

## 취부용 피스(piece)제거 및 사상 작업 자동화장비 개발에 관한 연구

노효원<sup>†</sup>\*, 김기정\*, 임래수\*, 김호경\*

(주) STX 조선\*

### A Study on a Development of the Grinding Robot to Remove Welding-bid of Working Pieces

Hyo Won Noh<sup>†</sup>\*, Ki Jung Kim\*, Rae Soo Leem\* and Ho Kyoung Kim \*

STX Shipbuilding Co., Ltd.\*

#### Abstract

This paper presents the application of a robot which aims at grinding automatically welding-bead remained in the removal job of working pieces for shipbuilding. In specific, the investigation on this application is composed of two parts; one topic is on the development of a robot platform vertically movable on a steel plate of hull, while the other topic is on the development of a grinding tool mechanism in order to remove welding-beads by using a diamond wheel installed on a servo cylinder (which can result in high working pressure on the grinding wheel). Besides, the development of a vision system for tracking welding-beads as well as recognizing welding surfaces is added for the convenience of this robot application to the removal of welding-beads remained in the working pieces for shipbuilding.

※Keywords: Grinding Robot(그라인딩 로봇), Work Piece(피스), Diamond Wheel(다이아몬드 휠), Vision System(비전시스템), Servo Cylinder(서보실린더)

#### 1. 서 론

선박 건조는 날개의 많은 판을 용접 작업을 하여 단위 블록을 만들고, 이 단위 블록들을 조립(용접)하여 배를 완성시키는 일련의 과정이다. 선박 건조 공정을 통틀어 용접 공정이 70% 이상을 차지한다. 용접 작업 시 국부적인 열전도와

열응력에 의해 용접하는 철판에 열변형 현상이 발생한다. 그렇기 때문에 용접 작업 시 조선소에서는 철판의 변형을 막기 위해 많은 취부용 피스를 이용한다. 취부용 피스는 Fig. 1 과 같이 사용되는 부위 및 목적에 따라 여러가지 형태로 이용되며, 피스와 모재를 용접을 통해 체결한다. 일반적으로 300mm 마다 하나의 피스를 설치한다. 본 용접이 끝나고 나면, 체결되었던 피스는 Fig. 2(a)와 같이 가스 절단기를 이용하여 제거

<sup>†</sup>교신저자: hyowon@onestx.com, 055-548-3517

한다. 제거하고 나면 Fig. 2(b)와 같이 용접 비드가 남게 된다. 선박의 품질을 위해서 남은 피스의 용접 비드를 제거해야 한다. 남은 용접 비드의 경우 Fig. 3과 같이 작업자가 에어 그라인더를 이용하여 제거하는데, 이에 따른 많은 시간이 소요되고, 작업 강도 및 피로도가 높기 때문에 인력 수급에 많은 어려움이 있다. 그리고 작업자의 기량에 따라 작업 품질의 불균일성 및 저 생산성 등의 문제가 발생하고 있다. 일부 조선소에서 용접비드 제거 로봇을 개발하여 적용 중에 있으나, 로봇 자체가 워낙 크고 무겁기 때문에 로봇 운영에 많은 애로 사항이 있다.

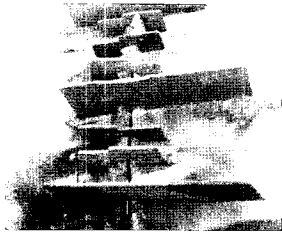


Fig. 1 Working pieces

본 연구는 선박 건조에 사용되는 취부용 피스를 제거하고 남은 용접 비드를 자동으로 제거하는 로봇 개발에 관한 것이다. Fig.4 는 로봇의 3D 모델링 된 것을 나타내고 있다. 개발을 위해 철판의 수직 벽면에 부착되어 이동이 가능한 이동 로봇에 관한 연구를 진행하였다. 그리고 용접 비드를 제거하기 하기 위해 다이아몬드 휠을 서보 실린더에 장착하여 높은 작업 압력을 주어 그라인딩 작업할 수 있는 작업 로봇에 관한 연구도 수행하였다. 그리고 작업의 편의성을 위해 용접선 추적이 가능하게 하고, 작업면을 인식할 수 있는 비전 시스템을 개발 하였다.

