

研 究 論 文
---------

大韓熔接學會誌  
第8卷第3號 1990年 9月  
Journal of the Korean  
Welding Society  
Vol.8, No.3, Sep., 1990

## CO<sub>2</sub>용접에서 전기적인 아크신호를 이용한 수평 필릿 용접선 추적에 관한 연구

선채규\* · 김재웅\*\* · 나석주\*\* · 조형석\*\* · 최칠룡\*\*\*

### A Study on the Seam Tracking in CO<sub>2</sub> Fillet Welding by Using an Arc Sensor

C.G. Seon\*, J.W. Kim\*\*, S.J. Na\*\*, H.S. Cho\*\*, C.Y. Choi\*\*\*

**Key Words:** Arc Sensor(아크센서), CO<sub>2</sub> Gas Welding(탄산가스용접), Fillet Welding(필릿용접), Seam Tracking(용접선 추적), Weld Current(용접전류), Weld Pool(용융지)

#### Abstract

The harsh nature of welding environments makes welding a prime candidate for process automation. Among the variety of welding processes available, gas metal arc welding is one of the most frequently used methods, primarily because it is highly suited to a wide range of applications, and also to automation.

Automatic seam tracking method is one of the most demanded techniques for automatic control of arc welding. In this study a seam tracking system has been developed by using the welding arc itself as a sensor. This paper describes the principle and experimental result of the arc sensor system, as well as the development and application of the automatic CO<sub>2</sub> welding for the horizontal fillet welding.

A basic problem in horizontal fillet welding is the prevention of hanging bead formation such as undercut at the vertical plate and overlap at the horizontal plate. To produce the symmetric bead shape, the relationship of bead shape to welding parameters(welding velocity, weaving width, weaving speed, tip to workpiece distance) was also investigated.

It was revealed that the control system which using the proposed arc sensor principle has many practical advantages, such as precision tracking, real time sensing and low cost of equipment.

\* 정회원, 코리아엔지니어링(주)

\*\* 정회원, 한국과학기술원, 생산공학과

\*\*\* 정회원, 한국용접기술연구소

## 1. 서 론

용접작업은 작업환경이 열악하여 공정의 자동화가 시급히 필요한 분야중의 하나이다. 현재의 작업자들은 자외선 및 적외선의 강한 광선과 뜨거운 불꽃, 유해한 가스, 전자파와 함께 위빙이라는 단순 반복동작을 오랜 시간동안 해야 한다는 환경에 처해 있다. 그러면서도 용접부의 적정한 수준의 품질을 유지하기 위해서는 숙련된 용접사가 필요하다는 문제가 있다.

이와같은 상황에 비추어 용접공정의 자동화는 중요하게 대두되고 있다. 그중 용접선의 자동 추적은 자동화에 있어서 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 여러가지 센서개발 및 적용에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있으나 자동화에 대한 문제점 또한 여러가지로 나타나고 있다. 아크용접공정 자동화의 문제점으로서 먼저 작업환경이 매우 거칠어서 센서의 부착이 어렵고, 용접품질에 영향을 미치는 공정변수가 많기때문에 그 품질을 일정한 수준 이상으로 유지하기 위해서는 여러가지 실험 및 연구가 필요하다는 것을 들 수 있다.

용접공정의 자동화를 위하여 사용되는 용접선 추적센서들은 크게 접촉식과 비접촉식으로 나누어지며<sup>1)</sup>, 접촉식 센서로서는 탐침(stylus) 혹은 안내로울러를 예로 들 수 있다. 이것은 기계적인 장치이기 때문에, 전기적인 노이즈를 받지 않으며, 사용하는 기술이나 개념이 매우 간단하다는 장점이 있다. 그러나 이 장치에서는 센서의 신호 측정위치가 용접위치보다 앞에 존재하기 때문에, 센서의 위치조정을 위하여 자유도가 하나 더 추가 되어야 하며, 이로 인하여 장치가 복잡해 지기 쉽다. 비접촉식 센서로서는 CCD 카메라를 이용한 화상처리 방법등이 있다. 이 장치는 화상처리 방법이 복잡하고, 장비가 비싸다는 점과, 아크 광선과 용접열에 의해서 화상처리가 방해받을 수 있다는 단점이 있다.

본 연구에서 개발코자하는 아크센서는 비접촉식으로서 장치가 매우 간단하고 값이 싸며, 또한 신호의 측정위치가 용접위치와 동일하다는 장점이 있다. 그러나 이 센서를 사용할 경우 반드시 토치의 위빙이 필요하므로, 얇은 판재의 용접에는 사

용할 수 없으며, 용접조건에 의해 영향을 받는다는 단점이 있다.

