

研究論文

## 레이저 변위센서를 이용한 용접선 검출에서 신호처리에 관한 연구

박 용 환\* · 김 재 응\*\*

### A Study on a Signal Processing Method for Detection of the Weld Seam by Using Laser Displacement Sensor

Y. H. Park\* and J. W. Kim\*\*

**Key words** : Signal Processing(신호처리), Weld Seam Tracking(용접선 추적), Laser Displacement Sensor(레이저 변위센서), Lap Joint(겹치기 이음), Central Difference Method(중심차분법)

#### Abstract

The weld seam tracking sensor is indispensable to improve the flexibility of automatic arc welding systems. Among the position sensing methods available, a laser displacement sensor is one of the most prevailing methods. In this study, a laser displacement sensor was examined on detecting the weld seam of lap joints in sheet metal arc welding. The output signal of the laser displacement sensor may contain severe fluctuation from the effect of arc light, spatters, fume, etc. So a variety of signal processing methods was applied to smooth the output signal of the sensor. And then the weld joint was determined by using the central difference method. It was revealed that the quadratic mean method plays an important role in detecting the weld seam during welding especially.

#### 1. 서 론

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

공정변수의 제어, 전문가 시스템의 개발등 넓은 범위에 걸쳐 연구가 활발히 진행되고 있다. 이중 용접선 추적 장치는 용접 자동화에 있어서 가장 기본적인 장치라고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 용접 자동화를 위해 필수적으로 요구되는 용접선의 검출과 용접선 검출을 위한 신호처리에 대해 알아본다.

용접경로 변화를 측정할 수 있는 센서 중에는 용접 공정중 팁-모재간의 거리 변화에 따른 전류

\* 정희원, 영남대학교 대학원 기계공학과

\*\* 정희원, 영남대학교 기계공학과

또는 전압 변화를 모델링하여 위치 정보로 이용하는 아크센서와, 광학 장치(optical device)를 이용하여 용접선의 위치를 검출하는 광학센서가 있다<sup>1-3)</sup>. 아크센서는 구성이 간단하고 가격이 저렴하다는 장점이 있으며, 후판의 맞대기 이음 및 필렛 이음부와 같이 위빙(waving)이 가능한 경우는 잘 적용될 수 있으나, 박판의 겹치기이음과 같이 위빙이 필요없는 경우에는 적용이 불가능하다. 이러한 경우에 용접경로를 추적할 수 있는 센서로써 광학센서의 이용을 검토할 수 있다. 그러나 구조화된 빛과 카메라를 이용한 광학센서시스템은 레이저와 카메라, 그리고 카메라용 회로등의 가격이 비싸며 영상처리 프로그램이 복잡하다는 단점이 있다. 주사빔을 이용한 센서는 구조가 복잡하고 시스템이 고가이나 구조화된 빛을 이용하는 방식에 비해 아크에 의한 영향을 덜 받고 전처리시간을 줄일 수 있어 점차 사용이 증가하고 있다<sup>4-8)</sup>.

광학센서를 아크용접공정에 적용하는데 있어서 잡음(noise)은 측정신호의 신뢰도를 저하시키는 주원인이 된다. 이러한 잡음의 요인으로서는 아크광(arc light), 스패터(spatter), 연기(smoke)등을 들 수 있다. 아크광이 모재 또는 용융지 표면에 반사되어 광학센서의 감광소자에 입사하므로써 센서신호에 잡음을 유발시킬 수 있으며, 용접물에 대한 센서의 배치에 따라 노이즈의 크기가 다르므로 이를 최소화하기 위한 광학해석이 연구되었다<sup>9)</sup>. 아크 및 스패터에 의한 직접적인 잡음의 발생을 최소화하기 위해 보호막(protector)을 사용하고 있는 경우가 많으며<sup>4)</sup>, 연기에 의한 센서용 레이저의 경로차단으로 인한 센서신호의 잡음을 최소화하기 위하여 주로 공기를 불어주는 방법을 적용하고 있다<sup>4-6)</sup>. 광학센서의 출력신호를 처리하여 잡음을 최소화하는 방법은 주로 저역 또는 대역통과필터를 사용하고 출력된 데이터에 대해 스레시홀드 방법을 적용하는 것이다<sup>8, 10)</sup>. 그러나 모재에 대해 토치를 기울여 용접하는 경우 잡음은 유효신호보다 크게 나타날 수 있고, 이때 일반적인 저역 통과필터의 적용은 센서의 정밀도 보장에 효용이 없으며, 특별한 신호처리 방법이 요구되고 있다<sup>6)</sup>.

소프트웨어에 의한 신호처리 방법으로 센서신호에 포함된 잡음신호를 제거하는 것은 시스템 하드웨어의 설계를 단순화시키며, 센서의 적용환경에 용이하게 대처할 수 있으므로 보다 많은 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 레이저 변위센서

를 이용한 용접선 검출 시스템에서 필연적으로 포함되는 잡음신호를 최소화하기 위한 신호처리 방법에 대하여 연구하였다. 잡음을 포함하고 있는 센서출력신호에 대해 이동평균법(moving average method), 스레시홀드방법(threshold method), 메디언필터(median filter), 평방평균법(quadratic mean method)등 다양한 신호처리 방법을 적용하여 각 방법에 따른 용접선 검출 능력의 정도를 비교, 검토하였다.

