

**研究論文**

## 비전센서를 이용한 용접선 자동추적에 관한 연구

조택동\* · 양상민\* · 진진환\*\*

### A Study on Automatic Seam Tracking using Vision Sensor

T. D. Cho\*, S. M. Yang\* and J. H. Joun\*\*

**Key words** : Vision System(영상시스템), Seam-Tracking(용접선 추적), Adaptive Hough-Transform(적응 Hough 변환), Narrow Band Pass Filter(협대역통과 필터)

#### Abstract

A CCD camera with a laser stripe was applied to realize the automatic weld seam tracking. The 3-dimensional information obtained from the vision system made it possible to generate the weld torch path. The adaptive Hough transformation was used to extract laser stripes and to obtain specific weld points. It takes relatively long time to process image on-line control using the basic Hough transformation, but it has a tendency of robustness over the noises such as spatter. For this reason, it was complemented with adaptive Hough transformation to have an on-line processing ability for scanning specific weld points. The dead zone, where the sensing of weld line is impossible, was eliminated by rotating the camera with its rotating axis centered at the weld torch. When weld lines were detected, the camera angle was controlled in order to get the minimum image data for sensing of weld lines. Consequently, the image processing time was reduced.

#### 1. 서론

용접공정은 작업환경이 매우 열악할 뿐만 아니라 용접사의 기능에 따라 품질의 균일성이 많은 차이를 보일 수 있는 민감한 작업이므로 용접공정의 자동화를 통하여 이러한 문제해결과 동시에 생산

성 증가를 위한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 용접공정의 단순 기계화는 다양한 용접선의 모양에 대하여 쉽게 적용시킬 수 없을 뿐 아니라 연속작업으로 인한 고정지그로부터의 오차를 보정할 수 없다. 더욱이 겹치기 이음(lap joint)의 경우는 그 적용대상이 주로 두께 1~2mm의 박판이므로, 아크 열에 의한 용접중 모재의 열변형은 맞대기 이음

\* 1998년 6월 19일 접수

\* 정회원, 충남대학교 기계설계공학과

\*\* 비회원, 충남대학교

(butt joint)이나 필렛이음(fillet joint)의 경우보다 커서 열변형에 의한 경로변화로 인한 보정이 필요하다<sup>1)</sup>. 따라서 용접공정의 자동화를 실현하기 위해서는 용접선 변화에 따른 정보를 용접 중 실시간으로 측정할 수 있는 센서의 개발이 요구된다. 용접자동화에 이용되고 있는 센서로는 아크센서, 시각센서<sup>2-5)</sup>, 초음파센서, 와전류센서<sup>6)</sup>, 레이저 변위센서<sup>7,8)</sup>, 등이 있으나 아크센서는 위빙으로 인한 용접계의 변형을 초래하는 단점이 있고 와전류 센서는 센서의 정밀도가 낮은 단점이 있다.

본 연구에서는 다양한 용접조인트에 유연성 있게 적용할 수 있는 시각센서를 이용한 용접선 추적 시스템을 구성하였다. 시각센서를 이용한 용접선 추적장치는 레이저의 구조화된 평면광을 용접선에 투사하여 반사된 레이저광으로부터 용접단면 영상을 획득할 수 있는 CCD 카메라로 구성되어 있다. 그러나 기존의 시각센서를 이용한 용접선 추적시스템은 영상처리 시간이 비교적 많이 소요되어 실시간 처리가 용이하지 않고, 아크광이나 스패터 등, 용접 중 발생하는 잡음으로 인해 용접선 추적의 어려움이 수반되었다. 따라서 본 연구에서는 최소의 영상 데이터만을 추출하여 영상처리 시간을 줄이고 아크광, 스패터 등의 용접중 잡음과 용접물의 표면조건, 레이저 stripe의 겹반사와 같은 외란들에 강건하게 적용하는 영상처리 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 또한 기울기 변화가 큰 용접선을 추적하기 위해 토치(torch)를 중심으로 CCD 카메라가 회전할 수 있도록 설계하였다.

## 2. 영상처리 알고리즘

### 2.1 영상처리 개요

용접공정에는 예측이 쉽지 않은 다양한 공정변수가 존재하고, 여러 가지 외란(아크 광, 스패터 등)이 수반된다. 이에 따른 노이즈를 극복하고 정확한 용접변수와 용접경로 생성을 위한 데이터를 얻기 위해서는 고기능의 영상처리 기법이 필요하게 되고 영상처리는 비교적 장시간이 소요되므로 실시간(on-line)에 적합한 최적의 알고리즘의 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 레이저 광학 삼각법을 이용한 영상처리 시스템을 구성하여 실험하였다. 이 방식은 구조화된 빛을 사용하는 것으로

레이저 stripe을 모재 표면에 경사지게 조사하고 생성된 평면광과 모재 표면과의 교차선인 레이저 stripe을 이용하여 용접변수와 용접경로를 얻게 된다. Fig. 1은 용접모재의 단면형상에 따라 CCD 카메라에 투영되는 레이저 stripe의 정보를 보여 주고 있다.

