

解 說

大韓熔接學會誌
第6卷, 第4號, 1988年 12月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol.6, No.4, Dec., 1988

아크센서를 이용한 용접선 추적장치

김 재 응* · 나 석 주*

I. 서 론

산업용 로봇의 출현은 균일한 품질의 유지, 생산성의 향상, 열악한 작업환경에서의 작업자 대체효과로 인간의 작업을 보다 용이하게 만들어 주고 있다. 특히 용접분야에 있어서 산업용 로봇의 적용은 타분야보다 먼저 시작되었는데 이는 로봇의 능력과 적용효과가 용접분야에 있어서 적절하였기 때문이라 사료된다. 로봇의 용접에 대한 적용은 전기저항점 용접(Resistance Spot Welding)과 아크용접(Arc Welding)에 집중되어 있는데 전기저항점 용접의 단순반복작업과 아크용접의 유해광선 및 연기발생, 품질유지의 필요성이 로봇을 요구한 것이다.

그러나 아크용접 로봇시스템은 로봇 이외에 용접자세를 하향 또는 수평자세로 만들어 주기 위한 포지셔너(Positioner)와 용접물의 정착을 위한 지그(Jig)등의 주변기기로 구성되는데 이러한 시스템이

반복적인 작업을 원활히 수행하기 위해서는 주변기기 및 공작물간의 오차를 정밀하게 유지시켜야 하며, 그외에도 용접토치의 팁(Tip)이 마모됨에 따른 오차를 최소화해야 하는 문제가 있어 로봇의 적용이 제한되고 있다.

주변기기와 공작물간의 정밀도를 높이는 문제는 제작비 상승을 초래하며 생산성을 저하시키는 요인이 되어 로봇의 적용성을 약화 시키며 궁극적으로는 무인화 공장 구현의 큰 문제로 남게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 로봇의 지능화가 필요하며 그 일차적인 방안이 센서의 적용이다. 적절한 센서의 적용으로 공작물간의 정밀도관리를 완화시킬 수 있게 되며 로봇 교시(Teaching)시간 및 재교시 회수의 단축으로 적용성의 확대와 생산성 향상을 유도할 수 있다.

지금까지 용접선을 추적하기 위한 대표적인 센서는 <표 1>에 나타낸 바와 같이 여러 종류가 있는데 크

표 1. Kinds of seam tracking sensors. [1]

Kinds of sensors		Principles	Features
Contact type	Guiding roller	Mechanical guides with rollers	Simple mechanism, Limited accuracy
	Stylus	Control by electrical transducers with a stylus	
No -contact type	Electro magnetic	Detection of induction voltage or phase difference	Relatively low cost, Influenced by arc's heat and magnetism
	Image processing	Image processing with ITV or CCD	Ability of real tm Extremely high cost
	Arc sensor	Detection of arc voltage or current	Any detector unnecessary, Real time sensing, Lowcost, Requires weaving of arc
	Others	Optical light sectioning technique, Gas pressure, capacitance.	

* 한국과학기술원 생산공학과

계 접촉식과 비접촉식으로 구분할 수 있다. 접촉식에 있어서는 접촉부의 용접위치에 대한 리드(Lead) 거리와 낮은 정확도로 인하여 적용에 있어서 제한적이며, 비접촉식에 있어서는 대체로 아크 용접열 및 빛 또는 자화에 의한 영향을 받으며 복잡한 구조를 가지고 있다. [1]

비접촉식 센서에서 아크센서는 용접시의 전압 또는 전류신호를 이용하여 용접선을 추적하는 것으로 토치에 부착되는 별도의 감지장치가 필요없고 주요 기능이 아크의 특성을 이용하는 소프트웨어(Software)로 이루어져 제작비가 비교적 저렴하다. 또한 다른 센서에서는 통상 신호 감지위치가 용접하고 있는 위치보다 앞에(Lead 거리) 존재하므로 로보트에 적용할 경우 자유도의 하나를 센서위치 조정에 사용하게 되어 용접자세에 제한이 될 수 있으며 용접 초기 및 끝점에서 특별한 처리가 필요하지만 아크센서는 용접위치와 신호감지위치가 동일하여 위와 같은 문제점은 고려하지 않아도 되는 이점을 가지고 있다. 그외에도 용접와이어가 휘어져 있더라도 영향을 받지 않는다. 그러나 토치가 반드시 위빙(Weaving)을 하여야 하므로 박관금속의 용접에 적용이 곤란하며 용접조건에 따라 다소 영향을 받는 단점을 가지고 있다.

