

研 究 論 文

大韓熔接學會誌
 第11卷第3號1993年9月
 Journal of the Korean
 Welding Society
 Vol. 11. No. 3. Sep., 1993

소모성 전극을 사용하는 아크용접 로봇을 위한 아크센서 개발에 관한 연구

이승영* · 문형순* · 나석주* · 장영주** · 안병규**

A Study on Development of Arc Sensor for Arc Welding Robot Using Consumable Electrode

S.Y. Lee*, H.S. Moon*, S.J. Na, Y.J. Chang** and B.K. Ahn**

Key Words : Arc sensor (아크센서), Welding Robot (용접로봇), GMA Welding (GMA 용접), FCA Welding (FCA 용접)

Abstract

Arc sensor is indispensable to arc welding robot systems for compensating the joint misalignment such as mismatch of the workpiece, ill-conditioned positioner and thermal deformation during welding. Furthermore, the amount of these mismatches cannot be previously expected, and changes from time to time. There are many kinds of seam trackers for correcting the welding path of the robot, where non-contact type sensors are prevalently used in arc welding robot systems.

In this study, an arc sensor was developed for GMA and FCA welding robot system. Since the arc sensor uses the arc characteristics during welding, the operating principle of the arc sensor must be adjusted according to the welding condition. Especially in GMA welding with the CO₂ shielding gas, the welding arc is not stable because of the short circuit and non-axial globular transfer mode of the molten droplet. In this study, the 2nd order least square curve fitting algorithm was adopted and the applicability of this algorithm was investigated for robot welding systems.

For easy usage of the arc sensor, the operating parameters for arc sensor were limited to eight which can be easily determined by the operator.

* 정회원, 한국과학기술원 정밀공학과

** 정회원, 삼성중공업(주) 기계전자연구소

1. 서 론

용접공정에 로봇을 도입하고자 하는것은 열악한 환경 때문만이 아니라 용접 품질의 향상을 도모하고 복잡한 형상을 주변장치를 최대한 이용하여 생산성을 향상시키고자 함에 있다. 그러나 용접작업대상물이 제관 및 가조립 상태에서 부터 많은 오차를 포함하고 있어 로봇을 적용하는데 많은 어려움이 따른다. 특히 용접 대상물을 치구에 장착시 생기는 치수 오차와 용접중에 생기는 열변형 등은 오차를 정확히 예측하기 어렵고 수시로 그 크기가 변함으로 자동용접을 불가능하게 까지 한다.

이와같은 용접중에 생기는 치수 오차를 보정하는 센서로서는 접촉식에서 부터 비접촉식에 이르기까지 그 종류가 다양하다¹⁾. 접촉식은 동작이 기계적으로 이루어 짐으로 신뢰도 면에서는 확실하나 동작시간 등에서 그 적용에 많은 제한점을 가지고 있다. 이에 반해 비접촉식 센서는 전자기술의 발달에 따라 동작 속도 및 신뢰도 등이 생산에 적용할 수 있을 정도로 향상되었다. 이러한 비접촉식 센서로서는 크게 아크 센서와 시각센서 형태의 두 가지가 있다. 아크센서식은 용접중에 발생하는 용접 전류, 전압을 측정하므로 구조가 간단한 장점이 있는 반면, 용접공정이 달라지면 용접전류, 전압의 특성이 바뀌므로 신호처리방법이 달라져야하는 단점이 있다. 시각 센서는 레이저 발생 장치, 영상처리장치 등 기본적으로 갖추어야할 요소가 있어 가격면에서 불리한 점이 있다. 반면에 시각 센서는 용접공정이 바뀌더라도 쉽게 적용이 가능한 장점이 있다²⁾.

국내의 용접 로봇은 완전한 자체 개발품이 없이 대부분 수입품에 의존하고 있는 실정이며 따라서 용접선 추적장치 역시 각 로봇 메이커에서 자체 로봇에 맞게 제작된 표준품을 부착해야 한다. 이때 용접로봇 시스템에 설치된 용접선 추적 장치는 처음에 요구된 공작물에 맞춰서 모든 제조조건이 설정되고 추후에 공작물이 바뀌거나 용접공정이 바뀌면 용접선 추적장치 역시 모든 조건을 바꿔야 한다. 이때 사용자는 많은 시행착오와 경험을 요하게 되는데 특히 각 제작자마다 채용하고 있는 용접선추적 알고리즘은 공개되지 않으므로 용접조건에 따라 사용이 제한될 수 있다. 이러한 여러가지 이유로 인하여 많은 비용을 들여 장착한 용접선 추적장치를 사용하지 못하게 되는 경우가 있다.

본 연구에서는 사용중인 한 용접로봇에 적용할 수 있는 GMAW 및 FCAW용 아크센서를 개발하였다. 용접아크의 특성이 바뀌더라도 사용자는 쉽게 아크센서의 조건을 설정할 수 있도록 하였으며, 입력 데이터도 용접에 직접관련된 수치로 표현하고자 하였다. 실험결과 개발된 용접선추적 알고리즘은 용접전류의 상태가 매우 불안한 저전류 CO₂용접에서도 좋은 성능을 나타내었다. 따라서 로봇기종이 바뀌더라도 아크센서의 자체해결이 가능할 것이며, 그결과 아크센서의 개발 및 사용에 필요한 원가절감 효과도 클것으로 기대된다.

2. 용접아크의 모델링 및 제어 알고리즘

2.1 GMA 및 FCA 용접아크의 실험적 모델링

GMAW나 FCAW에서 팁-모재간 거리 변화에 따른 용접전류의 변화량은 선형관계를 갖는다고 볼 수 있으며,^{4,6)} 이 비례상수를 이용함으로써 아크센서의 역할을 기대할 수 있게 된다⁷⁾. 그러나 이 비례상수는 용접조건(용접전류, 전압, 와이어 공급속도, 팁-모재간 거리, 보호가스, 용접와이어의 직경 등)이 변하면 같이 변하는 특성이 있다. 따라서 이들의 관계를 수학적으로 표현하고자 많은 노력을 하였으나, 이들 변수중에서 와이어 공급속도, 전압, 팁-모재간 거리 변화에 따른 용접전류 변화량을 구하는 정도에 만족하고 있다⁸⁻¹⁰⁾.

