

## 용접로봇용 아크센서 및 인터페이스 시스템

오승준\*, 김재웅\*\*

### An Arc Sensor and Its Interface System for Welding Robots

Seung-Jun Oh\*, Jae-Woong Kim\*\*

#### ABSTRACT

An arc sensor system to compensate positional errors was developed on the foundation of sensor interface system to make use of the on-line shift function of industrial welding robot. Investigating the on-line shift function, we examine the quantitative relationship between the deviation from programmed path and the correction data transferred from personal computer to robot controller. The number of input parameters for weld seam tracking can be reduced by making the relationship between the deviation and the correction data during half weaving be the function of only cross time. With the results of weld seam tracking for the butt joint with V-groove and fillet joint of sheet metal, good performance was implemented. By developing the sensor interface system to compensate the positional errors, industrial welding robot can be expected to contribute to the promotion of welding automation.

**Key Words** : Sensor Interface System (센서 인터페이스 시스템), On-line Shift Function (실시간 위치보정 기능), Transverse Correction Data (교정지시값), Deviation (위빙중심 변화량), Cross Time (반주기 위빙시간), Arc Sensor (아크센서), Weld Seam Tracking (용접선 추적)

#### 1. 서론

용접공정은 제품의 생산에 있어서 가장 기본적인 그리고 필수적인 조립공정 중의 하나이다. 대량생산체제에서 적정수준의 품질유지를 통하여 제품의 생산성을 향상시키는 관점에서 생산의 자동화분야는 끊임없이 발전하고 있으며, 용접공정에도 기계화된 용접장치들이 생산현장에 투입되어 사용되고 있으나, 용접대상물의 형상오차, 부정확한 장착, 열변형 등에 따른 여러 가지 용접조건변화로 인해 우수하고 균일한 품질의 용접제품을 생산하

는 데에는 다소의 문제점을 안고있는 실정이다. 그러므로, 용접공정 중에 발생할 수 있는 다양한 공정변수의 변화에 따른 적절한 대응을 통하여 우수하고 균일한 품질의 용접접합부를 얻을 수 있는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup>

산업용 용접로봇을 이용한 용접공정에서 용접대상물이 부정확한 장착이나 열변형 등으로 인한 위치오차를 가지는 경우, 교시된 용접선의 경로와 실제 용접선의 경로사이에는 오차가 발생하게 되므로 용접기의 토치가 단순히 교시된 경로를 따라 이동하는 방식만으로는 균일한 품질의 용접부를

\* ㈜세원정공 기술연구소

\*\* 영남대학교 공과대학 기계공학부

연기가 힘들다.<sup>3,5)</sup> 따라서, 최근 산업현장의 자동화된 용접공정에서는 용접 중 용접선의 위치오차를 보정하기 위한 센서시스템의 도입을 모색하고 있으나, 로봇제작사를 통해 제공되는 상용의 센서 인터페이스 모듈은 비교적 고가이며 사용자의 환경에 적합하게 알고리즘, 파라미터 등의 수정 및 개선이 요구된다.<sup>6,8)</sup>

본 연구에서는 산업용 GMA(Gas Metal Arc) 용접로봇의 실시간 위치보정 기능을 활용하기 위한 인터페이스 시스템의 구축을 토대로, 교시된 용접선과 실제 용접선 사이의 위치오차에 대응하기 위한 아크센서 시스템을 개발하였다. 실시간 위치보정 기능의 조사를 통하여, PC에서 전송하는 교정지시값(Transverse Correction Data)과 그에 따른 토치궤적 보정량 사이의 정량적인 관계를 규명하였고, 반주기 위빙에서 교정지시값과 보정량은 반주기 위빙에 소요되는 위빙시간만의 함수라는 관계로부터 용접선추적을 위한 아크센서 알고리즘의 입력파라미터를 간단하게 설계하였다.

