

시간별 기상자료를 이용한 감자군락의 결로 상태 판별

황범석 · 윤진일* · 이광희¹
경희대학교 농학과, ¹상지대학교 농학과

Using Hourly Weather Data to Determine Dew Periods of Potato Crops

Beom Seok Hwang, Jin Il Yun* and Kwang Hoe Lee¹

Department of Agronomy, Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea

¹Department of Agronomy, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

ABSTRACT : The duration of wetness periods is a key input for disease warning systems. A nonparametric classification procedure called CART (classification and regression trees) was used to estimate the occurrence and duration of dew periods from hourly weather data. Hourly weather data were collected from a potato plot of the Alpine Agricultural Experiment Station, Taegwallyong, during May 16 to September 15, 1995. Hours between 9 a.m. and 7 p.m. as well as dates on which measurable rainfall occurred were deleted. CART was used to identify thresholds of WS (wind speed), DPD (dew point depression), Tair (air temperature) and RH (relative humidity) beyond which dew formation was found to be unlikely. The CART procedure assigned the hourly data to one of the four categories: 1) $RH \geq 95\%$; 2) $RH < 95\%$ and $WS \geq 1.2$ m/sec; 3) $WS < 1.2$ m/sec and $RH < 82\%$; and 4) $82\% \leq RH < 95\%$ and $WS < 1.2$ m/sec. A high proportion of hours in categories 2 and 3 were classified as non dew hours, and category 1 was classified as dew hours. But category 4 could not be discriminated clearly into either dew or non dew category by this method. Hence SLD (stepwise linear discriminant) analysis was applied to category 4 to develop an equation to classify these hours. In category 4, dew was assumed to be present if $0.08572 (Tair \times DPD) - 1.10271(WS \times DPD) > 0.34791$. The resulting CART/SLD model and an alternative model in which dew was assumed to be present when $RH < 90\%$ were validated by using hourly weather data from 3 potato fields in Kangwon Province during 1993~1996. The CART/SLD model estimated presence or absence of dew more accurately than the $RH > 90\%$ model, showing much smaller mean square error.

Key words : leaf wetness, dew, weather, plant disease, potatoes, classification tree.

식물체에 새롭게 부착된 식물 병원성 곰팡이의 포자는 발아와 성장, 식물체 침입을 위해 일정 기간 동안 수분을 필요로 하며, 만일 습윤상태에서 일시적인 건조상태로 전환될 경우 병원균 포자는 쉽게 활력을 잃어버린다(10). 따라서 습윤지속시간을 측정할 수 있다면 병발생 가능성 여부를 예측하는 데 상당한 도움을 주므로 많은 식물병리학자들이 습윤지속시간을 이용한 특정 곰팡이병의 발생위험도를 수치적으로 계산해 내는 식물병 예찰모형을 연구하고 있으며, 모형 구동을 위한 습윤지속시간 추정에 관심을 갖고 있다(2,

3, 6, 9, 12, 14, 15, 16, 19, 20). 이러한 식물병 예찰모형은 관행적인 방제패턴으로부터 환경보전적이며 지속 가능한 농업으로 전환하는데 기여하고 있으며, 실제로 몇몇 선진농업국에서는 예찰모형을 이용함으로써 관행에 비해 살균제 사용량을 크게 줄인 사례도 있다(15).

잎의 습윤상태는 주로 강우와 이슬에 의해 형성되는데, 강우는 우량계로 쉽게 측정이 가능하나 이슬이 맺혔는지 여부를 알아야 하는 결로(結露)현상은 그 측정이 쉽지 않다. 비록 전기적인 습윤 감지센서의 개발과 프로그램이 가능한 데이터로거를 이용해 과거보다 편리하게 습윤지속시간의 실시간(實時間) 측정이 가능해

*Corresponding author.

졌으나, 일반 농민들이 쉽게 사용하기 어렵고, 비용부담 등으로 널리 이용되지 못하고 있는 실정이다(4, 5).

이슬맺힘, 혹은 결로현상은 주로 맑은 날 밤시간에 잎의 온도가 이슬점온도 이하로 냉각되고 접지층(接地層)의 습도변화율이 역전(逆轉)상태일 때 발생한다(17, 18). 그러나 잎의 열수지(熱收支)를 구성하는 모든 미기상(微氣象) 변수를 직접 얻기는 어려우므로 표준 기상자료만으로 결로 여부를 판별할 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 요구에 부응하여 결로현상과 관련 있는 기상관측값을 이용하여 경험적인 결로 추정모형을 작성하고, 이 모형을 토대로 습윤지속시간을 추정하는 방법이 이용되어 왔는데, 상대습도 값을 이용한 "RH > 90% 모형"의 경우 상대습도가 90% 이상인 시간을 합산하여 습윤지속시간으로 간주한다(21).

