

벼 도열병 Epidemics에 미치는 재배 포장 실험기상 요인

권재운 · 이순구*

안동대학교 생명자원과학부 농생물학전공

Real-Time Micro-Weather Factors of Growing Field to the Epidemics of Rice Blast

Jae-Oun Kwon and Soon-Gu Lee*

Department of Agricultural Biology, School of Bioresource Sciences, Andong National University, Andong, Kyung-buk 760-749, Korea

(Received on December 7, 2002)

It was investigated on the relationship of the rice blast epidemics and the real-time meteorological factors, at the experimental paddy field in 1997. Weather factors(temperature, relative humidity, irradiation, precipitation, the direction of wind, wind speed, soil temperature and leaf-wetness, etc) were measured by using the automated weather station. The most influenced weather factor to blast epidemics, was the average max-temp($R^2 = 0.95$) during 10 days before leaf blast epidemics, while the least thing was wind speed($R^2 = 0.24$). The most potential weather factors correlated with the blast epidemics were T-ave(average temperature), T-max(maximum temperature), RH(Relative Humidity) and RD(Relative Humidity > 90% hrs). A statistics model(the regression equation) of the blast epidemics with the potential weather factors, was established as follows ; $Y = -3410.91 - 23.91 \times T\text{-ave} + 28.56 \times T\text{-max} + 41.0 \times RH - 3.75 \times RD$, ($R^2 = 0.99$). (T-ave $\geq 19^\circ\text{C}$, T-max - T-ave $\geq 5.2^\circ\text{C}$ and RH% $\geq 90.4\%$). According to the fitness test(χ^2) of the model, the observed blast disease severity was quite close to those expected.

Keywords : AWS, disease incidence, disease severity, epidemics, modeling, real-time weather variables, rice blast disease

도열병 발병은 다른 식물병과 마찬가지로 기주인 벼와 병원균의 밀도, 그리고 주변 환경조건(기상 요인) 등 3요소가 일치되었을 때 일어난다. 침입한 병원균은 발아하여 병반을 만들고 알맞은 온도와 강우 그리고 엽면이 습윤해지면 다시 포자 생성, 포자 비산 및 침입하게 된다. 도열병 병발생에 가장 크게 작용하는 인자는 벼의 품종으로 도열병은 품종이 가지고 있는 저항성만으로도 대발생의 피해를 줄일 수 있다. 특히 경북지방에서 가장 많이 재배되고 있는 일품벼는 1990년 작물 시험장에서 육성된 품종으로 1991년부터 남부내륙 중간 산지의 장려 품종으로 재배되기 시작한 품질과 밥맛이 좋은 다수성 품종이다. 그러나 도열병에 감수성인 품종으로 해마다 경작지

일부에서는 앞도열병의 피해를 받고 있는 실정이다, 기주 식물과 병원균이 함께 있어도 발병에 적합한 기상 환경이 되지 않는다면 병은 발병되지 않으므로 식물병 예찰을 위해 기상과 식물병과의 관계에 관한 많은 연구와 개발이 있어왔다. 도열병과 발병기상에 관한 연구는 Teng 등(1991)과 같이, 병발생에 관여하는 여러 가지 요인들 모두에 대한 시뮬레이션 모형 구축 형태로 많이 이루어왔다. 이들 여러 연구에서는 주로 잎습전지속시간, 기온, 바람, 상대습도 등의 기상요인과 도열병과의 관계를 중요시하는 것이 일반적이다. 최근 들어 농업 연구에 AWS(automated weather station; 무인기상관측장치)가 보급되면서 농업 기상에 대한 관심이 높아지고 있다. 아울러 댐 건설로 인한 주변 지역의 안개 발생 지속시간과 작물 수량 변화, 댐 건설 전후의 기상 변화에 따른 농작물의 환경에 관한 연구 등이 활발하게 이루어지고 있다. 도열병의 역학 및 예찰모형에 대한 귀존의 연구로서는, AWS를

*Corresponding author

Phone)+82-54-820-5509, FAX)+82-54-823-1628

E-mail)soongu@andong.ac.kr

이용하여 벼 군락 내의 평균온도, 상대습도, 잎습전지속 시간 등의 기상요인만을 이용한 병발생 예찰 모형인 도열병 발병 위험도(BUS: Blast Units of Severity)와 잎도열병 발병을 예찰하기 위하여 포자 발아 등의 병원균의 상태, 잎 면적 등의 벼의 상태 그리고 온도, 습도 등의 기상을 이용하여 개발된 LEAFBLST가 있다. 최근에는 목도열병을 위한 예찰모형도 개발되고 있다. 기상요인이 도열병 발병에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 있지만 실제 도열병 병발생 포장에서 측정된 실황 국부기상과 도열병과의 상호관계를 발표한 자료는 드물다. 그러므로 이 연구에서는 도열병 발병에 관여하는 포장 실황 기상요인과 도열병 병발생과의 상호관계를 밝히고, 이를 이용한 발병 통계 모형을 만들어 보고자 했다.

재료 및 방법

벼 도열병 발병 모의 실황 포장과 도열병 병발생 조사. 경북 안동시 송천동 소재 안동대학교 구내의 야산 산록 계곡에 위치한 천수답으로 양쪽 언덕 사이에 위치해서 매년 도열병이 상습적으로 발생하는 논을 시험포장으로 설정하였다. 재배농가에서 육묘한 일품벼(1996년 현재 경북지방에서 가장 많이 재배되고 있으며 도열병에 감수성이었음)를 공시포장에 이앙하여 벼 재배하였다. 손으로 이앙한 후, 질소(요소)시비를 3배로 하여 재배하였다. 약 100평씩 3개의 층으로 되어 있는 시험 포장을 A·B·C로 구역화 한 뒤, 각 층마다 논 형태에 맞추어 논둑과

논에 지주를 세우고 가는 줄을 이용하여 직사각형으로 A 구에 19개, B구 17개, C구 12개의 세구를 나누었다 각 세구 별로 20-50주의 벼를 임의 선택하여 벼 이앙후 도열병 발병량을 육안 조사하였다(Fig. 1).

