

화상처리를 이용한 탄산가스아크용접에서의 용접선 자동추적에 관한 연구

A Study of Automatic Seam Tracking in CO₂ Arc Welding
Using the Digital Image Processing

황유철*, 이세현**, 엄기원**

* 정회원, 대우전자(주)

** 정회원, 한양대학교 정밀기계공학과

1. 서 론

용접은 오늘날 가장 널리 사용되는 금속접합기술이며 조선, 자동차, 항공, 플랜트설비 등 산업현장의 여러 분야에서 활용되고 있는 근대산업의 기본적인 생산기술이다. 그러나 용접은 그 작업환경이 열악하고 작업자의 숙련성계 그 품질이 좌우되는 수공업형태로 이루어져 왔으므로, 결함발생의 가능성과 결함의 보수, 수경에 많은 비용이 소비되어왔다. 이에 용접 자동화에 대한 연구가 활발히 진행되어왔으며 그 중에서도 실시간으로 용접공정을 모니터링, 용접부에 대한 정보를 얻어내어 용접선 추적에 응용, 아크용접 품질의 신뢰성 향상과 비용을 저감할 수 있는 용접자동화 장치의 개발이 요구된다.

본 논문의 목적은 시각센서를 이용하여 아크용접시 실시간으로 용접선에 대한 정보를 모니터링, 이를 용접선 추적에 이용하는 시각시스템을 개발하는 것이다. 본 연구에서는 CCD 카메라, 다이오드 레이저, 이미지 그래버, 대역통과필터, 3축 구동테이블 등을 이용하여 용접선 추적 시스템을 구성하였다.

용접선에 직선화된 레이저광을 주사하고 이를 일정 거리, 각도를 둔 CCD카메라가 측정하여 용접선추적에 필요한 홈의 너비와 깊이, 시작점과 중심점, 끝점 등의 정보를 구성하고 이를 추적에 응용하는 알고리즘을 구성하였다.

시각센서를 이용한 지금까지의 연구는 싱글패스(single pass)용접에 국한되어 왔지만, 본 연구에서는 루트패스(root-pass)용접 실시 후의 용접선의 화상정보로부터 다음 패스(pass)의 용접도치의 위치를 결정하여 멀티패스(multi-pass)용접에 응용할 수 있는 알고리즘의 구성과 이를 이용한 용접선 추적시스템의 구성에 그 목적을 두었다.

2. 본 론

2. 1. 실험 장치

전체적인 용접선 추적시스템의 구성을 Fig. 1에 나타내었다.

용접선 추적시스템은 전체 시스템을 관장하는 컴퓨터로 intel사의 80386 칩을 장착한 IBM-386 PC, CO₂ 용접기, 카메라로부터 받아들인 화상을 이진화시켜 8-비트(8-bit) 명암밝기정보(grey level)로 바꾸어주는 화상처리장치(image grabber), CCD카메라(Charge Coupled Device Camera), 다이오드 레이저(laser diode), 3축구동 테이블 등으로 구성되어 있다.

CCD 카메라는 TOSHIBA사의 570(Horizontal)×480(Vertical) 픽셀로 구성된 흑백카메라로 표준 CCTV의 아날로그 비디오 신호를 출력한다. 이 비디오 신호는 화상처리장치에서 A/D 변환하여 화상메모리버퍼에 256레벨의 밝기를 가진 화상데이터로 저장된다. 화상데이터는 D/A 변환하여 이미지 모니터상에 인터라인스캔 방식에 의해 화상을 출력하여 용접선을 실시간으로 모니터링하는 데 사용한다. 화상처리장치는 한 프레임의

처리속도가 1/30초이고 512(Horizontal)×480(Vertical)의 분해능을 가진 8비트 프레임그래버(8-bit frame grabber) Data Translation사의 60Hz DT2853을 사용하였다. 광원으로는 파장 670nm의 적색가시광인 출력 4mW의 다이오드 레이저를 사용하였으며, 점광으로부터 원통형 렌즈를 사용하여 분사각 30 degree의 직선광을 만들어내는 line generator를 사용하였다.

