

## 레이저 변위 센서를 이용한 용접선 검출에 관한 연구

박 용환\*, 김 재웅

영남대학교 기계공학과

### 1. 서론

최근 모든 산업에 있어서 자동화에 대한 요구가 높아지고 있다. 모든 자동화는 힘들고 어려운 작업을 기계가 인간을 대신하여 수행하며 품질 및 생산성을 향상시킨다는 관점에서 끊임없이 추구하고 있다.

용접 자동화도 그 예외는 아니어서 용접 구조물 제작의 경우, 임의의 용접 경로를 추적하는 방법과 공정 변수의 제어방법이 현재 연구되고 있다. 특히 용접 공정 중 용접선 경로 변화를 측정할 수 있는 센서가 용접 공정의 자동화에 필수적이다. 이러한 센서 중에는 아크센서, 시각센서, 초음파센서, 레이저 변위센서가 있으며, 이중 널리 이용되고 있는 것은 틱-모재간의 거리 변화에 따른 전류 또는 전압 변화를 모델링하여 위치 정보로 이용하는 아크센서<sup>(1,2)</sup>와, 카메라를 이용한 영상 정보를 처리함으로써 토치가 이동해야 할 위치를 찾는 시각센서<sup>(3)</sup>가 있다.

아크센서는 구성이 간단하고 가격이 저렴하다는 장점이 있으며, 후판의 맞대기이음 및 필렛 접합부와 같이 위빙(waving)이 가능한 그루브(groove)를 형성하는 경우는 잘 적용될 수 있으나, 박판의 겹치기이음과 같은 위빙이 필요 없는 경우에는 그 적용이 불가능하다. 따라서 이러한 경우에 있어서는 따로 용접 경로를 추적할 수 있는 센서의 사용이 요구된다.

시각센서를 이용하여 용접 자동화 장치를 구성할 경우는 2차원의 영상 정보로부터 3차원 정보를 얻기 위하여, 일반적으로 He-Ne 레이저(laser) 및 다이오우드(diode)레이저를 구조화된 빛(structured light)으로 쓰고 있으며, 이러한 레이저를 점광원으로부터 stripe 형상의 빛으로 바꾸기 위하여 원통형렌즈(cylindrical lens) 또는 동기 주사형(synchronized scanning type)이 이용되고 있다<sup>(3)</sup>.

겹치기이음은 기어 박스, 파이프이음 등 일반적인 구조물에 널리 이용되고 있으며, 박판의 겹치기이음에 대해서 용접선을 자동 추적하는 경우에 있어서 아크센서는 위빙을 할 수 없으므로 적용이 불가능하다. 따라서 시각센서 또는 레이저 변위센서등의 이용을 검토할 수 있다. 여기서 시각센서는 레이저와 카메라, 그리고 카메라용 회로등으로 구성되며, 가격이 비싸고 영상 처리 프로그램이 복잡하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 용접선의 위치를 검출하기 위하여 레이저 변위센서를 사용한다. 시스템은 용접선 검출을 위한 센서부와 토치를 이동하는 구동부로 구성한다. 센서 출력 신호의 평활을 위해 스레시홀드방법(Threshold method) 및 이동 평균법<sup>(4,5)</sup>을 사용하고, 변곡점을 인식하기 위하여 2차미분법중의 하나인 중심 차분법(central difference method)<sup>(4)</sup>을 사용한다.

### 2. 용접선 검출 원리

#### 2-1. 레이저 변위 센서의 거리 측정 원리

레이저 변위센서의 거리 측정 원리는 광학적 3차원 거리 측정 방식에 의해 대상 물체에서 반사된 레이저광이 위치검출소자(PSD)위에 광점의 영상을 맺게 하여 그 위치(入射각도)에 따라 거리를 측정할 수 있다<sup>(6)</sup>. 그러므로 광학계는 고정밀의 비구면 렌즈를 사용하고 있다. 또 컨트롤러에서는 센서 헤드에서 출력하는 신호를 선형화(linearize)회로에 수용하여 거리와 출력 전압이 정비례하여 거리 데이터의 정밀도를 높이도록 되어 있다.

#### 2-2. 용접선 검출을 위한 신호처리 및 좌표변환

레이저 변위센서를 통해 얻은 신호는 용접 공정중 아크광(arc light) 및 스파터(spatter)등으로 인해 많은 잡음을 포함하고 있다. 이러한 잡음을 제거하지 않으면

정확한 용접선의 검출이 어렵다. 따라서 이러한 잡음의 제거를 위하여 다양한 신호 처리의 방법이 필요하다. 따라서 다음은 이러한 신호처리 방법에 대해서 알아본다.

