

## 출력전류 극성비 변화를 가지는 펄스MIG아크용접의 특성

金泰鎮<sup>\*</sup>, 白周元<sup>\*\*</sup>, 趙相明<sup>\*\*\*</sup>, 金喆禹<sup>\*\*\*\*</sup>

## The Study of Variable Polarity AC Pulse MIG Arc Welding System

T.J. Kim, J.W. Baek, S.M. Cho, and C.U. Kim

## 요 약

가볍고 강도가 높은 이유로 부품의 경량화가 요구되는 분야에 급속하게 이용되고 있는 알루미늄의 아크용접에 관한 연구로서, 기존 알루미늄의 아크용접 방법-TIG, MIG-에 비하여 속도가 빠르고, 보다 얇은 박판에 용접이 가능한 용접 방식에 대한 연구 결과이다. 용접전류를 펄스 형태의 인가하여 줌으로써 1펄스 1용적이행이 가능하였고, 용접전류의 극성을 주기적으로 교번하여 용접의 입열량 차이를 이용하여 용입의 깊이를 제어하는 알고리즘을 적용하였고 그 상관관계를 증명하였다. 본 연구에서는 DSP 320C32를 이용한 풀 디지털 제어방식의 10kw 펄스MIG-용접전원장치를 제작하였고, 120cm/분의 용접속도로 1.2mm의 알루미늄 박판에 극성비 0~40%의 변화한 용접 결과에 대하여 용접외관 및 단면에 대한 결과를 검토하였다.

## ABSTRACT

Joining thin aluminum alloy is difficult using most welding techniques. Many of problems associated burn-through by the high heat input. Common welding techniques are TIG, MIG, and MIG-PULSE welding. The VP-GMAW provides more control of the heat balance in the welding arc by taking advantage of the different arc characteristics obtained with each of the two polarities.

In this paper, we proposed new VP-GMAW method by control DSP 320C32, and the characteristic and experiment result-voltage, current, welding bead, penetration by this method are presented.

**Key Words** : 아크용접, MIG-용접, 알루미늄, 극성비 가변제어, 아크길이제어, 1펄스 1드롭

## 1. 서 론

알루미늄 및 그 합금은 가볍고 강도가 높으며, 내식성과 재활용성이 뛰어난 특성을 가지고 있어서 각종 구조물 및 부품의 경량화가 요구되는 분야에 급속하게

이용이 확산되고 있다. 특히, 고속전철, 지하철 등의 철도차량, 선박, LNG선 탱크, 건축 등은 물론이고, 알루미늄 엔진 및 차체개발로 경량화를 목표로 하는 자동차 산업에 확대 적용되고 있다.

알루미늄의 용접은 그림 1에 있는바와 같이 용접시의 산화 방지를 위해 주로 불활성 가스를 이용한 TIG(Tungsten Inert Gas)용접과 MIG(Metal Inert Gas)용접이 주류를 이루고 있다.

TIG 용접의 경우 아크가 상당히 안정되면서도 용융 금속과 용접봉이 직접 반응하지 않으므로 고품질의 미려한 용접 비드를 얻을 수 있다. 그러나 용접속도의 증가와 용접 자동화에 큰 어려움이 있어 저 생산성이

\* 정회원, 한국전기연구원 선임연구원

E-mail : tjkim@keri.re.kr

\*\* 정회원, 한국전기연구원 선임연구원

\*\*\* 정회원, 부경대학교 부교수

\*\*\*\* 정회원, 부산대학교 전기공학과 교수

접수일자 : 2002. 7.25

1차심사 : 2002.10. 4

심사완료 : 2003. 5.22

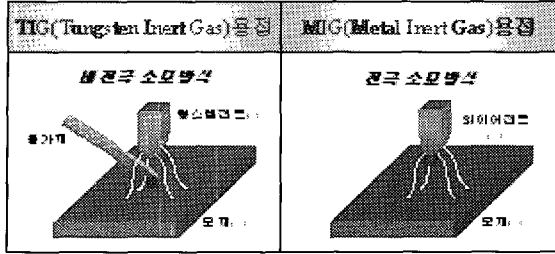


그림 1 TIG용접과 MIG용접의 비교  
Fig. 1 Comparison of TIG and MIG welding

문제를 갖고 있다.