본 연구를 통하여 다양한 종류의 센서시스템과 그에 따른 적절한 센서 알고리즘을 사용자의 환경에 따라 유연하게 적용할 수 있는 가능성을 제시하였으며, 산업용 용접로봇에 적용하기 위한 용접선 추적용 센서시스템의 개발을 통하여 센서 인터페이스 모듈을 국산화함에 따른 외화의 절감 효과와 산업용 용접로봇의 현장 적용성 제고에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 용접로봇의 실시간 위치보정 기능

### 2.1 PC와 로봇제어기의 인터페이스

본 연구에서 로봇 매니플레이터는 ABB사의 IRB2000AW, 로봇제어기는 ABB사의 S3, GMA 용접기는 ESAB사의 LUA315 모델을 대상으로 하였다. 용접 중 토치의 위빙중심을 변화시키기 위해서는 외부에서 로봇제어기로 센서데이터에 해당하는 교정지시값을 전송해야 한다.<sup>9,11)</sup> 따라서, 아크센서 알고리즘을 개발하고 교정지시값을 전송하기 위한 PC와 토치의 구동지령을 위한 로봇제어기 사이에는 디지털 입, 출력 인터페이스가 필요하다. 본 연구에서는 디지털 입, 출력을 위하여 PPI 8255 등으로 구성된 인터페이스 보드를 설계, 제작하여 사용하였다. 용접 중에 발생하는 위치오차에 대응하기 위해 사용되는 교정지시값은 1비트의 부호

비트를 포함하여 6비트의 센서데이터가 사용된다.<sup>10)</sup> 따라서, 교정지시값은 용접선을 기준으로 (+) 방향의 경우 0~31, (-)방향의 경우 32~63의 값을 가지는 무차원의 정수이다. Fig. 1은 PC와 로봇제어기 사이에서 주고 받는 디지털 입, 출력신호의 흐름을 나타낸다.

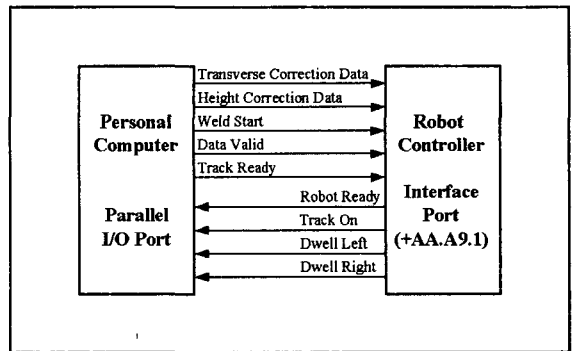


Fig. 1 Interface signals between PC and Robot controller

### 2.2 교정지시값에 따른 궤적 보정량의 조사

Fig. 2는 교정지시값의 전송에 따라 변화하는 위빙중심의 궤적을 직접 기록한 결과의 예로서, 전체 용접길이는 100mm, 용접속도(Vw)는 6mm/s, 위빙폭(W)은 8mm, 반주기 위빙시간(Tw)은 0.6s, 위빙 양단에서의 dwell time(Td)은 정확한 위빙폭의 유지를 위해 요구되는 최소 시간인 0.05s의 조건을 사용하였다.<sup>10)</sup>

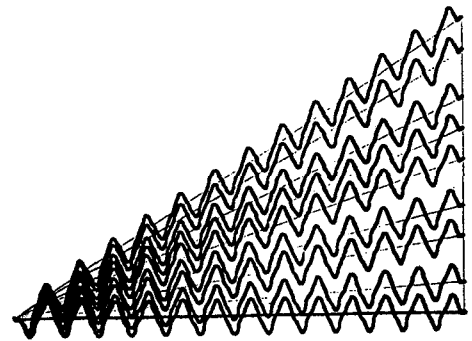


Fig. 2 Programmed path variation according to transverse correction data

용접속도, 위빙폭, 반주기 위빙시간 등을 변화시켜가며 용접토치의 다양한 운동조건에서 외부에서 전송한 교정지시값의 변화에 따른 위빙중심의 변화크기를 조사한 결과, Fig. 3 과 같이 일정한 용접길이에 대하여 용접속도가 일정하면 교정지시값의 변화에 따른 위빙중심의 변화크기는 위빙폭, 반주기 위빙시간과는 무관하게 일정하였다. 즉, 교정지시값의 변화에 따른 위빙중심의 변화크기는 용접속도만의 함수이다.

