

# 고속회전 아크센서 개발 및 그 응용에 관한 연구

## A Study on Development of High Speed Rotating Arc Sensor and Its Application

이근유 · 이원기 · 정상권 · 김상봉 · 오명석

G. Y. Lee, W. K. Lee, S. K. Jeong, S. B. Kim and M. S. Oh

**Key Words** : GMA(가스 메탈 아크), Arc Sensor(아크센서), Welding(용접), Microprocessor(마이크로프로세서)

**Abstract** : This paper presents a seam tracking controller of high speed rotating arc sensor developed by microprocessor based system. The seam tracking algorithm is based on the average current value at each interval region of four phase points on one rotating cycle. To remove the noise effect for the measured current, the area during one rotating cycle is separated into four regions of front, rear, left and right. The average values at each region are calculated, using the regional current values and a low pass filter incorporating the moving average and exponential smoothing methods is adopted. The effectiveness is proven through the experimental results for several kinds of welding condition.

### 1. 서 론

용접 공정은 조선분야에서 조립 공정의 핵심 기술이다. 그러나 용접 중 발생하는 유해가스, 아크광, 소음, 분진, 흙 등으로 인해 작업환경은 매우 열악하다. 특히, 수용접시 작업자의 기능에 용접품질이 의존되기 때문에 안정된 품질관리와 생산성 향상에 한계가 있다. 이러한 요인으로 인해 용접 공정은 숙련공의 부족은 물론 생산성의 저하 그리고 지속적이고 안정적인 품질관리가 곤란한 생산 공정으로 뽑히고 있으므로 용접자동화는 필요 불가결한 과제이다. 최근에는 용접공정의 합리화와 자동화를 실현하기 위해, 고속으로 데이터를 획득할 수 있는 장비들을 이용하여 용접현상에 관한 연구와 용접공정의 자동화 및 무인화에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있으며 실제 용접 현장에 적용되고 있다. 또한, 아크용접공정의 자동화에 있어서 용접선의 자동추적은 필수적인 기능이므로 용접선 추적용 센서의 개발 및 적용에 관한 연구가 최근 활발하게 진행되고 있다<sup>2,4,5)</sup>.

아크센서는 용접공정을 수행하면서 용접팁과 모재간의 거리가 변화할 때의 용접전압 또는 용접전

류의 변화를 이용하여 용접선을 추적하는 센서이다. 다른 센서와 달리 아크센서의 경우 용접토치에 부착되는 별도의 감지장치가 요구되지 않고, 스모그나 아크광(光), 스펙터와 무관하게 용접선을 추적할 수 있으며, 신호의 측정 위치와 용접 위치가 동일하다는 장점이 있다. 따라서 아크센서의 적용범위의 확대와 용접선 추적 정밀도를 개선하는 새로운 알고리즘들이 개발되고 있다<sup>1,3)</sup>.

최근 개발되고 있는 아크센서들은 용접 그루브 내에서 토치의 위빙에 따른 아크신호의 변화량을 이용하므로 위빙이 불필요한 박판 금속의 용접이나 겹치기 용접 등에는 적용이 곤란하다. 또한 예리한 코너부분이나 회전부에서 적용이 어려우며, 전기적인 노이즈의 영향으로 아크센서의 정밀도가 낮아지기 쉬우며 용접조건에 따라 아크신호의 특성이 변화하는 단점있다. 따라서, 접합부의 형태, 용접물의 두께, 금속이행의 종류 등에 의해 그 적용범위가 제한되고 있다. 따라서, 다양한 접합부와 용접조건에 적용 가능한 용접선 추적 장치의 개발이 요구된다<sup>3-5)</sup>.