본 글에서는 용접공정과 아크신호와의 관계 및 아크센서의 원리에 대하여 설명하고자 한다.

II. 아크센서의 원리 및 응용

1. 비소모성 전극 아크용접(Gas Tungsten Arc Welding; GTAW)에서의 아크 특성

비소모성 전극 아크용접은 흔히 TIG용접이라 불려지고 있으며 텅스텐 전극과 모재사이에 아크를 발생시켜 아크 열을 용접열로 이용하는 용접법이다. 이 용접법은 비철금속이나 박관금속의 용접에 주로 이용되고 있으며, 용접기는 정전류형의 전원공급 장치로 되어있어 전극과 모재사이의 거리가 길어지면 전압이 증가하며 반대로 짧아지면 전압이 감소한다.

G. E. Cook의 연구결과[2]에 의하면 텅스텐 전극과 모재사이의 거리가 1mm에서 10mm사이 일때 전극 모재간 거리와 용접전압과는 거의 직선적인 관계가 있어 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 또한 이 전압값의 전극-모재간 거리에 대한 민감도(Sensitivity)를 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V = n_1 + n_2L \quad (1)$$

$$SEN = (dV/dL)/V * 100\% \quad (2)$$

여기서 V 는 용접전압, L 는 전극-모재간 거리, n_1, n_2 는 상수이다. 보호가스(Shield Gas)로 아르곤(Ar)을 사용할 경우 (1)식에서 n_2 는 0.5~0.85V/mm의 값을 가지며, 이 신호의 민감도는 (2)식으로부터 용접전압이 12V일때 약 4~7%임을 알 수 있다. 보호가스가 헬륨(He) 일때는 n_2 의 값이 1~1.75V/mm로 되어 보호가스에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있다.

2. 소모성 전극 아크용접(Gas Metal Arc Welding; GMAW)에서의 아크 특성

소모성 전극 아크용접은 보호가스의 종류에 따라 MIG(Metal Inert Gas) 용접, MAG (Metal Active Gas) 용접 혹은 CO₂용접이라 세분되어 불려지며 와이어 형태의 용가재를 전극으로 사용하여 아크 열에 의해 연속적으로 공급되는 용가재(전극)와 모재가 녹아 용접부를 접합시키는 용접법이다. 이 용접법은 탄소강 및 합금강, 알루미늄합금의 용접에서 약 4mm 이상의 두꺼운 모재를 용접하는데 적합한 용접법으로 중공업, 조선업에서 많이 사용하고 있으며, 용접기는 정전압형태의 전원공급 장치로 되어있어 팁-모재간 거리가 클 수록 전류는 감소하며 작을 수록 전류는 증가한다.

E. Halmoy[3], G. E. Cook의 연구결과[2]에 의하면 팁-모재간거리의 변화에 대한 전류값의 변화가 GTA 용접에서보다 복잡한 기구를 가지고 있다. (3)식은 와이어 송급속도와 와이어돌출길이 및 전류밀도의 관계를 나타내며, 이것으로부터 (4)식과 같은 변화율을 유도하였다.

$$W = r_1j + r_2L_ej^2 \quad (3)$$

$$(dj/dL_e) = r_2j^3 / (r_1j - 2W) \quad (4)$$

여기서 W 는 와이어 송급속도, j 는 와이어에서의 전류밀도, L_e 는 팁으로부터 와이어가 돌출한 길이이며, r_1 과 r_2 는 용적(Droplet)의 단위체적당 열량과 와이어의 저항등에 의해 결정되는 상수이다. 그런데 팁-모재간 거리를 달리하였을 때에도 아크길이는 거의 일정하게 나타나 (4)식에서 와이어 돌출길이의 변화량을 팁-모재간 거리의 변화량으로 표현할 수 있다. 따라서 그 민감도(Sensitivity)를 (5)식과 같이 정의할 때 그 값은 약 2~6%로 나타났다.

$$SEN = (dj/dL)/j * 100\% \quad (5)$$

여기서 L 은 팁-모재간 거리를 나타낸다.

