

## 고속 회전 아크센서 개발 및 그 응용에 관한 연구

정상권\*, 이근유\*, 이원기\*, 김상봉\*\*

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

Sang-Kwun Jeong, Gun-You Lee, Won-Ki Lee, and Sang-Bong Kim

Key Words : GMA(가스 메탈 아크).

## Abstract

The 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.

## 1. 서 론

최근 전자기술의 급속한 발전과 아울러 용접공정의 자동화 및 제어기술 또한 발전을 거듭하고 있다. 각종 센서들과 제어용 소프트웨어, 산업용 로봇 및 자동화 장치들이 지속적으로 개발되고 있다. 그 중 용접선의 자동추적은 아크용접공정의 자동화에 있어서 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 여러 가지 용접선 추적용 센서의 개발 및 적용에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 아크센서는 용접공정중 팁-모재간의 거리차가 변할 때 전압 또는 전류신호의 변화를 이용하여 용접선을 추적한다. 용접토치에 부착되는 별도의 감지장치가 필요 없고 주유능이 아크의 특성을 이용하는 소프트웨어로 이루어져 제작비가 저렴하다. 스모그나 아크광, 스파터와 무관하게 용접선을 추적할 수 있고 신호의 측정 위치와 용접위치가 동일하다는 장점이 있어, 적용범위의 확대와 용접선 추적 정밀도를 개선하는 새로운 알고리즘들이 개발되고 있다. 그러나 지금까지 제시된 아크센서 알고리즘들은 용접 그루브 내에서 토치의 위빙에 따른 아크신호의 변화량을 이용하므로 위빙이 필요 없는 박판 급속의 용접이나 겹치기용접 등에는 적용이 곤란 하다. 또한 예리한 코너부분이나 회전부에서 적용이 어려우며, 전기적인 노이즈의 영향으로 아크센서의 정밀도가 낮아지기 쉬우며 용접조건에 따라 아크신호의 특성이 변한다는 단점이 있어, 현장적용에 어려움이 따르고

있다. 전통적인 아크센서의 알고리즘에는 그루브 양단의 평균 전류값을 얻어 토치 팁의 전류를 결정하는 알고리즘[1,5] 커브 필터(curve fitting)를 사용하는 알고리즘[2] 그리고 뉴로 네트워크(neural network)를 기초로 한 알고리즘들이 있다[3].

결국 접합부(weld joint)의 형태, 용접물의 두께, 급속이행의 종류 등에 의해 그 적용 범위가 제한되고 있다. 따라서 다양한 접합부와 다양한 용접조건에 적용 가능한 용접선 추적 알고리즘의 개발이 요구된다. 특히 박판 용접을 위한 용접조건에서의 급속이행은 용접 전류의 변동이 매우 큰 단락이행(short circuit metal transfer)을 나타내므로 용접전류의 모델링을 통한 방법에 의해서 용접선을 추적하는 것에는 어려움이 따른다[4,5-7].

이 논문은 마이크로프로세서를 기반으로 한 시스템에 의해서 개발된 고속 회전 아크센서의 용접선 추적제어기를 보여준다. 본 아크센서는 DC 모터를 사용하여 3000rpm으로 회전한다. 그리고 토치 팁의 회전 형태는 용접 토치 바디와 와이어 가이드 사이에 기어로 구성되어 있다. 와이어 가이드와 연결된 팁은 중심선에서 편심되어 위치해 있다. 정밀한 용접선 추적 알고리즘을 실현하기 위해서 이동평균법과 지수평활법을 함께 사용하는 소프트웨어 필터가 용접전류에 적용된다. 그 용접선 추적 알고리즘은 용접 팁이 1 회전할 때 네 구역으로 나누어져 각 평균전류값을 기초로 하여 용접선을 추적한다. 용접선 진행 방향에 대해 왼쪽과 오른쪽의 평균전류들의 차를 계산한 후에 용접선의 방향을 결정한다. 그리고 앞 과 뒤의 과거평균전류들과 현재평균전류들사이의 차를 계산한 후 용접선에 수직인 방향을 결정한다. 그 효과들은 몇 가지의 실험을 통해서 증명된다.

