고속회전 아크센서를 이용한 필렛 용접선 추적에 관한 연구

이원기† · 이근유*· 오명석**· 김상봉***

A Study on Seam Tracking for Fillet Welding using High Speed Rotating Arc Sensor

Won-Ki Lee, Gun-You Lee, Myung-Seok Oh, Sang-Bong Kim

Key Words: Arc sensor (아크센서), Welding robot (용접로봇), Seam tracking (용접선 추적) , Fillet welding (필릿용접)

Abstract

In this paper, a high speed rotating arc sensor for automatic fillet welding is introduced. In order to track the welding seam, The high speed rotating arc sensor is used. The welding tip of a high speed rotating arc sensor rotates about 3000 rpm using DC motor. The rotating torch is driven by gear between welding torch body and wire guide. The welding current is measured by using the current sensor and rotating position sensor. To realize the welding seam tracking algorithm with accuracy, a software filter algorithm using the moving average method is applied to the measured welding current in the microprocessor. The welding mobile robot with two wheels and two sliders is developed for fillet welding. The welding mobile robot can control its traveling direction and turn itself around the corner. The effectiveness is proven through the experimental results conducted with varied fillet tracking patterns.

1. 서 론

용접선의 자동추적은 아크용접공정의 자동화에 있어서 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 여러 가지 용접선 추적용 센서의 개발 및 적용에 관한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다[1][4]. 이러한 센서들 중에서 아크센서는 용접공정 중 용접 팁과 모재간의 거리가 변함에 따라 발생하는 용접 전압 또는 전류신호의 변화를 이용하여 용접선을 추적한다. 아크센서는 용접 토치에 부착되는 별도의 감지장치가 요구되지 않고, 주요 기능이 아크의 특성을 이용하는 소프트웨어로 구성되어 있다. 또한, 스모그나 아크 광, 스패터와 무관하게 용접선을 추적할 수 있고 신호의 측정 위치와 용접위치가 동일하다는 장점이 있다. 용접 품질 면에서는 고속회전 아크센서를 사용함으로써 기존의 시스템보다 우수한 성능을 나타내고, 아크센서의 개발에 따른 그 적용 범위는 상당히 넓으며, 기존에 설치된 용접 매니퓰레이터에도 적용이 가능하다. 본 논문에서는 아크센서를 이륜 이동바퀴 이동로봇에 장착하여 다양한 형태의 용접선 추적에 관한 연구를 한다.

† 부경대학교 메카트로닉스 협동과정
E-mail : gmrss@naver.com
TEL : (051)620-1606 FAX : (051)621-1411
*부경대학교 메카트로닉스 협동과정
** 부경대학교 기계공학부
*** 부경대학교 기계공학부

2. 용접선 추적 장치의 구성 및 원리

2. 1아크센서의 원리

용접전압은 GMAW의 정전압 특성으로서 일정하기 때문에 아크전류는 저항과 반비례하게 된다. 용접전류가 흐를 때의 용접저항은 팁-모재간의 저항이 가장 크며, 이는 다시 용접 와이어의 돌출길이에서 나타나는 저항과, 아크 방전에서의 아크 불꽃 저항으로 나누어진다. 따라서 아크 전류는 팁-모재간의 거리가 멀어질수록 용접와이어의 저항으로 인하여 전류는 감소하게 된다. 역으로 전류를 측정하여 토치의 팁-모재간 거리를 산출해 낼 수도 있게 된다. Fgi. 1과 같이 용접전류를 측정하여 용접 그루부에서의 토치 높이나 위치 등을 산출하여 이를 제어함으로써 용접선의 추적에 이용할 수 있게 된다.

