

펄스 출력 구현이 가능한 디지털 제어의 SCR형 CO₂ 용접시스템의 개발

은 종 목*† · 최 규 하**

*(주)파워웰

**건국대학교 전기기계 및 전력전자 연구실

Development of Digital controlled SCR type CO₂ Welding System for Implementation Pulse Output

Jong-Mok Eun*† and Gyu-Ha Choe**

*Powwel Co.,Ltd., Seoul 153-803, Korea

**Department Electric Machine and Power Electronics, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

†Corresponding author : powwel@powwel.com

(Received January 11, 2013 ; Revised February 1, 2014 ; Accepted February 11, 2014)

Abstract

SCR(Thyristor) type CO₂ welders have widely used for the welding process of heavy industries such as shipbuilding and plant. Since the industrial fields of shipbuilding and plant are usually exposed to severe welding condition with lots of dust, extreme temperature, high humidity and vibration, it is not recommended to use inverter type welder despite its state-of-the-art technology. Many sophisticated functions in the inverter welder may not work due to malfunction of its sensitive components. Hence this study focused on digitalization of SCR CO₂ welder by making use of microprocessor for SCR phase control. By this application, fine control of output of the CO₂ welding systems is achieved. Also pulse output mode of operation is realized and its verification is carried out with aluminum sample welding. The experimental results showed sound weld bead. The front operation panel provide user with numerical parameter settings and monitors. It will help precise weld process monitoring and control with digital value.

Key Words : CO₂ Welding, SCR, Microprocessor, ASIC, Phase control, Pulse output

1. 서 론

용접기 관련 기술은 모든 산업분야에 필요로 하는 제조업의 뿌리기술로서 다양한 철강 및 금속 산업과 더불어 발전해가고 있다. 본 논문에서 연구한 SCR (Silicon Controlled Rectifier; Thyristor)형 CO₂ 용접기는 조선이나 플랜트 등의 중공업 분야의 용접공정에서 가장 많이 사용되는 용접기지만 다른 용접기에 비해 발전은 매우 느리다. 과거 SCR을 이용하던 전원장치는 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)와 IPM (Intelligent Power Module) 등의 고성능 스위

칭소자로 빠르게 대체되고 있으며, 또한 저속의 프로세서를 이용하던 제어장치는 고속의 프로세서를 이용하여 보다 정밀한 디지털 제어를 구현하고 있다¹⁾. 최근에는 용접기에도 고속 저가의 DSP(digital signal processor)가 사용되어 피지제어에 의한 아크길이제어, 비드폭 제어, 아크안정성제어 및 스패터저감 기능을 실현하였다²⁾.

이렇게 용접기 제어 기술은 고도화되어 가면서 정밀 용접 기기들도 인버터화 되고 디지털화 되었지만 조선이나 플랜트용의 CO₂용접기는 여전히 SCR형 제어 방식에 머물러 있고 심지어 제어회로 또한 아날로그 형태를 벗어나지 않고 있다. 이는 적용되는 산업 현장이 분진, 온도, 습도, 침수, 진동 등 매우 열악한 조건으로

용접기의 고장은 곧 생산성을 저하시키는 원인으로 부품수가 많고 진동이나 습기 등에 약한 정밀 인버터형을 선호하지 않기 때문이다. 그러나 최근에는 모든 분야에 디지털화가 가속화되면서 첨단 기술을 적용하려는 움직임이 있고 CO₂ 용접기 역시 발전되어야 한다는 인식이 커지고 있다.

최근 용접기의 디지털화는 용접조건을 정밀하게 제어 가능하여 알루미늄 용접시 발생하는 각종 결함을 효과적으로 제어할 수 있다³⁾. 본 연구에서는 이런 현실에 즈음하여 작업 현장에서 SCR형 CO₂용접기를 인버터로 대체하는 일이 결코 쉽지 않으므로 전력부는 SCR형을 그대로 사용하고 제어부를 디지털화하는 실험을 하였다.

