# 인버터 용접기의 퍼지제어에 관한 연구

## (A Study on Fuzzy Control for Inverter Welding Machine)

鄭載倫* · 趙成甲**
(Jae-Youn Chung · Sung-Kap Cho)

## 요 약

최근 퍼지이론은 경영, 경제학, 의학 및 프로세서 제어시스템을 포함한 다량한 응용분야에서 광범위하게 인기를 모으고 있다. 본 논문에서는 인버터용접기의 전류제어시스템에 퍼지이론의 적용에 대해서 서술한다. 퍼지제어는 전류루우프제어에 전통적인 PI제어방법 대신에 적용하였다. 상세한 퍼지제어 앨고리즘을 도출하고, 인버터 용접시스템의 실험을 통하여 입증하였다. 이 실험은 퍼지제어가 PI제어방법보다 더 우수함을 나타내 주고 있다. 퍼지제어는 용접공정제어 시스템의 응용에 많은 기여가 예상된다.

## Abstract

Fuzzy theory is recently finding wide popularity in various applications that include management, economics, medicine and process control system. This paper describes application of fuzzy logic in a current control system that use a inverter welding machine.

The Fuzzy control is then extended to the current loop control, replacing the conventional proportional-integral(PI) control method. The fuzzy control algorithms have been developed in detail and verified by experiments of a inverter welding system. The experimentation study indicates the superiority of fuzzy control over the PI control methods. Fuzzy control seems to have a lot of promise in the applications of welding process control system.

## 1. 서 론

용접기술은 우리나라의 산업발전과 함께 발달되어 왔으며, 조선, 항공, 파이프 제조 분야에서 고품질, 고효율, 고신뢰성 등을 요구하는 중요한 핵심 기술이다. 용접기술은 과거에는 기계, 조선 등 중공업분야에서 대량생산을 목적으로 발전되어 왔지만, 최근에는 로보트의 응용기술이 발달하면서 각종 산업분야에 확대되고, 작업환경이 劣悪하고, 반복적인 작업에 용접기용 로보트의 사용이 가속화 되고, 앞으로는 반도체공정, 전자정보산업, 항공기, 우주개발, 조관(造管), 원자력

*正會員 : 柳韓專門大 制御計測科 教授
**正會員 : 柳韓專門大 機械科 教授
接受日字 : 1995年 7月 5日

관련분야에서 메카트로닉스정밀부품, 고급재료를 대상으로 한 용접특성의 질적인 발전이 요망되고 있다. 따라서, 작업능률의 향상과 작업의 용이성과 소형화, 그리고 에너지절감에 대한 필요성이 요구되어진다.

아크용접기는 용접봉을 모재사이에 직접 접촉시켜 용접봉을 용융하여 용접봉이 소모되는 소모식 아크용접기(모재의 종류에 따라 차폐 가스에 탄산가스를 사용하는 $CO_2$용접법과 아르곤가스등의 불활성가스를 사용하는 MIG(Metal Inert Gas)용접법, 아르곤가스와 탄산가스등 혼합가스를 사용하는 MAG(Metal Active Gas)용접법이 있다.)와 용접봉을 모재에 직접 접촉시켜 모재를 녹이는 비소모식 TIG(Tungusten Inert Gas) 아크용접기로 나눌 수 있다. 용접기의 전원은 1970년정도까지는 누설변압기를 이용한 아크용접기가 주류를 이루었으나 근래에 이르러 아크용접기는 사이리스터(thyrister)를 이용해서 변압기의 2차측을 위상제어한 아크용접기가 출현하였다[1].

1980년대에 들어서서, 자기소호소자(自己熖弧素子)인 파워트랜지스터로 변압기의 2차측을 직류로 변환한후 쵸퍼 제어 하는 방식이 개발되었고, 현재는 용접기를 더 소형화 하고 고정밀 제어를 하기 위해서, 변압기 1차측에서 파워 트랜지스터에 의해서 고주파교류(2kHz정도)로 변환하고 출력단을 PWM 제어하는 인버터제어식의 용접기가 개발되고 있다[2]. 본 논문에서는 주파수를 20[kHz]로 하여 변압기의 체적을 약 1/20로 줄이고, 무소음화를 가능하게 하는 인버터용접기에 대해 고찰한다.

