

PLC를 이용한 온실환경제어

Control of environments in Greenhouse Using Programmable Logic Controller

김동억* 조한근**
정희원 정희원
D.E.Kim H.K.Cho

1. 서론

최근 들어 시설원예에 있어서도 농산물의 전면 수입개방과 함께 농촌 노동력의 감소, 부녀화 그리고 고령화 등과 농업여건이 급격히 악화되고 있다. 이러한 어려움을 해결하기 위한 좋은 방법 중의 하나는 온실환경의 최적제어를 꼽을 수 있다. 온실환경을 적절히 제어하면 작물생육에 적합한 환경을 조성하여 작물의 수량과 품질을 높이는 것이 가능하다. 또한 재배관리에 투여되는 노동력을 절감하여 넓은 면적의 관리가 가능하게 된다.

환경제어의 기본은 최소의 에너지로 조절효과를 극대화하는 것이다. 그러나 지금까지의 환경조절장치는 시스템 구성과 제어성능의 향상에 주안점을 두고 있어 제어성능은 정밀하지만, 에너지 이용 면에서 비효율적인 요소가 있고 또한 재배되는 작물을 배제한 채 프로그램 되어 있어 이에 대한 보완이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 PLC를 이용하여 자동제어 시스템을 구성하고, 오이재배 온실을 자동조절하기 위해 온도, 습도, CO₂ 농도, 양액 혼합 및 공급을 제어대상으로 한 알고리즘을 개발하고, 알고리즘의 적합성과 그 제어성능을 평가하기 위하여 온도, 습도, CO₂ 농도 설정치와 제어치의 분포를 비교하고, 환경조절에 따른 오이의 생육반응을 검토하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구에 이용한 온실은 가로 6m × 세로 12m 규모의 양지붕형 철골 폴리카보네이트(PC) 온실이며, 환기창은 프로젝트 식으로 천창과 2단 측창으로 되어 있다.

가. 환경조절장치

온실 환경조절 시스템은 온실 내·외 환경을 계측하기 위한 센서부, 연산과 비교·판단 처리를 담당하는 PLC부, 조작부 그리고 개폐모터, 보일러, 팬, CO₂ 발생기, fog 장치로 구성된 구동부로 구성되어 있다. 양액 혼합 및 공급 시스템은 환경조절장치와 큰 차이가 없는데, EC 센서, pH 센서, 수위 센서와 정량주입펌프, 질소압력펌프 및 전자밸브로 구성되어 있다.

* 농촌진흥청 원예연구소

** 충북대학교 농업기계공학과

그림 1은 온실 자동조절 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

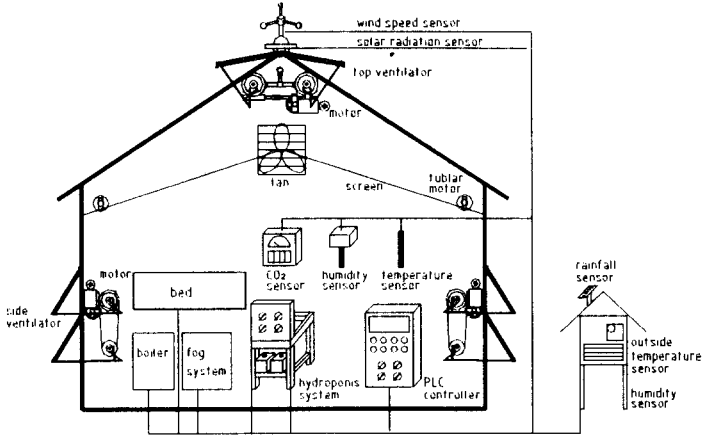


Fig. 1. Schematic diagram of environmental control system in greenhouse.

나. 작물재배 및 조사방법

본 실험에서 재배한 작물은 오이(은성백다다기, 흥농종묘)로서 97년 2월 5일에 파종하여 2월 22일에 대목인 흑종과 접목하고 3월 18일 정식 하였다.

