

GMAW에서 시각센서를 이용한 용접선 정보의 추출과 와이어 송급속도의 제어에 관한 연구

조택동* · 김옥현** · 양상민*** · 조만호***

* 충남대학교 공과대학 기계설계공학과

** 충북대학교 공과대학 기계공학과

*** 한밭대학교 공과대학 기계공학부

A Study on Weld Line Detection and Wire Feeding Rate Control in GMAW with Vision Sensor

Taik-Dong Cho*, Ock-Hyun Kim**, Sang-Min Yang*** and Man-Ho Cho***

* Dept. of Mechanical Design Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

** Dept. of Mechanical Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

*** Dept. of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

Abstract

A CCD camera with a laser stripe was applied to realize the automatic weld seam tracking in GMAW. 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 and arc light. For this reason, it was complemented with adaptive Hough transformation to have an on-line processing ability for scanning specific weld points. The adaptive Hough transformation was used to extract laser stripes and to obtain specific weld points. The 3-dimensional information obtained from the vision system made it possible to generate the weld torch path and to obtain the information such as width and depth of weld line. We controled the wire feeding rate using informations of weld line.

(Received May 7, 2001)

Key Word : Gas metal arc welding(GMAW), Vision system, Adaptive hough transformation, Weld specific points, Wire feeding control

1. 서 론

용접은 기계산업에서 부품의 결합을 위한 공정으로 이용되고 있으나 아크 빛, 스파터, fume과 같은 열악한 작업환경으로 인해 작업자들이 기피할 뿐만 아니라 용접사의 기능에 따라 품질의 균일성이 많은 차이를 보일 수 있는 민감한 작업이므로 용접공정의 자동화를 통하여 이러한 문제해결과 동시에 생산성 증가를 위한 연구가 진행되어 왔다. 용접공정의 자동화를 실현하기 위해서는 용접선의 형상과 경로변화에 따라 적응할 수 있는 센서 시스템의 개발이 필수적이다^{1,5,6)}. 최근 이러

한 요구에 따라 용접자동화 시스템에 시각센서를 적용한 용접자동화 시스템의 적용에 관한 연구가 진행되고 있다^{2,3,7)}. 그러나 기존의 시각센서를 이용한 용접선 추적시스템은 영상처리 시간이 비교적 많이 소요되어 실시간 처리가 용이하지 않고, 용접 중 발생하는 아크 빛과 스파터가 laser stripe와 함께 영상에 포함됨으로써 용접선의 영상처리에 많은 어려움이 수반되었다. 본 연구에서는 아크 빛, 스파터, 레이저 stripe의 겹반사와 같은 외란들에 강건하게 적용하는 적응 Hough 변환 알고리즘을 개발하여 적용함으로써 영상처리 시간을 단축시켰고, 영상처리 결과로부터 얻어진 용접선의 특징점을 이용하여 용접선의 3차원 정보인 폭과 깊

이 정보를 추출하여 와이어의 송급속도를 제어함으로써 와이어 송급량을 결정하였다.

2. 영상처리 알고리즘

용접공정에는 예측이 쉽지 않은 다양한 공정변수가 존재하고, 여러 가지 외란(아크 광, 스패터, fume 등)이 수반된다. 이러한 환경에서 용접경로 정보를 추출하기 위해서는 고기능의 영상처리 기법이 필요하다. 최근 이러한 영상처리 기법에 대해 다양하게 연구되고 있으나 영상처리 방법은 비교적 장시간이 소요되므로 실시간(on-line) 제어에 적합한 영상처리 알고리즘의 개발이 요구된다.

시각센서를 이용한 용접자동화 시스템의 영상처리에서 고려해야 할 사항들은 첫째, 모재의 표면상태나 기울기에 상관없이 영상에 포함된 아크 광, 스패터, 경사면의 겹반사 등의 용접외란으로부터 레이저 stripe를 분리해야 한다. 둘째, 개선(groove)의 양단, 모재 사이의 틈새거리 및 각도 등 용접경로와 용접변수 결정에 중요한 정보를 제공하는 용접선의 특징점 및 특징선을 인식해야 한다.

기존의 Hough 변환은 용접 중 발생하는 스패터와 아크 빛으로 인해 손실된 레이저 stripe를 복원하는데 효과적인 방법이나 영상처리 시간이 많이 소요되어 용접선의 실시간 추적에 적용하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 Hough 변환을 실시간 용접선 추적에 적합하도록 수정, 보완한 적응 Hough 변환 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 적응 Hough 변환 알고리즘은 용접선(groove)의 단면 모양이 급변하지 않고, 용접 이음부의 형태(groove type)가 크게 변하지 않는 용접선 추적에 좋은 성능을 보여주고 있다.

