

植物의 生長反應 計測을 위한 컴퓨터 計測 및 制御 시스템 開發⁺

Development of Computer Measurement and Control System for Plant Growth Responses

金滿秀*

M. S. Kim

崔東洙*

D. S. Choi

朴鍾民*

J. M. Park

柳寬熙**

K. H. Ryu

盧祥夏**

S. H. Noh.

Summary

This study was conducted to develop the on-line monitoring system for plant growth responses. The system consisted of two parts. One system was the measuring system and the other was its controlling system. The established measuring systems were the ultrasonic wave sensor driver for height of plant, the potentiometer for diameter of plant stem, and the weighing system with strain gage application for plant weight. Also, computer program for measurement and controlling was developed, and the whole system was tested by the fabricated plant, and the actual plant growth responses were monitored by the system. When monitoring the actual plant growth responses, even the small amount of plant growth responses could be measured by the system within tolerable error ranges.

I. 緒論

시설원예에 있어서 作物生產에 소요되는 에너지의 效率을 極大化하기 위해서는 각종 環境要素를 적절하게 制御할 수 있는 식물의 生長모델이 開發되어야 하는데, 여기에는 무엇보다도 生育段階에 있는 식물의 生長情報 計測을 필요로 한다. 지금까지는 生長情報 즉, 植物體의 草長, 葉面積, 乾物重量, 生體重 등의 測定은 대부분 個體를 대상으로 수작업에 의하여 破壞的인 方法으로 수행되었다. 따라서 生育段階마다 많은 수의 個體確保가 필요하고 栽培나 조사의 장소 및 노력 등의 제약을 받게 되므로 실제의 조사간격은 수일에서 수주일로 되어 環境要因의 수많은 組合을 처리한다는

것은 現實的으로 거의 불가능한 일 일것이다. 이런면에서 植物의 生長을 制御하거나 施設園藝의 自動制御를 위한 植物의 生長情報에 대한 非破壞的이면서 連續的인 計測이 절실히 要求되고 있다.

生體 計測에는 크게 나누어 生理反應, 生長量 및 生育狀態 計測의 3가지가 있다. 각각의 구체적인 주요 대상을 살펴보면, 生理反應의 경우에는 光合成, 呼吸, 蒸散, 轉流 및 氣孔開閉 등을 들 수 있고, 生長量의 경우에는 全重量, 部分重量, 體積, 높이 및 줄기의 直徑 등이며, 生育狀態의 경우에는 잎의 溫度(體溫), 含水量, 色調 및 品質 등이다. 이러한 植物의 生體計測은 非破壞的인 計測이 필요하며 非接觸일 때 더욱 바람직하다.^{13,18,19)}

+ 본 연구는 한국과학재단의 지원(91-07-00-12)으로 수행되었음.

* 忠南大學校 農業機械工學科

** 서울大學校 農工學科

최근에는 農業分野에 超音波를 이용한 研究 結果들이 보고되고 있는 데, 이것들을 살펴보면, Satow 등¹⁵⁾은 超音波(ultrasonic wave)을 이용하여 분무기(boom sprayer)의 분사높이를 自動制御하는 實驗을 수행하였다. 이 實驗에서 40KHz의 超音波 裝置를 사용하였으며, 超音波 센서는 作物의 表面으로 부터 反射音波를 충분히 수신할 수 있었다고 보고하였다.

Kashiwazaki 등²⁰⁾은 圃場作業自動化를 위해 超音波 距離計를 作業機에 부착하여 圃場面의 狀態를 測定하여 그로 作業하는 實驗을 수행하였던 結果, 超音波 計測 시스템의 基礎 特性을 파악하였으며, 圃場의 표면이 乾燥한 경우 보다는 물을 圃場表面에 噴霧한 경우가 圃場의 3 차원 形狀 測定이 보다 正確하였다고 報告하였다.

Klepper 등²²⁾은 줄기 直徑의 變化率을 測定하여 作物의 水分 狀態 推定이 가능하다고 하였다. 즉, 줄기直徑은 成長에 따라서 变化되며, 成長에 따라 增減에 따라 变化된다고 하며, 줄기直徑을 計測하여 線形變位計(LVDT)를 이용하였다 한다. Huck

등²¹⁾은 줄기直徑의 變化와 水分포тен셜과의 關係를 究明한 바 있다.

Takatsuj^{16,17)}는 土壤栽培의 경우, 植物의 全重量 測定은 근본적으로 破壞計測을 할 수 밖에 없으나 水耕栽培에서는 非破壞 計測도 가능하다는 것을 제시하였으며, 그 方法으로는 첫째, 重量을 半導體 스트레인 게이지에 의해 電氣量으로 바꿔 測定하는 方法으로 지레의 오른쪽 끝에 半導體 스트레인 게이지(自己溫度補償型)를 設置해서 重量을 스트레인 게이지의 抵抗變化로 바꾸는 方法이었다. 두번째의 경우에는 試料를 적당한 홀더상에 生育시켜 培養液에서 흘러마다 일시적으로 採取해서 電子 천칭으로 測定하는 方法이었다.

本 研究에서는 植物體內의 외적인 변화인 植物體의 生長程度를 나타내는 草長, 줄기直徑 및 生體重을 電氣·電子的 技術에 의하여 非破壞의in 方法으로 온라인 計測하는 시스템을 開發하고자 하였으며, 그 具體的인 目的是 다음과 같다.