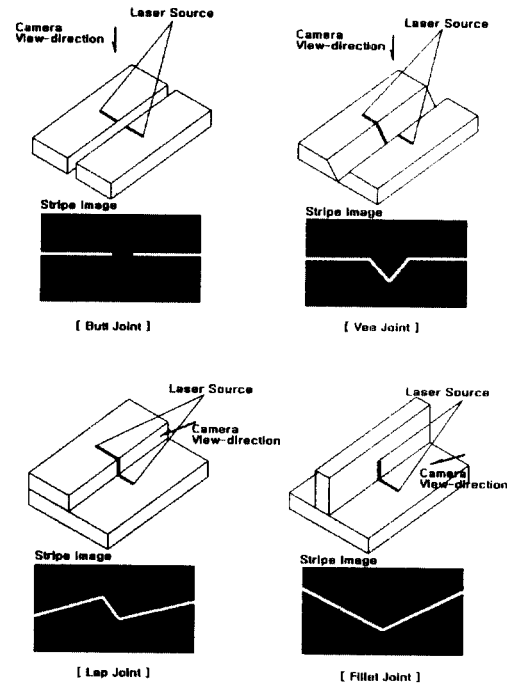


Fig. 1 Four typical weld joints with laser stripe image and camera view-direction

자동용접을 위한 용접선의 영상처리에서 고려해야 할 사항들은 다음과 같다. 첫째, 모재의 표면상태나 기울기에 상관없이 아크 광, 스패터, 경사면의 겹반사 등의 노이즈로부터 레이저 stripe을 분리해야 한다. 둘째, 개선(groove)의 양단, 모재 사이의 틈새거리 및 각도 등 용접경로와 용접변수 결정에 중요한 정보를 제공하는 이미지 상의 특징점 및 특징선을 인식해야 한다.

위에서 기술한 아크 광, 스패터, 경사면의 겹반사, 용접모재의 스크래치(scratch) 등에서 레이저 stripe을 추출하는 방법으로는 레이저 강도를 이용하여 화소열내의 최대값을 추출하는 방법, 레이저 강도와 레이저 stripe 두께를 이용하여 레이저 선을

찾는 방법과 공간여과 방법 (spatial filtering) 이 있다. 레이저 강도를 이용한 최대값 추출 방법의 경우 계산속도는 빠르나 모재의 표면 상태나 노이즈 등의 영향을 많이 받으므로 신뢰성이 떨어지고 농도값 히스토그램을 이용하는 방법은 좋은 임계값을 얻을 수 있으나 노이즈에 민감하고 계산시간이 많이 소요되므로 용접변수와 용접경로를 실시간으로 얻기 위한 알고리즘에는 부적당하다<sup>2)</sup>.

Hough 변환은 용접중에 발생하는 스페터와 아크광으로 인해 손상된 레이저 stripe을 복원하는데 효율적인 방법이다. 그러나 기존의 Hough 변환으로는 영상처리 시간이 많이 소요되어 용접선의 실시간 추적에 적용하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 Hough 변환을 용접선 추적에 적합하도록 수정, 보완하여 적용 Hough 변환 알고리즘을 개발하였다. 적용 Hough 변환 알고리즘은 용접선 (groove)의 단면 모양이 급변화하지 않고 용접선 형태 (groove type)가 크게 변하지 않는 용접선 추적에 좋은 성능을 보여주고 있다.

## 2.2 레이저 stripe 추출

용접모재에 조사하게 될 레이저 stripe을 생성하기 위해 레이저 전반부에 점광원을 평면광원으로 변환시켜주는 역할을 하는 원통형렌즈 (cylindrical lens)를 설치한다. 본 연구에서는 690nm의 협대역 (narrow band)의 다이오드 레이저 (diode laser)를 광원으로 사용하였고 레이저 stripe만을 추출하기 위해  $690 \pm 10\text{nm}$ 의 협대역통과 필터 (narrow band pass filter)를 사용하였다. 그러나 아크 광은 백색잡음에 가까운 전 대역의 파장을 가지고 있어 필터는 아크 광이나 스페터등의 노이즈를 완전히 차단하지 못한다. 따라서 아크 광중  $690 \pm 10\text{nm}$ 의 빛이 레이저 stripe과 함께 CCD 카메라의 셀에 반응하므로 아크 광, 스페터와 겹반사등을 효율적으로 제거할 수 있는 알고리즘이 수반되어야 한다.

