

**研究論文**

## 시각센서를 이용한 용접선 자동추적시스템의 개발에 관한 연구

배 강 열\* · 이 지 형\*\*

### A Study on Development of Automatic Weld-Seam Tracking System using Vision Sensor

K. Y. Bae\* and J. H. Lee\*\*

**Key word** : Vision sensor(시각센서), Gap detection(갭 탐색), XYZ Working table(XYZ 구동 테이블), Seam tracking(용접선 추적), Current control(전류제어), User interface(사용자 인터페이스), I-butt joint(I형 맞대기 이음)

#### Abstract

For improvement in productivity and weld quality, weld seam tracking and welding parameter control are very essential in the welding of a structure which can not be exactly fit-up due to mismatch, discontinuous gap, deflection, etc..

In this study, an automatic weld seam tracking system is developed for I-butt joint structure, and the system consists of XYZ working table, vision sensor and user interface program. In the developed vision sensor system, an image projection algorithm for weld-line detection and an adaptive current control algorithm for gap variation were implemented. The user interface program developed in this study by basing on the object oriented concept could provide very convenient way to utilize the tracking system with the pull-down menu driven structure. The developed system showed a good seam tracking and weld quality control capability corresponding to deflected weld lines and gap variations.

---

\* 정회원, 현대중공업(주) 기술개발본부 산업기술연구소

\*\* 비회원, 현대중공업(주) 기술개발본부 산업기술연구소

## 1. 서 론

실구조물 용접에서는 부재의 위치, 가공정도, 취부상태 등에 따라, 용접 도중 용접 위치와 용접 조건을 조정해야 하는 경우가 자주 발생하게 된다. 이를 극복하여 생산성 향상 및 품질 고급화를 위해서는 용접선 자동추적 기술과 용접 조건제어 기술이 우선적으로 요구된다.

용접선 추적을 위한 중요한 기반기술로서는 센서시스템의 활용이며, 특히 80년대 초부터 개발되기 시작한 시각센서는, 응용규모가 매우 넓은 실정으로 많은 분야에서 지속적인 연구 대상이 되고 있다. 국외에서는 이미 용접선 추적을 위한 시각센서의 개발과 상품화를 통해 응용성 및 적용성을 확대하고 있는 단계에 있고<sup>1,2)</sup>, 이에 대한 지속적인 연구가 진행되고 있다<sup>3,4,5)</sup>. 국내에서도 90년대 초 일부 대학에서의 실험적인 연구를 필두로 시각센서에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며<sup>6,7)</sup>, 일부 시제품 활용단계에 있다<sup>8)</sup>. 그럼에도 불구하고 시각센서시스템이 실구조물의 용접에 있어 크게 활용되지 못하고 있는 것은 가격에 비해 범용성 및 응용성에 한계가 있기 때문으로 판단된다. 실용접 구조물에 적용하기 위해서는, 소프트웨어의 수정 및 하드웨어의 개선이 상황에 맞게 이루어 질 수 있어야 하며, 또한 용접계소당의 적용비용이 저렴해야 한다. 이와 같은 관점에 시각센서시스템을 적용하고자 하는 주체가 자체의 기술로 시각센서시스템을 개발해야 할 중요성이 있다고 판단된다.

본 연구에서는, 용접토치의 이송을 자동화하는 장치의 모델로서 XYZ 구동 테이블을 설계·제작하고, 시각센서의 하드웨어 설계 및 제작, 용접선 감지와 용접 토치의 이동위치 결정을 위한 소프트웨어를 개발하고, 용접변수의 실시간 제어기법을 적용하고, 사용자 인터페이스용 소프트웨어 개발을 수행하여, 맞대기 이음부(I-butt)의 용접선 추적에 적용 가능한 실용성있는 시각센서시스템을 개발하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 반도체 레이저와 실린더형 렌즈(cylindrical lens)로 조합된 구조화된 광원과 이를 촬영할 수 있는 CCD 카메라를 이용하여 3차원 정보를 용이하게 얻을 수 있는 시각센서의 개발에서, 특히 센서의 크기를 줄이기 위해 광원의 경로를, 거울로 반사

시켜, 수정한 기법을 적용하였다. CCD 카메라에서 획득한 용접선 주위 및 레이저 띠의 영상을 처리하여 용접선의 위치 및 꺾의 크기를 찾는 알고리즘으로, 용접도중의 스페터의 효과를 완화할 수 있는 투사처리법을 제안하고 적용하였다. 시각센서시스템의 실용성을 높이기 위해서는 제품의 성능뿐만 아니라 용이하게 사용할 수 있어야 하고, 시스템을 응용할 수 있게 소프트웨어와 교시반으로 여러 파라미터를 변경할 수 있어야 한다. 이와 같은 목적으로 본 연구에서는 사용자가 수정하고, 기록을 남겨야 하고, 교시해야 할 부분들에 대해서 사용자가 용이하게 활용이 가능한 인터페이스 프로그램을 객체지향적(object oriented)인 개념을 적용하여 개발하였다. 개발된 프로그램은 작업도중에 모터의 움직임, 에러 발생 상태, 영상처리 상태를 실시간으로 화면에 나타낼 수 있게 하였다.

