

研究論文

## LNG 탱크의 주름진 내벽박판용 자동용접시스템의 개발에 관한 연구

유 제용\* · 유 원상\* · 나 석주\*\* · 강 계형\*\*\* · 한 용섭\*\*\*

### A study on development of automatic welding system for corrugated membranes of the LNG tank

J. Y. Yu\*, W. S. You\*, S. J. Na\*\*, G. H. Kang\*\*\* and Y. S. Han\*\*\*

**Key word :** Vision sensor(시각 센서), Torch rotating mechanism(토치 회전 기구)  
Specular reflection(경면 반사), CCD(촬상소자), Reference trajectory(기준 궤적), Corrugated membrane(주름잡힌 박판)

### Abstract

Development of an automatic TIG welding system incorporating a vision sensor and torch control mechanism leads to an improved welding quality and greater production efficiency. The automatic welding system should be greatly restricted in its size and weight for the LNG (Liquefied Natural Gas) storage tank and also provide a unique torch rotating mechanism which keeps the torch tip in the constant position while the angle is changed continuously to maintain the welding torch substantially perpendicular to the weld line.

The developed system is driven by two translation axes X, Z and one rotational axis. A moving line window method is adopted to the image recognition of the corrugated membranes with specular reflection. This method decides original laser stripe patterns in image which is affected by multi-reflection.

A self-teaching algorithm, which guides the automatic welding machine with the information provided by the CCD camera without any previous learning of a reference trajectory, was developed for tracking the corrugated membrane of the LNG tank along the weld line.

---

\* 학생회원, 한국과학기술원 기계공학과

\*\* 정회원, 한국과학기술원 기계공학과

\*\*\* 정회원, 대우중공업(주) 생산기술연구소

## 1. 서론

아크용접 공정에서 고도의 자동화를 위해서는 용접을 해야 할 부분을 추적하고 용접변수를 자동으로 조절할 수 있도록 용접선 위치와 용접부 형상을 측정할 수 있는 센서의 개발이 필요하다. 여러 종류의 센서 가운데 시각센서는 광삼각법의 원리를 이용하여 용접 모재와의 접촉이나 간섭이 없이 용접공정과 무관하게 측정이 이루어지고 용접선의 위치정보 뿐만 아니라 용접부의 형상정보를 3차원 좌표로 얻어낼 수 있다. 이러한 시각센서의 많은 장점 때문에 1980년대부터 시각센서를 용접자동화 공정에 적용시킨 많은 연구가 이루어져왔다<sup>1-6)</sup>.

LNG는 천연 무공해 연료로서 최근 들어 그 수요가 급증하고 있는 실정이며, 이에 따라 LNG의 저장과 운반을 위한 LNG 탱크의 제작도 아울러 급증하고 있다. LNG 탱크의 크기와 모양은 그 용도에 따라 다양하나 대개가 대형 구조물이어서 탱크에 기계적 강성을 지니게 하기 위하여 탱크의 내벽은 바둑판처럼 주름잡힌 박판(corrugated membrane)을 사용하고 두세 겹의 외벽을 설치하여 강성 및 안전성을 보완한다.

최근에 LNG 탱크의 주름진 내벽시공을 위한 자동용접시스템의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있지만 대부분이 접촉식 센서를 이용하고 있고 센서가 토치와의 간섭을 피하기 위해 앞서 진행하여 측정하고 있기 때문에 정밀도가 떨어지고 용접부 표면의 상태에 따라 큰 영향을 받을 뿐만 아니라 높이 변화가 있는 다른 용접공정에 대한 적용에 있어 유연성이 떨어진다.<sup>7,8)</sup> 본 연구는 이러한 LNG 탱크의 주름진 내벽 박판의 GTA용접을 위한 자동용접장치와 접촉식 센서에 비해 유연성과 정확도면에서 우위에 있는 시각센서의 설계와 개발을 목표로 하였다. 제작된 시각센서는 주름진 박판의 형상정보를 충분히 얻기위해 용접진행 방향과 평행하게 레이저를 조사하고 아크광의 영향을 줄이기위해 용접선과 동일한 높이정보를 제공하는 용접선 옆부분을 측정하였다. 또한 경면반사성질을 가지고 있는 주름진 박판의 표면에 조사된 레이저 띠의 오차없는 인식을 위해 이동 직선창(moving line window) 알고리즘을 제시하였다.

