

## ROBOT(ABB IRB2000)-용접용 SEAM TRACKER 개발에 관하여

\*장영주, 안병규, 이장기, 김민섭  
(삼성중공업 기계전자연구소)  
나석주, 이승영, 문형순  
(과학기술원 정밀공학과)

### 1. 서론

#### 1.1 연구개발의 개요

SEAM TRACKER 는 용접용 ROBOT 에 설치하여 주어진 길이만큼의 용접선을, 워빙 동작에 따르는 전류의 변화를 감지하여 자동으로 추적하여 가는 ARC SENSOR 로서, 일종의 CONTROLLER 이다. 즉 용접물을 절단, 가조립 및 용접작업을 수행하는데 있어서 열응력등 여러가지 이유로 변형이 발생되어 용접선 위치 오차를 예측할수가 없으므로 최적의 용접 작업을 할수 있는 SENSING 에 의한 용접 자동화를 추구하는 것이다.

본 연구 개발에 있어서는 SWEDEN 의 ABB 社의 6축 다관절 ROBOT 인 IRB 2000을 채택하였다.

#### 1.2 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 GMA 용접 공정에서 틱-모재간 거리의 변화에 대한 용접 전후의 변화를 수학적, 실험적으로 모델링하고 이를 이용하여 2차 CURVE FITTING 법을 사용한 용접선 추적 센서를 개발하였다.

적용 가능한 용접공정은 SOILD WIRE-CO<sub>2</sub> 용접, SOILD WIRE-MIXED GAS 용접, SOILD WIRE-Ar GAS용접, 그리고 FCW-CO<sub>2</sub> 용접이며, 적용되는 JOINT 의 형상은 V-GROOVE 의 아래 보기자세, LAP-JOINT 와 FILLET-JOINT 의 아래보기 및 수평 용접 자세이다.

#### 1.3 연구개발 결과 및 활용

ARC WELDING ROBOT 용 ARC SENSOR 를 국산화하고 ROBOT 과 SENSOR 의 INTERFACING 기술을 구비하므로써 어떤조건의 ROBOT 에도 적용할수 있는 기술적 조건을 마련하였다.

본 ARC SENSOR 는 작업성을 좋게하기 위해서 PARAMETER 入力을 최소화 하였으며, 비대칭 용접홈에 대해서도 적용할수 있는 PARAMETER 를 설정하였다.

## 2. 본론

### 2.1 개요

아크센서는 용접전류 혹은 용접전압이 팁-모재간의 거리에 비례한다는 특징을 이용한 것이다. 「4」, 「5」, 「6」. 소모성 전극을 사용하는 GMAW, FCAW 등의 공정에서는 정전압 특성을 가진 용접기를 사용하게 되며 아크발생시 팁-모재간의 거리가 가까워지면 용접전류가 커지고 거리가 멀어지면 용접전류가 감소한다. 이는 거꾸로 용접 전류를 측정하여 팁-모재간의 거리를 측정할 수 있으며 이와같은 원리를 이용하여 용접선을 추적할 수 있다. 즉, 용접토치가 용접선의 중심 주위를 위빙할때 용접전극과 용접물 사이의 용접전류를 측정하여 기준 용접전류와 비교하여 위빙방향을 조절하므로써 용접토치를 용접선 중심 주위에 머물게 하는 방법이다. 아크센서는 용접전류만 측정하면 되기 때문에 장치가 매우 간단하고 값이 싸게 구성되며 신호의 측정위치가 용접위치와 동일하다는 장점이 있다. 그러나 전극과 모재 사이의 거리변화가 감지대상이 되기때문에 반드시 토치의 위빙이 필요하므로 그루브의 단면이 작거나 기울기 변화가 완만한 박판 용접시에는 적용하기 어렵다. 또한 그 신호가 전기적인 노이즈의 영향으로 아크센서의 정밀도가 낮아지기 쉽고 용접공정, 용접기 및 용접조건의 변화에 따라 아크센서의 특성이 변한다는 단점이 있다.