적은 횟수의 실험으로 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 관계식을 구하기 위하여 2²법을 사용하였고 이 결과를 용접선 추적에 이용하였다¹²⁾. 이때 이용한 변수로는 용접전압(V), 와이어 공급속도(W), 팁-모재간 거리(L_c)로 하였으며, 이들의 조합들에 대해서

Table 1. Welding Conditions for 2² Factorial Experiment

Factor	0	1
Welding Voltage V [V]	28.0	34.0
Wire Feed Speed W [m/min]	5.1	8.9
Tip-to-Work Distance L _c [mm]	15.0	25.0
Welding Speed	: 4mm/s	
Shielding Gas	: 100% CO ₂ , 17.0 l/min	
Welding Wire	: ER71T-1, DIA. 1.2mm (FCAW)	
	: ER70S-G, DIA. 1.2mm (GMAW)	

Table 2. Treatment Combination of 2³ Factorial Experiment of GMAW, FCAW

Experiment Number	Treatment Combination	Mean Current GMAW [A]	Mean Current FCAW [A]
1	VO WO LO	269.93	243.73
2	VO WO L1	229.99	211.20
3	VO W1 LO	398.66	355.94
4	VO W1 L1	329.58	303.76
5	V1 WO LO	291.57	259.44
6	V1 WO L1	258.87	227.18
7	V1 W1 LO	406.08	356.41
8	V1 W1 L1	347.51	303.36

용접전류를 측정하였다. 이때 사용한 인자의 구간 및 용접조건은 Table 1과 같으며 Table 2에 그 측정전류를 정리하였다. 그 결과 GMAW와 FCAW의 경우 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 관계식은 아래와 같이 표현할 수 있었다.

$$I_{GMAW} = (-9.4375 + 4.0667V + 59.9737W - 0.5520VW) L_c + (-4.5260 - 0.7238W + 0.1479V) L_c$$

$$I_{FCAW} = (-83.2243 + 6.4980V + 57.3225W - 0.6995VW) L_c + (-0.0278 - 0.5398W - 0.0145V) L_c \quad (1)$$

여기서, 위식은 Table 1에서 정의한바와 같은 보호가스와 와이어를 사용하였을 경우에 대한 결과임을 주의하여야 할 것이다. Fig. 1에는 CO₂ 가스를 보호가스로 사용한 GMAW의 경우에 대해서, Fig. 2에는 CO₂ 가스를 보호가스로 사용한 FCAW의 경우에 대해서

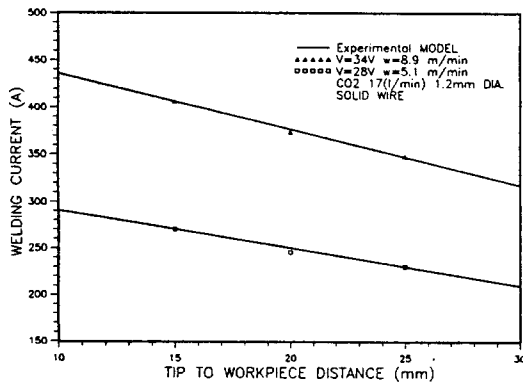


Fig 1. Experimental analysis of the relationship between welding current and tip-to-workpiece distance for GMAW using CO₂ shielding gas

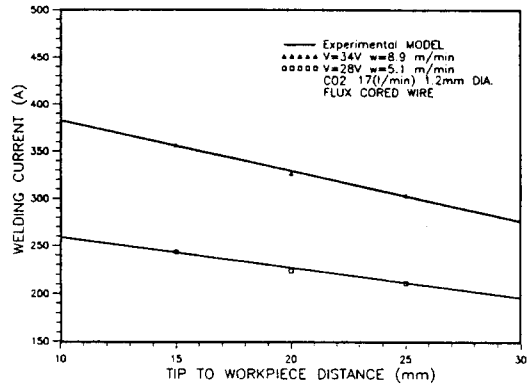


Fig 2. Experimental analysis of the relationship between welding current and tip-to-workpiece distance for FCAW using CO₂ shielding gas

실험적모델에 의한 결과와 실험 결과를 비교하였다. GMAW의 경우가 FCAW경우 보다 용접전류가 크게 나타나며, 팁-모재간 거리 변화에 대한 용접전류 변화가 크게 나타나고 있다. 이것은 같은 직경의 와이어를 녹일때 솔리드 와이어가 플럭스 코어드 와이어보다 더 많은 열량을 필요로 하기 때문이다. 이러한 실험적 모델에 의한 용접전류와 팁-모재간 사이에서 관계표현은 양호한 것으로 생각되며 따라서 이 결과를 용접선 추적시 필요한 데이터로 이용하였다.

2.2 용접전류 신호 처리

본 연구에서는 측정된 전류를 하드웨어(hardware)적으로 저역통과필터(low pass filter)를 거친후 A/D변환을 하였다. 이렇게 변환된 전류신호를 이동평균(moving average)알고리즘으로 디지털 필터 효과를 주었다^{13, 14)}. 이렇게 처리된 전류신호는 곧바로 토치 아래의 용접부 형상을 나타내어야 하나, 실제로는 전류의 노이즈성분, 아크의 불안정 등 공정의 특성이 포함되어 용접부 형상을 정확히 알아내기에는 어려움이 있다. 따라서 미리 용접부의 형상을 가정할 수 있다면 이러한 난점이 많이 줄어들 것이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 2차 최소자승(least square)방법을 사용해 전류 신호를 커브피팅(curve fitting)하는 방법을 이용하였다¹⁵⁾.

