

GMA 용접에서 용접선 추적용 시각센서의 화상처리에 관한 연구

정규철* · 김재웅**

* 한국전기초자(주) 검사기술팀

** 영남대학교 기계공학부

A Study on the Image Processing of Visual Sensor for Weld Seam Tracking in GMA Welding

Kyu-Chul Chung* and Jae-Woong Kim**

* Inspection Technical Team, Hankuk Electric Glass Co. LTD., Gumi-city Kyongbuk 730-030, Korea

** School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Kyongbuk 712-749, Korea

Abstract

In this study, we constructed a preview-sensing visual sensor system for weld seam tracking in GMA welding. The visual sensor consists of a CCD camera, a diode laser system with a cylindrical lens and a band-pass-filter to overcome the degrading of image due to spatters and/or arc light.

To obtain weld joint position and edge points accurately from the captured image, we compared Hough transform method with central difference method. As a result, we present Hough transform method can more accurately extract the points and it can be applied to real time weld seam tracking. Image processing is carried out to extract straight lines that express laser stripe. After extracting the lines, weld joint position and edge points is determined by intersecting points of the lines. Although a spatter trace is in the image, it is possible to recognize the position of weld joint. Weld seam tracking was precisely implemented with adopting Hough transform method, and it is possible to track the weld seam in the case of offset angle is in the region of $\pm 15^\circ$.

(Received October 7, 1999)

Key Words : Visual sensor, Weld seam tracking, Structured light, Hough transform, Data regeneration method, Central difference method

1. 서 론

용접공정은 조선, 자동차뿐만 아니라 장치산업 등 실로 다양한 산업분야에 널리 이용되고 있는 필수적인 공정이다. 아크용접 공정은 고온, 고열 및 유해가스 등으로 인하여 작업환경이 열악하고 용접사에 따라 품질에 영향을 미치므로 생산성의 향상과 품질향상을 위해 상당한 노력이 계속되어져 왔다.

이러한 노력에는 용접부의 다양한 모양, 장착시 발생

될 수 있는 오차, 용접 중 열변형 등에 대응할 대책이 필요하다. 양질의 용접부를 얻기 위하여 용접선의 자동 추적뿐만 아니라 용접 조인트의 형상을 감지하고, 그에 대한 적정한 채움량을 결정하는 것도 매우 중요하다. 아크 용접 로봇을 위한 센싱 시스템은 어떤 3차원 형상에도 잘 적용될 수 있도록 센싱 헤드와 소형이 될 필요가 있으며, 여러 가지 타입의 조인트형상에도 잘 적용될 수 있어야 하고 아크광, 스파터, 연기 등 열악한 환경에 대해 강건하고 센싱능력이 보장되어야 한다¹⁾. 이러한 목적을 만족시키기 위하여 다양한 센서

시스템이 개발되고 있으며, 그 중 시각센서는 용접선 추적뿐만 아니라 용접 조인트의 형상을 인지할 수 있어 그 형상에 따른 적절한 채움량, 와이어 송급속도 등을 알아낼 수 있다^{1,2)}. 시각센서의 장점을 활용하여 선진국에서는 1980년대 초부터 연구결과가 발표되었으며¹⁾, 토치 내장형태의 시각센서 개발²⁾ 등 관련 연구들이 활발하게 진행되어 왔다. 국내에서는 1990년대 초 관련연구가 발표되기 시작하였으며³⁾ 근래에 들어서 활발한 연구활동을 보이고 있다^{4,5)}.

본 연구에서는 소형경량의 시각센서를 설계, 제작하였고 용접공정중의 아크광 및 스패터 등의 노이즈에 영향을 적게 받는 영상처리를 위하여 각종 처리기법을 조사하였다. 스패터의 비산 궤적이 나타난 화상과 그렇지 않은 화상을 대상으로 하여 용접선 위치에 해당하는 특징점 추출방법 중 중심차분법과 휴변환법의 적용결과를 비교 정리하였다. 여기서 휴변환법에 의한 경우가 용접조인트 위치 추출능력이 우월함을 보였고 용접선 추적과정을 실시간으로 수행하기 위해 후판의 V-그루브(groove) 맞대기 접합부의 용접선 검출능력을 확인하였다.