재배베드는 길이 1m × 폭 37cm × 높이 19cm 규격의 성형 스티로폼 베드를 사용하였고, 배지는 펠라이트를 사용하였다. 지하부 온도는 약 40℃의 물을 베드 내로 순환시켜 최저 20℃로 유지시켰다. 원액은 야마자키 오이양액(山崎, 1981)을 100배 농축하여 사용하였으며, A액(KNO₃, Ca(NO₃)₂ · 4H₂O, Fe-EDTA)과 B액(KNO₃, MgSO₄ · 7H₂O, NH₄H₂PO₄, 미량원소)으로 나누어 침전이 생기지 않도록 하였고, pH 교정액으로써 산은 H₂SO₄, 알카리는 NaOH를 0.3N의 농도로 희석하여 사용하였다.

다. 환경조절

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 변화시켰다(板木, 1983). 주간 최저 상대습도는 45%로 설정하고 야간 최고 상대습도는 90%로 설정하였다. CO₂ 농도는 태양강도에 따라 3단계로 설정하였는데, 태양강도가 200Wm⁻² 이하일 때는 300~400ppm, 200~600Wm⁻² 범위일 때는 500~600ppm, 600Wm⁻² 이상일 때는 700~800ppm을 유지하도록 설정하였다. CO₂ 공급 시각은 일출 시부터 정오 또는 개창 전까지 보급하였다.

1) 창 개폐

창 개폐는 설정온도와 현재온도의 차에 따라 표 1과 같은 식에 의해서 그 조절량이 결정되도록 하였다. 개도 수정은 30분마다 이루어지며 외기온이 20℃ 이상일 때에는 100%를 개폐하고 그 이하일 때에는 50%를 개폐하도록 하였다. 조절량은 지수가 1~3 : 천창, 4~6 :

측창 1, 7~9 : 측창 2, 10~12 : 측창 3, 13~15 : 측창 4로 하고, 각 값을 3로 나누어 나머지가 1일 때 33%, 2일 때 66%, 0일 때 100% 개폐되도록 하였다. 현재온도가 설정온도보다 높으면 열림 공식에 의한 열림 동작을 하고, 현재온도가 설정온도보다 낮으면 닫힘 공식에 의한 닫힘 동작을 하도록 하였다. 표 1은 창 개폐에 사용된 조절량 결정식을 나타낸 것이다.

Table 1. Formula to decide the amount of control for the ventilator.

| Window status | Amount of control |
|---------------|---|
| Open | $a^z \times 0.34 \times \text{Setting temperature} - \text{Indoor temperature} $ |
| Close | $b^y \times 0.34 \times \text{Setting temperature} - \text{Indoor temperature} $ |

^z 15 - Open step of present

^y 15 - Close step of present

2) 온수난방

온수난방은 비례적분 제어를 실시하였는데, 스텝응답 특성(朴, 1992)을 이용하여 계수 값을 대략 설정하였다. 그림 2는 스텝응답 특성을 나타낸 것이다. 여기서, 응답지연시간 L은 500초이고, 기울기 R은 0.00164이므로 P값은 $P = 110RL$ 로부터 90으로 결정되었고, T_I 값은 $T_I = L/0.3$ 로부터 1667로 결정되었다.

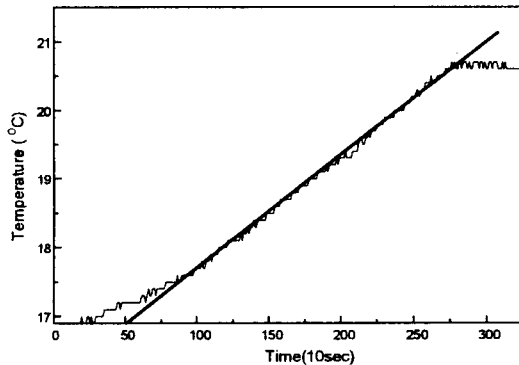


Fig. 2. Step response of heating system in the greenhouse (April 11, 1997).