GMA용접에서 아크센서는 용접전류가 팁-모재간의 거리에 따라 변화하는 특성을 이용한 것이다. 즉 팁-모재간의 거리가 가까워지면 용접전류가 증가하고, 거리가 멀어지면 전류가 감소하기 때문에, 용접전류를 측정하면 팁-모재간 거리의 변화를 알 수 있게 되고, 따라서 그루브(groove) 용접선을 자동으로 추적할 수 있게 된다.

지금까지 아래보기 맛대기 용접에서 V그루브의 용접선을 자동으로 추적하는 것이 주로 연구되어 왔다. 즉 용접 토치를 V홈에서 스펡으로 위빙을 하면서 전류를 측정하면, 토치가 V홈의 가운데 있을 때 보다 바깥쪽에 있을 때 팁-모재간의 거리가 가까우므로 용접전류가 많이 흐르게 되는 현상을 이용하여 용접선을 자동으로 추적하는 방법들이 제시되었다<sup>2)~8)</sup>.

일반적으로 아래보기 맛대기 용접과 아울러 수평 필릿 용접이 많이 사용되고 있으며, 그 용접선이 곡선인 경우도 많다. 따라서 이러한 수평 필릿 용접선의 자동 추적은 자동화에 있어서 큰 비중을 갖는다. 그러나 수평 필릿 용접에서는 용융지의 불안정한 위치로 인하여 상부에 언더컷, 하부에 오버랩이 발생하기 쉽다. 또한 용접토치의 위치를 정해주는 3축 구동장치와 아울러 토치가 용접선에 수직이 되도록 자세를 결정하기 위한 회전축이 필요하여 하향용접의 경우보다 복잡한 시스템이 요구된다.

본 연구에서는 임의의 수평 필릿 용접선을 추적함에 있어서 토치자세의 제어를 포함하는 알고리즘을 제시하였으며, 용접품질을 개선하기 위한 각종 변수들의 영향을 실험적으로 조사하였다.

## 2. 수평 필릿 용접선 추적 알고리즘 (algorithm)

### 2.1. 토치의 구동 방법

하향자세의 맛대기 용접이나 필릿용접의 경우 토치를 하향자세로 고정시킬 수 있으므로 직교3축의 구동장치로써 임의의 용접선을 용접하는 것이 가능하다. 그러나 수평자세의 필릿용접에서는 토

치를 고정시킬 경우 용접선에 따라 과다한 전진각 또는 후퇴각이 유발된다. 따라서 토치의 위치를 결정해주는 직교3축(X-Y-Z축)과 용접선에 따라 토치의 자세를 결정해 주는 회전축( $\theta$ 축)이 필요하다. 여기서 아크의 발생점을 회전축상에 위치시키면 회전축이 구동되더라도 용접위치는 변화되지 않으므로 토치의 자세를 직교3축의 구동과는 독립적으로 결정할 수 있다.

먼저 직선으로된 수평 필릿 용접선을 추적할 때의 원리는 다음과 같다. 용접선의 진행 방향이 X축이나 Y축과 일치하지 않는 경우, 각각의 축들의 속도벡터 합은 용접속도와 위빙속도의 벡터 합과 같다. X-Y-Z축이 Fig.1과 같이 놓여 있을 때, 위빙이 수직축인 Z축과 45°를 이루고 있으므로, 위빙속도( $V_{wv}$ )가 X-Y평면상에 투영된 속도 성분은

$$V_{wv} \cos 45^\circ = V_{wv} / \sqrt{2} \quad (1)$$

로서 표현된다.

X, Y, Z축의 속도를 각각  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ 라고 하면, Fig.1(b)에서 용접속도( $V_{wl}$ )와 위빙속도( $V_{wv}$ )로부터

$$V_x = V_{wl} \cos \theta + V_{wv} \sin \theta / \sqrt{2} \quad (2)$$

$$V_y = -V_{wl} \sin \theta + V_{wv} \cos \theta / \sqrt{2} \quad (3)$$

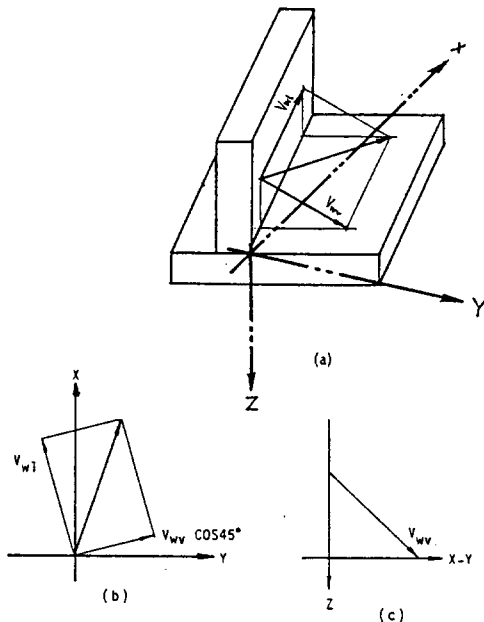


Fig. 1 Determination of X-, Y-, and Z-axis velocity

이 되고  $V_z$ 는 용접속도에 관계없이

$$V_z = V_{wv} / \sqrt{2} \quad (4)$$

로 나타난다. 회전축은 토치의 자세결정을 위한 것이므로 용접속도나 위빙속도에 관계없이 용접전류 신호로부터 회전각이 결정된다.