연구목적은 마이크로프로세서(Microprocessor)를 이용하여 SCR의 위상(Phase)을 제어하여 CO₂ 용접기의 출력을 정교하게 제어하고, 이를 활용하여 펄스(Pulse) 출력을 구현하여 알루미늄 용접이 가능한 SCR형 CO₂ 용접기를 설계하고 실험하였다. 또한 용접아크의 이행에 필요한 공정들을 한 개의 마이크로프로세서로 제어하고 전면의 조작부를 디지털 수치화함으로써 용접 품질 규격을 정확히 판단하도록 하는데 도움을 주었다. 본 연구에서 주로 마이크로프로세서를 이용하여 SCR의 위상을 제어하고 CO₂용접기의 출력을 가변하고 펄스 출력을 얻어 알루미늄 용접의 실험에 역점을 두었다.

2. CO₂ 용접시스템의 동작원리

2.1 CO₂ 용접의 원리

CO₂용접 방법은 불활성가스인 CO₂ 가스 안에서 (+)전극을 이루는 용가재(Filler Metal)와이어를 용접하려는 금속의 (-)전극에 일정속도로 공급하게 되면 와이어와 용접금속 사이에 단락이 발생된다. 이때 단락을 급히 해제시키기 위해 높은 단락전류를 흘려주면 높은 전류에 의해 와이어는 단락이 해제되면서 아크를 형성하게 되고 이 순간 스패터(Spatter)도 발생된다. 아크가 형성된 상태에서는 정전압 모드가 되어 설정된 용접 전압으로 유지되다가 다시 와이어가 단락상태로 가게 되면 한공정이 되는 것이다. 여기서 용접전류는 전력제어로 설정되는 것이 아니라 와이어를 공급하는 모터의 속도에 의해 결정된다. 그러므로 전원장치는 출력전압과 최대 단락전류만을 결정하고 이것의 곱이 CO₂ 용접기의 최대 전력용량이 된다. Fig. 1은 기존의 CO₂ 용접기의 단락이행시의 전압, 전류 파형을 보여주고 있다.

여기서 전압파형은 일정하게 설정값을 유지하여 최대 전압이 균일하게 되지만 전류의 최대치는 와이어의 단

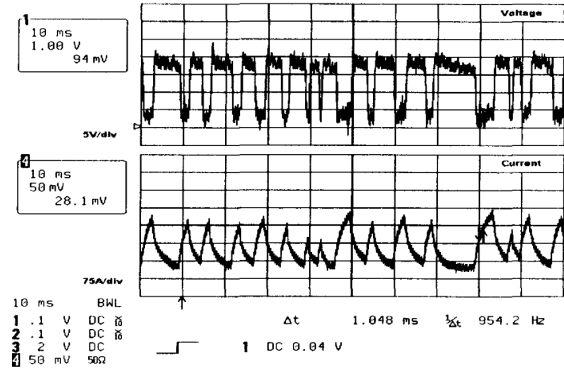


Fig. 1 Wave form of CO₂ welding voltage & current

락상태에 의해 발생되므로 일정하지 않다. 그러나 최근의 기술들은 이들 단락지연제어(SCDC)방식을 이용하여 단락파형을 강제로 제어하여 스패터가 적고 고품질의 용접상태를 얻기도 한다⁴⁾.

2.2 SCR형 CO₂ 용접기의 구성

SCR형 CO₂ 용접 시스템의 구성은 Fig. 2 에서 보면 용접기, 와이어피더기, 모터부, 와이어, 가스통 및 가스라인, 토치 등으로 구성되며 이들 모두가 정해진 시퀀스에 따라 용접이 시작될 때 가스가 먼저 나오고 와이어가 송출되어 출력전압이 생성되고 단락이행이 이루어지고 끝날 때는 와이어가 정지되고 전압이 순간적으로 상승 후 Off되고 가스는 몇초 후에 정지되는 순서를 이루며 이러한 동작 시퀀스는 한 개의 마이크로프로세서에서 이루어진다.

