

박판의 탄산가스 아크용접에서 화상처리에 의한 용접선 자동추적 및 이면비드제어에 관한 연구

A Study of Seam Tracking and Back Bead Control in CO₂ Arc Welding of Thin Sheet Metal Using the Digital Image Processing

정남훈*, 이세현**, 엄기원**

* 학생회원, 한양대학교 정밀기계공학과

** 정회원, 한양대학교 정밀기계공학과

1. 서 론

용접 공정의 자동화에는 용접선의 자동 추적과 용접 변수의 적응 제어가 요구되며, 이를 위해 용접선과 용접 변수의 상태를 감지하여 이를 제어부에 전달하는 센서부가 필요하다. 아크 용접용 센서는 접촉식과 비접촉식으로 크게 나눌 수 있다. 접촉식 센서는 구조가 비교적 간단하나 용접선의 모양과 홈의 크기에 따라 접촉부의 모양과 크기를 달리해야 하고, 정확도가 비교적 낮으며 모재의 표면 상태가 양호해야 한다. 비접촉식 센서는 복잡한 하드웨어 구조를 가지고 있고, 아크광, 스파터 등에 영향을 받는다. 박판의 맞대기 용접시 센서의 특성상 접촉식 센서와 아크 센서는 적용이 어려우므로 시각 센서를 사용하여 본 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 박판의 맞대기 용접의 경우에, 시각 센서를 사용하여 용접선에 대한 정보를 검출하고 그것을 이용하여 효과적인 용접선 추적과 더불어 용접의 품질을 평가하는 중요한 요인이라 할 수 있는 이면 비드를 용접 속도 제어를 통해 일정하게 유지하는 시스템을 구성하였다.

2. 본 론

2. 1. 실험 장치

시스템은 화상 처리 시스템과 용접선 추적 및 이면 비드 제어 시스템으로 크게 구분할 수 있다. 화상 처리 시스템은 intel사의 80486 칩을 장착한 IBM-486 PC, 다이오드 레이저(diode laser), CCD카메라(Charge Coupled Device Camera), 카메라로부터 받아들인 화상을 2진화시켜 8-bit의 명암 밝기 정보(grey level)로 바꾸어 주는 화상 처리 장치(image grabber)로 구성되어 있다. 광원으로는 파장 670nm, 출력 4mW의 적색 가시광인 다이오드 레이저를 사용하였고, 점광으로부터 원통형 렌즈(cylindrical lens)를 사용하여 구조화된 빛(structured light)을 만들어 내었다. CCD카메라는 570(horizontal)×480(vertical)픽셀로 구성된 TOSHIBA사의 흑백 카메라로 표준 CCTV의 아날로그 비디오 신호를 출력한다. 이 비디오 신호는 화상 처리장치에서 A/D변환하여 화상 메모리 버퍼에 256 level의 밝기를 가진 화상 데이터로 저장된다. 화상 데이터는 D/A 변환하여 모니터 상에 인터라인스캔 방식으로 화상을 출력하여 용접선을 실시간으로 모니터링하는데 사용된다. 화상 처리장치로 512(horizontal)×480(vertical)의 분해능을 가진 Data Translation사의 DT2853을 사용하였다. 이 화상 처리장치는 8-bit 프레임 그래버(frame grabber)로 한 프레임의 처리 속도가 1/30초이다. 또한, 본 화상 처리 시스템에는 실제 아크용접시 발생하는 아크광, 스파터, 매연 등에 의한 노이즈를 줄이기 위해서 특정 파장 대역만을 통과시키는 대역 통과 필터(band pass filter)를 카메라의 렌즈 앞 부분에 설치하였다. 이 대역 통과 필터는 중심 파장이 670 nm이고 반치폭이 ±5nm이다. Fig. 1은 화상 처리 장치를 나타내고 있다. 여기서, 다이오드 레이저는 30°의 각도를 가지고 모재에 조사되는데 이는 각종 장치의 형상, 치수와 장치의 배

치상 그렇게 하였다. 카메라 렌즈의 중심축 및 레이저 투광기의 중심축은 모재의 법선과 용접선을 포함하는 평면상에 있게 한다. 그리고, 모재와 카메라의 거리는 약 200mm, 카메라와 레이저의 거리는 125mm가 되게 설치하였다.

2. 2. 화상 처리

카메라에 잡힌 화상을 필요한 데이터로 변환하여 주는 작업이다. 본 연구에서는 영역 분할, 세선화, 2차 미분법을 사용하였다.

