

## PLC를 이용한 온실의 환경제어

# Control of Environments in Greenhouse Using Programmable Logic Controller

|           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|
| 김 동 역*    | 조 한 근**   | 김 형 준***  |
| 정희원       | 정희원       |           |
| D. E. Kim | H. K. Cho | H. J. Kim |

### ABSTRACT

This study was carried out to develop the control system with PLC and its operating software and to investigate its control ability of greenhouse environments.

Two experimental greenhouses were controlled by PLC and ON/OFF controller, respectively.

In greenhouse controlled by PLC, target values of air temperature, relative humidity and CO<sub>2</sub> concentration were automatically changed. In warm-water heating, the variation of air temperature was reduced to  $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$  by the method of proportional-integration(PI) control with an inverter. In ventilation, the variation of air temperature was reduced, since windows open and close with multistage by mutual relation formula among the target, indoor, and outdoor temperature. Relative humidity at daytime was maintained with range of 35% to 55% by PLC controlled fogger. CO<sub>2</sub> concentration was automatically controlled from 300 to 800  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  according to amount of solar radiation. The suppling amount and frequency of nutrient solution were controlled by total integrated solar radiation.

Difference in the yield of cucumber in the greenhouse controlled by PLC and by ON/OFF controller was not significant at the 5% level.

**주요용어(Key Words):** 자동제어(Automatic control), 오이(Cucumber), 온실(Greenhouse), 프로그래머블 콘트롤러(PLC)

### 1. 서 론

온실환경제어의 목적은 작물생육에 적합한 환경을 조성하여 작물생장을 원활하게 함으로써 수량과 품질을 높이는 것이다. 재배기술이 아무리 뛰어나다고 하더라도 환경이 뒷받침되지 않으면 작물재배에 있어서 성공을 기대하기란 어렵다. 그렇다고 환경을 제어하기 위해 과도한 에너지를 투입하는 것은 바람직하지 못하다. 그러므로 환경조절은 구동부의 작동

을 최소화하면서 작물 생육에 적합한 환경으로 조성해 주는 쪽으로 이루어져야 한다.

김(1995a)은 80286 CPU를 사용하여 One-board형 종합제어용 콘트롤러를 제작하여 관수, 관비, 방제 및 환기 등을 종합 제어하였다. 김(1995b) 등은 관수 자동화, 관비 및 방제의 자동화, 혼합 및 환기의 자동화 등에 관한 프로그램을 개발하고 그 적용성을 검토하였는데, 토양 수분장력계를 이용하여 점적관수장치로 오이에 관수와 관비를 실시하였다.

\* 농업기계화연구소 생물생산기계과

\*\* 충북대학교 농업기계공학과

\*\*\* 원예연구소 시설재배과

古在(1982) 등은 계측은 5초마다, 제어기기의 ON/OFF는 1분마다 실시하였고, 천창을 최대 30°까지 다섯 단계로 개폐하였으며, 보온커튼은 16시 이후 실온이 설정치 이하로 되면 닫히고 일출 후 설정치 이상 되면 열리도록 하였다. 탄산가스는 일출부터 정오의 범위에 양천창이 닫힌 상태에서 일사량이 일정치 이상되면 ON 되도록 하였다. 高倉(1979) 등은 5단 변온을 채택하였으며, 천창 4단, 측창 2단으로 비례제어를 하였고, 탄산가스는 환기팬이 정지하고, 천측창이 완전히 닫힌 상태에서 15분간의 적산일사량에 비례하여 변경된 탄산가스농도 설정치에 따라 발생기가 ON/OFF 되도록 하였다. 커튼은 일사량 및 실외기온에 따라 조절하였다. Bailey(1985)는 온실의 열 손실이 풍속에 따라 변화하므로 온도를 풍속에 따라 조절하였다.

이(1992) 등은 온·습도 제어를 위해 ON/OFF 제어 방식과 PID 조절기의 알고리즘을 채택하였으며, 최적 PID 상수를 결정하기 위해 스텝응답 특성을 사용하여 자동보정 알고리즘을 개발하였다.

