

**프로그램 제어방식의 온도 제어장치 개발**

박정훈\*, 김진근\*, 홍성훈\*, 서강면\*, 강문성\*  
\*청주대학교 전자정보공학부

**Development of Temperature Controller using Program Control Method**

Park Jung-Hoon, Kim Jin-Keun, Hong Sung-Hoon, Seo Kang-Myun, Kang Moon-Sung  
Division of Electronics & Information Eng. Chongju Univ.

**Abstract** - This paper describes the development of temperature controller using program control method for small heating system. This system consists of three parts; sensing part, control part that includes the PID control algorithm, and actuating part. We introduce a zero-crossing control method of TRIAC and firmware technique using single chip micro-controller(ATmega8535) in the control part.

**1. 서 론**

대부분의 산업 프로세스에서 이용되는 온도 제어시스템은 챔버 내의 온도를 정밀하게 제어하기 위하여 PI, 혹은 PID 제어방식을 주로 채용하고 있다. 그러나 기존의 콘택트렌즈 제조 장비의 온도제어기에서는 ON, OFF 제어 방식이나 비례 제어 혹은 비례적분(PI) 제어 방식을 고수하고 있어 정확한 제어 성능을 기대하기 어렵다. 특히 ON, OFF 제어 방식의 경우 actuator로 릴레이를 사용한 기계적 접점 구조로 되어있어 잦은 ON, OFF 제어에 따른 점접점질의 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. 또한 비례 제어 혹은 PI 제어 방식을 채택한 장비의 경우 전자 스위칭 소자(Thyristor나 TRIAC)를 사용하여 시스템의 수명에 구애 받지 않고 제어성능을 확보할 수 있으나, 위상제어 방식을 채택함으로써 정현파의 positive나 negative에서 과행을 On/Off시키므로 이때 고조파가 많이 발생하고 무효전력의 나란 발생으로 인한 전력비 상승의 요인이 되고 있다. 또한 제조공정의 특성상 온도제어가 여러 단계에 걸쳐 이루어져야 하는 경우도 불구하고 기존 제어기의 경우 각 단계별 온도제어 목표 값이나 제어 시간을 해당 단계별로 수동으로 조작하게 설계되어 있어 오퍼레이터가 상주하고 있어야 하는 단점이 존재한다.<sup>[1]-[3]</sup>

따라서 본 연구에서는 보다 정밀하고 안정된 온도제어를 위하여 PID 제어방식을 도입하였으며, 기계적 접점이 아닌 전자 스위칭 소자(TRIAC)를 사용한 열선제어 방식을 도입하여 시스템의 수명에 구애받지 않고 정확한 제어성능을 확보할 수 있는 온도제어기의 개발에 관한 연구를 수행하였다. 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(ATmega8535)에 탑재함으로써 정확한 온도제어 성능을 보유하도록 하였다. 또한 자기진단 기능을 통해 이상동작을 감시할 수 있도록 CT 센서를 이용한 전류감지를 통해 과전류 차단 및 자기진단에 의한 이상상황 감시기능을 구비하였으며, 기존의 위상제어 방식을 대체하여 교류전원전압의 Zero점에서 TRIAC을 On/Off시키는 주기제어방식인 Zero-Crossing 제어방식을 채택하여 고조파의 발생이 없으며 전압과 전류의 위상이 동위상이며 무효전력이 발생하지 않아 전력손실이 없도록 하였다.<sup>[1]-[6]</sup>

그리고 기존의 온도 제어장치를 이용해 화학 프로세스 등의 온도를 제어하는 경우, 목표온도 및 제어시간을 단계별로 변경 · 설정하기 위해서는 현장에 오퍼레이터가 상주하며 직접 해당 값을 매번 수동으로 변경 · 설정해야 하는 불편함이 상존하며, 이에 따라 제어의 정밀도가 저하될 수 있는 여지가 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해, 사용자가 미리 단계별 목표온도 및 제어시간을 설정해 놓으면 정해진 시퀀스에 따라 자동으로 목표온도 및 제어시간이 변경되면서 온도제어가 가능한 프로그램 제어방식의 온도 제어장치를 개발하였다. 또한 현장에서의 key 입력으로 인한 제어 목표 설정기능 뿐만 아니라 직렬통신을 통한 원격 제어 기능을 갖추고, 또한 현재단계와 현재온도, 각 단계별 잔여시간 및 총 누적시간을 표시함으로써 사용자로 하여금 총 사용시간과 단계별 시간을 알 수 있도록 하였다.

