

# 레이저 변위센서를 이용한 용접선 자동추적에 관한 연구

A Study on Automatic Seam Tracking of Arc Welding  
Using an Laser Displacement Sensor

\*양상민\* 조태동\*\* 서송호\*\*\*

- \* 충남대학교 대학원 기계설계공학과
- \*\* 충남대학교 기계설계공학과
- \*\*\* 국방과학연구소

## ABSTRACT

Welding systems cannot adapt to changes in the joint geometry which may occur due to a variety of reason. Automatic seam tracking technique is essential to adjust the welding torch position in real time as it moves along the seam. Automatic tracking system must keep the welding speed constant unrelation to the change of the welding path. Therefore, the information from the laser displacement sensor must be converted into the input to operate the X-Y table and to rotate the desired torch position by proposed algorithm.

In this research, laser displacement sensor is used as a seam finder in the automatic tracking system. X-Y moving table manipulated by ac servo motor controls the position and velocity of the torch-and-sensor part. DC motor controls the position and velocity of the torch. X-Y table controls the position of sensor and relative position of torch is controlled by dc motor which is mounted at sensor-and-torch part. Sensor is always ahead of torch to preview the weld line.

From the experimental results, we could see the possibility that the laser displacement sensor can be used as a seam finder in welding process and that the seam tracking system controlled by proposed algorithm is well done.

### 1. 서론

기계가공분야에서 용접이 차지하는 비중은 새로운 재료의 개발 및 응용분야의 확대와 더불어 증가되었지만 용접의 자동화는 자동차공업의 일반 생산 라인의 점용접 공정 외에는 아직 크게 보편화 되지 못하고 있는 실정이다. 그러나 용접작업은 일반 기계가공 공정에 비해 보다 힘들고, 상대적으로 유해한 환경에서 행하여 진다는 점에서 어려운 작업으로 인식되어 있는 상황이므로 사회의 전반적인 생활 수준 향상과 더불어 숙련된 용접인력 공급의 문제를 겪게 될 전망이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 용접공정의 자동화는 필수적이고 이를 위해 용접선을 스스로 감지해 추적하는 장치의 개발은 반드시 선행되어야 하는 문제이다.

용접선을 자동으로 추적하기 위해서는 용접선의 위치와 형상을 독자적으로 인식하여 정보를 획득할 수 있는 성능 좋

은 센서가 요구된다. 현재 가장 널리 쓰이고 있는 아크센서는 용접선 형상의 변화에 따라 아크전류와 아크전압이 변하는 특성을 이용하여 용접선을 인식하는 방법이며 토치주위에 별도의 장치가 필요 없고 값이 싼 장점이 있는 반면 아크 안정성(stability)에 의존하고 반드시 위빙이 필요하기 때문에 제한적으로 이용되고 있다.<sup>[1]</sup>

와전류 형태의 센서(eddy-current sensor)는 센서와 용접물 사이의 거리가 증가하면 감도가 급격히 감소하며 전자간섭, 온도등의 주위환경의 변화에 민감하다.<sup>[2]</sup> 현재 가장 진보된 센서는 시각 센서(vision-based sensor)이며 용접선의 이음면과 비드 형상 데이터, 용융풀의 윗면 형상등을 얻을 수 있기 때문에 용접 품질 제어를 할 수 있으며 광원의 형태에 따라 투영된 패턴을 이용하는 방식과 점 형태의 빛을 주사하는 주사 빔(scanning beam)방식으로 구분할 수 있다.<sup>[3]</sup>

본 연구에서는 레이저 변위 센서를 이용하여 용접선을 인식하고 얻어진 정보를 이용하여 토치로 하여금 용접 경

로를 추적하는 실험을 하였다. X-Y테이블의 각축은 ac 서보 모터에 의해 구동되며 토오치 회전부는 dc 서보 모터를 이용하여 토오치의 회전각을 제어함으로써 용접선의 자동추적이 가능함을 보였다.