2.3 용접선 추적 알고리즘

2.3.1 용접선 추적제어

정해진 용접조건하에서 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 관계식 (1)은 선형 관계를 가지므로 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$I = -\alpha * L_c + \beta \quad \text{여기서 } \alpha, \beta : \text{상수} \quad (2)$$

따라서 팁-모재간 거리의 변화 ΔL_c 에 대한 전류 변화 ΔI (현 위빙 끝단에서의 전류와 전위빙 끝단에서의 전류와의 차이)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta L_c = -\Delta I / \alpha \quad (3)$$

그러므로, Fig. 3에서와 같이 위빙 중심이 용접선에서 D만큼 벗어났을 때 오른쪽 위빙 끝단에서의 팁-모재간 거리는 짧아지게 되며, 이때의 용접전류는 증가한 상태가 된다. 위빙중심이 용접선에서 벗어난 편차 D는 그루브의 기하학적 형상과 ΔL_c 에 의해 아래와 같이 구해진다.

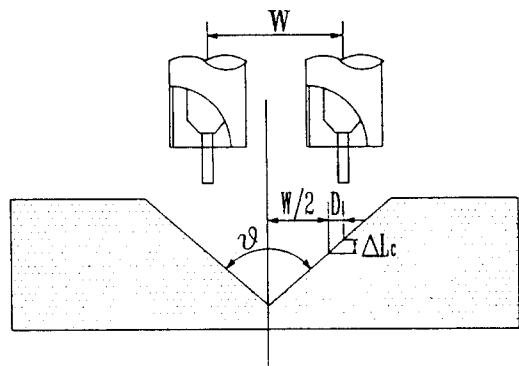


Fig. 3. Geometrical relationship between groove shape and deviation of weaving center from weld joint line

$$D = -\Delta L_c * \tan(\theta/2) \quad (4)$$

여기서 θ 는 그루브의 각도이며, -부호는 D가 증가하면 ΔL_c 는 감소해야 하므로 들어간 것이다. 측정된 전류로부터 수정해야 할 위빙폭 D는 식 (3), (4)로부터

$$D = \Delta I * \tan(\theta/2) / \alpha \quad (5)$$

로 나타낼 수 있다.

(5)식을 로봇 용접시 적용하기 위해서는 용접시 로봇의 운동상태와 경로교정에 대한 정보가 필요하게 된다. 본 연구에서 적용한 로봇은 다음과 같은 조건을 가지고 있었다⁶⁾.

- 위빙시간(T_w), 위빙폭(W), 위빙양끝에서의 정지시간(T_d , T_u)을 각각 일정한 값으로 입력하도록 되어 있다.

- 위빙중심을 변화하려면 외부에서 +31에서 -31의 값을 디지털 입력단자에 입력 하도록 되어 있으며, +는 오른쪽으로 -는 왼쪽으로의 경로 교정을 의미한다(Fig. 4).

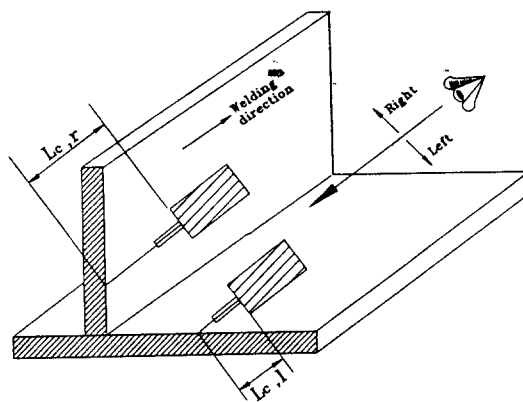


Fig. 4. Calculation of geometric correction data on the side of weaving motion

우선 로봇에서 요구하는 +31과 -31의 값이 실제 로봇이 움직일 때 얼마만한 크기로 나타나는 가를 알기 위하여 로봇에 일정한 값을 주면서 로봇의 운동을 기록하여 얻은 결과를 분석하여 반주기 위빙당 위빙 중심의 변화량이 아래 식과 같이 선형관계를 얻을 수 있었다.

$$T_{ca} = M * D \quad (6)$$

여기서

T_{ca} : 교정치(+31, -31)

D : 위빙중심의 교정값(mm)

M : 비례상수(1/mm)

따라서 최종적으로 로봇에 주어질 교정치 T_{ca} 는 식 (5), (6)에 의해

$$T_{ca} = M * \Delta I_s * \tan(\theta/2) / \alpha \quad (7)$$

여기서

$$\Delta I_t : I_l - I_r \text{ (A)}$$

I_l : 좌측위빙 끝단에서의 전류치 (A)

I_r : 우측위빙 끝단에서의 전류치 (A)

로 결정된다.

2.3.2 높이제어(Height Control)

용접중 아크길이는 비드폭, 용접깊이 등에 영향을 미치므로 전 용접길이에 대해 아크길이를 일정하게 유지시켜 주는 것이 바람직하다. 특히 자동용접의 경우는 용접장이 긴 경우가 많으며, 특히 박판의 경우에는 용접중 열원에 의한 부재의 열변형에 의해 아크길이가 변할 우려도 있다.

기준전류로부터의 전류차 ΔI_s 로부터 수정해야할 높이 ΔH 는

$$\Delta H = \Delta I_s / \alpha \quad (8)$$

로 표현된다. 로봇에서의 높이제어는 위빙방향에 수직인 방향으로 이루어지며 와이어의 공급방향을 아래쪽(downward), 그 반대 방향을 위쪽(upward)으로 정의하였다.

