

포도 동해위험 판정기준으로서 온도시간 기반의 휴면심도 이용

권은영¹ · 정재은² · 정유란³ · 이승종⁴ · 송기철⁵ · 최동근⁶ · 윤진일²
¹(주)선도소프트 자원환경사업단, ²경희대학교 생태시스템공학과, ³서울대학교 농학과
⁴김제시농업기술센터, ⁵원예연구소 과수과, ⁶전북대학교 원예학과
(2005년 12월 11일 접수; 2006년 1월 9일 수락)

A Thermal Time-Driven Dormancy Index as a Complementary Criterion for Grape Vine Freeze Risk Evaluation

Eun-Young Kwon¹, Jea-Eun Jung², Uran Chung³, Seung-Jong Lee⁴,
Gi-Cheol Song⁵, Dong-Geun Choi⁶ and Jin I. Yun²

¹Division of Natural Resources and Environment, Sundo Soft Inc., Seoul, Korea

²Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University, Suwon, Korea

³Department of Agronomy, Seoul National University, Seoul, Korea

⁴Gimje Agricultural Technology Center, Gimje, Korea

⁵Fruit Tree Division, National Horticultural Research Institute, Suwon, Korea

⁶Department of Horticulture, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea

(Received December 11, 2005; Accepted January 9, 2006)

ABSTRACT

Regardless of the recent observed warmer winters in Korea, more freeze injuries and associated economic losses are reported in fruit industry than ever before. Existing freeze-frost forecasting systems employ only daily minimum temperature for judging the potential damage on dormant flowering buds but cannot accommodate potential biological responses such as short-term acclimation of plants to severe weather episodes as well as annual variation in climate. We introduce 'dormancy depth', in addition to daily minimum temperature, as a complementary criterion for judging the potential damage of freezing temperatures on dormant flowering buds of grape vines. Dormancy depth can be estimated by a phenology model driven by daily maximum and minimum temperature and is expected to make a reasonable proxy for physiological tolerance of buds to low temperature. Dormancy depth at a selected site was estimated for a climatological normal year by this model, and we found a close similarity in time course change pattern between the estimated dormancy depth and the known cold tolerance of fruit trees. Inter-annual and spatial variation in dormancy depth were identified by this method, showing the feasibility of using dormancy depth as a proxy indicator for tolerance to low temperature during the winter season. The model was applied to 10 vineyards which were recently damaged by a cold spell, and a temperature-dormancy depth-freeze injury relationship was formulated into an exponential - saturation model which can be used for judging freeze risk under a given set of temperature and dormancy depth. Based on this model and the expected lowest temperature with a 10-year recurrence interval, a freeze risk probability map was produced for Hwaseong County, Korea. The results seemed to explain why the vineyards in the warmer part of Hwaseong County have been hit by more freeze damage than those in the cooler part of the county. A dormancy depth-minimum temperature dual engine freeze warning system was designed for vineyards in major production counties in Korea by combining the site-specific dormancy depth and minimum temperature forecasts with the freeze risk model. In this system, daily accumulation of

thermal time since last fall leads to the dormancy state (depth) for today. The regional minimum temperature forecast for tomorrow by the Korea Meteorological Administration is converted to the site specific forecast at a 30m resolution. These data are input to the freeze risk model and the percent damage probability is calculated for each grid cell and mapped for the entire county. Similar approaches may be used to develop freeze warning systems for other deciduous fruit trees.

Key words : Vineyards, Freeze warning, Dormancy, Cold resistance, Thermal time

I. 서 언

온대과수의 동해는 대표적인 환경스트레스로서 재배의 지리적인 한계를 결정하는 주요인이다. 최근 우리나라에서는 지구온난화에 따른 “춥지 않은 겨울”이 지속되는 가운데서도 낙엽과수의 동해발생 건수가 증가되어왔다(원예연구소, 2003; Shim *et al.*, 2004). 물론 과수재배지역의 지리적 확산에 따른 불량환경 혹은 재배기술 미흡이 이 같은 동해빈도 증가를 부분적으로 설명할 수 있지만 장기간에 걸쳐 월동 안전지대로 확인된 주산지의 동해발생을 설명하기에는 부족하다. 현실적으로 문제가 되는 꽃눈의 동해발생 여부는 두 가지 요인, 즉 식물체의 내동성과 재배지역의 최저기온에 의해 결정되는데, 그 중 겨울철 최저기온은 80년대 중반이후 지속적으로 상승해온 것으로 밝혀졌으므로 최근의 동해발생은 내동성의 약화에서 그 원인을 찾아야 할 것이다.

같은 품종 혹은 생태형일 경우 식물체의 내동성은 월동기간 중 일정수준을 유지하는 것이 아니라 외부환경과 발육단계에 따라 변하며(Howell and Weiser, 1970; Faust, 1989; 윤진일, 1999), 휴면기간 중 내동성은 내생휴면의 깊이에 의해 간접적으로 표현할 수 있다(오성도, 2004). “춥지 않은 겨울” 및 빈번한 이상기상으로 인해 과수의 내생휴면이 해에 따라 불안정해질 수 있으며 휴면의 조기해체나 부실휴면은 동해위험을 증가시킬 수 있다.