## 2. 용접 경로 추적 원리

### 2.1 용접선의 인식

레이저 변위센서는 레이저삼각법(laser triangulation)<sup>[4]</sup>을 이용한 거리측정 원리를 이용하고 있다. 이의 원리는 모체로부터 반사된 레이저 광을 렌즈로 집광하여 PSD(position sensitive detector)상에 반사된 위치로부터 센서까지의 거리를 알아내는 것이다. 정확한 거리 측정을 위해서는 표면반사가 균일해야 하며 비균일한 반사의 경우 중심점(centroid)이 이동하여 오차가 발생할 수 있어 거리 정확도가 모체 표면의 마이크로 구조에 의존되는 것을 알 수 있다. 그러나 필터링을 통해 이러한 문제를 어느정도 해결하고 있다.

용접선 추적을 위한 기준점을 찾기 위하여 Fig. 1과 같이 용접경로의 직각방향으로 X-Y 테이블을 구동하면서 레이저 변위센서에서 경사면까지의 거리를 매 샘플링마다 측정한다. 이때 변위센서로부터 얻어진 정보의 최하값을 용접선의 중앙으로 인식하게 된다. 따라서 V형 용접선의 경우 기준선은 좌우 경사면이 접하는 용접선의 중앙에 위치하며 레이저 변위센서는 측정된 기준선을 따라 경로를 추적하게 된다.

### 2.2 용접 경로의 추적

토오치는 센서가 앞서서 측정된 용접선의 정보를 이용하여 용접선을 최소한의 오차로 추종하기 위해 계산된 정보에 따라 회전하여야 한다. 따라서 용접경로의 추적은 용접선을 인식하기 위한 센서위치의 제어와 토오치의 회전각을 dc 서보 전동기를 이용하여 제어하는 두 부분으로 나누어진다.

센서와 토오치부가 서로 고정되어 있으면 변화가 있는 용접 경로를 추적할 경우 Fig. 2(a)와 같이 경로오차가 생기게 되므로 토오치와 센서의 상대적인 위치 이동이 필요하다. 따라서 토오치부를 용접 경로의 변화에 따라 회전함으로써 Fig. 2(b)와 같이 용접 경로의 오차없이 추적할 수 있다. 토오치의 회전각은 센서의 위치와 토오치가 다음에 이동해야 할 위치와의 회전각 차이이다.

이때 토오치 구동부의 회전에 의해 토오치 x축의 위치가 감소하며 이러한 오차로 인해 용접경로의 Y축 좌표와 토

오치의 Y축 위치의 차는 잘못된 정보를 얻게 되고 이로 인해 토오치는 용접경로를 벗어나게 된다. 따라서 토오치부의 회전으로 인한 토오치 x축의 위치는 추적하기 위한 센서의 x축의 위치와 비교하여 한 샘플링 동안의 용접거리보다 클 경우 다음 토치의 용접경로 정보를 수정하여야 한다. 이를 보상하기 위해 다음과 같은 알고리즘을 적용함으로써 용접경로의 추적은 가능하다.

센서의 x, y축 정보와 토오치의 x, y축 정보의 차이를 X\_Error(k), Y\_Error(k)라 하면

$$X\_Error(k) = X\_sensor(k-j) - X\_torch(k)$$

$$Y\_Error(k) = Y\_sensor(k-j) - Y\_torch(k)$$

여기서, j는 초기에 레이저 센서와 토오치의 사이의 거리를 매 샘플링 시간에 이동해야 할 desired weld distance로 나눈 것이며 이는 센서가 j-step 앞서서 진행하고 있음을 알 수 있다. 이것은 레이저 센서가 용접토오치에 근접하게 위치하면 용접 아크열이나 스파터의 영향을 받게되므로 센서는 토오치보다 일정거리 앞서 진행해야 된다.

