

아크 안정화를 위한 이중 퍼지 제어기의 설계

Design of an double fuzzy controller for stabilizing arc in GMA welding

강문진*, 이목영*, 이세현**

* 포항산업과학연구원, 설비용접연구팀

** 한양대학교, 기계공학부

1. 서 론

용접공정을 자동화하는데 있어서 가장 문제가 되는 것들 중의 하나는 용접동안 외란이 발생했을 때 시스템의 *stability* 를 유지하는 것이 매우 어렵다는 것이다. 특히 *gas metal arc (GMA)* 용접공정의 *stability* 는 아크 상태에 크게 영향을 받는다. 본 연구의 목적은 GMA 용접에 있어서 외란이 발생하였을 때 아크 상태를 안정화 시킬 수 있는 제어기를 설계하는 것이다. Mita 가 제안한 인덱스 모델이 사용되었고, 플랜트의 제어를 위해서 외란에 강인한 퍼지 제어기가 채택되었다. 플랜트 모델의 특성을 이용하여, 단일 퍼지 제어기와 이중 퍼지 제어기가 설계되었으며, 제어기의 성능을 평가하기 위해서, 초기전압이 임의로 설정되었을 때 이중 퍼지 제어기의 성능이 평가되었다.

2. 용접 플랜트의 아크 특성

한편 Fig. 1 은 용접전류를 150A 로 설정하고, 용접전압을 17V 부터 28V 까지 0.2V 씩 증가하였을 때, 6 회 평균한 인덱스와, 인덱스의 표준편차의 거동을 나타낸 것이다. 그림에 따르면 각각의 용접전류에 있어서 인덱스가 최소로 되는 용접전압이 존재함이 보여지고 인덱스가 최소인 용접전압조건에서 인덱스의 표준편차 역시 최소임이 보여진다. 아크를 안정화시키기 위한 적합한 제어기를 설계하기 위해서, 아크 안정성 인덱스를 제어기의 입력으로 하고, 용접전압을 제어출력으로 하는 용접플랜트를 모델링할 필요가 있다. Fig. 1 의 용접전압과 인덱스사이의 관계로부터 식(1)과 같이 *polynomial curve fitting method* 가 사용되었다.

$$random\ noise = 2\sigma_{5V} \cdot (random\ fn - 0.5) \cdot \left(\frac{|optimal\ voltage - V_k|}{5} \right)^{1.5} \quad (1)$$

여기서 *random fn* 은 0 과 1 사이의 *random number* 를 갖는 *function* 이고, σ_{5V} 는 적정 전압으로부터 5V 떨어진 전압에서의 인덱스의 표준 편차 값이다.

3. 아크 안정화를 위한 퍼지 제어기의 설계

본 연구에서 사용된 퍼지 제어기의 입력변수는 Mita 인덱스 (W_k)와 인덱스의

변화량(ΔW_k)을, 퍼지출력변수는 용접 전압의 변화량(ΔV_{k+1})이 사용되었다. 인덱스의 변화량(ΔW_k)은 식 (2)와 같이 정의되었다.

$$\Delta W_k = W_k - W_{k-1} \quad (2)$$

여기서 W_k 는 k 번째 step 에서 계산된 인덱스이고, W_{k-1} 는 k-1 번째 계산된 인덱스이다. 따라서 인덱스와 인덱스의 변화량을 입력변수로 하고, 용접전압을 출력변수로 하는 퍼지 제어 규칙이 다음과 같이 구성될 수 있다.

$$\text{Rule } i: \text{ If } W \text{ is } A_i \text{ and } \Delta W \text{ is } B_i \text{ then } v \text{ is } C_i, 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

여기서 n 은 제어규칙 수를 나타내고 A_i, B_i, C_i 는 i 번째 제어규칙에 사용된 퍼지입출력변수 $W, \Delta W$ 및 v 의 언어적 수치이다. 퍼지입출력변수의 소속함수는 Fig.2와 같이 구성되었다. Fig. 2에 있어서 입출력변수의 멤버쉽 함수의 파라메타들은 normalized된 값들이다. 정의된 퍼지입출력변수 및 용접전압과 인덱스와의 관계를 이용하여, 퍼지룰 베이스가 Table 1과 같이 구성되었다. 퍼지 출력은 합성추론법칙에 의해 구해졌다. 계산된 퍼지값이 플랜트에 입력되기 위한 비퍼지화는 다음식과 같이 가중평균법이 사용되었다. 용접기에 출력되는 제어 출력값은 다음과 같이 계산된다.

$$V_{k+1} = V_k + \text{sign}(\Delta V_{k-1})\Delta V_k \quad (4)$$

$$\text{여기에서 } \text{sign}(\Delta V_{k-1}) = \begin{cases} 1, & \Delta V_{k-1} \geq 0 \\ -1, & \Delta V_{k-1} < 0 \end{cases}$$

본 연구에서는 GMA 용접 플랜트(각 용접전류에 대해서)의 전동작구간(용접전압의 전 범위)에 대해서 단일 퍼지제어기와, 인덱스 값이 크게 나타나는 용접전압조건에서의 퍼지제어기(Coarse FLC)와 인덱스 값이 적게 나타나는 전압조건에서의 퍼지제어기(Fine FLC))를 병합한 이중퍼지제어기가 Fig. 3 과 같이 설계되었다.