2. 시각센서의 설계 및 보정

2.1 시각센서

시각센서 헤드는 크게 다이오드 레이저(diode laser), CCD 카메라(Charge Coupled Device Camera), 대역통과필터(band pass filter)로 구성되어 있으며 그 개략도를 Fig.1에 나타내었다. 광원으로 중심파장 692.5nm의 다이오드 레이저를 사용하였으며, 원통형 렌즈가 장착되어 있다. 동작시간에 따른

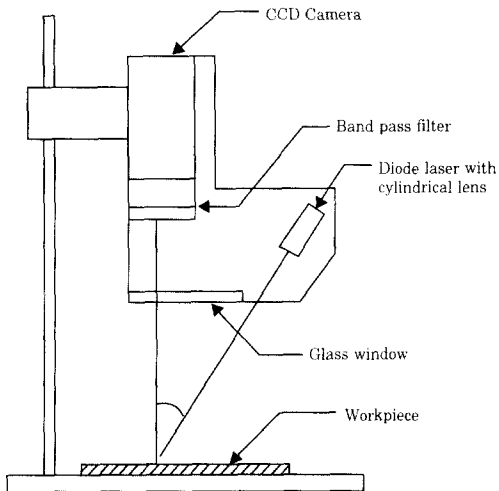


Fig. 1 Configuration of visual sensor

다이오드 레이저에서의 발열로 인한 파장대의 변화를 알아보기 위해 Fig.2와 같이 50분씩의 간격을 두고 파장측정 실험을 행하였으며 그를 통하여 $694.4 \pm 5\text{nm}$ 의 대역통과필터를 카메라 렌즈 앞에 장착하였다.

요구되는 측정정밀도는 모재와 CCD카메라 렌즈와의 거리가 180mm일 때 X축방향(용접선에 수직인 방향)의 분해능이 0.1mm가 되도록 센서의 초기 설계변수를 결정하였다. 레이저 다이오드는 일반적으로 카메라 렌즈의 중심축과 $20^\circ \sim 40^\circ$ 의 각도로 모재에 투사되는데³⁾ 깊이방향의 센싱능력과 센서의 크기를 고려하여 투사각 (α)을 25° 로 하였으나 그 각도는 조절 가능하다. 이 때 모재와 카메라 렌즈의 초점거리 조절은 필수적이다. 모재에서의 레이저 띠의 길이는 85mm, 폭은 0.2~0.3mm 정도가 되도록 조절하였으며, 선행거리(look ahead distance) 즉, 레이저 띠와 토치의 거리는 45mm로 하였다.

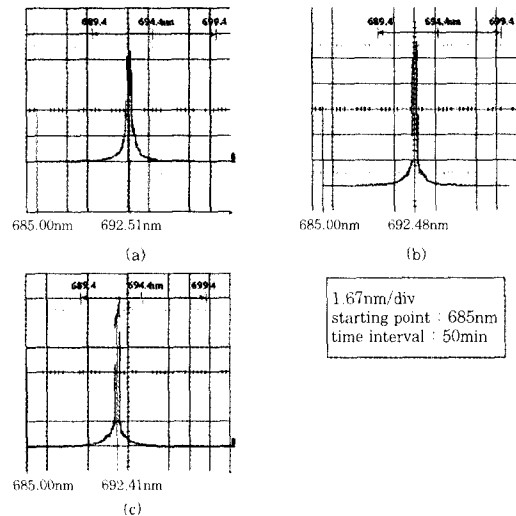


Fig. 2 Wavelength of diode laser and band width of BPF

2.2 센서의 보정

2차원 화상으로부터 용접선의 3차원 정보를 산출하기 위하여 센서의 보정이 요구된다⁴⁾.

$$\begin{aligned}
 X_c &= \frac{x(C_1 + C_2 f)}{C_2 f + y} \\
 Y_c &= \frac{y(C_1 + C_2 f)}{C_2 f + y} \\
 Z_c &= \frac{f(y - C_1)}{C_2 f + y}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

용접선에 해당되는 픽셀좌표로부터 3차원 공간좌표를 도출하는 것은 용접선의 위치가, 레이저가 이루는

평면에 있을 조건과 카메라 모델의 관계식을 만족하는 것으로부터 가능하다³⁾. 즉, 화상좌표(image coord.) x, y 와 카메라 좌표계 X_c, Y_c, Z_c 와의 관계는 위 식과 같다.

여기서, $C_1=83.831, C_2=-0.446$, 렌즈의 중심과 다이오드 레이저간의 거리인 $y_0=71.8, z_0=25.8$ 이며, 카메라 좌표계에서 X_c 는 렌즈에서 진행방향에 직각인 축, Y_c 는 토치의 진행방향 축, Z_c 는 렌즈에서 모재바닥으로의 축을 나타낸다. 앞에서 구해진 식(1)에 의하여 2차원 영상 좌표인 (x, y) 가 3차원인 개선(groove)의 위치 (X_c, Y_c, Z_c) 가 계산된다. 시스템 고정변수(fixed system parameter) C_1, C_2, f 값은 센서의 형상에 의해 결정되지만 본 연구에서는 정확한 값을 산출해 내기 위하여 센서의 보정을 행하였다.

