

발아시기 정밀추정에 의한 포도 만상해 경보방법 개선

정재은 · 윤진일

경희대학교 생태시스템공학과

(2005년 12월 10일 접수; 2006년 2월 23일 수락)

Phenology and Minimum Temperature as Dual Determinants of Late Frost Risk at Vineyards

Jea-Eun Jung and Jin I. Yun

Department of Ecosystem Engineering Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea

(Received December 10, 2005; Accepted February 23, 2006)

ABSTRACT

An accurate prediction of budburst in grapevines is indispensable for vineyard frost warning system operations in spring because cold tolerance depends heavily on phenology. However, existing frost warning systems utilize only daily minimum temperature forecasts since there is no way to estimate the site-specific phenology of grapevines. A budburst estimation model based on thermal time was used to project budburst dates of two grapevine cultivars (Kyoho and Campbell Early), and advisories were issued depending on phenology as well as temperature. A "warning" is issued if two conditions are met: the forecasted daily minimum temperature falls below -1.5°C and the estimated phenology is within the budburst period. A "watch" is issued for a temperature range of -1.5 to $+1.5^{\circ}\text{C}$ with the same phenology condition. Validation experiments were done at 8 vineyards in Anseong in spring 2005, and the results showed a good agreement with the observations. This method was applied to the climatological normal year (1971-2000) to determine sites with high frost risk at a 30 m grid cell resolution. Among 608,585 grid cells constituting Anseong, 1,059 cells were identified as high risk for growing Kyoho and 2,788 cells for Campbell Early.

Key words: Frost warning, Kyoho, Campbell Early, Budburst, Flowering

I. 서 언

지구온난화의 영향으로 생물계절이 빨라지는 것은 물론 과원 내 개화소요기간의 공간변이가 단축되는 경향이 관찰되고 있다. 강도와 기간이 동일한 저온현상이 내습하더라도 개화기간이 일주일 이상 분산된 경우에 비해 하루나 이틀 정도로 집중된 과원에서 늦서리 피해정도가 더욱 심해진다. 지금까지 국지적인 서리발생을 예측하고 피해 위험지를 판정하기 위해 개발된 최선의 방법은 지형특성의 정량화에 의한 일 최저기온

분포의 추정이다(Bootsma, 1976; Laughlin and Kalma, 1987; Lindkivist *et al.*, 2000; Chung *et al.*, 2002). 순수한 물리과정인 서리발생만을 추정하는 것이라면 매일 오후 5시 이후 신뢰도 높은 기상청의 내일 최저기온예보와 공간기후모형을 이용하여 서리발생 예상지점을 12시간 전에 알려주는 것이 충분히 가능하다(Chung *et al.*, 2004). 하지만 식물체의 서리피해 위험도를 알려주기 위해서는 최저기온에 덧붙여 발아기나 개화기 같은 서리피해에 민감한 식물계절(plant phenology)을 고려하는 새로운 방법을 개발해야 한다.

즉 지구온난화시대에 걸맞는 효율적인 상해경보체제를 구축하기 위해서는 발아기 혹은 만개기의 정확한 예측 정보가 필요하다.

낙엽수목의 개화과정은 꽃눈이 내생휴면에 들어가기 시작하여 휴면이 해제 되는 기간과, 내생휴면 해제 후 꽃눈의 발아-개화에 이르는 기간으로 구분할 수 있다. 내생휴면의 시작과 종료, 발아기, 개화기와 같은 식물계절은 온도, 토양수분, 일장 등 다양한 환경요소에 의해 결정되며, 그 가운데서도 온도의 영향력이 가장 크다. 식물계절은 시계와 온도계를 동시에 사용하는 온도시간(thermal time)으로 표현하는 것이 좀더 정확하다고 알려져 있다. 온도시간은 냉각량(Chill Unit)과 가온량(Heat Unit)으로 구성되며 매일의 기온을 온도범위별로 적당한 가중치를 주어 누적시킨 값을 의미한다 (오성도, 2004). 이러한 식물계절 이론에 따르면, 내생휴면 해제후 발아-개화에 이르는 데 필요한 가온량과 휴면해제에 필요한 냉각량, 즉 저온요구량(Chilling Requirement)이 알려져 있는 식물이라면 기온자료만으로 지역에 무관하게 발아-개화일을 정확하게 추정할 수 있다. 현재 국내에는 과수 발아기 예측모형이 아직 개발되지 않은 상태이며, 만개기 예측모형은 과종별로 개발되어 있지만 휴면생리이론을 무시하기 때문에 예측 신뢰도가 낮다(농업기술연구소, 1990).