4. 이중 퍼지제어기의 아크 안정화 제어성능 평가

단일 퍼지제어기와 본 연구에서 제안된 이중 퍼지제어기의 성능을 비교하기 위해서 시뮬레이션이 실시되었다. 시뮬레이션은 Fig. 1의 용접플랜트에 대해서 초기전압을 17V로 설정한 경우가 가상되었으며, 용접시작 후 5초경과시 마다 인덱스의 값을 강제적으로 10 정도 높이는 외란 모델이 적용되었다. Fig. 4는 아크 안정화의 제어결과를 나타낸 것으로써, 2개의 퍼지제어기 모두 우수한 제어성능을 가진다는 것이 보여졌다. 그러나 외란이 발생되면, 이중 퍼지제어기가 단일 퍼지제어기(Fig. 4(a))에 비해서 아크를 안정화하는데 좋은 수렴결과를 보였다..

실 용접에 있어서, 아크를 안정화하는 퍼지제어기의 제어성능이 평가되었다. Fig. 5 는 150A 의 용접전류와, 5mm/sec 의 용접속도하에서 17V 와 27V 의 초기 용접전압이 설정되었을 때, 본 연구에서 제안된 이중 퍼지제어기의 아크 안정화 제어성능이 평가된 결과이다. 17V 의 초기전압 설정시, 인덱스가 안정한 상태에 도달하는데 약 3sec 정도 걸리고, 27V 의 초기전압 설정시, 약 2sec 가 걸렸다..

5. 결론

용접과 같이 불규칙한 외란이 쉽게 발생하여 아크가 불안정하게 되는 용접 플랜트의 안정화를 위하여, 멤버 집함수의 파라메타가 최적화된 단일 및 이중 퍼지제어기가 설계되었다. 시뮬레이션과 실시간 용접실험을 통하여 이들 퍼지제어기의 성능이 평가되었고, 단일 및 이중 퍼지제어기의 성능 평가를 위하여 강제적인 외란이 주기적으로 가해진 시뮬레이션에 있어서, 이중 퍼지제어기에 의한 아크 안정화 제어성능이 단일 퍼지제어기의 성능에 비해서 우수하였다. 임의의 용접전압이 초기전압으로 설정된 실 용접의 경우, 이중 퍼지제어기에 의한 아크 안정화를 위한 제어성능은 우수하였다. 특히 용접시작 후 안정한 아크상태의 용접조건을 찾는데 약 2~3sec 의 수렴시간이 걸렸고, 또한 stable한 아크상태에서 순간적으로 인덱스가 증가하여도 이중 퍼지제어기의 효과에 의해 용접전압의 출력변화량이 적어져도 아크는 안정한 상태로 빠르게 복귀되는 것이 확인되었다.