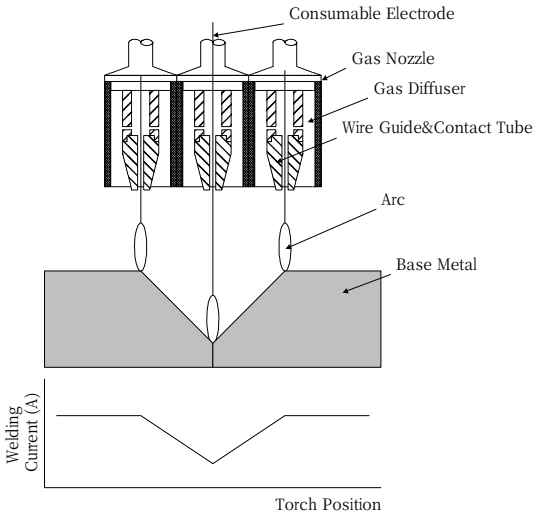

Fig. 1 Principles of arc sensor

2. 2 아크센서의 구성

Fig. 2와 같이 용접 팁과 용접바디 사이를 기어로 연결시켜 모터를 이용하여 회전시키고, 용접 팁은 중심축에 대해 편심(약 3mm)을 가지도록 가공하여 3000rpm 이상의 회전속도를 가질 수 있는 고속회전 아크센서 장치를 제작하여 용접이동로봇에 적용하였다. 고속회전 아크센서는 용접선 상에서 토치 팁의 회전위치를 측정하기 데이터 획득 모듈(Data acquisition module)을 탑재하였다. 데이터 획득 모듈은 전류센서와 회전위치센서(Rotating position sensor) 그리고, 용접전류를 가공하는 마이크로 프로세서(Intel 80c196kc)로 구성된다[5][6].

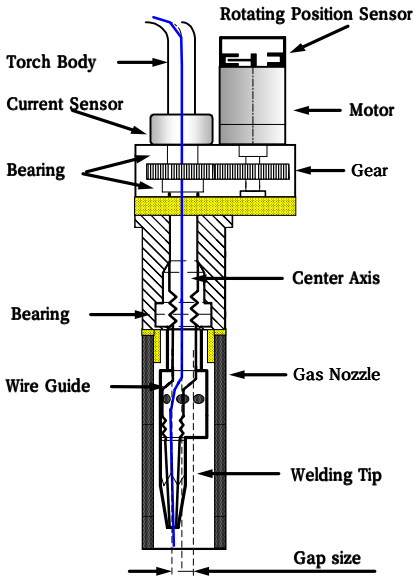

Fig. 2 Schematic diagram of high speed rotating arc sensor

2. 3 용접주행로봇의 구성

용접주행로봇의 구성을 Fig. 3에 나타내었다. 용접로봇은 주행과 조향을 위해 2개의 바퀴를 가지며 각각의 바퀴는 DC모터에 의해 구동된다. 또한, 용접선 추적을 위해 수평축 슬라이드와 수직축 슬라이드가 각각 로봇에 부착된다[6].

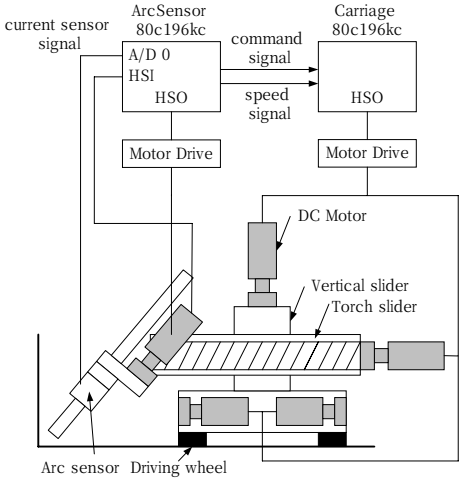

Fig. 3 Block diagram of automatic filet mobile robot

3. 신호처리 및 용접선 추적 알고리즘

3. 1 신호처리 (소프트웨어 필터)

V형 그루브에 토치가 회전을 하고 있을 경우

토치의 궤적은 Fig. 4와 같이 원형을 이루게 된다. 토치의 위치가 용접선에 일치할 경우 (d−1) 용접전류는 IF_{d-1}→ IL_{d-1}→ IB_{d-1} → IR_{d-1}과 같고, IL_{d-1}와 IR_{d-1}의 전류값은 일치한다. 토치의 위치가 용접선에서 좌측으로 벗어난 경우 (d) 용접전류는 IF_d→ IL_d→ IB_d→ IR_d과 같고, IL_d와 IR_d의 전류값은 토치가 용접선에서 벗어난 거리만큼의 차이를 보이게 된다.

