

# 사이리스터 정류기형 아크용접기의 디지털 제어기 구현에 관한 연구

우 동 학, 구 자 열, 채 영 민, 최 규 하, 안 기 은\*, 한 광 수\*  
(전국대학교 전기공학과, \*조흥산업(주))

## A Study on application of Digital Control technology to Thyristor controlled Arc Welding Machine

Dong-Hak Woo, Ja-Youl Goo, Young-Min Chae, Gyu-Ha Choe,  
Ki-Eun Ahn\*, Kwang-Su Han\*

(Dept. of Electrical Engineering, Kon-Kuk University, \*Cho-Hueng Ind. LTD.)

Abstract - With the development of semiconductor devices, adaptation of microcontroller prevails in industrial area. But in arc welding industry, there has not been much progress in adoption of microcontroller technology. Therefore, this paper shows the application of digital control technology to welding machine.

This paper presents the design of microcontroller that is appropriate for three phase CO<sub>2</sub> gas metal arc welding machine. By using microcontroller in CO<sub>2</sub> gas metal arc welding machine, the overall cost can be reduced compared to analog type one. Also TMS370C850 microprocessor is used as overall microcontroller for the arc welding machine.

### 1. 서 론

최근 대용량 전력용 반도체 소자의 가격저하와 마이크로 프로세서 등의 비메모리 분야의 발달에 따라 모재를 접합하는 용접기 분야에 전력변환장치를 사용하여 용접기의 다기능화 및 성능향상에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1]

특히 산업현장에서 자동용접기로서 가장 많이 사용되는 GMA(Gas Metal Arc)용접기는 소모성 전극을 사용하는 아크 용접기로서 사용되는 보호가스의 종류에 따라 탄산가스를 사용하는 CO<sub>2</sub>용접, 아르곤가스 등의 불활성 가스를 사용하는 MIG (Metal Inert Gas)용접, 아르곤가스와 탄산가

스 등 혼합가스를 사용하는 MAG (Metal Active Gas)용접으로 나눌수 있고 일반적으로는 CO<sub>2</sub> GMA용접기가 가장 많이 사용된다.[3]

초기의 용접기는 변압기를 통하여 교류전원을 직접 용접기의 출력전원으로 사용하는 아크용접기가 주류를 이루었으나, 최근에는 사이리스터를 이용하여 변압기의 2차측 출력전압의 크기를 제어하는 용접기가 개발되어 사용되고 있다. 그러나 이러한 사이리스터 제어형 용접기는 대부분 아날로그 방식의 제어기를 사용함에 따라 용접기의 다양한 제어기능 수행을 위해 많은 소자들을 사용하며 용접기 성능향상을 위한 추가적인 기능의 구현 시에는 새로운 제어기를 설계하여야 하는 단점이 있다.[2][4]

따라서 본 논문에서는 범용적으로 가장 널리 사용되는 사이리스터 제어방식에 의한 GMA용접기의 디지털 제어기 구현에 관하여 연구하였다.

### 2. GMA 용접기 제어부의 제어기능

그림 1은 사이리스터 정류기 방식의 GMA 용접기의 구성도를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 용접기는 크게 전력변환장치(변압기, SCR 컨버터,

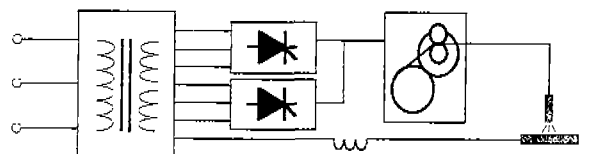


그림 1 사이리스터 정류기방식 용접기

터액터), 와이어 송급장치, 토치 및 차폐가스로 구분할 수 있다.

GMA 용접법은 와이어 및 모재가 극성을 가지고 아크를 발생시켜 용접을 하게되므로 아크열에 의해 와이어 끝이 녹게되면 와이어 송급장치에 의해 아크를 유지하며 용접을 하게 된다. 따라서 용접기는 아크를 발생시킬 수 있는 전압과 와이어를 송급하는 모터만을 제어하면 되지만 모재를 녹여서 접합이나 절단을 하는 용접이라는 특성 때문에 용접기는 부가적으로 필요한 여러 가지의 기능을 가져야만 한다.