이태리 생물기상연구소(IBIMET, <http://www.ibimet.cnr.it>)에서 개발한 온대낙엽수목의 생물계절모형에서는 휴면을 내생휴면(rest)과 환경휴면(quiescence)으로 나누고, 내생휴면에서 깨어나기 위해서는 어떤 온도를 기준으로 그 보다 낮은 온도에서 일정시간 경과해야 하며, 환경휴면에서 깨어나기 위해서는 그 보다 높은 온도에서 일정시간 경과해야한다고 표현한다(Cesaraccio *et al.*, 2004). 이러한 온도와 시간의 조합, 즉 온도시간(thermal time)은 온도범위에 따른 가중치를 달리하여

적당한 저온요구도 혹은 고온요구도로 표현한다. 이 모형과 사용된 방법론은 이미 서울지방의 벚꽃 개화일 예측에 적용되어 기존의 기상청 공식발표보다 좋은 결과를 얻은 바 있다(Jung *et al.*, 2005). 이 모형을 우리나라에서 널리 재배되는 “Campbell Early” 및 “거봉” 포도품종에 맞게 조정하여, 1994년부터 2004년까지 원예연구소 시험포장의 기온자료에 적용하여 발아일을 추정 한 결과 추정오차(RMSE)는 2.5일 전후로 나타나(Kwon *et al.*, 2005), 포도의 월동기간 중 휴면심도 추이를 감시하는 목적으로도 유용한 것으로 판단된다.

따라서 과원별로 신뢰성 있는 국지기온(site-specific temperature) 자료만 준비되면 이 생물계절모형에 의해 추정된 포도의 내동성 정도와 결합함으로써 기존의 방법보다 개선된 동해위험 판정이 가능할 것이다. 최근 수치대기모형에 의한 기상청 일기예보의 공간단위가 5×5 km 까지 좁혀졌으며(<http://www.digital.go.kr>), 지표피복, 고도변이, 지형특성 등 여러 요인을 고려하여 이 공간단위 내부의 정량적인 기온변이정보를 산출하는 소기후모형이 개발되었으므로(Yun, 2004), 그 가능성은 더욱 높아 보인다.

하지만 영년생 과수를 대상으로 실험을 통해 이 가설을 검증하기는 쉽지 않은데, 2003년 1월의 혹한에 의해 전북 김제시 백구면 포도주산지에서 대규모의 동해가 발생하였으므로 부분적인 검증이 가능하다. 이곳에는 내동성이 강한 것으로 알려진 Campbell Early 품종이 50년 이상 재배되어왔으며, 대규모의 심각한 동해가 발생한 것은 2003년이 유일한 사례인 것으로 조사되었다. 최저기온만으로 본다면 2003년 1월과 비슷하거나 더 낮았던 경우가 있었지만(예, 1981년 1월), 심각한 동해기록은 찾아볼 수 없다. 그 동안 품종과 재배법에 큰 변화가 없었던 점을 감안하면 동해발생여부는 결국 내동성의 차이로 설명되어야 한다.

본 연구는 국내 품종특성으로 모수화 시킨 생물계절모형과, 국지 최저기온 추정용 소기후모형을 백구지역에 적용하여 이 “휴면 의존 동해위험” 가설을 평가하

고, 포도원의 동해위험도 상시관정방법을 찾기 위해 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지역

연구 대상지역인 전북 김제시 백구면은 1940년대부터 포도를 재배하여 왔으며 주품종은 Campbell Early인데 이 품종의 교과서적인 기준(동해유발온도 -25°C)에 따르면 동해에 매우 안전한 지역이다 (농업기술연구소, 1990). 이 지역은 수문학적으로 “만경동진대유역”에 속하며, 해발고도 범위 5~60m의 낮은 분지로서 가까운 기상관서는 군산, 부안, 전주, 부여, 정읍에 위치하고 있다(Fig. 1). 이들 기상관서의 극최저기온 기록을 보면, 군산 -14.7°C(2004. 1. 22), 부안 -22.6°C(1981. 1. 27), 전주 -17.1°C(1933. 1. 27), 부여 -22.1°C(1981. 1. 17), 정읍 -20.0°C(1974. 2. 26)이다.

2003년 동해 발생직후 이 지역 10개 포도원을 임의로 선정하여 GPS에 의해 정확한 지리좌표를 얻고 피해율(전체 개체 가운데 발아불량 비율)을 육안으로 판정하였으며, 2005년 봄에는 농장주와의 면담조사를 통해 개원 후 현재까지 동해사례에 대한 정보를 수집하였다.