로봇에 주어지는 교정치 H_{ca} 는 T_{ca} 의 경우와 동일하게 $-31. +31$ 의 범위 내에서 주어지며 $-$ 는 아래쪽, $+$ 는 위쪽을 의미한다. 즉

$$H_{ca} = M * \Delta H \quad (9)$$

식 (6) 및 (9)에서의 비례상수 M 은 로봇기종에 따라 달라지며, 본 연구에서는 용접선 추적과 높이제어에 같은 값을 사용하였다. 또한 로봇의 동작 민감도에 따라 13과 16의 두 값을 선택적으로 사용하였다. 따라서 식 (8), (9)에 의하여 높이제어를 위한 교정치 H_{ca} 는

$$H_{ca} = M * \Delta I_s / \alpha \quad (10)$$

로 표현된다. 여기서,

$$\Delta I_h : I_{avg} - I_{ref} \text{ (A)}$$

I_{avg} : 반주기 위빙동안의 평균전류치 (A)

I_{ref} : 기준전류 (A)

2.3.3 비대칭 용접홈의 용접선 추적 알고리즘

비대칭 용접부 용접이라 함은 비대칭 용접홈을 갖는 맞대기 용접, 필렛(fillet)용접 등을 의미하며, 위빙의 좌 우측에서 아크길이를 다르게 하고자 하는 경우까 지도 포함한다.

아크센서의 원리로 볼때 위빙의 좌 우에서 동일한 팁-모재간 거리를 유지하도록 되어 있으나, 강제로 측정된 전류를 변형시키면 좌, 우에서 다른 팁-모재간 거리를 유지할 수 있다. 이것을 필렛용접, 비대칭 그루브를 갖는 맞대기 용접과 같은 경우 등에 이용하고자 하였다. 이때 사용자는 위빙의 좌, 우에서 요구하는 데이터를 주어야 하는데 본 연구의 경우는 유지하고자 하는 아크길이의 차이만큼을 좌, 우에서 각각 입력하도록 하였다.

예를 들어 Fig. 4에서와 같이 필렛용접을 할때 우측에서 좌측보다 $(L_{r1} - L_{r2})$ mm만큼 더 긴 아크길이를 유지하고자하면

우측 위빙 끝단의 아크길이 보상치 = $(L_{r1} - L_{r2})$ mm * 10

좌측 위빙 끝단의 아크길이 보상치 = 0 (11)

을 주면 되도록 하였다. 여기서 10을 곱한것은 0.1mm 까지 입력시킬 수 있도록 하기 위한 배수 이다.

3. 용접로봇과 아크센서의 인터페이스

일반적으로 로봇은 센서와의 접속을 위한 I/O 단자(port)를 구비하고 있으며, 사용자가 사용할 수 있도록 각 단자의 기능을 공개하고 있다. 본 연구에서 사용한 로봇도 마찬가지이며, 아크센서를 위한 모든 데이터의 입출력은 디지털 I/O를 통해서 이루어 지도록 되어 있다.^{17, 18)}

3.1 경로교정용 센서를 위한 용접로봇의 I/O 구조(Configuration)

아크센서를 위해 로봇에서 제공하는 I/O 단지의 종류는 Fig. 5와 같으며 각 단지의 기능은 다음과 같다.

· 입력단자

- TW5,...,TW1 : 용접선 추적용 교정치 (5 비트)
- TW Sign : 용접선 추적용 교정치의 부호 비트
- CS5,...,CS1 : 높이제어용 교정치 (5 비트)
- CS Sign : 높이제어용 교정치의 부호 비트
- Data Valid : 새로운 교정치에 대한 유효신호 (임계유효)
- Track Ready : 아크센서 제어기의 작동 개시 신호 (임계유효)

· 출력단자

- Track on : 용접시작을 알리는 신호 (임계유효)
- Dwell Right : 용접토치의 위빙 우측단 정지신호 (임계유효)
- Dwell Left : 용접토치의 위빙 좌측단 정지 신호(임계유효)
- RB8,...,RB1 : 아크센서의 사용자 정의 인자 전송을 위한 단자 (8 비트)

3.2 아크센서의 하드웨어(Hardware)

아크센서 제어기(controller)의 전체 기능도를 Fig. 5에 나타내었다. 중앙처리장치(CPU)는 8088 CPU를 사용하였는데 이는 용접선 추적 알고리즘이 계산량을 많이 요구하므로 16bit 프로세서를 선정하게 되었다. 시간제어를 위하여 8253 Timer를 사용하였으며 제어기의 상황표시를 위해 8279를 사용하였다. 로봇 제어기와 접속되는 디지털 I/O는 포토 커플러에 의하여 연결되며, 사용전압은 +24 volt를 사용하도록 되어 있다. 용접전류 신호 측정은 션터(shunt)저항을 사용하였으며, 측정된 전류신호는 100배의 증폭회로를 거친후 절점주파수(cut-off frequency) 13HZ의 저역통과 필터를 거쳐 12 Bit A/D 변환을 하였다.

3.3 아크센서를 위한 사용자정의 인자(Parameter)

아크센서는 공정종류, 전류, 전압범위, 용접부의 형태 등에 따라서 같은 전류 변화에 따라서 교정치를 다르게 결정해야 하므로 이에 필요한 인자를 용접전에 아크센서 제어기에 입력해야 한다. 용접의 전과정은 로봇 제어기에서 제어하므로 인자 역시 로봇 제어기에 입력하도록 하였다. 인자의 종류와 입력범위를 Table 3에 표시하였다.