본 논문에서는 마이크로프로세서를 이용한 고속회전 아크센서를 개발하였다. 위빙형태의 아크센서가 아닌 중심축에 대해 고속으로 회전할 수 있는 구조를 가진 회전형 아크센서를 구성하였다. 용접 중심선에 대해 편심을 가진 토치 팁의 회전

---

접수일 : 2002년 6월 17일  
 이근유, 이원기, 정상권 : 부경대학교 대학원  
 김상봉, 오명석 : 부경대학교 기계공학부

에 의해 용접선의 추적이 가능하게 되었다. 용접에 의한 전기적 노이즈의 영향을 제거하기 위해 마이크로프로세서에 의한 소프트웨어 필터가 측정된 용접전류에 적용되었다. 따라서 보다 정밀한 용접선 추적이 가능하게 되었다. 용접선 추적 알고리즘은 용접팁이 1회전할 때의 용접전류를 네 구간으로 나누어 각 구간의 평균전류값에 의해 용접선을 추적한다. 또한, 개발된 고속회전 아크센서의 현장실험을 통해 유효성을 검증하였다.

## 2. 아크센서 및 용접선 추적 제어기

### 2.1 고속회전 아크센서의 구성

종래의 워빙을 이용한 아크센서의 경우 항상 워빙이 필요하고, 기계적인 한계에 의해 1~10Hz 이상의 워빙주파수를 가질 수 없기 때문에 용접 진행 속도가 느리다. 또한 코너부이나 회전부에 적용이 어려우며, 박판용접이나 겹치기 용접 등에도 적용이 어려운 문제점이 있었다<sup>3-5)</sup>.

이러한 워빙 아크센서의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 Fig. 1과 같이 용접 팁과 용접바디 사이를 기어로 연결시켜 모터를 이용하여 회전시키고, 용접 팁은 중심축에 대해 편심을 가지도록 가공하여 3000rpm 이상의 회전속도를 가질 수 있는 고속회전 아크센서를 제작하였다. 고속회전 아크센서는 전극을 고속으로 회전시키므로 원심력의 영향으로 용융속도가 커져서 기존의 용접

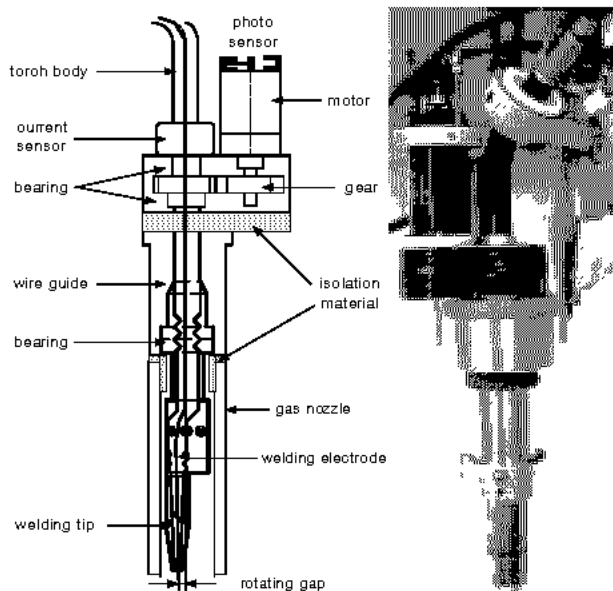


Fig. 1 Schematic diagram of high speed rotating arc sensor



Photo. 1 Developed rotary encoder

에 비해 용접속도가 빨라진다. 따라서 용접작업 시간이 단축될 뿐만 아니라 필렛 용접에서 효율을 높일 수 있고 내로우 갭(narrow gap) 용접 등에도 이용될 수 있다. 또한, 팁-모재간의 거리 차에 따라 용접전류차가 커서 센서로서의 정밀도와 응답성이 높아지고, 작은 용입깊이와 균질한 비드를 가지게 되어 용접품질의 향상이 기대되며 박판용접이나 겹치기 용접에도 이용이 가능하다.

본 논문에서는 용접선상에서 토치 팁의 회전 위치를 측정하기 위해서 Photo. 1과 같이 1개의 홀을 가지는 원형판과 4개의 포토 다이오드(photo diode)를 사용하여 회전 엔코더(rotary encoder)를 만들었다. 4개의 포토 다이오드로부터 감지된 신호들은 마이크로프로세서로 입력된다. 각각의 분리된 회전위치들과 각각의 위치는 용접팁 위치와 원형판의 홀 위치 사이에 서로 대응되도록 구성되어 있다.