2.2. 국지기온 추정

수집된 기상관서의 연도별 극최저기온자료를 분석하여 한 지점이라도 -10°C 이하로 내려간 연도 및 직

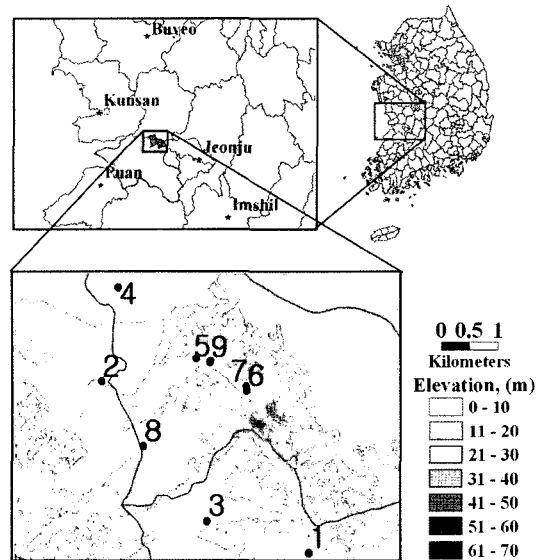


Fig. 1. Map of the study area with the location of 10 vineyards.

전연도를 대상으로 Yun(2004)의 방법에 의해 10개 포도원의 일별 국지 최저 및 최고기온을 추정하였다. 수치고도모형(DEM : Digital Elevation Model)을 근거로 하는 이 방법은 일 최저기온의 경우 표고, 냉기유입 및 온난대 효과를 고려하여 기상관서의 최저기온 관측값을 임의지점의 국지적인 값으로 보정해 준다. 일 최고기온의 경우 11:00부터 15:00까지 4시간동안의 일사량을 적산하여 인근기상대의 수평면 일사량과

Table 1. 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 | $0 \leq T_c \leq T_n \leq T_x$ | $C_d=0$ | $C_a=T_m-T_c$ |
| 2 | $0 \leq T_n \leq T_c \leq T_x$ | $C_d=-\left[(T_m-T_n)-\frac{(T_x-T_c)}{2}\right]$ | $C_a=\frac{T_x-T_c}{2}$ |
| 3 | $0 \leq T_n \leq T_x \leq T_c$ | $C_d=-(T_m-T_n)$ | $C_a=0$ |
| 4 | $T_n < 0 < T_x \leq T_c$ | $C_d=-\left(\frac{T_x}{T_x-T_n}\right)\left(\frac{T_x}{2}\right)$ | $C_a=0$ |
| 5 | $T_n < 0 < T_c < T_x$ | $C_d=-\left[\left(\frac{T_x}{T_x-T_n}\right)\left(\frac{T_x}{2}\right)-\left(\frac{T_x-T_c}{2}\right)\right]$ | $C_a=\frac{T_x-T_c}{2}$ |

C_d : Chill-days

C_a : Anti-chill days

T_x : Daily maximum temperature

T_n : Daily minimum temperature

T_c : Threshold temperature

T_m : Daily mean temperature

비교하고 그 비율에 따라 기상관서 일 최고기온 관측 값을 보정하게 된다.

2.3. 휴면심도 계산

Cesaraccio *et al.*(2004, Table 1)의 방법에 따라 낙과 혹은 수확 직후부터 매일 최고 최저기온을 이용하여 Chill-days (C_d) 값을 계산하고 누적시켜서 이를 휴면심도 혹은 내동성의 proxy로 삼았는데, 그 최대값이 바로 저온요구도(chill requirement)이다. 이 모형에서는 품종별로 주어진 기준온도에서 일정량의 저온요구도가 채워지면 다시 “Anti C_d ” 값(C_a)이 계산되어 저온요구도 값으로부터 빼기 시작한다. 저온요구도에 도달했다는 것은 내생휴면이 해제되었다는 뜻이며, C_a 에 의해 누적 C_d 값이 “0”에 도달했다면 발아가 시작되었다고 간주한다. 즉 낙과 이후 점차 내동성이 증가하여 휴면해제일 무렵에 최대에 도달하며, 이후 날씨가 따뜻해지면 내동성이 차츰 약해져서 발아 무렵에는 저온에 가장 취약함을 모사할 수 있다.

Campbell Early 품종의 경우 기준온도와 저온요구도가 각각 8°C, -155일이 알려져 있으므로(Kwon *et al.*, 2005), 이들 모수와 앞에서 제작된 일 최고 및 최저기온자료를 이용하여 10개 포도원의 휴면심도를 계산하였다.

2.4. 기온-내동성-동해 관계 분석 및 활용

현장방문조사를 통해 수집한 2003년의 10개 포도원 피해를 이 해의 극최저기온 및 극최저기온이 발생한

날의 누적 C_d 즉 휴면심도와 비교하였다. 여기서 얻은 결과를 바탕으로 주어진 최저기온-휴면심도 조합에 따라 예상되는 동해위험을 정량적으로 표현할 수 있는 조건표를 작성하였다.