GMA용접에서의 민감도는 GTA용접의 경우보다 작은 값을 나타내고 있는데 제어신호로 이용하는데 있어서 보다 정확한 측정과 정밀한 계산이 요구됨을 예상할 수 있다.

3. 제어 알고리즘

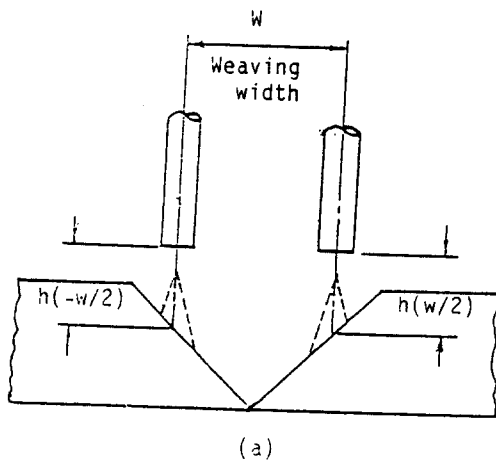
아크센서를 이용한 용접선 추적은 앞에서 설명한 바와같이 전압 또는 전류신호가 텀-모재간 거리에 따라 변화하는 것을 이용하는데, 그 방법에 있어서 여러가지 형태가 있으며 크게 고정된 위빙(Weaving) 조건에 의한 방법과 위빙 폭, 위빙 주파수등이 접합부 개선조건에 따라 적용하는 방법으로 나눌 수 있다. 아크신호는 용접선을 추적하기 위한 신호로서 뿐만 아니라 GMA용접에서 금속이행 주파수를 알아 내어 이면의 용융폭을 제어하기 위한 신호로 사용된 예[4]도 있으며, 아크의 안정성을 측정하는 신호로도 이용되고 있다[5]. 다음에는 아크신호를 용접선 추적에 적용하는 제어 알고리즘을 각 경우에 대해 설명한다.

(1) 고정 위빙 방식[2]

1) 모형신호 조합(Template Matching)방식

이 방법은 동일한 개선형상에서 동일한 아크신호가 나오는 것을 예측하여 위빙(중심점을 용접접합부 중심에 맞추도록 하는 방법이다. 이 방법에서 오차의 평가는

$$E_c = \int_{-w/2}^0 |t(x) - s(x)| dx - \int_0^{w/2} |t(x) - s(x)| dx \quad (6)$$



로 하고 중심선 일치를 위한 수정은 다음과 같이 한다.

$$\text{Center Correction} = k_1 E_c \quad (7)$$

여기서 w 는 위빙 폭, x 는 위빙방향 좌표, $t(x)$ 는 모형신호, $s(x)$ 는 아크 신호이고 k_1 은 상수이다. $t(x)$ 는 해석적으로 미리 결정하거나 사전의 평균 아크신호 또는 최근의 신호값으로 정할 수 있다. (7) 식과 같은 수정을 계속하면 중앙선을 추적하는 귀환 시스템이 된다.

2) 차분 제어(Differential Control) 방식

GMA용접을 대상으로 설명하면 <그림 1>에서와 같이 용접토치를 좌우로 위빙할 때 위빙 폭 양단에서의 전류신호값의 차이를 이용하여 용접 중심선을 추적하는 방법이다. 중심점으로 부터의 수평방향 오차(E_{cs})는

$$E_{cs} = k_1 [i(w/2) - i(-w/2)] \quad (8)$$

로 구하며 수직방향의 오차(E_v)는

$$E_v = k_2 [i(0) - I_{ref}] \quad (9)$$

로 얻는다. 여기서 $i(0)$ 는 위빙 중심점에서의 전류값이며 I_{ref} 는 미리 설정된 중심위치 전류의 기준치이다. 그리고 귀환상수 k_1, k_2 는 용접속도, 보호가스, 위빙조건등에 따라 결정된다. 이 방법은 모형신호 조합의 경우보다 계산이 간단하며 위치제어에 있어서 신뢰도가 비교적 높아 적용성이 좋다.