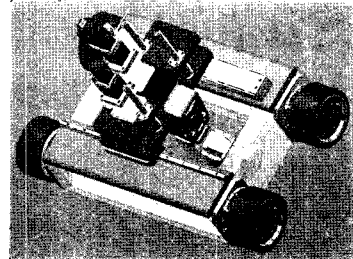
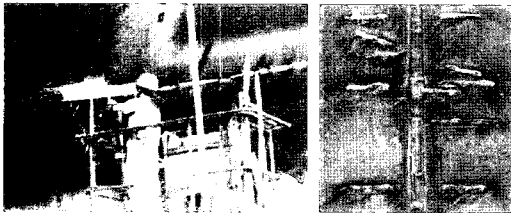


Fig. 4 Grinding Robot for Shipbuilding



(a) (b)

Fig. 2(a) Removal of working pieces  
Fig. 2(b) Remained welding bead after removal of working pieces

## 2. 이동 로봇 설계

조선소에서 자동화를 위한 로봇 개발은 일반적으로 산업에서 사용되는 로봇과 개념이 다르다. 일반적인 산업용 로봇의 경우 로봇이 고정되어 있고, 작업대상물이 컨베이어를 통해 이동하여 원하는 작업을 한다. 그러나 조선에서는 작업대상물이 선박이나 블록으로 초대형이고 무겁기 때문에 이동이 불가능하다. 그렇기 때문에 로봇이 이동하여 목적하는 작업을 수행한다. 그리고 수직 철판 벽면에서의 작업이 많기 때문에 로봇이 이동과 동시에 선체에 부착이 가능해야 한다. 일반적으로 수직 벽면에 부착하는 방식은 크게 진공 흡착 방식과 자석 부착 방식으로 나눌 수 있다. 진공 흡착 방식의 경우는 로봇의 크기는 작으나 진공 발생을 위한 부대 장비가 대형이다. 그리고 자석 부착 방식의 경우 별도의 부대 장비는 필요 없으나 자석의 무게가 증



Fig. 3 Removal of welding beads

가하는 단점이 있다. 조선소의 도크 상황을 고려할 때, 진공 흡착 방식은 적용이 불가능하기 때문에 최소한의 영구 자석을 이용하여 이동 로봇을 설계하는 것이 필요하다.

2.1 영구자석을 이용한 흡착

일반적으로 영구자석을 이용한 흡착 방식은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 영구자석과 철판과의 간격을 일정하게 간격을 유지하는 패드 방식과 바퀴자체를 영구자석으로 만들어 직접 접촉하는 방식으로 나눌 수 있다. 바퀴를 영구 자석으로 만들게 되면 철판과 직접 맞닿게 되어 선박의 도장면에 손상되기 때문에 적용에 제한을 받게 된다. 영구 자석 패드 방식의 경우 철판과 영구자석 사이의 간격을 유지하게 되는데, 사이 거리의 제곱에 반비례해서 자력이 줄어들기 때문에 얼마큼 띄워야 하는지가 중요하다.

Fig. 5 는 로봇이 수직 벽면에 대해 힘의 분포를 나타내었다.

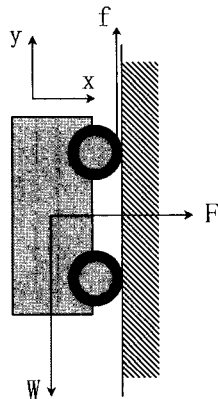


Fig. 5 External forces acting on the mobile robot platform

로봇이 아래 방향으로 내려오지 않고 수직 벽면에 부착이 가능하기 위해서는 식(1) 과 같다.

$$\sum F_y = f - W \geq 0 \tag{1}$$

f 는 마찰력이고, W 는 로봇의 중량, F 는 흡착력이다.

마찰력 f 는 흡착력과 마찰계수(k)의 함수로 식(2)와 같다.

$$f = k \times F \tag{2}$$

식(2)를 식(1)에 대입하여 정리하면 식(3)과 같다.

$$F \geq \frac{W}{k} \tag{3}$$

로봇의 중량은 50kg 이고, 마찰계수에 따른 흡착력은 Table1 과 같다.