Getz(3)는 인근 기상관측소의 상대습도 자료를 이용해 식물군락 내부의 습윤지속여부를 추정하려 했으나 좋은 결과를 얻지 못했으며, 미국의 Oregon주에서는 상대습도, 풍속, 최저기온을 기본으로 한 다중회귀식을 이용했지만 역시 예측의 정확도는 좋지 못했다(2). 그러나 캐나다의 Ontario주에서는 평균기온과 이슬점온도를 기본으로 한 결로추정모형을 토마토에 적용하여 좋은 결과를 얻었다(4).

Gleason 등(8)은 비모수 분류법의 일종인 CART(classification and regression trees)(1)와 SLD(stepwise linear discriminant)(22) 분석을 이용하여 시간별 평균기온, 상대습도, 이슬점온도, 풍속 등을 독립변수로 하고, 센서에 의해 측정된 결로(0=No Dew, 1=Dew) 값을 종속변수로 한 결로추정모형을 만들어 미국 중서부 농업지대에 적용하였다. 그 결과 "RH > 90% 모형"에 비해 크게 개선된 성적을 얻었다고 보고하였다. CART는 이슬의 생성과 관련된 기상요소(예: 습도, 기온, 바람)들을 검사하여 Dew와 No Dew의 경계값을 찾아 준다. 즉 모든 자료상태를 각 기상변수별로 Dew(1)와 No Dew(0)범주로 나누어 가면서 더 이상 나눌 수 없는 범주에 이를 때까지 계속한다. 이렇게 해서 생성된 "Classification Tree"는 매우 방대하므로 중요성이 덜한 범주는 삭제시켜야 하는데, CART에서는 각 범주에 속한 자료들의 균질성(모두 Dew 혹은 No Dew일 때 최고, Dew와 No Dew가 각각 50%일 때 최하)을 극대화하는 경계값을 찾고, 교차검정기법에 의해 삭제할 범주를 결정한다(1). 이 과정을 통해 습윤상태를 판정하기 위한 최적의 예측법칙이 Tree diagram 형태로 생성된다. 만약 CART에 의해 분류된 범주 가운데 균질성이 낮은 것이 있으면 SLD 분석에 의해 재분류하는 방법을 사용할 수 있다(5).

본 연구에서는 Gleason 등(5)의 방법론을 강원 고냉지 감자군락에 적용하여 습윤지속시간을 추정코자 하였다. 이 지역 농민의 주요 소득원인 씨감자 재배는 저온다습한 이곳 기후특성 때문에 많은 역병피해를 입어 왔으며, 예찰모형이 작성되어 실용화단계에 있으므로(23), 연구성과물이 신속하게 활용될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

기상자료 수집. 모형작성에 이용할 기상자료 수집을 위해 강원도 평창군 도암면 진부리 소재 농촌진흥청 고령지농업시험장 감자포장에 무인기상관측소(AWS: automated weather station)를 설치하였다. 기상관측 기간은 1995년 3월 10일부터 1995년 12월 31일까지였으며, 측정된 기상요소는 기온, 상대습도, 지온, 풍속, 풍향, 일사량, 강수량 그리고 엽면습윤지속시간으로 8개였다. 기온과 상대습도는 높이 1.5 m에 Vaisala사(Finland)의 HMP35C 온습도센서를 자연대류형 차광상자 속에 넣어 측정하였으며, 지온은 Campbell사(USA)의 T형 열전대를 지중 10 cm 깊이에 매설하여 측정하였다. 풍속과 풍향은 RM Young사(USA)의 삼배풍속계를 이용하여 3 m 높이에서 측정하였고, 일사량은 LiCor사(USA)의 LI200S를 이용하여 측정하였다. 강수량 측정은 Texas Electronic사(USA)의 TE525 전도형 우량계(0.25 mm 단위)를 이용하였으며, 엽면습윤상태의 측정은 Campbell사(USA)에서 제작한 모조엽방식의 CSI 237을 감자식물의 평균초장에 해당하는 0.3 m 높이에 북향으로 30° 경사를 유지하여 설치하였다(7, 8). 엽면습윤 여부는 센서의 저항값이 300 kΩ 이하로 떨어지면 습윤, 이상이면 건조로 간주하고(7), 60분 동안 60회 관측에서 얻어진 습윤횟수를 평균하여 한 시간 동안의 습윤지속시간(0~1.0)으로 표현하였다.

이상의 센서로부터 발생하는 전기적인 신호를 받아 들어서 사용자가 요구하는 digital 값으로 변환하고 자료를 저장하기 위해 미국의 Campbell사에서 제작한 CR-10 자료기록장치를 사용하였다. 포장에서 기기의 작동과 자료기록장치의 운영에 필요한 전원은 태양전지판에 연결된 충전식 12 volt 전전지를 사용하였다. 자료의 수집은 1분에 한번 측정하고 시간별 자료의 평균값, 누적값을 자료기록장치에 내장된 RAM에 저장하였으며, 또한 매일 자정에는 그날의 기상요소별 최고, 최저, 평균값, 24시간의 누적값을 저장하였다.