## 2. 시각센서 시스템 개발

### 2.1 시각센서의 제작

레이저 투사방식을 활용하는 시각센서 설계에서 용접선의 3차원 공간 좌표는, 용접선의 위치가 레이저 평면 내에 있다는 조건과 카메라 모델의 관계식을 통해, 화상의 픽셀(pixel) 좌표로부터 도출이 가능하다<sup>9)</sup>. 본 연구에서는 영상 좌표계, 레이저 좌표계, 카메라 좌표계 그리고 전체(world) 좌표계 사이의 관계를 이용하여 시각센서의 기본 설계 계산식을 유도하였고, 용접토치가 이동해야 할 용접선의 위치는 카메라 좌표계에서 측정된 상대 용접선 위치를, 최초 토치의 위치를 원점으로 하는 전체 좌표계로 변환하여 설정하였다.

본 연구에서 제안한 시각센서의 하드웨어는 Fig. 1에 보인 바와 같이 CCD 카메라(가로 768화소, 세로 494화소), 반도체 레이저(5mW출력, 670nm파장), 실린더형 렌즈, 간섭필터(interference filter, 670nm 대역, FWHM 11nm)로 구성되어 있다. 레이저에서 레이저 빔(beam)이 주사되면 레이저 발진기 출구에 부착된 실린더형 렌즈에 의해 선형광의 띠(stripe)로 변화되고, 용접 부재의 표면에서 난반사하게 된다. 이와 동시에 CCD 카메라에서는 부재의 표면에서 반사되고 있

는 레이저 띠의 상을 획득하게 된다. 이때, 레이저 띠만을 선택적으로 획득하기 위하여 레이저 파장과 동일 대역의 간섭필터를 사용하여 주위에서 발생하는 자연광을 차단하게 된다. 레이저 배치는 그림에서 보인 가상의 레이저(imaginary laser) 위치로 설정되어야 하나, 본 연구에서는 2개의 거울을 사용함으로써, 레이저의 위치를 카메라와 나란하게 배치하여 센서의 크기를 줄이는 방법을 고안하였다.

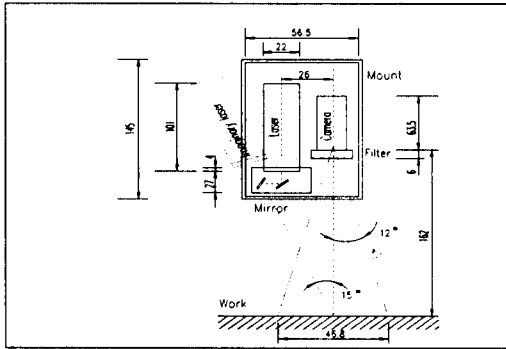


Fig. 1 Schematic configuration of vision sensor

센서 마운트는 가로 56.5mm, 세로 56.5mm, 높이 145mm, 두께 2mm의 크기로, 듀랄루민으로 제작하였고, 이를 포함한 센서의 총무게는 680g이었다. 카메라와 레이저 사이의 간격은 26mm, 1번 거울의 각도는 45°, 2번 거울의 각도는 55°이고, 레이저 띠가 카메라 중앙에 위치될 때의 카메라와 부재 사이의 간격은 162mm이며, 이때 투사되는 레이저 띠와 카메라 중심축과의 사이 각도는 15°이었다. 카메라와 토치 사이의 거리는 50mm 이고, 카메라가 전방에서 용접선을 탐색하게 하였다. 실제 제작된 센서의 분해능은 y방향 0.12mm, z방향 0.42mm 이었고, Fig. 2로 정의되는 시야범위에서  $Mx1$ ,  $Mx2$ ,  $Wx1$ ,  $Wx2$ 는 각각 72mm, 568mm, 38mm, 304mm이었다.

카메라에서 촬영된 영상을 획득하기 위하여 전용 영상처리용 보드를 이용하였고, 영상처리는 IBM 486 호환 컴퓨터에서 수행하였다. 별도로 레이저 영상 및 추적상태를 관찰하기 위하여 9" 흑백 모니터를 부착하였다.

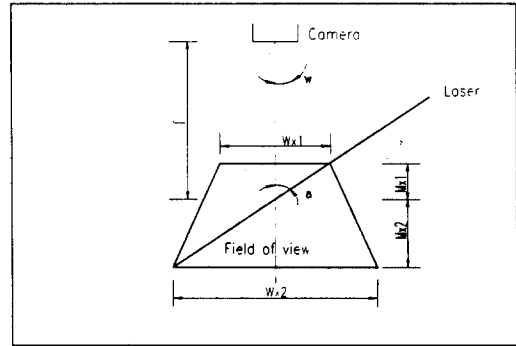


Fig. 2 Field of view

## 2.2 용접선 추적 알고리즘

용접위치를 찾는 과정은, 카메라로 영상을 획득하고, 영상값을 컴퓨터 메모리로 읽어 들이고, 문턱값(threshold)을 설정하고, 레이저 띠의 중앙을 구하며, 갭의 크기 및 중앙을 구하는 일련의 방법으로 구성된다. 용접선(gap)의 크기와 위치를 찾게 되면 이를 카메라 좌표계로 변환하고, 또 절대 좌표계로 환산하는 과정을 수행하게 된다. 현재 탐색된 용접선의 정보에 근거하여, 추적해야 할 위치로의 추적 속도, 용접전류 등을 결정하게 된다. 본 연구에서 이를 구현한 방법은 다음과 같다.