Table 1 Attachment forces according to the values of frictional coefficient.

K	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
F (kgf)	500	250	167	125	100	83	71	63	55

마찰계수를 높이기 위해 바퀴의 재질은 우레탄을 사용하였고, 우레탄과 철판 표면의 마찰력은 0.6~0.8 로 마찰계수를 0.5 로 가정하고 흡착력을 구하면 100kgf 가 된다.

부착 시스템에 사용한 네오디움 자석(50\*50\*25mm)의 부착력을 식(4)를 통해 계산해 보았다.

$$F = (B^2 \times A) / 2\mu_0 \tag{4}$$

B 는 자속밀도이고, A 는 자석의 단면적,  $\mu_0$  는 진공 중 투자율이다. 부착 시스템에 사용한 네오디움 자석의 자속밀도(B)는 철판과의 간격(8mm)를 기준으로 2950G 이고, 진공 중 투자율( $\mu_0$ )은  $4\pi \times 10^{-7}$  Wb/A 이므로 네오디움 자석(50\*50\*25mm)의 부착력은 86.5N (8.8kgf) 이 된다. 따라서 요구되는 흡착력 (100kgf)를 얻기 위해서 자석수는 12 개 이상을 사용해야 함을 알 수 있다. 안전을 고려했을 때, 최대 14 개까지 자석을 장착할 수 있도록 설계하였다.

Fig. 6 는 이동 로봇의 자석을 장착할 수 있는 공간을 나타내고 있다.



Fig. 6 Design of space for installing 12 magnets

### 2.2 이동 대차 설계

이동 대차의 경우 앞서 설계한 영구 자석의 흡착력을 이기고 주행이 가능해야 한다. 로봇이 최대 12 개의 자석을 장착했을 때, 흡착력은 식(4)를 통해 148kgf 로 계산할 수 있다. 흡착력과 구동 토크와의 관계식은 다음과 같다

$$T = F \times \frac{D}{2} \quad (5)$$

여기서 T 는 구동토크이고, D 는 바퀴의 직경을 나타낸다. 바퀴 휠의 사이즈가 190mm 기 때문에 필요한 구동토크는 식(5)에 대입하면 137Nm 로 계산된다. 바퀴 4 개에 각 각의 서보 모터와 감속기에 의해서 구동되기 때문에 바퀴 1 개에 35Nm 의 구동 토크가 필요하다.

일반적으로 상용화된 서보모터의 경우 200W 급이 정격예석 0.6Nm 의 구동 토크를 내기 때문에 200W 급 서보모터에 100 : 1 감속기를 장착하여 충분한 모터 토크를 낼 수 있도록 설계하였다.

## 3. 작업 로봇 설계

취부용 피스를 제거하고 나서 남은 용접 비드 제거를 위해서 가장 중요한 것은 적합한 툴을 선정하는 것이다. 그리고 이 툴을 작동시키는 회전모터의 사양, 눌러주는 압력이 중요하다.

### 3.1 작업 툴 선정

취부용 피스를 제거하고 나서 남은 용접 비드 제거를 위해서 일반적으로 연마석을 이용한 그라인딩 작업을 한다. 연마석의 경우 얇은 날장의 판으로 작업 시 눌러져서 제어하기가 힘이 들고, 작업량이 작아 적용에 많은 어려움이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 다이아몬드 공구를 적용하였다. 다이아몬드 휠은 스틸로 된 휠에 다이아몬드 알갱이를 붙여서 만든 것으로 다이아몬드를 이용하기 때문에 절삭량이 크고 툴의 수명이 기존의 연마석에 비해 길다.