통계모형 작성. 진부 감자포장의 파종이 시작된 5월 16일부터 수확이 끝난 9월 15일 까지 감자생육기간 중 수집한 시간별 자료(791시간)를 모형 작성에 이

용하였다. 강우가 기록된 날에 해당하는 자료는 모두 삭제하고, 강우가 없었던 날의 야간에 해당하는 저녁 7시부터 다음날 오전 9시까지의 자료를 이용하였다. 만약 습윤값이 0보다 크고 1보다 작을 경우에는 직전 시간대의 습윤값과 비교하여 크거나 같으면 습윤으로 간주하였으며, 작으면 건조상태로 간주하였다.

통계모형의 독립변수로는 수집된 기본 기상요소 외에 이슬점편차(DPD: dew point depression)를 추가하였다. DPD를 계산하기 위해 필요한 실제수증기압(e_s , hPa), 포화수증기압(e_s , hPa), 그리고 이슬점온도(T_{dew} , °C)는 아래의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$e_s = 6.1078 \times \exp\left(\frac{17.2694 \times T_{air}}{237.3 + T_{air}}\right) \quad (\text{unit : hPa})$$

$$e_a = \frac{RH}{100} \times e_s \quad (\text{unit : hPa})$$

$$T_{dew} = \frac{-237.3 \times \ln\left(\frac{e_a}{6.1078}\right)}{\ln\left(\frac{e_a}{6.1078}\right) - 17.2694} \quad (\text{unit : } ^\circ\text{C})$$

상기 자료를 토대로 시간대별 엽면습윤상태(wet 혹은 dry)를 판별하기 위한 예측척법을 CART의 binary decision tree로 표현하였다(1). 사용된 CART는 미국 Salford Systems사(San Diego, CA)의 CART for Windows(version 2.0)이었다. CART에 의해 분류된 Group 중 습윤상태가 애매한 것은 SAS(SAS Institute, Cary, NC)의 SLD(stepwise linear discriminant)분석법을 이용하여 재분류하였다(22).

모형의 검증. 모형의 검증을 위해 고령지농업시험장으로부터 수집한 강원도내 씨감자 재배포장 3개소의 국지기상자료를 우리 모형에 적용하였다. 자료기간은 진부포장(강원도 평창군 도암면 소재, 본 연구에서 모형작성을 위해 선정한 실험포장과 동일, 해발 800 m) 자료의 경우 1993년 6월 8일부터 1994년 12월 31일까지였으며, 왕산포장(강원도 명주군 왕산면 대기리 소재, 해발 600 m)은 1994년 6월 30일부터 1995년 12월 31일까지, 그리고 송정포장(강원도 강릉시 송정동 소재, 해발 8 m)은 1994년 3월 1일부터 1996년 7월 24일까지였다. 우선 이들 자료를 앞서 모형작성 때와 같이 19:00부터 다음날 09:00기간 중 강우시간대를 제외한 자료만을 선별하고, RH > 90%인 경우를 Dew, 그 외의 경우를 No Dew로 분류하여 대조성적으로 삼았다. 동일한 자료를 우리 모형에 적용

하여 습윤상태를 추정한 다음, "RH > 90% 모형"에 의한 대조성적과 비교하였다.

결과 및 고찰

최적 모형. CART를 이용하여 총 791시간 자료를 기상조건에 따라 Dew 혹은 No Dew로 분류하였을 때 4개의 범주로 구분되었다(Fig. 1). 우선 모든 시간대 자료가 상대습도 95%를 경계로 그 이상인 사례가 351, 그 미만이 440시간인데, 95% 이상에 속하는 351시간(group 1) 중 282시간은 결로에 해당되었다. 즉 어떤 시간대의 평균 상대습도가 95% 이상이라면 무조건 결로라고 추정해도 적중률이 0.8은 된다는 뜻이다. 반대로 상대습도가 95% 미만일 경우에는 상대습도 이외의 다른 기상조건이 결로 판별기준으로 이용되었다. Group 2의 경우 상대습도가 95% 미만이고 그 시간대의 평균 풍속이 1.2 m/s 이상이면 이슬은 맺히지 않는 데, 여기에 해당되는 것은 모두 295개로서 그 중 이슬이 관찰된 것은 16개였다. 풍속이 1.2 m/s 미만으로 매우 약하다면 다시 한번 상대습도가 판별기준으로 사용되었다. 즉 이렇게 바람이 약할 경우일지라도 상대습도가 82% 미만이라면 이슬이 생기지 않는다. 이와 같은 사례는 본 실험에서 총 50개가 해당되는데 그중 한 번만 틀리고 나머지는 실측값과 일치하였다(group 3). 상기 세 가지 범주에 속하지 않는 자료들은 group 4로 남게되는데, 구체적으로 상대습도가 82~94%이며, 풍속은 1.2 m/s 미만의 조건이다. 그러나 이 범주에는 총 95개 사례들이 30개의 Dew, 65개의 No Dew로 섞여 있어 어느 한쪽으로 판별하기 곤란하였다. 따라서 이