국지상해경보용으로 개발되어 여러 지역에서 실용성이 입증된 공간기후모형을 기상청의 디지털예보(www.digital.go.kr)와 결합하면 전국 어느 곳이나 다음 날 아침 최저기온분포를 30 m 해상도로 예측할 수 있다. 따라서 임의 과원의 수체 발육단계가 발아기나 개화기 등 저온에 취약한 시기인지만 정확하게 알 수 있다면 매우 실용적인 늦서리 피해경보시스템을 만들 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 생물계절모형을 이용하여 과수의 발아 및 개화기를 정확히 예측함으로써 최저기온에만 의존하는 기존 과원상해경보시스템의 단점을 보완하는 것이다. 이를 위해 국내 환경조건에서 장기간에 걸친 벚꽃의 개화일을 정확하게 예측함으로써 그 신뢰도가 확인된 이태리 생물기상연구소(IBIMET)의 낙엽과수 생물계절모형을 선택하여(Jung *et al.*, 2005), 이미 국내 주요 품종별로 이 모형의 모수가 알려져 있는 포도에 적용함으로써 만상해 경보시스템의 개선여부를 평가하였다(Kwon *et al.*, 2005).

II. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지역 및 자료수집

연구대상지역인 경기도 안성은 포도의 시배지로서 지역 특화품종인 거봉(Kyoho)을 비롯하여 Campbell Early, Muscat Baily A 등 다양한 품종을 재배하고 있다. 2004년 4월 24~25일 기간 중 이 지역에서 발아가 시작된 포도원의 꽃눈이 동사하는 피해를 입었다. 서리피해가 보고된 포도원과 이곳을 중심으로 반경 10 km 이내 7개 과원을 선정하여 2005년 3월 31일부터 6월 2일까지 오차범위 ±0.5°C인 로거 일체형 써미스터(Model HOBO H8 Pro, Onset Computer Corporation, U.S.A.)를 수관 부위에 설치하고 10분마다 기온을 측정하였다. 8개 지점의 위치좌표를 위성측위계(Model GeoExplorer III 및 Pathfinder 2.80, Trimble Inc., U.S.A.)로 측정하고 기준국(인천 팔미도)의 보정값으로 후처리하여 정확한 위치좌표를 얻었다(Table 1, Fig. 1).

기상청에서 제공하는 광역 기온자료로부터 대상지역의 국지기온분포를 고해상도의 격자형 ‘전자기후도’(Yun, 2004)로 제작하기 위해서는 해당집수역(watershed)의 수치고도모형(Digital Elevation Model, DEM)이 필요하다. 한국수자원공사에서 제정한 840개 남한지역 수문단위지도(Hydrologic Unit: HU) 중 경기도 안성지역을 모두 포함하는 수문단위지도를 수집, 접합한 다음 환경부 제작 30 m DEM 위에 중첩시켜 이 지역의 DEM을 발체하였다.

2.2. 일 최고, 최저기온의 추정 및 신뢰도 검증

서리발생을 예상하는 기준은 일 최저기온이며, IBIMET 모형에 의해 포도의 발아시기를 추정하기 위

Table 1. Location, topography and cold-air accumulation of 8 temperature measurement sites in Anseong

Station Id	Longitude (DD)*	Latitude (DD)*	Altitude (m)	Cold-Air Accumulation
Vineyard	127.1245	36.0121	45	12
Site 1	127.1421	36.5614	42	511
Site 2	127.1430	37.0159	61	5
Site 3	127.1521	37.0155	78	1
Site 4	127.1128	37.0013	49	1
Site 5	127.1047	36.5937	42	92
Site 6	127.1245	36.5935	45	84
Site 7	127.0959	36.5928	41	477

*decimal degree

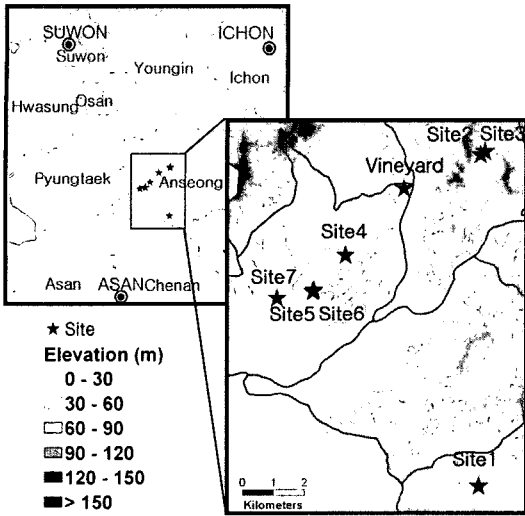


Fig. 1. Location map of study sites in Anseong, where grapevine phenology and air temperature were observed in spring 2005.