2. 2. 화상 처리

화상처리는 카메라 및 디지털타이저로부터 화상을 받아들여 그로부터 원하는 정보를 얻어내기 위한 처리과정을 말한다. 본 논문에서는 영역분할, 세선화, 노이즈 제거를 위한 필터링(filtering) 등의 화상처리 기법을 사용하였다. 영역분할을 위해서는 내부분산최소법을 사용하였고, 용접선 인식을 위해서는 2차 미분법을 사용하였다. 사용된 2차 미분법은 다음과 같다.

$$s(u) = \frac{v(u+k) + v(u-k) - 2v(u)}{2k}$$

$v(u)$: x좌표가 u일 때의 레이저 띠의 중심선의 y좌표.

2. 3. 용접선 추적

2. 3. 1. 센서 교정

교정이라 함은 2차원의 화상좌표로부터 완전히 정의되어지지 않는 공간상의 3차원 좌표를 나타내기 위해서 레이저 광이 조사된 화상좌표상의 점들과 공간상의 절대좌표 사이에 일대일 관련성을 성립함으로써 한 점에 대한 3차원 정보를 계산해 내는 과정이다. 즉, 화상좌표의 한 점이 공간의 3차원 좌표상에서 어떤 값을 가지는가를 알아내는 것이다.

두 좌표 사이의 관계를 행렬로 나타내면,

$$\begin{bmatrix} s \cdot u \\ s \cdot v \\ s \cdot w \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

여기서 (x, y, z) 는 공간상의 좌표이고 (u, v) 는 화상으로 맺히는 좌표이다. 여기서 레이저 광과 평행하고 모체에 조사된 레이저 띠를 포함하는 제 3의 평면을

$$b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3 \cdot z + b_4 = 0$$

라 하고 와 같이 되고 이 식을 다시 행렬형태(matrix form)로 다시 쓰면,

$$\begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ (a_{11} - ua_{41}) & (a_{12} - ua_{42}) & (a_{13} - ua_{43}) \\ (a_{21} - va_{41}) & (a_{22} - va_{42}) & (a_{23} - va_{43}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -b_4 \\ (ua_{44} - a_{14}) \\ (va_{44} - a_{24}) \end{bmatrix}$$

이 된다. 이를 다시 변환하면,

$$\begin{bmatrix} s \cdot x \\ s \cdot y \\ s \cdot z \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

가 되며, m값은 연산에 의해 구해질 수 있다.

2. 3. 2 추적 알고리즘

고정좌표계를 xoy, 카메라와 함께 이동하는 이동좌표계를 XOY라 하고 좌표를 각각 X' , X'' 로 하고 고정좌표에 대한 이동좌표계의 Y축의 x좌표는 x^c 로 한다. 이렇게 설정하면 용접선 추적은 $x^e(i-n) = x^c(i)$ 로 되는 형태로 제어하게 된다. 토치의 중심위치를 (x^t , y^t), 홈 중심위치의 검출위치를 (x^c , y^c), 토치 중심위치와 홈중심 검출위치의 y방향 거리를 L이라 하고, 검출위치가 용접토치 바로 아래에 까지 이르는 시간을 (L/V)라 하면

$$x^c(i+1) = x^c(i) + \Delta x^c(i)$$

$$x^e(i) = x^c(i) + X''(i)$$

가 된다. 여기서 $\Delta X^c(i)$ 는 i번째 샘플링 시간과 i+1시점간의 카메라의 이동량이며, L/V시간 사이의 주행대를 이동시키는 적절한 이동량은

$$\Delta x^c(i) = x^e(i-n) - x^c(i)$$

가 되며, 위 식에 따라 각 시점에서의 $\Delta x^c(i)$ 를 산출하고 각 $\Delta x^c(i)$ 에 대응하도록 펄스모터(pulse motor)를 구동시킨다.

