

GMA 용접로봇용 용접선 시각 추적 시스템에 관한 연구

김 동 호* · 김 재 응**

* 영남대학교 대학원 기계공학과

** 영남대학교 공과대학 기계공학부

A Study on a Visual Sensor System for Weld Seam Tracking in Robotic GMA Welding

Dong-Ho Kim* and Jae-Woong Kim**

* Graduate School of Mechanical Eng., Yeungnam University, Kyongsan Kyongbuk 712-749, Korea

** School of Mechanical Eng., Yeungnam University, Kyongsan Kyongbuk 712-749, Korea

Abstract

In this study, we constructed a visual sensor system for weld seam tracking in real time in GMA welding. A sensor part consists of a CCD camera, a band-pass filter, a diode laser system with a cylindrical lens, and a vision board for inter frame process. We used a commercialized robot system which includes a GMA welding machine. To extract the weld seam we used a inter frame process in vision board from that we could remove the noise due to the spatters and fume in the image. Since the image was very reasonable by using the inter frame process, we could use the simplest way to extract the weld seam from the image, such as first differential and central difference method. Also we used a moving average method to the successive position data of weld seam for reducing the data fluctuation. In experiment the developed robot system with visual sensor could be able to track a most popular weld seam, such as a fillet-joint, a V-groove, and a lap-joint of which weld seam include planar and height directional variation. (Received October 13, 2000)

Key Words : Visual sensor, Seam tracking, Inter frame process, Central difference method

1. 서 론

용접공정은 조립공정의 중요한 핵심기술로서 제품의 생산에 있어 가장 기본적이고 필수적인 조립공정중 하나이다. 현재 기계화된 용접 장치들이 생산 현장에 투입되어 사용되고 있지만 용접 공정의 단순한 기계화는 다양한 용접부의 형상에 쉽게 적용시키기가 곤란하며 용접대상물의 형상오차, 연속작업으로 인한 부정확한 장착, 열변형 등에 따른 여러 가지 용접조건 변화로 인해 우수하고 균일한 품질의 용접 제품을 생산하는데에는 다소의 문제점을 갖고 있는 실정이다. 용접공정의 자동화를 이루기 위해서는 용접선의 자동추적이 필수적이다. 이는 용접토치와 용접선의 불일치로 인한 오차 값을 교정하여 균일한 품질의 용접물을 생산하기 위한 것이다. 하지만 많은 공정변수들의 영향으로 인

하여 이를 성취하기에 많은 어려움이 따르게 된다. 특히 시각센서의 사용에 있어서 아크광과 용접시 발생하는 스패터 그리고 용접부의 난반사는 지금까지 시각센서를 사용하는데 많은 난점이었으며 또한 많은 수의 연구자들이 이러한 어려움을 해결하고자 연구를 하고 있는 상황이다^{1~5)}. 본 연구는 화상 내에서 용접선 이외의 다른 외란을 제거하고 6축 로봇에 적용 가능한 소경량의 시각센서 시스템의 설계를 주목적으로 하고 있다. 더불어 좌우방향의 교정뿐만 아니라 높이방향의 교정까지 포함하며 하나의 시스템으로 다양한 용접부를 처리할 수 있는 알고리즘 개발과정을 포함한다.

2. 화상 처리

본 연구에서 화상처리는 로봇측과 PC측의 교정 지시값의 이송 및 로봇의 구동과 더불어 본 연구의 핵심

적인 과정이라 할 수 있다. 화상처리의 목적은 전술한 것과 같이 스패터 및 아크광에 둔감한 센서를 설계하여 보다 명확한 화상 내에서 용접선을 보다 빠른 시간 내에 추출하는데 그 목적이 있다. 일반적으로 용접선 추적을 위한 화상처리 절차는 용접공정중의 화상이 포함하고 있는 모재, 아크, 스패터, 레이저 가운데 구조화된 빛인 레이저만 구별해 내는 과정인 영역분할과정과 처리의 용이성을 위한 이진화 과정과 세션화 과정, 마지막으로 화상처리의 궁극적인 목적인 특징점 추출 과정으로 이루어진다⁶⁾. 본 연구에서는 화상처리의 방법으로 비전보드의 라이브러리를 이용하는 방법인 화상간 연산(inter frame)기능을 사용함으로써 화상간 논리 및 산술연산을 시행하여 빠른 속도를 가지고 화상처리를 수행하면서도 좋은 품질의 화상을 취득하고자 한다.