인버터제어식 아크용접전원은 3상 교류입력을 다이오드를 통해서 DC로 변환한후 인버터를 이용해서 고주파 교류로 변환하기 위하여, 고주파변압기에 의해 절연과 전압변환을 행하고, 다시 다이오드를 통해 DC로 출력한다. 아크용접용 전원장치는 아크를 발생시켜야 하기 때문에 일반적으로 저전압, 대전류출력의 전원을 채용하고 있다. 그러나, 용접용트랜스 2차 전압이 너무 높으면 용접시 스패터(spatter)현상이 생겨 용접특성을 해친다.

따라서 본 논문에서는 전류 루우프 제어에 기존의 PI제어 대신 퍼지제어(Fuzzy Control)를 적용 시켰다. 그 이유는 최소의 오버슈우트로 빠른 응답이 가능하면서 프로세서의 파라미터변화와 부하외란변화에 둔감(robust)한 제어기로 동작 시키기 위해서이다. 인버터용접기에서 빠른 응답은 용접부위의 최소한의 가열로 集積된 용융점을 만들어 용접특성 개선을 위함이다.

## 2. 용접기의 Fuzzy제어 알고리즘

Fuzzy제어는 미국의 캘리포니어대학 Zadeh교수가 제안한 퍼지집합을 기초로 한 개념을 도입한 것이다. 보통 2진 집합의 개념에서는 그 집합에 속하면 "1", 속하지 않으면 "0"으로하는 2치 표현법을 사용한다. 용접전류 I를 예로하여 퍼지집합을 나타낸 것이다. 여기서 목표의 전류값이 200[A]일 때 200.1[A]이상의 전류값을 "크다"로 정의하고, 전류값이 199.9[A]일 경우는 "크지 않다"로 명확히 분리하고 있다. 이에 대해서 퍼지집합은 "전류값이 크다", "전류값이 적다"의 경계가 명확하게 수치로 나타내지 않고 퍼지집합으로 표현하여 전류값이 "크다", "중간이다", "작다"를 각각 0.0에서 1.0사이의 멤버쉽함수로 나타낸다.

### 2.1 퍼지 추론(defuzzification)

重力 中心法에 의한 퍼지추론 과정을 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$\begin{array}{llll}
\text{Rule 1}: & A1 & \text{AND} & B1 \rightarrow C1 \\
\text{Rule 2}: & A2 & \text{AND} & B2 \rightarrow C2 \\
\text{Rule 3}: & A3 & \text{AND} & B3 \rightarrow C3 \\
 & \vdots & \vdots & \vdots \\
\text{Rule k}: & Ak & \text{AND} & Bk \rightarrow Ck \\
\text{Fact}: & e & \text{AND} & de \rightarrow u \\
\hline
\text{Conseq}: & & & C'
\end{array} \quad (1)$$

여기서 $A_i$는 e의 퍼지집합이며, $B_i$는 de의 퍼지집합이며, $C_i$는 u의 퍼지집합으로 정의하며 퍼지추론 결과 $C'$는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu(_{A_i \text{ AND } B_i}) = \text{Min}\{\mu_{A_i}(e), \mu_{B_i}(de)\}$$

$$\mu_{C'}(u)=\mu_{C_1'}(u)+\mu_{C_2'}(u)+\cdots\mu_{C_k'}(u) \quad (2)$$

C′의 重力中心法 (Center of Gravity Method)으로 推定된 대표적인 퍼지집합 추론결과점 U(k)는 식 (3)과 같다.(i=1에서 k까지 적용함)

$$U(k)=\frac{\sum z_i \cdot \mu_{C'} \cdot (z_i)}{\sum \mu_{C'} \cdot (z_i)} \quad (3)$$

입력 u, 오차 e, 오차의 변화분 ce의 멤버쉽함수는 모두 그림 1과 같이 정의한다.

인버터용접기의 퍼지제어 시스템의 개요를 그림 2에 제시한다.