일반적으로 센서의 보정을 위하여 공간상의 기준점의 정확한 위치가 필요하므로 보정 블록 등의 기구를 이용한다⁴⁾. 센서의 보정을 효율적으로 수행하고 정밀도를 높이기 위하여 4.2mm, 9.88mm, 19.96mm의 폭을 가지는 보정 블록을 이용하였고 높이를 변화시켜 가면서 실제의 폭, 높이에 대해 최근접의 결과값을 갖는 C_1, C_2, f 값을 구하기 위하여 보정을 수행하였다. 이때 높이의 변화는 실제 용접시 용접물의 높이의 변화를 고려하여 $180\text{mm} \pm 12\text{mm}$ 정도까지를 그 범위로 정하였다.

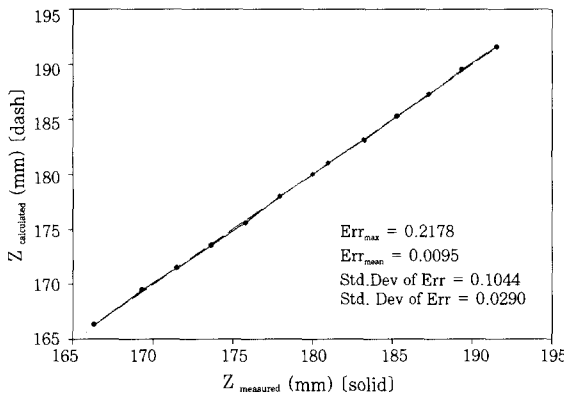


Fig. 3 Results of Z-direction calibration (distance between workpiece and camera lens)

여기서부터 구해진 C_1, C_2, f 값은 각각 $C_1=84.39085, C_2=-0.46836, f=17.0$ 이며 이때, 카메라 렌즈와 모재의 거리(Z), 높이(Z)변화에 따른 X방향의 실제값과 계산값을 Fig.3와 Fig.4에 나타내었다. 본 연구에서는 화상에서의 용접선의 위치가 카메라 렌즈와 180mm의 거리에 오도록 설정하여 픽셀당 분해능이 0.1mm이하가 되도록 하였다.

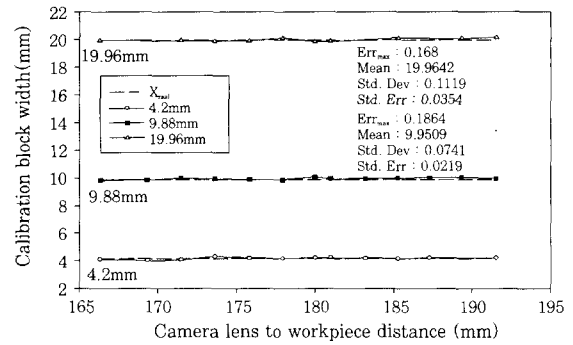


Fig. 4 Results of X-direction calibration (according to camera lens to workpiece distance)

3. 화상처리

용접선 추적을 위하여 받아들이는 화상정보의 화상처리 절차는 크게 3단계로 이루어지는데 그 중에서 가장 먼저 수행되어야 할 것은 배경에서, 용접선 정보를 대표하는 구조화된 레이저 띠만을 추출하는 영역분할 작업이며, 이후 추출된 띠를 대표할 수 있는 폭 1픽셀의 정보로 나타내는 세션화 작업, 마지막으로 이 정보에서 특징점을 찾아내는 것 등이다¹⁾.

본 연구에서는 640×480 픽셀의 화상에서 용접선이 주로 위치를 한다고 생각되는 화상의 중심부분 200×100 픽셀의 관심영역(region of interest: ROI)을 선택하여 그 부분에 대하여서만 화상처리를 하여 전체 화상을 처리하는데 필요한 시간을 줄였다. 대표적인 관심영역의 설정은 Fig.5와 같다.

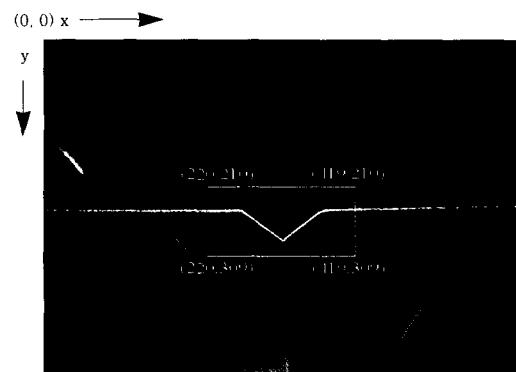


Fig. 5 Region of interest

3.1 영역분할 및 세션화

영역분할은 카메라로부터 받은 화상을 주위의 배경과 분리하여 필요한 정보와 그렇지 않은 정보로 분리하는 작업인데 본 연구에서는 구조화된 빛인 레이저 띠만을 구별해 내는 것이 그 목표이다.