\*부경대학교 대학원 매킨트론스 공학과

\*\* 부경대학교 기계공학부

## 2. 아크센서 및 용접선 추적 제어기

### 2.1 고속 회전 아크센서

종래의 위빙을 이용한 아크센서의 경우 항상 위빙이 필요하고, 기계적인 한계에 의해 1~10 Hz 이상의 위빙주파수를 가질 수 없기 때문에 용접 주행 속도가 느리다. 또한 코너부이나 회전부에서 적용이 어려우며, 박판용접이나 겹치기 용접 등에도 적용이 어려운 문제점이 있었다[8].

본 논문에서는 위빙 아크센서의 문제점을 해결하기 위해 Fig.1 과 같이 와이어 가이드와 용접바디 사이를 기어로 연결시켜 케이블에 연결된 모터를 이용하여 회전시키고, 와이어 가이드에 연결된 용접팁은 중심축에 대해 편심을 가지도록 가공하여 3000rpm 이상으로 회전이 가능한 일명 「고속회전아크센서」 장치를 개발하였다. 특히 모터의 동력전달방법으로 케이블을 사용함으로써 기존의 고속회전 아크센서에 비해 부피를 매우 작게 만들 수 있다.

고속회전 아크센서는 전극을 고속으로 회전시키므로 원심력의 영향으로 용융속도가 커져서 기존의 아크센서에 비해 용접속도가 빠르게 된다. 따라서 용접작업 시간이 단축될 뿐만 아니라 필렛 용접에서 효율을 높일 수 있고 협소한 갭(gap)영역 용접 등에도 이용될 수 있다. 또한, 텀-모체간의 거리 차에 따라 용접전류차가 커서 센서로서의 정밀도와 응답성이 높아지고, 작은 용입 깊이와 균질한 비드를 가지게 되어 용접품질의 향상이 기대되며, 박판용접이나 겹치기 용접에도 이용이 가능하다. 또한 용접 공장에서 용접품질이 향상되리라 기대된다.

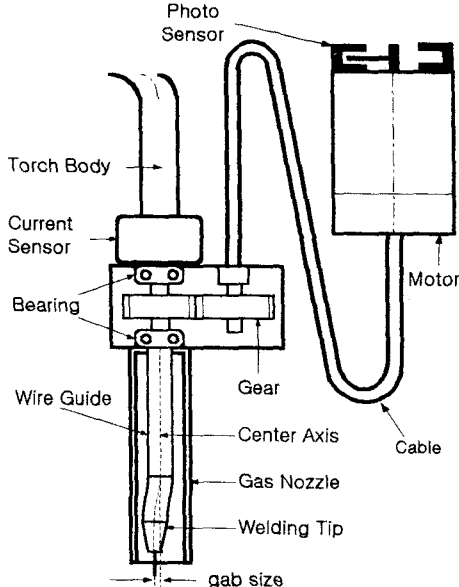


Fig. 1 Schematic diagram of high speed rotating arc sensor

### 2.2 용접선 추적 제어기

용접선 추적 제어기의 총괄적인 구성도는 Fig.2 와 같다. 그 제어기는 각 축의 슬라이드를 구동하기 위한

모터 드라이브와 용접선 추적 알고리즘을 구현한 마이크로프로세서(80c196)로 구성되었다.

DC모터를 제어하기 위해 2 개의 PWM (Pulse Width Modulation) 펄스가 마이크로프로세서의 HSO (High Speed Output) 기능에 의해 발생된다. 마이크로프로세서는 10 비트 A/D 변환기를 사용하여 전류센서의 출력 신호에 대응하는 전압값을 측정하여 디지털 값으로 바꾸고 신호처리를 행한 다음 용접선 추적 알고리즘이 실현 되도록 한다. 마이크로프로세서와 다른 장비와의 연결 관계는 Fig.3 에서 보여주고 있다. 리프트 센서들이 모터를 보호하기 위해서 슬라이드의 양쪽에 각각 붙어있다. 여기서, X 축은 용접 진행 방향이고 Y 축은 용접 진행 방향과 직각이며, Z 축은 모재의 높이 방향이다.