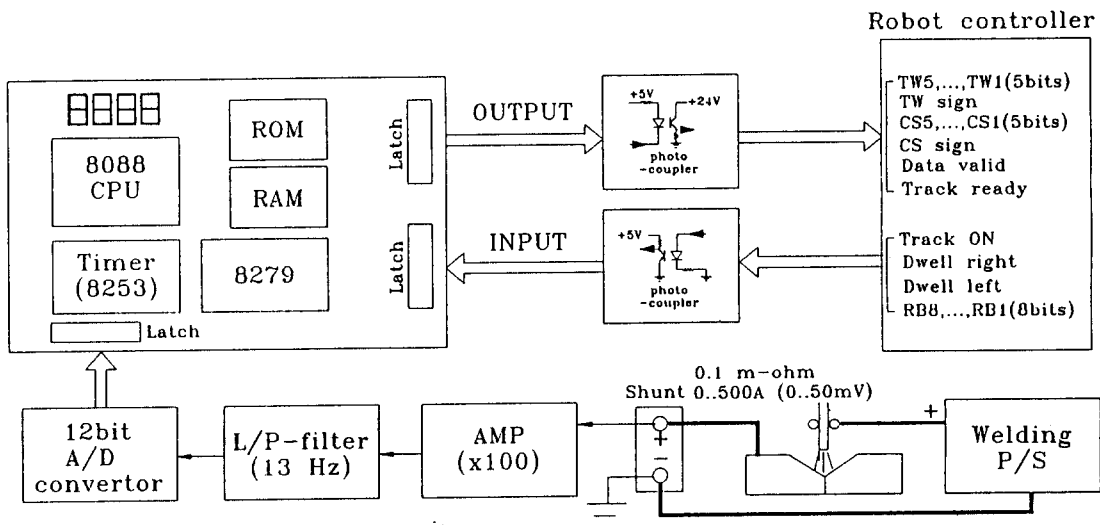


Fig. 5 Schematic Block Diagram of Arc Sensor System

Table 3. Parameters for seam tracking

Parameter no.	description	parameter value	description
1	process	1	solid argon
		2	solid CO ₂
		3	solid MAG
		4	flux-cored CO ₂
2	operating range	1	I > 290A (spray, globular)
		2	230A < I < 260A (globular, short)
		3	I < 230A (short)
3	groove ang.	1	25-deg.
		2	50-deg.
		3	60-deg.
		4	70-deg.
		5	90-deg. (fillet)
4	amp gain	amp gain value	
5	M	13, 16	eq. (6)
6	geom. correc. at right of weaving (mm)	tip-workpiece *10	eq. (11)
		tip-workpiece *10	eq. (11)
7	geom. correc. at left of weaving (mm)	tip-workpiece *10	eq. (11)
		tip-workpiece *10	eq. (11)
8	for height correction	1	do height cor.
		2	do'nt height cor.

3.4 프로그램

프로그램은 어셈블러 언어를 사용하였으며, 전체 흐름도를 Fig. 7에 나타내었다. 아크센서의 제어기는 용접 시작전에 로봇 제어기로부터 인자를 받게되며,

용접 시작후 처음 두번의 위빙주기 동안에 위빙시간, 높이제어를 위한 기준용접 전류를 계산하게 된다. 용접전류 측정을 위한 샘플링 주기는 위빙시간을 50등분하여 결정하였다. 따라서 매 위빙시간 동안에 51번의 용접전류를 측정하게 된다.

