

## 다중 센서 정보에 의한 아크 용접 전문가 시스템

\* 전 의 식 \*

오 재 응 \*\*

\* : 천안공업전문대학 용접기술과 \*\* : 한양대학교 자동차공학과

## Muti-Sensor Based Expert System for Arc Welding

Euy - Sik Jeon\*

Jae - Eung Oh\*\*

\* : Dept. of Welding Tech. Chunan National Tech. Jinior College

\*\* : Dept. of Automotive Eng. Hanyang Univ.

## ABSTRACT

Much experience and knowledge is needed in welding because there are many working parameters and quantitative description is difficult. Therefore, introduction of expert system based on such data base has been required. In this study, welding heat and shape of bead was controlled by fuzzy inference with the welding condition, position error and voltage and current error of robot. For this, torch trajectory of robot was generated by modeling the working data with CAD and then welding was carried out through down loading to robot. And working error was controlled by on-line communication.

## 1. 서 론

최근 산업의 발전에 따른 생산 체계의 전문화, 자동화에 따라 소품종 대량 생산에서 다품종 소량생산으로의 전환이 급속도로 진행되고 있으며 이를 관리하고 생산성을 향상시키기 위하여 컴퓨터 시스템의 도입이 확대되고 있다. 대량 생산 시대에는 품질관리를 통계적인 방법으로 쉽게 수행할 수 있었고 같은 종류의 제품이 다수 사용되었으므로 사용 경험과 생산 경험을 설계나 재생산에 용이하게 적용하는 것이 가능하였다. 그러나 다품종 소량 생산화에 따라 각각의 생산품에 대한 품질의 관리가 다양하고 복잡해진 생산 기술과 경험의 습득과 같은 문제에 직면하게 되어 기존의 방법에 대한 적용이 곤란해지면서 유연성 있는 새로운 방법론의 출현이 강력하게 요구되고 있다.

인공지능 실용화의 한계를 극복하기 위해서 1970년대 말부터 활기를 띠기 시작한 전문가 시스템은 하나의 유력한 방법론으로 기대되어지고 있는데 이 시스템은 특정 영역의 문제 해결을 위하여 전문가의 경험적 지식이나 문제 해결 방식을 컴퓨터 상에 이식하여 초보자도 전문가와 유사한 판단을 내릴수 있도록 하기 위한 지식 공학 시스템이다. 또한 전문가가 갖는 경험이나 논리를 프로그램으로 취급하는 것이 아니라 데이터 베이스와 룰로써 구성하여 추론하기 때문에 보다 인간적인 사고법에 접근되어진 방법론이라고 할 수 있다. 한편 전문가 시스템은 경험이 활용된다는 특징을 가지고 있지만 현장의 경험들을 나열한다고 적절한 품질이 보장되는 것이 아니므로 지식 공학자들에게 의하여 경험중 부정적인 것은 삭제하고 선택하여 집약하고 표준화하는 과정도 매우 중요한 문제이다. 따라서 전문가 시스템의 유용성이 기대되는 이유는 종래의 표현법이나 생산 기술 이외에 전문가의 경험과 논리를 재생 가능한 형태로 컴퓨터 상에 장착하여 변화되는 생산 체계와 같은 복잡해진 품질관리를 전문적이고 효율적으로 처리할 수 있다는 점에 있다.

한편 화학 플랜트용 압력 용기, 배관, 중장비, 자동차 등 산업 발전에 걸쳐 사용되어 지는 용접 기술은 그 작업 자체가 모재의 크기와 재질, 전압, 전류, 용접속도, 용접와이어의 이송 속도, 용접자세, 모재와 토치간의 거리등 많은 파라미터에 의해 결정되므로 용접기술자가 다양한 용접구조물을 용접하기 위해서는 수많은 경험과 지식이 요구되고 있는데 이러한 작업들을 전문적이고 효율적으로 수행하기 위해서 전문가 시스템의 도입이 필요하리라 생각된다.

따라서 본 연구에서는 로봇에 의한 아크 용접시 용접로봇 토치 경로를 생성하기 위한 CAD Tool을 개발하고 용접 작업을 모델링하여 관측변수와 제어변수를 설정하여 이들 변수간의 규칙 및 함수를 구성하여 Fuzzy 전문가 시스템을 구축하고자 한다. 또 PC로 프로그래밍한 로봇의 용접작업을 로봇 제어기에 다운 로드시켜 수행하고 작업시 발생한 경로 및 용접 전압, 전류, 전류 오차를 Fuzzy 제어하고자 한다.

