

## 가로주행식 케미게이션 시스템의 개발

### Development of a Linear Chemigation System

구영모                      배영환                      박금주                      정상욱  
정회원                      정회원                      청회원  
Y. M. Koo                  Y. H. Bae                  K. J. Park                  S. O. Chung

#### SUMMARY

A linear chemigation system, integrating agrichemical application units of pesticide and fertilizer into an irrigation system, was selected as a suitable model for the cost savings in farm management and automation.

Technical designs were conducted in the areas of structure, power, drive, control, and hydraulic systems. An experimental farm was sectioned into the fields of 40 m by 200 m and systemized with the linear-move chemigation system of 36 m in span. The chemigation system consisted of a base unit monitoring and controlling overall operation, and a driving unit traveling linearly and injecting agrichemicals. Monitoring and interlocking systems were utilized against unexpected malfunctions of power, injection and drive systems using radio frequency modems between the units. The system can be also modified to various farm sizes and stationary systems of indoor and outdoor.

**Keywords :** Chemigation, Farm automation, Integrated system, RF modem, Linear driving unit.

#### 1. 서      론

우리나라의 농가에서는 평균적으로 전체 노동시간의 47%를 전작의 경종작업에 투하하고 있으며, 그 중 40% 이상을 방제, 관개 및 시비 작업에 할애하고 있는 실정이며, 작목에 따라서 이들 작업이 연간 10~20회 이상에 달하고 있다(농촌진흥청, 1998). 전작영농에서 방제, 관개 및 시비 작업에 투하되고 있는 과도한 노동력은 생산비를 증가시키는 요인으로 작용하며, 특히 방제작업 등의

노임이 상승함에 따라 생력화된 작업체계의 필요성이 더욱 대두되고 있다. 관개, 시비 및 방제 작업을 하나의 통합된 시설을 이용하여 실행함으로써 보다 효율적인 관개 및 방제가 가능해지며, 이를 통하여 전작 생산물의 경쟁력을 제고하고 안정적인 생산을 보장할 수 있는 것으로 평가되고 있다(Jenson, 1983).

케미게이션(chemigation)은 관개시설에 방제 및 시비장치를 부가하여 통합 운영함으로써 생산경비를 절감하고, 생산관리 및 작업자와 환경보전 측면

This study was conducted by the research fund supported by Ministry of Agriculture and Forestry. This article was submitted for publication in March 2001, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in April, 2001. The authors are Young Mo Koo, Associate Professor, Agricultural Machinery Engineering Dept., Kyungpook National University, Taegu, Korea, Yeung Hwan Bae, Professor, Keum Joo Park, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Suncheon National University, Suncheon, Korea, and Sang Ok Chung, Professor, Dept of Agricultural Engineering, Kyungpook National University, Taegu, Korea.

The corresponding author is Y.M. Koo, Associate Professor, Agricultural Machinery Engineering Dept., Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea. Fax: +82-53-950-6780. E-mail: <ymkoo@knu.ac.kr>.

면에서의 이득을 얻고자 고안된 농장 생산관리 체계로서, 현재 미국과 유럽을 중심으로 활발히 연구되고 있으며, 또한 실제로 농가 현장에서 다양한 작물에 적용되고 있는 기술이다(Ge et al., 1994). 최근에는 PASS(pivot irrigation attached sprayer system), 마이크로 관개방제법 및 Seed-gation(관개장비를 이용한 파종) 등 새로운 기술이 개발되어 실용 단계에 이르고 있다(Sumner et al., 2000).

그러나 많은 연구 결과에도 불구하고 아직도 관개, 방제 및 시비 작업이 통합된 시스템의 설계와 운영에 있어서 효율을 제고할 수 있는 여러 요인이 존재하고 있으며, 이에 대한 연구개발이 요구된다(Koo et al., 1993). 미래의 농업에 걸맞게 자동제어의 개념을 접목시켜 관개 및 배수시기의 결정, 처방시비, 선택방제 등의 운영기술과 케미게이션 방식에 따른 구동장치 및 유체기계의 제어기술이 개발되어야 하며, 액비, 유·수화제 등 제형의 개발과 염면시비, 점적관개 등 적절한 방제 적용 기술의 개발이 뒤따라야 할 것이다(Koo et al., 1992, 1996a). 우리나라에서도 최근 일부 과수원을 중심으로 포장에 배관을 고정 설치하는 정치식 무인방제기가 개발·보급되어 관수와 방제 작업에 이용되고 있다. 이러한 정치식 시스템의 경우에는 장치와 시설의 설치가 비교적 용이하나, 포장 면적에 비례하여 설치비가 증가하므로 대단위 포장에는 적용이 곤란하다(구영모, 1998).

본 연구에서는 케미게이션 시스템 모델의 개발, 계측기지부와 가로주행부의 구성, 무선 모델을 이용한 장치간의 자료 전송 방법 및 시스템의 안전 운영을 위한 연동회로의 구성에 대하여 논하였다.

## 2. 케미게이션 시스템의 구성

### 가. 모델의 개발

케미게이션 시스템은 대상 작물에 따라 노출의 배치 등 세부적인 설계 제원이 결정된다. 본 연구에서는 농약살포 및 관수 작업에 많은 노동력이 요구되는 전작물로서 재배형태가 서로 다른 사과와 고추를 대상으로 시스템을 개발하였다. 케미게이션 시스템의 적정 모델을 선정하기 위하여 정치식(stationary), 회전식(center pivot) 및 가로주행식(linear move) 시스템에 대하여 다음 사항을 비교하였다(Koo et al., 1998): ① 포장형태 및 지형조

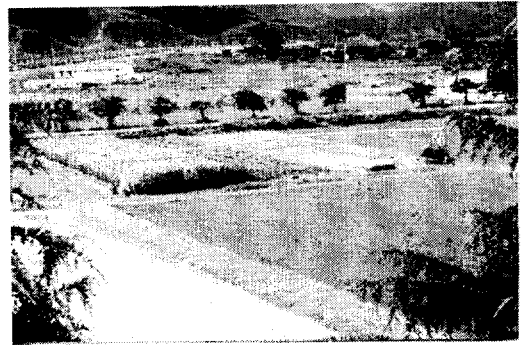


Fig. 1. Driving unit of the chemigation system air-viewed from the base unit.

건, ② 관개, 방제, 시비방법 및 대상, ③ 노출의 종류, 사용압력 및 분무입자, ④ 작물 및 재배형태, ⑤ 제어 및 계측장치, ⑥ 주요장치, 시설, 규모 및 배치, ⑦ 주입장치 및 여액처리 등의 기타 부가장치.

