

# 인버터 아크 용접기의 파형제어기법 및 성능향상에 관한 연구

蔡榮敏, 高再錫, 金鎮郁, 李承約, 崔海龍, 崔圭夏

## A Study on Current Waveform Control and Performance Improvement for Inverter Arc Welding Machine

Chae Young Min, Gho Jae Seok, Kim Jin Wook, Lee Seung Yo, Choi Hae Ryong, Choe Gu Ha

### 요약

최근 전력전자기술 및 인버터 회로의 다양한 제어기법의 발달에 따라서 용접기 분야에서의 용접성능 향상에 관한 다양한 연구가 진행되고 있으며 특히 CO<sub>2</sub> 아크 용접기의 경우 용접성능을 좌우하는 스파터 발생을 최소화 하는 기법이 활발하게 연구되고 있다. 그러나 현재까지는 용접기의 출력전압을 정전압으로 제어하는 방식을 사용함에 따라 용접기의 금속이행과정을 임의로 제어하는 것이 불가능하였고, 특히 스파터가 다량으로 발생하는 저전류영역의 금속이행과정인 단락이행에서의 스파터 저감을 기대하기가 어려웠다. 따라서 본 논문에서는 마이크로프로세서를 이용한 인버터 출력전류의 파형제어기법을 사용하여 인버터 아크 용접기의 출력전류를 순시적으로 제어함에 의하여 스파터 저감, 단락주기의 안정화 및 순간단락현상 감소의 측면에서 용접성능을 개선위한 연구를 수행하였고 이상의 연구에 대한 결과를 제시하였고, 또한 인버터 아크 용접기의 AC/DC 전력변환장치로 SMR (Switched Mode Rectifier)를 사용하여 시스템을 단위역율로 운전하였으며 입력전류의 저차 고조파 억제효과를 얻을 수 있었다.

### ABSTRACT

Recently the performance of CO<sub>2</sub> arc welding machine has been advanced significantly through the adoption of inverter circuit topology, which made it possible to improve welding performances such as spatter generation and bead state. But the conventional inverter arc welding machine generates constant output voltage which cause much spatter generation during short-circuit and arc start time because it is unable to control output current instantaneously. So this paper represents waveform controlled inverter arc welding machine which control the waveform of welding current and thus to suppress the spatter generation. And the system designed in this paper is the digital controller using single chip microprocessor of 80C196KC. As a result of performance test for this system, the spatter generation is reduced and short-circuit time period is stabilized compared to conventional one. And more by using switched mode rectifier for AC/DC power converter, unity power factor is maintained and low order harmonic spectrum is suppressed.

**Key Words:** Inverter, digital control, CO<sub>2</sub> arc welding machine, SMR, waveform control, short circuit, spatter, bead state, metal transfer

### 1. 서론

소모성 전극을 사용하는 일반적인 용접기는 금속이행과정에서 산화방지를 위하여 차폐가스로 CO<sub>2</sub>, 아르곤(Ar), 헬륨(He)이나 이들의 혼합가스를 사용하며 이에 따라 CO<sub>2</sub> 용접기, MIG, MAG 로 구분된다. 이 중에서도 국내의 경우에는

차폐가스의 가격이 가장 저렴하며, 용접속도가 빨라 자동용접에 적합하고, 아크가 지속적으로 유지되는 장점이 있는 CO<sub>2</sub> 아크 용접기가 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 CO<sub>2</sub> 아크 용접기의 경우에는 용접품질이 다소 저하되고, 스파터가 다량으로 발생하는 단점이 있다. 특히 금속이행과정에서 발생하는 스파터는 용접작업후 이를 제거하는 작업이

필요하므로 자동화 시스템에 있어서 생산성을 저하시키는 주된 원인이 된다. 따라서 용접기 분야의 주된 연구분야로는 이러한 스파터의 발생을 최소화시키기 위한 전원회로 및 제어 기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1~4]</sup>

일반적으로 CO<sub>2</sub> 아크 용접기는 정전압제어방식에 의해 출력전압을 일정하게 유지하며, 소모성 전극을 공급하는 송급 모터의 속도제어에 의하여 출력전류를 제어한다. 특히 정전압 출력특성을 유지하기 위한 전력변환부로는 Thyristor를 사용하는 방식과 인버터를 사용하는 방식에 있으나, Thyristor 제어형 CO<sub>2</sub> 아크 용접기는 전원측에 변압기를 사용함에 따라 무부하시 손실이 발생하고 시스템의 크기 및 중량이 증가하는 단점으로 인하여, 최근에는 인버터 제어형 정전압 제어방식의 용접기가 주로 사용되고 있다. 그러나 이러한 인버터 제어형 CO<sub>2</sub> 아크 용접기의 경우에도 기본적으로 정전압 제어방식을 사용함에 따라 용융·접합과정인 용적의 급속이행과정을 최적의 상태로 제어하는 것이 불가능한 단점이 있다.<sup>[2,3]</sup> 따라서 이러한 급속이행과정을 최적의 상태로 제어하기 위한 방법으로 용접기의 출력전류를 펄스형태로 제어하는 방식이 제안되었으나 CO<sub>2</sub>를 차폐가스로 사용할 경우 아크가 불안정해지는 단점이 있다.<sup>[2]</sup> 이외에도 단락이행에서 아크가 재발생시에 전류를 급격히 저감시켜서 안정된 급속이행과정을 유도하는 방식도 제안되었다. 이러한 아크 재발생의 감지 제어방식은 모재와 용접봉사이의 간극의 변화로 인한 임피던스 변화에 따른 출력전압의 미분치 변화를 통하여 감지하는 방식으로써 전압신호의 미분치를 사용하므로 노이즈 성분에 민감한 단점이 있다.<sup>[4]</sup>

따라서 본 논문에서는 인버터 제어형 CO<sub>2</sub>아크 용접기의 용접성능 개선을 위하여 기존의 정전압 출력특성을 이용하는 용접전원과 달리 순시적으로 용접기 출력전류를 제어하는 새로운 제어방식에 관하여 연구하였다. 제안된 제어방식은 최적의 용접특성을 얻기 위한 용접기 출력전류의 최적치 설정이 가능한 제어방식으로써 본 논문에서는 이러한 출력전류의 변화요소와 용접성능과의 상관관계를 도출하고, 이런 출력전류의 파라미터 변동을 이용하여 스파터와 비드상태 및 순간단락비의 측면에서 제안된 시스템의 성능을 기존의 범용 인버터 아크 용접기와 비교, 분석하였다.