레이저 stripe은 다른 아크 광, 스페터, 겹반사등과 분리될 수 있는 특징을 가지고 있으며 그 특징으로는 첫째, 레이저 stripe은 일정한 두께를 가지고 있고, 둘째, 레이저 stripe의 광도는 반 가우시안 분포 (half Gaussian distribution)를 가지고 있으며, 셋째, 대부분의 스페터는 레이저 stripe에 수직으로 존재한다는 점이다. 이러한 레이저 stripe의 특징을 이용하여 영상 데이터를 완전 가우시안

(full Gaussian) 분포로 변환함으로써 노이즈를 제거할 수 있다. 이를 위해서  $N \times N$ 크기의 영상  $f(x,y)$ 가 주어졌을 때 각 픽셀  $(x,y)$ 을 중심으로 이웃의 국소적 부분인  $n \times m$ 픽셀들을 평균하여 모든 픽셀  $(x,y)$ 의 명암도를 평활화하는 인근평균방법 (neighborhood averaging)을 적용한다. 평활화한 영상 데이터를  $g'(x,y)$ 라 한다면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$g'(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{(n,m) \in S} f(n,m) \quad (1)$$

여기에서  $M$ 은  $n \times m$ 이고,  $n,m$ 은 영상의  $x,y$ -방향의 픽셀 수이다. 그러나 레이저 stripe이 영상의  $x$ -방향으로 존재하기 때문에, 레이저 stripe의 광도를 완전 가우시안 분포로 만들기 위해서  $x$ -방향으로만 인근평균법을 취함으로써 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$g'(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{(n) \in S} f(n) \quad (2)$$

여기서  $N$ 은  $n$ 이고,  $n$ 은 영상의  $x$ -방향의 픽셀 수이다. 레이저 stripe 광도의 가우시안 분포의 특징을 이용하기 위해 아크를 발생하지 않은 상태에서 얻은 레이저 stripe의 광도값인  $t_c$  값 이상의 광도는 가우시안 분포를 유지하고  $t_c$  값 이하의 광도는 0으로 처리하는 반이진화 (half threshold) 처리를 수행함으로써 1차적으로 레이저 stripe 주변의 잡음을 제거할 수 있다. Fig. 2는 위의 방법으로 처리한 결과로써 (a)는 잡음이 포함된 광도분포로 인해 레이저 stripe을 구별하기 어렵다. 반이진화 처리를 수행한 (b)는 레이저 stripe만을 추출함으로써 레이저 stripe 주위의 잡음은 제거되었으나 겹반사는 남아있음을 알 수 있다.

레이저 stripe에서만 작은 반응값을 갖는 컨벌루션 마스크 (convolution mask)는 용접선 추적이 수행되기 전 레이저 stripe을 영상의  $y$ -방향으로 스캔 (scan)하여 추출한 레이저 stripe의 광도 분포를 생성하여 메모리에 저장함으로써 용접선 추적에 사용된다. 이때 레이저 stripe이 용접모재의 경사면에서 레이저 두께와 광강도가 변화하기 때문에 실험결과 좋은 성능을 보인 두께비의 값인 65%의 두

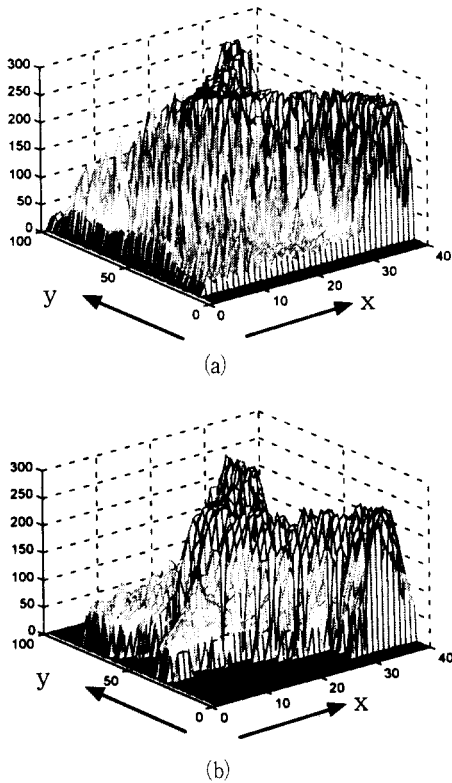


Fig. 2 The results of processed neighborhood averaging (a) Distribution of raw stripe data (b) Distribution of stripe data processed neighborhood averaging

깨비를 설정하였다. 여기에서 두께비는 용접모재의 표면과 용접선의 경사면에서 얻은 레이저 stripe의 두께비로써, 두께비를 너무 작게 설정하면 스페터나 용접모재의 경사면에 비치는 겹판사를 레이저 stripe으로 인식하게 되며, 너무 크게 설정하면 경사면에서 줄어든 레이저 stripe을 인식하지 못하게 되어 용접 특징점을 인식하지 못하게 된다. 따라서 레이저광의 분포를 스캔한 후 이 배열을 65%로 줄여서 식(3)과 (4)를 이용하여 컨벌루션 마스크를 적용한다.

$$g(x,y) = g'(x,y) * M(x) \tag{3}$$

$$= \sum_{x=-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} (g'(x,y) - M(x))^2 \tag{4}$$

$$F(x,y) = \begin{cases} 1, & g(x,y) \leq t_{con} \\ 0, & g(x,y) > t_{con} \end{cases} \tag{5}$$

