

퍼지논리에 의한 용접기의 아크제어연구

A Study on the Arc Control of Welder Based on Fuzzy Logic

송 준 호 석 진 옥 조 성 원
Junho Song, Jinwuk Seok, Seongwon Cho

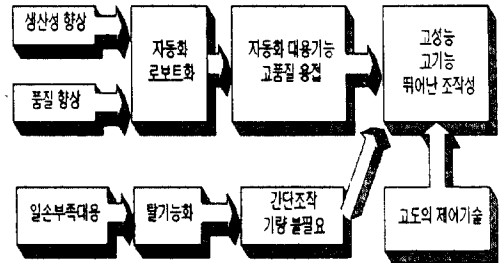
홍익대학교 전자·전기공학부
School of Electronic and Electrical Engineering, Hong Ik University

요 약

본 연구는 용접기에 퍼지이론을 적용하여 작업자의 비숙련성 및 용접모재의 형상에 따라 변동되는 아크상태가 항상 일정하게 유지되도록 하는 제어 방식을 제안한다. 기존의 방식은 작업자 스스로 아크상태를 판단하고 아크길이의 변화를 주었다. 이에 비하여, 퍼지용접기는 작업자가 기준 용접전압 및 용접전류를 설정한 후, 용접을 할 때 발생하는 아크상태를 숙련자의 경험에 바탕을 둔 퍼지제어기를 이용한다. 그러므로써, 퍼지제어기의 출력부가 출력전압을 조절하여 균일한 용접효과가 나오도록 하는데 목적을 두었다.

I. 서 론

용접은 각종 소형 부품의 접합뿐만 아니라 전자기, 자동차 건축, 조선 등 모든 산업 분야에서도 필요한 가공 기술이다. 그러나, 최근 일손부족에 의한 노동환경의 변화로 용접기에 대한 소비자의 욕구가 다양화되고 있다. 다시 말해서, 용접업계 현장에서는 숙련 작업자의 노령화와 더불어 젊은 층의 대표적인 3D산업인 용접을 기피하는 경향이 현저하여 일손부족을 고능률화, 숙련미숙을 고성능화된 용접기로 보상하도록 요구하고 있다. 또한, 산업계에서는 지금까지 제조공정에 있어서의 생산력 향상을 강력하게 추진해 왔으며, 용접작업에서도 인버터 제어 용접기를 이용하여 고품질의 용접을 해왔다.



<그림 1> 용접기기 기술개발 동향

<그림 1>은 최근의 아크용접기의 기술개발 동향을 보여주고 있는데, 자동화 및 로봇에 대응하기 위한 고기능화나 고성능화 그리고 숙련작업자 부족에 대응하는 탈기능화를 위한 기술개발로 대개 집약하고 있다.

본 논문은 통상산업부의 연구비 지원에 의한 연구결과임.

이러한 최근의 기술개발의 성과로서 퍼지제어용접기가 요청되게 되었다. 퍼지제어 용접기는 퍼지이론을 응용하므로써 복잡한 아크현상을 정밀하게 제어하여 작업자의 기능에 의존하지 않고도 고품질의 용접을 할 수 있어 용접기에 있어서의 금후 새로운 흐름이 될 것으로 생각된다.

퍼지제어 용접기에 사용되는 퍼지 논리는 기존의 논리 체계에 비해 현상의 불확실한 상태를 표현할 수 있으므로 실제 시스템상의 애매한 부분을 정량적으로 나타내기에 편리하다. 이러한 퍼지논리를 이용한 퍼지용접기는 종래의 작업자에 의하여 판단하는 아크길이를 퍼지제어기안에 넣으므로써 용접전압 및 전류를 제어하여 송급와이어 및 아크길이를 제어하는 방식이다[1][2][3]. 그러나, 손떨림으로 인한 용접전류의 변화는 그 변동이 다양하여 조정하기가 난해하다. 따라서, 본 연구에서는 전류의 1계 미분치와 2계 미분치를 퍼지제어기의 입력으로 하고 전압을 출력으로 하는 퍼지제어를 제안하고자 한다.

본 논문에서는 용접기에 적용될 퍼지제어기의 효용성을 보이기 위해, LQR제어와 비교하여 원하는 제어출력 및 Noise입력에 관한 응답특성에 대한 성능비교를 행하였다.