검토 결과 회전식은 재배 체계의 변화를 요구하며, 포장의 모서리에 20%에 달하는 미경작 면적이 발생하므로 우리나라에서는 근간 실용화되기 어려울 것으로 판단되었다. 따라서 경제적 분석은 회전식을 제외한 정치식과 가로주행식에 대한 제작비, 운영비 등을 관행방법과 비교하여 적정 재배면적, 시설규모, 생산비용 등을 분석하였다(Koo et al., 1998). 경사도가 10% 이상인 포장의 경우에는 기술적 판단이 경제성 분석을 우선하여 정치식이 보다 유리하다. 정치식은 0.5 ha 이하의 소규모 농장에서는 가로주행식에 비하여 제작비와 이용비용 측면에서 유리한 것으로 분석한 반면, 0.5 ha 이상의 대단위 농장에서는 면적에 비례하여 시설비가 증가하므로 가로주행식보다 불리한 것으로 평가되었다. 가로주행식은 규모의 증가에 따라 단위면적당 제작비와 이용비용이 감소하였으며, 포장의 형태에 따라서는 장단비가 큰 포장의 경우에 더 경제적인 것으로 나타났다. 관행방법인 고압분무기는 다른 모든 방법보다 단위면적당 설치비용은 낮은 것으로 나타났으나, 규모가 커질수록 이용비용은 가로주행식에 접근하였다. 과수원에서 사용하는 관행방법인 공기방사식 방제법은 포장 규모가 증가함에 따라 가로주행식보다 불리해졌다.

본 연구에서 선택한 가로주행식 시스템은 사각형 포장의 단변 방향으로 배관과 동력선을 작물

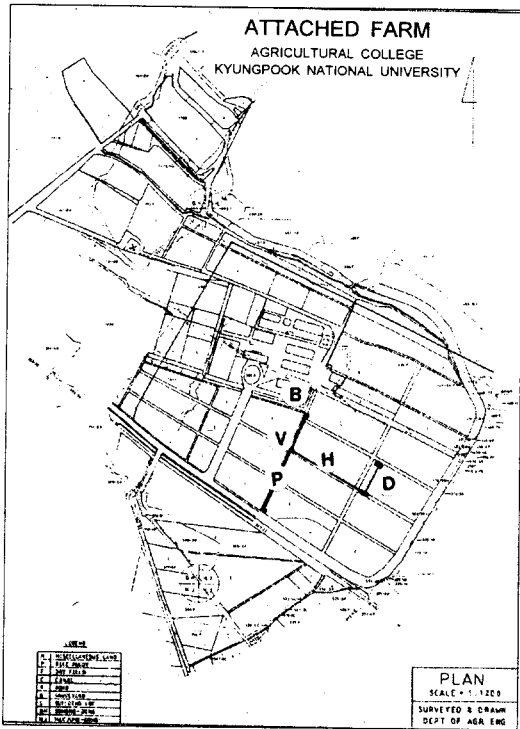


Fig. 2 Farm layout for the chemigation system.

위로 高架式으로 설치하고, 장변을 따라 진행하며 관개, 방제 및 시비작업을 하는 방식으로 경사도가 10% 이하인 완만한 구릉지에 적용할 수 있다 (그림 1). 배관 및 동력 전달을 위한 유압선은 고가 트러스에 의해 지지되며, 구동부는 지거의 폭에 해당하는 36 m 간격으로 설치하였다. 방제의 경우 작물의 특징에 따라 노즐의 배치와 높이를 조정함으로써 근접살포를 통하여 약제의 피복율을 높일 수 있도록 하였다.

### 나. 시스템의 구성

#### (1) 농장 구성

경북대학교 부속농장에 설치된 가로주행식 케미게이션 시스템의 배치와 구성도를 그림 2에 나타내었다. 케미게이션 시스템은 계측기지부(base unit, B)와 가로주행부(driving unit, D)로 구성되었으며, 시험 포장의 단변은 주행로의 여유를 포함하여 40 m로 하였으며, 장변은 200 m로 하였다. 가로주행부는 자주식으로 자체의 동력에 의하여 이동하며 주펌프(P)로부터 耕區밸브(V)를 통하여

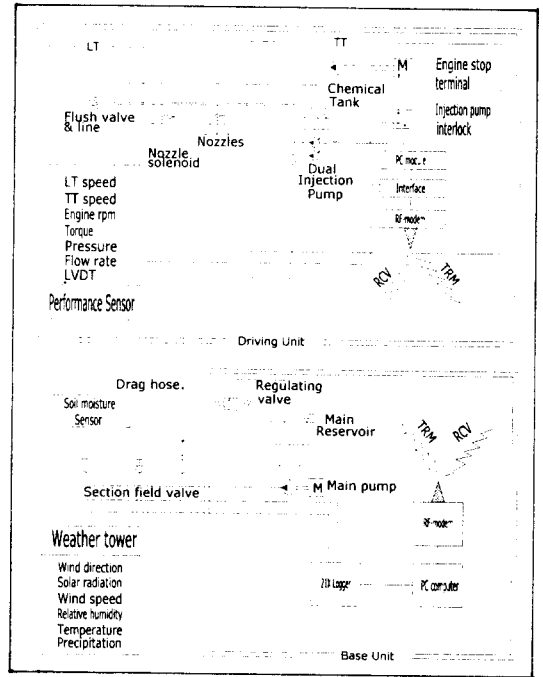


Fig. 3 Schematic of the chemigation system.

관수 호스(H)를 견인하도록 하였다.

그림 3의 시스템 구성도에서 보는 바와 같이 계측기지부는 고정된 장소에 위치하여 기상관측장치로부터 자료를 획득하고 제어 논리에 따라 케미게이션 시스템을 운영하는 기능을 수행한다. 또한 토양의 수분상태를 관측하기 위하여 토양수분 센서를 포장에 일정한 깊이로 매설하였으며, 그 신호를 계측기지부에 전송하였다. 또한 계측기지부는 운영자가 시스템을 관장하는 곳으로서 인근에 관정(혹은 급수원)과 주 펌프가 위치할 수 있다. 한편 가로주행부는 자주식으로 이동하며 계획된 작업을 수행할 수 있도록 동력원인 엔진과 구동부가 장치되고, 약제 주입장치를 탑재하여 시비와 방제가 이루어 질 수 있도록 하였으며, 구동부, 동력부 및 주입부가 비정상적으로 작동할 경우 주행과 약제주입을 중지시키기 위한 연동장치(interlock)가 부가되었다. 작업 중 주행부가 이동하기 때문에 가로주행부와 계측기지부에 각각 FM 무선 송수신장치를 두어 작업상태에 대한 정보와 연동 신호를 공유 할 수 있도록 하였다.

포장의 耕區에는 관정에 설치된 펌프로부터 가로주행부까지 관개용수를 공급하는 전용 호스를

연결하였고, 주행부가 이 호스를 견인하며 포장의 전체 길이를 진행하도록 하였다. 가로주행부에는 관개, 방제 및 시비를 위한 노즐이 설치되었으며, 작업 후 관로에 남아 있는 약제는 회수관을 통하여 탱크에 회수되도록 하였다.