경기도내 포도 주산지인 화성시를 대상으로 1971-2000 평년의 기온자료에 근거하여 30 m 격자점 단위로 일 최고기온, 일 최저기온, 휴면심도를 계산하고 동해판 정조건표에 의해 동해위험도 분포도를 제작하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 최저기온, 휴면심도, 피해양상

백구면 주변 기상관서에서 지난 30년간 관측한 자료를 분석해 보면 부여, 부안은 -20°C 이하로 내려간 날이 상당히 많은데, 1981년 1월 27일에 각각 -22.1°C, -22.0°C로 극최저기온을 기록하였다. 가장 가까운 기상관서인 전주기상대의 경우 2003년 1월 6일 외에 1990년 1월 26일(-16.0°C), 1991년 2월 23일(-15.5°C), 1971년 1월 6일(-15.3°C), 2003년 1월 6일(-15.1°C) 등 -15°C 이하인 날이 5번 있었다. 군산, 부안, 전주, 부여, 정읍 가운데 동시에 세 지점 이상에서 일 최저기온이 -15°C 이하로 떨어진 날을 찾은 결과 1981년 1월 27일과 2003년 1월 6일이었다. 이들 날짜의 10개 포도원 최저기온 추정값의 평균은 2003년 1월 6일 -17.9°C, 1981년 1월 27일은 -18.2°C이었다. 즉 지난 30년간 이들 지점에서 -25°C 이하로 기온이 내려간 날은 한번도 없으므로 이론상 Campbell Early 품종을

Table 2. Freeze injury and related variables at 10 vineyards in 2003 compared with those in 1981

| Vineyard ID | Minimum Temperature | | Chill-days | | Freezing Damage (%) | |
|-------------|---------------------|-------|------------|--------|---------------------|------|
| | 1981 | 2003 | 1981 | 2003 | 1981 | 2003 |
| | Jan 27 | Jan 6 | Jan 27 | Jan 6 | | |
| 1 | -17.6 | -18.0 | -145.6 | -145.5 | < 10 | 30 |
| 2 | -19.2 | -18.2 | -155.0 | -146.2 | 0 | 50 |
| 3 | -18.9 | -18.3 | -155.0 | -145.9 | 0 | 50 |
| 4 | -18.8 | -17.9 | -154.1 | -146.2 | 0 | 50 |
| 5 | -19.2 | -18.4 | -155.0 | -145.7 | 0 | 70 |
| 6 | -19.9 | -18.9 | -155.0 | -146.0 | 0 | 75 |
| 7 | -19.0 | -18.4 | -155.0 | -146.0 | 0 | 80 |
| 8 | -18.8 | -18.1 | -154.2 | -145.9 | 0 | 80 |
| 9 | -19.2 | -18.4 | -155.0 | -145.7 | 0 | 100 |
| 10 | -18.8 | -18.1 | -154.9 | -145.8 | 0 | 100 |
| Mean | -18.9 | -18.3 | -153.9 | -145.9 | | |

재배해서 동해를 입을 확률은 희박하다(Table 2).

백구 포도원의 1971-2000 평년 일 최고 및 최저기 온자료를 복원하고 이를 생물계절모형에 입력하여 11월 1일부터 이듬해 3월까지 휴면심도의 경년변화를 모의하였다. 백구의 평년기상조건은 포도 Campbell Early 품종의 휴면에 매우 적합하여 수확 후 직선적으로 C_d 가 축적되며 12월 중하순에 이미 저온요구도 (-155)에 도달한다. 따라서 생물계절모형에 의하면 이 무렵 백구지방의 노지재배포도는 사실상 내생휴면이 해제된다고 가정할 수 있다. 또한 생물계절모형은 12월 하순부터 이듬해 2월말까지 C_d 나 C_d 의 축적이 일어날 수 없음을 보여주는데 실제로 내생휴면이 해제되더라도 이 기간 중에는 추위로 인해 꽃눈이 발아하지 못하는 소위 “강제휴면” 상태가 지속된다. 3월에 접어들면 C_d 가 늘어나면서 휴면심도는 점차 알아진다 이러한 평년의 휴면심도 변화양상을 월동기간 중 관찰되는 과수의 교과서적인 내동성변화 양상과 비교해보면 양자가 거의 일치하는 것을 알 수 있다(Fig. 2).

하지만 피해를 100%였던 포도원을 대상으로 2002년 9월~2003년 3월까지 C_d 축적 경향을 그 절대값으로 추적해보면 2003년 1월에는 최대값(155)에 비해 평균 10 정도 낮은 상태가 지속되었다(Fig. 2). 10개 포도원의 내생휴면 진행과정을 모형에 의해 추정해보면 2002년 12월 18일 저온요구도 -155에 도달하였지만 다음 날(19일)부터 23일까지 일 최고기온이 기준온도 8°C를 상회하는 난동현상으로 C_d 가 축적되면서 휴면심도를 유지하지 못한 것으로 나타났다. 이에 따라 한파가 찾아온 2003년 1월 6일과 1월 30일의 휴면심도는 지역편차가 거의 없이 평균 -140~-145를 기록하여 평년에 비해 -10 이상 얕은 상태였다(Table 2). 기온만 봤을 때 평균 0.3°C 더 낮은 조건이었던 1981년 1월 27일의 C_d 값은 10개 포도원 중 9곳에서 최대 내동성(155)을 보였다.

