

GMA 용접로봇용 아크센서 시스템에 관한 연구

A Study on the Arc Sensor System for Robotic Gas Metal Arc Welding

오 승 준 (영남대학교 대학원 기계공학과) · 김 제 응 (영남대학교 기계공학부)

1. 서론

대량 생산체제에서 적정수준의 품질유지를 통하여 제품의 생산성을 향상시키는 관점에서 생산의 자동화분야는 끊임없이 발전하고 있다. 용접대상물이 열변형이나 부정확한 장착 등으로 인한 장착오차를 가지게 되는 경우, 교시된 용접선의 경로와 실제 용접선의 경로사이에는 오차가 발생하게 되므로 용접기의 토치가 단순히 교시된 경로를 따라 이동하는 방식(teach and playback type)만으로는 균일한 품질의 용접부를 얻기가 힘들다.^{1,2)} 따라서, 최근 산업현장의 자동화된 용접공정에서는 용접선의 위치오차보정을 위한 센서시스템의 도입을 모색하고 있으나, 로봇제작사를 통해 제공되는 상용의 센서 인터페이스 모듈은 비교적 고가이며 각 공정에 따라 적절하게 변경될 필요가 있다. 산업용 용접로봇에 적용하기 위한 용접선 자동추적용 센서시스템의 개발을 통하여 센서 인터페이스 모듈을 국산화함에 따른 외화의 절감효과와 용접공정의 자동화를 위한 산업용 용접로봇의 현장적용성에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 산업용 GMA 용접로봇에 아크센서 시스템을 적용하기 위한 로봇의 on-line 위치오차 보정기능을 조사하여 센서신호로부터 얻은 토치의 위치정보와 로봇의 제어기로 전송할 교정값과의 관계를 규명하였다. 로봇운동(robot motion)의 조사를 통한 교정값과 보정량사이의 관계를 토대로 간단한 아크센서 알고리즘을 적용한 용접선 자동추적 시스템을 구축하여 60°의 그루브를 갖는 후판의 맞대기 용접부와 박판의 필릿 용접부에 대하여 용접선 추적실험을 행한 결과 양호한 용접선 추적성능을 확인할 수 있었다.

2. 아크센서의 실험적 모델링

팁-모재간의 거리변화에 따른 용접전류의 변화는 일반적으로 다음의 간략한 관계식으로 표현할 수 있다.³⁾

$$I = -\alpha \cdot L + \beta \quad \text{----- (1)}$$

여기서, α, β : constant

L : contact - tip to workpiece distance (CTWD)

평판(bead on plate)에서의 모델링 실험을 통하여 Fig.1과 같이 팁-모재간 거리변화에 따른 용접 전류 신호의 변화관계를 얻었다. Fig.1에서의 결과로부터, 반주기의 위빙 양끝단에서의 용접전류차(ΔI)로부터 추론할 수 있는 팁-모재간의 거리변화(ΔL)는 다음과 같다.

$$\Delta L = -\Delta I / \alpha \quad \text{----- (2)}$$

여기서, α : constant

ΔI : variation of welding current

3. On-line 위치오차 보정기능을 위한 교정신호의 조사

Fig.2와 같이 외부에서 전송한 교정값과 위빙중심의 변화크기를 조사하였으며, 일정한 용접길이에 대하여 용접속도가 일정하면 교정값의 변화에 따른 위빙중심의 변화크기는 위빙폭, 반주기 위빙시간과는 무관하게 일정하다. Fig.2에서의 결과로부터 교정값의 전송에 따른 위빙중심의 변화크기는 용접속도만의 함수이며, 교정값과 위빙중심의 변화크기 사이의 특성곡선에서 기울기는 용접속도와 관계가 있다. Fig.3는 Fig.2에서 얻은 관계를 이용하여 전체 용접길이에 대하여 위빙중심의 변화크기를 반주기 위빙의 횟수로 나누어 반주기 위빙당 위빙중심의 변화크기를 나타낸 선도이다. Fig.3에서와 같이 일정한 용접길이에 대하여 반주기 위빙시간이 일정하면 교정값의 변화에 대하여 반주기 위빙중심의 변화크기는 용접속도, 위빙폭과는 무관하게 일정하다. 반주기 위빙중심의 변화크기는 반주기 위빙시간만의 함수이다. Fig.4는 위빙 양끝단에서의 용접 전류신호를 비교하여 토치의 중심에서 벗어난 크기 만큼에 해당하는 교정값의 전송을 통한 용접선추적 알고리즘의 적용을 위하여, Fig.3에서 얻은 관계를 실제의 제어 알고리즘에 적용하기 위한 관계선도이다. Fig.4와 같이 반주기 위빙당 용접선의 중심에서 벗어난 크기