또한 대전류 MIG용접의 경우 DCEP(Direct Current Electrode Positive)의 극성으로 용접되기 때문에 용입(熔入)이 깊어 5mm 이상 후판(厚板)용접에만 주로 적용되고 있다. 그러나 이를 그대로 1~2mm의 알루미늄 박판(薄板)용접에 적용하면 용입이 너무 깊어 용락(熔落)이 발생한다. 또한 용락방지를 위하여 전류와 전압을 낮추면 아크길이가 짧아지면서 와이어와 모재(母材)간의 단락이 자주 발생하고 아크가 불안정해져 실용화가 곤란하였다<sup>[1][2]</sup>.

본 연구는 1~2mm의 박판 용접시에도 용락의 발생을 최소화하고, 모재의 조립 공차를 최대한으로 허용이 가능하며, 용접기의 출력 파형 제어시에 순시펄스 전류와 동기되어 정확한 용적이행을 하는 1사이클 1드롭 방식의 펄스 MIG 용접알고리즘을 구현하였다<sup>[3][4]</sup>. 특히, DCEP구간보다, 와이어의 용융속도가 빠르지만 용적의 보유열량이 작은 DCEN구간(Direct Current Electrode Negative)의 비율을 0~40%로 조절하여 용입의 깊이를 제어할 수 있는 알고리즘에 대한 설계와 용접의 출력특성에 대한 특성을 검토하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 기존의 알루미늄 용접시의 문제점

알루미늄의 후판 용접에는 주로 대전류 MIG용접을 적용함으로써 자동화가 용이하여 생산성을 높이면서 품질을 향상시킬 수가 있었다. 그러나, 알루미늄 박판의 용접에는 주로 TIG용접을 적용하여 왔는데, 다음과 같은 문제점이 발생한다<sup>[5]</sup>.

- ① TIG용접의 아크 개시 때에는 고주파의 방사 노이즈가 심해서 주위의 컴퓨터나 로봇과 같은 장비에 치명적인 손상.
- ② 대전류로 고속용접을 하면 불안정 비드(Humping bead)가 발생하므로 낮은 생산성.

- ③ 용접도중에 텅스텐 전극을 계속적으로 관리해야 하므로 자동 생산이 곤란하고, 주기적인 전극교체.

특히 박판에서 용락문제를 해결하면서도 조립공차를 크게 허용할 수 있도록 하기 위하여 용입제어용 극성비율 제어형 AC펄스 MIG용접기를 개발이 요구되고 다음과 같은 용접조건들이 요구된다.

- ① 스패터의 발생을 최소화하기 위한 스프레이 이행 모드
- ② 박판에서 용락 방지를 위한 입열량 감소
- ③ 알루미늄, 마그네슘 등의 산화 피막을 보유한 금속을 용접하는 경우에는 역극성 전류의 아크에 의해 산화 피막을 제거

### 2.2 용접전류패턴에 따른 용접알고리즘

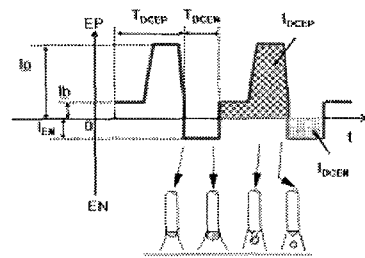


그림 2 제안된 펄스MIG 용접의 용접알고리즘  
Fig. 2 Proposed algorithm of pulse MIG welding

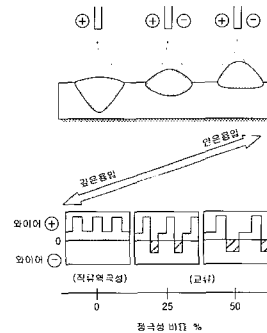


그림 3 극성비율과 용입 형상의 관계  
Fig. 3 Relation of shape penetration by EN ratio

그림 2는 박판 알루미늄의 고속용접을 위한 용접기의 출력 파형 제어시에 순시펄스전류와 동기되어 정확한 용적이행을 하는 1사이클 1드롭 방식의 펄스 MIG 용접 알고리즘이며 균일한 용적이행으로 고속용접이 가능하다.

그림 3은 출력측 DCEN(Direct Current Electrode Negative) 극성 가변비를 0~60%로 조절하여 용입의 깊이를 제어함으로써 1~2mm의 박판 용접시에도 용락의 발생을 최소화하고, 모재의 조립 공차를 최대한으로 허용하도록 시도한 기술의 개요를 나타낸 것이다.