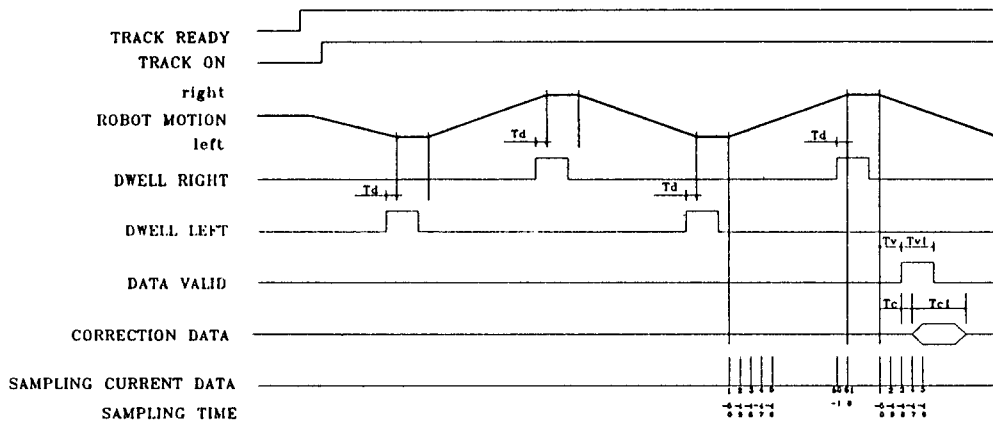


Fig. 6 Timing diagram for transferring correction data

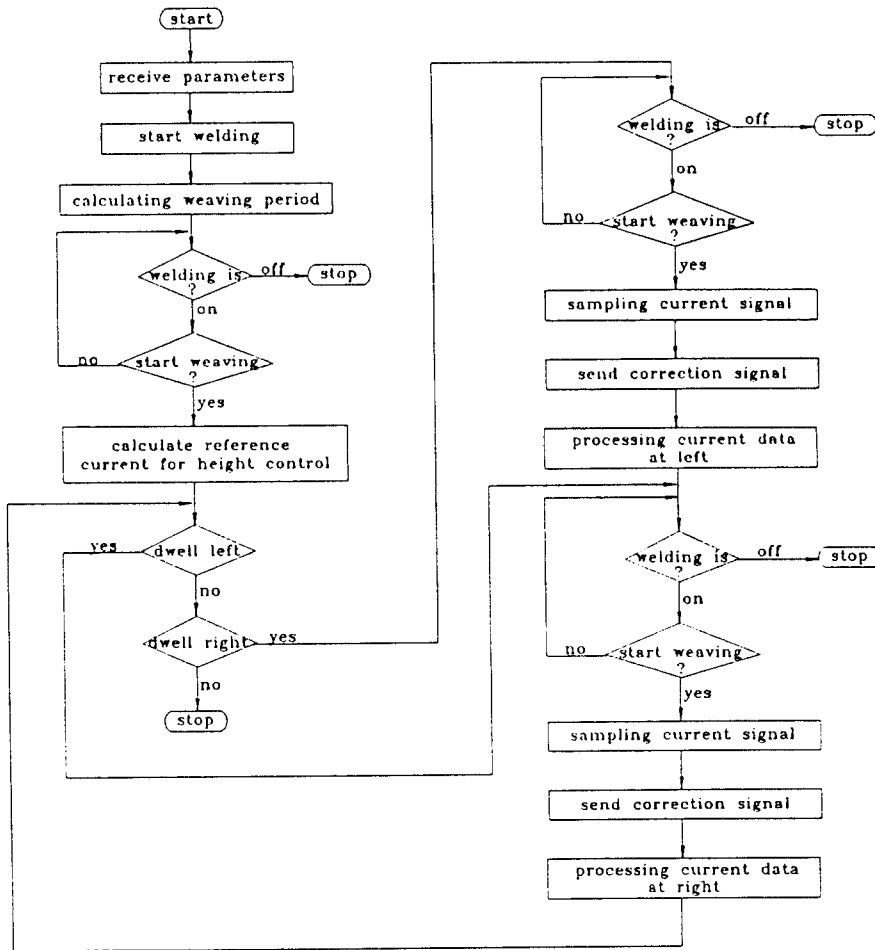


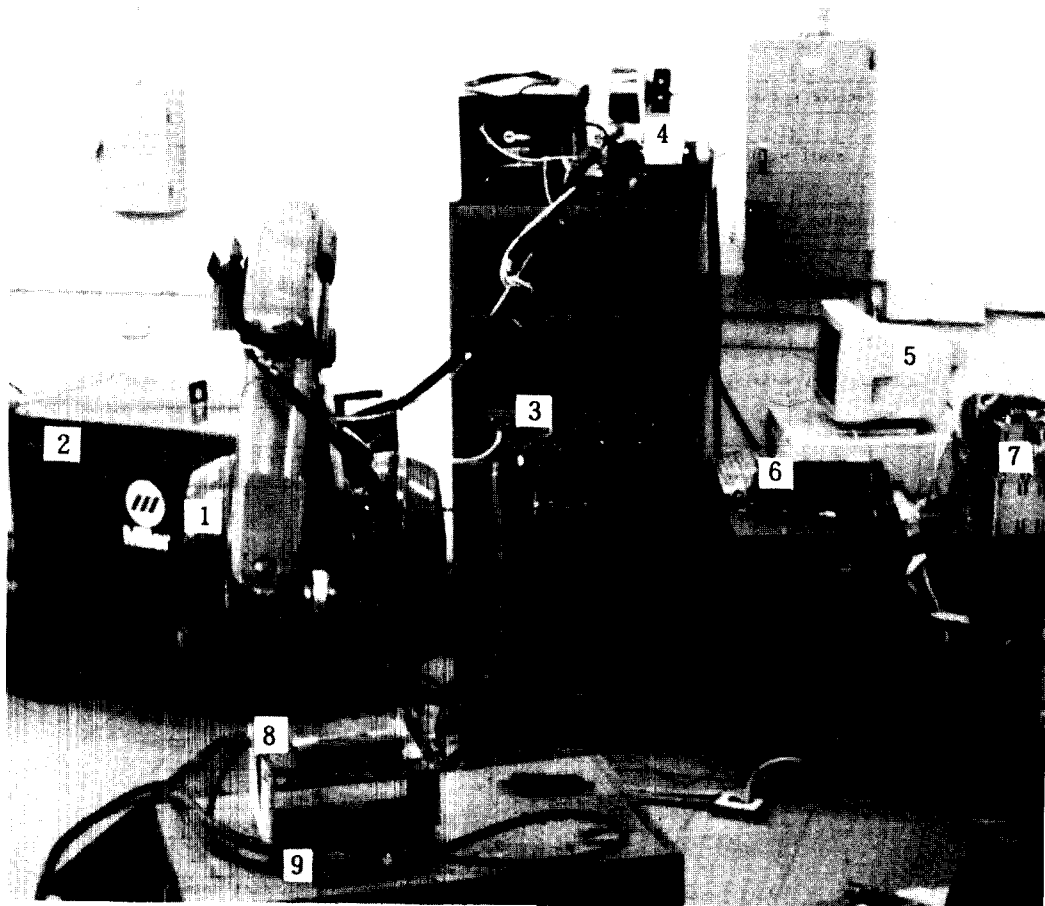
Fig. 7 Flow chart of main program

식 (6), (7)에 의하여 계산된 교정치를 로봇에 전송하기 위해서는 로봇과 아크센서와의 동기(synchronization)가 필요하다. 따라서 로봇에서는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 위빙상태를 알려주는 Dwell Left, Dwell Right 신호를 제공한다. 이 신호를 이용하여 위빙 중간에 교정치와 Data Valid를 전송하면 교정치에 따라 로봇은 경로를 수정하게 된다. 그러나 본 연구에서 사용한 로봇의 경우 실제 로봇의 위치와 신호와는 기계적인 관성에 의하여 시간지연 T_d 가 존재하였다. 따라서 위빙상태는 정지신호(dwell left, dwell night)를 인식한후 T_d 후에야 위빙을 시작하였다. 이와같은 사항을 고려하여 위빙시간 및 교정치 전송시간을 결정하여야 한다. 위빙이 끝난후 토치가 좌우에 머무르는

정지시간 동안에 측정된 51개의 용접전류를 커브핏팅한 후 좌우에서의 용접전류를 구하게 되며 이것은 다음의 위빙동안에 교정 데이터로 이용된다.

4. 실험

본 연구에서는 다관절 로봇에 용접전원과 개발된 용접선 추적장치를 부착시킨 시스템에서(Fig. 8) CO_2 가스를 사용한 저전류 용접에서만 실험을 하였는데, 이는 용접전류가 매우 불안하게 나타나는 영역에서 본 아크센서의 성능을 시험하고자 하였기 때문이다. 용접선 추적실험은 V-용접음을 갖는 맞대기 용접



- | | |
|---|---|
| 1 : Robot | 6 : Arc sensor controller |
| 2 : Welding power supply | 7 : Terminal box for interfacing with robot |
| 3 : Interfacing unit for welding power supply | 8 : Workpiece |
| 4 : Wire feeder | 9 : Shunt resistor |
| 5 : Personal Computer | |