(D)와 그에 상응하는 교정값(Tcd)과의 상호관계를 표현하였으며, 위빙 양끝단에서의 dwell시 센서의 출력신호로부터 토치의 위치정보를 검출하는 용접선추적 알고리즘에서는 토치가 실제 용접선의 중심과 벗어난 량에 대응되는 교정값을 전송함으로써 용접선의 추적이 가능하다.⁴⁵⁾

$$Tcd = M \cdot D + C \quad \text{----- (3)}$$

여기서, Tcd : transverse correction data
M : slope between D & Tcd
D : deviation from groove center [mm]
C : constant

4. 용접선추적

4.1 용접선추적 알고리즘

Fig.1과 같이 모델링을 통해 조사한 팁-모재간 거리변화에 따른 용접 전류신호의 변화관계를 이용하면, 현재의 토치위치에서의 용접 전류신호를 감지하여 용접선의 중심에서 벗어난 정도를 파악할 수 있으며, 입력 파라미터로서 반주기 위빙시간을 입력하면 Fig.4의 관계로부터 기울기 M이 결정되므로 식 (3)을 통해 산출된 보정량에 대응하는 교정값을 전송함으로써 용접선의 중심에서 벗어난 위치오차를 보정할 수 있다. 용접중 토치의 위빙운동에서 반주기위빙 양끝단의 용접전류를 획득하여, 좌측과 우측에서의 용접전류값 I_L 과 I_R 을 비교하여 ΔI 를 계산한다.

$$\Delta I = I_L - I_R \quad \text{----- (4)}$$

여기서, I_L : welding current at left edge
 I_R : welding current at right edge
 ΔI : variation of welding current

따라서, 반주기위빙 양끝단의 용접전류 비교를 통하여 전송될 최종적인 교정값은 다음과 같다.

$$Tcd = M \cdot \Delta I \cdot \tan(\theta/2) / \alpha \quad \text{----- (5)}$$

여기서, Tcd : transverse correction data
M : slope between D & Tcd
 ΔI : variation of welding current
 α : constant
 θ : groove angle

4.2 실험장치

용접공정에서 발생하는 장착오차에 대응하기 위한 용접선 자동추적용 센서시스템의 구현을 위하여 크게 6축 용접용 로봇(IRB 2000AW, ABB社)의 Manipulator부, 용접 전류신호의 획득을 위하여 셉트저항, 증폭회로, 저역통과 필터, A/D 변환기 등으로 구성된 신호획득부, 신호처리를 통한 센서 알고리즘을 개발하기 위하여 PC로 구성된 제어부의 3부분으로 실험장치를 구성한다. 용접 전류신호를 측정하기 위하여 400A-140mV의 셉트저항, 70배의 증폭비를 갖는 차동 증폭회로, 12Hz의 차단주파수를 갖는 저역 통과 필터회로를 설계, 제작하였다. 실험을 위한 시편은 두께 12mm, V-그루브 형상의 60°의 개섵각을 갖는 연강과 두께 2mm의 냉간압연 강판을 사용하였고, 전극은 직경 1.2mm의 아크용접용 와이어를 사용하였으며, 보호가스로서 100%의 CO₂ 가스를 사용하였다. 실험을 위한 실험장치의 개략도는 Fig.5와 같고 각 실험장치의 사양을 Table 1에 나타내었다.