본 연구에서는 우선 GMA 용접 공정에서 팁-모재간 거리 변화에 대한 용접전류의 변화를 수학적, 실험적으로 모델링하고, 이를 이용하여 2차 커브 피팅법을 사용한 용접선 추적용 아크센서를 개발하였다. 이 센서를 아크 용접 로봇에 적용할 수 있도록 하였으며, 적용 ROBOT 은 스웨덴 ABB社의 IRB-2000AW 로 선정하였다.

전체적인 기략도를 그림 1에 나타내었다.

### 2.2 수학적 모델링

아크센서는 사용할 용접조건에서 팁-모재간 거리와 그에 대한 용접전류값의 관계를 아는 것이 필수적이라 할 수있다. 이 관계가 수학적으로 표현될 수 있다면 아크센서 개발시 팁-모재간 거리와 그에 대한 용접전류의 관계를 단순한 실험에 의존하는 것에 비해 능률적일 것이다. 따라서 GMAW 과 FCAW 공정에 대하여 수학적 모델을 구해서 현상을 파악 하였다.

### 2.3 실험적 모델링

아크센서 사용시 용접조건에서 팁-모재간 거리와 그에 대한 용접전류값 및 아크에 대한 제반 상수값을 알고 있다면 수학적 모델링은 매우 유효하리라 생각한다. 그러나 실제 용접에서는 용접조건이 달라지므로 이에 따른 팁-모재간 거리 변화에 따른 용접전류의 변화량이 바뀌어야

효율적인 아크센서의 역할을 기대할 수 있게된다. 따라서 적은 횟수의 실험으로 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 관계를 구하는 것이 필요하였다.

그림 5에 CO<sub>2</sub> GAS 를 사용한 GMAW 의 경우를, 그림 5-1에 CO<sub>2</sub> GAS 를 사용한 FCAW 의 경우를 실험적 모델과 실험결과를 비교하였으며 이 실험 방법에 의한 용접전류와 팁-모재간 사이의 관계표현은 양호한 것으로 생각되며, 이 결과를 용접선 추적시 필요한 데이터로 이용하였다.

#### 2.4 수학적 모델과 실험적 모델의 비교

지금까지 많은 가정과 간략화를 통하여 팁 모재간 거리와 용접전류와의 관계를 선형화하고자 노력하였는데, 궁극적으로 알고자하는 것은 이 두변수 사이의 관계를 맺어주는 기울기에 있다. 즉 단위길이의 팁 모재가 변화할때 얼마만큼의 용접 전류변화를 가져오는지를 알때 비로소 용접선 추적이 가능해진다. 표 2에 GMAW 의 경우 수학적 모델과 실험적 모델의 경우  $\Delta I/\Delta L_c$  를 비교하였다. 용접조건에 따라서 적용해야할 기울기가 다른것을 알수있다.

표 3에는 FCAW 의 경우를 나타내었다.

#### 2.6 그루브의 형상 인식

용접을 할때 그루브로부터의 토치까지의 높이인 팁-모재간의 거리는 아크센서의 원리에 의해서 전류를 측정해 보면 알아낼 수 있다. 그러나 실제로는 와이어가 녹아서 떨어질때 용융금속의 이송 방식에 따라 전류에는 각종 노이즈가 실려있게 되므로 측정된 용접전류의 값으로부터 곧바로 팁-모재간 거리를 환산하는 데에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 측정된 전류를 HARDWARE 적으로 LOW PASS FILTER 를 거친후 A/D 변환을 하였다. 이렇게 변환된 전류신호를 이동평균 (MOVING AVERAGE) 알고리즘으로 디지털 필터 효과를 주었다. 이렇게 처리된 전류 신호는 곧바로 TORCH 아래의 GROOVE 형상을 나타내어야 하나, 실제로는 전류의 NOISE 성분, ARC 의 불안정등 PROCESS 의 특성이 포함되어 GROOVE 형상을 정확히 알아내기에는 어려움이 있다. 따라서 미리 GROOVE 의 형상을 가정할 수 있다면 이러한 난점이 많이 줄어들 것이다 이러한 관점에서 본 연구에서는 2차 LEAST SQUARE 방법을 사용해 전류 신호를 CURVE FITTING 하는 방법을 이용하였다.