## 2. 레이저 변위센서의 원리

레이저 변위센서의 종류는 크게 광학 삼각법(optical triangulation)을 이용하는 방식과 광위상차(time of flight)를 이용하는 방식으로 나눌 수 있다<sup>11, 12)</sup>. 광학 삼각법은 광원과 이미지 센서(image sensor)를 기준선(base line)으로 하여 이미지 센서에 상이 맺히는 위치에 따라 삼각법에 의해 물체까지의 거리를 측정하는 방식이고, 광위상차 방식은 기준광과 물체에 반사된 광의 위상차를 이용하여 물체까지의 거리를 측정하는 방식이다. 이중 광학 삼각법을 이용하는 방식이 처리시간이 짧고 구조가 간단한 장점이 있다.

본 연구에 사용된 센서는 주사 빔을 이용한 방식의 레이저 변위센서로써 Fig.1과 같은 광학적 3각 거리측정 방식에 의해 대상 물체에서 반사된 레이저광이 위치 검출 소자(PSD)위에 광점의 영상을 맺게 하여, 그 위치(入射각도)에 따라 거리를 측정할 수 있다. 그 때문에 광학계는 고정밀의 비구면 렌즈를 사용하고 있다. 또 컨트롤러에서는 센서헤드에서 출력하는 신호를 선형화(Linearizer) 회로에 수용하여 거리와 출력 전압이 정비례하여, 거리 데이터의 정밀도를 높이도록 되어 있다<sup>13)</sup>.

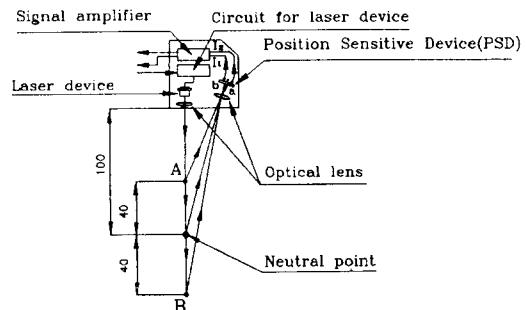


Fig. 1 Principle of the Laser displacement sensor<sup>13)</sup>

본 연구에 사용된 레이저 변위센서는 파장이 780nm인 반도체 레이저가 내장되어 있으며, 정밀도는 40 μm이고 센서헤드의 무게는 180g이다. 측정거리의 한계는 100 mm를 기준으로 ±40 mm범위까지 측정이 가능하며 최대출력 전압은 ±4V이다.

### 3. 센서 출력 신호의 처리방법

레이저 변위센서를 통해 얻은 신호는 용접 공정 중 아크광(arc light), 스패터(spatter), 연기(smoke) 등으로 인해 많은 잡음을 포함하고 있다. 이러한 신호를 통해 별도의 신호처리 없이 정확한 용접선의 경로를 파악하기는 불가능하다. 따라서 이러한 잡음제거를 위한 다양한 신호처리 방법이 요구된다.

#### 3. 1 이동 평균(moving average)법

센서로부터 측정된 일련의 전압신호는 이전의 값과 상관관계를 가지게 된다. 이러한 데이터에 대한 신뢰도를 높일 수 있는 간단한 알고리즘이 이동 평균법이다. 이동 평균에 의해 처리된 신호는 디지털 필터링한 효과를 나타내므로 측정 신호에 대한 신뢰도를 향상시키고 제어 신호를 보다 안정화 할 수 있다.

이동 평균식은 다음 식으로 나타낼 수 있다<sup>9, 10)</sup>.

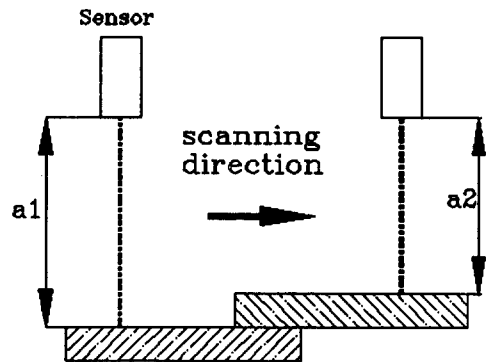
$$\bar{d}(n) = \frac{m-1}{m} \bar{d}(n-1) + \frac{1}{m} d(n) \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $d(n)$ 은 일련의 센서출력 전압치로써 센서와 모재간의 거리를 나타내는 데이터이며,  $n$ 은 데이터의 순번을 나타낸다.  $\bar{d}(n)$ 과  $\bar{d}(n-1)$ 은 각각 새로운 이동평균값과 이전의 이동평균값을 나타내며,  $m$ 은 가중치로써 이 값이 크면 이전의 데이터에 대한 비중이 커져 데이터의 평활정도는 커지나 과도한 지연시간(lag time)이 유발될 수 있다.

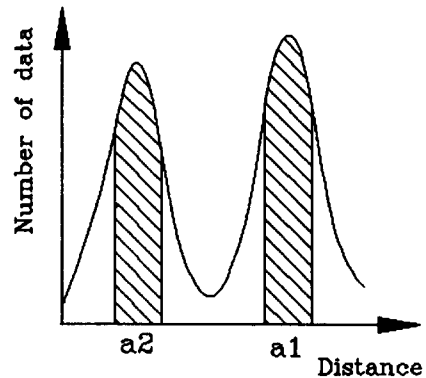
#### 3. 2 스레시홀드(threshold)방법

Fig.2(a)와 같이 겹치기 이음부를 레이저 변위센서로써 거리를 측정한 후, 한 주기의 데이터에 대한 분포를 그래프로 그려보면 Fig.2(b)와 같이 집중된 두개의 분포 구간을 가짐을 알 수 있다. 이것은 현재 측정물의 형상이 두개의 높이 구조를

가진 형상임을 나타낸다. 이것을 통해 집중된 두개의 구간에 속한 데이터는 유효한 데이터로 처리하고 나머지 데이터는 잡음으로 간주하여, 이를 전번 데이터로부터 예상되는 유효한 두개의 데이터중 하나로 대치시키는 방법이다. 이를 통해 데이터의 평활과 조인트 위치에 대한 신뢰성을 높인다.