시각센서는 용접 모재에 조사하게 될 레이저 stripe를 생성하기 위해 레이저 전반부에 점광원을 평면광원으로 변환 시켜주는 원통형렌즈(cylindrical lens)를 설치하였고 레이저 stripe만을 추출하기 위해 협대역 통과 필터(narrow band pass filter)를 사용하였다. 그러나 아크 빛은 백색잡음에 가까운 전 대역의 파장을 가지고 있어 필터는 아크 빛이나 스패터 등의 노이즈를 완전히 차단하지 못한다. 따라서 아크 빛과 스패터 등이 레이저 stripe와 함께 CCD 카메라에 반응하므로 이들을 효과적으로 제거할 수 있는 영상처리 알고리즘이 수반되어야 한다.

레이저 stripe는 아크 빛, 스패터, 겹반사 등과 분리될 수 있는 특징을 가지고 있으며, 그 특징으로는 첫째, 레이저 stripe는 일정한 두께를 가지고 있고, 둘째,

레이저 stripe의 광도는 반 가우시안 분포(half Gaussian distribution)를 가지고 있으며, 셋째, 대부분의 스패터의 영상은 레이저 stripe에 대해 수직으로 존재한다는 점이다. 이러한 레이저 stripe의 특징을 이용하여 영상 데이터를 완전 가우시안(full Gaussian)분포로 변환하기 위해 $N \times N$ 크기의 영상 $f(x, y)$ 를 각 픽셀 (x, y) 을 중심으로 이웃의 국소적 부분인 $n \times m$ 픽셀들을 평균하여 명암도를 평활화하는 인근평균방법(neighborhood averaging)을 적용하였고, 영상정보에서 레이저 stripe의 기준 광도값인 t_c 값 이상의 정보는 유지하고, 값 이하의 정보는 0으로 처리하는 반 이진화(half threshold)처리를 수행함으로써 잔재하는 레이저 stripe 주변의 잡음을 일부 제거할 수 있었다. 그러나 강한 빛을 포함하는 스패터와 레이저 겹반사 등은 완전히 제거할 수 없으므로 레이저 stripe에서만 작은 반응값을 갖는 컨벌루션 마스크(convolution mask)를 적용하여 원하는 레이저 stripe의 정보인 $F(x, y)$ 를 구할 수 있다²⁾.

Hough 변환은 영상의 윤곽 또는 직선이 매개변수로 표현될 수 있는 경우에 윤곽을 검출하는데 효과적인 방법으로써 구하고자 하는 직선의 정보를 Hough 평면상의 정보인 ρ 와 θ 의 관계로 매핑시키는 것이다. 즉, 직선의 식을 식(1)과 같이 변환하여 Hough 변환에 적용한다.

$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \tag{1}$$

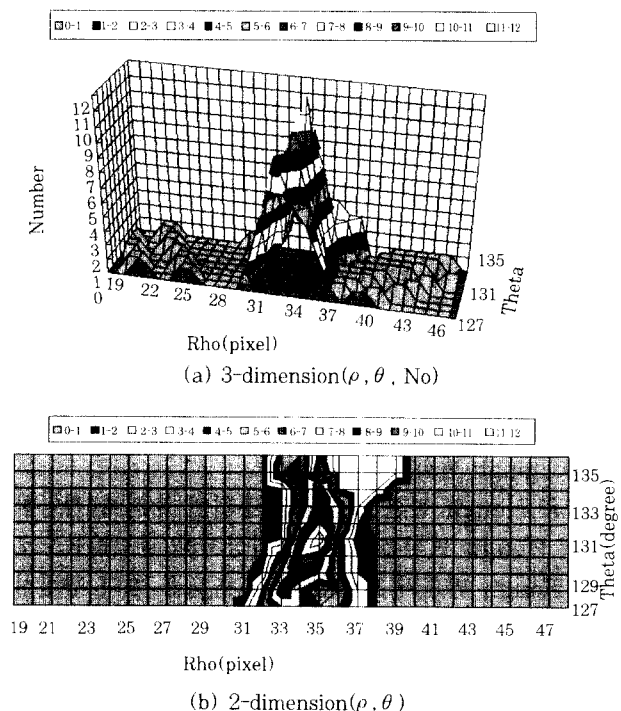


Fig. 1 Parameter(ρ, θ) by Hough transformation

Table 1 Imaging processing time to extract the weld line
 (* : image size - 640×480)

Size	Point	Theta (degree)	Rho(pixel)		
			10	15	20
300×200	1	5	0.475	0.626 *(0.809)	0.728
		10	0.765	0.992	1.269
		15	1.002	1.475	1.822 *(2.227)
	3	5	0.206	0.216 *(0.345)	0.227
		10	0.245	0.259	0.302
		15	0.262	0.308	0.344

Fig. 1은 Hough 변환하여 얻어진 와의 정보를 보여 주고 있다. Fig. 1(a)는 설정된 영상을 x축 방향으로, y축 방향으로 그리고 z축 방향으로 정보의 수를 취한 3차원 그래프이고 Fig. 1(b)는 2차원 그래프이다.