(2) 주요부 구성

가로주행부의 구조부는 T/L Co. (Hastings, NE) 의 현수구조형 모델을 기초로 하여 구성하였는데, 이러한 형태의 구조물은 부재의 수가 적고 자세유지에 효과적이다. 트러스 관로 및 유체의 무게는 앵글트러스를 통하여 인장력 부재로 전달되며, 파이프 트러스 자체는 축 방향으로 압축을 받는다. 전장 36m의 케미게이션 시스템의 구조부를 SAP90 (v5.4)를 이용하여 유한요소 해석한 결과 인장력은 인장부재의 양단에서 최대이었으며 압축력은 파이프트러스의 중심에서 최대였다(구영모, 1998).

양지거가 멀리 떨어진 가로주행식 케미게이션 시스템의 구동부는 유압시스템을 바탕으로 구성하는 것이 편리하므로 원동기/유압펌프의 동력유니트, 유압모터와 실린더의 액츄에이터, 유량조정밸브와 방향제어 밸브 및 유압회로의 배관 등으로 구성되었다. 기준지거(LT)와 트랙터지거(TT)에 유압모터를 설치하고 제어패널에 설치된 방향조정밸브를 통하여 시스템의 진행방향을 정하며, 기준지거 유량조정밸브를 통하여 시스템의 기준속도를 유지하도록 하였다. 트랙터지거에는 방향조정밸브를 연동시켜 유도방향에 따라 유량을 증감하여 원하는 방향을 유지하도록 하였다. 본 연구에서 사용한 고랑 추종 주행방법(T/L Co. Hastings, NE)은 포장을 갓길을 따라 원하는 방향으로 10~15cm 깊이의 V자형 고랑을 만들고 가로주행 시스템에 고랑을 추종하는 제5륜의 안내 바퀴를 부착하여 진행하게 하였다. 시스템의 진행방향이 고랑에 평행하지 않으면 안내 바퀴가 연결된 암이 회전하여 오차 신호를 발생하게 되고 트랙터지거 측 구동륜의 유압모터에 공급되는 유량을 조절하여 트랙터 측의 속도를 변화시켜 주행 방향을 제어하였다(구영모, 1998). 디젤 엔진(18kW)에 의하여 구동되는 유압펌프는 axial piston 형식으로서 정격운전 조건은 1800-2000 rpm에서 75.5 ℓ/min (12.1 MPa)이다. 구동 토오르크를 증가시키기 위해서 유성치차열 감속기를 채택하였고, 구동륜으로는 11.2-24 트랙터 타이어를 사용하였다.

유체 유동부는 단위면적당 농약살포량을 기초로

시간당 유량을 산정하였다. 설계에 관련되는 인자는 단위면적당 농약살포량, 가로주행식 시스템의 폭, 주행속도, 약제 희석배수, 혼합액의 총유량 및 농약유량 등이다(Koo et al., 1988). 총유량은 펌프의 크기를 결정하며, 시스템 압력과 함께 펌프의 종류와 용량을 선택하는 중요 인자이다. 주펌프는 웨스코 점성펌프(151×03, 3PS, YouJin Pump Co.)를 선택하였고, 여러 작업이 동일 관을 통하여 이루어지므로 50 mm(2.0인치) 관을 사용하여 구조부의 관로 트러스를 구성하였다. 관개시에는 회귀로의 밸브를 닫고 노즐의 크기를 선택하여 저압-대유량으로 조절하며, 방제시에는 밸브를 열어 소유량으로 조절하고 노즐에 의하여 방제작업에 필요한 고압을 얻게 하였다.

작업 중 주행속도가 크게 변하지 않으므로 작업도중에는 약제 살포량이 정량으로 고정된다. 주입식의 지연시간 문제(Koo et al., 1996b)를 해결하기 위하여 최초 작업시작과 함께 노즐회로를 막고 혼합액이 주관로에 충전되도록 하고, 작업종료시에는 주관로에 남은 혼합액을 임의로 배출하지 않도록 혼합탱크로 회수하도록 하였다. 주입장치에는 유화제 및 액제의 주입을 위한 소유량 주입구(10-150 ml/min)와, 수화제의 주입을 위한 선혼합탱크(100 ℓ)를 교반장치와 같이 두어 일차적으로 액비나 혼합액을 위한 대유량 주입구(0.1-1.2 ℓ/min)를 하나의 다이어프램 정용량 펌프(Agri-Inject Inc., 12VDC, 0.5PS, 1800rpm)를 이용하여 구동했으며, 이 혼합탱크를 비료의 시비나 잔류액의 회수에 이용하였다. 주입구에는 체크밸브를 설치하여 약제의 역류를 방지하도록 하였다.

3. 시스템의 운영과 성능시험

가. 계측기지부

(1) 기상정보계측

케미게이션 시기를 결정하기 위해서는 포장이 위치한 국지의 기상환경과 토양 수분 상태의 연속적인 관측이 요구된다. 이를 위하여 포장에 인접하여 간이 기상측정장치와 포장 내에 토양 수분의 경시적 변화를 측정하기 위한 토양수분 센서를 30, 60cm 깊이에 설치하였으며, 측정에 사용한 센서의 제원은 표 1과 같다 (Bac et al., 1999). 기상 자료를 바탕으로 Penman 방법에 의하여 증발산량과 토양수분을 예측할 수 있으며, 예상치가 포하

Table 1 Sensors utilized to collect weather and soil moisture data

Sensors	Model	Measured	Signal type
Thermistor	HMP35C	Air temperature	DC level
Capacitive type		Relative humidity	
Potentiometer	024A	Wind direction	DC level
Anemometer	014A	Wind speed	AC pulse
Pyranometer	LI200X	Radiation	pulse
Tipping gage	TE525	Precipitation	pulse
Time domain reflectometer	CS613	Soil moisture	pulse

치(field capacity)와 고갈(depletion)의 한계치 사이에 있도록 케미게이션 시기를 결정할 수 있다 (Jensen, 1983). 기상환경 및 토양 수분 데이터는 개인용 컴퓨터와 자료수집장치(Micrologger 21X, Campbell Scientific, Inc.)를 이용하여 수집·분석하였다. 기상 데이터는 21X를 이용하여 10초 간격으로 각 센서의 값을 측정 후 강우량 신호는 30분 동안의 누계를, 기타 신호는 30분 동안의 평균을 저장하였다.

(2) 계측기지부의 운영

기상자료 등을 분석하여 케미게이션 작업의 필요성이 인정될 때는 해당 작업을 수행하는 방식을 택하여, 작업은 작업자가 수동으로 가로주행부의 엔진 시동을 걸고, 가로주행부의 컴퓨터와 무선 모뎀에 전원을 투입하고, 계측기지부에 작업개시를 통보하기 위하여 필요한 스위치 조작을 행하는 것으로 개시된다.

