

## 로봇을 이용한 조선 소조립 용접 자동화 시스템

### Robotic Welding System for Sub-assembly Line in Ship Manufacturing

\*김 진오\*, 신 정식\*, 김 성권\*

삼성전자 자동화연구소 (Tel: 0331-200-2455; Fax:0331-200-2420; E-mail: kj@rnd.sec.samsung.co.kr)

**Abstracts** Sub-assembly in ship manufacturing is a sequence of fillet joint welding of stiffeners on metal panels and the process is different depending on companies. In this paper, we introduce a new intelligent robotic system of the sub-assembly process in Samsung Heavy Industry, where one shift of 22m x 9m workspace includes one to ten panels and each panel includes up to 10 stiffeners. The inherent problems such as several hundreds of different panels, unstructured task environment and the large scale do not allow a fixed automation, but needs highly intelligent versatile automation. The robotic system is composed of four 14DOF macro-mini robots and a task recognition system. Application of this system has verified the task specification such as low temperature environment(-10° C) and productivity is satisfied successfully.

**Keywords** Robotic welding, Task recognition, Laser-vision Sensor.

#### 1. 서론

현재 조선의 자동화가 주변환경의 변화에 따라 중요하게 요구되고 있는데도 자동화의 진행이 빠르지 않은 것은 다른 산업의 자동화보다 기본적으로 그 대상작업이 어렵기 때문이다. 예를 들어 크기가 너무 크고, 작업이 매번 바뀌며, 고정구등을 사용하여 작업 위치를 로봇에 티칭하는 것이 불가능하기 때문이다. 또 로봇에게 적합한 작업환경을 만들기 어려운 현장으로 로봇을 파견해야 하는 것이 조선의 공정을 자동화하기 어렵게 만든다. 여기서는 이러한 조선의 공정중에 소조립용접공정을 자동화하는 방법을 소개한다.

조선의 소조립공정은 Fig.1의 용접부재와 같이 베이스 패널(Base panel)에 여러 스티프너(Stiffener)를 세워서 용접하는 필렛(Fillet) 용접 공정이다. 일부 교량의 정형적인 패널에서의 소조립공정은 자동화되어 있지만 아직 전세계적으로 조선의 소조립공정에 대해서는 자동화가 성공된 예를 찾을 수 없다. 그 이유는 소조립공정작업에서 요구하는 지능(Intelligence)이 어떤 자동화보다 어렵고 또 오프라인 프로그래밍(Off-line programming)을 이용하여 로봇을 티칭할 만큼 작업이 잘 정돈되어 있지 않기 때문이다. 이러한 소조립공정을 위한 자동화 시스템은 큰 작업공간(Task space)과 용접토치(Torch)의 작은 운동을 잘 만족시키는 로봇메카니즘의 설계와 역시 큰 작업공간과 정밀한 용접선의 위치인식을 모두 만족시킬 수 있는 지능적인 작업인식 시스템의 설계를 요구한다.

소조립공정은 이미 앞에서 간단히 언급했는데 좀 더 자세히 한다면 웹 패널(Web panel)상에 가접된 여러 스티프너(Stiffener)를 CO<sub>2</sub> 가스를 이용한 필렛(Fillet)용접하는 공정이며 패널과 스티프너 사이의 수평(Horizontal)과 모서리(Corner)용접 그리고 스티프너사이의 수직(Vertical)용접으로 구성된다. 현재 1일, 총 10시간동안 2시간에 1번씩 컨베이어를 통해 이동되어 들어오는 22mX9m 작업공간 위에 평균 6개의 패널이 놓이는데 그 패널의 위에 평균 30 개의 스티프너가 가접되어 있다. 이 때, 총 용접선의 길이는 평균 90m이다.

한명의 작업자가 2시간동안에 다룰 수 있는 용접선의 길이(Welding length)는 아크-온 시간(Arc-on time rate)이 70%라면 2시간동안에 84분간 용접이 되는 것인데 용접속도가 7mm/sec일 때에 약 35m정도 된다. 그렇다면 90m를 용접하는데에 3명이면 충분하지만 작업자의 피로와 용접선의 길이가 갑자기 증가하는 것을 고려하여 현재 6명의 작업자가 일을 하고 있다.