화상간 연산에서 AND연산은 각 화소(pixel)간에 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다⁷⁾. 이것은 DSP 기능을 가진 본 연구용 화상처리 보드의 내장된 연산기능이며 8bit 그레이레벨을 갖는 화상간의 연산이다.

$$G_{AND} = G1 + G2 - 255 \quad (1)$$

여기서 G_{AND} 는 AND연산 후의 그레이 값이며, $G1$ 은 화상1 그리고 $G2$ 는 화상2 각각의 그레이 값이다. 전술한 것을 기초로 화상간 연산인 AND기능을 이용한다면 효과적으로 외란을 제거할 수 있으리라 사료된다. 레이저 띠의 추출은 1/30초의 시간차를 갖는 두 개의 화상에 대해서 레이저 띠는 동일부분에 존재

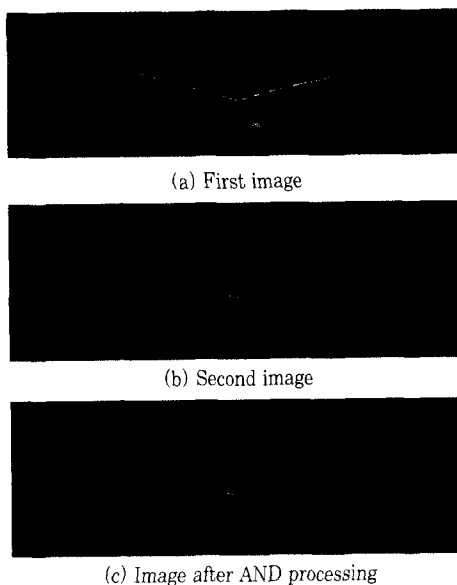


Fig. 1 Result of the inter frame process for removing the spatter noise

할 가능성이 매우 크지만 스패터 등의 외란은 동일부분에 나타날 가능성이 희박하므로 이는 어두운 면으로 대변될 것이라는 이론에 기초한다.

Fig. 1은 용접중 스패터가 많이 발생한 경우에 연속적으로 잡은 두 개의 화상과 이를 AND 연산을 사용하여 처리한 결과를 나타낸다. 여기서 카메라는 아크로부터 약 50mm 전방의 모재를 향하고 있으며, 대역 필터를 적용함으로써 아크광이 외란으로 나타나지 않은 것을 볼 수 있다.

3. GMA 용접로봇의 위치오차 교정기능

3.1 로봇 인터페이스

용접공정중 토치의 경로를 교정하기 위해서는 외부에서 로봇의 제어기(robot controller)로 교정 지시값(correction data)을 전송해주어야 한다. 교시된 경로의 교정을 위해 사용하는 교정 지시값은 부호 비트(sign bit)를 포함하여 6 bit의 데이터이다^{8~10)}.

3.2 교정 지시값의 산출

로봇과의 인터페이스를 통해 과연 얼마의 교정신호가 실제에는 어떻게 작용할 것인가에 대한 기능파악이 필수적으로 요구된다. 일단 일정한 용접길이에 대하여 용접속도가 각 교정 지시값에 대한 변위를 결정한다는 것을 알 수 있었다. 실험으로 얻은 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$D = M \times Cor + C \quad (2)$$

여기서 D : 교정거리(mm), Cor : 교정 지시값, M : 용접속도에 따라 결정되는 비례계수, 그리고 C 는 상수이다. 수평방향과 높이 방향으로의 교정 지시값에 따른 교정거리를 속도별로 나타낸 그래프를 Fig. 2에 나타내었다. 교정 지시값을 산출하기 위한 알고리즘에 교정거리에 관한 정보를 적용하기 위해서는 변수의 정리가 필요하였다. 공통되는 변수를 찾아본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 단위시간당 교정거리(교정속도)는 교정 지시값에 의해서만 선형적으로 비례함을 알 수 있다. 이것은 좌우방향 뿐만 아니라 높이방향에 대해서도 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$S = 0.5066 \times Cor - 4.572 \quad (3)$$

여기서 S 는 단위시간당 교정거리(mm/sec)이다. 이것을 Fig.3에 나타내었으며, 단위시간 또는 일정 샘플

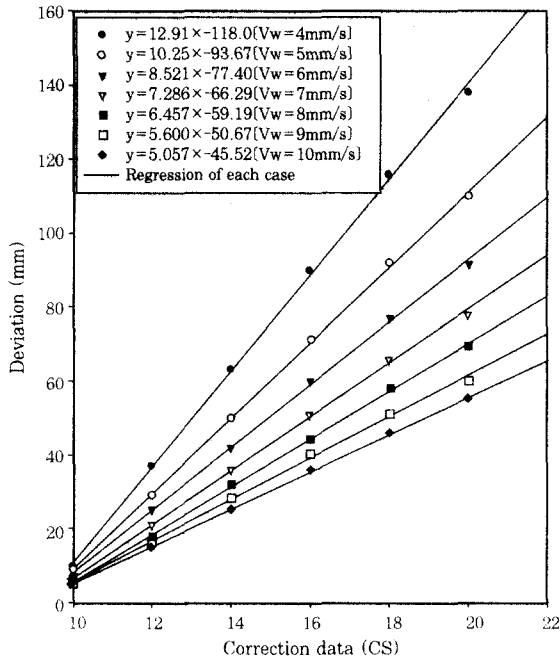


Fig. 2 Deviation vs. transverse correction data(CS)