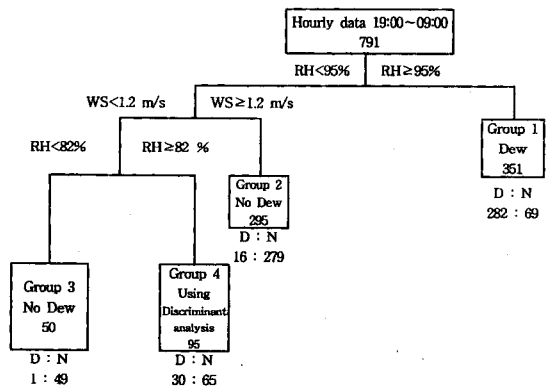


Fig. 1. Classification tree created by the CART procedure for determining presence or absence of dew using hourly data from an automated weather station (D : N=Dew : No Dew).

범주에 속한 자료들만 따로 SLD에 의한 판별분류 분석을 실시한 결과, Tair×DPD와 WS×DPD가 독립변수로 선정되었는데, 판별함수는 $0.08572(Tair \times DPD) - 1.10271(WS \times DPD) < 0.34791$ 였다. 만약 어느 시간대의 기상조건이 이 식을 충족시키면 습윤상태(1)이고, 그렇지 않을 경우에는 건조상태(0)로 판별된다. 이 방법에 의한 분류정확도는 71.6%로서 CART만의 경우(68.4%)보다 약간 개선되었다.

모형 검증. 1995년도 진부포장 자료를 토대로 작성한 CART와 SLD 통합모형(CART/SLD 모형)의 실용성 검증을 위해 독립적인 3개 지점 기상자료 (전체 20,627시간의 기상자료들 중 비가 내린 2,367시간을 제외한 18,260개 자료)를 이 모형에 적용시켜 보았다. 상대습도가 82% 미만이고 풍속이 1.2 m/s 미만인 조건 (group 3)에 해당되는 부분만 가려내면 모두 1,770시간인데 이들 중 97%인 1,714시간에는 실제 이슬이 관측되지 않았다(Table 1). 지역별 혹은 관측기간별로 살펴보면 1993년 진부포장의 88%를 제외하고는 대개 95% 이상의 분류 적중율을 보였다. Group 2의 조건(상대습도가 95% 미만이고 풍속이 1.2 m/s 이상)에 해당되는 자료는 모두 8,033시간인데 그 중 95%인 7,641시간에 실제 이슬이 관측되지 않았다. 그러나 상대습도값만

이용하는 범주인 Group 1에는 총 5,486시간 자료가 분류되었는데 1996년 송정포장과 1995년 왕산포장 53% 정도를 비롯하여, 전체 적중율이 68% 정도에 머물렀다. 이는 상대습도 95% 기준만으로 습윤여부를 판별하는 예측법칙은 지역이 달라짐에 따라 그 예측능력이 크게 변한다는 것을 보여준다. Group 4로 분류된 2,971시간의 자료는 CART에 의한 분류 이후 습윤과 건조의 판정이 가장 애매하여 SLD분석을 추가로 실시하였지만, 전체 평균 적중율은 65% 정도로 낮았다.

이 결과를 놓고 보면 CART에 의한 예측법칙은 우리가 원하는 이슬발생 혹은 이슬지속시간의 예측보다는 그 반대로 이슬이 생기지 않는 조건을 예측하는데 훨씬 우수한 성능을 가진 것으로 판단된다. 즉 상식적으로 이슬이 절대 생기지 않을 것으로 판단되는 기상 조건(야간 풍속이 1.2 m/s 이상으로 강하거나, 야간 상대습도가 82% 미만으로 건조)은 CART에 의해 쉽게 가려낼 수 있다. 물론 이러한 강풍건조조건을 판단할 수 있는 경계값(threshold)을 정확히 찾아낼 수 있다는 것은 CART의 훌륭한 기능이라 할 수 있지만, 실용상 이슬여부를 판단하기 어려운 중간조건에 대해서는 예측법칙의 적중율이 기대에 미치지 못했다.