## 2. LNG 탱크 용접을 위한 자동용접시스템의 구성

### 2.1 자동용접시스템의 하드웨어 개요

주름진 내벽의 시공은 Fig. 1에 나타난 규격화되어 주름이 잡히도록 성형된 박판을 연속적으로 용접하여 이루어진다. 이 공정은 평평한 박판의 용접공정보다 까다로운 공정일 뿐만 아니라 숙련된 기술과 정밀도가 요구되어 대개가 숙련공에 의한 수용접에 의존하고 있다. 이러한 까다로운 용접공정은 다른 분야의 용접공정보다 자동화가 보다 절실히 요구된다. LNG 탱크용 자동용접시스템에 대한 전체 구성은 Fig. 2에 나타내었다. 개발된 LNG 탱크용 자동용접시스템은 크게 기구부, 센서부 그리고 제어부로 나눌 수 있다.



Fig. 1 Corrugated membranes in vertical and flat bottom walls

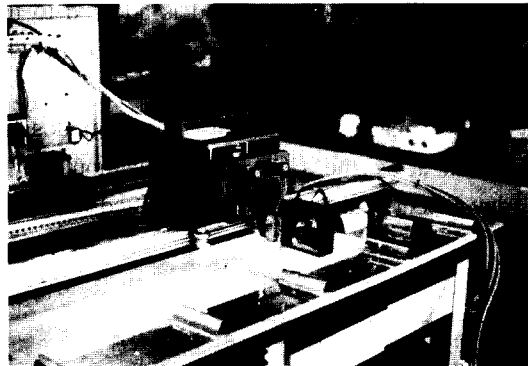


Fig. 2 Automatic welding system for LNG tank

기구부는 주름진 박판(corrugated membrane)의 접치기 이음부분이 매우 정밀하게 정형되어 제공되는 용접제이기에 그 직진성이 보장되므로 토치의 직선 운동을 가능하게 하는 2개의 직교좌표축과 1개의 회전축을 가지고 높이변화가 있는 주름진 박판을 추적할 수 있다. 이때 기구부가 주름잡힌 박판에 부착과 분리를 자유로이 할 수 있는 가이드를 따라 용접 방향으로 이동하는 방향을 X축이라 하고 주름잡힌 박판에 대하여 토치를 수직으로 이동하는 방향을 Z축이라 하였다. 주름진 박판에서 높이변화가 있는 부분의 용접시 모재와 토치의 일정한 각도를 유지시키기 위해 토치의 회전이 필요한데 이때 토치의 회전 방향을  $\theta$ 축으로 정하였다. 기구부의 크기는  $350\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$ , 무게는 20kg 정도로 가이드와 함께 이동이 용이하도록 설계제작 되었다.

센서부는 690nm의 파장을 갖는 다이오드 레이저와 원통형 렌즈를 이용하여 평면형태로 구조화된 빛(structured light)을 조사해 주는 부분과 대역필터와 카메라 렌즈를 포함한 소형 2차원 CCD 카메라로 구성되어 있다. 기존의 시각센서는 용접선 방향으로 토치 앞에 위치하여 구조화된 빛이 용접선 방향에 대해 용접선을 가로질러서 조사하므로써 용접선을 발견하는 것이 목적이다. 이러한 방법을 LNG 탱크의 자동용접에 사용할 경우에는 토치 회전시 시각센서와 토치가 간섭을 일으키고 시각센서에서 획득한 한 개의 화상에서 경사도에 대한 정보를 얻을 수 없다. 따라서 Fig. 2에 나타난 바와 같이 용접 진행방향에 대해 구조화된 빛을 평행하게 조사하고 용접 진행방향에 대해 수직으로 토치 홀더에 시각센서를 부착하면 주름진 박판의 높이 변화 측정을 용이하게 할 뿐 아니라 시각센서가 토치와 동일한 운동을 하기 때문에 시각센서와 토치, 시각센서와 주름진 박판의 높이변화가 있는 부분과의 간섭을 배제할 수 있다.