이외에도 기존의 범용 인버터 아크 용접기의 경우에는 전력회로의 구조상 AC/DC 전력변환장치를 필요로 하며, 회로구조가 간단하고 가격적인 잇점이 있는 다이오드 정류기를 사용한다. 따라서 전체 시스템의 역율이 현저하게 저하되며 입력전류에 다수의 저차 고조파를 함유하게 된다. 더욱이 용접기 시스템의 경우 15 [Kw]정도의 대용량 전력변환 기기임을 고려하면, 이러한 입력전류의 고조파에 의한 역율저하 및 전 원오염에 대한 개선책이 필요하다.<sup>[5]</sup> 따라서 본 논문에서는

이에 대한 대책으로써 인버터 아크 용접기의 단위역을 유지할 위한 3상 컨버터에 관한 연구를 수행하였다.

일반적으로 단위역을 유지할 위한 컨버터로는 역율 및 고조파 특성면에서 성능이 우수한 PWM 컨버터를 들 수 있으나 이러한 PWM 컨버터는 6개의 자기소호소자를 각각 제어하여야 하며 전압 제어기와 전류제어기를 사용함에 따라 시스템 차수가 증대되어 제어기 구성이 복잡하며 단가를 상승시키는 단점이 있다.<sup>[6~7]</sup>

따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 개선하기 위하여 인버터 아크 용접의 AC/DC 전력변환장치로 단일스위치를 사용하여 시스템 역율 개선이 가능한 3상 SMR(Switched Mode Rectifier)을 용접기 시스템에 적용하여 이에 대한 특성해석과 역율개선 효과에 대하여 연구를 수행하였다.

## 2. 고역율 인버터 아크 용접기 시스템 구성

제안된 고역율형 인버터 아크 용접기는 아래 그림 1과 같이 크게 전력변환부와 송급모터 제어부 및 차폐가스 제어부로 구성되어 있다. 그림에서 알 수 있듯이 전력변환부는 입력역율 개선을 위한 SMR과 고주파 인버터, 출력측 정류기 및 리액터로 구성되어 있고, 송급모터 제어부는 송급모터 및 속도 제어부로 구성되어 있다. 본 논문에서 제안하는 SMR은 3상 220(V)의 교류전원을 스위치 S1의 ON/OFF동작을 이용하여 입력전류를 정현파로 유지하며 출력전압을 일정하게 제어하여 일정한 DC 출력전압으로 변환하는 기능을 수행한다. 이러한 DC 출력전압은 인버터회로를 거쳐 고주파 교류 전압으로 변환되고 변압기를 통하여 2차측 교류 출력전압으로 변환된 후 출력측 정류기를 이용하여 다시 직류 전압으로 변환되어 출력측 리액터를 거쳐 용접기의 출력전압으로 출력된다.

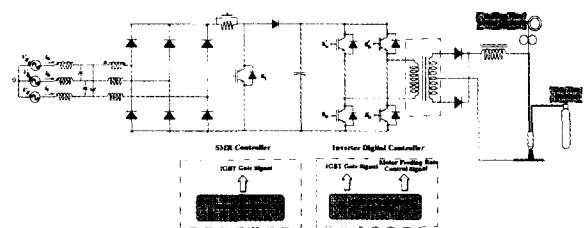


그림 1 제안된 인버터 아크 용접기 회로도

Fig. 1 Circuit configuration of proposed inverter arc welding machine

## 3. 역율개선을 위한 SMR컨버터의 원리

### 3.1 역율제어용 SMR의 동작원리

제안된 단위역을 제어할 위한 3상 SMR은 입력전압을 승압

시켜 DC 출력전압을 일정하게 유지시키며, 입력전류제어를 통하여 역률을 개선시키는 동작을 수행한다. 이러한 SMR의 회로구조는 그림 2에서와 같이 입력측 필터, 3상 다이오드 정류기와 입력전류 제어용 리액터, 부스트스위치인  $S_1$  및 블로킹 다이오드로 구성되어 있다.

일반적으로 SMR은 입력전류의 연속과 불연속적인 도통에 따라 CCM (Continuous Current Mode)과 DCM (Discontinuous Current Mode)으로 구분되며 3상의 경우에는 DCM 제어방식을 사용하여야만 단위역율제어가 가능하다.<sup>3-7)</sup> DCM으로 운전되는 3상 SMR은 스위치  $S_1$ 의 ON시 전원전압과 제어용 리액터 사이에 단락회로가 형성되어 리액터에 에너지가 저장되고, 스위치 OFF시 저장되었던 에너지가 부하에 전달되는 회로동작을 수행한다.

따라서 각상의 전류제어용 리액터에 흐르는 전류( $i_L$ )는 그림 3의 (b)의 시뮬레이션 파형에서와 같이 입력전압을 초평한 형태의 불연속 전류가 흐르게 된다. 이러한 불연속 전류의 주파수 스펙트럼을 분석하면 SMR의 스위칭 주파수에 해당하는 성분이 나타나므로 이를 제거하기 위하여 입력측에

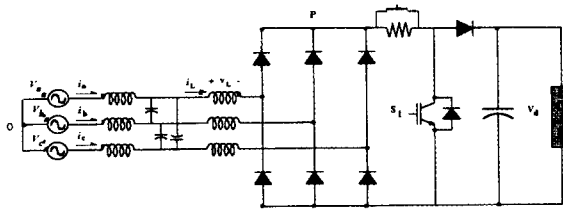


그림 2 3상 SMR의 회로구조  
Fig. 2 Circuit configuration of 3-phase SMR

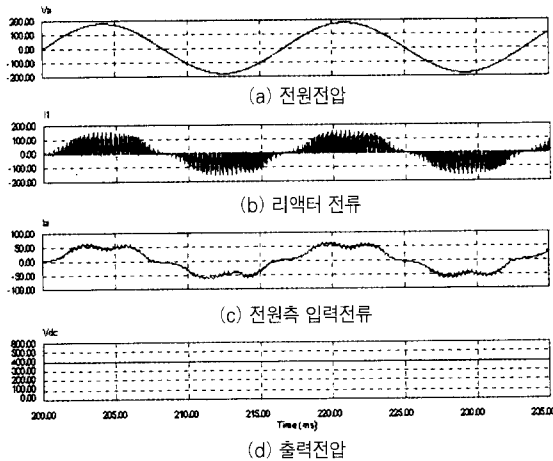


그림 3 3상 SMR의 DCM시의 입,출력 파형  
Fig. 3 Input and output waveforms of 3-phase SMR operated in DCM

SMR의 스위칭 주파수에 해당하는 차단 주파수를 가지는 저역통과 필터를 사용하여 입력전원측에서는 연속적인 입력전류가 흐른다. 특히 3상 SMR의 경우 단위역율로 시스템을 제어하기 위해서는 그림 3의 (b)와 같이 리액터에 흐르는 전류를 불연속적으로 제어되어야 한다.