모형의 실용성. 이 정도의 예측 적중율이 현실적

Table 1. Performance of the CART/SLD method for dew prediction based on independent data sets

Site	Year	Fitted, Success/Trial			
		Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Jinbu	1993	701/921	687/804	99/112	173/298
		76.1%	85.0%	88.0%	58.0%
Jinbu	1994	961/1119	1,476/1,587	199/209	182/316
		85.9%	93.0%	95.2%	57.5%
Songjung	1994	305/422	1,420/1,457	678/688	550/873
		72.3%	97.5%	98.5%	63.0%
	1995	477/708	1,568/1,593	354/364	492/712
		67.4%	98.4%	97.2%	69.1%
Songjung	1996	468/899	633/656	95/101	110/183
		52.1%	96.5%	94.1%	60.1%
Wangsan	1994	450/701	1,062/1,105	67/ 68	111/127
		64.2%	96.1%	98.5%	87.4%
Wangsan	1995	385/716	795/831	222/228	337/462
		53.8%	95.7%	97.4%	72.9%
Overall		3,747/5,486	7,641/8,033	1,714/1,770	1,955/2,971
%		68.3%	95.1%	96.8%	65.8%

Group 1 : RH ≥ 95%, Group 2 : RH < 95% and WS ≥ 1.2 m/sec, Group 3 : WS < 1.2 m/sec and RH < 82% and Group 4 : 82% ≤ RH < 95% and WS < 1.2 m/sec.

으로 어떠한 가치를 갖는지 확인하기 위해 습윤지속 시간 추정에 보편적으로 이용되어 온 "RH > 90% 모형" 과 비교해 보았다. 하룻밤 동안 실측된 엽면습윤 시간에서 두 가지 방법에 의해 추정된 값과의 편차와 이 편차의 분산을 비교한 것이 Table 2이다. 실측치와의 편차를 비교해 보면 "RH > 90% 모형" 이 평균 3시간, "CART/SLD 모형" 이 평균 1시간 정도의 과다추정 경향을 보인다. "RH > 90% 모형" 은 지역과 연도에 관계없이 모두 과다추정을 보이나, "CART/SLD

모형" 은 1994년 진부, 송정포장의 자료에서는 과소추정 경향이다. 실측치와의 차이가 가장 컸던 1996년 송정포장의 경우 "RH > 90% 모형" 의 시간오차는 7시간, "CART/SLD 모형" 은 4시간으로 모두 과다추정이다. 모든 지역과 연도에서 "CART/SLD 모형" 보다 "RH > 90% 모형" 의 표본분산이 크게 나타난다.

매 시간대별 엽면 결로 예측의 정확성을 비교해 보면 역시 "CART/SLD 모형" 이 "RH > 90%모형" 에 비해 평균 5% 정도 개선되었음을 알 수 있다(Table 3).

Table 2. Mean, variance, and mean square error of difference between measured and model-estimated dew hours per night

Site	Year	Mean hour (measured - estimated)		Variance		Mean square error ^a	
		RH > 90%	CART/SLD ^b	RH > 90%	CART/SLD	RH > 90%	CART/SLD
Jinbu	1993	-2.59	-0.44	19.58	17.14	26.27	17.33
	1994	-1.69	0.37	12.82	8.65	15.66	8.79
Songjung	1994	-1.61	1.32	20.46	14.28	23.07	16.03
	1995	-3.07	-0.34	25.12	12.84	34.52	12.95
	1996	-6.99	-4.22	54.44	43.61	103.27	61.45
Wangsan	1994	-3.65	-2.16	14.70	8.89	27.99	13.56
	1995	-3.51	-2.12	37.23	28.83	49.55	33.32
Mean		-3.25	-1.09	25.06	18.01	38.11	21.82

^a Mean square error = $\frac{\sum [\text{measured} - \text{estimated}]^2}{\text{Number of nights eligible for dew}}$

^b SLD : Stepwise linear discriminant.

Table 3. Accuracy of two models in predicting the timing and duration of dew at three sites from 1993 to 1996^a

Site	Year (Observations, hours)	Hours predicted correctly (%) ^b		Dew-period duration estimated within 2 hr (%) ^c	
		RH > 90%	CART/SLD	RH > 90%	CART/SLD
Jinbu	1993 (2,745)	81.2	82.7	48.3	58.8
	1994 (3,672)	86.7	88.8	60.2	67.3
Songjung	1994 (3,672)	86.0	86.7	62.7	56.8
	1995 (3,672)	81.8	86.8	49.0	68.6
	1996 (2,027)	66.1	73.7	34.1	42.4
Wangsan	1994 (2,237)	79.9	86.1	29.2	49.4
	1995 (2,602)	75.8	80.9	40.9	47.2
Mean		79.6	84.5	46.3	55.8

^a The standard of accuracy is wetness measured by electronic sensors.

^b Hours in which presence or absence of dew estimated correctly $\times 100$ / Total hours in edited data set

^c Nights in which dew duration estimated correctly within ± 2 hr $\times 100$ / Total number of nights in edited data set

식물병 예찰이라는 실용적인 목적을 감안한다면 매 시간대별 습윤여부 판정의 정확도에 덧붙여 매일의 누적 습윤지속시간을 얼마나 정확하게 예측하는지가 모형의 실용성을 좌우할 것이다. 일반적으로 잎이 이슬에 젖기 시작하는 시간대와 다음날 건조시간대의 각 한 시간씩을 허용 가능한 오차라 간주하면 하루동안의 누