1. 超音波센서를 이용하여 植物體의 草長을 計測하는 超音波驅動裝置를 開發한다.

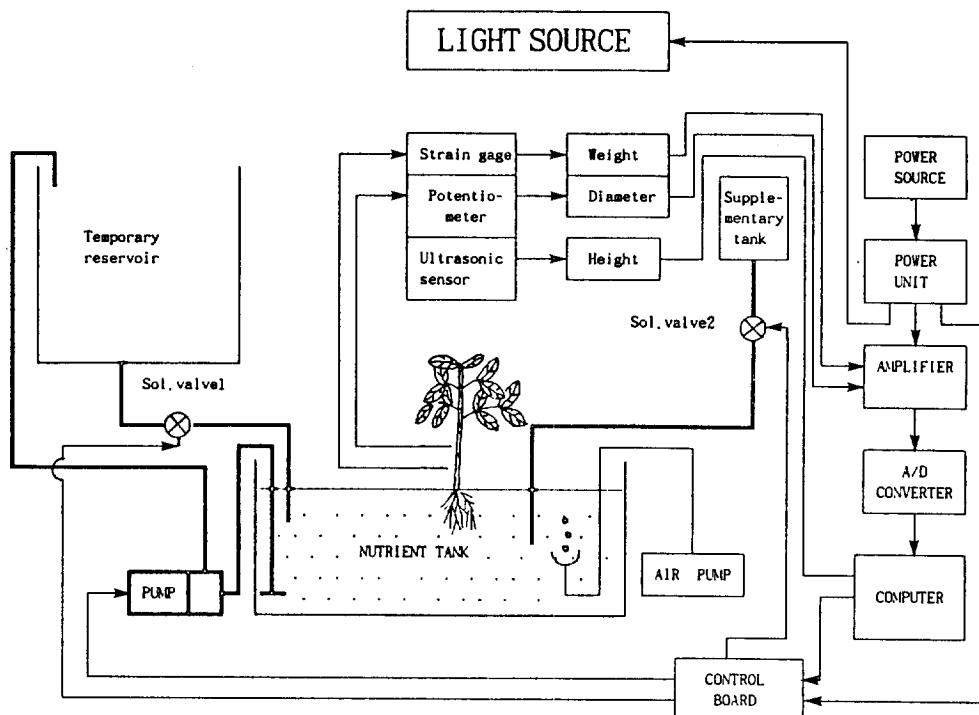


Fig. 1. Schematic and block diagram of the experimental equipment.

2. 스트레인게이지를 이용하여 生體重의 變化 즉, 荷重의 變化를 감지할 수 있는 裝置를 開發한다.
3. 포텐쇼미터를 사용하여 미세한 植物體의 줄기 直徑 變化를 計測할 수 있는 裝置를 開發한다.
4. 이들 각각의 セン서에 의하여 生體情報 를 計測하는 시스템을 實時間(real time) 동안 일정한 間隔으로 制御 및 計測할 수 있는 프로그램과 데이터를 華集하고 贯藏하며, 이를 分析할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 開發 한다.

II. 計測 시스템 및 制御 시스템 開發

1. 計測 시스템 開發

生育過程에 있는 作物의 外的인 變化(草長, 生體重, 줄기直徑)을 非破壞의인 方法으로 計測하기 위한 시스템의 全體的인 構成을 블록 다이어그램은 그림 1과 같다. 그림에서 보는 바와같이 이 시스템의 構成은 크게 光源部, 草長 計測을 위한 超音波裝置, 줄기直徑을 計測하기 위한 포텐쇼미터 驅動裝置, 生體重을 計測하기 위한 스트레인 게이지식 荷重變換裝置, 作物의 水分 및 營養分을 供給하기 위한 養液水槽, セン서 및 시

스템을 制御하고 資料를 華集, 分析하는 컴퓨터부분으로 構成하였다. 實驗室 内部에 設置한 전체 計測시스템을 구성하고 있는 計測 制御 裝置들 및 周邊裝置들은 그림 2에서 보는 바와같으며 植物 生長情報 計測 시스템을構成하는 主要 裝置들의 재원은 표 1과 같다.

本 研究에서는 이와같은 시스템에 의하여 作物의 生長情報を 連續的으로 計測하기 위하여 6시간마다 計測이 이루어지도록 하였다. 매 計測 시간마다 計測된 植物의 生體情報은 날짜, 시간별로 컴퓨터에 贯藏되어 필요시 모니터와 프린터를 통하여 出力되도록 하였다.

가. 植物 生長의 環境要素

施設栽培時 植物이 자라는 環境을 크게 地上部 環境과 地下部 環境으로 나눌 수 있다. 地上部 環境의 경우, 光環境, 溫度環境, 空氣中の 濕度, 이산화탄소濃度 및 空氣循環이 있으며, 地下部 環境의 경우에는 溶存酸素量, PH, 電氣傳導度(E.C) 및 液溫 등이 있다. 이와같은 生育環境 要素들은 식물에 따라 각각 차이가 있어 栽培되는 植物에 따라 적절한 環境을 造成해 주어야 한다.^{1,2)}

