# GMAW 용접 공정의 아크 안정성 제어를 위한 퍼지 제어기의 자기조정에 관한 연구

# A Study on Auto Tuning of Fuzzy Logic Contoller for Arc Stability Control in GMAW

**허중기*, 강문진**, 이세헌*****

* 비회원,한양대학교 정밀기계공학과 대학원

** 정회원, 포항산업과학연구소

*** 정회원, 한양대학교 기계공학부

## 1. 서론

본 연구는 GMA 상판 용접에 있어서 아크 안정성을 고려한 용접 시스템의 자동 실시간 용접 제어기법을 개발하였다. 필요한 실험으로 전압과 아크 안정성 인덱스값을 이용해 수학 모델을 만들고 이를 가상 플랜트로 사용하여 유전자 알고리즘에 의해 용접시 전류와 전압에 의한 아크 안정성 인덱스값을 입력값으로, 적정 제어 전압을 출력값으로 사용하는 퍼지 제어기를 생성시킨다. 이 과정을 실제 실험에 적용시켜서 좋은 제어 결과를 얻었다.

## 2. 실험장치

실험장치는 용접용 Robot, 100% CO2 용접가스, 지름 1.2mm 의 와이어, 최대 정격 2 차 전류가 350A 인 inverter 용접기, 4 channel DAQ board, PC, Hall sensor, 40x7 시편이 사용된다. 이에 대한 개략도는 <Fig 1.>에 나타내었다.

## 3. 실험방법

a. 실험 시편을 15 에서 30V 까지 0.2 초 간격으로 0.3V 씩 올리면서 용접을 하면서 voltage 와 mita index 값을 DAQ board 를 이용해서 data 를 받는다.

b. a 에서 얻은 data 를 polynomial curve fitting algorithm 에 input 으로 사용하여 결과 함수를 생성시킨다.

c. b 에서 생성시킨 결과함수를 input 이 voltage 이고, output 이 mita index 인 plant 로 사용하여 먼저 실제 용접부의 초기 용접전압을 정하기 위한 genetic algorithm 사용을 위하여 쓰인다. 이를 거쳐서 나온 결과 voltage 값은 초기 용접전압으로 쓰인다.

d. c 와는 달리 b 에서 fitting 해서 얻은 numerical plant 를 이용해서 fuzzy controller 의 scaling factor 들을 구하는데 사용한다. 2 개의 FLC 를 만들기 위해서 각각의 zero-point 를 설정하

고 reference 는 a 에서 얻은 아크 안정성 인덱스 값 중 최소값으로 설정하여 genetic algorithm 을 실행시켜 적합한 scaling factor 를 구한다.

e. d 과정을 거쳐서 완성된 FLC 를 실시간 제어 프로그램에 탑재시켜 앞에서 구한 적합한 용접 초기전압을 사용하여 실제 용접을 실행한다.

## 4. T. Mita 의 아크 안정성 판단 인덱스

GMAW 용접에 있어서, 특히 단락 이행 모드가 산업현장에서 많이 쓰이고 있는데 이에 대한 용접 품질의 판단이 필요하다. 컴퓨터 산업의 발달에 힘입어 chip 들의 처리 속도가 점차 빨라짐에 따라 용접시의 전압, 전류에 대한 실시간 계측이 가능하게 되었고, Mita 는 이를 이용하여 실제 용접현상에 있어서 전압과 전류의 아크에 대한 관계를 연구하게 되었다. 그 결과 아크 안정성과 단락 전류의 표준편차와 아크 시간의 표준편차 사이에 강한 상관관계가 있음을 찾았다. 전압, 전류 신호에서 얻을 수 있는 12 개 인자들 중에 가장 중요하고 서로 상관관계가 높게 나오는 factor 들만 구성하여 이를 다중 회귀 분석(multiple regression analysis)을 통해서 다음과 같은 안정성 지수$(Y)$를 도출하였다.

$$Y = \ln\left(\frac{s[T_s]}{1.3} \times \frac{s[T_a]}{3.8} \times \frac{s[\bar{I}_s]}{24} \times \frac{s[\bar{I}_a]}{23.6}\right)$$

이 안정성 지수값은 전압, 전류의 파형이 균일할수록 값이 작아지고 이를 다른 의미로 해석해보면 그만큼 아크가 더 안정해지는 것을 뜻한다.

