

# I형 맞대기 용접선 추적용 시각센서 시스템에 관한 연구

배희수\*, 김재웅\*\*

## A Study on the Vision Sensor System for Tracking the I-Butt Weld Joints

Hee-Soo Bae\* Jae-Woong Kim\*\*

### ABSTRACT

In this study, a visual sensor system for weld seam tracking the I-butt weld joints in GMA welding was constructed. The sensor system consists of a CCD camera, a diode laser with a cylindrical lens and a band-pass-filter to overcome the degrading of image due to spatters and arc light. In order to obtain the enhanced image, quantitative relationship between laser intensity and iris number was investigated. Throughout the repeated experiments, the shutter speed was set at 1-milisecond for minimizing the effect of spatters on the image, and therefore most of the spatter trace in the image have been found to be reduced. Region of interest was defined from the entire image and gray level of searched laser line was compared to that of weld line. The differences between these gray levels lead to spot the position of weld joint using central difference method. The results showed that, as long as weld line was within  $\pm 15^\circ$  from the longitudinal straight line, the system constructed in this study could track the weld line successfully. Since the processing time reduced to 0.05 sec, it is expected that the developed method could be adopted to high speed welding such as laser welding.

**Key Words** : Visual sensor(시각센서), Seam tracking(용접선 추적), Region of interest(관심영역), Image processing board(화상처리보드), Central difference method(중심차분법)

### 1. 서론

용접공정의 자동화에 있어서 다양한 용접선 모양이나 장착오차, 열변형 등에 대한 대책은 필수적이다. 그러므로 센싱 시스템은 용접선 추적뿐만 아니라 용접 조인트 형상을 감지하고 그에 대한 채움량을 결정하거나,<sup>1)~2)</sup> 용융깊이를 균일하게

유지하는데 사용되기도 한다. 일반적으로 용접용 센서시스템은 센서가 소형경량일수록 좋고 여러 타입의 조인트 형상에도 잘 적용될 수 있으며, 열악한 용접환경에 강건하고 센싱 능력이 보장되어야 한다.<sup>2)</sup> 이러한 센싱 시스템에 시각센서를 적용한 예들을 보면, 보호가스에 따른 아크 및 용융지의 방사 스펙트럼을 조사하여 적절한 화상습득 장

<sup>1)</sup> 2001년 3월 8일 접수

\* 영남대학교 대학원 기계공학과

\*\* 영남대학교 공과대학 기계공학부

치와 광학필터를 사용하여 화상의 질을 향상시키는 방법,<sup>3)</sup> 띠형태의 레이저를 광원으로 사용하여 V-그루브와 다층용접에서 용접부의 형상을 측정하는 방법,<sup>4)</sup> CCD 카메라와 구조화된 빛을 이용하여 V-그루브에서의 용접부 형상 정보를 획득하고 특징점을 추출하여 용접선을 추적하는 방법,<sup>5)</sup> 주사빔을 이용한 광학 삼각법 방식의 레이저 변위센서와 카메라를 이용하여 gap정보와 단차정보를 찾아내어 용접선을 추적하는 방법<sup>6)</sup> 등이 있다.

본 연구에서는 CCD 카메라와 Diode Laser를 이용하여 입체적 특징점이 없는 I형 맞대기 용접선을 추적하기 위한 시각센서 시스템을 구성하고, H/W와 S/W적인 조사를 통하여 용접시 발생하는 스패터의 영향을 최소화시켜 센서 시스템의 신뢰도를 높이고, 연산시간을 최소화하여 레이저용접 같은 고속용접에의 적용 가능성도 타진하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시스템 구성