현재 용접선의 중앙을 중심으로 하여 가로 세로 일정 크기(200픽셀×200픽셀) 원도(window)의 영역내의 영상값을 읽어 저장한다. 화상의 세로 방향을 삼등분하는 각 열을 따라 레이저 띠 두께정도(8픽셀)의 소원도(small window)를 옮겨 가며 가장 큰 세기(intensity) 값을 갖는 소원도의 세기값 및 중앙 위치를 구하여, 이를 레이저 띠의 중앙으로 둔다. 스패터(spatter) 등으로 인한 노이즈에 의해 레이저 띠의 인식에 실패할 경우를 대비하여, Fig. 3과 같이 문턱값 이상의 영상 세기값을 y축으로 투사(projection)시켜 최 좌측열에 누적된 결과를 저장하고, 레이저 띠의 2배 두께에 해당하는 소원도를 한 픽셀씩 이동시켜, 소원도 내의 세기값을 합해, 가장 큰 원도의 중앙을 레이저 띠의 중앙 위치로 설정하였다. 이는 레이저 띠 중앙이 위치하는 원도에서 가장 큰 누적치를 가질 수 있기 때문이다. 가로와 세로 방향의 탐색에서 영상의 중

양에 가까운 결과를 나타내는 위치를 레이저의 중앙위치로 설정하고, 이들 최대값을 갖는 소원도의 평균 세기 값을 문턱값으로 설정하였다.

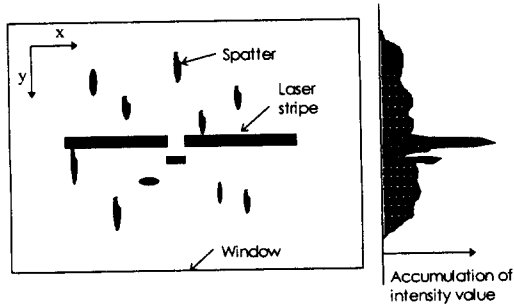


Fig. 3 Schematic diagram of image projection method to find laser stripe

레이저 띠의 x방향 중앙을 기준으로 화상정보를 좌우로 양분하여 레이저 띠의 실제 위치를 탐색하였다. 탐색영역은 레이저 띠의 평균 y위치를 중앙으로 일정 크기의 윈도우를 설정하여, 윈도우의 시작 y축을 기준으로 영상값의 1차 관성모멘트 값의 중앙위치를 레이저 띠의 중심위치로 취하였다. 설정된 윈도우의 x방향으로 이와 같은 과정을 반복 수행하여 화상의 좌우면에서 레이저 띠의 위치를 결정하였고, 갭 등의 존재로 띠 중앙의 위치가 허용 범위를 상회하는 경우는 평균 y위치를 레이저 띠의 중앙으로 두었다.

갭에서는 레이저가 반사되지 않아, 영상에서 레이저 띠의 단속이 나타나게 되고, 이는 갭 위치에 대한 정보를 제공하게 된다.

선 탐색에서 결정된 레이저 위치를 따라 영상값을 2차 미분할 때, 갭 주위에서는 미분값이 최소, 최대 및 최대, 최소로 반전되어 나타난다. 2차 미분 최대값을 중심으로 영상면을 양분하여 2차 미분 최소점의 위치를 각각 찾아, 탐색된 위치들의 x방향 크기차를 갭의 넓이, y방향 크기차를 단차로 설정하였다. 이때 갭의 중앙위치가 허용한계를 벗어나면 갭의 탐색에 실패한 것으로, 또는 갭이 존재하지 않는 것으로 간주하고 이의 회수를 누적하여 용접 부재의 끝단을 검출하는 방법으로 사용하였다.

갭의 폭을 계측함으로써, 전류값을 정해진 규격에 의거하여 재설정할 수 있어, 부재 상황 변화에

대응할 수 있게 용접조건을 변경할 수 있는 방법이 적용가능하였다. 레이저 영상을 보여주는 흑백 모니터상에 x, y방향 커서(cursor)를 이용하여 레이저 띠의 중앙이 육안으로 인지될 수 있게 하였다. 또한 이때 탐색된 정보를 이용하여 레이저 띠와 갭의 형태가 컴퓨터 모니터상에 실시간으로 그래픽하게 나타나게 하였다.

영상 좌표계에서 구한 갭의 중앙 위치를 카메라 좌표계의 위치로 환산하고, 다시 XYZ 테이블의 원점에서의 절대위치로 나타낸다.

카메라로부터 측정되어 계산된 추적점들의 오차 범위를 줄이기 위해, 용접선이 직선임을 구속조건으로 두고, 1차 커브 피팅(curve fitting)을 적용하여 추적점을 재설정하였다. 연속되는 두 추적점 사이의 거리를 샘플시간(sampling time: 0.3초)으로 나누어 추적속도로 설정하였다. 따라서 추적 위치에서는 샘플시간 동안 동일 속도로 추적을 수행하게 된다.

