

묘상 난방 시스템을 위한 온도제어기 개발

박정훈\* 홍성훈\*, 강문성\*  
\* 청주대학교 전자공학과

Development of Temperature Controller for Seedbed Heating System

Park Jung-Hoon, Hong Sung-Hoon, Kang Moon-Sung  
Dept. of Electronic Eng. Chongju Univ.

※ 본 연구는 과학기술부·한국 과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

**Abstract** - This paper describes the development of temperature controller for seedbed heating system. This system consisted of three parts: sensing part, control part that includes the PID control algorithm, and actuating part. The control part introduced a phase angle control method of TRIAC and firmware technique using one-chip microcontroller(PIC16C73).

For evaluating the performance of a PID control system, the experiment results by a developed controller are compared with these obtained from a conventional controller which utilize ON-OFF control method. The experiment results show that the proposed controller has good control performance.

1. 서 론

대부분의 산업 프로세스에서 이용되는 온도 제어시스템은 고정밀도가 요구되고 있어 PI 또는 PID 제어방식이 주로 채용되고 있다. 그러나 기존의 묘상 난방 시스템용 온도제어기의 경우 ON, OFF 제어 방식을 고수하고 있어 정확한 제어 성능을 기대하기 어렵고, actuator로 릴레이를 사용한 기계적 점점 구조로 되어 있어 잦은 ON, OFF 제어에 따른 점점재철의 마모로 인한 시스템의 수명 단축이 큰 문제점으로 대두되고 있다. 또한 보다 정밀한 제어성능 확보를 위해 ON, OFF 시간을 단축함으로써 출력을 미세 조정하기 위해서는 시스템의 수명 단축을 담보로 해야 하는 문제점이 발생하고 있어 시스템의 제어 성능과 수명주기를 적절히 고려해야하며, 결국 어느 한쪽도 만족시키지 못하는 구조적 단점을 내포하고 있다. 그리고 난방장치의 운전정지 등 긴급상황 발생시 농작물의 막대한 피해를 초래하고 있으며, 이로 인해 피해보상 마찰이 끊이지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 보다 정밀하고 안정된 온도제어를 위하여 PID 제어방식을 도입하였으며, 기계적 점점이 아닌 전자 스위칭 소자(TRIAC)를 사용하여 시스템의 수명에 구애받지 않고 정확한 제어성능을 확보할 수 있는 묘상 난방 시스템을 위한 온도제어기의 개발에 관한 연구를 수행하였다.<sup>[1],[2],[3],[4]</sup> 이를 위해 마이크로 컨트롤러를 사용한 디지털 회로를 채용하였으며, Feed back 제어기법을 도입한 PID 제어 알고리즘을 개발하였다. 이를 바탕으로 신뢰성 높고 안정된 동작이 이루어지도록 firm-ware를 작성하여 마이크로 컨트롤러(PIC16C73)에 탑재함으로써 정확한 온도제어 성능을 보유하도록 하였다. 또한 자기진단 기능을 통해 이상 동작을 감시할 수 있도록 CT 센서를 이용한 전류감지를 통해 과전류 차단 및 자기진단에 의한 이상상황 감시 기능을 구비하였으며, 기존의 Relay를 대체하여 TRIAC

을 사용한 열선제어방식을 채택하여 저렴한 경비로 보다 정확하며 안정적인 제어회로를 구현하여 향후 추가비용 없이 프로그램의 수정만으로 기능의 업그레이드가 가능하도록 하였다.<sup>[4],[5],[6],[7]</sup>

또한 개발된 시제품의 Field test를 수행하여 시스템의 제어 성능과 안정성을 평가하였고, 기존제품과 비교 실험을 통해 성능을 입증하고자 하였다.

2. 온도제어기의 설계 및 구현

2.1 묘상 난방 시스템의 구조

묘상이란 각종 농작물의 모종을 묘판에서 길러내는 장치를 말하며 비닐하우스 등을 이용한 시설재배 형태가 주를 이룬다. 이러한 묘상 장치는 계절적 특성으로 인해 난방 시스템이 가장 중요한 역할을 하며 이는 온도제어기 성능이 좌우한다고 해도 과언이 아니다. 다음 그림 1에 묘상 난방 시스템의 구조를 나타내었다. 온도제어기가 내장된 히터장치에서 발생한 열이 송풍기와 송풍 덕트를 통해 묘상시설 내부를 난방시키는 구조를 이루고 있다.



그림 1. 묘상 난방 시스템의 구조

2.2 온도제어기의 제어방식

본 연구에서 개발한 온도제어기는 기계식 점점 구조로 인해 ON, OFF 제어만 가능했던 기존의 릴레이를 대체하여 무점점 전자 소자인 TRIAC을 사용한 위상제어 방식을 이용하여 히터 출력을 제어하도록 설계하였다.

