

## GMA 용접로봇용 용접선 시각 추적 시스템에 관한 연구

김재웅(영남대학교 기계공학부)\*, 김동호((주)대현테크)\*\*

A Study on a Visual Sensor System  
for Weld Seam Tracking in Robotic GMA Welding

Jae-Woong Kim(Mech. Eng. Dept., YU)\* and Dong-Ho Kim(DAEHYUNTECH Co., Ltd.)\*\*

### ABSTRACT

In this study, we constructed a preview-sensing visual sensor system for weld seam tracking in real time in GMA welding. A sensor part consists of a CCD camera, a band-pass filter, a diode laser system with a cylindrical lens, and a vision board for inter frame process. We used a commercialized robot system which includes a GMA welding machine. To extract the weld seam we used a inter frame process in vision board from that we could remove the noise due to the spatters and fume in the image. Since the image was very reasonable by using the inter frame process, we could use the simplest way to extract the weld seam from the image, such as first differential and central difference method. Also we used a moving average method to the successive position data of weld seam for reducing the data fluctuation. In experiment the developed robot system with visual sensor could be able to track a most popular weld seam, such as a fillet-joint, a V-groove, and a lap-joint of which weld seam include planar and height directional variation.

**Key Words** : Visual sensor(시각센서), Seam tracking(용접선 추적), Inter frame process(화상간 연산기능), Central difference method(중심차분법)

### 1. 서론

용접공정은 조립공정의 중요한 핵심기술로서 제품의 생산에 있어 가장 기본적이고 필수적인 조립공정중 하나이다. 현재 기계화된 용접 장치들이 생산 현장에 투입되어 사용되고 있지만 용접 공정의 단순한 기계화는 다양한 용접부의 형상에 쉽게 적용시키기가 곤란하며 용접대상물의 형상오차, 연속작업으로 인한 부정확한 장착, 열변형 등에 따른 여러 가지 용접조건 변화로 인해 우수하고 균일한 품질의 용접 제품을 생산하는 데에는 다소의 문제점을 갖고 있는 실정이다. 용접공정의 자동화를 이루기 위해서는 용접선의 자동 추적이 필수적이다. 이는 용접토치와 용접선의 불일치로 인한 오차 값을 교정하여 균일한 품질의 용접물을 생산하기 위한 것이다. 하지만 많은 공정변수들의 영향으로 인하여 이를 성취하기에 많은 어려움이 따

게 된다. 특히 시각센서의 사용에 있어서 아크광과 용접시 발생하는 스패터 그리고 용접부의 난반사는 지금까지 시각센서를 사용하는데 많은 난 점이였으며 또한 많은 수의 연구자들이 이러한 어려움을 해결하고자 연구를 해오고 있는 상황이다.<sup>1-3)</sup>

본 연구는 화상 내에서 용접선 이외의 다른 외란을 제거하고 6축 로봇에 적용 가능한 소경량의 시각센서 시스템의 설계를 주목적으로 하고 있다. 더불어 좌우 방향의 교정뿐만 아니라 높이방향의 교정까지 포함하며 하나의 시스템으로 다양한 용접부를 처리할 수 있는 알고리즘 개발과정을 포함한다.

### 2. 화상처리

본 연구에서는 화상처리의 방법으로 비전보드의 라이브러리를 이용하는 방법인 화상간 연산(inter frame)기능을 사용함으로써 화상간 논리 및 산술연산

을 시행하여 빠른 속도를 가지고 화상처리를 수행하면 서도 좋은 품질의 화상을 취득하고자 한다.

화상간 연산에서 AND연산은 각 화소(pixel)간에 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$G_{AND} = G1 + G2 - 255 \quad (1)$$

여기서  $G_{AND}$ 는 AND연산 후의 그레이 값이며, G1은 화상1 그리고 G2는 화상2 각각의 그레이 값이다.

전술한 것을 기초로 화상간 연산인 AND기능을 이용한다면 효과적으로 외란을 제거할 수 있으리라 사료된다. 레이저 띠의 추출은 1/30초의 시간차를 갖는 두 개의 화상에 대해서 레이저 띠는 동일부분에 존재할 가능성이 매우 크지만 스펙터 등의 외란은 동일부분에 나타날 가능성이 희박하므로 이는 어두운 면으로 대변될 것이라는 이론에 기초한다. Fig. 1은 스펙터가 많이 발생한 경우에 연속적으로 잡은 두 개의 화상과 이를 AND 연산을 사용하여 처리한 결과를 나타낸다.

