

特輯 : 컴퓨터를 이용한 용접 소프트웨어 기술

용접 전문가 시스템

박 주 용 · 김 세 환 · 임 필 주

Welding Expert System

Ju-Yong Park, Sae-Hwan Kim and Pil-Joo Lim



박주용/한국해양대/
1956년생/용접정보처
리 및 자동화 분야



김세환/삼성중공업/
1956년생/ROBOT 및
간이자동화분야



임필주/삼성중공업/
1968년생 / 용 접
ROBOT 분야

1. 서 론

제조업의 공동화 현상 및 3D 작업의 기피 현상 등으로 용접 고기량자의 구인난 및 신규 용접인력의 감소 현상이 나타나고 있다 이는 단기적으로는 경량 간이 용접 장치를 1인이 다수대를 운용함으로써 해결 가능하지만 적용 부위가 한정되고 수정 부위가 과다 발생되어 근본적인 해결책이라 보기는 어렵다 따라서 지능형 용접 ROBOT의 적용을 통한 용접기량자의 대체가 요구되어 지고 있다. 반면에 용접 ROBOT에 의한 고효율 및 고품질의 용접을 위해서는 용접재료, 용접기등의 발전도 중요하지만 고기량자에 준하는 최적 용접조건 선정이 무엇보다도 중요하며 다양한 대상물에 대한 다양한 용접 사양을 만족하기 위해서는 기존 TEST를 통해서 얻어진 최적 용접조건 재현만으로는 한계를 가지게 되며 LASER SENSOR등을 통한 용접부의 GROOVE 형상 혹은 ROOT GAP의 감지와 이에 적합한 용접조건을 REAL TIME으로 결정할 수 있는 용접 정보 처리 시스템이 요구된다. 본연구에서는 광범위한 용접정보 처리 시스템중

조선분야에 비중이 제일 큰 단층 FILLET 용접부위에 대하여 용접 ROBOT SYSTEM을 적용할 경우 표준용접 조건 및 용접조건 최적화를 위한 용접전문가 시스템의 연구결과를 소개하고 향후 전망에 대해서 의견을 제시하고자 한다.

2. 용접 EXPERT SYSTEM

2.1 용접 EXPERT SYSTEM의 개요

용접사에 의한 수동용접시 고전류를 사용하여 용접할 경우 고열 및 강렬한 아크빛으로 인해 용접이 용이하지 않고 고속 용접은 토치의 위치 및 자세 조정이 어렵기 때문에 고전류, 고속의 용접조건을 사용하기가 어렵다. 그런데 자동용접의 경우는 용접품질이 확보되는 범위내에서 고전류, 고속의 용접조건 사용이 가능하며, 이때 용접조건에 맞는 PARAMETER만 정해주면 된다.

용접 EXPERT SYSTEM은 용접 인자들에 대한 체계적인 조사 및 기존 용접 데이터의 통계적 분석, 그리고 퍼지론을 이용하여 각 자동장치 및 요

구되는 각장에 대한 최적화된 용접조건을 산출하는 SYSTEM이다.

2.2 용접 변수의 설정

용접에 관련되는 용접변수를 크게 3가지로 나누어 보면 아래표와 같다.

재료 관련 변수	프로세서 관련 변수	용접결과 관련 변수
모재 종류	전압	각장
모재 두께		각목
보호 GAS 종류	전류	용입 깊이
용접 WIRE 종류	용접 속도	덧살 높이
용접 WIRE 직경	용착 속도	BEAD 단면 형상
ROOT GAP		용접결함

ROBOT에 의한 자동용접시 요구되는 각장에 대응하는 전압, 전류, 용접속도를 지정해 주어야 하는데 용접 EXPERT SYSTEM에 의해 이들 PARAMETER들이 구해지는 과정을 도식화 하면 그림 1과 같다.

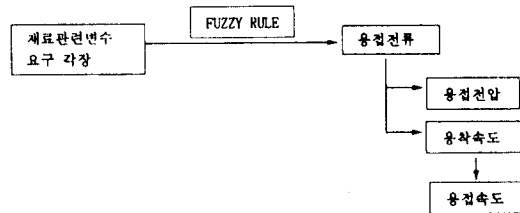


그림 1. 용접 PARAMETER 값의 결정 수순

2.2.1 용접전류의 설정

요구되는 각장에 대응하는 용접전류는 용접변수 사이의 상관관계, 비드형상 또는 용접결함과 용접 변수와의 논리적 관계 및 인과 관계등을 RULE로 표현한 FUZZY RULE과 근접추론 방식에 의해 구해지며, 이에 대한 자세한 설명은 뒤에서 하기로 한다.