관심영역을 대상으로 맨 처음의 칼럼에서 세로방향으로 레이저 띠 폭을 충분히 포함할 수 있는 픽셀수의 윈도우(본 연구에서는 7개)를 아래 방향으로 이동시키면서 윈도우내에 존재하는 픽셀들의 그레이레벨 합이 최대가 되는 곳에서의 최대값을 첫 칼럼에서의 레이저 띠의 중심위치라고 판단을 하였다. 윈도우 내 최대값이 동일 값을 갖는 경우 그들의 중심위치를 택하였다. 그 다음의 칼럼부터는 바로 전 칼럼의 레이저 띠의 위치를 중심으로 하는 윈도우를 설정하여 그 중에서 최대값을 갖는 위치를 레이저 띠로 인식하는 방법을 마지막 칼럼까지 반복적으로 적용하였다. 이 방법으로 관심영역에서 레이저 띠를 탐색하는 데 걸린 시간은 화상의 히스토그램을 이용하는 방법이나, 영역분할 후 레이저 띠의 두께의 중심을 레이저 띠의 정보로 취하는 방법보다 신속한 결과를 얻을 수 있었으며^{1,5)} 윈도우 설정에 의하여 필터링 효과를 얻을 수 있었다. 그러나 이러한 방법의 단순한 적용은 관심영역에 스패터의 궤적이 나타날 경우 레이저 띠의 탐색이 불가능하게 될 수도 있다.

이러한 결과로 인하여 용접부의 특징점을 추출하는데 있어서 오류를 불러일으킬 수 있으므로 본 연구에서는 Fig.6과 같이 관심영역의 화상내에 스패터의 궤적이 존재하더라도 그것의 위치를 판단하고, 그 위치에서는 세선화과정을 수행하지 않고 세선화 가능한 부분에서만 세선화과정을 적용하는 알고리즘을 적용하였다.

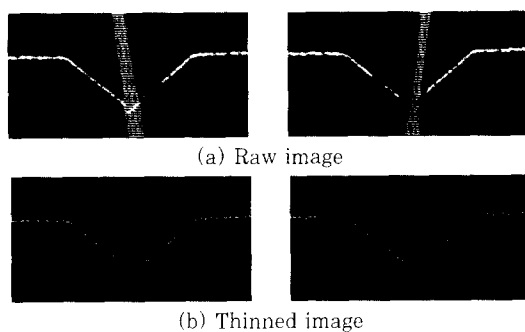


Fig. 6 Raw image including spatter trace and thinned image

3.2 특징점 추출 알고리즘

용접부의 단면형상을 나타내는 추출된 레이저 띠로부터 조인트의 위치 또는 양쪽 에지를 찾아내는 과정이다. V-그룹 및 필릿용접에서 용접선 추적을 위해서는 정확한 조인트의 위치를 찾는 것이 무엇보다 중요하며 이를 위하여 세선화된 화상으로부터 Fig.7와 같이 1차미분법, 중심차분법 등을 이용하여 변곡점을

찾아내는 방법³⁾과 비교적 간단히 직선성분을 추출하여 조인트의 위치를 찾을 수 있는 Arm방법⁴⁾, 휴변환법 등이 있다.

3.2.1 중심차분법

중심차분법을 적용하였을 때 스패터가 존재하지 않는 화상으로부터 조인트 및 양쪽 에지의 위치는 변곡점이 된다. 변곡점을 추출하기 위하여 각각의 픽셀의 위치에 대하여 1차미분법에서는 부호가 바뀌는 점이 변곡점이 되며, 중심차분법에서는 최대값 혹은 최소값이 변곡점이 된다.

이 방법들은 미분구간에 따라서 그 성능차이가 많이 발생하고, 화상처리에서는 표면상태등에 따른 각각 픽셀데이터들의 리플(ripple)로 인하여 변곡점을 찾는 데 어려움이 있다. 또한, 용접시에 발생하는 스패터가 관심영역에서 조인트부분으로 지나갈 경우 노이즈로 작용하게 되어 세선화된 화상으로부터 조인트의 정확한 위치를 검출하는데 문제가 발생하며 서브픽셀(sub-pixel)단위까지 검색할 수 없다는 단점이 있다.