### 2.3 XYZ 구동 테이블 설계 · 제작 및 용접기 인터페이스

테이블의 폭(span), 이송거리(stroke) 등을 용접선 추적 센서 시험용으로 적합하게 설정하였고, 특히 X, Y, Z의 이송거리는 1000, 800, 200mm로 각각 설계하였다. 테이블 구동용 컨트롤러는 수동/자동 모드의 선택이 가능하며, 수동시는 가변 저항의 노브(knob)로 변속이 가능하게, 자동 모드에서는 컴퓨터(PC 486)로써 위치 및 속도의 제어가 가능하도록 하였다. 각 축의 리미트 스위치, 원점(home) 스위치 등의 신호를 모니터할 수 있게 하였다. 테이블 구동을 수동으로도 용이하게 조작할 수 있도록 별도의 원격조작반을 제작하였다.

용접기는 Panasonic의 YD-500RF(인버터형)로, 소프트웨어 및 테이블 제어기에서 자동 아크 ON/OFF 및 전류조정이 가능하게 인터페이스하였다. 본 연구에서 구성한 시각센서 시스템의 구성도를 Fig. 4에 나타내었다. 컴퓨터에 탑재된 모션 보드(motion board)의 I/O 포트를 이용, 지정된 구동 모터의 서보 ON/OFF, 레이저 및 카메라의 ON/OFF, 아크 ON/OFF 등을 제어할 수 있도록 릴레이 회로를 제작하였고, 갭의 크기변화에 대응하기 위하여 AD-DA 변환기를 이용하여 센서에서 계측

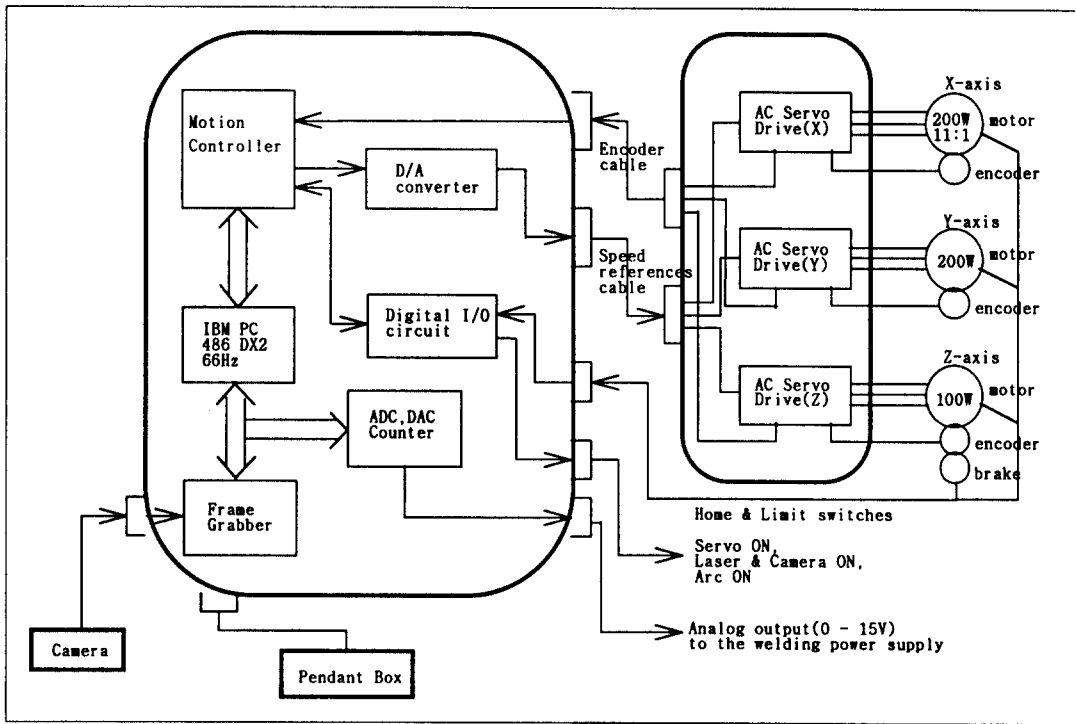


Fig. 4 Schematic diagram of vision and XYZ working table system

된 갭 크기에 적합한 전류신호가 용접기로 전달될 수 있는 회로를 제작하였다.

Figure 5는 본 연구를 통해 설계·제작된 센서 시스템의 XYZ 구동테이블, 센서, 그리고 시험용 부재를 보여주고 있다.



Fig. 5 Overall view of vision sensor and working table system

### 3. 사용자 인터페이스 프로그램

#### 3.1 프로그램 개요

본 프로그램은 사용자 환경 및 개발 소프트웨어의 고급화에 맞추어 GUI(Graphic User Interface) 방식을 채택하였으며, C-언어를 사용하여 개발하였다. 프로그램의 효율성을 위해 객체지향 프로그램(OOP; Object Oriented Program)의 개념을 도입하였으며, 시스템의 복잡성을 감안하여 시스템 구성요소들에 대해 모듈화를 지향하면서 프로그램하였다.