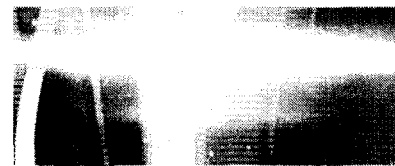
시각센서 헤드는 크게 다이오드 레이저(diode laser), CCD 카메라(Charge Coupled Device Camera), 대역통과필터(band pass filter)로 구성하였다. 광원으로는 파장 692.5nm, 최대출력 2mW의 적색 가시광인 다이오드 레이저를 사용하였고, 점광으로부터 구조화된 광을 만들어내기 위하여 원통형 렌즈(cylindrical lens)를 장착하였으며 거리에 따라 초점 조절이 가능한 구조로 하였다. 실제 아크용접시 발생하는 아크광, 스패터, 매연, 주위의 밝기 변화 등에 의한 노이즈를 줄이기 위하여 특정 파장 대역만을 통과시키는 대역통과필터를 카메라의 렌즈 앞부분에 장착하였다. 모재에서 카메라 렌즈까지의 거리는 147mm로 설정하였으나 필요에 따라 조절 가능하도록 설계하였으며, 다이오드 레이저와 카메라 렌즈의 중심축까지의 거리는 72mm, 선행거리(look ahead distance), 즉, 레이저 띠와 토치의 거리는 약 50mm이다. 화상처리보드로는 640(H)× 480(V)의 이미지 크기를 가지는 흑백 삼성 비전보드 MVB03을 사용하였고, 그 외에 용접토치를 장착한 3축 직선서보 이송장치, GMA 용접기, 제어용 PC 등으로 구성하였다.

### 2.2 화상처리

본 시스템에서의 화상처리는 카메라에 잡힌 화상에서 필요한 테이터를 얻어내어 적당한 과정을 거쳐 원하는 특징점들을 추출하여 최종적으로 모재에서 용접선에 대한 일련의 정보를 끌어내는 것을 목적으로 한다. 용접선 추적을 위해 받아들인 화상 정보에 대한 처리는 첫째, 얻어진 전체 화상에서 용접선 정보를 대표하는 레이저 띠 부분만을 추출하는 작업이 있으며, 둘째, 추출한 레이저 띠 부분에서 원하는 특징점을 찾아내는 작업이 있다.<sup>2,7)</sup>

화상처리에 영향을 미치는 인자들은 첫째로 광학계의 설계변수들로서, 구조화된 빛의 파장, 강도, 빛의 선폭, 카메라와 구조화된 빛과 모재 표면과의 각도, 광학필터의 대역폭 등이며, 둘째로 화상처리 변수들로서, 화상의 원도잉, S/W 필터링, gray level, threshold 값, 세션화 방법 등이다.

본 연구에서는 첫 번째 인자들에 대해 기존의 연구결과들과 예비조사 결과를 이용하고, 두 번째 인자들은 실험을 통해 결정하였다. 본 연구를 통한 예비연구에서 구조화된 빛으로 사용하는 반도체 레이저의 출력, 카메라 조리개의 개폐정도, 셔터 속도 등이 화상의 품질에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다.



(a) shutter speed : 1/60 sec (default)



(b) shutter speed : 1/1000 sec

Fig. 1 Images according to shutter speed

수평방향 등속운동으로 가정한 스패터의 간단한 모델링을 통하여 카메라 전자셔터의 속도를 1/1000 초로 결정하였으며, Fig. 1에 default 셔터속도인

1/60초일 때와 1/1000초일 때의 용접시 스펙터 제적의 차이를 나타내었다. 레이저 띠의 강도도 약해졌지만 다량의 스펙터 제적이 제거된 것을 볼 수 있다.

실험을 통하여 레이저 출력과 조리개의 개폐정도는 서로 상관관계가 있는 것을 알게되었는데, 조리개를 일정하게 유지한 상태에서 레이저 출력을 조금씩 높이는 것은 일정한 출력의 레이저를 유지하면서 조리개를 조금씩 열어주는 것과 거의 비슷한 경향을 보였다. Fig. 2에 레이저 출력을 일정하게 유지한 상태에서 조리개를 단계적으로 열어 주면서 잡은 화상들을 나타내었다.