적 습윤지속시간 추정값 오차는 최대 두 시간 이내일 때 실용성이 있다고 볼 수 있다(5). 이 같은 관점에서 두 모형에 의해 추정된 습윤지속시간이 실측값 ± 2 시간 이내의 범위에 드는 경우를 Table 3에 함께 실었다. 센서에 의한 실측 이슬지속시간의 ± 2 시간 이내 적중율은 "RH > 90% 모형"에서 29.2~62.7%인데 비해,

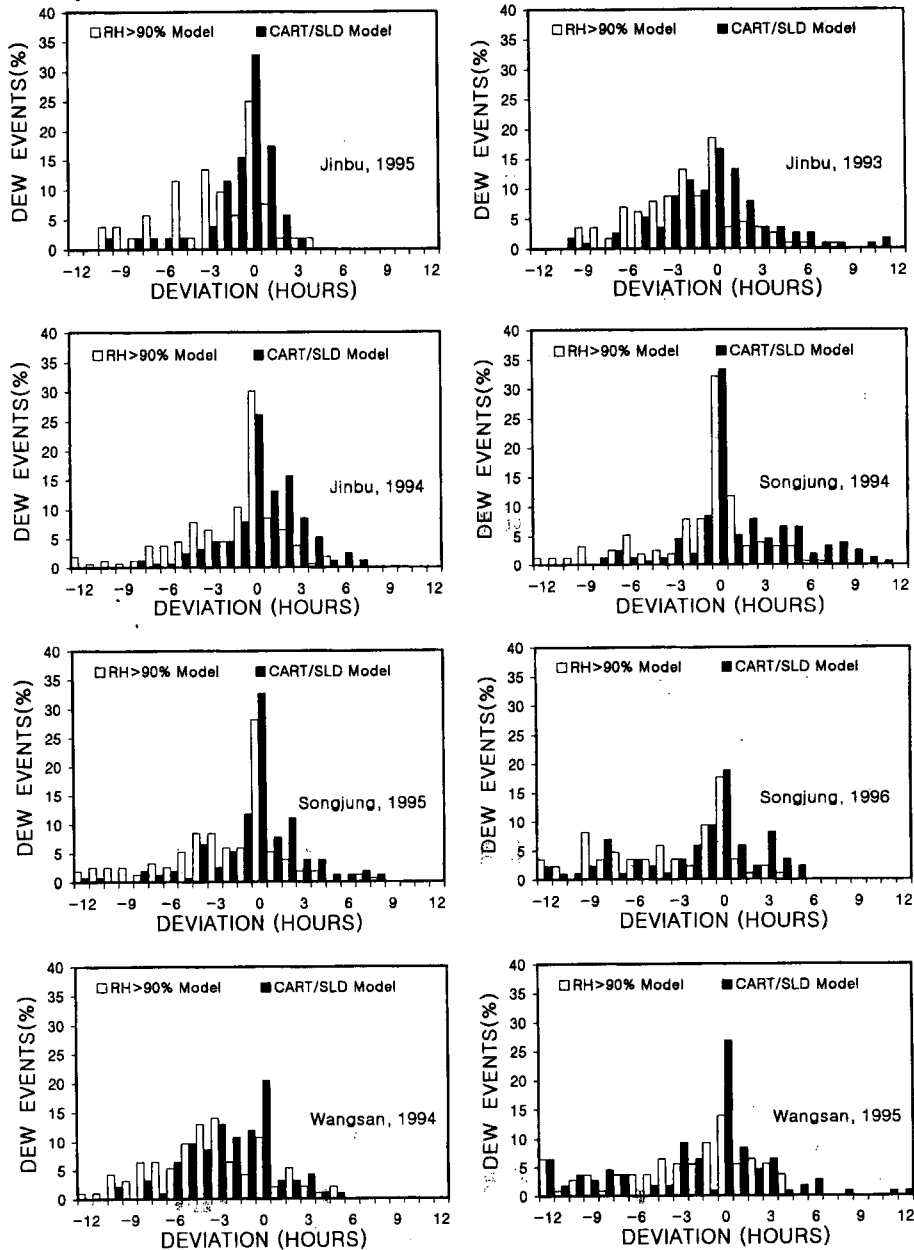


Fig. 2. Distribution of differences of estimated vs. measured dew period duration for the CART/SLD model and the RH > 90% model at three sites from 1993 to 1996.

“CART/SLD 모형”에서는 42.4~67.0%로 안정적이다. 모형간의 적응률 차이가 0.7%로 가장 적었던 1994년 송정포장에서는 예외적으로 “RH > 90% 모형”이 “CART/SLD 모형”보다 실측치에 더욱 접근하였으나 나머지 지역과 연도에서는 “CART/SLD 모형”이 “RH > 90% 모형”보다 우수하며, 전체적으로 “CART/SLD 모형”이 “RH > 90% 모형”보다 10% 정도 높았다.