2003년도 동해를 발생시킨 요인으로 과다결실에 따른 수체영양상태 불량, 잦은 강우로 인한 토양 과습, 저지대 눈에 조성된 신규 포도원 등 여러 가지가 거론되고 있다. 그러나 1981년 1월 27일 더 심한 한파에 의해서도 이렇다할 피해가 없었던 점과, 2003년에 동해를 입은 재배면적이 백구면 전체 포도재배면적의 60%에 달하는 광역적이었던 사실은 거론된 요인이 근본적인 것은 아닌 쪽으로 심증을 갖게 한다. 본 실험을 통해 2002년 12월 중하순의 이상난동에 의해

장기적인 휴면불량상태에 놓인 것이 내동성 약화의 직접적인 원인이었을 가능성이 부분적으로 확인된다. 낙엽과수의 내동성은 12월부터 이듬해 2월까지의 대체로 변화가 없는 것으로 관찰되었으며, 있다 해도 내동성에 관한 정량적 평가기준이 없으므로 월동기간 중 동해위험도는 오직 최저기온에만 의존해서 판단해 왔다. 하지만 휴면심도는 생물계절모형에 의해 정량적으로 표현할 수 있으며 해마다 그 양상이 달라지는 것이 확인되므로(Fig. 2), 만약 내동성과 휴면심도 사이에 직선적인 관계가 발견된다면 향후 과수의 월동기간 중 동해위험도 예측에 있어서 획기적인 방법을 고안할 수 있다.

3.2. 최저기온-휴면심도에 근거한 동해 위험도 판정

부분적이긴 하나 생물계절모형에 의해 추정된 휴면심도가 내동성을 정확하게 표현하는 것이 확인되므로, 거의 비슷한 수준의 한파가 기록된 2003년 1월 6일과 1981년 1월 27일의 동해사례를 중심으로 휴면심도(누적 C_d)-최저기온-동해정도의 관계를 정량화 하였다. Table 2에 의하면 1981년 1월 27일 -19.9°C를 기록한 포도원은 피해가 없었으므로 C_d 값으로 표현한 휴면심도 -155에서 최저기온 -20°C까지는 안전하다고 볼 수 있다. Campbell Early 품종의 동해유발온도로 알려진 -25°C에서는 최대 내동성 즉 휴면심도 -155에서 50%가 피해를 입는 것으로 가정하였다. 2003년 백구사례에서 휴면심도 -146에서 피해를 입는 곳 중 가장 기온이 높은 경우가 -16.5°C이었으므로 어떤 경우에도 월동 중 -15°C이하에서는 동해를 입지 않는 것으로 간주하였다. 이러한 사례들을 종합하고 오차를 고려하여 동해위험도 판정기준을 작성한 것이 Fig. 3이다.

휴면심도를 나타내는 이 곡선들은 ‘Exponential Saturation’ 함수와 흡사하므로 계산의 편의를 위해 {일최저기온×(-10)-150}을 X로 두고 동해위험도 Y (예상피해율, %)를 휴면심도의 범위에 따라 다음 식으로 표현하였다.

$$y=A(1-e^{Bx}) \tag{1}$$

| 휴면심도 범위 | A | B |
|------------------------|-------|--------|
| $ C_d \geq 155$ | -0.41 | 0.05 |
| $150 \leq C_d < 155$ | -12.5 | 0.02 |
| $145 \leq C_d < 150$ | 505.0 | -0.002 |
| $140 \leq C_d < 145$ | 112.0 | -0.02 |
| $ C_d < 140$ | 100.0 | -0.07 |

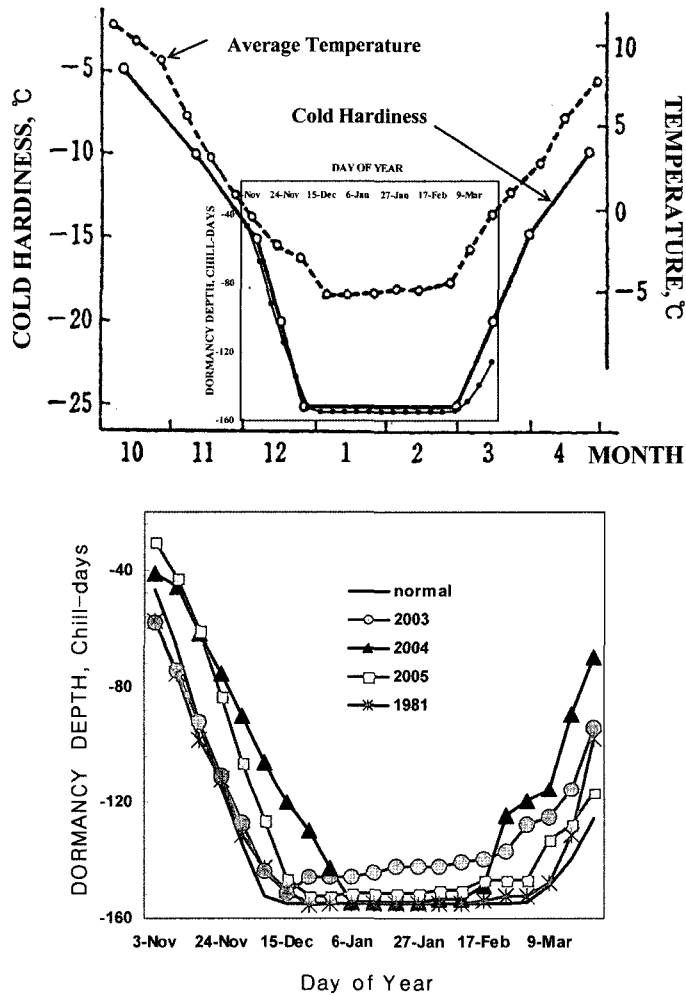


Fig. 2. Comparison of the time course change in Chill Day accumulation in a climatological normal year with that of a typical freeze tolerance (top), and with those in Chill Day accumulation pattern for 1981, 2003, 2004, and 2005 (bottom).