그러나 기존의 Hough 변환은 와의 검색범위가 주어지지 않았을 경우, 전 영역의 와에 대해 직선을 검색해야 하므로 불필요한 처리시간이 소요되는 단점을 가지고 있다. 따라서 기존의 연구에서는 영상처리 시간을 줄이기 위해 영상처리 영역을 축소하였으나 이는 용접선의 형상의 크기와 기울기가 점차적으로 증가하는 경우의 형상인식 및 용접 특징점을 추출하는데 오류를 발생하기 쉽다. 영상처리 알고리즘의 시간을 지배하는 정보의 수는 반 이진화 처리에서의 threshold의 값, 컨벌루션 마스크를 적용하는 알고리즘에서 adaptive threshold 값 그리고 Hough 변환 알고리즘에서 검색해야할 각도(theta)와 거리(distance)의 크기에 따라 영향을 미친다. Table 1은 위에서 제시한 영상처리 조건에 따라 소요되는 영상처리시간을 보여주고 있다. Table 1의 결과에서 알 수 있듯이 용접 개선부의 형상이 큰 경우 검색해야할 각도와 거리에 대한 데이터의 양이 많아짐으로써 영상처리 시간은 크게 증가한다. 그러나 용접선의 특성상 용접 개선부의 형상이 급격하게 변화하는 경우는 없으므로 본 연구에서는 형상의 크기 변화에 따라 검색범위를 변화시키는 적응 Hough 변화를 개발하였다.

적응 Hough 변환은 실시간 용접선 추적에 적합하도록 Hough 변환을 보완한 영상처리 알고리즘으로써, Hough 변환의 단점인 처리 속도를 좀더 향상시키기 위해서 전 단계의 파라메타(ρ, θ)를 중심으로 좌우에 작은 범위의 offset을 검색 범위로 설정하여 다음 단계의 직선을 탐색하는데 이용한다. 이것은 대부분의 용접작업을 고려해 볼 때 용접개선(welding

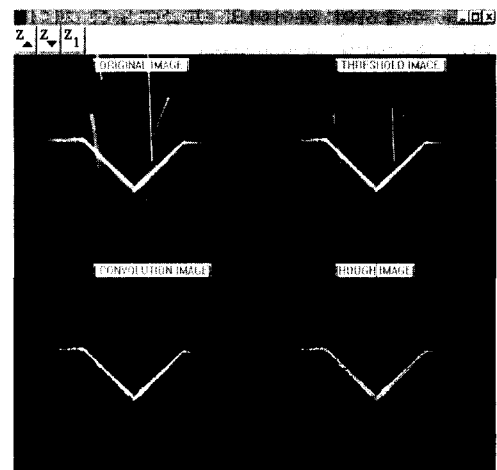


Fig. 2 Noise filtering and image processing.

groove)의 형태는 거의 일정하고, 용접 모재 단면의 형상이 급격히 변화하지 않으며, 용접선(welding line)의 불연속점이 존재하지 않는 용접선의 특징들이 있기 때문이다.

적응 Hough 변환은 기울기가 비슷한 직선들을 Hough 평면으로 매핑시켰을 때 Hough 평면상에서 θ 가 일정한 값에 점들이 모여있다는 것과 원점에서 직선에 수직하고 거리가 일정한 직선들을 Hough 평면에 매핑시켰을 때 Hough 평면상에서 ρ 가 일정한 값에 점들이 모여있는 Hough 변환의 특징을 이용한 것이다. 이러한 Hough 평면상의 직선의 성질을 이용하면 기울기와 형상변화가 크지 않은 용접선의 경우 용접 모재에 조사된 레이저 stripe를 짧은 시간 내에 검색해 낼 수 있다. 이는 Hough 평면에서 전 단계에서 구한 Hough 변환점을 중심으로 다음 단계에서 반지름 R 주위의 ($\Delta\rho, \Delta\theta$)만을 검색영역으로 설정하여 직선의 파라메타를 검색한다. 여기에서 반지름 R의 문턱값(threshold)은 용접선의 형상과 경사면의 기울기 변화를 고려하여 용접을 수행하기 전에 설정함으로써 영상처리 시간을 줄일 수 있다²⁾. 본 연구에서는 영상처리 영역 300×200, 각도의 검색범위 5°, 거리의 검색범위 15 pixel로 설정하였으며 이 경우의 영상처리 시간은 다음과 같다. 영상을 획득하여 영상정보를 컴퓨터의 하드웨어로 전송하는데 소요되는 시간은 0.126초, 반 이진화 처리시간은 0.004초 컨벌루션 처리시간은 0.032초, Hough 변환알고리즘 처리시간은 0.054초가 소요되었다.

