

研究論文

大韓熔接學會誌
第9卷第2號 1991年 6月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 9, No. 2, Jun., 1991

접치기이음에서 용접선 시각 추적 시스템에 관한 연구

신정식* · 김재웅** · 나석주** · 최칠룡***

A Study on Vision Seam Tracking System at Lap Joints

J.S. Sin*, J.W. Kim*, S.J. Na**, C.Y. Choi***

Key Words : Weld Seam Tracking(용접선 추적), Lap Joint(접치기 이음), Vision Sensor(시각 센서), Short Circuit Mode(단락 모드), Structured Light(구조화된 빛), Image Processing(영상 처리), Data Regeneration(데이터 재생성)

Abstract

The main subject of this study is the construction of an automatic welding system that has the capability to trace the weld seam in GMA welding of lap joints.

The system was composed of a vision sensor, moving torch, and personal computer(IBM-PC). In the developed vision sensor, an image was captured by the frame grabber at the time of short circuit during welding. The threshold method was adopted for determining the structured light and the central difference method for detecting the weld joint. And the seam tracing of the torch was performed by using the data regeneration algorithm. In this system using the image at the time of short circuit, weld seam tracking was performed without any relations to arc light and spatters.

1. 서 론

아크 용접공정은 그 작업 환경이 매우 열악할 뿐 아니라 용접사의 기능에 따라 품질의 균일성이 많은 차이를 보일 수 있는 민감한 작업이므로, 용접공정의 기계화를 통하여 이 문제의 해결 및 생산성 향상을 모색

해 왔다. 그러나 용접공정의 단순 기계화는 다양한 용접선 모양에 대하여 쉽게 적용시킬 수 없을 뿐 아니라 연속작업으로 인한 고정지그로부터의 오차는 보정할 수 없다. 더우기 접치기이음(lap joint)의 경우는 그 적용 대상이 주로 두께 1-2mm의 박판이므로, 아크열에 의한 용접중 모재의 열변형은 맞대기 이음(butt

* 정회원, 삼성전자(주)

** 정회원, 한국과학기술원 생산공학과

*** 정회원, 한국용접기술연구소합

joint)이나 필릿접합부 (fillet joint)의 경우보다 커서 열변형에 의한 경로변화 때문에 반드시 보정이 필요하다. 따라서 용접선 변화에 따른 정보를 용접공정중 실시간 측정할 수 있는 센서가 용접공정의 자동화에 요구된다. 이 센서들 중에는 아크센서, 시각센서, 초음파센서, 와류센서 등이 있으나, 널리 연구되며 실용화 단계에 있는 것은 팁-모재간의 거리변화에 따른 전류 또는 전압 변화를 모델링하여 위치정보로 이용하는 아크센서와 카메라를 통해 받아들인 영상을 영상 처리함으로써 토치(torch)가 이동해야할 위치를 찾는 시각센서이다.

아크센서를 이용한 용접자동화 장치는 센서의 구성이 간단하여 가격이 저렴하다는 장점이 있으며 후판의 맞대기 이음 및 필릿 접합부와 같이 위빙 (weaving)이 가능한 개선 (groove)을 형성하는 경우 잘 적용될 수 있으나 박판의 겹치기이음과 같은 위빙이 필요없는 경우에는 적용할 수 없는 문제가 있다.

시각센서를 사용하여 용접자동화 장치를 구성하는 경우는 2차원 영상으로 부터 3차원 (X,Y,Z)정보를 얻기 위하여 일반적으로 He-Ne 레이저 (laser) 또는 다이오드 (diode)레이저를 구조화된 빛 (structured light)으로 쓰고 있으며¹⁻⁴⁾, 레이저를 점광원으로 부터 선 (stripe)형상의 빛으로 바꾸기 위해 원통형 렌즈 (cylindrical lens) 또는 동기 주사 형 (synchronized scanning type)이 이용되고 있다⁵⁾. 시각센서는 또한 추적에 대한 정보 뿐만 아니라, 조인트 (joint)의 용착 부피 (fill volume), 루트갭 (root gap) 등의 기하학적 형상 정보도 감지함으로써 공정제어를 위한 센서로서의 이용에도 연구된 바 있다³⁾.

겹치기이음은 자동차의 기어 박스, 파이프 이음 등의 용접구조물에 널리 쓰이며 모재가 박판일 경우 위빙을 하지 않으며 금속 이행 (metal transfer)은 150-200A 범위의 단락 모드 (short circuit mode) 또는 펄스드 아크 모드 (pulsed arc mode)를 이용한다. 따라서 박판의 겹치기 이음에 대하여, 용접선 추적장치를 이용해 자동화할 경우 아크센서는 전술한 바와 같이 적용이 불가능하며 시각센서를 적용할 경우 분해능을 0.5mm까지도 얻을 수 있으므로 적용이 가능하다⁴⁾.