### 2.2. 용접선 추적오차 제어 방법

S자 모양의 필릿 용접선을 따라가다 보면 필연적으로 토치가 용접선으로 부터 벗어나려는 경향이 있으며, 이를 보상해주지 않으면 용접선을 계속해서 추적해 나갈 수가 없게 된다. 처음 출발상태가 최적 상태로부터 용접선의 중심에 대한 오차와 출발방향에 대한 오차를 갖는다고 했을 때, 이 상태에서 용접 중심선으로 부터의 오차와 방향에 관한 오차를 제어하여 정확하게 용접선을 추적해 나가는 과정은 다음과 같다(Fig. 2).

용접전류를 측정하여 팁-모재간 거리를 알아내야 하므로 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 관계식이 필요하다. 허<sup>9)</sup>의 연구결과 GMA용접에서 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$I = -aL + b \quad (5)$$

여기서, I: 용접전류(A)

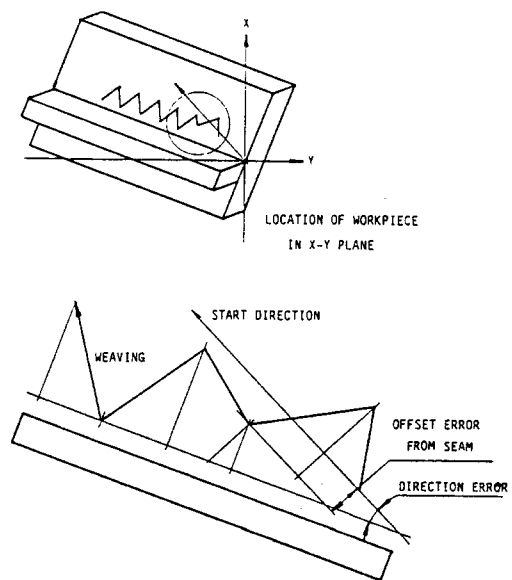


Fig. 2 Control of offset error and direction error

L : 팁-모재간 거리(mm)

본 연구에서는 CO<sub>2</sub>용접공정을 대상으로 하였으며, 실험적으로 구한 a, b값은 각각 4.11A/mm, 394.95A이었다. 전류의 변화 ΔI는 측정된 전류에서 기준전류(I<sub>ref</sub>)를 빼 값이며, 이때 기준전류는 식(5)의 관계로부터 계산된 목표로하는 전류값이다. 따라서 전류의 변화 ΔI로부터 팁-모재간의 거리변화 ΔL를 구할 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta L = -\Delta I / a \quad (6)$$

본 알고리즘에서는 위빙주기(T<sub>wv</sub>)를 고정시키는 방법을 적용하였으며, 위의 ΔL을 이용하여 위빙속도를 조정하여 위치를 보정하였다. 따라서 X-Y평면에 투영된 수정위빙속도는 다음과 같다.

$$[V_{wv} - \frac{\Delta L}{T_{wv}}] / \sqrt{2} \quad (7)$$

첫번째 위빙을 토치가 내려오는 동작으로 정하고 용접속도와 수정위빙속도를 벡터합성 하게 되면 V<sub>x</sub>, V<sub>y</sub>, V<sub>z</sub>가 계산된다.

$$V_x = V_{wl} \cos \theta + [V_{wv} + \frac{\Delta I / a}{T_{wv}}] \sin \theta / \sqrt{2} \quad (8)$$

$$V_y = -V_{wl} \sin \theta + [V_{wv} + \frac{\Delta I / a}{T_{wv}}] \cos \theta / \sqrt{2} \quad (9)$$

$$V_z = V_{wv} / \sqrt{2} \quad (10)$$

이렇게 하여 용접선으로부터의 중심선 오차가 X-Y의 평면에서 조정된다.