계측기지부 컴퓨터 프로그램의 흐름도는 그림 4와 같다. 평상시에는 계측기지부의 컴퓨터는 기상환경자료와 토양수분자료를 수집·저장하는 작업을 수행한다. 21X 데이터 로거를 전용 모뎀(SC32A)을 이용하여 계측기지부 컴퓨터의 직렬통신 포트에 접속하였으며, 데이터 로거의 final storage location(FSL)에 저장된 매 30분 간격의 기상 및 토양수분 자료를 binary dump 모드를 이용하여 PC에 전송하도록 하였다. 계측기지부 프로그램은 21X의 data storage pointer(DSP)를 검사하여 새로운 자료가 FSL에 추가되었는지 확인하고, 새로운 자료가 추가되었으면 modem pointer(MPTR)를 확인하여 직전에 읽어들이 후에 기록된 자료를 모두 읽어 화면에 표시하고 데이터 파일에 저장한다. 21X로부터 읽어 들이는 자료에는 30분 단위의

시작 시간이 포함되어 있다. 하루의 마지막에 해당하는 23시 30분부터 30분간의 자료를 파일에 기록한 후에는 기상자료의 24시간 평균(강우량은 24시간의 누계)을 기록하고 해당 데이터 파일을 닫았다. 기상 및 토양수분 데이터 파일의 이름은 "WTmdd.DAT"의 형식을 취하였으며, 여기에서 WT는 기상 및 토양자료 파일임을, mm은 월을 표시하는 십진수 두 자리를, dd는 일을 표시하는 십진수 두 자리를 나타내어 구분하였다.

케미게이션 작업 중에는 계측기지부의 컴퓨터는 무선 모뎀을 통하여 가로주행부의 컴퓨터로부터 엔진 속도, 토크, 주행속도, 펌프 압력, 유량 등 작업상태에 관한 데이터를 수신하여 작업 상태를 화면에 표시한다. 케미게이션 작업이 종료되면 수신한 데이터를 하드디스크에 저장하는데, 파일명은 "BmddhhM.dat"의 형식을 취한다. 여기에서 B는 기지부(base unit)에 저장되는 데이터 파일임을 나타내며, mm은 작업이 개시된 시점에서 실시간 클럭의 월, dd는 일, hh는 시간, M은 분의 십자리수로 조합하여 작업 데이터 파일들이 각기 다른 파일명을 갖도록 하였다.

나. 가로주행부

(1) 작업상태 감시장치의 구성

가로주행부는 탑재엔진과 동력전달계통에 의하여 주행하며, 제5륜을 이용하여 포장에 설치된 유도경로인 고랑을 따라 주행하도록 방향제어 시스템을 구성하였다. 작업상태의 모니터링과 비상시 연동을 위하여 소요동력, 엔진속도, 주행방향, 주행속도, 유량 및 압력 등을 측정하여 계측기지부로 전송하였으며, 항목별 측정방법을 요약하면 다음과 같다.

① 엔진 토크: 엔진과 유압펌프 사이에 토크변환기를 설치, ② 엔진 회전수: 토크변환기의 60T 기어에 근접센서를 설치, ③ 주행방향: 방향조정 밸브 암의 회전각을 LVDT로 측정, ④ 주행 속도:

양 지거의 구동륜에 설치된 60T 치형판의 회전을 근접센서로 측정하되 펄스의 high-level 폭을 1 kHz 게이트 신호로 계수, ⑤ 유량 및 압력: 관수 호스와 노즐 사이의 유량계와 압력계를 설치.

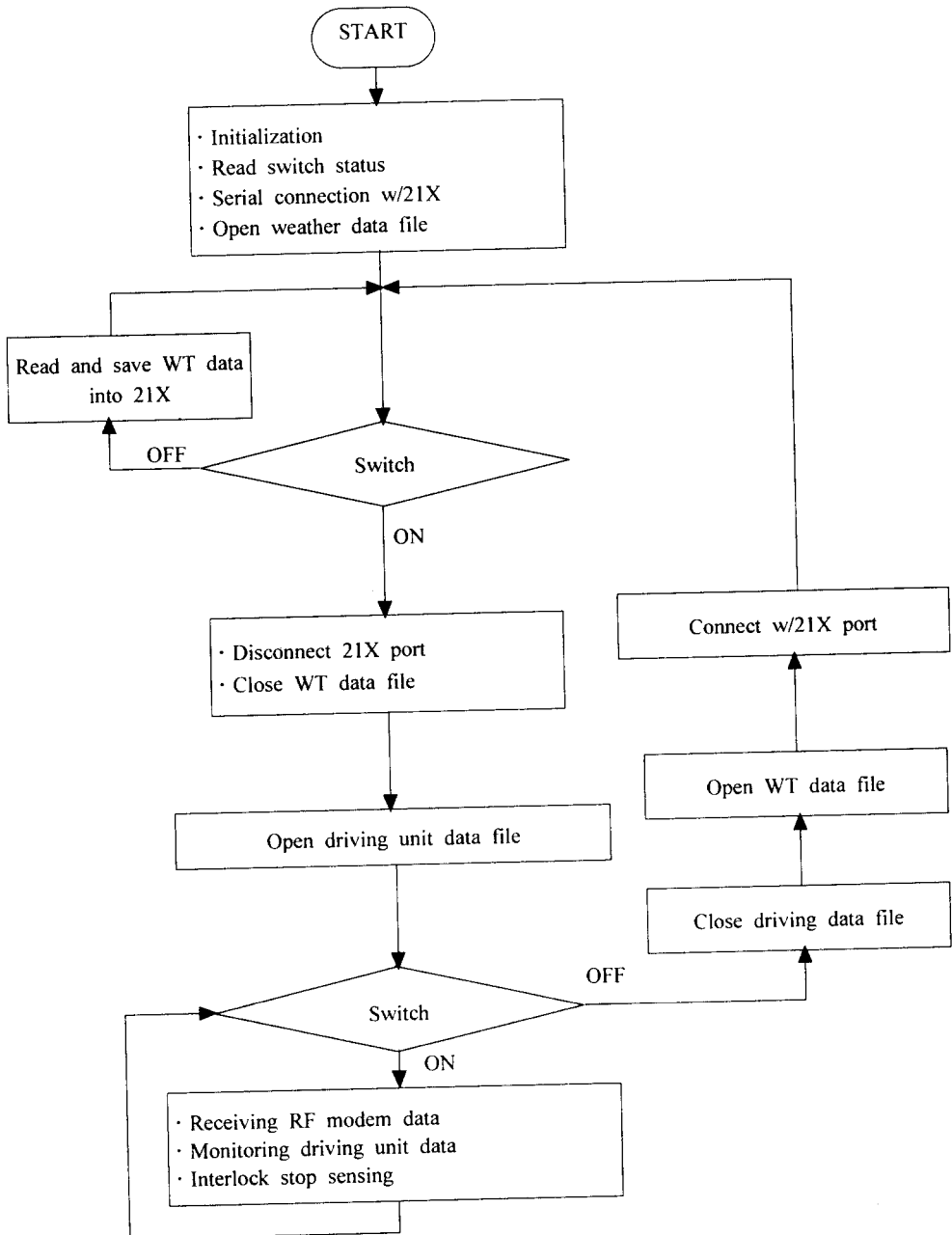


Fig. 4 Flowchart of a program operating base unit.