박판의 겹치기 이음 용접에서 용접선을 자동 추적하기 위한 용접 자동화 시스템을 용접선 추적을 위한 센서부, 토치를 이동시키는 구동부로 구성하였으며 이를 통제하기 위하여 퍼스널 컴퓨터를 사용하였다. 본 연

구에서는 용접중 카메라를 아크광과 스패터로부터 가리지 않고도 용접선 추적이 가능하도록 만들기 위해, 단락모드 주기중의 시간에 따른 스패터의 영향을 실험적으로 분석한 결과 전극봉과 모재가 단락되는 시점에 그 영향이 가장 적은 것을 확인하였으며, 이러한 결과를 이용하고자 용접중 단락 (short circuit)를 감지하기 위한 회로와 단락 순간에 개선의 영상을 얻기위한 인터럽트 (interrupt) 회로를 제작하여 적용하였다.

2. 용접선 추적을 위한 시스템 구성

2.1. 하드웨어 구성

용접공정중 용접선 추적을 위한 시스템의 주요 구성은 용접기, 용접용 4축-테이블 (X,Y,Z,T), CCD (Charge Coupled Device) 카메라, 영상 처리용 보드 (image processing board), 레이저, 광섬유 (optical fiber), 원통형렌즈 등 이다 (Fig. 1). 4축-용접테이블 (X.Y.Z.T)의 구동장치는 8253 타이머 칩 (timer chip)을 이용한 펄스 제너레이터 (pulse generater)로 구동되는 스텝핑 모터 (stepping motor)이며, CCD카메라는 510(H)×492(V)의 픽셀 (pixel)로 이루어진 흑백 카메라이고 영상 처리용 보드는 매 1/30초 마다 영상을 받아 들일 수 있는 512(H)×512(V)픽셀의 8비트 프레임 버퍼 (frame buffer)이다. 레이저는 파장이 632nm의 적색 가시광으로 10mW He-Ne 레이저이며, 그 빛은 현미경 대물렌즈를 이용한 집속장치를 통하여 광섬유에 전달된다. 광섬유를 통과한 빛은 초기의 입사각을 그대로 유지하며 방사하는데 원통형렌즈를 통과할 경우 렌즈의 촛점거리에서 렌즈 길이방향의 선형광으로 변화 되어 용접선상을 비춘다. 이때 용접선상에서 형성된 구조화된 광의 영상을 카메라로 얻어 용접 토치가 이동해야할 용접선의 정보를 인식한다.

2.2. 영상처리와 추적 알고리즘

2.2.1. 영역분할 (Image Segmentation)

영역분할이라 함은 영상에서 배경과 물체, 또는 물체와 물체를 구별하기 위한 작업이다. 용접경로 추적을 위해 받아들이는 영상은 모재, 아크, 스패터, 레이저로 이루어지며, 여기서는 이들중 구조화된 빛인 레이저만을 구별해 내는 것이 그 목표이다.

