

## 선체블록 론지 이면부 자동 도장 장비 개발

김은태\*, 이동훈\*, 김호경†\*

STX 조선해양㈜ 생산기술연구팀\*

### Development of Automatic Painting Unit for Back-side of Longitudinal Stiffeners in Double Hull Blocks

Eun-Tae Kim\*, Dong-Hoon Lee\* and Ho-Kyung Kim†\*

STX Offshore & Shipbuilding / Production Technology Research Team\*

#### Abstract

Ship painting procedures can be divided into two categories; Out-shell plate painting of the hull and the interior painting of each double hull blocks. It is really hard to apply standardized and automated operations to the latter because the double hull blocks contains a variety of complicated supportive materials and pipes to strengthen the ship structure. In addition, their poor working conditions cause painting workers to avoid working in them, resulting in the waste of paints and additional pollution issues. So this research, successfully focused on overcoming the difficulties in working in the complicated blocks and the tough working conditions, introduces the main details of automatic equipment systems and their transfer algorithm which show how the equipment paints the inner sides of a longitudinal stiffener and moves to another automatically.

※Keywords : Back-side of longitudinal stiffener(론지이면부), Gyro(자이로센서), Zigbee(지그비 무선 모듈), Longitudinal stiffener (론지), Coating System (도장 시스템)

#### 1. 서론

현재 표준 선체 표준블록에서의 작업은 사람이 겨우 들어갈 정도의 공간에서 전처리, 후처리, 도장 작업등이 수행 되어지고 있다.

선체블록 내부의 도장환경은 선박의 강성을 만족 시키기 위해서 많은 부재들과 파이프로 인한 자동화 장비 개발과 적용이 어려운 현실이다. 좁은 공간에서 작업자에 의한 2 차 오염을 최소화 하면서 도장 작업을 수행하는 과정에서 많은 작업자들이 작업 기피 현상을 보이며, 작업의 표준화가 정해져 있지 않아 도료의 낭비도 심각한 상황

†교신저자: corssho@onestx.com, 016-308-8994

이다.

본 연구에서는 선체블록 내부 론지 이면부에 대한 자동 도장장비를 개발하고 론지 높이에 따른 자동 각도 조절과 주행 속도 조절로 일정한 도막 품질을 만들어 내며, 인접한 론지를 넘어서 그 다음 바닥면으로 이동하는 방식으로 전체 블록을 자동으로 도장할 수 있는 자동 도장 알고리즘을 개발하는 것이다.