해서는 일 최저기온 외에 일 최고기온도 필요하다. 늦서리 피해를 입은 것은 2004년이므로, 생물계절모형에 의해 발아기를 예측하고 이를 서리경보에 반영하기 위해서는 2003년 가을부터 2004년 봄까지 일별 기온자료가 필요하다. 하지만 연구대상 포도원의 실측기온자료는 2005년 봄부터 수집되었으므로 실측 기온자료가 이 모형에 입력할 수는 없다. 따라서 인근 기상관서의 종관기온자료를 토대로 소기후모형에 의해 연구대상 포도원의 국지기온을 복원해야 한다. 이를 위해 수원, 아산, 이천의 2003년 9월부터 2005년 6월까지 일 최고, 일 최저기온자료를 수집하였다.

먼저 복잡지형의 국지 최고기온 추정을 위한 소기후 모형은

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

이다 (Yun, 2004). 여기서 T_i 는 지점 'i'의 실측기온, d_i 는 내삽지점으로부터 관측점 'i'까지의 거리, z 및 z_i 는 각각 내삽지점과 관측점 'i'의 해발고도, Γ 는 해발고도에 따른 기온감율, ε 는 추정오차로서 캐나다 산림청에서 개발한 BioSIM 모형에 의해 정량화 할 수 있다(Regnier *et al.*, 1996). BioSIM은 일 최고기온의 결정에 한낮의 일사량이 중요한 역할을 하는데 착안하여, 주어진 경사면에 대해 오전 11시부터 오후 3

시까지 4시간 동안의 일사량을 적산, 인근 기상관서의 수평면일사량과의 편차에 의해 최고기온을 보정한다. 따라서 보정값 ε 는

$$\varepsilon = v \cdot R \cdot \Delta T_R \quad (2)$$

이며, 여기서는 기온 일교차, ΔT_R 은 수평면과 경사면 간 일사량 편차의 기온상승분 상한값으로 일교차 1°C 당 0.1429라고 알려져 있으며 최고 4°C까지 상승할 수 있다. v 는 과열지수(over heating index)이며, 4시간 동안 수평면 일사수광량(ϕ_0)과 경사면 일사수광량(ϕ_1)간의 차이를 표준화 한 것이다(Regnier, 1996).

복잡지형의 일 최저기온 추정을 위한 소기후모형은

$$T = \frac{\sum \frac{T_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} + \left(z - \frac{\sum \frac{z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right) \Gamma - \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (3)$$

과 같다(Yun, 2004). 여기서 T_i 는 지점 'i'의 실측기온, d_i 는 내삽지점 으로부터 관측점 'i'까지의 거리, z 및 z_i 는 각각 내삽지점과 관측점 'i'의 해발고도, Γ 는 해발고도에 따른 기온감율, ε_1 과 ε_2 는 각각 냉기유입 효과와 온난대 효과이다.

이들 중 냉기유입효과의 경우 복잡지형에 있어서 집수

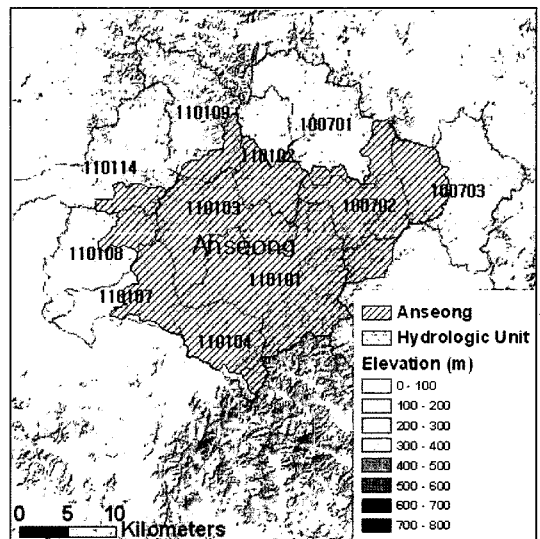


Fig. 2. Hydrologic Units (with numbers) constituting Anseong area (a shaded portion) superimposed over the digital elevation model. The digital elevation model grids defined by corresponding Hydrologic Units are used to calculate the topographic potential for cold-air accumulation, which is necessary for estimating daily minimum temperature.