퍼지추론에서는 몇개의 규칙을 근거로 하나의 결론을 도출하는 방법이다. 인버터 용접기의 전류의 오차와 그 오차의 변화분은 다음과 같이 정의한다.

$$E(k)=R(k)-C(k) \quad (4)$$

$$CE(k)=E(k)-E(k-1) \quad (5)$$

여기서,

E(k)=전류 루우프 오차

CE(k)=전류 루우프 오차의 변화분

R(k)=기준신호

C(k)=출력신호

k =샘플링 주기

변수는 다음과 같이 단위량(per unit quantities)으로 나타낸다.

$$e(pu)=E(k)/GE \quad (6)$$

$$ce(pu)=CE(k)/GCE \quad (7)$$

$$du(pu)=DU(k)/GU \quad (8)$$

인버터용접기에 퍼지추론을 적용시 용접전류를 검출하여 최소의 오우버슈우트로 빠른 응답이 가능하면서 프로세서의 파라미터변화와 부하외란변화에 둔감(robust)한 제어기로 동작 시키기 위하여 적용 Fuzzy제어규칙은 표1과 같다.

인버터용접기에서 빠른 응답은 용접부위의 최소한의 가열로 직접된 용융점을 만들기 위해서이다.

퍼지전류제어는 위의 추론에 의하여, 퍼지법칙(fuzzy rule)을 기초로하여 다음과 같이 8단계로 제어입력 U(k)를 계산한다.

(1) $i_r^*(k)$과 $i_r(k)$의 샘플링 입력

(2) 다음과 같이 오차 E(k)와 오차의 변화분 CE(k)를 계산한다.

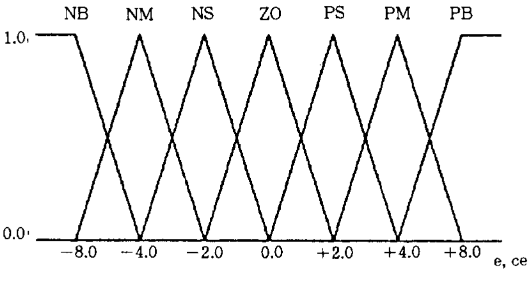
$$E(k)=i_r^*(k)-i_r(k) \quad (9)$$

$$CE(k)=E(k)-E(k-1)$$

$$e(pu)=E(k)/GE \quad (10)$$

$$ce(pu)=CE(k)/GCE$$

(3) e(pu)와 ce(pu)의 간격지수(interval index) I, J를 확인한다.




여기서, NB : Negative Big
NM : Negative Medium
NS : Negative Small
ZO : Zero
PS : Positive Small
PM : Positive Medium
PB : Positive Big이다.

그림 1. 소속함수
Fig. 1. The membership function

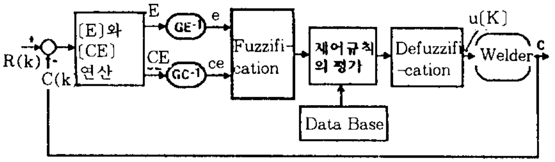



그림 2. 퍼지제어 시스템
Fig. 2. A fuzzy control system

표 1. 퍼지 규칙
Table 1. The Fuzzy rules

| e \ ce | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NB | NB | NB | NB | NB | NM | NS | ZO |
| NM | NB | NB | NB | NM | NS | ZO | PS |
| NS | NB | NB | PB | PS | ZO | PS | PM |
| ZO | NB | NM | NS | ZO | BS | PM | PB |
| PS | NM | NS | ZO | PS | PM | PB | PB |
| PM | NS | ZO | PS | PM | PB | PB | PB |
| PB | ZO | PS | PM | PB | PB | PB | PB |

정격전류가 100[A]이고, 현재 흐르는 전류가 56[A]라면 I(pu)는 다음과 같이 계산한다.

$$I(pu)=\frac{56}{100}=0.56 \qquad (11)$$

간격지수 J는 다음과 같이 산출한다.

$$J=INT\{I(pu)+0.01)/0.01\} \qquad (12)$$

(4) 적절한 퍼지 부분집합에 대한 e(pu)와 ce(pu)의 소속함수의 기여도를 계산한다.

(5) 표 1내에 4개의 유효한 법칙을 확인하고, MIN연산을 사용한 멤버쉽함수의 기여도 $\mu_{Ri}$를 계산한다.

(6) 표 1로부터 각 법칙에 대한 $d_{Ui}$를 검색한다.