개발된 프로그램은 운용자와 시각센서시스템과의 편리한 인터페이스를 제공하기 때문에, 운용자는 콘트롤러의 모니터상에 디스플레이되는 명령들을 사용하면서 용이하게 조작할 수 있다. 모든 조작은 마우스(mouse) 또는 키보드(keyboard)의 단축키(hot-key)를 통해 이루어지고, GUI 프로그

램이 직접 시스템의 하드웨어를 제어하게 하였다. 컴퓨터 모니터상에서 메뉴의 순서는 실제 작업의 순서와 같게 배열하였다. 본 프로그램은 풀다운 메뉴 방식으로 구성하였고, 메뉴에서의 버튼(button)은 시스템에서의 하나의 명령어(command)에 해당한다.

### 3.2 메뉴의 구성 및 기능

메뉴에서의 버튼은 하나의 객체로서 특정한 명령어 역할을 담당한다. 대표적 예로 HOME(^H) 명령은 작업의 순서에 있어서 제일 먼저 수행하는 명령으로, 명령이 수행되면 X축, Y축, Z축의 순서로 원점(home)의 위치까지 테이블이 움직인다. 각 축에 있어서 원점 스위치가 ON되면, 콘트롤러는 이 신호를 받아들이고, 바로 그 지점에서 좌표축의 양(+)의 방향으로 10mm 전진하여 정지한다. 콘트롤러는 이 지점을 원점 위치로 인식하고, 좌표의 원점(0, 0, 0)으로 설정한다.

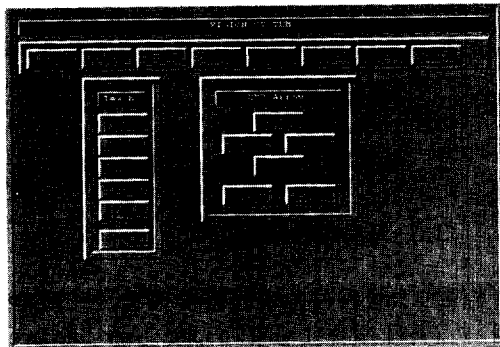


Fig. 6 Sub-one of TEACH menu

Figure 6은 TEACH(^T) 명령의 하부 메뉴구조를 보여 주고 있다. 이 명령으로 작업할 순서의 경로를 용이하게 교시(teach)할 수 있다. 교시된 점들은 FILE/SAVE 명령을 이용하여 저장 가능하여, 시스템을 다시 기동시켰을 때에도 단순히 저장된 데이터(data)만 로드(load)하면 되기 때문에 한 번 교시된 데이터를 반복적으로 이용 가능하다. 또한 어느 한 교시점만을 바꾸고자 한다면, 해당위치만 재교시를 해주면 된다. XYZ 각 축의 이동은 화면에 보이는 것처럼 원하는 축 방향의 버튼을 누름

으로써 원하는 지점까지 옮길 수 있고, 버튼을 누르고 있는 동안만 테이블이 움직이게 된다. 교시 방법은 XYZ Arrow 박스 안에 있는 방향 버튼을 눌러 원하는 지점으로 토오치를 이동시킨다. 원하는 지점으로 이동이 끝났으면, Teach 박스 안에 있는 해당 지점의 버튼을 클릭(click)함으로써 교시점이 저장된다.

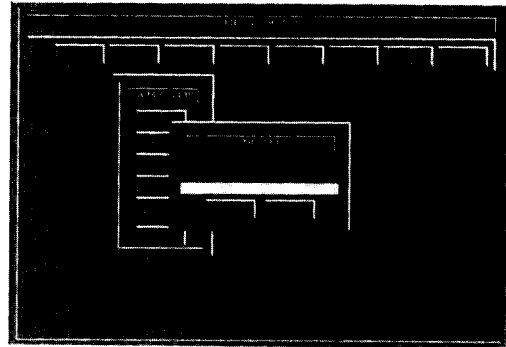


Fig. 7 Sub-one of CONFIG menu

Figure 7은 CONFIG(^C) 메뉴의 하부구조로, 용접을 행하는데 있어 필요한 파라미터를 초기 값으로 설정할 수 있다. 용접전류(A), 용접전압(V), 용접속도(mm/sec), 부재길이(mm), 비드길이(mm) 등이 설정 가능하다.

### 3.3 소프트웨어 운용방법

Figure 8은 용접선 추적 중 각 위치에서의 동작 상태를 일련의 과정으로 보여 주고 있다. 주요 위치에서의 기능은 다음과 같다.

- 1) 그림에서 나타낸 바와 같이 XYZ축 상에 설치된 토오치 및 센서를 원점에 위치시킨다.
- 2) 용접선을 찾기 전 적절한 위치까지 빠른 속도로 근접하게 되는 근접지점(AP)을 지정한다.
- 3) 영상처리를 실시하여 센서가 용접선을 스스로 찾을 수 있는 위치를 설정한다. 이를 탐색지점(SP)으로 지정한다.
- 4) 용접개시 지점(ASP)은 수동모드에서 설정하는 것으로, 센서 스스로 용접개시점을 찾는 자동 탐색모드에서는 설정이 불필요하다. 시각센서 스

스로가 용접개시 지점(ASP)를 찾는 자동탐색모드에서는 갭이 센서가 찾을 수 있는 범위에서 처음 발견된 경우를 용접개시 위치로 인식하고, 인식된 지점부터 카메라가 좌우 상하 추적을 개시하게 된다. 한편 탐색지점에서 50mm이내에 용접개시지점이 발견되지 않을 경우는 추적을 멈추게 된다. 용접개시지점이 수동으로 미리 교시된 경우는 교시된 지점에서 추적 및 용접을 개시한다.