가로주행부의 계측제어 시스템에는 4개의 ISA 슬롯이 설치된 마이크로 박스(AX6032, Axiom Inc.)를 장착하고, 여기에 단일 보드 컴퓨터(AX8135H: 80486 DX2, 66 MHz), 자료수집 보드(AX5622B) 및 타이머/카운터 보드(AX5218)를 설치하였다. 공간적인 제약과 시스템 작동시의 진동 등을 고려하여 하드디스크는 설치하지 않았으며, 3.5 인치용 플로피 디스크 드라이브 1개를 장착하여 실행 프로그램과 작업 데이터를 저장할 수 있도록 하였다.

(2) 가로주행부의 운영

그림 5는 가로주행부의 제어 및 계측 프로그램의 흐름도이다. 구동부 콘트롤 박스의 전면에는 2개의 토글 스위치와 3개의 파일럿 램프를 부착하였다. 첫 번째 토글 스위치는 컴퓨터의 전원 스위치이며 이를 조작하여 컴퓨터에 전원을 투입하면 자동 실행 파일에 의하여 가로주행부 계측제어 프로그램이 실행되도록 하였다. 두 번째 토글 스위치와 3개의 파일럿 램프는 키보드와 모니터를 사용하지 않고 프로그램의 실행을 통제하고 작동 상태를 확인하기 위한 것이다. 두 번째 토글 스위치는 자료의 수집과 모뎀을 통한 데이터의 송수신을 통제하는 것으로서, 초기에 OFF 상태에 있던 스위치가 ON 상태로 되면 자료의 수집과 데이터 송수신을 개시하고, 다시 OFF 상태로 되면 프로그램의 실행을 종료하게 된다.

A/D변환기와 타이머/카운터를 이용한 6 채널의 데이터가 매 초마다 반복 측정되도록 프로그램을 작성하였고, 두 번째 토글 스위치의 ON/OFF 상태는 디지털 입력포트를 이용하여 검출하였다. 콘트롤 박스의 전면에 설치된 3개의 파일럿 램프는 디지털 출력포트에 부착한 릴레이 제어 회로를 통하여 조작되도록 하였다. 컴퓨터에 전원이 투입되고 계측제어 프로그램이 자동 실행되면 첫 번째 파일럿 램프가 점등되며, 토글 스위치 2를 조작하여 데이터의 수집을 개시하면 두 번째 파일럿 램프가 점등되고, 마지막 파일럿 램프는 프로그램의 실행이 종료되면 점등되도록 하였다.

데이터의 수집은 다음 3가지 조건 중 하나가 만족되면 종료되도록 하였다. ① 두 번째 토글 스위치가 ON 상태에서 OFF 상태로 바뀌거나, ② 1500 세트의 데이터 (25분간의 작업 데이터에 해당)가 수집되거나, 또는 ③ 계측기지의 컴퓨터로부터 엔진 비상정지를 명령하는 연동신호가 무선 모뎀

을 통하여 수신되는 경우이다.

다. RF 모뎀을 이용한 자료 교환

무선 모뎀을 각 컴퓨터의 RS232C 직렬통신 포트에 연결하여 계측기지와 가로주행부 사이에 데이터를 교환하였다. 데이터 전송속도는 2,400 bps이었으며, 통신방식은 반이중 모드(half duplex mode)를 사용하였다. 가로주행부에 장착된 컴퓨터는 작업 상태에 관한 데이터를 송신하여 계측기지에서 이를 모니터링 할 수 있도록 하였으며, 계측기지의 컴퓨터는 가로주행부의 작업을 중지시킬 중대한 사유가 발생하였다고 판단할 경우 가로주행부의 관수 펌프와 엔진을 비상 정지시키기 위한 명령을 송신하도록 하였다. 비상정지 명령을 수신한 가로주행부의 컴퓨터는 릴레이를 통하여 엔진과 약액 주입펌프를 정지시키도록 하였다.

평시에는 가로주행부의 모뎀은 송신 모드로, 계측기지의 모뎀은 수신 모드로 작동하며, 계측기지의 모뎀이 비상정지 명령을 송신할 경우에만 송수신 모드를 바꾸도록 하였다. 계측기지의 컴퓨터는 평시에는 송신요구(Request to send, RTS) 라인이 항상 OFF 상태가 되도록 하였으며, 가로주행부의 컴퓨터는 데이터를 전송하기 전에 RTS를 ON으로 하고, 데이터를 전송한 후에는 RTS를 OFF가 되도록 하여, 데이터의 송수신이 이루어지지 않는 휴지기에는 양쪽의 모뎀이 모두 RTS OFF 상태가 되도록 프로그램을 작성하였다. 한편 가로주행부의 모뎀이 RTS ON 상태가 되면 반송자를 전송하기 때문에 계측기지의 모뎀은 이를 수신하여 데이터 반송자 검출(Data Carrier Detect, DCD) 라인이 ON 상태로 되므로 계측기지부 모뎀의 DCD 신호를 검출하여 상대 모뎀의 송수신 모드를 확인하였다. 즉, 계측기지에서 비상정지 명령을 송신하기 위해서는 계측기지부 모뎀의 DCD 신호를 검출하여 이 신호가 OFF 상태에 있을 때까지 대기한 후 (가로주행부의 모뎀이 송신 모드에 있지 않음을 확인) RTS를 ON으로 하고 비상정지 명령을 전송하는 방식을 취하였다. 모뎀의 전송속도는 300 byte/s (2400 bps)인 반면, 한 세트의 데이터는 CR과 LF를 포함하여 72 byte이었기 때문에(그림 6) 한 세트의 데이터를 전송하는데 소요되는 시간은 약 0.24초에 해당되었다. 따라서 비상정지 신호를 전송할 상황이 발생하는 경우 1초 이내에 이를 모뎀을 통하여 송신할 수 있었다.