本 實驗에서는 對象作物의 生育 및 超音波의 應用에 影響을 미치는 溫度와 濕度를 가능한 한 일정하게 유

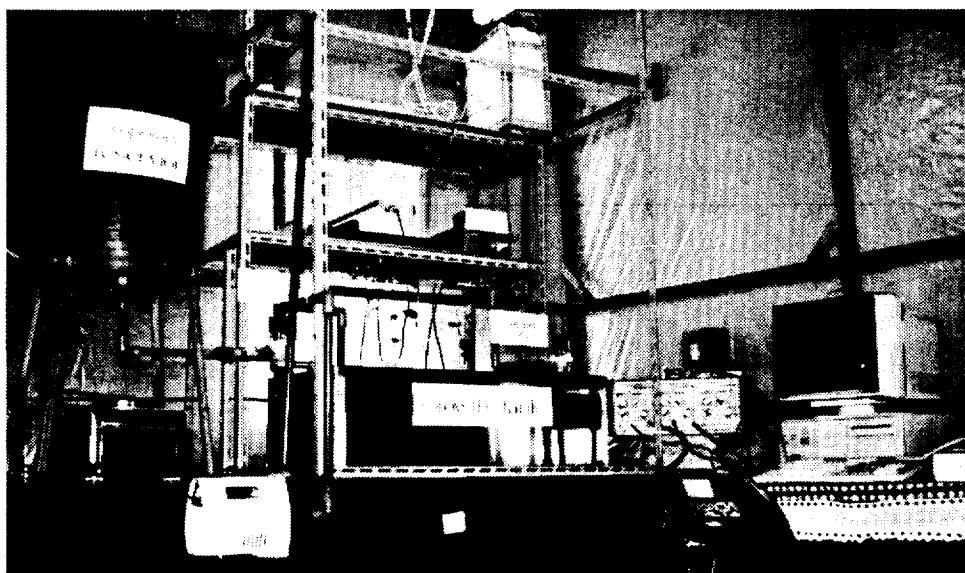


Fig. 2. Arrangement of measuring system for plant growth responses.

Table 1. Specifications of measuring system for plant growth responses

Items	Specifications	Remark
Micro-computer	32bit, CPU 2MB memory (with 100MB Hard disk)	Model 386-DX
A/D converter	16 channels, resolution 12bit conversion time, 25 μ s	PCL-712
Dynamic strain Amplifier	6 channels, 2V excitation	Kyowa, CO-50ET
AVR	220V input, 110V output, 2kW	JEA IL CHUNG MIL CO.
Digital storage Oscilloscope	12 MHz 5mV/DIV~10V/DIV	FARNELL
Bridge Box	-	Kyowa/DB 120
Solenoid valve	AC 220V, 60 Hz	USEONG
Potentiometer	5 k Ω	Kyowa
Ultrasonic sensor driver	Frequency 40 kHz	
I/O interface card	3 port(8bit/port)	
Terminal board	20 channal	Model PCLD-780
Pump	AC 110V, 40W, 1500 l/h	Gold star

지시키기 위하여 室内에 3.5×3.5×3.0m 크기로 목재와 비닐로 實驗室을 製作하였다. 또한, 本 實驗에서는 光 條件等 生育環境制御를 目的으로 하고 있지 않기 때문에 文獻 調査를 통하여 작물의 生育에 나쁜 영향을 주지 않을 정도로만 生育 環境을 유지시켰다.

實驗期間은 8月 18일에서 9月 19일까지로 이 기간 동안은 實驗室内를 加溫할 필요는 없었으며, 實驗室内에는 100W 백열전구 2개, 20W 형광등 7개, 그리고 수은등 200W 4개를 설치하였다. 이때의 光量은 適正光量보다는 적었지만 植物體에서의 光量은 4000 LUX이었으며, 照明時間은 1日 18時間으로 하였다.

對象作物은 超音波에 의한 草長計測이 용이한 葉面積이 넓은 들깨(*Perilla frutescens* Var. *Japonica*)를供試作物로 하였으며, 養液은 일반적인 園藝作物의 養液과 같이 조제하여 사용하였다.⁶⁾

養液탱크의 크기는 90×45×45cm 이었으며, 養液 속에 충분한 酸素을 供給하기 위하여 出力 4W의 空氣泵프를 사용하였다. 또한 實驗室内의 空氣循環을 위하여 환풍기를 設置하였다.

나. 植物의 草長計測

그림 3은 超音波 送信機(T)와 受信機(R)의 組合에

의한 草長 測定裝置의 原理를 나타낸 것이다. 送信機(T)에서 發생한 펄스 형태의 超音波 信號는 일정한 범위의 지향각을 갖고 作物의 각부분에 부딪히게 되며, 여기서 반사된 音波중 일부가 受信機(R)에 의하여 檢出된다.

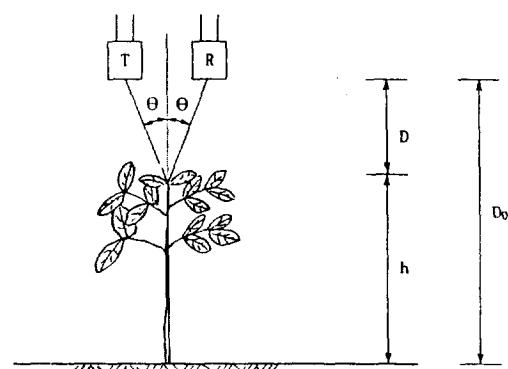


Fig. 3. Height measuring principle by ultrasonic wave.

