

농업기상관측 및 작물병 예찰용 통합 시스템 개발

김규람 · 박은우* · 양장석¹ · 김성기¹ · 홍순성¹ · 윤진일²
서울대학교 농생물학과, ¹경기도 농촌진흥원 식물환경과, ²경희대학교 농학과

Development of an Integrated System for Agricultural Meteorological Data Acquisition and Plant Disease Forecasting

Kyu Rang Kim, Eun Woo Park*, Jang Souck Yang¹, Sung Kee Kim¹,
Soon Sung Hong¹ and Jin Il Yun²

Department of Agricultural Biology, College of Agriculture and Life Sciences,
Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

¹Department of Plant and Environment, Kyonggi Provincial Rural
Development Administration, Hwasong 445-970, Korea

²Department of Agronomy, Kyung Hee University, Suwon 449-701, Korea

ABSTRACT : A system to integrate agricultural meteorological data acquisition and plant disease forecasting procedures was developed under the OS/2 operating system. The integrated system was divided into three procedures including the data retrieval procedure from an automated weather station (AWS) installed in the field, the disease forecasting procedure using the near real-time meteorological data from AWS, and the output procedure presenting text and graphic information on weather conditions and results of disease forecasting. The system was able to collect real-time weather data from various locations, and instantly produce site-specific disease forecasting information using the weather data. A simulation model for rice blast forecasting was used in this study as an example for weather-driven predictive models. The minimum requirements of datalogger of AWS that can be used in the integrated system for plant disease forecasting were also discussed. The system could be used to operate disease forecasting models for various crops depending on availability of models. Since AWS's have been installed at many agricultural extension offices in the country, the system could be implemented for practical use.

Key words : disease forecasting, automated weather station, rice blast.

기상 자료를 바탕으로 작물병 발생 시기 및 발병량을 예측하려는 노력은 이미 오래 전부터 수행되어 왔다(6). 이 연구들을 통하여 기온, 대기 습도, 식물체 표면의 습윤 시간 등이 조절된 상태에서 병원균의 식물체 침입율과 침입후 잠복기간, 2차 전염원 생성량 등을 정량화시킨 수학적 또는 통계적 모형들로 구성된 각종 작물병 예찰 모형이 개발되었다. 하지만 많은 병 예찰 모형이 논리적으로는 병발생 과정을 적절하게 모의하는 경우에도 실용화가 되지 못하고 있다. 이것은 예찰에 필수적으로 사용되는 기상 자료의 종류와 수집 및 활용 방법에 문제가 있으므로 지역 특이적이며 정확한 예찰 정보를 생산하기 어렵고, 실제 영농 활동에

활용될 수 있도록 예찰 정보를 신속히 영농 현장에 전달할 수 있는 체계가 확립되지 못하였기 때문이다.

무인기상관측기는 기능적으로 작물병 예찰 모형의 실용화에 있어서 정확한 예찰 정보 생산과 전달 체계의 확립에 효율적으로 활용될 수 있다. 무인기상관측기는 자료의 가공과 저장을 담당하는 자료기록기(datalogger)를 중심으로 몇 가지 기상 관측을 위한 수감부(sensor)들로 구성되어 있는데, 필요에 따라 수감부의 종류와 설치 위치 등이 달라질 수 있다(7). 황 등(7)은 식물병 예찰에 필요한 기상 요소를 측정하기 적합한 수감부의 종류와 성능을 파악하고, 기상관측의 신뢰성, 운영의 편리성, 그리고 관리 측면의 경제성 등을 고려한 적정 자료 수집 시스템을 구성한 바 있다. 한편 무인기상관측기에 의하여 관측된 근략 기상 변

*Corresponding author.

화에 대한 준실시간(near real-time) 자료를 이용하여 병발생 예찰을 시도한 작물병으로는 벼 도열병(10, 11), 사과 겹무늬썩음병(8), 포도 노균병(9) 등이 있다. 이와 같이 무인기상관측기의 농업적 효용성에 대한 인식이 점차 높아지자 최근 전국적으로도 농촌진흥원 또는 시군 농촌지도소 등에 소규모 지역 또는 작물 군락 기상 변화에 대한 농업 기상 자료를 수집하기 위하여 무인기상관측기들이 설치되고 있다. 하지만 수집된 기상 자료를 적극적으로 활용하는 방안이 전혀 확립되어 있지 않다. 본 연구에서는 황 등(7)이 제시한 식물병 예찰을 위한 국지 기상관측 체계를 이용하여 기상 자료를 수집함과 동시에 작물병 예찰 모형의 구동에 활용하여 지역 특이적인 작물 병 예찰 정보를 생산하는데 필요한 통합 운영 체계를 연구하였다.

자료 및 방법

무인기상관측기의 자료집록기 특성. 작물병 발생을 예찰하기 위해서는 기상대에서 관측하는 일반적인 기상 요소 이외에도 작물 군락 내부의 기온과 습도, 식물체 표면의 습윤 지속 시간과 같은 군락 내의 특이적인 기상 요소가 연속적으로 측정되어야 한다. 따라서 작물병 예찰용 무인기상관측기가 필요한 기상 요소를 측정하고, 병 예찰용 프로그램과 연동하여 원활히 작동될 수 있도록 필수적인 요건인 기상 요소, 관측 간격, 기억용량, 자료의 공유 가능성 등을 조사하였다.