모형의 오차 절대값이나 분산값만을 비교해서는 모형간 우열 판별이 곤란한 경우도 있다. 예컨대 오차값이 동일한 경우라도 그 분포양상에 따라 모형의 실용성이 달라질 수 있다(5). 모형작성에 사용된 1995년 진부포장 자료만을 대상으로 할 경우 “CART/SLD 모형”에서는 오차의 분포가 정규분포에 가까우나, “RH > 90% 모형”에서는 왼쪽으로 편의(偏倚)된 양상을 보였다(Fig. 2). 이 분포도에서 오차가 부(否)의 값, 즉 왼쪽으로 편의(偏倚)되면 과다추정이며 정(正)의 값이면 그 반대이다. 작성된 모형을 적용하여 지역과 연도별로 오차분포도를 작성하였을 때 과다추정의 양상을 보인 것은 송정의 96년, 왕산의 94년과 95년이었으며, 과소추정은 송정의 94년이다. '93, 94년 진부, 95년 송정은 비교적 정규분포를 따르는 양상이다. 즉 이 모형작성에 이용된 기상자료 출처인 진부포장의 경우 연도에 상관없이 오차분포가 대체로 정규분포를 따르지만, 다른 지역에 적용하면 그렇지 못하다는 사실을 알 수 있다.

종합적으로 “CART/SLD 모형”은 기존의 “RH > 90%” 방법보다 우월한 특성을 가지고 있는 것으로 평가할 수 있다. 그러나 기후특성이 단순한 미국 중서부 평야지대에서는 공통적으로 적용되는 모형이 작성된 사례(5)에 비하여 국지기상 특성이 다양한 국내에서의 적용은 그렇게 간단하지 않을 것으로 보인다. 통계모형의 특성상 우리나라 조건에서 실용화시키기 위해서는 산간, 해안, 분지 등 지역별로 별도의 classification tree를 작성하여 해당 지역에서만 적용하는 것이 좋을 것으로 보인다. 한편 동일한 지역일 경우 연도에 따른 편차는 크지 않으므로 한번 작성된 지역모형은 계속 사용할 수 있을 것이다.

본 연구를 통해 얻고자 한 것은 동일한 방법을 국내에 적용할 경우 발생할 수 있는 문제점을 파악하여 개선점을 찾고, 이를 토대로 국내 농업환경에 알맞은 열면습윤지속시간 추정법을 확립하는 것이었다. 추후 이 방법의 실용성이 입증된다면 기존 표준 기상관측 자료의 즉각적인 활용을 기대할 수 있다. 예를 들어 기상청에서는 전국적으로 400개에 달하는 자동기상관측소를 설치했으며 농촌진흥청, 수자원공사, 농어촌진흥공사를 비롯한 여러 기관에서 유사한 기상관측소

를 운영하고 있다(8). 이들 관측소들은 강우량을 비롯한 기본 기상요소를 측정하고 있으나 습윤지속시간은 측정하지 않는다. 만일 이들 기상관측소에서 측정하는 표준 기상자료를 이용하여 이슬지속시간을 정확히 추정해낼 수 있다면, 이 추정치에 강우량 자료를 첨가하여 국지적인 습윤지속시간 조사 체계의 기본형태를 구축할 수 있을 것이다. 국내에서도 식물병 예찰을 위한 전용 기상관측시스템이 실용화되고 있는 점을 감안하면(8, 11) 이러한 체계는 식물병 예찰시스템의 실용화를 가속화 할 것으로 기대된다.

요 약

식물병 예찰의 주요 의사지원 수단인 식물 잎의 습윤여부를 시간별 기상자료로부터 판별하기 위해 비모수(非母數) 분류법의 일종인 CART(classification and regression trees)를 적용하였다. 강원도 평창군 도암면 소재 농촌진흥청 고령지농업시험장의 감자포장에서 1995년 5월 16일부터 동년 9월 15일까지 관측한 매시 기온, 상대습도, 풍속 자료를 대상으로 19:00부터 다음날 09:00까지 자료 중 강우시간대를 제외한 총 791시간 자료를 선별하여 열면습윤 여부 판정을 위한 최적 범주를 CART에 의해 작성하였다. 이에 따르면 대기 중 상대습도가 95% 이상의 조건에서는 언제나 감자잎에서 이슬을 관찰할 수 있다. 이슬이 생기지 않는 경우는 상대습도가 95% 미만이고 풍속이 1.2 m/s 이상인 것과 풍속이 1.2 m/s 미만이지만 상대습도가 82% 미만인 두 가지 범주였다. 상대습도가 82% 이상, 95% 미만이고 풍속이 1.2 m/s 미만인 경우는 CART에 의한 판별이 곤란하므로 SLD(stepwise linear discriminant) 분석을 통해 $0.08572(\text{Tair} \times \text{DPD}) - 1.10271 \times (\text{WS} \times \text{DPD}) < 0.34791$ 의 판별식을 얻었다. 여기서 Tair는 기온(°C), DPD는 이슬점편차(°C), WS는 풍속(m/s)으로서 임의시간대의 기상조건이 이 식을 만족하면 습윤상태로 판별된다. 작성된 “CART/SLD 모형”을 강릉시 인근 해안의 송정포장과 강원도 명주군 왕산포장 등 3개 지역의 1993~1996년 기상자료에 적용시켜 검증한 결과, 기존의 “RH > 90% 모형”에 비해 예측성이 우수하였다. 그러나 비결로 시간대보다는 결로시간대의 판별 능력이 미흡하고 지역에 따른 편이가 심한 점이 문제점으로 지적된다.

