

PLC와 컴퓨터를 이용한 식물생산공장의 환경제어

김동억*·장유섭·김종구·김현환·이동현·장진택¹
농업공학연구소, ¹공주대학교

Environmental Control of Plant Production Factory Using Programmable Logic Controller and Computer

Dong Eok Kim*, Yu Seob Chang, Jong Goo Kim, Hyeon Hwan Kim,
Dong Hyeon Lee, and Jin Taek Chang¹

National Institute of Agricultural Engineering of Rural Development Administration
Suwon 441-100, Republic of Korea

¹Kongju National University, Yesan 340-800, Korea

Abstract. This study was conducted to develop a system and an control algorithm for control the environment of a plant factory. The greenhouse control system for environmental control was largely composed of a computer and a PLC. The screen of control program was composed of a greenhouse figure which was included machinery and equipments for greenhouse, the graph of environmental factors of inside greenhouse and the image of greenhouse. In order to reduce temperature change, the operation time of ventilation window was changed by 3 stage according to difference between a target and present temperature. When is heating, a temperature variation was shown to be $16.7 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$. When is cooling, a temperature variation was shown to be $23.1 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$. When is humidifying, a humidity variation was shown to be $39.3 \pm 1.6\%RH$. An environmental control system and a control algorithm were proved that it was shown a good performance in a control accuracy. So a computer control system should be adapted to a control system of a greenhouse and a plant factory.

Key words : computer, environment, greenhouse control, PLC

*Corresponding author

서 언

시설재배의 궁극적인 목적은 작물의 생산을 자연 조건에 의존하는 수동적 단계에서 인공생산이라는 능동적 단계로 전환함으로써 원하는 시기에 작물을 수확하는 데 있다. 식물공장과 같이 고도화된 시설에서는 광을 비롯하여 작물 생육에 관련된 대부분의 환경요인이 인공적으로 조성되기 때문에 공장적 생산방식에서와 같은 연중 계획생산이 가능하다. 식물공장을 운영하기 위해서는 온·습도, 이산화탄소, 배양액 뿐만 아니라 부족한 광을 보광하는 등 환경요소를 인위적으로 조절할 수 있는 온실제어장치가 구축되어 있어야 한다.

온실제어장치와 관련한 연구는 하드웨어적인 연구와 온실 환기, 제어기의 동작을 위한 제어 알고리즘 개발 등 소프트웨어적인 연구가 주로 이루어져 왔으며(Hooper와 Davis, 1985; Kim, 1998; Ko 등, 1997; Moon, 2001; Park과 Lee, 1997; Takakura 등, 1974), 근래에는 인터넷 관련 기술의 발전과 더불어 인터넷환경에서의 원격 제어에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다(Carlos 등, 2001; Choi, 2000; Kim, 2002; Kong 등, 2003; Park, 2000).

식물공장과 같이 고도화된 시설을 운영하기 위해서는 온실의 제어기기로서의 역할을 수행하는 현장제어반의 안정성이 확보되어야 한다. 현재 보급된 환경제어장치는 프로그램이 복잡하고 다루기

어려워 농가에서 환경조절장치의 기능을 충분히 살리지 못하는 경우가 있다. 또한 작물의 안정적인 생장을 위해서는 상시 온실의 환경을 관측하고 작물의 상태를 주시하여야 하며(Ryu, 2001), 이를 수행하기 위해 컴퓨터를 이용하여 온실내부를 실시간으로 감시하는 시스템(Jacobson, 1989; Kong 등, 2003; Park, 2000; Ryu, 2001)에 관한 지속적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 사용자가 쉽게 접근하여 사용할 수 있도록 그래픽유저인터페이스(Graphic user interface, GUI) 방식으로 구현한 컴퓨터와 PLC로 구성된 환경제어장치를 개발하고 식물생산공장의 온실에 적용하여 성능시험을 하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 온실 제어시스템

가) 온실 제어시스템 구성

온실 제어시스템은 센서, 제어반, PLC, 컴퓨터 등으로 구성하였다. 온실 내부 상태를 감시하기 위해 USB카메라를 장착하였다. Fig. 1은 온실제어시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

온실 제어시스템 작동은 센서로부터의 각종 기상데이터를 계측보드에서 계측하여 그 데이터를 RS-485통신으로 PLC에 전송하고 PLC는 컴퓨터와 데이터 교환을 하며 설정 값과 현재 값으로부터 비교연산하여 제어출력을 릴레이로 내보낸다. 릴레이는 큰 용량의 부하를 작동시키기 위하여 마그네틱스위치를 단속하여 환기창 개폐기, 냉·난방기, 커튼 개폐기, 환기·순환팬 등을 제어한다.