조선의 소조립공정은 대표적인 3D작업으로서 현재 노동력 확보도 어렵지만 인간 노동자의 생산성향상에도 한계가 있어서 자동화의 필요성은 크게 인식되어 왔다. 하지만 소조립공정은 전형적인 소량다품종으로 시스템의 유연성(Flexibility)이 매우 중요하고 고정 자동화(Fixed automation)가 불가능한 난해한 공정으로 자동화가 제대로 진행되지 않고 있는 실정이다. 이러한 작업의 자동화를 위한 우리가 개발한 시스템을 소개하는 데 먼저 로봇 시스템에 대해 소개하고 이어 작업인식을 위한 지능시스템을 소개한다.

#### 2. 소조립 전용 로봇 시스템

##### 2.1 로봇시스템설계

비교적 자동화하기에는 큰 작업공간 (22mX9m)상에 놓여 있는 판넬과 스티프너의 용접에 의한 접합을 하는 소조립공정은 큰 워크스페이스(Workspace)를 가지면서 동시에 빠르게 용접토치의 정밀한 운동이 가능한 로봇 메카니즘의 설계가 요구된다. 이러한 경우

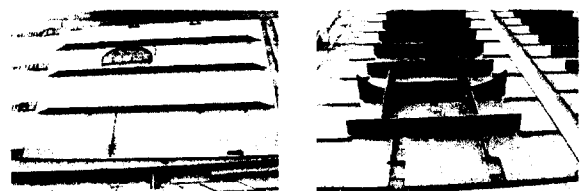


Fig. 1 Panel and stiffener with various shape

에 일반적으로 참고문헌 (2)에서와 같이 큰 영역을 커버하는 갠트리로봇과 그 밑에 작고 빠른 위빙(Weaving) 운동이 가능한 다관절로봇을 붙여 사용하는 것이 보통이다. 이러한 로봇을 매크로-미니(Macro-mini)로봇이라고 한다. 소조립의 용접공정중에서는 대부분이 Fig. 2에서와 같이 스티프너와 판넬이 만나는 양면을 대칭으로 용접하기에 갠트리 밑에 두개의 작은 다관절 로봇이 사람의 팔과 같이 움직여서 생산성을 2배 가까이 증대시키는 로봇시스템을 선정하였다. 따라서 우리의 설계에서는 듀얼 암(Dual arm)이 미니로봇에, 갠트리가 매크로로봇에 해당한다.

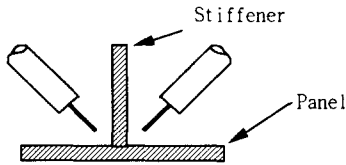


Fig. 2 Welding task of sub-assembly process

모든 작업대상물에 대한 작업(Reachability, Obstacle avoidance 등)을 바탕으로 하는 작업기준설계(Task Based Design)를 통하여 XYZ 운동을 위한 3축의 갠트리와 5자유도 소형로봇(삼성전자의 모듈형 수직다관절; 모델명 - ASI) 두대와 그들을 연결하는 공통축 1개로 구성된 모두 14자유도를 갖는 매크로-미니로봇이 설계되었다. 이 로봇을 이용할 경우 전체 작업영역에 놓인 용접선을 주어진 시간에 모두 용접하기 위해서는 모두 4대의 매크로-미니가 필요하다는 분석이 나온다. 따라서 전체 작업영역안에서 모두 56자유도의 로봇이 움직이는 것과 같다.