측정부의 위치를 기준으로 토오치의 위치를 계산하며, 테이블의 y축은 센서가 용접선을 추적하기 위해 제어되고 x축의 구동입력은 용접속도를 일정하게 유지시켜주기 위해 다음 식에 의해 계산된다.

$$\Delta X(k) = \sqrt{\text{desired weld dist}^2 - \Delta Y(k)^2}$$

이때 변화가 있는 용접경로에 대해 측정부에서 얻어진 x,y축의 좌표를 토오치가 추종하기 위해 토오치는 회전하여야 한다. 토오치의 회전으로 인해 토오치의 x축의 좌표는 추정하기 위한 측정부의 x축 위치에 대해 오차가 발생한다. 이는 다음 토오치의 x축 좌표에 대한 y축의 좌표를 잘못 인식하게 되는 원인이 된다. 따라서 x축 좌표의 변화에 따른 y축의 좌표를 보정하여야 한다. x축의 보정 스텝 m은 다음과 같다.

$$m = X\_Error(k) / X\_desired\_weld\_distance$$

$$Y\_Error(k+1) = Y\_sensor(k-j-m) - Y\_torch(k+1)$$

이다.

## 3. 실험

### 3.1 시편의 형상

용접시편의 두께는 10mm이고 용접선의 폭은 12mm이며 45° 경사진 V형 용접 홈을 가지는 연강을 사용하였다. 용

접선은 일정거리 이후 45° 기울어진 형태로 제작함으로써 변화가 있는 용접선의 추적실험을 하고자 하였다.

### 3.2 실험 장치

용접시편의 거리를 측정하여 용접선의 중앙을 인식하는 센서로는 레이저 변위센서를 사용하였으며 IBM/PC 586AT를 제어용 컴퓨터로 이용하였다. XY테이블의 각축에 장착되어 있는 AC 서보전동기를 구동하는 AC 서보 드라이버는 3상전류를 입력받고 제어용 입력신호는 펄스 입력방식이다. XY 테이블의 구동입력을 위해서 8253 Timer chip을 이용한 펄스발전기 회로를 구성하였으며 이 펄스 발전기는 XY테이블의 2축을 독립적으로 동시에 제어할 수 있도록 두 개의 펄스 발생회로로 구성하였으며 각각 독립된 주소를 통하여 접근하게 되어 있다.

Fig. 3은 구성된 시스템의 개략도 이다.

#### 3.2.1 XY 테이블

위치제어용 XY 테이블의 각 축은 AC 서보전동기에 의해 구동되며 5mm/rev의 볼 스크류에 의해 회전운동을 직선운동으로 전환하게 되어 100펄스당 1mm의 거리를 직선운동하게 된다. X축에는 센서와 토오치 부를 장착할 수 있는 Mounting 부가 있으며 AC 220V의 3상 전류를 입력으로 받는 AC 서보 드라이버에 의해 구동된다. 서보 드라이버는 PWM방식으로 구동되며 펄스지령 입력방식이다.

제어용 입력 펄스를 발생하는 8253 펄스발생기를 PCB 기판에 구성하여 X-Y테이블의 각축의 속도와 위치를 실시간으로 제어할 수 있도록 하였다.

#### 3.2.2 레이저 변위센서

레이저 변위 센서는 Keyence사의 LC2320을 사용하였으며 V형 용접선의 기하학적 형상을 검출하기 위해 센서에서 용접시편까지의 거리를 측정하는데 이용된다. 기준측정 거리(offset distance)가  $\pm 50\text{mm}$  이며 측정범위는  $\pm 8\text{mm}$  이다. 이 측정범위에 상당하는 아날로그 출력(analog output)이  $\pm 4\text{V}$  가 출력된다. 이 아날로그 출력을 A/D 변환하여 거리를 인식하게 된다. Fig. 4는 레이저 변위센서의 원리를 도시한 것이다.

#### 3.2.3 토오치

용접 토오치가 XY 테이블의 구동에 영향을 받지 않고 용접경로를 추적하기 위해서 토오치의 회전각을 제어해야 한다. 따라서 X축 테이블의 중앙에 센서와 토오치의 구동을 위한 dc 모터를 장착하였다. 토오치는 dc 모터의 축에

연결되어 1자유도 회전을 하게 되어 있으며 회전각은 토오치의 회전축과 레이저센서의 발광부를 잇는 선과 이루는 각도이다.