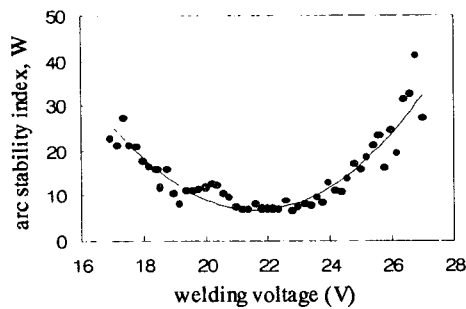


Fig. 1 Arc stability index & its standard deviation at welding current of 150A

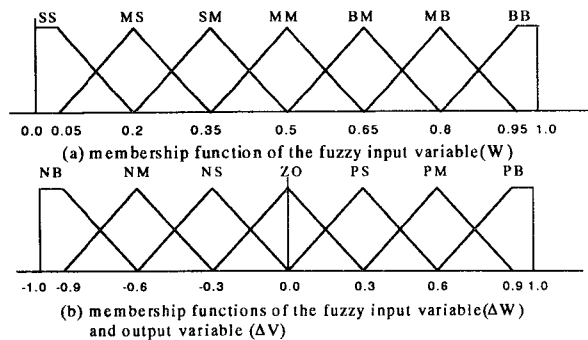


Fig. 2 Fuzzy membership functions

Table 1 Fuzzy rule base

$\Delta W \backslash W$	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

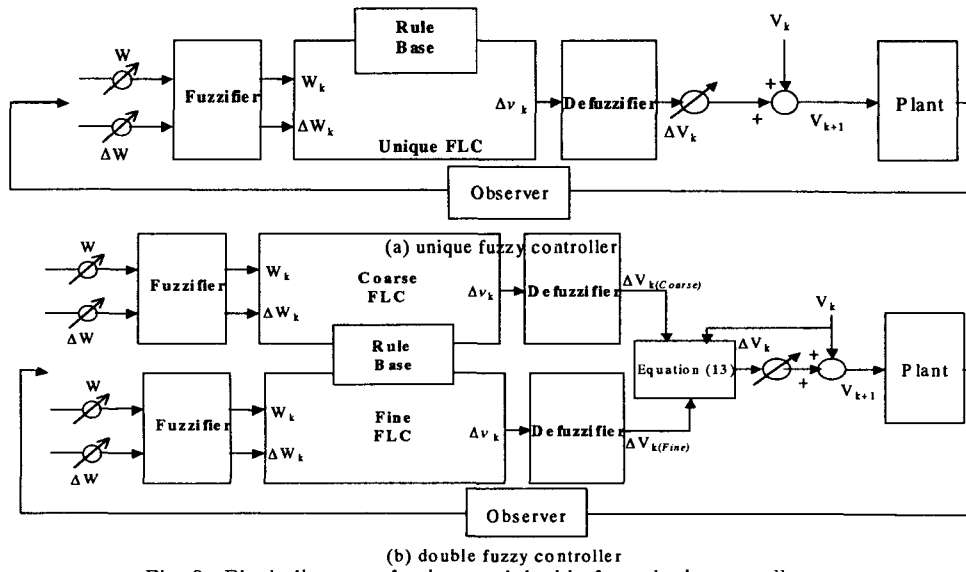


Fig. 3 Block diagram of unique and double fuzzy logic controller

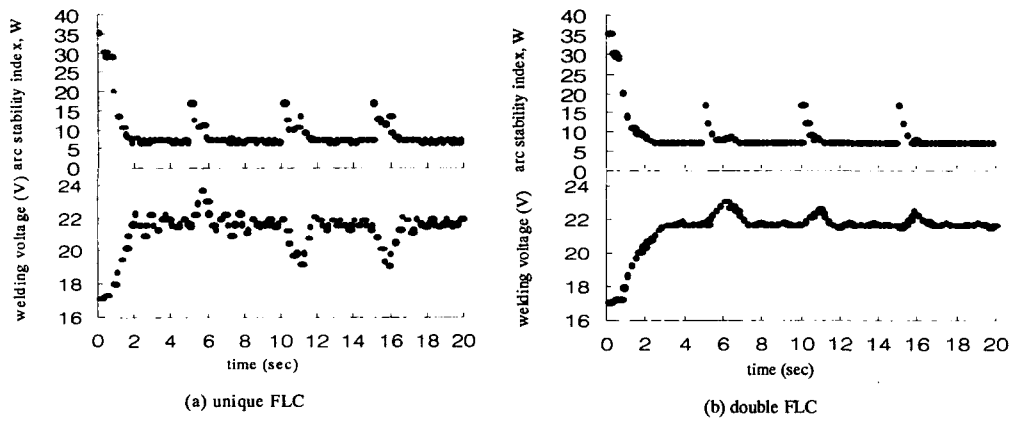


Fig. 4 Simulation results with unique and double FLC

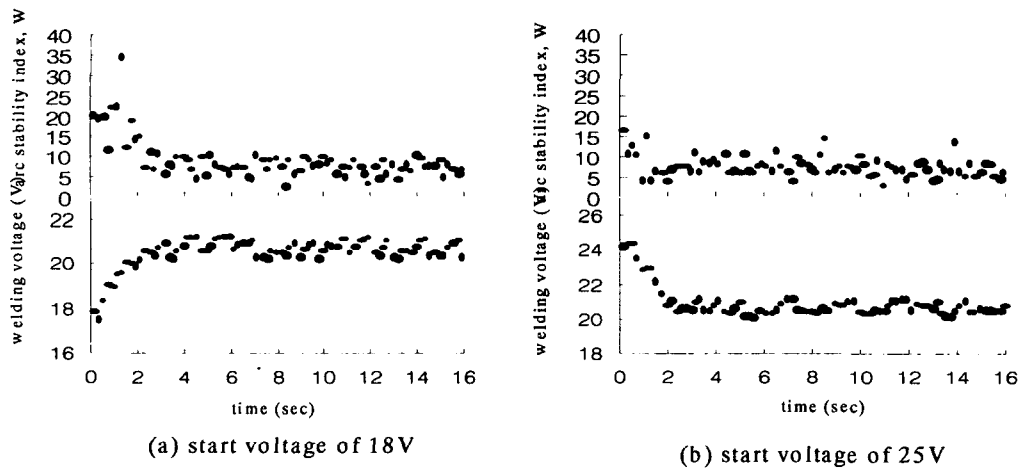


Fig. 5 Control results in real welding