

## 特輯 : 용접용 로봇 및 응용기술

### 조선 소조립 용접 로봇 시스템 설계

#### Design of a Welding Robot System for the Sub-Assembly Line in Ship-Yard

김 진오 · 신 정식 · 김 성권 · 박 문호 · 김 세환

J. O. Kim, J. S. Sin, S. K. Kim, M. H. Park and S. H. Kim



김진오/삼성전자/1955년  
생/로봇의 설계와 응용 방  
법론, Intelligent system 설  
계에 관심이 있음



신정식/삼성전자/1966년  
생/로봇 및 응용에 관심을  
갖고 있음



김성권/삼성전자/1949년생/  
로봇, 검사조정 제어기, 비  
전용용시스템, Line제어기  
술, 자동화시스템에 관심을  
갖고 있음

박문호/삼성중공업/1961년  
생/Vision System에 관심을  
갖고 있음



김세환/삼성중공업/1956년  
생/용접 Robot System,  
Plate의 Hotforming자동화,  
해석에 관심을 갖고 있음

#### 1. 조선 용접공정의 자동화 시스템 개발 동향

최근의 조선업계에서는 노동력의 평균연령 상승, 숙련된 기능인력의 부족과 인건비 상승이라는 심각한 문제가 업계의 경쟁력을 좌우하는 중요한 요인으로 생각되어지고 있다. 이러한 동향에 따라 조선 업계에서는 로봇을 이용한 자동화를 여러 공정에 추진하고 있다.

조선에서 추진되어온 용접로봇의 적용은 주로 대조립 용접공정의 자동화로서, 갠트리(Gantry)에 용접토치를 장착한 로봇을 설치하여 구성하였다. 이러한 시스템에서의 용접은 로봇을 용접부위까지 이송시킨 후 로봇의 구동으로 용접을 수행하거나, 또는 로봇과 갠트리의 동시 구동으로 용접을 수행

하기도 한다. 또한 이 공정은 복잡한 용접구조물을 OLP(Off-Line Programming)를 이용하여 교시하므로서 효과적인 자동화 시스템의 구성이 가능할 수 있었다.

소조립 공정은 대조립공정과 비교하면 더 간단한 부재의 용접이라 할 수 있으나 공정과 공장의 생산방법에 따라 자동화의 어려움은 다르다. 적용되는 매니플레이타는 소조립 공정의 특성에 맞게 그 형태가 설계되어야 하고 이를 운용하는 시스템은 소조립 생산방법에 맞게 통합, 개발되는 Task-Based System<sup>1)</sup>이 되어야 한다. 특히 소조립 공정은 대조립 공정과 달리 여러 가지 용접 판넬을 동시에 이송시킨 후 용접함으로써 OLP의 직접 적용을 어렵게 하는 요인이 있어 이것을 해결하는 것이 생산성을 증가시키는데 적지 않은 영향을 미친다 하겠다.

이 글에서는 소조립 용접 자동화를 구성하기 위

해 필요한 것으로서 소조립 용접 공정을 소개하고, 공정의 특성에 맞도록 설계된 매니플레이타 시스템과, OLP, 판넬인식, 자동교시 모듈로 이루어지는 작업인식 시스템에 관해 기술한다.

## 2. 소조립 용접 공정

소조립 용접공정은 선박 구조물의 블록(Block)을 제작하는 대조립 용접공정의 전 단계로서, 베이스 판넬(Base Panel)에 스티프너(Stiffener)를 세워서 용접하는 필릿(Fillet)용접 공정이다. 비교적 단순한 형상의 용접이라 간이 자동화를 통하여 자동화가 추진되었으며 현재에는 생산성 향상의 측면에서 자동화가 추진되고 있다.