또한 超音波 送信機와 受信機를 동일 몸체에 固定하고, 作物 先端部와 센서간의 거리 D를 멀리하면 $\theta = 0$ 으로 되며, 이때 送信機로 부터 發사되는 超音波 펄

스의 한 파장이 5mm라 하면 5mm의 거리를 일정한 温度에서 音波가 전파하는 시간은 14.7 μ sec가 된다. 温度의 變化에 따른 音速의 變化는, 大氣 温度의 變化가 15°~30°일 때 音速의 變化는 340.84~349.59m/s이다. 따라서 誤差는 8.78m이며, 超音波의 한 펄스가 5mm를 전파하는 시간(14.7 μ sec)에 대한 誤差는 0.000129m가 되고 60cm을 전파할 경우 0.00155m가 된다. 그러므로 測定距離가 60cm 이하이고 温度의 變化폭이 크지 않다면 音速에 미치는 温度의 影響을 무시해도 될 것이다.

따라서 送信機로 부터 발사되는 超音波의 周波數는 68.027kHz이고 超音波가 物體에 반사되어 돌아오는 시간 동안 한 周波數를 한 눈금으로 하여 그 周波數의 수를 카운트하므로써 거리 D를 구할 수 있다. 草長 h는 바닥에서 센서까지의 거리 D_0 에서 D를 뺀 값이 된다.

超音波는 그 特性상 周波數가 높을수록 공기중에서 減衰가 커지므로 짧은 測定距離에서는 周波數가 높지 않아도 變換效率이 좋다.⁸⁾ 따라서 여기서는 40kHz의 세라미型 變換器(MA40E1R/S)를 사용하였다.

컴퓨터의 CPU에서 I/O board를 통하여 +5 volt의 動作 信號를 超音波센서驅動裝置에 주면 기준펄스 발생회로에서 40kHz의 펄스를 만들어 펄스열(pulse train)發生回路에서 16개의 단속파를 꺼내어, 송신버퍼앰프(transmit buffer AMP)에서 증폭된 후 送信機에서 超音波를 發信한다. 물체에 부딪쳐 되돌아 오는 反射波를 受信機가 受信을 하게 되는데 이때 이 受信된 反射波는 주파수앰프(frequency AMP)에서 增幅되고 하이패스필터(high pass filter)를 거쳐 과정정형부(wave modulation)에서 아날로그 신호를 디지털 信號로 變換하여 時間計測部(binary counter)로 보내진다. 時間計測部에서 펄스를 송출한 시간으로부터 펄스 반사파가 되돌아온 시간을 구한다. 여기서 정확한 時間計測을 위하여 타이머는 10.233 MHz의 水晶 발진기를 사용하였다.

그 데이터는 驅動裝置 내에 일시적으로 저장된다. 이때 CPU로 부터 데이터를 읽어들이라는 명령인 0 Volt를 I/O interface card를 통해 센서驅動裝置로 보내게 되면 그 데이터를 Parallel cable을 통해 Input port로設定된 I/O interface card 내의 IC, 8255A의 A port로 데이터가 병렬로 입력되어, Data bus를 통하여

CPU로 傳達되어 實行中인 計測 프로그램에 의하여 實際의 草長 데이터로 변환되어 컴퓨터에 貯藏되게 된다.^{3,7,9,10,12,14)}

다. 植物의 줄기 直徑計測

供試作物의 直徑을 計測하기 위하여 2개의 포텐시미터를 사용하였으며, 사용된 포텐시미터는 回轉型이므로 줄기 直徑의 直線의 變化를 角變位로 變換시켜주기 위하여 그림 4에서와 같은 줄기直徑 計測裝置를 製作하였다. 또한 포텐시미터의 回轉軸에 부착된 直徑 接觸部分의 가느다란 봉이 供試作物에 密着되도록 하기 위하여 두개의 電子石을 사용하여 포텐시미터의 回轉軸을 作物쪽으로 回轉 시켜 줌으로써 정확한 直徑을 計測할 수 있도록 하였다. 각각의 포텐시미터에 引加된 電壓은 4 Volt(-2~+2 Volt)이며 直徑을 計測하라는 信號와 동시에 電磁石을 作動하도록 하는 信號를 포텐시미터 制御부에 보낸다.

미세한 直徑의 變化는 두 포텐시미터의 電壓差인 電氣의 信號로 檢出되어 앰프를 통하여 5×100 μ e 배로 增幅되어 A/D 變換器에서 아날로그 信號는 디지털 信號로 變換되고, 이 값은 이미 測度設定에 의하여 구하여진 方程式에 의하여 실제의 값으로 환산된 후 컴퓨터에 貯藏된다.

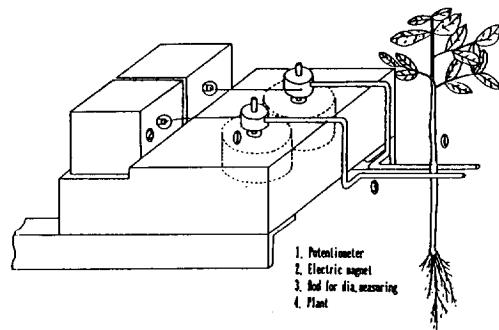


Fig. 4. Schematic diagram of measuring system for plant stem diameter.

라. 植物의 生體重 計測

그림 5와 같은 作物支持臺를 構한 生體重 計測裝置를 製作하였다. 그림에서와 같이 대상작물을 支持하는 支持板 위에 스트레인 케이지를 附着하여 보통 때는 作物의 支持臺 역활을 하고, 生體重을 計測할 때는 평

프로 養液을 臨時 貯藏容器로 移送한 후 生體重을 測定할 수 있도록 하였다. 스트레인 게이지의 附着位置는 支持板의 作物이 있는 곳으로 부터 支持板 전길이의 2/3 되는 점의 上下面이었다.