(a) Schematic diagram of scanning



(b) Data histogram

Fig. 2 Threshold method

#### 3. 3 메디언(median)필터

메디언필터는 주로 화상 데이터의 잡음제거에 사용되는 방법의 하나로, 화상 처리에서는 Fig.3와 같이 주목 화소의 8근방 화소 농도를 조사하여 이것을 크기순으로 배열하고 그 중앙값을 목적 화소의 농도 값으로 대치하는 방법이다.

예를 들어 Fig.3를 고려해 보면 여기서 점선으로

표시된 8근방 화소 농도를 조사하여 크기순으로 배열해서 5번째 요소를 목적화소로 대치한 결과를 보이고 있다. 메디언 필터는 화상 처리에 있어서 에지(edge)를 변화시키지 않으므로 화상데이터의 잡음제거에 많이 이용되고 있다. 그러나 이 방법은 이동 평균법에 비해 잡음제거 능력은 우수하나, 그 처리 시간은 이동 평균법에 비해 약 5배 정도 많이 걸린다<sup>15)</sup>.

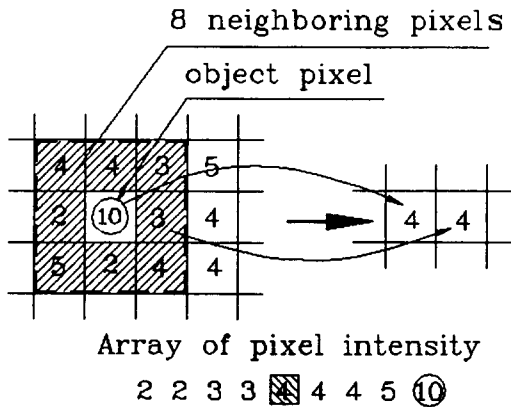


Fig. 3 Signal processing of a median filter<sup>15)</sup>

### 3. 4 평방 평균법

각 측정치의 제곱에 대한 산술 평균을 구한 후 제곱근을 취한 값을 평방 평균(quadratic mean)이라고 하며, 평방평균  $Mq(n)$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>16)</sup>.

$$Mq(n) = \sqrt{\frac{1}{2L+1} \sum_{i=n-L}^{n+L} d(i)^2} \dots\dots\dots(2)$$

여기서 L은 계산에 고려되는 데이터 구간을 표시한다. 평방 평균은 자료에 포함된 비정상적인 측정치의 영향을 부각시키는 경우에 있어서 유용하다. 계산식에서 보는 것과 같이 각 측정치를 제곱하여 평균을 취하므로 비정상적인 측정치는 제곱에 의해 상대적으로 더욱 커지거나 작아진다. 이렇게 비 정상적으로 크게 나타난 데이터를 잡음으로 처리하여 이를 전번 데이터와 관련하여 유효한 데이터로 처리한다.

## 4. 센서신호에 의한 용접선 검출방법

용접이음부(weld joint)의 형태는 겹치기(lap), 맞대기(butt), T형(fillet) 이음부가 주종을 이루고 있으며, 용접선 자동 추적용 센서시스템에서는 측정된 센서신호로부터 각 이음부의 특징점을 식별하므로써 용접선의 위치를 알게 된다. 광학센서 시스템에서 용접선의 위치를 찾는 방법으로 입력된 센서신호로부터 추출된 특징선간의 교점을 구하여 용접선의 위치로 간주하는 방법<sup>17, 18)</sup>과 선형화시킨 데이터의 국부적인 기울기(gradient)값을 이용하여 굴곡점을 찾는 방법<sup>9, 10)</sup>이 주로 이용되고 있다.

본 연구에서는 박판의 용접에서 많이 사용되고 있는 겹치기(lap)이음부에 대하여 용접선 검출을 실험하였으며, 겹치기 이음부의 용접선을 찾기 위해 기울기값을 이용하는 방법의 하나인 중심 차분법(central difference method)을 이용하였다<sup>9, 10)</sup>. 용접선의 직각인 방향으로 센서를 이동시키면서 취득한 데이터로부터 센서의 이동거리에 대한 센서와 모재간 거리의 미분값  $S(n)$ 은 다음과 같다.

$$S(n) = \frac{D(n+k) + D(n-k) - 2D(n)}{2k} \dots (3)$$

여기서  $D(n)$ 은 센서출력신호에 대해 잡음제거를 위해 각종의 신호처리 방법을 적용하여 얻은 데이터로써, 센서와 모재간 거리에 해당하는 센서 출력 전압치이다. 이때 변곡점을 찾는 성능은 미분구간을 나타내는  $k$ 값의 선정에 따라 달라진다. 즉  $k$ 의 값이 작을 경우 선의 국부적인 기울기 변화에 민감하고,  $k$ 의 값이 큰 값일 경우 선의 전반적인 기울기 변화를 얻을 수 있다. 따라서 적당한  $k$ 값에 대하여, 미분값  $S(n)$ 이 가장 큰 곳이 겹치기 이음부의 용접선 위치가 된다.