여기에서,  $g'(x,y)$ 는 평활화한 영상데이터의 광도이며,  $M(x)$ 은 아크를 발생하기 전에 얻은 레이저 stripe의 가우시안 분포로써 1차원 배열의 광도 마스크이고  $w$ 는  $M(x)$ 의 요소의 수이다. 식(5)에서  $g(x,y)$ 는 컨벌루션의 결과로써 아크를 발생하지 않은 상태에서 레이저 stripe의 가우시안 분포를 고려하여 설정한 컨벌루션의 문턱값(threshold)  $t_c$ 을 설정하여 최종결과 값  $g(x,y)$ 가 레이저 stripe의 특징점인지를 판명하도록 하였다.  $F(x,y)$ 은 최종 화면상의 광도값이다.

### 2.3 적응 Hough 변환 알고리즘

Hough 변환은 물체 영상의 윤곽 또는 직선이 매개변수로 표현될 수 있는 경우에 윤곽을 검출하는데 효과적인 방법으로써 구하고자 하는 직선의 파라메타들의 정보를 Hough 평면상의 정보인  $\rho, \theta$ 의 관계로 매핑시키는 것이다. 즉, 직선의 식을 식(6)과 같이 변환하여 Hough 변환에 적용한다.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \tag{6}$$

그러나  $\rho, \theta$ 가 주어지지 않았을 경우, 전 영역의  $\rho, \theta$ 를 증가시켜가며 직선을 검색해야 하므로 불필요한 처리시간이 소요되는 단점을 가지고 있다. 또한  $\rho, \theta$ 를 이용하여 직선을 Hough 변환하는 것은 기울기가 90°인 직선을 검색할 수 있는 장점이 있지만 직선의 방정식을 이용하여 검색하는 것보다 많은 시간이 소요된다. 이는  $\rho, \theta$ 를 이용하여 직선을 검색할 때 계산 시간이 많이 소요되는 삼각함수를 이용하기 때문이다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 sine, cosine의 삼각함수 Number table을 생성함으로써 영상처리 시간을 단축하였다.

적응 Hough 변환은 Hough 변환을 용접선 추적에 적합하도록 수정된 알고리즘으로써, Hough 변환의 단점인 처리 속도를 좀더 향상시키기 위해서 전 단계의 파라메타( $\rho, \theta$ )를 중심으로 좌우에 작은 범위의 offset을 검색 범위로 설정하며, 다음 단계의 직선을 탐색하는데 이용한다. 이것은 대부분의 용접작업을 고려해 볼 때 용접개선(welding

groove)의 형태는 거의 일정하고, 용접 모재 단면의 형상이 급격히 변화하지 않으며, 용접선(welding line)의 불연속점이 존재하지 않는 용접선의 특징들이 있기 때문이다. 용접선의 특징을 Hough 변환에 적용하면 처리 속도는 물론 아크광과 스퍼터등의 노이즈에도 강한 레이저 stripe 탐색 성능을 갖도록 할 수 있다. 적응 Hough 변환은 기울기가 비슷한 직선들을 Hough 평면으로 매핑시켰을 때 Hough 평면상에서  $\theta$ 가 일정한 값에 점들이 모여있다는 것과 원점에서 직선에 수직하고 거리가 일정한 직선들을 Hough 평면에 매핑시켰을 때 Hough 평면상에서  $\rho$ 가 일정한 값에 점들이 모여있는 Hough 변환의 특징을 이용한 것이다. 이러한 Hough 평면상의 직선의 성질을 이용하면 기울기 변화가 심하지 않고 위치변화가 크지 않은 레이저 stripe을 짧은 시간에 검색해 낼 수 있다. 따라서 Hough 평면에서 전 단계에서 구한 Hough 변환점을 중심으로 다음 단계에서 반지름  $R$ 주위의  $(\Delta\rho, \Delta\theta)$ 만을 Hough 변환 범위로 설정하여 직선의 파라미터를 검색한다. 여기에서 반지름  $R$ 의 문턱값(threshold)은 용접선의 형상과 경사면의 기울기 변화를 고려하여 용접을 수행하기 전에 설정함으로써 영상처리 시간을 줄일 수 있다. Fig. 3에서 프로세싱 전 단계의 직선을  $l_1$ 이라 하고 다음단계를  $l_2$ 라 하면 Hough 평면에서 다음 단계에서 직선  $l_2$ 의 Hough 평면 파라미터( $\rho, \theta$ )가 반지름  $R$ 인 원에 존재한다.

$$\begin{aligned} Z_1 &= (\theta_1, \rho_1) \\ Z_2 &= (\theta_2, \rho_2) \\ |Z_2 - Z_1| &\leq R \\ -R &\leq (\Delta\theta, \Delta\rho) \leq R \end{aligned} \quad (7)$$

여기에서,  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ ,  $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$ 이다.

식(7) 위의 조건을 만족하게 되면 다음 단계에서 직선  $l_2$ 를 Hough 변환하여 직선의 파라미터를 검색할 수 있게 된다.