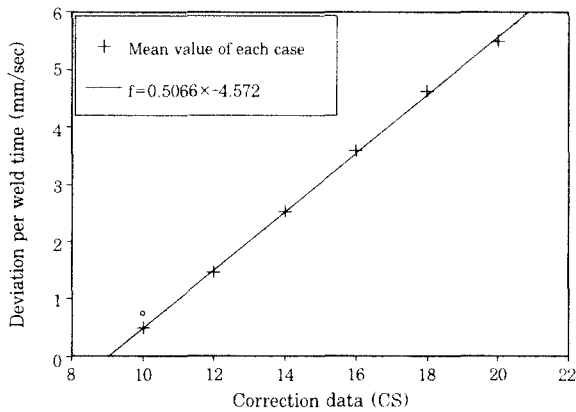


Fig. 3 Transverse correction data corresponding to deviation per weld time

링 시간동안에 보정할 거리는 (3)식으로부터 얻은 교정속도와 해당 시간의 곱과 같게 된다.

4. 용접선 추적 시스템

4.1 용접선 추출

용접선 추출을 위하여 화상으로 부터 구조화된 레이저를 인식하여 그 중심선을 구하는 것이 세션화이다. 본 연구에서 세션화의 방법은 첫 번째 칼럼에서 10개의 픽셀을 하나의 윈도우로 잡고 이러한 윈도우를 전체의 칼럼에 적용시킨 후 윈도우내의 픽셀 값을 모두 더하여 이 값의 최대 값을 가지는 윈도우를 레이저 띠를 포함하는 윈도우라고 생각한다. 이후 이 윈도우가

운데 가장 밝은 픽셀을 첫째 칼럼에서 레이저 띠의 중심이라고 판단하였다. 다음 칼럼부터는 앞서 얻은 레이저 띠의 위치로부터 아래위 10픽셀을 범위로 하여 최대 값을 찾아나가는 알고리즘을 선택하였다⁶⁾. 매 화상마다 전 영역을 검색하는 것이 아니기 때문에 화상 처리과정에 있어서의 가장 큰 문제점중의 하나인 처리 시간 단축에 많은 도움을 줄 수 있었다.

일반적으로 용접선 추적을 위한 화상처리에서 특징점 추출이라 함은 용접선 즉 용접 조인트 부분을 추출해 낸다는 것을 뜻한다.

세션화된 데이터로부터 일차 미분법과, 중심차분법을 적용시켜 0점 또는 변곡점을 찾아내어 특징점을 추출하는 것이 일반적인 방법이다. 하지만 이 방법은 간단하고 처리속도가 빠른 반면에 화상에 외란이 있는 경우 특징점 추출에 어려움이 있다. 본 연구에서는 스패터에 의한 외란이 이미 AND연산에 의해서 충분히 제거되고 또한 아크광에 의한 외란은 대역필터에 의해 제거되기 때문에 데이터의 신뢰도가 아주 높다. 이에 용접선 추출방법으로 가장 간단하고 빠른 방법인 중심차분법을 사용하여 데이터를 처리하여 특징점 추출 성능을 알아보았다.

중심차분법은 일종의 2차 미분의 방법으로 선을 형성하는 픽셀데이터를 2차 미분하여 변곡점을 찾아내는 것이다. 이 방법을 이용한 이후의 출력 값은 직선의 경우에는 0이 되고 두 직선 세그먼트사이의 급격한 기울기를 가지는 점을 평가할 때는 그 기울기 차이에 비례한다. 이 값들의 최대값 또는 최소값이 바로 특징점인 것이다. 중심차분값은 다음과 같다^{11,12)}.

$$D_{cen} = \frac{Y_{pos}(x-k) + Y_{pos}(x+k) - 2Y_{pos}(x)}{2 \times k} \quad (4)$$

여기서 $Y_{pos}(x)$: 화상평면에서 수평위치 x 에서의 y 좌표의 값, k : 중심차분구간이다.

중심차분법의 경우 변곡점을 찾는 성능은 중심차분구간인 k 의 성능에 따라 차이가 나게된다. Fig. 4, Fig. 5는 필릿(fillet) 조인트와 겹치기(lap) 조인트에 대하여 중심차분값을 적용한 것을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있는 것과 마찬가지로 작은 구간 값에 있어서는 원 화상의 약간의 변화에도 출력 값에 많은 차이를 보여주게 되며 이는 실제의 용접 중심점과는 다른 값을 산출할 위험이 있다는 것을 보여주었다. 하지만 구간 값을 증가시키면 앞 뒤 데이터의 k 값만큼의 소실로 특징점을 찾아내는 범위가 좁아지게 된다. 본 연구에서 적용한 k 는 모든 접합부에 대해서 동일하게 30으로 적용하였다.