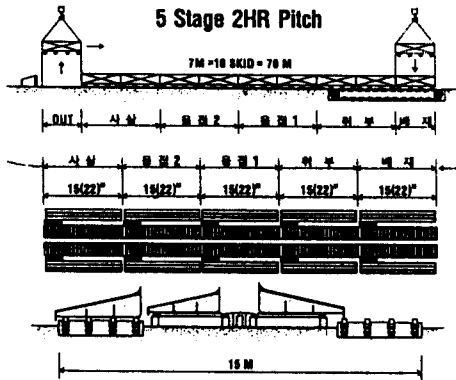


Fig. 1 Example of Sub-Assembly Welding Line

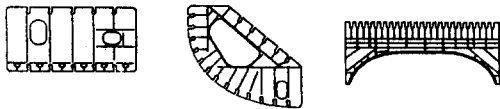


Fig. 2 Example of Workpieces

소조립 공정으로서, Fig. 1과 같이 컨베이어라인으로 구성된 공정을 예로 들 수 있다. 이 예에서는 4개의 컨베이어가 하나의 라인을 이루도록 구성되어 있으며 라인은 각각 배재, 취부, 용접, 사상의 스테이지로 이루어져 있다. 용접판넬들은 각 스테이지에서 2시간 동안의 작업 후 다음 스테이지로 이송된다. 자동화의 대상이 되는 공정은 이

중 용접이 행해지는 하나의 스테이지이며 이 스테이지에 이송되는 용접판넬의 종류는 전체 수백여 종이 있다. Fig 2는 그중 몇가지의 예를 보여준다.

<sup>3)</sup> 이러한 용접 스테이지에서의 작업은 수용접이나 간이 용접장치를 이용하여 하루평균 30판넬(153 스티프너, 442m 용접선)을 용접하게 되며, 약 10시간 동안 6~7명의 인원이 소요된다.

소조립 용접공정에서 로봇을 이용한 자동화를 설계할 때 고려해야 할 점은 다음과 같다.

(1) 생산성 향상을 위해서는 시스템의 아크 온타임을 증가시키는 것 외에 용접로봇이 효과적으로 적용될 수 있는 방법을 고려해야 한다.

(2) 용접 스테이지의 작업영역이 넓으므로 적절한 크기의 작업영역으로 분할하고 적용되는 갠트리는 공장의 설치조건을 고려해서 설계되어야 한다.

(3) 용접판넬의 종류가 다양하며, 혼재되어 이송됨으로 OLP를 직접 적용할 수 없다. 따라서 OLP를 적용하기 위해 용접판넬의 작업조건(판넬의 종류 및 위치)을 자동으로 인식해야 할 필요가 있다.

## 3. 소조립 용접 로봇 매니플레이타 설계

소조립 용접판넬은 적용되는 소형 매니플레이타(Manipulator)에 비해 대형이므로 그 매니플레이타 만으로는 용접을 수행할 수 없다. 매니플레이타를 갠트리에 설치하여 갠트리와의 동시모션으로 용접해야 하는데 갠트리와 매니플레이타의 협조모션으로 용접하는 경우 운동학의 역기구학 해를 구하기 어렵다. 또한 매니플레이타보다 비교적 정도가 낮은 갠트리와 같이 구동됨으로 위치오차를 발생할 수 있는 여지도 있다.

이러한 경우, 갠트리와 매니플레이타를 각각 매크로(Macro), 미니(Mini)-매니플레이타로 정의하여 매크로는 Coarse Motion을 하고 미니는 Fine Motion을 하도록 역할분담을 시키면 문제를 해결할 수 있다. 즉 매크로는 미니를 용접선 방향으로 이동시키며 미니는 용접선에 대하여 위빙 모션을 한다. 미니가 위빙하면서 아크센서등의 용접선 추적센서를 이용하면 매크로가 용접선을 따라 이송

중에 발생할 지 모르는 위치오차도 보상할 수 있다.

소조립 용접 로봇 매니플레이타의 설계는 다음과 같이 미니-매니플레이타와 매크로-매니플레이타로 구분하여 기술하도록 한다.

### 3.1 미니-매니플레이타 설계

소조립 용접 로봇의 미니-매니플레이타를 설계함에 있어, 주요 고려사항으로서 매니플레이타의 형상, 경량화, 그리고 온도조건에 대해 설명하도록 한다.

● 형상설계

대부분의 용접 로봇 시스템의 경우, 아크 온 타임은 수작업에 비해 상대적으로 낮으므로 로봇 적용시 생산성 향상에 대한 방법이 필요하다. 소조립 용접의 대부분은 Fig. 3과 같이 필릿 용접부의 대칭형상을 용접하는 것이므로 매크로 1대에 미니 2대를 설치하여 동시에 대칭 용접부를 용접할 수 있도록 매니플레이타를 설계, 배치할 수 있다. 2개의 토치가 동시용접하도록 구성하는 것은 로봇 이외의 전용기로도 구성할 수도 있으나 이와 같은 경우 회전 모서리 용접과 같은 작업을 구현하기 어렵고 다양한 응용면에 있어서 유연성이 떨어진다 할 수 있다.

