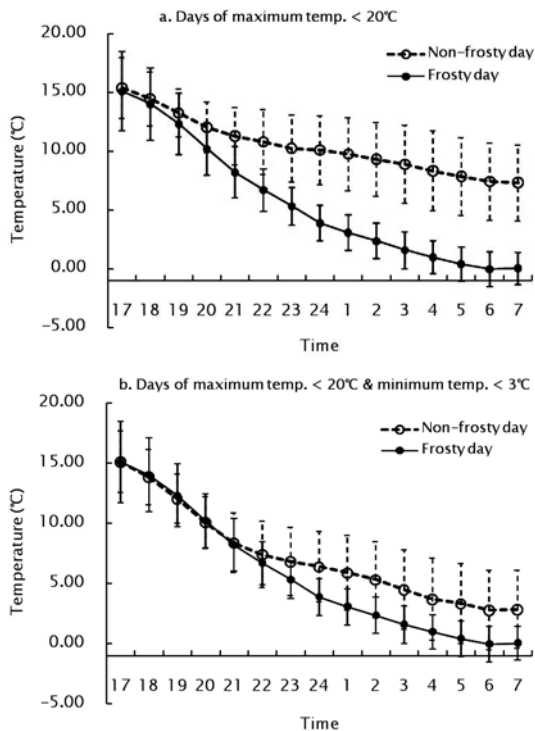


Fig. 4. Comparison of nocturnal air temperature on frosty days and non-frosty days in April at the Naju from 2003 to 2005: (a) the maximum temperature of the day before non-frosty day <20°C and (b) the maximum temperature of the day before non-frosty day <20°C and the minimum temperature of non-frosty day <3°C.

생하여 7.4°C의 차이를 보였다. 앞에서 서리 내습일과 비내습일의 공기 냉각율은 19시부터 24시까지 차이가 컸으므로 24시의 기온을 비교하여 보면 내습일은 3.9±1.5°C, 비내습일은 10.1±2.9°C 로써, 6.2°C의 큰 차이를 보였다. 전날 일 최고기온이 20°C 이하이면서 다음날 일 최저기온이 3°C 이하임에도 서리가 내리지 않은 날과 서리가 내린 날의 야간기온 비교는 Fig. 4(b)와 같다. Fig. 4(a)에서 서리가 내린 날과 서리가 내리지 않은 날의 야간기온은 19시까지 큰 차이가 없다가 20시 이후부터 차이가 발생된 반면, Fig. 4(b)에서 일 최저기온이 3°C 이하인데도 서리가 내리지 않은 날과 서리가 내린 날의 야간기온은 22시까지도 큰 차이가 없다가 23시 이후 차이가 발생하였다. Fig. 2(b)에서 야간 공기 냉각율은 20시 이후부터 다음날 1시까지 차이가 발생되었으므로, 24시와 다음날 1시의 기온을 비교하였다. 24시의 기온은 서리가 내린 날과 내리지 않은날 각각 3.9±1.5°C와 6.4±1.8°C 였으며,

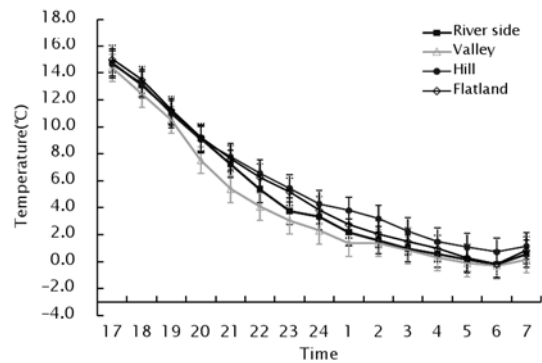


Fig. 5. Comparison of nocturnal air temperature at the observation sites on frosty days in April at the Naju province from 2003 to 2004.