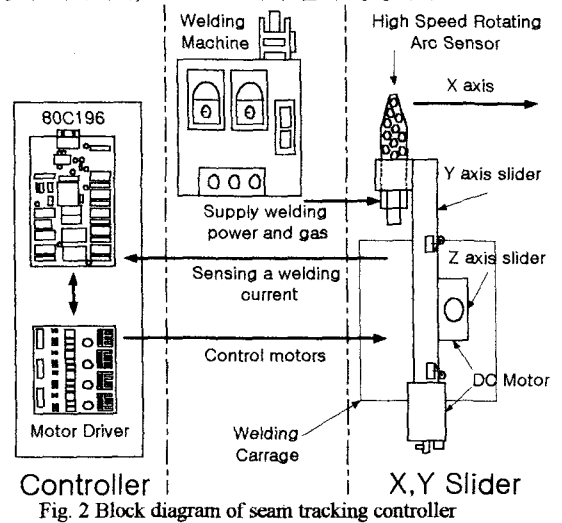


Fig. 2 Block diagram of seam tracking controller

용접선상에 토치 팁의 회전 위치를 측정하기 위해서 홀 4 개의 구멍을 가지는 원형판과 포토 다이오드(photo diode)를 사용하여 회전 엔코더(rotary encoder)를 만들었다. 4 개의 홀들로 부터 감지된 신호들은 마이크로프로세서의 HSI port로 들어간다. 4 위치로 분리된 회전 위치들과 각각의 위치는 용접팁 위치와 원형판의 홀 위치 사이에 서로 대응되도록 구성되어 있다.

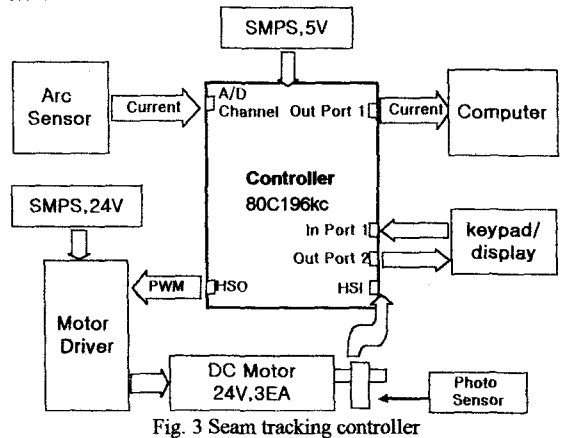


Fig. 3 Seam tracking controller

### 3. 신호 처리 및 용접선 추적 알고리즘

#### 3.1 소프트웨어 필터를 위한 신호처리

용접진행 중 발생하는 노이즈 및 외란 하에서도 정확한 용접선 추적 알고리즘의 실현을 위해서는 용접전류 신호의 신뢰도가 요구된다. 일반적으로, 노이즈의 영향을 제거하기 위해서 하드웨어 필터를 종종 사용하였다[9]. 이 논문에서는 소프트웨어 필터를 마이크로프로세서로 실현하였다. 필터 작업을 향상시키기 위해서 일반적인 이동평균법 (normal moving average method)과 지수평활법 (exponential smoothing method)을 사용하여 신호처리를 하였다.

Fig.4 는 용접선상에 아크센서의 위치들에 따른 전류 형태들을 나타낸다. Fig.4 에서 표현된 3 축들은 Fig.2 에서 보여준 것과 동일하다. 용접팁의 1 회전시 용접구간은 90° 위상차를 가진 4 구간으로 나누어진다. 한 구간은 용접진행의 전진방향에서 앞, 뒤, 왼쪽 그리고 오른쪽들 중에서 한 점 주의의 방사형태의 구역으로 정의되어진다. 4 구간들의 전류신호들을 구분하기 위해서 4 개의 홀들을 가지는 로터리 엔코더가 사용된다. 각각의 홀은 4 구간의 중심들에 상응하는 정확한 위치들에 놓여져 있다.

신호처리의 포괄적인 도식이 Fig.5 에 보여진다. 그 신호처리는 다음과 같이 나오는 3 가지의 Step에 의해 수행된다.