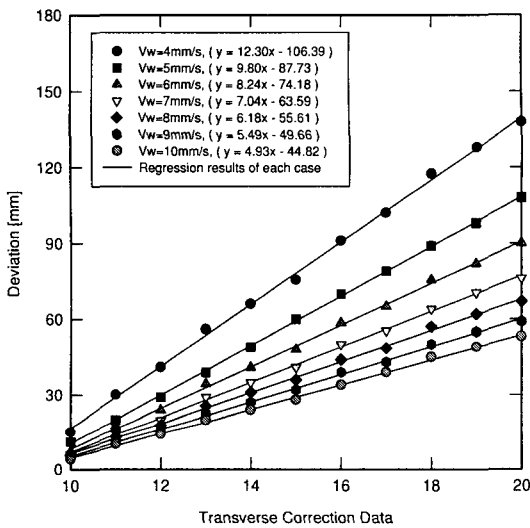


Fig. 3 Deviation according to transverse correction data

Fig. 4 는 Fig. 3 에서 얻은 관계를 이용하여 전체 용접길이에 있어서 위빙중심의 변화크기를 반주기 위빙의 횟수로 나누어, 1 회위 위빙에서의 위빙중심 변화크기에 대응되는 교정지시값을 나타낸 선도이다. Fig. 4 와 같이 일정한 용접길이에 대하여 반주기 위빙시간이 일정하면 반주기 위빙중심의 변화크기에 대응되는 교정지시값은 용접속도, 위빙폭과는 무관하게 일정하다. 즉, 반주기 위빙중심의 변화크기에 대응되는 교정지시값은 반주기 위빙시간만의 함수이다. Fig. 4 를 통하여 실제의 제어 알고리즘에 적용할 때, 1 회위 위빙에서 용접선의 중심에서 벗어난 크기에 대응되는 교정지시값을 구할 수 있다.

Fig. 5 는 용접토치의 운동조건에 위빙폭(W), 반주기 위빙시간(Tw), dwell time(Td) 등의 위빙파라미터를 포함하지 않았을 때, 교정지시값의 전송에

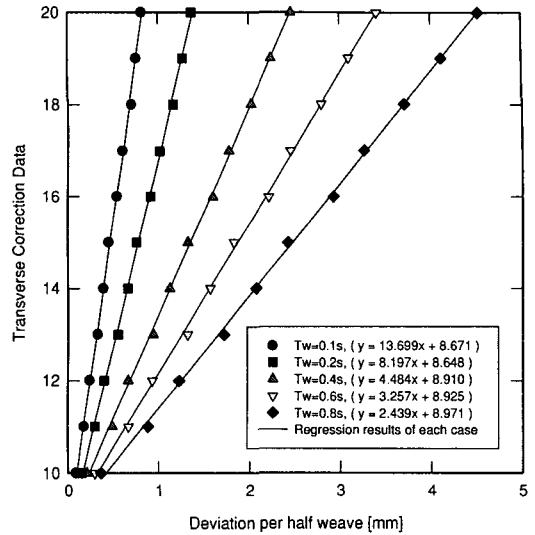


Fig. 4 Transverse correction data correspond to deviation per half weave

따라 변화하는 위빙중심의 궤적을 직접 기록한 결과의 예로서, 전체 용접길이는 100mm, 용접속도 (Vw)는 6mm/s 의 조건을 사용하였다.

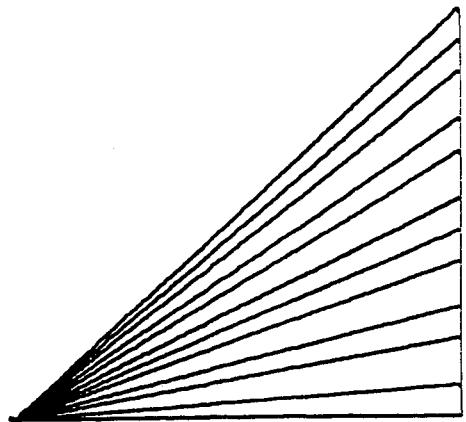


Fig. 5 Programmed path variation according to transverse correction data when weave parameters excluded

용접속도를 변화시켜가며 용접토치의 다양한 운동 조건에서 외부에서 전송한 교정지시값의 변화에 따른 위빙중심의 변화크기를 조사한 결과, 용접토

치의 운동조건에 위빙파라미터가 포함되지 않은 경우에서도 위빙파라미터가 포함된 Fig. 3의 경우와 마찬가지로, 용접속도가 일정하면 교정지시값의 변화에 따른 위빙중심의 변화크기는 위빙파라미터의 유무와 무관하게 용접속도만의 함수임을 확인하였다.