3) 양액 혼합 및 공급

양액 혼합은 야마자키(山岐)액의 조성기준에 따라 표준설정 EC는 2.0mS/cm, 표준설정 pH는 5.8~6.0을 유지하도록 설정하였으며 공급 방식은 공급개시신호에 의해 양액의 EC 농도와 pH를 혼합탱크내에서 완전히 맞춘 후 공급하도록 하였고, 공급 횟수는 맑은 날 주간 평균 6회 공급을 기준으로 설정된 값을 기준으로 일평균 적산태양강도를 6으로 나누어 구하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 난방

온수난방 시 PLC에 의해 비례적분 제어된 온실과 써머스타트에 의해 ON/OFF 제어된 온실의 온도 변화를 살펴보면, 진동주기는 비슷한 반면 진폭에 차이가 보인다. 비례적분제어 온실에서는 약 0.6°C 의 편차를 보인 반면, ON/OFF 제어된 온실에서는 약 1°C 의 편차를 보였다. 그림 3은 PLC에 의해 비례적분 제어된 온실과 써머스타트에 의해 ON/OFF 제어된 온실의 온도변화를 나타낸 것이다.

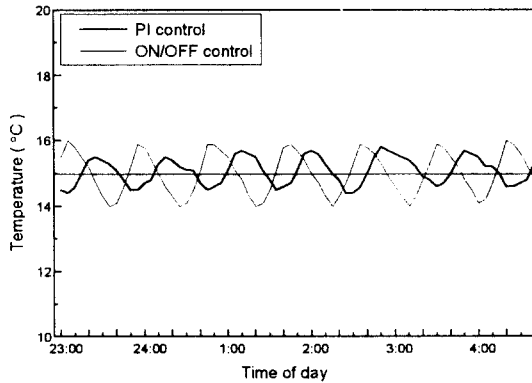


Fig. 3. Air temperature variation on the heating controlled by PI and ON/OFF control in the greenhouse (November 16, 1996).

나. 환기

창과 fan에 의한 환기 시 실내온도는 조절 간격을 5분으로 하였을 경우에는 $\pm 1.9^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 보인 반면, 3분으로 한 경우에는 온도편차가 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 나타내어 3분으로 한 경우가 온도편차가 적었다. 그림 4는 환기 시 온도변화를 나타낸 것이다.

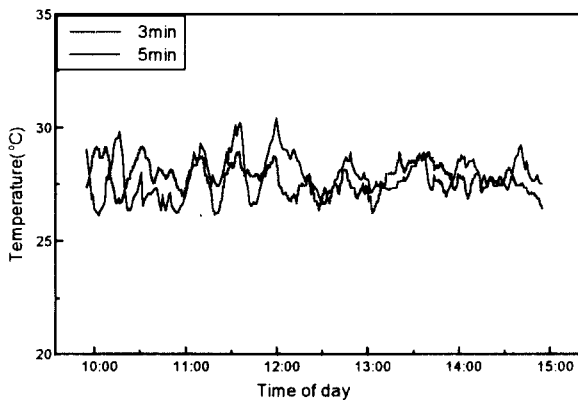


Fig. 4. Change of air temperature on the time-controlled interval in the greenhouse (October 9 to 10, 1997).

다. 습도

그림 5는 fog와 팬에 의해 조절된 주야간 상대습도 변화를 나타낸 것이다. 주간 온실 내 상대습도는 35~55% 사이에서 교란하였는데, 그 편차는 외부습도가 낮은 경우에 다소 증가하였다. 습도를 조절하지 않은 온실에서의 상대습도는 주간에 최대 10%까지 떨어졌다. 그러나 야간에는 습도를 조절한 온실보다 오히려 습도가 낮았는데, 이것은 ON/OFF 조절 온실은 야간 설정기온이 15°C이고, PLC 조절 온실은 12°C로 전자의 온실이 가온에 의해 상대습도가 낮아졌기 때문이라고 생각된다.

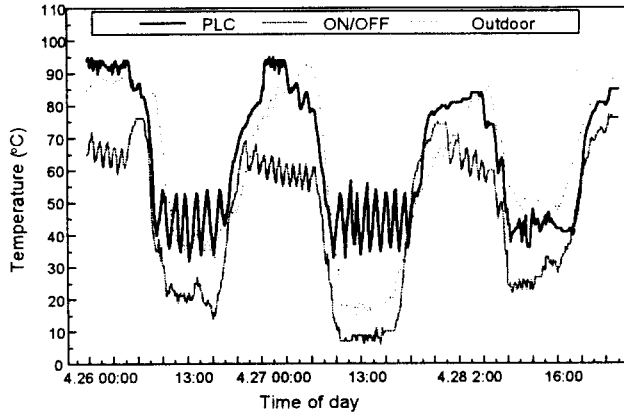


Fig. 5. Change of relative humidity for 3 days in the greenhouse (April 26 to 28, 1997).