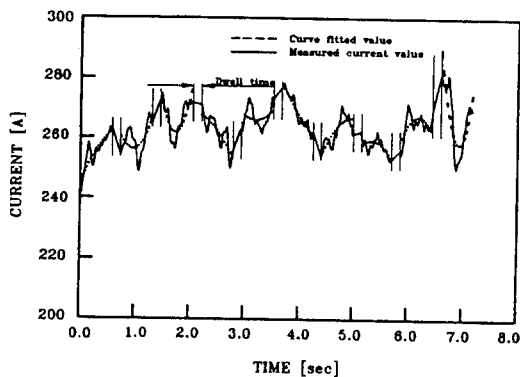
Fig. 8 Experimental apparatus for developing arc sensor

Table 4. Welding conditions used in the experiment

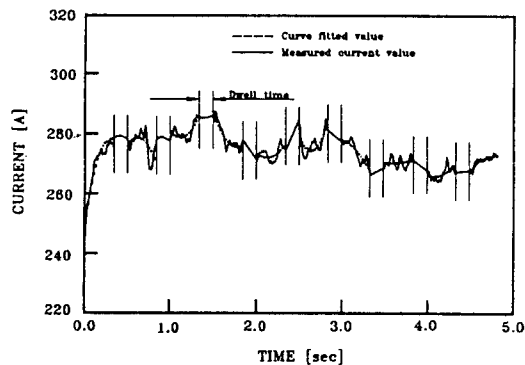
Conditions		V-groove butt weld	Fillet weld
Welding voltage	(V)	29.0	29.0
Wire feed rate	(m/min)	6.6	6.6
Welding speed	(mm/sec)	4.0	4.0
Weaving width	(mm)	6.0	4.0
Cross time for weaving	(sec)	0.6	0.35
Dwell time at right side	(sec)	0.15	0.15
Dwell time at left side	(sec)	0.15	0.15
Flow rate of shielding gas	(l/min)	19.0	19.0

부와 필렛 용접부에 대하여 시행하였으며 용접조건은 Table 4와 같다. 실험에서는 솔리드 와이어(ER70S-G ϕ 1.2mm)와 플럭스 코어드 와이어(ER71T-1 ϕ 1.2mm)를 사용하였으며 보호가스는 CO₂가스를 사용하였다. 모재는 연강(SS41)으로 맞대기 용접부에는 용접홈 60°각을 갖는 두께 18mm이며, 필렛용접부는 두께 12mm로 하였다. FCA용접의 경우는 아크 상태가 비교적 안정되기 때문에 용접선 추적에 어려움이 없었으며, 따라서 본 장에서는 문제점이 더 큰 GMA용접의 추적결과에 대해서만 논하였다.

일단 로봇의 경로를 프로그램한 후 용접선을 임의의 각도로 이탈시켜 용접선 추적 실험을 하였다. 이때 V용접부는 7°의 오프셋 각을 주었으며, 필렛 용접부는 4°의 오프셋 각을 주었다. Fig. 9에는 용접선 추적과 동시에 측정된 용접전류(실선)와 이를 2차 최소자승법에 의하여 연결한 용접전류(점선)를 나타내었다.

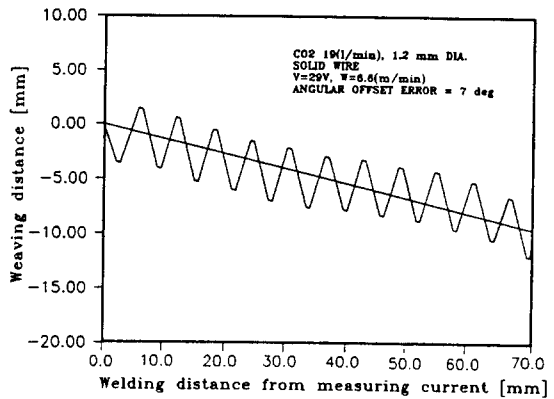


(A) V-groove butt weld

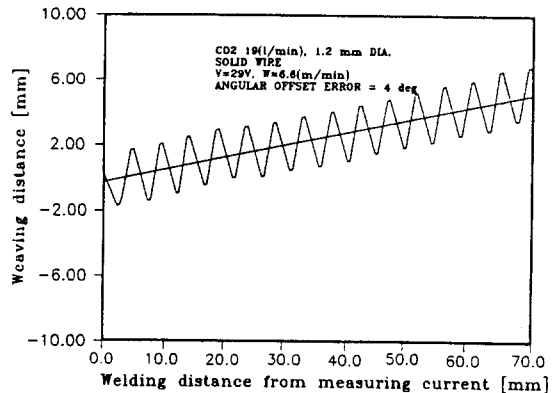


(B) Fillet weld

Fig 9. Measured and curve fitted welding current during seam tracking



(A) V-groove butt weld



(B) Fillet weld

Fig 10. Weaving motion of robot during seam tracking

위빙정지 시간에는 전류측정을 하지않아 실선으로 연결하였으며 위빙운동중에 측정된 전류는 변화가 심한것을 알 수 있다. 그러나 2차최소자승법에 의해 처리된 전류신호는 용접전류의 불안정에서 오는 효과가 감소되며, 특히 용접홈의 중간에서 나타나는 전류변화는 효과가 적어 용접선 추적시 안정된 동작을 얻을 수 있었다. Fig. 10에 용접선 추적시의 로봇경로를 나타내었다. 이 결과는 아크센서 제어기에서 로봇에 전송되는 경로교정치를 입력하여 나타낸 것이다. 그럼에서 알 수 있듯이 CO₂ 가스를 사용한 경우에도 용접선 추적이 양호하였다. Fig. 11에는 실제 용접된 시편을 나타내었으며 여기서 화살표가 프로그램된 로봇의 경로를 나타낸다.