### 2. 작업 대상 영역

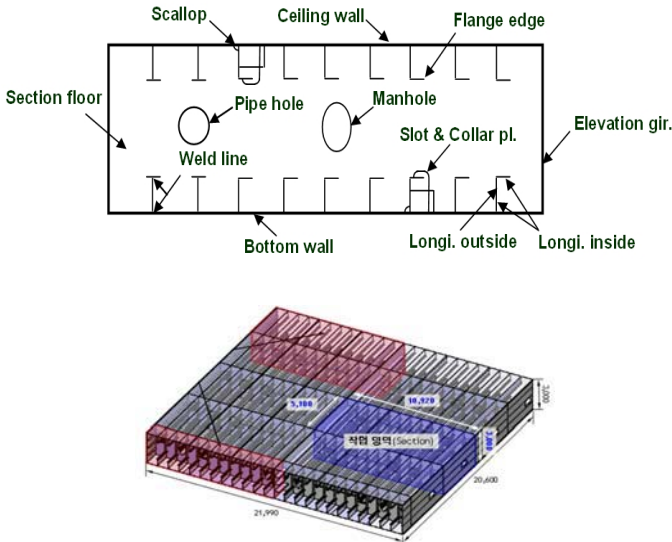


Fig. 1 선체블록 단면 & 표준 블록

Fig. 1 은 선체블록의 단면과 표준 블록을 보여주고 있다. 도장 작업자가 밀폐된 표준블록으로 들어가 Fig. 2의 론지 이면부, 플랜지끝단, Collar Plate 등을 스프레이를 사용해서 도장작업을 수행하고 있다. 본 연구에서 개발한 도장장비를 투입해서 Fig. 2와 같이 론지 이면부 전체를 도장한다. 작업자가 맨홀로 장비를 투입시키면 장비의 초음파 거리센서를 이용해서 론지와 론지간 거리를 계산한 다음 장비를 론지 중앙에 자동으로 위치시킨다. Yawing Axis를 회전시켜 오른쪽으로 향하게 한 다음 정해진 도장 패턴값을 가지고 전진과 상,하 피칭 동작으로 도장 장비를 주행시켜 자동으로 도장하는 시스템을 구현한다.

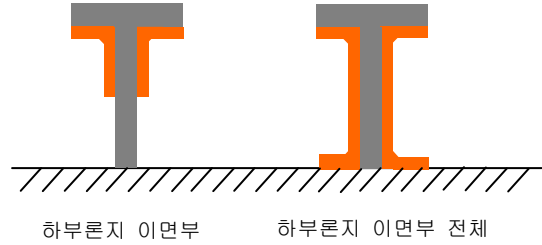


Fig. 2 론지 도장 영역

### 3. 도장장비 주요 성능 및 작업 방법

#### 3.1 기구부

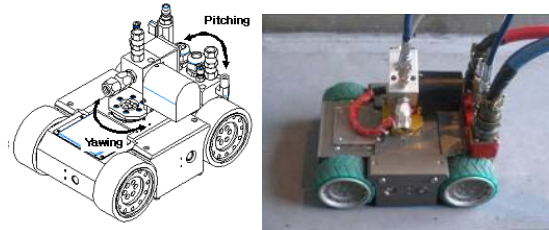


Fig. 3 도장 장비

본 장비의 주요 메커니즘은 블록내부의 바닥을 주행, 전진 및 후진, Yawing Axis의 회전, Pitching Axis의 Pitching 동작, 장비전체를 회전해서 인접한 론지를 넘어서 그 다음 바닥으로 이동할 수 있는 기구부로 구성되어 있으며 주요 특징은 다음과 같다.

1) 전체 중량이 13Kg으로 작업자에 의해서 탈, 부착, 보관 및 이동이 용이하다.

2) 장비 전체의 크기가 190mm(가로) X 300mm(세로) X 180mm(높이)이며 인접한 론지로 이동할 때 만나는 맨홀과 파이프 등의 장애물을 쉽게 통과할 수 있는 크기이다.

3) 주행 속도는 300mm/sec(Max)로 전진하면서 론지 이면을 자동 도장하며 론지 높이에 따른 자동 패턴 형성에 용이하다. 또한 수동으로 장비

를 이동 시킬 때 빠르고 쉽게 장비를 제어 할 수 있다.

4) Pitching Velocity 는 362.0516 Deg/sec 이며 론지 높이 250mm ~ 400mm 를 도장할 때 스프레이 오토건 기준 높이 (바닥에서 158.5mm) 에서 상 35 도, 하 25 도로 급속 이송하면서 도장할 수 있다.

5) 장비를 구성하는 모터의 축수는 총 6 축이며 전진 및 후진에 사용되는 구동바퀴 4 축과, Yawing, Pitching 각각 1 축으로 구성되어 있다. 모터는 위치 Feedback 및 정속 제어가 가능한 DC Servo Motor 를 사용하여 장비의 성능을 최대한으로 낼 수 있도록 고려 하였다.

6) 모터의 Signal Cable 과 Power Cable 을 분리시켜 노이즈로부터 모터의 Error 를 최소화 하였으며, 원터치 방식의 MS Connector 를 사용하여 탈, 부착이 용이하도록 설계하였다.