## 5. 실험 장치 및 방법

본 실험에 사용된 장치는 3축 직선 유니트, 용접기, 레이저 변위센서, 센서 구동부, 퍼스널 컴퓨터로써 구성되며 그 전체 개략도는 Fig4와 같다.

토치 이송을 위한 직교형 3축 직선 유니트의 Z축에 센서의 회전운동을 위한 센서구동장치(T축)를 부착하였다. 센서 구동장치는 스테핑 모터에 의

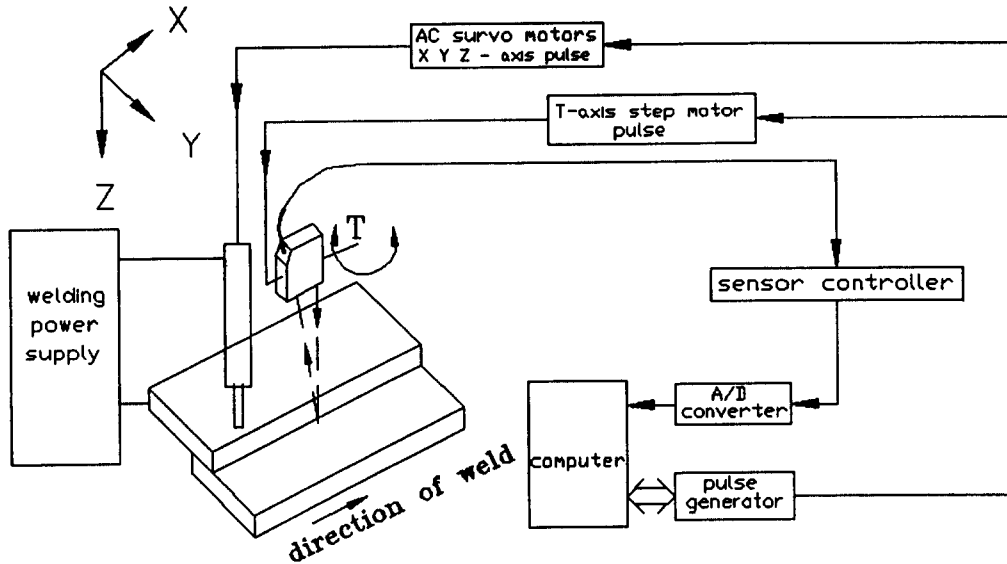


Fig. 4 Schematic diagram of the experimental system

해 구동되며 감속피니언을 연결하여  $\pm 19^\circ$ 의 반전 회전운동(tilting)을 하도록 제작하였으며, 반전운동 주파수는 4Hz가 되도록 모터를 구동하였다. 실제 용접시의 용접선 검출을 위하여 사용한 용접기는 GMA용접기이며, 보호가스는 100% CO<sub>2</sub> 가스를 사용하였다.

실험 방법은 레이저 변위센서로부터 출력되는 아날로그 전압신호를 A/D 컨버터를 통해 디지털 값으로 컴퓨터에서 받아들인다. 이때 데이터는 센서를 반전회전운동시키면서 측정한 값이므로, 데이터를 센서가 수평운동했을 때의 값으로 변환한 후 여러가지 신호처리 방법들을 적용하여 신호를 평활하였다. 이렇게 구한 신호를 중심 차분법을 이용하여 용접조인트의 위치를 구해서 그 신호처리 방법들의 성능을 비교한다.

실험은 다음과 같은 세가지 경우로 실시하였다.

- i) 비용접시(arc off)
- ii) 용접시(arc on)
- iii) 용접시 용접 토치-센서 사이에 차광막을 설치한 경우

위와 같은 경우에 대해 각 신호처리 방법을 적용해서 용접선 검출 성능을 비교해 보았다. 실험 조건은 Table.1과 같다.

Table 1. Experimental condition

Material	cold rolled plate(KDS 3512) thickness 2 mm
Distance from torch to sensor	55 mm
Height from workpiece to sensor	100 mm
Sampling time	1 ms
Weld Joint	lap joint
Welding current/voltage	150 A/22V
Shielding gas	100 % CO <sub>2</sub> gas

## 6. 실험 결과

### 6. 1 비용접시(arc off)

먼저 아크가 없는 상태에서의 센서 신호를 살펴 보면 잡음이 없는 평활한 측정 결과를 얻을 수 있다.(Fig.5(a))

이 그림에서 종축은 모재의 높이 변화에 따른 센서의 측정 전압 신호(0.1V/mm)를 나타내고 횡축은 초기 측정 시작점으로부터의 순차적인 데이터의 순번이 된다. 이렇게 센서로부터 측정된 데이터의 한 주기 동안의 히스토그램(histogram)을 그려보면 Fig.5(b)와 같이 뚜렷한 두개의 구간이 나타난다. 이러한 경우에 있어서는 별다른 신호처리 방법 없이 중심 차분법만으로도 그 용접조인트의