현재 경기도 농촌진흥원과 각 시군 농촌지도소에

무인기상관측기가 다수 설치되어 있으므로 여기서 수집되고 있는 기상 자료를 도열병 예찰에 활용하기 위하여 무인기상관측기의 기술적인 특성과 문제점을 파악하였다. 경기도 내의 무인기상관측기가 설치된 시군 농촌지도소 중 비교적 운영 상태가 좋은 5개소(안성, 양평, 연천, 포천, 화성)를 방문하여 자료집록기와 기상 자료 획득용 소프트웨어의 운영 상태를 파악하고, 설치된 수감부의 종류와 자료 획득 방법을 조사하였다. 또한 각 시군 농촌지도소에 설치된 무인기상관측기가 미국 Solus사에서 제작한 자료집록기를 갖고 있었으므로, 동일한 자료집록기 1대와 PT-100형 온도 감지기 1대를 구입하여 실험실에서 기상 감지 및 자료 저장과 전송 능력 등의 기술적 특성을 조사하였다. 한편 각 시군 농촌지도소에서 무인기상관측기 운영을 위하여 사용하고 있는 소프트웨어에 대하여 운영 환경 및 작물병 예찰 모형과의 통합 운영 가능성을 검토하였다.

작물병 예찰용 통합 시스템 구축. 무인기상관측기를 이용한 농업기상관측 및 작물병 예찰용 통합 시스템을 크게 세 부분으로 구분하여, 첫째 병 예찰에 필요한 기상 자료의 관리 절차, 둘째 예찰 모형을 실행하는 절차, 셋째 기상 자료와 예찰 결과를 출력하는 절차로 설계하였다(Fig. 1). 통합 시스템은 방대한 양의 기상 자료를 효율적으로 관리하기 위하여 32비트 개인용 컴퓨터 운영 체제인 OS/2 ver. 2.0 이상을 운영 환경으로 정하였으며, 프로그램에 사용한 언어는 C였고, 컴파일러는 Borland C++ ver. 1.0(4)을 사용하였다.

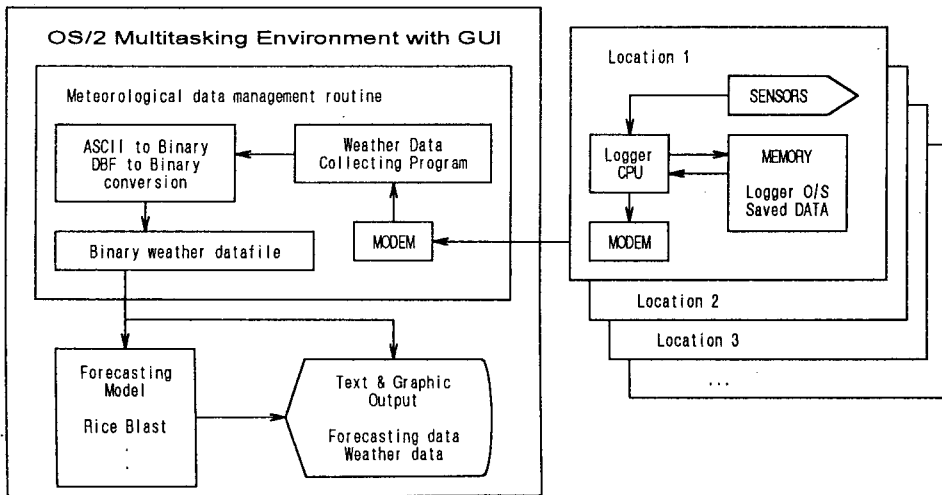


Fig. 1. Data flow chart of an integrated system for agricultural meteorological data acquisition and plant disease forecasting.

시스템 개발에 사용한 컴퓨터는 미국 Intel사의 80486DX2-50 CPU를 사용한 IBM 호환 컴퓨터로 주 기억용량은 16M bytes였으며 무인기상관측기와 통신을 위하여 2400BPS 모뎀(모델명 X-TAL 2442, (주) 콤팩시스템)을 연결하여 사용하였다.

작물병 예찰의 신속성을 향상시키기 위해서는 군락 기상 변화를 관측과 동시에 예찰 모형에 사용될 수 있는 적합한 자료 형식으로 전환시킬 필요가 있다. 통합 시스템의 기상 자료 관리 절차에서는 여러 지역에 설치된 자료집록기의 종류나 관측하는 기상 요소에 지배받지 않는 독립된 형식의 기상 자료 파일로 가공하여 저장하도록 하였다. 무인기상관측기에서 생성되는 기상 자료의 종류와 그 출력 순서는 연결되어 있는 수감부의 종류와 자료집록기 내부의 운영 프로그램에 따라 다양하다. 따라서 각 무인기상관측기가 생성하는 기상 자료의 종류와 순서를 미리 저장하고 사용자의 선택에 따라 무인기상관측기를 호출하여 기상 자료를 전송받은 후 통합 시스템에서 병 예찰에 사용하는 파일로 변환하도록 하였다. 자료집록기로부터 통합 시스템으로 기상 자료를 전송하는 것은 자료집록기에서 기본적으로 지원하는 자료 획득(data retrieval)용 소프트웨어를 이용하였다. 본 연구에서는 이미 타 연구자들(7)에 의해 검토된 바 있는 미국 Campbell Scientific사의 모델 CR10 자료집록기를 기본 모델로 하여 개발되었으며 다양한 종류의 자료집록기 및 각각의 자료획득용 운영 프로그램을 통합 시스템에 추가시킬 수 있도록 하였다. 통합 시스템의 파일 형식은 기상 자료의 크기가 1M bytes 정도로 순서적으로 읽어 들이기에는 비교적 양이 많았으므로 자료의 임의적인 접근이 가능하도록 float형 이진 파일 형식(binary file format)으로 저장하였다.