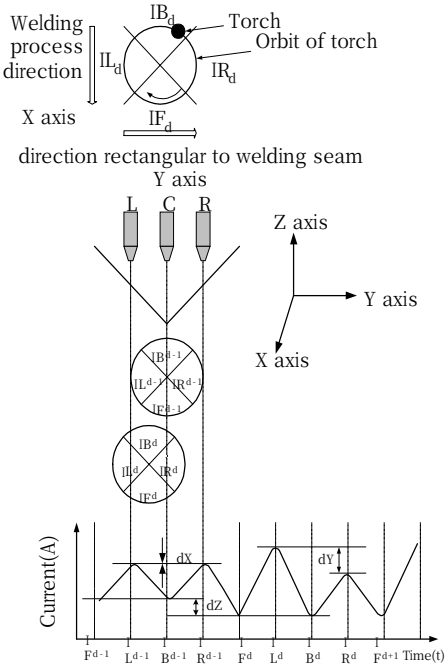

Fig. 4 Current patterns according to arc sensor positions

용접 중 발생하는 노이즈 및 외란 하에서도 정확한 용접선 추적 알고리즘의 실현을 위해서는 용접전류 신호의 신뢰도가 요구된다. 일반적으로, 이와 같은 노이즈의 영향을 제거하기 위해서 하드웨어 필터를 종종 사용하였다. 본 논문에서는 소프트웨어 필터를 마이크로프로세서로 실현하여 하드웨어의 구성을 최소화하였다. 소프트웨어 필터는 일반적인 이동평균법과 구간평균법을 사용하여 신호처리를 하였으며, 다음과 같이 나타낼 수 있다[2].

Step 1 : 일반적인 이동평균법의 적용 (저역통과필터의 효과)

i_n : n 번째의 sampling 전류값,

I_n : n 번째의 이동평균전류값,

m : 이동평균 구간의 개수

$$I_n = \frac{i_n + i_{n-1} + \cdots + i_{n-(m-1)}}{m} = \frac{\sum_{k=n-(m-1)}^{n} i_k}{m}$$

Step 2 : 구간평균법(IF, IB, IL, IR)의 적용(구간전류값의 계산)

IF : 전 구간의 전류평균값,

IB : 후 구간의 전류평균값

IL : 좌 구간의 전류평균값,

IR : 우 구간의 전류평균값

c : 1회전의 데이터 개수

(1회전당 sample 횟수, even number)

d : $\frac{n}{c}$ (전극이 회전한 횟수, 정수),

e : $\frac{c}{4}$

$$IF_d = \frac{I_{cd+1} + I_{cd+2} + \cdots + I_{cd+e}}{e}$$

$$IB_d = \frac{I_{cd+2e+1} + I_{cd+2e+2} + \cdots + I_{cd+3e}}{e}$$

$$IL_d = \frac{I_{cd+e+1} + I_{cd+e+2} + \cdots + I_{cd+2e}}{e}$$

$$IR_d = \frac{I_{cd+3e+1} + I_{cd+3e+2} + \cdots + I_{cd+4e}}{e}$$

이와 같은 소프트웨어 필터를 사용하여 토치가 용접선에서 이탈시 각 아크의 전, 후, 좌, 우의 구간 별 전류값을 비교하여 슬라이드의 이동 방향을 결정할 수 있게 하였다.

3. 2 용접선 추적 알고리즘

용접 팁이 1회전할 때 전극의 위치에 따라 전, 후, 좌, 우의 구간별 평균전류값을 구한다. 그리고, 후-전 평균전류값의 차가 양(+)인지 음(-)인지를 판단하여 수평축 슬라이드(Y축, torch slider)의 이동 방향을 결정하고, 마찬가지로 좌-우 평균전류값의 차이에 의해 수직축 슬라이드(Z축, vertical slider)의 이동방향을 결정한다. 슬라이드의 이동량은 각 구간의 평균전류값의 차이의 크기에 의해 결정하게 된다. 슬라이드의 이동량을 조절하기 위하여 Fig. 5와 같이 X의 변위를 변화시켜 팁-모재사이의 거리에 따라

얼마만큼의 전류파형이 변화를 나타내는가를 실험을 통하여 알아보았다.