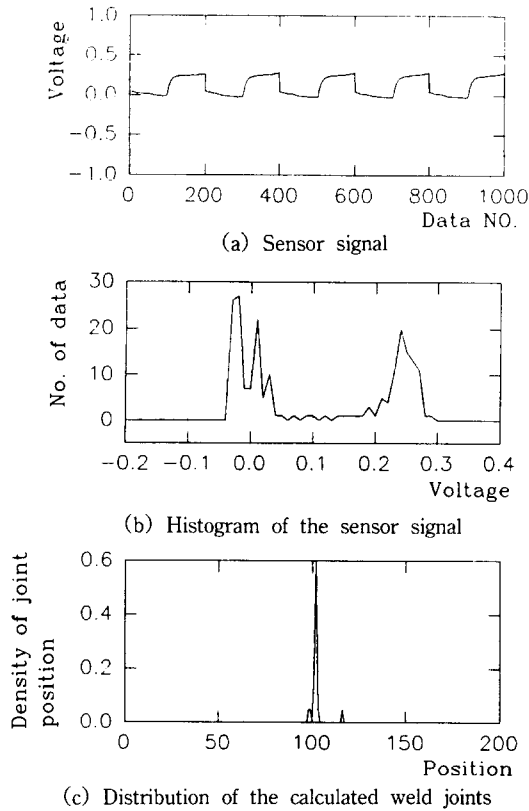


Fig. 5 Signal processing results when arc off

위치를 찾을 수 있다. 중심 차분법을 이용하여 미분구간( $k$ )이 10일 때 계산된 용접조인트의 위치 분포를 Fig.5(c)에서 보여주고 있다.

여기서 종축은 밀도(density)를 표현하고 있다. 이 밀도는 토치 이송장치가 용접선 방향으로만 진행하면서 반복적으로 용접선 위치를 검출했을 때 용접선 위치의 빈도수의 비율을 나타내고 있다. 횡축은 용접선에 수직방향 거리에 해당하는 데이터 순번을 나타낸다. 따라서 계산된 용접조인트 위치의 분산정도가 작을수록 정밀한 용접선의 검출이 가능하다는 것을 의미한다. 반복적인 실험을 통해서 각 미분구간( $k$ )에 따른 용접선의 검출 능력을 확인한 결과를 보면 미분구간이 5-15사이에서 계산된 용접선 위치의 분산 정도가 가장 작게 나타나 이후의 중심차분법 적용에는 미분구간 10을 적용하였다.

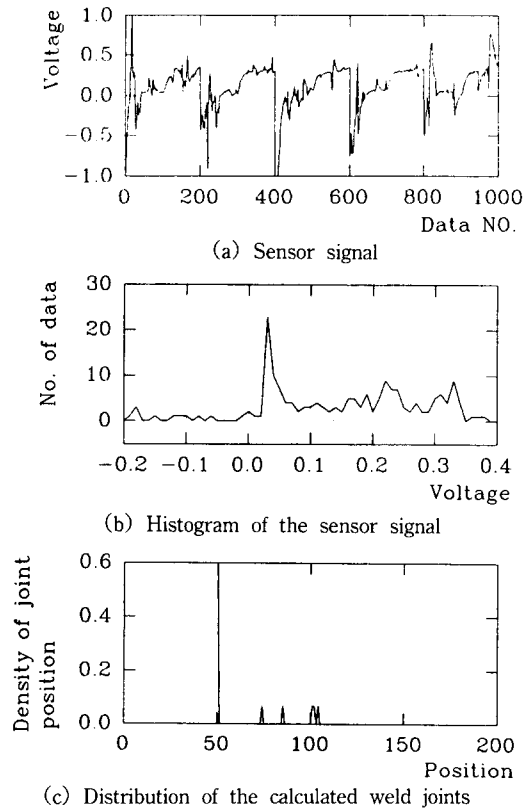


Fig. 6 Signal processing results when arc on

## 6. 2 용접시(arc on)

용접시에는 아크광이나 스패터 등으로 인해 센서로부터 측정된 신호(Fig.6(a))가 많은 잡음을 포함하고 있다.

이 신호의 히스토그램인 Fig.6(b)에서도 이러한 결과를 확인할 수 있다. 이러한 신호를 별도의 잡음제거를 위한 신호처리 없이 용접선을 검출한 결과를 Fig.6(c)에 나타내었는데, 용접선 위치의 분포 범위가 50(약17mm)정도로 상당히 넓은 범위로 분포함을 알 수 있다. 이렇게 측정된 용접선 위치의 정밀도가 떨어지면 실질적으로 용접선 추적이 불가능하다. 따라서 이러한 신호로부터 보다 정밀한 용접선의 위치를 검출하기 위해서, 여러가지 신호처리 방법들을 적용해 보았다.

Fig.7(a)에서는 화상 처리에서 주로 이용하는 메디언 필터를 사용한 결과로 화상처리에서와는 달

리 잡음제거에 별다른 영향을 미치지 못하여 신호 처리 전과 거의 비슷한 형태를 보이고 있다.

평방 평균법을 적용한 결과를 Fig.7(b)에서 나타내고 있는데, 여기서는 신호 처리결과가 크게 향상되지는 못했으나, 신호처리 전과 비교했을 때는 어느 정도 좋아진 것을 볼 수 있다.

다음은 Fig.6(b)에서 구한 스톱시홀드값을 이용하여, 스톱시홀드방법을 적용한 결과를 Fig.7(c)에 나타내었다. 그러나 잡음 신호가 과도한 관계로 개선 효과를 볼 수 없었다. 따라서 각 신호처리 방법의 단독 적용은 용접시에 개선효과가 없으므로 신호처리 방법을 조합하여 적용해 보았다. Fig.7(d)는 스톱시홀드방법-이동평균법-스�톱시홀드방법을 적용하여 신호처리를 한 경우이며, 개선된 결과를 볼 수 있었다.