Fig. 2는 V-groove에 경사진 레이저 stripe을 투사한 영상처리 과정을 보여주고 있다. 왼쪽 상단부는 초기 영상의 광도 분포를 보여주는 것으로 주위에 잡음이 많이 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 오른쪽 상단

부는 문턱치 값 t_c 를 적용하여 반이진화 처리를 수행한 이후의 영상정보이다. 레이저 stripe 주위의 잡음은 일부 제거되었으나 강한 스페터와 겹반사가 남아 있음을 알 수 있다. 왼쪽 하단부는 컨벌루션 문턱치 값 t_{conv} 을 적용한 영상으로 스페터와 겹반사를 완전히 제거한 것을 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 레이저 stripe가 전 영역에 걸쳐 완전한 Gaussian 분포를 하고 있는 것은 아니기 때문에 용접선이 부분적으로 단락된 것을 알 수 있다. 오른쪽 하단부는 적응 Hough 변환한 이후의 영상으로 전 단계에서 얻어진 영상 정보를 이용하여 직선을 추출한 결과를 보여주고 있다. 이 부분은 전 단계의 영상정보와 추출된 3개의 직선을 겹쳐서 표현하였다. 두 시편의 높이가 동일한 경우, 3개의 직선을 검색함으로써 용접 특징점을 추출할 수 있고 이러한 용접 특징점을 이용하여 용접 추적점, 용접선의 깊이(W) 그리고 용접선의 폭(H)을 구할 수 있다.

용접선의 특징점 추출은 영상처리 알고리즘을 적용하여 얻어진 직선의 교점으로 가우스 소거법을 이용하여 구하였다. Fig. 3은 Fig. 2에서 보여준 영상처리의 최종단계로 용접 특징점을 이용하여 용접 경로인 용접 토치의 추적점과 용접 개선부의 정보를 알 수 있으나 카메라와 시편의 거리변화가 발생하는 경우 즉, 시편의 기울기 변화가 존재하는 경우, 동일한 크기의 용접선의 폭과 깊이는 레이저의 조사각이 변화함에 따라 상이한 정보로 오인할 수 있다. 따라서 2차원 영상으로부터 얻은 폭과 깊이 정보를 식(2)와 (3)을 이용하여 3차원 정보를 구함으로써 보상시켜 주어야 한다. 이때 시편의 기울기 변화는 추출된 용접 특징점을 이용하여 구한 용접 추적점의 위치로부터 알 수 있다. Fig. 4는 동일한 용접선의 깊이 h_1, h_2 인 용접 시편이 카메라에 투영되는 양은 d_1 과 d_2 로써 2차원 정보의 값이 차이가 발생한다. 따라서 용접시편의 기울기 변화가 발생하는 경우, 추출된 용접 특징점의 변화를 이용하여 시편의 기울기를 예측할 수 있고 식(2)와 식(3)을 이용하여 이를 보상할 수 있다.

$$h_1 = d_1 \tan \theta \tag{2}$$

$$h_2 = (d_2 / \cos \theta) \times \sin(\theta - \theta') \tag{3}$$

여기에서, $\theta = 46^\circ$ 이고 θ' 은 시편의 기울기로 용접 특징점의 하나인 용접 추적점의 높이 변화로부터 구할 수 있다.

선행 측정법에서 CCD 카메라를 용접 토치에 고정하여 장착한 시스템은 용접속도와 용접경로의 기울기

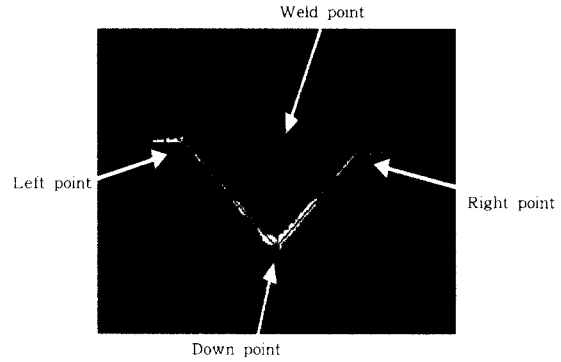


Fig. 3 Extraction of weld parameters by image processing algorithm

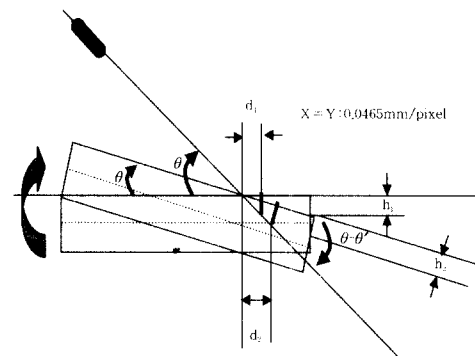


Fig. 4 Extraction of weld depth parameter

에 따라 제한을 받는다. 뿐만 아니라 영상처리 시간을 단축시키기 위해 본 연구에서 적용한 적응 Hough 변환의 검색영역을 벗어나는 경우, 용접선의 특징점을 추출할 수 없다. 이러한 문제는 용접속도가 클수록 용접선의 기울기는 작아야 함을 의미하며 제한된 용접환경과 용접속도로 인해 다양한 용접선의 자동화에 부적합하고 생산량의 증가를 기대할 수 없다. 본 논문에서는 위에서 언급된 문제를 해결하기 위해 카메라는 토치를 중심으로 자유롭게 회전할 수 있도록 장착하였고 카메라의 회전각 제어는 참고문헌²⁾에서 설명하였다.