### 3.3 실험방법 및 내용

용접선 추적을 위한 기준점을 찾기 위하여 용접경로의 직각방향으로 X-Y 테이블을 구동하면서 레이저 변위센서로 각 위치에 대한 변위를 측정한다. 이때 변위센서로부터 얻은 데이터의 최소값을 선택하여 용접선의 초기점으로 선택한다. XY 테이블은 용접선을 y축방향으로 횡단한 후 선택된 용접선의 초기점으로 이동한다. Fig. 5는 XY 테이블을 용접선에 대하여 y축으로 스캐닝한 후 얻은 레이저 변위센서의 거리정보이며 Fig. 6은 용접시편을 레이저 변위센서로 스캐닝한 그림이다.

본 연구는 직선경로와 직선경로가 끝나는 점에서 45° 기울어진 사선부분과 연결되는 V형 용접 홈 경로에 대해 다음과 같은 세가지 경우에 대해 용접경로의 추적실험을 하였다. i) X축을 일정한 속도로 구동하고 Y축만을 제어하면서 토오치를 회전시키는 실험, ii) X축과 Y축을 제어하면서 동시에 토오치를 회전시키는 실험, iii) 토오치의 회전에 의해 변화되는 x축의 좌표변화를 고려하기 위해 제안된 알고리즘을 이용하여 실험을 하였다. X축과 Y축을 구동하기 위한 펄스입력은 기준점에서 벗어난 거리만큼의 오차를 보상하기 위해 비례 적분제어기를 이용하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 용접선 궤적의 추적실험

Fig. 7은 x축의 속도를 일정하게 하고 y축과 토오치의 회전에 따른 x축의 좌표변화를 고려하여 실험을 한 결과이다. 용접경로의 변화에 따라 토오치는 적은 오차를 가지고 추적하나 기울기 변화가 있는 용접경로에서 용접속도가 증가함을 볼 수 있다. 이는 레이저 변위센서가 x축의 매 샘플링마다 일정하게 이동함에 따라 최하점을 찾기 위해 제어되는 y축의 변화량이 증가하기 때문에 매 샘플링당 이동하는 용접토오치의 경로가 증가하기 때문이다. 따라서 이러한 용접속도의 불균일은 용접불량을 일으키는 원인이 된다.

Fig. 8은 x,y축의 속도를 제어하고 토오치의 회전에 따른 x축의 좌표변화를 고려하지 않은 경우로 기울기 변화가 있는 용접경로에서 offset error가 발생하며 이는 변화된 x축에 대한 y축의 좌표의 변화를 고려하지 않았기 때

문이다.

Fig. 9는 x,y축의 속도를 제어하고 토오치의 회전에 따른 x축의 좌표변환을 고려한 경우로 토오치는 센서에서 얻어진 용접경로를 잘 추적함을 볼 수 있다.

Fig. 10은 Fig. 7, Fig.8, Fig.9에 적용한 용접조건에 대한 용접속도를 나타낸 것이다. x축의 속도를 일정하게 유지하여 실험한 경우, 용접경로에 대한 추적오차가 적었으나 경로의 기울기가 있는 위치에서 용접속도의 증가가 발생했다. 그러나 x축의 속도를 제어한 경우 용접속도의 변화가 적었다.

## 5. 결론

본 연구는 변화가 있는 용접경로에 대해 레이저 변위센서를 이용하여 용접경로를 인식하고 dc전동기를 이용하여 토오치의 회전을 함으로서 용접경로 추적에 대한 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 용접자동화를 위한 용접선 인식센서로 레이저 변위센서의 적용 가능성을 보였다.
- (2) 구성된 제어알고리즘을 적용하여 토오치의 회전각을 제어할 경우 기울기 변화가 있는 용접경로에 대해 용접경로의 추적 가능함을 보였다.
- (3) 구성된 궤적추적장치는 용접시 발생하는 용접광, 스파터, 적외선 등의 영향을 어느 정도 막을 수 있다면 실제 용접선의 추적에도 적용될 수 있으리라 기대된다.