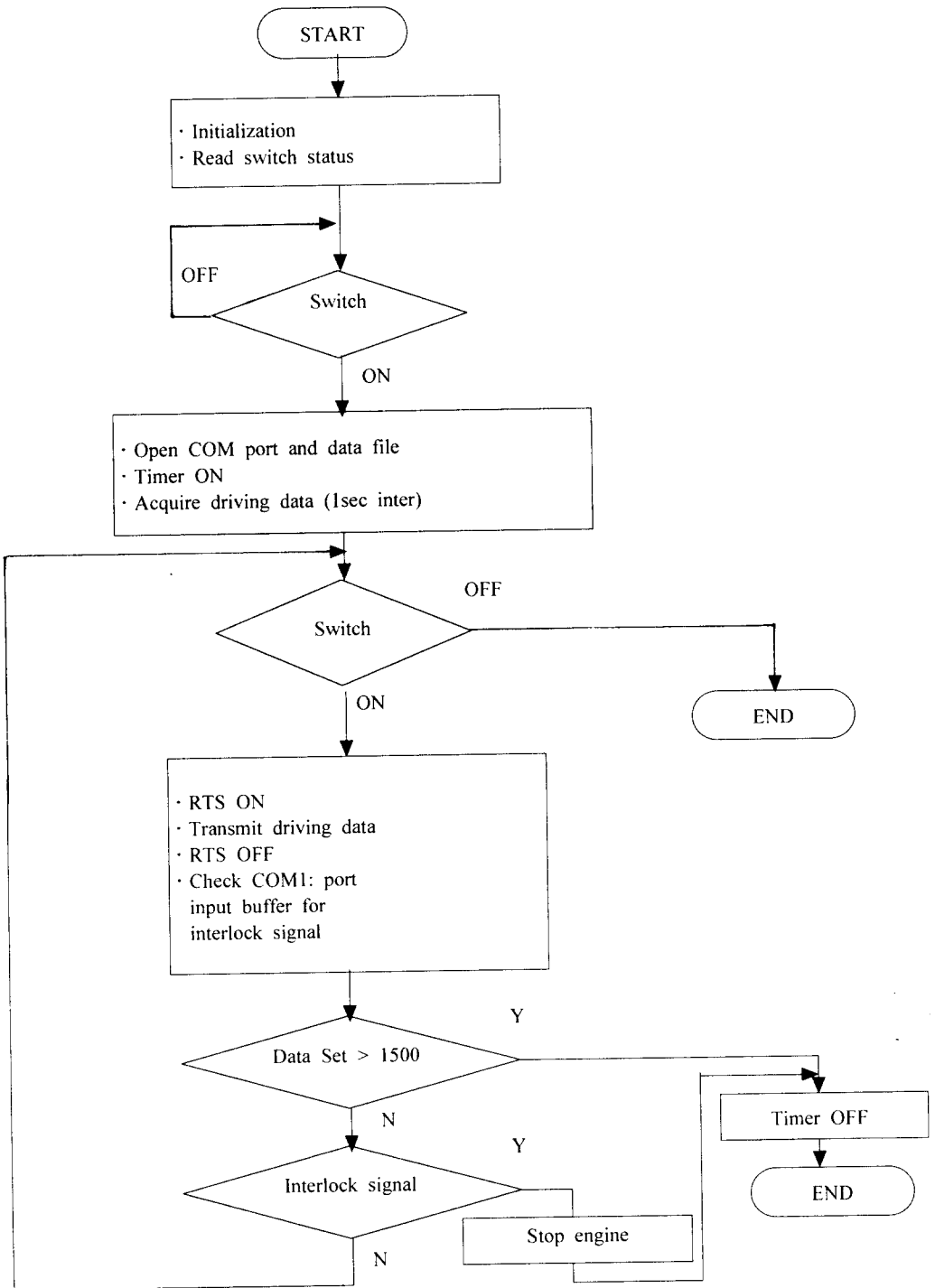


Fig. 5 Flowchart of the program operating driving unit.



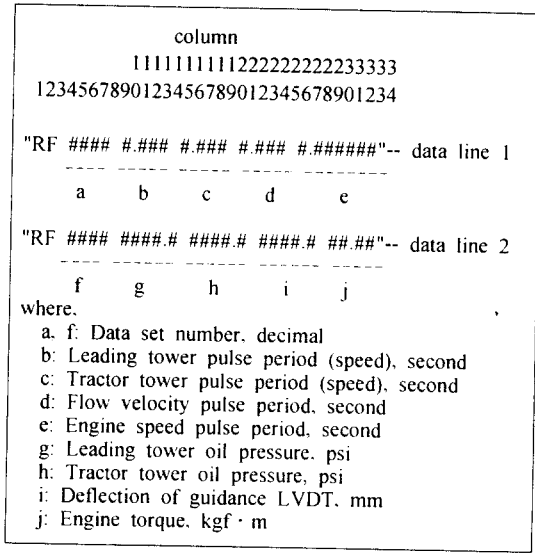


Fig. 6 Transmitting data format from the driving unit to the base unit.

라. 시스템의 연동

작업 중 시스템에 이상이 발생한 경우에는 엔진이나 유체유동부를 정지시켜 시스템과 작물을 보호할 필요가 있다. 따라서 다음과 같은 이상이 감지된 경우에는 엔진의 연료주입을 차단하여 가로주행부를 비상정지 시키도록 하였다. ① 엔진 냉각수 온도가 높은 경우, ② 엔진 오일 압력이 낮은 경우, ③ 관수 압력이 저하된 경우, ④ 유압유의 압력이 낮은 경우, ⑤ 유압유가 부족한 경우, ⑥ 작업 경로의 끝에 도달한 경우, ⑦ 작업자에 의해 비상정지 버튼이 작동된 경우, ⑧ 고랑을 따라 진행하는 안내바퀴의 방향과 가로주행 시스템의 주행방향 사이에 오차가 너무 과도한 경우 등이다.

케미케이션 시스템에 있어서 관수, 액비 및 농약을 공급하기 위한 펌프는 가로주행 시스템의 작업상태에 따라 조작되어야 한다. 즉 주행 시스템이 정지하면 모든 펌프의 작동이 중지되어야 한

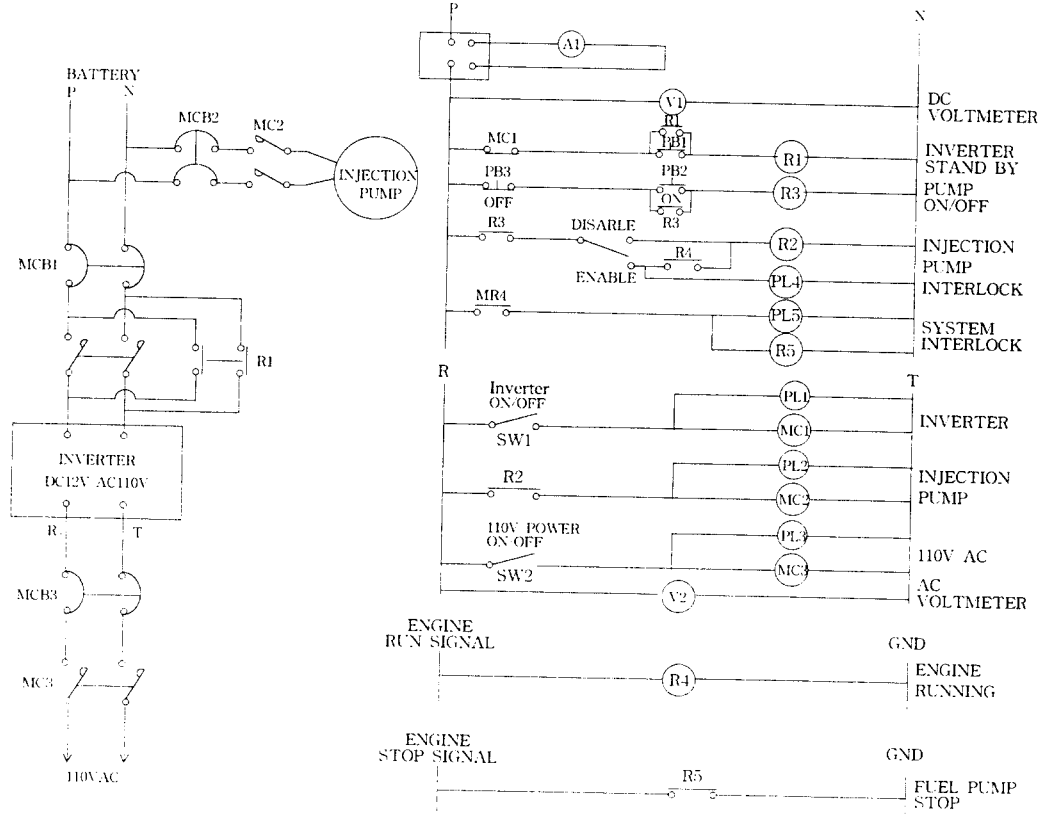


Fig. 7 Logic-chart of the program interlocking the driving unit.