따라서, 본 관계를 이용하면 강제적인 토치의 위빙을 요구하지 않는 아크센서 알고리즘이나 용접현상에 의존하지 않는 아크센서 이외의 센서 시스템 등 다양한 종류의 센서와 그에 따른 적절한 센서알고리즘을 사용자의 환경에 따라 유연하게 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 3. 아크센서 시스템의 개발

#### 3.1 실험적 모델링

팁-모재간 거리변화에 따른 용접전류의 변화는 일반적으로 다음의 간략한 관계식으로 표현된다.

$$I = -\alpha * L + \beta \tag{1}$$

여기서, I: 용접전류 [A]  
 L: 팁-모재간 거리 [mm]  
 $\alpha, \beta$ : 상수

따라서, 용접 중 측정된 용접전류차( $\Delta I$ )로부터 연산할 수 있는 팁-모재간 거리변화( $\Delta L$ )는 다음과 같다.

$$\Delta L = -\Delta I / \alpha \tag{2}$$

여기서,  $\Delta L$ : 팁-모재간 거리변화 [mm]  
 $\Delta I$ : 용접전류차 [A]

Fig. 6은 평판에서의 실험적인 모델링을 통해 얻은 팁-모재간 거리변화에 따른 용접전류의 변화관계를 나타낸다. 본 결과와 식(2)의 관계를 이용하면 용접 중 용접전류를 측정하여 용접토치의 위빙중심이 용접선에서 벗어난 크기를 추정할 수 있으며 이를 제어하는 것이 아크센서 시스템이다.

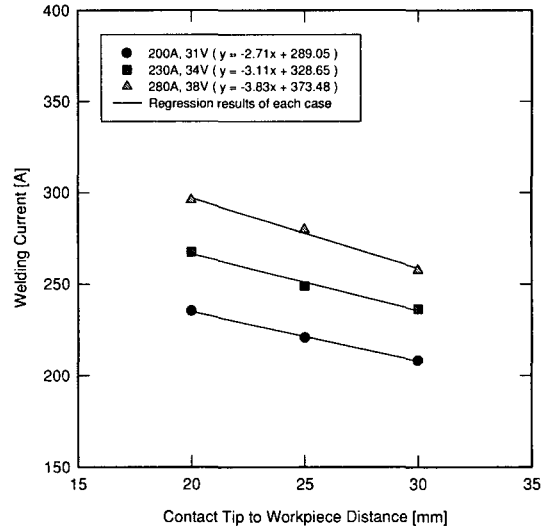


Fig. 6 Welding current variation according to contact tip to workpiece distance

#### 3.2 하드웨어 구성

용접공정에서 용접 중에 발생하는 위치오차에 대응하기 위한 용접선 자동추적용 아크센서 시스템의 구현을 위하여 크게 로봇 매니플레이터부, 용접 전류신호의 획득을 위하여 션트저항, 증폭회로, 저역통과 필터, A/D 변환기 등으로 구성된 신호획득부, 신호처리를 통한 센서 알고리즘을 개발하기 위하여 PC로 구성된 제어부의 3부분으로 하드웨어를 구성하였다.