1시 기온은 각각 3.1±1.5°C, 5.9±1.9°C로, 24시 기온이 5°C 이하일 때 서리가 내릴 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

서리가 내리는 날의 지형별 야간기온의 변화를 보면 (Fig. 5) 계곡에 위치한 과원의 기온이 가장 낮고, 다음으로 강변에 위치한 과원이 낮으며, 다음으로 평지에 위치한 과원, 구릉에 위치한 과원 순으로 낮았다. 이 결과는 Cheong *et al.*(1997a)과 Cheong *et al.* (1997b)이 경북지역 사과원 늦서리 피해 상습지의 지형특성을 분석한 결과, 산지 사이에 위치하는 평지 혹은 곡간지의 피해가 심하다고 하는 보고와 유사한 경향이다. 계곡에 위치한 과원은 19시까지 다른 과원과 큰 차이를 보이지 않았으나 20시 이후 차이를 보이기 시작하여 21시부터 24시까지 구릉에 위치한 과원에 비해 2.0°C 이상 낮은 온도를 유지하다가 이후 공기 냉각율 폭이 감소하여 7시까지 구릉지 과원보다 1.8~0.9°C 낮은 온도를 유지하였다. 강변에 위치한 과원은 21시까지 구릉, 평지에 위치한 과원과 큰 차이를 보이지 않다가 22시부터 3시까지 구릉에 위치한 과원에 비해 1.0°C 이상 낮은 온도를 유지하였으며 3시 이후 7까지는 0.9~0.5°C 낮은 온도를 유지하였다. 평지에 위치한 과원은 1시부터 2시까지 구릉에 위치한 과원에 비해 1.0°C 이상 낮은 온도를 유지하다가 이후 7까지는 0.8~0.3°C 낮은 온도를 유지하였다. 각 지형별 과원의 24시 기온은 계곡, 강변, 평지, 구릉에 위치한 과원에서 각각 2.3±2.5°C, 3.3±2.1°C, 3.8±1.9°C 그리고 4.3±2.3°C였다.

위의 결과로부터 전날 일 최고기온 20°C 이하, 24시 공기 냉각율이 1.0°C 이상, 24시 기온이 5°C 이

하이먼, 다음날 아침 서리가 내릴 가능성이 높은 것으로 추정되었다.

3.2. 기상요인의 판별분석에 의한 서리 발생 예측

전날 일최고기온이 20°C 이하인 날의 일 최고기온, 18시, 21시, 24시의 기온, 일사량, 일 평균풍속, 18시 및 21시의 풍속, 구름량, 전날 5일 및 3일 동안의 강우량 등 11개 변수를 대상으로 요인분석을 실시한 결과(Table 2) 아이겐값 1이상을 기준으로 4개의 요인이 추출되었다. 요인1은 전체 11개 변수의 38%, 요인2는 24%, 요인3과 4는 각각 14%와 9%를 설명함으로써 요인1~4는 전체 변수의 85%를 설명해 주고 있다. 추출된 4개의 요인과 각 변수들과의 상관정도는 Table 3과 같으며 요인 1에는 구름량, 24시 기온, 21시 기온,

일사량이 포함되었고, 요인 2에는 18시 기온과 일 최고기온, 요인 3에는 전날 5일간의 강우량, 3일간의 강우량, 요인 4에는 평균풍속, 18시 풍속이 포함되었다.

이들 중 각 요인과 상관관계가 가장 높은 변수 각 1개를 선택하여 요인 1에는 구름량, 요인 2에는 18시 기온, 요인 3에는 5일간의 강우량, 요인 4에는 일 평균풍속을 독립변수로하여 판별분석을 실시하였다. 종속변수는 서리 내습 여부를 기준으로 판별분석을 실시한 결과(Table 4, step1), 4개의 독립변수에 대한 분산분석에 의해 구름량과 강우량은 서리가 내린 날과 서리가 내리지 않은 날 간에 차이가 인정되나 18시 기온과 전날 평균풍속은 차이가 인정되지 않았다. Lee and Lee(1995)는 흐리고 바람이 강한 날에는 저지대의 기온이 고지대에 비해 높으나, 바람이 없고 맑은 날 야간에는 저지대의 기온이 고지대에 비해 낮다고 하여 풍속이 작물 재배지대의 온도변화에 영향을 줄 수 있음을 보고하였으며, Hwang *et al.*(2001)은 풍속과 야간 공기 냉각율과는 상관관계가 인정되지 않으나, 유효야간 복사량이 60Wm^{-2} 이상의 조건에서는 부의 상관관계가 인정된다고 하여, 본 연구결과에서 보여주는 바와 같이 일평균 풍속은 서리내습 유무와 관련이 높지 않을 것으로 판단되었다. 두 집단간에 차이가 인정되지 않은 전날 18시 기온과 전날 일 평균 풍속대신 각각 21시와 24시 기온, 18시와 21시 풍속으로 대체하여 판별분석을 실시한 결과는 Table 4의 Step 2~4와 같다. 21시와 24시 기온은 두 집단간에 차이가 인정되었으며 24시 기온의 유의도가 상대적으로 높았다. 반면 18시와 24시 풍속은 두 집단간에 차이가 인정되지 않았다. 따라서 서리발생 여부를 가장 잘 설명