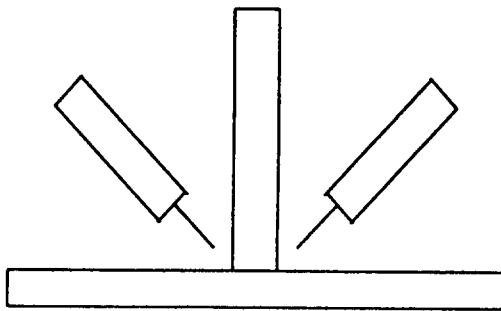


Fig. 3 Fillet Welding

그러나, 이와같은 매크로, 미니-매니플레이타 시스템에서는, 미니의 역할이 위빙의 Fine Motion만을 하도록 구성되므로 범용의 6관절형 매니플레이터를 적용하면 일부축이 여자유도로서 작용하게 된다. 소조립에서는 용접자세가 수평직

선 필릿용접, 수직직선 필릿용접, 수평모서리용접의 3가지가 대부분을 차지하므로 소조립 용접로봇은 범용의 6관절형 외에 5관절형도 적용 가능하게 된다.

즉, 수평직선용접에서, 매니플레이타는 용접선에 직각인 2차원 평면에서 위빙하게 되는데, 이 경우에는, 위빙 평면에서의 위치결정을 위한 2개의 축과 자세결정을 위한 1개의 축이 필요하다. 모서리 용접에서는 매니플레이타가 평면이 아닌 공간에 위치해야 하므로 위치결정을 위한 3개의 축과 모서리를 회전할 때 자세결정에 필요한 2개의 축으로 구성할 수 있다.

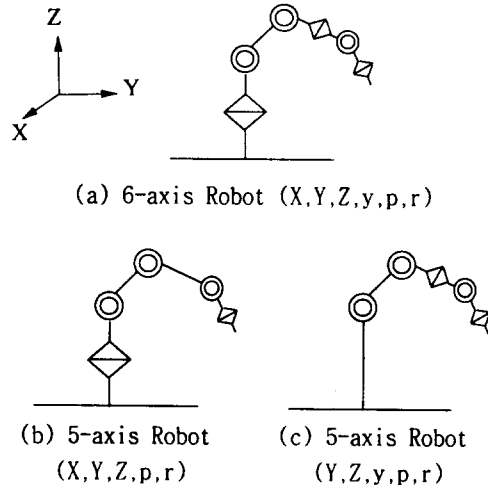


Fig. 4 Six and Five Axis Robot Configurations

Fig. 4에서와 같이 범용의 6관절형이 (a)와 같이 X, Y, Z, yaw, pitch, roll의 축으로 구성된 매니플레이타라면 위와 같이 구성된 5관절형은 (b)의 X, Y, Z, pitch, roll로 구성된 매니플레이타가 된다. 이러한 5관절형은 소조립의 용접의 경우 축수를 줄인 상태에서도 각각의 두 매니플레이타가 동시에 모든 용접을 할 수 있는 장점을 지닌다.

또한 5관절형은 2개의 위치 자유도와 3개의 방향 자유도를 갖도록 Fig. 4의 (c)와 같이 Y, Z, yaw, pitch, roll으로도 구성할 수 있다. 이와 같은 형태에서는, 2대의 동일한 매니플레이타를 Fig. 5와 같이 서로 대칭이 되도록 설치하고 매니플레이타의 중앙부에 공통 회전축을 설치하므로써 회전축의 사용여부에 따라 6관절형과 5관절형으로도 구성할 수 있다. 이 경우 수평 직선용접시의 위빙에서

는 각각을 5관절형으로 사용하고 수직직선용접이나 모서리용접시의 위빙에서는 한쪽의 5관절형 로봇을 회전축과 같이 사용하여 6관절형으로 사용할 수 있다.

● 매니플레이타 자중 경량화

소조립에 적용되는 매니플레이타의 자중을 1인의 작업자가 핸들링이 가능한 무게로 경량화 하면 유지보수가 편리한 등 장점이 있다. 특히 소조립용으로 설계된 매니플레이타가 대조립과 같은 타 공정의 자동화에도 적용될 수 있도록 하기 위해서는 경량화가 필수적이다.