보다 정확하고 안정된 제어를 위해 묘상장치 내부의 현재 온도값을 계속한 후, 이를 제한시켜 기준입력값(설정 온도)와 비교하고, 온도 편차가 발생하는 경우 마이크로 컨트롤러에 탑재된 PID 제어 알고리즘에 의해 계산된 출력값이 TRIAC을 위상제어 하도록 하였으며, 송풍기 모터와 부저 제어를 위해 Zero-Crossing 방식을 사용하였다. 이를 위해 그림 2에서와 같이, 전원 입력부에 TR을 이용하여 zero point를 검출하였으며, 이를 기준점으로 위상제어와 Zero-Crossing 제어가 되도록 firm-ware를 작성하였다.

본 연구에서 구현된 시스템은 PID 제어 알고리즘을 채용함으로써 기존제품에 비해 응답속도가 빠르고, 과도 상태와 정상상태가 모두 안정된 출력 특성을 가지도록 하였다. 그림 3에 본 연구에서 제시한 전체 제어계 블록 선도를 나타내었다.

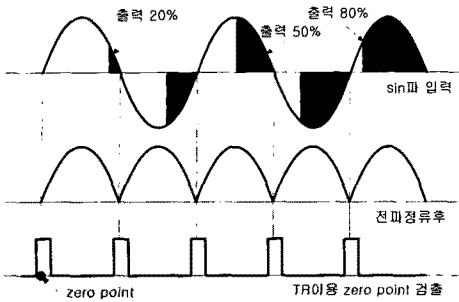


그림 2. zero point 검출 및 위상제어

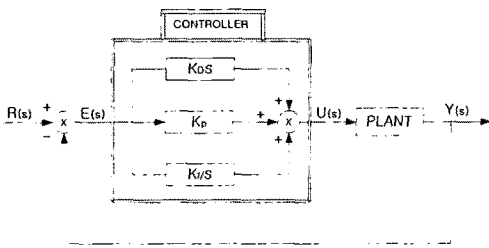


그림 3. 제어계 블록 선도

## 2.2 온도제어기의 설계

본 논문에서 개발한 온도제어기는 묘상 난방 시스템의 특성을 고려하여 설계하였으며, 다음 그림 4에 온도제어기의 구성도를 나타내었다.

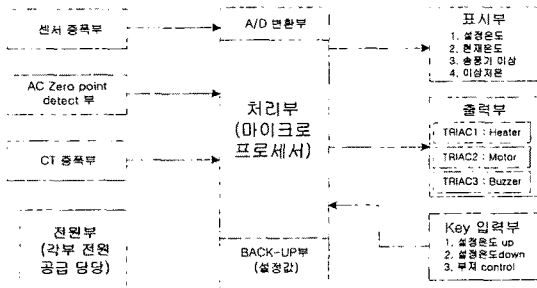


그림 4. 묘상 난방 시스템용 온도제어기의 구성도

### -전원부

AC전원을 입력받아 온도제어기에 DC전원을 자체적으로 공급하는 역할을 한다.

### -센서증폭부

온도센서(PB37)로부터의 신호를 OP-AMP로 증폭하여 A/D변환부로 전달하도록 구성하였으며, 센서의 특성이 비선형적인 것을 고려하여 이를 선형화 시키도록 회로를 설계하였다.

### -CT 증폭부

송풍기의 이상동작을 감지할 수 있는 센서의 역할로 1000:1의 권선비를 가진 Current Transformer(CT)를 사용하였으며 이의 신호를 증폭하는 회로로 구성하였다. 송풍기 이상시 히터 출력은 OFF, 송풍기 모터 출력은 ON 되었다가 모터의 정상동작시 자동복귀 되도록 하여 과일방지 역할을 담당한다.

### -Zero point 검출부

히터 출력을 0~220V 사이에서 가변 시킬 수 있도록

TRIAC을 이용한 위상제어방식을 사용하는데 이를 위해서는 AC전원의 zero point를 정확히 검출하는 것이 중요하다. 또한 송풍기 모터와 부저를 ON, OFF 제어하기 위한 TRIAC의 zero crossing 제어방식을 위해서도 필요하며, 이를 위해 전원을 전파정류 후 TR을 이용하여 zero point를 검출하는 회로를 설계하였다.

### -A/D변환부

센서신호를 받아 이상값으로 변환시키는 A/D컨버터는 마이크로 컨트롤러(PIC16C73)에 내장된 A/D모듈을 사용하였다. 8bit의 분해능을 가지고 있으며 하나의 샘플/홀드회로와 멀티플렉스된 8개의 아날로그 입력을 가지고 있어서 두 채널을 각각 온도센서와 CT의 입력으로 사용하였다.