나) 센서

온실 내외 기상요소를 측정하기 위한 센서로서 온도센서로는 백금측온저항체(PT-100 Ω)를 사용하였으며, 습도센서로는 고분자막 습도측정방식의 RHU-21(한생계기)를 사용하였으며, CO₂센서로는 비분산적외선 분석방식의 GD7202A(하니웰)를 사용하였고 일사, 조도센서로는 포토다이오드식 LP RAD01(Delta OHM), LP PHOT01(Delta OHM)을 사용하였다. 풍향, 풍속센서는 프로펠러 교류발전기식과 포텐쇼미터식 05103(RM young)을 사용하였다. 환경제어반의 계측센서의 제원은 Table 1과 같다.

다) 제어반

제어반은 계측 및 PLC제어반, On/Off 제어반 및 3상 정역 제어반으로 구성하였다. 기상요소를 계측하고 온실을 제어하는 계측 및 PLC제어반은 센서의 미세 신호를 증폭하여 4~20mA로 변환하는 트랜스미터, 80C196K 마이크로프로세서 및 PLC로 구성하였다. 제어기기의 On/Off 동작을 수행하는 On/Off 제어반은 차단기, 전자개폐기, 릴레이 및 스위치 등으로 구성하였고, 정·역회전 동작을 수행하는 3상 정역 제어반은 차단기, 전자개폐기, 릴레이와 스위치 등으로 구성하였다. Fig. 2는 온실에 설치된 제어반의 모습이다.

라) PLC

제어장치로 사용한 PLC는 계측보드로부터 받은 기상 데이터와 설정치를 비교연산하여 제어반에 온실제어를 위한 출력신호를 내보낸다. 환경제어반에 컨트롤러로 사용한 PLC의 제원은 Table 2와 같다. PLC는 MasterK 300S(LG산전)를 사용하였으며, Cnet I/F 모듈에 의해 계측보드에서 RS-485로 기상데이터를 받고 컴퓨터와 RS-232C통신을 한다. 설정치 변경은 컴퓨터와의 Cnet통신에 의해 프로그램 메모리에 저장되어 있는 값을 변경함으로써 이루어진다.

마) 컴퓨터

컴퓨터는 개인용 컴퓨터(펜티엄 III, 700 MHz)를 사용하였다. 컴퓨터는 PLC로부터 받은 기상데이터 작동기 동작상태, 온실내부 영상을 모니터에 디스플레이 하고, 사용자가 설정값을 변경하면 그 값을 PLC로 전송한다. 또한 PLC로부터 받은 기상데이터는 하드디스크에 저장한다.

바) 카메라

온실 내부 상태를 모니터링하기 위하여 카메라를 설치하였다. 카메라는 상하 좌우 카메라 각도를 조절할 수 있는 팬 앤드 틸트 장치가 부착된 USB카메라로 하였다. Table 3은 카메라의 주요 명세이다.

사) 내부 기계장치

난방기는 20,000kcal \cdot h⁻¹용량의 온풍난방기(신화인)를 사용하였고, 냉방은 패드면적이 4.8m²이고 송풍을 위해 송풍팬(DTV-300, 61m³ \cdot min⁻¹) 4대를 가동하였다. 가습은 용량이 6L \cdot h⁻¹인 전기가습기(JA-600, 중앙기술산업)와 스프링클러를 사용하였다.

2. 온실 제어시스템 내부

온실 제어시스템은 센서, 계측보드, 제어부, 영상입력부, 환경감시 및 설정부로 구성하였다. 입력부는 온실 내외 기상을 계측하는 센서류, 센서로부터 입력되는 미세한 아날로그 신호를 증폭하고 전류를 전압으로 변환하는 컨버터, micro controller unit(MCU)의 부족한 아날로그입력을 확장하기 위한 아날로그입력채널 확장 IC, 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하는 MCU, MCU의 데이터를 제어부에 송신하는 송신부, 컴퓨터로 온실 내 영상을 전송하는 카메라, 카메라를 상하좌우로 움직여 각도를 조절하는 팬앤틸트장치로 구성하였다. Fig. 3은 환경제어시스템의 블록선도를 나타낸 것이다.