3. 실험장치 및 방법

실험장치는 용접선의 변화를 감지하여 컴퓨터에 전달하는 센싱부와 감지된 위치로 토오치를 이송하는 구동부 그리고 용접부로 이루어져 있다. 센싱부는 CCD 카메라, 다이오드 레이저(diode laser), 협대역 통과 필터(narrow band pass filter), dc 서보전동기로 구성되어 있으며 CCD 카메라는 Watec사의 WAT-202B이며 760(W)×494(H)인 화소로 이루어져 있고, 렌즈와 시편과의 거리가 70mm에서 300(W)×120(H)의 영역만을 선택하였다. 이경우의 분해능은

0.05mm이다. 레이저광은 69010mm의 통과 영역을 갖는 협대역 통과필터를 통과하여 용접물에 조사된 레이저 stripe가 CCD 카메라로 투영된다. 토치와 CCD 카메라가 고정되어 있는 시스템은 용접선의 곡률변화가 심한 경우 CCD 카메라가 센싱을 할 수 없는 영역이 존재하므로 토치를 중심으로 레이저가 장착된 CCD 카메라를 회전할 수 있도록 설계하였다. 따라서 용접선의 중앙으로 토치와 독립적으로 CCD 카메라를 회전시킴으로써 용접 특징점을 찾기 위한 최소한의 영역만을 검색할 수 있고 이는 영상처리 시간을 단축시킬 수 있는 적응 Hough 변환 알고리즘의 수행을 가능하게 한다. 구동부는 이송명령을 전달하는 펄스 발생기와 AC 모터를 장착한 XYZ 테이블로 구성되어 있다. 용접부는 MIG/TIG 겸용 용접기와 원격제어가 가능한 wire feeder를 장착하였다.

용접모재는 폭 8.6mm, 깊이 4.3mm와 폭 6.5mm, 깊이 3.25mm인 45°V형 시편을 결합한 경우와 용접선의 폭6~10mm, 깊이 3~5mm의 범위까지 점진적으로 증가하는 용접시편에 대해 용접을 수행하였다. 한 샘플링당 최대 영상처리 시간은 0.22초가 소요되었고 용접 토치의 속도는 5mm/sec, 용접전압은 26V, 용접전류는 180~220A, 분위기 가스는 Ar 가스를 사용하였다. Photo. 1은 본 실험에서 용접자동화를 위해 구성된 실험장치이다.

용접 개선부의 단면적은 영상처리를 통해 얻은 용접 특징점을 이용하며, 이는 와이어가 용융되어 채워져야 할 개선부의 단면적을 의미한다. 따라서 추출된 용접 개선부의 형상 및 단면적에 따라 적절한 와이어의 송급속도가 결정되어야 하며, 와이어의 송급속도는 와이어 이송기에 장착된 dc 모터의 회전속도를 제어하여 수행하였다. Fig. 5(a)는 용접 모재의 용접선 형상을 보여주고 있고, Fig. 5(b)는 용융단면적으로 표현한 그림이다⁸⁾. 추출된 세개의 용접 특징점을 $a_1(x_1, y_1)$, $a_2(x_2, y_2)$, $a_3(x_3, y_3)$ 라 하면 세점의 중심좌표 $G(x_G, y_G)$ 는 식(4)와 같다.

$$x_G = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \quad y_G = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \quad (4)$$

삼각형의 중심으로부터 한점까지의 거리를 구하여 세점의 외접원을 구한다. 외접원의 반지름은 R식(5)와 같이 구한다.

$$R = \sqrt{(x_G - x_1)^2 + (y_G - y_1)^2} \quad (5)$$

세점을 이용하여 구한 삼각형의 세변의 길이를

a, b, c라 하면 삼각형의 면적 A_{tri} 는 식(6)에서 보여주고 있다.

$$A_{tri} = \frac{abc}{4R} \quad (6)$$

원호의 단면적은 식(7)와 같이 구할 수 있다. 여기서, R은 덧살높이이다.

$$A_{ri} = (b_1 + c_2)^{1/2} \times WR \times \frac{2}{3} \quad (7)$$

용접 이음부의 단면적은 식(8)과 같이 구한다.