제어부는 시각센서에서 획득한 영상의 처리와 기구부의 운동을 제어하는 역할로 486PC에 인터페이스(interfacing)된 DSP 영상보드와 모터 컨트롤 보드로 구성되어 있다.

## 2.2 토치 회전부의 기구학

LNG 탱크의 자동 용접을 위해 Fig. 2에 나타난 바와 같이 시각센서를 용접 토치홀더 옆면에 직접 부착시켜 토치 회전시 시각센서도 동일한 각으로 회전하도록 하여서 용접부의 경사도를 측정할 수 있고 주름진 박판의 굴곡부분(corrugation)과 간섭을 최대한 배제하였다. 용접 진행중 굴곡진 부분에서는 토치가 용접부와의 사이각을  $90^\circ$ 로 유지하기 위해서는 토치를 용접부의 경사각만큼을 회전시켜 주어야만 한다. 회전 기구가 토치를 회전시킬 때 토치 끝의 바로 아래에 발생하는 아크가 회전의 중심이 되도록 회전기구를 설계하여야 토치의 회전에 의하여 발생하는 여러 가지 문제점들 방지할 수 있다. 즉 용접이 되지 않는 부분의 발생과 여러 번 용접이 되는 부분의 발생을 방지할 수 있고 토치와 용접부와의 거리(arc length)를 일정하게 유지할 수 있어서 용접 품질을 향상시킬 수 있다.

Fig. 3의 (a)는 설계된 회전 기구의 개략적인 기구학 모델(kinematic model)이다.<sup>9)</sup> 회전기구는 5개의 링크(link)로 구성되어지고 회전운동을 유발하는 모터의 축은 O에 연결되어 진다. Fig. 3의 (a)에 도시한 바와 같이 링크1과 링크2는 동일한 크기(85mm)와 동일한 위치에 조인트(joint)를 가지고 있으며 링크3과 링크4도 동일한 크기(밀변 100mm, 빗변 95mm의 이등변 삼각형)를 가지고 있고  $\overline{OB}$ 와 같은 크기(55mm)의 링크5에의 연결되어 있다.

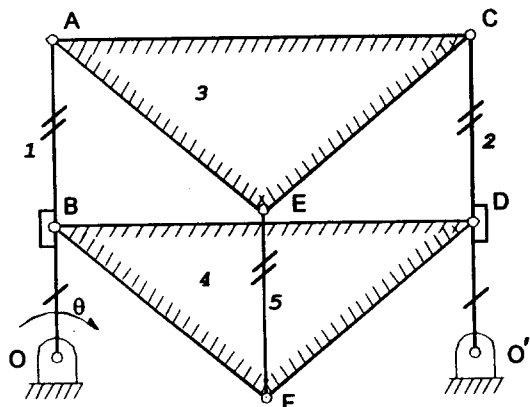


Fig. 3 Kinematic model of the rotation mechanism  
(a) Dimension of kinematic model

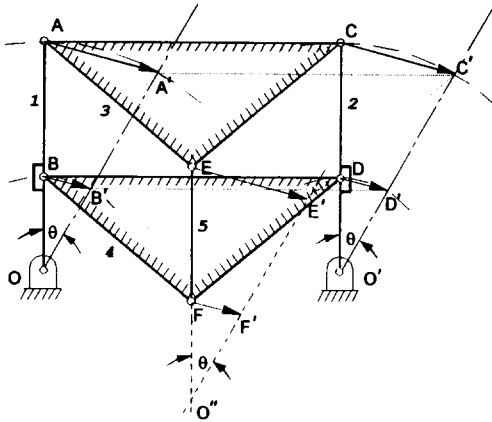


Fig. 3 Kinematic model of the rotation mechanism  
(b) Motion of link 5 in kinematic model

Fig. 3의 (b)는 링크1이 임의 회전각  $\theta$ 를 가지고 회전할 때 각각의 링크의 운동을 도시한 그림이다. 이때 링크2는 아래와 같은 두 가지 조건에 의해 링크1과 동일한 운동을 하게 된다.