가) 제어 프로그램

센서로부터 계측한 기상데이터는 PLC를 통해 컴퓨터로 보내지고, 데이터는 모니터에 디스플레이 및 하드디스크에 저장된다. 사용자가 컴퓨터에서 설정값을 변경하면 설정값은 PLC에 송신되고, PLC는 설정값과 현재값을 비교하고 작동조건 범위에내이면 해당기기를 구동하고 그렇지 않으면 해당기기 구동을 정지한다. Fig. 4는 온실제어시스템 작동 순서도를 나타낸 것이다.

온도제어를 위한 창 개폐동작은 설정값과의 온도편차에 따라 3단계로 개폐되도록 프로그램 하였다. 현재값이 설정값 보다 3°C이상인 경우, 1~3°C인 경우, 1°C이하인 경우 열림 동작 시간과 정지시간의 비가 달라지도록 프로그램 하였다. 본 실험에서는 천창의 경우 완전히 열리고 닫히는 데 걸리는 시간은 52초로 측정되었다. 따라서 15단계 개폐를 위하여 전체시간을 15등분하여 천창의 열림 또는 닫힘 동작시간은 3.5초로 설정하였다. 마찬가지로 측창은 9.1초로 설정하였다. 동작 정지시간은 3°C이상인 경우, 1~3°C인 경우, 1°C이하인 경우 각각 5초, 10초, 15초로 설정하였다. Fig. 5는 천창의 열림동작 작동순서도를 나타낸 것이다.

컴퓨터 제어화면은 GUI방식으로 구현하였다. 사용자가 작동기 그림의 설명아이콘을 클릭하여 컴퓨터에 변경내용을 입력하도록 구성하였다. 제어대상으로는 냉·난방기, 보온커튼, 차광막, 광원, 환기창, 순환팬, 환기팬, 탄산가스공급기 등이다. 제어 화면은 온실의 모형과 부대장치와 작동기기를 그림으로 표현하여 동작상태를 표시하도록 하였으며, 설명버튼을 클릭하면 설정창이 팝업되도록

구현하였다.

나) 시험방법

온실제어시스템은 농촌진흥청 농업공학연구소의 50평 규모의 유리온실에 설치하였으며, 유리온실은 주간조절장치, 양액공급시설, 파종, 발아, 녹화장치를 갖추어진 식물생산공장 온실이다. 주간조절장치 2대에는 9주씩 재식되는 길이 2m의 트라프 총 110개에 990주의 상추를 양액재배하였다. 온실환경제어를 위한 각 작동부의 설정은 창개폐를 위한 열림온도는 25°C, 닫힘온도는 24°C, 냉방기 가동온도는 29°C, 중지온도는 28°C, 난방기 가동온도는 17°C, 중지온도는 18°C로 하였으며, 설정값은 계절에 따라서 그리고 필요에 따라서 변화를 주었다.

환경제어장치의 작동성능은 목표온도와 설정치의 편차를 1°C 이내, 1~3°C, 3°C이상이 되게 설정한 다음, 데이터로거(DC100, Yokogawa)를 이용하여 천, 측창의 개폐를 위한 릴레이 동작과 함께 작동부로 인가되는 전압파형을 측정하였다. 또한 시간경과에 따른 식물생산공장 온실내 설정 온·습도 유지여부를 조사하기 위하여 데이터로거(HOBO H08-004-02, Onset)센서를 사용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 제어 프로그램

가) 제어화면

Fig. 6은 식물공장 환경제어장치의 컴퓨터 제어화면이다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 제어 화면은 온실의 모형에 부대장치와 작동기기를 라인화 및 아이콘화하여 동작상태를 표시하도록 하였으며, 작동기 명칭 버튼을 클릭하면 설정창이 팝업되도록 하였다. 화면하단에는 내부 온도, 습도, 일사의 현재상태와 과거의 변화추이를 그래프로 표시되도록 하였다.