모두 4대의 매크로-미니 로봇이 동시에 작업을 하는데 한 대의 운동을 살펴보면 매크로는 미니를 용접할 수 있는 곳 까지 이동시키고 또 긴 용접선을 따라서 미니를 이끌면 미니는 매크로의 동작에 관계없이 독립적으로 일정한 위빙운동을 하면서 용접을 하게 된다. 즉, 실제 용접시에 매크로는 미니를 엔드이펙터(End-effector)처럼 인식하여 용접선 방향으로 이동시키며 미니는 용접선에 대하여 위빙 운동을 한다. 미니가 위빙하면서 아크센서와 같은 용접선 추적센서를 이용하면 매크로가 용접선을 따라 이송중에 발생할 수 있는 위치 및 방향오차를 보상할 수 있다.

매크로-미니로봇에서는 두개의 다른 타입(갠트리와 듀얼 암)의 로봇이 하나로 연결되어 있지만 실제 운동을 할 때에는 역할을 완전히 분리하는 작업분할제어(Task resolution control)를 받게 된다. 그러면 복잡한 역기구학 문제등이 사라질 뿐더러 제어 알고리즘 역시 매우 단순화된다. 복잡하고 어려운 문제에 부딪치면 여러개로 나누어 단순화시켜 해결하는 노력이 로봇의 설계와 제어에서 적용되었지만 뒤에 오는 작업인식시스템에서도 그대로 적용된다. 이어서 듀얼 암의 설계에 대해 간단히 소개하고 또 조선작업환경중에서 설계에 영향을 주는 온도사양을 만족시키는 방법을 간단히 설명한다. 매크로(갠트리)의 선정과 사용은 비교적 많이 보편화되어 자세히 설명을 생략한다.

## 2.2 미니(Dual-arm)로봇의 설계

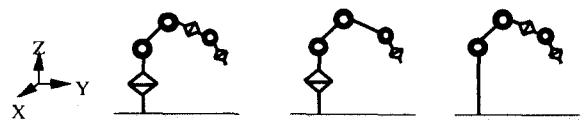
용접의 생산성을 높이기 위한 듀얼-암 로봇을 미니로봇으로 선정 후 그것의 한 쪽 팔(Arm 또는 Manipulator)을 설계할 때에 가장 중요한 고려사항은 최소한의 자유도를 가지고서 여러 가지 용접 방법(수평용접, 모서리용접, 수직용접)과 다양한 높이와 모양의 스티프너를 다룰 수 있는 로봇의 타입(Type)과 크기를 결정하는 것이

다. 보다 효과적인 방법으로는 모든 작업조건을 수치화하여 이로부터 로봇을 설계해 내는 작업기준설계<sup>4)</sup>이지만 여기서는 간단히 가장 어려운 작업을 골라서 로봇의 자유도, 타입 그리고 크기를 차례로 변화시키면서 가장 적합한 찾을 때까지 반복하는 간단한 작업기준설계를 택하고 그 결과의 정당성을 시뮬레이션으로 증명한다.

매크로-미니로봇의 응용에서 미니의 역할이 용접선방향으로 움직이지 않고 제자리에서 위빙만을 하도록 구성되므로 범용의 6관절형 매니플레이타(Manipulator)를 적용하면 일부축이 여유자유도로서 작용하게 된다. 소조립에서는 용접자세가 수평직선 필릿용접, 수직직선 필릿용접, 수평모서리용접의 3가지 이므로 소조립 용접로봇은 범용의 6관절형 외에 5관절형도 적용 가능하게 된다. 즉 수평직선 용접에서, 매니플레이타는 용접선에 직각인 2차원 평면에서 위빙하게 되는데, 이 경우에는, 위빙 평면에서의 위치결정을 위한 두개의 축과 방향결정을 위한 한개의 축이 필요하다. 모서리 용접에서는 매니플레이타가 평면이 아닌 공간에 위치해야 하므로 위치결정을 위한 세개의 축과 모서리를 회전할 때 방향결정에 필요한 두개의 축이 필요하게 된다. 따라서 모서리 용접이 가장 많은 자유도를 필요로 하는 작업이며 이를 만족하는 로봇을 찾으면 다른 타입의 용접도 모두 다룰 수 있게 된다.