2.2.2 용접전압의 설정

용접전압은 용접전류에 의해 구해지는데, 용접 전압과 용접전류의 상관관계를 조사하기 위해 많은 용접실험을 수행하여 분석해 본 결과 아래 그림 2와 같은 결과를 얻게 되었다.

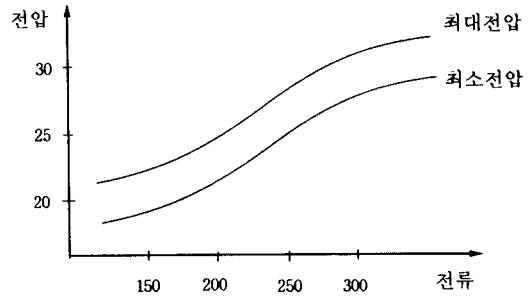


그림 2. 용접전류와 용접 전압의 상관 관계

위 GRAPH의 회귀분석 결과 SIGMOID 함수가 비교적 오차가 적고 근접한 DATA를 산출함을 알 수 있었다. 용접전압은 SIGMOID 함수에 의해 최대전압과 최소전압을 구하여 두 값의 평균값을 취함으로써 얻어진다.

$$V_{\min} = \frac{C11 - C12}{1 + e^{(V - C13)/C14}} + C12$$

$$V_{\min} = \frac{C21 - C22}{1 + e^{(V - C23)/C24}} + C22$$

$$V = \frac{V_{\min} + V_{\max}}{2}$$

위 식에서 다항식의 각 계수들은 용접 WIRE의 종류와 직경에 따라 달라진다.

2.2.3 용착속도의 설정

용착속도는 WIRE가 용융되어 이음부에 쌓이는 속도로서 용접 BEAD 및 형상에 관련되는 인자이며, 용접전류와 WIRE 돌출길이에 의해 영향을 받는다. Lesnevich에 의하면 용착속도는 다음과 같이 전류에 대한 2차식으로 표현되며 양변을 I로 나누면 V_D/I 와 $I \times L_{WIRE}$ 에 관한 1차식으로 나타난다.

$$V_D = C_1 \times I + C_2 \times I^2 \times L_{WIRE}$$

$$\frac{V_D}{I} = C_1 + C_2 \times I \times L_{WIRE}$$

$\left(\begin{array}{l} V_D = \text{용착속도} \\ L_{WIRE} = \text{WIRE 돌출길이} \end{array} \right)$

위 식으로 그림 3과 같은 직선으로 나타낼 수 있

고 실험 DATA의 회귀분석을 적용하여 C_1 과 C_2 를 구하면 주어진 WIRE 돌출길기와 용접전류에 대한 용착속도를 구할 수 있다.

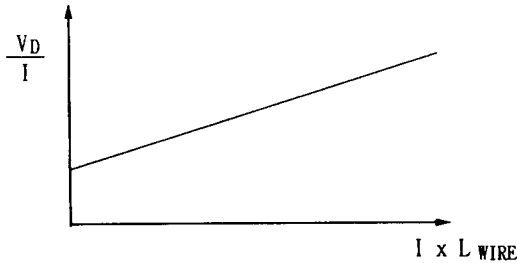
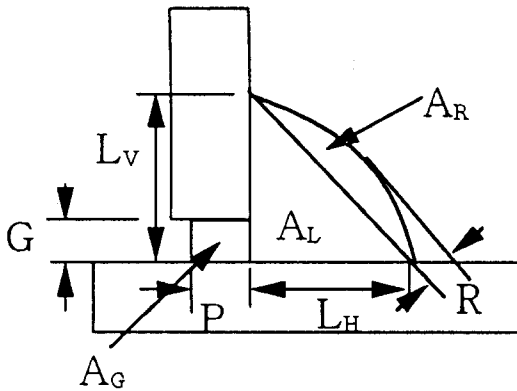


그림 3. 용접전류와 와이어 돌출길기의 상관 관계

2.2.4 용접속도의 설정

용접속도를 구하기 위해서는 용착 속도와 용착 단면적을 알아야 하는데, 용착 단면적은 WIRE가 용융되어 채워진 이음부의 면적을 의미하며 이음부의 형상이 주어지면 구해진다.