作物의 生體重으로 인하여 스트레인 게이지에서 發生되는 아날로그 信號는 앰프와 A/D 變換器를 거쳐 컴퓨터에 入力됨과 동시에 모니터상에는 生體重 測定 진행과정이 그라픽으로 표시될 수 있도록 하였다.

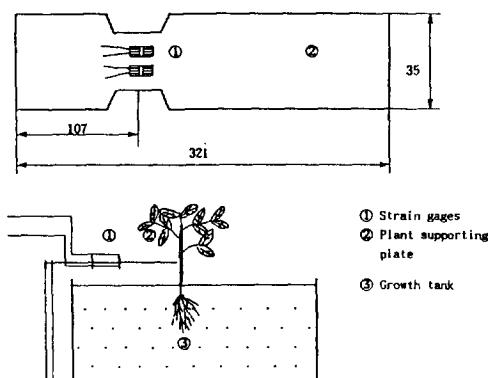


Fig. 5. Plant supporting plate with strain gage.

生體重을 計測하는 過程은 培養液을 養液水槽에서 빼내고 약 20분경과 후에 生體重을 計測하였다. 制御用 프로그램이 實行되면 制御信號가 入出力 보드로부터 制御 보드의 릴레이(solid state relay)로 傳達되어 전자밸브 1, 2와 펌프는 각각 정해진 시간에 順次적으로 動作하게 된다.

2. 制御시스템 開發

가. 培養液 流動制御

生體重을 計測할 때는 養液을 移送시킬 필요가 있다. 이 때 그림 1의 펌프 및 電子밸브 1, 2를 컴퓨터로 制御하기 위하여 制御보드 및 I/O 인터페이스카드를 製作하였다. 프로그램이 實行되면 인터페이스 카드의 IC 8255A의 A port를 통하여 펌프 및 電子밸브 1, 2를 制御하는 信號가 出力된다. 이 信號로 制御 보드의 릴레이들(solid state relays)을 作動시켜 펌프 및 電子밸브 1, 2를 動作되도록 하였다.

그림 1에서 보는 바와같이 計測 시스템이 計測을 할

때에는 평상시 열림상태로 있는 전자밸브 2를 닫힘상태로 轉換하고 養液를 펌프로 4분 30초 동안 작동시켜 臨時 貯藏容器에 저장한다. 이때 전자밸브 1은 닫혀있어 養液水槽로의 흐름을 制御한다. 生體重을 計測하고 난 후 전자밸브 1을 열림상태로 轉換하여 臨時 貯藏容器에 있던 養液를 養液水槽에 다시 채운다. 養液의 水位가 정해진 位置에 이르면 전자밸브 1은 닫힘상태로, 전자밸브 2는 열림상태로 되도록 하였다. 전자밸브 2는 培養水槽의 水位를 항상 일정하게 유지시키는 역할을 하며, 또한 培養液이 培養水槽(growth tank)에서 넘치는 것을 방지하기 위하여 리미트 스위치(limit switch)를 設置하여 培養液이 일정한 水位에 到達하게 되면 전자밸브 1, 2를 遮斷하게 된다.

나. 줄기 測定을 為한 電磁石의 制御

直徑 計測時 2개의 포텐쇼미터로 부터나온 봉이 植物의 줄기부분에 接觸하게 되는데, 이 때 直徑이 正確하게 測定되려면 直徑測定用 봉이 供試作物의 줄기에 密着되어야 한다. 이와같은 문제를 解決하기 위하여 2개의 電磁石를 사용하였으며, 이 電磁石들은 포텐쇼미터에 附着되어 있는 直徑測定봉들이 줄기 方향으로 回轉하여 줄기에 密着하도록 하는 역할을 한다.

줄기直徑 計測時間이 되면 프로그램에 의하여 制御信號를 컴퓨터의 CPU를 통하여 I/O interface card의 A port중의 한 라인으로 포텐쇼미터 制御보드로 내보내게 된다. 이 制御信號는 制御 보드의 포토커플러(photocoupler)를 動作시켜 交流 110 volt가 트랜스와 다이오드 브릿지에 의하여 直流로 變換된 24 volt 電壓을 흐르도록 하여 이 24 volt의 電壓이 電磁石들을 作動하게 된다.

3. 計測 및 制御 프로그램의 開發

植物의 生長情報 to 實時間(real time) 간격으로 온라인 計測하기 위해서는, 지정된 計測時間이 되면 植物의 외적인 变화인 草長, 줄기直徑 및 生體重에 대한 情報를 檢出해 내는 각각의 セン서를 制御, 驅動하고 데이터를 蒐集하는 綜合 컴퓨터 프로그램이 필요하다.