포도품종 Campbell Early를 주로 재배하는 경기도 화성시를 대상으로 평년(1971-2000) 기후자료에 근거하여 월동안전 여부를 이 판정식에 의해 판정하였다. 화성지역에서는 1995/96 겨울에 동해를 입은 사례가 조사되었으므로 이 판정식의 부분적인 검증이 가능하다. 경기도농업기술원의 자체 조사결과에 의하면 화성 지역 내에서도 해안에 가까워서 다른 지역보다 겨울날씨가 온난한 송산면과 서신면에서 집중적인 피해를 입었다(Fig. 4). 조사보고서에서는 휴면기간 중 한파보다는 4월의 저온이 그 주요원인으로 거론되었고, 피해지역이 왜 상대적으로 온난한 해안지역에 집중되었는지에 대한 설명이 미흡하였다. 만약 이 판정식이 옳다면 여기에 바탕을 둔 “전자기후도”를 제작함으로써 이 의

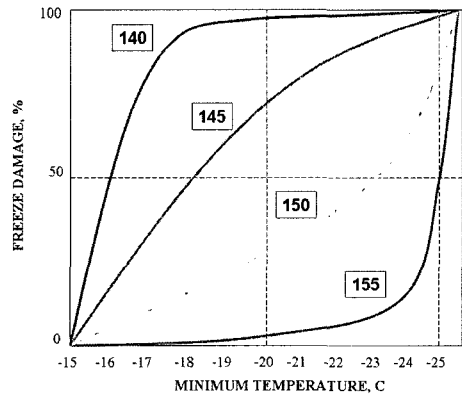


Fig. 3. Empirical criteria for determining freeze risk of dormant buds of Campbell Early based on the forecasts of daily minimum temperature and the calculated Chill Day accumulation.

('96 포도밭아 불량 사례)

○ 금년과 시기는 다소 다르나 맹아기인 4월 최저기온이 예년보다 $\Delta 0.6^{\circ}\text{C}$ 낮게 경과시 도내 전지역에서 밭아 불량

| 지역 | 재배면적 (ha) | 밭아불량면적 (ha) | | | 비율 (%) | 주 지역 | 수령 (년) |
|----|-----------|-------------|-------|------|--------|----------------|--------|
| | | 계 | 31~50 | 미밭아 | | | |
| 계 | 1,401 | 134.7 | 89.8 | 44.9 | 9.6 | 14 | |
| 안산 | 409 | 29.0 | 22.0 | 7.0 | 7.1 | 대부, 화정, 반월 | 12~15 |
| 시흥 | 86 | 22.0 | 21.7 | 0.3 | 21.0 | 광석, 계수, 패화 | 12~15 |
| 화성 | 300 | 38.5 | 16.2 | 22.3 | 12.8 | 송산, 서신 | 14~15 |
| 포천 | 98 | 14.0 | 10.8 | 3.2 | 14.3 | 내촌, 가산 | 13~17 |
| 김포 | 508 | 31.2 | 19.1 | 12.1 | 6.1 | 양촌, 대곡, 불진, 하성 | 13~15 |

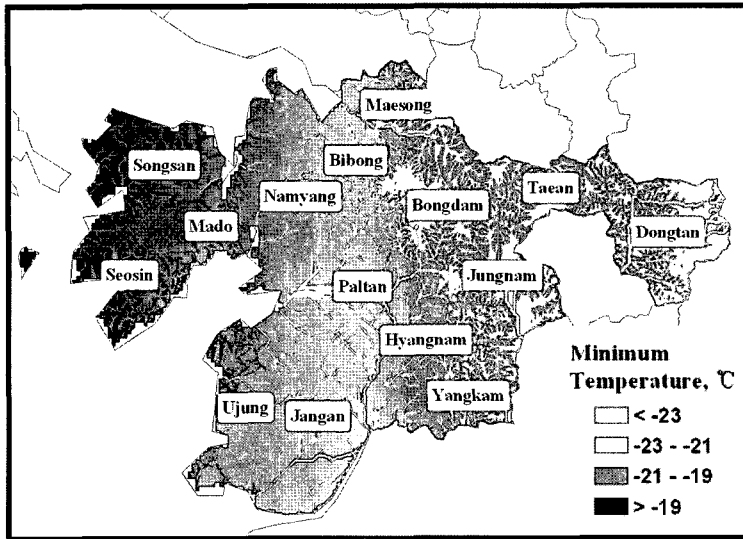


Fig. 4. A photocopy (top) of the report on the 1996 freeze damage in Gyeonggi province describing worst damage of vineyards located at coastal area which has highest winter temperature in Hwaseong county according to the climatic records (bottom).