CO₂ 용접기 전력부의 구성은 60(Hz)의 3상 트랜스포머와 2차측의 SCR 정류기, 출력리액터 및 와이어 송급 장치가 기본적으로 구성되며 부가적으로 1차측의 마그네트스위치, 냉각팬, 위상검출 트랜스포머 등 많은 부품으로 구성이 된다. Fig. 3 에서는 기본적인 4가지 구성 요소를 나타내고 있다⁴⁾. 여기서 SCR 제어를 1차측에서 할 경우는 2차측에 별도의 정류형 Diode가 필

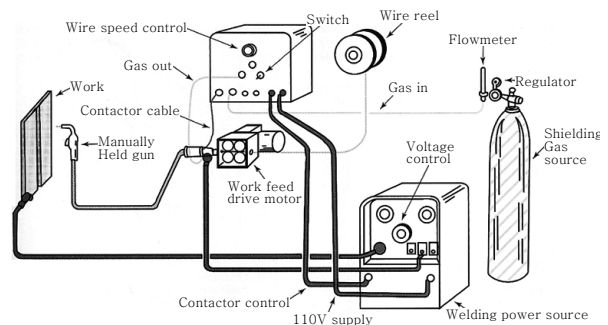


Fig. 2 Configuration of CO₂ welding system

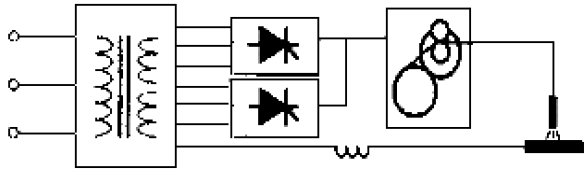


Fig. 3 Block diagram of SCR controlled CO₂ welding machine

요하게 되어 반도체가 이중으로 사용되므로 원가를 절감하기 위해 1차측은 마그네트 스위치를 사용하여 전력을 On-Off하고 2차측에 SCR를 이용하여 출력전력의 크기를 제어하고 동시에 정류기 역할을 행하고 출력리액터를 이용하여 위상각의 파형을 평활하여 DC 전압을 얻는다.

3. 마이크로프로세서 제어 SCR형 CO₂ 용접기의 설계

3.1 SCR CO₂ 용접기 회로의 구성

회로를 구성하기에 앞서 실험장치의 규격을 설정하였다. Table 1에 입출력 관련 규격을 설정하고 출력전류를 산업 현장에서 가장 많이 사용하는 600[A]로 하였다.

용접기 회로의 구성은 Fig. 4에서 트랜스포머의 2차측에서 6개의 SCR 제어로 정류기 및 위상 제어를 동

Table 1 Specification of CO₂ welding machine

Input power	440V 60Hz 3Ph
Output voltage	15V - 45V DC
Output current	100A - 600A DC
Pulse frequency	10 -100 Hz
Short current	750A DC max
Control type	Constant voltage