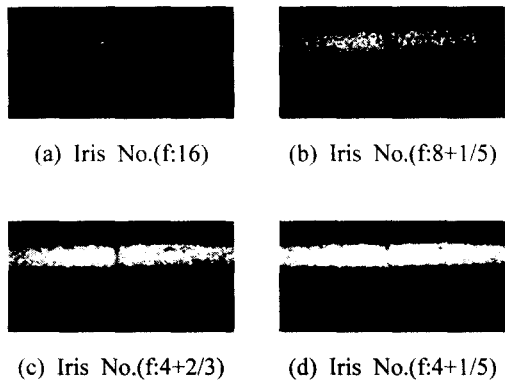


Fig. 2 Images according to Iris No. at the same laser power

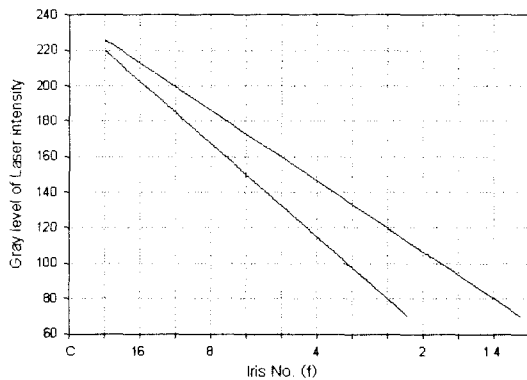


Fig. 3 Correlation of Laser intensity and Iris No. for the useful Image

레이저 출력과 조리개 개폐정도를 여러단계로 변화시켜 가면서 얻은 화상에서 육안으로 용접선 위치를 구별할 수 있는 화상이 만들어 지는 레이저 출력과 조리개의 관계를 구하였으며 Fig. 3에 그래프로 나타내었다. 본 실험에서는 이 그래프를 근거로 레이저 띠의 평균 Gray level 150 정도, 조리개는 4+2/3으로 정하였다.

관심영역(Region Of Intrest : ROI, 400(H)×100(V)) 내에서 레이저 띠 부분을 추출하는 방법은, 다섯 개의 임의의 칼럼을 정하여 세로방향으로 3개의 픽셀로 이루어진 윈도우를 정하고, 그 윈도우를 칼럼의 상단에서 하단으로, 하단에서 상단으로 각각 이동시키면서 윈도우 내에 존재하는 픽셀들의 평균이 레이저 띠로 여겨질 수 있는 일정한 값을 가지는 두 지점 사이를 레이저 띠의 위치로 결정하였다.(Fig. 4)

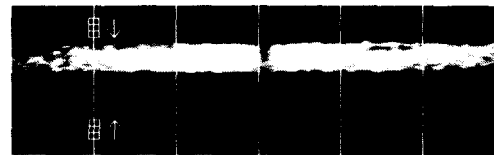


Fig. 4 Method of drawing out laser strip from ROI

### 2.3 특징점 추출

화상처리를 통해 얻은 레이저 띠에서 원하는 특징점을 추출하는 방법으로 레이저 띠부분의 gray level의 차이를 이용하여 용접선의 위치를 인식하였다. 레이저 띠 부분의 각 칼럼에 대한 gray level의 합을 구하고 중심차분법을 적용하였다. 중심차분법은 선을 형성하는 데이터를 2차 미분하여 변곡점을 찾아내는 방법으로 식은 다음과 같다.

$$Diff_{cent} = \frac{I(i-k) + I(i+k) - 2I(i)}{2 \times k}$$

여기서, I(i)는 I번째 칼럼의 gray level의 합이고 k는 중심차분 구간이다.

중심차분 구간이 작으면 데이터의 소실이 적고 작은 변화에도 민감하나 노이즈의 영향을 많이 받게 되며, 크면 데이터의 전체적인 경향을 쉽게 알 수 있고 노이즈에 둔감하나 데이터의 소실이 많아

지고 작은 변화들은 놓치기 쉽다.

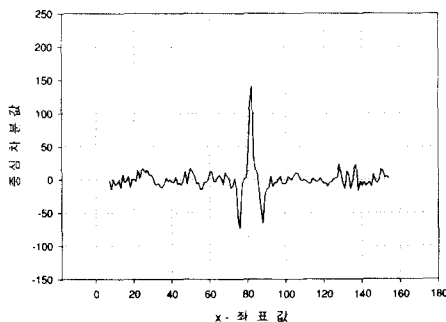
실제 산업현장에서는 다양한 크기의 gap과 기울기(offset angle)를 가진 용접부들이 많으므로 모든 경우에 적당한 중심차분 구간을 구하는 것이 중요하다. 따라서 본 실험에서는 gap을 0.07mm ~ 1.0mm 까지 변화시키면서, 용접선의 기울기를 2.5° ~ 15° 까지 변화시키면서 각각의 경우에 대해 중심차분 구간을 여러단계로 변화시켜 가면서 실험을 하였다. 그 결과 가장 적당한 중심차분 구간을 6으로 결정하였다.