Fig. 4는 V-groove에 경사진 레이저 stripe을 투사한 영상의 Hough 변환 과정을 보여주고 있다. (a)는 초기 영상의 광도 분포를 보여주는 것으로 주위에 잡음이 많이 포함되어 있는 것을 알 수 있다. (b)는 문턱치 값  $t_c$ 를 적용하여 반이진화 처리

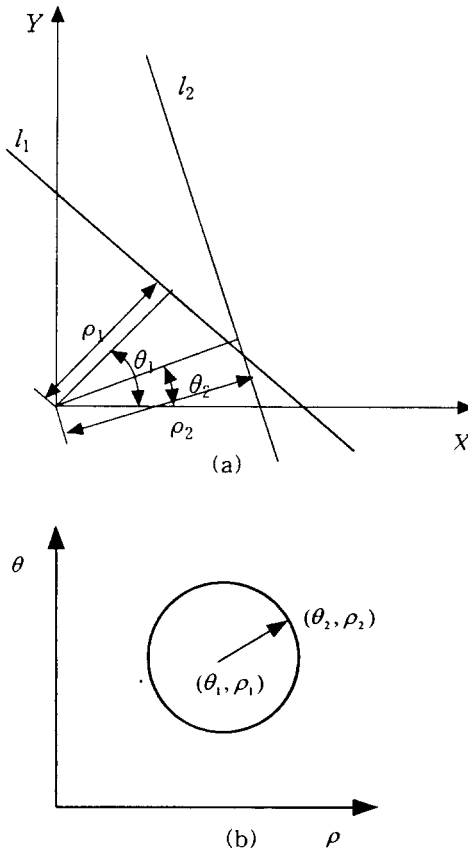


Fig. 3 The principle of adaptive Hough Transformation (a) The line of xy-space (b) The condition to detect the line  $l_2$  using previous Hough parameter on adaptive Hough transformation.  $R$  is the threshold value of AHT.

를 한 이후의 영상이다. 용접선 주위의 잡음은 제거 되었으나 겹반사가 남아 있음을 알 수 있다. (c)는 컨벌루션 문턱치값  $t_{com}$ 을 적용하여 겹반사를 제거한 이후의 영상이다. 그림에서 알 수 있듯이 레이저 stripe이 전 영역에 걸쳐 완전한 Gaussian 분포를 하고 있는 것은 아니기 때문에 용접선이 부분적으로 단락된 것을 알 수 있다. (d)는 적응 Hough 변환한 이후의 영상으로 (c)에서 단락된 용접선의 데이터를 이용하여 직선을 검색하게 된다. 두 시편의 높이가 동일한 경우와 같은 용접은 용접선의 깊이( $w$ )와 용접선의 폭( $a_3 - a_2$ )을 3개의 직선만을 검색함으로써 가능하였다.

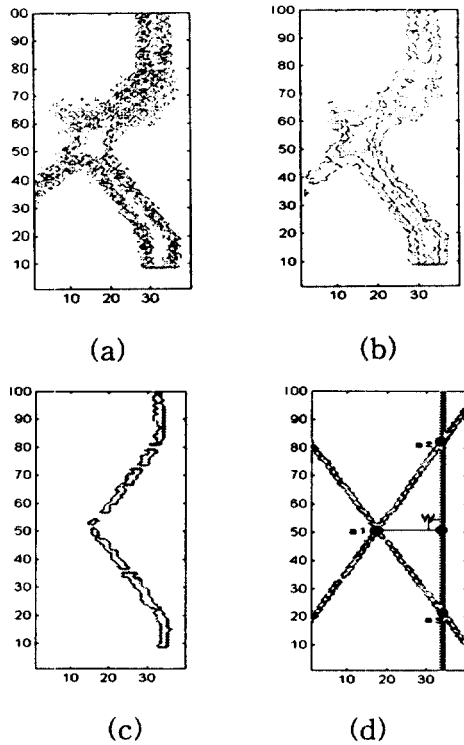


Fig. 4 Processing of Hough transformation (a) Distribution of raw stripe data (b) Distribution of stripe data processed neighborhood averaging (c) Result using adaptive line detection algorithm (d) Final result of Hough transformation

### 3. 실험

#### 3.1 실험장치

실험장치는 용접선의 변화를 감지하여 컴퓨터에 전달하는 센싱부와 감지된 위치로 토치를 이송하는 구동부 그리고 용접부로 이루어져 있다. 센싱부는 CCD 카메라, 다이오드 레이저 (diode laser), 협대역 통과필터 (narrow band pass filter), dc 서보전동기로 구성되어 있으며 CCD 카메라는 Watec사의 WAT-202B이며 760(W) TIMES 494(H)인 화소로 이루어져 있고, 렌즈와 시판과의 거리가 70mm에서 300(W) TIMES 120(H)의 영역만을 선택하였다. 따라서 이 경우의 분해능은 0.05mm이다. 구조화된 선형광 투사장치를 위해 99.8% 효율의 표면반사경