$$1. \overline{OA} = \overline{O'C}, \overline{OB} = \overline{O'D}$$

2. 동일한 크기의 링크 3, 4에 의해 평행구속  $\theta$ 만큼의 회전에 의해 아래의 식 (1), (2)로 점A, B, C, D의 운동이 기술되어 진다.

$$A\vec{A}' = C\vec{C}' \tag{1}$$

$$B\vec{B}' = D\vec{D}' \tag{2}$$

또한 링크 3, 4가 강체 (rigid body)라 가정하면 강체 내에서 임의의 서로 다른 두점의 변위 벡터가 같으면 강체의 어떠한 점도 이와 동일한 변위 벡터를 가지므로 링크3, 4의 내부의 점E, F도 동일한 변위 벡터를 가진다. 이를 다음에 있는 식 (3), (4)로 나타낼 수 있다.

$$A\vec{A}' = E\vec{E}' \tag{3}$$

$$B\vec{B}' = F\vec{F}' \tag{4}$$

따라서 링크3, 4는 링크1의 회전운동에 기인하여 운동을 하지만 결국 회전운동 성분이 없는 직선 운동만을 하게 된다. 위 식들을 종합하면 결국 아래와 같이 식 (5)으로 표현할 수 있다.

$$\square ABB'A' = \square EFF'E' = \square CDD'C' \tag{5}$$

이등변 사다리꼴  $\square ABB'A'$ 에서  $\overline{AB}$ 와  $\overline{A'B'}$ 의 연장선이 만나는 점은 링크1의 회전중심인 O이다. 마찬가지로  $\square EFF'E'$ 에서  $\overline{EF}$ 와  $\overline{E'F'}$ 의 연장선이 만나는 점을 O''라 하면 O''은 링크5의 회전중심이

되고 이것은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\triangle OAA' = \triangle O'CC' = \triangle O''EE' \tag{6}$$

$$\triangle OBB' = \triangle O'DD' = \triangle O''FF' \tag{7}$$

이와 같이 링크5의 회전중심 O''은 점F로부터  $\overline{EF}$ 의 연장선을 따라  $\overline{OB}$ 만큼 떨어져 있으며 링크 5는 링크1과 동일한 각속도를 가지고 동일한 각도만큼 회전 운동한다. 결국 O''은 O와 같이 고정된 회전중심의 역할을 하므로 토치를 링크5에 연결하여 토치 끝의 바로 아래에 발생하는 아크중심을 O''에 맞추면 토치회전시 아크가 항상 고정된 회전중심 역할을 하므로 아크의 위치와 길이를 고정시켜 균일한 용접품질을 얻을 수 있다.

### 3. 주름진 박판의 형상 측정과 추적

#### 3.1 시각센서를 이용한 용접선 인식과 추적 원리

Fig. 4는 개발된 LNG 탱크의 굴곡진 박판 용접을 위한 자동용접장치의 전체적인 추적원리를 블록선도(block diagram)로 나타낸 그림이다. 우선 CCD 카메라로부터 주름진 박판에 조사된 레이저 띠의 영상을 획득하고 이 영상은 DSP 영상보드에 의해 화소의 밝기가 256등급으로 이루어진 640x480 크기의 흑백 이산영상(digital figure)으로 변환된다. 이러한 일련의 영상획득 과정은 1/60초 동안에 이루어진다. 광삼법각을 이용하는 시각센서의 측정 범위는 근접평면(near plane)에서는 25.2mm, 원평면(far plane)에서는 34.6mm이고 레이저 광원과 CCD 카메라의 분리각을 40°로 설계하