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

**2. 본 론**

**2.1 온도 제어장치의 제어방식**

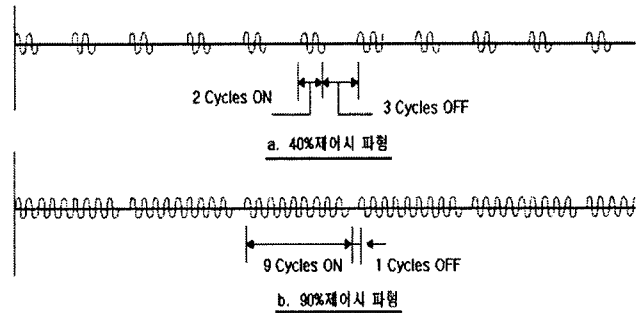
본 연구에서 개발한 온도제어기는 기계식 접점 구조로 인해 ON, OFF 제

어만 가능했던 기존의 릴레이나 전자 스위칭 소자(Thyristor 나 TRIAC)를 사용한 위상제어 방식을 대체하여 무접점 전자 소자인 TRIAC을 사용한 Zero-Crossing 제어 방식을 이용하여 히터 출력을 제어하도록 설계하였다.

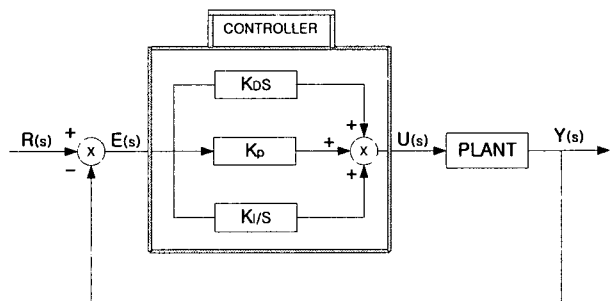
보다 정확하고 안정된 제어를 위해 챔버 내부의 현재 온도값을 계속한 후, 이를 케환시켜 기준입력값(설정 온도)과 비교하고, 온도 편차가 발생하는 경우 마이크로 컨트롤러에 탑재된 PID 제어 알고리즘에 의해 계산된 출력값이 TRIAC을 제어 하도록 하였다. 또한 Zero-Crossing 제어 방식을 채택함으로써 정현파의 제로전압에서만 On/Off되므로 전압과 전류의 위상이 동위상이고, 이것이 무효전력화 되지 않아 역률이 100%에 가깝게 되어 전력손실이 없으며, 피상전력이 증가하지 않으므로 변압기 설비용량 증대가 불필요하고, 고조파 발생이 없으므로 주변 전자기기나 변압기에 영향을 끼치지 않는 우수한 제어성능의 온도제어 장치를 설계하였다.

이를 위해 그림 1에서와 같이, 전원 입력부에 TR을 이용하여 zero point를 검출하였으며, 이를 기준으로 Zero-Crossing 제어가 되도록 회로를 설계하고, firm-ware를 작성하였다.

본 연구에서 구현된 시스템은 PID 제어 알고리즘을 채용함으로써 기존제품에 비해 응답속도가 빠르고, 과도상태와 정상상태가 모두 안정된 출력 특성을 가지도록 하였다. 그림 2에 본 연구에서 제시한 전체 제어계 블록선도를 나타내었다.



**<그림 1> Zero-Crossing 제어방식**



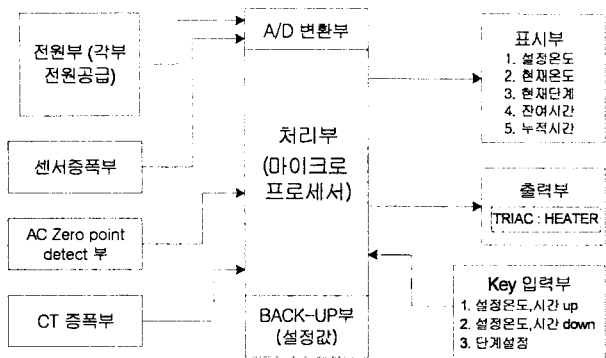
**<그림 2> 제어계 블록선도**

**2.2 온도 제어장치의 설계 및 구현**

본 논문에서 개발한 온도제어장치는 온도제어가 여러 단계에 걸쳐 이루어져야 하는 공정상 특성을 고려하여 각 단계별 제어 목표를 미리 설정하여 프로그램에 의해 제어할 수 있도록 설계하였으며, 다음 그림 3에 온도제어기의 구성도를 나타내었다.