따라서 本 實驗에서는 6 시간마다 生體情報 to 計測하여 날짜 및 시간별로 計測된 데이터를 컴퓨터에 貯藏하며, 또한 養液의 흐름, 超音波驅動과 줄기直徑 測

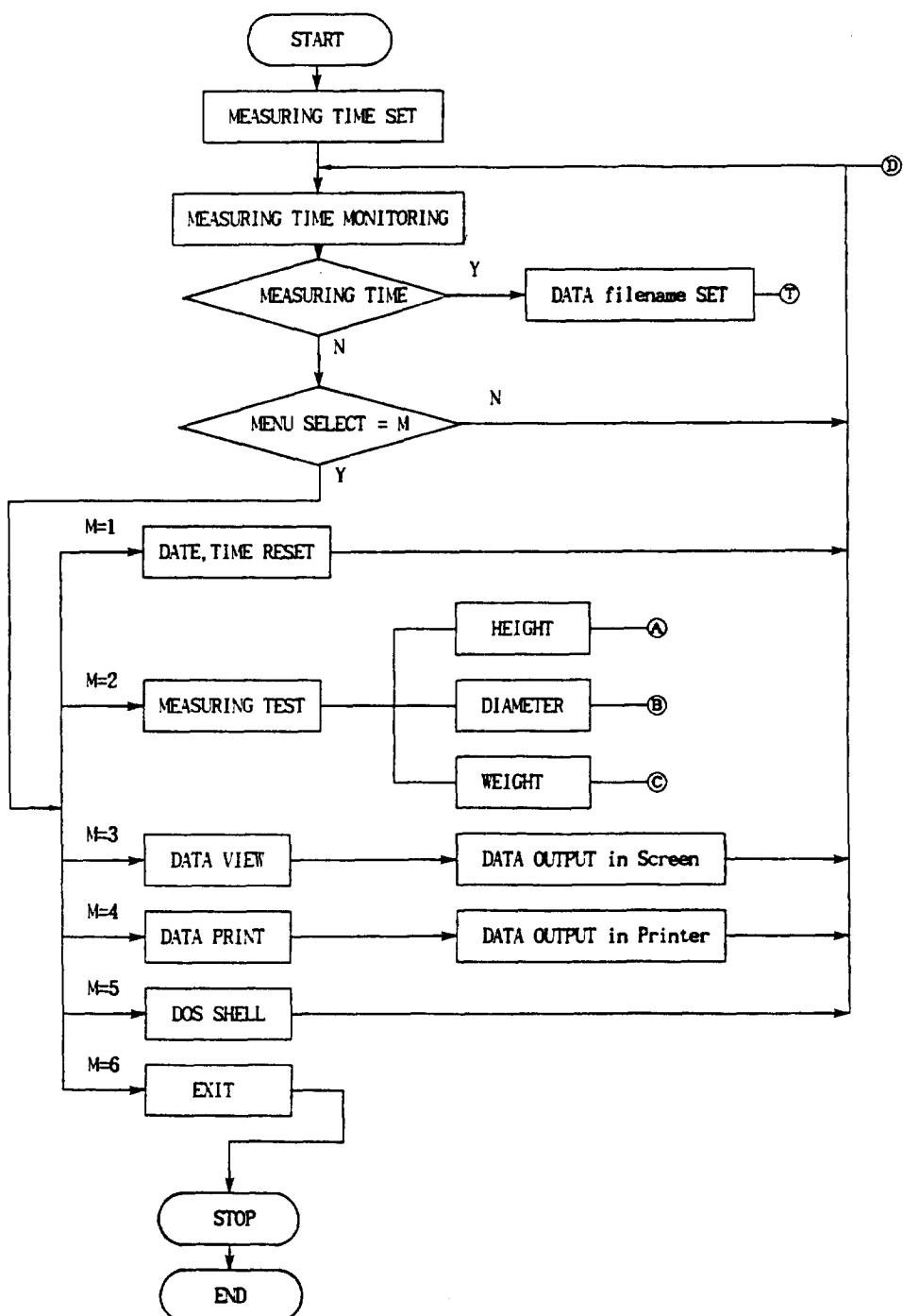


Fig. 6. Flow chart of controlling and measuring program for plant growth responses.

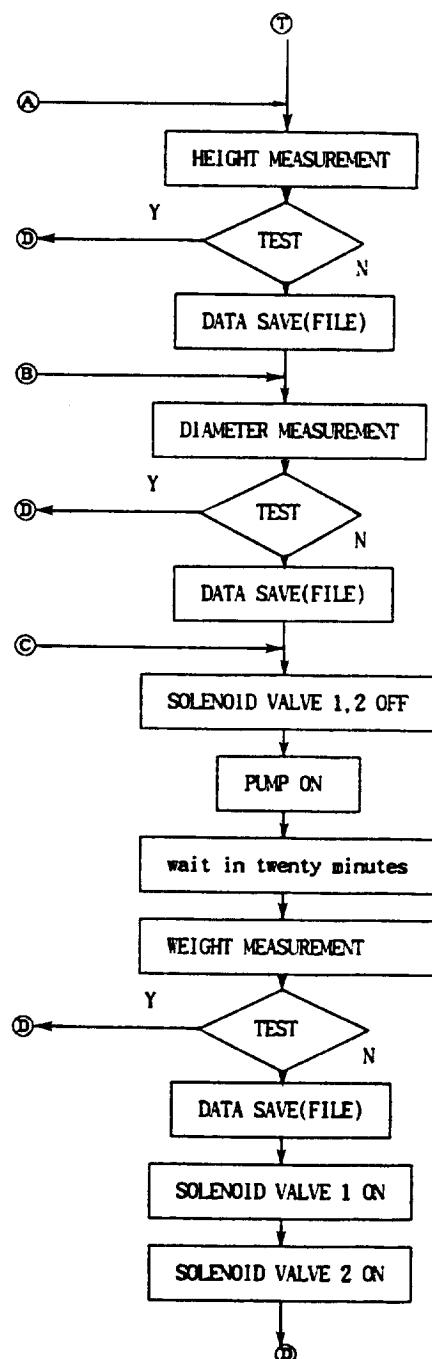


Fig. 7. continued.