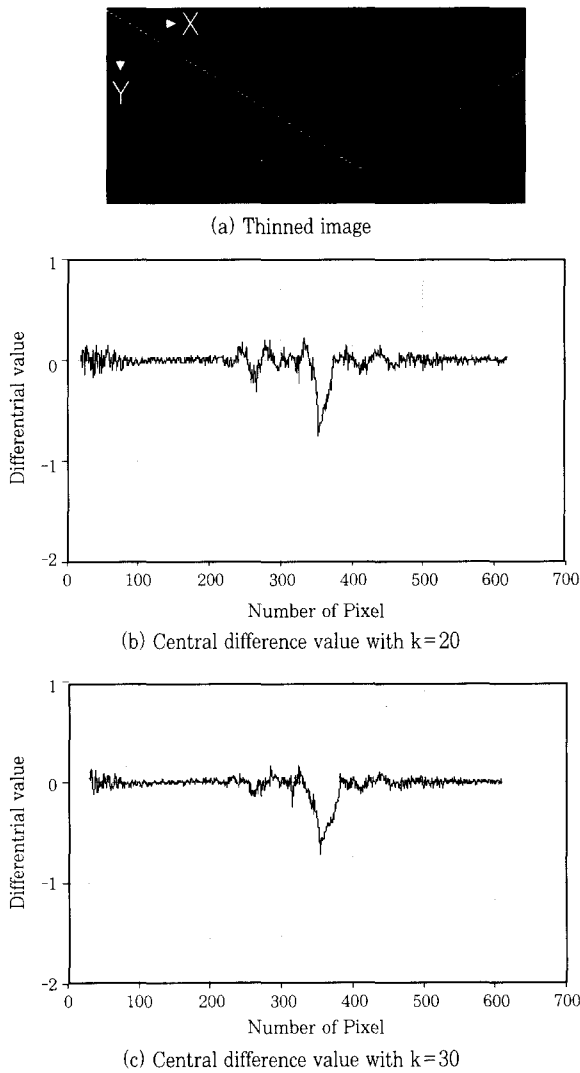


Fig. 4 Central difference values at fillet joint

4.2 데이터 처리

중심차분법으로 변곡점을 찾았다면 이제 로봇 제어기에 교정 지시값을 전달하는 것이 남았다. 하지만 비전 시스템의 경우 받아들인 데이터 중에는 리플(ripple)따위로 인하여 왜곡된 데이터가 간간히 포함되어 있는 경우가 많다. 이러한 오차를 줄이기 위해서 종종 가중이동평균법을 사용하며, 이 경우 비례, 적분 제어의 효과도 기대할 수 있다. 일반적인 가중이동평균식은 다음과 같다¹²⁾.

$$C_{(n)} = \omega C_{(n-1)} + (1 - \omega)c_{(n)} \quad (5)$$

여기서,

- $C_{(n)}$: 새로이 생성된 조인트의 이동평균 위치,
- $c_{(n)}$: 현재 검출된 데이터로부터 얻은 조인트의 위치,
- $C_{(n-1)}$: 전 이동평균 조인트의 위치, 그리고 ω 는 가중치이다.