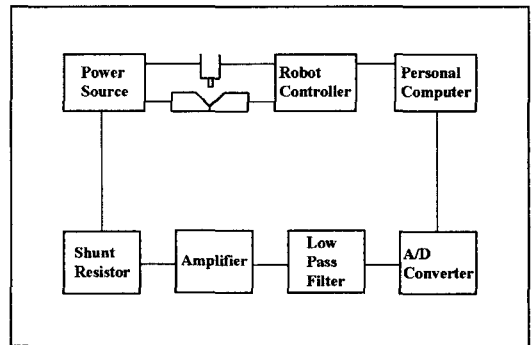


Fig. 7 Configuration of hardware setup

센서신호로 활용할 용접 전류신호를 측정하기 위하여 400A-140mV의 션트저항, 70배의 증폭비를

갖는 차동 증폭회로, 12Hz의 차단주파수를 갖는 저역통과 필터회로를 설계, 제작하였다. 아크센서의 성능평가를 위한 시험편은 두께 12mm, V-그루브 형상의 60°의 개섩각을 갖는 연강과 두께 2mm의 냉간압연 강판을 사용하였고, 전극은 직경 1.2mm의 아크용접용 와이어를 사용하였으며, 보호가스로서 100%의 CO<sub>2</sub> 가스를 사용하였다. 하드웨어 구성의 개략도는 Fig. 7과 같으며, 전체 시스템을 Fig. 8에 나타내었다.

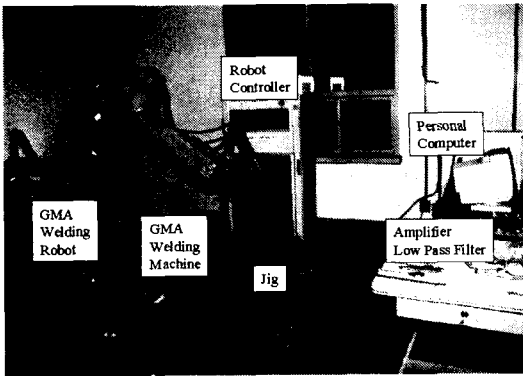


Fig. 8 Overview of GMA welding robot with sensor interface system

### 3.3 아크센서 알고리즘

Fig. 6과 같이 실험적인 모델링을 통해 조사한 팁-모재간 거리변화에 따른 용접전류의 변화관계를 이용하면 현재 토치위치에서의 용접 전류신호를 검출하여 용접선의 중심에서 벗어난 정도를 파악할 수 있다. Fig. 4의 결과로부터 일정한 반주기 위빙시간의 조건에서, PC를 통해 전송한 교정지시값과 용접토치의 위빙중심 변화량은 식(3)의 관계를 가짐을 확인하였다.

$$Tcd = M * D + C \quad (3)$$

여기서, Tcd : 교정지시값 (정수)

M : 교정지시값 (Tcd)과 위빙중심 변화량 (D)의 비례계수,

Fig. 4의 회귀식 비례계수에 해당

D : 위빙중심 변화량

C : 상수, Fig. 4의 회귀식 절편에 해당

따라서, 입력파라미터로서 반주기 위빙시간을

입력하면 Fig. 4의 관계로부터 비례계수 M이 결정되며, 센서신호로부터 요구되는 보정량에 대응하는 교정지시값을 식(3)을 통해 연산하여 로봇제어기로 전송함으로써 용접선의 중심에서 벗어난 위치오차의 보정이 가능하다.

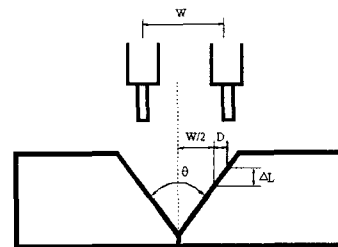
용접중 토치의 위빙운동에서 반주기위빙 양단의 용접전류를 획득하여, 좌측단과 우측단에서의 용접전류값 I<sub>L</sub>과 I<sub>R</sub>을 비교하여 ΔI<sub>w</sub>를 계산한다.

$$\Delta I_w = I_L - I_R \quad (4)$$

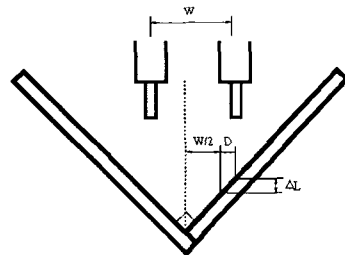
여기서, ΔI<sub>w</sub> : 위빙 양단간의 용접전류차 [A]