5) 용접종료 지점(EOS)은 수동모드에서 지정하는 것으로, 자동탐색모드에서는 설정이 불필요하다.

6) 용접을 끝내고 토오치 및 센서가 안전한 최종 지점(EP)으로 이송되게 한다.

동일 부재의 경우, 새로운 교시없이 사용자 인터페이스 메뉴상에서, 교시 데이터를 가진 파일을 불러낸 다음, 제반 용접 및 추적 조건(Arc On, Camera On, Max. 용접선 길이, 용접속도)을 설정하고, 추적 버튼을 눌러 추적을 개시할 수 있다. 진행 중 전류의 크기는 측정된 갭 크기에 의해 결정된다. 추적도중 Y, Z방향으로 토오치와 용접선의 편차를 보상하는 테이블이 이동이 지속된다. 추적도중 용접종료지점 여부를 판단하여, 일정 길이 이상 갭이 발견되지 않을 경우, 종료지점으로 인식하고 용접을 중단하게 된다.

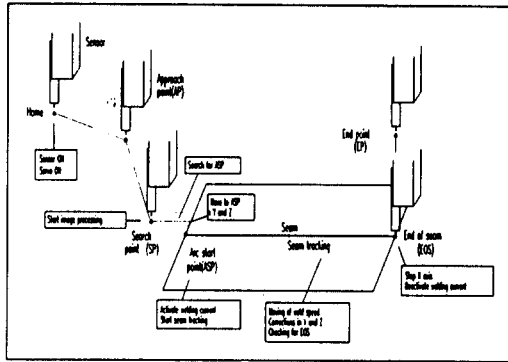


Fig. 8 Tracking process cycle description

수동으로 용접종료지점을 설정한 경우에는, 설정된 위치까지 용접을 실시한다. 용접종료지점에서는 아크를 OFF 시키고, X 방향 움직임을 중지시킨

상태에서 최종 지점(EP)으로 테이블이 이동하게 된다. 용접을 다시 시작할 경우, 테이블은 근접지점으로 귀환하게 되어, 시작신호를 대기하는 상태가 된다.

#### 4. 시각센서 시스템의 성능 실험

시각센서의 측정 정도를 시험하기 위하여, 카메라 기준 위치(피측정점이 화상의 중앙(256, 256)에 위치)로 부터, Y방향(용접 진행 방향의 수직)에서 1mm 간격으로 ±5mm까지, Z방향(토오치의 높낮이 방향)에서 1mm 간격으로 ±5mm까지 움직이면서 갭의 중앙 위치를 계측하였다.

개발된 센서시스템의 추적 성능을 시험하기 위하여 용접선의 방향을 진행방향에 대해 3.3, 4.5, 5.4, 5.6°의 편차(offset)을 각각 두고, 높이 방향으로 1.5°의 편차를 두어 좌우와 동시에 높이 방향으로의 추적성을 평가하였고, 이와 병행하여 용접 부재의 갭 크기를 계측하여 실시간으로 용접전류가 변화하게 하였다. 시험 부재의 크기는 가로 300mm, 세로 450mm, 두께 15mm의 연강판재를 사용하였고, 시작부의 갭 크기를 0으로 두고 종단부의 갭 크기를 2mm로 설정하였다. 용접전류는 다음의 식(1)에 의하여 설정되게 하였다.

$$I = K G + B \quad (1)$$

여기서, I는 용접전류(A), G는 계측된 갭의 크기(mm)이다. 실험에서는 비례상수 K를 15, 갭의 크기가 영(zero)일 때의 전류 크기 B를 250으로 두었다. 용접에 사용한 보호가스는 CO<sub>2</sub> 이었고, 용접속도는 10mm/s로 균일하게 설정하였다.

#### 5. 결과 및 검토

측정 정도의 계측 결과를 Table 1에서 보여주고 있다. 이 결과에서 기준 위치에서의 계측정도는 양호한 편이나, 이를 벗어난 위치에서는 다소의 오차가 발생하였다. 이는 카메라를 포함한 센서 부분의 정렬 상태가 이론적 계산에서의 배치와는 달리 실제적으로 다소의 오차를 갖고 있는 결과로

해석된다. 본 연구에서는 센서가 위치 편차를 추적하기 때문에, 기준 위치 근방에서의 오차가 계속 정도를 결정함으로, 용접선 추적상에서 중대한 오차를 유발하지는 않으리라고 판단되었다. 다만, 센서를 이용하여 일부재의 형상 계측에 응용하기

경우에도 용이하게 적용될 수 있다고 판단되었다. 영상처리 및 이동명령을 위해 설정한 샘플링 시간은 0.3초였으나, 실제로는 0.2초가 소요되었다.