Fig. 5, 6, 7은 각각 gap이 0.07mm, 1.0mm 일 때, offset angle이 15° 일 때의 화상과 중심차분 구간을 6으로 하였을 때의 중심차분값을 나타낸다.

중심차분값이 최대가 되는 지점을 용접선의 위치로 인식하는데, Fig. 5에서 보이듯이 좁은 gap에서는 중심차분한 값의 최대값이 하나뿐이지만 gap이 비교적 넓은 1.0mm에서는 중심차분한 값의 최대값과 유사한 값들이 여러 개이다. 이는 넓은 gap으로 인해 gray level의 합이 낮은 영역이 상대적으로 넓어지기 때문이다. 이것은 정확한 용접 조인트의 인식을 어렵게 하는 요인이 된다. 이에 대한 대책으로 구해진 중심차분값에서 일정 수준 이상의 값들의 x-좌표들을 구하여 그 중심을 용접 조인트로 인식하는 방법을 이용하였다.

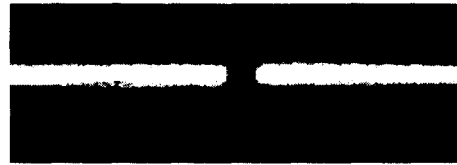


(a) Image on the region of interest

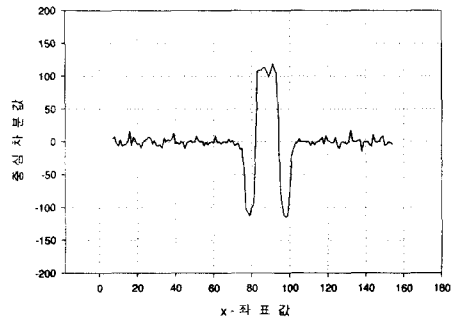


(b) Central difference value

Fig. 5 Result of image processing(gap 0.07mm)

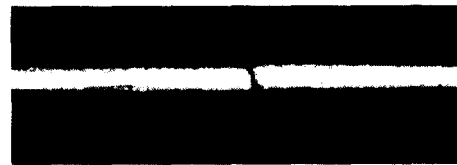


(a) Image on the region of interest

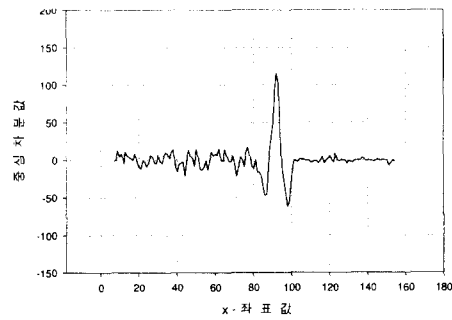


(b) Central difference value

Fig. 6 Result of image processing(gap 1.0mm)



(a) Image on the region of interest



(b) Central difference value

Fig. 7 Result of image processing(offset 15°)

실제 실험에서는 중심차분값의 최대값을 먼저 구하고 그 값의 70% 이상이 되는 값들의 x-좌표

들을 구하고 그 중간값을 용접 조인트의 위치로 인식하였다. 이 방법은 구하는 용접부가 아닌 다른 부분에서 발생할 수 있는 노이즈에 의한 용접 조인트의 잘못된 인식도 방지할 수 있다.

실험 결과 중심차분법을 적용하여 용접 조인트를 찾는 방법은 상당히 정확한 값을 얻어낼 수 있었다.

**2.4 용접선 추적 알고리즘**

시각센서로부터 감지된 화상을 비전보드를 통해 PC로 받아 들이고 640× 480 크기의 화상으로부터 400× 100 크기의 관심영역을 정의한 후, 그 관심영역 내에서 레이저 띠를 추출하고 레이저 띠 부분 내에서 중심차분법을 이용하여 용접 조인트의 위치를 구한다.