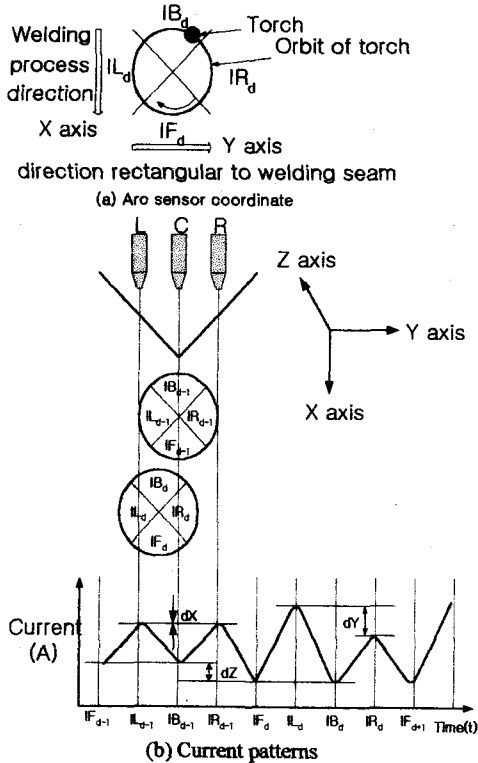
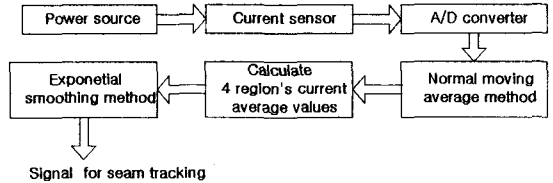


Fig. 4 Current patterns according to arc sensor positions



Signal for seam tracking

Fig. 5 Block diagram of signal processing

#### [Step 1] Calculate normal moving average values

일반적인 이동평균법은 low pass filter와 비슷한 효과를 낸다. 그 이동평균은  $m$  샘플링 시간동안 A/D 변환기에 입력된 전류값들의 평균값으로 취함으로써 얻어진다.

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

여기서,

$i_n$ :  $n$  번째의 sampling 전류값,

$I_n$ :  $k$  번째의 이동평균전류값,

$m$ : 이동평균 구간의 개수.

#### [Step 2] Calculate region average values

구간 평균값을 계산하기 위해서 [Step 1]에서 계산된 이동평균값은 아래의 4 값들로 평균화된다.

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

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

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

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

여기서,

$IF$ : 전 구간의 전류평균값,  $IB$ : 후 구간의 전류평균값,

$IL$ : 좌 구간의 전류평균값,  $IR$ : 우 구간의 전류평균값,

$c$ : 1 회전의 데이터 개수

(1 회전 당 sample 횟수, even number)

$d = n/c$ : (전극이 회전한 횟수, 정수),  $e = c/4$

#### [Step 3] Calculate exponential smoothing values

지수평활법을 사용함으로써 구간 전류값들은 아래와 같이 쓰여질 수 있다.

$$L_d = \sigma_1 IL_d + (1 - \sigma_1)L_{d-1} \\ = \sigma_1 IL_d + \sigma_1(1 - \sigma_1)IL_{d-1} + \sigma_1(1 - \sigma_1)^2 IL_{d-2} + \dots + \sigma_1(1 - \sigma_1)^t IL_{d-t}$$

$$B_d = \sigma_2 IB_d + (1 - \sigma_2)B_{d-1} \\ = \sigma_2 IB_d + \sigma_2(1 - \sigma_2)IB_{d-1} + \sigma_2(1 - \sigma_2)^2 IB_{d-2} + \dots + \sigma_2(1 - \sigma_2)^t IB_{d-t}$$

$$F_d = \sigma_3 IF_d + (1 - \sigma_3)F_{d-1} \\ = \sigma_3 IF_d + \sigma_3(1 - \sigma_3)IF_{d-1} + \sigma_3(1 - \sigma_3)^2 IF_{d-2} + \dots + \sigma_3(1 - \sigma_3)^t IF_{d-t}$$

$$R_d = \sigma_4 IR_d + (1 - \sigma_4)R_{d-1} \\ = \sigma_4 IR_d + \sigma_4(1 - \sigma_4)IR_{d-1} + \sigma_4(1 - \sigma_4)^2 IR_{d-2} + \dots + \sigma_4(1 - \sigma_4)^t IR_{d-t}$$