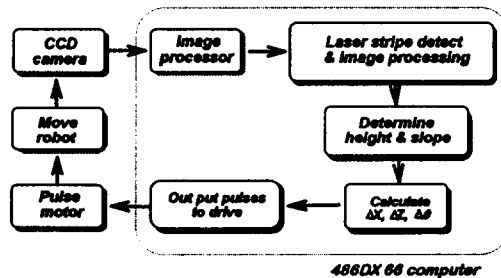


Fig. 4 Block diagram of the visual and the tracking system

여 측정 범위 내에서의 깊이 방향의 평균 분해능을 70 $\mu$ m로 향상시켜 주름진 박판의 굴곡진 부분의 경사도를 손쉽게 측정할 수 있도록 하였다. 획득된 영상으로부터 여러 가지의 작업을 거쳐 굴곡진 박판의 높이와 경사도를 인식할 수 있다. 굴곡진 박판의 추적에 요구되는 각 축의 이동량( $\Delta X$ ,  $\Delta Z$ ,  $\Delta \theta$ )은 현재의 토치 위치와 획득된 영상의 중심에서 용접 진행방향으로 50 화소(pixel) 앞에 위치한 레이저 띠의 중심에 해당하는 좌표값의 차이를 계산하여 펄스모터에 입력된다. 구조화되어 조사되는 레이저 띠는 굴곡진 박판의 평평한 부분에서는 용접선과 평행한 직선이고 굴곡진 부분에서는 곡선형태를 갖는다. 시각센서의 X방향과 Z방향의 좌표가 토치의 좌표와 일치하므로 시각센서의 위치를 제어하므로써 토치의 위치를 제어하여 굴곡진 박판의 용접선에 대해 수직하게 토치를 위치시킬 수 있다.

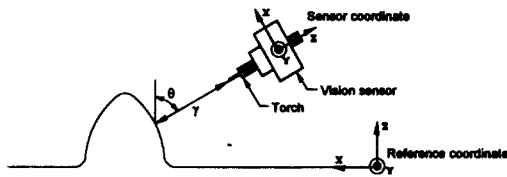


Fig. 5 Coordinates system between sensor and corrugated membranes

Fig. 5는 굴곡진 박판의 용접시 측면에서 본 시각센서와 토치 그리고 굴곡진 박판의 좌표축을 나타낸 그림이다. 균일한 용접속도는 단지  $V_x$ 와  $V_z$ 의 두 방향의 속도를 제어함으로써 얻을 수 있다. 왜냐하면  $\theta$ 축의 회전은 토치의 끝단 아래에 있는 아크를 중심으로 회전하여 토치와 용접재의 굴곡진 부분과의 사이각을 90°로 유지시켜 줄뿐 용접속도에는 영향을 주지 않기 때문이다. 따라서 균일한 용접속도  $V_w$ 를 굴곡진 박판의 어느 부분에서나 얻기 위해서는 X축과 Z축의 속도인  $V_x$ 와  $V_z$ 는 아래와 같이 식 (8)과 식 (9)와 같이 되어야한다.

$$V_x = V_w \cos\theta \quad (8)$$

$$V_z = V_w \sin\theta \quad (9)$$

용접속도  $V_w$ 와 아크 길이  $\gamma$ 는 굴곡진 박판의 추적 전에 정해진 값이며  $\cos\theta$ 와  $\sin\theta$ 는 시각센서로부터 얻어지는 굴곡진 부분의 경사도 정보와 현재

시각센서의 회전량을 나타내는  $\theta$ 축 모터에 설치된 엔코더(encoder)의 펄스수에 의해 계산되어진다. 또한 아크 길이  $\gamma$ 는 시각센서에서 모재와 센서사이의 거리를 측정하므로써 그 길이를 일정하게 유지할 수 있다.

시각센서로 부터 측정되는 굴곡진 박판의 형상은 시각센서를 기준으로 측정된 정보이므로 이는 용접선 추적시 시각센서의 이동과 회전에 의해 수시로 바뀌게 된다. 따라서 아래의 식 (10)과 같이 기준좌표계를 기준으로 나타내면 원래의 굴곡진 박판의 형상을 알 수 있다.

$${}^*P = {}^*T {}^sP \quad (10)$$

여기서  ${}^*P$ 는 기준좌표계로 표현된 굴곡진 박판의 좌표이고  ${}^sP$ 는 시각센서로부터 측정된 좌표이다. 그리고  ${}^*T$ 는 기준좌표계와 시각센서 사이의 변환행렬이다.

### 3.2 이동 직선창(moving line window) 알고리즘의 구현

경면반사(specular reflection) 성질을 갖는 용접 모재는 레이저 띠가 모재에 조사될 때 조사된 부분 뿐만아니라 모재에서 반사된 레이저 띠가 다시 모재의 다른 부분에 조사될 때에도 그 빛의 세기가 줄어들지 않아 시각센서에 획득한 영상에서 원래 조사된 레이저 띠를 인식하는 것이 용이하지 않아 영상처리 과정에서 그릇된 정보를 유발하게 한다.