#### 2.7 용접선 추적 알고리즘

용접선 중심에 대해 오차가 발생했을때 이 오차를 제어하여 용접선을 추적해나가는 과정은 다음과 같다. 그림 6에 구루브의 기하학적 형상과 용접토치의 위치를 나타내었다.

적정 용접조건하에서 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 관계식은 아래식으로 간략히 표시된다.

$$I = -\alpha \Delta L_c + \beta \quad \text{여기서 } \alpha, \beta: \text{ 상수} \quad (11)$$

위빙끝단에서 측정된 전류(현 위빙 끝단에서의 전류) 와 기준 전류(전위빙 끝단에서의 전류)와의 차이  $\Delta I$  를 알때 팁-모재간 거리의 변화  $\Delta L_c$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta L_c = - \Delta I / \alpha \quad (12)$$

그러므로, 그림 6에서와 같이 위빙 중심이 용접선에서 D 만큼 벗어났을때, 오른쪽 위빙 끝단에서의 팁-모재간 거리는 짧아지게 되며, 이 때의 용접전류는 증가한 상태가 된다. 위빙중심이 용접선에서 벗어난 편차 D 는 그루브의 기하학적 형상과  $\Delta L_c$  에 의해 아래와 같이 구해진다.

$$D = -\Delta L_c * \text{TAN} (\theta/2) \quad (13)$$

여기서  $\theta$ 는 그루브의 각도이며, - 부호는 D가 증가하면  $\Delta L_c$  는 감소해야 하므로 들어간 것이다. 측정된 전류로 부터 수정해야할 위빙폭 D 는 식 (12), (13)로 부터

$$D = \Delta I * \text{TAN}(\theta/2) / \quad (14)$$

로 나타낼 수 있다.

### 3. ROBOT 용접용 용접선 추적 알고리즘

ROBOT 용접용 위빙조건은 다음과 같다.

- 위빙시간 (Tw), 위빙폭(W), 위빙앙끝에서의 정지시간 (Tdr, Tdl) 을 각각 일정한 값으로 입력 하도록 되어있다.
- 위빙중심을 변화하려면 외부에서 +31에서 -31의 값을 직접 입력하도록 되어 있다.  
우선 ROBOT 에서 요구하는 +31과 -31의 값이 실제 ROBOT 이 실제 움직일때 얼마만한 크기로 나타나는가를 알기 위하여 ROBOT 에 일정한 값을 주면서 ROBOT 의 운동을 기록하여 보았다.

그림 11에서 Tcd 와 D 의 관계식

$$Tcd = M * D \quad (19)$$

$$M = 13.16 (1/mm)$$

이 실제로 용접선 추적에 사용된다.

그림 11에 ROBOT 의 지행방향과 위빙방향의 관계를 나타내었다. 즉 ROBOT 의 진행방향에서 운동시작점으로 보았을때 오른쪽, 왼쪽을 정의하였다.

그리고 Tcd 의 부호가 양일때는 위빙중심이 오른쪽으로 교정되고, 부호가 음일때는 왼쪽으로 교정된다. 즉 ROBOT 의 위빙방향에 관계없이 Tcd의 부호에 따라 위빙중심이 교정되므로  $\Delta I$  를 계산할때, 항상

$$\Delta I = I_L - I_R \quad (20)$$

에 의해 계산하면 된다.

최종적으로 ROBOT 에 주어질 교정치 Tcd 는 식(14),(19) 에 의해

$$Tcd = M * \Delta I * \tan(\theta/2) / \quad (21)$$

로 결정된다.