기상 자료 관리 절차에서 저장된 기상 자료가 이진 파일이고, 기상 요소에 대한 색인이 제공되므로 여러 종류의 작물병 예찰 모형들을 통합 시스템에 포함시켜 운영될 수 있다. 본 연구에서는 우선 도열병을 대상으로 기상관측과 작물병 예찰을 통합하여 운영할 수 있는 시스템을 구축하였다. 도열병 예찰 모형(10, 11)은 기존의 발표된 문헌 자료를 토대로 하여 포자의 비산, 부착, 침입, 잠복, 병반 확대, 병반면적율과 이병수율 등의 일련이 과정이 각각의 수학적 세부 모형으로 작성되었다. 세부 모형들은 기상 자료와 생물학적 자료를 독립 변수로 하고, 특성에 따라 시간 또는 일 단위로 계산되며, 최종적으로 도열병 병환에 따라 순차적으로 실행되도록 구성되었다.

통합 시스템의 예찰 결과와 기상자료를 출력하는

절차는 사용자가 쉽게 알아볼 수 있도록 글과 그림으로 출력하였다. 예찰 결과는 잎도열병의 병반면적율과 목도열병의 이병수율의 변화를 시간에 따라 그림으로 나타내었으며, 기상 자료는 군락내 온·습도 등의 변화를 범위를 지정하여 검색하도록 하였다. 그림 출력 부분은 Unix 계열 운영 체제에서 개발되어 과학 분야에서 널리 사용되는 gnuplot을 사용하였다. 이 프로그램은 숫자로 구성된 파일을 손쉽게 원하는 모양으로 화면과 프린터로 그림을 출력할 수 있으며 사용권에 제한이 없는 무료 프로그램이다. 예찰 결과에서 정해진 형식으로 자료를 저장하고 출력 절차에서 그림 출력 프로그램을 호출함으로써 화면 또는 프린터로 자료를 출력하도록 하였다.

결 과

무인기상관측기의 자료집록기 특성. 작물병 예찰에 필요한 기상 요소는 기온, 상대습도, 지온, 일사량, 풍향, 풍속, 강우, 식물체 습윤 지속시간 등이다. 풍속과 강우 수감부에서 생성되는 신호는 여담음(pulse) 출력이고, 이외의 기상요소를 측정하는 수감부(analog sensor)는 저항 값의 변화나 전압의 변화를 출력한다. 저항 값의 변화는 전압의 변화로 변환되기 때문에 자료집록기는 전압의 변화와 스위치의 여담음을 감지하는 두 종류의 입력을 받을 수 있어야 한다. 전압의 차이는 자료집록기의 analog to digital 변환기(A/D converter)에 의하여 수치화되므로 A/D 변환기의 성능(resolution)에 의해 기상 자료의 정밀도가 좌우된다. 예를 들어 측정범위를 -40°C 에서 60°C 까지로 하여 0.1°C 의 정밀도로 측정하기 위해서는 온도 범위인 100°C 를 1000단계로 나누어야 하는데 이를 2진수로 표현하면 약 $2^{10}(=1024)$ 이므로 10비트의 A/D 변환기가 필요하다.

한편 thermistor와 같은 non-linear analog sensor들은 출력전압이 기온 변화에 대하여 직선적이지 않으므로 다항식(polynomial equation)을 이용하여 보정을 해야 한다. 또 엽면습윤시간은 전압의 범위를 정해서 수감부의 출력전압이 이 범위 안에 들어 있는 비율을 계산하여 추정된다. 이와 같이 수감부로부터 출력된 값을 가공하기 위해서는 자료집록기를 프로그래밍 하여야 한다. 이 경우 자료집록기에서 각 수감부별로 제공하는 내부 함수를 직접 이용하거나 제공된 함수가 없을 경우에는 일반적인 함수를 이용하여 자료집록기를 프로그래밍 하여야 한다. 자료집록기의 프로그래밍 방법은 제작사에서 제공하는 자료집록기 프로그래밍용

소프트웨어 별로 다양한데, 자료집록기에서 제공하는 대부분의 함수가 하드웨어 의존적이므로 사용상 주의가 필요하다.

군락 기상 자료를 이용한 작물병 시뮬레이션 모형을 구동시키기 위해서는 그 모형에 적합한 시간 간격의 기상 자료가 필요하다. 작물병 시뮬레이션 모형은 병환의 각 단계를 충분히 설명할 수 있도록 구성되는데 포자의 발아-침입은 몇 분에서 수 시간에 걸쳐 일어나므로 기상 자료는 적어도 1시간 단위이어야 한다. 한편 하루의 최고, 최저값을 찾을 경우에는 1시간보다는 작은 단위인 1분~15분 정도의 간격으로 관측하여야 정확한 값을 알아낼 수 있다. 결국 관측된 자료를 가공하지 않고 그대로 저장하기 위해서는 자료집록기가 충분한 기억 용량을 갖추어야 한다. 예를 들어 8가지 기상 요소를 1분 간격으로 측정할 경우, 하루에 약 46K bytes(8 data/min × 1,440 min/day × 4 bytes/data) 만큼의 저장 공간이 필요한데 이는 일반적인 자료집록기의 기억 용량이 64K bytes인 점에 비추어 보아 너무 많은 분량이다. 따라서 작물병의 예찰에 활용되는 무인기상 관측기는 기상관측간격(sampling interval)을 1~15분 정도로 하고, 이 측정값으로부터 매시간이나 일별(output interval)로 평균, 최고, 최저값을 계산하여 가공된 자료를 저장하여야 한다. 10분 간격으로 8가지 기상 요소를 측정하여 매시간 및 일별 자료로 가공될 경우 64K bytes의 기억용량(final storage area)을 갖는 자료집록기에 약 70일 정도의 자료가 저장될 수 있다.