## 2. 용접 파라미터의 모델링

용접부의 bead형상을 제어하기 위하여 용접부의 기하학적 모델링을 하면 제어입력변수와 관측변수를 설정할 필요가 있다. 따라서 본 장에서는 용접부의 기하학적 모델링, 제어입력변수와 관측변수와의 상호관계에 대하여 논하고자 한다.

## 2.1 용접부의 기하학적 모델링

용접부는 Fig.1과 같이 용접봉에 의해 쌓인 bead면적( $A_r$ ), 용접입열에 의해 용융되는 용융지의 면적( $A_m$ ), 용접부의 열영향부의 면적( $A_z$ )으로 3등분하여 나타낼 수 있다. 따라서 실제 용접부의 면적( $A_w$ )는

$$A_w = A_r + A_m \quad (1)$$

으로 나타낼 수 있으며 여기서 bead형상을 Fig.2와 같이 가정하면

$$A_r = b_w b_h / 2 + 2\pi b_s y / (b_w/2)^2 + b_h^2 \quad (2)$$

$$A_m = b_w b_p / 2 + 2\pi b_s y / (b_w/2)^2 + b_p^2 \quad (3)$$

## 2.2 용접변수와 bead형상

용접부를 입력변수와 process부로 Fig.3과 같이 모델링 할 수 있다. 본 연구에서는 입력변수중 primary input과 출력변수중 용입, 비드폭, 용접부의 면적과의 관계에 대하여만 서술하고자 한다.

용접의 급속학적 특성은 용접물로 프로세스에 의해 전달되어 지는 에너지량에 의해 영향을 받는다. 용접 단위길이당의 순수 에너지 입력은 다음과 같이 나타내어지며

$$H_{net} = f_1 V_E I / V_w \quad (4)$$

여기서,  $f_1$  : heat transfer efficiency

$V_E$  : welding velocity

$I$  : welding current

$V_w$  : welding speed

용융효율  $f_2$ 와 비열량  $Q$ 를 고려하면

$$A_m = f_2 H_{net} / Q \quad (5)$$

한편 용접와이어의 이송속도  $V_f$ 와 용접전류와의 관계는

$$V_f = a V_I \quad (6)$$

용접와이어의 직경을  $d$ 라하면 용융에 의한  $A_r$ 은

$$A_r = \pi d^2 / 4 \quad (7)$$

따라서 다음식과 같이 미리 설정되어진 좌변항에 의해 첨자가 붙은 우변항을 제어 할 수 있다.

$$(A_m + A_r) V_w = A_m' V_w' + A_r' V_f \quad (8)$$

### 3. 용접파라미터의 Fuzzy제어

#### 3.1 Fuzzy 추론

R1 : If  $X_1$  is  $A_{11}$  and  $X_2$  is  $A_{12}$   
then  $y$  is  $B_1$

R2 : If  $X_1$  is  $A_{21}$  and  $X_2$  is  $A_{22}$   
then  $y$  is  $B_2$

위와같은 2개의 규칙이 있을때 발생한 현상이

$$X_1 \text{ is } X_1^\circ, X_2 \text{ is } X_2^\circ \\ y \text{ is } B^\circ$$

라하면 첨자  $i$ 를 써서 나타낸 Fuzzy집합에 대하여 적합도  $W_i$ 는

$$W_i = h_{A_{i1}}(X_1^\circ) \min h_{A_{i2}}(X_2^\circ) \quad (9)$$

이때  $i$ 번째 규칙에 의한 추론결과  $B_i^*$ 는

$$B_i^*(y) = W_i \min B_i(y) \quad (10)$$

각 규칙에 의해 나온 결과에 의한 전체결과

$$B_o = B_1^* \max B_2^* \quad (11)$$

로 되고 이때 Fuzzy집합  $B_o$ 의 Fuzzy 함수  $h_{B_o}(y)$ 의 중심좌표  $y_o$ 를 구하여 이를 제어량으로 한다.

#### 3.2 용접파라미터의 Fuzzy제어

Fig. 4는 아크 용접시 용접파라미터와 용접현상과의 관계를 나타내고 있다. 이때 규칙과 Fuzzy함수는 Table 1, Fig. 5와 같이 각각 정하였다.

### 4. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 고찰

시뮬레이션은 다음 3 가지의 경우에 대하여 행하였다.

경우 1 : 용접부의 형상은 일정하고 입력제어변수를 임의로 가

정하였을 경우 원하는 비드형상으로 제어

경우 2 : 비드폭이 증가되는 경우 원하는 비드 형상으로 제어

경우 3 : 비드폭이 감소하는 경우 원하는 비드 형상으로 제어

각각의 경우는 Fig. 6과 같은 흐름도에 의해 수행 되었다.