그림 2는 GMA 용접기가 가져야할 제어의 시퀀스를 나타내며 GMA 용접기용 제어기가 가져야할 기능을 요약하면 다음과 같다.

- ① 전압제어: 정류기 직류출력전압을 제어하여 아크 발생 및 유지에 필요한 용접전압의 적절한 가변과 용접시 정전압 특성을 가지도록 제어한다.
- ② 전류제어(송급모터 속도제어): 와이어 송급모터의 송급속도를 조절하여 모재에 와이어가 녹아 들어가는 속도를 제어하여 정류기 출력전류를 제어한다. 이때 송급모터는 전류조정에 따른 송급모터의 속도가 가변 되어야 하며, 용접 시에는 일정한 속도의 정속도 특성을 가져야 한다.
- ③ 가스제어: GMA 용접기는 와이어가 모재에 닿아 용접되기 전에 가스를 불어줌으로써 모재의 이물질 제거 및 모재와 와이어 사이를 활성 기체로부터 차폐시켜주기 위한 프리플로우(preflow) 기능과 비드의 화학성분을 좋게 하고 양질의 비드(bead)를 얻기 위해 용접후 용접 비드 부위에 가스를 불어주는 에프터플로우(afterflow) 기능을 가져야 한다. 또한 용접 중에는 정상적인 가스 출력을 하도록 제어하게 된다.
- ④ 슬로우 다운(slow-down speed): 용접 개시전의 와이어 속도가 빠를 경우에는 초기 아크발생이 용이하지 않으므로 그림 2의 구간 (a)에서와 같이

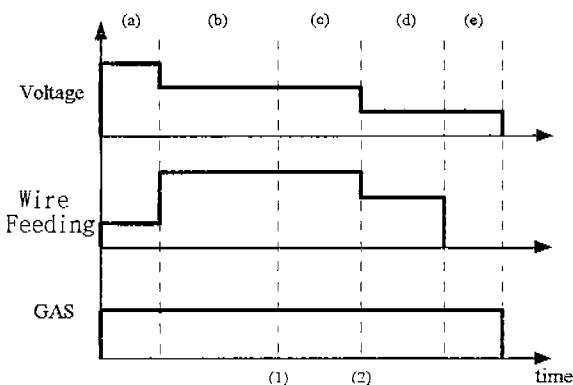


그림 2 용접기 제어 시퀀스

아크가 발생되기 전에 와이어 송급속도를 낮은 속도로 유지하여 초기에 아크발생을 돕기 위한 기능이다.

- ⑤ 안티스틱(antistick): 용접이 끝날 때 용접와이어가 모재에 달라붙는 현상을 방지하기 위한 것으로 그림 2의 구간 (e)와 같이 토치를 놓았을 때 와이어는 송급을 바로 중단시키고 용접전압은 0.1 초 정도의 지연시간을 두어 모재로부터 와이어가 끊어지도록 하는 기능이다.
- ⑥ 크레이터(crater): 크레이터 기능은 용접이 끝날 때 저전압, 저전류로 와이어를 녹여서 용접 비드 끝부분에 분화구(crater) 모양의 파인 부분을 채워넣기 위한 기능이다. 이를 위해서는 주 전압, 전류 조절 장치와는 다른 크레이터 전압, 전류 조절장치를 따로 두어 전압, 전류를 조절하게 된다. 그림 2의 구간 (b)에서와 같이 정상적인 용접 중에 (1)의 시점에서 토치스위치를 놓아도 용접기는 정상적인 동작을 하게 된다. (2)의 시점에 토치스위치를 다시 잡으면 구간 (d)에서와 같이 크레이터 전압과 와이어 송급이 이루어지게 된다. 토치스위치를 다시 놓으면 (e)의 안티스틱 지연을 가지고 용접을 끝마치게 된다.
- ⑦ 일원제어: 좋은 용접특성을 얻는데 있어 중요한 요소인 와이어의 직경에 따라 적정의 용접환경을 설정해 주는 기능이다. 일원제어시에는 용접 전류만을 조절하면 와이어 직경에 따른 적합한 용접전압을 갖도록 한다.
- ⑧ 기타: 이외에도 와이어 교체 시에 송급와이어를 토치까지 밀어넣어주는 인칭 기능과 용접 후에 가스 스위치에서 용접전원과 토치까지의 호스에 남아있는 잔류가스를 제거하는 기능 등이 있다.