소조립 용접에서 미니-매니플레이타의 가반중량은 토치의 무게와 토치에 부착되는 레이저-비전센서의 무게를 고려하여 3~6kg이 적당한데 선진사의 경우 가반중량 대 자중의 비는 약 1/10의 수준이다. Fig. 5와 같은 매니플레이타는 공통 회전축을 포함한 6관절형을 기준으로 가반중량 6kg, 자중 40kg(1축15kg, 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 하게되는데, 경량화를 위해서

는 매니플레이타에 소요되는 가공품을 알루미늄 소재를 사용하고, 특히 강도에 문제가 없는 한 주물의 구조를 가볍도록 설계하도록 한다.

● 온도사양

소조립 용접 로봇이 가져야 할 또 하나의 조건으로서 온도조건이 있다. 대부분의 공장이 실외와 같은 온도조건에서 가동됨으로 겨울철 온도조건인 -10°C에서도 로봇이 정상 작동해야 한다. 일반적으로 온도조건이 고려 안된 매니플레이타에서는 구동부의 냉각 후 초기 동작시 마찰력 증가로 인해 최대부하를 초과하여 구동 실패의 원인이 된다. 온도사양을 만족시키기 위한 방법으로서 영하온도에서도 좋은 성능을 나타내는 특수 그리스를 사용하는 것과 일반 그리스를 사용하되 구동부 마찰력 증가에 따른 토크(Torque) 마진을 고려하여 모터와 감속기의 용량을 결정하도록 한다.

3.2 매크로 매니플레이타 설계

매크로 매니플레이타를 설계함에 있어서는 자동화의 대상이 되는 용접 스테이지를 갠트리의 작업영역과 맞도록 분할하는 것을 고려하고 작업환경을 맞도록 매크로의 형상과 구조를 결정한다.

● 작업영역 분할

자동화 하려는 용접 스테이지는 일반적으로 크기가 크므로 용접판넬의 작업량과 이송조건에 맞도록 갠트리의 작업영역을 설정하고 용접 스테이지를 분할하여야 한다. Fig. 1과 같은 컨베이어 라인에서는 용접판넬이 중앙과 측면 컨베이어 걸쳐 이송되는 경우도 있으며, 용접 스테이지의 길이와 같은 긴 용접부재도 이송된다는 현장의 이송조건을 고려한다. 이러한 경우 주변기기의 작업영역은 이송방향을 기준으로 좌우 양쪽으로 나누는 것이 좋다.

분할된 용접 스테이지에 적용되어야 하는 매크로, 미니-매니플레이타의 수는 전체 시스템의 생산성을 재고하여 결정한다. Fig. 6에서는 각각 3대의 매크로, 미니-매니플레이타 시스템이 적용된 예들을 나타낸다.