### 2.3 극성의 특성 및 극성비의 정의

MAG, MIG 용접에서는 DCEP와 DCEN이라고 하는 극성에 따라 용접 결과가 크게 달라지기 때문에 이 2가지 극성의 특성을 알 필요가 있다.

아크에 있어서 전압강하는 양극 전압강하, 음극 전압강하, 아크 전압강하의 세부분으로 나눌 수 있는데, 이 중 양극 전압강하는 1-10V정도이며 음극 전압강하는 10-20V정도이다. 전압강하의 정도에 따라 전류밀도는 차이를 나타내게 되는데 일반적인 각 극성의 전류밀도는 다음과 같다.

음극 전류밀도 :  $106 - 4 \times 108 \text{ A/cm}^2$

양극 전류밀도 :  $102 - 105 \text{ A/cm}^2$

또한, 음극점은 양극점과 같이 고정되어 있지 않고, 음극의 표면 위를 불규칙적으로 빠르게 이동하는 특성이 있다. 따라서 아크는 와이어 선단에 집중되지 못하고, 와이어 선단으로부터 뒤쪽으로 상당한 거리까지 이동하므로 거시적으로는 와이어 끝부분 일부를 아크가 둘러싼 형태로 되기 때문에 와이어 용융속도는 DCEP보다 빠르지만 아크는 불안정하고 용적의 온도는 낮아진다.

그림 4에서와 같이 AC pulse 파형은 DCEP와 DCEN을 주기적으로 반복하는 것으로서 식 (1)과 같이 정의되는 EN 극성비를 적용하여 와이어 용융속도 및 입열량을 제어하였다.

$$\text{EN극성비} = \left[ \frac{I_{EN} \times T_{EN}}{I_{EP} \times T_{EP} + I_{EN} \times T_{EN}} \times 100(\%) \right] \quad (1)$$

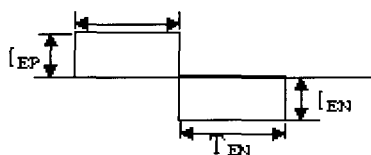


그림 4 EN 극성비의 정의  
Fig. 4 Definition of EN ratio

I<sub>EN</sub>: DCEN구간의 평균전류(A),

I<sub>EP</sub>: DCEP구간의 평균전류(A),

T<sub>EN</sub>: DCEN구간 유지시간(s),

T<sub>EP</sub>: DCEP구간 유지시간(s)

### 3. 박판 알루미늄 용접 시스템의 구성

박판 알루미늄의 고속용접을 위한 주회로 및 제어회로 구성은 그림 5에 나타난 바와 같다. 3상 220V 60Hz의 입력전압을 다이오드 정류기를 통하여 300V의 평활된 직류전압으로 변환하고 이를 20kHz 스위칭 풀브리지 DC/DC 컨버터를 거쳐 고주파 변압기로 절연된 2차측으로 에너지를 전달한다. 이때 에너지 전달효율을 최대 높이기 위하여 변압기 제작시 변압기 1차측과 2차측을 교번으로 감아 코일 쇄교수를 높였다. 또, 2차측의 변압기 출력을 센터 탭 방식으로 출력하여 다이오드와 정류한 뒤에 저주파 인버터(10Hz~200Hz)로 구성되어있다<sup>[4][6]</sup>.

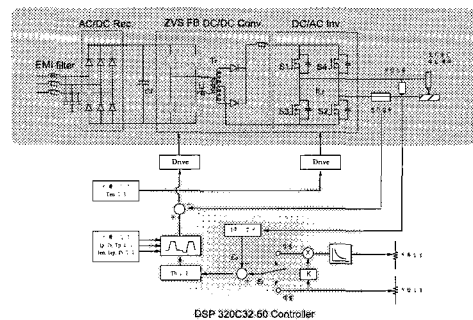


그림 5 박판알루미늄 펄스 MIG 용접시스템  
Fig. 5 Aluminum welding system for thin Al

### 4. 아크길이 제어 알고리즘

그림 6은 펄스 용접에서 일반적으로 적용되고 있는 아크길이제어를 간략하게 나타낸 것으로 아크길이를 제어하기 위해 앞선 주기의 전압을 피드백 하여 베이스 시간을 변화시킨다. 그러나 이런 방식의 제어는 용접 중 아크길이가 변했을 때 용적의 크기와 용접이행의 주기가 함께 변화하기 때문에 용접성에 불리하다.