## 5. Fuzzy Logic Control

이번 연구에서의 제어 목적은 용접 과정 중에 아크 안정성 지수의 최소화를 유지 하는데 목적이 있다. 이를 위해서는 PID control 등 일반적인 controller 를 사용해도 가능은 하나 fuzzy logic controller 을 사용하면 제어 과정을 정성적으로 판단, monitoring 할 수 있는 것과 control strategy 를 linguistic algorithm 으로써 구성하므로 용도에 적합한 제어기의 제작이 용이하다.

이번 실험에 쓰인 fuzzy logic controller 의 사양은 다음과 같다. 일반적인 triangular membership function 을 사용했으며, rule base 는 <Fig. 2>와 같이 7 × 7 의 rule table 을 사용하고 defuzzify 방법으로는 무게 중심법(Center of Gravity)을 사용했다. 전체 개략도는 <Fig. 3>에서 나타내었다.

## 6. 2 중 fuzzy logic controller 의 정의 및 해석

이번 연구에서처럼 제어의 zero-point 가 일정하지 않은 시스템 제어에 있어서 이를 보정해

주는 알고리즘이 필요하다. 이를 위해 제어의 reference 지점으로부터 먼 거리와 가까운 거리에서 적합한 퍼지 제어기를 하나씩 만들어 다음 <Fig. 4>와 같이 가중치 조절을 하여 제어기 출력값을 완성시킨다. 이에 대한 개략도는 <Fig. 5>에서 나타내었다.

close(I,dI) = close-zero index (I) & close-zero derivative of Index (dI)

faraway(I,dI) = faraway index (I) & faraway derivative of Index (dI)

$$du = \frac{close(I,dI)\cdot u_2 + faraway(I,dI)\cdot u_1}{close(I,dI) + faraway(I,dI)}$$

where, $u_1$ : the output of Rough Fuzzy Logic Controller

$u_2$ : the output of Precise Fuzzy Logic Controller

## 7. 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용한 최적화 방법

이 연구에 있어서 유전 알고리즘은 두가지 목적으로 쓰이게 된다. 첫째 목적은 실제 용접할 용접부에 용접을 시작하기 위한 초기 용접 전압값을 결정하는데 있고, 두번째 목적은 되먹임 제어를 실행하는 FLC 설계에 있어 사용되는 input/output scaling factor 값을 결정하는데 있다.

## 8. 결론

1. 실제 용접부의 용접을 위한 용접 조건의 생성에 있어 자동화 유도
2. 전압 변화를 이용한 index 값의 추이 변화 실험을 통하여 numerical plant 를 유도 → GA 에 이용, 초기 용접 전압과 아크 안정성을 위한 FLC 설계를 제시
3. 실험 결과 만족할만한 제어 성능을 보임 ( <Fig. 6> )
4. 용접 조건과 제어 조건의 생성을 위한 시간과 비용의 절감

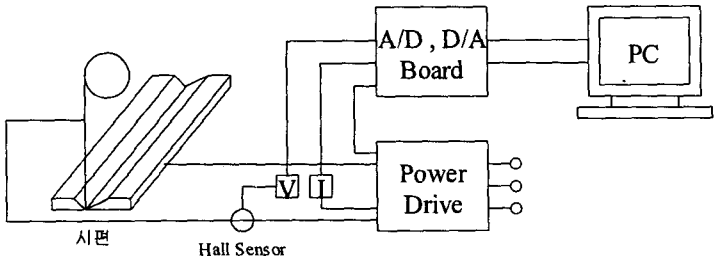


Fig. 1 실험 시스템 구성도

| dI \ I | SS | MS | SM | MM | BM | MB | BB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NB | ZO | PS | PM | PM | PM | PB | PB |
| NM | ZO | PS | PS | PM | PM | PM | PB |
| NS | ZO | PS | PS | PS | PS | PS | PM |
| ZO | ZO | ZO | ZO | ZO | ZO | ZO | ZO |
| PS | ZO | NS | NS | NS | NS | NS | NM |
| PM | ZO | NS | NS | NM | NM | NM | NB |
| PB | ZO | NS | NM | NM | NM | NB | NB |