Fig.8은 중심 차분법의 가중치(k)가 10일 때 앞에서 처리된 신호로부터 용접선의 위치를 찾은 결과를 보여주고 있다. 여러가지 신호처리 방법중 두가지 신호처리 방법을 조합하여 적용했을 때 용접선 검출 정도가 상당히 향상되었음을 알 수 있다.

이상의 결과에서 알 수 있는 것과 같이 한가지의 단일 신호처리 방법으로는 용접선의 위치추정 정밀도 개선이 어렵지만 여러가지의 신호처리를 중복하여 적용함으로써 용접선 위치의 검출 성능이 상당히 향상됨을 알 수 있다. 그러나 이 경우에 있어서도 비용접시의 용접선 위치검출 정도에는 크게 못미치는 것을 볼 수 있다.

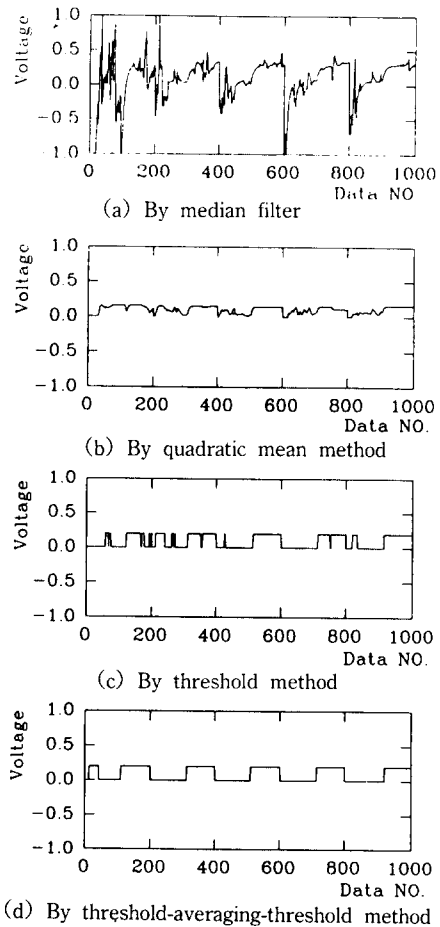


Fig. 7 Processed sensor signals when arc on

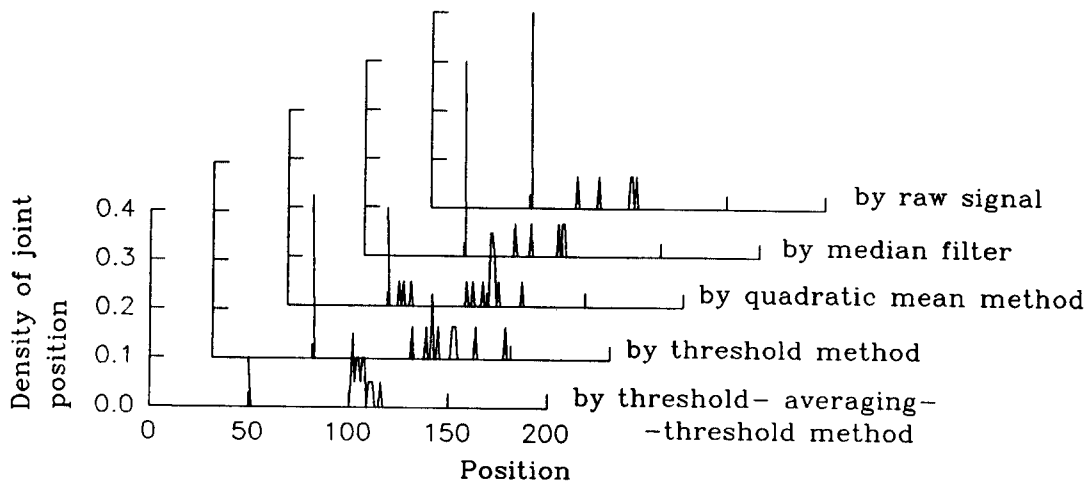


Fig. 8 Distributions of the calculated weld joints when arc on

### 6. 3 차광막 설치시 (with arc light protector)

센서와 토치 사이에 차광막을 설치한 경우에 대해서 여러가지 신호처리 방법을 적용하여 그 효과를 알아보았다.

먼저 센서-토치 사이에 차광막 설치후 센서로부터 측정된 신호(Fig.9 (a))를 살펴보면 비용접시와 비교해서는 불안정한 신호를 나타내고 있다. 그 이유는 아무리 차광막을 잘 설치한다고 하더라도 이음부의 단이진 부분에서 빛이나 스파터를 전부 차단하기가 힘들므로 차광막이 없을 때 보다는 신호에 적은 잡음을 포함하나, 비용접시보다는 많은 잡음을 포함하고 있다. 이 신호의 히스토그램을 Fig.9(b)에 나타내었다. 또한 미분구간(k)이 10일 때 계산된 용접조인트의 위치 분포를 Fig.9(c)에 나타내었다. 용접시보다는 산포가 적은 신호임을