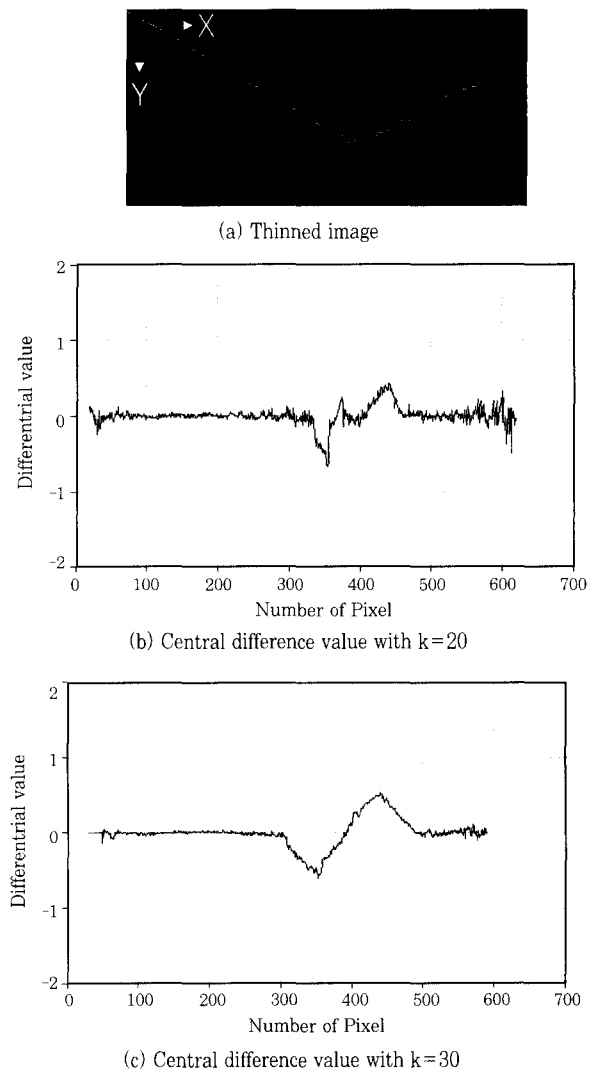


Fig. 5 Central difference values at lap joint

4.3 용접선 추적 알고리즘

선행거리를 가지는 시스템에 있어서 어떻게 선행거리만큼 가서 추적을 실시하는가 하는 것이 알고리즘의 구현에 있어서 가장 중요한 부분이다.

본 시스템의 경우에는 선행거리가 일정하고 샘플링 시간(sampling time)을 사용자가 직접 입력하는 것으로 알고리즘을 구성하였기 때문에 지연(shift)시간을 고려하여 추적에 이용하였다. 예를 들면 시스템의 샘플링 시간을 0.3초로 고정시켰을 때 용접속도 6mm/sec 라면 선행거리 45mm를 이동하는데 7.5초가 걸리는데 이 말은 용접선의 한 위치를 센서가 지나간 7.5초 후에 토치가 지나간다는 말이다. 따라서 샘플링 시간이 일정하다면 7.5초 동안에는 25번의 샘플링을 수행하므로 센서가 26번째 데이터를 받아들일 때 1번째 데이터를 이송치 즉 토치가 움직일 값으로 컨트롤러에 전송한다는 것이다. 본 실험에서는 정확한

샘플링 시간의 계산을 위해서 PPI 8253의 카운터 기능을 사용하여 처리시간을 측정, 고정하였다.

본 실험에서 데이터를 처리하는데 걸리는 시간은 0.25 ± 0.01 초 정도이므로 샘플링 시간을 0.3초로 정하였다. 여기서 화상은 1/30초 간격을 가진 연속적인 두 화상을 잡아 AND처리 하였다.

5. 실험 장치

본 실험의 시스템은 시각센서부, 로봇, 그리고 용접기로 구성하였다.

시각 센서부는 CCD 카메라, 파장이 692.5nm인 다이오드 레이저(diode laser), 중심파장이 694.4nm이고 반치폭이 ± 5 nm인 대역통과필터(band pass filter), 카메라로부터 받은 화상을 8bit의 명암 밝기 정보(grey level)로 바꾸어 주는 MVB03 화상처리보드로 구성하였다. 또한 점광으로부터 구조화된 광을 만들기 위해서 원통형 렌즈를 사용하였다. 센서와 토치사이의 거리인 선행거리(look ahead distance, LAD)는 45mm로 하였다. 그리고 모재와 카메라 렌즈간 거리는 125mm이다.

로봇은 ABB사의 IRB200 산업용 6축 로봇을 이용하였으며, S3 컨트롤러를 사용하였다. 마지막으로 용접기는 ESAB사의 제품으로서 최대 출력 전류 400A의 수냉식이며 최대 무부하 출력 전압은 65V이다. 실제 용접 시에는 230A/25V를 사용하였다.

팁-모재간 거리는 22mm로 잡았으며 용접속도는 6mm/s로 하였다. 실험을 위한 시편은 필릿 접합부

(fillet joint)와 겹치기 접합부(lap joint)용으로 8mm 연강을 사용하였으며, 12mm 두께의 60° 개섩각을 가지는 연강은 V-홈(V-groove) 용접선 추적을 위해서 사용하였다. 전극은 직경 1.2mm의 아크 용접용 와이어를 사용하였으며, 보호가스로서 100% CO_2 가스를 사용하였다.

6. 실험 결과

일반적으로 산업 현장에서 많이 적용하는 필릿 접합부, 겹치기 접합부, 그리고 V-홈 맞대기 접합부에 대해서 용접선 추적 실험을 시행하였다.

Fig. 6에서 Fig. 9까지는 V-groove의 용접에서 어떠한 데이터의 처리 공정도 포함되지 않은 경우, 즉 가중치동 평균치 기법을 사용하지 않은 데이터들이다. 전반적인 경향을 봤을 때 속도가 빠를수록 그리고 각도가 많이 벌어질수록 추적의 정도가 떨어지게 된다.