영역분할의 방법은 크게 boundary detection과

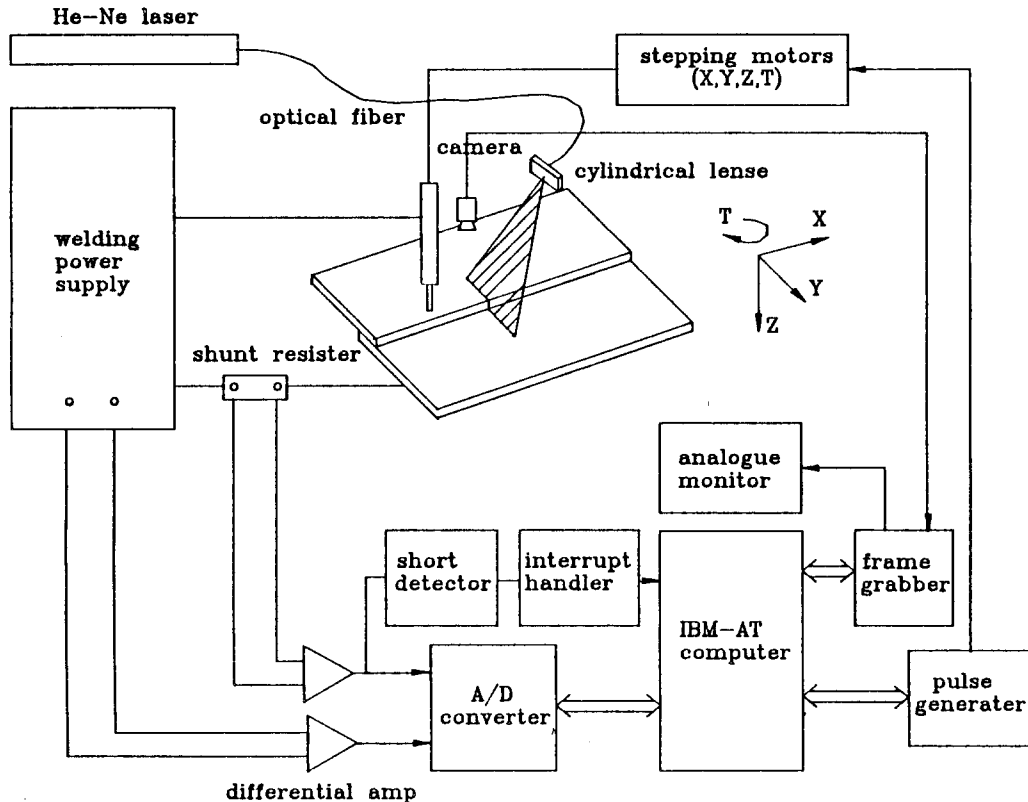


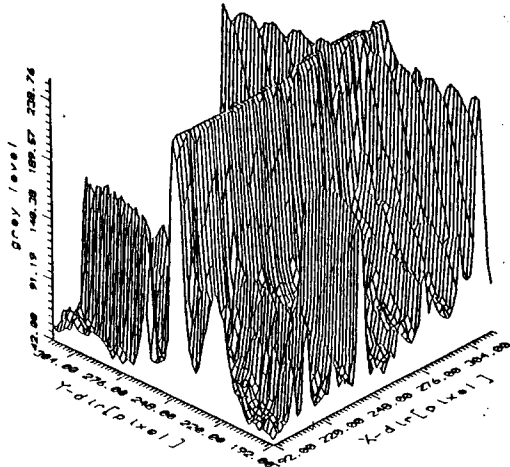
Fig. 1 Schematic diagram of vision seam tracking system

region growing으로 나누어지나 여기에 해당하는 대부분의 방법들은 그 알고리즘이 복잡한 것이 많고 처리하는데 오랜 시간이 소요되어 용접공정중 실시간으로 정보를 얻는 방법으로는 부적당하다⁶⁾. 배경으로부터 레이저 선(stripe)을 빠른 시간내에 구분해내기 위해서는 이미 알고있는 레이저 강도, 레이저 선 두께 등의 정보를 적절히 활용하는 것이 효과적이다. 원통형 렌즈로부터 형성된 구조화된 빛은 대략 길이 50 mm, 두께 약 2mm로서 아크광이 없을 때 카메라가 받은 용접선의 영상에 대한 그레이 레벨 히스토그램(grey-level histogram)은 레이저와 배경의 영역이 뚜렷하므로 그레이 레벨의 정보만으로 쉽게 레이저의 영역이 구분된다. 그러나 박판의 겹치기이음은 입열량이 작아야하는 관계로 용접전류가 낮은 범위인 단락모드에서 용접이 행해지는데, 이때 발생하는 아크광과 스패터는 구조화된 레이저 빛의 영상을 그레이 레벨의 정보만으로 쉽게 구별하기 어렵게 만들기 때문에 좋은 영상을 얻기 힘들다(Fig. 2).

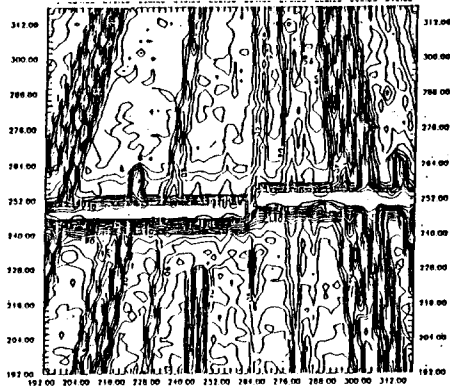
아크광은 그 파장의 범위가 40Å에서 13000Å을 넘

는 파장까지 넓은 영역을 가지며 그 상대 강도(relative intensity)는 용접하는 방법과 용접변수의 함수이긴 하지만 가시광선 영역인 4000Å-7500Å에서 자장 높다⁷⁾. 카메라가 받는 영상에서 아크광을 차단하고 레이저만을 통과시키기 위한 방법으로 레이저의 파장에 해당하는 빛만을 통과 시키는 대역 통과 필터(band pass filter)를 적용하면 아크광이 미치는 영향은 줄일 수 있으나, 스패터는 적색의 빛을 띠어 그 파장이 레이저와 비슷하므로 쉽게 대역 통과 필터를 통과하여 그레이 레벨만으로는 레이저와 스패터를 구분하기가 어렵다. 따라서 스패터가 레이저로 잘못 인식될 수 있는 여지를 최소로 하기 위해서는 용접중 스패터의 영향이 가장 적은 때에 영상을 받아들이는 것이 바람직하다.