두번째 위빙에서는 토치가 올라가는 동작의 경우로서 Z축에 의해서 용접선으로부터의 높이에 대한 오차가 제어 되며 이때는 X-Y평면상의 속도인 V<sub>x</sub>와 V<sub>y</sub>는 제어하지 않고 V<sub>z</sub>만을 제어한다. 따라서 위빙이 내려오는 동작일때 수직판으로부터의 거리가 제어되고, 위빙이 올라가는 동작일 때 수평판으로부터의 높이가 제어된다. 이렇게 하여 용접선의 중심으로부터의 오차가 다음의 식들에 의해서 조정된다.

$$V_x = V_{wl} \cos \theta - V_{wv} \sin \theta / \sqrt{2} \quad (11)$$

$$V_y = -V_{wl} \sin \theta - V_{wv} \cos \theta / \sqrt{2} \quad (12)$$

$$V_z = -[V_{wv} + \frac{\Delta I / a}{T_{wv}}] / \sqrt{2} \quad (13)$$

세번째 위빙에 들어가게 되면 용접선으로부터의 방향에 대한 오차가 제어된다. 즉 φ를 출발선과

용접선과의 방향오차라고 한다면

$$\phi = \tan^{-1} [ \frac{-\Delta I / a}{L_w} ] / \sqrt{2} \quad (14)$$

가 되는데, 여기서 L<sub>w</sub>는 두번 위빙했을 때 토치가 용접선을 따라 이동한 거리이다. 이때 φ가 비교적 작은 값이라면

$$\phi \cong \frac{-\Delta I / a}{L_w} / \sqrt{2} \quad (15)$$

로 나타낼 수 있고, 여기서 얻은 φ를 출발각에 합하여 출발각을 교정한다. θ<sub>1</sub>을 기존의 출발각이라고 한다면,

$$\theta_2 = \theta_1 + \phi \quad (16)$$

로 회전각이 수정되고, 이 값에 의해서 V<sub>x</sub>, V<sub>y</sub>, V<sub>z</sub>를 새로이 구하게 된다.

구해진 속도로 한번 더 위빙을 하고나면, 출발점에서의 용접 중심선에 대한 오차 및 방향오차가 이론적으로 거의 없는 상태가 된다.

그다음으로 네번째 위빙 이후부터는 위와같은 방법을 반복 수행하게 되며, 따라서 토치가 내려갈 때 용접선 방향 및 용접선으로부터의 오차를 동시에 제어하면서 이동하게 되고 수정된 방향과 속도식은

$$\phi \cong \frac{-\Delta I / a}{L_w} / \sqrt{2} \quad (17)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \phi \quad (18)$$

$$V_x = V_{wl} \cos \theta_2 + [V_{wv} + \frac{\Delta I / a}{T_{wv}}] \cdot \sin \theta_2 / \sqrt{2} \quad (19)$$

$$V_y = -V_{wl} \sin \theta_2 + [V_{wv} + \frac{\Delta I / a}{T_{wv}}] \cdot \cos \theta_2 / \sqrt{2} \quad (20)$$

$$V_z = V_{wv} / \sqrt{2} \quad (21)$$

로 되고, 다시 토치가 올라갈 때는 용접선의 방향과 V<sub>x</sub>, V<sub>y</sub>는 제어하지 않고 다만 V<sub>z</sub>만을 다음 식들에 의해서 제어하게 된다.