포장에서의 발병량 조사는 이앙 후 매주 실시하였으며, 발병이 시작되는 시기에는 2-3일 간격으로 조사하였다. 1997년의 경우(7/8, 7/12, 7/15, 7/16, 7/19, 7/23, 7/25, 8/1, 8/8, 8/16, 8/25) 모두 11회에 걸쳐서 잎도열병 조사와 8/30, 9/9, 9/19까지 3회의 목도열병 발병률 조사를 하였다. 도열병 발병은 각 세구별로 임의 선택(지그제그방식)으로 발병주를 조사하였다. 발병주에 나타난 병반수로 0에서 5까지 발병 등급화를 나누고, 가중치 계산식으로 세구별 발병 가중치와 평균 발병 가중치를 구하였다. 발병률(DI: disease incidence)은 조사 주수에 대해 도열병 병반이 나타난 발병 주수이고, 발병심각도(DS: disease severity)는 최고 등급 발병주에 대해 발병 등급별 발병 주수이고, 병진전곡선하면적(AUDPC: area under disease progress curve)은 재배기간동안 조사한 발병률의 평균치로 병진전곡선(DPC: disease progress curve)을 작성하여 그 면적을 구했다(Table 1).

$$\text{발병률} = \frac{\sum \text{발병 주수}}{\text{전체 조사주수}} \times 100$$

$$\text{평균 발병 가중치} = \frac{\sum (\text{발병 등급별 발병 주수} \times \text{발병 등급})}{\sum \text{발병 주수}}$$

$$\text{발병심각도} = \frac{\sum (\text{발병 등급별 발병 주수} \times \text{발병 등급})}{(\text{전체조사 주수} \times \text{최고 발병 등급})} \times 100$$

$$\text{병진전곡선하면적} = \sum [(y_i + y_{i+1})/2](t_{i+1} - t_i)$$

(y_i 는 날짜가 t_i 일 때의 발병률).

벼 재배 포장의 실황기상 조사. 주변 기상과 벼 도열병 발병과의 관계를 조사하기 위하여 1995년도부터 1997년까지 도열병 시험 포장에서 아래로 20 m 지역에 무인 기상관측장치(AWS)를 설치 운영하였다. 작물 생육 기간 동안 매시 단위로 기상을 측정하며, 매달 자료를 수집하였다. 1997년도 벼 도열병 발병 조사에 사용하기 위하여 기온, 상대습도, 일사량, 강우량, 풍향, 풍속, 지온, 잎습전지속시간 등 8개의 기상 요소를 측정하였다. 기상 요소 측정에 사용된 감지기들을 제어하고 측정된 기상 자료를 저장하기 위한 자료기록기는 Campbell사에서 제작한 21XL을 이용하였다. 잎습전지속시간은 Leaf Wetness

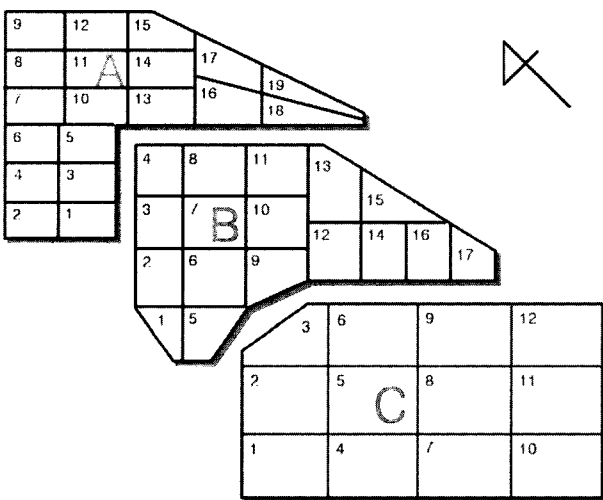


Fig. 1. ANU(Andong National University)-Experiment Field, which located in the valley between the hill sides; **A: upper side, B: middle side, C: lower side of field, *number : split of each plot.

Table 1. Disease level by the consideration of the lesion number of blast per plant

Disease levels	0	1	2	3	4	5
Lesion number per plant	0	1-2	3-5	6-8	9-10	10<

감지기를 지면에서 50 cm위치에 설치하여 측정하였으며, 기온, 상대습도 등 기상 요소 측정에 사용된 감지기들은 Campbell사의 21XL 자료기록기와 호환성있는 것을 사용하여 지면으로부터 1-3 m 위치에 설치하여 기상을 측정하였다. 데이터 수집과 가공에는 Intel Pentium PC와 MS-Windows 95 운영체제를 이용하였으며, 21XL 자료기록기로부터 측정된 기상 요소를 수집, 분류, 편집하기 위하여 Campbell사의 PC-208W를 이용하였다.

도열병 epidemics의 통계모형(도열병 발병과 포장 실험기상과의 관계). 1997년도 포장에서 조사된 벼 도열병 발병 상황 자료를 이용하여 '97년 AWS에서 수집된 벼 생육 주변의 실험 기상과의 관계를 통계분석하였다. 도열병 발병심각도는 각 구역의 세구를 하나의 구역으로 수정하여 반복처리 자료로 이용하였다. 통계모형 구축은 도열병 발병심각도를 종속변수로 하고, 기상 환경 요인들을 독립변수로 하였다. 통계적 모형의 최적 회귀를 위한 독립변수 선택은 독립변수들의 가능한 모든 조합에 대한 결정계수 R²와 Mallows의 Cp를 계산하는 R² 선택법을 이용하였다. 독립변수는 도열병 발병 조사 전일로부터 2일전, 3일전, ..., 19일전, 20일전 기상정보로서, 온도(평균·최고·최저), 상대습도, 일사량, 풍속 등은 평균으로 사용하고, 강우량, 잎습전지속시간, 상대습도 90%이상인 시간 등은 누적으로 사용하여, 도열병 발병에 가장 많은 영향을 미치는 기간을 구하였다. 도열병 발병에 영향을 미치는 기상요인 서로간의 상관관계와 도열병 발병과 기상요소의 유의성 분석을 하기 위하여 통계 분석 프로그램인 SAS(Statistical Analysis System) Program package를 이용하였다.