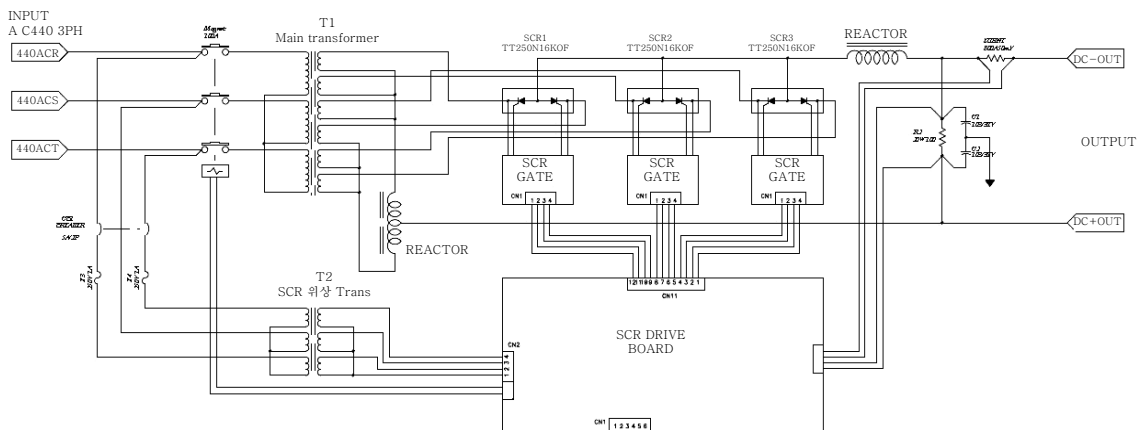


Fig. 4 Block diagram of SCR CO₂ welding machine

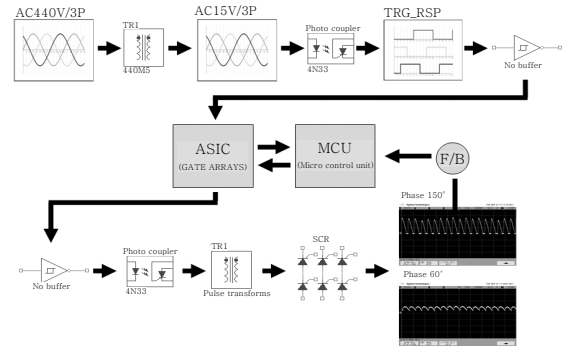


Fig. 5 Block diagram of MCU controller

시에 하도록 구성되어 출력의 (-)부는 리액터로 연결되어 있어 원하는 DC 전압을 얻도록 구성하였다. 제어의 핵심은 모두 디지털화하여 마이크로프로세서와 ASIC (Application Specific IC)으로 구성되며 위상검출부와 게이트 드라이브는 트랜스포머로 구성된다. Fig. 5에 제어 회로를 나타내며 먼저 위상을 검출을 하여 트리거신호를 만든 후 ASIC으로 보내고 마이크로프로세서에서 피드백 값과 설정값을 비교하여 각 3상의 위상각을 트리거신호의 스타트 신호에서 시간을 연산하여 게이트(Gate) 신호를 만들어 준다. 이 신호는 절연과 증폭회로를 거쳐 6개의 SCR를 각각 트리거 시킨다.

3.2 입력 기준신호

입력 기준신호(Reference Pulse Input)는 AC 입력과 정확한 위상 타이밍 계산을 위해 AC440[V]를 동기용 트랜스포머를 거쳐 AC15[V]로 변환한 회로로 입력시킨 후 절연하여 SCR 위상제어의 기준으로 사용한다. 이때 입력전원과 절연시키기 위해 포토커플러(Photo Coupler)로 입력측 다이오드의 정현파와 출력 TR측의 구형파와의 시간차는 약 수백[μsec] 정도의 지연이 생긴다. 이것은 다이오드측의 저항값에 따라 차이가 있기

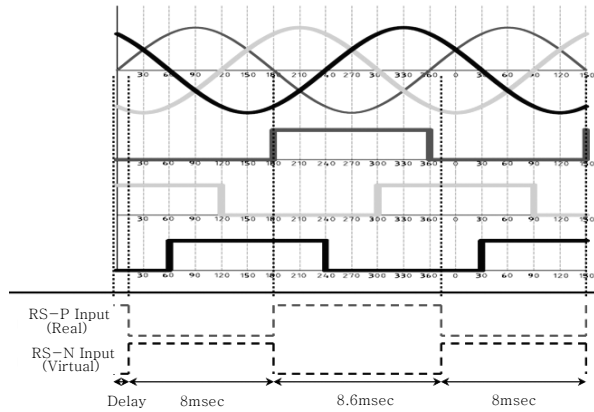


Fig. 6 Time chart of reference pulse input signal

도 하다. 또한 RS-P 펄스입력으로부터 RS-N의 펄스는 Fig. 6과 같이 펄스의 실제의 파형과는 차이가 있다. 이를 보완하기 위하여 RS-P측을 제어하는 위상 제어값과 RS-N을 제어하는 위상 제어값은 약간의 지연을 두고 다르게 제어한다. ST-P, ST-N, TR-P, TR-N의 제어방식도 위와 동일하다.