### 3. GMA 용접기의 제어부 설계

#### 3.1. 전압 제어부

본 논문의 연구대상인 용접기는 그림 3에서 보인바와 같이 대전류 출력에 적합한 중박 Y형태의 3상 SCR 정류기를 사용하였다. 중박 Y 3상 SCR 정류기는 6펄스 출력을 만들기 위해 병렬로 동작하는 두 개의 독립적인 3상 반파정류기로 구성되며 각각이 180°의 위상차를 가지도록 연결되어 있다. 부하전압은 최대 순시치가  $\frac{\sqrt{3}}{2} V_{max}$ 인 6펄스의 특징을 가진다. 각각의 SCR은 점화각이 60°에서 각 싸이클의 1/3동안 도통하므로 한순간에 각 그룹에서 하나의 다이오드가 도통하게 되므

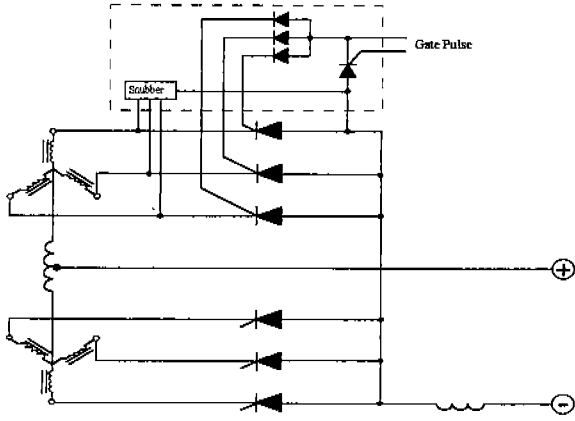


그림 3 중복 Y 3상 SCR 정류기

로 각 그룹에는 부하전류의 1/2이 흐를 수 있다.

점화각이  $\alpha$ 일 때 부하전압의 평균값을 구해보면 다음의 식 (1)과 같다.

$$V_{mean} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1}{2\pi/6} \int_{\pi/3}^{2\pi/3+\alpha} V_{max} \sin \theta d\theta$$

$$= \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_{max} \cos \alpha \quad (1)$$

식(1)에서 알 수 있듯이 평균전압은 부하전류가 일정할 때  $\cos \alpha$ 에 비례하게 된다.

중복 Y 3상 SCR 정류기에서 점화각 제어는 전원과의 동기신호 검출에 의해 한 그룹의 SCR에  $120^\circ$ 의 위상차를 두고 순차적으로 게이팅을 가하며, 다른 그룹은 앞의 그룹과  $30^\circ$ 의 위상차를 갖는 동기신호에 의하여 역시 순차적으로 SCR에 게이팅을 가하는 형태로 제어된다.

이를 위해서는 주 전원의 동기신호검출과 MPU와의 인터페이스회로가 필요하며 MPU의 출력으로 주 전원의 SCR를 게이팅할 수 있도록 인터페이스 및 게이트 드라이브 회로가 필요하게 된다.

본 논문에서는 중전에 SCR 각각에 순차적으로 게이팅 신호를 가해주던 방식과는 달리 그룹 A와 그룹 B를 각각 하나의 단위로 묶어 각 그룹 SCR

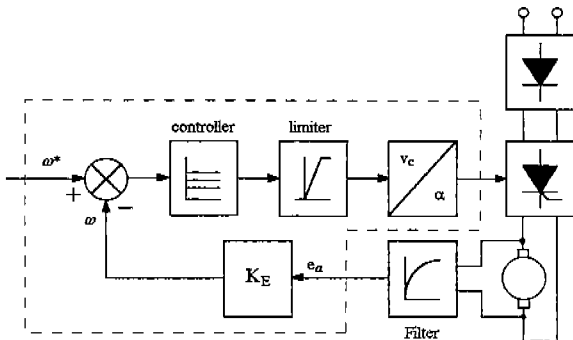


그림 4 송급모터 제어의 블록선도

에 공통적으로 게이트 신호를 인가하여 게이트 신호의 수를 감소시켰다. 따라서 전체 프로그램의 축소와 게이트 드라이브 회로의 단순화를 이룰 수 있었다.