FILLET 용접의 경우 용착 단면적(A_{DEF})은 그림 4 및 다음의 식에서부터 구해진다.



R : 덧살높이 G : GAP P : 용입깊이

그림 4. 필렛 용접부의 용착단면적

$$A_{DEF} = A_R + A_L + A_G$$

단, FILLET 용접의 경우 $A_L = L_H \times L_V / 2$

$$A_R = (L_H^2 + L_V^2)^{\frac{1}{2}} \times R \times \frac{2}{3}$$

$$A_G = P \times G$$

위에서 덧살높이와 용입깊이는 FUZZY RULE에 의해 구해지며, 용착 단면적이 구해지면 용접속도 (V_s)는 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$V_s = \frac{V_D \times 100}{A_{DEF} \times P} \quad V_D : \text{용착속도}, \rho : \text{철의 밀도}$$

2.3 FUZZY RULE의 적용

FUZZY RULE은 변수들 사이의 정량적인 상관관계가 명확하게 규명되어 있지는 않으나, 경험적으로 또는 정성적으로 어느 정도 밝혀져 있는 경우에 적용된다. 본 연구에서는 용접변수 사이의 상관관계, 비드형상 또는 용접결합과 용접변수와의 논리적 상관관계 및 인과관계등이 틀에 의해 표현되었으며, 각장과 GAP이 주어진 상황에서 용접전류와 덧살높이, 용입깊이를 추정하는 데에 FUZZY RULE이 적용되었다.

FUZZY RULE을 적용하기 위해서는 변수의 크기에 대한 평가를 퍼지집합으로 표현하며, 퍼지집합은 경험적 DATA에 기초한다. 퍼지집합이란 용접변수의 크기를 언어적인 표현으로 나타낸 것이다. 예를들면 각장이 6.0mm 이고 GAP이 1.5mm 일때 각장과 GAP을 퍼지집합으로 나타내면 그림 5와 같다.

이때 각장의 경우 SMALL에 0.3, MIDDLE에 0.

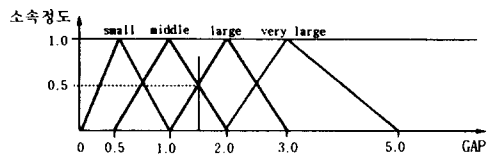
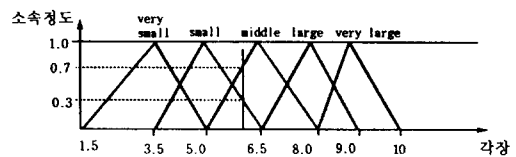


그림 5. 퍼지 집합을 이용한 각장과 겹 크기의 평가

7 만큼 소속되며, GAP의 경우는 MIDDLE에 0.5, LARGE에 0.5 만큼 소속된다. 이와같이 전압, 전류, 용접속도, 용입깊이, 덧살높이의 크기를 퍼지집합으로 나타낸다.

FUZZY RULE은 FUZZY 집합에 의해 표현된 언어적 변수들의 상관관계를 IF 가정부와 THEN 결론부의 논리적 관계로 표현한 형태로서, 각장과 GAP의 상관관계에 따른 전류의 크기를 FUZZY RULE로 표시하면 다음과 같다.

```
IF LEG LENGTH = SMALL AND GAP = MIDDLE
THEN I = LOW
IF LEG LENGTH = SMALL AND GAP = LARGE
THEN I = VERY LOW
IF LEG LENGTH = MIDDLE AND GAP = MIDDLE
THEN I = MIDDLE
IF LEG LENGTH = MIDDLE AND GAP = LARGE
THEN I = LOW
```

FUZZY RULE에 의해 표시된 여러개의 논리적 관계는 다시 근접추론 방식에 의해 각 RULE들이 합하여 지는데, 근접추론은 하나의 RULE과 다수의 RULE이 패턴부합되는 방식, 즉 1:n의 패턴부합 방식에 의해 추론이 진행된다. 이 경우 각 RULE의 패턴부합되는 정도는 각 RULE의 퍼지집합으로 표현된 언어적 변수의 소속정도에 따라 적용되는 정도도 달라지며, 최종적인 결론은 도출된 RULE들의 합집합이 된다.