Table 2. Eigenvalues, proportions, and cumulative percentage of variance by factor analysis using 11 variables affecting frost occurrence

Principal components	Eigenvalue	Proportion	Cumulative
1	4.1744	0.3795	0.3795
2	2.6850	0.2441	0.6236
3	1.4870	0.1352	0.7588
4	1.0092	0.0917	0.8505
5	0.7574	0.0689	0.9194
6	0.3804	0.0346	0.9539
7	0.1879	0.0171	0.9710
8	0.1676	0.0152	0.9863
9	0.0669	0.0061	0.9923
10	0.0463	0.0042	0.9965
11	0.0380	0.0035	1.0000

Table 3. Correlation coefficient of principal components (PC) and various meteorological elements

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Amount of cloud	0.7990	-0.3364	0.2612	-0.2070
Temperature at 24:00	0.7655	0.3939	0.2942	-0.1536
Temperature at 21:00	0.7200	0.5984	0.1861	-0.1767
Wind speed at 21:00	0.6367	-0.0005	0.0653	0.3578
Amount of solar radiation	-0.7601	0.3796	-0.2914	0.3134
Temperature at 18:00	-0.0948	0.9464	0.0325	-0.0512
Maximum temperature	-0.0134	0.9226	-0.1695	-0.0266
Amount of rainfall within 5 days	0.2049	-0.0170	0.9614	0.0234
Amount of rainfall within 3 days	0.2382	-0.0722	0.9517	-0.0035
Average wind speed	0.0074	-0.2500	0.0499	0.8506
Wind speed at 18:00	-0.4744	0.3136	-0.0814	0.6437

Table 4. Univariate and multivariate F statistic values by discriminant analysis between meteorological elements and frost occurrence

Step	Independent variable	F value	Pr>F
Step 1	Amount of cloud	15.74	0.0004
	Temperature at 18:00	0.29	0.5931
	Amount of rainfall within 5 days	5.11	0.0312
	Average wind speed	1.32	0.2595
	Multivariate	4.87	0.0043
Step 2	Amount of cloud	15.74	0.0004
	Temperature at 21:00	9.31	0.0047
	Amount of rainfall within 5 days	5.11	0.0312
	Wind speed at 18:00	3.14	0.0864
	Multivariate	4.79	0.0047
Step 3	Amount of cloud	15.74	0.0004
	Temperature at 24:00	47.80	<0.0001
	Amount of rainfall within 5 days	5.11	0.0312
	Wind speed at 21:00	1.35	0.2545
	Multivariate	11.54	<0.0001
Step 4	Amount of cloud	15.74	0.0004
	Temperature at 24:00	47.80	<0.0001
	Amount of rainfall within 5 days	5.11	0.0312
	Multivariate	15.34	<0.0001

Table 5. Coefficients of linear discriminant function for frost prediction

Parameters	Coefficients of functions	
	Frosty day	Non-frosty day
Amount of cloud (0.1%)	0.08217	0.25916
Temperature at 24:00 (°C)	0.80399	1.88597
Amount of rainfall within 5 days (mm)	-0.05519	-0.06492
Constant	-3.01817	-10.77937

Table 6. The cross-table of matches for the predicted and observed frost occurrence

Observed day		Number of days predicted		
		Frosty day	Non-frosty day	Total
Analysis data	Frosty day	9	0	9
	Non-frosty day	2	21	23
	Total	11	21	32
Verification data	Frosty day	3	0	3
	Non-frosty day	2	9	11
	Total	5	9	14

해 줄 수 있는 독립변수로 구름량, 24시의 기온, 전날 5일 동안의 누적 강우량을 이용한 판별함수를 도

출하였으며 (Table 5), 도출된 함수에 의한 분류정확도는 Table 6과 같다. 분류대상 총 32일 중 30일이 모두 정확하게 분류되어 통계적으로 유의성이 인정되는 93.8%의 적중율을 보였다. 위에서 도출된 판별함수의 적합성 검증을 2005년의 4월 중 전날 일최고기온이 20°C 이하인 날의 자료를 이용하여 실시한 결과, 분류대상 14일 중 4월 5일과 4월 13일 2일만 실제 서리가 내리지 않았으나 서리가 내릴 것으로 잘못 분류되어 통계적으로 유의성이 인정되는 86.9%의 높은 적중율을 보였다.