**-전원부**

AC전원을 입력받아 온도제어장치에 DC전원을 자체적으로 공급하는 역할을 한다. 또한 정전 시에 현 단계 및 설정값을 BACK-UP부에 저장하기 위하여 트랜스포머의 2차측(AC 12V) 전압을 감시하기위하여 A/D 변환부로 연결된다.



〈그림 3〉 온도 제어장치의 구성도

**-센서증폭부**

센서로부터 측정회로까지 연결도선의 저항값이 백금측온저항체(Pt-100)의 미소한 저항값 변화에 영향을 미칠 것을 고려하여 3선식을 사용하였으며, 온도센서(Pt-100)로부터의 신호를 OP-AMP로 증폭하여 A/D변환부로 전달하도록 회로를 설계하였다.

**-CT 증폭부**

송풍기의 이상동작을 감지할 수 있는 센서로 1000:1의 권선비를 가진 Current Transformer(CT)를 사용하였으며 이의 신호를 증폭하는 회로로 구성하였다. 송풍기 이상시 히터출력은 OFF, 송풍기 모터출력은 ON되었다가 모터의 정상동작시 자동 복귀되도록 하여 과열방지 역할을 담당한다.

**-Zero point 검출부**

히터 출력을 TRIAC을 이용하여 Zero-Crossing 제어방식으로 제어하기 위하여 AC전원의 zero point를 정확히 검출하는 것이 중요하다. 또한 송풍기 모터의 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 이산값으로 변환시키는 A/D컨버터는 마이크로 컨트롤러(ATmega8535)에 내장된 A/D모듈을 사용하였다. 10bit의 분해능을 가지고 있으며 하나의 샘플/홀드회로와 멀티플렉스된 8개의 아날로그 입력을 가지고 있어서 세 채널을 각각 온도센서와 CT의 입력, 그리고 정전시 전원부의 변압기 2차측(AC 12V) 전압을 감시하기 위한 입력으로 사용하였다.

**-처리부**

마이크로 컨트롤러인 ATmega8535를 사용하여 온도센서와 CT로부터의 신호를 받아 계속정보와 각종 이상신호를 처리하고 이를 표시부로 출력하며, AC전원의 zero point를 검출하여 TRIAC의 Zero-Crossing 제어를 위한 출력신호(타입된 제어알고리즘에 의해 계산된 출력값)를 내보내며, 이상상황 발생시 경고기능을 갖는 부저를 제어하기 위한 신호를 발생시키는 역할을 한다. 그리고 온도 설정 범위는 0.1 ~ 399.9°C까지로 0.1°C 단위로 제어가 가능하며, 1단계부터 9단계까지 미리 설정하여 저장한 후 프로그램에 의해 자동으로 제어가 가능하도록 firm-ware를 탑재하였다.

**-BACK-UP부**

전원이상 등 외부요인에 의해 마이크로 컨트롤러가 리셋 되더라도 각 단계별 설정 온도값, 제어시간 등 중요 정보를 보존하기 위해 마이크로 컨트롤러에 내장된 512Byte의 메모리 용량을 가진 EEPROM을 사용하였다. 사용자에 의해 Key 입력부에서 설정된 온도값, 제어시간이 이전 설정값과 비교하여 다르다면 새로운 설정값을 EEPROM에 저장하도록 하였다가 리셋시 저장된 값을 호출하여 제어 기준값으로 삼도록 하였다. 또한 전원부를 감시하다 트랜스포머 2차측(AC 12V) 전압이 10V 이하로 떨어지면 각종 중요 정보를 저장하는 역할을 수행한다.

**-Key 입력부**

각 단계설정은 1~9단계로, 단계별 온도설정 0.1°C단위로 up·down(0.1 ~ 399.9°C)하며, 단계별 시간설정은 00시 00분~19시 59분까지 1분단위로 입력할 수 있도록 설계하였으며, 수동으로 부저정지 및 정지기능 해제를 할 수 있도록 구성하였다. 또한 3초 이상 key 입력이 없으면 데이터를 내부 메모리(RAM)에 자체 저장하여 설정값으로 사용하고, back-up부에 저장된 데이터와 비교하도록 프로그램하였다.

**-표시부**

계측된 현재 온도값 및 해당 단계의 설정값 및 잔여시간, 총 누적시간을 FND로 표시하며 송풍기 이상시 예러를 표시하도록 구성하였다. 현재 온도는 -30.0~599.9°C까지 표시하며, 제어가 과도상태일 동안 현 단계를 표시하는 1 digit의 FND 모듈의 dot를 on 시켰다가 정상상태로 접어들면 dot를 off시키고 잔여시간 표시가 동작하도록 하여 쉽게 제어 상태를 알 수 있도록 하였다.