(2) 적응 위빙 방식[6][7]

적응 위빙 방식은 GMA 용접에 대하여 설명하면

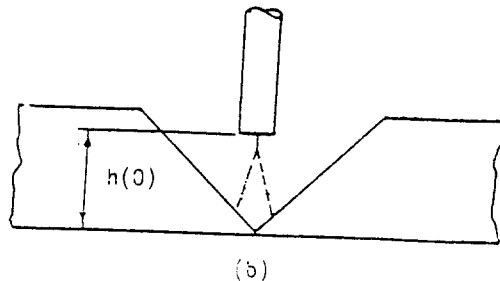


그림 1. Sensing of torch position via arc signal[2]

개선부내에서 토치가 위빙을 할 때 미리 정해진 기준 전류치와 같은 전류값을 유지하도록 팁-모재간 거리를 조절하며, 토치 높이가 일정 높이보다 높게 되면 위빙 방향을 바꾸어 진행시키는 방법으로 <그림 2>에 그 원리를 나타내었다. 여기서 용접전류가

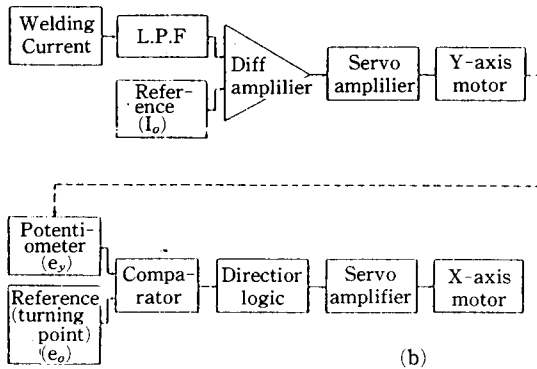
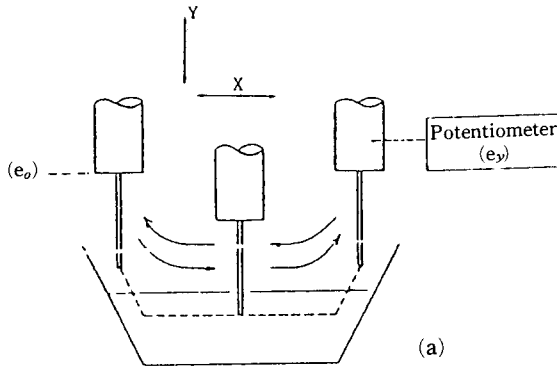
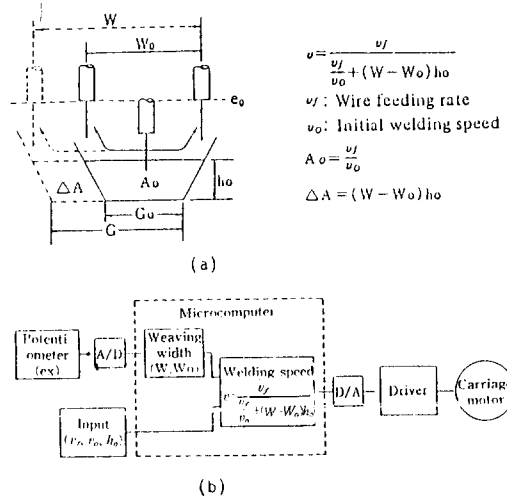


그림 2. Principle of automatic seam tracking control with arc sensor [6]

기준전류보다 크면 Y 축 모터를 가동하여 토치를 높여주며 용접전류가 기준전류치보다 작으면 토치높이를 낮추어 준다. 토치가 개선부의 경사면을 따라 전류값을 기준전류치로 유지하기 위해 상승하다가 정해진 높이에 다다르면 X축의 방향을 반대로하여 같은 과정을 계속 수행한다.