### 2.2 용접선 추적 제어기의 구성

본 논문에서 개발된 고속회전 아크센서와 용접선 추적 실험을 위한 필렛용접로봇의 구성을 Fig. 2에 나타내었다. 용접로봇은 주행과 조향을 위해 2개의 바퀴를 가지며 각각의 바퀴는 DC모터에 의해 구동된다. 또한, 용접선 추적을 위해 수평축 슬라이드와 수직축 슬라이드가 각각 로봇에 부착된다.

필렛용접로봇의 제어는 고속회전 아크센서를 위한 마이크로프로세서와 로봇의 주행과 슬라이드의 제어를 위한 마이크로프로세서에 의해 이루어진다. 고속회전 아크센서부의 마이크로프로세서는 용접팁의 회전을 위한 모터의 속도를 제어하고, 전류센서로부터 용접전류를 10-bit의 A/D 컨버터를 이용하여 검출한다. 또한, 용접구간의 구분을 위해 회전 엔코더의 입력을 받아 용접선 추적 신호를 로봇본체부의 마이크로프로세서로 출력한다. 고속회전 아크센서의 회전 속도는 3000rpm이며, 용접전류의 샘플링 시간은 0.2ms로 용접팁의 1회전당 100번의 검출을 실행한다.

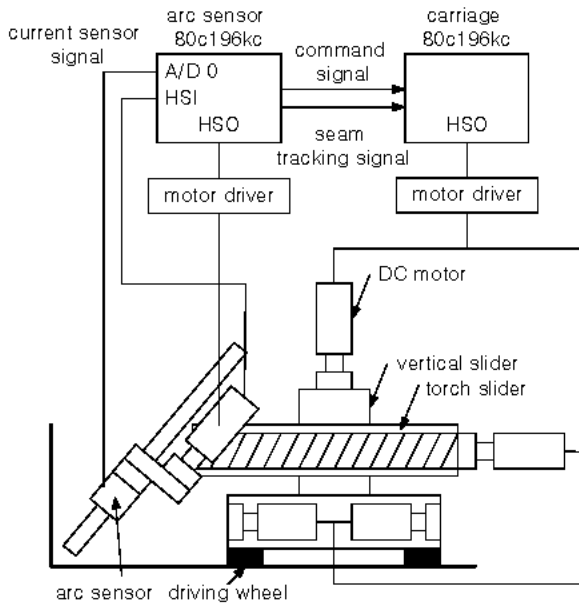


Fig. 2 Block diagram of seam tracking controller and fillet welding mobile robot

로봇본체부의 마이크로프로세서는 주행바퀴와 슬라이드에 이용되는 4개의 DC모터를 제어하며 고속회전 아크센서의 신호를 받아 용접팁이 용접선을 추적할 수 있도록 로봇의 자세 및 슬라이드를 제어한다.

### 3. 용접신호처리 및 용접선 추적 알고리즘

#### 3.1 소프트웨어 필터를 이용한 용접신호처리

용접 중 발생하는 노이즈 및 외란 하에서도 정확한 용접선 추적 알고리즘의 실현을 위해서는 용접전류 신호의 신뢰도가 요구된다. 본 논문에서는 소프트웨어 필터를 마이크로프로세서에 의해 실현하여 신뢰성 있는 용접전류 신호를 얻었다. 소프트웨어 필터는 이동평균법과 지수평활법으로 구성된다.

Fig. 3은 용접선상에 아크센서의 위치에 따른 전류의 형태를 나타낸다. 용접팁의 1회전시 용접구간은 90°위상차를 가진 4구간( $IF$ ,  $IB$ ,  $IL$ ,  $IR$ )으로 나누어진다. 한 구간은 용접진행의 전진 방향에서 전( $IF$ ), 후( $IB$ ), 좌( $IL$ ), 우( $IR$ ) 중에서 한 점 주위의 방사형태의 구역으로 정의되며, 고속회전 아크센서에 부착된 회전 엔코더에 의해 구분된다. Fig. 3의 전류파형은 용접팁이 용접선의 중심에 위치할 때와 중심에서 벗어난 경우에 대해 각 구간들의 전류가 변화함을 보이고 있다.