영역 분할은 카메라로부터 받은 화상을 필요한 정보와 그렇지 않은 정보로 분리하는 작업이다. 즉, 영역 분할을 통하여 데이터로 사용하게 될 픽셀은 grey level의 최대 밝기인 255로 나머지 픽셀은 0으로 설정해 주는 작업이다. 박판의 맞대기 용접에서는 미세한 루트 간격을 정밀하게 찾아내는 영역 분할 방법이 필요하다. 레이저를 원통형 굴절 렌즈를 통하게 하면 점광이었던 레이저 빛이 구조화된 빛(structured light)으로 되어 모재의 표면에 비추어지게 된다. 이 때 레이저 빛은 길이 100~150mm, 두께 0.8~1.5mm의 기둥 모양을 띄게 된다. 토치의 약 58mm전방에 레이저를 비추고 그 부분을 카메라로 잡은 후에 카메라에 잡힌 화상 중 루트 간격이 있을 것으로 예상되는 부분에 64(pixel)×64(pixel)크기의 윈도우를 잡는다. 그리고, 윈도우 내부에 있는 레이저 띠의 1/4과 3/4되는 부분을 중심으로 레이저 띠에 직각인 방향으로 기둥 모양의 영역을 선택한다. 선택한 두 영역의 내부를 레이저 띠 두께(8pixel)의 작은 윈도우를 잡아 기둥 모양의 가장 위쪽 부분으로부터 한 픽셀씩 아래쪽으로 옮겨가며 각 작은 윈도우 내부의 빛의 강도를 더하여 그 중 최대 밝기를 나타내는 윈도우를 찾아낸다. Fig. 2는 작은 윈도우를 잡는 방법에 대해서 나타내고 있다. 두 영역에서 각각 최대 밝기를 나타내는 윈도우의 밝기의 평균을 경계값(threshold value)으로 잡는다. 이러한 과정을 통하여 얻은 경계값을 가지고 영역 분할을 실시한다. 이러한 영역 분할 방법은 레이저 띠에 대한 정보(레이저의 두께, 빛의 강도)를 미리 알고 있을 경우 아주 유용한 방법이다. 영역 분할을 통하여 레이저 띠 부분과 모재 부분이 명확하게 구분되어졌다. 다음은 경계값(threshold value)을 구하는 식을 나타낸다. 여기서, 128은 두 개의 가장 밝은 영역의 픽셀의 개수이고, K는 레이저 띠를 구분하기 위한 상수값이다.

$$Tg = \frac{Max(W_L(i)) + Max(W_R(i))}{128} - K$$

$W_L(i)$: sum of grey level in the left small window

$W_R(i)$: sum of grey level in the right small window

세선화란, 영역 분할을 통하여 얻은 정보를 보다 간결하고 카메라에 잡힌 화상을 대표할 수 있는 정보로 단순화시키는 작업을 말한다. 본 연구에서는 윈도우내의 각 column을 각각 위쪽과 아래쪽에서 그 밝기값을 읽어 들여 최초로 최대 밝기가 나오는 row의 평균을 그 column의 대표 값으로 인식하는 방법을 사용하였다.

영역 분할과 세선화를 마친 화상에서 용접선에 관한 수치적인 정보를 얻어내기 위해 2차 미분법을 사용하여 루트 간격과 용접선에 대한 정보를 구하였다. 수식은 다음 식과 같다.

$$d(i) = \frac{v(i-k) + v(i+k) - 2*v(i)}{(2*k)}$$

여기서, 2차 미분값 d(i)는 기울기의 변화량을 나타내며, 직선일 경우에는 모두 0이 된다.

그리고, $v(i)$ 는 x 좌표가 i 일때 레이저 락 중심선의 y 좌표를 나타낸다.

Fig. 3은 2차 미분한 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 기울기가 급변하는 네 점을 찾을 수 있는데, 그 중 중심의 두 점을 루트 간격의 시작점으로 인정하는 것이다. 그리고, 두 점의 중점을 추적해야 할 용접선으로 인식한다.

2. 3. 용접선 추적

본 연구에 사용된 실험 장치는 CO₂ 용접기로서 보호 가스는 100% CO₂ 가스를 사용하였고, 유량은 15 l/min로 하였다. $\phi 1.2\text{mm}$ 의 솔리드 와이어를 사용하였고, 용접 전류는 130A, 전압은 26V, 용접 속도는 8mm/sec, 시편은 두께 3.2mm의 열간 압연 연강(SS41)을 사용하였다. 0.7mm의 일정한 루트 간격을 가지는 모재를 가접한 뒤 기준선에 약 10° 정도 기울어지게 두고 용접을 진행하였다. 샘플링 시간은 IBM-PC 486급에서 0.30초~0.40초이었다. 매 샘플링 동안 토치의 이동 거리는 2.4mm~3.2mm가 된다. Fig. 4은 실험시 카메라 중심으로부터 추적해야 할 용접선까지의 거리를 나타내고 있다.