(7) 고도의 역 퍼지법에의한 $d_u(pu)$의 결과치(resultant crispy value)를 계산한다.

(8) $U(k)=U(k-1)+GU*d_u(pu)$ (13)

로부터 U(k)를 계산한다.

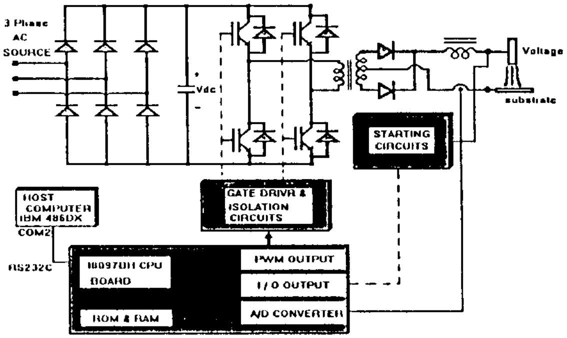
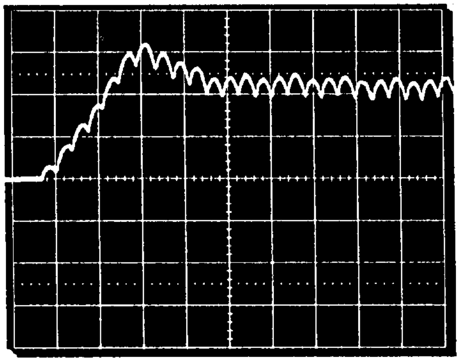



그림 3. 인버터 아아크용접기의 구성
Fig. 3. A configuration of inverter Arc Welder.



50[A/div], 5[mS/div]

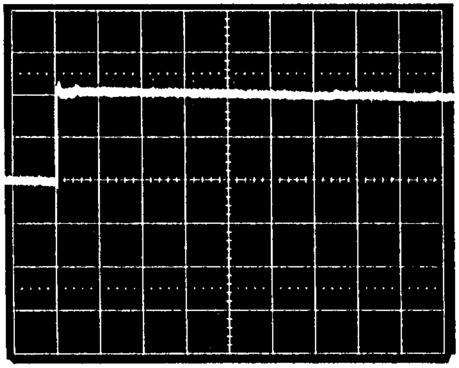
그림 4. PI제어에 의한 다이리스터 DC용접기 전류파형
Fig. 4. Current waveform of PI controlled thyrister DC welder

## 3. 시스템 구성

인버터용접기의 고주파화를 통하여 용접특성을 향상시키고 에너지 절감 및 소형화, 경량화, 무소음화를 달성하기 위해서 전시스템을 그림 3과 같이 구성한다.

3상 AC전원을 정류하여 DC전원으로 변환시켜주는 3상브리지 콘버터와 이 DC전원을 고주파 AC전원으로 바꾸어주는 IGBT 단상 인버터와 절연용변압기와 용접기출력을 DC로 변환시켜주는 2차 출력정류기와 전류제어를 위한 전류센서, 저전류로 순시기동이 가능한 가동회로로 구성되어 있다. 또, 제어부는 전류피드백을 직접 받을 수 있는 A/D변화기가 내장되고 PWM출력기능이 내장된 i8097 16bit ONE-CHIP MICROPROCESSOR를 사용한다.

또, 개발에 편이를 위하여 IBM-PC 486DX를 HOST COMPUTER로 사용하여 8097BH프로세서의 램(RAM)에 제어프로그램을 DOWN LOADING하여 8097BH프로세서가 메인 CONTROLLER 역할을 하게하였다.



50[A/div], 5[mS/div]

그림 5. 퍼지제어에 의한 인버터 용접기 전류 파형
Fig. 5. Current waveform of fuzzy controlled inverter welder

그림 6. Thysister DC용접기의 용접외관
Fig. 6. The surface of welding by Thyrister DC welder

## 4. 실험 결과

### 4.1 용접특성 실험

본 연구에서 사용된 인버터용접기는 TIG, MIG, $CO_2$/MAG용접을 할 때 용접전원으로 사용할 수 있다. $CO_2$/MAG용접을 할 때에, 인버터제어방식은, 종래의 사이리스터 제어방식에 비해, 용접성능이 대폭 개선되었음을 본 실험을 통하여 입증한다.