무인기상관측기의 자료는 관측 후 바로 호스트 컴퓨터로 전송되는 것을 원칙으로 하고 있으나 통신상의 장애 등을 고려하여 어느 시일 동안 내부의 기억장소에 보관할 필요가 있다(7). 문제 발생시 10일 후에 수리가 가능할 것을 예상할 때 필요한 최소한의 기억 용량은(8 data/h × 24 h/day + 14 data/day) × 4 bytes/data

× 10 days = 8,240 bytes이다. 물론 문제 해결까지 시일이 더 필요하거나 수감부의 수가 많아지고, 관측 시각 정보를 함께 저장하려고 한다면 필요한 저장공간은 그만큼 더 늘어날 것이다.

무인기상관측기는 일반적으로 납축전지를 보조 전력으로 사용한다. 일반적인 7 Ah용량의 12 V 납축전지를 사용하여 충전없이 10일간 자료집록을 유지하기 위해서는 시간당 평균 29.2 mAh의 전력량을 사용할 수 있다. 안전한 자료집록을 위해서는 자료집록기의 소비 전력과 보조 전원의 용량을 충분히 고려해야 한다. 또한 주전원과 보조전원이 모두 단절될 때에도 자료집록기의 내부 프로그램과 이미 관측하여 저장한 자료는 계속 자료집록기에 보관하여 주전원이 복구되는 즉시 기상관측과 자료 전송이 가능하여야 한다.

호스트 컴퓨터를 정하지 않고 여러 컴퓨터에서 동일 기상관측기의 자료를 전송받을 수 있는지의 여부는 전화선 모뎀 등의 연결 가능성뿐만 아니라 자료집록기에서 자료를 저장하는 방식에 달려 있다. 자료집록기의 기억공간(일반적으로 RAM)이 가득찼을 경우에 가장 오래된 자료를 지우면서 계속 자료를 저장하는 경우(ring memory)에는 기억공간을 일부를 지울 필요가 없고 단지 새로 자료를 받기 시작할 기억 공간상의 주소만 알고 있으면 된다. 따라서 자료집록기를 특정 컴퓨터에 전적으로 연결시켜 자료를 받을 필요가 없고, 누구든지 자신의 컴퓨터로 통신망을 통하여 자료집록기에 접속시켜 자료를 빠짐없이 전송받을 수 있다. 기억공간이 가득차게 되어 자료집록기가 더 이상의 자료를 저장하지 못하는 경우에는 개인용 컴퓨터 한 대를 전적으로 연결시켜 자료를 전송받은 후 즉시 자료집록기의 기억공간을 지워줘야만 기상 관측 자료가 계속해서 집록될 수 있다. 결국 이 경우에는 자료집록기에 접속된 전용 컴퓨터 이외의 컴퓨터를

Table 1. Minimum requirements of datalogger specifications for automation of weather data acquisition to forecast plant diseases

Item	Specification
Analog sensor input channels	More than 7
Non linear analog sensor	Usable with polynomial regression equation
A/D converter resolution	Better than 2^{10} (1024 steps)
Pulse input channels	More than 2
Sampling interval	1 to 15 min
Output interval	Hour and day
Final storage area	Ring memory of more than 64K bytes
Communication interface	RS-232
Power durability	Longer than 10 days without recharge
Power failure protection	Storage of program and data in non-volatile memory

접속시켜 자료를 전송받는 것이 불가능하다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 작물병 예찰용 무인기상관측기가 갖추어야 하는 특성은 Table 1과 같다.

현재 경기도를 비롯한 도 농촌진흥원과 시군 농촌지도소에 설치된 무인기상관측기는 거의 대부분 Solus사(Oregon, USA)와 Campbell Scientific사(Utah, USA)에서 제작된 자료집록기를 사용하고 있었다. 무인기상관측기는 각 지도소의 기상관측소 백엽상 인근에 설치되었고 관측기에서 관측한 자료는 계속적으로 전용 컴퓨터에 의해 관리되고 있었다. 관측된 자료가 백엽상에서 관측한 값과 큰 차이를 보이는 경우에는 백엽상 자료나 인근 측후소의 기상값을 이용하여 보정하고 있었다. 이렇게 수집된 실시간 기상 자료는 장마철의 강우량 감시나 기온의 평년값과의 차이를 손쉽게 알아보는 정도로 활용되고 있었으며 기상 자료를 이용한 체계적인 식물병 관리는 이루어지지 못하고 있었다.