3.3 위상값 계수(Phase value Counter)

ASIC 내부에서 사용되는 기준 클럭은 11.0592 [Mhz]이며 각 SCR 게이트의 최소 제어 범위 분해능을 0.1도로 정하고 0도에서 180도(120Hz) 사이를 제어하게 되면 0.1도에 대한 클럭의 수는 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$X[clk] = \frac{CK_{ref}}{F_{1ph} \times \frac{D_{haf}}{R_s}} \quad (1)$$

- CKref ; 기준 클럭(11.0592 MHz)
- F1ph ; 3상중 1상의 주파수(120Hz)
- Dhaf ; 양과정류시 사용각도(180도)
- Rs ; 분해능 (0.1)

상기 식에 의한 계산에서 클럭은 51.2[clk]가 된다. 즉 내부 클럭이 51.2개가 지나갈 때 SCR의 위상각이 0.1도씩 변할 수 있는 시간으로 약 4.63 [μsec]에 해당한다. 위상은 16비트 값을 가지며 300에서 1600의 값으로 제어되며 1600이하의 실험결과 출력이 되지 않았다. 다운카운터를 거쳐 기준입력에 대해서 위상 값만큼 지연을 가진 후 출력된다.

3.4 게이트 펄스 출력(Gate Pulse Output)

앞에서 출력된 펄스는 일정시간 유지가 되어야 하는데

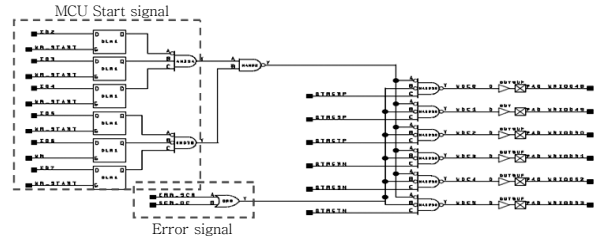


Fig. 7 Circuit diagram of gate pulse output

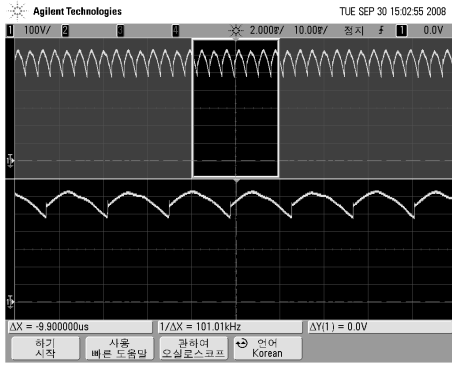
그러한 역할을 하는 회로가 게이트 펄스폭 카운터(Gate pulse width counter)이다. 이것은 입력 받은 시간만큼 유지시키는 기능을 하는데, 약 100[μsec]에서 200[μsec]정도 유지하도록 구성하였다. Fig. 7에서 보면 생성된 펄스는 출력버퍼를 통한 후 포토커플러와 펄스 트랜스포머를 통하여 SCR 게이트로 전달되는데, 총 6개의 펄스가 출력된다. 이때 내부의 센서 등에 의해 온도의 이상이나 과전류 신호가 있게 되면 에러신호에 의해 게이트 출력이 차단되도록 설계하였다.