결과 및 고찰

벼 도열병 발병 모의 포장과 도열병 병발생 조사. 1997년도 도열병 시험포장에 재배한 공시품종 일품벼에서 도열병 발병을 조사한 결과, Fig. 2, Fig. 3과 같다. 시험 포장에서 최초 잎도열병 발병은 이앙 후(5월 30일) 생육 42일경(7월 12일)이며, C구역 10번 세구(이하 C-10)에서 발병심각도 1.0%을 보였다. 다음 조사일 7월 15일에 가장 많은 발병을 보인 구역은 A-1번 세구(발병심각도: 6.5%)와 C-4번 세구(5.8%)이었으며, 이때의 도열병 발병은 논 가장자리를 중심으로 전체 조사주의 약 11%의 발병률(발병심각도: 2.3%)을 보였다. 7월 16일 전체 조사주 33%의 발병률(발병심각도: 8.4%)에서 7월 19일에는 70%의 급격한 발병률(발병심각도: 19.0%)을 보였으며 전체 조사주에 걸쳐서 경미한 도열병 병반에서부터 한 잎당 3-4개의 병

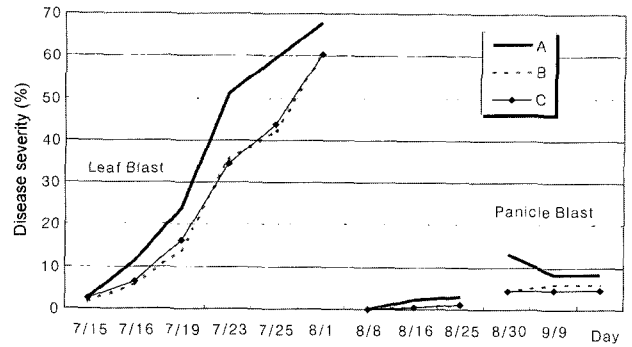


Fig. 2. The disease severity^z of leaf blast and disease incidence^y of panicle blast on each area^x in ANU-Exp. Field, Andong in 1997.

^zDisease severity = $\sum (\text{Degree of infected plant on disease levels}^w \times \text{disease level}) \div \text{Total plant surveyed} \times \text{Maximum disease level} \times 100$.

^yDisease incidence = $\text{No. of plant infected in Blast} \div \text{Total plant surveyed} \times 100$.

^xArea: A : upper side, B : middle side, C : lower side of field (Fig. 1).

^wLesion number of rice blast per plant on disease level (disease level : 0 to 5 ; Table 1).

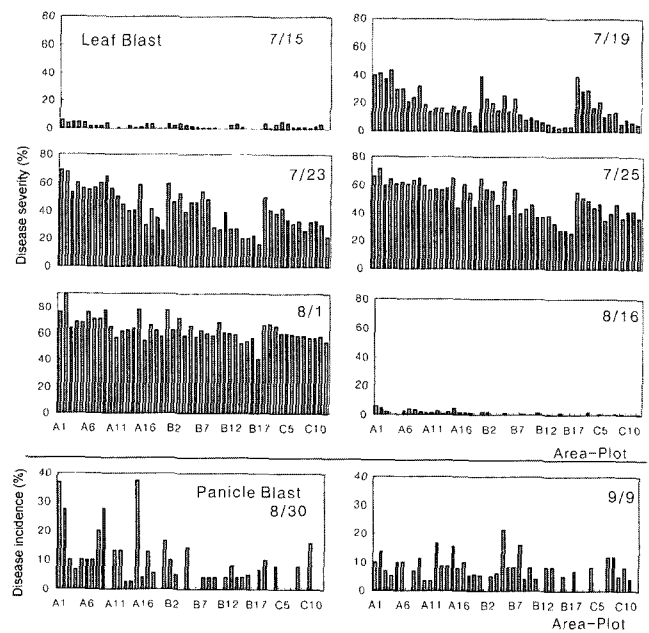


Fig. 3. Disease severity^z of leaf blast and disease incidence^y of panicle blast on observed dates in ANU-Exp. Field, in 1997.

^zDisease severity = $\sum (\text{Degree of infected plant on disease levels}^x \times \text{disease level}) \div \text{Total plant surveyed} \times \text{Maximum disease level} \times 100$.

^yDisease incidence = $\text{No. of plant infected in Blast} \div \text{Total plant surveyed} \times 100$.

^xLesion number of rice blast per plant on disease level (disease level : 0 to 5 ; Table 1).

**Area: A : upper side, B : middle side, C : lower side of field (Fig. 1).

*Plot: A: 1 to 19 plot, B : 17 plot, C : 12 plot.

반을 확인할 수 있었다. 7월 23일경부터 7월 25일에는 전 구에서 비슷한 경향으로 완만한 증가 현상을 보였다. 8월 1일에는 전체 세구가 비슷한 수준의 발병차이(발병심각도 A:67.7%, B:60.2%, C:60.4%)를 보여 발병 최성기를 나타 내었다. 이때 전체적인 병 증가 곡선은 단주기성병의 전 형적인 형태를 보여 주었다. 각 세구별로 발병심각도는 8 월 1일 A-2번 세구에서 89.1%로 가장 높게 나타났으며, A-15번(78.1%), B-1번(77.8%) 순으로 나타났다. 벼 생육 69일째(8월 8일)는 발병률이 0%로 떨어졌으며, 8월 16일 에는 다시 조금씩의 발병수가 보이기 시작하여 A-1, 2, 15번 세구에서, 8월 25일에는 A-9, 15번 세구에서 발병등 급 1을 나타내었다. 그러나 아직 목도열병은 나타나지 않 았다. 8월 30일부터 실시된 목도열병 조사에서는 A-1(발 병률: 36.7%), 2(27.3%), 9(27.8%), 15(37.5%) 세구에서 목 도열병 발병률이 가장 높았으며 전체 발병률은 10% 이