### 3.2. 송급모터 제어부

그림 4는 본 논문에서 사용한 송급모터 제어의 블록선도이다. 그림에 나타난 바와 같이 전류조절에 의해 발생된 속도의 기준신호는 실제속도와 비교되어 그 오차가 일정한 허용오차를 벗어나게 되면 송급모터 전원측 SCR의 도통각을 늘이거나 줄이게 되어 모터는 정속도 운전을 하도록 제어하였다.

그림 5는 모터 제어부의 회로이다. 본 논문에서는 동기신호 발생을 위해 포토커플러 1차측의 다이오드 특성을 이용하여, 전파정류된 모터 전원부가 포토커플러의 1차측 입력으로 인가되고 다이오드 특성에 의해 포토커플러의 2차측에서는 1차측의 0.7V 이상 입력에 대해서 5V의 전압이 출력되어 마이크로프로세서의 C포트로 동기신호가 들어가게 된다.

프로세서의 B포트로 출력된 게이트 신호는 별도의 전원에 의한 SCR 게이트 드라이브 회로의 입력으로 사용된다. 또한 송급모터의 정속도 제어를 위해 모터 양단에서 발생되는 모터의 역기전력을 검출하여 A/D 컨버터를 통해 프로세서로 입력된다.

그림 5에서와 같이 모터의 제동시에는 릴레이에 의해 SCR쪽 회로에서 제동저항쪽 회로로의 전원이 가능하도록 하였다.

### 3.3. 가스제어부 및 기타회로

가스를 제어하기 위한 제어부는 가스조절 릴레이에 의해 동작하는 가스개폐 스위치를 두고 프로세서는 이 릴레이만을 동작시켜 가스가 조절되도록 하였으며 같은 릴레이를 전압제어부에도 연결

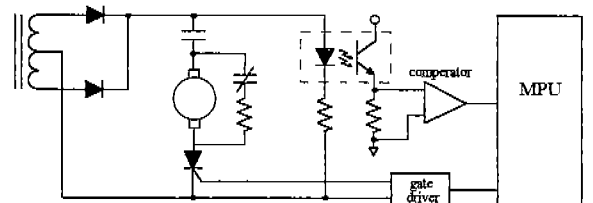


그림 5 송급모터 제어회로

하여 안티스틱 기능이 동작되도록 하였다. 또한 릴레이의 점점에 스위치를 두어 잔류가스 제거 기능을 갖는다.

프로세서의 A/D입력에는 주 전압, 전류와 함께 크레이터 전압, 전류, 모터의 역기전력의 5채널의 A/D입력을 사용하였고, 이외에도 프로세서의 C포트에 스위치를 달아 인칭, 일원조정, 크레이터 모드로의 전환 등이 가능하도록 하였다.

#### 4. 제어 알고리즘

본 연구에서는 4KByte의 EEPROM 프로그램 메모리와 256 Byte EEPROM 데이터 메모리, 128 Byte의 데이터 RAM 및 8 채널의 A/D 컨버터를 내장하고 있는 TMS370C850 마이크로 프로세서를 사용하였다.

전체 제어프로그램은 정상모드 운전시에 전압제어 루틴, 전류제어루틴 및 기타제어루틴으로 구성되며, 크레이터 모드 및 일원 모드로의 전환이 가능하도록 하였다.

① 메인루틴: 전체 용접출력제어를 위한 순서도는 그림 6과 같다. 프로그램은 각각의 포트 및 메모리, 인터럽트 등의 초기화를 한 후 메인루틴으로 들어가게 된다.