본 논문에서는 용접선에 대한 용접팁의 위치에

따라 Fig. 3과 같은 상대적인 전류변화가 생기는 것을 이용하여 용접선을 추적하는 알고리즘을 구성하였다.

V형 그루브에 토치가 회전을 하고 있을 경우 토치의 궤적은 Fig. 3과 같이 원형을 이루게 된다. 토치의 위치가 용접선에 일치할 경우( $d-1$ ) 용접전류는  $IF_{d-1} \rightarrow IL_{d-1} \rightarrow IB_{d-1} \rightarrow IR_{d-1}$ 과 같고,  $IL_{d-1}$ 와  $IR_{d-1}$ 의 전류값은 일치한다. 토치의 위치가 용접선에서 좌측으로 벗어난 경우( $d$ ) 용접전류는  $IF_d \rightarrow IL_d \rightarrow IB_d \rightarrow IR_d$ 과 같고,  $IL_d$ 와  $IR_d$ 의 전류값은 토치가 용접선에서 벗어난 거리만큼의 차이를 보이게 된다.

실제의 용접전류의 경우 노이즈 및 외란을 많이 포함한 경우이므로 Fig. 3과 같이 용접토치의 궤적을 4등분하여 각 구간에서의 평균전류를 구하여 구간전류값으로 취하였다. 토치가 3000rpm으로 회전할 경우 1회전당 소요되는 시간은 20ms이다. 마이크로프로세서에서 용접전류를 샘플링하는 시간을 200 $\mu$ s로 설정하여 토치의 1회전당 100개의 용접전류가 측정되어 소프트웨어 필터에 이용되도록 하였다.

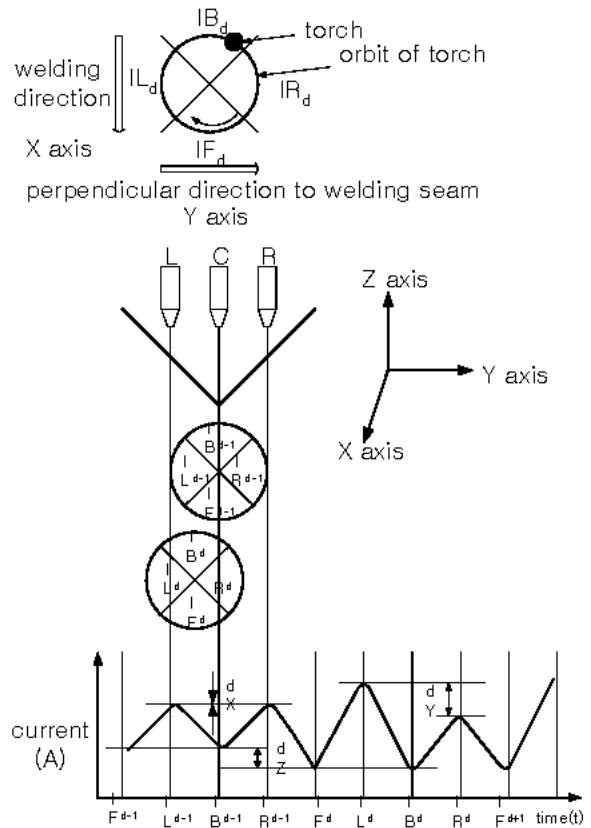


Fig. 3 Current patterns according to arc sensor positions

본 논문에서 구성된 소프트웨어 필터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

**Step 1 :** 이동평균법의 적용

$i_n$  :  $n$  번째의 sampling 전류값

$I_n$  :  $n$  번째의 이동평균전류값

$m$  : 이동평균 구간의 개수

$$I_n = \frac{i_n + i_{n-1} + \dots + i_{n-(m-1)}}{m}$$

$$= \frac{\sum_{k=n-(m-1)}^n i_k}{m}$$

**Step 2 :** 구간전류값의 계산

$IF, IB, IL, IR$  : 전, 후, 좌, 우구간의 전류평균값

$c$  : 용접팁 1회전당 데이터 개수(even number)