내로 나타났다. 그러나 9월 9일과 9월 19일 모두 더 이 상의 발병 진전을 보이지 않았다. 벼 생육 69일째(8월 8 일)는 발병률이 0%로 떨어지는 현상을 보였는데(Table 2) 이 기간은 최고 분얼기간으로 새로운 줄기와 잎의 생육 속도가 증가되어, 기존의 병반 잎들이 새로운 잎 아래로 처지면서 잎도열병이 감소되는 현상을 나타내었기 때문 으로 여겨진다. 8월 30일부터 실시된 목도열병 조사에서 는 동일한 포장 내에서 발생된 잎도열병균이 목도열병에 관여한다고 보고한 것과 같이 잎도열병 발병이 심하던 A-1(발병률: 36.7%), 2(27.3%), 9(27.8%), 15(37.5%) 세구에서 목도열병 발병률이 가장 높았으며 전체 발병률은 10% 이내로 나타났다. 도열병 발병은 전해 벼 수확 후 논과 는 주변에서 월동하고 있던 병원균 또는 도열병에 감염된 종자에 의해 1차 전염원이 된다. 벼에 전파된 도열병 균은 병반 형성과 함께 다시 포자를 생성하여 온도와 습

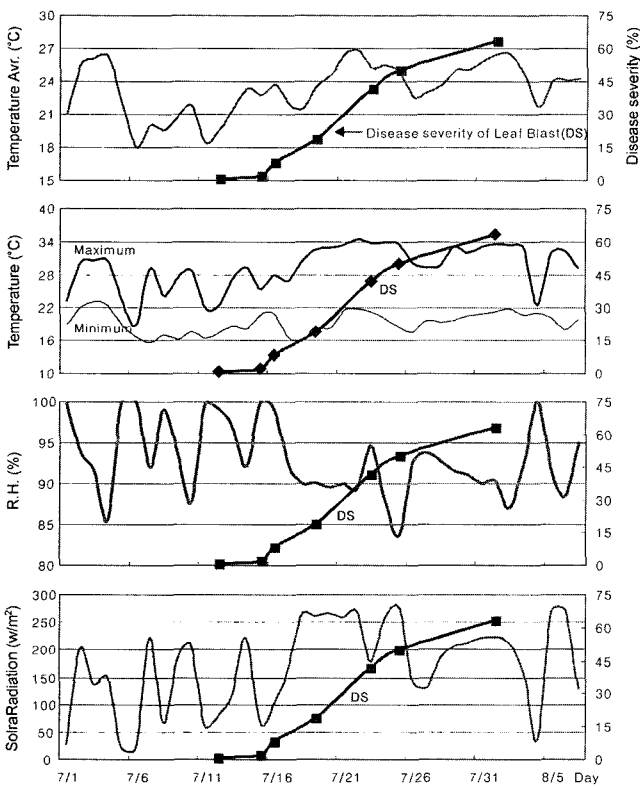


Fig. 4. Correlation between disease severity² of leaf blast in ANU-Exp. Field, and weather factors³ collected at AWS in 1997.

²Disease severity = $\sum(\text{Degree of infected plant on disease levels}^s \times \text{disease level}) \div \text{Total plant surveyed} \times \text{Maximum disease level} \times 100$.

³Daily mean, maximum, and minimum temperature, relative humidity, solar radiation.

^sLesion number of rice blast per plant on disease level (disease level : 0 to 5 ; Table 1).

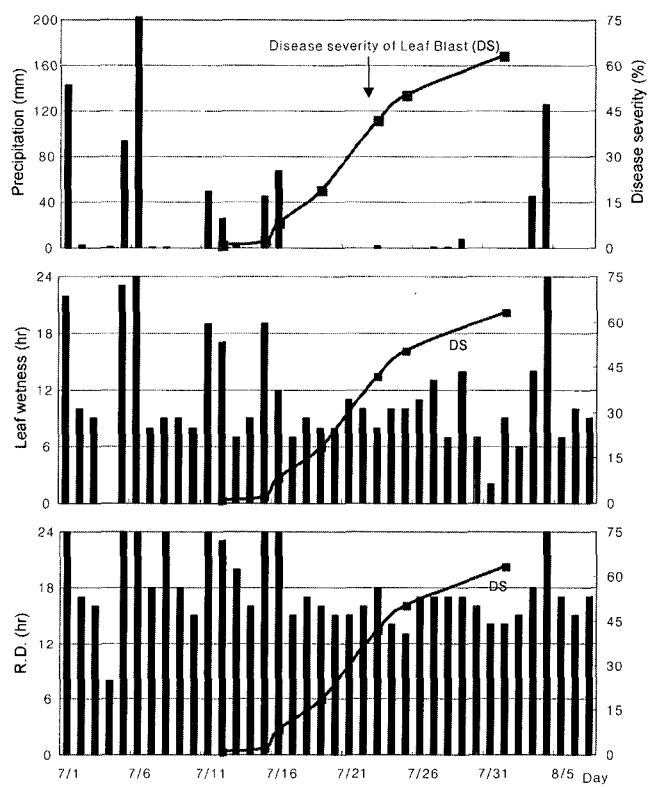


Fig. 5. Correlation between disease severity² of leaf blast in ANU-Exp. Field, and weather factors³ collected at AWS in 1997.

²Disease severity = $\sum(\text{Degree of infected plant on disease levels}^s \times \text{disease level}) \div \text{Total plant surveyed} \times \text{Maximum disease level} \times 100$.

³Daily means of precipitation, leaf wetness, relative humidity (%) > 90%(hr).

^sLesion number of rice blast per plant on disease level (disease level : 0 to 5 ; Table 1).