Solus사의 자료집록용 프로그램(1)과 국내에서 작성된 프로그램(5)은 무인기상 관측기의 각종 수감부의 종류를 설정하고 현재의 기상값을 보여주며 저장한 기상자료를 컴퓨터로 전송하는 역할을 수행한다. Solus 자료집록기의 자료 저장 방식은 기억 공간이 가득찰 때까지만 자료집록을 하는 방법을 택하고 있으므로 자료 전송후에 자료집록기에 저장된 자료를 소거하여야 지속적인 자료집록이 가능하다. 자료의 소거는 Solus 프로그램은 수동적으로, 국내 프로그램은 자동적으로 이 작업을 수행한다. 컴퓨터로 전송하는 기상 자료의 형식은 Solus 프로그램은 일반 텍스트파일(ASCII file)과 이진 파일(binary file)이고, 국내 프로그램은 데이터베이스 파일(DBF file)과 일반 텍스트 파일이었다. Solus 프로그램은 전송받은 날짜마다 새로운 파일로 저장하고, 전송 후 전송받은 자료를 소거하지 않은 경우에는 기상 자료가 겹치기 때문에 작물병 예찰에 필요한 연속적인 기상 자료로 변환하기 위하여 많은 노력이 필요하다. 반면에 국내에서 작성된 프로그램에서 저장하는 방식인 데이터베이스 파일은 자료의 임의 접근(random access)이 가능하고 자료의 겹침이 없었다. 각 프로그램의 운영체제에 대한 호환성을 조사해 본 결과 Solus 프로그램은 영문 및 한글 DOS, OS/2 상에서 수행되며, 국내 프로그램은 비정상적인 직렬 포트로의 접근을 시도함으로써 OS/2 상에서는 작동이 불가능하였고 한글 DOS에서만 작동되었다. 한편 Campbell Scientific사의 CR10 등을 위한 자료집록용 소프트웨어인 Graphterm(2)은 통합 시스템의 운영체제에서 별 무리없이 작동시킬 수 있었다.

Solus 자료집록기와 컴퓨터와의 통신은 주로 RS-232 등의 직렬 포트를 직접 연결하여 이루어지며, 별도로 자료집록기의 RS-232 포트에 모뎀을 연결함으로써 전화선을 통한 접속이 가능하도록 되어 있다. 모뎀을 통하여 기상 자료를 전송받을 경우에도 Solus 자료집록기의 자료 저장 방식의 한계 때문에 하나의 자료집록기를 관리하는 호스트 컴퓨터는 단 한대만이 존재하여야 하며 여러 대의 컴퓨터를 연결하여 자료를 전송받는 것은 불가능하였다.

무인기상관측기에 연결한 기상센서를 설정하는 것은 수감부에서 출력되는 전압이 기상값에 따라 직선적으로 변화하는 경우에는 측정범위 양 끝단에서의 전압을 입력하는 것으로 충분하다. 하지만 비직선적인 수감부를 설정하는 일은 자료집록기 내부 함수를 이용하여 프로그래밍 하여야 하는데 Solus사의 자료집록 프로그램에 내장된 PBS라는 메뉴식 프로그래밍 환경을 이용하여 어느 정도 전문적인 프로그램 기법을 익히면 사용할 수 있다. 강우량계나 풍속계와 같이 출력값이 전압의 변화가 아니고 스위치 여닫음 신호(pulse signal)인 경우에는 자료집록기 내에 이것을 담당하는 절차가 마련되어 있으므로 별 문제가 없었다.

기상 자료 관리 절차. 농업기상관측과 작물병 예찰용 통합 시스템의 첫단계인 기상 자료 관리 절차는 영농 현장에 설치된 무인기상관측기의 자료집록기로부터 통합 시스템이 설치된 개인용 컴퓨터에 기상 자료를 전송하여 작물병 예찰 모형을 구동시키기에 적합한 형태의 자료 파일로 변형시키는 과정이다. 이 과정에서 가공된 기상 자료는 사용자가 이해하기 편리하도록 글 또는 그림으로 요약되어 출력된다. Fig. 2는 기상 자료 관리 절차를 도식화한 것이다.

기상 자료 관리 절차는 무인기상관측기 접속에 필요한 전화번호와 자료 전송 시작 위치 등이 기록된 파일을 선택하는 것으로 시작된다. 무인기상관측기에 접속하는 프로그램(통신 프로그램)은 자료집록기의 종류에 따라 여러 종류가 있고 자료집록기에 따라 통신 방법이 다르기 때문에 각 자료집록기의 전용 통신 프로그램을 사용하였다. 이 통신 프로그램이 갖추어야 할 조건은 다음과 같다. 첫째, 운영 환경은 DOS, Windows, OS/2의 표준 프로그램 인터페이스(API: application program interface)를 이용하여 본 시스템의 운영 환경인 OS/2에서 원활히 작동한다. 둘째, 일반적인 모뎀 등의 통신을 위한 주변기기를 이용하여 각 무인기상관측기의 자료를 전송받을 수 있다. 셋째, 여러 지역에 위치한 각 무인기상관측기에 대한 접속방법 및 자료집록기로부터 자료를 전송받은 마지막 위치를

기억함으로써 기상 자료의 겹침이나 손실이 없다.

모뎀과 공중 전화를 통하여 무인기상관측기에 접속하여 기상 자료를 전송받은 다음 최초 접속일 경우에는 기상 자료의 색인을 만들고 자료의 범위 등을 기록한 후 기상자료를 이진 파일로 변환하여 예찰 모형에서 사용할 수 있게 하였다(Fig. 2). 기상 자료의 색인은 전송받은 자료를 검색하여 시간별, 일별 자료로 나누고 각 칼럼별 내용(일시, 기온, 일사량 등)을 선택하여 기록하도록 하였다. 기상 자료의 이진 파일은 한 숫자에 4 bytes가 소요되는 부동소수점(float)형으로 시간별, 일별 자료를 나누어 저장하였다.