#### 4. ROBOT 용접용 ARC SENSOR SYSTEM

ROBOT 과 INTERFACING 을 위한 ARC SENSOR SYSTEM 은

- CURRENT DETECTOR
- 전류신호 처리 회로
- A/D CONVERTER
- CPU PART
- ROBOT INTERFACE PART

로 구성된다.

#### 5. 상품화를 위한 PROTO-TYPE 개발

지금까지 I8086 TRAINING KIT 와 PC 에서 수행해 왔던 ARC SENSING 작업을 실제로 "SEAM TRACKER 라고 할 수 있는, 1개로 통합된 회로를 개발 제작하고 상품에 가까운 CASE 를 제작하였다.

회로의 제작은 I8088 CPU 를 썼으며 전체적인 구조는 앞에 설명한 바와 같다.

## 6. SEAM TRACKER 의 실제 용접실험

### 6.1 SIDE CORECTION 만의 경우

10t PLATE로 그림 17과 같이 준비하여 여러가지의 변수를 주어가며 SEAM TRACKING 시험을 행하여 각각의 경우에 추적되는 정도와 용접된 비드의 상태 등을 관찰 하였다.

시험결과 SOLID WIRE-MIXED GAS 용접인 경우,  $\theta$ (비틀림각)의 크기가 8도정도로 커져도 TRACKING이 가능하였다. 물론 이와같이  $\theta$ 가 커지는 경우에는 용접된 비드의 상태가 어느정도 갈지(之)자의 형태를 그리고 언더컷 등의 결함을 나타내었다.

ARC 의 조건이 극히 불안정한 SOLID WIRE-CO GAS 용접의 경우에도  $\theta$ 의 크기, 7도정도에서도 TRACKING이 이루어 졌다.

표 4에 GAS와 WIRE를 여러가지로 변화 시키며 시험한 결과를 정리하여 나타내었다.

또한 개발에 있어서 TARGET 으로 삼았던 ESAB WELD-GUIDE의 비교표를 표5에 나타내었다.

## 7. 결론

ARC SENSOR 인 SEAM TRACKER 를 개발하여 ROBOT 에 적용하고 여러가지 방법으로 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 용접아크를 수학적 모델화한결과 아크가 안정한 상태에서 틱-모재간 거리변화에 따른 용접 전류의 변화는 선형적임을 확인하였다.
- (2) 각 용접조건에 맞는 관계식을, 아크를 실험적으로 모델링함으로써 얻어내었다.
- (3) 위빙에 따른 용접전류추정값을 2차최소자승법으로 CURVE FITTING 한결과 아크가 매우 불안정한 CO 용접에서도 용접선추적이 안정되었다.
- (4) ARC SENSOR 와 통하기위해 ROBOT 에서 제공하는 INTERFACE 내용을 규명하였다.
- (5) TARGET으로 삼았던 선진사의 모델에 비하여, PARAMETER 수의 감소, 성능의 향상 등으로 사용자의 욕구를 한층 충족시킬수 있게 되었다.
- (6) FILLET용접, LAP JOINT용접, 비데칭GROOVE용접의 겨우 위빙 양단에서 보상값을 주도록 하여 안정된 용접이 가능하도록 하였다. 이는 사용자가 사전에 실험을 거치므로써 적합한 DATA를 얻을수 있다.
- (7) 실제 상업적으로 평가할 경우, 적용공정, TRACKING성능, USER사용조건 및 원가비용의 측면에서 외국제품과 충분한 경쟁력을 가지고 있다.