지금까지의 환경조절장치는 시스템 구성과 제어 성능의 향상에 주안점을 두고 있어 제어성능은 정밀하지만 에너지 면에서 비효율적인 요소가 있고 또한 재배되는 작물을 배제한 채 프로그램이 되어 있어 이에 대한 보완이 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 PLC를 이용하여 자동제어 시스템을 구성하고 오이재배 온실을 자동 조절하기 위해 온도, 상대습도, CO<sub>2</sub> 농도, 양액 혼합 및 공급을 제어대상으로 한 알고리즘을 개발하여 그 제어성능을 평가하고 더 나아가 환경조절에 따른 오이의 생육반응을 검토하고자 수행되었다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에 이용한 온실은 가로 6m × 세로 12m 규모의 양지붕형 철골 폴리카보네이트(Polycarbonate) 온실이며 환기창은 프로젝트식으로 천창과 2단 측창으로 되어 있다. 한 동은 PLC로 난방과 환기에 의해 온도를 조절하였으며, fog에 의해 주간 습도를 조절하였고, CO<sub>2</sub>농도에 따라 CO<sub>2</sub>를 공급하였으며, 일출시각과 날짜에 의해 스크린을 개폐하였고, 적산일사량에 따라 양액을 공급하였다. 다른 한 동은 써머스테이트에 의한 난방과 온도조절기에 의한 환기에 의해 온도를 조절하였고, PLC로 3~4시간 간격으로 양액을 공급하였다. 타이머에 의해 스크린을 개폐하였으며, 습도조절은 하지 않았다.

### 가. 환경조절장치

온실 환경조절시스템은 온실 내·외 환경을 계측하기 위한 센서부, 연산과 비교·판단 처리를 담당하는 PLC부, 조작부 그리고 개폐모터, 보일러, 팬, CO<sub>2</sub> 발생기, fog 장치로 구성된 구동부로 구성되어 있다. 양액 혼합 및 공급 시스템은 EC 센서, pH 센서, 수위 센서와 정량 주입펌프, 질소 압력펌프 및 전자밸브로 구성되어 있다.

사용된 PLC는 카드식으로 되어 있는 Maxcom s series(CPUD-04S, 동양산전)를 사용하였으며, 표 1과 2는 각각 환경조절에 사용된 PLC의 특성과 계측에 사용된 센서들의 특성을 나타낸 것이고, 그림 1과 그림 2는 각각 온실 자동조절 시스템과 양액 혼합공급 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

Table 1 Specifications of programmable logic controller

| Item            | Type      | Specifications     |
|-----------------|-----------|--------------------|
| CPU             | CPUB-16S  | 16k Word           |
| CPU link module | CLMA-32S  | Maximum 32 link    |
| Power module    | SPSA-60S  | AC 110V~220V       |
| Analog input    | AGIH-04SX | 12 Bits, 4 channel |
| Analog output   | AGOS-04SX | 8 Bits, 4 channel  |
| Relay output    | DAOR-16SX | 16 point           |

Table 2 Specifications of sensors used on environmental control

| Sensor          | Model                             | Range                              |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Temperature     | RTD (PT-100 Ω)                    | -200~600℃                          |
| Humidity        | RH/℃ transmitter (HI 8666)        | 10~100%                            |
| Radiation       | Pyranometer sensor (LI-200SA)     | 0~3,000W · m <sup>-2</sup>         |
| CO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> Monitor (GH 250E) | 100~3,000 μmol · mol <sup>-1</sup> |
| EC              | Conductivity controller (DC-604)  | 0~5mS · cm <sup>-1</sup>           |
| pH              | pH controller (pH-6000)           | 0.0~14.0pH                         |

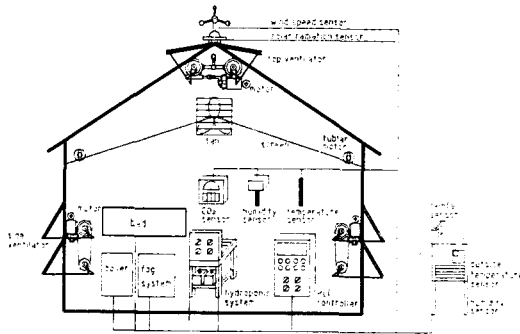


Fig. 1 Schematic diagram of environmental control system in greenhouse.