Table 2. Formulae to calculate chill days for the five cases that relate daily maximum (T_x) and minimum (T_n) temperature to the threshold temperature (T_c) and 0°C , where is the mean daily temperature (from Cesaraccio *et al.*, 2004)

Number	Temperature	Chill Days	Anti-Chill Days
1	$0 \leq T_c \leq T_n \leq T_x$	$Cd=0$	$Ca=T_m-T_c$
2	$0 \leq T_n \leq T_c \leq T_x$	$Cd=-\left[(T_m-T_n)-\frac{(T_x-T_c)}{2}\right]$	$Ca=\frac{T_x-T_c}{2}$
3	$0 \leq T_n \leq T_x \leq T_c$	$Cd=-(T_m-T_n)$	$Ca=0$
4	$T_n < 0 < T_x \leq T_c$	$Cd=-\left(\frac{T_x}{T_x-T_n}\right)\left(\frac{T_x}{2}\right)$	$Ca=0$
5	$T_n < 0 < T_c < T_x$	$Cd=-\left[\left(\frac{T_x}{T_x-T_n}\right)\left(\frac{T_x}{2}\right)-\left(\frac{T_x-T_c}{2}\right)\right]$	$Ca=\frac{T_x-T_c}{2}$

Cd : Chill-days

Ca : Anti-chill days

T_x : Daily maximum temperature

T_n : Daily minimum temperature

T_c : Threshold temperature

T_m : Daily mean temperature

역 단위로 계산하여 최저기온을 보정하는 것이 가장 효과적이며 반경 75 m에 영향을 준다고 하였다(Chung *et al.*, 2004). 안성지역을 구성하는 11장의 수문단위지도별로 30 m DEM에 의해 냉기의 흐름 방향을 계산하고, 흐름방향으로부터 판정되는 유입격자점의 수를 적산함으로써 냉기유입량(Cold-Air Accumulation)을 계산하였다(Table 1, Fig. 2).

추정기온값의 신뢰도는 2005년 봄 64일간 수집된 실측자료에 의해 검증할 수 있는데, 이 모형에 의해 8개 지점의 매일 최고 및 최저기온을 주변 기상관서(수원, 이천, 아산)의 일 최고, 최저기온, 일교차에 의해 추정하고 실측 기온자료와 비교하여 추정신뢰도를 평가하였다.

2.3. 발아개화 예상일 추정 및 신뢰도 검증

IBIMET 모형을 포도 품종 거봉, Campbell Early에 적용하기 위해 필요한 모수, 즉 휴면에 들어가는 임계온도(기준온도)와 휴면해제에 필요한 저온요구량, 발아에 필요한 고온요구량은 이미 Kwon *et al.*(2005)에 의해 밝혀졌는데, 휴면개시 임계온도는 두 품종 모두 8°C 로 동일하며, 휴면해제에 필요한 저온요구량(Rc)은 거봉 -159, Campbell Early -155이다. 휴면해제 후 발아까지 걸리는 최소 온도시간 즉 고온요구량(RhB)은 저온요구량과 방향만 다르므로 거봉 +159, Campbell Early +155이다. 발아 이후 개화까지 소요

되는 온도시간(RhF)은 이들 값으로 모수화 시킨 IBIMET 모형을 2004년 가을부터 2005년 봄까지 원예연구소 시험포장 일 최고, 최저기온자료에 적용하여 각 품종별 발아기를 예측한 후 같은 포장에서 2005년 봄 실제 관측된 개화일(원예연구소 관찰기준으로는 만개일에 해당)까지의 Anti-Chill Days를 계산함으로써 간이추정 하였다(Fig. 3, Table 2). 그 결과 휴면해제 이후 개화에 필요한 최소 온도시간(RhF)은 거봉 +604, Campbell Early +589이었다. 이들 모수의 신뢰도를 검증하기 위해 1994년부터 2004년까지 원예연구소 시험포장에서 측정된 일 최고, 최저기온자료에 의해 IBIMET 모형을 구동시켜 두 품종의 개화예상일을 계산하고 이를 시험포장의 실측만개일과 비교하였다. 상대적인 정확도 평가를 위해 기존의 포도 만개일 예측식(농업기술연구소, 1990)에 의해 해당기간동안 두 품종의 개화일을 추정하였다(식 4). 이 식에서 계산된 DVS 값이 100에 도달하면 만개일이다.

$$DVS = \sum_{i=1}^n DVRi \tag{4}$$

where

$$DVRi = \left(\frac{1}{157.5-5.57}\right) \times 100 \text{ for Kyoho}$$

$$DVRi = \left(\frac{1}{131.1-4.17}\right) \times 100 \text{ for Campbell Early}$$