단락모드에서는 용접봉에서 용융된 금속이 모재의 용융지와 주기적인 단락을 형성하므로써 아크의 생성과 소멸이 반복되는데, 스패터는 아크가 발생되는 용접봉과 모재사이에서 형성된 단락이 떨어질 때 대부분 발생한다⁸⁾. 따라서 단락모드 주기중의 시각에 따라 영



(a) 3-D. grey-level surface



(b) Grey-level contour map

Fig. 2 Image at arbitray time in short circuit mode

상에 미치는 스패터의 영향은 변할 것으로 예상하여 다음과 같은 실험을 하였다. 용접공정중에 전극봉과 모재가 단락되는 순간을 찾기위해 저역통과필터 (low pass filter), 미분기, 비교기 (comparator)를 조합한 회로를 구성하여 용접전류 신호로부터 단락되는 순간을 찾을 수 있었고 단락되는 순간에 영상을 얻을 수 있도록 단락신호가 스냅 (snap)영상 입력의 트리거 (trigger)신호가 되는 인터럽트회로를 구성하여 적용하였다. 용접중 구조화된 레이저 빛이 없는 상태에서 단락신호 발생시각 및 그 이후 시각에서 각각 15회의 스냅영상을 얻은 후 그레이 레벨이 임의의 문턱값 (threshold)을 넘는 픽셀의 평균 갯수를 Fig. 3에 나

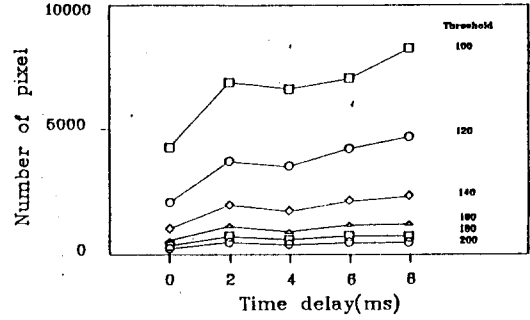
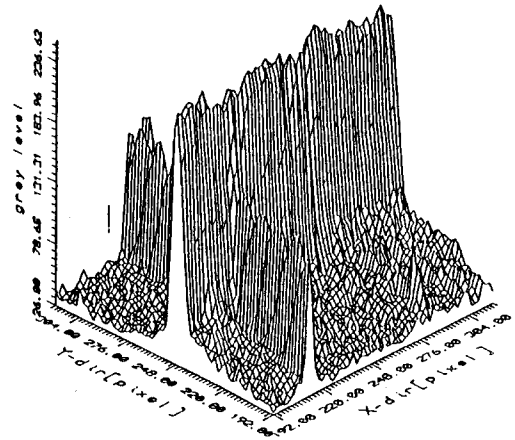
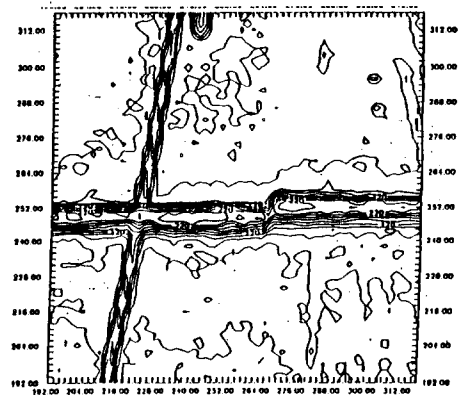


Fig. 3 Quantities of spatter from the time of short circuit



(a) 3-D. grey-level surface



(b) Grey level contour map

Fig. 4 Image at the time of short circuit

타내었다. Fig. 2로 부터 그레이 레벨이 약 100이상인 영상은 스패터에 의한 것으로 추정되므로, 해당되는 픽셀의 수는 스패터에 의한 빛의 양을 대변할 수 있다. Fig. 3에서 단락신호 발생시 즉, 전극봉이 모재와 단락되는 초기시점에 채취된 영상에 스패터의 영향이 가장 작음을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 단락신호가 발생된 순간에 얻은 영상은 Fig. 4와 같으며 Fig. 2에 비해 스패터의 영향이 많이 줄어들었음을 볼 수 있다.

단락시 얻은 영상에서 레이저 선을 구별하는 방법으로 레이저 강도와 레이저 선 두께를 이용하였다. 레이저 선 두께에 해당하는 3개의 윈도우(window)를 설정하여 선을 가로지르는 컬럼에 대하여 적용하고, 윈도우내의 값을 더하여 최대값을 가지는 곳을 레이저 선으로 생각하고 그 값의 평균을 기준으로 문턱값을 결정하였다.