Fig. 2 2input-1output rule base

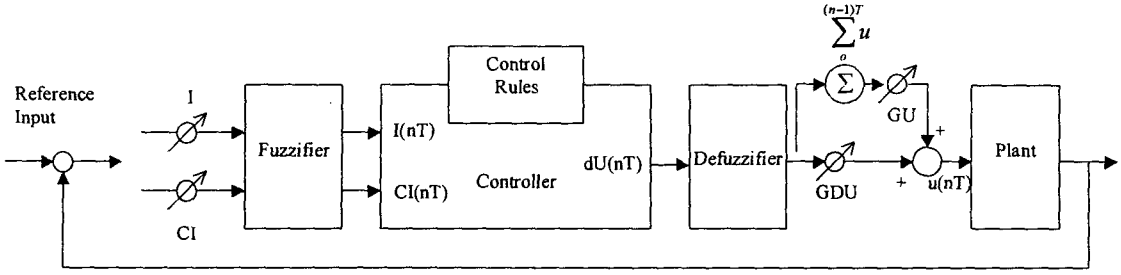


Fig. 3 Standard Fuzzy-PID controller

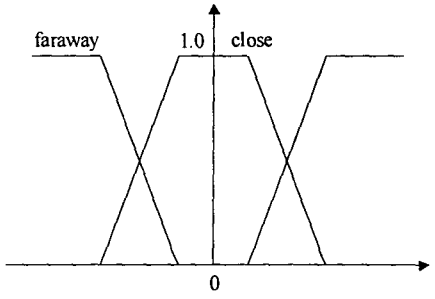


Fig. 4 Membership function describing the notion of weighted sum

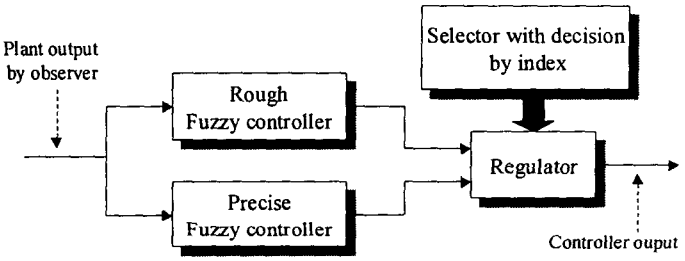


Fig. 5 Double Fuzzy Logic Controller

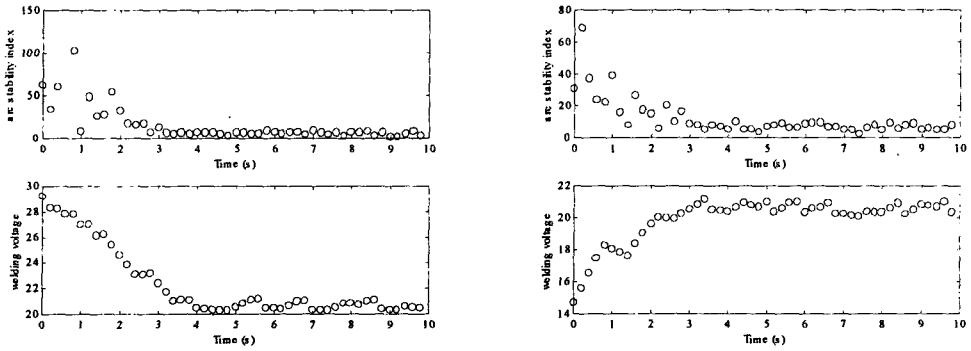


Fig. 6 Experiment Result