$$V_x = V_{wl} \cos \theta - V_{wv} \sin \theta / \sqrt{2} \quad (22)$$

$$V_y = -V_{wl} \sin \theta - V_{wv} \cos \theta / \sqrt{2} \quad (23)$$

$$V_z = -[V_{wv} + \frac{\Delta I / a}{T_{wv}}] / \sqrt{2} \quad (24)$$

따라서 S자 형상의 용접선 일지라도, 용접의 방향이 계속 교정 되면서 위빙은 용접선과 직각으

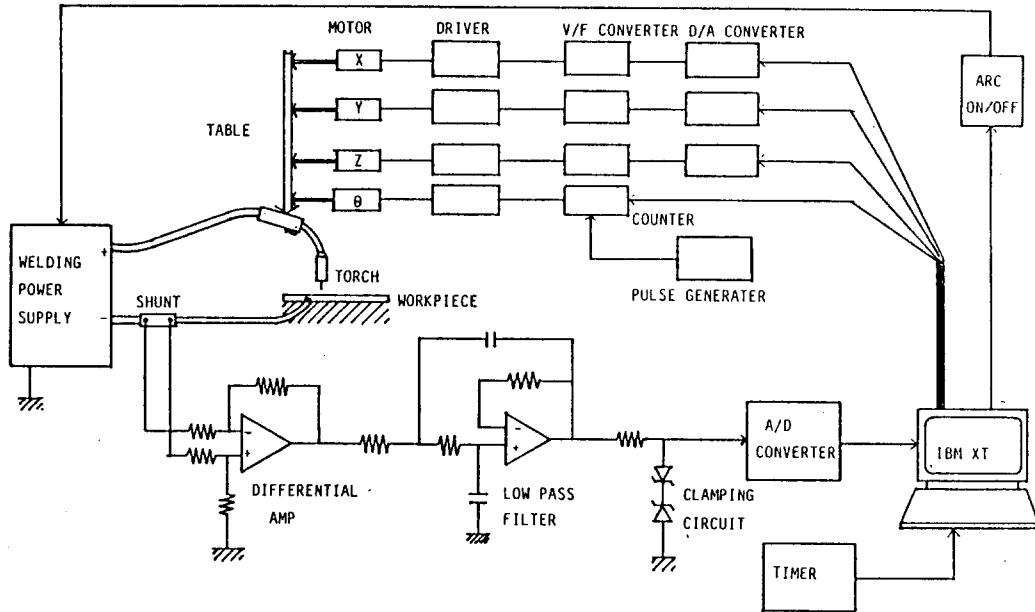


Fig. 3 Schematic diagram of experimental system

로 이루어지기 때문에, 용접속도가 용접선을 따라  
균일하게 유지되면서 용접을 수행하게 된다.

### 3. 용접선 추적실험

#### 3.1. 실험 장치

전체적인 실험장치의 개략도를 Fig. 3에 표시하  
였다. 실험장치는 용접기와 전류측정장치 및 컴퓨  
터, 그리고 모터를 구동하기 위한 회로와 모터 및  
이송 테이블(Fig. 4)로 이루어진다.

실험에 사용된 용접기는 보호가스로서 CO<sub>2</sub>를  
사용하는 용접기이며, 전류측정장치는 션트와 증  
폭회로, 저역통과필터, A/D컨버터로 이루어져  
있다.

타이머는 8253타이머를 이용하여 제작 하였다.  
이것은 용접전류를 컴퓨터로 읽을 때 샘플링 타임  
의 기준시간으로 사용된다.

컴퓨터의 기종은 IBM XT이며, 용접선을 추적  
하기 위한 프로그램은 터보BASIC과 어셈블리어  
를 연결하여 개발하였다.

컴퓨터로 스텝모터를 구동하여 용접토치를 이동  
시켜 주기 위한 인터페이스(interface) 회로 로서

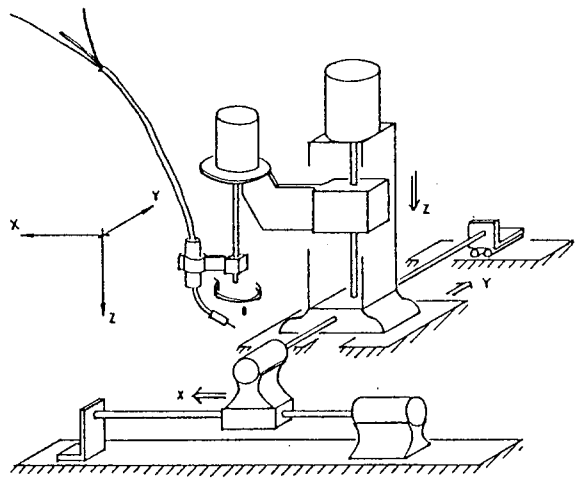


Fig. 4 Schematic diagram of welding table

는 D/A컨버터와, V/F컨버터, 스텝모터의 드라  
이버 및 스텝모터로 이루어 진다.

#### 3.2. 실험내용 및 방법

##### 1) 시편 형태 선정

용접선 추적실험에는 Fig. 5와 같이 절곡형과,  
파이프형, S자형 시편을 이용하였는데 이것은 각

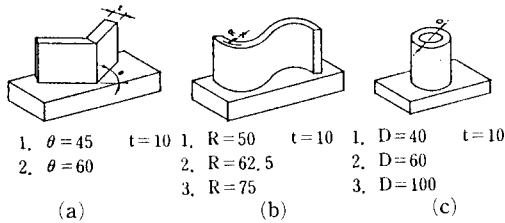


Fig. 5 Various types of experimental workpiece  
 (a) Angled shape  
 (b) S-shape  
 (c) Pipe-typed shape

시편의 형상에 따라서 용접선의 추적 상태가 특색을 지니게 되기 때문이다. 절곡형 시편은 45°로 깎여진 것을 사용하였으며 이것은 용접선을 추적하다가 용접선 방향이 갑자기 바뀔때 토치가 얼마나 빨리 용접선을 따라 정상적인 추적상태로 되돌아 갈 수 있는지를 실험하고자 하였다. 또한 파이프형 시편은 파이프의 외경을 얼마나 작은 것까지 추적할 수 있는지를 알아 보기 위하여 사용하였다. S자형 시편은 내경과 외경의 용접이 함께 이루어지는 것으로, 용접중 내경과 외경이라는 정반대의 상황이 나타나게 된다. 이러한 상태에서 용접선의 추적이 어떻게 이루어지며, 용접품질은 얼마나 양호한 것인지에 초점을 맞추어 실험 하였다.

2) 토치의 각도

Fig. 6과 같이 수평관과는 35°~40°로 정하고 용접선과는 90°~95°로 할 때 양호한 비드를 얻을 수 있었는데 이것은 참고도서<sup>10)</sup>를 참조하여 결정한 것이다.