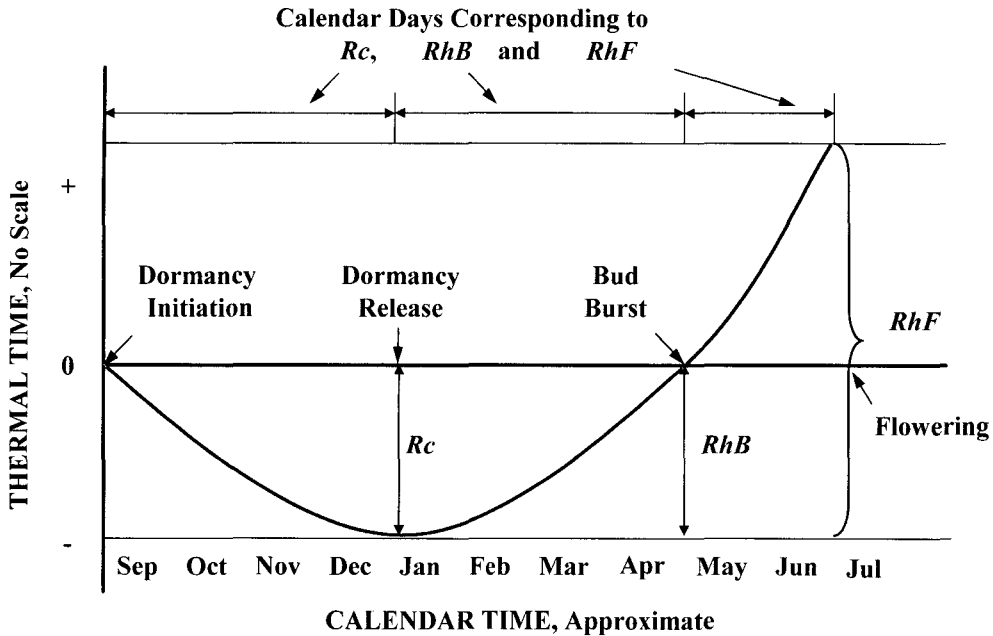


Fig. 3. Concept of the two step phenological model for predicting flowering date in temperate zone deciduous trees. Floral buds must be exposed sequentially to long enough periods of chilling temperature (R_c) and heating temperature (R_hB , R_hF) for budburst and subsequent flowering.

2.4. 만상해 위험도 추정 및 신뢰성 검증

2003년 10월 1일부터 2005년 6월 30일까지 연구 대상지의 매일 최고 및 최저기온을 소기후모형과 종관 기상자료에 의해 복원하고 이를 IBIMET 모형에 입력시켜 2004년과 2005년의 거봉, Campbell Early 품종의 발아일과 개화일을 추정하였다. 만상해 위험도는 발아일의 오차범위(고온요구량으로 22.0)와 최저기온 추정값의 오차범위($\pm 1.5^\circ\text{C}$)를 고려하여 추산하였다. 즉 발아예상일 이후 일 최저기온이 -1.5°C 이하로 내려가면 늦서리 경보(Warning)를 발령하고, $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 범위에서는 늦서리 주의보(Watch)를 발령하며, 1.5°C 이상은 늦서리에 대해 안전하다고 간주하였다. 비교를 위해 2004년과 2005년의 4월 1~30일 기간 중 일 최저기온만을 근거로 하는 기존 상해경보시스템을 작동하여 연구대상지의 늦서리위험날짜를 도출하였다.

III. 결 과

3.1. 기온추정값의 신뢰도

기온 실측지점 8개소에서 2005년 3월 31일부터 6월 2일까지 64일 동안 10분마다 관측된 기온 중 일 최고기온과 일 최저기온을, 소기후 모형에 의해 추정

된 일 최고 및 최저기온과 비교한 결과, 추정값의 평균근오차(RMSE)는 일 최고기온에서 0.87°C , 일 최저기온에서 1.43°C 로 나타났다(Fig. 4). 기온측정센서의 허용오차가 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 인 점을 감안하면 소기후모형에 의한 일 최고, 최저기온 추정값을 농경지의 실측기온으로 사용하는데 무리가 없을 것으로 판단된다.

3.2. 발아 및 개화예상일의 정확도

원예연구소 시험포장에 대한 1994년부터 2004년까지 발아일 추정값의 RMSE는 거봉의 경우 2.27일, Campbell Early는 2.52일이며, 개화일 추정값의 RMSE는 거봉에서 2.53일, Campbell Early는 2.86일이다. RMSE를 발아에 필요한 고온요구량(R_hB)로 환산해보면 거봉은 21.2, Campbell Early는 22.2이며, 개화에 필요한 고온요구량은 거봉 41.7, Campbell Early 36.1이다. 안성지역에서 포도가 발아하는 평년 4월 중순의 하루 가온량은 7정도이며, 개화기인 6월 초중순의 하루 가온량은 15정도이다. 현재 국내에 발아일 추정 모형이 없어 비교가 어렵긴 하나 오차 범위 3일 이내라면 실용상 문제는 없을 것으로 보인다.