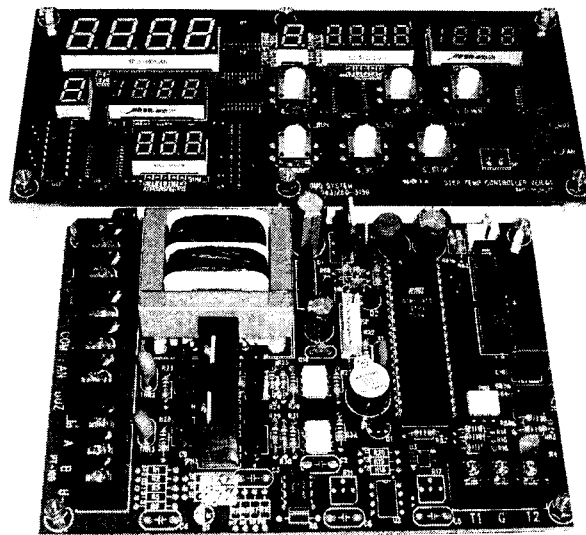
**-통신부**

원격지에서 제어장치의 상태를 감시하고 또한 설정값을 변경하여 원격제어가 가능하도록 직렬통신기능을 추가하였으며, 전송거리를 늘리기 위해 RS-485 규격을 만족하는 MAX-487소자를 사용하였다.

**-출력부**

각 이상 상황 발생시 처리부에서 제어 신호를 발생시키며, 이 신호가 해당하는 TRIAC을 거쳐 각각의 actuator를 제어하게 된다. TRIAC을 통해

히터를 0~35[A]까지 Zero-Crossing 제어하기 위한 출력과, 송풍기 모터와 센서 open이나 short 시 경보장치로 사용되는 부저의 ON, OFF 제어를 위한 출력신호로 사용된다. 다음 그림 4에 본 연구에서 개발한 프로그램 제어 방식의 온도제어장치의 사진을 나타내었다.



〈그림 4〉 개발한 온도 제어장치

**3. 결 론**

본 논문에서는 다단계 온도 제어 공정이 필요한 콘택트렌즈 제조 장비와 같은 소규모 챔버를 위한 온도 제어장치를 개발하여 현장에서 Field test를 수행한 결과 기존 제품과 비교하여 상당히 우수한 성능을 보유했음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 프로그램 제어방식의 온도 제어장치는 기존의 릴레이를 사용한 ON, OFF 제어 방식이나 무접점 전자 소자를 사용하던 위상제어방식에서 벗어나, TRIAC을 Actuator로 사용한 Zero-Crossing 방식을 채택함으로써 접점의 마모로 인한 시스템의 수명저하를 예방하고 빠른 응답속도를 나타낼 수 있다. 또한 고조파를 발생시키지 않아 주변 전자기기에 영향을 끼치지 않으며, 전압과 전류의 위상이 동일하여 무효전력이 발생하지 않아 기존제품에 비해 소비전력의 감소효과와 더불어 변압기 설비용량의 증대가 불필요한 장점을 지니고 있다. 그리고 우수한 제어 성능을 확보하기 위하여 PID 제어방식을 사용한 알고리즘을 구현하여 이를 마이크로 컨트롤러에 탑재함으로써 보다 정확하고 안정된 출력특성을 나타내도록 설계하였다. 또한 각 단계별 온도 제어가 해당 단계에서 사용자의 수동작에 의해 이루어지던 방식에서 탈피하여 미리 각 단계별 목표온도와 제어시간을 설정하여 프로그램 할 수 있게 하였으며 현장에서 오퍼레이터의 설정뿐만 아니라 직렬통신 기능을 구비하여 원격에서도 감시 및 제어가 가능하도록 하였다.

개발된 온도제어장치는 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 손실을 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 소규모 챔버를 위한 온도 제어장치로 적합한 것으로 사료된다.

※ 본 연구는 산업자원부·산업기술평가원 지정 청주대학교 정보통신 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

**[참 고 문 헌]**

[1] 박정훈, 홍성훈, 강문성, "모양 난방 시스템을 위한 온도제어기 개발", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. -, 2002.  
 [2] 이대우, 조진호, "온도 센서를 이용한 실온 측정 방법", 공기조화·냉동공학, 제18권, 제1호, pp.51-76, 1989.  
 [3] 서강면, 박상선, 강문성, "온도제어를 위한 퍼지제어기의 설계 및 구현", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.659-661, 1997.  
 [4] "센서회로설계 1", 중소기업진흥공단, 1994  
 [5] "온도측정" 생산기술연구원, 1994  
 [6] 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.