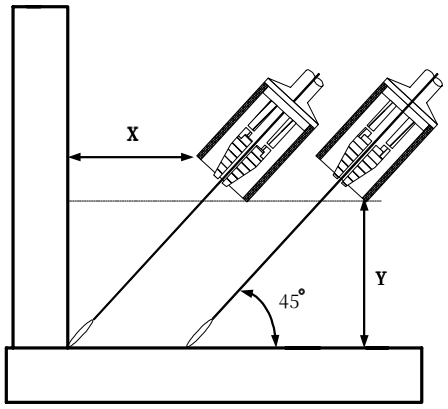

Fig. 5 Schematic diagram between torch tip and work-piece

Y는 4mm로 고정되어 있으며, X는 1mm부터 9mm까지 1mm씩 이동하며 실험을 하였다. 실험결과 전류 파형은 Fig. 6과 같다.

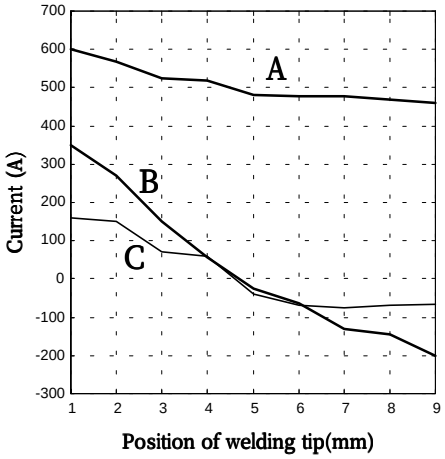

Fig. 6 Experimental result of Fig. 5

여기서, A는 토치가 200회전할 때 전체의 평균을 나타내고, B는 토지가 200회전 할 때 후-전구간의 평균이며, C는 좌-우구간의 평균이다. 용접선의 중심은 약 4.5mm이며 B와 C를 통해서 용접선 중심에서 1mm이동에 후-전구간의 전류변화는 약 100A, 좌-우구간의 전류변화는 약 50A의 변화가 발생한다는 것을 알 수가 있다. 용접선 추적은 후-전구간의 전류데이터를 이용하고 수평축 슬라이드(*Y*축, torch slider)의 방향전환의 기준값은 ± 50A로 설정한다.

4. 용접선 추적 실험 및 결과

용접전류가 초기 설정치에서 벗어날 때 용접주행로봇은 슬라이드를 조절하여 자동으로 용접선을 추적한다. 용접주행로봇은 모재의 좌에서 우로 이동한다. Fig. 7과같이 용접주행로봇의 진행방향과 모재 사이의 각이 직각이 아닌 경우의 실험결과는 Fig. 8에 나타내었다.

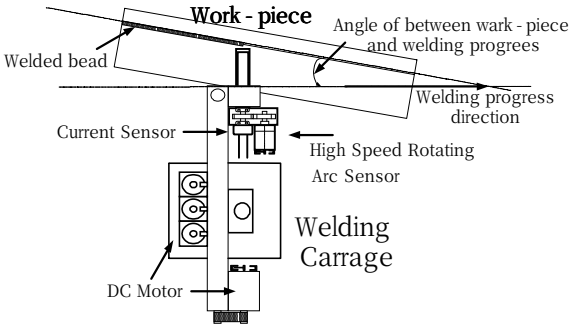

Fig. 7 Example of traveling direction

전류파형에서 굵은선은 전, 후 구간 평균값의 차이를 나타내고 가는선은 좌, 우 구간의 구간 평균값을 나타낸다.

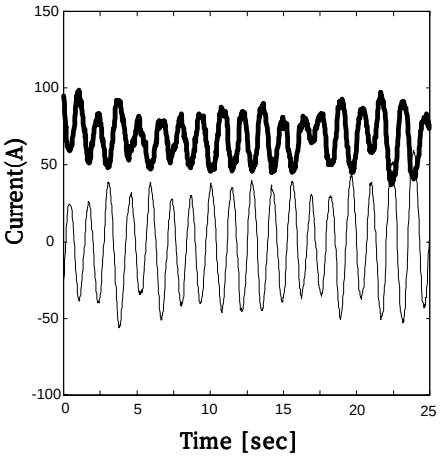

Fig. 8 Experimental result of Fig. 7

Photo. 1은 곡선의 용접선의 형태와 용접선을 추적한 용접비드를 나타내고 용접 추적 시 출력파형은 Fig. 9에서 보인다.