먼저 추출하고자 하는 레이저 띠가 관심영역 내에 있고 그 띠에 용접 시작점이 있으면, 띠 부분을 추출하여 중심차분법으로 용접 시작점의 위치를 찾아내어 센서 및 용접 토치를 용접 시작점에 위치시키면서 선행거리만큼의 위치정보를 먼저 파악하게 된다. 용접 시작 명령을 내리게 되면 용접 진행방향으로 이동하면서 주어진 샘플링 주기마다 화상을 받아들여 다음의 조인트 위치정보를 중심차분법으로 얻어내게 되고 이송해야할 거리를 계산한다. 이렇게 계산된 이송거리를 3축 직선 서보 이송장치의 각 축 서보모터로 이송치 만큼의 펄스를 출력시킴으로써 정확한 용접선을 추적한다. 화상처리 및 추적을 위한 총 연산시간은 0.05초 이내이며 이는 시각센서로서는 상당히 빠른 시간이다.

**3. 실험 결과**

Table. 1에는 실험에 이용한 용접조건들을 나타내었다. Fig. 8, 9는 각각 용접하는 상태에서의 용접선 각도 15°, 속도 7mm/s와 10mm/s에 대한 추적 성능과 오차를 나타낸다. 이때 용접길이 130mm, 샘플링 주기를 0.1초로 하였다.

다음으로 용접을 하면서 용접선이 진행 중에 10° 꺾인 시편에 대하여 용접속도 12mm/s, 용접길이 130mm, 샘플링 주기를 0.1초로 하여 용접선 추적 성능을 확인하였다. Fig. 10은 용접속도 12mm/s에 대

Table. 1 Welding conditions

Workpiece	2mm thick steel plate
Welding current / voltage	143A / 17V
Diameter of welding wire	1.2mm
Tip-to-workpiece distance	18mm
Height from workpiece to camera	147mm
Look ahead distance	50mm
Shielding gas	CO <sub>2</sub> 100%

한 추적성능과 오차를 나타내며, 실제 용접한 모재의 사진을 Photo. 1에 나타내었다.

추적오차에서 계단식의 오프셋 오차를 보이고 있는데 이는 카메라의 선행거리에 대한 교정이 부정확한 것에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 이에 대한 개선이 요구되고 있다. 그럼에도 불구하고 상기의 모든 실험에 있어서 최대 오차가 0.5mm 이내를 나타내어 용접선 추적에 있어서 좋은 정도를 가지며 성공적으로 용접선을 추적하였으며, 또한 간단한 화상처리 알고리즘으로 연산시간을 최소화하여 고속용접에도 적용 가능성을 확인하였다.

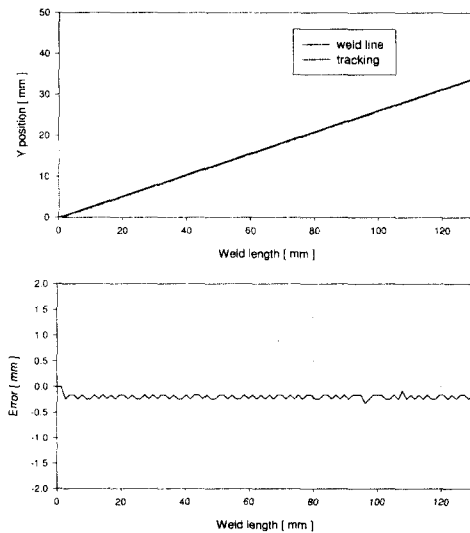


Fig. 8 Tracking result(weld speed 7mm/s, offset angle 15° )

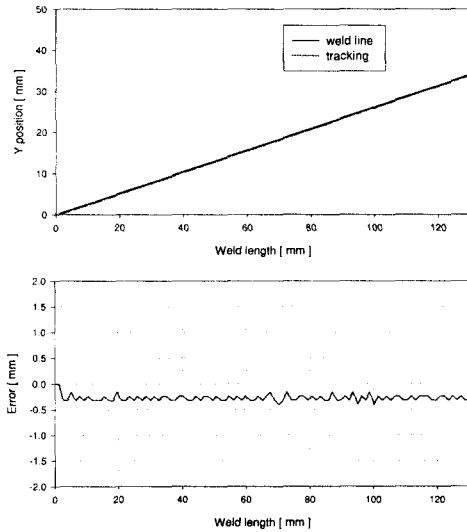


Fig. 9 Tracking result(weld speed 10mm/s, offset angle 15° )