Fig. 7에서 전압, 전류, 용접속도를 초기에 임의로 입력하여도 출력값인 비드폭과 용입깊이를 만족하도록 전압, 전류, 용접속도가 제어됨을 알 수 있으며 이 경우 용접부의 기하학적 형상이 일정하므로 입열량이 일정하게 나옴을 볼 수 있다.

Fig. 8, Fig. 9에서 용접부의 비드폭이 증가, 감소되는 경우 비드형상에 따라 입력제어변수를 제어하여 기하학적형상에 따라 입열량이 변하면서 원하는 용접비드를 얻을 수 있음을 볼수있다.

### 5. 결 론

복잡한 비선형성을 갖는 용접현상을 모델링하여 Fuzzy 제어

한 결과 임의의 용접 설정치에도 불구하고 원하는 용접비드 형상을 만족하는 용접변수값을 얻었으며 용접형상이 변하더라도 Fuzzy제어에 의해 목적하는 비드형상을 얻었다.

용접질의 향상을 위한 보다 광범위한 연구 및 센서를 이용한 실시간대 제어 시스템 구축이 요망된다.

### 참고문헌

1. G.E.Cook, et al. "Electric Arc Sensing for Robot Positioning Control", Robotic Welding, IFS, pp.181-216, 1987
2. G.Rider "Control of Weldpool Size and Position", Robotic Welding, IFS, pp.217-227, 1987
3. S.Hattori, M.Kanda "Algorithms for Arc Welding Robots", Robotic Welding, IFS, pp.277-293, 1987
4. P.Sicard, M.D.Levine "An Approach to an Expert Robot Welding System", IEEE, Tran. on SMC, Vol.18, No.2, pp.204-222, 1988
5. H.Maekawa, et al. "Motion Path Processing in off-line Programming System of Arc Welding Robot", 일본용접학회논문집, 6권, 2호, pp.245-251, 1988
6. S.Ahmad, S.Luo "Coordinate Motion Control of Multiple Robotic Devices for Welding", Conf. on Applied Motion Control, pp.60117-124, 1987
7. T.J.Graettinger "The Acceleration Radius: A Global Performance Measure for Robot Manipulators", IEEE J. of R. & A., pp.60-69, 1988
8. H.Hiraoka, Y.Taguchi "Development of off-line Programming System of Robot Operations", JSPE Vol. 53, No. 1, pp. 137-143, 1987
9. 전 의식 외 4명 "로봇과 포지셔너 시스템의 특이성 분석과 여유자유도 제어", 대한기계학회, 12권 6호, pp.1252-1264. 1988

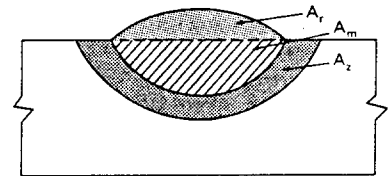


Fig. 1 Bead on Plate Weld Effected Zone

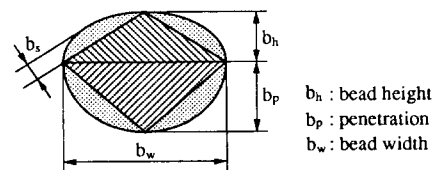


Fig. 2 Geometric Model of Bead Shape

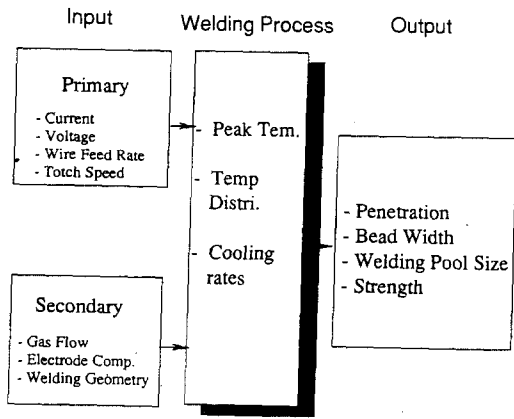


Fig. 3 Weld Variables and Parameters

WELDING VARIABLES TO CHANGE	DESIRED CHANGE:							
	PENETRATION		DEPOSITION RATE		BEAD SIZE		BEAD WIDTH	
	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼
CURRENT AND WIRE FEED SPEED	▲	▼	▲	▼	▲	▼	*	*
VOLTAGE	+	+	*	*	*	*	▼	▲
TRAVEL SPEED	+	+	*	*	▼	▲	▲	▼
STICKOUT	▼	▲	▲	▼	▲	▼	▲	▼
WIRE DIAMETER	▼	▲		▲	*	*	*	*
SHIELD GAS % CO <sub>2</sub>	▲	▼	*	*	*	+	▲	▼
GUN ANGLE	BACK-HAND TO 25°	FORE-HAND	*	*	*	*	BACK-HAND	FORE-HAND