7) Yawing 및 Pitching Axis 에 각각 Hom Sensor (근접)을 부착하여 전원 투입시 기준 위치를 쉽게 잡을 수 있도록 하였다.

8) 장비의 위치를 제어할 수 있도록 측면과 전, 후면에 초음파 거리센서를 탑재하였다.

초음파 거리센서는 150mm ~ 1500mm 까지의 거리를 인식해서 Analog 0V~10V 를 상위제어기로 Feedback 하며, 상위제어기는 Analog 신호를 받아서 12Bit 로 변환해서 거리로 환산한다.

$$ADC\_Frequency = 39.3216 MHz / (2^4) = 2.4576 MHz$$

9) 장비는 주행 시 센서에 의해 직전성을 보장할 수 있도록 설계 되어 있으며 이는 장비 중간에 위치한 Gyro Sensor 를 통해 Yaw angle 과 Yaw velocity 를 Feedback 받고 측면의 초음파 센서를 통해 장비로부터 론지까지의 거리를 Feedback 받아서 자세 보정 알고리즘을 통해 자세를 보정하면서 주행을 한다. 또한 Gyro Sensor 는 장비가 인접한 론지를 넘어갈 때 회전 및 직진 주행의 기

준각도가 된다.

### 3.2 제어부

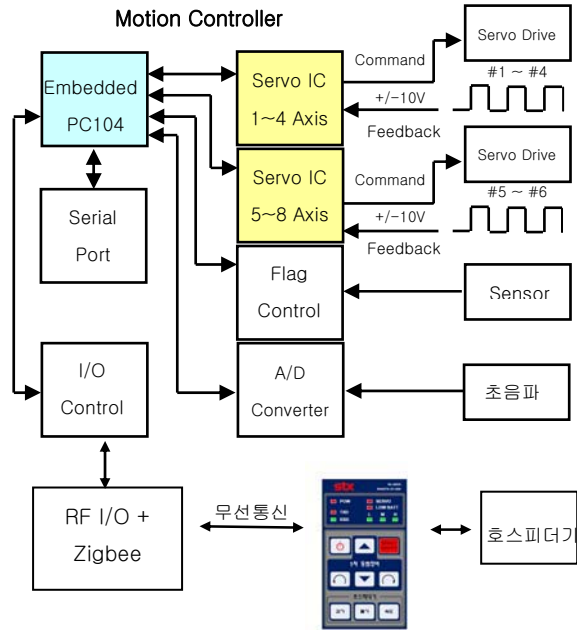


Fig. 4 제어부 Block Diagram

도장장비의 제어 시스템인 Embedded PC104 Motion controller 는 크게 CPU 와 Servo IC 의 동작으로 구분될 수 있다. 두 개의 Servo IC 는 8 개의 아날로그 Command (+/-10V) 를 DC Servo Drive 로 보내서 모터에서 출력되는 각각의 Encoder 신호로 Closed Loop 모션을 구현한다.

CPU 에서는 실시간으로 Watchdog Timer 를 이용해서 Controller 의 상태를 체크하고 있으며 서보 Update 및 하드웨어, 소프트웨어 Over travel Limit 를 확인하여 시스템이 최상의 상태를 유지 할 수 있도록 한다. 또한 측면의 초음파 거리 센서를 Feedback 받을 수 있는 Analog Converter (12Bit)를 탑재하여 론지와 론지 사이에 놓인 장비의 위치를 파악할 수 있도록 하였다.

통신 제어 방식은 지그비 무선 모듈을 자체 제작하여 탑재 하였으며 RF - I/O 를 Control 하여 호스 피더기 모터 및 도장장비를 자동으로 제어 할 수 있다.

도장 장비에 탑재된 Gyro Sensor 센서에 의해서 Yaw Angle 값을 Feedback 받으며 RS232 를 통신 방식으로 데이터를 제공 받는다.