다. 또한 어떤 이유에 의해서든 관수 펌프의 작동이 정지되면 액비 및 농약 공급 펌프도 이에 연동하여 멈추어야 하므로 액비 및 농약의 역류에 의한 환경오염 방지를 위하여 주행 시스템, 관수 펌프, 액비 및 농약 공급 펌프간에 연동회로를 구성하였으며 그림 7에 연동회로도도를 나타냈다.

#### 4. 결과 및 고찰

그림 8과 9는 계측기지부에 연결된 간이 기상측정 장치를 이용하여 6월 14일부터 29일까지 (Julian day 165~180) 측정한 기상 자료의 일부를 나타낸 것이다. 이러한 기상 자료와 포장 내 토양수분의 경시적 변화를 이용하여 케미게이션 시기를 결정하고 경고할 수 있다. Julian 175일에 시작된 강우로 인하여 일일 온도의 변화가 작았으며, 30 cm 깊이의 토양수분 함량이 급격히 증가하여 곧 포화상태에 이르렀음을 알 수 있다. 그림 9에서와 같이 동일한 시기에 일사량은 크게 감소하였으며, 대기 중의 수분은 과포화 상태에 이른 것을 알 수 있다. 측정된 기상자료 중 풍향과 풍속 데이터는 표시하지 않았다.

이러한 기상 자료를 바탕으로 Penman 방법에 의하여 5월 30일부터 8월 28일까지의 증발산량과 토양수분을 구하였으며(구영모, 1998), 토양수분의

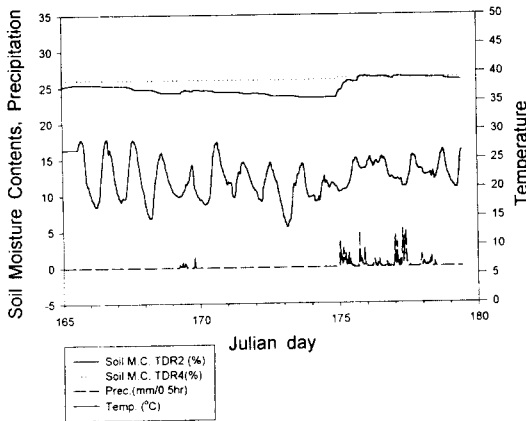


Fig. 8 A typical weather and soil moisture content data utilized to determine chemigation schedule between 165 and 180 Julian days. TDR2 and TDR4 indicate the moisture contents at the soil depths of 30, 60 cm.

예상치가 포화치와 고갈한계치 사이에 있도록 케미게이션 시기를 결정하였다(그림 10). Julian 156, 160 및 162일에 시행된 케미게이션 작업에 의하여 토양수분 함량이 증가하였으며, 178일 이후에는 강우에 의하여 토양수분이 포화 상태에 이르렀다. 200일의 케미게이션 작업은 방제를 위한 것이었으므로 즉각적인 수분증가로 이어지지 않았음을 알 수 있다. 210일 이후에는 잦은 강우로 인하여 관개보다는 방제작업의 필요성이 더욱 대두되었다.

그림 11은 가로주행부의 작업상태를 감시하기 위하여 전송된 엔진회전속도, 양 지거의 주행속도 및 주행방향 데이터를 예시한 것이다. 정상운전시 엔진속도는 2,000 rpm을 유지하고, LVDT로 측정

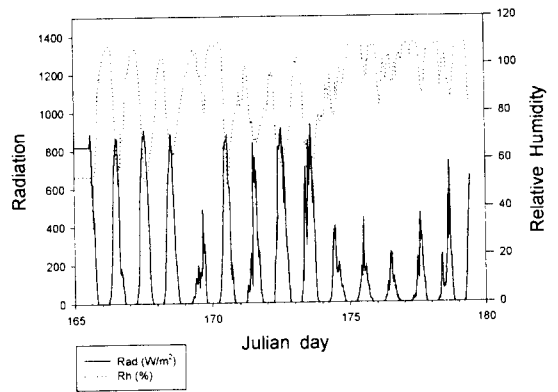


Fig. 9 Relative humidity and radiation utilized to determine chemigation schedule between 165 and 180 Julian days.

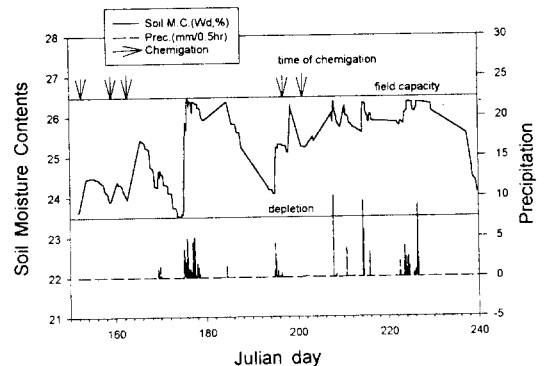


Fig. 10 The chemigation schedule according to soil moisture contents varying with precipitation.

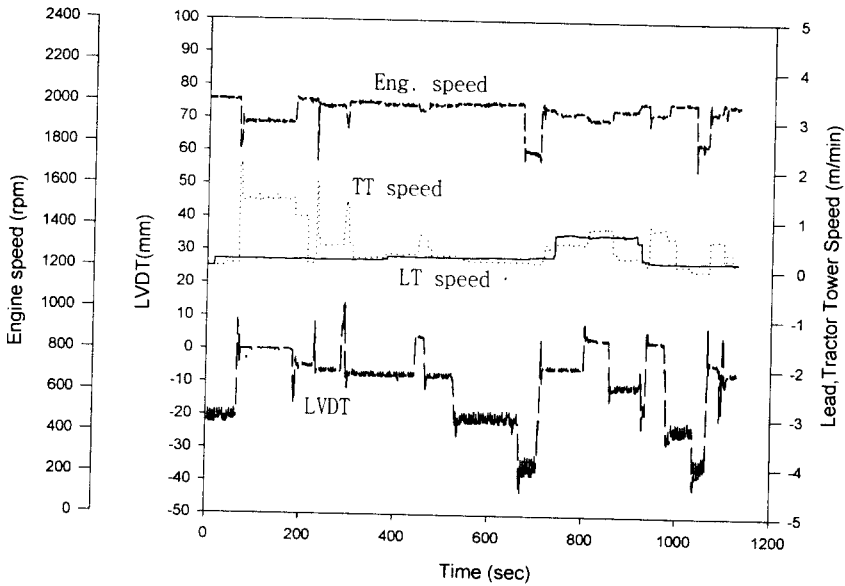


Fig. 11 Monitoring performance of the driving unit during chemigation. the data shows the engine speed, leading tower(LT) speed, tractor tower(TT) speed and the displacement of control arm (LVDT) for travel direction control.