일반적으로 SMR은 스위치  $S_1$ 의 ON/OFF 상태에 따라 그림 4와 같이 한 스위칭 주기내에서 4가지의 동작모드가 존재하게 되며, 따라서 그림 5에 나타난 바와 같이 DCM으로 운전되기 위한 경계조건은 한 스위칭 주기내에서 한 상의 리액터에 흐르는 전류( $i_L$ )와 리액터 양단전압( $v_L$ )관계로부터 구할 수 있다.

즉, 식 (1)에 표현된 최대 평균전류치 이상의 전류가 도통하게 되면 SMR은 CCM으로 동작하게 되므로 단위역율 유지를 위해서는 한상의 입력전류의 최대치가 식 (1)의 경계조건 이하로 유지되어야만 한다. 식 (1)에서  $I_{OB,MAX}$ 는 최대평균 출력전류이고,  $V_o$ 는 컨버터 출력전압의 평균치이며  $L$ 은 리액터의 크기이다.

$$I_{OB, MAX} = \frac{2}{27} TV_o L = 0.074 \frac{TV_o}{L} \quad (1)$$

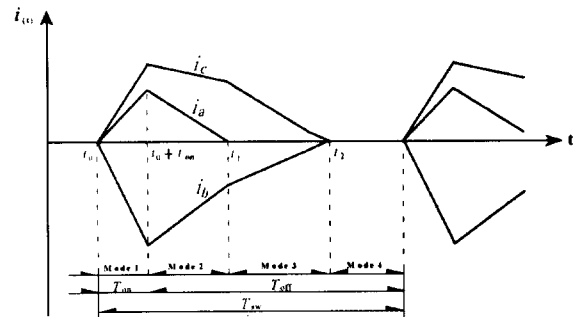


그림 4 한 스위칭 주기에서의 각상 전류파형  
Fig. 4 Circuit configuration of 3-phase SMR

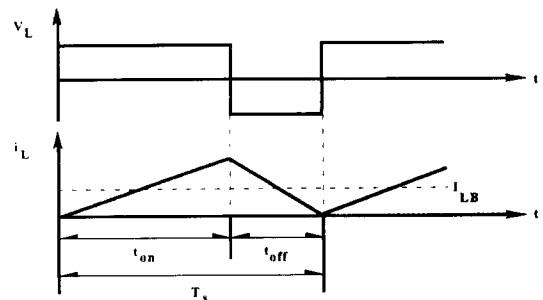


그림 5 DCM의 경계조건  
Fig. 5 Boundary condition of DCM

그림 6은 이러한 DCM 동작모드로 제어되기 위한 3상 SMR의 전체 제어블록선도로서 단순히 전압제어기만으로 구성되어 있다.

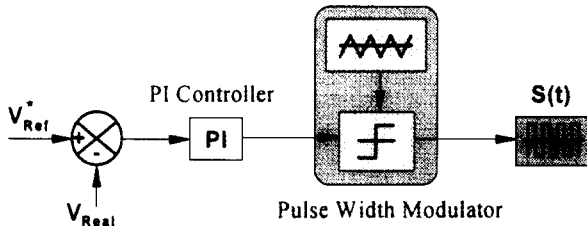
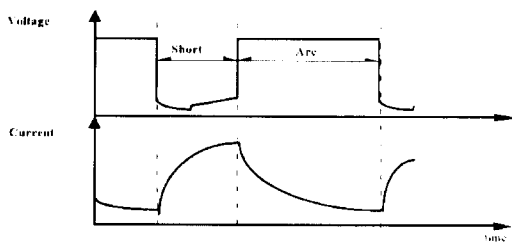


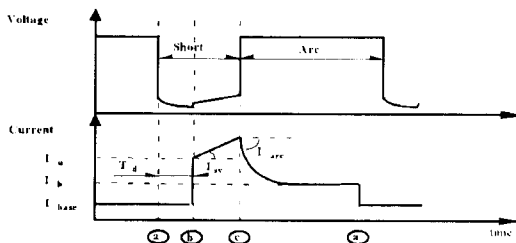
그림 6 3상 SMR의 제어 블록 다이어그램  
Fig. 6 Control block diagram of 3-phase SMR

#### 4. 제안된 CO<sub>2</sub> 인버터 아크 용접기의 파형제어기법

일반적으로 용접기의 경우 용접성능을 평가하는 성능지표로는 스패터(Spatter) 발생량, 비드(Bead)상태 및 용입의 깊이와 넓이등을 들 수 있다. 이중에서도 본 논문의 연구대상인 CO<sub>2</sub> 아크 용접기의 경우에는 이상의 용접 성능지표중에서 스패터 발생량이 용접성능을 좌우하는 가장 주된 요소이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 스패터 발생량을 최소화 하기 위한 새로운 출력전류의 파형제어 기법에 관하여 연구하였다.



(a) 기존의 인버터 아크 용접기 출력전압 및 전류



(b) 제안된 인버터 아크 용접기 출력전압 및 전류

그림 7 인버터 용접기의 출력전압 및 전류파형  
Fig. 7 Output voltage and current waveforms

그림 7은 기존의 정전압 제어방식에 의한 CO<sub>2</sub> 아크 용접기와 제안된 파형제어기법에 의한 용접기의 출력전압 및 전류 모식도이다. 그림 (a)에서 알 수 있듯이 기존의 CO<sub>2</sub> 아크 용접기의 경우에는 정전압 출력특성을 유지하다가 단락이 발생하는 순간 출력전류가 급격히 증가하고 단락브리지가 파단되는 순간 아크가 발생하며 출력전류가 감소하는 것을 알 수 있다. 이때 단락이 발생하는 순간과 아크가 발생하는 순간에 주로 스패터가 발생한다.