定을 위한 電磁石을 連續的으로 制御할 수 있도록 하는 컴퓨터 프로그램을 開發하였다. 프로그래밍을 위해 사용된 言語는 Microsoft社의 Basic 7.1이었으며, 개발된 프로그램의 功能도는 그림 6에 나타내었고, 프로그램에서는 設定된 計測時間은 매초마다 確認하고 計測時間이 아닌 경우에는 植物의 生體情報 각각에 대하여 시스템의 動作 여부를 테스트 해 볼 수 있으며, 컴퓨터에 貯藏된 데이터를 모니터상으로 出力시켜 보거나 프린터로 出力 시킬 수 있도록 하였다.

III. 計測 制御 시스템 檢證

1. 計測 시스템 檢證

여기에서 開發된 植物 生長情報 計測 시스템을 檢證하기 위하여 直徑과 길이가 다른 알루미늄봉을 製作하여 사용하였다. 이 봉들의 길이는 供試作物의 生長程度와 超音波에 의한 草長計測範圍를 考慮하여 15~40cm, 직경은 0.2~2cm 및 무게는 2.99~19.89g의範圍에서 7수준으로 시스템의 檢證을 수행하였다.

檢證用 봉의 길이, 直徑 및 무게를 實測한 후, 植物 支持臺에 7개의 標本을 順次的으로 設置하여 각각 봉의 길이, 直徑 및 무게를 시스템에 의하여 計測하였다. 그 결과 두 값들 간에는 거의 差異가 없음을 알 수 있었다. 實測值와 시스템에 의한 計測值間에 차이의 有無를 檢證하기 위하여 t-test (two-tailed test)를 수행

하였으며 그 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2에서 보는 바와같이 봉의 길이, 直徑 및 무게 모두에서 有意水準 5 %에서 두 값들간에는 差異가 없음을 알 수 있다. 따라서 本研究에서 開發된 시스템으로 植物의 生長情報 를 충분히 計測할 수 있을 것으로 判断되었다.

2. 植物의 生長反應 計測 實例

開發된 시스템과 計測制御 프로그램을 供試作物인 들깨에 적용하여 植物의 生長情報 計測의 可能性을 살펴보았다. 實驗期間은 1992年 8月 18日에서 9月 19日까지 약 30日로 設定하여, 매일 일정한 時間에 連續的으로 作物의 生長變化를 온라인 計測하였다. 作物의 草長, 줄기 直徑, 生體重을 計測한 結果를 그림 7, 8, 및 9에 각각 나타내었다.

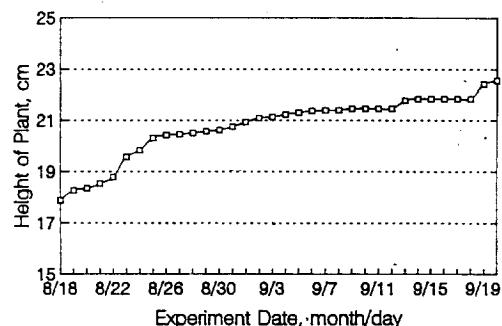


Fig. 7. Daily average plant height by the computer measurement system.

Table 2. The results of statistical analysis for difference between experimental and actual measurement value

Items	Hypothesis H_0	Mean of di's \bar{D}	S.D. S_D/\sqrt{N}	ABS $t = \bar{D}/(S_D/\sqrt{N})$	Comparison $t_{\alpha/2}$	Significant Difference
Height	$\mu_0 = 0$ ($H_1 : \mu_0 \neq 0$)	0.1143	0.0911	1.2548		NO**
Diameter	$\mu_0 = 0$ ($H_1 : \mu_0 \neq 0$)	0.0979	0.1064	0.9205	2.4470	NO
Weight	$\mu_0 = 0$ ($H_1 : \mu_0 \neq 0$)	0.2843	0.1183	2.4032		NO

NOTE :

* : $\mu_0 = \mu_1 - \mu_2$, μ_1 : Mean of experimental value, μ_2 : Mean of actual measurement value

** : 5% significant level

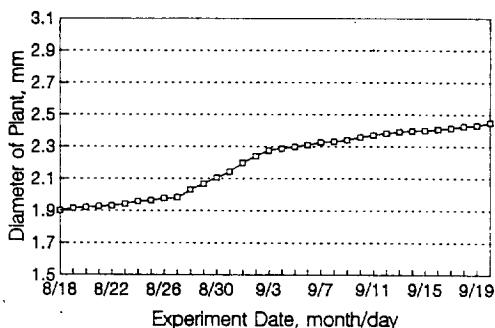


Fig. 8. Daily average plant stem diameter by the computer measurement system.

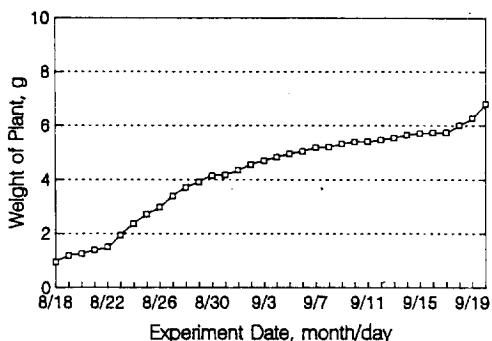


Fig. 9. Daily average plant weight by the computer measurement system.