2.2.2. 조인트의 위치 인식 및 3차원 공간좌표

레이저 선의 정보로부터 조인트의 위치인 변곡점을 찾아내기 위하여 2차미분법을 적용하였다. 선을 형성하는 픽셀 데이터를 2차 미분하여 변곡점을 찾아내는 방법으로 중앙 차분법(central difference method)을 이용하였다. 이때 선을 이루는 각 픽셀 $y_p(x_p)$ 에 대한 미분값 $S(x_p)$ 는,

$$S(x_p) = (y_p(x_p+k) + y_p(x_p-k) - 2y_p(x_p)) / (2k) \tag{1}$$

이다. 변곡점을 찾는 성능은 k 의 선정에 따라 다르며 k 가 작은 값일 경우 선의 국부적인 기울기의 변화를 감지하고 큰 값일 경우 전반적인 기울기의 변화를 얻을 수 있다. 조인트의 음각 부분인 $S(x_p)$ 가 가장 큰 곳이 토치가 이동해야할 위치가 된다. 영역분할에 의해 얻은 레이저 선의 정보로부터 k 값을 변화시키면서 식(1)을 적용하여 그 최대값이 존재하는 위치와 조인트의 위치가 잘 일치되는 가를 확인하여 k 값으로 5를 결정하였다.

조인트에 해당되는 픽셀 좌표로부터 3차원 공간 좌표를 도출하는 것은 조인트의 위치가 레이저가 이루는 평면에 있을 조건과 카메라 모델의 관계식을 만족하는 것으로부터 가능하다⁹⁾¹⁰⁾. 즉, 2차원 영상 좌표계 (x, y) 와 3차원 카메라 좌표계 (X_c, Y_c, Z_c) 의 관계는 다음과 같다.

$$X_c = \frac{(C_1 + C_2\lambda)x}{C_2\lambda + y}$$

$$Y_c = \frac{(C_1 + C_2\lambda)y}{C_2\lambda + y} \tag{2}$$

$$Z_c = \frac{(y - C_1)\lambda}{C_2\lambda + y}$$

여기서,

$$C_1 = y_0 + z_0 \tan\alpha$$

$$C_2 = -\tan\alpha$$

y_0, z_0 : 레이저광이 이루는 좌표계의 원점

λ : 카메라의 초점거리

이다. 또한 본 시스템에서 카메라는 토치를 중심으로 회전할 수 있으므로 (Fig. 5) 카메라 좌표계 $(X_c, Y_c,$

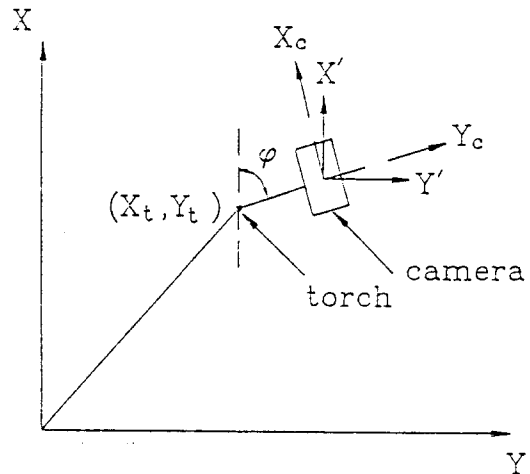


Fig. 5 Global coordinate transformation

$Z_c)$ 는 Z 축을 중심으로하는 회전변환(rotation transformation)을 거쳐 전체좌표계 (X, Y, Z) 에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(90-\varphi) & \sin(90-\varphi) & 0 \\ -\sin(90-\varphi) & \cos(90-\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{pmatrix} \tag{3}$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_t + L\cos\varphi \\ Y_t + L\sin\varphi \\ 0 \end{pmatrix} \tag{4}$$

여기서,

X_t, Y_t : 토치의 위치

L : 토치와 카메라 사이의 거리

φ : 카메라의 회전각도

이다. 따라서 식(4)를 이용하여 조인트에 해당하는 위치를 전체 좌표계에서 나타낼 수 있다.

2.2.3. 추적 알고리즘

토치가 임의의 굴곡진 경로를 따라 움직일 때, 각 샘플링 시간(sampling time)에 받아들인 용접선의 위치를 이을 경우 토치가 한 샘플링 시간동안 이동해야 할 거리는 달라지게 된다. 이는 일정속도의 용접일 경우 샘플링 시간의 변화를, 일정 샘플링 시간의 경우 용접속도의 변화를 초래한다. 일정 용접속도, 일정 샘플링 시간을 유지하기 위해서 토치가 이동할 거리가 항상 일정하도록 토오치의 이동 경로를 수정해야 한다. 현재의 영상으로부터 얻은 조인트의 위치를 (X_2, Y_2) , 전번 영상으로부터 얻은 위치를 (X_1, Y_1) 이라 할 때, 토치의 이동 거리 d 가 한샘플링 시간동안 이동해야할 기준거리 D 보다 크면, 즉

$$d(\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}) > D \quad (5)$$

일 경우 이동거리를 조정하기위해 데이터 재생성 알고리즘을 적용하였다¹¹⁾. 이동거리 조정에 의해 새로 생성될 좌표 (X'_2, Y'_2) 는 (X_1, Y_1) 과 (X_2, Y_2) 를 잇는 직선상에 있고 (X_1, Y_1) 과의 거리는 D 이어야 하므로 다음 두 식으로부터 결정된다.