본 논문에서 제안된 파형제어기법은 그림 (b)에 보이는 바와 같이 출력전압이 용접기의 수하특성에 의하여 떨어지는 ㉔시점에서 용접기의 출력전류를 낮은 전류로 유지시켜 단락을 유지시켜 단락순간에 발생하는 스패터를 감소시키고, 지연시간이 지난후인 ㉖시점에 단락을 파단시키기 위하여 전류를 상승시키고, 단락전류 상승치에 도달하면 출력전류의 기울기를 제어하여 단락브리지가 파단되어 안정된 단락이행이 이루어 지도록 제어하고, 아크가 발생하는 ㉗점에서부터는 출력전류를 감소시켜 다음의 단락이행을 유도하는 제어방식이다. 이상과 같이 출력전류파형을 순시적으로 전류제어기법에 의해 제어하기 위해 본 논문에서는 마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어기에서 출력전류의 기준신호를 직접 출력하고 PI 전류제어기에 의하여 출력전류를 순시적으로 제어하는 제어기법을 제안하였다.

디지털 제어기에서 출력하는 기준신호의 파라미터로는 단락발생시의 지연시간  $T_d$ , 지연시간이후 상승시킬 단락전류 상승치  $I_u$ , 단락전류의 상승기울기  $I_{sv}$ , 아크발생후 전류감소 기울기  $I_{arc}$  및 아크시의 출력전류(base 전류)  $I_b$  등이 있으며, 이러한 파라미터는 프로그램을 통하여 임의로 조정 가능하도록 시스템을 구성하였다.

#### 4.1 제안된 CO<sub>2</sub> 인버터 아크 용접기의 제어 블록선도

전술한 바와 같이 CO<sub>2</sub> 아크 용접기의 단락이행시 출력전류를 순시적으로 제어하기 위해서는 기존의 정전압 출력특성을 가지는 용접기의 제어부와는 달리 용접기의 출력전압을 센싱하여 단락여부를 판정하고, 단락구간에서는 순시적으로 용접기의 단락전류를 제어하기 위한 전류 기준신호를 출력하여야 한다. 이상과 같은 제어를 수행하기 위해서 본 연구에서는 싱글칩 마이크로프로세서인 80C196KC를 이용한 디지털 제어기로 제어부를 구성하여 실험을 수행하였다.

그림 8은 제안된 인버터 전류제어기의 제어 블록선도로서 그림에서 보이는 인버터 전류제어기는 단락이행과정에서의 용접기 출력전류를 순시적으로 제어기 위하여 용접기의 출력전압인  $V_{Real}$ 을 센싱하여 단락판정전압인 10(V)보다 적으면 용접기의 급속이행과정을 단락모드로 판정하고, 이때부터 용접기의 출력전류가 추종해야하는 전류 기준신호를 디지털 제어기에서 출력한다.

단락이 발생하는 순간에는 디지털 제어기에서 용적이 모체에 단단히 부착되기 위한 일정시간동안(2~3 [msec])의 최소전류값인 base전류로 기준 전류신호를 출력하고, 지연시간이 지난 후 단락된 단락 브릿지를 파단하기 위하여 출력전류를 상승시키며 상승치에 출력전류가 도달하면 전류상승의 기울기를 제어한다. 또한 이 상태에서 출력전압인  $V_{real}$ 을 계속 센싱하여 단락판정전압보다 큰 전압이 검출시에는 아크상태로 판정하고, 아크발생시에는 단락을 유도하기 위한 전류 기준신호를 출력하는 제어방식이다.

이상과 같은 제어를 구현하기 위하여 기준전류 신호를 발생하는 디지털 제어기의 전체 샘플링 주파수는 5[KHz]로 설정하였다. 또한 전체 제어프로그램은 크게 초기화 부분, A/D 인터럽트 서비스 부분과 기준전류파형을 발생 및 제어하는 부분으로 구성하였다. 초기화부에서는 각종 변수들을 초기화하고 프로세서의 환경과 샘플링주기를 결정하며 타이머 인터럽트를 인에이블시키는 기능을 수행하며, A/D 인터럽트부에서는 실제 전압과 전류를 A/D 컨버터로부터 입력받아 CPU에서 실제 사용할 변수들의 값을 저장하는 역할을 수행한다. 기준전류파형을 생성하는 부분에서는 토치스위치의 상태를 판별하여 시스템 동작여부와 샘플링된 전압신호를 이용하여 단락과 아크의 상태를 판별하여 D/A 컨버터를 통해 기준전류의 파형을 출력한다.

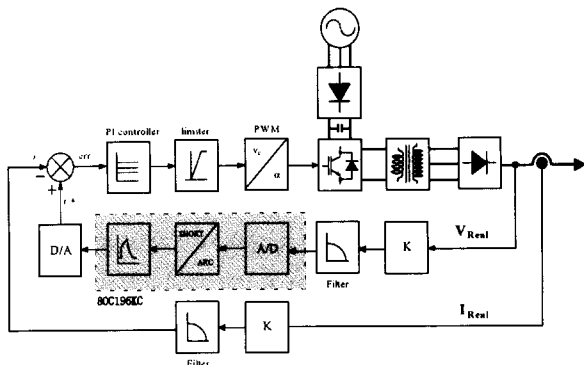


그림 8 제안된 인버터 아크 용접기의 제어 블록선도  
Fig. 8 Control block diagram of proposed welding machine

#### 4.2 용접기용 인버터의 변조기법

용접기의 출력전압을 제어하기 위하여 그림 9와 같은 회로 구조의 인버터에 인가할 스위칭 신호인 펄스신호를 발생시키는 변조부는 출력전압의 0 상태의 유무에 따라 바이폴라 PWM 스위칭방식과 유니폴라 PWM 스위칭방식으로 구분된다.

용접기용 인버터의 경우에는 인버터 출력전압이 변압기를 거쳐 정류되어 출력되며, 인버터의 듀티비의 가감을 통하여 용접기 출력전압의 크기를 제어한다. 따라서 인버터 스위치

의 0상태를 이용하여 출력전압을 감소시키고 0상태가 아닌 경우 즉 스위치 조합인  $S_{a+}$ 와  $S_{b-}$ 가 ON이거나  $S_{b+}$ 와  $S_{a-}$ 가 ON시에는 출력전압을 상승시키는 제어구조로 동작한다. 따라서 용접기용 인버터의 변조방식은 유니폴라 변조방식을 사용하여야 하며, 유니폴라 변조기법은 동일한 캐리어 주파수를 사용하더라도 두배의 스위칭주파수 효과를 올릴 수 있다.