4. 실험 및 고찰

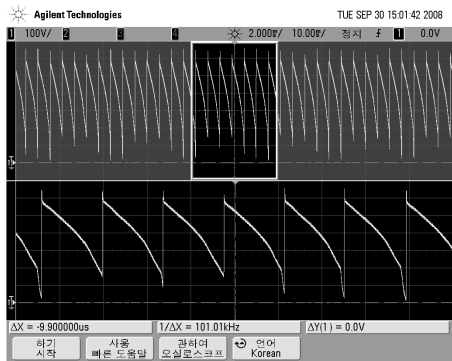
4.1 위상제어 분석

마이크로프로세서와 ASIC으로 구성된 전력제어 회로를 실제 제품을 제작한 후 출력변화의 실험 및 펄스출력 실험을 행하였다. 또한 용접조건에 필요한 시퀀스제어가 포함되어 최적의 용접이 되도록 많은 파라미터(Parameter)값을 디지털 방식으로 조절하도록 프로그램 하였다. 이는 크게 4가지 모드로 분류하는데 아크전압, 단락전류, 용접전류, 시퀀스 등이다. 아크전압은 아크가 형성될 때에 정전압 출력을 만드는데, 설정된 최대 전압값과 출력전압을 비교기에서 비교하여 오차의 크기를 피드백(Feedback)하여 SCR의 턴온(Turn-on) 시간을 0도에서 180도 안에 발생하여 위상각을 밀거나 당겨서 출력전압이 일정하도록 제어한다. 단락전류는 아크가 줄어 단락모드가 될 때에 단락 전압은 아주 낮아서 제어가 되지 않으나, 단락된 와이어를 녹일 수 있는 최대전류가 필요하며 보통 와이어 직경이 1.2mm일 때 750A의 전류가 흐르도록 설정하고 직경에 따라 단락 전류는 조절되도록 프로그램 하였다. 용접전류는 와이어의 속도에 의해 설정되며 와이어가 정속도를 잘 유지하도록 별도의 회로로 제어되며 전력 제어와는 분리된다. 이때 정속도는 용접 품질에 크게 영향을 미친다.

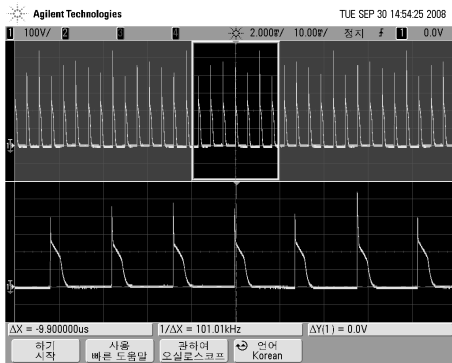
SCR 제어의 위상각을 턴온되는 시간의 위치에 따라 출력 전력의 크기가 파형의 크기와 비례하여 달라지며 이는 출력부에서 적분되어 실제 출력전압의 크기로 나



(a) Wave form of turn-on at 60 phase angle (max.)



(b) Wave form of turn-on at 100 phase angle (mid.)



(c) wave form of turn-on at 150 phase angle (min.)

Fig. 8 Wave form of SCR output at phase

탄한다. Fig. 8은 위상각의 턴온 각도에 의한 SCR의 출력파형이며 위상각이 적으면 출력전압이 크고 위상각이 커질수록 출력전압은 작아지므로 이를 이용하여 출력을 조절할 수 있다.

4.2 펄스 제어 분석

앞에서 위상각의 분해능은 0.1도 단위로 제어가 가능하며 6개의 SCR을 정밀하게 제어 가능한 것은 마이크로프로세서를 사용하기 때문이며, 정밀제어의 특징을 이용하여 SCR CO₂ 용접기의 DC 전압을 펄스로 구현하는 실험으로 1 [Hz]에서 100[Hz]까지 가변 해 보았다. 그 결과 알곤 가스를 사용한 알루미늄 용접이 별