$$Y'_2 = aX'_2 + b \quad (6)$$

$$D = \sqrt{(X'_2 - X_1)^2 + (Y'_2 - Y_1)^2} \quad (7)$$

여기서, $a = (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1)$

$$b = Y_2 - aX_2$$

이다. 본 시스템에서 시각센서에 의해 감지되는 조인트의 위치는 토치의 위치와 50mm의 거리를 두고 있으므로 위에서 서술한 방법으로 결정된 일정거리 간격(D)의 토치 이동경로는 컴퓨터의 특정 메모리에 저장되며, 해당 순서에 따라 일정한 샘플링 시간과 용접속도를 유지하며 토치의 위치조정이 구현된다.

또한 카메라는 토치를 중심으로 회전할 수 있는데, 현재의 토치위치와 새로이 생성된 좌표와의 관계로부터 카메라가 회전해야할 각도($\Delta\beta$)를 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\Delta\beta = \tan^{-1}((Y'_2 - Y_1) / (X'_2 - X_1)) \quad (8)$$

그러나 용접속도를 약 7mm/sec로 생각할 때 한 샘플링 시간(0.4초)동안 토치가 이동하는 거리는 2.8mm이므로 한 주기 동안의 각도 변화에 의해 조인트의 영상은 카메라에서 크게 벗어나지는 않는다. 이러한 이유로 본 시스템에서는 카메라의 회전속도를 일정한 속도로 고정시키고 매 샘플링 시간동안의 회전량도 2°

를 넘지 않도록 하였다. 즉, 30°의 경로변화가 있는 용접선을 추적하는 경우 카메라는 2°씩 15번의 샘플링 시간동안에 30°를 회전하게 된다.

3. 추적 실험 및 결과

반복적인 기초실험에서 카메라를 아크광과 스패터로부터 가리지 않고 임의의 시간에 채취한 영상을 처리하여 추적한 결과 조인트 인식이 불안정하여 용접선추적이 불가능하였다. 따라서 본 실험에서는 용접중 아크광과 스패터를 가리지않고 단락신호 발생시 영상을 채취하여 추적실험을 하였을 때의 추적결과를 확인하고 아크광과 스패터를 가리고 추적했을 때의 결과와 비교하기 위해 실험을 다음과 같이 구분하여 실시하였다.

- (i) 용접공정중 카메라를 아크광과 스패터로부터 가리고 영상을 얻어 추적을 수행한 경우
- (ii) 용접공정중 아크광과 스패터를 가리지 않고 단락시의 영상을 이용하여 추적을 수행한 경우

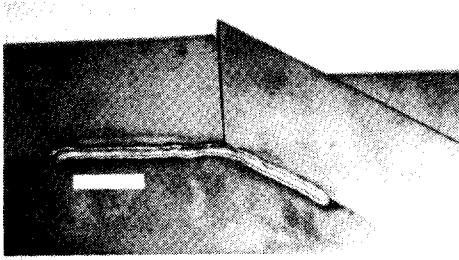
실험방법은 각 경우에 대하여 2mm두께의 철판이 30°의 경로변화를 갖는 용접선에 대하여 실시하였다. 또한 공정중의 변형을 가정하여 10° 경사에 대한 높이 보정 실험을 실시하였다.

Fig. 6의 (a)는 용접공정중 아크광과 스패터를 가린 경우(실험 i)에 대한 용접시편이며 (b)는 용접경로에 대한 토치의 궤적이다. 토치의 궤적에서 초기의 50mm는 카메라와 토치간의 경로정보가 없으므로 직선으로 아크의 발생없이 경로정보만 생성하며 움직인 부분이다. 50mm이후는 생성된 경로정보를 이용하여 추적을 하며 아크를 발생시키고 계속해서 경로정보를 생성하는 구간이다.

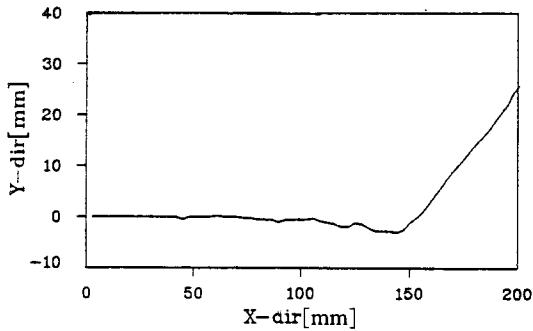
이와같이 초기 50mm는 아크없이 경로정보만을 인식하므로 토치의 용접시작 위치는 고정지그로부터의 오차에 대하여 보정될 수 있다.