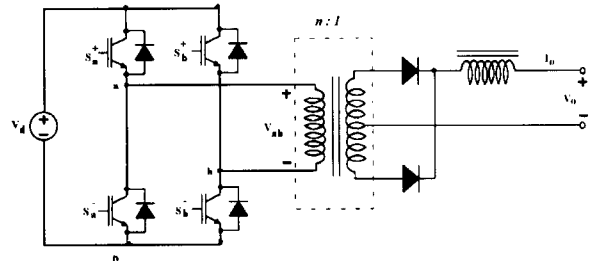


그림 9 용접기용 인버터 회로도  
Fig. 9 Inverter circuit diagram of welding machine

유니폴라 PWM 변조방식은 스위치 조합인  $S_{a+}$ 와  $S_{b-}$ 쌍과  $S_{b+}$ 와  $S_{a-}$ 쌍을 각각 삼각파 캐리어 신호인  $\pm V_{cont}$ 을 비교하여 스위칭 신호를 발생시키므로 아래와 같은 4가지의 동작모드가 존재하며 이때의 인버터 출력전압은 아래식과 같다.

$$\begin{aligned}
 v_o(t) &= V_{dc}(t) & (S_{a+}, S_{b-} : ON) & \quad (2) \\
 v_o(t) &= 0 & (S_{a+}, S_{b+} : ON) & \quad (3) \\
 v_o(t) &= -V_{dc}(t) & (S_{a-}, S_{b+} : ON) & \quad (4) \\
 v_o(t) &= 0 & (S_{a-}, S_{b-} : ON) & \quad (5)
 \end{aligned}$$

### 5. 실험결과 및 검토

본 절에서는 CO<sub>2</sub> 인버터 용접기 시스템에 AC/DC 전력변환장치로 3상 SMR을 적용하여 시스템 역율을 향상시킨 실험결과를 바탕으로 특성을 비교하였고, 용접기 출력제어방식으로 제안된 파형제어기법을 사용하여 용접성능 향상효과를 스파터 발생량과 비드 측면에서 비교, 분석하였다.

입력역율 특성비교를 위하여 실험에 사용된 용접기용 AC/DC 전력변환장치인 다이오드정류기와 제안된 SMR의 실험조건은 아래 표 1과 같다. 전술한 바와 같이 3상 SMR의 경우 DCM으로 동작함에 따른 SMR스위칭 주파수에 해당하는 고조파를 제거하기 위하여 입력측에 5[KHz]에 차단주파수를 가지는 저역통과 필터를 사용하였다.

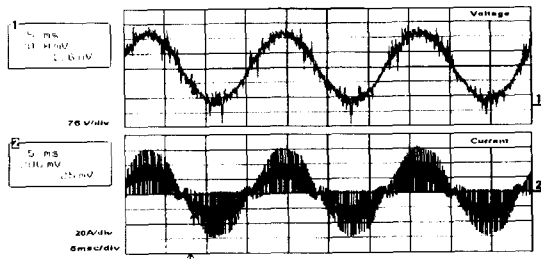
그림 10은 용접기의 출력전력이 최대 15[kW]정도임을 고려하여 10[kW]의 출력전력을 소비하도록 16[Ω]의 저항을

표 1 용접기용 AC/DC 전력변환기의 실험조건  
Table 1 Specification of AC/DC converter for welding machine

구 분	다이오드 정류기	SMR
입력필터 차단주파수	사용없음	5 [kHz]
입력필터용 리액터	사용없음	25 [uH]
입력필터용 커패시터	사용없음	50 [uF]
SMR 스위칭 주파수	-	10 [kHz]
전류 제어용 리액터	25 [uH]	25 [uH]
출력측 커패시터	3300 [uF]	3300 [uF]
출 력 전 압	298 [V]	400 [V]

사용한 경우 SMR의 입력전압 및 전류의 파형이다. 그림 (a)는 전원전압과 전류제어용 리액터에 흐르는 전류파형으로써 SMR이 DCM으로 운전함에 따라 입력전압을 조평한 형태의 불연속적인 전류가 흐르고 있음을 알 수 있다. 그림 (b)는 입력측에 5[kHz]의 차단 주파수를 가지는 전원필터를 사용함에 따라 SMR의 스위칭 주파수 성분이 제거되어 정현파 형태의 전원전류가 흐르는 파형이다.

그림 11과 12는 실제 용접기 시스템에 AC/DC 컨버터로 다이오드 정류기와 제안된 SMR을 사용한 경우의 실험파형으로써 용접기의 출력전류 100[A]인 경우의 파형이다. 그림 11의



(a) 전원전압 및 전류제어용 리액터에 흐르는 전류파형



(b) 전원전압 및 전원전류 파형

그림 10 SMR의 입력전압 및 전류파형  
Fig. 10 Input voltage and current waveform of proposed SMR

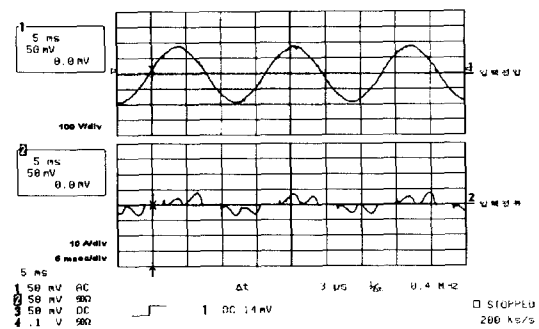
다이오드 정류기의 경우에는 입력전류가 다이오드 도통구간에 서만 불연속적으로 흐르며 다수의 저차 고조파가 입력전류에 포함되어 있음을 알 수 있고 이때의 역율은 0.58이하이다.

그림 12는 본 연구에서 제안된 SMR을 용접기에 적용한 경우의 실험파형으로써 기존의 다이오드 정류기에 비하여 고조파 스펙트럼상에서 저차 고조파성분이 현저하게 감소되었으며, 입력전류의 파형이 정현파에 가깝게 개선되었음을 보여 주고 있다. 또한 이때의 전체 시스템 역률이 기존의 다이오드 정류기의 0.58에 비하여 0.92로 현저하게 개선되었음을 알 수 있다.