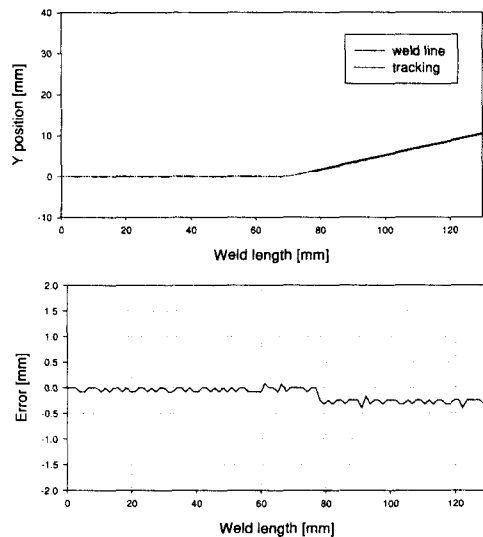


Fig. 10 Tracking result(weld speed 12mm/s, offset angle 10° )

#### 4. 결론

입체적 특징형상을 갖지 않는 I형 맞대기 용접선 추적용 시각센서 시스템에 관한 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.



Photo. 1 Tracking result(weld speed 12mm/s, offset angle 10° )

[1] 실시간으로 I형 맞대기 용접부의 용접선 위치를 파악하여 용접선 추적이 가능한 용접용 시각센서 시스템을 개발하였다.

[2] 레이저 강도와 조리개의 상관관계, 카메라의 전자셔터 속도 등을 통하여 원하는 화상처리에 적절한 인자들을 추출하였고, 이들을 이용하여 화상 내에서 용접 중에 다량 발생하는 스패터의 궤적을 감소시킬 수 있었다.

[3] I형 맞대기 용접부의 gap 간격과 용접선 기울어짐의 변화에 대해서도 용접선을 추출할 수 있는 간단한 알고리즘을 개발하였다.

[4] 비교적 간단한 알고리즘과 화상처리방법을 이용하여 화상처리에 걸리는 시간을 최소화하였고 짧은 샘플링 타임으로 12mm/sec 속도의 용접에서도 추적성능이 양호하여 고속용접에도 적용이 가능한 것으로 사료된다.

#### 후 기

이 논문은 2000년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음

#### 참고문헌

1. R. W. Richardson and C. C. Conrardy, "Coaxial Vision-Based Control of GMAW," International Trends in Welding Science and Technology 1992, ASM, pp. 957-961, 1993.
2. J. E. Agapakis, K. Masubuchi, N. Wittels, "General Visual Sensing Techniques for Automated

- Welding," Proc. of the 4th International conference on Robot Vision and Sensory Controls 9-11, October, London, U.K., pp. 103-114, 1984.
3. K. Inoue, "Image Processing for On-Line Detection of Welding Process-Improvement of Image Quality by Incorporation of Spectrum of Arc," Transaction of JWRI, Vol. 10, No. 1, pp. 13-18, 1981.
  4. J. Wu, J. S. Smith and L. Lucas, "Weld bead placement system for multipass welding," IEE Proc - Sci. Meas. Technol., Vol. 143, No. 2, pp. 85-90, 1996.
  5. 정규철, 김재웅, "GMA 용접에서 용접선 추적용 시각센서의 화상처리에 관한 연구," 대한용접학회지, 제18권, 제3호, pp. 60-67, 2000.
  6. 배재욱, "레이저 용접을 위한 고속 용접선 추적 알고리즘," Proceeding of the 12th KACC, 1997.
  7. J. E. Agapakis, J. M. Katz, M. Koifman, G. N. Epstein, J. M. Friedman, D. O. Eyring, and H. J. Rutishauser, "Joint Tracking and Adaptive Robotic Welding Using Vision Sensing of the Weld Joint Geometry," Welding Journal, Vol. 65, No. 11, pp. 33-41, 1986.