속도에 관하여 생각해 본다면 속도가 빠를수록 일정한 샘플링에 대해서 취득하는 위치 데이터의 양은 줄어들게 된다. 결과적으로 적은 데이터의 개수를 가지고 같은 거리를 가게 된다는 것이다. 이로 인하여 각 샘플링당 교정되는 이송치는 커질 수밖에 없으며 또한 만일 에러가 발생하게 된다면 다음번 교정신호는 원래의 용접선을 추적하기 위해서 급격하게 커질 수밖에 없으며 이는 에러의 누적 또는 급격한 변화(fluctuation)를 일으키게 되는 원인이 된다. 또한 각도가 커지게 되면 레이저 띠의 바깥 부분에 용접선의 중심이 위치하게 되어 세션화 과정에 있어서 오류가 발생한 것으로 보인다.

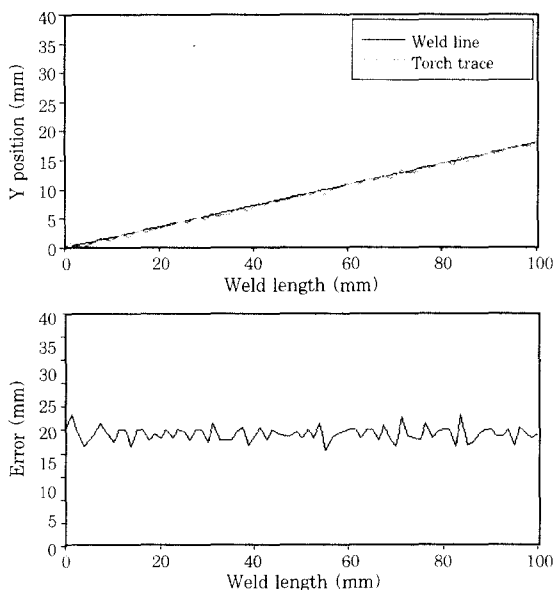


Fig. 6 Tracking result of V-groove (offset angle : 10° , $v = 4$ mm/sec)

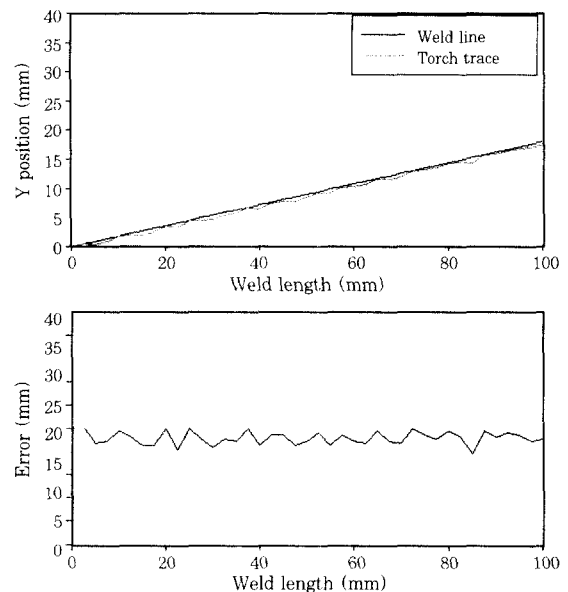


Fig. 7 Tracking result of V-groove (offset angle : 10° , $v = 8$ mm/sec)

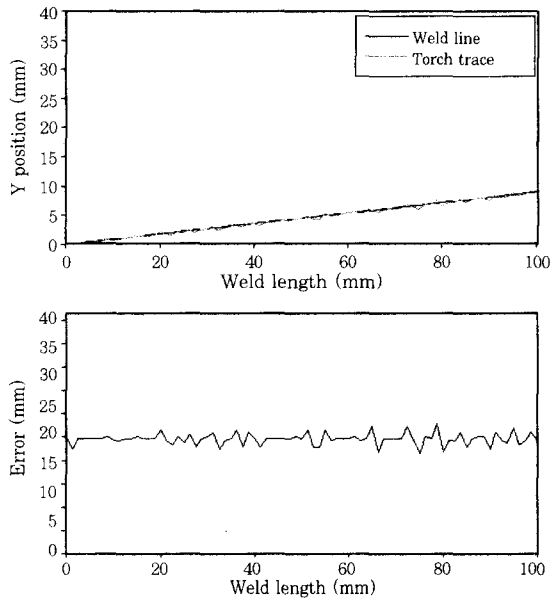


Fig. 8 Tracking result of V-groove(offset angle :5°, v=4mm/sec)