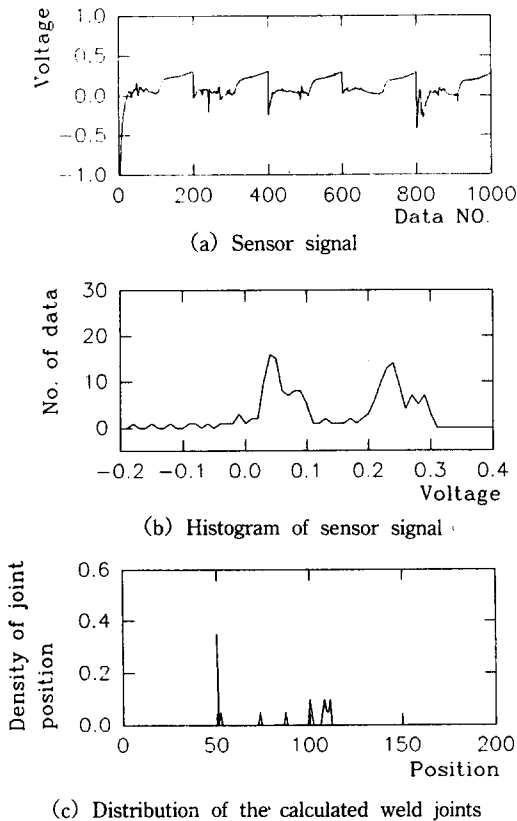


Fig. 9 Signal processing results with arc light protector

알 수 있다. 그러나 여전히 넓은 분포를 가지고 있어 용접선의 정확한 위치를 인식하는데 있어서는 문제점을 가지고 있음을 보여준다.

메디언 필터, 평방평균법, 스레시홀드 방법을 적용하여 처리한 신호를 Fig.10에 각각 나타내었다. 평방평균법과 스레시홀드방법을 적용하였을 때 각각 평활된 신호를 얻을 수 있었다.

이러한 신호를 이용해 용접선을 인식한 결과를 Fig.11에 나타내었는데 신호처리 방법에 따라 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 특히 평방평균법을 적용한 경우 용접선 위치검출 정밀도가 상당히 향상되어 비용접시에 근접하는 용접선 검출 능력을 나타내었다.

신호처리를 통해 얻은 용접선검출 결과에 대한 표준편차를 Table.2에 나타내었다. 이 결과를 보면 비용접(no arc)시에 표준편차가 가장 작게 나타나고 있다. 용접시에는 표준편차가 매우 크게 나타났으며, 여러가지 신호 처리를 조합한 방법

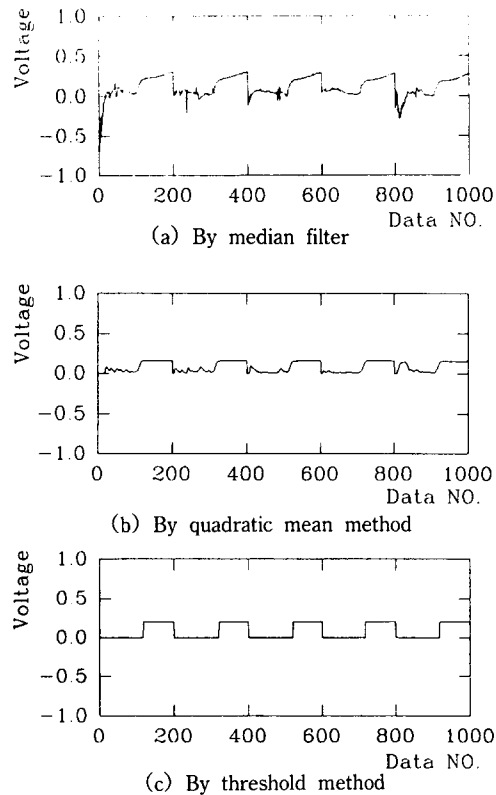


Fig. 10 Processed sensor signals with arc light protector



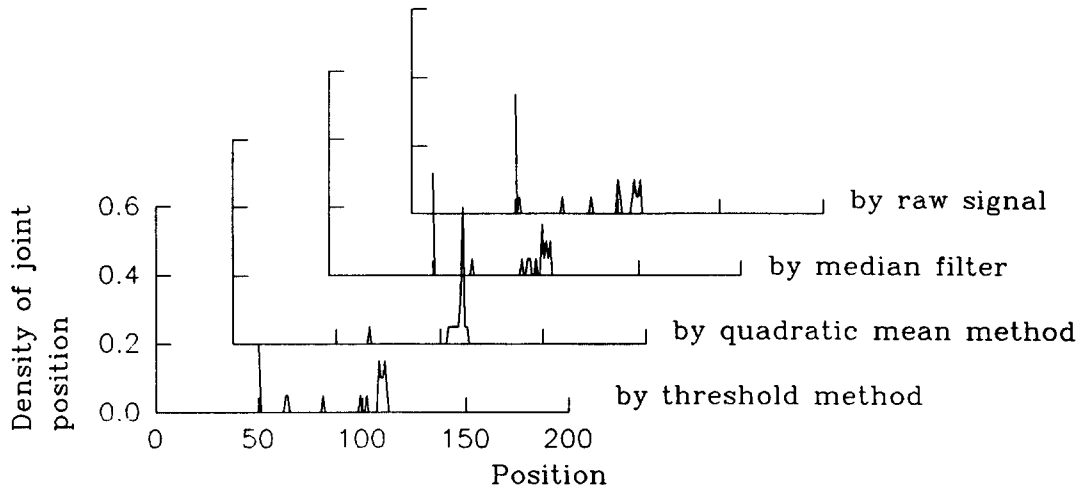


Fig. 11 Distributions of the calculated weld joints with arc light protector

Table 2. Standard deviation( $\sigma$ ) of calculated weld joints

Condition		$\sigma$
No arc	By raw signal	3.4
Arc on	By raw signal	65.7
	By median filter	65.9
	By quadratic mean method	29.0
	By threshold method	55.9
	By threshold-averaging -threshold method	27.5
With arc light protector	By raw signal	36.5
	By median filter	34.3
	By quadratic mean method	10.0
	By threshold method	37.6