$$A_{ri} = A_{tri} + A_{arc} \quad (8)$$

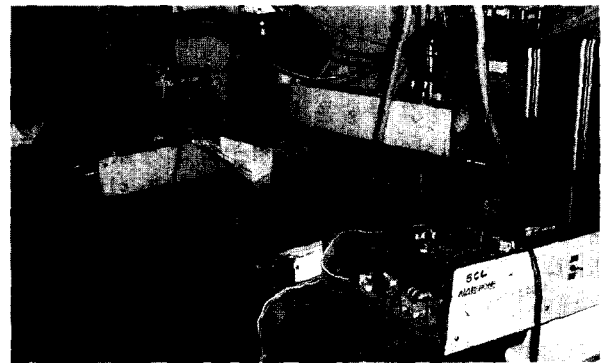
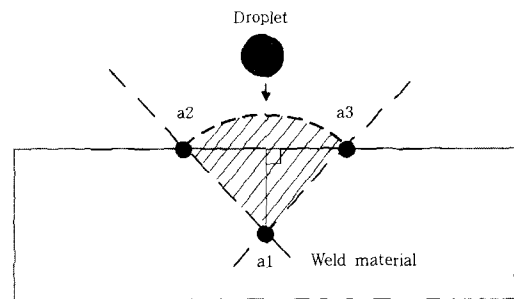
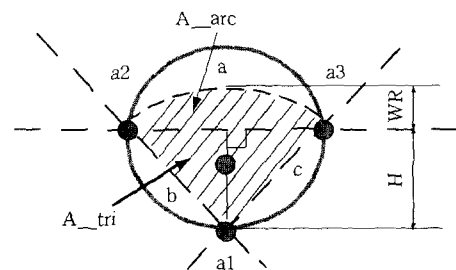


Photo. 1 Experiment equipment for automatic welding system



(a) weld groove of weld material



(b) Close-up of weld groove

Fig. 5 Surface area of weld groove

4. 결과 및 고찰

본 논문에서는 균일한 용접속도로 용접을 수행하기 때문에 적절한 용융량을 제어하기 위해서 용접변수로 와이어의 송급속도를 제어하였다. 와이어 송급속도의 제어는 추출된 형상정보인 폭과 깊이를 이용하여 용융 단면적을 구하여 와이어 이송모터(wire feeding motor)의 회전속도를 제어하였다.

Fig. 6은 폭 12mm, 깊이 6mm인 45° V형 시편을 이용하여 용접선의 측정오차를 분석하기 위한 결과로 폭은 0.25mm, 깊이는 0.15mm의 최대 오차가 발생하였다. Fig. 7은 와이어 이송 모터의 제어입력 전압과 와이어 이송률을 비교한 결과이다. 용접선의 형상정보의 변화는 단면적의 변화를 수반하고 이러한 단면적의 변화가 발생하는 경우, 용접속도와 용접와이어의 송급속도의 제어가 필요하다. 그러나 용접속도만을 감소하는 경우, 용융 열이 증가함으로 용접시편의 변형과 과다한 용입이 발생하여 용접품질을 보장할 수 없다. 본 실험에 사용된 MIG 용접기는 CV(정전압) mode에서 용접하였으므로 그 특성상 와이어 송급속

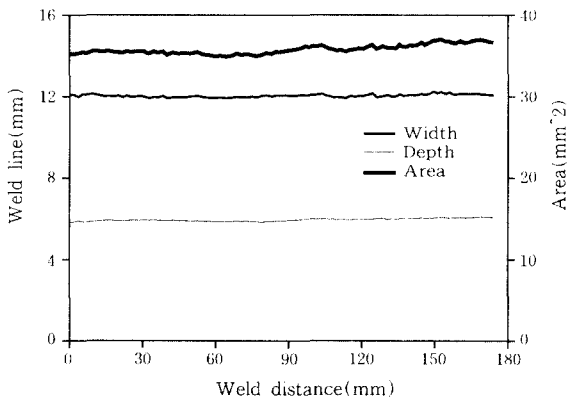


Fig. 6 The experimental results for test weld material

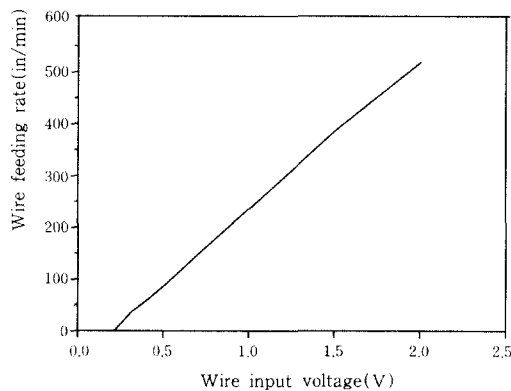
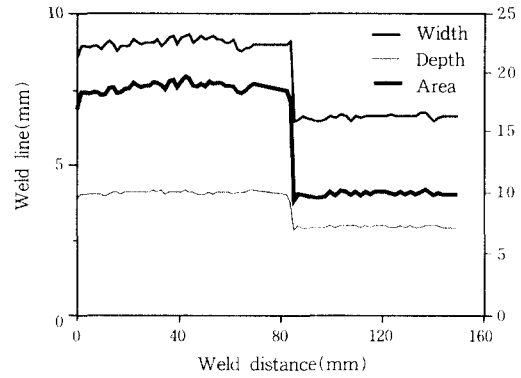
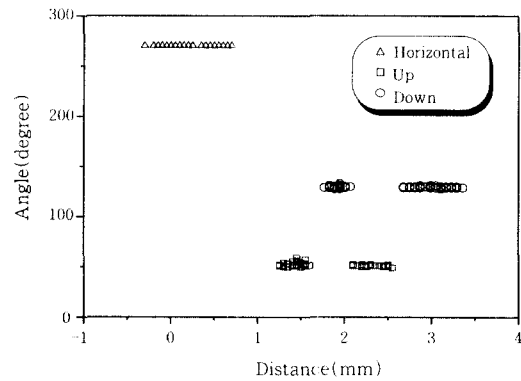