또한 Motion Controller 의 상위 제어기로서 터치 모니터를 사용 하였으며 론지 개수 및 높이, 맨홀 기준 왼쪽 오른쪽 론지 개수를 입력 받을 수 있도록 하였으며 제어기와의 통신은 RS232 를 사용 하였다. 또한 모션 프로그램은 시스템의 빠른 응답성을 위해서 Embedded PC104 의 버퍼에 저장해서 입력된 변수값을 기준으로 자동으로 구동할 수 있도록 설계 하였다.

3.3 작업 방법 및 이동 알고리즘

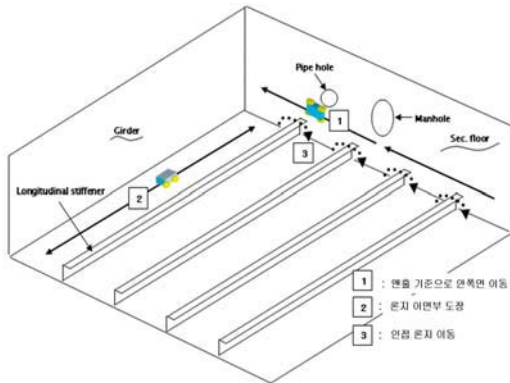


Fig. 5 도장장비의 이동방법 및 경로

Fig. 5 와 같이 도장장비의 전체적인 이동방법 및 경로는 다음과 같다. 먼저 작업자가 장비를 맨홀을 이용해서 투입한 다음 자동으로 주행 할 수 있도록 시작 버튼을 누른다. 도장장비는 벽면을 타고 맨 좌측으로 이동을 시작하며 전방의 초음파 센서를 받으면 정지한 다음 회전하여 바닥면으로 내려와서 자동 주행하면서 론지 이면부를 도장한다. 도장이 완료되면 벽면 (Sec.floor)을 타고 론지를 넘어서 다음 론지 이면부를 도장한다.

이때 론지와 론지 사이 간격을 인식해서 도장장비의 높은 위치를 계산한 다음 정확한 위치로의 이송과 피칭 각도를 조절하면서 정확한 도장 영역을 결정한 다음 도장을 실시한다.

장비의 자세 보정은 다음과 같다. 측면의 초음파 센서를 이용해서 론지간 거리를 계산한다. 이

때 Motion Controller 에서 Analog 값을 12bit 로 나누어서 Digital 값으로 변환한 다음 다시 그 값을 거리로 환산해 주는 PLC 프로그램을 사용한다.

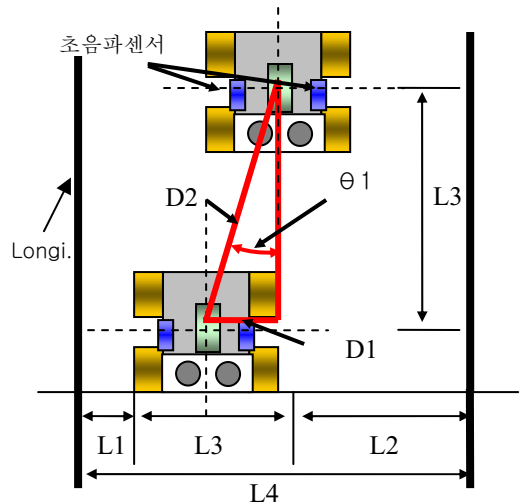


Fig. 6 Target Angle(A1) 및 이송거리 (D2)

Motion Controller 의 PLC 프로그램에서 계산된 L1(왼쪽 Longi.로부터 장비왼쪽까지의 거리)와 L2(오른쪽 Longi.로부터 장비 오른쪽까지의 거리)로부터 L4(론지와 론지 사이의 간격)를 구할 수 있다.

$$\theta 1 = ATAN \left( \frac{D1}{L3} \right)$$

여기서 Target Angle (θ1)과 Target Distance (D2)를 구한다음 “회전 → 전진 → 회전” 순으로 보정을 실시한다. 이때 회전에 대한 각도의 Reference 값은 장비에 탑재되어 있는 Gyro Sensor 값을 기준으로 한다.