### 2-2-1. 이동 평균(moving average)법

센서로부터 측정된 일련의 전압 신호는 이전의 값과 상관관계를 가지게 되며, 이러한 데이터에 대한 신뢰도를 높일 수 있는 간단한 알고리즘이 이동 평균이다. 이동 평균을 이용해 측정된 신호는 디지털 필터링의 효과를 가지므로 측정 신호에 대한 신뢰도를 향상 시키고 제어 신호를 보다 안정화할 수 있다. 이동 평균식은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Data}[n] &= \frac{1}{m} \sum_{k=n-m+1}^n (\sigma(n-k) \text{data}(k)) \quad \dots\dots\dots(1) \\ &= \frac{1}{m} (\sigma(m-1) \text{data}(n-m+1) + \sigma(m-2) \text{data}(n-m+2) \\ &\quad + \dots + \text{data}(n)) \end{aligned}$$

$\sigma < 1$  이고  $m$ 이 충분히 클 경우에 대해 위 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\text{Data}(n) = \frac{\sigma}{m} \sum_{k=0}^{m-1} (\sigma(n-k-1) \text{data}(k)) + \frac{1}{m} \cdot \text{data}(n) \quad \dots(2)$$

위 식을 다시

$$\text{Data}(n) = \sigma \text{Data}(n-1) + \frac{1}{m} \text{data}(n) \quad \dots\dots\dots(3)$$

이 된다.

또한 이동 평균의 정의로부터 다음의 식이 성립한다.

$$\sigma = \frac{m-1}{m} \quad \dots\dots\dots(4)$$

식 (4)를 식(3)에 대입하면 최종적으로 다음의 이동 평균식을 얻을 수 있다.

$$\text{Data}(n) = \frac{m-1}{m} \text{Data}(n-1) + \frac{1}{m} \text{data}(n) \quad \dots\dots\dots(5)$$

여기서,

- Date(n) : 새로운 이동 평균값
- Data(n-1) : 현재의 이동 평균값
- data(n) : 측정값
- m : 가중치

### 2-2-2 스톱시홀드(Threshold method)방법

레이저 변위센서로써 거리를 측정한후, 한 주기의 데이터를 분포 그래프로 그려보면 집중된 두개의 분포 구간을 가짐을 알 수 있다. 이것은 현재 측정물의 형상이 두개의 높이 구조를 가진 형상임을 쉽게 알 수 있다. 만약 우리가 박판의 겹치기이음을 하는 경우도 이와 같은 두개의 뚜렷한 높이 구간을 가진다. 이것을 통해 이 집중된 두개의 구간에 속한 데이터는 유효한 데이터

로 취급하고 나머지 데이터는 잡음으로 간주하고, 이를 전번 데이터로부터 예상되는 유효한 두개의 데이터중 하나로 대체시키는 방법이다. 이를 통해 정확한 조인트의 위치를 찾아낸다.

### 2-2-3. 메디언(Median)필터

이것은 주로 화상 데이터의 잡음 제거에 사용되는 방법의 하나로 화상 처리에서는 어떤 주목화소의 8근방 화소농도를 조사하여 이것을 크기순으로 배열하고, 그 중앙값을 (이것을 메디언 이라함) 목적 화소의 농도 값으로 대체하는 방법이다. 본 시스템에서는 연속된 9개의 데이터를 조사하여 이를 크기순으로 배열하고 이중 중앙값을 현재의 값으로 대체한다. 이 방법은 잡음 제거 능력에 있어서는 우수하나, 그 처리 시간에 있어서는 이동평균에 비해 약 5배정도 많이 걸린다<sup>(7)</sup>.

### 2-2-4 평방평균

각 관측치의 제곱에 대한 산술 평균을 구한 후 제곱근을 취한 값을 평방 평균(quadratic mean)이라고 한다. 즉

$$Mq = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N X_i^2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

평방 평균은 자료에 포함된 비정상적인 관측치의 영향을 부각시키는 경우에 있어서 유용하다. 계산식에서 보는 것과 같이 각 관측치를 제곱하여 평균을 취하므로 비정상적인 관측치는 제곱에 의해 상대적으로 더욱 커지거나 작아진다. 이렇게 비정상적으로 크게 나타난 데이터를 잡음으로 처리하여 이를 전번 데이터와 관련하여 유효한 데이터로 처리한다.