메인루틴에서는 포트 C의 입력을 검사하여 인칭, 일원제어 등을 조사한다. 또한 터치스위치 ON시에는 자계감지(RDS) 스위치를 검사하여 용접 중 인지를 확인하여 슬로우다운 모드로 동작함을 가

능하도록 하였으며, 크레이터 입력 등을 조사한다. 터치스위치 OFF시에도 크레이터를 조사하여 크레이터 모드로의 전환이 가능하도록 하였으며, 용접이 끝날 때 안티스틱 기능 등을 수행한다.

② 전압제어루틴: 용접기 출력전압을 제어하기 위한 전압제어루틴은 중복 Y 각 그룹의 3상 동기신호를 외부 인터럽트 1과 외부 인터럽트 2로 받아들이게 되며 외부 인터럽트 1 처리 루틴에서는 A/D 컨버터를 통해 가변저항으로부터 입력된 전압신호에 의해 메인루틴에서 결정된 타이머 1의 주기로 3상 동기신호로부터 타이머를 동작시켜 도통각  $\alpha$ 의 지연시간 후 타이머 인터럽트가 발생하면 주 전원의 SCR에 게이트 신호를 인가한다. 외부 인터럽트 2도 역시 외부 인터럽트 1과 같은 구조로 타이머 2를 통해 중복 Y의 다른 그룹의 SCR에 게이트 신호를 가한다.

따라서 인터럽트 1과 인터럽트 2는  $60^\circ$  (2.78 msec)의 차이를 가지며 각각은  $120^\circ$  (5.56 msec) 마다 발생되게 되므로 타이머의 주기는 5.56 msec의 내로 결정되어야 하며 TMS370 family의 타이머 주기는 식(2)에 의해 결정된다.

$$Compare\ value = \frac{t}{PS \times SYSCLK} - 1 \quad (2)$$

여기서  $SYSCLK = 4/CLKIN$ 이며, 본 연구에서는 외부에 20MHz의 클록을 사용하고, 타이머는 내부클록을 분주없이 사용하므로 타이머의 주기는