Fig. 7 은 도장장비의 자세 보정 알고리즘을 보여 주고 있다. 측면의 초음파 센서와 장비에 탑재되어 있는 Gyro Sensor 값을 이용하여 주행시 Velocity Feedrate 를 실시간으로 변경시켜 직진 주행을 할 수 있도록 보정 프로그램을 작성 하였다.

먼저 전진방향에서 Motion Controller System 파라미터 lx22 (Velocity), lx20 (Acceration Time) 값으로 대차는 주행을 시작한다. 장비가 전진 방

항일 때에는 왼쪽에 있는 초음파 센서와  $(L4/2) - (L3/2)$ 를 비교해서 바퀴의 방향을 결정한다. 또한  $(L4/2) - (L3/2)$  계산한 값이 설정한 예러 값 보다 작을 경우에는 장비의 Gyro Sensor 값으로 비교해서 다시 한번 주행 방향을 결정한다.

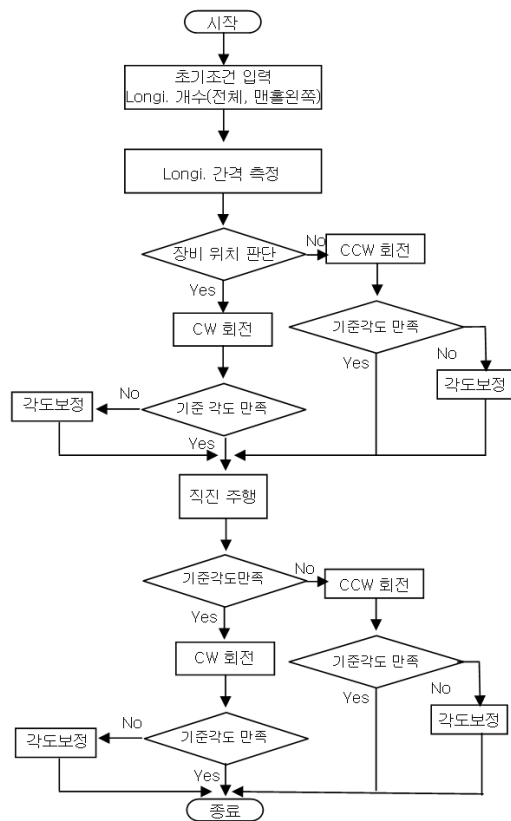


Fig. 7 도장장비 자세 보정알고리즘

Fig. 8 과 같이 인접한 른지를 넘어서 그 다음 른지 이면부를 도장 하기 위해서 도장 장비는 장비 측면과 전후방의 초음파 센서, 장비의 중간에 위치한 Gyro 센서를 이용해서 반복적이고 연속적인 동작으로 이동을 할 수 있다.

먼저 첫 번째 영역에서 작업이 끝나면 Yawing 과 Pitching 축을 원점으로 복귀 시키고 후진을 시작한다. 벽면에 장비가 부착되면서 장비는 천천히 상승한다. 이때 전방의 초음파 센서와 측면의 초음파 센서를 이용해서 른지 끝단을 통과하는 순간

CCW 로 일정한 각도 도 만큼 회전한다. 일정거리 후진 한 다음 CCW 로 원하는 회전각도 만큼 회전한다. 그리고 후진 하면서 장비 오른쪽 초음파 센서가 른지를 인식하는 것을 기준으로 이전에 측정된 른지간 거리의 1/2 만큼 이동한다. CW 로 90도 만큼 회전 한 다음 전진한다. 마지막으로 장비 전방의 초음파 센서가 최대 거리가 나오면 인접한 른지를 넘어서 다음 영역을 작업하기 위한 준비 작업은 끝난다.