2개와 레이저 stripe을 만들어 내는 원통형 렌즈 (cylindrical lens)를 설치한 다이오드 레이저를 사용하였다. 레이저광은  $690 \pm 10$ nm의 통과 영역을 갖는 협대역 통과필터를 통과하여 용접물에 조사된 레이저 stripe이 CCD 카메라로 투영된다. dc 서보전동기는 토치를 중심으로 레이저가 장착된 CCD 카메라를 회전할 수 있도록 설계되었다. 토치와 CCD 카메라가 고정되어 있는 시스템은 용접선의 곡률변화가 심한 경우 CCD 카메라가 센싱을 할 수 없는 영역이 존재한다. 이것은 영상처리 시간을 단축시키기 위해 영상의 일부분만을 검색하기 때문이다. 따라서 용접선을 중심으로 토치와 독립적으로 CCD 카메라를 위치시킴으로써 용접특징점을 찾기 위한 최소한의 영역만을 검색할 수 있고 이는 영상처리 시간을 단축시킬 수 있는 알고리즘 수행을 가능하게 한다.

구동부는 이송명령을 전달하는 펄스 발생기와 AC 모터를 장착한 XY 테이블로 구성되어 있다. 용접부는 MIG/TIG 겸용 용접기와 원격제어가 가능한 wire feeder를 장착하였다. Fig. 5는 실험장치의 구성도이다.

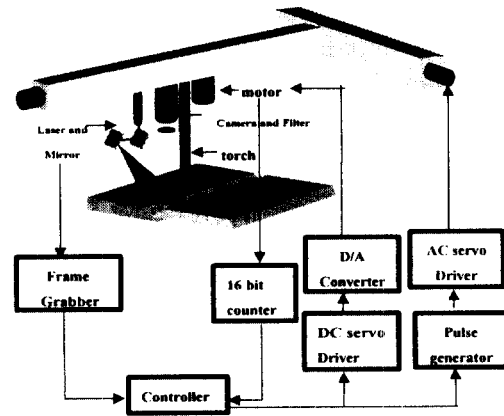


Fig. 5 The scheme of automatic welding system using machine vision

#### 3.2 용접선 추적실험

용접모재는 sine파 경로와 직선 경로로 된 V-groove를 사용하였다. 직선으로된 용접시편은 X-Y table의 X방향에 대해 각각 12°, 20°, 30°를 기울여 놓고 용접선 추적 실험을 수행하였다. sine파 경로의

용접선은 주기가 480mm이고 진폭이  $\pm 40\text{mm}$ 인 용접시편을 사용하였다. 한 샘플링당 최대 영상처리 시간은 0.22초가 소요되었고 용접 토치의 속도는 8mm/sec, 용접전압은 24V, 용접전류는 200A, 분위기 가스는 Ar 가스를 사용하였다. Photo. 1은 용접 자동화를 위해 구성된 실험장치이다.

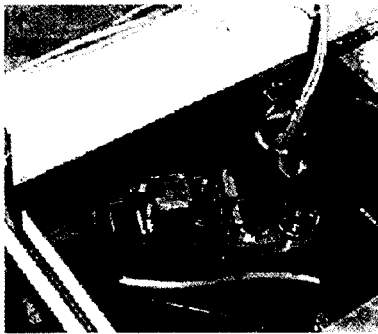
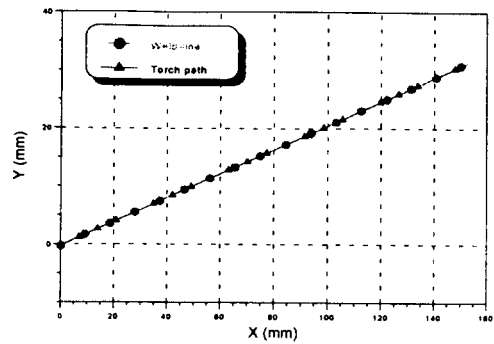


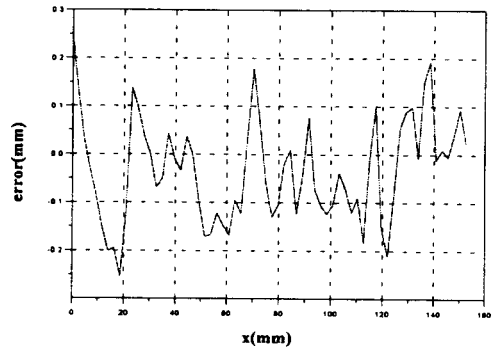
Photo 1. Automatic welding system

#### 4. 결과 및 고찰

용접자동화에 있어 영상처리는 하드웨어적인 수정 없이 알고리즘의 수정만으로 융통성 있게 각기 다른 용접선의 형태에 따라 적용할 수 있다는 장점이 있다. Fig. 6~Fig. 8은 arc가 없는 상태에서 용접선의 기울기 변화가 있는 용접선 추적 수행 결과를 보여주고 있다. 용접선의 기울기 변화가 12°인 용접모재의