#### 4.1.1 아크 기동 성능 실험

퍼지제어에 의한 인버터용접기는 제어의 응답성이 좋아서(전류증가가 빨라)아크 기동시의 입열(入熱)을 최적치로 제어하는 입열제어가 용이하여 全鎔接 전류영역에 걸쳐서 100[%] 가까운 순간 아크 기동이 얻어진다. 그림 4는 종전의 PI제어에 의한 사이리스터제어식인 경우를 나타내며, 그림 5는 퍼지제어에 의한 인버터제어방식인 경우의 아크 기동시의 전류 파형을 관측한 것이다.

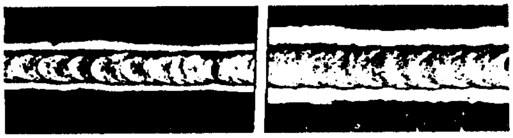
그림 6은 종래의 PI제어에 의한 사이리스터용접기의 경우, 그림 7은 퍼지제어에 의한 인버터용접기인 경우의 용접 상태를 비교하여 보여주고 있다.

이상의 결과로 부터 본 연구에서 제안된 퍼지제어에 의한 인버터용접기의 용접상태가 더 양호함을 확실하게 입증할 수 있다. 그림 7(a)는 설정전류치가 100[A]인 경우이고, 그림 7(b)는 200[A]인 경우를 관측한 것이다. 이때 모재는 3㎜의 철판을 사용하고, 용접속도는 2,000[㎜/min]의 같은 조건하에서 관측한 것이다.

#### 4.1.2 낮은 스패터용접의 실험

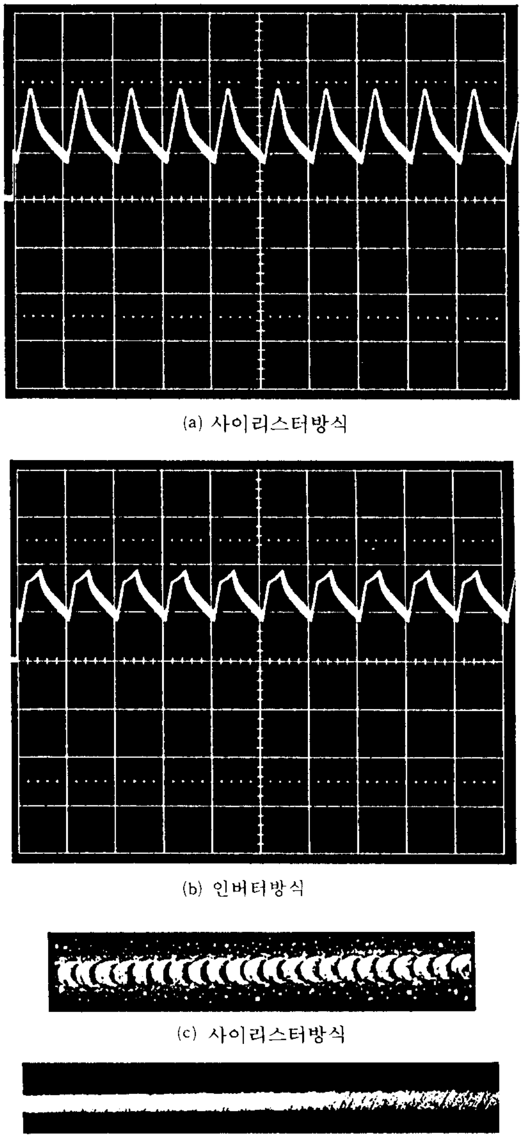
$CO_2$/MAG용접에서는 용접원리로부터 어느정도의 스패터(spatter)발생은 불가피하다. 이 스패터의 발생은 용접물에 부착되어 후처리 공정에서 의 제거에 필요한 로스타임(loss time)을 발생시키는 원인이 된다. 인버터제어식 용접기에서는 제어의 고속응답성이 특징이며 이를 살려서 전류파형제어를 용접현상에 적합하도록 연구채택하여 스패터를 줄일 수 있었다.