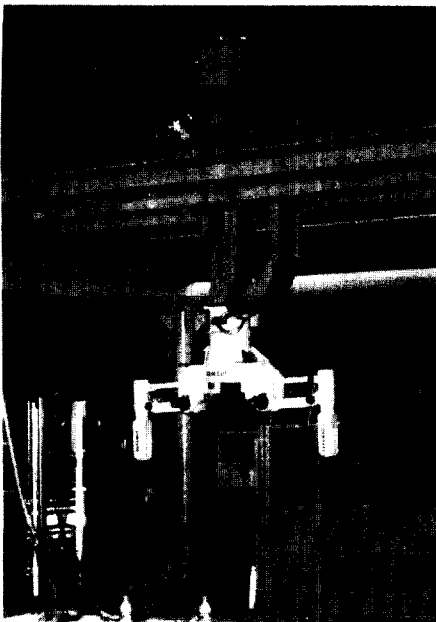


Fig. 5 Sub-Assembly Welding Robot with 11-Axis Configuration

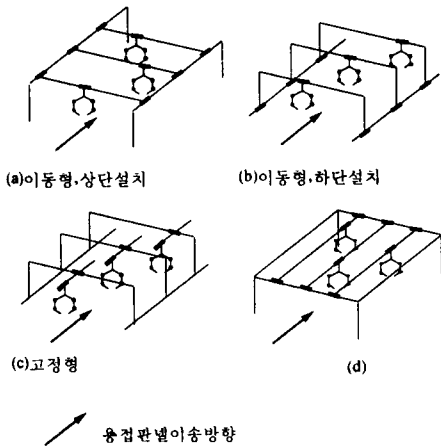


Fig. 6 Gantry Configurations

● 갠트리 형상 설계

갠트리의 형상은 Fig. 6의 (a), (b), (d)와 같이 Span을 움직이도록 구성하는 이동 갠트리형과 (c)와 같이 Span을 고정시켜 일정한 작업영역에서만 동작되도록 구성하는 고정 갠트리형으로 구분될 수 있다. 이동 갠트리형은 분할된 스테이지 전체를 작업영역으로 가지므로 작업부재의 크기와 관계없이 용접할 수 있도록 프로그래밍이 가능한 장점이 있다. 고정형 갠트리는 비교적 작은 부재들이 각각의 고정형 갠트리 작업영역에 맞게 위치되는 소조립 공정에는 부적합하다.

이동형 갠트리는 Fig. 6의 (a)와 같이 이송방향을 따라 주행하는 주행축이 주변기기를 지지하는 지지대 상단에 설치되는 것과 (b)와 같이 지지대

를 포함하여 지면에 설치되는 형이 있다. 지면에 주행축이 설치되는 형은 주로 제어기와 용접기 등을 신호 같이 주행할 수 있도록 구성되는 것이 많아 케이블의 설치와 유지, 보수가 용이하다. 현장의 주변기기 설치조건을 고려하여 형태를 결정한다.

● 갠트리 구조 설계

갠트리의 구조는 X, Y, Z축에 회전축이 있는 4축으로 구성한다. X축은 공작물 이송방향으로 주행하는 축으로서 양단에서 랙 앤 피니언(Rack & Pinion)으로 구동된다. 구동부는 하나의 전동모터로 양단을 구동하는 것과 또는 양단에서 각각의 전동모터를 이용한 스플리트 운동(Split Motion)으로 구동하는 것으로 구성될 수 있다. Y축은 컨베이어를 가로지르며 움직이는 축이며, 수직축(Z축)은 수직 용접과 장애물을 피하기 위한 축이며, 하중에 의한 중력을 보상하기 위해서 전동모터외에 별도의 공압 실린더를 사용한다. 회전축( $\theta$ )은 용접시 미니-매니플레이타를 용접 방향으로 정렬시키기 위한 축으로서 Z축 하단에 설치된다. 이 회전축은 5관절형의 미니-매니플레이타와 하나의 로봇으로 구성되어 6관절형의 로봇으로도 사용할 수 있다.

Fig. 7은 소조립 공정에 설치된 이동형, 상단 지지형의 4축 갠트리와 5축로봇 2대가 함께 설치된 소조립용 14축 매크로, 미니-매니플레이타 시스템의 구성도이며 Table 1은 소조립 용접로봇 시스템의 기본 사양을 나타낸다.