3) 용접조건

용접전압 : 25V  
 와이어 공급속도 : 118.5mm/sec

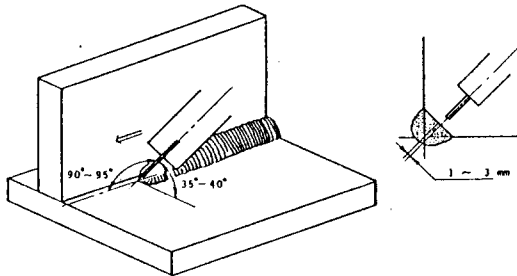


Fig. 6 Illustration of torch position

용접속도 : 3~5mm/sec  
 위빙속도 : 8~12mm/sec  
 위빙폭 : 10mm

4) 기타

데이터 측정 속도 : 50Hz  
 CO<sub>2</sub> gas의 유량 : 18 l/min

3.3. 실험결과 및 토의

용접선 추적의 이론적 방법을 이용하여 프로그램을 작성하고 실제실험을 수행하였다. 또한 실험을 수행함으로써 이론에서 처리할 수 없었던 몇가지의 변수값도 정할 수 있었다. 필릿용접에서는 용융금속의 위치가 불안정하여 그 작업 조건이 매우 까다롭기 때문에 용접전압, 용접와이어 공급속도, 팁-모재간의 거리 외에도 위빙폭, 위빙주파수, 용접속도 등의 범위를 결정해야 하며, 이들 값이 용접부의 품질에 미치는 영향은 상당히 크다. 이와같은 변수 외에도 자동화의 관점에 따라 용접선 추적오차에 대한 계인과, 위빙폭 양단에서의 전류변화량에 대한 이동평균화의 가중치등을 결정해야 한다. 이 중에서 용접전압과 와이어의 공급속도는 용접기의 메뉴얼에서 추천하는 조건을 사용하였다. 용접부의 품질을 좋게하기 위해서 여러번의 실험을 통하여 다음과 같이 변수들의 값을 조정하였다.

1) 용접서 추적오차에 대한 계인

용접선 추적오차에 대한 계인의 실험에는 절곡형 시편을 사용 하였다. 용접선이 직선인 경우에는 토치의 용접선 추적에 오차가 발생하지 않지만, 용접선의 방향이 갑자기 변하게 되면 추적에 오차가 발생하게 된다. 파이프형 시편의 외경을 용접할 경우에는 용접선의 추적 각도가 연속적으로 변화하기 때문에, 용접선의 추적중 추적오차를 제어 하더라도 오차는 계속 발생된다. 이의 감소를 위해서는 오차값이 컨트롤러에 들어가기 전 상태에서 계인을 곱해 주어야 한다.

본 연구에서는 계인을 변화 시키면서 용접선 추적 실험을 한 다음 용접품질을 서로 비교하여 이때 품질이 가장 좋은 때의 값으로 계인을 결정 하였다. 여기서 계인을 1로 하였을 때는 Photo. 1(a)와 같이 추적동작이 매우 느렸으나, 계인을 3으로 증가 시켰을 때는 좀더 빨라지는 것을 알수 있었다(Photo. 1(b)). 그러나 계인을 5이상으로

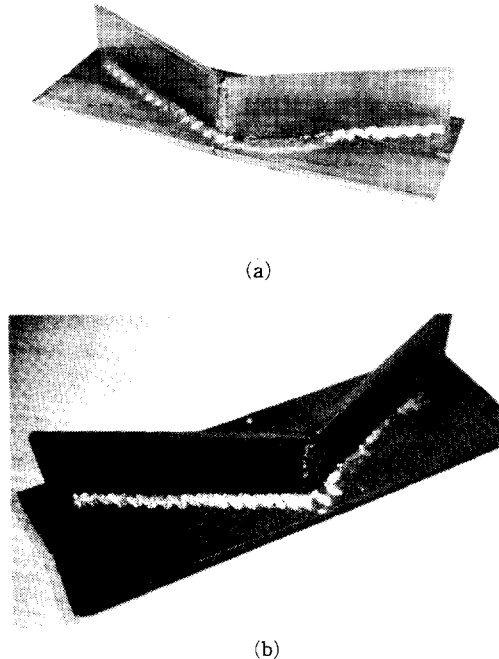


Photo. 1 Example of seam tracking at 45° angled workpiece with various offset error gain  
 (a) offset error gain=1  
 (b) offset error gain=3

증가시키면 위빙폭의 변화가 심하게 되어 용접선을 추적할 수 없었다. 따라서 계인을 2~3으로 정하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났다.