따라서, 본 연구에서는 용접 중 아크길이가 변화할 지라도 펄스 주기가 항상 일정하게 될 수 있도록 하기 위하여 베이스 전류로서 아크길이를 제어하였다. 즉 아크길이가 길어졌을 때 베이스 시간은 동일하게 하고 베이스 전류를 낮게 하여 아크길이를 원래대로 복원

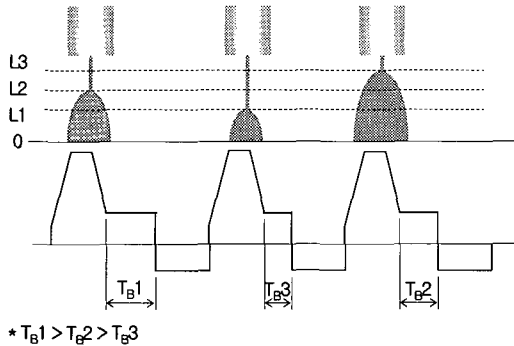


그림 6 베이스 전류가변형 아크길이 제어방식  
Fig. 6 Base current control of arc length

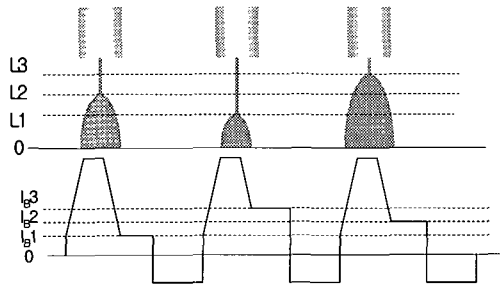


그림 7 베이스 시간가변형 아크길이 제어방식  
Fig. 7 Base time control of arc length

한다. 반대로 아크길이가 짧아 졌을 때 베이스 전류를 높게 하여 아크길이를 원래대로 복원한다. 그림 7은 본 연구에 사용된 아크길이의 제어 방식이다.

### 5. 개발된 Pulse MIG 용접기의 출력 특성 평가

설계된 AC pulse 파형을 적용한 개발 용접기를 사용하여 파형의 출력특성을 평가하기 위한 실험에서는 알루미늄 판(Al 5052, 길이 : 300mm, 폭 : 50mm, 두께 : 1.2mm, 3mm, 5mm)위에 실드가스 100%Ar으로 A5356(Φ1.2)와이어를 사용하여 120cm/min의 속도로 용접하였다. 용접은 비드 온 플레이트와 겹치기 용접으로 성능을 평가하였으며, 용접의 설정전류는 50~150A까지 20A씩, EN극성비는 10~40%까지 10%씩 증가시켰다. 또한, 겹치기 이음 용접의 경우는 이음부의 설정 갭 0, 0.5, 1, 1.5mm, 설정전류 60A, EN극성비 0, 20%로 하였다.

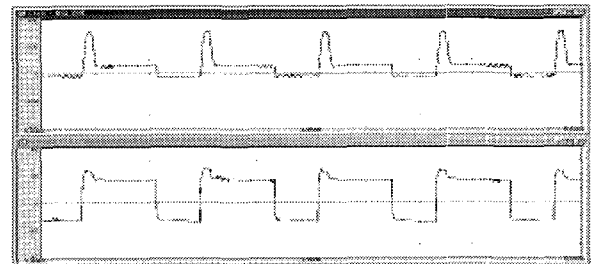
### 6. 실험 결과 및 고찰

그림 8은 개발된 용접기의 평균용접전압전류의 파형이다. 그림 9은 극성비에 따른 와이어 용융속도를 나타낸 것이다. 동일한 계측 전류에서 극성비가 증가할수록 와이어 용융속도가 높아지는 것을 알 수 있다.

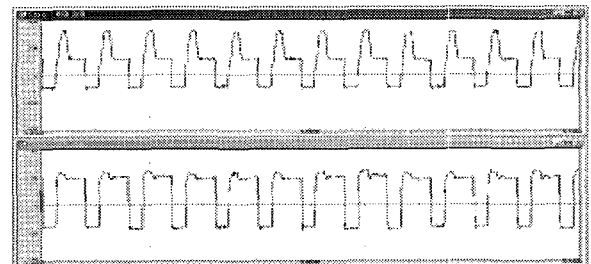
그림 10은 개발된 용접기를 사용하여 비드 온 플레이트 용접한 시편(3mm)의 단면 마크로 사진이고, 그림 11는 외관 사진이다. 동일한 설정전류, 용접속도에서 극성비가 증가함에 따라 용입이 낮아지고 비드 폭이 좁아지며 덧살 높이가 높아지는 것을 알 수 있다.