2. 3. 3 추적오차처리

용접부 근방에 노이즈 요소가 존재할 경우 화상처리상에서 오인식이 생길 수 있다. 샘플링 시간 t_n , t_{n+1} 에서 인식된 용접선의 위치좌표 $a_{n-1}(\xi, \eta)$ 및 $a_n(\xi, \eta)$ 에서 용접선의 방향 θ_{n-1} 을 구한다.

$$\tan \theta_{n-1} = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{\xi_n - \xi_{n-1}}$$

단 θ 는 용접선의 방향과 Y축이 이루는 각도로 한다. 다음 샘플링시간 t_{n+1} 에서 용접선으로 인식한 점을 b_{n+1} 이라고 가정한다. 그리고 그 점의 좌표 및 방향 θ_{n+1} 을 구하고 이전 샘플링 시간의 방향 θ_n 과의 차이의 절대값 $|\Delta \theta_n|$ 을 구해서 이를 미리 설정한 값 $\Delta \theta_c$ 와 비교한다. 만약 $|\Delta \theta_n|$ 이 미리 설정한 값 $\Delta \theta_c$ 보다 큰 값을 가지면 현재의 샘플링시간에 구한 용접선의 좌표 b_{n+1} 은 오인식이라고 판단하여 θ_n 은 무시할 수 있고 용접선의 위치는 그대로 θ_{n-1} 의 방향에 있는 것으로 판단한다. 용접선의 연속성을 가정하면 다음의 주사선상에 있어서 용접선의 위치는 현재의 위치에서 대폭 증가하는 일은 있을 수 없다.

2. 4 실험

2. 4. 1 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 실험에 이용한 장치는 CO₂ 용접기로서 보호가스로는 실제 현장에서 많이 사용하는 100% CO₂가스이며 유량은 15 l/min로 하였다. ϕ 1.2 mm의 솔리드 와이어를 사용하였고 시편은 두께 10mm~16mm의 열간 압연 연강을 사용하였다. 정확한 V형 홈을 나타내기 위해 홈 각도 90° 로 시편을 가공하였다. 용접속도 제어장치는 스테핑 모터(OEM57-83-MOS)와 모터 제어용 보드(AT 6400-AUX) 및 모터 구동장치로 이루어져 있고 시각시스템은 CCD 카메라(IK-541RA)와 대역통과필터(band-pass filter) 및 화상처리장치(DT2853)으로 이루어져 있다.

시각센서의 성능을 평가, 실험하기 위해서 한 축 지그에 놓여진 시편을 움직이면서 센서의 추적성능을 실험하였다. 추적 성능을 확인하기 위하여 시편과 용접선을 Y축과 15° 정도 기울어지게 장치하고 실험하였다. Fig. 2는 카메라로부터 화상정보를 받아들여 이진화시킨 홈의 정보를 나타낸다.

2. 4. 2 실험결과

Fig. 3과 Fig. 4는 각 시편에 대해 용접선 추적 실험을 실시한 결과를 나타낸다. 그림으로부터 화상처리에 의해 구한 홈에 대한 정보는 영상좌표의 1 분해능이내에서 변화하는 것을 알 수 있다. Fig. 3의 추적 결과가 Fig. 4에 나타난 추적 결과보다 직선에 가깝게 나타난 것으로 미루어 보아 루트패스의 경우가 두번째 패스의 경우보다 추적 성능이 좋다는 것을 알 수 있다.

용접선 추적 실험시 용접전류는 150A부터 최고 250A까지 변화시켰으며 이에 따른 용접 진행 속도도 5mm/s에서 최고 10mm/s까지 변화시켰다.

영상좌표의 한 화소가 실제 차지하는 크기, 즉 시야치수는 u좌표는 0.01mm, v좌표는 0.12mm이다. u좌표와 v좌표의 시야치수가 다르게 나타나는 이유는 CCD 카메라와 화상처리 장치의 화소들의 형상이 정사각형이 아니기 때문이다. 샘플링 시간은 IBM-PC 386 급에서 0.30초에서 0.38초이었다. 진행속도를 5mm/sec라고 가정할 때 각 샘플링 시간내에 진행되는 이동거리는 1.5mm~1.9mm가 된다.

3. 결론

- 1> 화상처리장치와 컴퓨터를 이용하여 용접자동화를 위한 시각센서 시스템을 구성하였다.
- 2> 2차미분법을 이용한 알고리즘으로 V 형 홈의 시작점 및 끝점, 홈의 중심점 등을 정확히 찾아낼 수 있었다.
- 3> CO₂ 용접 과정 중 CCD카메라와 대역통과필터를 함께 사용하여 강한 아크광, 용융지팡 및 스파터 등의 존재하에서도 홈의 형상을 인식할 수 있었다.
- 4> 루트패스의 용접 실시 후에 홈의 모양과 비드의 모양을 함께 센싱함으로써 두번째 패스의 토치위치를 결정할 수 있었다.