### 2-2-5. 조인트의 위치 인식

이것은 센서로부터 얻어진 신호를 이용하여 조인트의 위치인 변곡점을 찾는 과정이다. 이를 위하여 여기서는 2차 미분법의 하나인 중심 차분법(central difference method)을 이용한다. 선을 이루는 각 거리 데이터에 대한 미분값 S(n)은

$$S(n) = \frac{(\text{Data}(n+k) + \text{Data}(n-k) - 2\text{Data}(n))}{(2k)} \quad \dots\dots\dots(7)$$

이다. 여기서 변곡점을 찾는 성능은 적당한 k의 선정에 따라 달라진다. 즉 k의 값이 작을 경우 선의 국부적인 기울기 변화에 민감하고, k의 값이 큰값일 경우 선의 전반적인 기울기 변화를 얻을 수 있다. 따라서 적당한 k값에 대하여, 미분값 S(n)이 가장 큰 곳이 토치의 이동해야 할 위치가 된다.

### 2-2-6 3차원 공간 좌표 변환

회전하는 센서에서 측정된 거리 정보(D, θ)를 3차원 공간 좌표로 변환하기 위하여 Fig.1와 같은 센서 좌표계(X<sub>s</sub>, Y<sub>s</sub>, Z<sub>s</sub>)로 표현해 보면 다음과 같다. (여기서 센서 구동부는 Z축에 고정되어 있다.)

$$\begin{aligned} X_s &= 0 \\ Y_s &= D \sin \theta \\ Z_s &= D \cos \theta \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(8)$$

여기서

D : 센서 회전 중심으로 부터 모체 표면까지의 거리(D = d + d')

(센서 측정 거리)

θ : Z축과 센서축이 이루는 각

이것을 다시 Fig.6. b와 같이 최초 토치 위치를 원점으로 하는 좌표계(X', Y', Z')로 바꾸려면 우선 최초 측정을 시작하는 점(t=0)에서 t초후에 센서로 부터 측정된 값에 t초 동안에 토치가 이동한 거리(V<sub>x</sub>t, V<sub>y</sub>t, V<sub>z</sub>t)를 더해 주면 된다. 이것을 식으로 표현해 보면 아래식과 같다.

$$\begin{aligned} X' &= V_x t + L \\ Y' &= V_y t + Y_s \\ Z' &= V_z t + Z_s \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(9)$$

여기서

- V<sub>x</sub> V<sub>y</sub> V<sub>z</sub> : 이송축의 X Y Z 방향 이동속도
- L : 토치와 센서 사이의 거리
- X<sub>t</sub> Y<sub>t</sub> Z<sub>t</sub> : 최초 토치의 위치

따라서 위 (9)식에서 부터 센서 좌표계에서의 조인트 위치는 전체좌표계(X, Y, Z)에서는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} X &= X_t + V_x t \\ Y &= Y_t + V_y t + Y_s \\ Z &= Z_t + V_z t + Z_s \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(10)$$

## 3. 실험 및 결과

### 3-1 실험 장치 및 실험 방법

#### 3-1-1 실험 장치

본 실험에 사용된 장치는 3축 직선 유니트, 용접기, 레이저 변위 센서, 센서 구동부, 퍼스널 컴퓨터로써 구성한다. 그리고 각 실험 장비의 제원은 표.1과 같다.

#### 3-1-2 실험 방법

실험 방법은 변위센서로부터 측정되는 전압 신호를 A/D converter를 통해 컴퓨터에 받아 들이고, 이 신호의 히스토그램(histogram)을 구한 후 상·하 스톱시홀드(threshold)값을 정한다. 이 값을 이용하여 스톱시홀드

방법(Threshold method)을 적용한다. 또한 메디언필터, 평방평균을 이용하여 신호처리를 한다. 그리고 이 결과를 중심 차분법(central difference method)을 사용하여 용접 조인트의 위치를 구한다.

### 3-2 용접선 검출 실험 및 결과

실험은 다음과 같은 세가지 경우로 실시하였다.

- 1) 비용접시
- II) 용접시 토치·센서 사이에 차광막을 설치 한 경우
- III) 용접시

로 나누어 각 신호 처리 방법을 적용해서 중심선 확인성능을 비교해 보았다. 실험 조건은 표.2와 같다.