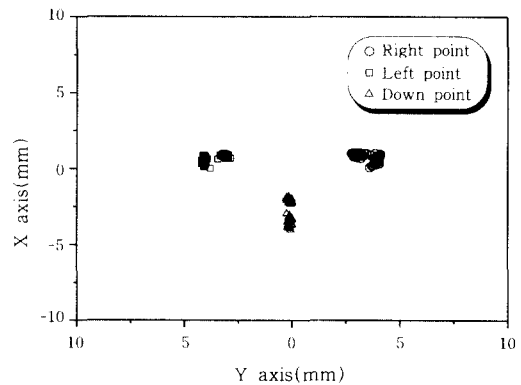
Fig. 7 Wire input voltage vs. wire feeding rate



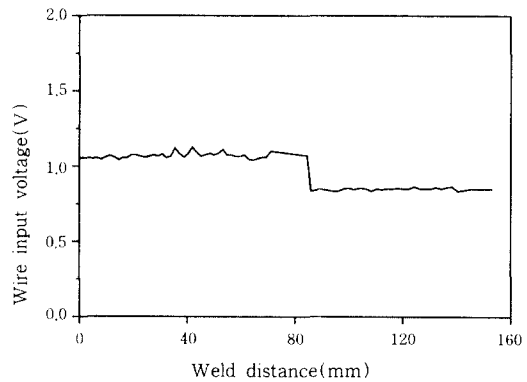
(a) Weld proove(median filter)



(b) Hough parameter



(c) Welding specific points

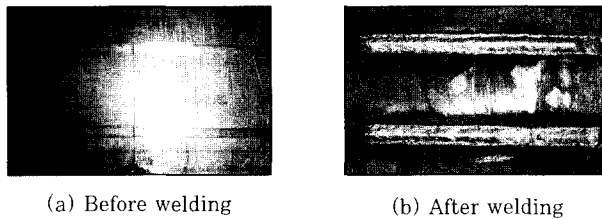


(d) Wire control input voltage

Fig. 8 The experimental results of tracking the welding line with width and depth variation.

도의 변화에 따라 용접전류가 자동으로 보상되는 기능이 있다.

Fig. 8(a)는 영상처리를 이용하여 얻은 용접선의 형상정보에 메디안 필터를 적용한 결과이다. 이것은 영상처리 과정에서 순간적으로 잘못된 형상정보를 제거하기 위함이다. 이동평균을 적용한 것과 비교하여 형상정보의 굴곡이 심하나 급변하는 형상정보를 인식하는 것은 더 우수한 것으로 판단된다. Fig. 8(b)는 적응 Hough 변환하여 추출한 형상정보로 영상의 중심에서 경사면까지 거리의 변화가 두 그룹으로 형성됨을 알 수 있다. 여기에서 수평선의 거리정보 변화는 용접시편의 수평면이 기울어져 있음으로 인해 발생하였다. Fig. 8(c)는 위에서 표현한 영상정보의 특징점을 표현한 것으로 영상의 중심에서 각 직선과의 거리

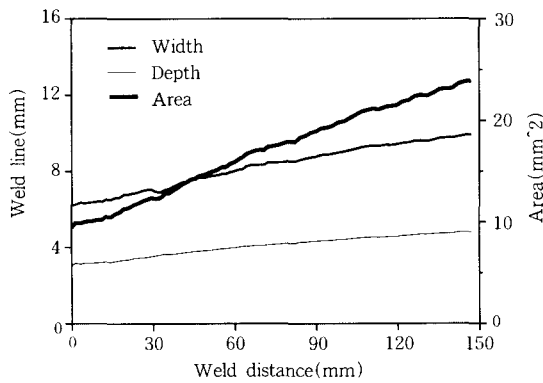


(a) Before welding (b) After welding
Photo. 2 Weld material and results with width and depth variation

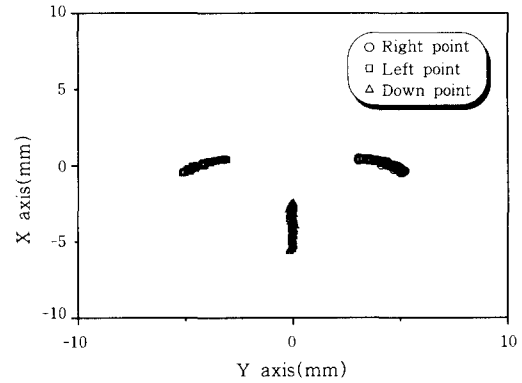
가 두 개의 영역으로 형성되는 것은 두 개의 서로 다른 형상(동일한 경사각과 폭과 깊이가 상이한 V홈의 용접시편)을 가진 시편을 사용하였기 때문이다. Fig. 8(d)는 와이어 송급속도를 제어하기 위한 와이어 송급모터의 제어 입력전압을 표시하였다. Photo. 2는 용접 전, 후의 시편을 보여주고 있으며, 용융 단면적을 고려하여 와이어 송급속도를 제어함으로써 적절한 용접비드가 형성됨을 알 수 있다.