4.3 용접선 추적실험

4.3.1 후판 맞대기 용접부의 용접선추적

위빙 양끝단에서의 용접전류값을 비교하는 기본적인 아크센서 알고리즘을 적용하여 용접선추적 실험을 행하였다. 용접선 추적실험은 전체 용접길이 150mm의 시편을 대상으로 교시된 용접선에 대하여 ±5°, ±8° 기울어진 용접선에 대하여 행하였다. 팁-모재간 거리변화에 따른 용접전류의 변화량은 모델링을 통하여 얻은 Fig.1의 결과를 사용하였으며, 용접선 추적실험의 결과는 Fig.6와 같다.

4.3.2 박판 필릿 용접부의 용접선추적

3~4mm의 좁은 위빙폭에 대하여 2~3Hz의 비교적 높은 위빙주파수를 가지는 박판의 필릿 용접부를 대상으로 용접선 추적실험을 행하였다. 용접선 추적실험은 전체 용접길이 120mm의 시편을 대상으로 교시된 용접선에 대하여 $\pm 5^\circ$ 의 각도오차를 가지는 경우를 대상으로 하였고, 용접선 추적실험의 결과는 Fig.7과 같다.

5. 결론

- [1] 용접중 토치의 위빙중심을 변화시킬 수 있는 on-line 위치오차 보정기능을 수행하기 위하여, PC와 로봇제어기 사이의 디지털 입·출력을 통한 센서 인터페이스 시스템을 구축하였다.
- [2] 교정값의 변화에 따른 로봇의 운동궤적 변화를 조사하여 전송한 교정값과 위치보정량 사이의 관계를 정량적으로 규명하였다. 조사를 통해 얻은 교정값과 보정량 사이의 관계로부터 반주기 위빙 시간이 일정하면 토치의 이송속도, 위빙폭의 크기에 관계없이 교정값전송에 따른 반주기 위빙에서의 보정량은 일정하였고, 이러한 관계로부터 다양한 토치의 운동조건에 대하여 용접선추적을 위한 제어프로그램의 입력 파라미터를 단순화할 수 있었다.
- [3] 팁-모재간 거리변화에 따른 용접전류의 변화관계는 실험적인 모델링 결과로부터 선형적인 관계로 가정할 수 있었고, 후판의 맞대기 용접부와 박판의 필릿 용접부에 용접선 추적실험을 행한 결과, 양호한 용접선 추적성능을 확인하였다.
- [4] 박판의 필릿 용접부를 대상으로 한 용접선추적에서 위빙주파수가 2~3Hz로 비교적 높은 경우에서는 팁-모재간의 거리변화를 대변할 수 있는 용접전류의 차이가 상대적으로 작게 나타나므로 위빙주파수가 용접선 추적성능에 영향을 미치는 인자임을 확인할 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] T. Araya and S. Saikawa : Recent Activities on Sensing and Adaptive Control of Arc Welding, 3rd International Conference on Trends in Welding Research, Gatlinburg USA, June 1992, pp833~pp842
- [2] J. D. Lane : Robotic Welding, IFS, 1987
- [3] Hur J.-W. et. al : A study on seam tracking with an arc signal in GMA welding with mixed gas, Journal of the Korean Welding Society, 1990, pp23~pp30
- [4] ABB Robotics : Product Manual IRB2000AW
- [5] ABB Robotics : Programming Manual Robot Control System S3