나. 작물재배 및 조사방법

오이는 은성백다다기(홍농종묘)로 97년 2월 5일에 파종하여 2월 22일에 대목인 박(흑종)에 접목하고 3월 18일에 정식하였다.

재배방식은 펠라이트 비순환방식으로 100 × 37 × 19cm 규격의 스티로폼 베드를 사용하였다. 재배 베드는 3m × 3열로 배치하였으며, 배지온도는 약 40℃의 물을 베드 내로 순환시켜 야간에도 20℃ 이상 유지되도록 하였다. 양액은 야마자키 오이양액(山崎, 1981)을 100배 농축하여 사용하였으며, pH 교정액으로써 산은 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 알칼리는 NaOH를 0.3N의 농도로 희석하여 사용하였다.

온·습도는 온습도측정 기록기(TR72)를 온실 중앙 120cm 높이에 설치하여 측정하였다. CO<sub>2</sub> 농도와 일사량은 각각 CO<sub>2</sub> Monitor(GH 250E)와 Pyranometer sensor(LI-200SA)를 이용하여 Data logger로 측정하였다.

혼합된 양액의 EC와 pH 조절 정도를 파악하기 위

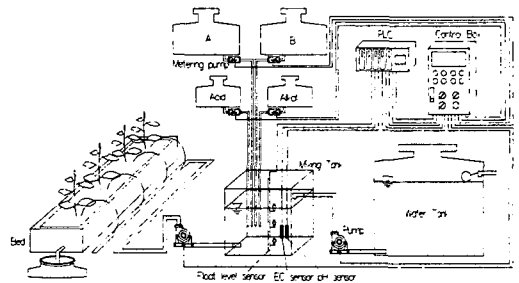


Fig. 2 Schematic diagram of hydroponic system.

해 아침 9:00~9:30에 혼합탱크내 양액을 채취하여 측정하였다. 양액 공급량은 공급시간을 기준으로 환산하였다.

오이의 수량은 생육정도가 중간정도인 10주를 임의로 정하고, 수확과수와 중량을 측정하여 10a당 수확량으로 환산하였다.

다. 환경 조절

주간온도는 28℃로 설정하였으며 야간온도는 15℃로 유지하다가 오이가 달린 후에는 轉流促進恒溫帶를 18℃, 呼吸抑制恒溫帶를 12℃로 설정하여 변온관리하였다(坂木, 1983). 작물은 야간에 향온을 유지하는 것보다 변온관리를 하는 것이 생육에도 좋을 뿐만 아니라 에너지도 절약된다. 변온관리 시간대는 일출시각과 날짜에 따라 결정되도록 하였으며, 전류 촉진향온대는 그날의 적산일사량에 따라 전류 촉진대 유지시간과 설정온도가 가감되도록 하였다. 각 향온대 사이 구간은 급격한 온도변화가 일어나지 않게 하기 위하여 식(1)에 의해 설정온도가 단계적으

로 변경되도록 하였다.

$$1^{\circ}\text{C (상승 or 하강) 시간} = \frac{\text{온도대 간의 온도차}}{\text{온도대 사이의 시간간격}} \dots\dots\dots (1)$$

주간 최저 상대습도는 45%로 설정하고, 야간 최고 상대습도는 90%로 설정하였으며, 주간 상대습도는 천정부에 설치된 노즐을 통해 고압의 물이 나올 때 미립화되면서 발생하는 fog(song fog, 세기교역)를 사용하여 조절하였다. CO<sub>2</sub> 농도는 일사량에 따라 3단계로 변경하였는데, 일사량이 200W · m<sup>-2</sup> 이하 일 때는 300~400 μmol · mol<sup>-1</sup>, 200~600W · m<sup>-2</sup> 범위일 때는 500~600 μmol · mol<sup>-1</sup>, 600W · m<sup>-2</sup> 이상 일 때는 700~800 μmol · mol<sup>-1</sup>을 유지되도록 하였다. CO<sub>2</sub>는 탄산가스 발생기를 사용하여 일출 시부터 정오 또는 개창 전까지 공급하였다. 표 3은 PLC 조절 온실과 일반 ON/OFF 조절 온실의 환경조절방식을 나타낸 것이다.