\* NO EFFECT  
+ LITTLE EFFECT  
▲ INCREASE  
▼ DECREASE

Fig. 4 The Effect of all GMAW Parameters

Tabel 1 Linguistic Value for Rules

E1 \ E2	Bead width error						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PM	PM	PS	ZE
NM	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	NS
NS	PB	PM	PM	PS	ZE	NS	NM
ZE	PM	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
PS	PM	PS	ZE	NS	NM	NM	NB
PM	PS	ZE	NS	NM	NM	NB	NB
PB	ZE	NS	NM	NM	NB	NB	NB

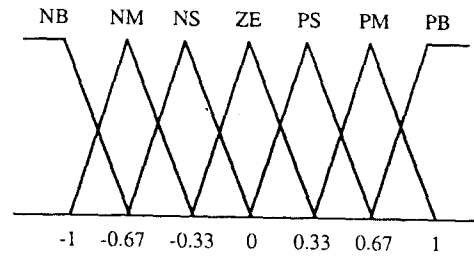


Fig. 5 Membership Function for Rules

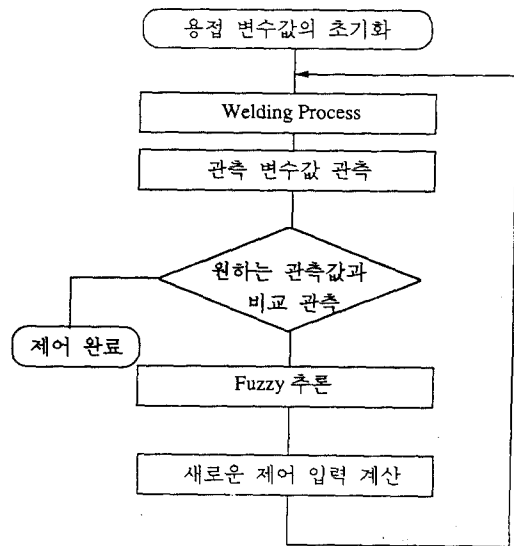


Fig. 6 Fuzzy Control for Welding Process

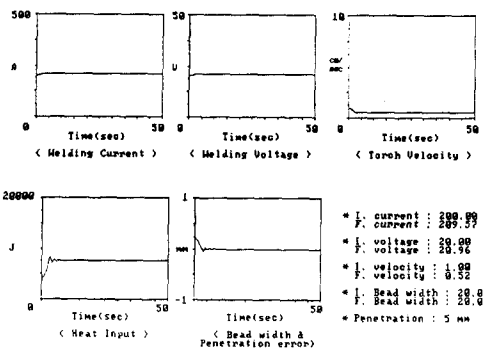


Fig. 7 Welding Parameter Control According to the arbitrary Value of Control Variables

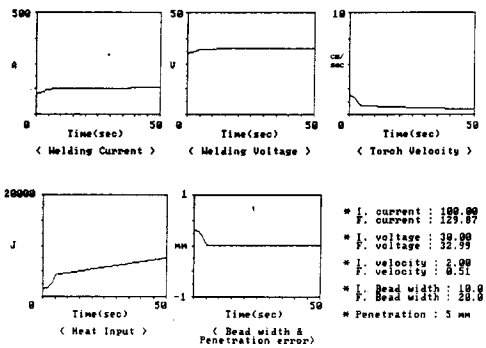


Fig.8 Welding Parameter Control According to the Variation of Welding Geometry

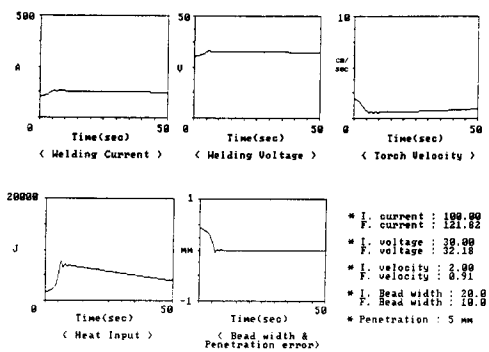


Fig.9 Welding Parameter Control According to the Variation of Welding Geometry