3.2.2 휴변환법

휴(Hough)가 제안한 방법을 기초로, 로젠필드(Rosenfeld)는 기울기(m)-y절편(b) 공간을 2차원 배열에 대응하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 하나의 직선은 기울기-y절편 좌표계에서 하나의 점으로 나타난다는 것으로부터 직선추출이 가능한 방법이다. 휴변환의 특징은 추출 대상의 데이터가 연속적일 필요가 없고, 파선일 경우에도 직선성분을 추출하는 것이 가능하며, 기울기와 절편값을 모두 평가하여 관심 직선성분에서 벗어난 데이터를 배제함으로써 통계적인 값을 이용하기 때문에 노이즈에 강하다는 장점이 있다. 그러나, 화상내의 관심화소들에 대하여 각각의 궤적을 그리기 때문에, 관심화소들의 수가 증가하면 처리시간이 크게 증가하고 검출 정확도를 높이면 메모리가 증가하여 처리시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 본 연구에서는 후판의 V-그룹 용접을 그 대상으로 하여, 용접부의 단면형상이 거의 일정하고 직선들로 이루어져 있으므로 세선화된 화상으로부터 그레이 레벨 255의 값을 갖는 200개의 픽셀에 대해서만 직선성분을 검색하여 그 직선의 교점으로 특징점을 찾아내었기 때문에 사용 메모리도 줄었으며 그로 인해 연산시간을 줄이는 효과도 가져왔다.

3.3 특징점 추출

휴(Hough)가 제안한 방법에 기초를 두어 스패터가

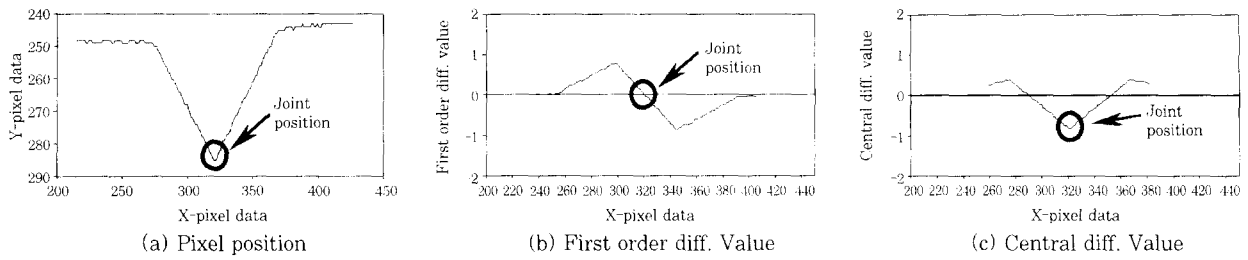


Fig. 7 First order and central difference method

존재하는 화상에서도 특징점을 추출할 수 있는 알고리즘을 구현하였다. 먼저, Fig.8과 같이 관심영역의 원화상을 세선화과정을 거치게 한 후 결정된 레이저 띠의 픽셀정보로부터 구간을 달리하면서 각 픽셀에서의 기울기(m)와 y절편(b)을 구한다. n번째 칼럼의 기울기 및 y절편은 구간을 $2 \times d$, n번째 칼럼의 레이저 띠의 위치를 (x_n, y_n) 이라고 할 때 다음 식(2)으로 표현된다.

$$m_n = \frac{y_{n+d} - y_{n-d}}{2 \cdot d} \tag{2}$$

$$b_n = y_n - m \times x_n$$

일반적인 화상에서 기울기와 y-절편값의 분포는 Fig.9와 같이 나타난다.

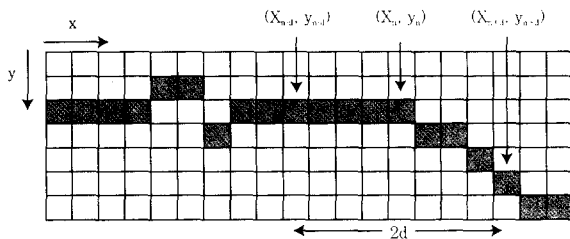


Fig. 8 Slope(m) and y-intercept(b) for n-th column

Fig.9에서 오른쪽 상자는 레이저 띠의 왼쪽 side wall의 기울기 및 y절편을 구할 때의 범위를 나타내며, 왼쪽의 상자는 레이저 띠의 오른쪽 side wall의 기울기 및 y절편을 구할 때의 범위를 나타낸다.

V-groove 에서와 같이 용접부의 단면형상을 나타내는 레이저 띠를 표현하는 직선은 기울기가 양인 경우, 0인 경우, 음인 경우 3종류가 나타날 수 있으므로, 먼저 양쪽 side wall을 표현하는 직선을 검색하고 교점을 구하여 조인트의 위치로 나타내고, 조인트의 좌·우에서 기울기가 각각 0 근처인 직선을 검색하여 각각의 교점으로부터 예지의 위치를 계산하였다. 이 때 기울기 값이 정해진 범위(본 연구에서는 0.2) 내에 속하는 데이터의 수를 검색하여 많은 데이터의 수를 갖는