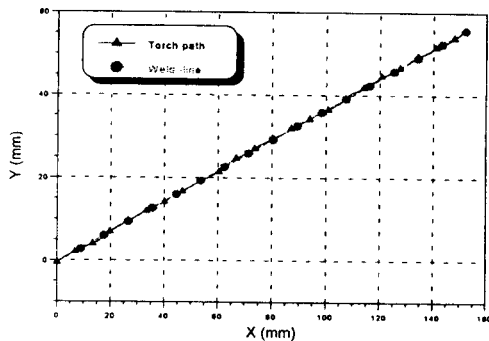


(a)

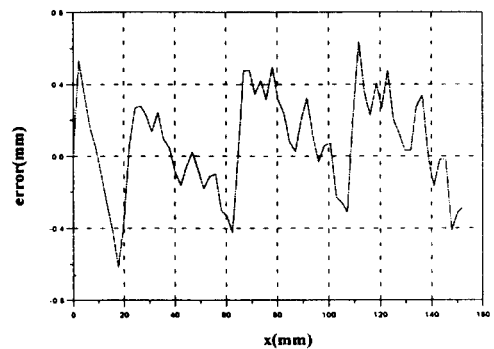


(b)

Fig. 6 The experimental results of tracking the weld line slanted about 12 degree without arc (a) The experimental result of 12 degree slanted weld line (b) The trace-error result of 12 degree slanted weld line

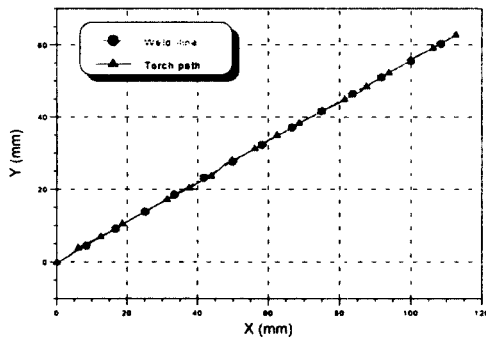


(a)

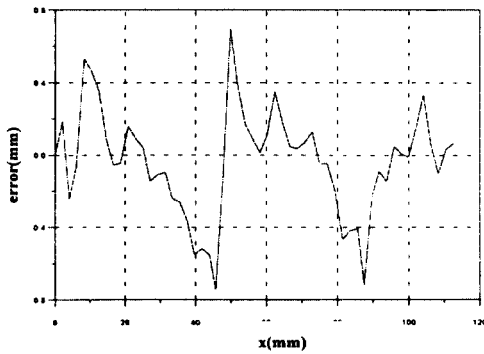


(b)

Fig. 7 The experimental results of tracking the weld line slanted about 20 degree without arc (a) The experimental result of 20 degree slanted weld line (b) The trace-error result of 20 degree slanted weld line

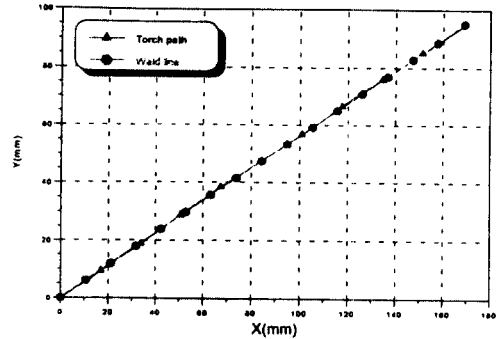


(a)

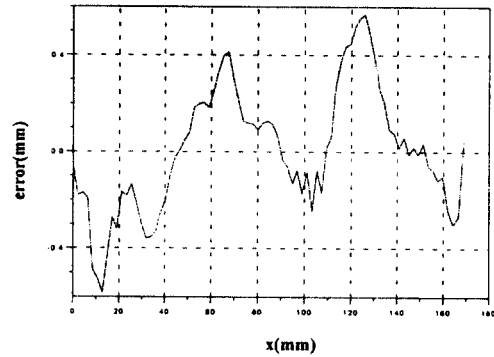


(b)

**Fig. 8** The experimental results of tracking the weld line slanted about 30 degree without arc (a) The experimental result of 30 degree slanted weld line (b) The trace-error result of 30 degree slanted weld line



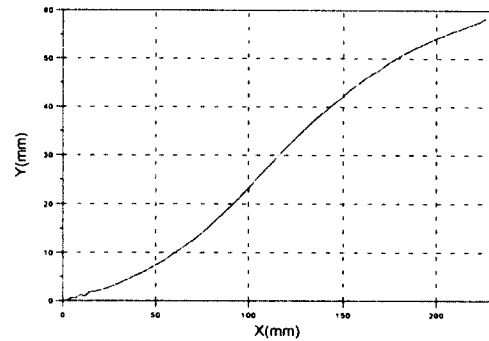
(a)



(b)