Table 2. Correlation coefficients analysis of disease severity¹ and average weather factors during 10 days before the observed disease severity from July 2 to August 1 in 1997

	BLAST ²	T-ave	T-max	T-min	RH	SR	WS	Pre	LWET	RD
BLAST	1.00000	0.96534*	0.97731*	0.91054*	-0.91656*	0.97207*	0.49202 ^{ns}	-0.91791*	-0.93072*	-0.91013*
T-ave		1.00000	0.99191*	0.98022*	-0.96759*	0.96951*	0.63710*	-0.86237*	-0.95341*	-0.96776*
T-max			1.00000	0.95321*	-0.97416*	0.98583*	0.59806*	-0.87423*	-0.93861*	-0.96642*
T-min				1.00000	-0.94157*	0.90779*	0.66720*	-0.79614*	-0.93805*	-0.94969*
RH					1.00000	-0.94378*	-0.69801*	0.77861*	0.89361*	0.99695*
SR						1.00000	0.56530*	-0.88002*	-0.91930*	-0.93025*
WS							1.00000	-0.35633	-0.61466*	-0.71999*
Pre								1.00000	0.90995*	0.76622*
LWET									1.00000	0.89673*
RD										1.00000

¹Disease severity = $\sum(\text{Degree of infected plant on disease levels}^x \times \text{disease level}) \div \text{Total plant surveyed} \times \text{Maximum disease level} \times 100$.

²Blast: Disease Severity of Leaf Blast (%), T-ave : Average Temperature (°C), T-max : Maximum Temperature (°C), T-min : Minimum Temperature (°C), RH : Relative Humidity (%), SR : Solar Radiation (w/m²), WS : Wind Speed (m/sec), Pre : Precipitation (mm), LWET : Leaf Wetness (hr), RD : Relative Humidity >90% (hr).

³Lesion number of rice blast per plant on disease level (disease level : 0 to 5 ; Table 1).

*Significant differences at 5% level.

도에 의해 2차 전염하게 된다(25, 26, 27, 28). '97년도 도열병 발병 조사기간중 가장 급한 발병을 보인 7월 25일의 경우 전 10일간 (15-24일) 온도를 평균하여 보았을 경우 평균 24.2°C이며 발병일(24일)의 온도는 평균 25.5°C로 다른 날보다 일교차가 적고 평균온도가 높았다. 이것은 기주로 포자가 침입되기 전의 적온(21~29°C)과 침입 후의 적온(21~29°C)에 따라 병반의 출현과 피해의 정도가 많아진다는 것과 비슷한 경향을 나타낸 것이다. Kim & Mogi(1985)의 강우시의 포자 비산 등과 같이 도열병 발병 초기인 7월 15일 전후 10일간은 '97년 전체 강우의 약 30%의 강우량과 낮은 풍속이 지속되고 일중 상대습도 90%이상인 시간이 평균 21시간을 보였다. 이러한 조건으로 도열병은 병원포자의 방출, 부착 그리고 병반형성 등이 활발하게 이루어져 포장 전체에 11%의 발병률을 나타내었다(Fig. 2, 3).

벼 재배 포장의 실험기상 조사. 1997년 시험포장의 AWS를 이용하여 매시 수집된 기상요소들은 평균·최고·최저 온도, 상대습도, 일사량, 풍향, 잎습전지속시간 등이다. '97년과 '96년의 기상을 비교하여 보면, 벼 이앙 이후 유효분얼시기인 6월부터 7월까지는 '97년이 높은 평균온도를 나타냈으며, 7월 15일 이후부터 8월 20일까지 무효분얼시기에는 상대적으로 낮다가 8월말부터는 높은 경향을 나타내었다. 상대습도는 '97년이 전체적으로 높은 경향을 나타내었다. 일일 상대습도 90%이상인 시간을 누적하여 보면 '97년 7월은 일 평균 18시간으로 '96년 14

시간에 비해 높은 시간대를 보이다가 8월 중순이후로 낮은 시간대를 보였다. 잎습전지속시간은 '97년 7월 초순에만 높게 나타났다. 강우량은 6월 1일부터 9월 30일까지의 누적 강우일을 보면 '97년이 57일로 '96년에 비하여 11일이 증가하였으며 강우량은 '96년의 2배인 1517.7 mm를 나타내었다. 안동대학교 도열병 시험포장에 설치되어 있는 AWS는 안동지역을 평균하는 안동기상대와 지형적·위치적인 차이가 있기 때문에 벼 생육시기인 6월부터 9월까지 두 지역의 기상을 비교하였다. 평균 온도의 경우는 안동기상대보다 평균 1.5도의 낮은 온도를 보이면서 비슷한 경향으로 진행되고 있으며, 최고 온도도 안동기상대보다 평균 0.7도 낮게 나타났다. 상대습도의 경우에는 AWS가 전체적으로 평균 12% 높게 나타났다. 일사량은 두 지역이 비슷한 경향을 보였다. 안동기상대에 비해 시험포장의 강우량은 다른 기상요소와는 달리 많은 차이를 보이고 있었는데, 강우량 960 mm, 강우시간은 19시간으로 시험포장이 높은 강우량을 보였다. 이는 '96년 시험포장의 강우량(강수시간) 807.7 mm(47 hr)과 '96 안동기상대 강우량 533.5 mm(43 hr)와 비교하여도 시험포장의 강우량이 많은 것을 알 수 있다. '92년부터 '97년까지의 안동지역의 평균온도, 상대습도, 강우량, 일조시간 등을 비교해 본 결과, '97년의 평균온도는 예년에 비해 높은 온도를 보였으며, 상대습도의 경우 7월부터 8월초까지 예년에 비해 높은 경향을 보였다. 강우량은 전반적으로 비슷하였으며 전체 강우량중 장마기인 6-7월에 가장 많은

강우를 보였다. 일조시간은 7월초까지 적은 시간을 보였다. 도열병 발병 예찰을 위한 통계모형 작성을 위하여 도열병의 발병 현상을 3시기로 분류하였다. 첫 번째 시기는 도열병 초기 발병일로부터 최고 발병을 보인 기간, 두 번째 시기는 출수가 이후의 도열병 발병일로부터 목도열병 발병 전까지의 기간, 세 번째는 시기는 목도열병 발병 기간으로 설정하였다. 그러나 두 번째 시기는 벼는 잎도열병에 성체 저항성을 나타내므로 적절한 기상이 되어도 발병되지 않는다는 것과 같이 시험 포장에서도 잎도열병 발생이 되지 않았다. 그리고 세 번째 시기인 목도열병 발병은 초기 발병 후 지속적인 병의 증가가 없었다. 따라서 이 두시기를 제외한 잎도열병 초기 발병부터 최고 발병을 보인 시기에 대하여 도열병과 기상과의 관계를 조사한 것이다(Fig. 4, 5).