$d$  :  $\frac{m}{c}$  (용접팁이 회전한 횟수, 정수),  $e$  :  $\frac{c}{4}$

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

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

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

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

**Step 3 :** 지수평활법의 적용

$F$  :  $IF$ 의 지수평균값,  $B$  :  $IB$ 의 지수평균값

$L$  :  $IL$ 의 지수평균값,  $R$  :  $IR$ 의 지수평균값

$\sigma$  : 가중치 ( $\sigma < 1$ ),  $t$  : 지수평활구간의 개수

$$L_d = \sigma IL_d + (1 - \sigma)L_{d-1}$$

$$= \sigma IL_d + \sigma(1 - \sigma)IL_{d-1} + \sigma(1 - \sigma)^2IL_{d-2}$$

$$+ \dots + \sigma(1 - \sigma)^tIL_{d-t}$$

$$R_d = \sigma IR_d + (1 - \sigma)R_{d-1}$$

$$= \sigma IR_d + \sigma(1 - \sigma)IR_{d-1} + \sigma(1 - \sigma)^2IR_{d-2}$$

$$+ \dots + \sigma(1 - \sigma)^tIR_{d-t}$$

$$F_d = \sigma IF_d + (1 - \sigma)F_{d-1}$$

$$= \sigma IF_d + \sigma(1 - \sigma)IF_{d-1} + \sigma(1 - \sigma)^2IF_{d-2}$$

$$+ \dots + \sigma(1 - \sigma)^tIF_{d-t}$$

$$B_d = \sigma IB_d + (1 - \sigma)B_{d-1}$$

$$= \sigma IB_d + \sigma(1 - \sigma)IB_{d-1} + \sigma(1 - \sigma)^2IB_{d-2}$$

$$+ \dots + \sigma(1 - \sigma)^tIB_{d-t}$$

고속회전 아크센서에 의해 측정된 전류데이터에 소프트웨어 필터를 적용한 결과를 각각 Fig. 4~7에 나타내었다.

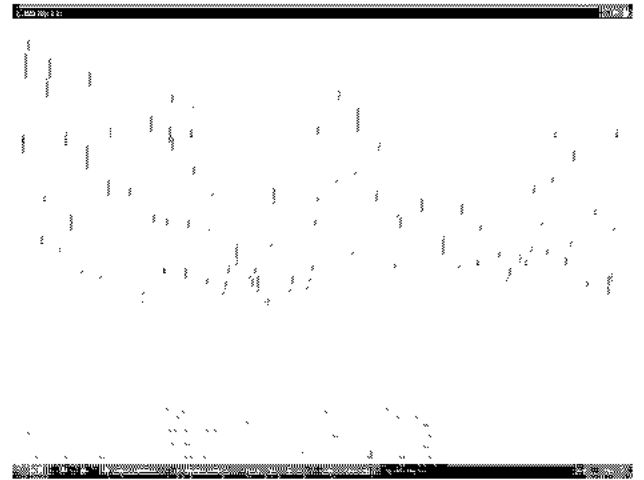


Fig. 4 Current data of rotating arc sensor

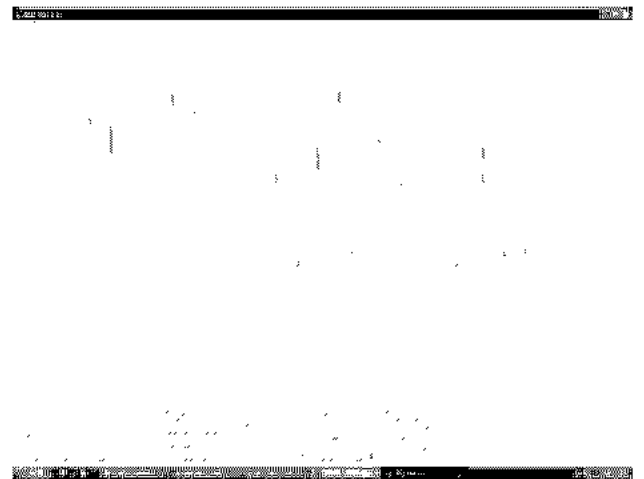


Fig. 5 Result of moving average method(Step 1)