각장이 6.0 mm이고 GAP이 1.5 mm인 경우에 적용되는 FUZZY RULE에 다시 근접추론 방식을 채택하면 다음과 같다.

RULE 1 : 각장이 SMALL(0.3) 이고 GAP이 MIDDLE(0.5) 이면 전류는 LOW가 되며, 이때 RULE이 적용되는 정도는 AND 연산자를 적용하여 0.3이 된다.

RULE 2 : 각장이 SMALL(0.3) 이고 GAP이 LARGE(0.5) 이면 전류는 VERY LOW가 되며, 이때 RULE이 적용되는 정도는 0.3이 된다.

RULE 3 : 각장이 MIDDLE(0.7) 이고 GAP이 MIDDLE(0.5) 이면 전류는 MIDDLE이

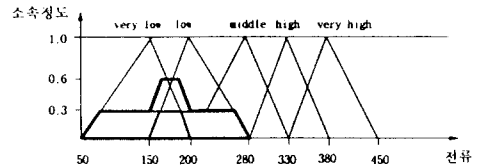
되며, 이때 RULE이 적용되는 정도는 0.5가 된다.

RULE 4 : 각장이 MIDDLE(0.7) 이고 GAP이 LARGE(0.5) 이면 전류는 LOW가 되며, 이때 RULE이 적용되는 정도는 0.5가 된다.

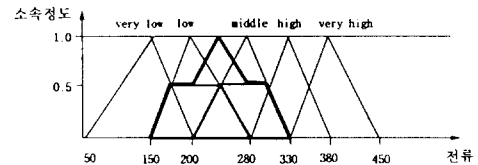
최종적인 결론은 이 4개 RULE들의 합집합이 되며, 연산결과는 하나의 전류값으로 제시되어야 하므로 연산결과로 만들어진 도형을 대표하는 값으로 도형의 도심을 취하게 된다. 그림 6은 위 4개 RULE들이 근접추론 되는 방식을 도형으로 나타낸 것으로, 결론적으로 각장이 6.0 mm이고 GAP이 1.5mm인 경우 전류는 230A 가 된다.

용접 EXPERT SYSTEM에서는 모재종류와 모재 두께, 보호가스 종류, WIRE 종류와 WIRE 직경, 이음부 형상(FILLET, 맞대기), 그리고 GAP의 크기와 각장, 각목이 주어지면 FUZZY RULE과 근접

RULE 1 + RULE 2



RULE 3 + RULE 4



RULE 1 + RULE 2 + RULE 3 + RULE 4

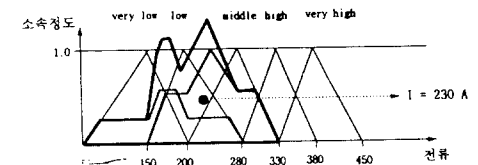


그림 6. 근접추론에 의한 용접전류의 결정과정

추론 방식에 의해 위의 조건에 맞는 전류값이 구해지고, 이 전류값에 기초하여 앞에서 제시된 PARAMETER들 간의 상관관계에 따라 전압과 용접속도가 구해지게 된다.

2.4 인공 신경망 SYSTEM

인공 신경망은 뇌에 존재하는 생물학적 신경세포와 그것들의 연결관계를 단순화시키고 수학적으로 모델링함으로써 뇌가 나타내는 지능적 형태를 구현하고자 하는 새로운 정보 처리 방법이다.

용접 EXPERT SYSTEM에서는 용접 BEAD 형상을 GRAPH로 나타내기 위해 인공 신경망을 이용했다. 인공 신경망의 구조를 살펴보면 다음과 같다.

- 입력층 : SYSTEM의 외부로부터 입력을 받아들이는 층.
- 은닉층 : 감각 기관들로부터 전달된 자료들을 통해 반응을 결정하는 뇌에 해당하는 층.
- 출력층 : SYSTEM의 외부로 출력을 내보내는 층.