I<sub>L</sub> : 위빙 좌측단에서의 용접전류 [A]

I<sub>R</sub> : 위빙 우측단에서의 용접전류 [A]



(a) Butt joint with V-groove



(b) Fillet joint of sheet metal

Fig. 9 Configuration of weld groove shape

Fig. 9에서 정의한 용접부 형상으로부터 반주기 위빙 양단의 용접전류 비교를 통해 로봇제어기로 전송될 최종적인 교정지시값은 식(5)와 같다.

$$Tcd = M * \Delta I_w * \tan(\theta/2) / \alpha + C \quad (5)$$

여기서, θ : 개섩각 [°]

식(5)로부터 교정지시값을 연산하여 전송하는 데에는 총 50ms 정도의 시간이 소요되므로, 일반적으로 반주기 위빙시간이 100ms 이상인 점을 감안하면 무리없이 적용이 가능하다.

#### 4. 아크센서 및 인터페이스 시스템의 성능 평가

##### 4.1 후판 맞대기 용접부의 용접선추적

용접 중 토치의 위빙운동에서 반주기위빙 양극에서의 용접전류값을 비교하는 기본적인 아크센서 알고리즘을 적용하여 아크센서 및 인터페이스 시스템의 성능을 평가하였다. 성능평가를 위하여 전체 용접길이 150mm의 시험편을 대상으로 용접전류 230A, 용접전압 34V, 용접속도 8mm/s, 위빙폭 8mm, 반주기 위빙시간 0.6s, dwell time 0.05s의 조건을 사용하여 교시된 용접선에 대하여 +5° 기울어진 V-형 맞대기 접합부에 대해 용접선 추적실험을 행하였다. 텃-모재간 거리변화에 따른 용접전류의 변화량은 실험적인 모델링을 통해 얻은 Fig. 5의 결과를 이용하였으며, 용접선 추적실험의 결과로 실제 위빙중심의 궤적은 Fig. 10과 같다. 이 실험결과와 시험편은 Fig. 12(a)와 같으며, 화살표는 로봇에 교시된 용접선을 나타낸다. 여기서, 용접선과 실제 위빙중심 궤적과의 일치도가 성능평가의 기준이 되며, 본 실험에서는 ±1mm 이내의 용접선 추적성능을 확인할 수 있었다.

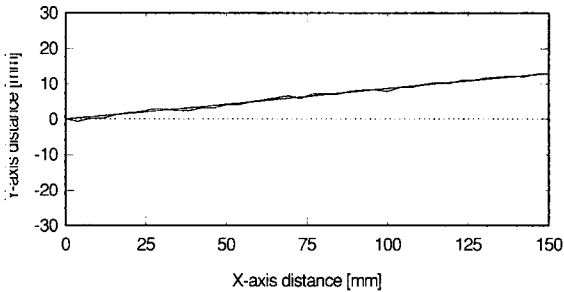


Fig. 10 Result of weld seam tracking for V-groove butt joint

##### 4.2 박판 필릿 용접부의 용접선추적

전체 용접길이 120mm의 박판 필릿 용접부를

대상으로 용접전류 100A, 용접전압 20V, 용접속도 4mm/s, 위빙폭 4mm, 반주기 위빙시간 0.1s, dwell time 0.05s의 조건을 사용하여 용접선 추적실험을 행하였다. 교시된 용접선에 대하여 +5°의 각도오차를 가지는 시험편을 대상으로 하였고, 용접선 추적실험의 결과는 Fig.11과 Fig. 12(b)에 나타난 바와 같다.

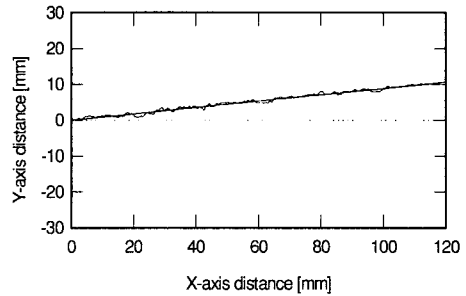
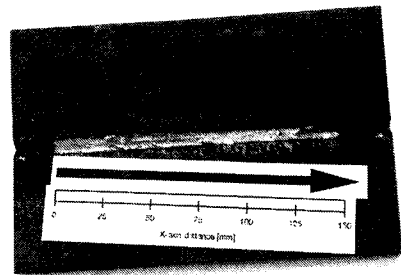
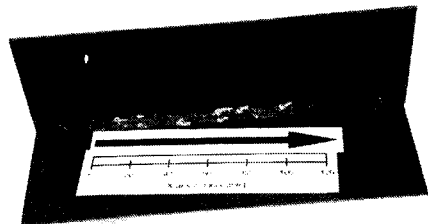