여기서,

$F_d$ : IF의 지수평균값,  $B_d$ : IB의 지수평균값,

$L_d$ : IL의 지수평균값,  $R_d$ : IR의 지수평균값,

$\sigma_i$ : 가중치 ( $0 < \sigma_i < 1$ ),  $t$ : 지수평활 구간의 개수

### 3.2 용접선 추적 알고리즘

종래의 아크센서를 이용한 용접선 추적은 용접토치를 강제적으로 위빙시켜 텀-모재간 거리와 전류 또는 전압신호의 관계를 모델링 함으로서 용접선을 추적하였다. 그러나 그 모델링은 용접 조건의 변화에 의해 영향을 받게 되며, 결국 접합부의 형태, 용접물의 두께, 금속이행의 종류 등의 변화에 의해 그 적용 범위가 제한적이다. 특히 박판용접과 같은 용접조건에서의 금속이행은 용접전류의 변동이 매우 큰 단락이행을 나타내므로 용접전류의 모델링을 통한 방법에 의해서 용접선을 추적하기가 매우 어려운 문제점이 있었다. 또한, 종래의 용접선 추적 알고리즘은 회전아크센서에서 측정된 전류값의 좌-우 구간의 면적값에 의해 토치의 이탈거리를 측정하므로 용접진행방향의 수직방향(이 논문에서 Z 축)의 변화를 측정하기 어려운 문제점을 가지고 있었다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 텀-모재간 거리변화에 따라 상대적인 전류변화가 생기는 것을 이용하였다. 본 논문의 용접선 추적 알고리즘은 Fig.4 와 같이 전극이 1 회전할 때 전극의 위치에 따라 전, 후, 좌, 우의 구간별 평균전류값을 구한다. 그리고 좌-우 평균전류값의 차가 양(+)인지 음(-)인지를 판단하여 Y 축 슬라이드의 이동 방향을 결정하고, 현재 전-후 평균전류값의 합과 이전 평균전류값의 합의 차가 양(+)인지 (-)인지를 판단하여 Z 축 슬라이드의 이동 방향을 결정한다. 단, Z 축 슬라이드는 Y 축 슬라이드의 이동이 없을 시(Table 1 에서  $\alpha < \Delta Y_d < \beta$  의 경우)만 적용된다. 표 1 과 표 2 에 본 알고리즘의 이동방향 결정 테이블을 나타내었다. 또한, Fig.6 에 실제 슬라이더 이동 방향 및 속도 결정 모습을 보인다.

그 알고리즘은 용접토치의 방향 결정 패턴들을 나타낸다.  $\Delta Y_d$  는 좌-우 평균전류값의 차이이고  $\Delta Z_d$  는 현재 전-후 평균값의 합과 이전 전-후 평균값의 합의 차이이다.:

$$\Delta Y_d = L_d - R_d,$$

$$\Delta Z_d = \frac{(F_d + B_d) - (F_{d-1} + B_{d-1})}{2}$$

Table 1 Control patterns of torch direction

Controlled Axes	Conditions	Direction patterns
Y	$\Delta Y_d > \beta$	Right (+)
	$\Delta Y_d < \alpha$	Left (-)
	$\alpha < \Delta Y_d < \beta$	Continue
Z	$\Delta Z_d > \gamma$	Up (+)
	$\Delta Z_d < \varepsilon$	Down (-)
	$\varepsilon < \Delta Z_d < \gamma$	Continue

$\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$  들의 값들은 개별적으로 초기 일탈 값들인  $\Delta Y_d^i$  와  $\Delta Z_d^i$  의  $\pm 5\%$  로 주어진다. 그 초기 일탈 값들은 용접 시작 버튼을 누른 후에 약 2 ~3 초 구간동안에

측정된 Y와 Z 축들에 대한 전류값들의 평균값들로 주어진다.

Table 1 에서 보여준 추적 알고리즘은 바라는 안정된 아크상태를 얻기 위한 충분한 시간 즉 1 초정도 경과 후에 적용이 시작된다. 왜냐하면 용접시작 버튼을 누르자마자 말자 높은 전류가 갑자기 흐르기 때문이다. 비록 고속 회전 아크센서가 용접선의 중심상에 정확히 놓여진다고 하더라도 왼쪽과 오른쪽의 구간들에서 측정된 전류신호들이 각각 다르다. 그래서 좋은 용접 비드를 얻기 위해서는 적당한 허용값을 결정해 주어야 한다.