문점을 풀 수 있을 것이다. 전자기후도 제작에 사용된 최저기온자료는 재현기간 10년 및 30년의 극최저기온이며 휴면심도는 평년 1월 15일까지 누적시킨 값이다. 평년의 극최저기온분포에 따르면 이들 해안지역이 알려진 대로 가장 따뜻한 지역이다. 하지만 수확이후 일별 최고, 최저기온에 의해 계산되는 휴면심도 즉 내동성은 반대로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 내동성과 최저기온을 중첩시켜 예상피해율을 식 (1)에 의해 판정해 보면 화성지역 내 다른 곳보다 오히려 동해위험도가 높게 추정된다(Fig. 5). 이로써 생물계절에 근거한 동해위험도 평가법의 신뢰도가 부분적으로는 검증되었다고 생각한다.

물론 동해정도를 육안에 의해 판단한데서 오는 오차가 있으며, 조건표를 제작하기 위해 이용한 동해사례가 한번 뿐이어서 타 시군지역에 적용할 경우 추정신

뢰도에 문제가 있을 수 있다. 하지만 이미 검증된 생물계절모형에 근거한 휴면심도를 내동성의 proxy로 사용함으로써 기존의 최저기온만으로 동해여부를 판정하는 방법에 비해 이론적인 강점을 가진다. 향후 실제적 용과정에서 보안을 통해 충분한 실용성을 확보할 수 있을 것이다.

3.3. 활용

경기 화성지역을 대상으로 제작한 월동안전지대 판정용 전자기후도는 개원을 앞둔 농민에게 어떤 지역을 피해야 할지 알려주는 귀중한 정보가 될 수 있다. 하지만 이미 위치가 정해진 기존의 포도원에게는 별도로 도움이 되지 못한다. 기존 재배농가의 경우 “내일 아침”의 동해위험도를 사전대비를 위해 충분한 선행기간을 두고 알려주는 것이 중요하다. 당해연도 월동기간

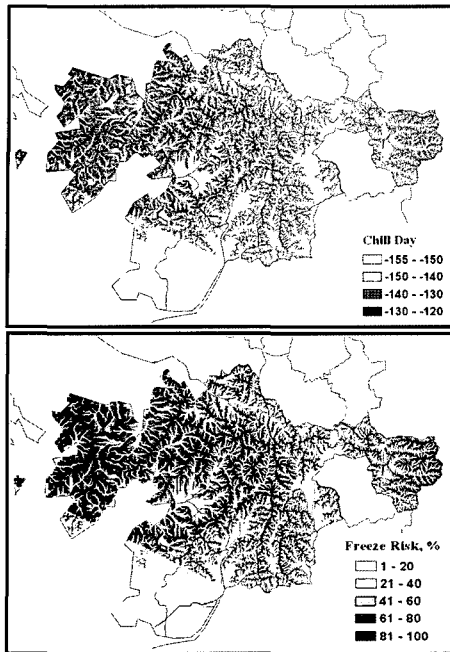


Fig. 5. Spatial pattern of the Chill Day accumulation (top) and the corresponding freeze risk (bottom) for Campbell Early in a climatological normal year. Darker area represents less accumulation of Chill Day and higher risk of freezing damage.

중 실측기온자료에 의해 임의날짜의 휴면심도를 추정하고, 기상청 예보기온을 소기후모형에 의해 30 m 해상도의 국지기온 예상분포도로 변환한 다음, 내일 아침의 동해위험도가능성을 판정하는 실시간 동해경보시스템을 설계하였다(Fig. 6). 이 시스템의 실제 운영을 위해 필요한 프로그램을 작성하고 하드웨어를 갖추어 기상청 국가농업기상센터에 이전, 설치하였다. 여기서 산출되는 최저기온 및 동해위험정보는 표준지리정보형태로 가공되는데, 전국 4개 포도주산지 시군(경북 영천, 충북 옥천, 충남 아산, 경기 화성)의 정보가 인터넷(<http://amacs.epinet.co.kr>)을 통해 제공될 예정이다.

적 요

동계기온의 지속적인 상승에도 불구하고 낙엽과수의 동해발생빈도는 줄지 않고 있지만, 동해 경감을 위해 필수적인 사전경보시스템에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 급격한 기후변화에 적응하지 못하는 기존의 ‘최저기온 의존 동해경보시스템’을 보완하기 위해 생물계절이론에 근거한 휴면심도를 동해위험