예찰 모형의 구동절차. 본 시스템의 기상 관리 절차에서 제공하는 표준화된 시간별 또는 일별 기온, 상대 습도, 강우, 엽면 습윤, 일사, 지온 등을 이용하여 예찰 모형을 쉽게 프로그램화할 수 있었다. 즉, 예찰 모형에서는 단지 필요로 하는 기상 자료의 종류(시간

별 또는 일별)와 기상요소(기온, 상대 습도 등)를 지정하면 기상 자료 관리 절차에서 기록한 기상 자료 색인을 이용하여 내부 배열을 쓰는 것과 같은 방식으로 기상 요소를 읽어 들일 수 있다. 예찰 모형에서 생물학적 자료 등의 기타 입력 자료를 필요로 하는 경우에는 사용자로부터 입력을 받은 대화상자를 작성하여 입력을 받은 후 예찰 모형을 구동하였다.

본 시스템에 포함시킨 도열병 예찰 모형은 군락 기상 자료를 이용하여 도열병의 병환을 시뮬레이션 하는 모형으로 일도열병 병반면적율과 목도열병 이병수율의 증가를 일단위로 계산해 낸다(10, 11). 예찰 모형에서 필요로 하는 기상 자료는 시간별 기온, 상대 습도, 강우, 엽면 습윤, 일사 등이었고, 생물학적 입력 자료로서 매일의 비산 분생포자수를 사용하였다. 병환의 각 단계를 수식화한 세부 모형들은 공통 변수를 통하여 정보를 주고받는다. Fig. 3의 대화상자에서는 모형에서 사용되는 생물학적 자료를 입력받는다. 도열병 예찰 모형에서 직접적으로 사용되는 매일의 비산 분생포자수와 생육모형에서 사용되는 이앙일, 출수일(생략 가능), 시비량, 재식밀도 등이 현재 실제로 입력되어 사용되는 값들이며 앞으로 품종 특이적인 모형이 만들어지면 손쉽게 통합 시스템에 포함시킬 수 있도록 품종 선택 메뉴를 포함하였다.

예찰 결과의 출력 절차. 예찰 모형에서 글로 요약하여 디스크에 저장한 출력 결과는 출력 절차에서 읽어들이 대화상자를 통하여 보여주게 된다. 도열병 예찰 모형에서는 최초 감염일 및 발병일, 최종 일도열병

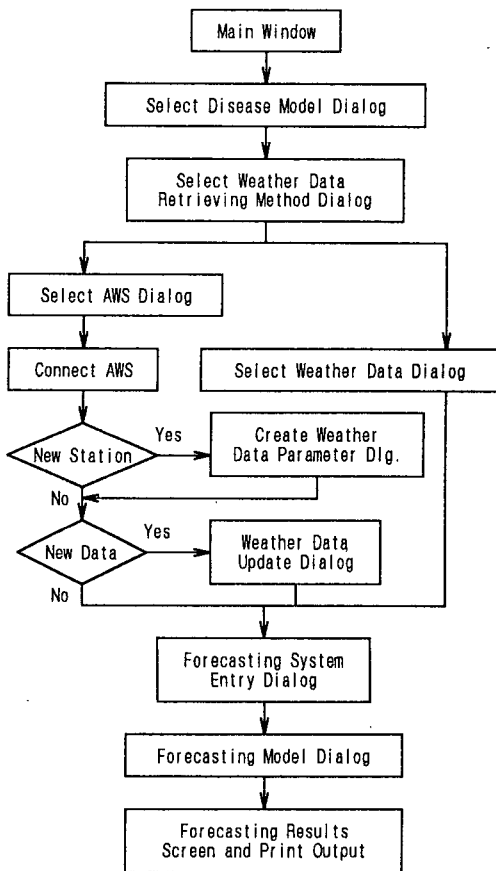


Fig. 2. Schematic flow chart of meteorological data acquisition routine.

Rice Blast Entry Dialog

Transplanting Date: 1994 / 5 / 16 Cultivar: Hwa-Sung OK

Heading Date: 1994 / 8 / 7 Nitrogen: 16.5 Kg/10a Cancel

Harvest Date: 1994 / 10 / 12 Density: 19 Plants/Square meter Help

Enter observed No of conidia from rotor type spore trap.

6/1	0	6/21	0	7/11	45	7/31	8	8/29	14	9/9	6
6/2	0	6/22	0	7/12	58	8/1	4	8/21	16	9/10	1
6/3	0	6/23	0	7/13	72	8/2	134	8/22	11	9/11	0
6/4	0	6/24	0	7/14	3	8/3	43	8/23	6	9/12	0
6/5	0	6/25	0	7/15	71	8/4	87	8/24	10	9/13	0
6/6	0	6/26	0	7/16	110	8/5	43	8/25	4	9/14	0
6/7	0	6/27	0	7/17	70	8/6	40	8/26	17	9/15	0
6/8	0	6/28	6	7/18	79	8/7	21	8/27	32	9/16	0
6/9	0	6/29	1	7/19	20	8/8	17	8/28	10	9/17	0
6/10	0	6/30	2	7/20	73	8/9	24	8/29	4	9/18	0
6/11	0	7/1	0	7/21	76	8/10	2	8/30	10	9/19	0
6/12	0	7/2	0	7/22	48	8/11	11	8/31	2	9/20	0
6/13	0	7/3	5	7/23	43	8/12	37	9/1	25	9/21	0
6/14	0	7/4	7	7/24	24	8/13	51	9/2	5	9/22	0
6/15	0	7/5	0	7/25	27	8/14	12	9/3	22	9/23	0
6/16	0	7/6	8	7/26	37	8/15	19	9/4	6	9/24	0
6/17	0	7/7	24	7/27	7	8/16	18	9/5	1	9/25	0
6/18	0	7/8	16	7/28	16	8/17	29	9/6	23	9/26	0
6/19	0	7/9	104	7/29	5	8/18	6	9/7	6	9/27	0
6/20	0	7/10	72	7/30	4	8/19	12	9/8	2	9/28	0