**Fig. 9** The experimental results of tracking the weld line to be slanted about 30 degree in arc (a) The experimental result of 30 degree slanted weld line (b) The trace-error result of 30 degree slanted weld line

추적실험에서는 토치가 용접선에서 0.25mm의 오차범위 이내에서 용접선 경로를 추적하였다. 기울기 변화가 20°인 경우는 0.55mm의 오차범위 이내, 30°인 경우는 0.6mm의 오차범위 이내에서 용접선 추적이 가능하였다. 용접선의 기울기 변화가 클수록 추적 오차가 증가하는 것은 기울기가 클수록 레이저 stripe이 용접소재의 경사면에서 두께가 줄어들거나 광도가 낮아짐으로써 Hough 변환시 정확한 용접점을 검색하지 못하게 되기 때문이다. 이러한 오차는 CCD 카메라를 용접선의 중앙에 위치하기 위한 회전축 제어를 더욱 정밀하게 함으로써 제거할 수 있다. Fig. 9와 Fig.10은 arc가 있는 직선 용접선 추적 수행 결과를 보여주고 있다. 본 연구



**Fig. 10** The trace experimental result of the weld line( $y = 30 + 30\sin\frac{\pi(x-120)}{240}$ )



에서 개발한 알고리즘을 적용하는 경우 arc의 존재에 관계없이 오차의 허용범위 내에서 용접선 추적이 가능함을 알 수 있다. photo. 2은 용접을 수행한 시편에 대해 보여주고 있다.



Photo 2. The weld-pieces welded by GMAW

## 5. 결 론

본 연구에서는 비전센서를 이용한 용접선 추적 시스템을 개발하기 위해 용접공정에서 발생하는 아크광, 스패터와 같은 용접잡음을 최소화 할 수 있는 적응형 선 탐색 알고리즘과 적응 Hough 변환 알고리즘을 적용하여 실험하였다. 적응 Hough 변환을 이용한 용접선 검색 알고리즘은 기존의 시각 센서의 문제점으로 제기되었던 영상처리속도를 줄임으로서 용접선 추적의 실시간(On-line) 제어를 가능하게 하였고 용접잡음에 강인한 용접선 추적 결과를 보여주었다. 한 화상당 최대 영상처리 시간은 0.22초가 소요되고 용접 토치의 속도를 8mm/sec로 하였다.

실험결과로부터 아크광, 스패터와 겹판사등의 잡음을 충분히 제거함을 알 수 있었고 토치의 경로 오차는 용접선 기울의 변화에 비례하지만 기울기의 변화가  $12^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 일 때 경로오차는 대략  $\pm 0.25 \sim \pm 0.6$  mm 정도로서 실제 산업현장의 오차범위 내에서 수행될 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 제안한 알고리즘을 용접선 자동추적 시스템에 적용한다면 우수한 추적 성능을 볼 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 신정식, 김재용, 나석주, 최철룡, 겹치기이음에서 용접선 시각 추적시스템에 관한 연구, 대한용접학회지, pp. 20-28, Vol. 9, No. 2, Jun, (1991)
2. 이철원, 나석주, 용접자동화를 위한 시각센서, 대한용접학회지, pp. 10-21, Vol. 11, No. 3, Sept, (1993)
3. Y. Suga, Y. Sano, Recognition of the Weld Line by a Visual system and Weld Line Tracking in Automatic Welding of Thin aluminium plates, Welding International Vol. 50, pp. 18-25, (1993)
4. Y. Suga, T. Kitaoka, K. Okawa, On Detection of the weld Line and Automatic Seam Tracking by the a Welding Robot with a Visual Sensor for the Lap Welding of the Thin aluminum plates, Welding International Vol. 12, pp. 218-225, (1990)
5. 조택동, 양상민, 서송호, 레이저 변위센서를 이용한 용접선 자동추적에 관한 연구, 한국정밀 공학회 학술대회논문집, pp. 68-72, (1996)
6. 윤충섭, 양상민, 박희창, 한유희 레이저 용접에서의 용접선 추적장치, 대한용접학회지, pp. 28-38, Vol. 12, No. 2, Jun, (1994)
7. 조택동, 김성훈, Preview Algorithm을 이용한 V홈 궤적의 자동추적에 관한 연구, 충남대학 석사학위 논문, (1995)
8. H. Imai, M. Shinozuka et al, Disturbance Decoupling by Feedforward and preview control, Transactions of the ASME, Journal of Dynamic system, Measurement and control, Vol. 102, (1993)
9. 김호학, 부광석, 조형석, 자동 아크 용접공정의 용접개선변수 측정을 위한 시각 시스템, 대한용접학회지, pp. 58-69, Vol. 8, No. 2, Jun, (1990)
10. Lina G, Shapiro, Robert M. Haralick, Computer and Robot Vision, Addison Wesley publishing company.
11. K. S Fu, R.C. Gonzalez, C.S.G Lee, Robotics (Control, Sensing Vision, and Intelligence), McGraw-Hill, International Edition.