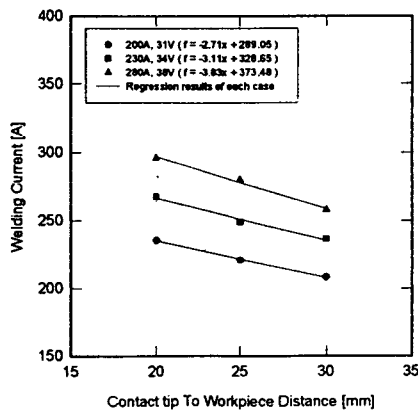


fig.1 Result of Experimental Modeling

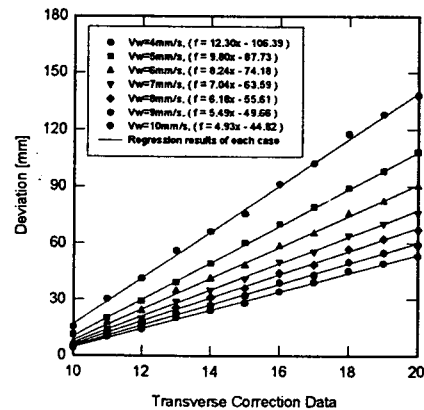


fig.2 Deviations with respect to Transverse correction data

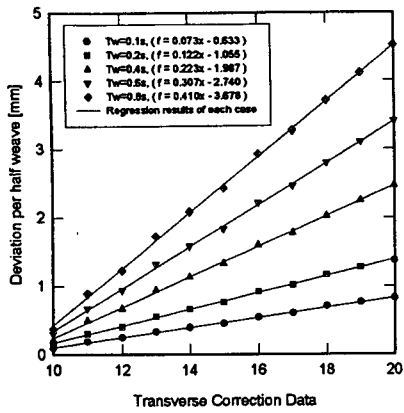


fig.3 Deviations per Half Weave with respect to Tcd

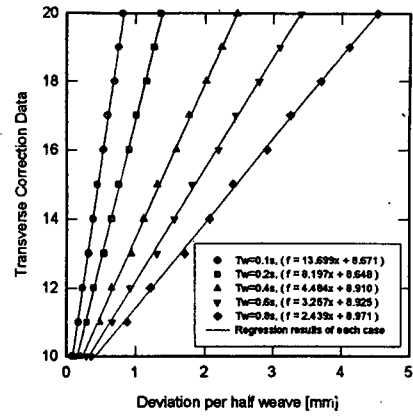


fig.4 Tcd with respect to D per Half Weave

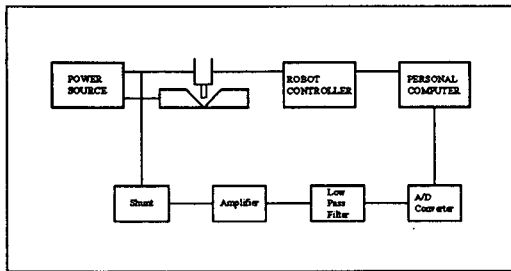


fig.5 Schematic of experimental set-up

Table 1 Specification of experimental set-up

Part	Device	Specification
Manipulator	Robot (IRB2000AW)	6-axis vertical articulated
	Amplifier	Amp. ratio : 70times
Data Acquisition	Low Pass Filter	Cut-off frequency : 12Hz
	A/D converter (PCL812)	Resolution : 12-bit
Controller	Robot Controller	Each 16-bit Digital I/O
	PC	486DX

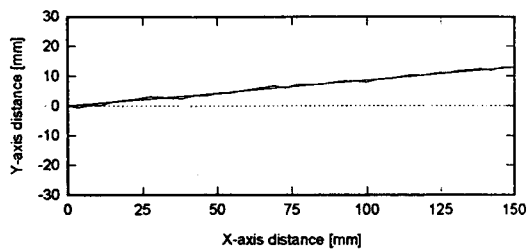


fig.6 Result of seam tracking control (230A, 34V, W=8mm, Tw=0.6s)

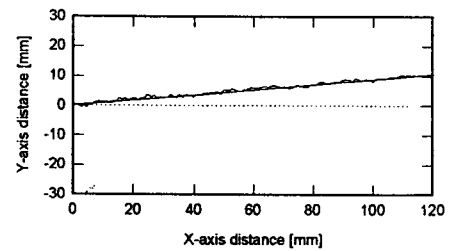


fig.7 Result of seam tracking control (100A, 20V, W=4mm, Tw=0.1)