(1) 창 개폐

개도는 30분 간격으로 변경되도록 하였는데, 외기 온이 20℃ 이상일 때에는 전(全)개도의 100%를 개폐하고, 그 이하일 때에는 50%를 개폐하도록 하였다.

또한 개도는 설정온도와 현재온도의 차에 따라 결정되도록 하였다. 각 창을 3단계 × 5 = 15단계로 개폐하였는데, 단계가 1~3 일 때 천창(A), 4~6 일 때 A + 측창1(B), 7~9 일 때 B + 측창2(C), 10~12 일 때 C + 측창3(D), 13~15 일 때 D + 측창4가 열린 상태가 되는데, 열리는 마지막 창은 각 값을 3으로 나누어 나머지가 1, 2, 0 일 때 각각 33%, 66%, 100% 열린 상태가 되도록 하였다. 이 때 조절량은 조절량 산정식에 의해 결정되며, 조절간격은 5분으로 설정하였다. 현재온도가 설정온도보다 높으면 열림식에 의한 열림 동작을 하고, 현재온도가 설정온도보다 낮으면 닫힘식에 의한 닫힘 동작을 하도록 하였다. 표 4는 창 개폐에 사용된 조절량 산정식을 나타낸 것이다.

(2) 온수난방

온수난방은 비례적분 제어를 실시하였는데 그 원리는 설정온도와 현재온도와의 차에 따라 식 (2)의 연산에 의해 조절량 M<sub>n</sub>이 결정되고 그 값에 해당하는 출력(4~20mA)이 벡터인버터(HYDRIVE-J100, 현대중공업)를 통해 주파수를 변화시키고 그 주파수에 의해 3상모터의 회전수가 바뀌도록 하였다. 계수 값은 스텝응답 특성(朴, 1992)을 이용하여 설정하였다. 여기서, 응답지연시간 L은 500초이고 기율기 R은

Table 3 Method of environmental control in PLC and ON/OFF control greenhouse

| Division                | PLC control              | ON/OFF control    |
|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| Heating                 | PI control               | ON/OFF control    |
| Ventilation             | Multi stage open / close | Full open / close |
| Night temperature       | Change                   | Unchange          |
| Humidity                | On and off               | -                 |
| CO <sub>2</sub> control | Solar radiation          | -                 |
| Screen                  | Multi stage open         | Full open         |

Table 4 Formula to decide the amount of control for the ventilator

| Window status | Amount of control                                     |
|---------------|---|
| Open          | a × 0.34 ×   Setting temperature - Indoor temperature |
| Close         | b × 0.34 ×   Setting temperature - Indoor temperature |

a : 15 - Open step of present.  
 b : 15 - Close step of present.

0.00164이므로 P값은 90으로 결정되었고,  $T_1$ 값은 1667로 결정되었다.

$$\Delta M_n = \frac{100}{P} \left\{ (e_n - e_{n-1}) + \frac{T_s}{T_1} e_n \right\}$$

$$M_n = \Delta M_n + M_{n-1} \dots\dots\dots (2)$$

P : 비례대

$e_n$  : 설정온도와 현재온도와의 차

$T_s$  : 샘플링 주기

$T_1$  : 적분 시간

$M_n$  : 출력값

L : 응답지연시간

R : 기울기

(3) 양액 혼합 및 공급

양액 혼합은 야마자키(山崎)액의 조성기준에 따라 표준설정 EC는  $2.0\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 표준설정 pH는 5.8~6.0을 유지하도록 설정하였다. EC 교정을 위한 정량 주입펌프 가동시간은 식 (3)에 의해 결정되도록 하였다. 설정 EC에 도달하는 데 걸리는 시간은 순수한 물에서  $2.0\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 인 양액으로 되는데 걸리는 정량주입펌프의 가동시간으로 하였다.

$$\text{가동시간} = \frac{|\text{설정 EC} - \text{현재 EC}|}{\text{설정 EC}} \times$$

설정 EC에 도달하는데 걸리는 시간 ..... (3)

양액은 혼합탱크 내에서 EC와 pH를 완전히 맞춘 후 공급되도록 하였는데, 적산일사량이 3.5MJ 이상 되면 공급되도록 하였으며, 재배베드에서 양액이 배출되기 시작하는 시점에 멈추도록 하였다.