LNG 탱크의 내벽재로 쓰이는 굴곡진 박판은 그 소재가 스테인레스강 계열이어서 이러한 경면반사 성질이 매우 크다. Fig. 6은 경면반사에 의한 이차 반사의 영향을 나타낸 실제 사진이다. 여기서 굴곡진 부분에 조사된 레이저 띠가 모재의 경면반사 성질에 의해 하나의 선 모양이 아니라 여러 갈래로 갈라진 형상을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 여러 갈래의 레이저 띠 형상은 CCD 카메라로 획득된 영상의 레이저 띠의 형태로부터 높이 정보와 경사도 정보를 추출하는 시각센서에 큰 영향을 준다. Fig. 7은 굴곡진 부분에서 발생하는 경면반사 영향을 나타내는 실제 화상의 한 예이다. Fig. 7의 오른쪽 부분에는 경면반사의 영향으로 인해 여러 갈래의 레이저 띠가 보이며 이차반사되어 나타난 레이저 띠가 원래 모재 표면에 조사된 레이

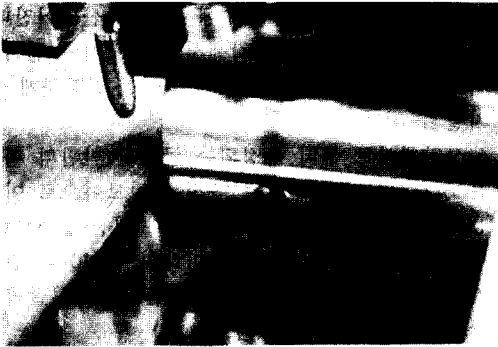


Fig. 6 Multi-reflection of the projected laser pattern



Fig. 7 An example of the multi-reflections on the LNG corrugated membranes

저 띠보다 밝게 나타나는 경우도 생기는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 특히 굴곡진 부분이 시작되고 끝나는 부분에서 심각하게 나타난다. 일반적인 영상처리 방법으로는 CCD 카메라로부터 획득된 영상의 각 화소의 밝기 정도를 이용하는 무게 중심법이나 임계값 방법(thresh holding) 등이 있으나 이러한 방법은 이차 반사에 의해 나타난 레이저 띠가 더 밝을 경우에는 원래의 레이저 띠를 인식하는 것이 불가능하다.

본 연구에서 제안한 이동 직선창(moving line window) 알고리즘은 모재인 굴곡진 박판이 유연하고 연속적인 모양을 유지하고 있어 각 부분의 높이가 유연하게 변화한다는 점과 이차반사의 영향이 가장 심하게 발생하는 부분이 주름진 박판에서 굴곡이 시작되고 끝나는 부분이고 이때 이차반사에

의한 레이저 띠가 원래의 레이저 띠와 분리되어 있다는 점을 고려하였다. 굴곡진 박판의 용접은 높이 변화가 없는 평평한 부분에서 시작되고 이 부분에서는 이차 반사에 의한 영향이 없으므로 획득된 화상에서 쉽게 레이저 띠의 중심을 찾을 수 있다. 획득된 한 화상의 첫 번째 행(row)에서 레이저 띠의 중심으로 인식된 열(column)에 이동 직선창을 위치시킨다. 같은 화상의 다음 행에서 레이저 띠의 중심을 찾을 때에는 이전 행에서 이동 직선창이 위치한 열과 동일한 열에 이동 직선창을 위치시켜 레이저 띠를 찾는다. 이러한 일련의 반복적인 과정을 거쳐 한 화상의 대한 영상처리를 수행한다. 다음에 획득된 화상에 대한 영상처리는 앞서 획득한 화상의 첫 번째 행에서 이동 직선창이 위치한 열에 이동직선창을 위치시켜 동일한 방법으로 영상처리를 수행한다. 이동 직선창의 크기는 이차 반사에 의한 레이저 띠가 원래의 레이저 띠와 분리된 정도에 의해 정해지며 굴곡진 박판의 경우는 40화소(pixel)의 크기를 갖게하여 영상처리를 수행하였다. 이렇게 한 개의 화상에 대해 작은 직선창을 이동시키면서 화상처리를 수행하기 때문에 영상의 모든 영역을 검색하는 기존의 영상처리 방법보다 영상처리시간을 현저히 단축시켰다. DSP 영상보드를 이용하고 이동직선창의 크기를 40화소로 했을 때 한 영상에 대한 처리시간은 0.055초이다.