본 연구에서는 供試作物에 대한 最適生育環境條件 조성에 力點을 두지 않았기 때문에 生長變化들의 폭은 그리 크지 않았지만 生育 기간동안 供試作物의 미세한 生長의 變化도 이 시스템에 의하여 計測할 수 있었다.

IV. 結論

作物의 生育 環境을 最適狀態로 制御하고 作物生產에 소요되는 에너지의 利用效率을 높이기 위해서는 무엇보다도 生育過程에 있는 作物의 生長情報 to 連續的으로 計測할 필요가 있다. 따라서 本研究는 作物의 生長情報 to 連續的으로 온 라인 計測하기 위한 시스템을 開發하기 위하여 수행되었다.

生長information을 非破壞의 方法으로 計測하기 위하여 草長의 경우는 超音波(ultrasonic wave)를 이용한 距

離計를 應用하였고, 줄기直徑의 경우는 포텐쇼미터(potentiometer)를 이용하였으며, 生體重의 경우는 스트레인 게이지(strain gage)를 이용하여 제작한 荷重變換器를 사용하였다. 生長情報 to 計測하기 위한 각 센서를 컴퓨터와 인터페이스(interface) 시킴으로써 센서에 의해 計測된 각 生長情報 to 落集할 수가 있었다. 또한 計測 및 制御 프로그램을 開發하였으며, 開發된 植物의 生長情報 計測 시스템을 이용하여 供試作物인 들깨를 대상으로 計測을 수행하였다.

그結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 開發된 시스템은 마이크로컴퓨터(microcomputer), 超音波裝置, 포텐쇼미터를 이용한 줄기直徑計測裝置, 生體重計測裝置, 自動制御되는 養液循環裝置, 앰프(amplifier), 오실로스코프(oscilloscope), 12 bit/16 채널의 A/D 變換器 등으로構成되었다.
2. 센서驅動裝置와 이 센서들을 컴퓨터와 연결 시켜주는 인터페이스 카드(interface card)와 포텐쇼미터와 養液循環을 制御하는 制御 보드(control board)를 開發 및 製作을 하였다.
3. 시스템 全體를 統合 制御할 수 있는 計測 및 制御 프로그램을 Microsoft社의 Basic 7.1인 語言를 사용하여 開發하였다.
4. 開發된 시스템을 檢證했던 結果, 實測值와 시스템에 의한 計測值 간에는 5%의 有意水準에서 差異가 없음을 確認할 수 있었다.
5. 開發된 시스템과 計測制御 프로그램을 供試作物인 들깨에 適用하여 植物의 生長反應을 計測했던 結果, 들깨의 미세한 生長의 變化도 比較的 the 正確하게 計測할 수 있었다.

V. 參考文獻

1. 康榮熹, 權寧命, 崔善英 공역. 1987. 作物生理學. 아카데미서적.
2. 김광조, 박상근. 1991. 水耕栽培. 오성출판사.
3. 동역메카트로닉스. 1990. PC를 利用한 計測制御 시스템. 영진출판사. 238~273.
4. 柳寬熙, 鄭昌柱, 高學均, 崔在甲, 劉壽男, 1980. 農業機械 要素의 스트레인 게이지 應用에 관한 研究.

- 韓國農業機械學會誌 5(2) : 40~57.
5. 柳寬熙 외 4인. 1987. 計測 및 마이크로 컴퓨터 活用技術. 韓國農業機械學會.
6. 李玲熙. 1988. 水耕栽培技術. 대학서림.
7. 電氣電子界. 1989. 超音波 센서를 사용한 「디지털 거리계」의 제작. 8월호. 32 41.
8. 電子技術研究會. 1989. 알기쉬운 超音波 應用. 기문사.
9. 全在昇 譯. 1989. 센서인터페이싱. 機電研究社. vol. 3.
10. 金榮海 譯. 1989. 센서인터페이싱. 機電研究社. vol. 2.
11. 崔鍾碩 외 5인. 1982. 新制 統計學. 三亞社.
12. 編輯部. 1987. 實제의 퍼스컴을 利用한 마이컴 인터페이스. 가남사.
13. 橋本 康. 1982. 植物生體情報と環境の計測(7). 農業および園藝 57(10) : 110~112.
14. 丹毒 登. 1964. 空氣中の超音波による計測と制御. 計測と制御 3(7).
15. 佐藤 祐稔, 宮本 啓二, 松田 清明. 1992. 超音波センサによるブームスプレーヤの噴霧高の制御 (制 1 報) -超音波による噴霧高さの検出特性-. 日本農業機械學會誌 54(2) : 31~39.
16. 高迅正基. 1979. 植物工場. 講談社ブルーバックス.
17. 高迅正基. 1982. 植物工場の基礎知識と實際. 技術情報講センター.
18. 高倉 植. 1977. 栽培工場のシステム制御. 計測と制御 14(6) : 14~15.
19. 吉在 豊樹. 1985. 施設園藝の環境調節新技術. 206 pp. 日本施設學會.
20. KASHIWAZAKI, M., O. KITANI, T. OKAMOTO, and T. TORII. 1991. Measurement of Field Profile using Ultrasonic Technique (part1) -Fundamental Character of measuring System-. J. JASE 53(6) : 23~31.
21. Huck, M. G. and B. Klepper. 1977. Water relations in cotton . Continuous estimates of plant water potential from stem diameter measurements. Argon. J. 69 : 593~597.
22. Klepper, B., V. D. Browning, and H. M. Taylor. 1971. Stem diameter in relation to plant water status. Plant Physiol. 48 : 683~685.