II. 퍼지 제어기 설계

용접시 용접모재와 용접전극간의 거리는 용접모재의 형상이나 용접자의 숙련도, 작업환경등에 따라 항상 변동한다. 용접모재와 용접전극간의 거리에 따라 용접전류및 용입의 크기가 다르고 아크가 안정되거나 불안정되다가 결정되므로 용접품질은 일정거리를 유지할 수 있는지의 여부에 따라 결정된다. 손떨림으로 인한 아크길이를 조절하기 위하여서는 위에서 언급한 것과 같이 용접전압을 조절하여 일정거리를 유지하는데 목적이 있다.

먼저 퍼지제어기에서 제어규칙은 IF문으로 나타내어지는 전건부(antecedent)와 THEN문으로 나타내어지는 후건부(consequent)로 표현된다.

본 논문에서는 전류에 대한 1계 미분치(dI)와 2계 미분치(d²I)를 전건부의 입력변수로, 용접전압을 후건부의 제어변수로 설정하였고, 사용되어지는 제어규칙은 표 1과 같다.

표 1은 전건부의 입력변수에 각각 5개와 3개의 퍼지변수를 선택했을 때의 퍼지제어규칙을 보여주고 총 규칙의 갯수는 15개이다. 소속함수의 형태는 시물레이션에 편리한 가우시안(Gaussian) 함수를 사용하였다.

dI \ d ² I	DN	DZ	DP
SN	ON	ON	ON
N	ON	ON	Maintain
Z	ON	Maintain	OFF
P	Maintain	OFF	OFF
SP	OFF	OFF	OFF

<표 1> 퍼지제어규칙

SN: Small Negative N: Negative Z: Zero

SP: Small Positive P: Positive

DN: Differential Negative

DZ: Differential Zero

DP: Differential Positive

본 논문에 적용한 퍼지추론방식으로는 Mamdani 법[4]을 채택하였고, 비퍼지화를 위해서는 가장 널리 쓰이는 무게중심법[4]을 사용하였다.

III. LQR 확률제어와 퍼지제어 비교실험

본 논문의 실험에서 사용된 제어시스템의 Plant는 용접전류 변화상태를 근사한 것이다. 실험에 사용된 시스템의 Parameter중 입력은 20 sec동안 크기 1 출력(용접중)이 되고 Noise는 White Noise 로써 Variance 0.01로 주고 e로 표시하였다.

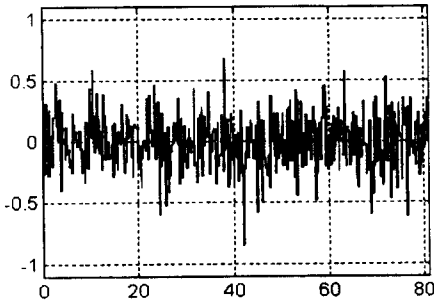
마이크로 프로세서를 사용한 디지털 제어를 위해서는 일반적으로 시간영역 해석을 위한 방법인 상태공간 기술법을 사용한다[5]. 이 경우 상태벡터를 x , 출력을 y 로 놓는다. Plant는 식 (2.1) 와 같이 놓고 각 각의 행렬 A, B, C, D는 식 (2.2)와 같다.

$$\text{Plant : } \begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + e \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (2.1)$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.4 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$C = [0 \ 0 \ 1] \quad D = 0 \quad (2.2)$$

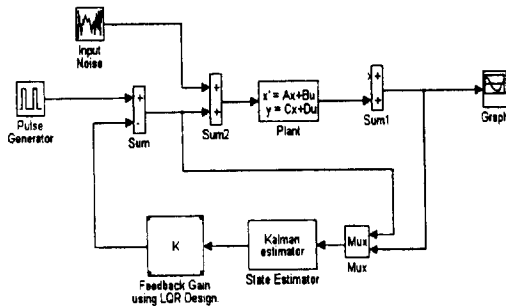
이때 시스템에 인가된 Noise는 <그림 2>와 같다.



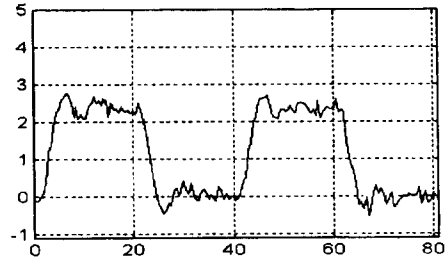
<그림 2> 입력 Noise

3.1 LQR 제어

퍼지제어기에 대한 확률제어 알고리즘은 Noise가 있는 시스템의 일반적인 제어규칙인 Linear Quadratic Regulator (LQR)이며 <그림 3>과 같이 제어계가 구성된다. LQR 제어시스템에 인가되는 입력은 <그림 4>와 같다.