따라서 이 방법은 X 축모터의 방향을 바꾸어 주는 지점을 기억하여 개선폭을 감지할 수 있으며 그 개선폭이 변화되었을 때 용접속도를 조절하여 비드 높이를 균일하게 유지시켜 줄 수 있는 제어가 가능하다. 이것은 고정위빙 방식에서는 구현하기 곤란하며 적응위빙 방식의 장점이라 할 수 있다. <그림 3>에 아크신호를 이용한 용접속도 제어의 개념을 나타내었다.



$$v = \frac{v_f}{\frac{v_f}{v_0} + (W - W_0) h_0}$$

v_f : Wire feeding rate
 v_0 : Initial welding speed
 $A_0 = \frac{v_f}{v_0}$
 $\Delta A = (W - W_0) h_0$

그림 3. Principle of welding speed control by arc sensor[6]

4. 아크센서의 응용

전술한 제어 알고리즘들은 하향자세의 맞대기 및 필릿(Fillet) 용접을 기본으로 한 것들이다. 수평 필릿 용접에서는 수직관재가 휘어진 경우 위빙방향과 그 수직방향으로의 변위가 동시에 발생하게 된다. 그러나 이 경우에도 고정 위빙방식에서의 위빙방향과 그 수직방향의 수정기능을 이용하면 용접선을 추적할 수 있다. <그림 4>는 수평 필릿용접에서 용접선 추적을 실행한 예이며, 다음에 설명할 회전 아크 용접[11]과 두개의 전극을 이용한 아크용접[12]에서도 찾아볼 수 있다.

아크센서를 이용하여 용접선을 추적하는 방법에는

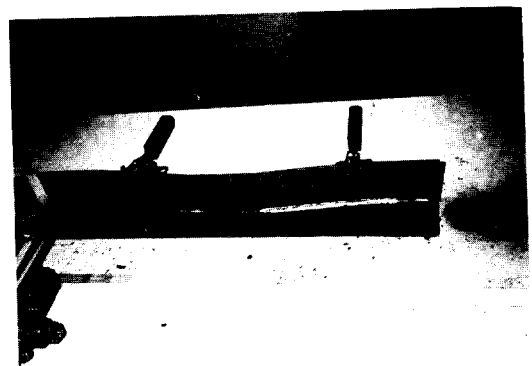


그림 4. Photograph of horizontal fillet weld bead by tracking control sensor.

앞에서 설명한 제어방식을 적용하고 있는 예[2][6][7][8]의에도 고정된 조건으로 토치를 위빙시키면서 측정된 아크신호의 패턴으로부터 변위를 감지하여 용접선을 추적하는 경우[9], 마찬가지로 고정된 조건으로 토치를 위빙시키면서 측정된 아크신호의 주파수 스펙트럼(Frequency power spectrum)으로부터 변위를 감지하여 용접선을 추적하는 예[10]등이 있다. 또한 특별한 기구를 토치에 부착하여 사용하는 방식으로 <그림 5>와 같이 틱을 회전시켜 결국 아크가 용융지(Weld puddle) 위에서 회전하도록 만들어 이때 발생한 아크신호와 틱을 회전시키는 장치에서 발생하는 신호를 동기시켜 좌우로의 토치변위를 아크신호로부터 알아내어 수정하며 아크신호의 평균치로써 토치방향의 변위도 수정하는 예[11]가 있고, 독립된 두개의 전극으로 용접하면서 그 두 아크신호의 차이와 합을 이용하여 용접선을 추적하기로 한다[12]

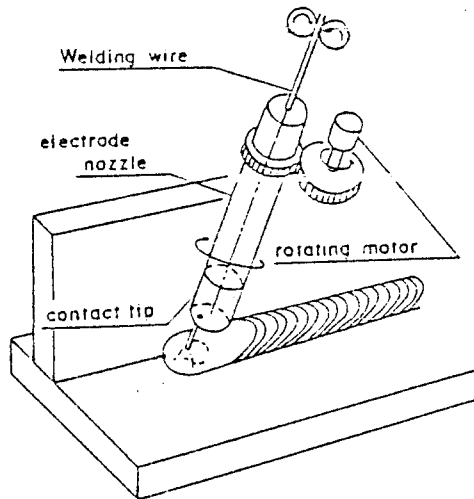


그림 5. Principle of rotating mechanism[11]

5. 초기점 보정장치

앞에서 설명한 용접선 추적센서의 기능은 용접초기점이 올바른 상태인 것을 기준으로 하고 있다. 따라서 그 활용도를 높이기 위해서는 초기점을 찾거나 보정해 주는 장치가 요구되는데 전극을 이용하여 위치를 감지하는 방법이 있어 통상 터치센서(Touch Sensor)라 한다. <그림 6>에 터치센서의 동작 개념을 나타내었는데 전극에 전압을 가한 상태에서 주어진 방향으로 토치를 진행시키다가 전극이 모재에 닿는