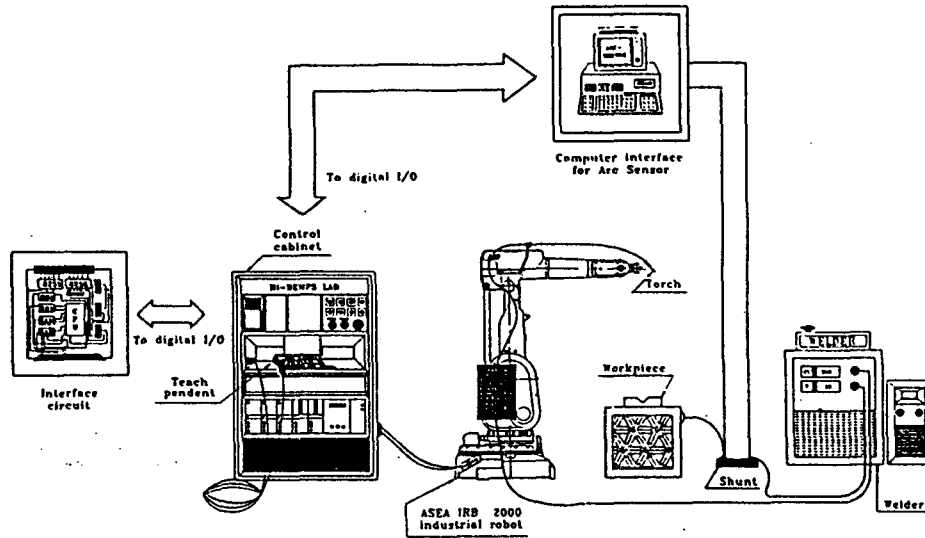


Fig.1 Schematic diagram for development of arc sensor

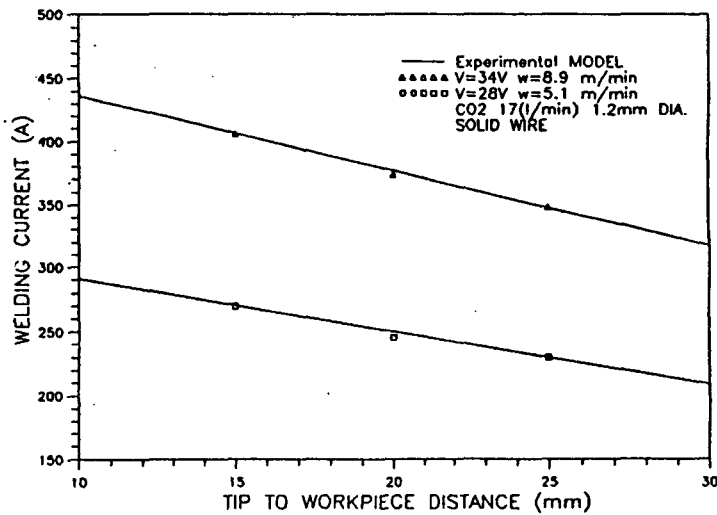


Fig. 5 Experimental analysis of the relationship between welding current and tip-to-workpiece distance for GMAW using CO<sub>2</sub> shielding gas

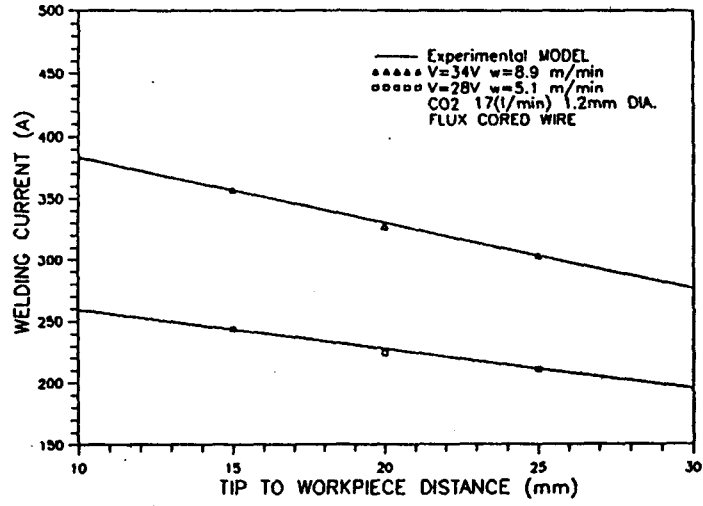


Fig. 5-1 Experimental analysis of the relationship between welding current and tip-to-workpiece distance for FCAW using CO<sub>2</sub> shielding gas