Figure 9는 레이저 띠로부터 용접선에 대한 정보를 추출하기 위해 선 탐색 및 갭 탐색 알고리즘

**Table 1** Comparison between set and measured distance in the Y and Z directions

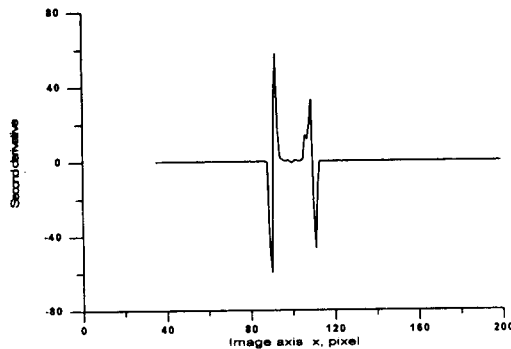
Y	Set Distance, mm	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
	Measured Distance, mm	-4.78	-3.85	-2.85	-1.79	-0.92	0	0.99	1.98	2.9	3.89	4.81
Z	Set Distance, mm	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
	Measured Distance, mm	156.1	157.4	158	158.6	159.2	160	161.3	162	162.5	163.3	164.3

위해서는 본 연구에서 이용한 수학적 모델링 방법보다, 별도의 보정 방법을 이용하여 영상의 좌표와 실제 크기와의 관계식을 도출함으로써 더욱 정확한 계측 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다.

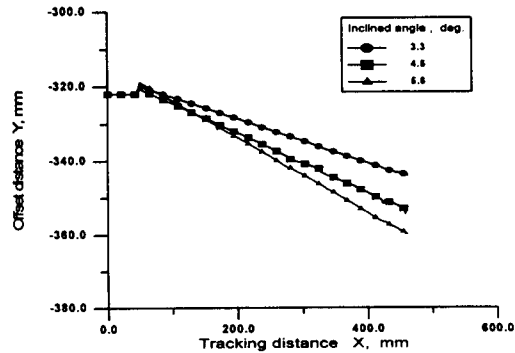
시각센서의 성능실험은 본 연구에서 개발한 사용자 인터페이스 프로그램을 이용하여 실시하였는바, 용접 위치 및 조건의 교시설정 과정이 매우 용이하였고, 용접과정이 정해진 순서에 의거 정확하게 순차적으로 진행되었다. 또한 자동 용접개시점 탐색과 종료지점 탐색 등의 기능이 정상적으로 동작되었다. 교시반과 사용자 인터페이스 프로그램을 동시에 활용함으로써, 구동테이블의 운용을 자동/수동모드로 전환할 수 있어, 실 구조물 용접의

을 적용한 결과로, 레이저 세기의 2차 미분값이 갭에 대한 정보를 명확하게 제공할 수 있음을 보여주고 있다.

Figure 10은 Y방향의 편차만을 각각 3.3°, 4.5°, 5.6°로 설정하고, 용접을 실시하지 않고 용접선을 400mm 추적한 실험결과로, 실제 시험 부재의 편차와 추적된 결과는 거의 일치하고 있음을 보이고 있다.



**Fig. 9** Second derivative of grey level along laser stripe



**Fig. 10** Y-axis locus of torch during visual gap tracking without welding

Figure 11은 Z방향의 추적결과로, 추적오차가 도중에 다소 나타남을 보여 주고 있다. 이는 센서 자체의 Z방향 분해능이 0.42mm로 다소 낮고, 또한 레이저 띠가 영상에서 8픽셀을 접하는 상당한 두께를 가지고 있기 때문으로 판단된다. 따라서



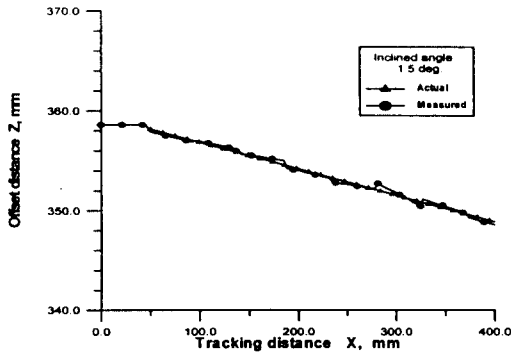


Fig. 11 Z-axis locus of torch during visual gap tracking without welding

Z방향의 추적성능을 더욱 향상시키기 위해서는 Z 방향의 분해능을 높일 수 있는 센서설계 개선과 레이저 두께를 줄이는 방안이 필요하였다.

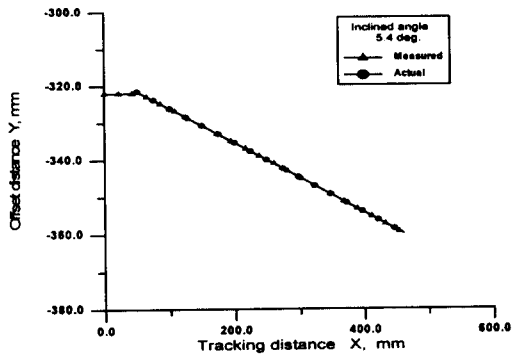


Fig. 12 Y-axis locus of welding torch during seam tracking with welding

Figure 12는 용접을 실시한 상태에서, Y방향의 편차에 대한 추적 시험 결과로, 실제 용접 도중에 발생하는 아크와 스패터의 영향을 받지 않고 추적할 수 있음을 보여 주고 있다.

