

히터온도 제어용 변압기-SCR 전력변환장치 제어 기법

후인안뚜언, 전태원, 이흥희
울산대학교

Control techniques of transformer - SCR power regulator for heater temperature control

Anh-Tuan Huynh, Tae-Won Chun, Hong-Hee Lee
University of Ulsan

ABSTRACT

This paper proposed a three-channel transformer-type power regulator to control the heater temperature by adjusting the voltage across the heater for pre-heating and the post-heating procedures of the material welding. The experimental results are carried out to verify the performance of three-channel heater temperature control for the heat treatment.

1. 서 론

구조물 용접 시 변형 및 균열 예방 등을 위하여 용접 전에 구조물을 정해진 온도까지 가열하는 예열과 용접 후 냉각과정에서 발생하는 잔류응력 등을 제거하기 위하여 정해진 온도패턴에 따라 구조물 온도를 제어하는 후열이 필요하다. 여기에 구조물 예열 및 후열을 위한 히터에 공급하는 전력을 제어하는 전력변환기로 SCR 전력변환기와 변압기형 전력변환기로 분류된다. 먼저 SCR 전력변환기는 입력교류전압의 위상을 제어하여 출력전압을 0V에서 입력전압 크기까지 연속적으로 출력시킬 수 있는 반도체 전력변환장치로 변압기 방식과 비교하면 부피와 중량을 감소시킬 수 있으므로, 이동이 용이하며 제작비용도 상당히 저렴하다는 장점이 있다.^[1] 그런데 누전이나 부하단락 시 보호장치가 미흡하여 모체가 파괴되는 경우가 많으며 특히 인명피해까지 발생할 가능성이 있다.

변압기형 전력변환기는 일본과 영국 등의 회사에서 개발 생산되고 있으며, 변압기의 권선비를 조정하여 220V/440V의 50Hz/60Hz의 입력 교류전압을 65V의 출력전압으로 변환시킨 후 히터에 이 전압을 인가 또는 차단하여 히터온도를 제어한다. 이 변압기형 전력변환기는 출력전압이 65V로 낮으므로 작업 시 감전 등에 대한 인명사고와 전력장치고장으로 의한 세라믹 히터의 손상 등의 사고 가능성이 낮다는 장점이 있으므로 유럽 여러 국가에서 사용하고 있다. 그런데 히터 온도를 아날로그 방식으로 제어함으로써 온도 제어 성능이 저하되는 문제점이 있다.

본 논문에서는 3-채널 변압기형 전력변환기-세라믹 히터 시스템의 온도제어를 저가의 프로세서를 사용하여 디지털로 구현하는 시스템을 구축한 후, 실험을 수행하여 3-채널 변압기형 전력변환장치의 히터온도제어 성능을 검증한다.

2. 열처리용 3-채널 변압기형 전력변환장치

2.1 열처리용 전력변환장치 구성

그림 1은 열처리용 3-채널 변압기형 전력변환장치를 보인 것으로, 3상 변압기와 3-채널 전력변환장치-히터로 구성된다. 3상 변압기는 440V 전압이 연결된 1차 측 권선을 Δ-결선 하고, 2차 측 전압을 SCR 전압강하를 고려하여 65V로 감소시킨다. 이 변압기 2차 측의 각 상별로 2개의 SCR을 역병렬로 연결한 단상 교류전압제어기에 약 1.2 kW급 세라믹히터를 연결한다. 3-채널 교류전압제어기로 60V 전압을 각 히터에 인가 또는 차단함으로써 3-채널 히터온도를 독립적으로 제어한다.

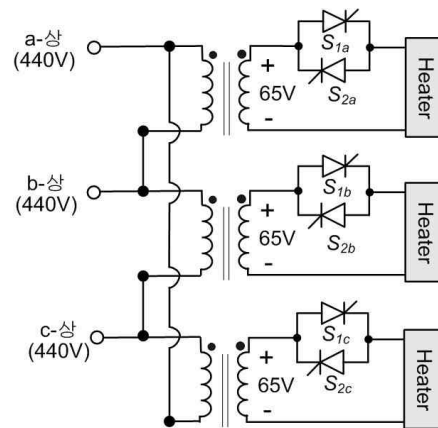


그림 1 열처리용 3-채널 변압기형 전력변환장치
Fig. 1 Three-channel Transformer-type power regulator for heat treatment

1.2 히터온도 제어방식

히터온도를 기준온도로 제어하기 위한 여러 제어기법들이 제시되었다. 특히 히터온도를 신속하게 기준온도로 제어함으로써 히터온도 과도응답 특성을 향상시키기 위하여 PID의 설계 또는 퍼지제어 기법 등을 제안하였다.^[1-3] 그런데 세라믹히터의 온도는 상당히 천천히 상승 또는 하강하는 특성이 있으므로 온도 시정수가 상당히 높다. 따라서 이 세라믹 히터에 PID 또는 퍼지제어를 할 시, 높은 시정수 때문에 PID제어기의 이득 튜닝, 퍼지제어의 설계가 상당히 힘들며 안정도문제가 발생할 가능성이 높다. 따라서 본 논문에서는 세라믹 히터온도를 다음과 같이 히스테리시스 온-오프 방식을 사용한다. 여기서 T는 히터온도, Tref는 기준온도, ΔT는 히스테리시스 온도이다.