상기 동작은 초기 조건(전체 른지 개수 및 른지 높이, 장비를 투입하는 맨홀 기준 왼쪽 른지 개수)에 따라 반복횟수가 결정된다. 또한 호스피더기 연동에 따른 무선 RF I/O 신호를 내보내며 모션 컨트롤러의 PLC 프로그램에 의해서 호스 피더기의 방향을 제어할 수 있다.

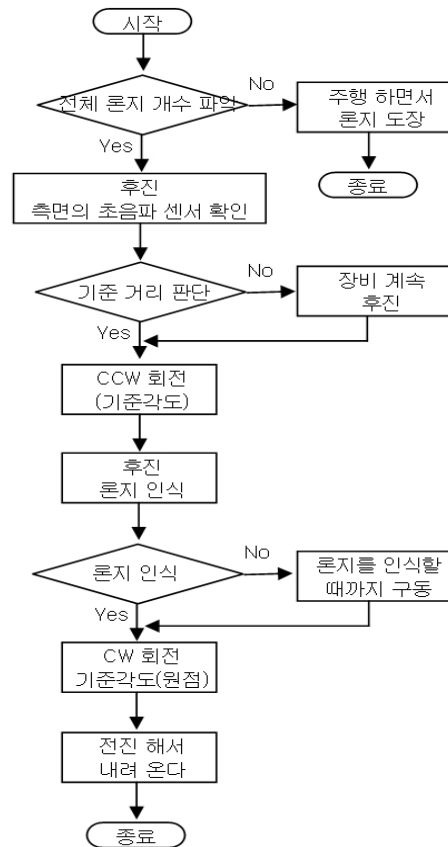


Fig. 8 인접른지 이송알고리즘

### 3.4 론지 높이별 도장 Pitching 각도 제어

균일한 도막 두께와 우수한 도장 품질을 얻기 위해서 이동 대차의 속도와 Pitching 각도, 도장 패턴 및 중첩 영역을 고려해서 도장을 실시 하였으며 론지간 간격을 기준으로 도장장비가 놓인 위치에서의 정확한 Pitching 각도 조절은 도막 두께와 도막 패턴에 중요한 변수중의 하나이다.

Fig. 9 에서와 같이 도장장비의 중심으로부터 론지간 거리를 X 로 하였을 때 론지의 높이변화와 거리(X)변화를 기준으로 Pitching 의 상부 각도와 하부 각도를 아래와 같이 산출하였다.

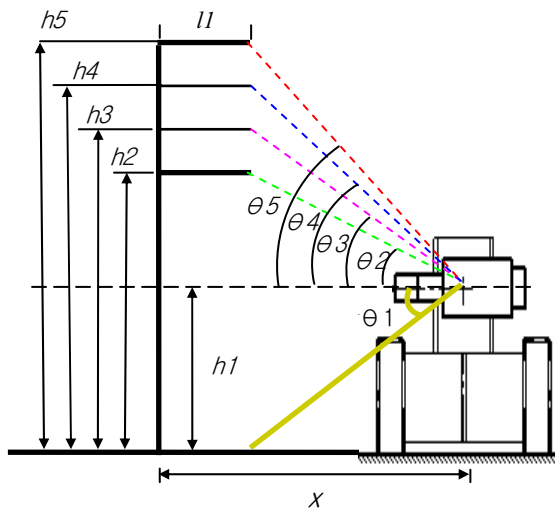


Fig. 9 론지 높이별 도장 Pitching 각도

$$\theta_1 = ATAN \left( \frac{h_1}{(x - l_1)} \right)$$

$$\theta_2 = ATAN \left( \frac{(h_2 - h_1)}{(x - l_1)} \right)$$

Fig. 6 에서와 같이 “ 회전 → 주행 → 회전 ” 을 통해 보정을 실시하는데 외부적인 요인에 의해 장비가 정확한 Target 위치에 서있지 않을 때 Fig. 9 와 같이 Pitching 각도를 조절함 으로서 도장 조건을 보완 할 수 있었다.