3개의 기울기 범위를 찾아내어 각각의 해당 직선의 정보로 정한다. 이 방법으로 교점의 위치 즉 특징점들의 위치는 서브픽셀(sub-pixel)단위까지 추출이 가능하다. 중심차분법에는 n번째 칼럼에서의 중심차분값을 d_{2nd} , 구간을 $2 \times k$, n번째 칼럼에서의 레이저 띠 픽셀의 위치를 y_n 이라고 할 때 다음 식(3)으로 표현된다.

$$d_{2nd} = \frac{(y_{n-k} + y_{n+k} - 2 \times y_n)}{(2 \times k)} \tag{3}$$

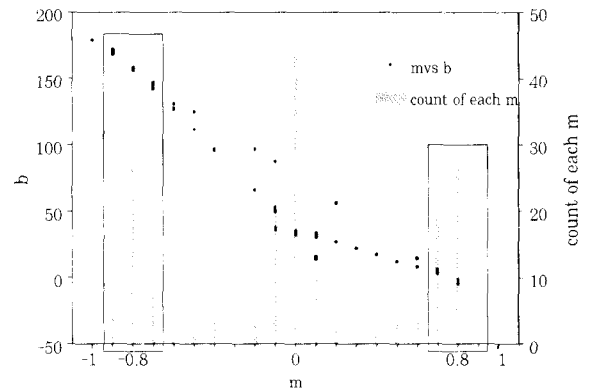


Fig. 9 Distribution of m & b (2d=10)

3.4 특징점 추출 결과

특징점 추출성능을 확인하기 위하여 중심차분법과 휴변환법을 적용, 비교하였다. 중심차분법의 적용에 있어서 화상의 관심영역내에 스패터의 궤적이 특징점을 통과하는 경우 그 부분에서의 특징점을 찾아 낼 수 없다. 따라서 개선폭을 알고 있는 50개의 V-그룹의 화상에 대하여 중심차분법, 휴변환법을 각각 적용하였으며 실제와 계산된 개선폭의 크기와의 비교를 통해 추출성능을 확인할 수 있었다. 화상의 특징점으로 스패터의 궤적이 지나가지 않는 50개의 저장된 화상에 대하여 두 방법 모두 구간을 변화시켜가면서 개선폭의 크기를 계산해 본 결과, 중심차분법에서 가장 정밀하게 실 측정치에 근접한 경우는 구간(2k)이 40일 때, 휴변환법에서는 구간(2d)이 10일 때 얻을 수 있었다. 여기서 구간을 작게하면 국부적인 중심차분값 또는 기

올기와 절편을 나타내며, 구간을 크게하면 광범위한 두 점간의 해당값을 나타내게 된다.

두 방법의 적용 결과를 Fig.10에 표시하였다. 중심차분법을 적용했을 때 보다는 휴변환법을 적용하였을 때 분산정도가 적고 실제값에 더 가까운 것을 볼 수 있다. 또한, 실시간에의 적용 가능성을 확인하기 위하여 두 방법 모두 화상처리에 소요되는 시간을 측정하였다.

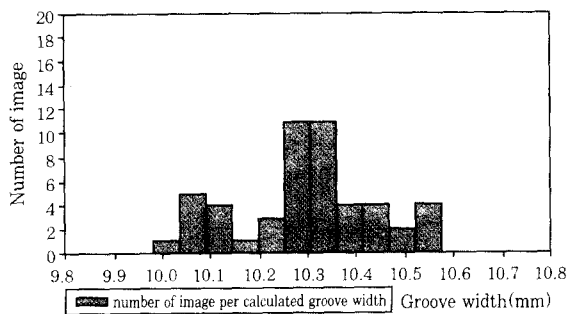
용접선 추적이라는 관점에서 볼 때 조인트의 위치만이 중요하므로 조인트의 위치를 찾아내는 데만 소요되는 시간도 측정하였다. 중심차분법에서는 스펙터의 웨이브가 화상내 특징점의 위치에 나타날 경우 특징점을 추출할 수 없지만 화상처리시간은 180ms정도였으며, 휴변환법에서는 최대 240ms로 두 방법 모두 실시간으로 처리하기에는 충분한 시간으로 사료되어 휴변환법을 적용하여 실시간 용접선 추적에 사용하였다.

Fig.11은 용접중 받아들인 화상에서 휴변환법을 적용하여 직선을 추출한 결과와 용접 조인트의 위치, 에지의 위치를 찾아 표시한 그림이다.

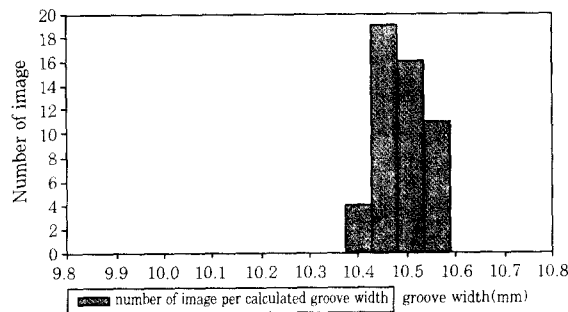
4. 용접선 추적 알고리즘 및 실험

4.1 추적 알고리즘

휴 변환법을 사용하여 용접조인트의 위치를 구한 후, 용접 토치가 도달했을 때 이 위치를 통과하도록 한다.