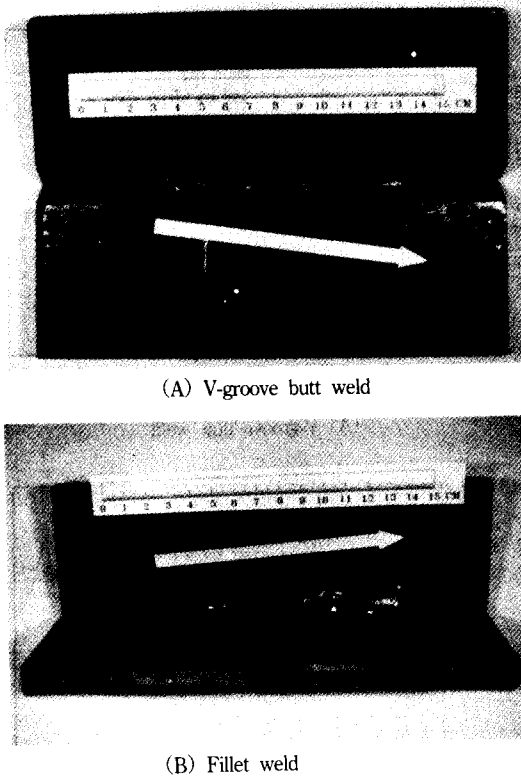


Fig 11. Photograph of seam tracked weldment

5. 결 론

아크센서를 개발하여 용접용 로봇에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 각 용접조건이 미치는 영향을 규명하기 위하여 아크를 실험적으로 모델링(2^차법)하였으며 실험결과와 잘 맞는 관계식을 얻을 수 있었다.
- (2) 측정된 용접전류를 2차 최소자승법으로 커브핏팅한 결과 용접선 추적이 매우 안정되었다.
- (3) 용접선 추적을 위해 로봇에서 아크센서 제어기로 주어지는 인자를 8개로 제한하여 작업자가 프로그램을 쉽게할 수 있도록 하였다.
- (4) 용접선 추적과 동시에 아크길이를 제어할 수 있었으며, 이것은 특히 필렛용접의 경우 용접토크가 모재에 집중하는 것을 방지하는데 필수적으로 요구되고 있다.
- (5) 필렛용접, 겹치기용접, 비대칭 용접부 용접의 경우는 위빙양단에서 보상길이를 추가하여 용접선 추

적이 가능하도록 하였다. 로봇용접용 아크센서의 안정된 동작을 위해서는 미리 충분한 실험을 거친후 사용하는 것이 바람직 하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Nomura, H., Sugitani, Y., Suzuki, Y., Tamaoki, N., Kobayashi, Y., and Murayama, M., "The Development of Automatic Seam Tracking with Arc Sensor", *Nippon Kokan Technical Report, Overseas*, No.37, 1983, pp.42~50
2. Clocksin, W. F., Bromley, J.S.E., Davey, P.G., Vidler, A.R., and Morgan, C.G., : "An Implementation of Model Based Visual Feedback for Robot Arc Welding of Thin Sheet Steel", *The International Journal of Robotics Research*, Vol.4, No.1, Spring, 1985, pp.13~26
3. Smati, Z., Yapp, D., and Smith, C.J., : "Laser Guidance System for Robots", *Proceedings of the 4th International Conference on Robot Vision and Sensory Controls*, London, U.K., October, 1984, pp.91~101
4. Nomura, H., Sugitani, Y., and Tamaoki, N., : "Automatic Real Time Bead Height Control with Arc Sensor in TIG welding", *Transactions of the Japan Welding Society*, Vol.18, No.2, 1987, pp.35~42
5. Nomura, H., Sugitani, Y., and Tamaoki, N., : "Automatic Real-Time Bead Height Control with Arc Sensor (Report 2)" *Transactions of the Japan Welding Society*, Vol.18, No.2, 1987, pp.43~50
6. Fujimura, H., Ide E., and Inoue, H., : "Joint Tracking Control Sensor of GMAW", *Transactions of the Japan Welding Society*, Vol.18, No.1, 1987, pp.32~40
7. Cook, G. E., : "Robotic Arc Welding : Research in Sensory Feedback Control", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.IE-30, No.3, 1983, pp. 252~268
8. Ushio, M., Fan, D., Murata, Y., and Matsuda, F., : "Melting Phenomena of Flux Cored Wire", *Transaction of JWRI*, Vol.14, No.2, 1985, pp.9~16
9. Halmoy, E., : "Wire Melting Rate, Droplet Temperature, and Effective Anode Melting Potential", *Arc Physics and Weld Pool Behavior*, Cambridge : Welding Institute, 1980, pp.49~57
10. Ohshima, K., Abe, M., Kubota, T., and Okada, T., :

- "Sampled-Data Control of Arc Length in MIG Pulsed Arc Welding", *Journal of JWS*, Vol.51, No.8, 1982, pp.82~89
11. Ohshima, K., Abe, M., and Kubota, T., : "Stability of Pulsed Current Consumable Electrode Transfer by Power Source with Periodically Varying Nonlinear Characteristic", *Journal of JWS*, Vol.51, No.2, 1982, pp.91~97
 12. Kim, J.W. and Na, S.J., : "A Study on Prediction of Welding Current in Gas Metal Arc Welding-Part 2 : Experimental Modelling of Relationship between Welding Current and Tip-to-Workpiece Distance and its Application to Weld Seam Tracking System", *Proc. Instn. Mech. Engrs. -Part B : Journal of Engineering Manufacture*, Vol.205, 1991, pp.64~69
 13. Hur, J.W., Kim, J.W., Na, S.J., and Lee, S.Y., : "A Study and Seam Tracking with an Arc Signal in GMA Welding with Mixed Gas", *Journal of the Korean Welding Society*, Vol.8, No.1, 1990, pp.23~30
 14. Cook, G.E., Wells, A.H., Floyd, H.M., and Mckeown, R.L., : "Analyzing Arc Welding Signals with a Micro-Computer", *IEEE transactions on Automatic Control*, Vol.27, No.7, 1982, pp.1282~1288
 15. Kim, J.W., Na, S.J., : "A Study on an Arc Sensor for Gas Metal Arc Welding of Horizontal Fillets", *Welding Journal*, Vol.8, No.8, 1991, pp.216s~221s
 16. Programming manual Robot Control System S3, ABB ROBOTICS AB
 17. Product manual IRB 2000, ABB ROBOTICS AB
 18. service manual Robot Control System S3, ABB ROBOTICS AB