용접시의 단락 아크의 반복에 있어서 스패터는 단락에서 아크상태로 변환시에 와이어의 용



(a) (b)

그림 7. 인버터 DC용접기의 용접외관
Fig. 7. The surface of welding by inverter welder



(a) 사이리스터방식

(b) 인버터방식

(c) 사이리스터방식

(d) 인버터방식

그림 8. 스패터 발생 현상
Fig. 8. Spatter generation phenomena

적(溶滴) 및 풀(pool)의 진동으로 용융금속이 흩날리어 발생한다. 종래의 사이리스터제어방식 전원에서는 단락시의 피크전류가 높다는 것, 리플(ripple)에 의한 파형의 교란등이 원인으로 스패터가 생긴다.

이 스패터를 감소시키기 위해서는 그림 8(b)에서와 같이 파형이 발생하도록 인버터 전류를 제어한다. 그림 8은 종래의 사이리스터제어방식에서의 스패터발생 상태와 본 연구에서 제안된 인버터 $CO_2$/MAG 용접기의 용접전류파형과 스패터발생상황을 비교한 것이다.

사이리스터의 경우, 와이어가 모재와 단락하면 높은 단락전류가 흘러 전자핀치력(electronic pinch force)으로 단락부분이 가늘게 모아져 단락이 파열되어 아크가 재생한다. 이 순간의 단락전류의 파크값이 높을 수록 와이어끝의 용적이나 熔融池를 비산시키는 힘이 커서 스패터발생량이 많아진다. 이 단락전류를 과도적으로 제어하는 것이 그림 3의 직류출력회로에 접속되어 있는 리액터이며, 이에 의해 단락전류의 상승(rising)의 경사를 정하고 있다. 그러나 용접 전류의 낮은 곳에서 고(高)전류까지의 전(全)전류영역에서 적정하게 단락시의 피크전류를 낮게 억제하기는 어려워 스패터발생량을 줄이는데는 한계가 있었다. 이에 비해 인버터제어방식인 $CO_2$/MAG용접기에서는 트랜지스터 스위칭의 고속제어로 1/1000초 정도의 단락현상이 발생하는 복잡한 용접현상을 직접 제어할 수 있게 되었다. 그림 8(b),(d)는 인버터제어방식인 $CO_2$/MAG용접기의 용접전류파형과 스패터 발생상황의 그림이다. 단락중 또는 아아크발생중의 출력전류의 시간적변화의 비율을 각 상황에 따른 적절한 것이 되도록 제어회로로 결정하여, 아크재생성시에 熔融池에서 스패터가 흩날리지 않도록 단락시의 피크전류를 낮게 억제하는 한편, 미소단락시(1ms 정도)에 발생하는 큰 입자(大粒)의 스패터를 방지하기 위해 순간단락전류의 시간적제어를 하고 있다. 실측한 스패터의 발생량의 비교를 그림 9에 나타냈다. 저 전류영역에서는 약간의 차밖에 안보이지만 200A이상이 되면 현저한 차이를 보이고 있어, 인버터에 의한 파형제어의 효과가 현저하게 개선됨을 알 수 있다.

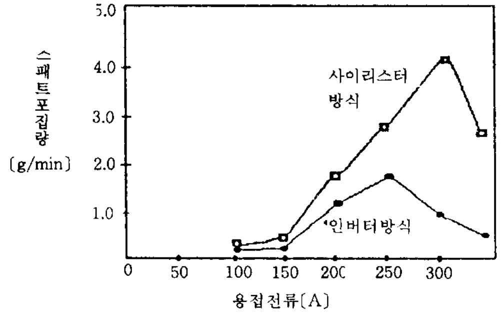



그림 9. 스패터의 포집량

Fig. 9. The quantity of spatter collection

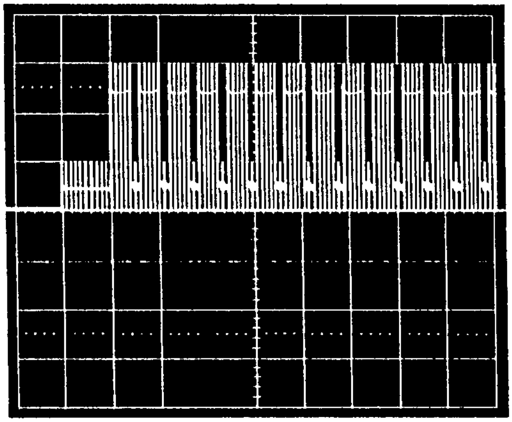
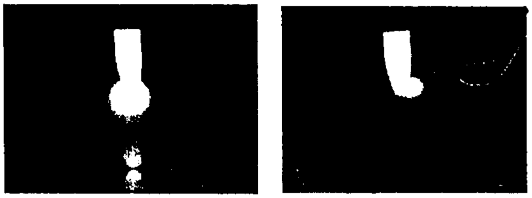