라. 환경제어 프로그램

그림 3은 환경조절에 대한 전체 흐름도를 나타낸 것이다. 각 시간대의 설정온도는 일출시각과 날짜에 따라 자동으로 변경되고, 조건에 따라 난방, 환기, 냉방 루틴을 실행하도록 프로그램하였다. 강풍이나 강우시 등 비상사태를 대비하여 제한루틴을 두었다.

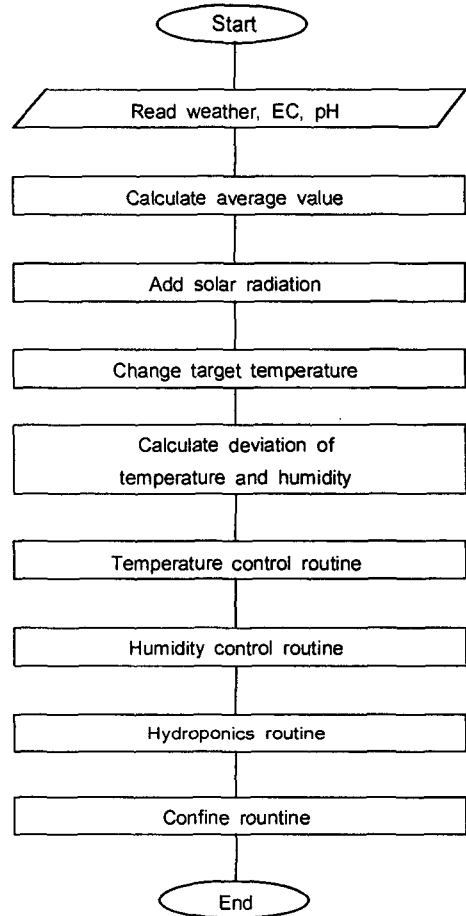


Fig. 3 Main flowchart for environmental control in the greenhouse.

3. 결과 및 고찰

가. 난방

온수난방시 PLC에 의해 비례적분제어된 온실과 써머스태트에 의해 ON/OFF 제어된 온실의 온도 변화를 살펴보면 비례적분제어 온실에서는 약 0.6℃의 편차를 보인 반면, ON/OFF 제어된 온실에서는 약 1℃의 편차를 보였다. 이와 같이 온수보일러의 순환 모터를 온도차에 따라 비례적분제어한 결과 온도편차가 줄어 들었다. 그림 4는 PLC에 의해 비례적분제어된 온실과 써머스태트에 의해 ON/OFF 제어된 온실의 온도변화를 나타낸 것이다.

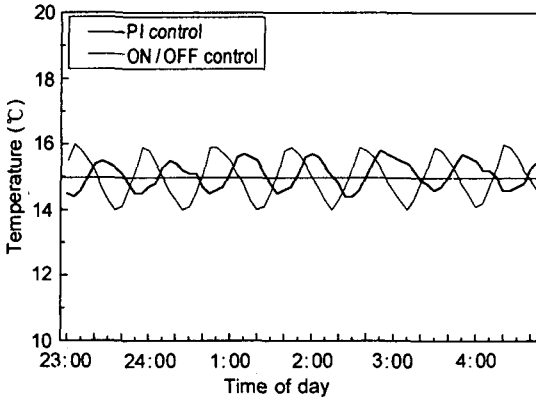


Fig. 4 Change of air temperature in greenhouse controlled by the methods of PI and ON/OFF control in warm water heating (Nov. 16, 1996).