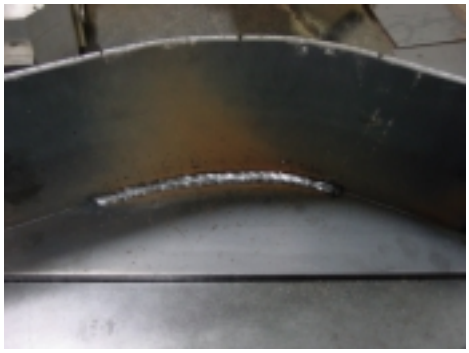

Photo. 1 The shape of work-piece

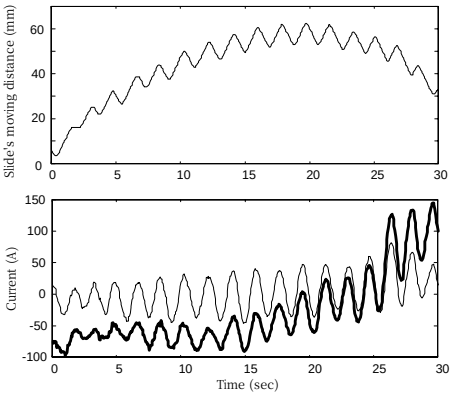

Fig. 9 Experimental result of photo. 1

다음은 150。의 각이 존재하는 면을 추적한다. Photo. 2와 Fig. 10은 모재의 형태와 출력 파형을 보인다.

Photo. 2 The shape of work-piece

격자형태 구간의 용접을 위해서 용접로봇은 제자리에서 회전을 하며 수평축 슬라이드가 용접선 따라 이동한다. 용접속도를 일정하게 유지하기 위해 본 논문에서는 격자형태 구간에 이동로봇이 진입하면 용접로봇의 회전속도가 모서리에 도착하기 전까지 서서히 속도가 감소하고, 모서리를

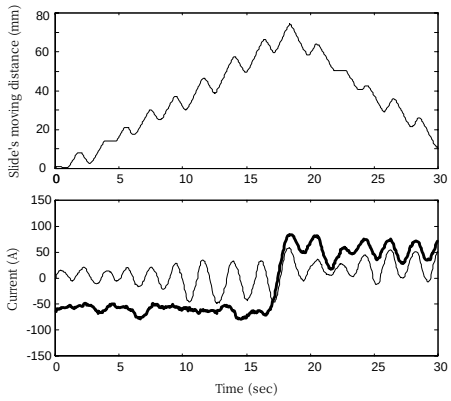

Fig. 10 Experimental result of Photo. 2

지나고 나서 반대로 서서히 속도를 증가하여 원래의 초기 용접속도를 계속 유지하도록 Fig. 11과 같이 구성하였다.

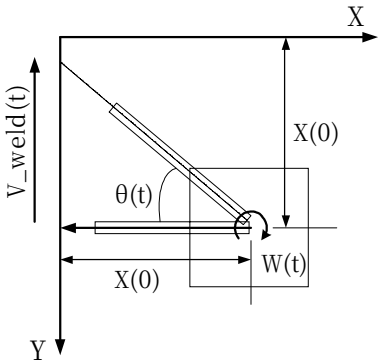

Fig. 11 Coordinate of lattice type welding

선회시의 용접속도 $v_{weld}(t)$:

$$x(t) = \frac{x(0)}{\cos\theta(t)} \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}x(t) = \frac{d}{dt}\frac{x(0)}{\cos\theta(t)} = v_{torch} \quad (2)$$

$$v_{weld}(t) = \frac{d}{dt}x(t)\cdot\sin\theta(t) + x(t)\cdot\cos\theta(t)\cdot\omega(t) \quad (3)$$

여기서,

$x(0)$: 용접와이어 끝단과 용접주행로봇의 중심까지의 거리

$x(t)$: 토치슬라이드의 위치

$v_{torch}(t)$: 토치슬라이드의 속도

$\omega(t)$: 용접주행로봇의 각속도

따라서, 선회시 용접주행로봇의 각속도와 용접속도 사이의 관계식은 아래와 같게 된다.

$$\omega(t) = \frac{1}{x(0)} \cdot \frac{v_{weld}(t)}{1+(\tan\theta(t))^2} \qquad (4)$$

식(4)에 의해 선회시 용접주행로봇의 각속도를 구할 수 있게 되어 격자형 용접구간에서 용접주행로봇을 제어하게 된다. Fig. 12은 출력파형을 보인다.