#### 1) 비용접시(ARC OFF)

먼저 아크가 없는 상태에서의 센서 신호를 살펴보면 Fig. 2(a)와 같이 상당히 깨끗한 결과를 얻을 수 있다. 이러한 경우에 있어서는 별다른 신호 처리 방법없이 중심 차분법만으로도 그 조인트의 위치를 찾을 수 있다. 중심 차분법을 이용하여 가중치(K)에 따른 조인트의 위치를 찾은 것을 Fig. 2(b)에서 보여주고 있다. 여기서 각 가중치(K)에 따른 조인트의 검출 능력을 보면 가중치 5-15사이에서 조인트의 위치 인식 능력이 가장 좋은 결과를 보이고 있다.

#### ii) 차광막 설치시(arc light protector)

용접시에 센서와 토치 사이에 차광막을 설치하고, 실험한 경우에 신호를 받아보면 Fig.3과 같다. 여기서도 arc off시와 같이 어느정도 깨끗한 신호이기는 하나 신호처리 방법 없이 조인트의 위치를 인식하기는 어렵다. 여기서 신호를 평활하기 위하여 평방평균법을 적용한 결과를 Fig.4 (a)에 보이고 있다. 그리고 이 신호에서 중심 차분법을 사용하여 찾은 조인트의 위치를 Fig. 4(b)에서 보이고 있다. 여기서의 가중치k=10에서 조인트의 위치 인식성능이 가장 좋은 것으로 확인된다.

#### iii) 용접시(ARC ON)

용접시에 센서로부터 받은 신호를 Fig.6 (a)에서 보여주고 있다. 여기에서 보면 앞의 두 경우와는 달리 신호가 상당히 많은 잡음을 포함하고 있다. 따라서 잡음을 제거할 수 있는 신호 처리가 필요하다. 여기서의 단순한 앞에서 열거한 한가지만의 신호처리 방법으로는 조인트의 위치인식에 어려움이 있다. 따라서 여러가지의 조합된 신호처리 방법(스레시홀드방법+이동평균법+스레시홀드방법)으로 조인트의 위치를 찾아보았다. 그 결과를 Fig.6 (b)에 보여 주고 있다. 그 결과에서 보는 것과 같이 단일의 신호처리 방법에 비해 조합된 신호처리 방법은 상당히 좋은 결과를 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 레이저 변위 센서를 사용하여, 박판에 있어서의 용접선 검출 성능에 대하여 알아보았다.

1. 아크가 없는 상황에서는 신호처리 과정 없이 중심차분법의 K값의 조정만으로 용접선의 검출이 가능하였다.
2. 아크가 있는 상황에서는 신호처리 과정 없이 그 중심선의 검출이 어렵고, 여러가지 신호 처리 방법중 square method 가 그 성능 면에서 가장 우수하였다.
3. 아크가 있는 상황에서는 한가지만의 신호처리로는 그 중심선의 위치 인식이 거의 불가능하며, 여러가지 신호처리의 조합으로 중심선의 위치 인식이 향상 되었다.

#### 참고 문헌

- (1) H. Nomura et al.: Automatic real-time bead height control with arc sensor in TIGwelding, Trans. of the Japan Welding Society, Vol.18, No.2(1987), pp.35-42
- (2) G.E. Cook :Robotic arc welding:research in sensory feedback control, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol30, No.3(1983), pp.252-268
- (3) G.L.Oomen : A real time optical profile sensor for robot arc welding, ROVISEC, Cambridge, MA, USA, November 1983, pp679-668
- (4) 신 정식, "겹치기 이음에서의 용접선 추적과 아크 데이터의 모니터링 시스템에 관한 연구", 한국 과학 기술원 석사 학위 논문, 1991
- (5) 許明會, : 탐색적 방법에 의한 統計資料分析論, 자유아카데미, 1993, ppM11-13
- (6) 金 禧植, : FA用센서 活用技術, 도서출판 技術, pp42-46
- (7) NHK 방송기술연구소 화상연구부, C언어에 의한 화상 처리 실무, 국제테크노정보연구소, 1994, pp103 - 107