도열병 epidemics의 통계모형. AWS에서 수집된 기상 자료를 이용한 분석은: ① 최초 도열병 조사일인 7월 12일 이후 가장 많은 발병을 보인 8월 1일까지 잎도열병 발병심각도; ② 발병심각도가 급격히 낮아진 8월 8일부터 8월 25일의 잎도열병 발병심각도; ③ 8월 30일부터 9월 19일의 목도열병 발병률을 이용하여 도열병 발병 조사 전일부터 20일 전까지 각각의 평균과 발병심각도와의 관계를 조사하였다. 이중 ①의 기간이 잎도열병 발병 조사일 전일부터 10일간 평균이 잎도열병 발병심각도에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이를 이용하여 통계모형을 작성하였다. '97년도 벼 도열병 발병심각도에 영향을 미치는 기상요인에 대하여 각각 요인을 독립변수로 취하였을 때 최고온도가 결정계수 0.955*를 나타냄으로써 다른 요인에 비하여 중요한 요인으로 나타났다. 평균 온도($r^2=0.932$), 잎습전지속시간($r^2=0.866$), 상대습도($r^2=0.840$) 등 측정된 모든 기상요소에 대하여 결정계수가 높게 나타났지만 풍속은 결정계수 0.242로 도열병 발병에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 벼 도열병의 발병 진전 정도에 대한 예측모형 작성에 필요한 최적변수조합을 선발하기 위하여 발병심각도와 기상요소간의 관계를 SAS Program의 R^2 선택방법을 이용하여 통계 처리 요약한 결과는 Table 3와 같다. Mallows Cp값이 변수의 개수 -1에 접근하고 결정계수도 높아 이들을 모형식의 변수로 선택한 벼 도열병 발병 진전정도의 모형식은 다음과 같이 작성되었다.

발병심각도 $Y = -3410.91 - 23.19 \times T\text{-ave} + 28.56 \times T\text{-max} + 41.0 \times RH - 3.75 \times RD (R^2 = 0.99^*)$ 로써, 여기서 T-ave는 평균온도, T-max는 최고온도, RH는 상대습도, RD는 상대습도 90%이상 누적 시간이다(Table 2, 3).

Table 4는 각 기상요인만을 이용하여 발병 진전 모형을

작성한 것이며, 병진전에 영향을 미치는 요인 순으로 나타내었다. 각 요인별로는 T-max, T-ave, SR, LWET 순으로 높은 결정계수를 보이고 있다. 그러나 이들 4개 요인만을 이용하여 작성된 모형은 위에서 작성된 모형에 비해 낮은 결정계수를 보였다. Fig. 6은 발병 모형에 사용된 기상변수와 발병심각도의 산포도를 나타낸 것으로 평균온도와 최고 온도는 정의 상관을 보였고, 상대습도와 상대습도 90%이상의 시간은 부의 관계를 보이고 있다. Fig. 7은 작성된 발병 모형(expected)과 실제 '97년도의 도열병 발병심각도(observed)를 나타낸 것으로 전체적으로 비슷한 경향을 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 발병 모형은 작성된 공식에 새로운 조건식(평균온도 19°C 이상, 최

Table 3. Optimum parameter analysed by R^2 method of the blast disease severity^z and the weather factors collected in ANU-Exp. Field, from July 2 to August 1 in 1997

Number in model	R-Square	C(p)	Variables in Model ^y
1	0.95512710	186.82389	T-max
:	:	:	:
2	0.97981449	81.08891	T-max RH
:	:	:	:
3	0.98302499	69.07841	T-max RH RD
:	:	:	:
4	0.99764436	7.27993	T-ave T-max RH RD
:	:	:	:
5	0.99799067	7.76866	T-ave T-max RH SR RD
:	:	:	:
6	0.99843111	7.84659	T-ave T-max RH SR WS RD
:	:	:	:
7	0.99854753	9.33852	T-ave T-max RH SR WS Pre RD
:	:	:	:
8	0.99931007	8.01083	T-ave T-max T-min RH WS Pre LWET RD
:	:	:	:
9	0.99931255	10.00000	T-ave T-max T-min RH SR WS Pre LWET RD

^zDisease severity = $\sum(\text{Degree of infected plant on disease levels}^x \times \text{disease level}) \div \text{Total plant surveyed} \times \text{Maximum disease level} \times 100$.

^yT-ave : Average Temperature(°C), T-max : Maximum Temperature (°C), T-min : Minimum Temperature (°C). RH : Relative Humidity (%), SR : Solar Radiation (w/m²), WS : Wind Speed (m/sec), Pre : Precipitation (mm), LWET : Leaf Wetness (hr), RD : Relative Humidity >90% (hr).

^xLesion number of rice blast per plant on disease level (disease level : 0 to 5 ;Table 1).