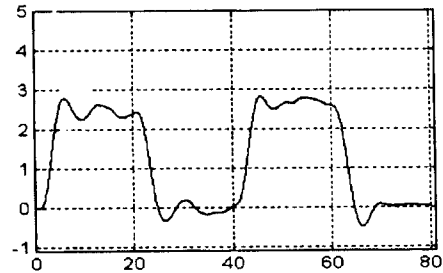


<그림 3> Linear Quadratic Regulator에 의한 제어 System

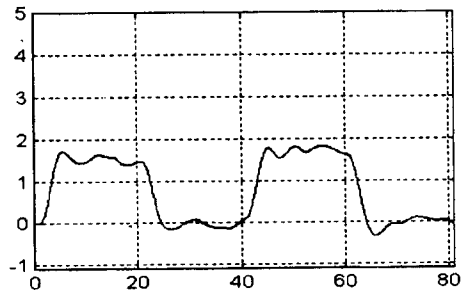


<그림 4> 시스템에 인가되는 입력

Plant를 통해 나온 제어가 들어가지 않은 경우의 입력은 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 제어가 들어가지 않은 경우의 출력

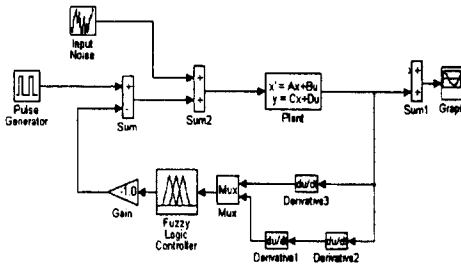


<그림 6> LQR제어기에 의한 출력

LQR제어기에 의해 나온 최종 출력파형은 <그림 6>과 같이 나타나는데 파형을 보면 알 수 있듯이 기존의 확률제어 방식의 제어로는 만족할 만한 제어 응답을 얻기가 어렵다[6].

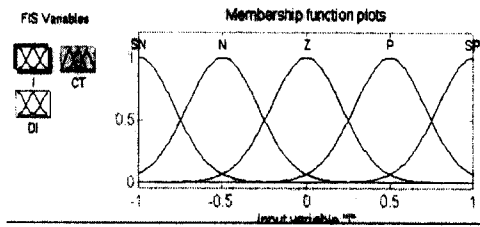
3.2 퍼지제어

제안된 퍼지제어 시스템은 <그림 7>과 같다.

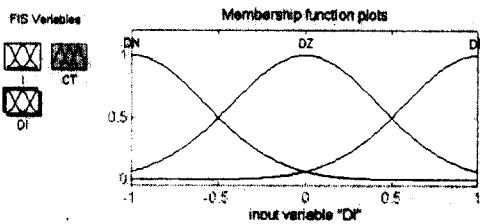


<그림 7> 퍼지제어 시스템의 구성

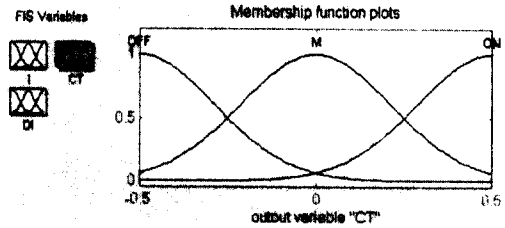
제어 목표는 손 떨림 방지를 위한 Regulator이므로 기존의 퍼지제어에서 1계 미분항과 2계 미분치를 입력으로 하는 퍼지제어기를 구성한다. 사용된 입력 퍼지집합은 <그림 8>과 <그림 9>와 같은 형태를 가지고 <그림 10>은 출력집합을 나타낸다.



<그림 8> 퍼지입력(전류의 1계 미분)

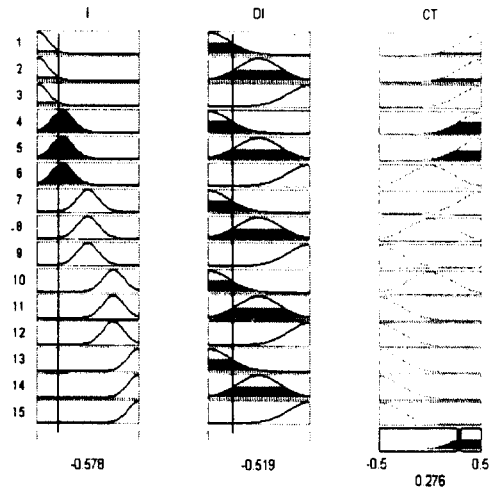


<그림 9> 퍼지입력(전류의 2계 미분)