예를 들어서 고려된 로봇의 종류는 Fig. 3에 있는 3종류의 수직다관절로봇을 포함한다. 그림에서와 같이 범용의 6관절형이 (a)와 같이 X, Y, Z, yaw, pitch, roll의 축으로 구성된 매니플레이타라면 방향결정에 필요한 하나의 축이 없는 5관절형은 (b)의 X, Y, Z, pitch, roll로 구성된 매니플레이타가 된다. 이러한 5관절형은 소조립 용접의 경우 축수를 줄인 상태에서도 각각의 두 대가 동시에 모든 용접을 할 수 있는 장점을 지닌다. 또한 5관절형은 두개의 위치 자유도와 세개의 방향 자유도를 갖도록 Fig. 3의 (c)와 같이 Y, Z, yaw, pitch, roll으로도 구성할 수 있다. 이와 같은 형태에서는, 두대의 동일한 매니플레이타를 서로 대칭이 되도록 설치하고 매니플레이타의 중앙부에 공통 회전축을 설치하므로써 회전축의 사용여부에 따라 6관절형과 5관절형으로도 구성할 수 있다(Fig. 4). 이 경우, 수평 직선용접시의 위빙에서는 각각을 5관절형으로 사용하고 수직직선용접이나 모서리용접시의 위빙에서는 한쪽의 5관절형 로봇을 회전축과 같이 사용하여 6관절형으로 사용할 수 있다. 이경우에 방향과 관계되는 자유도가 한개 남게 되는데 이는 뒤에 오는 레이저-비전 센서(Laser-vision sensor)를 사용하게 되면 엔드이펙터에서의 하나의 자유도가 추가로 필요하게 되는 것을 만족시키다. Fig. 4의 미니로봇과 매크로로 구성된 매크로-미니로봇을 실제 용접작업을 가지고 시뮬레이션을 통해서 그 적합성을 확인하였다.

미니로봇의 설계에는 그것의 작업에 대한 적합성외에 경량화를 위한 설계와 작업온도를 고려한 설계가 추가적으로 요구되었다. 소조립에 적용되는 매니플레이타의 자중을 한사람의 작업자가 핸들링이 가능한 무게로 경량화하면 유지보수가 편리하기도 하지만 특



(a) 6-axis (X,Y,Z,y,p,r) (b) 5-axis (X,Y,Z,p,r) (c) 5-axis (Y,Z,y,p,r)

Fig. 3 Example of 6 or 5-axis Robot Configuration

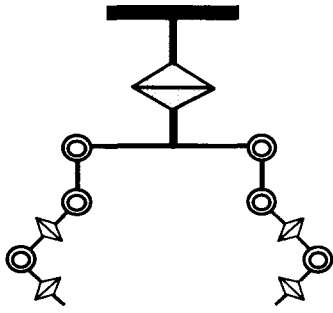


Fig. 4 Designed Mini robot

히 소조립용으로 설계된 매니플레이타가 대조립과 같은 타 공정의 자동화에도 적용될 수 있도록 하기 위해서는 사람의 들어서 옮길 수 있도록 경량화가 필수적이다. 한편 일본의 따뜻한 겨울보다 추운 우리나라에서는 겨울철 영하 10° C까지 내려가는 것을 고려하여 설계하여야 한다.

소조립 용접에서 미니 매니플레이타의 가반중량은 토치의 무게와 토치에 부착되는 레이저-비전센서의 무게를 고려하더라도 3kg이면 충분하다. 하지만 이는 그리스의 점성에 의한 마찰력이 크게 증가하는 영하 10° C에서도 만족되어야 하므로 영상의 온도에서는 이보다 가반중량을 크게 잡아야 한다. 선정된 저온용 그리스의 온도에 따른 점성의 변화를 고려하여 영상에서는 가반중량을 6kg으로 설계하게 되었다. 개발된 매니플레이타는 공통 회전축을 포함한 6 관절형을 기준으로 가반중량 6kg, 자중 40kg(1축 15kg, 2,3축 17kg, 4,5,6축 8kg)으로서 약 1/7의 구성비를 갖는다. 일반적으로 매니플레이타의 구동부를 이루는 모터, 감속기의 무게는 자중의 약 25%를 차지 하게 되므로, 경량화를 위해서는 매니플레이타에 소요되는 가공품을 알루미늄 소재를 사용하고, 특히 강도에 문제가 없는 한 주물의 구조를 가볍도록 설계하였다.