Table 4. Regression of the blast disease severity(Y)² and the weather factors(X) collected in ANU-Exp. Field, from July 2 to August in 1997

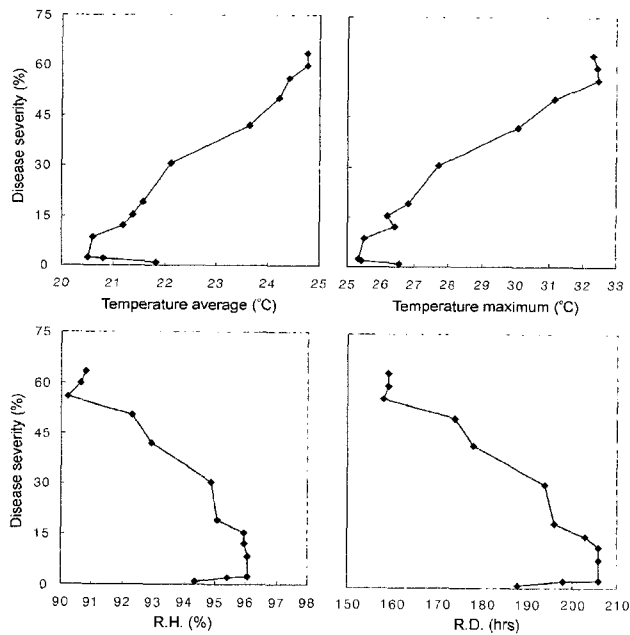
Major climatic factors ^y	Regression equation	Coefficient of determination
T-max	$Y = -197.50 + 7.95X$	($r = 0.95^*$)
SR	$Y = -59.03 + 0.53X$	($r = 0.94^*$)
T-ave	$Y = -280.48 + 13.74X$	($r = 0.93^*$)
LWET	$Y = 223.32 - 1.74X$	($r = 0.87^*$)
RH	$Y = 932.39 - 9.63X$	($r = 0.84^*$)
Pre	$Y = 54.84 - 0.13X$	($r = 0.84^*$)
T-min	$Y = -402.90 + 23.25X$	($r = 0.83^*$)
RD	$Y = 241.16 - 1.14X$	($r = 0.82^*$)
WS	$Y = -78.15^{ns} + 229.68X$	($r = 0.24^{ns}$)

²Disease severity = \sum (Degree of infected plant on disease levels^x × disease level) ÷ Total plant surveyed × Maximum disease level × 100.

^yT-ave : Average Temperature(°C), T-max : Maximum Temperature(°C), T-min : Minimum Temperature(°C). RH : Relative Humidity (%), SR : Solar Radiation (w/m²), WS : Wind Speed (m/sec), Pre : Precipitation (mm), LWET : Leaf Wetness (hr), RD : Relative Humidity >90% (hr).

^xLesion number of rice blast per plant on disease level (disease level : 0 to 5 ; Table 1).

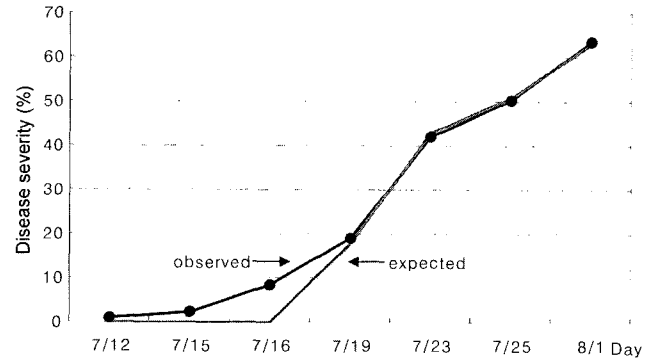
*Significant differences at 5% level.

**Fig. 6.** Effect of weather factors² on disease severity^y observed in ANU-Exp. Field, from July 2 to August 1 in 1997.

²Daily mean, maximum temperature, relative humidity, relative humidity > 90%(hr)

^yDisease severity = \sum (Degree of infected plant on disease levels^x × disease level) ÷ Total plant surveyed × Maximum disease level × 100.

^xLesion number of rice blast per plant on disease level (disease level : 0 to 5 ; Table 1).

**Fig. 7.** Observed² and expected^y disease severity of rice leaf blast in ANU-Exp. Field, in 1997.

²Disease severity = \sum (Degree of infected plant on disease levels^x × disease level) ÷ Total plant surveyed × Maximum disease level × 100.

^y $Y = -3410.9 - 23.19 * T-ave + 28.56 * T-max + 41.0 * RH - 3.75 * RD$ ($R^2 = 0.99$), $T-ave \geq 19$ and $T-max - T-ave \geq 5.2$ and $RH \geq 90.4\%$, T-ave : Average Temperature(°C), T-max : Maximum Temperature(°C), RH : Relative Humidity(%), RD : Relative Humidity > 90%(hr).

^xLesion number of rice blast per plant on disease level (disease level : 0 to 5 ; Table 1).

고온도에 평균온도를 감하였을 때 5.2°C이상, 상대습도는 90.4%이상)을 주어 이를 모두 만족할 경우에만 값이 나. 타나도록 하였다. 발병 모형과 발병심각도의 적합도 검정 (χ^2)은 유의도 0.001로 발병 모형이 실제 발병심각도와 유사함을 나타내었다. 벼 생육기간에 걸친 기상요인들 중에서 도열병 발병에 가장 밀접한 관계가 있고, 가장 많은 연구의 대상이 되어온 기상 요인에는 평균온도, 상대습도, 잎습전지속시간 등이 있다. 하지만 이번 조사에서는 일 평균 최고온도, 평균온도, 상대습도, 상대습도 90%이상 시간이 도열병 발병에 가장 큰 요인으로 나타났다(Table 4. Fig. 6, 7).

벼 도열병 발병심각도와 각 기상요인들 간의 상관관계에서 모든 기상요인들이 높은 수준으로 나타났지만, 풍속은 기상요인들 간에만 상관관계를 나타내었다. 풍속은 시험포장이 산간 계곡에 위치하고 있어 다른 기상요인과는 달리 계곡의 영향으로 낮과 밤의 바람 방향이 반대가 되는 현상에 의한 것으로 생각된다. 도열병 발병 모의 실험시험포장의 위치가 산간 계곡에 위치함으로써 아침과 저녁시간대의 숲의 그림자에 의한 영향과 계곡의 기상 상태를 감안할 때 평야지 포장에서의 병발생 상태와 다르다. 그러므로 차후에 이 연구가 계속 진행된다면 조사지역에는 일차적으로 논 주변의 전염원과 분포 상태, 초기 전염시기와 정도 그리고 도열병의 진전과 확산 등의 조

사와 지역적으로 떨어진 포장에서의 도열병 발생 정도 등의 조사가 선행되어야 할 것이다. 단지 1년간의 자료로 작성된 통계모형은 그 신빙성에 문제가 있을 수 있다. 그러므로 지속적인 조사를 통한 발병 모형의 수정으로 완전한 발병 예찰 모형을 완성할 수 있을 것이다.