Fig. 6의 (c)는 용접선 변화에 대한 카메라의 회전량을 나타내며, 카메라가 회전함으로써 조인트의 위치가 카메라를 벗어나지 않고 중심에 머무르려하므로 보다 넓은 영역을 안정되게 추적 할 수 있다.

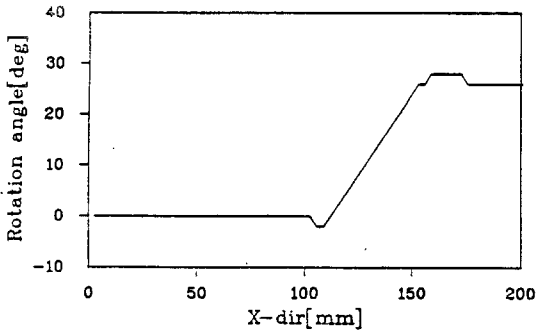
Fig. 7의 (a), (b), (c)는 용접공정중 아크광과 스패터를 가리지 않고 단락시의 영상을 이용한 경우(실험 ii)의 추적 결과이다. 스패터를 가리지 않은 추적에서도 단락되는 시간을 이용하므로써 스패터의 영향을 최소화 하여 실험(i)의 경우와 같은 추적 성능을 얻을



(a) Photograph of experimental result



(b) Trace of torch

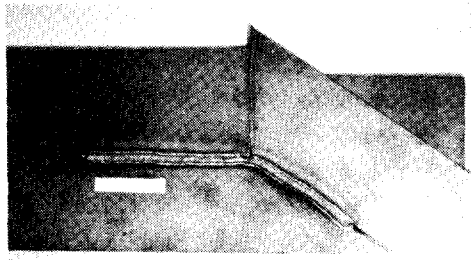


(c) Angular displacement of camera

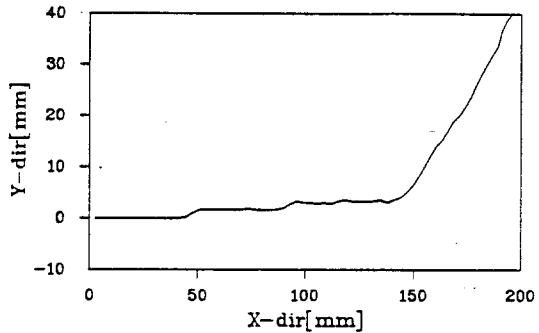
Fig. 6 Result of seam tracking with spatter protector

수 있었다. 따라서 카메라를 아크광과 스파터로부터 가리기 위한 차단재의 부착없이도 용접선의 추적이 가능한 것을 확인하였다.

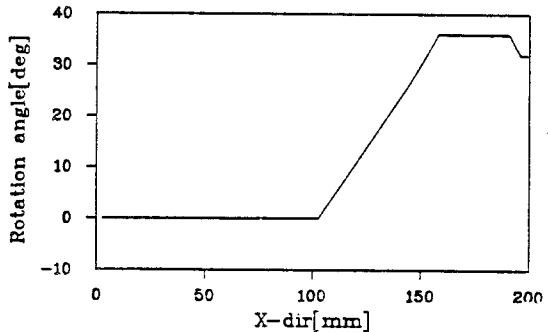
Fig. 8의 (a)는 10°의 경사진 용접선을 추적한 결과이며 (b)는 경사진 모재에 대하여 팁-모재간 거리를 일정하게 유지하기 위한 Z축으로의 이송량을 나타내는데, 비록 카메라와 토치 사이에서 발생한 공정중의 변형량은 보정할 수 없지만 변형속도가 느리고 변형량이 완만한 경사를 이룰 때 팁-모재간의 거리변화는 보정



(a) Photograph of experimental result



(b) Trace of torch



(c) Angular displacement of camera

Fig. 7 Result of seam tracking without spatter protector

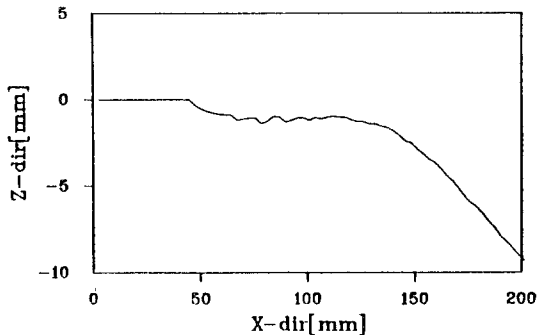
할 수 있음을 나타낸다.

실험결과 직선 용접부에서 추적오차에 의한 굴곡의 발생이 있었으며, 이러한 현상은 다음과 같은 원인에 의한 것으로 생각된다.