되는 방향조정팔의 위치는 -20 mm였다. 고량유도 방법에 의하여 제5륜이 좌측으로 움직이면 방향조정팔이 밸브 스펴을 조작하여 트랙터지거(TT)의 속도를 증가시켜 제5륜이 주행방향과 일치되도록 자세를 수정하게 되며 그 순간 갑작스런 부하로 인하여 엔진의 속도가 1,900rpm로 감소하였다. 정상운전 상태에서 기준지거(LT)는 일정한 속도로 유지되며, 700초 부근의 속도증가(그림 11)는 가로주행부의 속도를 인위적으로 증가시킨 결과이며, 이에 따라 예정된 방향으로 주행부가 진행되도록 조정과정이 자동으로 이루어졌음을 알 수 있다.

그림 12는 주행방향의 기준선으로부터 인위적으로 5 cm의 오차를 가했을 경우 방향조정 과정을 예시한 것인데, 앞에서 설명한 바와 같은 제5륜의 자세에 의한 자동조정 과정을 거쳐 기준선으로부터 ±2.5 cm 이내의 거리에서 주행방향이 안정적으로 제어된 것을 알 수 있다.

또한 시스템 운전의 안전성을 확인하기 위하여 여러 가지의 비정상적인 작동 조건을 인위적으로 발생시킨 경우에 가로주행부 자체는 물론 계측기 지부에서도 무선 모뎀을 통하여 가로주행부의 엔진과 펌프의 작동을 실시간으로 정지시킬 수 있었다.

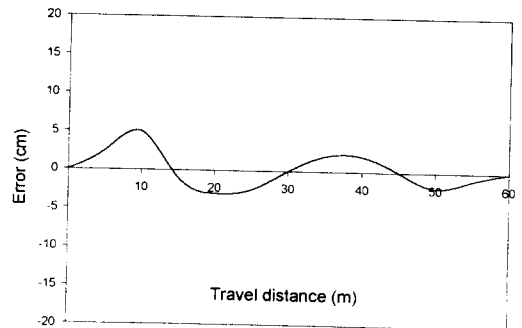


Fig. 12 Deviation from the guidance line of the travel direction.

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 관개, 시비 및 방제 작업을 통합 수행하는 가로주행식 케미케이션을 개발하였으며 다음에 요약하였다.

① 포장과 재배형태 등 기술적인 검토를 통하여 耕畝를 40m×200m로 나누어 케미케이션 시스템을 가로주행식으로 구성하였다.

② 케미케이션 시스템의 지지부는 고정된 장소

에 위치하여 기상관측장치 및 토양수분센서로부터 자료를 획득하고 제어 논리에 따라 케미게이션 시스템을 운영하며, 주행부는 자주식으로 이동하면서 계획된 작업을 수행할 수 있도록 동력원인 엔진과 구동부가 장치되고, 약제 주입장치를 탑재하여 시비와 방제가 이루어질 수 있도록 구성하였다.

③ 주행부와 기지부 사이에 라디오 주파수를 사용하는 무선 송수신장치를 이용하여 신호를 연결하여 자료 교환 및 비상연동이 가능케 하였다.

④ 작업 중 시스템에 이상이 발생한 경우에는 엔진이나 유체유동부를 정지시켜 시스템을 보호하는 연동장치를 부가하였다.

제시한 케미게이션 모델은 가로주행식 뿐만 아니라 포장형태, 작물특성, 주작업구성 등에 따라 다른 형태로 변경·조정될 수 있으며, 소규모 시설농업에서부터 대규모의 노지농장까지 적용이 가능하다. 전작생산에서 관개, 시비와 방제작업을 하나의 시설로 통합 실행함으로써 노지에서도 작업의 생력화와 안정적인 농산물 생산을 보장할 수 있다. 농업의 규모화 및 첨단기술화를 추구하는 동시에 환경보전 및 농작업자의 쾌적한 작업환경을 보장할 때 방제 및 시비과정에서 발생하는 농약중독, 잔여농약의 부적절한 폐기, 작업의 기피성에 의한 노동력부족, 작업기에 의한 토양다짐 등의 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

1. Bae, Y. H., Y. M. Koo and K. J. Park. 1999. Development of a linear chemigation system (Ⅱ) - measurement and control system. Proceedings of the KSAM 1999 Summer Conference. 4(2): 34-39. (In Korean)
2. Ge, J., D. L. Thomas., C. R. Camp and E. J. Sadler. 1994. Microsprinkler performance under a moving irrigation system simulator. ASAE Paper No 942168. St. Joseph, MI.
3. Jenson, M. E. (ed) 1983. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph No.3, St. Joseph, MI
4. Koo, Y. M., H. R. Sumner and L. D. Chandler. 1992. A theoretical efficacy of insecticide-oil droplets applied via chemigation. ASAE Paper No 92-1064. St. Joseph, MI.
5. Koo, Y. M., H. R. Sumner and L. D. Chandler. 1993. Insecticide-oil droplet size effect on fall armyworm larvae control via chemigation. TRANSACTIONS of the ASAE 36(4):1033-1038.
6. Koo, Y. M., H. R. Sumner and L. D. Chandler. 1996a. Simulation of chemigation efficacy. Journal of KSAM. 21(1): 10-20.
7. Koo, Y. M., S. C. Young and D. K. Kuhlman. 1996b. Flow characteristics of injected concentrates in spray booms. Journal of KSAM. 21(2): 146-154.
8. Koo, Y. M., Y. H. Bae and K. J. Park. 1998. Development of a linear chemigation system (I) - model design. Proceedings of the KSAM 1998 Summer Conference. 3(2):42-52. (In Korean)
9. Sumner, H. R., C. C. Dowler and P. M. Garvey. 2000. Application of agrichemicals by chemigation, pivot-attached sprayer system, and conventional sprayer. Applied Engineering in Agriculture. 16(2):103-107.
10. 구영모. 1998. 전작의 초생력 자동화 통합 케미게이션 시스템의 개발. 농림 기술개발 연구사업 최종보고서. 농림부. 주관연구기관: 경북대학교. 251 p.
11. 농촌진흥청. 1998. 작목별 작업단계별 노동력 투하시간. 농업경영보고.