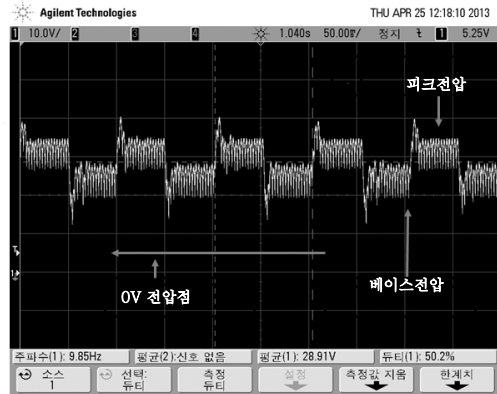


Fig. 9 Wave form of pulse output at aluminum welding

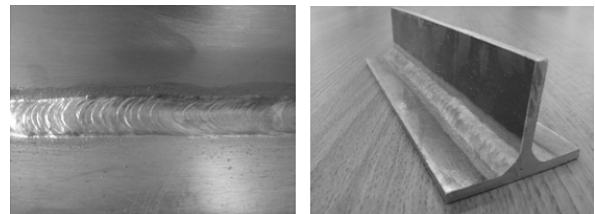


Fig. 10 Picture of aluminum sample by pulse welding

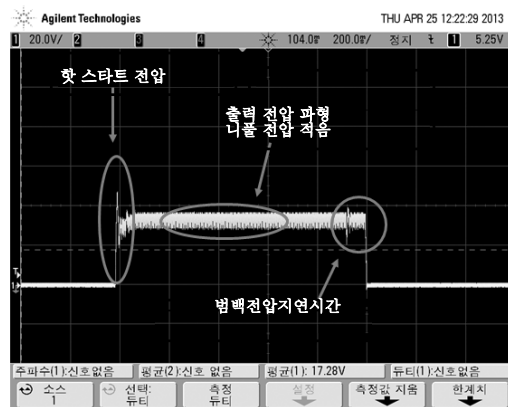


Fig. 11 Wave form of output voltage at welding process

문제없이 이루어졌고 주로 낮은 주파수인 10[Hz] 미만에서 더 부드러운 용접 효과를 얻었다. Fig. 9는 10 [Hz] 펄스의 실제 알루미늄 용접 시 출력파형이다. 그림에서 피크(Peak)전압은 25[V] 정도이며 베이스(Base)전압은 15[V] 정도이다. Fig. 10은 실제 알루미늄의 용접한 시료이다.

본 연구에서 설계한 디지털 방식의 제어는 펄스의 구현 외에도 많은 장점을 얻는다. 용접공정에 필요한 시퀀스를 넓은 파형으로 측정할 결과 디지털 제어의 장점인 명확한 파라미터의 설정과 실행이 잘 이루어짐을 Fig. 11을 통하여 알 수 있다. 뿐만 아니라 위상제어의 정확

성으로 출력전압의 리플(Ripple) 수준이 인버터 형에 비해 부족함이 없고 핫스타트(Hot start)전압이나 번백(Burn back) 전압의 명확성을 볼 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 펄스 출력의 구현이 가능한 디지털 제어를 사용한 SCR형 CO₂ 용접기의 개발로서 펄스 출력에 의해 알루미늄 용접의 구현을 하였다. 또한 대전력 CO₂ 용접기의 디지털화를 통하여 정확한 위상제어로 출력 전압의 정밀도를 한층 높였을 뿐만 아니라 아나로그 방식에 비해 3개의 위상을 각각 제어하기 위해 위상각을 0.1도 단위로 계산하여 트리거함으로서 각 위상들이 서로 틀어지는 고장의 원인이 없고 역률을 저하시키는 원인도 제거된다. 또한 디지털 수치의 표시에 의한 설정 등이 가능하여 모든 파라메타를 데이터화하여 메모리에 저장 관리함으로서 용접 품질관리에 큰 장점을 줄 수 있다.

본 실험을 통하여 IGBT 제어 등의 앞선 기술 속에서도 현장의 필요성에 의해 존속되는 SCR 제어의 CO₂ 용접기도 디지털화로 개선하여 한층 정밀도를 높일 뿐만

아니라 고장 문제도 해소할 수 있다. 본 연구를 기반으로 보다 더 성능을 개선할 필요가 있고 향후 더 많은 연구를 통하여 성능이 우수한 용접기를 개발할 필요가 있다.

Reference

1. Jaehoon. Oh, "A Development of Inverter Spot Welding System" 2006 Power Electronics annual Conference (2006), 172-174
2. Hoi-Soo Ryoo, "Trends of Control Technology in GMA Welding Power Source", Journal of the KWJS **29-6** (2011), 9-14 (in Korean)
3. C. J. LEE, Y. C. KIM, J. D. KIM, "Technology on Arc Welding Machine of Aluminum by Digital Control", Journal of KWJS, **31-1** (2013), 26-32 (in Korean)
4. J. S. Gho, K. N. Kim, "A Study on Welding Performance Improvement of CO₂ Inverter Arc Welding Machine by Short Circuiting Delay Control and Arc Reignition Detection Control", Journal of Power Electronics **7-3** (2002), 275
5. D. H. Woo, Y. M. Chae, G. H. Choe, "Design of Digital Controller for Thyristor controlled Arc Welding Machine", Journal of Power Electronics **3-2** (1998), 93