나) 창 개폐 동작 성능시험

천·측창은 자연환기에 의해 온도조절을 하는 중요한 수단이다. 단순 On/Off동작으로 천·측창을 완전 개폐하여 온도를 조절하면 온실 내부의 급격한 온도변화가 생기게 된다. 이러한 급격한 온도변화를 줄이기 위하여 일정온도를 유지하기 위해 창의 열림과 닫힘 동작이 자주 반복되는 것을 줄이기 위해 단계 개폐가 가능하도록 하였다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 현재온도와 목표온도와의 온도편차가 큰 경우 일수록 개폐동작을 완료하는데 소요되는 시간이 짧아졌다. 이렇게 함으로써 창개폐 동작에 소요되는 시간을 제어할 수 있다. Fig. 7은 슬라이딩 방식의 측창의 전자개폐기에 인가된 전압 파형을 측정한 것이다.

다) 환경제어 성능시험

1) 온도 제어성능

Fig. 8은 제어시스템의 온도제어 성능을 나타낸 것이다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 각 요소의 설정점 부근에서 제어동작이 이루어지다 제어능력범위를 벗어나면 다음 단계로 옮겨가 다음단계의 제어동작이 수행되는 것을 알 수 있다. 즉 실내 온도가 상승하게 되어 환기온도에 도달하면 팬과 환기창의 작동으로 환기에 의해 온도조절을 수행한다. 환기장치가 100% 가동된 상태에서도 온도가 상승하게 되면 패드팬 냉방에 의해 온도를 조절한다. 반대로 온도가 떨어지면 패드팬 가동이 중단된다. 온도가 떨어져 환기온도범위가 되면 환기장치에 의해 온도조절을 수행한다. 온도가 계속 떨어져 환기장치가 가동하지 않는 상태에서도 온도가 내려가면 난방기가 작동하여 온도조절을

한다. 난방기 가동시의 제어편차는 $16.7 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 이고, 창개폐에 의한 자연환기시의 제어편차는 $23.1 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다.

2) 습도 제어성능

Fig. 9는 제어시스템의 습도제어 성능을 나타낸 것이다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 각 요소의 설정점 부근에서 제어동작이 이루어진다. 4월 29일은 가습을 하지 않은 경우이고 4월 30일은 가습을 한 경우이다. 가습을 하지 않은 경우 실내 상대습도는 20% 가까이 떨어지는 것으로 나타났다. 이러한 것은 실험온실 바닥이 콘크리트로 포장되어 있고, 증산량이 과채류 보다 적은 상추를 재배하였기 때문으로 판단된다. 또한 29일 야간에 실내외 습도차이가 크게 나타난 것은 야간에 실내기온이 떨어져 온풍난방기의 가동에 따라 실내온도가 상승하여 상대습도는 더욱 낮아진 것으로 판단된다. 가습을 한 경우에는 40%의 습도를 유지하는 것으로 나타났다. 가습기 가동시의 제어편차는 $39.3 \pm 1.6\%RH$ 로 나타났다.

라) 경제성 검토

개발한 환경제어장치의 경제성은 기존의 환경제어장치에 소요되는 센서, 제어유니트, 컴퓨터, 제어반 등 구성 장치에 큰 차이가 없기 때문에 기존 환경제어장치와 비슷할 것으로 판단된다. 그렇지만 기존의 환경제어장치와는 달리 컴퓨터화면으로 온실내부와 환경제어장치의 작동상태를 그림으로 확인하면서 온실환경을 감시 및 제어할 수 있도록 환경제어장치의 화면표시와 설정방식을 그래픽유저인터페이스(Graphic user interface, GUI) 방식으로 구현하여 사용자의 편의성을 증대하였고, 모니터링 부분을 개선하여 기상 상태와 기기 작동상태를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

적 요

본 연구는 식물공장의 생육환경을 측정하고 제어하기 위한 하드웨어와 효과적인 환경제어 알고리즘을 개발하기 위하여 수행하였다. 환경제어를 위한 온실제어시스템은 크게 컴퓨터와 PLC로 구성하였다. 환경제어화면에는 온실 부대장치와 기기를 포함한 온실 그림과 온실내부의 기상환경 그래프 그리고 온실 영상을 나타내었다. 온도변화를 줄이기 위하여 환기창의 개폐시간을 설정값과의 온도편차에 따라 3단계로 조절되도록 하였다. 난방기 가동시의 제어편차는 $16.7 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 로 나타났고, 자연환기 시 제어편차는 $23.1 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 가습을 위해 가습기를 가동한 경우의 제어편차는 $39.3 \pm 1.6\%RH$ 로 나타났다. 환경제어장치는 계측과 제어성능에 있어 좋은 성능을 보여 일반 온실과 식물공장의 제어시스템으로 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