요 약

벼 도열병 발병 모의 실험 포장을 발병 상습지(안동대 실험포장; 산간 협곡 위치한 천수답)에 설정하여 벼 식물생육군락(일품벼 공시)의 실험 기상자료를 무인기상관측장치를 통해 수집, 가공하여 도열병 발병에 미치는 기상요인의 가변값을 추정, 분석하였다. 기상요소 측정은 시험포장에 무인기상관측장치를 설치하여 매시단위로 기온, 상대습도, 일사량, 강우량, 풍향, 풍속, 지온, 잎습전지속 시간 등을 측정하였다. 각 기상요인중 도열병 발병에 가장 많은 영향을 미친 것은 발병 전 10일간 평균최고기온으로 결정계수 0.95*을 나타냈으며, 도열병 발병에 영향을 가장 미치지 않은 요인은 풍속으로 결정계수 0.24^{ns}로 나타났다. 도열병 발병과 병 진전에 가장 높은 유의성을 보인 기상요인은 평균온도(T-ave), 최고온도(T-max), 상대습도(RH), 상대습도 90%이상인 누적시간(RD) 등이었으며, 이들을 이용한 통계적 모형은 아래와 같다.

$$Y = -3410.91 - 23.19 \times T\text{-ave} + 28.56 \times T\text{-max} + 41.0 \times RH - 3.75 \times RD$$

(R²=0.99*), T-ave>=19°C and T-max - T-ave>=5.2°C and RH%>=90.4%.

발병모형과 발병심각도의 적합도 검정(χ^2)은 유의도 0.001로 발병모형이 실제 발병심각도와 유사함을 나타내었다.

감사의 말씀

이 연구는 학술진흥재단 지방대육성사업 연구비로 수행되었다. 포장 실험 벼 재배 및 도열병 발병 조사와 벼 식물군락 미기상 자료 수집, 통계 분석 가공을 도와준 정성민, 박영철, 류무환 군에게 감사드린다.

참고문헌

- Berger, P. E. 1977. Application of epidemiological principle to achive plant disease control. *Ann. Rev. Phytopathol.* 15: 165-183.
- Bourke, P. A. 1970. Use of weather information in the prediction of plant epiphytotics. *Ann. Rev. Phytopathol.* 8: 345-370.
- Campbell C. L. and L. V. Madden. 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology.* John wiley & Sons. pp. 642.
- 최우정, 박은우, 이은중. 1988. LEAFBLST: 벼 잎도열병 발생에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 모델. *한국식물병리학회지* 4: 33-39.
- 한국수자원공사. 1996. 임하 및 주암다목적댐 건설에 따른 기상환경변화 조사. 최종보고서. 306pp.
- 황범석, 윤진일, 이광희. 1996. 시간별 기상자료를 이용한 감자 군락의 결로 상태 판별. *한국식물병리학회지* 12: 445-452.
- 권재운, 이순구. 1996. 농업기상관측을 위한 무인기상관측장치의 구조와 운영 방법. *안동대학교 농업과학기술연구소 논문집* 3: 117-148.
- 김규량. 1995. 군락 미기상 측정 결과를 이용한 벼 도열병 예찰 체계의 개발. *서울대학교 대학원 석사학위논문.* 100pp.
- Kim, C. H., MacKenzie, D. R. and Rush, M. C. 1987. A Model to forecast rice blast disease based on weather indexing. *Korean J. Plant Pathol.* 3: 210-216.
- Kim, C. K. 1987. Disease forecasting : past and future in special reference to rice leaf blast. *Korean J. Plant Pathol.* 3: 304-311.
- Kim, C. K. and Kim, C. H. 1993. The rice leaf blast simulation model EPIBLAST. In: *Systems Approaches for Agricultural Development.* ed. by F. W. T. Penning de Vries, et al. pp. 309-321. Kluwer.
- Kim, C. K. and Shizuo Mogi. 1985. Effect of temperature treatments on the penetration and disease development in the leaf epidermics by the rice blast fungus, *Pyricularia aryzae* Cavara II. Diference in percent penetration, hyphal growth and lesion formation by Pre- and postdisposing temperatures. *Korean J. Plant Pathol.* 1: 122-127.
- Kranz, J.(ed.) 1974. *Epidemics of Plant Diseases: Mathematical analysis and modeling.* Springer-Verlag.
- 이순구. 1996. 도열병의 발생요인. *안동대학교 농업과학기술연구소 연구논문집* 3: 91-116.
- Ou, S. H. 1984. *Rice Diseases(2nd ed).* CAB. 380 pp.
- 박은우, 김규량. 1994. 군락 미기상 실험 자료를 이용한 벼 도열병 예찰. *농업과학논문집* 36: 95-107.
- Pedgly, D. 1982. *Windborne Pests and Diseases: Meteorology of Airborne Organism.* Ellis Horwood.
- 라동수, 한성숙, 민홍식, 김장규, 류화영. 1997. 1997년도에 명명된 우리나라 육종벼 신품종 및 유망계통에 대한 연도 및 지역별 도열병 발생정도. *한국식물병리학회지* 13: 79-84.
- Teng, P. S., H. W. Klein-debbinck and H. Pinnschmidt. 1991. An analysis of the blast pathosystem to guide modeling and forecasting. In : *Rice Blast Modeling and Forecasting.* pp. 2-5. IRRI.
- 윤진일. 1999. 농업기상학. 아르케. 337 pp.
- 윤진일, 박은우, 김규량. 1993. 식물병예찰을 위한 무인기상관측장비의 활용. *한국식물병리학회 소식지* 4: 23-31.
- 윤진일, 황재문, 이순구. 1997. 임하 다목적댐 건설 후 주변지역 기후 및 작물생산력 변화. *한국작물학회지* 42: 579-596.