### -처리부

마이크로 컨트롤러인 PIC16C73을 사용하여 온도센서와 CT로부터의 신호를 받아 계측정보와 각종 이상신호를 처리하고 이를 표시부로 출력하며, AC전원의 zero point를 검출하여 TRIAC의 위상제어를 위한 출력신호(타입된 제어알고리즘에 의해 계산된 출력값)를 내보내며, 이상상황 발생시 경고기능을 갖는 부저를 제어하기 위한 신호를 발생시키는 역할을 한다. 그리고 온도 제어범위는 1℃~30℃까지 0.5℃ 단위로 제어가 가능하며, 이상저온으로 인해 현재 계측온도가 1℃ 이하시 FND에 에러를 표시하고 부저를 통해 경보를 내보내며 히터 출력량은 최대로 유지되다가 현재온도가 2℃이상일 때 자동복귀 되도록 프로그램 하였다.

### -BACK-UP부

전원이상 등 외부요인에 의해 마이크로 컨트롤러가 리셋 되더라도 설정 온도값 등 중요 정보를 보존하기 위해 마이크로 컨트롤러에 내장된 128Byte의 메모리 용량을 가진 EEPROM을 사용하였다. 사용자에 의해 Key 입력부에서 설정된 온도값이 이전 설정값과 비교하여 다르다면 새로운 설정값을 EEPROM에 저장하도록 하였다가 리셋시 저장된 값을 호출하여 제어 기준값으로 삼도록 하였다.

### -Key 입력부

설정 온도값을 1℃단위로 up·down(최대 25℃, 최소 1℃)하며, 수동으로 부저정지 및 정지기능해제를 할 수 있도록 구성하였다. 또한 3초 이상 key 입력이 없으면 데이터를 내부 메모리(RAM)에 자체 저장하여 설정값으로 사용하고, back-up부에 저장된 데이터와 비교하도록 프로그램 하였다.

### -표시부

처리부에서 계측된 현재 온도값 및 설정값을 FND로 표시하며 송풍기 이상시 및 이상저온시 에러를 표시하도록 구성하였다. 3digit의 FND모듈은 평상시에 계측된 현재 온도값을 표시하다가 설정값을 up·down 시키는 key가 눌러지면 설정값을 깜박거리며 표시하고, 3초 이상 key값의 변화가 없으면 다시 계측값 표시 모드로 돌아가도록 하였다. 표시되는 온도값은 1℃~50℃이고, 1℃ 단위로 표시한다.

### -출력부

각 이상 상황 발생시 처리부에서 제어 신호를 발생시키며, 이 신호가 해당하는 TRIAC을 거쳐 각각의 actuator를 제어하게 된다. 출력부는 3가지 제어 출력으로 나뉘는데 첫 번째 출력은 TRIAC1을 통해 히터를 위상제어하기 위한 8bit 출력값으로 0~255의 출력 범위를 갖는다. 두 번째 출력과 세 번째 출력은 각각 TRIAC2와 TRIAC3을 통해 송풍기 모터와 경고장치로 사용되는 부저의 ON, OFF 제어를 위한 출력신호로 사용된다.

다음 그림 5에 본 연구에서 개발한 묘상 난방 시스템용 온도제어기의 사진을 나타내었다.

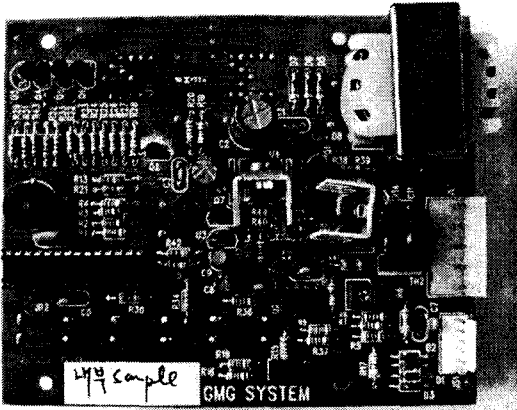


그림 5. 묘상 난방 시스템용 온도제어기

### 3. 실험 및 고찰

묘상 난방 시스템은 시설 외부의 온도(외온)보다 내부의 온도(내온)가 항상 높은 특성을 가지고 있으며, 묘상 시설을 사용하는 계절적 특성으로 인해 기온이 떨어지는 일몰 후부터 다음날 일출 전까지 주로 난방 시스템이 가동된다. 본 연구에서 개발한 온도제어기를 장착한 히터 장치를 그림 1과 같은 구조를 지닌 현장에서 Field test를 수행한 결과 기존 제품에 비해 상당히 안정적이고 정밀한 제어 성능을 발휘하고 있음을 확인하였다.

실험은 3월 16일 충북 청주 인근 농가에서 실시하였으며, 당일 최저기온은 0.5°C, 최고기온 16.8°C, 일출 시간 06시 41분, 일몰시간은 18시 38분이었다. 다음에 24시간 동안의 현장 실험결과를 그림 6에 나타내었다.