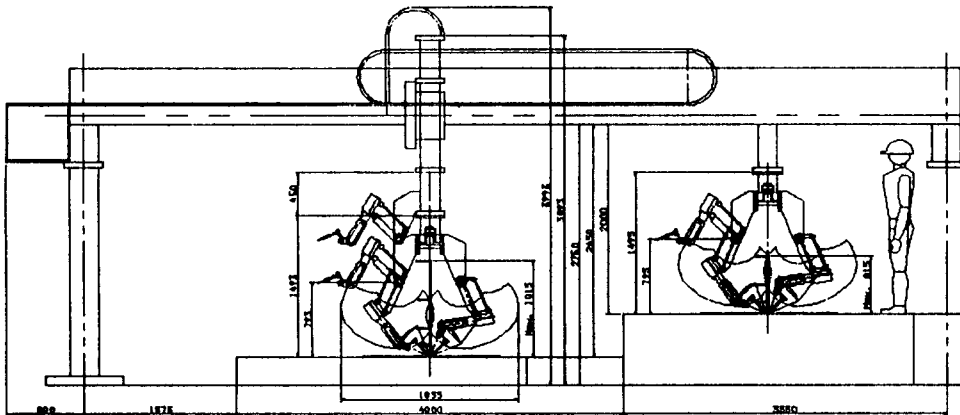


Fig. 7 14-Axis Macro & Mini-Manipulator System

**Table 1.** Specification of Welding Robot System for Sub-Assembly Line

항 목	사 양	
용	구 조	직교좌표형 (Macro Manipulator), 수직다관절형 (Mini Manipulator)
	자 유 도	총 14축 (Macro 4축, Mini 5축 (2set))
	구동방식	AC Servo 구동방식
접	동작범위	Macro Manipulator 주행축 (X) 22m, 18m/min 횡행축 (Y) 7.35m, 16m/min 상승축 (Z) 0.85m, 6m/min 회전축 ( $\theta$ ) $\pm 120^\circ$ , $33^\circ/\text{sec}$
	최대속도	Mini Manipulator $\theta_1$ $90^\circ$ , $-45^\circ$ , $112^\circ/\text{sec}$ $\theta_2$ $150^\circ$ , $-30^\circ$ , $112^\circ/\text{sec}$ $\theta_3$ $\pm 140^\circ$ , $180^\circ/\text{sec}$ $\theta_4$ $\pm 120^\circ$ , $150^\circ/\text{sec}$ $\theta_5$ $\pm 200^\circ$ , $180^\circ/\text{sec}$
로	위치재현 정도	Macro $\pm 0.5\text{mm}$ , Mini $\pm 0.1\text{mm}$
	가반중량	Mini Manipulator 6kg, 자중 40kg (6관절형 기준)
	사용온도	$-10^\circ \sim 45^\circ$
제 어 장 치	구동방식	14축 동시구동
	교시방식	OLP (부재의 형상 및 용접 데이터 생성)
	통신기능	RS-232로 Vision Computer와 Interface
	OLP System	PC 486 Compatible
	Vision System	PC 486 Compatible, CCD Camera, Laser-Vision Sensor, Vision Processor (2set)
	용접방식	탄산가스용접
	Power Source	출력전류/전압 (50~500a/15~45V), 정격사용율 100%
Wire Feeder	적용 Wire 1.4 $\phi$ , 공급속도 0~16m/min	
용접토치	Rotot용 공냉식	

**4. 작업인식 시스템**

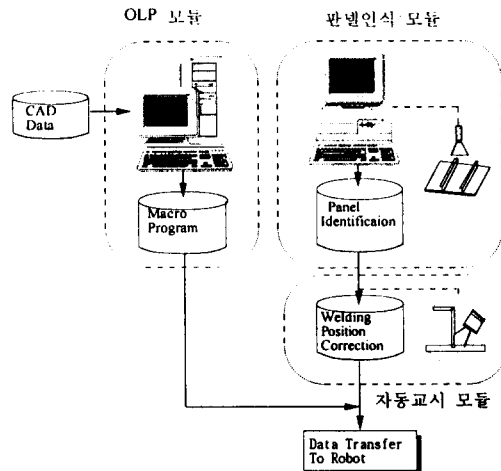
소조립 용접은 대조립과 비교하여 비교적 간단한 형상의 용접이라 할 수 있으나 생산방법에 따라 자동화의 어려움이 뒤따른다. 대조립의 경우에는 용접 스테이지 위에 미리 정해진 용접 Block이 일정한 기준위치에 오도록 준비하므로써 OLP에서 생성된 데이터를 바로 적용하여 용접을 할 수 있었

다. 그러나 소조립과 같은 단순한 부재의 용접에서는, 생산성 향상을 위해 컨베이어에 여러 개의 용접판넬을 혼재시켜 이송시키게 되는데 이와 같은 경우 OLP를 적용하려면 이송되는 판넬의 종류와 그 위치를 각각 인식해야 하는 과정이 필요하다.

여기서는 조선공정에 맞도록 전용화된 OLP 모듈의 구성을 설명하고 이송되는 판넬의 종류와 위치를 자동으로 인식하기 위한 판넬인식 모듈 그리고 레이저-비전센서를 이용하여 위치를 보정하는 자동교시모듈에 대해 기술한다.

**4.1 OLP(Off-Line Programming) 모듈**

조선 소조립 용접공정은 용접판넬의 종류가 다양한 다품종 소량생산이며 하나의 용접판넬에도 수많은 교시점이 생겨 교시에 많은 시간이 소요된다. 그러나 일반적으로 소조립의 용접 부재는 기본적으로 판넬과 스티프너의 용접이라는 점에서 CAD 데이터로부터 직접 판넬과 스티프너를 인식하고 이들이 만나는 선을 용접선으로 인식하여 그 시작점과 종료점을 교시할 수 있다. 작업자는 인식된 용접선으로부터 로봇이 용접해야하는 순서를 교시할 수 있으며 또는 순서를 결정하는 알고리



**Fig. 8** Work Identification System with OLP, Panel Identification and Automatic Teaching Module

즘을 통하여 자동으로 순서를 생성할 수도 있다. 또한 각 용접선의 용접조건 지정시에는 형상에 따라 미리 준비된 용접조건 데이터를 자동으로 매칭시킬 수 있다.