그림 10. 구형파펄스와 고주파펄스 인버터용접기의 중첩전류파형

Fig. 10. Superposition current waveform of rectangular pulse and high frequency pulse for inverter welder



(a) 고주파펄스 인버터용접 (b) 사이리스터DC 아크용접

그림 11. 고주파펄스와 구형파펄스 중첩시와 DC 아아크 용접의 휨비교

Fig. 11. Arc deflection by welder of high frequency pulse and DC arc welder.

표 2. 소비전력 비교표

Table 2. Comparison of power consumption

| 용접기 종류 | DC아아크용접기 | 고주파펄스중첩 용접기 |
|---|---|---|
| 소비전력 | 1,812(Wh) | 1,500(Wh) |

#### 4.1.3 에너지 절감

퍼지제어에 의한 고주파 인버터용접기의 에너지 절약정도를 구체적으로 비교확인하기 위하여 기존의 다이리스터 DC용접기, 퍼지제어에 의한 고주파 인버터용접기를 사용하여 용접속도, 모재의 두께등의 용접조건은 모두 동일 조건으로 실험한다. 또, 에너지 소모를 비교하기 위하여 위의 2종류의 용접기 입력에 전력량계를 접속하여 같은 용접조건하에서 10분씩 용접하여 소비전력을 측정후 1시간사용량으로 환산한 것을 표 1에 나타내었다. 이 표 2의 결과로부터 본 연구에서 제안된 고주파 인버터 용접기가 사이리스터 DC용접기 보다는 20[%] 에너지가 절약됨을 확인하였다. 이때 용접전류는 모두 150[A]근방으로 설정하되 용접상태가 유사하도록 조정후 측정한 것이다.

#### 4.1.4 아아크의 휨 방지 실험

용접특성도 좋고 에너지 절감효과도 극대화 되며 용접 아크의 휨도 막아줄 수 있는 획기적인 방안은 듀티비(duty cycle)를 최고로 줄여서 그림 10과 같은 고주파 펄스와 구형펄스를 중첩 하여 주는 방법을 고려해 볼 수 있다. 이는 퍼지제어에 의한 인버터용접기의 출력 파형 패턴발생 프로그램의 수정으로 실현 가능하다.

이때, 그림 11은 고주파 펄스 인버터 용접기일 때와 사이리스터 DC용접기의 아크의 휨을 보여주고 있다.

이 아크의 휨과 발산은 용접특성을 저해시키므로 휨과 발산은 줄여야 한다. 이를 위하여 그림 11에서 볼 수 있는 바와 같이 고주파 펄스파형과 구형파 펄스파형의 중첩에 의한 용접시 아크의 휨이 현저하게 감소됨을 관찰할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 인버터용접기의 전류제어에 퍼지이론을 적용하여 전류의 응답을 개선하였다. 퍼지제어는 전류루우프제어에 전통적인 PI제어방법 대신에 적용하였다. 상세한 퍼지제어 앨고리즘을 도출하고, 인버터 용접시스템의 실험을 통하여 입증하였다. 20[kHz]의 고주파 인버터를 채용함으로써 소형 경량화가 가능함을 보였다. 퍼지제어에 의한 인버터용접기는 전류의 응답이 빨라 入熱이 최적치로 조절이 용이함을 실험을 통하여 확인하였다. 또, 스패터를 줄일 수 있는 메카니즘을 개발하여 본 인버터용접기에 적용함으로써 스패터의 현저한 감소를 확인할 수 있었다.