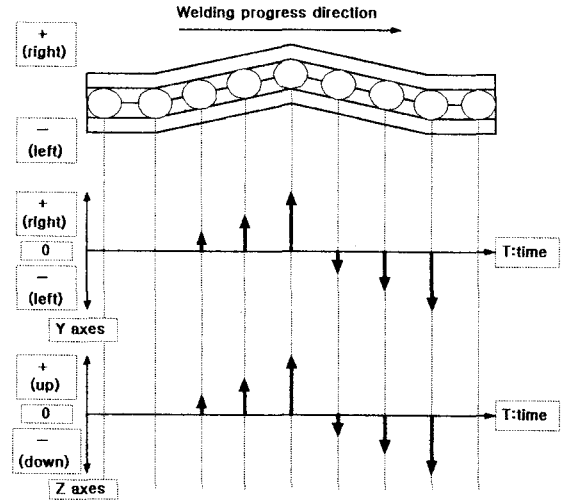


Fig. 6 Example of the seam tracking

## 4. 실험결과

Fig. 7 은 시험 장치의 구성도를 보여준다. Fig. 7 에 있는 컴퓨터는 데이터를 수집 분석하는데 사용되었다. 용접 도중에 마이크로프로세서에서 RS232 통신을 하여 컴퓨터로 전류 데이터를 넘겨주게 된다. 그리고 넘겨 받은 전류 데이터는 Visual Basic으로 짜여진 프로그램을 통해 그래프형식으로 보여지게 된다.

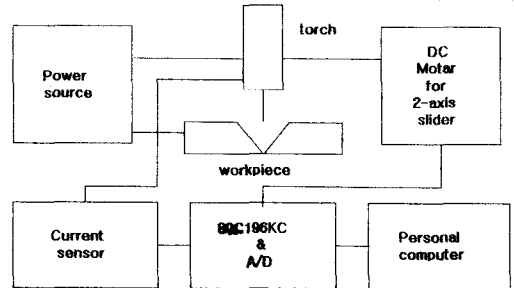


Fig. 7 Schematic diagram of experimental system

Fig. 9 는 높이 변화 없이 직선 용접을 할 때 전류파형이다. Fig. 10 은 Fig. 8 과 같이 높이 변화를 주어서 직선 용접을 할 때 전류파형이다. Fig. 11 은 Fig. 10 의 파형을 제안된 신호처리 알고리즘을 적용하여  $\Delta Y_d$  와  $\Delta Z_d$  값들을 나타내었다.

Table 2 Welding condition

Welding current (A)	200 A
Arc voltage (V)	20 V
Contact tip-workpiece distance	14 mm
Welding speed	5 mm/sec
Shielding gas	CO2 gas
Electrode wire	Φ 1.2 mm Solid wire
Base metal	Mild steel
Thickness of base metal	4.5 mm