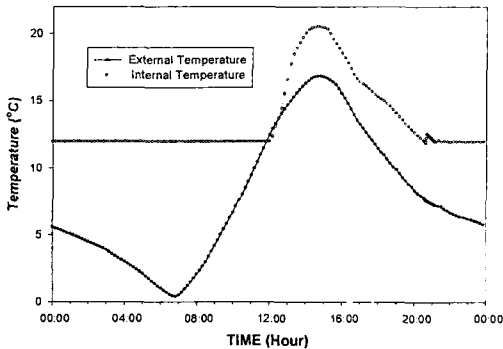


그림 6. PID 제어에 의한 온도 추종 특성

그림에서 보는바와 같이 내온이 설정 온도값(12°C)보다 떨어지는 시각(21시 07분)부터 제어기가 동작하기 시작하여 내온이 설정값을 넘어서는 시각(11시 53분)까지 설정값에 잘 추종하는 출력특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

또한 온도제어기의 응답특성을 실험한 결과를 그림 7에 나타내었다. 기준값을 20°C로 설정하고 실험결과 최대 오버슈트가 0.9°C이고, 정상상태 도달시간이 28분 정도로 기존 제품에 비해 상당히 정밀하고 안정된 제어 성능과 빠른 응답속도를 보이고 있음을 알 수 있다.

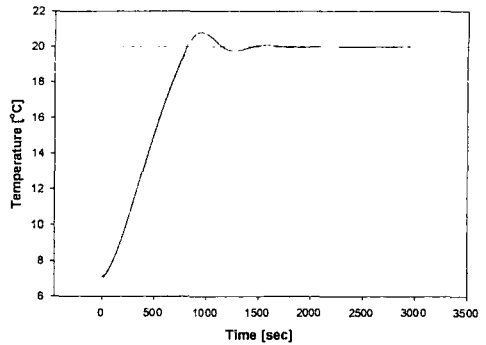


그림 7. 온도제어기의 응답특성

### 4. 결 론

묘상 난방 시스템을 위한 온도제어기를 개발하여 현장에서 Field test를 수행한 결과 기존 제품과 비교하여 상당히 우수한 성능을 보유했음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 온도제어기는 기존의 기계식 접점 소자인 릴레이를 사용한 ON, OFF 제어 방식에서 벗어나, 무접점 전자 소자인 TRIAC을 Actuator로 사용함으로써 접점의 마모로 인한 시스템의 수명저하를 예방하고 빠른 응답속도를 나타낼 수 있으며, PID 제어방식을 사용한 알고리즘을 구현하여 이를 마이크로 컨트롤러에 탑재함으로써 보다 정확하고 안정된 출력특성을 나타내도록 설계하였다. 또한 히터 출력 제어를 위하여 TRIAC을 이용한 위상제어 방식을 사용하였고, 송풍기 모터와 부저 출력을 제어하기 위하여 Zero-Crossing 제어 방식을 사용함으로써 소비전력의 감소효과도 기대할 수 있다.

개발된 온도제어기는 PID 제어에 의한 정밀한 제어가 가능할 뿐만 아니라, 변류기(CT)를 이용하여 송풍기의 이상 등 시스템의 이상상태를 감지하고 이를 즉각 처리할 수 있는 자기진단 기능을 보유했고, 시스템의 안정성을 높일 수 있도록 설계함으로써 시스템의 오작동으로 인한 피해보상 등의 마찰을 크게 줄일 수 있으리라 기대된다. 또한 자체적으로 정보를 백업시키는 기능을 갖추었으며, 기존의 제품에 비해 저렴한 경비로 보다 정확하고 안정적인 제어회로를 구현하여 향후 추가비용 없이 프로그램의 수정만으로 기능의 업그레이드가 가능해짐으로써 하여 묘상 난방 시스템을 위한 온도제어기로 적합할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이대우, 조진호, "온도 센서를 이용한 실온 측정 방법", 공기조화·냉동공학, 제18권, 제1호, pp.51-76, 1989.
- [2] 서강면, 박상선, 강문성, "온도제어를 위한 퍼지제어기의 설계 및 구현", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp 659-661, 1997.
- [3] "센서회로설계 1", 중소기업진흥공단, 1994.
- [4] "EMBEDDED CONTROL HANDBOOK", Microchip Technology Inc., VOLUME 1., 1997.
- [5] "온도측정" 생산기술연구원, 1994.
- [6] 이호근, "온도표준과 온도센서 특성", 대한기계학회지, 제31권, 제6호(통권 130호), pp.506-511, 1991.8.
- [7] Craig M. Wittenrick, Eric C Rosen, Darrell D.E. Long, "Real-time System for Managing Environmental Data," Proceeding of Conference on Software Engineering and Knowledge Eng., June 1996.