라. CO₂ 농도

CO₂ 농도 변화는 그림 6에서 보는 바와 같이 유지목표인 300~800ppm 사이에서 유지되었다가 환기가 시작되면서 300~350ppm으로 유지되었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 두 번의 CO₂ 농도 감소현상이 있었는데, 이것은 외기 태양강도가 낮아져 설정치가 낮아졌기 때문으로 생각된다. 그림 6은 CO₂ 조절에 따른 온실 내 CO₂ 농도변화를 나타낸 것이다.

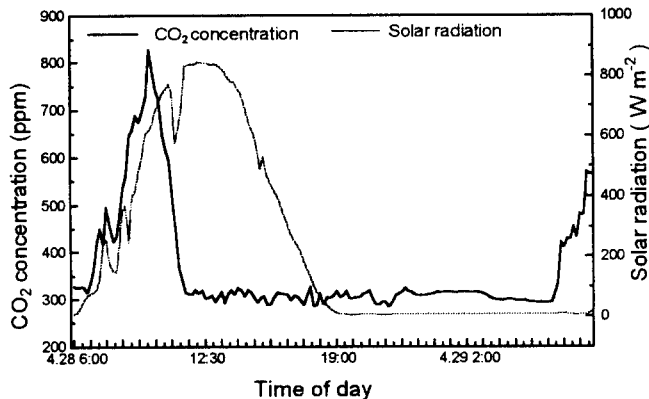


Fig. 6. Change of CO₂ concentration on the controlled CO₂ in the greenhouse (April 28 to 29, 1997).

마. 오이 수량

표 2는 환경조절에 따른 오이의 수량특성을 나타낸 것이다. 환경조절에 따른 오이의 수량은 종합적인 환경조절을 한 온실에서 단순 조절한 온실보다 약 14% 증수되었다.

Table 2. Yields of cucumber fruits on environmental control (April 10 to May 31, 1997).

| Control Type | Fruit weight (g/fruits) | No. of fruits per plant | Yields (kg/10a) |
|--------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| PLC | 193.0±14.4 | 18.4±1.4 | 6,172(114) |
| ON/OFF | 181.3±12.6 | 16.6±1.3 | 5,417(100) |

4. 요약 및 결론

온실의 환경을 자동조절하기 위해 PLC를 이용한 자동조절 시스템과 그 운영 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 시스템에 의해 조절된 온도, 상대습도, CO₂ 농도 그리고 양액공급량과 오이의 수량을 조사하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 온수난방 시 온도는 ON/OFF 제어 온실에서 ±1℃의 편차를 나타내었고, PLC에 의한 비례적분 제어 온실에서 ±0.6℃의 편차를 나타내었다. 따라서 비례적분 제어가 ON/OFF 제어보다 제어성능이 우수하였다.
2. 환기에 의한 온도변이는 오후보다 오전이 컸으며, 환기조절 간격을 5분으로 했을 때보다 3분으로 했을 때 목표온도로부터의 편차가 더 적었다.
3. 주간 상대습도는 fog 시스템에 의해 35~55% 사이에서 변동하였으며, 외부습도가 높을수록 변동 폭은 작아졌다.
4. CO₂ 농도는 태양강도에 따라 300~800ppm로 자동조절 되었으며, 개창 후에는 외기 CO₂ 농도 수준을 유지하였다.
5. 오이의 수량은 종합환경조절 온실에서 단순조절 온실보다 14% 정도 많았다.

5. 참고문헌

1. 朴潤基. 1992. 計裝制御시스템. pp. 17-63. 圖書出版 世和, 서울.
2. 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.
3. 山崎肯哉. 1981. 養液栽培全編. pp. 13-92. 博友社, 東京.