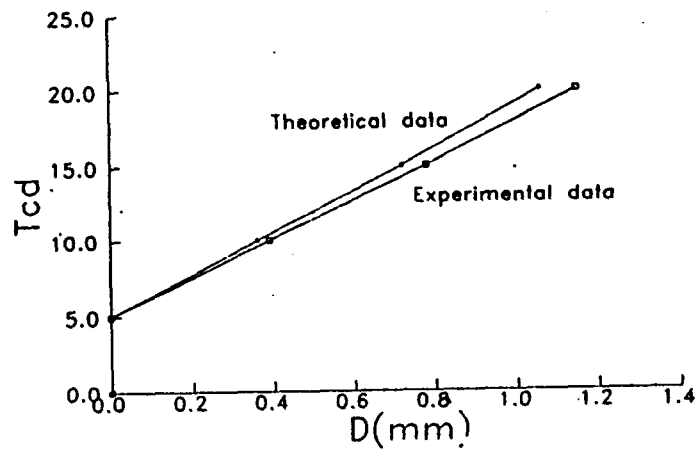


Fig. 7-1 Relationship between transverse correction data (Tcd) and corrected weaving center (D) mm



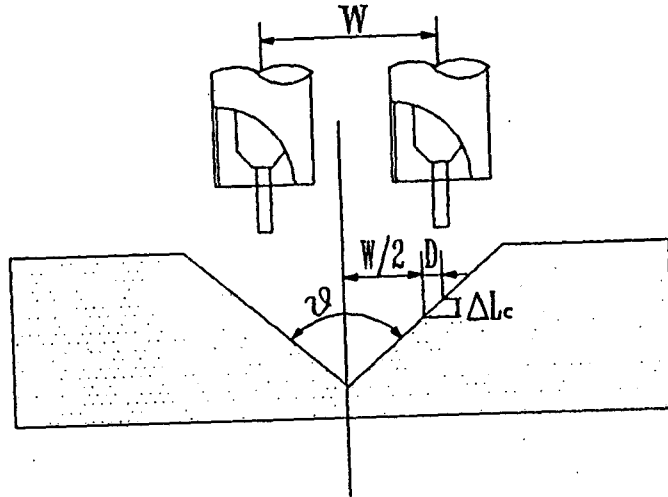


Fig. 6 Geometrical relationship between groove shape and deviation of weaving center from weld joint line