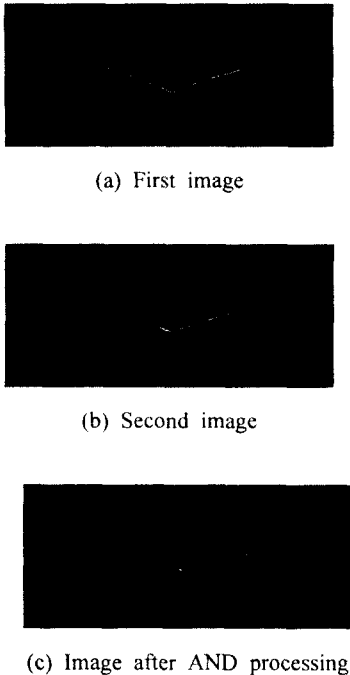


Fig. 1 Result of the inter frame process for removing the spatter noise

### 3. GMA 용접로봇의 위치오차 보정기능

#### 3.1 로봇 인터페이스

용접공정중 토치의 경로를 보정하기 위해서는 외부에서 로봇의 제어기(robot controller)로 교정 지시값

(correction data)을 전송해주어야 한다. 교시된 경로의 교정을 위해 사용하는 교정 지시값은 부호 비트(sign bit)를 포함하여 6 bit의 데이터이다. <sup>4~6)</sup>

#### 3.2 교정 지시값의 산출

수평방향과 높이 방향으로의 교정 지시값에 따른 보정량은 속도에 따라 다른 값을 보인다. 따라서 단위 시간당 보정거리(보정속도)는 교정 지시값에 의해서만 선형적으로 비례함을 알 수 있다. 이것은 좌우방향 뿐만 아니라 높이방향에 대해서도 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$S = 0.5066 \times Cor + 4.572 \quad (2)$$

여기서 S는 단위시간당 보정량(mm/sec)이다. 이것을 Fig.2에 나타내었으며, 단위시간 또는 일정 샘플링 시간동안에 보정할 거리는 (2)식으로부터 얻은 보정속도와 해당 시간의 곱과 같게 된다.

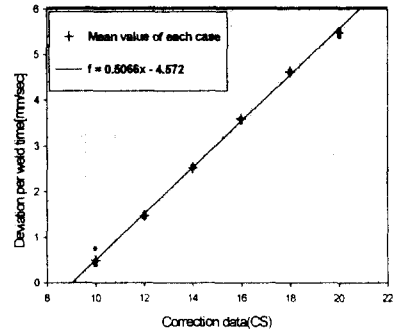


Fig. 2 Transverse correction data correspond to deviation per weld time

### 4. 용접선 추적 시스템

#### 4.1 용접선 추적 시스템

본 연구에서는 대부분의 외란이 이미 AND연산에 의해서 충분히 제거되기 때문에 데이터의 신뢰도가 아주 높다. 이에 용접선 추출방법으로 가장 간단하고 빠른 방법인 중심차분법을 사용하여 데이터를 처리하여 특징점 추출 성능을 알아보았다.

중심차분법은 일종의 2차 미분의 방법으로 선을 형성하는 픽셀데이터를 2차 미분하여 변곡점을 찾아내는 것이다. 이 방법을 이용한 이후의 출력 값은 직선의 경우에는 0이 되고 두 직선 세그먼트사이의 급격한 기울기를 가지는 점을 평가할 때는 그 기울기 차이에 비례한다. 이 값들의 최대값 또는 최소값이 바로

특징적인 것이다. 중심차분값은 다음과 같다.<sup>7-8)</sup>

$$D_{cent} = \frac{Y_{pos}(x-k) + Y_{pos}(x+k) - 2Y_{pos}(x)}{2 \times k} \quad (3)$$

여기서  $Y_{pos}(x)$  : 화상평면에서 수평위치  $x$ 에서의  $y$ 좌표의 값,  $k$ : 중심차분구간이다.