감사의 말씀

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구(과제번호

951-0611-008-2) 지원에 의해 수행되었음. 예리한 지적으로 논문의 품위를 높여준 심사위원들께 감사드린다.

참고문헌

- Breimen, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A. and Stone, C. J. 1984. *Classification and Regression Trees*. Wadsworth International, Belmont, California. 358pp.
- Crowe, J. M., Coakley, S. M. and Emge, R. G. 1978. Forecasting dew duration at Pendleton, Oregon, using simple weather observations. *J. Appl. Meteorol.* 17 : 1482-1487.
- Getz, R. R. 1981. The determination of wetting duration in plant canopies. In : *Extended Abstracts, 15th Conference of Agricultural and Forest Meteorology/ 5th Conference of Biometeorology*, pp. 155-157. American Meteorological Society, Boston, MA.
- Gillespie, T. J., Sribatava, B. and Pitblado, R. E. 1993. Using operational weather data to schedule fungicide sprays on tomatoes in southern Ontario. *Can. J. Appl. Meteorol.* 32 : 567-573.
- Gleason, M. L., Taylor, S. E., Loughin, T. M. and Koehler, K. J. 1994. Development and validation of an empirical model to estimate the duration of dew periods. *Plant Disease* 78 : 1011-1016.
- Hubler, L. and Gillespie, T. J. 1992. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. *Ann. Rev. Phytopathol.* 30 : 553-577.
- 황규홍, 윤진일. 1996. 무인기상관측용 결로센서의 건습전이저항 특성. *한국기상학회지* 32(2) : 223-228.
- 황규홍, 윤진일, 박은우. 1994. 식물병 예찰을 위한 국지기상 관측의 자동화. *한국기상학회지* 30 : 631-638.
- Hyre, R. H. 1954. Progress in forecasting late blight of potato and tomato. *Plant Disease Rep.* 38(4) : 245-253.
- Jones, A. L. 1986. Role of wet periods in predicting foliar diseases. In : *Plant Disease Epidemiology. Vol. 1, Population Dynamics and Management*, ed. by K. J. Leonard and W. E. Fry, pp. 87-100. Macmillan Publishing Co., New York.
- 김규량, 박은우, 양장석, 김성기, 홍순성, 윤진일. 1996. 농업기상관측 및 작물병 예찰용 통합시스템 개발. *한국식물병리학회지* 12(1) : 121-128.
- Krause, R. A., Massie, L. B. and Hyre, R. H. 1975. BLITECAST: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Rep.* 59 : 95-98.
- 이정택, 윤성호, 정영상. 1989. 우리나라에 있어서의 벼군락내의 열수지에 의한 이슬지속 시간의 추정. *농시논문집(토양비료편)* 31(1) : 1-5.
- Lhomme, J.-P. and Jimenez, O. F. 1992. Estimating dew duration on banana and plantain leaves from standard meteorological observations. *Agricultural and Forest Meteorology* 62 : 263-274.
- Mackenzie, D. R. 1981. Scheduling fungicide applications for potato late blight with BLITECAST. *Plant Disease* 65 : 394-399.
- Madden, L., Pennypacker, S. P. and MacNab, A. A. 1978. FAST, a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. *Phytopathology* 68 : 1354-1358.
- Monteith, J. L. 1957. Dew. *Q. J. Royal Meteorol. Soc.* 83 : 322-341.
- Monteith, J. L. and Unsworth, M. H. 1990. *Principles of Environmental Physics 2nd ed.* Edward Arnold, London. 291pp.
- Pedro, M. J. and Gillespie, T. J. 1982. Estimating dew duration. II. Utilizing standard weather station data. *Agricultural Meteorology* 25 : 297-310.
- Shoemaker, J. B. and Lobeer, J. N. 1977. The role of dew and temperature in the epidemiology of *Botrytis* leaf blight of Onion. *Phytopathology* 67 : 1267-1272.
- Sutton, J. C., Gillespie, T. J. and Hildebrand, P. D. 1984. Monitoring weather factors in relation to plant disease. *Plant Disease* 68 : 78-84.
- William, R. K. 1981. *Discriminant Analysis*. Sage Publications. 63pp.
- 윤진일, 황규홍, 황범석, 안재훈, 함영일, 김병현, 김정간. 1996. 무인기상관측자료를 이용한 태백 고령지 감자역병 예찰. *한국기상학회지* 32(1) : 103-110.