우리의 수직다관절로봇은 한국의 겨울 온도를 고려한 즉 영하의 온도에서도 바로 가동이 되는 한국형로봇이라고 볼 수 있다. 설계 시 다른 용접용 매니플레이타와 구별되는 또 하나의 설계조건은 범용의 빠르고 정밀한 수직다관절을 개발하는 것이 아니라 소조립용 접공정에 알맞은 로봇을 설계했다는 것이다. 즉 로봇의 속도와 정밀도에도 작업에서 요구되는 것을 반영하는 작업기준설계를 적용하였다. 이는 또한 현재 우리가 가지고 있는 기술의 수준을 반영한 것이다. 왜냐하면 아직 우리의 제어기술이나 설계기술이 선진국의 빠르고 정밀한 수준에 미치지 않기 때문이다. 다행스럽게도 소조립공정에서는 비교적 느리고 큰 정밀도를 요구하지 않는 용접을 할 수 있을 정도의 신뢰성있는 로봇을 요구한다. 따라서 우리는 다른 로봇보다 약 3배정도 느린 로봇을 설계하게 되었다. 이렇게 하니 로봇의 신뢰성도 향상되었고, 무게도 쉽게 줄일 수 있게 되었으며 또 안전성도 좋아졌다. 더불어 로봇의 가격도 인하되는 효과를 가져오게 되었다. 무엇보다도 프로젝트(Project)의 실패요인이 크게 줄어들었다. 다음장에서는 설계된 매크로미니로봇의 운용과 관계되는 작업인식 시스템을 소개한다.

### 3. 작업인식 시스템

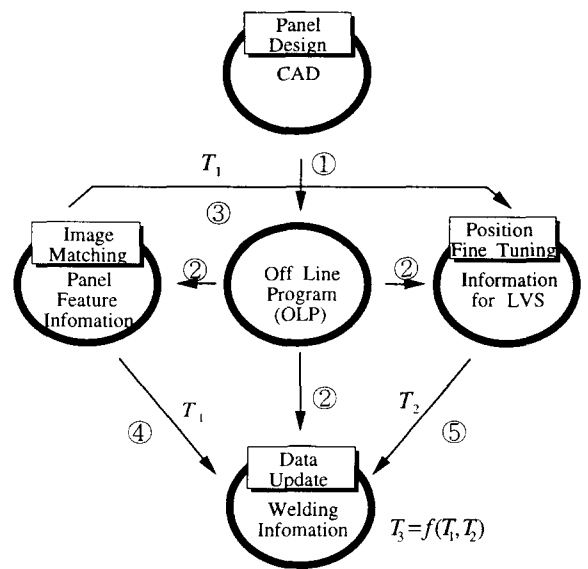
용접 자동화를 위한 작업인식시스템의 구성을 Fig. 5와 같이 나타내었다. Fig. 5에서, 작업인식 모듈은 로봇의 경로정보와 용접정보를 가지고 있는 OLP 데이터를 이용하여 CCD 카메라를 통해 입력받은 영상과 비교한다. 이 단계에서 영상내의 판넬을 인식하는 방법으로 물체의 기하학적 특징을 이용한 비교 방법이 사용된다. 영상 비교로부터 이송된 작업부재의 종류를 인식하고 그 위치를 약 100mm내외의 오차 한계내에서 얻을 수 있다.

판넬인식에서 생성된 위치오차는 레이저-비전센서를 이용하여 보상한다. 개발된 센서는 기존의 용접선 추적 센서와는 달리 용접 시작전 Pre-view sensor로서 용접시작/끝 위치를 찾는 용도로 구성하였기 때문에 그 작업영역이 비교적 넓은 46.2mm로 설정되었다. 이 센서의 용접선 검색 결과로 부터, OLP에서 생성된 위치정보를 수정하게 된다. 여기서는 작업인식 시스템을 이루는 각 모듈로서 조선평공정에 맞도록 전용화된 OLP 모듈의 기능과 자동인식모듈의 인식방법 그리고 자동교시모듈로서 레이저-비전센서를 적용하는 방법에 관하여 기술한다.