Fig. 3. Screen of rice blast entry dialog: input the auxiliary biological data other than meteorological data which were manipulated in the data retrieval procedure.

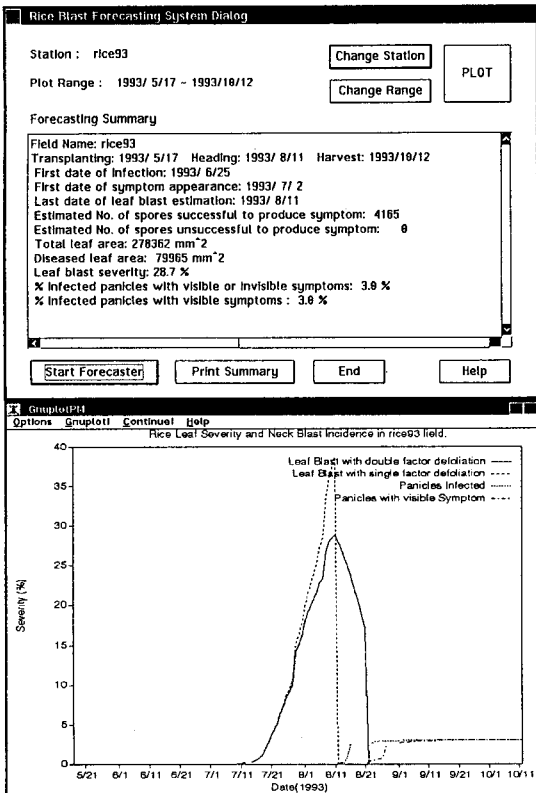


Fig. 4. Screens of a sample output of the rice blast model: text (upper) and graphic (lower) output.

병반면적율과 목도열병 이병수율 및 감염 포자수, 기타 출수일 등의 벼 생육 자료를 출력하였다. 그림 출력은 일단 매 시간의 결과를 파일에 수치로 기록한 후 gnuplot을 실행시켜 이 파일을 읽어 들이고 화면에 보여주도록 하였다. Gnuplot은 예찰 모형에서 파일로 출력한 숫자를 읽어 들어서 시간에 따라 병반면적율의 증가, 기상 자료 등을 출력하는데, 몇 가지 예약어를 사용하여 수치로 출력한 파일을 사용자에게 그림으로 보여줄 수 있다. 그림으로 출력한 것으로는 시간에 따른 잎(목)도열병 병진전곡선, 감염 위험 시간수, 일별 관측 및 시간별 추정 포자수, 시간별 및 일 평균 기온, 일별 강우량, 엽면 수분 존재 시간 등이었다(Fig. 4).

고 찰

본 작물병 예찰용 통합 시스템은 시스템의 개발 환경인 OS/2에서 자료집록기 접속 프로그램이 원활히 작동되어야 한다. Solus 프로그램(1)은 실행은 잘 되었

지만 자료를 저장하는 형식이 부적합하였고, 국내에서 작성한 프로그램(5)은 프로그램 자체의 문제로 인하여 실행이 되지 않았다. 이에 따라 Solus 무인기상 관측기를 통합 시스템에서 전화 모뎀을 통하여 직접적으로 사용하기에는 문제가 있다고 판단된다.

현재 국내외에서 상용화된 무인기상관측기는 Solus와 CR10 이외에도 AgroExpert(Adcon Telemetry, Inc., California, USA), DACOM(Dacom Automatisering b.v.), DIDCOT(Didcot Instrument Company, Oxford, GB), EnviroCaster(Neogen Corp., Michigan, USA), METOS(Gottfried Pessl, Schlachthausgasse, Weiz-Austria) 등 여러 종류가 있다. 각 무인기상관측기는 일반적인 수감부를 부착하여 군락 기상을 관측할 수 있으며 자료집록기의 종류에 따라 일반적인 기상 관측 및 자료 전송만을 수행하거나 식물병 예찰 등의 부가적인 작업을 같이 수행하는 것도 있다. 자료집록만을 담당하는 무인기상관측기 역시 개인용 컴퓨터를 이용하여 기상 자료를 전송받은 후 기상 자료를 정리하고 식물병 예찰 모형을 실행하여 보여주는 프로그램을 별도로 구비하고 있다. 자료집록기 내에 식물병 예찰용 프로그램이 내장된 경우에는 대부분의 경우 내부의 기억소자(ROM)에 기억되어 있으므로 예찰 프로그램의 개선이 어렵고 외국에서 개발된 예찰 프로그램은 국내 실정에 적합하지 검증할 필요가 있다.