Fig. 9(a)는 영상처리를 이용하여 얻은 용접선의 형상정보에 이동평균 필터를 적용한 결과이다. 이것은 용접시편의 형상정보가 급변하지 않는 경우에 효과적이며 와이어의 송급속도의 변화율을 감소시킴으로써 용접의 안정성을 증가시킬 수 있다. Fig. 9(b)는 적응 Hough 변환하여 추출한 형상정보로 거리정보가 증가하는 것으로부터 용접선의 폭과 깊이가 점차적으로 증가함을 알 수 있고, 수평선의 거리정보가 증가하는 것으로 시편의 수평면이 기울어져 있음을 알 수 있다.

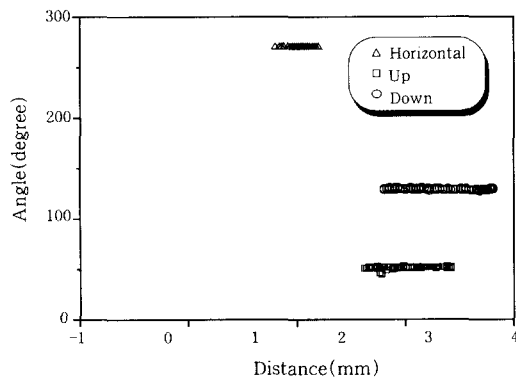
Fig. 9(c)는 영상정보의 특징점을 표현한 것으로 right point와 left point가 x축으로 감소하는 것은 시편의 기울기로 인한 결과이며 y축으로 증가하는 것은 시편의 폭이 증가함으로써 발생하는 결과이다. down point의 변화는 용접선의 깊이정보와 시편의



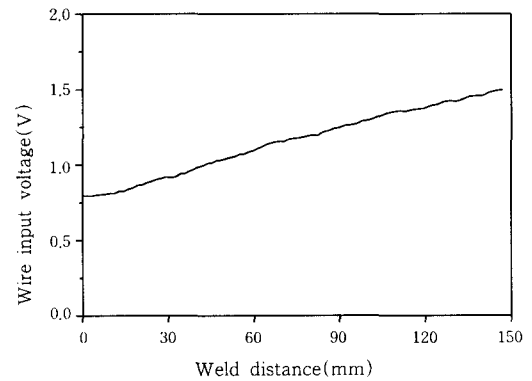
(a) Weld groove(moving average filter)



(c) Welding specific points



(b) Hough parameter

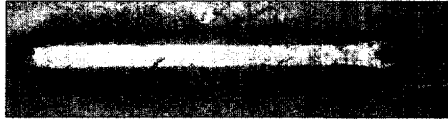


(d) Wire control input voltage

Fig. 9 The experimental results of tracking the welding line with width and depth variation.



(a) Before welding



(b) After welding without wire speed control



(c) After welding with wire speed control

Photo. 3 Weld material and results with width and depth variation.

기울기의 변화로 인해 복합적으로 발생한 것이다. 따라서 용접선의 추적점을 이용하여 용접선의 폭과 깊이 정보를 보상하였다. Fig. 9(d)는 Fig. 9(a)에서 표현된 용접 단면적의 변화를 고려하여 와이어 송급모터의 제어 입력전압을 표시하였다. Photo. 3은 용접 전, 후

상처리속도를 줄임으로써 실시간(On-line) 용접선 추적을 가능하게 하였다. 뿐만 아니라 아크 광, 스패터, 겹반사 등의 용접잡음에 강인한 용접선 추적 결과를 보여주었으며, 측정오차는 폭은 0.25mm, 깊이는 0.15mm 이내에서 측정 가능하였다. 용접시편의 가공오차가 포함된 경우이므로 실제로는 그보다 작은 것으로 판단된다.

용접선의 폭과 깊이가 변화하는 경우의 용접시편은 영상처리 결과로 얻어진 용접 특징점을 이용하여 용접선의 폭과 깊이를 추출함으로써 용접 개선부의 단면적을 구하였고 정해진 용접속도를 고려하여 와이어의 송급속도를 제어하기 위해 와이어 이송모터의 회전속도를 제어함으로써 적절한 용접비드가 형성되었다. 이는 용접시편의 폭과 깊이의 변화가 크지 않은 경우에 대해 용접을 수행하였으므로 일정한 용접속도와 용접전압 하에서 용접전류의 변화가 크기 않은 범위 내에서 수행이 가능하였다. 그러나 향후 다양한 용접시편에 적용하기 위해 적절한 용접변수의 제어를 위한 알고리즘이 수반되어야 할 것이다.

참고 문헌