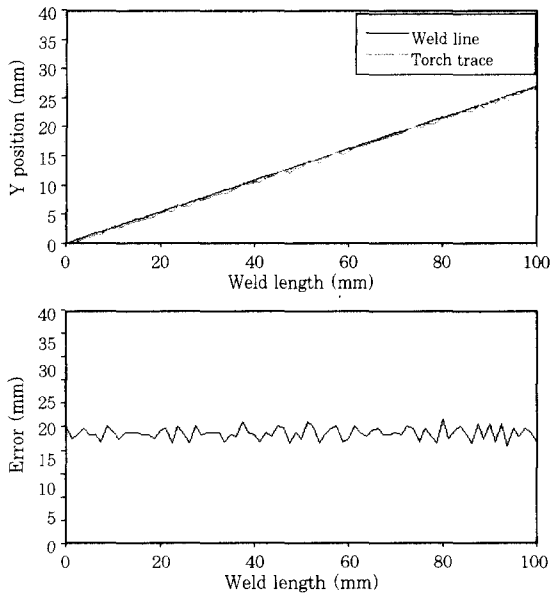


Fig. 9 Tracking result of V-groove(offset angle 15°, v=4mm/sec)

빠른 용접속도는 또한 에러의 누적에 큰 영향을 끼친 것으로 사료된다.

이들 추적실험 결과를 정량적으로 비교하기 위해서 RMS 에러를 다음과 같이 구해서 비교하였다.

$$E = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_{n-1}^2 + e_n^2}{n}} \quad (6)$$

Table 1은 각 조건에 따른 용접선 추적 성능을 비교한 것이다.

Fig. 10은 앞선 과정에서 사용하지 않았던 가중이동 평균치를 적용한 결과이다. 가중이동 평균치를 0.2~

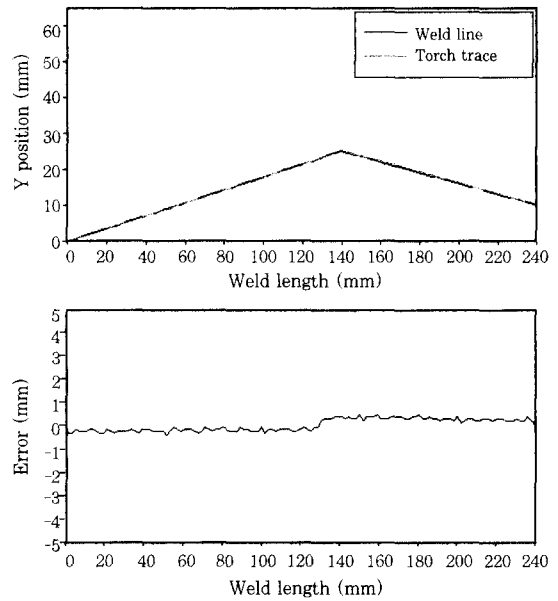


Fig. 10 Tracking result of V-groove with moving averaging(offset angel:17.5°, v=6mm/sec, ω=0.4)

Table 1 Weld seam tracking RMS error(E)

Fig. No.	6	7	8	9
E	0.359	0.503	0.271	0.402

Table 2 Weld seam tracking RMS error(E) according to the weighting factor

Weighting factor	0.2	0.3	0.4	0.5
E	0.331	0.270	0.266	0.281

0.5까지 사용하여 실험하여 보았다. 실험에 사용한 시편은 한번 꺾여진 판재로 17.5°의 각도를 가지고 있다. Table 2에 나타난 바와 같이 가중치를 0.4로 하였을 때 추적 성능이 가장 좋은 것으로 나타났다. 가중치 0.5의 경우에는 추적 RMS 에러가 증가하는 양상을 보이므로 가중치 0.4를 본 실험에서 택하였다.

마지막으로 Fig. 11, 12는 높이(Z)방향 추적성능을 포함하고 있다. 이는 용접물의 장착시 일어날 수 있는 높이방향 오차와 여러 가지 용접부 형상의 적용에 있어서 유연성을 제공하기 위한 것으로 실험은 용접선 거리 240mm에 대해 높이방향 변화 10mm(5.71°), 20mm(11.3°)에 대해서 실험해 보았다. 사실상의 용접에서 장착오차로서 20mm이상의 변화가 나지는 않을 것으로 예상되며 직선의 경우 가중이동 평균치의 기능이 데이터의 평활화에 그 주목적을 둔다고 할 때 가중이동 평균치는 0.3으로 두고 실험을 하였다. 좌우(y)방향에 비해서 추적정도가 떨어지는 것으로 보여지나 용접시 토치와 모재와의 높이 차가 용접품질에 그렇게 민감하게