### 4. 통합 GUI 프로그램 개발

본 도장 장비를 구동할 때 론지의 개수, 론지의 높이등 기본적인 작업 정보를 입력 할 수 있고, 장비의 전체적인 구동, 호스피더기 구동을 할 수 있는 통합 GUI 프로그램을 터치 모니터 기반으로 개발 하였다. 본 GUI 프로그램은 Motion Controller 와 RS232 로 통신하며 호스를 피딩시켜 줄 수 있는 보조 장비인 호스피더기는 무선 Zigbee 를 이용하여 제어하였다. Fig. 10 과 같이 장비의 흥, 시작, 정지 기능 및 호스피더기를 수동으로 동작 할 수 있는 기능과 도장 장비를 자동으로 구동 할 수 있는 기능으로 개발하였다.

수동 모드로 호스피더기 구동이 가능하며 도료 On/Off 기능과 도장장비를 수동으로 구동 할 수 있는 기능을 추가 하였다. 자동모드로 론지 높이 및 론지 개수를 입력 받아 블록 내부의 모든 Longi.를 자동으로 주행 할 수 있도록 하였다.

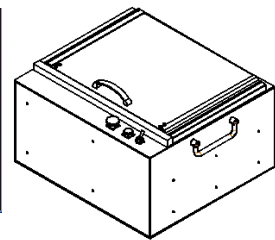


Fig. 10 제어 박스 및 통합 GUI 프로그램

### 5. 결론

본 과제에서는 산업자원부 중기거점개발사업인 “ 선체블록 내부도장 및 전처리 시스템 개발 ” 의 일환으로 기 제작된 하부론지 자동 도장장비 및 론지와 론지간 자율 이송장비의 기능을 통합한 장비로서 바닥을 자율 주행하면서 론지 이면부 전체를 도장하는 장비이다. 선체 블록 내 각종 파이프와 맨홀과 같은 장애물을 통과하면서 자율 주행할 수 있는 장비로서 무선 리모컨 조작으로 작업자가 블록 내부를 자동으로 도장 할 수 있는 장비이다. 현재는 하부 론지 이면부를 자동으로 도장할 수 있으며 본 연구를 바탕으로 상부론지 까지

자율 이동하면서 도장하는 장비를 개발할 예정이다.

본 장비 개발 및 차후 개발될 도장 간이자동화 시스템은 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

- 1) 하부 론지 및 상부 론지 이면부를 자동으로 도장할 수 있다.
- 2) 열악한 환경의 도장 자동화를 통해서 작업 환경을 개선 할 수 있다.
- 3) 간단한 리모컨 조작으로 도장 작업이 가능하다.
- 4) 도장장비에 내장되어 있는 각종 센서를 통해 위치 인식과 도장 조건을 자동으로 변경 할 수 있으며 이로 인해 균일한 도장품질을 유지할 수 있는 정량화된 도장 작업 자동화 기술을 확보할 수 있다.
- 4) 유해 물질 및 위험 요소 등으로부터 작업자를 보호 할 수 있다.
- 5) 생산성의 향상 및 도료에 대한 사용량을 예측 할 수 있다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부 중기거점개발사업인 “선체블록 내부도장 및 전처리 시스템 개발”의 일환으로 수행되고 있으며, 이에 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- 산업자원부, 2005, 선체블록 내부도장 및 전처리 자동화 시스템 기술개발에 관한 보고서.
- 박승일, 2000, 도장전용 2 축 로봇 제작과 윈도우 기반 운용 프로그램 개발.
- 이강혁, 2005, 3D-vision 을 이용한 도장로봇의 위치 보정 시스템.
- 이종운, 1995, 도장용 로봇의 도장 동작 계획 및 분석에 관한 연구.
- 장순익, 1989, 도장 실무 가이드



< 김 은 태 > < 이 동 훈 > < 김 호 경 >