Fig. 11 Result of weld seam tracking for fillet joint



(a) Butt joint with 60° V-groove



(b) Fillet joint of sheet metal

Fig. 12 Photographs of resultant weld bead

## 5. 결론

본 연구에서는 산업용 GMA 용접로봇의 실시간 위치보정 기능을 활용하기 위한 인터페이스 시스템의 구축을 토대로, 교시된 용접선과 실제 용접선 사이의 위치오차에 대응하기 위한 아크센서 시스템을 개발하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 용접 중 용접토치의 위빙중심을 변화시킬 수 있는 실시간 위치보정 기능을 활용하기 위하여 아크센서, PC, 로봇제어기 사이의 센서 인터페이스 시스템을 구축하였다.
2. 실시간 위치보정 기능의 조사를 통하여, PC 에서 전송하는 교정지시값과 그에 따른 용접토치의 궤적 보정량 사이의 정량적인 관계를 규명하였다.
3. 반주기 위빙에서 교정지시값과 용접토치의 궤적 보정량은 반주기 위빙에 소요되는 위빙시간만의 함수라는 관계로부터 용접선추적을 위한 아크센서 알고리즘의 입력파라미터를 간단하게 설계하였다.
4. 용접토치의 운동조건에 따라 다양한 종류의 센서 시스템과 그에 따른 적절한 센서 알고리즘을 사용자의 환경에 따라 유연하게 적용할 수 있는 가능성을 제시하였다.
5. 실험적인 모델링에 기초한 팁-모재간 거리변화에 따른 용접전류의 변화관계는 선형적인 관계로 가정할 수 있었고, 안정적인 용접 전류신호를 획득하기 위해서는 적절한 신호처리가 필요하였다.
6. 본 연구에서 개발한 아크센서 시스템으로 후판의 맞대기 용접부와 박판의 필릿 용접부를 대상으로 용접선 추적실험을 행한 결과, 양호한 용접선 추적성능을 확인하였다.

## 참고문헌

1. Araya, T. and Saikawa, S., "Recent Activities on Sensing and Adaptive Control of Arc Welding," 3rd International Conference on Trends in Welding Research, Gatlinburg, USA, pp. 833 - 842, 1992.
2. Nomura, H., "Sensors and Control Systems in Arc Welding," CHAPMAN & HALL, 1994.
3. Nomura, H., et al, "Automatic Control of Arc Welding by Arc Sensor System," Nippon Kokan Technical Report, Overseas, No. 47, 1986.
4. Fusimura, H., et al, "Joint Tracking Control Sensor of GMAW," Transaction of the Japan Welding Society, Vol. 18, No. 1, pp. 32-40, April 1987.
5. J. D. Lane, "Robotic Welding," IFS, 1987.
6. John Norrish, "Advanced Welding Process," Institute of Physics Publishing Bristol, Philadelphia & New-York, 1992.
7. Nitin R. Nayak, et al, "Intelligent Seam Tracking for Robotic Welding," Springer-Verlag, 1993.
8. 배강열, 이지형, 정창욱, "용접로봇을 위한 아크센서 및 인터페이스 시스템 개발에 관한 연구," 대한용접학회지, 제 16 권, 제 3 호, pp. 129-140, 1998 년 6 월.
9. ABB Robotics, "Product Manual IRB200AW," 1991.
10. ABB Robotics, "Programming Manual Robot Control System S3," 1991.
11. ABB Robotics, "Service Manual Robot Control System S3," 1991.
12. ABB ESAB Robotic Welding, "LUA315 Welding Equipment Manual," 1991.