이차반사의 영향이 나타나는 실제 예인 Fig. 7을 본 연구에서 제안한 알고리즘을 이용하여 영상 처리한 화상을 Fig. 8에 나타내었다. 영상처리된 화

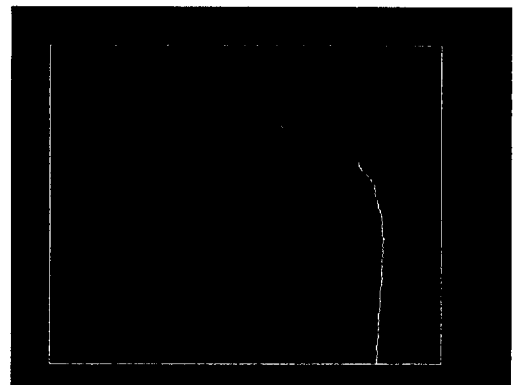
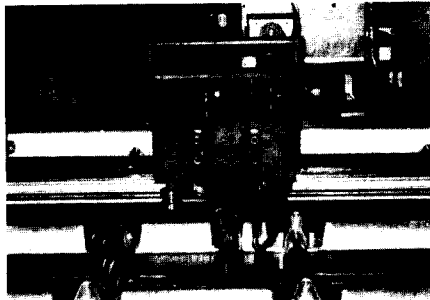
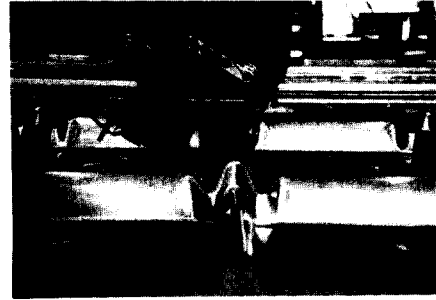


Fig. 8 Recognition result of the original pattern of Fig. 8.



(a) Tracking start at the flat part



(c) Tracking in the negative slope of corrugation



(b) Tracking in the positive slope of corrugation



(d) Return to the flat part

Fig. 9 Tracking of the LNG corrugation

상에서 알 수 있듯이 이차 반사에 의해 원래의 레이저 띠보다 밝게 나타나는 레이저 띠의 여러 갈래들이 제거된 것을 볼 수 있다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 9의 (a)는 가상의 용접 토치를 장착하고 굴곡진 박판의 평평한 부분에서 용접선 추적 장면을 나타낸 사진이다. 모재와의 토치와의 사이각을  $90^\circ$ 로 유지하기 위해 시각센서를 모재와 직각으로 유지하며 시각센서에서 측정된 모재와 시각센서의 거리를 일정히 유지시켜 정해진 토치의 회전 중심이 모재와 토치 끝단 사이에서 발생하는 아크의 중심에 있도록 한다. Fig. 9의 (b)는 굴곡진 박판의

경사진 부분을 추적하는 장면이다. 이때는 굴곡진 부분의 경사가 계속해서 변화하므로 시각센서로 측정된 경사도와 현재 시각센서의 회전각도를 고려하여 토치를 회전시켜 모재와의 토치와의 사이각을  $90^\circ$ 로 유지시킨다. 이때 토치의 회전중심은 아크의 중심으로 고정되어 있으므로 아크 길이의 변화나 용접점의 이동이 발생하지 않는다. Fig. 9의 (c)는 토치가 주름진 부분의 용접선 추적 마치고 다시 평평한 부분의 추적을 위해 토치를 반대 방향으로 회전하고 있는 장면이다. 굴곡이 끝나는 부분의 경사도는 굴곡이 시작되는 부분과 함께 가장 경사가 급격하게 변화하므로 토치의 빠른 회전이 요구된다. 따라서 이러한 부분들은 실제 용접을 수행하면서 추적실험을 할 때에는 용접 품질성을 고려하여 그 회전속도를 변화시키면서 가장 적