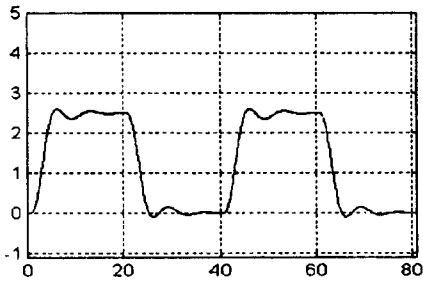
<그림 10> 퍼지출력(전압)

<그림 11>은 입력값 $I = -0.578$, $DI = -0.519$ 일 때, 출력값 $CT = 0.276$ 을 얻기 위한 퍼지추론 과정을 나타낸다.

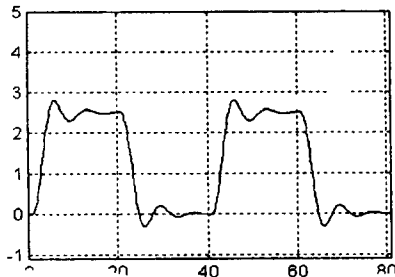


<그림 11> 퍼지추론 과정

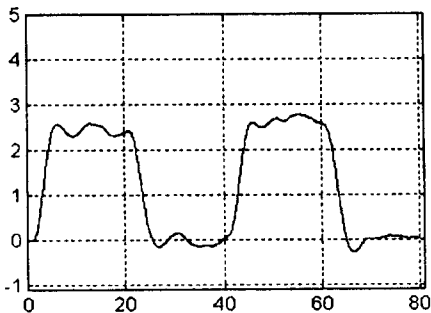
제안된 퍼지제어 시스템에 대한 출력응답은 <그림 12>, <그림 13>, <그림 14>와 같다. <그림 6>의 LQR제어기의 출력은 <그림 4>에 주어진 인가 전압과 진폭이 다르고 표현 형태도 원래의 것과 유사하지 않음을 알 수 있다. 반면에 <그림 14>의 Noise가 들어간 상태의 퍼지제어 응답은 <그림 13>의 Noise가 들어가지 않은 경우의 퍼지제어 응답과 거의 흡사한 형태를 지녀 퍼지제어 방식이 LQR제어기에 비해 상대적으로 Noise에 강인함을 알 수 있다.



<그림 12> Noise가 들어가지 않은 경우의 퍼지제어 응답



<그림 13> Noise가 들어가지 않은 경우의 비제어 응답



<그림 14> Noise가 들어간 경우의 퍼지제어 응답

IV. 결론

기존의 LQR 제어의 경우보다 퍼지제어기를 이용한 제어는 출력을 얻기가 쉽고 Noise입력에 대한 응답특성이 좋다. 이러한 결과로 인하여 향후 퍼지

용접기의 실제적용에 있어서 계산량을 줄인 실시간의 빠른 응답을 기대할 수 있기 때문에 앞으로 dsp 칩을 이용한 인버터 제어용접기의 확대에 원활히 적용될 것으로 본다.

이는 손떨림에 의한 아크변화를 보상하여 아크안정성을 향상시킬 수 있음을 의미한다. 또한, 일정한 용접전류가 흐르게 유도함으로써 비드의 폭 및 높이가 용접모재의 형상이 변화에도 일정히 유지할 수 있게 하여 비드 외관을 개선할 것으로 본다.

V. 참고 문헌

- [1] 송성학, "CO₂가스메탈 아크용접기의 디지털제어부 설계에 관한 연구", 석사학위논문, 건국대학교, 1997.
- [2] Toshiakinakamata "Fuzzy제어 인버터 용접기 현상과 동향", 국제용접기술 세미나/한국용접공업 협동조합.
- [3] 박송춘, 라규환 "일본에 있어서 퍼지제어 용접기의 현상과 동향", *Journal of KWS*, 16 vol. 12, Mar, 19, 1994.
- [4] 채석, 오영석 '퍼지이론과 제어', 청문각, pp 181~313, 1995.
- [5] Richard C. Dorf, 'Modern Control Systems', Addison-Wesley Publishing Company, pp. 436~474, 1992.
- [6] Guanrong Chen, Goong Chen 'Linear Stochastic Control Systems' CRC, 1995.