본 시스템의 사용자 인터페이스는 OS/2의 표준 사용자 인터페이스(3)를 이용하여 작성되었으며 최초 개발 환경인 영문 OS/2에서 제공하는 메뉴 체계, 대화상자 등을 이용하였으므로 아직 한글화가 되어 있지는 않다. 하지만 현재 보급된 한글 OS/2 상에서 각 메뉴를 한글화한 후 재 컴파일을 함으로써 메뉴 체계를 한글화할 수 있다. 출력 절차에서는 파일로 저장된 결과를 보여주므로 앞 단계인 예찰 모형의 구동 절차에서 한글로 저장하는 것만으로 한글화할 수 있다.

통합 시스템의 개발에 따라 표준화된 기상 자료를 제공하는 기상 자료 관리 절차와 일관성 있는 출력을 제공하는 예찰 결과 출력 절차를 통하여 식물병 예찰 모형의 구현을 용이하게 하였다. 이로써 실험 또는 문헌 자료를 이용한 시뮬레이션 모형의 구현 과정에서 가장 까다로운 부분인 입출력 부분을 공통적으로 사용할 수 있게 되었으며 실용적인 작물병 예찰 시스템의 개발 및 유지 보수에 필요한 노력을 상당히 경감하였다. 즉, 본 통합 시스템에 예시된 도열병 예찰 모형 이외에도 군락 기상 자료를 바탕으로한 다른 작물병 예찰 모형의 구현 및 검증을 크게 도와줄 수 있게 되었다. 또한 여러 지역에 설치한 무인기상관측기를 이

용함으로써 다지점의 예찰 결과를 한 곳에서 비교할 수 있는 기본적인 통합 체계를 구축하였다.

앞으로 통합 운영 시스템이 갖추어야 할 주요 기능은 전국적인 예찰망을 구축하였을 때 사용자인 농민이 쉽게 예찰 자료에 접근할 수 있도록 도와주는 통신망을 통한 서비스 제공 부분과 해충-작물관리 또는 국지 미기상 예측을 위한 다른 시스템과의 연계일 것이다. 개방적으로 구축된 각 시스템의 연계와 필요한 사람이면 누구라도 사용할 수 있는 예찰 정보 및 각지의 국지 기상 자료를 통하여 식물병 예찰의 효과를 극대화 할 수 있을 것이다.

요 약

농업 기상 자료의 수집 및 식물병 예찰 절차를 통합한 시스템을 32비트 개인용 컴퓨터 운영 체제인 OS/2에서 개발하였다. 통합 시스템은 무인기상관측기(AWS)로부터 자료 수집을 하는 절차, 준실시간 기상 자료로부터 병예찰을 하는 절차, 기상 정보와 병예찰 정보를 글과 그림으로 출력하는 절차의 세 부분으로 나뉘어 있다. 통합 시스템은 여러 지역의 실시간 기상 자료를 수집하며 기상 자료를 이용하여 각 지역의 병예찰 정보를 즉시 생성한다. 본 연구에서는 기상 자료를 이용한 병예찰 모형의 예로서 도열병 예찰 시뮬레이션 모형을 사용하였다. 또한 식물병 예찰을 위하여 무인기상관측기가 갖추어야 하는 최소한의 요구 사항을 검토하였다. 본 시스템은 각종 식물병 예찰 모형의 개발과 관련하여 각 모형의 구동을 위하여 쓰여질 수 있을 것이다. 현재 각 농촌진흥원과 지도소에는 많은 수의 무인기상관측기가 설치되어 있으므로 이를 이용하여 본 시스템을 실용화할 수 있을 것이다.

감사의 말씀

이 논문은 1994년도 교육부 학술연구조성비(지역개발연구)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. Anonymous. 1991. *Solus User's Manual*. Solus Systems, Inc.
2. Anonymous. 1992. *Graphterm*. Campbell Scientific, Inc., 11pp.
3. Anonymous. 1992. *OS/2 2.0 Technical Library Programming Guide* Vol. 2, IBM Corp.
4. Anonymous. 1993. *Borland C++ for OS/2 Programmer's Guide*. Borland Int'l. 310pp.
5. Anonymous. 1993. 자동기상관측 프로그램 운영설명서. 협진정보통신주식회사.
6. Campbell, C. L. and Madden, L. V. 1990. Forecasting plant disease. In: *Introduction to Plant Disease Epidemiology*, pp. 423-452. John Wiley & Sons, Inc.
7. 황규홍, 윤진일, 박은우. 1994. 식물병 예찰을 위한 국지기상관측의 자동화. *한국기상학회지* 30 : 631-638.
8. Kim, K. W., Park, E. W. and Kim, S. B. 1995. Evaluation of a forecasting system for scheduling fungicide sprays to control apple infection by *Botryosphaeria dothidea*. (Abstr.). *Korean J. Plant Pathol.* 11 : 183-184.
9. Park, E. W., Seem, R. C. Pearson, R. C. and Gadoury, D. M. 1984. DMCAS: A forecasting model for grape downy mildew development. In: *Proc. 1st Int. Workshop on Grapevine Downy Mildew Modeling*, ed. by D. M. Gadoury and R. C. Seem, pp. 96-102. N. Y. Agric. Exp. Stn. Special Repr. 68.
10. 박은우, 김규량. 1994. 군락 미기상 실험 자료를 이용한 벼 도열병 예찰. *농업논문집(93 농업 산학 협동)* 36 : 95-107.
11. Park, E. W. and Kim, K. R. 1995. Rice blast forecasting system based on near real-time microclimatic data. (Abstr.). *Phytopathology* 85 : 1172.