## 참고문헌

- [1] Nitin Nayak and Asok Ray, 1993, "Intelligent seam tracking for robotic welding", Springer-Verlag.
- [2] 윤충섭, 양상민 외, 1994, "레이저 용접에서의 용접선 추적장치", Journal of KWS, Vol. 12, No.2, pp. 28-38.
- [3] J. P. Boillot, X. Yu, et al, 1994, "Automatic Welding Using Laser Based 3D Vision System", Welding in the world/Le soudage dans le monde. Vol 34, pp. 173-182.
- [4] "Precimeter Laser Displacement meter User's Manual", 1991, Measurement Technologies, Inc.
- [5] 조택동, 김성훈, 1995, "Preview Algorithm을 이용한 V-홈 궤적의 자동추적에 관한 연구", 충남대학교 산업기술연구소 논문집, 제10권 제2호, pp. 199~206.
- [6] M. Tomizuka, D. Dornfield et al, 1982,

"Experimental Evaluation of the Preview Scheme for Two Axis Welding Table", Proceedings ASME 2nd International Computer Engineering Conference at San Diego, CA.

- [7] Y. Suga, T. Kitaoka, K. Okawa, 1994, "On detection of the weld line and automatic seam tracking by a welding robot with a visual sensor for the lap welding of thin aluminium plate", Welding international, 8(6) 425-431.
- [8] M. Tomizuka et al, 1980, "Design of Digital Feedforward/Preview Controllers for Processes With Predetermined Feedback Controllers", Transactions of ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 102, pp. 218-225.

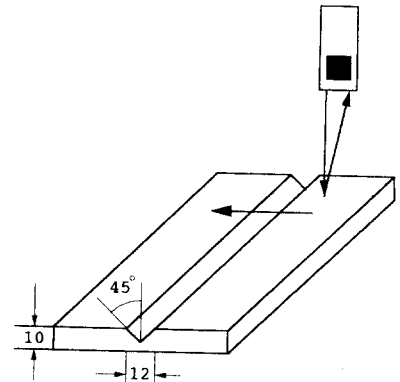


Fig. 1 Weaving motion of sensor to search the reference point

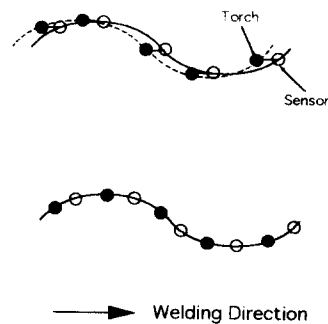


Fig. 2 Tracking of curved line with different sensor and torch position  
(a) Fixed, (b) Rotation of the torch