#### 2) 수직, 수평판에서의 기준전류( $I_{ref}$ ) 차이

필릿 용접에서는 용접시 아크열이 모재에 일정하게 들어 가더라도 수직판은 용접부가 판의 끝에 오게 되고, 수평판은 판의 중심에 놓이게 되므로 수직판의 용융부가 수평판의 용융부에 비해서 좀더 크게 된다. 따라서 수직판에는 언더컷이 발생하기 쉬우며 수평판에는 오버랩이 발생하기 쉽다. 또한 필릿 용접에서는 용융지가 중력때문에 위빙 중심으로부터 양쪽으로 대칭되지 못한다. 따라서 수평판에는 수직판쪽보다는 좀더 많은 열입력을 주어 용융부를 서로 대칭이 되도록 조절을 해야 하는데 이것은 Fig. 6(b)와 같이 용접 와이어를 용접선의 중심으로부터 약간 편심지게 해 줌으로써 해결 할 수 있다. 이렇게 하면 수직판에는 열이 덜 들어가게 되고, 수평판에는 많은 열이 들어가게 되므로 용융부의 양이 서로 비슷해 진다. 이

편심의 정도가 작을 때는 수직판이 좀더 많이 녹게 되고 너무 크면 수평판이 많이 녹아서 용접비드는 45°를 이루지 못하고 평평하게 되는데 이러한 편심의 효과를 수직, 수평판에서의 기준전류에 차이를 줌으로써 나타내었으며 이 기준전류의 차이를 3~6A로 할 때에 적당하였다.

#### 3) 전류변화량( $\Delta I$ )에 대한 이동평균화의 가중치

수직, 수평판에서의  $I_{ref}$ 가 다르므로 각각의 경우 전류변화량을  $\Delta I_v$ 와  $\Delta I_h$ 로 나타내었다. 비록 저역통과필터로 전류파형을 안정화 하였다고는 하지만, 용융지의 유동현상 등의 요인으로 인하여  $\Delta I$ 는 일정하게 유지되지 못하고 오차가 존재하게 된다. 이러한  $\Delta I$ 의 오차는 보통 +/-로 불규칙하게 변화하여, 위빙의 안정성을 크게 저하시키는데, 위빙이 불안정하면 용접부에 언더컷과 오버랩이 발생하여 품질이 크게 떨어지며, 용접선의 추적이 불가능해 질 수도 있다. 따라서  $\Delta I_v$ 와  $\Delta I_h$ 를 각각 다음식에 의하여 이동평균화를 하였는데, 이동평균화를 하면 용접선 추적이 둔화 되기는 하지만 이동평균화의 가중치를 1/4로 하면 위빙의 안정성이 좋아지면서도 용접선 추적이 적당하였다.

$$I_a(n+1) = (1-\sigma) I_a(n) + \sigma I(n+1) \quad (25)$$

여기서,  $I_a(n+1)$  : 새로운 이동평균값

$I_a(n)$  : 현재 이동평균값

$I(n+1)$  : 새로 측정된 전류값

$\sigma$  : 가중치

#### 4) 용접 성능

계인 및 이동평균화등을 위와 같이 하였을 경우 각 시편에 대한 용접선의 추적 성능과 용접부의 비드 모양은 크게 개선되고 안정 되었다(Photo. 2). 파이프형 시편에 대한 외경용접의 경우에  $\phi 80$  mm까지는 품질을 보장하면서 추적이 가능하였으며,  $\phi 60$ mm의 시편에서는 용접선의 추적이 가능하였지만 용접을 한 다음 비드모양에는 꽃모양과 같은 형태의 흔적을 남기게 되었다(Photo. 3). 파이프형 시편에서 파이프의 내경용접은  $\phi 120$ mm까지는 품질을 보장하면서 추적이 가능하였으며, 그 이하의 작은 파이프의 내경용접은 파이프가 너무 작아서 용접부위에 토치가 접근 할 수 없었다. S자형 용접시편을 이용한 용접(Photo. 4)에서

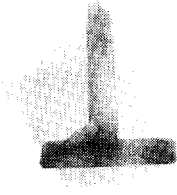


Photo. 2 Cross section of weld bead

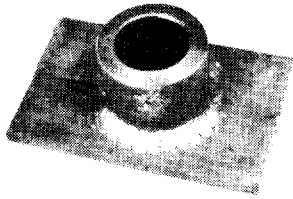


Photo. 3 Example of seam tracking at pipe-typed workpiece



Photo. 4 Example of seam tracking at S-shaped workpiece

는 파이프의 외경용접과 내경용접을 연결하여 작업하는 것과 같았으나, 그 밖에도 S자형 자체의 독특한 어려운 점이 있었다. 이러한 어려움점 으로서는 먼저 용착금속량의 차이를 들 수 있다. S자의 내경을 용접할 때는 용착금속부의 단면적이 큰 데 비하여, 외경을 용접할 때는 용착금속부의 단면적이 작아진다. 이와같이 용착금속량의 차이가 외관적으로 나타나서 용접의 불량으로 나타나기 쉬웠으나 용접선 추적은 비교적 무난하였다. 용착금속부의 단면적을 일정하게 유지하기 위해서는 각 위치에 따라 와이어의 공급속도를 조절해주느 알고리즘이 필요할 것이다.