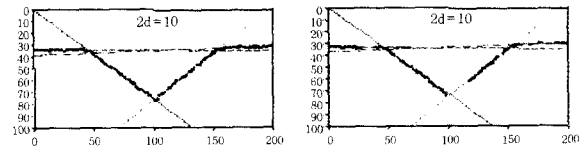


(a) Central difference method



(b) Hough transform

Fig. 10 Distribution of calculated groove width



(a) Extracted line using Hough transform



(b) Joints and edge points

Fig. 11 Joints and edge points using Hough transform

이 때 시각센서에 의해 구한 임의의 굴곡진 경로를 따라 토치가 이동할 때 각 샘플링 주기마다 이동해야 할 거리는 달라진다. 일정용접속도를 유지하기 위해 토치가 이동해야 할 거리를 항상 일정하게 유지시키기 위하여 데이터 재생성 알고리즘^{4,6)}을 적용하였다.

4.2 실험장치

본 실험에서 사용된 장치는 크게 용접토치를 장착한 3축 직선 서보 이송장치, 용접기, 시각센서, PC로 구성된다. 각 축은 AC서보 모터(1000pp/rev)로 구동된다. 각 축의 모터제어를 위해서 PIT8253 및 PPI8255를 이용하여 펄스 제너레이터(pulse generator)를 제작, 사용하였다.

4.3 실험방법

실험 방법은 비전센서로부터의 화상을 비전보드를 통해 PC로 받아 들이고 640(480크기의 화상으로부터 200(100크기의 관심영역을 정의한 후 그 부분에 대해서만 휴변환법을 사용하여 용접 조인트의 위치를 구한다. 용접시작 명령을 주면 용접 시작점을 찾아 일정한 속도로 이송하면서 0.3초마다 한번씩 화상을 받아들여 2차원의 픽셀좌표계를 기초로 계산된 조인트의 위치를 전체 좌표계로 변환한 후 다시 데이터 재생성 알고리즘을 거쳐 토치가 이동해야 할 정확한 위치를 구한다. 이렇게 계산된 데이터를 이용하여 각 축의 서보 모터에 각 축이 이동해야 할만큼의 펄스(pulse)를 펄스 제너레이터를 통하여 출력시킴으로써 정확한 용접경로를 추적한다. 용접조건은 용접속도 5mm/sec, 용접전류 230A, 용접전압 25V, 보호가스 CO₂ 100%를 사용하였다.

5. 용접선 추적 결과

이론적으로는 전체 화상내에서 최대의 각도 즉 $\pm 30.9^\circ$ 까지 용접조인트의 위치를 추출해 낼 수 있게 된다. 그러나 용접조인트의 위치가 화상에서 양쪽 끝부분에 위치할 경우 카메라렌즈로부터 모재와의 거리가 멀어지므로 실제각도는 그 이하가 된다. 이러한 원인 때문에 실제 허용 가능 각도를 $\pm 25^\circ$ 정도로 정하여 조인트의 위치를 찾을 때 현재 용접토치의 위치로부터 $\pm 25^\circ$ 이상의 위치에 조인트가 위치한다고 판단이 되면 스패터, 난반사등에 의한 오차로 결정하였다. 실험은 초기 용접방향에 대하여 $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ 의 각도를 주어 140mm동안 용접을 하면서 용접선 추적 성능을 확인하였다.

Fig.12와 Table 1에 $-5^\circ, -10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ 의 용접선 오차(weld line offset degree)를 갖는 모재에 대하여 용접선을 추적한 결과를 나타내었다. 용접을 수행하지 않고 아크가 없는 상태에서 모재의 용접선을 추적한 결과는 상당히 좋게 나타나고 있다. 용접중에서는 어느 경우나 용접을 하지 않고 추적한 것보다는 용접선을 추적하는 능력이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그러나 비록 화상내에 스패터의 궤적이 노이즈로 작용하더라도 전체적인 추적성능은 특별한 신호처리 방법을