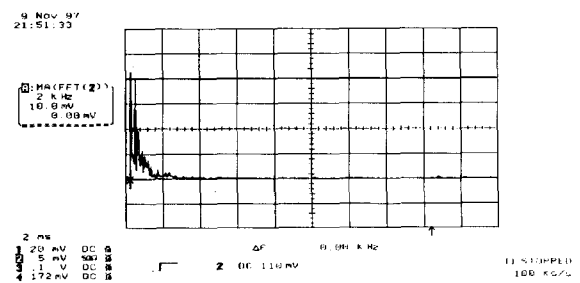
그림 13은 기존의 인버터 아크 용접기와 제안된 인버터 아크 용접기의 입력전압과 전류 및 출력전압과 전류 파형이다. 그림에서 용접기 출력전압 및 전류의 성능평가를 위해서는 입력전압과 출력전압의 시간축이 다르게 적용되어야만 설명 가능하므로 용접기 출력파형에 관해서는 그림 15에서 설명하였다.

그림 14는 용접기 출력을 저전류로부터 대전류로 변화시킴에 따른 AC/DC 전력변환장치에서의 역율특성을 나타내는 실험결과로서 용접기 출력부하의 변동과 무관하게 제안된 SMR 컨버터가 0.9이상의 단위역율을 유지함을 알 수 있다.

제안된 파형제어기법에 의한 인버터 아크 용접기의 용접성



(a) 입력전압 및 전류파형



(b) 입력전류 고조파스펙트럼

그림 11 다이오드 정류기 입력파형 (용접기출력전류 100[A]시)  
Fig. 11 Input waveforms of diode rectifier (In case of output current 100(A))

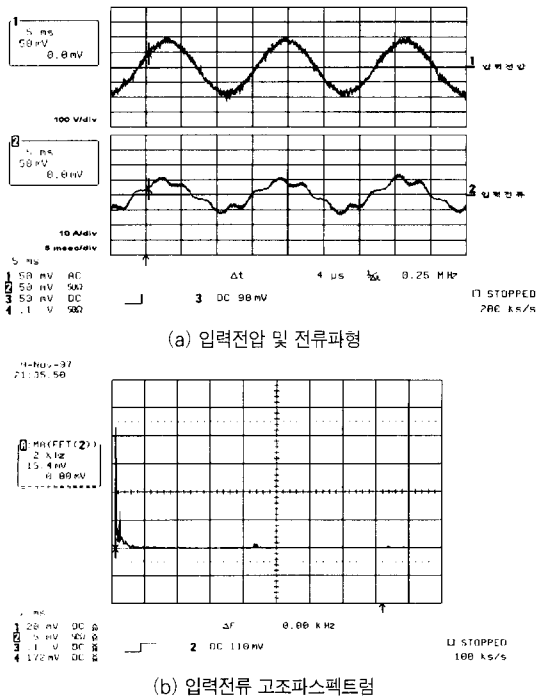


그림 12 제안된 SMR의 입력파형 (용접기출력전류 100(A)시)  
 Fig. 12 Input waveforms of proposed SMR (In case of output current 100(A))

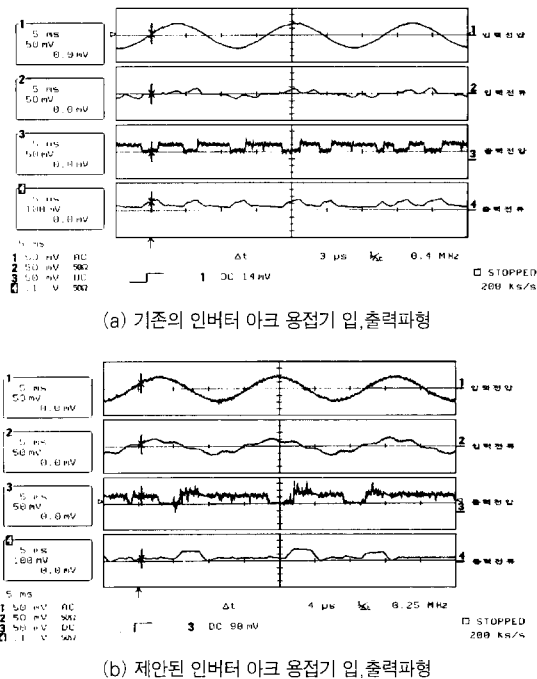


그림 13 인버터 아크 용접기의 입,출력파형 (출력전류 100(A))  
 Fig. 13 Input and output waveforms of inverter arc welding machine (In case of output current 100(A))

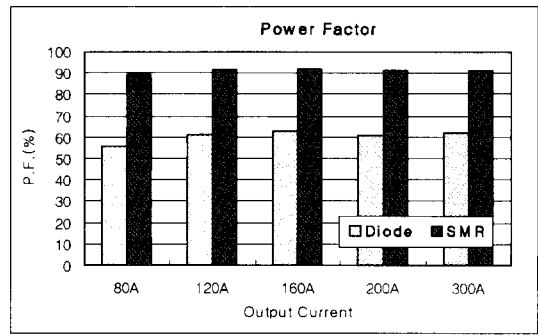


그림 14 인버터 아크 용접기 출력전류별 입력역율 특성비교  
 Fig. 14 Power factor comparison according to output current of inverter arc welding machine

능 향상효과를 검증하기 위하여 본 절에서는 스파터 발생량과 규칙적인 단락이행과정 및 비드상태의 측면에서 기존의 인버터 아크 용접기와 제안된 파형제어기법의 인버터 용접기를 비교, 분석하였다.

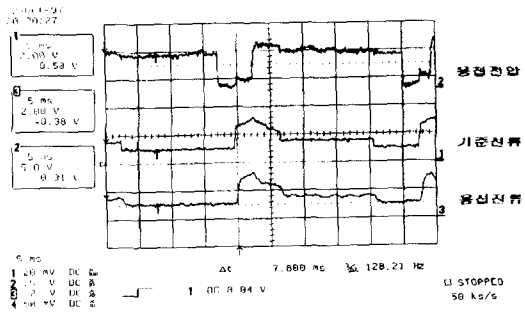
파형제어기법에 의한 용접기의 파형제어 파라미터는 표 2와 같고 이러한 제어요소는 프로그램에 의하여 가변이 가능하다. 표 2에 나타난 각 제어요소의 값은 단락 금속이행과정으로 용접현상이 일어나는 출력전류 230(A)의 조건으로써 다양한 실험을 통하여 최소의 스파터가 발생하는 조건이다.

그림 15는 제안된 인버터 아크 용접기의 출력전압파형과 디지털 제어기에서 출력하는 전류기준신호 및 실제 용접기 출력전류의 파형으로써 용접기 출력전류가 기준전류신호를 추종하며 제어되고 있음을 보여준다.