은닉층에서는 학습을 통해 습득된 지식을 이용하여 주어진 입력에 대해 관련된 정보를 인출하게 되는데, 인공 신경망의 학습은 신경망에 입력패턴이 주어져 신경망의 동작결과 출력패턴이 나왔을 때 이것을 입력패턴에 대한 목적패턴과 같아지도록 스스로 자신의 연결 가중치를 조절하는 반복과정이다. 용접 EXPERT SYSTEM의 입력층으로는

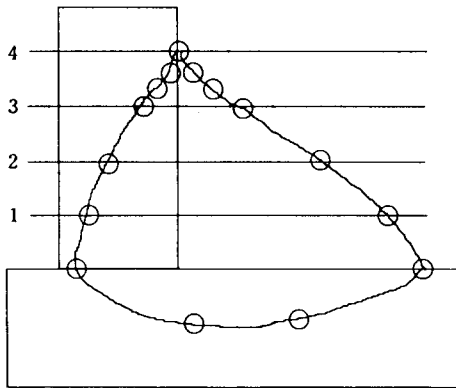


그림 7. 인공신경망의 출력값을 이용한 비드 단면형상의 표시

전류, 전압, 용접속도, 위빙폭, GAP의 5가지가 되며, 출력층으로는 용접 BEAD 형상을 나타내는 15개의 좌표값이 된다. 그림 7은 입력층에서 5가지 변수에 값이 주어졌을때, 은닉층에서의 학습을 통해 출력층에 나타난 BEAD 단면형상의 한 예이다.

2.5 용접조건 최적화

용접조건 최적화는 임의의 용접조건에서 용접된 결과인 BEAD 형상이 바람직하지 않을때 최적 BEAD를 얻기위해 어떤 용접변수를 어느 양만큼 변경해야 하는가를 구하는 과정이다.

용접조건 최적화시 IF 가정부와 THEN 결론부의 형식을 취하는 RULE을 이용하며, 용접변수 사이의 상관관계, BEAD 형상 또는 용접결함과 용접변수와의 논리적 상관관계등을 RULE로 표현한다.

용접조건을 최적화시키기 위해서는 논리적으로 표현된 RULE들을 패턴부합 방식에 의해 반복적용하여 최종 결론을 도출하게 된다. 예를 들면 다음과 같다.

(MAIN RULE) IF UNDERCUT AND CONCAVE BEAD AND LOW VOLTAGE THEN DECREASE CURRENT AND DECREASE SPEED.

(SUB RULE 1) IF DECREASE CURRENT AND CURRENT IS IN A HIGH RANGE THEN SELECT CURRENT OF LOW RANGE.

(SUB RULE 2) IF DECREASE CURRENT AND CURRENT RANGE IS LOW THEN CURRENT IS CURRENT - 20.

위의 예와 같이 MAIN RULE에서 현재 조건에 부합되는 SUB RULE이 도출되고, SUB RULE에서 다시 현재 조건에 부합되는 새로운 SUB RULE이 도출된다. 이와같이 SUB RULE이 반복적으로 적용되어 최종적인 결론에 이르게 되는 것이다. 위의 예에서 용접속도(SPEED)도 전류(CURRENT)와 같은 방식으로 SUB RULES를 적용하여 적정값을 도출한다.

3. 결 론

본연구에서는 FILLET 용접부의 수직 및 수평 자세의 단층 용접에 대한 표준용접 조건 제시와 최적 용접 조건 선정 과정에서의 용접 전문가 시스템의 적용을 대상으로 하였으며 용접 재료 및 WEAVING PATTERN도 단순화하여 D/B를 구축하였다. 금후의 과제는 다양한 JOINT 형상, 용접재료 WEAVING PATTERN 및 용접자세에 대한 용접 D/

B 구축이라 할수 있으며 특히 고기량이 요구되는 돌림 및 코너부 용접에 대한 PROGRAM 보완 및 용접 D/B 구축이 중요하다고 하겠다. 향후 LASER VISION 및 CAMERA VISION SENSOR의 발전과 아울러 용접부의 JOINT, 용접 용융부 혹은 용접 BEAD에 대한 정보를 전송받아 최적 상태가 되도록 REAL TIME으로 제어하는 용접 ROBOT 및 자동 용접 시스템이 채용되면 감소 추세에 있는 용접 고기량자와 기술자를 대신할 수 있을 것으로 기대된다.