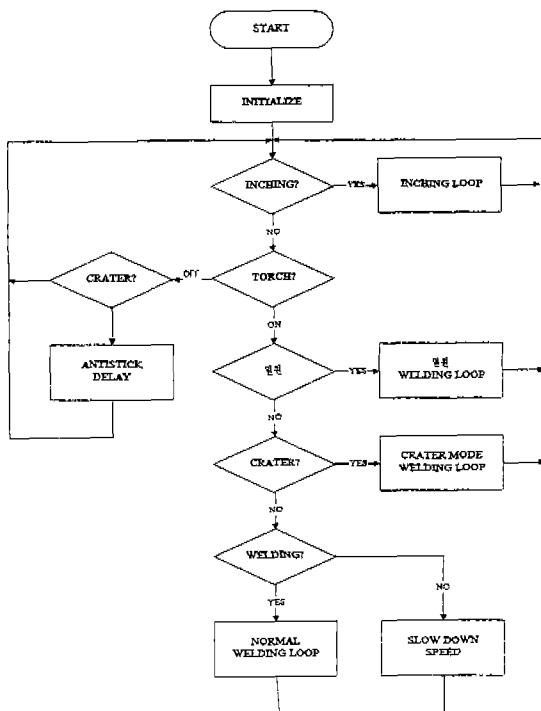


그림 6 프로그램 순서도

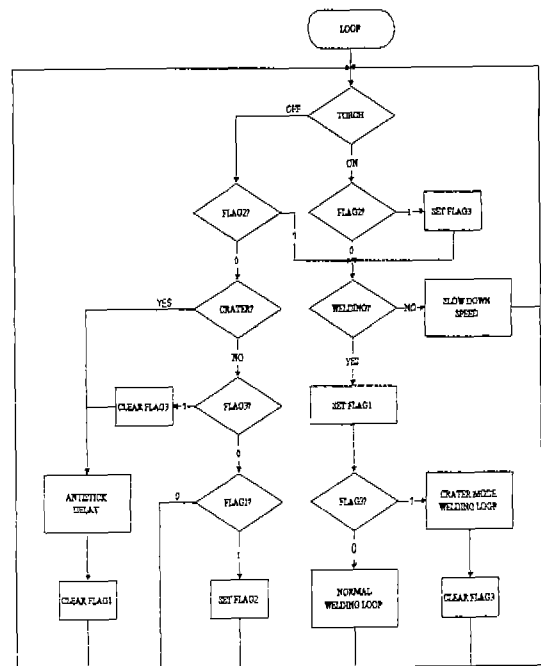


그림 7 크레이터 모드 전환

식(2)를 이용하면 #0000H 부터 #6C79H 내에서 결정되어야 한다.

③ 전류제어루틴: 전류제어루틴은 프로세서의 C 포트에서 들어오는 모터전원의 동기신호에 의해 한 주기에 한 번씩 모터의 역기전력을 A/D 컨버터를 통해 받아들이고 역시 A/D 변환된 전류조정 저항의 입력과 비교하여 오차를 계산한다. 이 오차가 일정한 오차의 범위에 들도록 모터 인가전압의 기준값을 변화하고 이 기준값을 TABLE화된 COSINE과 비교하여 모터전원측의 SCR의 게이트 신호를 포트 B를 통해 출력하고 메인루틴으로 돌아가게 된다.

④ 모터 슬로우다운 속도제어 루틴: 프로세서는 자계감지 스위치(RDS)를 사용하여 용접개시이전임을 확인하면 토치스위치 ON시에 모터 슬로우다운 속도제어루틴으로 전환하여 전류조정용 저항의 입력을 받지 않고 낮은 값을 모터속도의 기준신호로 하여 전류제어루틴을 수행하게 된다.

⑤ 크레이터 모드: 크레이터 모드로의 전환은 Flag를 이용하여 모드전환이 가능하도록 하였다.

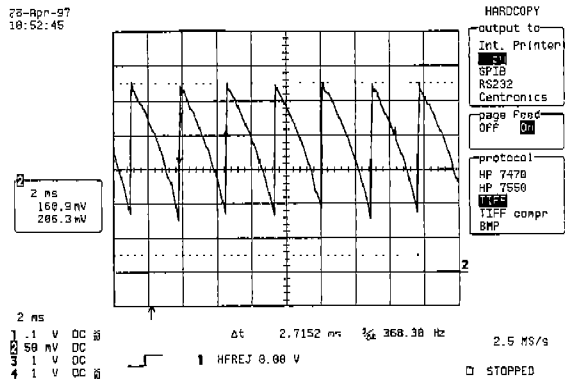
그림 7은 크레이터 모드로의 전환을 보여주는 메인루틴의 순서도이다. Flag1은 초기 토치스위치 ON시를 나타내며, Flag2는 토치스위치 OFF 시에도 정상적인 용접을 위한 것이다. Flag3가 크레

이터 모드로의 전환을 나타내는 것으로서, 토치스위치를 두 번째로 잡았을 때 크레이터 모드로 전환이 되도록 하였다.

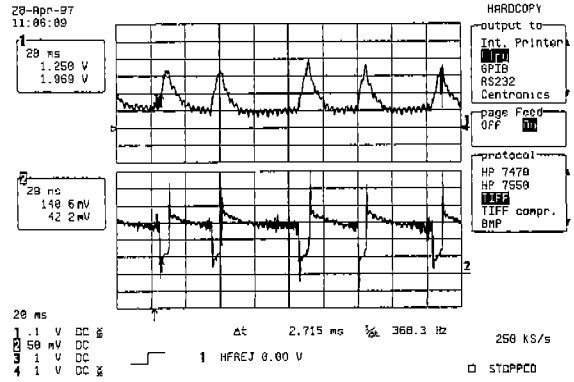
⑥ 일원 제어 모드: 메인 루프에서 일원제어 입력을 확인하면 전압제어를 위한 타이머 주기의 설정시에 전류조정 저항에서 들어오는 A/D 변환값을 이용하여 와이어의 직경에 알맞은 타이머의 주기를 결정하게 되며, 또한 전압조정용 저항의 입력값은 일원제어의 전압 미조정에 사용되며 앞에서 결정된 타이머의 주기에 미조정 입력에 맞는 작은 값을 더하여 일원제어의 전압조정을 위한 타이머 주기가 결정된다. 전류조정용 저항의 입력은 또한 와이어 송급 모터의 속도 기준신호로 사용되므로 전압조정시에 이 값이 바뀌지 않도록 하였다.