#### 4. 요약 및 결론

아크신호를 이용한 수평 필릿 용접선 추적장치 개발에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 사실들

을 규명하였다.

1) 본 연구에서 제시한 수평 필릿 용접선의 자동추적 프로그램에 입력할 데이터로서는 용접속도와, 위빙폭, 위빙속도, 출발각이 주어지는데 용접선이 임의로 구부러져 있다라도 용접토치가 자동으로 용접선을 추적해 나가면서 용접작업을 해 나갈 수 있게 된다. 이때 필릿용접선은 정확하게 수평으로 놓여있을 필요없이 수평면에 대해서 상향 또는 하향으로 약간 기울어 있어도(5°이내) 가능하도록 하였다.

2) 파이프형 시편의 외경을 용접할 때,  $\phi 80\text{mm}$ 까지는 아무런 문제 없이 품질을 유지하면서 추적이 가능하였다. 또한  $\phi 60\text{mm}$ 까지는 추적은 가능하였지만 용접부에는 꽃 모양의 위빙흔적이 남았다.

3) 파이프형 시편의 내경을 용접할 때  $\phi 120\text{mm}$ 까지는 비교적 양호한 비드를 유지하면서 용접선의 추적이 가능 하였지만, 그 보다 더욱 작은 시편에 대해서는 제작된 토치가 접근할 수 없는 관계로 추적이 불가능하였다.

4) 직선으로 된 용접선을 추적할 때는 추적오차가 발생하지 않지만, S자형의 시편에서는 용접선의 방향이 계속 변하기 때문에 추적중 추적오차가 발생하게 된다. 이 오차를 줄이기 위하여 용접선의 추적오차에 계인을 곱하여 위치보정을 하였는데, 이때 계인을 2~3으로 하면 용접선의 추적오차를 충분히 줄일 수 있었다.

5) 아크센서는 노이즈 뿐만아니라, 용융지와 용접 와이어의 상호작용 등으로 인하여 측정에 오차가 발생하게 된다. 여기서는 이 값을 이동평균화 함으로서 해결하였는데 이때 이동평균화의 가중치는 1/4로 하는 것이 가장 적당하였다. 이보다 작은 값으로 이동평균화를 하면 용접선의 추적이 둔화되어으며, 너무 크면 위빙폭이 매우 불안정하게 되었다.

6) S자형의 수평 필릿용접에서 내경 또는 외경의 크기가  $\phi 120\text{mm}$ 이상일 경우, 용접부의 품질을 유지하면서 용접선을 추적할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 제시한 알고리즘은 CO<sub>2</sub>수평 필릿 용접의 용접선 추적에 실용 가능성이 있는 것으로 판단되며 실제 작업시에 나타날 수 있는 용접조건 변화, 전기적 노이즈, 아크 블로(arc blow) 등 여러가지 문제점들을 해결하기 위한 연구가 계속



적으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- 1) 김재용, 나석주 : 아크센서를 이용한 용접선 추적장치, 대한용접학회지, 제6권 제4호, (1988), pp. 1-6.
- 2) G.E. Cook : Robotic arc welding ; Research in sensory feedback control, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.IE-30, No.3, (1983), pp.252-268.
- 3) H. Nomura et al. : Automatic real time bead height control with arc sensor in TIG welding, Trans. of the Japan Welding Society, Vol.18, No.2, (1987), pp.35-42.
- 4) H. Nomura et al.:Automatic real time bead height control with arc sensor(report 2), Trans. of the Japan Welding Society, Vol.18, No.2,(1987), pp.43-50.
- 5) F. Eichhorn et al. : GMA welding of filler passes with a new type of arc controlled seam tracking system, IIW Doc. XII-936-86, (1986), pp.1-13.
- 6) N. Baba et al. : Seam tracking with welding arc as a sensor in the PAW process, IIW Doc. XII-946-86, (1986), pp.1-11.
- 7) H. Fujimura et al. : Joint tracking control sensor of GMAW, Trans. of the Japan Welding Society, Vol.18, No.1, (1987), pp.32-40.
- 8) I. Eizo et al. : Weave amplitude control sensor fo GMAW, Trans. of the Japan Welding Society, Vol.18, No.1,(1987), pp.41-45.
- 9) 허장욱 : 혼합가스 GMAW 공정에서의 전기적인 아크신호를 이용한 용접선 추적에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, (1989).
- 10) 이은학 외 : 용접기술, 태화서림, (1977).