#### 4.2 데이터 처리

중심차분법으로 변곡점을 찾았다면 이제 로봇 제어기에 교정 지시값을 전달하는 것이 남았다. 하지만 비전 시스템의 경우 받아들인 데이터 중에는 리플(ripple)따위로 인하여 왜곡된 데이터가 간간히 포함되어 있는 경우가 많다. 이러한 오차를 줄이기 위해서 종종 가중이동평균법을 사용하며, 이 경우 비례, 적분 제어의 효과도 기대할 수 있다. 일반적인 가중이동평균식은 다음과 같다.<sup>9)</sup>

$$C_{(n)} = \omega C_{(n-1)} + (1-\omega)c_{(n)} \quad (4)$$

여기서,

- $C_{(n)}$ : 새로이 생성된 조인트의 이동평균 위치,
- $c_{(n)}$ : 현재 검출된 데이터로부터 얻은 조인트의 위치,
- $C_{(n-1)}$ : 전 이동평균 조인트의 위치, 그리고  $\omega$ 는 가중치이다.

#### 4.3 용접선 추적 알고리즘

선행거리를 가지는 시스템에 있어서 어떻게 선행거리만큼 가서 추적을 실시하는가 하는 것이 알고리즘의 구현에 있어서 가장 중요한 부분이다. 본 시스템의 경우에는 선행거리가 일정하고 샘플링 시간(sampling time)을 사용자가 직접 입력하는 것으로 알고리즘을 구성하였기 때문에 지연(shift)시간을 고려하여 추적에 이용하였다. 예를 들면 시스템의 샘플링 시간을 0.3초로 고정시켰을 때 용접속도 6mm/sec 라면 선행거리 45mm를 이동하는데 7.5초가 걸리는데 이 말은 용접선의 한 위치를 센서가 지나간 7.5초 후에 토치가 지나간다는 말이다. 따라서 샘플링 시간이 일정하다면 7.5초 동안에는 25번의 샘플링을 수행하므로 센서가 26번째 데이터를 받아들일 때 1번째 데이터를 이송치 즉 토치가 움직일 값으로 컨트롤러에 전송한다는 것이다. 본 실험에서는 정확한 샘플링 시간의 계산을 위해서 PPI 8253의 카운터 기능을 사용하여 처리시간을 측정, 고정하였다. 본 실험에서 데이터를 처리하는데 걸리는 시간은  $0.25 \pm 0.01$ 초 정도이므로 샘플링 시간을 0.3초로 정하였다.

### 5. 실험결과

Fig. 3은 V-groove의 용접에서 어떠한 데이터의 처리 공정도 포함되지 않은 경우, 즉 가중이동 평균치 기법을 사용하지 않은 데이터들이다. 전반적인 경향을 봤을 때 속도가 빠를수록 그리고 각도가 많이 벌어질수록 추적의 정도가 떨어지게 된다.

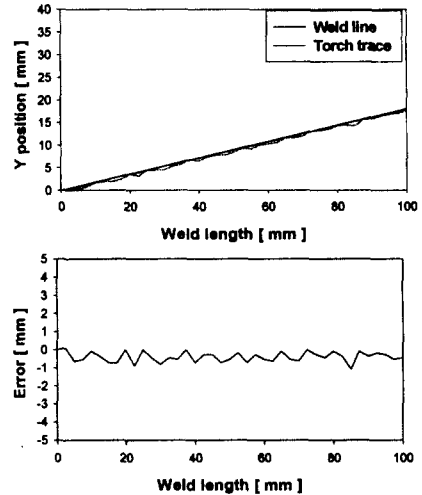


Fig. 3 Tracking result of V-groove (offset angle : 10° , v=8mm/sec)

Fig. 4는 앞선 과정에서 사용하지 않았던 가중이동 평균치를 적용한 결과이다. 가중이동 평균치를 0.2~0.5까지 사용하여 실험하여 보았다. 실험에 사용한 시편은 한번 꺾여진 판재로 17.5°의 각도를 가지고 있다. Table 1에 나타난 바와 같이 가중치를 0.4로 하였을 때 추적 성능이 가장 좋은 것으로 나타났다. 여기서 RMS 에러(E)의 산출은 다음과 같이 하였다.

$$E = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_{n-1}^2 + e_n^2}{n}} \quad (5)$$

Table 1 Weld seam tracking RMS error(E) according to the weighting factor

Weighting factor	0.2	0.3	0.4	0.5
E	0.331	0.270	0.266	0.281

마지막으로 Fig. 5는 높이(Z)방향 추적성능을 포함하고 있다. 이는 용접물의 장착시 일어날 수 있는 높이방향 오차와 여러 가지 용접부 형상의 적용에 있어서 유연성을 제공하기 위한 것으로 실험은 용접선 거

리 240mm에 대해 높이방향 변화 10mm(5.71°), 20mm(11.3°)에 대해서 실험하였다. 직선의 경우 가중이동 평균치의 기능이 데이터의 평활화에 그 주목적을 둔다고 할 때 가중이동평균치는 0.3으로 두고 실험을 하였다. 좌우(y)방향에 비해서 추적정도가 떨어지는 것으로 보여지나 용접시 토치와 모재와의 높이차가 용접품질에 그렇게 민감하게 작용하지는 않기 때문에 본 실험에서의 예러는 무시될 만 하다고 생각된다.