Figure 13은 추적도중 계측된 갭의 변화를 나타내는 결과로, 실제 갭의 크기를 근사적으로 계측하고 있음을 보여 주고 있다. 이때 나타나는 갭 크기의 다소 심한 편차는 갭 탐색 알고리즘이 강건하지 못한 결과로 판단되었다. 향후 이를 보완하기 위해서는 갭의 크기가 급격히 변화하지 않는다는 전제하에, 계측된 갭의 크기를 충분히 선형화하는 필터링 기법이 적용될 여지가 있으나, 기본적으로

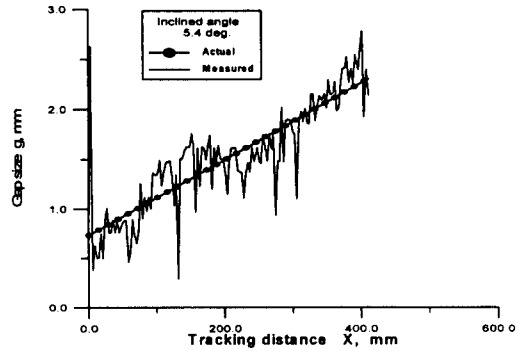


Fig. 13 Variation of gap size during visual seam tracking

는 센서의 분해능을 향상시킬 수 있는 센서 설계가 되어야 하고, 갭의 탐색을 더욱 정교히 할 수 있는 새로운 알고리즘을 개발할 필요가 있었다.

Figure 14는 용접선 추적과 동시에, 계측된 갭의 크기에 대응되게 용접전류를 변화하여 용접한 결과를 보여 주고 있다. 용접선의 편향에 대해서도 실시간으로 우수한 추적상태를 보였고, 비록 갭의 계측에서 다소 심한 편차가 발생하였으나, 최종 용접 비드는 매우 연속적이고 양호한 상태를 보여 주었다.

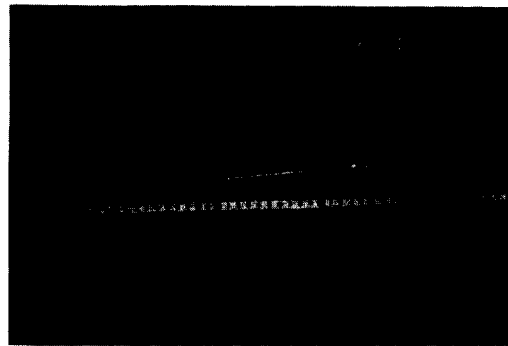


Fig. 14 Result of weld seam tracking

## 6. 결 론

본 연구를 통해 시각센서시스템의 하드웨어 및

소프트웨어를 설계·제작하고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시각센서, XYZ 구동테이블, 용접기 등으로 구성된 시각센서시스템을 설계·제작하였다.
- 2) 레이저 광원의 경로를 2개의 거울로 변경시키는 방법으로 시각센서의 크기를 줄일 수 있었고, 이미지 투사법을 이용하여 레이저 띠의 영상을 용이하게 분할해 낼 수 있었다.
- 3) 그래픽 사용자 인터페이스 프로그램을 개발하여, 사용자가 용이하게 시스템을 운용할 수 있었고, 메뉴구조의 소프트웨어 명령으로 센서, 구동테이블, 용접기 등을 직접 제어할 수 있었다.
- 4) 센서 시스템의 성능실험을 통해 맞대기 이음 구조물의 용접선 추적이 가능함을 보였고, 갭의 인식이 추적과 동시에 가능하여, 갭의 변화에 대응하는 용접 전류의 실시간 설정이 가능하였다.

향후, 개발된 센서 시스템을 실제 용접 구조물의 용접선 추적에 응용할 예정이다. 이를 위해 가접(tack bead)의 탐색 알고리즘을 추가하고, 갭 탐색 알고리즘을 개선하며, 영상처리에 필요한 샘플링 시간을 줄일 수 있는 방안을 모색할 예정이다.

## 참 고 문 헌

1. Servo-Robot Inc. : Characteristics of 3-D Laser Vision Systems, CANADA
2. MVS Modular Vision Systems Inc. : Laser Vision Sensor MVS-10 Specifications, CANADA
3. J.E. Agapakis, J.M. Katz, M. Koifman, G. N. Epstein, J.M. Friedman, D.O. Eyring and H.J. Rutishauser : 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. S. Nakata : Detection of Weld Line and Gap Detection Width Based on Analysis of Intensity Distribution of Scattered Laser Slit Light, Quarterly Journal of JWS, Vol. 7, NO. 1, 1989, pp. 82-87
5. K. Inoue : Noise Rejection for Joint Configuration Detection of Arc Welding by using Neural Network, Trans. JWRI, Vol. 24, NO. 2, 1995, pp. 37-44
6. 신정식, 김재웅, 나석주, 최철용 : 겹치기 이음에서 시각 추적시스템에 관한 연구, 대한용접학회지, 제 9권, 제 2호, 1991, pp. 20-28
7. 손영탁, 김재선, 조형석, 고광일 : 로봇 아크 용접 공정을 위한 용접집합부의 시각인식 및 추종, 대한기계학회논문집, 제 19권, 제 12호, 1995, pp. 3216-3229
8. 유재용, 유원상, 나석주, 강계형, 한용섭 : LNG 탱크의 주름진 내벽박판용 자동용접시스템의 개발에 관한 연구, 대한용접학회지, 제 14권, 제 1호, 1996, pp. 62-69