개화일은 농업기술연구소 만개일 예측식에 의한 추정오차(거봉 3.79, Campbell Early 3.16)보다 나은

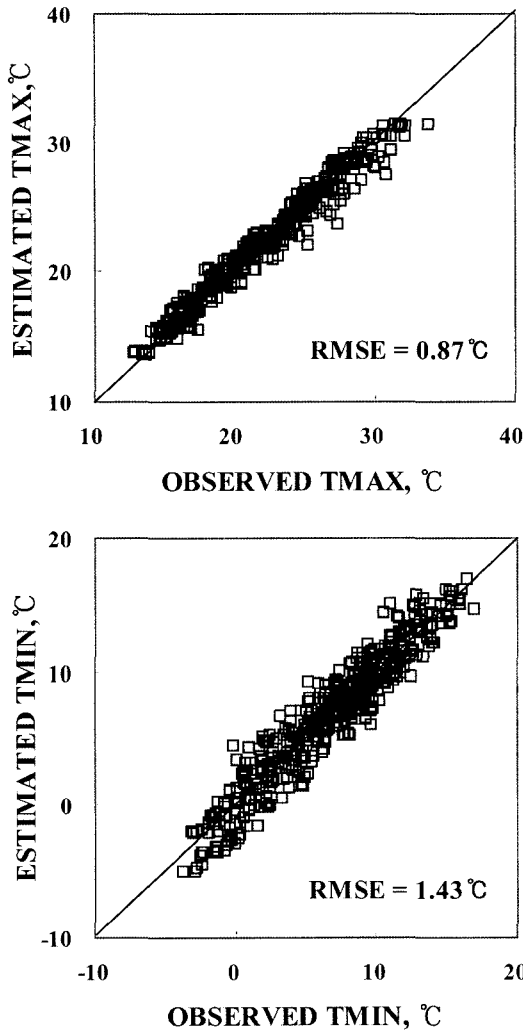


Fig. 4. Accuracy of the estimated daily maximum (top) and minimum (bottom) temperature at 8 sites in Anseong during the study period (31 March-2 June 2005).

결과를 보인다(Fig. 5).

3.3. 늦서리피해 경보의 신빙성

발아일 예측정보를 가미할 경우 기존 늦서리피해 경보방법에 비해 어느 정도 개선효과를 보이는지 평가하였다. 먼저 기존의 방식대로 최저기온에만 의존하여 상해 위험을 예측할 경우 2004년 4월중 6일의 주의보, 3일의 경보를 발령해야 하고, 2005년 4월에는 8일의 주의보를 발령해야 한다. 그러나 발아예상일 정보를 함께 사용할 경우 2004년에는 Campbell Early 포도원에 3번의 주의보, 거봉 포도원에서 2번의 주의

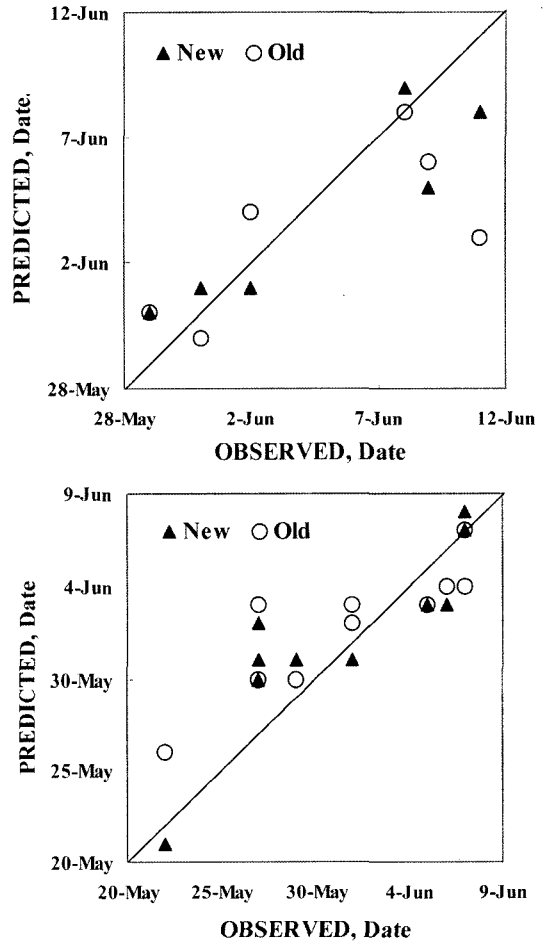


Fig. 5. Accuracy of the phenology-model estimated flowering dates in Kyoho (top) and Campbell Early (bottom) grapevines grown at a NHRI experimental vineyard during 1994-2004. Results from a best existing method are presented for comparison.