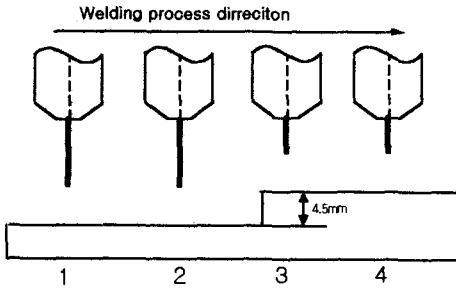


Fig. 8 Example of welding under height deviation

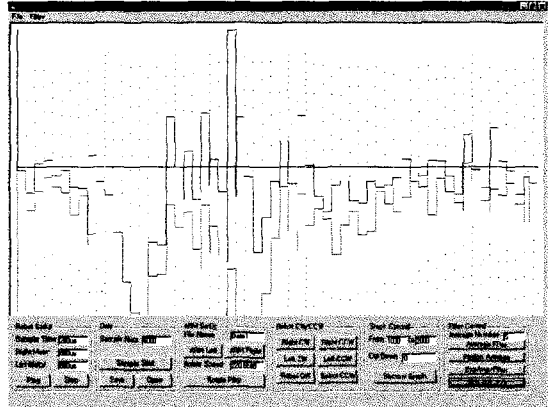


Fig. 11 data of using proposed signal processing algorithms

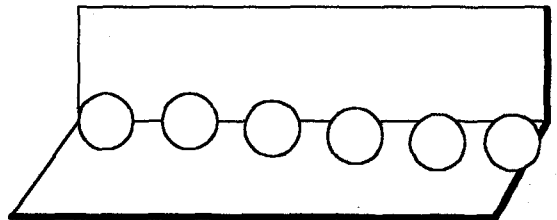


Fig. 12 Example of welding tracking with slope deviation

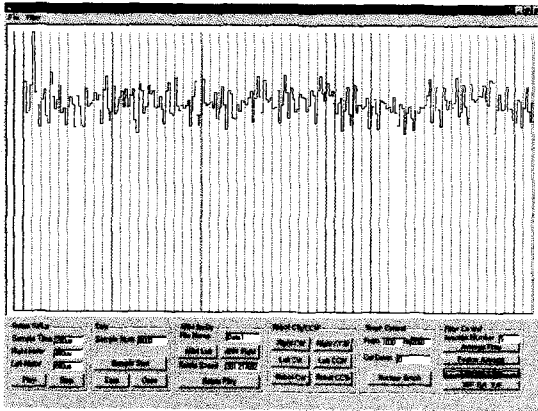


Fig. 9 No height deviation

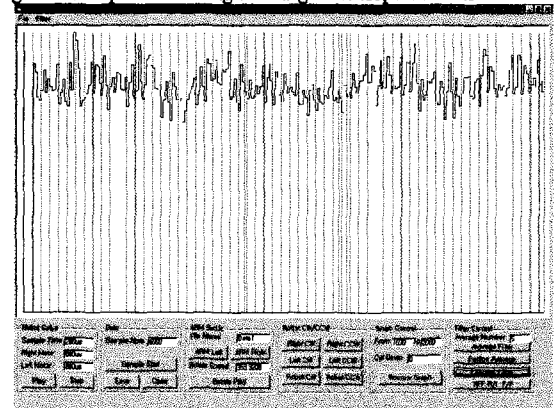


Fig. 13 No slope deviation

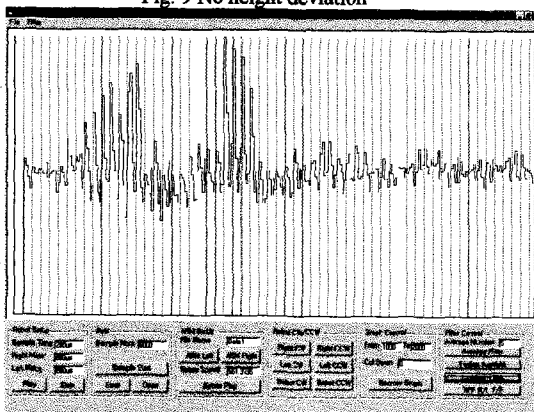


Fig. 10 Height deviation

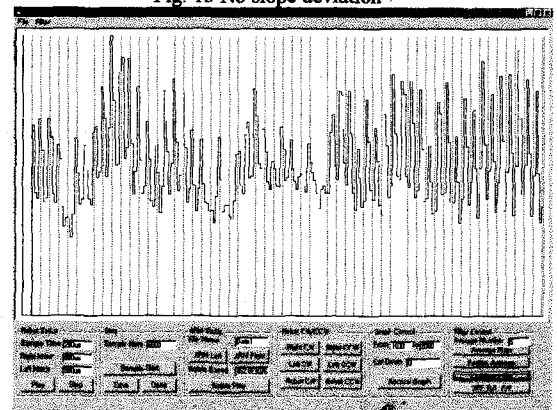


Fig. 14 Slope deviation

Fig. 13 은 필렛용접시 토치가 용접선상에 위치하면서 용접할 때 전류파형이다. Fig. 14 는 필렛용접시 토치가 용접선상에서 벗어날 때 전류파형이다. Fig. 15 는 Fig. 14 의 파형을 제한된 신호처리 알고리즘을 적용하여  $\Delta Y_d$  와  $\Delta Z_d$  값들을 나타내었다.