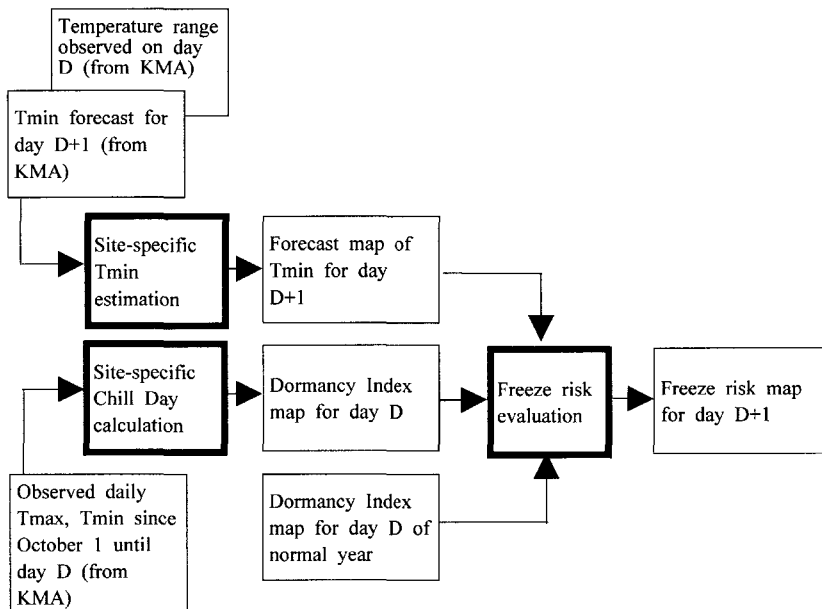


Fig. 6. A schematic diagram of the dual-engine, near-real time freeze warning system for vineyards in major production counties. It combines the site-specific dormancy depth and minimum temperature forecasts with the freeze risk model. Daily accumulation of thermal time since last harvest leads to the dormancy state (depth) for today and the regional forecast of minimum temperature for tomorrow morning by KMA is converted to the site specific forecast at a 30×30 m grid cell spacing. These data are input to the freeze risk model and the percent damage probability is calculated for each grid cell and mapped for the entire county.

도 판정의 추가기준으로 제시한다. 평년 기온자료와 생물계절모형에 근거한 휴면심도의 경시변화양상은 낙엽과수의 교과서적인 내동성 변화추세와 일치하였다. 개별 연도의 기온자료에 의해 추정된 휴면심도는 연차 변이가 현저하였으며 동일 연도 내 지역간 변이도 확인할 수 있었다. 전북 김제시 백구면 Campbell Early 주산지 10개 포도원을 대상으로 소기후모형과 인근 기상관서 기후자료에 의해 연도별 최저기온을 복원하고, 최저기온 발생일의 휴면심도를 생물계절모형으로 추정하였으며, 동해정도를 조사하였다. 최저기온-휴면심도-피해율 사이의 관계를 분석하여 동해위험도 판정식을 작성하고, 이를 근거로 경북 영천, 충북 옥천, 충남 아산, 경기 화성 등 4개 포도 주산지 시군에 대해 1971-2000 평년의 동해위험지도를 30 m 공간해상도로 제작하였다. 화성지역의 경우 1996년의 동해사례에 의해 동해위험지도의 신뢰성을 부분적으로 검증할 수 있었다. 월동기간 중 실측기온자료에 의해 임의날짜의 휴면심도를 추정하고, 기상청 예보기온을 소기후모형에 의해 30 m 해상도의 국지기온 예상분포도로 변환한 다음, 내일 아침의 동해가능성을 동해위험도 판정식에 의해 판정할 수 있는 실시간 동해경보시스템을 설계하였다. 이 시스템의 실제 운영을 위해 필요한 프로그램을 작성하고 하드웨어를 갖추어 기상청 국가농업기상센터에 이전, 설치하였다. 산출되는 최저기온 및 동해위험정보는 표준지리정보로 가공되어 기상청 농업기상정보서비스를 통해 시범적으로 제공될 예정이다.

감사의 글

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

REFERENCES

- 농업기술연구소, 1990: 주요과수재배지대의 기후특성. p184. 오성도(대표저자), 2004: 과수온도생리. 도서출판 길모금. 364p.
- 원예연구소, 2003: 복숭아 동해위험지대 구분. 원예시험연구 사업연보(2002). 31p.
- 윤진일, 1999: 농업기상학. 대우학술총서 논저 443. 도서출판 아르케. 337p.
- Cesaraccio, C., D. Spano, R. L. Snyder, and P. Duce, 2004: Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agricultural and Forest Meteorology* **126**, 1-13.
- Faust, M., 1989: Resistance of fruit trees to cold. In *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley and Sons, p307-331.
- Howell, G. S., and C. J. Weiser, 1970: Fluctuations in the cold resistance of apple twigs during spring dehardening. *Journal of American Society of Horticultural Science* **95**, 190-192.
- 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.
- Kwon, E. Y., Gi-Cheol Song, and Jin I, Yun 2005: Prediction of dormancy release and bud burst grapevine cultivars using daily temperature data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **7**, 185-191(In Korean with English Abstract)
- Shim, K. M., J. T. Lee, Y. S. Lee, and G. Y. Kim, 2004: Reclassification of winter barley cultivation zones in Korea based on recent evidences in climate change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**, 218-234.
- Yun, J. I., 2004: Visualization of local climates based on geospatial climatology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**, 272-289.