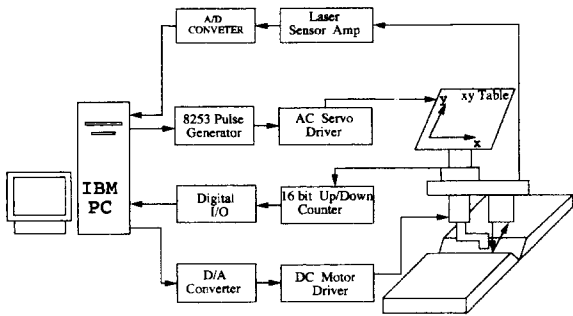


Fig. 3 Schematic diagram of the system

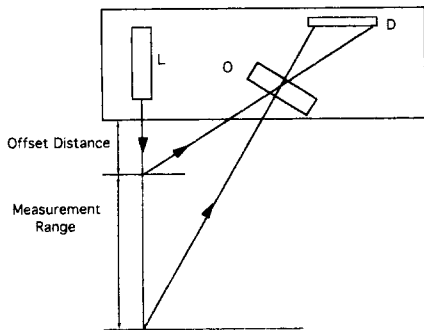


Fig. 4 Principle of Laser triangulation

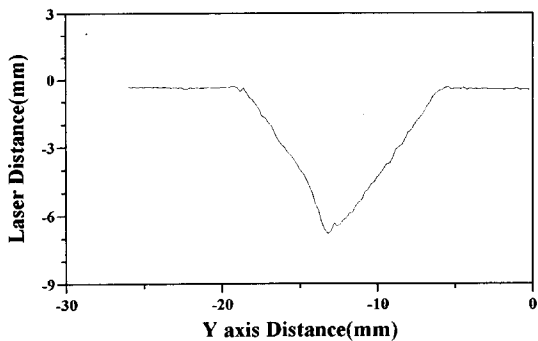


Fig. 5 Characteristic features of welding line

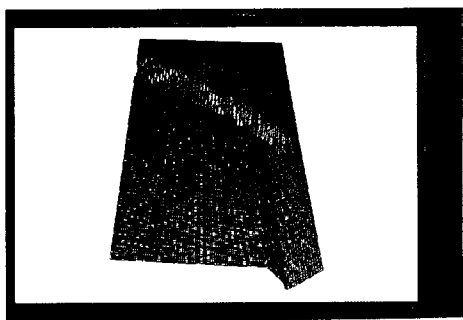


Fig. 6 Surface features of specimen

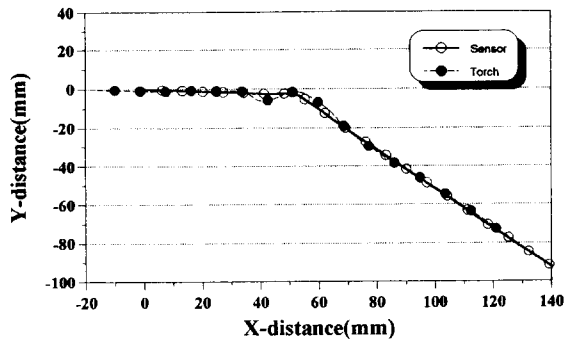


Fig. 7 Trace of the sensor and torch (using algorithm without x-control)

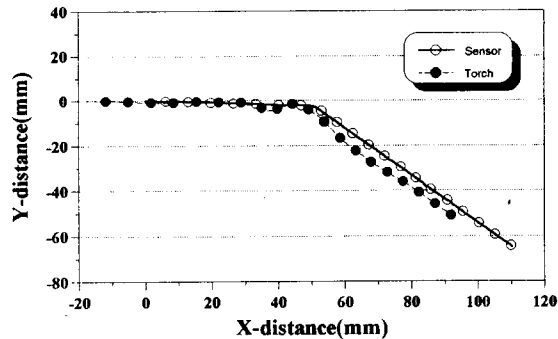


Fig. 8 Trace of the sensor and torch (unusing algorithm with x-control)

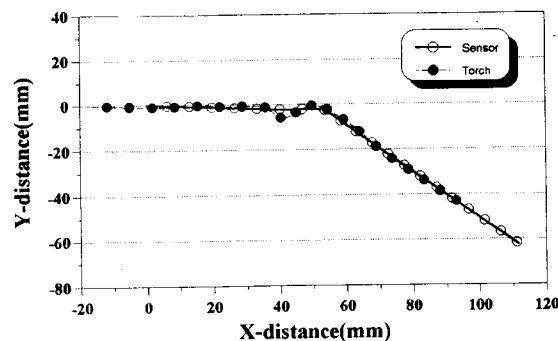


Fig. 9 Trace of the sensor and torch (using algorithm with x-control)

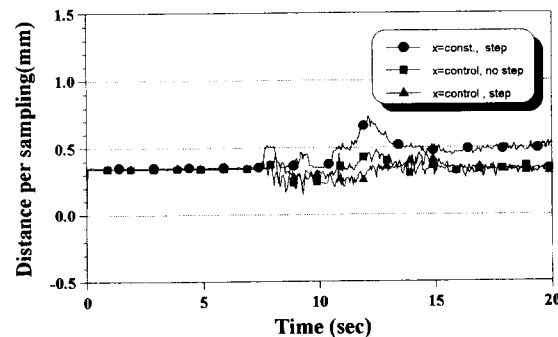


Fig. 10 Welding speed