보 발령에 그치며, 2005년에는 Campbell Early 포도원에서 2번, 거봉 포도원에서 1번의 주의보 발령으로 충분하였다. 더욱 희망적인 것은 이 새로운 방법에 의해 예측된 상해주의보 해당날짜들이 실제 상해가 발생한 날짜와 근접하다는 점이다(Fig. 6).

IV. 고찰 및 활용

소기후모형을 이용하여 평년의 최고, 최저기온을 지역단위 전자기후도로 나타내면 생물계절모형에 의한 평년의 발아일, 개화일 예상분포도를 작성할 수 있다. 서리피해가 잦은 4월의 최저기온 분포도와 발육단계지

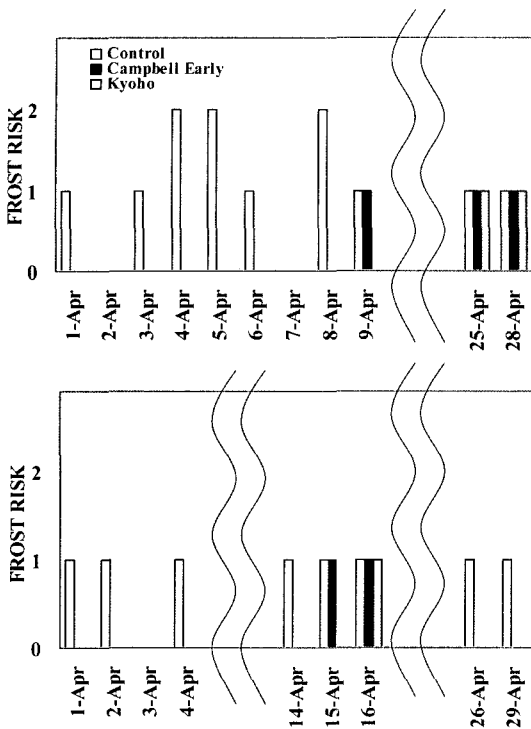


Fig. 6. Performances of two frost warning schemes in 2004 (top) and 2005 (bottom): one based on the phenology-minimum temperature dual determinants (Campbell Early and Kyoho) and the other on the conventional minimum temperature (Control). Frost damage risk is expressed as 0 for safe, 1 for watch, and 2 for warning.

도를 중첩분석하면 서리위험지도를 작성할 수 있다. 이 방법을 이용하여 안성지역에서 거봉과 Campbell Early를 재배할 경우 서리피해가 예상되는 지역을 추정하여 포도원 개원시 부적지를 미리 피할 수 있도록 하였다. 먼저 안성지역의 평년(1971~2000) 일별 최고, 최저기온을 추정하기 위해 인근 기상관서(수원, 이천, 아산)의 평년 일 최고 및 최저 기온자료와 환경부 DEM 자료를 이용하여 고도차이에 따른 기온변이를 계산하고, DEM자료에 근거한 냉기집적효과, 온난대효과, 과일지수를 보정하여 일 최고 및 최저기온 전자기후도를 제작하였다. 전자기후도를 IBIMET 모형에 따라 격자점마다 품종별, 일별 발육단계지도를 작성하고, 오늘의 발육단계지도와 내일의 최저기온 전자기후도를 이용하여 내일의 상해위험도를 제작하였다. 이때 발아에 필요한 고온요구량(RhB) 대신 오차범위 22를 빼 값을 사용하고, 최저기온은 소기후모형의 오차범위인 1.5°C를 고려함으로써 늦서리 위험지역을 판정하였다.

예상 발아일 이후에 -1.5°C이하로 기온이 내려가는 곳은 위험지대, 1.5°C이상은 안전지대, 그 사이는 주의지대로 구분하였다. 안성시 전역을 30 m 격자점으로 표현하면 총 608,585개로 구성되며 1971~2000년 평년의 포도 상해위험지대 판정결과 거봉은 1,059지역이, Campbell Early는 2,788지역이 주의지대로 예상된다. 이중 일죽, 미양, 공도, 대덕의 순으로 상해주의지대가 많은 것으로 예상되었다.

동일한 과정을 이번에는 평년기후가 아니라 실황 및 예측기상자료에 적용하면 실시간 포도원 만상해 경보 시스템을 구축할 수 있다. 예를 들어 작년 9월 1일부터 오늘까지 기상관서 실측 일 최고, 최저기온에 의해 생물계절모형을 구동시켜 현재 발육단계를 추정하고, 내일의 기상관서 최저기온 예보값에 근거하여 예상 최저기온분포도를 만들어 중첩시키면 늦서리 피해위험을 미리 알아낼 수 있다. 평년기후에 근거하여 안전지대로 알고 있던 곳도 기후변화시대에는 달라질 수 있으므로 이는 과수재배농가에게 매우 중요한 의사지원수단이 될 수 있다. 실제 경기 안성의 경우 1971~2000년 평년기온조건 하에서는 상해주의지대가 극히 미미하지만(전체의 0.5% 미만), 최근 몇 년간 이상난동으로 인해 개화일이 단축되어 상해발생건수는 오히려 증가하고 있다.