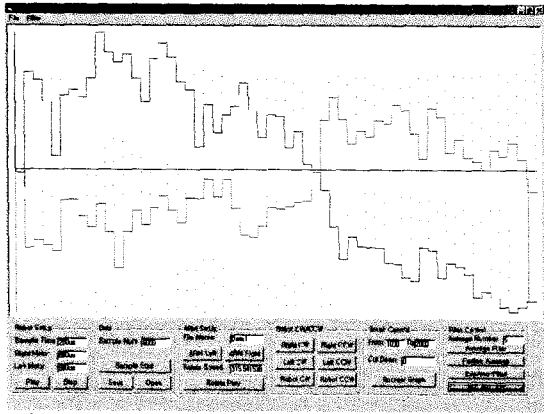


Fig. 15 data of processed signal processing algorithms

Photo. 1 은 고속회전 아크센서를 장착한 실험 장치이다. Photo. 2 는 3000rpm 회전 속도 시 용접선 추적 결과를 보여준다. 이 사진에서 모빌 로봇의 비스듬한 이동에도 불구하고 용접 비드는 일반적인 모습인 것을 알 수 있다.

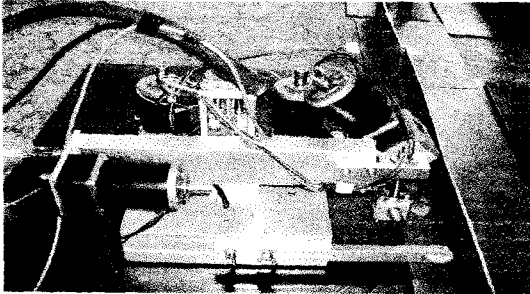


Photo. 1 Welding robot using high rotating arc sensor



Photo. 2 Seam tracking result with rotating speed of 3000rpm

## 5. 결론

(1) 토치가 좌우로 위빙하는 타입의 일반적인 아크센서는 기계적인 한계에 의해서 수백rpm 이상의 위빙속도를 가질 수 없다. 그러나 고속 회전 아크센서는 수천rpm 속도를 가질 수 있다.

(2) 고속 회전 아크센서의 반응성과 정확도는 위빙을 하는 일반적인 아크센서 보다 더 크다. 왜냐하면 틱-모재간 거리에 대한 고속 회전 아크센서의 전류변화가 위빙을 하는 일반적인 아크센서보다 더

크기 때문이다.

(3) 용접전류관계를 수학적으로 모델링을 한 용접선 추적 알고리즘은 다양한 용접 상태에서는 적용이 제한되었다. 하지만 이 논문에서의 용접선 추적 알고리즘은 다양한 용접 조건에서 적용되어 질 수 있다는 것을 알 수 있다.

## 참고문헌

- (1) 권순창, 최재성, 장영주, 안병규, 1997, "FCAW 수평 필릿용접용 용접선추적을 위한 아크센싱 알고리즘 개발", Journal of the Korean Welding Society, Vol. 15, No.2, February, pp. 21~35.
- (2) 이승영, 문형순, 나석주, 장영주, 안병규, 1993, "소모성 전극을 사용하는 아크용접 로봇을 위한 아크센서 개발에 관한 연구", Journal of the Korean Welding Society, Vol. 11, No.3, Sep..
- (3) 문형순, 나석주, 1998, "용접선 자동추적시 용접전류 신호처리 기법에 관한 연구", Journal of the Korean Welding Society, Vol.16 No.3, June., pp. 230~238.
- (4) Nomura, H., et al., 1983, "The Development of Automatic Seam Tracking with Arc Sensor", Nippon Kokan Technical Report, Overseas, No.37, pp. 44~50.
- (5) J. Hanright, 1986, "Robotic Arc Welding under Adaptive Control -A Survey of Current Technology", Welding Journal, November, pp.19~24.
- (6) 허장욱, 김재용, 나석주, 이승영, 1990, "혼합가스 GMA용접에서 아크신호를 이용한 용접선추적에 관한 연구", Journal of Korean Welding Society, Vol. 8, No. 1, Mar., pp. 23~30.
- (7) 김용재, 이세현, 엄기원, 1996, "전류 면적차를 이용한 아크 센서의 용접선 추적에 관한 연구", Journal of Korean Welding Society, Vol. 14, No. 6, December, pp. 466~474.
- (8) Prof. U. Dilthey, J. Gollnick, 1998, "Through the Arc Sensing in GMA-Welding with High Speed Rotating Torch", IEEE, 0-7803-4503-7.
- (9) 배강열, 이지형, 정창욱, 1998, "용접로봇을 위한 아크센서 및 인터페이스 시스템 개발에 관한 연구", Journal of Korean Welding Society, Vol. 16, No. 3, June, pp. 257~268.