나. 환기

환기시 조절간격에 따른 온도변화를 살펴보면, 창과 팬에 의한 환기시 실내온도는 조절간격을 5분으로 한 경우에는  $\pm 1.9^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 보인 반면, 3분으로 한 경우에는  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 나타내어 조절간격을 짧게 하여도 조절 정도는 뚜렷하게 좋아지지 않는 경향을 보였다. 이것은 환기에 의해 온실내 온도가 평형을 이루는 데는 다소 시간이 걸리기 때문으로 생각된다. 그러므로 조절간격은 5분 정도가 적당하다고 판단된다. 온도편차는 오전이 오후보다 컸는데 이것은 오전에 외기온이 낮기 때문에 외부의 찬공기가 급격히 유입되었기 때문으로 생각된다. 그러므로 에너지를 적게 들이면서 온도 조절을 하기 위해서는 개도를 변화시키는 것이 좋은데, 기온이 낮을 경우에는 찬공기의 급격한 유입을 피하고, 조절간격을 오전에는 짧게 오후에는 길게 하거나 외기온에 따라 조절간격을 달리하는 것이 바람직하다고 판단되었다. 주간의 온실내 온도는  $28^{\circ}\text{C}$  내외로 조절되었는데 PLC에 의해 단단계 개폐된 온실에서 Temperature controller(DX07, 환원정기)에 의해 전개·폐된 온실보다 좋은 제어성능을 나타내었다. 그림 5는 환기시 온도변화를 나타낸 것이다. 그림 6은 주간온도 변화 추이를 나타낸 것이다.

다. 습도

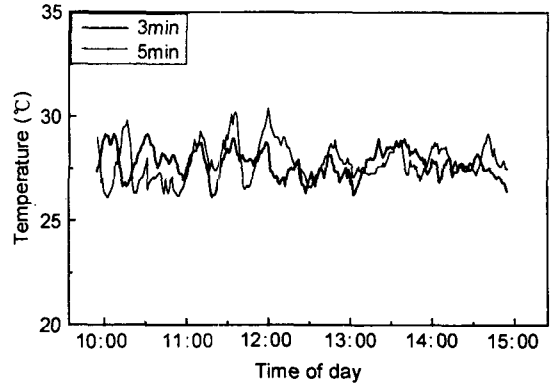


Fig. 5 Change of air temperature in greenhouse. Greenhouse was ventilated at 3 and 5-minute intervals in the base of the difference between target temperature and present temperature(Oct. 10, 1997).

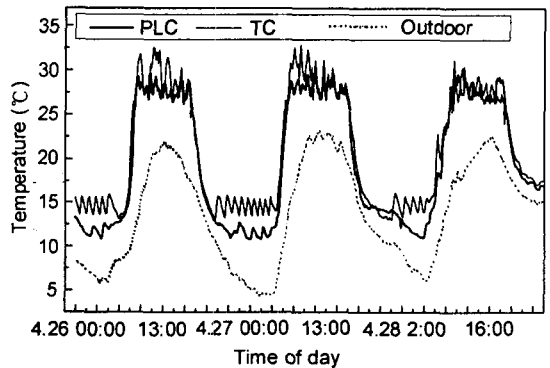


Fig. 6 Change of air temperature in greenhouse controlled by PLC and TC (Apr. 26 to 28, 1997). TC : temperatute controller.

예비실험결과 fog를 연속 사용할 경우 60% 이상의 상대습도를 유지할 수 있었으나 실내가 뿌연해지기 때문에 이를 방지하기 위해 50초 가동과 10초 정지를 반복하도록 하였다. 따라서 주간 상대습도를 유지가능한 습도인 45%로 설정하였다. 그림 7은 fog와 팬에 의해 조절된 주간 상대습도의 변화를 나타낸 것이다. 주간 온실 내 상대습도는 35~55% 사이에서 조절되었는데, 그 편차는 외부습도가 낮은 경우에 다소 증가하였다. 습도를 조절하지 않은 온

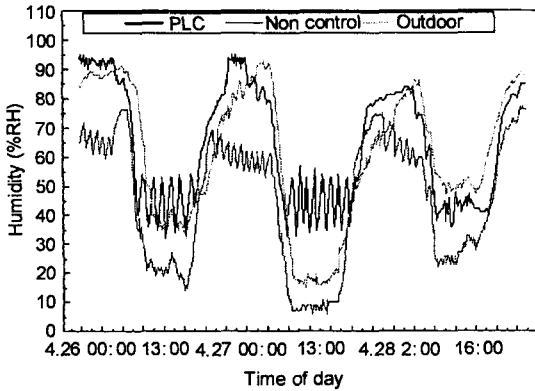


Fig. 7 Change of relative humidity in greenhouse for 3 days. Fogging system was operated by PLC (Apr. 26 to 28, 1997).