#### 3.1 오프 라인 프로그래밍 (Off-Line Programming) 모듈

조선 소조립 용접공정은 용접판넬의 종류가 다양한 다품종 소량생산이며 하나의 용접판넬에도 수많은 교시점이 생겨 교시에 많은 시간이 소요된다. 그러나 소조립 용접 부재는 비교적 단순형상의 판넬과 스티프너의 용접이라는 점에서 CAD 데이터로부터 직접 판넬과 스티프너를 인식하고 이들이 만나는 선을 용접선으로 인식하여 그 시작점과 종료점을 교시할 수 있다.

작업자는 자동으로 인식된 용접선으로 부터 로봇이 용접해야하는 순서를 교시할 수 있으며 또한 각 용접선의 용접조건 지정시에는 형상에 따라 미리 준비된 용접조건 데이터를 자동으로 매칭시킬 수 있다. OLP의 출력은 용접선과 용접조건 데이터 외에도 매크로, 미니 매니플레이타가 용접 전후에 위치해야하는 이동위치나 아



$T_1, T_2, T_3$ : Homogeneous transformation matrix  
Numbers: update sequence

Fig. 5 Configuration of automatic recognition/teaching system

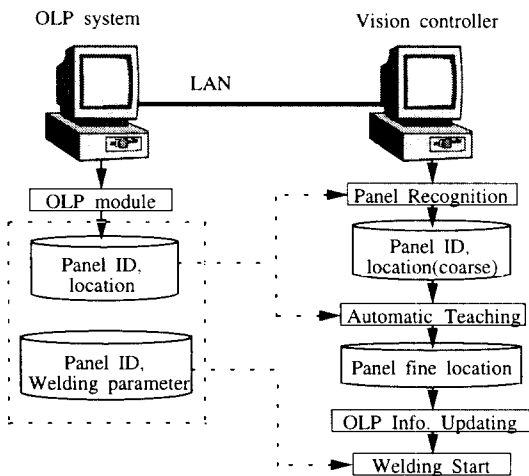


Fig. 6 Task recognition system with olp, panel recognition and automatic teaching modules

크센서와 터치센서와 같은 센서이용에 관한 조건도 포함하고 있다. 그러나 OLP에서 생성되는 로봇 구동 프로그램은 각각의 판넬에 대하여 작성된 것이기 때문에 실제 현장에서 이송된 판넬의 종류를 모르는 경우에는 적용할 수 없다. 더우기 이송되는 판넬의 기준위치는 OLP상에서의 기준위치와 다르게 되므로 판넬인식과정과 자동 교시모듈의 위치보정 과정을 거친후에 비로서 OLP 데이터를 이용할 수 있다.

### 3.2 자동 인식 (Automatic Recognition) 모듈

이송된 용접판넬의 종류와 그 위치를 인식하기 위해서 보정된 CCD 카메라를 사용한다. 하나의 카메라로 넓은 작업영역(9m×9m)의 영상을 입력받기 위하여 컨베이어로부터 약 7m의 높이에 카메라를 설치하며, 따라서 픽셀당의 분해능은 약 10mm/pixel 정도로 낮게된다. 여기에 사용된 보정 방법은 2-dimensional Least Square Error 방법을 적용하였는데 그 모델링 식은 아래와 같은 간단한 수식으로 표현된다.

Modeling :

$$X_n = a_1 y_n^2 + a_2 z_n^2 + a_3 y_n z_n + a_4 y_n + a_5 z_n + a_6$$

$$Y_n = b_1 y_n^2 + b_2 z_n^2 + b_3 y_n z_n + b_4 y_n + b_5 z_n + b_6$$

where,  $a, b$  are parameter of 2nd order error modeling eq.