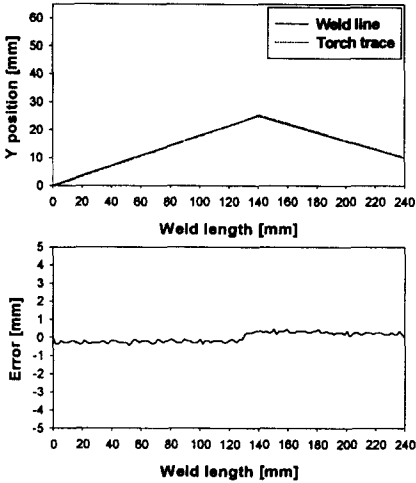


Fig. 4 Tracking result of V-groove with moving averaging (offset angel : 17.5° , v=6mm/sec,  $\omega=0.4$ )

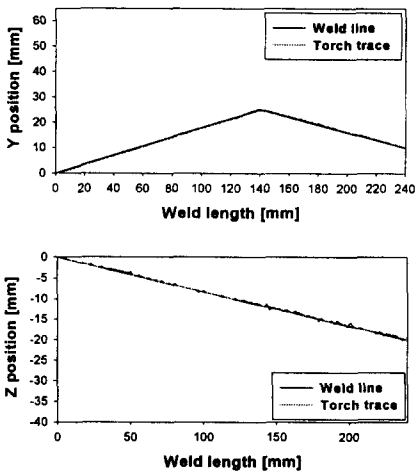


Fig. 5 Tracking result of V-groove with hight control (inclinationl angel : 11.3° , v=6mm/sec,  $\omega_y=0.4$ ,  $\omega_z=0.3$ )

## 6. 결론

GMA 용접 로봇용 용접선 시각 시스템의 구성에 있어 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Inter Frame 연산기능 중 AND 연산을 이용하여 스팟터 등 노이즈의 영향을 최소화함으로써 명확한 화상을 얻을 수 있었다.
2. GMA 용접 로봇의 교정 값과 위치보정량 사이의 관계를 샘플링 시간에 따른 식으로 도출하여 로봇 운용에 있어 교정값 전송을 간단히 하였다.
3. 동일한 시스템 구성으로 V-홈 맞대기(V-groove joint), 필릿 접합부(fillet joint), 겹치기 접합부(lap joint)에 대해 용접선 좌우 방향뿐만 아니라 높이 방향도 추적 가능한 용접선 추적 알고리즘과 시스템을 개발하였다.

## 참고문헌

1. R.W.Richardson and C.C.Conrardy, "Coaxial Vision-Based Control of GMAW", International Trends in Welding Science and Technology, Gatlinburg, Tennessee, 1-5 Jun 1992, Materials Park, Ohio, ASM International, pp957-961, 1992.
2. J.E.Agapakis, K.Masubushi, N.Wittels, "General Visual Sensing Techniques for Automated Welding". Proc. of the 4th International conference on Robot Vision and Sensory Controls 9-11, October, 1984, London, U.K., pp103-114, 1984.
3. J. D. Lane : Robotic Welding, IFS, 1987
4. ABB ROBOTICS "Product Manual IRB2000AW"
5. ABB ROBOTICS "Programming Manual Robot Control System S3"
6. 나석주, 이승영, 김수영, 문형순, "Arc Welding Robot을 위한 Arc Sensor 개발에 관한 연구", 한국과학기술원 연구보고서 1992
7. 이세현, 이정익, "용접선 추적 및 평가를 위한 레이저 비전센서의 적용", 대한용접학회지, 제16권, 제6호, pp.1-6, 1998
8. 정규철, 김재용 "GMA 용접에서 용접선 추적용 시각센서의 화상처리에 관한 연구", 대한용접학회지, 제18권, 제3호, pp.61-67, 2000.
9. 유병희, 김재용, "박판 맞대기 용접에서 전자기식 센서를 이용한 용접선 자동추적 시스템에 관한 연구", 대한용접학회지, 제15권, 제1호, pp.36-46, 1997.