실에서의 상대습도는 주간에 최대 10%까지 떨어져 매우 낮은 수치를 나타내었다. 그러나 야간에는 습도를 조절한 온실보다 오히려 습도가 낮았는데, 이것은 조절하지 않은 온실의 야간 설정온도가 15℃이고, PLC 조절 온실의 설정온도가 12℃이므로 전자 온실의 상대습도가 가온에 의해 낮아졌기 때문이라고 생각된다.

라. CO<sub>2</sub> 농도

CO<sub>2</sub> 농도는 CO<sub>2</sub> 시용과 더불어 800 μmol · mol<sup>-1</sup> 까지 증가했다가 환기가 시작되면서 300~350 μmol · mol<sup>-1</sup>로 유지되었다. 또한 두 번의 CO<sub>2</sub> 농도 감소 현상이 있었는데 이것은 외부 일사량이 낮아져 설정치도 낮아졌기 때문으로 생각된다. 따라서 CO<sub>2</sub>를 연속 시용해도 보통 온실에서는 1,000 μmol · mol<sup>-1</sup> 이상 유지되기 어렵기 때문에 봄, 가을 환기가 필요한 시기에는 일출 시부터 오전 개창 전까지 연속 시용해도 상관없다고 판단되었다. 그림 8은 CO<sub>2</sub> 조절에 따른 온실 내 CO<sub>2</sub> 농도변화를 나타낸 것이다.

마. 양액 혼합 및 공급

양액 혼합시 혼합탱크내 EC는 2.0 ± 0.1mS · cm<sup>-1</sup>로 조절되었고, pH는 5.8 ± 0.7로 조절되어

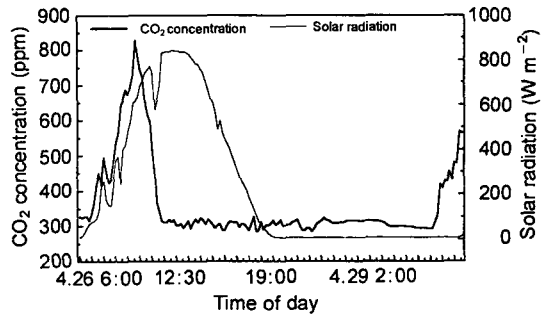


Fig. 8 Change of CO<sub>2</sub> concentration in greenhouse. CO<sub>2</sub> generator was operated by PLC (Apr. 28 to 29, 1997).

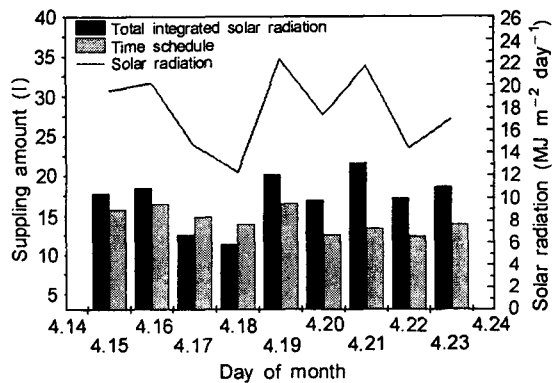


Fig. 9 Suppling amount of nutrient solution by the integrated solar radiation and time schedule (Apr. 14 to 24, 1997).

양액 혼합에 있어서는 양호한 성능을 나타내었다.

양액 공급시기를 적산일사량에 의해 결정한 결과, 맑은 날에는 晝間 5~6회 공급되었고, 흐린 날에는 晝間 2~3회 공급되었다. 또한 양액 공급량과 흡수량 모두 적산일사량에 따라 크게 변화된 반면 일정 시간에 양액을 공급한 경우에는 적산일사량에 따라 크게 변화되지 않았다. 그림 9는 적산일사량에 따른 양액 공급량의 변화를 나타낸 것이다.