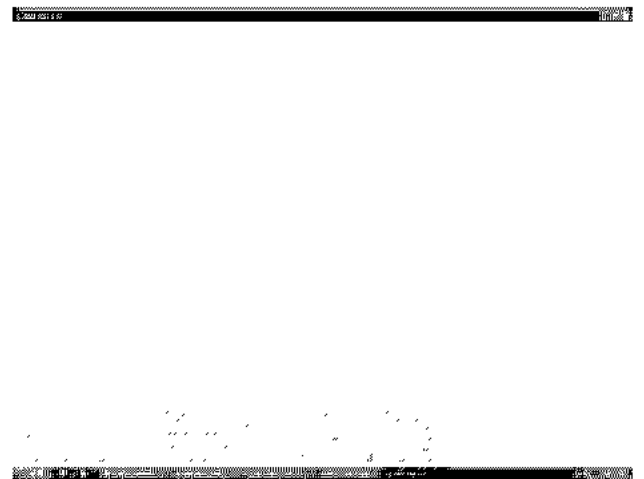


Fig. 6 Result of area average calculation (Step 2)

3.2 용접선 추적 알고리즘

본 논문에서 제안된 용접선 추적 알고리즘은 아래와 같다. Fig. 3과 같이 용접팁이 1회전할 때 전극의 위치에 따라 전, 후, 좌, 우의 구간별 평균 전류값을 구한다. 그리고, 좌-우 평균전류값의 차가 양(+)인지 음(-)인지를 판단하여 수평축 슬라이드(*Y*축, torch slider)의 이동 방향을 결정하고, 마찬가지로 전-후 평균전류값의 차이에 의해 수직축 슬라이드(*Z*축, vertical slider)의 이동방향을 결정한다. 슬라이드의 이동량은 각 평균전류값의 차이의 크기에 의해 결정하게 된다. Fig. 8에 전-후, 좌-우 평균전류값의 차이를 보인다.

이상과 같이 소프트웨어 필터를 사용하여 토치가 용접선에서 이탈시 전, 후, 좌, 우의 위치 별 평균전류값을 비교하여 슬라이드의 이동 방향을 결정할 수 있고, 용접 접합부의 형태 및 용접 조건의 변화에 민감하지 않은 새로운 용접선 추적 알고리즘을 개발하였다.

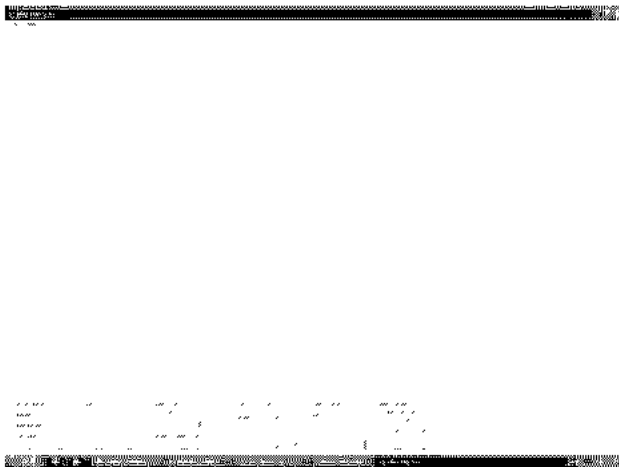


Fig. 7 Result of exponential method(Step 3)