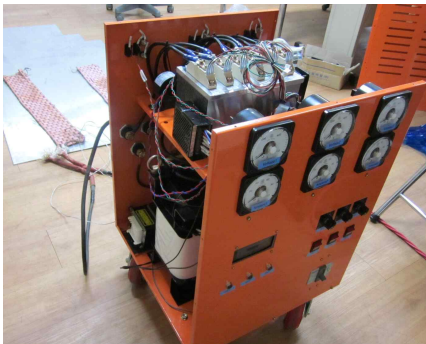
- $T < (T_{ref} - \Delta T)$ 히터전압 = 60V
- $T \geq (T_{ref} + \Delta T)$ 히터전압 = 0V

히터온도가 기준온도에서 히스테리시스 온도를 뺀 값 보다 더 낮을 경우 히터온도를 증가시키기 위하여 두 SCR를 도통시켜 히터에 60V 전압을 인가한다. 다음은 히터온도가 기준온도에서 히스테리시스 온도를 더한 값 보다 더 높을 경우 히터온도를 감소시키기 위하여 두 SCR를 차단시켜 히터에 0V 전압을 인가함으로써 히터온도를 기준온도를 기준으로 히스테리시스 온도 내에서 제어한다.

3. 실험결과

3.1 실험장치 구성

그림 2는 열처리용 10 kVA급 3-채널 변압기형 전력변환장치와 세라믹 히터의 사진을 보인 것이다. 저가의 8비트 AVR로 3개 채널에서 각 채널별로 기준온도 값을 입력하고 측정된 히터온도로 히터온도를 제어하여 SCR을 온/오프 시키고, LCD모듈로 각 채널별 기준온도와 히터온도 값을 표시한다. 그림 2(a)에서 전력변환장치 하단에 3상변압기가 상단에는 교류전압제어기와 AVR제어보드 등이 설치되어 있다. 그림 2(b)는 3-채널 히터온도제어 시 LCD모듈 사진을 보인 것으로 오른쪽 RTx (x = A, B, C)는 각 채널 별 기준온도를 표시하고 왼쪽 HTx (x = A, B, C)는 각 채널의 히터온도를 도 단위로 표시한다.



(a) 변압기형 전력변환장치 사진



(b) 3-채널 히터온도제어 시 LCD 모듈사진

그림 2 10 kVA급 변압기형 전력변환장치 사진

Fig. 2 Photography of 10 kVA transformer-type power regulator

3.2 실험결과

교류입력전압의 영교차점을 인식하기 위하여 교류전압으로부터 +5V 직류전압을 발생시키기 위하여 사용하는 다이오드 정류기내 하위 다이오드의 전압을 사용하여 교류전압의 영교차점을 검출한다. 이 다이오드전압의 영교차점 즉 교류입력전압의 영교차점에서 SCR의 게이팅신호를 발생시켜 교류전압제어기 출력으로 60V 크기의 정현파전압이 히터에 인가한다. 그림 3은 다이오드 정류기내 다이오드 전압과 SCR 게이팅신호의 실험파형을 보인다.

그림 4(a)는 히터온도가 기준온도에서 히스테리시스 온도를 뺀 값 보다 낮을 경우 두 SCR를 도통시켜 히터에 60V 전압을 인가한 전압파형을 보인 것이다. 그림 4(b)는 히터온도가 기준온도에서 히스테리시스 온도를 더한 값 보다 높을 경우 두 SCR를 차단시켜 히터에 0V 전압을 인가한 실험파형이다.

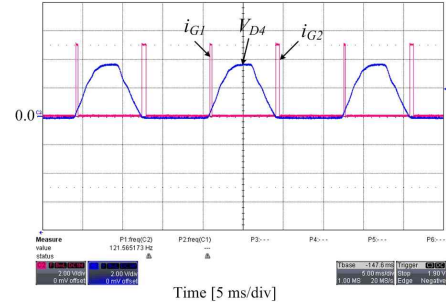
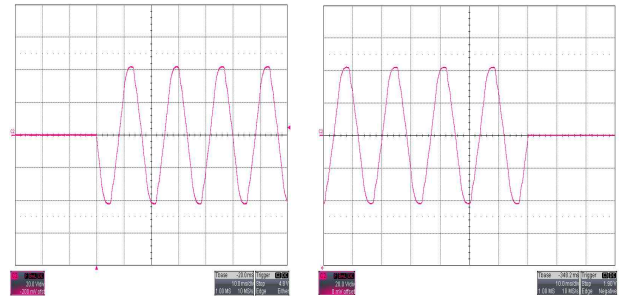


그림 3 다이오드 전압과 SCR 게이팅신호 실험 파형

Fig. 3 Experimental waveform of diode voltage and SCR gating signal



(a) 출력전압 인가 시

(b) 출력전압 차단 시

그림 4 히터온도제어 시 출력전압파형

Fig. 4 Output voltage at heat temperature control

3. 결론

출력전압 크기를 감소시키면서 히터제어용 전력변환장치의 채널수를 증가시키는 3상 변압기와 SCR 전력변환 장치로 3개 채널별로 히터온도를 제어하는 10 kVA급 3-채널 히터온도제어용 전력변환장치를 개발하였다. 실험을 통하여 3-채널 히터온도를 기준온도에 제어하는 제어성능의 타당성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] R. Suguna, V. Usha, and S. Chidambaram, "A temperature control by using PID based SCR control system," *IOSR-Journal of Electronics and Communication*, Vol. 9, No. 2, pp.52-55, 2014, Mar./Apr..
- [2] G. Oltean and L. N. Ivanciu, "Implementation of a Fuzzy logic-based embedded system for temperature control," in *Proc. IEEE-MEC*, pp. 201-205, 2013.
- [3] C. Xu, M. Huang, H. Jin, Z. Tang, and D. Zhang, "Study of fuzzy-PID control and simulation of electrical heating in calibration device for heatmeters," in *Proc. of ICEMI*, pp.859-863, 2009.