위의 결과로부터 전날 일 최고기온 20°C 이하, 24시 기온 5°C 이하, 구름량 5 이하이면 다음날 서리가 내릴 가능성이 높은 것으로 추정되었다. 본 연구에서 도출된 판별함수의 활용도를 높이기 위해서는 나주 이외의 다른 지역을 대상으로 적합성여부를 판정할 수 있는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

적 요

기상요인을 근거로 서리를 예측할 수 있다면 농작물의 서리피해 경감에 매우 유용할 것이다. 이와 관련하여 본 연구에서는 나주지역 배 개화기인 4월 동안 일

최고기온 20°C 이하인 날 중 다음날 서리가 내린 날과 내리지 않은 날의 야간의 공기 냉각율과 기온 변화를 분석하였다. 야간 공기 냉각율은 서리 내습일이 비내습일에 비해 높았으며, 특히 19시부터 24시까지의 평균 공기 냉각율은 1.7°C로 비내습일의 0.7°C보다 높았다. 야간 기온은 서리내습일이 비내습일에 비해 현저히 낮았으며, 24시의 기온은 3.9±1.5°C로 비내습일의 10.1±2.9°C에 비해 6.2°C 낮았다. 독립변수는 구름량, 24시 기온, 전날 5일간의 강우량으로 하고, 종속변수는 다음날 서리내습여부로 하여 판별분석을 실시한 결과 분류대상 32일 중 30일이 정확히 분류되었으며, 판별함수 검증 결과 적중률은 86.9%로 높았다. 따라서 전날 일 최고기온, 24시 기온, 구름량, 전날 5일간의 강우량에 의해 다음날 서리 발생 예측 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

REFERENCES

- Blennow, K., and P. Persson, 1998: Modelling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with a GIS. *Agricultural and Forest Meteorology* **89**, 59-71.
- Cheong, J. K., J. B. Kim, H. H. Seo, O. H. Ryu, H. D. Lee, and T. Y. Cho, 1997a: Topographic characteristics of susceptible to the late frost damage of apple orchard in main apple producing district of Kyeongbuk province. *Rural Development Administration Journal of Agro-Environmental Science* **39**(1), 62-66. (In Korean with English abstract).
- Cheong, J. K., J. B. Kim, M. Y. Park, Y. I. Song, J. C. Nam, and H. H. Seo, 1997b: Studies on temperature environment and late frost damage of apple orchards in ravines inflows cold air stream. *Rural Development Administration Journal of Horticultural Science* **39**(1), 62-66. (In Korean with English abstract).
- Chmielewski, F.-M., A. Muller, and E. Bruns, 2004: Climate change and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agricultural and Forest Meteorology* **121**, 69-78.
- Chung, U., H. C. Seo, and J. I. Yun, 2004: Site-specific frost warning based on topoclimatic estimation of daily minimum. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**(3), 164-169. (In Korean with English abstract).
- Hwang, K. H., J. T. Lee, J. I. Yun, S. H. Hur, and K. M. Shim, 2001: Characteristics of nocturnal cooling at a pear orchard in frost-prone. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**(4), 206-214. (In Korean with English abstract).
- Kim, J. H., 1994: Latest pear culture(1st ed.) Oseong, 284-287.
- Kwon, Y. H., 2006: The spatial distribution and research trend of frost occurrence days in south. *Journal of the Korean Geographical Society* **41**(3), 361-372. (In Korean with English abstract).
- Laughlin G. P., and J. D. Kalma, 1990: Frost risk mapping for landscape planning: A Methodology. *Theoretical and Applied Climatology* **42**, 41-51.
- Lee, S. H., and H. Y. Lee, 1995: Nocturnal temperature distribution on orange orchards in Cheju island(II). *Journal of the Korean Geographical Society* **30**(3), 230-241. (In Korean with English abstract).
- Yun, S. H., J. N. Im, J. T. Lee, K. M. Shim, and K. H. Hwang, 2001: Climate change and coping with vulnerability of agricultural productivity. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **3**(4), 220-237. (In Korean with English abstract).