1. 두께 2mm의 모재를 겹치기이음으로 하고 구조화된 광을 수직선으로부터 20°의 각도로 비출 때, 영상에서 조인트를 형성하는 모재의 윗판과 아래판 사이의 거리는 약 5-7픽셀을 형성하므로 모재 표면상태 등의 외란에 의해 정확한 조인트의 위치를 찾지 못할 우



(a) Photograph of experimental result



(b) Trace of torch in Z-direction

Fig. 8 Result of seam tracking in height variation

려가 있다.

2. 거리정보를 계산하는데 필요한 구조화된 빛의 각도, 크기 환산계수(scale factor), 카메라 중심과 토치사이의 거리 등 센서 구성원들의 치수에서부터 생긴 미소한 오차가 누적되어 영향을 미칠 수 있다.

따라서 이러한 원인을 제거하기 위한 모재의 전처리, 센서모듈의 정밀한 설계 및 제작이 있으면 보다 좋은 성능을 기대할 수 있을 것이다.

이상의 용접선 추적 실험에서 레이저, 광섬유, 레이저-광섬유 커플러, 원통형 렌즈, 대역 통과 필터, CCD 카메라등으로 용접선 추적을 위한 시각센서를 구성한다면 아크 센서로 추적이 불가능한 박판의 겹치기 이음에서도 추적이 가능하고 센서를 이루는 모듈의 부피가 작아 용접용 로봇 및 자동화 장치에 쉽게 적용할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 용접공정에서 단락시의 영상을 이용함으로써 카메라를 아크 및 스파터로부터 가리지 않은 상태에서도 용접선의 추적이 가능했으며 카메라의 회전기능을 추가함으로써 추적 가능 영역이 보다 넓어졌다. 이밖에 용접초기 지그로부터의 경로오차를 보정할 수 있으므로 지그작업에 소요되는 많은 시간을 절약할 수 있어 생산성을 향상시킬 수 있고, 공정중의 열변형에 의한 팁-모재간의 거리변화에

대하여 이것을 일정하게 유지시킬 수 있는 높이 보정 기능이 있어 보다 좋은 품질의 용접 제품을 기대할 수 있을 것이다.

4. 결 론

시각센서를 이용하여 겹치기 용접선 자동 추적을 수행할 수 있는 용접 자동화시스템에 관한 연구로부터 다음과 같은 결과를 확인하였다.

- 1) 레이저, 광섬유, 레이저-광섬유 커플러, 원통형 렌즈, 밴드 패스 필터, CCD카메라로서 용접선 추적을 위한 효과적인 시각센서를 구성할 수 있었다.
- 2) 실험을 통하여 단락이 이루어 졌을 때 아크광과 스파터의 영향이 가장 적은 것을 확인할 수 있었고 이것을 이용함으로써 아크광과 스파터의 영향을 거의 받지 않으며 추적이 가능했다.
- 3) 영상을 통해 얻은 3차원 데이터로부터 Z축의 높이 보정이 가능했으며 토치를 중심으로 카메라를 회전 시킴으로써 보다 넓은 영역의 용접선 추적이 가능했다.

참고문헌

- 1) M. Kawahara: Tracking control system using image sensor for arc welding, Automatica, Vol. 19, No. 4, (1983), pp. 357-363.
- 2) J. E. Agapakis: General visual sensing technique for automated welding fabrication, Proceedings of the 4th International Conference on Robot Vision and Sensory Controls, 9-11 October 1984, London. U. K., pp. 103-114.
- 3) J. E. Agapakis, et al: Joint tracking and adaptive robotic welding using vision sensing of the weld joint geometry, Welding Journal, Vol. 65, No. 11, (1986), pp. 33-41.
- 4) W. F. Clocksin, et al: An implementation of model-based visual feedback for robot arc welding of thin sheet steel, The International Journal of Robotics Research, Vol. 4, No. 1, (1985), pp. 13-26.
- 5) R. W. Richardson: Control of welding using

- optical sensing, *Industrial Optical Sensing*, SPIE, Vol. 961, (1988), pp. 95-113.
- 6) D. H. Ballard, et al: *Computer Vision*, Prentice Hall, New Jersey, 1982.
 - 7) H. E. Patte, et al : Effects of arc radiation and heat on welders, *Welding Journal*, Vol. 52, No. 5, (1973), pp. 297-308.
 - 8) S. Liu, et al: Metal transfer in gas metal arc welding: Droplet rate, *Welding Journal*, Vol. 68, No. 2, (1989), pp. 52s-58s.
 - 9) 김·호학외 : 자동 아크 용접공정의 용접개선변수 측정을 위한 시각 시스템, *대한용접학회지*, 제8권, 제2호, (1989), pp. 58-69.
 - 10) 신 정식 : 겹치기이음에서 용접선 추적과 아크 데이터 모니터링에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, (1991).
 - 11) 변 용규 : 용접경로 측정 장치를 이용한 2축 용접 table의 용접경로 추적에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, (1989).