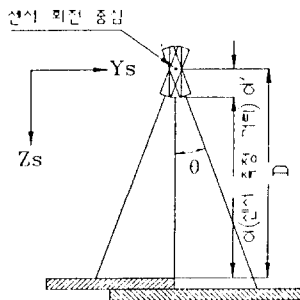


Fig.1 Schematic diagram of scanning

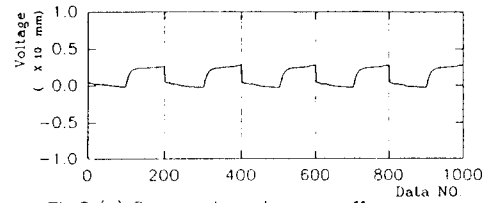


Fig.2 (a) Sensor signal as arc off

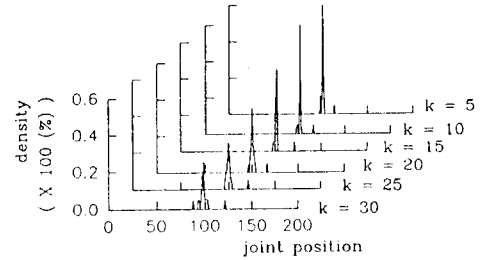


Fig.2 (b) Detected joint position as arc off

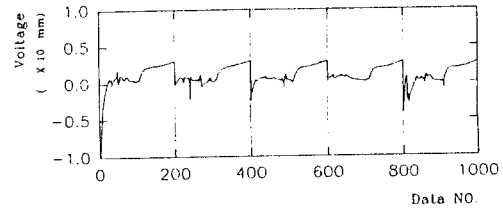


Fig.3 Sensor signal with arc light protector

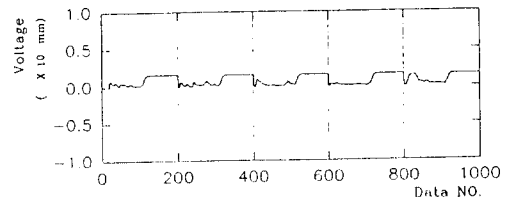


Fig.4 (a) Processed signal by square method  
(arc light protector)

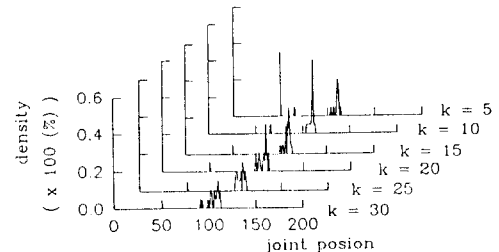


Fig.4 (b) Detected joint position with arc light protector  
(square method)

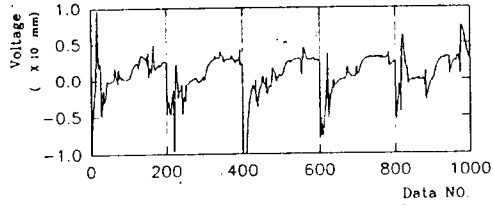


Fig.5 Sensor signal as arc on

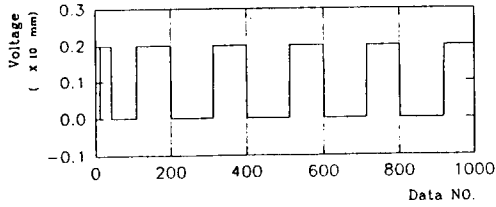


Fig.6 (a) Processed signal by threshold-averaging-threshold method. (arc on)

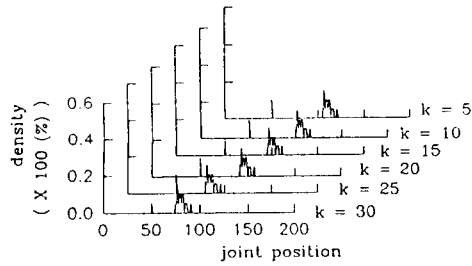


Fig.6 (b) Detected joint position as arc on (threshold-averaging-threshold method)

표.2 실험 조건

모 제	냉간 압연강판(KSD 3512)
용접전류/전압	150 A/ 22 V
와이어 직경	1.2 mm
팁-모재간거리	25 mm
SAMPLING TIME	1 ms(PCL-812)
토치-센서간 거리	55 mm
보호가스	CO <sub>2</sub> 100 %
센서설치 높이	100 mm
이음법	겹치기이음

표.1 실험장치 제원

장 치	제 원
3축 직선 유니트	X, Y (SAR 1615), Z (SAR 1110) 0.01 mm/pulse
레이저 변위센서	LB70(controller) LB11(sensor head) 측정 범위(100±40mm) 0.1V/mm±30% Wavelength(785.5nm)
A/D-Converter	PCL-812 PC-LabCard
T축 모터	Step Motor(PK244-01A) 0.9° /step
Computer	486 computer
용접기	NET-500 100% CO <sub>2</sub> GAS
Pulse generator	8253 기본 클럭 1 MHz