그림 12은 1.2mm 두께의 모재에 의한 겹치기 이음 용접을 한 경우의 단면 마크로 사진이다. 설정 갭 0mm의 경우에는 극성비 0, 20% 양쪽 다 용락이 발생하지 않았지만, 설정 갭 0.5, 1, 1.5mm에서는 극성비 0%의 경우는 즉, DCEP인 경우는 용락이 발생하였고, EN극성비 20%에서는 용락이 없는 양호한 용접부가 얻어졌음을 알 수 있다.

그림 13은 평균용접전류가 100A의 경우, DCEN극성비가 변화에 대한 용접비드 변수를 나타내고 있다. 극성비가 증가할수록 용입은 낮아지고, 비드폭은 넓어지면서, 비드의 높이는 증가함을 알 수 있다.



(a) 평균용접전압전류 : 60A 20V, 용접속도 : 120cpm



(b) 평균 용접 전압전류 130A 24V, 용접속도: 120cpm

그림 8 용접전압전류 파형  
Fig. 8 Waveform of Voltage & Current

즉 동일한 용융속도에서 극성비의 증가는 용적의 입열량을 줄임으로써 용적이 모재 위로 쌓이는 결과를 얻을 수 있다. 그림 14는 제작된 용접시작품의 사진이다.

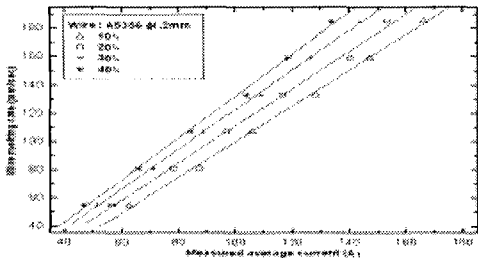


그림 9 와이어 용융속도와 극성비의관계  
Fig. 9 Relation of wire melting rate and EN-ratio

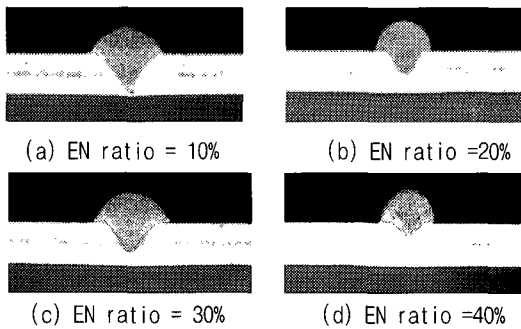


그림 10 극성비에 따른 비드 단면  
Fig. 10 Shape of bead cross section by EN-ratio

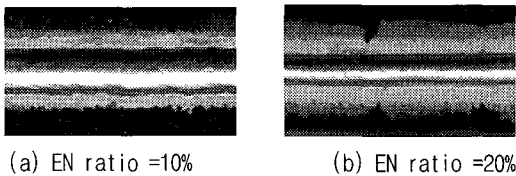


그림 11 극성비에 따른 비드 외관  
Fig. 11 Shape of bead by EN-ratio

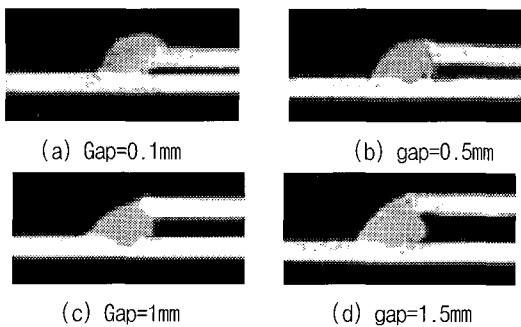
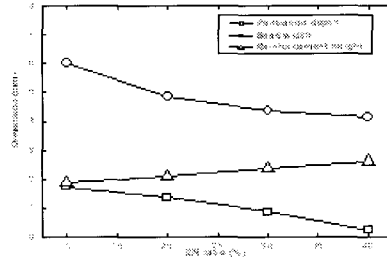


그림 12 갭의 변화에 따른 맞대기 용접(1.2t)  
Fig. 12 Shape of lap-joint bead by root-gap change



(○ : 용융금속의 높이, △: 비드 폭, □ : 용입의 깊이)

그림 13 극성비 증가에 따른 용접비드 외형(100A)  
Fig. 13 Bead parameters according to EN ratio increment (100A)