바. 수량

표 5는 환경조절에 따른 오이의 수량특성을 나타낸 것이다. PLC에 의해 종합적으로 환경 조절한 온

Table 5 Yields of cucumber fruits on environmental control (Apr. 10 to May 31, 1997)

| Control Type   | Fruit weight (g) | No. of fruits per plant | Yield (kg/10a) |
|----------------|------------------|-------------------------|----------------|
| PLC control    | 193.0            | 18.4                    | 6,172 (114)    |
| ON/OFF control | 181.3            | 16.6                    | 5,417 (100)    |
| t 0.05         | NS               | NS                      |                |

실이 ON/OFF로 단순 조절한 온실보다 주당 수확과 수가 많았으며 오이 수량은 약 14% 증대되었다. 그러나 t검정 결과 평균과중과 주당 평균수확과수에 있어서 유의성은 인정되지 않았다.

는데, 공급량은 적산일사량에 따라 비례하였다.

(6) PLC에 의해 정밀하게 환경 조절한 결과 단순 조절한 온실보다 주당 수확과수도 많았으며 수량도 약 14% 증대되었으나 유의성은 인정되지 않았다.

#### 4. 결 론

#### 참 고 문 헌

온실의 환경을 자동조절하기 위해 PLC를 이용한 자동조절 시스템과 그 운영 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 시스템에 의해 조절된 온도, 상대습도, CO<sub>2</sub> 농도 그리고 양액 공급량과 오이의 수량을 조사하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 온수난방시 백터인버터와 삼상순환모터를 설치하여 순환모터를 비례적분제어한 결과 온도제어 편차는 ± 0.6℃를 나타내었다.

(2) PLC에 의해 창을 단단계로 개폐한 결과 온도 조절기에 의해 전(全)개폐한 온실보다 온도편차가 줄어들었다. 또한 환기에 의한 온도변이는 외기온이 낮은 오전이 오후보다 다소 컸으며, 환기조절 간격이 줄어들음에 따라 조절정도는 크게 좋아지지 않았다. 그러므로 조절간격은 5분 정도가 적당하다고 판단되었다.

(3) Fog는 과포화를 방지하기 위하여 간헐적으로 가동하였는데, 주간 상대습도는 35~55% 사이에서 변동하였으며, 외부습도가 높을수록 그 변동폭은 작아졌다.

(4) 탄산가스 농도의 제어는 일출부터 정오사이 모든 창이 닫힌 상태에서 일사량에 의해 변경된 설정농도에 따라 300~800 μmol · mol<sup>-1</sup>로 자동 조절되었다.

(5) 양액 농도(EC)는 2.0 ± 0.1mS · cm<sup>-1</sup>로 조절되었고, pH는 5.8 ± 0.7로 조절되었으며, 양액 공급은 적산일사량이 3.5MJ 이상되면 공급되도록 하였

1. 김진현, 김철수. 1995a. 마이크로컴퓨터에 의한 시설재배의 자동화에 관한 기초 연구(II) : 자동화 시스템의 종합제어기 개발. 한국농업기계학회지 20(1):73-86.

2. 김진현, 김철수. 1995b. 마이크로컴퓨터에 의한 시설재배의 자동화에 관한 기초 연구(IV) : 자동화 시스템용 종합제어기의 응용. 한국농업기계학회지 20(3):288-298.

3. 박윤기. 1992. 計裝制御시스템. pp. 17-63. 圖書出版世和, 서울.

4. 이규철, 류관희, 노상하, 홍순호. 1992. 完全制御型 實驗用 作物生育裝置의 開發(I). 한국농업기계학회지 17(1):55-64.

5. 板木利隆. 1983. 施設園藝裝置と栽培技術. pp. 174-246. 誠文堂新光社, 東京.

6. 山崎肯哉. 1981. 養液栽培全編. pp. 13-92. 博友社, 東京.

7. 高倉直, 岡田益己, 島地英夫, 奈良誠. 1979. 溫室の複合制御用 マイクロコンピュータシステムの試作. J. Agr. Met. 35(2):97-102.

8. 古在豊樹, 伊東正, 稻山光男, 小林肇. 1982. マイクロコンピュータによる溫室環境管理システムの開發と實用化試験. J. Agr. Met. 38(1):45-50.

9. Bailey, B. J. 1985. Wind dependent control of greenhouse temperature. Acta horticulturae 174:381-386.