⑦ 가스제어: 가스제어는 외부의 가스개폐 스위치에 릴레이를 사용하였으므로 프로그램 상에서는 토치스위치의 ON 시에 릴레이를 구동시키고, 토치스위치 OFF시에는 안티스탁 지연 후에 릴레이에 신호를 끊게 된다.

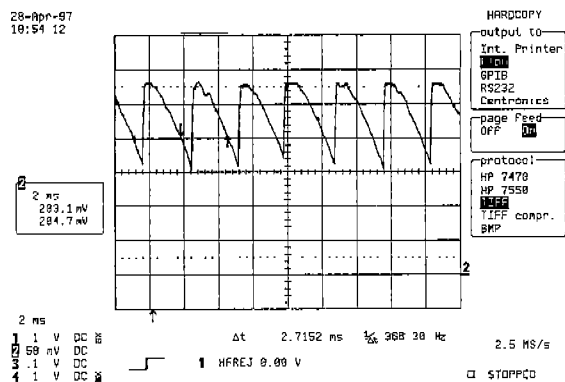
⑧ 인칭: 인칭 기능을 위한 입력을 확인하면 프로세서는 모든 인터럽트 기능을 중지시키고, 모터의 슬로우다운 속도제어루틴을 이용하여 전압 및 가스제어가 동작하지 않는 상태에서 모터만을 슬로우다운 속도로 동작시키게 된다.



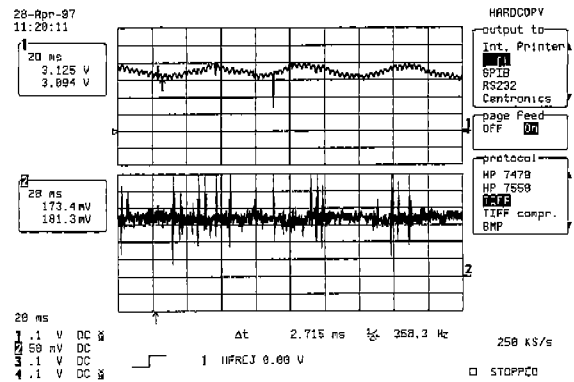
(a) 무부하 전압 38V



(a) 150A, 24V에서의 출력파형



(b) 무부하 전압 48V



(b) 350A, 36V에서의 출력파형

그림 8 무부하 전압파형(10V/DIV)

그림 9 부하시 전류(100A/DIV),전압(10V/DIV)

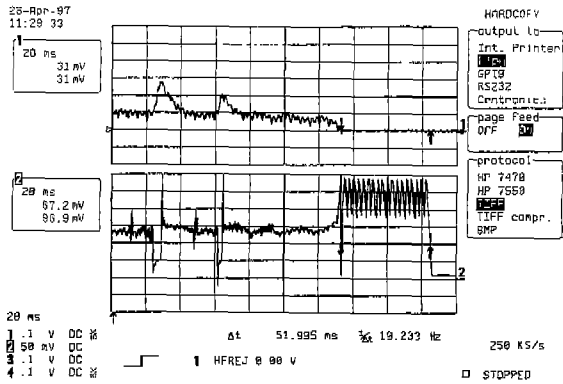


그림 10 안티스틱 동작시의 전류, 전압파형

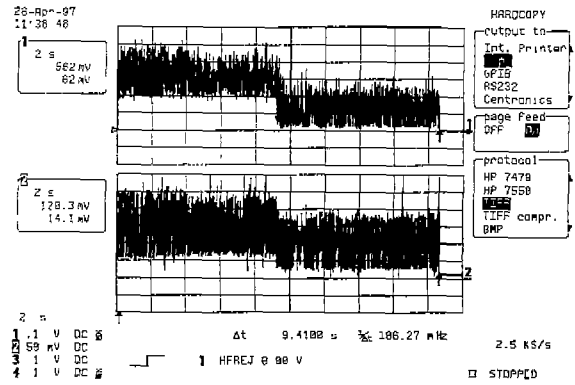


그림 11 크레이터 동작시의 출력파형(0.2 sec/DIV)