정한 회전 속도를 찾아야 한다. Fig. 9의 (d)는 LNG 탱크용 자동용접장치가 굴곡진 박판 추적의 한 주기를 끝내고 다시 평평한 부분을 추적하는 장면이다. LNG 탱크의 내벽용 굴곡진 박판은 일정한 주기를 가지고 굴곡(corrugation)이 있기 때문에 앞서 기술한 과정을 반복하면서 용접선 추적이 이루어진다.

굴곡진 박판의 추적은 용접을 행하지 않고 추적했기에 아크광의 영향이 없었다. 하지만 토치와 시각센서 사이의 거리가 충분하고 차단막을 설치하면 아크광의 영향은 거의 없을 것이라 사료된다. 다만 TIG 용접시 초기 아크 발생때 생성되는 강한 고주파 노이즈가 레이저 광원을 발생하는 다이오드에 영향을 줄 수 있지만 이는 초기 아크발생 후 시각센서를 동작시키거나 고주파 발생이 없는 TIG 용접전원의 사용등으로 방지할 수 있다.

## 5. 결 론

LNG 탱크의 자동용접을 위해 광삼각법의 원리를 이용하여 주름진 내벽 용접공정에서 용접부의 경사도와 용접부와 토치 사이의 거리를 측정할 수 있는 시각센서와 토치의 회전시 토치의 끝단이 변하지 않는 회전기구를 포함한 전체 기구부를 설계 제작하였고 또한 자동용접장치의 컨트롤러를 개발하여 실제 LNG 탱크의 주름진 박판을 성공적으로 추적하였다. 아울러 경면반사 성질을 갖는 주름진 박판에 조사된 레이저 띠의 인식을 실제적인 영상처리 알고리즘인 직선창(moving line window) 방법을 제안하여 효과적으로 영상처리를 수행하였다.

개발된 자동용접장치를 실제 LNG 탱크제작 현장에서 사용하기 위해서는 실제 용접을 수행하면서 주름진 박판을 추적하고 이때 얻어진 용접품질을 관찰하여 최적의 용접속도와 굴곡진 박판의 각 부분에서의 모재와 토치와의 사이각 및 여러 용접 조건에 대한 자료를 축적하는 추후의 실험이 필요하다. 이러한 일련의 연구가 성공적으로 마무리 되면 최근 세계적으로 수요가 급증하고 있는 LNG 탱크의 내벽 용접자동화에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. W. F. Clocksin, J. S. E. Bromley, P. G. Davey, A. R. Vidler and C. G. Morgan : 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
2. R. W. Richardson : Robotics weld joint tracking systems - Theory and implementation methods. *Welding Journal*, Vol. 65, No. 11, 1986, pp. 43-51
3. J. E. Agapakis : Approaches for recognition and interpretation of workpiece surface features using structured lighting. *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 4, No. 1, 1985, pp. 13-26
4. R. J. Beattie, S. K. Cheng and P. S. Logue : The use of vision sensors in multipass welding applications. *Welding Journal*, Vol. 67, No. 11, 1988, pp. 28-33
5. J. S. Sin : A study on seam tracking and arc data monitoring system in lap joint. M.S. Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1991
6. J. P. Huissoon, D. L. Strauss and W. P. Stefanuk : Dynamic seam tracking for weld process control. *Proceedings of the International Conference on Computerization of Welding Information IV*, November 3-6, Orlando, Florida, USA, 1992, pp. 226-239
7. M. Aricault and J. P. Lallemand : Joint tracking with a self-teaching system. *Welding Journal*, Vol. 69, No. 12, 1990, pp. 41-45
8. H. Nomura, T. Fujioka, M. Wakamatsu and K. Saito : Automatic welding of the corrugated membrane of the LNG tank. *Metal Construction*, Vol. 14, No. 7, 1982, pp. 391-395
9. 대한민국 특허출원 제94-6253호