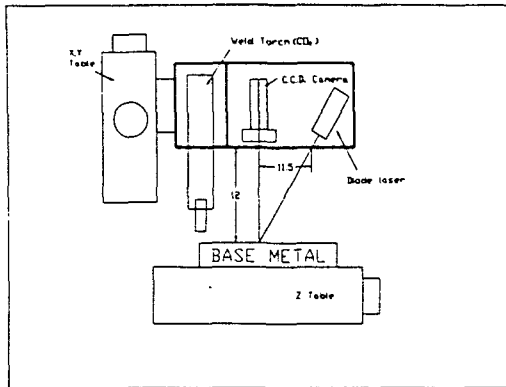


Fig. 1 Configuration of Vision System.

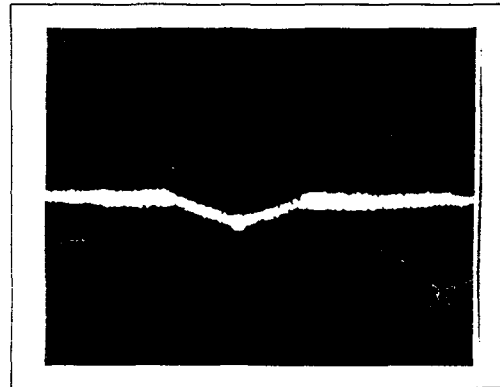


Fig. 2 Raw image in first pass.

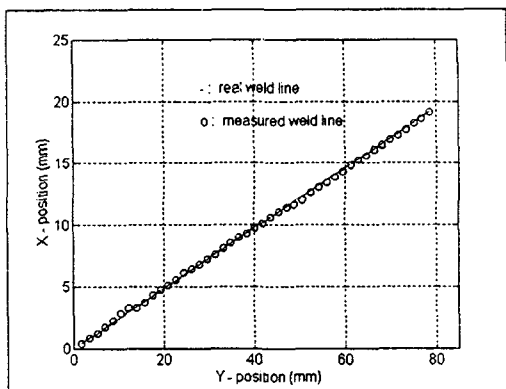


Fig. 3 Position of groove center of 90° butt joint.

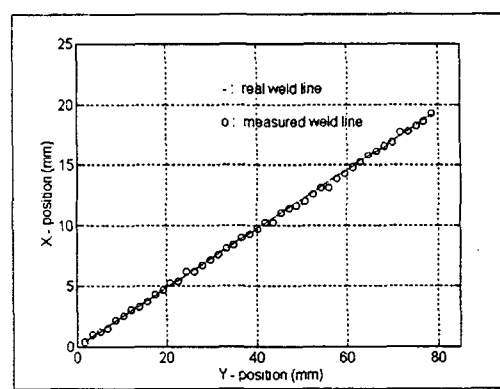


Fig. 4 Position of torch in second pass.

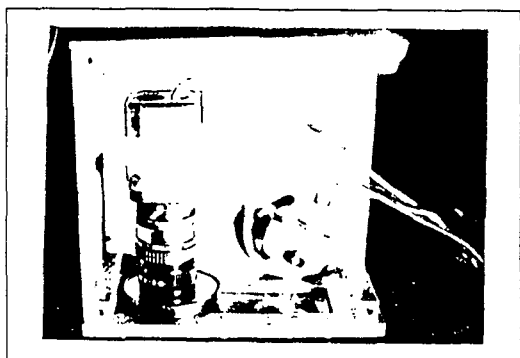


Photo. 2 Configuration of the vision sensor.

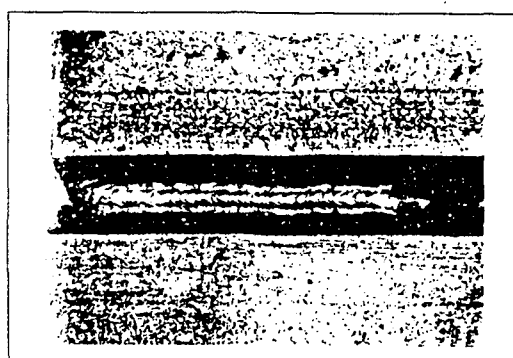


Photo.3 Result of seam tracking.