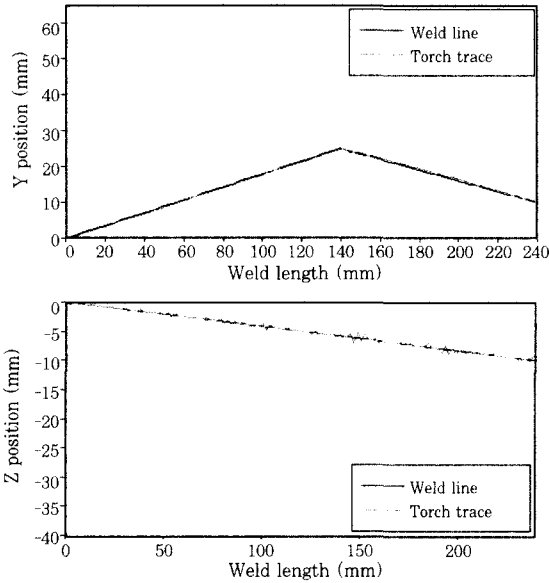


Fig. 11 Tracking result of V-groove with height control (inclination angle: 5.71° , $v=6\text{mm/sec}$, $w_y=0.4$, $w_z=0.3$)

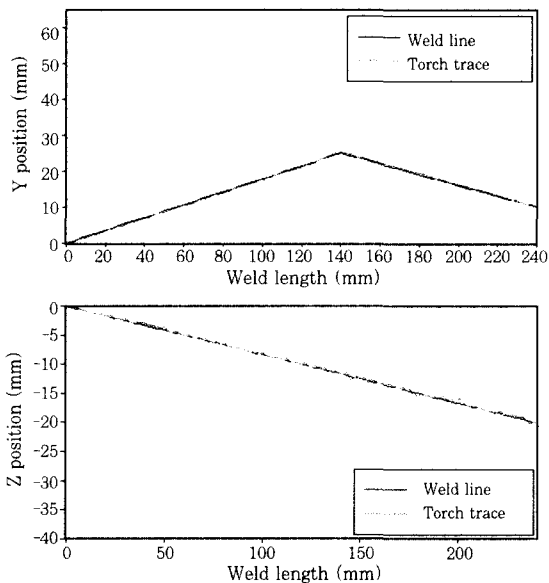


Fig. 12 Tracking result of V-groove with height control (inclination angle: 11.3° , $v=6\text{mm/sec}$, $w_y=0.4$, $w_z=0.3$)

작용하지는 않기 때문에 본 실험에서의 예러는 무시될 만 하다고 생각된다.

7. 결 론

GMA 용접 로봇용 용접선 시각 시스템의 구성에 있어 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 화상간 연산(Inter Frame) 기능 중 AND 연산

을 이용하여 스페터 등 노이즈의 영향을 최소화함으로써 명확한 화상을 얻을 수 있었다.

- 2) GMA 용접 로봇의 교정 값과 위치보정량 사이의 관계를 샘플링 시간에 따른 식으로 도출하여 로봇 운용에 있어 교정값 전송을 간단히 하였다.

- 3) 동일한 시스템 구성으로 V-홈 맞대기, 필릿 접합부, 겹치기 접합부에 대해 용접선 좌우 방향뿐만 아니라 높이 방향도 추적 가능한 용접선 추적 알고리즘과 시스템을 개발하였다.

참 고 문 헌

1. R. W. Richardson and C. C. Conrardy : Coaxial Vision-Based Control of GMAW, International Trends in Welding Science and Technology, Gatlinburg, Tennessee, 1-5 Jun 1992, Materials Park, Ohio, ASM International, 957-961
2. J. E. Agapakis, K. Masubushi, N. Wittels : General Visual Sensing Techniques for Automated Welding, Proc. of the 4th International conference on Robot Vision and Sensory Controls 9-11, October, 1984, London, U.K., 103-114
3. T. Araya and S. Saikawa : Recent Activities in Sensing and Adaptive Control of Arc Welding, 3rd International Conference on Trends in Welding Research, Gatlinburg USA, June 1992, 833-842
4. H. Nomura et al. : Automatic Control of Arc Welding by Arc Sensor System, Nippon Kokan Technical Report, Overseas NO. 47 (1986)
5. J. D. Lane : Robotic Welding, IFS, (1987)
6. 정규철, 김재용 : GMA 용접에서 용접선 추적용 시각센서의 화상처리에 관한 연구, 대한용접학회지, 18-3(2000), 60-67
7. Samsung Electronic Co., Ltd. Vision Board (MVB-03) Manual
8. ABB ROBOTICS : Product Manual IRB2000AW
9. ABB ROBOTICS : Programming Manual Robot Control System S3
10. 나석주, 이승영, 김수영, 문형순 : Arc Welding Robot을 위한 Arc Sensor 개발에 관한 연구, 한국과학기술원 연구보고서, (1992)
11. 이세현, 이정익 : 용접선 추적 및 평가를 위한 레이저 비전센서의 적용, 대한용접학회지, 16-6(1998), 1-6
12. 신정식 : 겹치기 이음에서의 용접선 추적과 아크 데이터의 모니터링 시스템에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, (1991)
13. 유병희, 김재용 : 박판 맞대기 용접에서 전자기식 센서를 이용한 용접선 자동추적 시스템에 관한 연구, 대한용접학회지, 15-1(1997), 36-46