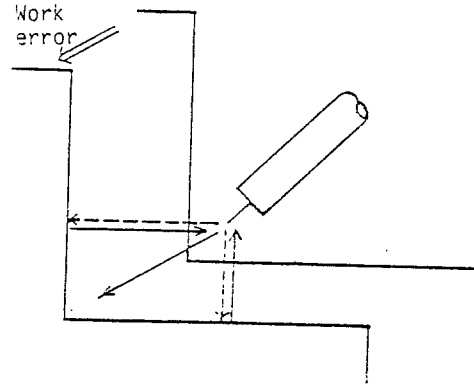


그림 6. Welding start point detection by touch sensor

순간 제어장치로 하여금 이를 감지하여 용접위치를 보정해 줄 수 있게 된다. 초기점을 찾도록 특정한 방향으로 토치를 진행시키기 위해서는 용접이음부의 형태에 대한 정보가 필요하며 이 일련의 동작을 용접이음부별로 모듈화하는 것도 바람직하다. 터치센서는 부가되는 감지장치가 필요치않는 장점을 가지고 있으나 보정시간이 길다는 것이 단점이다.

III. 결 론

아크용접에 로봇트가 적용되면서 그 적용대상 폭을 넓히기 위하여 여러 종류의 센서들이 개발되어 왔다. 그 중 로봇트나 자동용접장치에 장착이 용이한 아크센서에 대하여 원리들과 응용한 예들을 소개하였다.

용접이음부의 최소두께 제한, 용접중 용융지의 처침(Distortion) 등에 따른 아크신호의 불안정이 문제로 남아 있으므로 아크센서의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 각 용접공정의 보다 정확한 해석이 요구되며 이들을 적용하기 위한 제어 알고리즘의 개선 또한 요구된다. 아크센서가 개선되어 신뢰도가 높아질수록 더욱 광범위하게 적용될 것이며 아크용접작업의 생산성 향상에 크게 기여하게 될 것이다.

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. 1983, pp. 42~50.
2. G. E. Cook, "Robotic arc welding: Research in

- sensory feedback control", IEEE Trans. on Industrial Electronics Vol. IE-30, No. 3, Aug. 1983, pp. 252~268.
3. E. Halmoy, "Wire melting rate, droplet temperature, and effective anode melting potential", Proc. Int. Conf. on Arc Physics and Weld Pool Behaviour, The Welding Institute, Cambridge, 1979. pp. 49~57.
 4. Y. Kitazawa et al., "Through the arc sensing system for GMA one side welding", IIW DOC. XII-931-86, July 1986.
 5. T. Mita et al., "Quantitative estimates of arc stability for CO₂ gas shielded arc welding", Welding International, Vol. 2, No. 2, 1988, pp. 152~159.
 6. H. Nomura et al., "Automatic real-time bead height control with arc sensor (report 2)", Trans. of the Japan Welding Society, Vol. 18, No. 2, Oct. 1987, pp. 43~50.
 7. H. Nomura et al., "Automatic real-time bead height control with arc sensor in TIG welding", Trans. of the Japan Welding Society, Vol. 18, No. 2, Oct. 1987, pp. 35~42.
 8. F. Eichhorn et al., "GMA welding of filler passes with a new type of arc controlled seam tracking system", IIW DOC. XII-936-86, March 1986.
 9. H. Fujimura et al., "Joint tracking control sensor of GMAW", Trans. of the Japan Welding Society, Vol. 18, No. 1, April 1987, pp. 32~40.
 10. J. Nakajima et al., "Arc sensor for welding line tracking applied to welding robot", IIW DOC, XII-954-86, July 1986.
 11. H. Nomura et al., "Development of automatic fillet welding process with high speed rotating arc", Trans. of the Japan Welding Society, Vol. 18, No. 2, Oct. 1987, pp. 26~34.
 12. F. Eihhorn et al., "SA-twin-arc-welding with sensorless seam tracking system", IIW DOC. XII-907-85.