조선에서 사용하는 OLP의 출력형식은 NC Code화된 매크로 프로그램형식이 많다. 이 프로그램에는 용접선과 용접조건 데이터 외에도 매크로, 미니 매니플레이타가 용접 전후에 위치해야 하는 이동위치나 아크센서와 터치센서와 같은 센서 이용에 관한 조건도 포함하고 있다. OLP에서 생성된 매크로 프로그램은 Fig. 8에서와 같이 판넬인식 과정과 자동교시모듈의 위치보정 과정을 거친후 로봇제어기로 전송되며 로봇제어기의 프로그램으로 변환되어 매크로와 미니의 구동에 적용된다.

#### 4.2 판넬인식 모듈

이송된 용접판넬의 종류와 그 위치를 인식하기 위해서 비전센서를 사용할 수 있다. 비전센서는 물체의 종류인식과 위치인식에 유용한 센서로 많이 사용되었으나 소조립 공정에서는 인식의 대상이 매우 크다는 점에서 다소의 어려움이 있다.

판넬인식을 위해 사용되는 CCD 카메라는 전체 작업영역에 있는 모든 용접판넬의 영상을 입력받을 수 있도록 여러대가 설치된다. 각각의 카메라가 채취한 영상 부분들을 하나의 영상으로 재구성하고 이 영상을 처리하여 각각의 판넬을 구분할 수 있다. 구분된 판넬들은 영상처리된 데이터를 판넬의 CAD 데이터와 비교하는 인식 알고리즘을 이용하여 그 종류와 위치가 인식된다. 각 판넬들의 인식이 모두 끝나면 인식된 결과로부터 미리 준비된 해당 판넬의 OLP 프로그램(매크로 프로그램)을 지정하여 로봇 제어기로 전송한다.

#### 4.3 자동교시 모듈

판넬인식 모듈에서 인식된 판넬의 위치는 카메라가 높은 곳에 설치되어 있기 때문에 오차를 갖으므로 보정할 필요가 있으며, 이 오차는 레이저 비전센서를 사용하여 보정될 수 있다. 레이저 비전센서는 구조화된 레이저 광선을 용접선에 주사하고

CCD 카메라로 영상을 입력받아 좌표를 인식하는 것으로서, 일반적으로 실시간의 용접선 추적에 사용되어 왔는데 여기서는 이 센서를 터치센서와 같은 목적으로 사용한다. 판넬에 위치한 용접선에 대하여 용접선의 시작점과 종료점을 인식하면 그 위치를 0.5mm 이내로 보정할 수 있다. 레이저 비전센서는 터치센서에 비해 위치보정의 정확도가 높고 위치보정 속도가 빨라 시스템 전체의 아크 온타임을 높일 수 있다.

자동교시 모듈에서는 판넬 및 용접선의 위치를 보정하는 것 외에 각 판넬을 용접할 매니플레이타를 지정하고 그 용접순서를 결정한다. Fig. 6과 같이 용접 스테이지내에 3개의 매크로 매니플레이타가 있는 경우 이송된 판넬의 위치와 작업량에 따라 효과적인 용접이 가능한 매니플레이타가 지정된다. 각 판넬의 매크로 프로그램들이 지정된 로봇의 제어기로 전송됨으로서 용접이 개시된다.

### 4. 맺 음 말

조선의 용접 자동화는 비단 소조립 공정 외에도 대조립 용접, 선체조립등에도 그 수요가 앞으로 예상되고 있다. 이 같은 여러 공정을 위한 로봇 자동화는 각 공정의 특성을 파악하여 시스템의 구조를 이루는 것이 중요하다. 또한 시스템의 구성 요소들은 각각의 모듈로서 이루어 지도록 설계하여 다른 공정을 위한 시스템 구성시 재구성이 가능하도록 하는 것이 바람직하다.

### 참 고 문 헌

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 조선해양사

업본부 (1995)

4. 신 정식. 외 : “조선 소조립 용접 로봇 시스템 설계”, 대한기계학회 추계학술대회, 제1권, pp. 876~880 (1995)