최근 기상청은 5 km 해상도의 소위 “디지털예보”를 인터넷을 통해 제공하고 있으며 이를 토대로 과원 혹은 필지별 최저기온을 예측할 수 있는 고해상도의 전자기후도 제작기법이 개발되어있다. 본 연구를 통해 검증된 포도 발아-개화기 예측모형을 전자기후도와 결합하여 다른 과종으로 확대적용 하고, 인터넷, 휴대폰 등을 통해 최신정보를 농민들에게 서비스 한다면 서리 피해 회피 혹은 경감을 통해 농업경영 개선효과를 거둘 수 있을 것이다. 나아가 만약 기온센서와 생물계절모형, 통신기능을 결합한 one chip 마이크로컴퓨터를 저렴하게 제작할 수 있다면 과원에 설치하여 상해경보를 농민이 직접 휴대폰 문자메시지로 받아볼 수 있을 것이다.

적 요

근년에 자주 나타나고 있는 봄철 과원의 서리피해는 관측된 기온이 비슷한 지역일지라도 개화 혹은 발아 단계의 과원에서 집중되고 있어 효율적인 상해 경보시

시스템 운영을 위해서는 발아기 혹은 만개기의 정확한 예측이 필요하다. 품종별 모수가 알려져 있는 포도 거봉, Campbell Early를 대상으로 생물계절모형을 적용하여 발아기를 추정하고 최저기온 예상치와 함께 늦서리 위험도 추정방법을 제시하였다. 이 방법은 발아 이후에 최저기온이 영하로 내려가면 상해가 발생한다고 가정하는데, 추정값의 오차범위를 고려한 발아일 이후 일 최저기온이 -1.5°C 이하로 떨어지면 경보(Warning), $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 사이면 주의보(Watch)를 발령한다. 이 방법을 2004년과 2005년 4월 경기 안성의 포도원에 적용하여 결과의 신뢰도를 확인하였다. 같은 방법으로 1971-2000 평년의 기후조건에서 예상되는 안성지역의 포도 늦서리피해 위험지역을 30 m의 고해상도 전자기후도로 표현하였다. 안성시 전역을 30 m 격자점으로 표현하면 총 608,585개로 구성되는데, 평년의 포도 상해위험지역 판정결과 거봉은 1,059지역이, Campbell Early는 2,788지역이 주의지대로 예상된다.

감사의 글

이 연구는 농촌진흥청 특성과제 “포도동해발생의 지형기후학적 해석연구”의 지원으로 수행되었다.

REFERENCES

농업기술연구소, 1990: 주요과수재배지대의 기후특성. 205p.
오성도(대표저자), 2004: 과수온도생리. 도서출판 길모금. 364p.
Bootsma, A., 1976: Estimating minimum temperature and climatological freeze risk variations in hilly terrain.

Agricultural Meteorology **16**, 425-443.
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**, 164-169. (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**, 133-140. (In Korean with English abstract).
Jung, J. E., E. Y. Kwon, U. Chung, and J. I. Yun, 2005: Predicting cherry flowering date using a plant phenology model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**, 148-155. (In Korean with English abstract).
Kwon, E. Y., G. C. Song, and J. I. Yun, 2005: Prediction of dormancy and bud burst in Korean grapevine cultivars using daily temperature data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**, 185-191. (In Korean with English abstract).
Langhlin, G. P., and J. D. Kalma, 1987: Frost hazard assessment from local weather and terrain data. *Agricultural and Forest Meteorology* **40**, 1-16.
Lindkvist, L., T. Gustavsson, and J. Bogren, 2000: A frost assessment method for mountainous areas. *Agricultural and Forest Meteorology* **102**, 51-67.
Regniere, J., 1996: Generalized approach to landscape-wide seasonal forecasting with temperature-driven simulation models. *Environmental Entomology* **25**, 896-881.
Regniere, J., B. Cook, and V. Bergeron, 1996: BioSim: A computer-based decision support tool for seasonal planning of pest management activities. *User's Manual*. Canadian Forset Service Info. Rep. LAU-X-116. 50p.
Yun, J. I., 2004: Visualization of local climates based on geospatial climatology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**, 272-289. (In Korean with English abstract).