주제어 : PLC, 온실제어, 컴퓨터, 환경

인 용 문 헌

1. Carlos Sero dio a, J. Boaventura Cunha b, Raul Morais b, Carlos Couto c, and Joa o Monteiro c. 2001. A networked platform for agricultural management systems. Computers and Electronics in Agriculture. 31: 75-90.
2. Choi. J.H. 2000. Design and implementation of remote control on internet. MS thesis. Hongik University. (in Korean).
3. Hooper, A.W. and P.E. Davis. 1985. A greenhouse climate simulator for testing greenhouse computers : Part I : Operation test of ventilation control. Acta Horticulturae. 174:413-418.
4. Jacobson, B.K., H. Pierce, J.W. Jones, and J.A. Paramore. 1989. Real-time greenhouse monitoring and control with an expert system. Computer and Electronics in Agriculture. 3:273-285.
5. Kim, D.E., H.K. Cho, and H.J. Kim. 1998. Control of environments in greenhouse using programmable logic controller. J. of Korean Society Agricultural Machinery. 23(6):599-606 (in Korean).
6. Kim. D.U. 2002. Design and implementation of real-time monitoring for remote control based on clinet/server. MS thesis Pukyong National University. (in Korean).
7. Ko, H.K., C.H. Choi, D.W. Lee, J.M. Kim, and C.W. Kim. 1997. Development of a hardware system for hybrid environmental control in the multi-greenhouses. Proceedings of the KSAM 1997 Winter Conference. 2(1):263-270 (in Korean).
8. Kong, D.G., K.H. Ryu, and J.Y. Jin. 2003. Development of database for environment and control information in greenhouse. J. of Korean Society Agricultural Machinery. 28(1):59-64 (in Korean).
9. Moon, K.K. 2001. Ventilation control of greenhouse by fuzzy algorithm. MS thesis. Kyeongsang National University (in Korean).
10. Park, B.H. 2000. Teleoperation control for greenhouse via the world wide web. MS thesis. Youngnam University (in Korean).
11. Park, K.S. and K.M. Lee. 1997. Development of a control algorithm for automatic ventilation. J. of Bio-environment Control 6(4):242-249 (in Korean).
12. Ryu, K.H. 2001. Development of a remote environment monitoring system for state-of-the-art greenhouse. Agriculture and Life Science Research. 5:77-81 (in Korean).
13. Takakura, T., T. Kozai, K. Tachibana, and K.A. Jordan. 1974. Direct digital control of plant growth - I. Design and operation of the system. Transaction of the ASAE. 17(6):1150-1154.

Table 1. Specifications of sensors used in environment measurement.

Environmental factors	Measurement range	Model and manufacture
Temperature	-20~120°C	HD788TR, Delta OHM
Humidity	10~95% RH, 3%RH	RHU-21, Hansaeng,
Radiation	0~2000 Wm ⁻² 1%	LP RAD01, Delta OHM
Illumination	0~200 kLx	LP PHOT01, Delta OHM
CO ₂	0~2500 μmol	GD7202A, Honeywell
Wind speed	mol ⁻¹ 5%	05103, RM Young
Wind direction	0~60 ms ⁻¹	05103, RM Young
pH	0~360°	DPH-1, DIK
EC	0~14	DCF-1, DIK
	0~10 mS	cm ⁻¹

Table 2. Specifications of programmable logic controller used in environmental control unit.

Component	Model	Specification
CPU module		Program memory
Cnet I/F module	K4P-15AS	15 K
	G4L-CUEA	RS-232C, RS-485
Power module	GM4-PA2A	
D/O module	G4Q-RY2A	16 point relay output 2A

Table 3. Specifications of USB camera established in greenhouse.

Item	Specification
Photographing element	CMOS 300 thousand pixel
Electrical transmission Velocity	VGA 15fps, CIF 30fps, QCIF 60fps
Resolution	640 * 480
Illumination	2.5lux @ f1.4
Interface	USB, RS-232