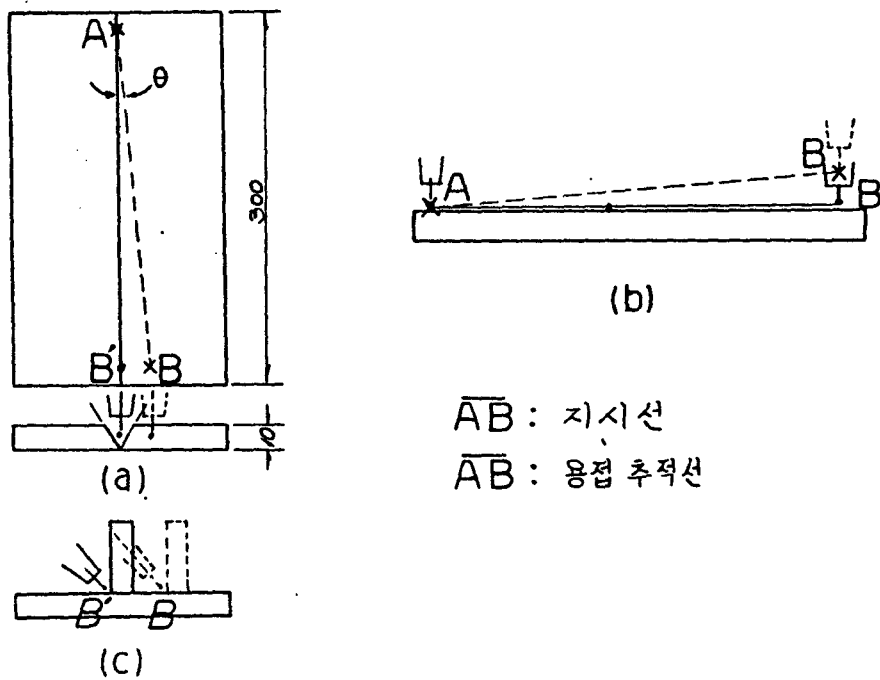


Fig. 7 시림편의 위치를 변화시키면서 용접 Tracking 성능을 시험함 (a) Side correction (b) Height correction (c) Fillet 에 의한 Side & Height correction test

Table 1. Experimental welding conditions

	WELDING VOLTAGE (VOLTS)	WIRE FEED SPEED (M/MIN)
A	22.0	3.0
B	28.0	5.1
C	34.0	8.9

Table 2 Comparison of slope ( $\Delta I/\Delta L_c$ ) between Mathematical and Experimental Model (GMAW)

(unit: A/mm)

		Mathematical Model	Experimental Model
CO2 17 (l/min)	A	-3.19	-4.40
	B	-4.90	-3.99
	C	-6.44	-5.86

Table 3 Comparison of slope ( $\Delta I/\Delta L_c$ ) between Mathematical and Experimental Model (FCAW)

(unit: A/mm)

		Mathematical Model	Experimental Model
CO2 17 (l/min)	A	-2.38	-0.81
	B	-3.87	-3.25
	C	-5.66	-5.31
Ar 80 + CO2 20 17 (l/min)	A	-2.71	-0.94
	B	-4.12	-2.41
	C	-5.83	-4.28

표4. 비틀림 각도 변화와 그 용접 결과에 따른 ARC SENSING 성능

공정 구분	용접 결과와 비틀림 각도 ( $\theta$ )		
	안정	준안정	TRACKING 기능
SOLID WIRE - Ar GAS 용접	$0^\circ < \theta < 3^\circ$	$3^\circ \leq \theta < 6^\circ$	$6^\circ \leq \theta < 8^\circ$
SOLID WIRE - MIXED GAS 용접	$0^\circ < \theta < 3^\circ$	$3^\circ \leq \theta < 6^\circ$	$6^\circ \leq \theta < 8^\circ$
SOLID WIRE - CO <sub>2</sub> GAS 용접	$0^\circ < \theta < 2^\circ$	$2^\circ \leq \theta < 4.5^\circ$	$4.5^\circ \leq \theta < 7^\circ$
FLUX CORED WIRE - CO <sub>2</sub> GAS 용접	$0^\circ < \theta < 2.5^\circ$	$2.5^\circ \leq \theta < 5^\circ$	$5^\circ \leq \theta < 8^\circ$

비고 : 단, 이결과 자료는 용접기의 종류, 변수 등에 따라 달라질 수 있다.

표5. SEAM TRACKER (SHI) 와 A社 의 비교

비교 항목		SEAM TRACKER (SHI)	A社
MAIN CPU		I 8088 (16BIT)	M 6800 (8BIT)
작동상태 표시기능		FND 4조 및 LED 3조	LED 3 조
입력 전원		100 V	AC 110V & 24V
적용 가능한 PROCESS	CO <sub>2</sub> -SOLID WIRE	양호	가능
	CO <sub>2</sub> -FLUX CORED W.	양호	양호
	MIXED GAS-SOLID W.	양호	가능함
	Ar GAS-SOLID WIRE	양호	가능함
TRACKING 능력 (mixed gas-solid wire)		9 = 10° 까지도 Tracking 가능	확실한 data 파악이 안됨 (manual 에도 없음)
CABLE 처리		2가닥, 단순함	3가닥, 중도 분기됨
크기	PROCESSOR	60/95 * 180 * 367	115 * 206 * 390
	V SENSOR	63 * 148 * 160	106 * 153 * 255