$x_n, y_n$  are measured pixel coordinate from camera and

$X_n, Y_n$  are real coordinate

판넬의 영상전처리 과정으로서, 입력된 전체영상(컨베이어+판넬)과 판넬이송전 영상(컨베이어)과의 차이를 이용하여 판넬의 영상만을 쉽게 분리할 수 있다. 이 과정의 결과로서, 현장에서와 같이 일광조건이 수시로 변하는 환경에서 경계선 검출 (Edge detection)과 같은 작업을 효과적으로 수행할 수 있다.

판넬의 인식방법은 물체의 기하학적 특징을 인식하고 이것을 미리 생성된 OLP 데이터와 비교하는 방법을 적용하였다. 소조립 용접부재의 특징이 될 수 있는 것은 판넬의 외관형상, 구멍수, 판넬중심, 구멍중심 등이다. 현장적용결과 간단한 알고리즘으로도 용접판넬을 인식할 수 있는 것으로 나타났다.

### 3.3 자동 교시 (Automatic Teaching) 모듈

판넬인식 모듈에서 인식된 판넬의 위치는 카메라가 높은 곳에 설치되어 있기 때문에 오차를 갖으며 보상할 필요가 있다. 레이저

비전센서는 구조화된 레이저 광선을 용접선에 주사하고 CCD 카메라로 영상을 입력받아 좌표를 인식하는 것으로서, 일반적으로 실시간의 용접선 추적에 사용되어 왔는데 여기서는 이 센서를 용접의 시작 및 종료위치를 찾는 터치센서와 같은 목적으로 사용한다.

LVS의 영상처리는 용접선에 주사된 구조화된 빛의 영상을 Thining하고 Thining한 두 라인간의 교점을 구하는 것이다. 실제 용접선의 영상은 용접부의 조건에 따라 다소 차이가 나는데, 용접선 양단이나 용접선에 틈이 있는 경우를 감지하기 위하여 인식된 교점과 두라인 간의 관계를 고려하여 판단한다. 이 방법으로 용접선을 검색하며 용접 시작/종료 위치를 검출한다. LVS는 그 위치를 0.5 mm 이내로 보정할 수 있으며, 터치센서에 비해 정확도가 높고 속도가 빨라 시스템 전체의 아르 온 타임을 높일 수 있다.

## 4. 결론

조선의 용접 자동화는 비단 소조립 공정 외에도 대조립 용접, 선체조립등에도 그 수요가 앞으로 예상되고 있다. 이 같은 여러 공정을 위한 자동화는 각 공정의 특성을 파악하고 생산성을 향상하는 측면에서 System Integration과 각 모듈의 구성이 결정되어야 한다. 개발된 시스템의 현장적용결과 듀얼-암 형상의 매니플레이타는 소조립 용접과 같은 대칭용접에 효과적으로 적용되었으며, 비전 및 레이저-비전 센서는 기존의 번거로운 수동 교시작업을 대신할 수 있었다. 특히 다양한 부재가 동시에 이송되는 작업조건에서도 OLP를 적용할 수 있도록 하므로서 생산성향상을 기대할 수 있다.

## 참고 문헌

- (1) Kim, Jin-Oh, "Task Based Design of Robot Manipulators", Ph.D. Dissertation, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA, August, 1992
- (2) Sugitani, Y. et al. "CAD/CAM Welding Robot System in Steel Bridge Panel Fabrication". Journal of Japan Welding Society, Vol.13, No.1, pp.28-38 (1995)
- (3) 박 문호, 기술보고서, 삼성중공업 조선해양사업본부 (1995)
- (4) 신 정석, 외, "조선 소조립 용접 로봇 시스템 설계", 대한기계학회 추계학술대회, 제1권, pp.876-880 (1995)
- (5) Kim, J. H, et al. "Implementation of Automatic Teaching System for Sub-assembly Process in Ship-building", J. of the Korean Welding Society, Vol. 14, No. 2, pp. 96-105, 1996