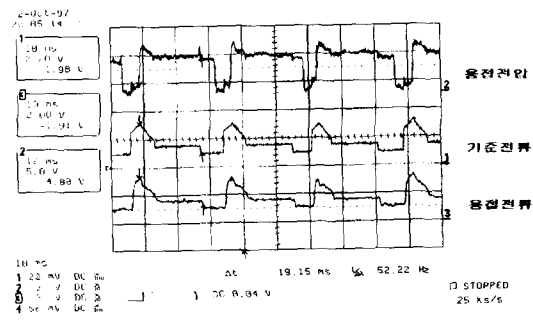
그림 16은 기존의 범용 인버터 아크 용접기와 본 논문에서 제안된 용접기의 출력전압과 전류파형으로써 용접기 출력전류와 출력전압을 각각 230A, 22V인 경우이다. 그림에서 제안된 파형제어에 의한 용접기의 출력전압 및 전류파형이 기존의 인버터 용접기에 비하여 규칙적으로 나타남을 관찰할 수 있고 이는 용접기 출력전류제어가 원활히 수행됨에 따라 단락주기가 일정해지기 때문이다.

표 2 출력전류의 제어 파라미터  
 Table 2 Control parameter of output current waveform

제 어 요 소	설정값
지연시간	$T_d$ 3 msec
기준전류	$I_{Base}$ 100 A
단락전류 최대치	$I_u$ 250 A
아크시 전류	$I_h$ 150 A
단락전류 상승 기울기	$I_{sv}$ 57.5 A/msec
아크 발생시 전류감소기울기	$I_{arc}$ 60.5 A/msec

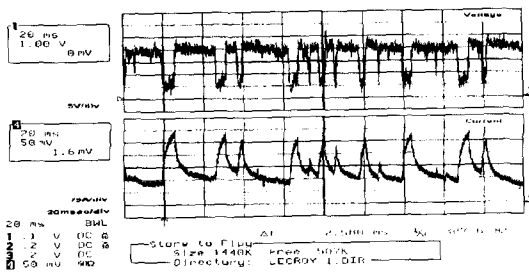


(a) 용접기 출력전압 기준신호 및 출력전류파형(5msec/div)

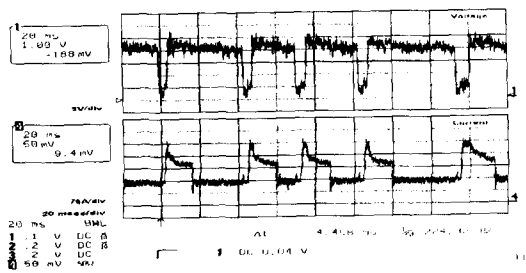


(b) 용접기 출력전압 기준신호 및 출력전류파형(10msec/div)

그림 15 제안된 인버터 아크 용접기의 각부파형  
Fig. 15 Waveforms of proposed inverter arc welding machine

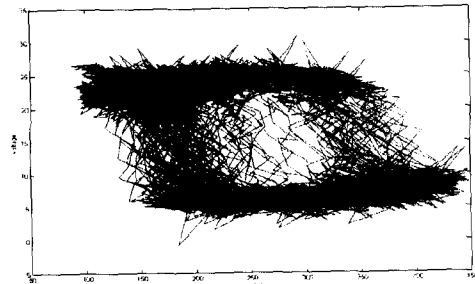


(a) 범용 인버터 아크 용접기

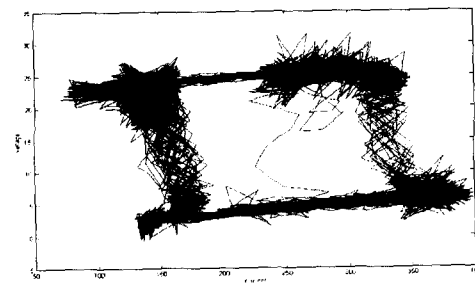


(b) 제안된 인버터 아크 용접기

그림 16 출력전압 및 전류파형 (20 msec/div)  
Fig. 16 Output voltage and current waveforms inverter arc welding machine



(a) 범용 인버터 아크 용접기



(b) 제안된 인버터 아크 용접기

그림 17 출력전압 및 전류파형 V-I 곡선  
Fig. 17 Output voltage and current V-I waveforms

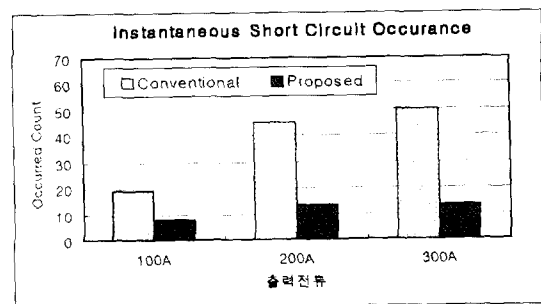


그림 18 출력전류별 인버터 아크 용접기의 순간단락 발생횟수  
Fig. 18 Comparison of instantaneous short circuit occurrences

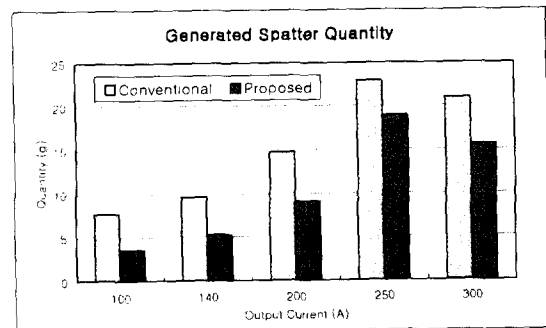


그림 19 제안된 용접기 스파터발생량 비교  
Fig. 19 Generated spatter comparisons of conventional and proposed inverter arc welding machine



특히 기존 용접기의 경우에는 단락전류의 주기가 불규칙하고 피크치의 크기도 일정하지 않음을 볼 수 있고, 그림 (b)의 파형제어방식 용접기의 경우에는 균일한 단락주기와 단락전류의 피크치의 크기가 거의 일정함을 관찰할 수 있다. 이러한 규칙적인 단락주기는 용접기의 금속이행과정이 균일하게 일어나며 용적의 크기도 균일하여지므로 비정상적인 단락이행인 순간단락 횟수를 감소시킬 수 있다.