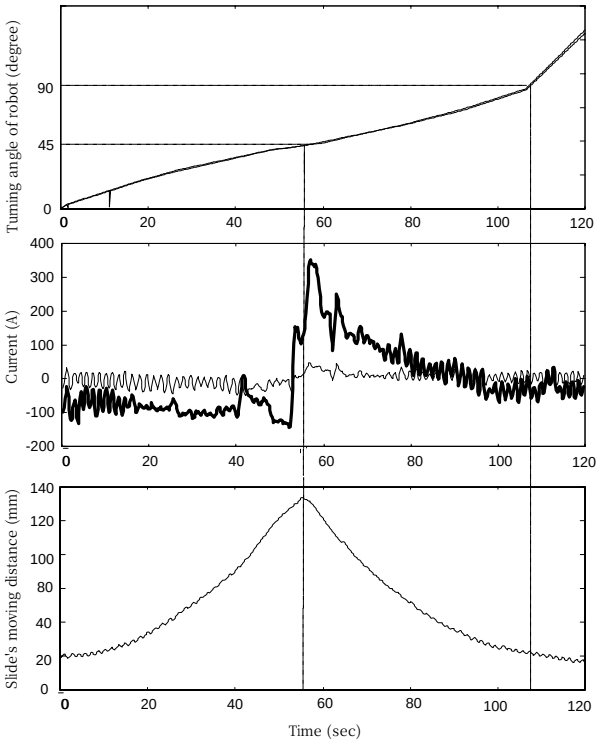

Fig. 12 Experimental result of Fig. 11

5. 결 론

본 논문에서는 마이크로프로세서를 이용한 고속회전 아크센서를 이용하여 여러 형태의 용접선 검출 및 용접선 추적을 제안하였다. 격자형 구간의 용접이 가능하도록 2개의 바퀴를 이용하여 주행과 조향이 가능한 대차형태의 용접로봇에 수평축 슬라이드와 수직축 슬라이드를 부착하여 용접선 추적이 가능하도록 하였다. 용접선의 추적을 위한 센서로서 고속회전 아크센서를 사용하였다. 직선형 구간과 격자형 구간에 대한 실제 용접실험을 통하여 제안된 용접로봇의 효과를 확인할 수 있었다.

고속회전 아크센서를 이용하여 용접선 검출을 실현하였으며 다양한 용접선 추적실험을 통하여 용접 품질을 유지하면서 빠르게 용접선을 추적할 수 있었다. 따라서 본 논문에서의 용접선 추적장치를 현장에 적용한다면 생산성의 향상은 물론, 열악한 작업 환경으로부터 작업자를 보호할 수 있게 될 것으로 기대된다.

참고문헌

(1) H. S. Moon, S. J. Na, Dec., 1992. A Study on Signal Processing Method for Welding Current in Automatic Weld Seam Tracking System. , Journal of the Korean Welding Society, Vol.10 No.4.

(2) J. Norrish, 1992 "Advanced Welding Processes", Institute of physics Publishing, Bristol, pp.152-154.

(3) K.Y. Bae, J.H. Lee, C.W. Jung, 1998. A study on the development of an arc sensor and its interface system for a welding robot , Journal of Korean Welding Society, Vol. 16, No. 3, pp. 129-140,

(4) S. K. Jeong, G. Y. Lee, W. K. Lee, S. B. Kim, 2001. Development of High Speed Rotating Arc Sensor and Seam Tracking Controller for Welding Robots , ISIE 2001, IEEE, Vol 2, pp. 845-850,

(5) W.K. Lee, G.Y. Lee, J.H. Kim, and S.B. Kim, 2001.10 "Development of Automatic Filet Welding Torch System with High Speed Rotating Arc Sensor", ICCAS 2001, Proceeding of International Conference on Control, Automation and Systems, Jeju, pp691-694,

(6) W.K. Lee, G.Y. Lee, and S.B. Kim, April, 2002"Development of High Speed Rotating Arc Sensor System", Proceedings of the 8th Conference on Science and Technology, Control & Automation, Vietnam National University, HCM City, pp139-144,