이 실험은 퍼지제어가 PI제어방법보다 더 우수함을 나타내 주고 있다. 퍼지제어는 용접공정제어 시스템의 응용에 많은 기여가 예상된다. 에너지 절약효과를 시험하기 위하여 두 모델 용접기에 전력을 실측하여 약 20[%]의 전력절감효과도 볼 수 있음을 입증하였다. 또한 아크의 휨을 방지하기 위하여는 용접기의 출력파형에 고주파 펄스파형과 구형파 펄스파형의 중첩에 의한 방법이 효과적임을 보였다. 이 실험에서 퍼지제어에 의한 인버터용접기가 PI제어에 의한 종래의 DC 아크용접기보다 더 우수함을 나타내 주고 있다. 특히 본 연구에서는 인버터용접기 제어에 마이크로프로세서를 국내최초로 채용하여 종래의 PI제어, 퍼지제어, 고주파펄스 중첩 등 다량한 기능을 소프트웨어 변경만으로 수정이 용이한 등, 다량한 기능을 낼 수 있는 융통성이 우수한 시스템을 고안할 수 있다는 것이 특징이다. 퍼지제어는 용접공정제어 시스템의 응용개선에 많은 기여가 예상된다.

이 논문은 유한전문대학 학술연구비에 의하여 연구되었음

### 참 고 문 헌


1) D.E.Henderson, P.V.kokotovic, J.L.Schiano and D.S. Rhode "Adaptive Control of an Arc Welding Process" IEEE Control Sys. Feb., pp.49~53, 1993.
2) V. V. Smirnov, V.P.Strel'nikov, and V.S.Fedorova "Calculation of Thermal Fields in Arc Welding of Nonrotating Pipe Joints," Elektrotekhnika, Vol.59, No.6, pp.32~35, 1988.
3) S.I.Rolhlim and A.C.Guu, "A Study of Arc Force, Pool Depreession, and Weld Penetration During Gas Tungsten Arc Welding", Welding Research Supplemnt pp.381s~390s Aug., 1993.
4) I.Stol, "Development of an Advanced Gas Metal Arc Welding Process", Welding Research Supplemnt, pp.

313s～326s Aug., 1989.
5) A.E.Bentley and S.J.Marburger, "Arc Welding Penetration Control Using Quantitative Feedback Theory", Welding Research Supplemnt pp.397s～405s Nov., 1992.
6) S.D.Kim and S.J.Na, "Effcct of Weld Pool Deformation on Weld Penetration in Stationary Gas Tungsten Arc Welding", Welding Research Supplemnt pp. 179s～193s May, 1992.
7) A.A.Shirali and K.C.Mills, "The Effect of Welding Parameters on Penetration in GTA Welds", Welding Research Supplemnt pp.347s～353s July, 1993.
8) H.B.Smartt and C.J.Einerson, "A Model for Heat and Mass Input Control in GMAW", Welding Research Supplemnt, pp.217s～229s May, 1993.
9) j.W.Kim and S.J.Na, "A Self-Organizing Fuzzy Control Approach to Arc Sensor for Weld Joint Tracking in Gas Metal Arc Welding of Butt Joints, Welding Research Supplemnt, pp.60s～66s Feb., 1993.
10) 長坂 守敏, "電氣 鎔接の最新 技術", JIEE Japan, Vol.110, No.6, 1990.
11) 日向輝彥, 安田 克彥, 春日 辛生 恩澤 忠男, "靜止 TIG アークによる鎔接み形態の檢討", 鎔接學會 論文集 第10卷, 第3號 1992.
12) 윤병도, 정재륜, 김찬기, 이병송, "발전소용 인버터에 의한 절전형 아아크 용접기에 관한 연구", 照明・電氣設備學會誌, 제8권, 제2호, April, 1994.

## ◇著 者 紹 介◇

**정 재 륜(鄭載倫)**
1950年 1月 3日生. 1978年 中央大 工大 電氣工學科 卒. 1980年 中央大 大學院 卒(碩士). 1989年 中央大 大學院 卒(博士). 現在 柳韓專門大 制御計測科 教授.

**조 성 갑(趙成甲)**
1950年 11月 18日生. 1974年 國立釜山大學校 工大 機械工學科 卒業. 1977年 國立釜山大學校經營大學院 卒業 (碩士). 1981年 中央大學校 大學院 機械工學科(碩士). 1985年 中央大學校 大學院 機械工學科(工學博士). 1969年～1978年 韓國電力(株) 釜山T/P. 1978年～現在 柳韓專門大 機械科 教授.