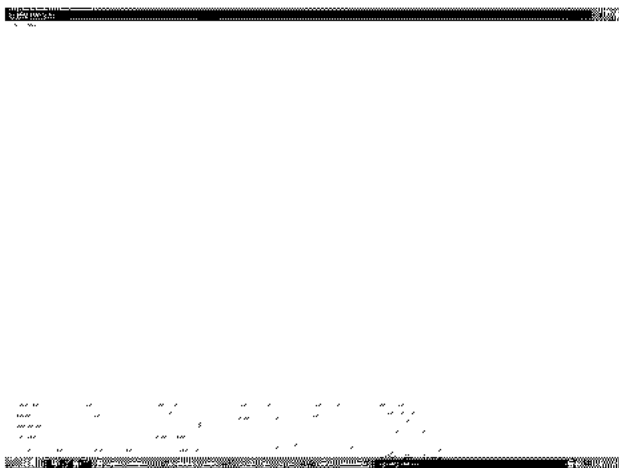


Fig. 8 Difference of area average

4. 실험 결과

용접주행로봇의 사용환경이 수평 펠렛용접임을 상정하고 Fig. 9와 같이 고속회전 아크센서의 용접팁이 위치하도록 용접주행로봇을 설치하였다.

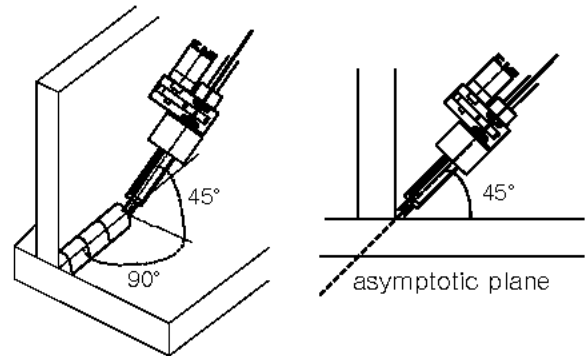


Fig. 9 Welding position of arc sensor

본 논문의 실험에서 사용된 조건은 Table. 1과 같다.

Table. 1 Welding condition

welding current	200A
arc voltage	25V
distance between tip and work-piece	20~25mm
welding speed	70cm/s
shield gas	CO <sub>2</sub> gas
electrode wire	Φ1.4mm solid wire
base metal	mild steel
thickness of base metal	6mm
tip rotating speed	3000rpm

Fig. 10에 용접토치의 위치가 용접선에 일치할 경우의 구간전류값과 용접비드를 나타내고 있다.

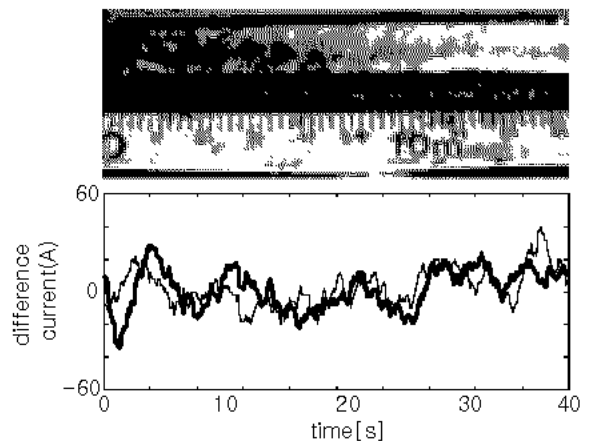


Fig. 10 Experimental result 1

용접팁이 용접선에서 좌-우로 4mm의 오차를 가지고 벗어날 경우의 실험결과를 Fig. 11과 Fig. 12에 각각 나타내었다.

Fig. 11은 용접토치의 위치가 용접선에서 우측으로 이동한 경우의 구간전류값의 변화와 용접비드를 나타낸다. 용접토치가 용접선에서 이동되는 순간부터 좌-우 구간전류값이 -100A 정도로 변화하는 것을 알 수 있다.