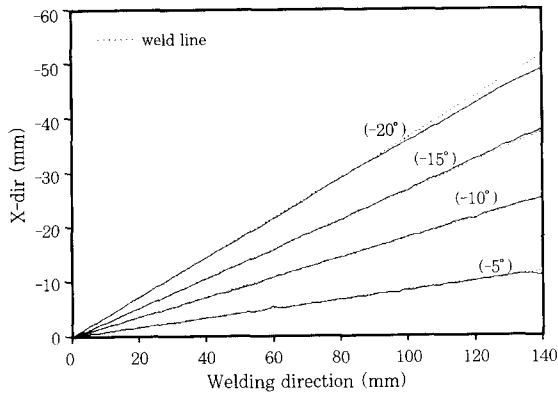


Fig. 12 Weld seam tracking results according to weld line offset degree (Arc on)

Table 1 Tracking errors according to weld line offset degree (SD : standard dev., ME : max. error)

Weld line offset degree	Arc off		Arc off	
	SD(mm)	ME(mm)	SD(mm)	ME(mm)
- 5°	0.0315	-0.1798	0.1104	-0.6725
- 10°	0.0372	-0.0940	0.0971	-0.2952
- 15°	0.0449	0.1678	0.1919	-0.5785
- 20°	0.0506	0.1836	0.6794	2.5028

을 통하지 않고서도 양호한 것을 볼 수 있으며 0.3초마다 한번씩 위치정보를 얻으므로 실시간으로 가능하였다.

수평방향에서 10° 까지는 오차가 거의 없이 실제의 용접선을 따라 용접이 되었으나 15° 이상에서는 용접된 모재를 살펴보면 모재의 끝 부분에서 다소 오차가 발생했다. 이런 경우는 경면반사로 인하여 세선화 과정에서 오차가 유발된 경우라고 생각된다. 초기 아크 발생시의 오차를 최소한으로 줄이기 위하여 아크가 발생되고 1.5초까지 즉 5개 정도의 조인트 위치정보는 무시하고 현재까지 추출된 조인트 위치의 정보들로 현재의 조인트 위치를 결정하는 방법을 사용하였다. Fig. 13은 용접을 수행한 시편을 보여주고 있다.

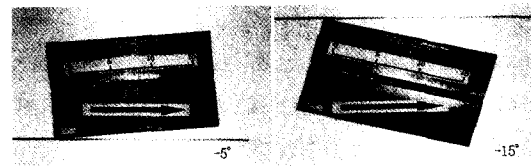


Fig. 13 Photographs of weld seam tracking results

5. 결 론

실시간으로 용접선의 위치, 양쪽에지 및 개선폭의 크기 등을 검출하기 위하여 비전 센서 시스템을 설계, 제작하였으며, 용접선 자동추적을 위한 여러 가지 화상처리 기법을 조사하여 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 용접 중 용접선추적 및 용접부의 단면정보를 알내기 위한 화상처리에서 특징점을 추출하기 위한 방법 중 중심차분법과 휴변환법을 적용하여 비교하였다.
- (2) 강렬한 아크광, 스패터 등의 노이즈를 포함하는 화상에서 중심차분법으로는 정밀하게 찾을 수 없던 용접선의 위치를 휴(Hough)변환법을 통하여 효과적으로 추출할 수 있었다.
- (3) 강렬한 스패터의 비산 궤적이 없는 화상에 대해서도 휴변환법을 적용하였을 때 개선폭의 크기는 최대오차 0.16mm, 화상처리시간 0.21-0.24초였으며, 중심차분법에서는 최대오차 0.4mm, 화상처리시간 0.18초로서 휴변환법이 높은 정밀도로 용접부의 단면정보를 추출할 수 있었다.
- (4) 용접선추적을 위해 휴변환법을 적용하여 0.3초마다 화상처리를 수행할 수 있었으며 5mm/s의 용접속도일 때 용접선의 기울어짐이 $\pm 15^\circ$ 이내에서 양호하게 실시간으로 용접선을 추적할 수 있었다.

참고 문헌

1. 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 London, U.K. 9-11 October, (1984) , 103-114
2. R.W.Richardson and C.C.Conrardy : Coaxial Vision-Based Control of GMAW, International Trends in Welding Science and Technology, Gatlinburg, Tennessee, 1-5 June, (1992), 957-961
3. 신정식, 김재용, 나석주, 최철중 : 겹치기 이음에서 용접선 시각 추적 시스템에 관한 연구, 대한용접학회지, 9-2(1991), 20-28
4. 김정호, 유중돈, 김진오, 신정식, 김성권 : 선박 소조립 공정용 로봇 자동교시 시스템의 구현, 대한용접학회지, 14-2(1996), 96-105
5. 김현규, 이세현, 엄기원 : 레이저 비전센서를 이용한 비드높이의 실시간 제어 및 용접선 추적에 관한 연구, 대한용접학회 1998년도 춘계학술발표 논문집, (1998), 204-207
6. 유병희, 김재용 : 박판 맞대기 용접에서 전자기식 센서를 이용한 용접선 자동 추적 시스템에 관한 연구, 대한용접학회지, 15-1(1997), 81-91