## 5. 실험 및 결과

그림 8은 무부하시(용접 개시전)의 전압파형으로서 그림에서와 같이 용접기의 무부하 출력전압이 정전압의 특성을 가지며 35~55V의 가변범위로 제어됨을 보여주고 있다. 또한 중복 Y 구조의 SCR 제어정류기의 특성인 6펄스의 출력을 알 수 있으며 각 펄스의 간격은 각각 60° (2.78 msec)가 됨을 볼 수 있다. 그림 9는 부하시(용접중)의 전압 및 전류파형을 나타낸다. 200A 이하의 저전류로 용접 시에는 GMA 용접의 대표적인 급속이행인 단락이행(short-circuit transfer)이 이루어지고 이때 용접전압이 수하특성에 의해 낮게 떨어짐을 알 수 있다. 또한 300A 이상의 대전류의 경우에는 입상이행(globular transfer)의 파형을 나타내고 있다. 그림 9에서 보는 바와 같이 용접기는 정전압, 정속도의 출력특성을 가지며 용접시의 특성에 따라 단락과 아크가 반복되며 용접이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림 10은 용접 후 와이어와 모재의 용착을 제거하기 위한 안티스틱의 동작을 보여주고 있다. 실험 파형에서 보는 바와 같이 정상적인 용접 후에 토치스위치를 놓게 되면 송급 모터의 와이어 송급은 멈추게 되고 전압은 약 0.1초간의 지연을 가진 후에 시스템이 OFF된다. 이 지연시간을 이용하여 가스의 에프터플로우 제어기능도 이루어지게 된다. 그림 11은 크레이터의 동작을 나타내고 있다. 높은 전압과 전류에서의 정상적인 용접 후에 크레이터 기능 ON 시에는 크레이터 모드의 낮은 전압, 전류의 값으로 전환되고 있음을 볼 수 있다.

## 6. 결론 및 검토

본 논문에서는 각종 산업현장에서 가장 널리 사용되고 있는 CO<sub>2</sub> GMA 용접기를 대상으로 제어부의 디지털화에 관하여 연구하여 기존의 아날로

그 제어방식의 문제점인 시퀀스제어에 따른 소자수의 증대 및 용접기능 변화시 대처 할 수 없는 문제점을 해결하고자 하였고, 아래와 같은 개선사항을 얻을 수 있었다.

1. 디지털 제어를 사용함에 따른 소자수 감소
2. 출력전압 및 송급모터제어부의 디지털 화를 통한 회로 단순화
3. 용접기 제어부 소형화 및 단가절감
4. 소프트웨어 제어에 따른 제어기의 유연성 향상

또한 350A급의 실제 용접기를 대상으로 본 논문에서 개발된 제어기를 탑재하여 실험한 결과, 아날로그 방식의 제어기와 동일한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었고 개발된 디지털 제어기를 이용하여 다양한 제어기법을 도입한 용접기의 개발이 기대되며, 인버터 방식의 용접기나 용접 자동화 시스템에도 적용이 될 수 있을 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- [1] 용접기술 세미나, 생산기반 기술 실용화 센터, 1995.
- [2] Yamada T. "Investigation of arc phenomena by using computer", Quarterly J. of the JPN. Weld Soc. 1983.1.15
- [3] W. Lucas, "A review of recent advancement in arc welding power source and welding processes in japan", welding institute, cambridge, MA., Res. Rep. Nov. 1982
- [4] A. H. Kuhne. B. Frassek. and G. Starke, "Components for the automated GMAW process.", Welding J. vol.63, pp.31-34, Jan. 1984