2. 4. 박판 용접의 이면 비드 제어

본 실험에 사용한 용접기는 정전압 특성을 가지므로 전류값의 설정이 중요하다. 전류값의 설정에 따라 전압값이 설정되고, 그 전압값에 따라 wire 송급 속도를 결정하는 모터에 걸리는 전압값이 결정되기 때문이다.

전류값의 설정을 위해 다음과 같은 실험을 실시하였다. 먼저, 두 개의 시편을 맞대고 한 쪽은 루트 간격이 없고 다른 한 쪽은 루트 간격이 1.2mm가 되게 한 후, 용접에 의한 변형을 막기 위해 시편의 양끝단을 가접한다. 가접을 마친 시편을 용접 속도는 8mm/sec로 일정하게 두고, 토치에서 모재까지의 거리는 18mm로 일정하게 하고, 용접 전류를 100~170A 사이를 순차적으로 10A간격으로 증가시키며 용접을 실시하였다. 실험 결과, 130A사이에서 가장 양호한 비드의 모습을 볼 수 있었기 때문에 본 실험에서는 전류를 130A로 고정하고 나머지 실험을 계속하였다. 이 때, 전압은 26V를 나타내었다.

실험을 통하여 획득한 전류값(130A)으로 설정하고 토치에서 모재까지의 거리를 일정(18mm)하게 한 상태에서 0, 0.5, 1.0mm의 일정한 루트 간격이 존재하는 시편을 용접할 때 이면 비드가 일정하게 나오는 속도에 대한 데이터를 얻기 위한 실험을 하였다. 실험에서 나타난 점은 속도가 낮을수록 입열량이 많아지므로 단위 면적당 용융 금속의 양이 많아지게 되고 모재의 표면 장력이 작게 되므로 처짐이 발생하게 되어 이면 비드가 높아지고 마침내 용락이 발생하게 된다. 또한, 루트 간격이 넓어짐에 따라 용접 속도를 높이게 되면 단위 면적당 용융 금속 양이 줄어들게 되어 용융 금속의 자중과 아크력이 모재 이면의 표면 장력과 평형을 이루어 이면 비드의 폭과 높이가 일정한 용접을 행할 수 있게 된다. 실험 결과를 Table 1에 나타내었다. 실험 결과를 보면, 루트 간격이 0mm인 경우에는 5mm/sec, 0.5mm인 경우는 7mm/sec, 1.0mm인 경우는 8~9mm/sec에서 양호한 이면 비드를 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 이 결과로 임의의 루트 간격에서 적절한 이면 비드를 갖는 속도를 2차 방정식으로 근사화하면 $y = -x^2 + 4.5x + 5$ (y : 용접 속도, x : 루트 간격)로 나타나며, Fig. 5에 그 결과를 그래프로 나타내었다. 이 결과를 이용하여 이면 비드를 일정하게 하는 제어 시스템을 구축하였다.

이면 비드 제어를 위해 다음과 같은 실험을 하였다. 탄산가스 아크용접기에, 보호 가스는 100% CO₂ 가스, 유량은 15 l/min와 $\phi 1.2\text{mm}$ 의 솔리드 와이어를 사용하였다. 35mm×150mm의 크기를 가지는 두 개의 시편을 한 쪽 부분은 루트 간격이 없고, 다른 부분은 1.2mm의 루트 간격을 가지도록 Fig. 6과 같이 지그에 고정시킨다. 이러한 시편을 루트 간격이 없는 부분에서 시작하여 용접을 시작하였다. Fig. 7은 실험시 용접 속도의 변화를 나타낸다. 그림을 통하여 루트 간격이 커짐에 따라 용접 속도가 점점 빨라지고 있음을 알 수 있다. Photo. 1은

속도 제어를 통하여 용접된 용접부의 이면 비드의 사진이다. 이면비드가 폭이 약 3.5mm, 높이가 약 1.5mm로 거의 일정하게 나오고 있음을 볼 수 있다.

Photo. 2와 Photo. 3은 동일한 조건에서 용접 속도를 각각 5mm/sec와 8mm/sec로 일정하게 하고 용접을 한 경우의 이면 비드의 사진이다. 5mm/sec의 용접 속도일 때는 과도한 용접 입열로 용락이 발생함을 볼 수 있고, 8mm/sec의 용접 속도에서는 루트 간격이 좁은 부분에서 완전 용입(full penetration)이 일어나지 않았음을 볼 수 있다.

3. 결 론

1> 시각 센서를 이용하여 박판의 탄산가스 아크용접시 용접선을 자동 추적하는 시스템을 구성하였다.

2> 실험을 통하여 루트 간격이 0, 0.5, 1.0mm일 때의 이면 비드를 일정하게 하는 용접 속도 데이터를 얻을 수 있었다.