에서 표준편차값이 작게 나타났다. 아크빛 차단 시에는 표준편차값이 용접시에 비해 상당히 줄어들었으나, 비용접시에 비해서는 표준편차값이 상당히 크게 나타났다. 이 경우에 있어서 평방평균법을 적용했을 때 용접선 검출능력이 거의 비용접시의 수준으로 나타남을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 차광막 설치시에도 잡음 제거를 위한 신호처리 없이는 용접선의 정확한 위치 인식이 어려우며 신호처리 방법들 중에서는 평방평균에 의한 방법이 가장 우수한 것으로 나타났다.

## 7. 결 론

박판 겹치기용접에서 레이저 변위센서를 사용하여 용접선의 위치를 검출하는데 있어서 센서신호

에 포함된 잡음을 제거하기 위한 여러가지 신호처리 방법을 적용해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 먼저 비용접(arc off)시에는 레이저 변위센서로부터 직접 출력되어 나오는 신호 자체만으로도 상당히 정확한 용접조인트의 위치를 얻을 수 있었으며, 미분구간(k)에 따른 조인트 위치 인식 능력은 미분구간(k)이 5-15일때 효과가 가장 좋음을 알 수 있었다. 용접(arc on)시에는 각 신호처리 방법 한가지만으로는 조인트의 위치 인식 능력이 크게 향상되지 못했다. 그러나 여러가지의 신호 처리방법을 조합하여 반복처리함으로써 용접선의 검출 정도가 향상된 것을 볼 수 있었다. 그리고 차광막 설치시에도 잡음제거를 위한 신호처리 없이는 용접선의 정밀한 위치 인식이 어려우며, 평방평균에 의한 방법이 잡음을 제거하는데 가장 좋은 결과를 보여 비용접시에 근접하는 용접선 검출능력을 나타내었다.

## 참 고 문 헌

1. H. Nomura, Y. Sugitani, Y. Suzuki : Automatic real-time bead height control with arc sensor in TIG Welding, 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, Vol.30, No.3, (1983), pp.252

- 268.
3. T. Araya and S. Saikawa : Recent activities on sensing and adaptive control of arc welding, 3rd Int'1 Conf. on Trends in Welding Research, Gatinsburg, USA, (1992), pp.833-842
  4. G. L. Oomen : A real time optical profile sensor for robot arc welding, in ROVISEC, Cambridge, MA, USA, November, (1983), pp.679-668.
  5. R. J. Beattie, S. K. Cheng, and P. S. Logue : The use of vision sensors in multipass welding applications, Welding Journal, Vol.67, No.11, (1988), pp.28-33
  6. M. Bjorkelund : A true seam-tracker for arc welding, Robotic Welding, IFS Ltd., UK, (1987), pp.167-177
  7. 이철원, 나석주 : 물체의 반사성질이 용접자동화용 시각센서의 아크노이즈에 미치는 영향에 관한 연구, 대한용접학회지, 13권, 제1호, (1995), pp.115-126
  8. T. Bamba : An arc-welding robot with a compact visual sensor, Sensors and Control Systems in Arc Welding, Chapman and Hall, UK, (1994), pp.118-126
  9. 신정식 : 겹치기 이음에서의 용접선 추적과 아크 데이터의 모니터링 시스템에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, (1991)
  10. J. E. Agapakis, K. Masubuchi, and N. Wittles : General visual sensing techniques for automated welding fabrication, 4th Int'1 Conf. on Robot Vision and Sensory Controls, London, UK, (1984). pp.103-114
  11. D. Nitzan : Three-dimensional vision structure for robot applications, IEE Trans. on PAMI, Vol.10, No3, (1988), pp.291-309
  12. Z. Smati, D. Yapp, and C. J. Smith : Laser guidance system for robots, Robotic Welding, IFS Ltd, UK, (1987), pp.91-103
  13. 金禮植 : FA用 센서 活用技術, 도서출판 技術
  14. 許明會 : 탐색적 방법에 의한 統計 資料 分析論, 자유 아카데미, (1993), pp.VIII.1-VIII.13
  15. NHK 방송기술연구소 화상연구부 : C언어에 의한 화상처리 실무, 국제테크노정보연구소, (1994), pp.103-107.
  16. 金亮列, 黃圭大, 金泰雄 共著 : 統計學概論, 泰成出版社, (1994), pp.41-pp.60.
  17. N. Kawahara : Tracking control system using image sensor for arc welding, Automatica. Vol. 19, (1983), pp.357-363
  18. W. F. Clocksin, J. S. E. Bromley, P. G. Davey, A. R. Vidler, and C. G. Morgan : An implementation of model-based visual feedback for robot arc welding of thin sheet steel, Int'1 Journal of Robotics Research, Vol.4, No.1, (1985), pp.13-26