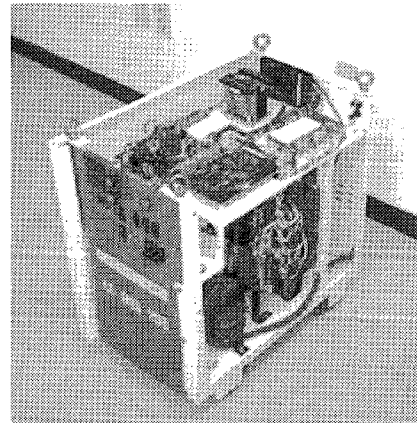


그림 14 제작된 펄스 MIG용접장치 시작품  
Fig. 14 Prototype of Pulse MIG welding system

표 1 용접전원장치에 사용된 소자  
Table 1 Welding system parameter

항 목	박관고속 용접전원장치
입력전압	AC 220V 3상 60Hz
스위칭소자	1차 컨버터: IGBT(2NBI300N-60) : 600V, 300A 2차 인버터: IGBT(CM600-HA-5F):250V, 600A
변압기	페라이트 코어 Eetype 1조 14 : 4
누설인덕턴스	4.5μH (20kHz)
출력전류 (피크전류)	60-250A(320A)
출력전압 (무부하시)	16-40V(100V)
출력 단 다이오드	FRD (MEO 500-06 DA) : 600V, 500A
출력단 인덕턴스	50μH(20kHz)

## 7. 결 언

본 연구에서는 박판 알루미늄 용접에 적용하기 위하여 극성비의 변화에 따라 와이어 용융속도와 입열량의 제어가 가능하도록 DCEP와 DCEN을 주기적으로 반복하는 AC pulse MIG 용접 파형을 설계하여 출력특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다<sup>[7]</sup>.

- 1) 1펄스 1드롭의 펄스용접으로 스프레이 이행모드에서 동작하여 박판 알루미늄의 고속 용접 시에도 용락이 없는 양호한 비드 외관을 얻을 수 있었다.
- 2) 동일 설정 전류에서 DCEN극성비가 증가함에 따라 와이어 용융속도는 증가하고 입열량은 작아지는 현상을 비드단면을 통하여 확인하였다.
- 3) 박판의 겹치기 용접에서 갭이 존재할 시에는 EN극성비를 증가하면 용락이 없는 양호한 용접부를 얻을 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 원충연 외, "용접기술특집", 전력전자학회 학회지, 1999.4.
- [2] PULSED ARC WELDING "Technical Commission on Phtsics of Welding The Japan Welding Society".
- [3] 三田, "最近のアーカ溶接機, "パルスマグ.ミグ溶接機の電流波形制御", 溶接技術, 1991.
- [4] 김태진, 구헌희, "박판의 고속용접을 위한 펄스MAG용접 전원의 파형제어에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 48, No. 10, 1999.10.
- [5] 原田, 安田, "炭酸가스.マグ溶接におけるスパッタ低減の方法", 溶接技術, 1993.
- [6] E.S. Kim and T.J, Kim, "High Power Full Bridge DC/DC Converter Using Digital-to-Phase-shift PWM Circuit", PESC, pp. 221~225, 2001.
- [7] T.J. Kim and G.Y. Joe, "The study of variable polarity AC pulse MIG arc welding system", ICEE, pp. 688~691, 2002.

## 저 자 소 개



### 김태진(金泰鎭)

1968년 8월 29일생. 1994년 부산대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~1996년 일본 오사카대학 초전도연구센터 연구원. 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력전자연구그룹 선임연구원.



### 백주원(白周元)

1967년 1월 2일생. 1990년 경북대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력전자연구그룹 선임연구원. 당 학회 학술위원.



### 조상명(趙相明)

1955년 2월 15일생. 1980년 해양대 용접공학과 졸업. 1982년 동 대학원 용접공학과 졸업(석사). 1988년 일본 오사카대학원 용접공학과 졸업(공학박). 1982년~1992년 한국해기연구원 조교수. 1993년~현재 부경대학교 부교수. 대한용접학회 이사.



### 김철우(金喆禹)

1942년 12월 5일생. 1969년 부산대 전기공학과 졸업. 1974년 일본 전기통신공학과 졸업(석사). 1982년 일본 동경공업대 전기전자공학과 객원교수. 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 부산대 전자전기통신공학부 교수. 당 학회 자문위원.