그림 17은 그림 16의 용접기 출력전압과 전류의 시간축을 제외한 V-I 파형으로써 5초동안 25,000개의 출력전압과 전류 데이터를 이용한 히스토그램이다. 그림 (a)의 기존의 인버터 용접기의 경우 정상적인 단락이행 이외에 다수의 순간단락현상의 발생하므로 궤적이 규칙적인 모양이 이루어지지 않고 사각형 궤적내부에 많은 직선이 나타남을 볼 수 있다. 이러한 사각형 궤적내부에 많은 직선은 불규칙한 금속이행때문이며 따라서 이러한 불규칙한 금속이행과정은 비드상태의 저하와 다량의 스파터를 발생시킨다. 본 논문에서 제안한 파형제어기법에 의한 용접기의 경우인 그림 (b)는 순간단락현상이 현저하게 감소함에 의해 사각형 궤적내부에 거의 직선이 존재하지 않으며 또한 순간단락이 발생하더라도 전류가 상승되지 않으므로 기존 용접기의 경우와는 달리 출력전압과 전류의 궤적내부에 직선이 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다.

이상의 실험결과를 바탕으로 기존의 인버터 아크 용접기와 제안된 인버터 아크 용접기의 비교를 위하여 그림18에서 20과 같이 용접성능을 평가, 비교 하였다.

그림 18은 이상의 결과를 바탕으로 용접기의 출력전류별 순간단락 발생횟수와 순간단락발생 절감비율로써 제안된 제어방식이 전 전류영역에서 60[%]가량의 현저한 발생횟수의 저감효과가 있음을 알 수 있으며 이는 순간단락현상으로 인하여 발생하는 스파터를 저감할 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 19는 기존의 인버터 아크 용접기와 제안된 용접기 시스템의 출력전류별 스파터의 발생량을 포집한 결과로써 발생하는 스파터의 포집은 10×50 [mm<sup>2</sup>]의 넓이를 가지는 두께 8[mm]의 철판을 10회 연속적으로 용접을 수행하고 이때 발생하는 스파터를 동판으로 제작된 스파터 포집기에 모인량과 노즐에 부착된 량을 합친량이다.

그림에서 알 수 있듯이 제안된 제어기법에 의한 용접기의 경우에는 기존의 용접기에 비하여 전 전류영역에 걸쳐 스파터 발생량이 현저히 저하되었음을 알 수 있고, 이를 기존의 용접기를 기준으로 백분율로 계산하면 최대 50[%]에서 최소 20[%]정도의 스파터발생 저감효과가 있음을 알 수 있다.

그림 20은 용접특성을 분석을 위한 비드상태로서 그림 (a)의 기존의 인버터 아크 용접기의 경우 용접비드의 폭이 균일하지 않고 비드주변에 용접시 발생하는 대립의 스파터가 다수 점착되어 있는 것을 알 수 있다. 반면에 그림 (b)의 제안된 제어방식의 용접기의 경우에는 그림 (a)와 비교시 용접 비드



(a) 범용 인버터 아크 용접기



(b) 제안된 인버터 아크 용접기

그림 20 비드상태 비교 (200(A))  
Fig. 20 Bead state comparison (200(A))

가 현저하게 균일함을 알 수 있다. 이는 제안된 제어방식의 경우 안정된 단락이행을 수행함에 따라 용적의 크기가 일정하게 제어므로 대립의 스파터 발생이 감소되어 비드 주변에 점착되는 양이 줄어들기 때문이다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 인버터 아크 용접기의 용접성능 향상을 위한 AC/DC 컨버터와 파형제어기법에 관하여 연구하였다. 단위 역률제어를 위하여 인버터 아크 용접기의 AC/DC 전력변환 장치로 SMR을 사용하여 시스템의 역률을 0.92이상으로 개선할 수 있었고, 입력전류의 고조파 저감효과를 얻을 수 있었다. 또한 용접기의 인버터 제어기법으로 기존의 정전압제어 방식을 개선한 파형제어기법을 통하여 용접기의 금속이행과정에서 안정된 단락주기의 형성이 가능하였고 순간단락비를 현저히 감소할 수 있었으며 최소 20[%]이상의 스파터 저감 효과를 얻을 수 있었다. 향후 이상의 연구결과를 바탕으로 최적의 출력전류 파형을 얻기위한 파라메터들의 최적화에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 공모과제연구비에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- [1] H. Yamamoto, "Recent advances in inverter controlled arc welding power sources and their application", Journal of Japan Weld. Soc., vol.58,

- no.4, pp.273, 1989.
- [2] S. Liu and T. A. Siewert, "Metal transfer in gas metal arc welding : Droplet rate", *Welding Journal*, vol.68, no.2, pp.52, 1989.
- [3] T.Mita, "Reduction Spatter in CO<sub>2</sub> Gas-Shielded Arc Welding Waveform Control", *Welding International*, vol.3, pp.227~232, 1989.
- [4] 佐藤英市, "CO<sub>2</sub> MAG 溶接機 "SENSARC LS350", *溶接技術*, vol.37, No.330, pp.8~12, 1997.
- [5] Q. Huang, and F. C. Lee. "Harmonic Reduction in a Single -Switch, Three-Phase Boost Rectifier with High Order Harmonic Injected PWM", *VPEC Proceeding*, pp.24~26, 1995.
- [6] H. Oishi, et. al, "Single-phase switch mode rectifier employing voltage reversal circuit switched with a fixed frequency", *IEE Proceeding, Electric Power Appl.*, vol. 142, no. 2, pp.154~160, 1995.
- [7] J. T. Boys and A. W. Green "Current-forced Single-Phase reversible rectifier", *IEE. Proceeding*, vol. 136, no. 5, pp.205~211, September, 1989.

〈 저 자 소 개 〉



**채영민(蔡榮敏)**

1967년 2월 24일생. 1993년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 졸업(석사). 1999년 동 대학원 졸업(공학박). 현재 인버터제어 기술센터 선임연구원.



**고재석(高再錫)**

1967년 2월 27일생. 1994년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



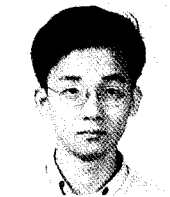
**김진욱(金鎭郁)**

1973년 1월 2일생. 1997년 호서대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 건국대 공대 전기공학과 대학원 졸업(석사).



**이승요(李承約)**

1967년 2월 27일생. 1994년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



**최해룡(崔海龍)**

1973년 4월 20일생. 1996년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



**최규하(崔圭夏)**

1955년 7월 24일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 졸업(석사). 1986년 동 대학원 졸업(공학박). 1987년~1988년 미국 오레곤주립대 객원교수. 현재 건국대 공대 전기공학과 교수.