3> 2>에서 얻은 데이터와 시각 센서로 검출한 루트 간격을 이용하여 탄산가스 아크용접 실시간으로 용접 속도를 제어하여 일정한 이면 비드를 가지는 용접을 수행할 수 있었다.

| velocity (mm/sec) \ root gap (mm) | 0 | 0.5 | 1.0 |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 4 | burn off | burn off | burn off |
| 5 | good | burn off | burn off |
| 6 | no penetration | high | too high |
| 7 | no penetration | good | high |
| 8 | no penetration | low | good |
| 9 | no penetration | no penetration | good |
| 10 | no penetration | no penetration | low |
| 11 | no penetration | no penetration | low |
| 12 | nonpenetration | no penetration | no penetration |

Table 1. 용접 실험 결과 < 130A, 26V >



Photo. 1 Speed-controlled specimen

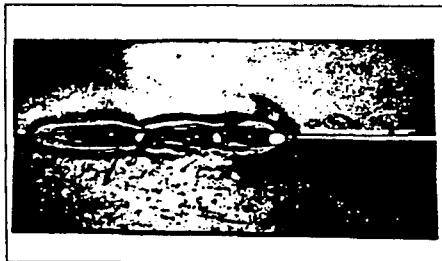


Photo.2 Specimen with a constant speed (5mm/sec)



Photo.3 Specimen with a constant speed (8mm/sec)

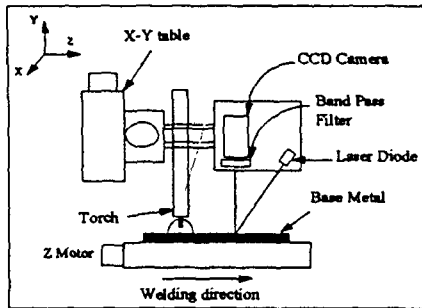


Fig. 1 Configuration of vision sensor

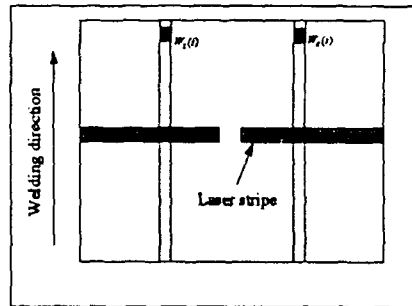


Fig. 2 Principle of detecting the laser stripe

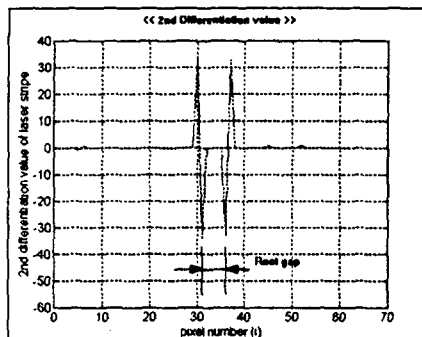


Fig. 3 2nd Differentiation value

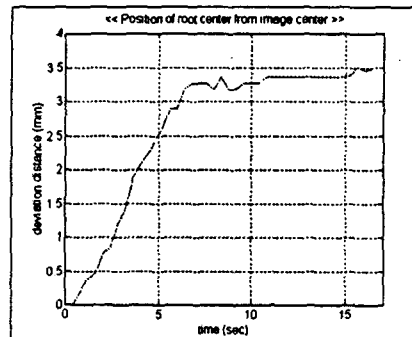


Fig. 4 Position of Root Center from Image Center

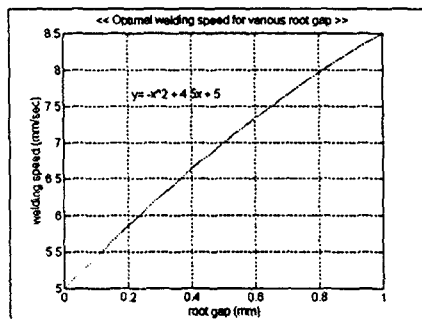


Fig. 5 Welding speed for various root gap size

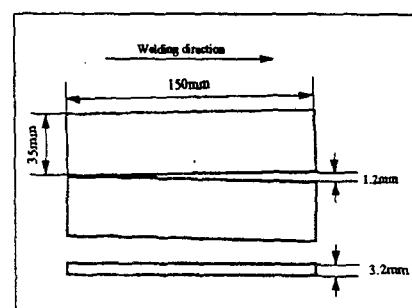


Fig. 6 Specimen

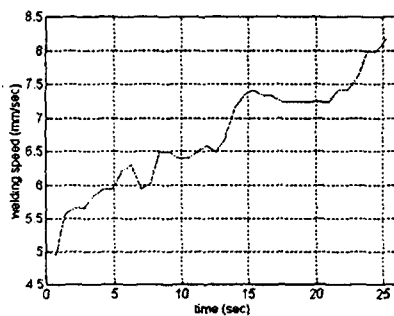


Fig. 7 Welding Speed Change