용접토치의 위치가 용접선에서 좌측으로 이동한 경우의 구간전류값의 변화와 용접비드를 Fig. 12에 나타내었다. 용접토치가 용접선에서 이동한 순간 좌-우 구간전류값이 +100A 정도로 변화하는 것을 알 수 있다.

위와 같은 결과에 의해 고속회전 아크센서의 용접토치가 용접선에서 벗어나는 경우 좌-우 구간전류값에 의해 용접선을 정확히 추적할 수 있게 된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 용접팁의 회전에 의해 용접선 추적이 가능한 고속회전 아크센서가 개발되었다. 용접 중심선에 대해 편심을 가진 토치 팁은 50Hz로 회전할 수 있으며 박판 용접이나 겹치기 용접 등에도 적용이 가능하게 되었다. 측정된 용접전류에 대해서 마이크로프로세서를 이용한 소프트웨어 필터를 통해 보다 정밀한 용접선 추적을 실현하였다. 용접선 추적 알고리즘은 용접팁이 1회전 할 때의 용접전류를 네 구간으로 나누어 각 구간의 평균전류값의 차이에 의해 용접선을 추적하였다. 또한 실험을 통하여 고속회전 아크센서의 유효성이 검증되었다.

## 후 기

This work was supported by the Brain Korea 21 Project in 2002.

## 참 고 문 헌

1. H. Nomura, et al., "The Development of Automatic Seam Tracking with Arc Sensor", Nippon Kokan Technical Report, Overseas, No. 37, pp.44~50, 1983
2. J. Hanright, "Robotic Arc Welding under Adaptive Control-A Survey of Current Technology", Welding Journal, pp.19~24, 1986
3. 허장욱, 김재웅, 나석주, 이승영, "혼합가스 GMA 용접에서 아크신호를 이용한 용접선 추적에 관한 연구", Journal of the Korean Welding Society, Vol. 8, No. 1, pp.23~30, 1990
4. 문형순, 나석주, "용접선 자동추적시 용접전류 신호처리 기법에 관한 연구", Journal of the Korean Welding Society, Vol. 16, No. 3, pp. 230~238, 1998
5. 배강열, 이지형, 정창욱, "용접로봇을 위한 아크 센서 및 인터페이스 시스템 개발에 관한 연구", Journal of Korean Welding Society, Vol. 16, No. 3, pp.257~268, 1998

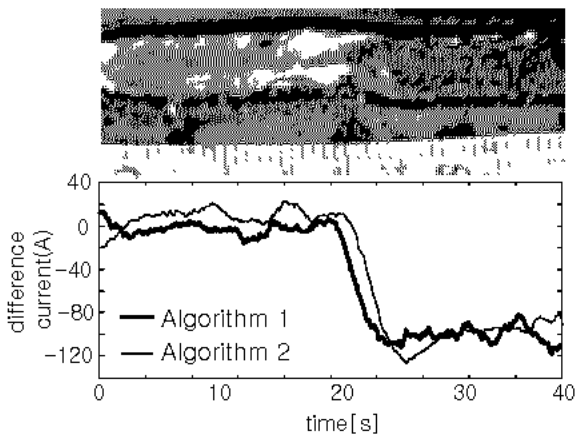


Fig. 11 Experimental result 2

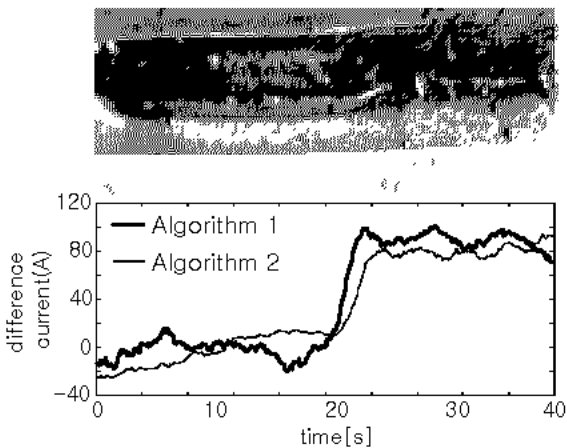


Fig. 12 Experimental result 3