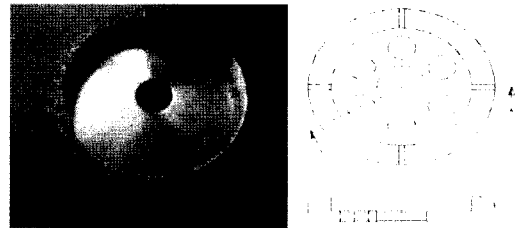


Fig. 7 (a) Horizontal Diamond wheel

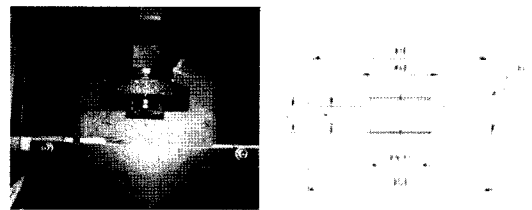


Fig. 7 (b) Vertical Diamond wheel

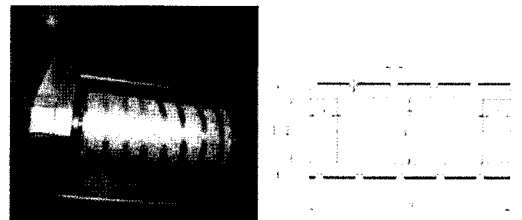


Fig. 7 (c) Horizontal Diamond wheel

### 3.1 작업 툴의 적용테스트

작업 로봇에 적용한 다이아몬드 휠은 고온에서 탄화되어 내마멸성이 급격히 떨어지는 특성

을 가지고 있으며 가격이 고가이므로 생산성을 높이기 위한 적절한 절삭조건과 공구의 형상설계를 하는 것이 매우 중요하다. 따라서 취부용 피스를 제거하고 나서 남은 용접 비드 제거를 위해서 여러가지 형상의 툴을 제작하고 테스트 하였다.

Fig.7(a)과 같이 일반적으로 조선소에서 많이 사용하는 디스크형 연마석과 유사한 형상의 수평형 다이아몬드 공구와 남은 용접비드의 길이 방향 제거를 목적으로 Fig. 7(b)와 같이 수직형 (외주면) 다이아몬드 공구, 그리고 남은 용접비드의 폭방향으로 한번에 제거하는 것을 목적으로 Fig. 7(c)와 같이 실린더형 다이아몬드 공구를 제작하여 테스트 하였다.

실린더형 다이아몬드 공구의 경우, Fig. 8(a)와 같이 용접비드와 용접비드의 접촉면적에 따른 툴 저항으로 인한 모터 과부하로 작업속도가 현저히 떨어졌고, 수직형 다이아몬드 공구의 경우, 외팔보 형태의 고정지그로 인하여 툴이 평행하게 고정되지 않아 Fig. 8(b)와 같이 한쪽 가장자리에 모재 손상이 발생하였다. 수평형 다이아몬드 공구의 경우, Fig. 8(c)와 같이 모재의 손상 없이 남은 용접비드를 제거할 수 있었다.



Fig. 8 (a) Horizontal Diamond wheel test

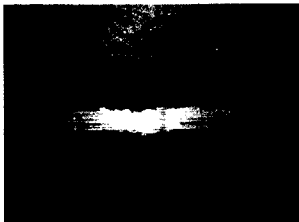


Fig. 8 (b) Vertical Diamond wheel test

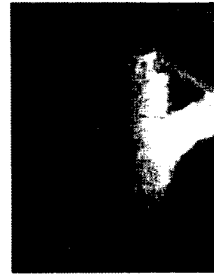


Fig. 8 (c) Horizontal Diamond wheel test

테스트 결과를 바탕으로 용접비드의 높이를 고려하여 최종적으로 제작한 다이아몬드 공구는 Fig. 9 와 같다

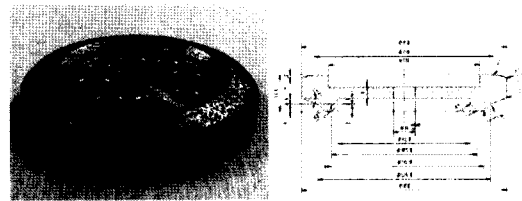


Fig. 9 Final Diamond wheel

3.2 작업 로봇 설계

취부용 피스를 제거하고 나서 남은 용접 비드 제거를 위해서 필요한 축수는 다음과 같다. Fig. 10 와 같이 툴을 좌우로 이동할 수 있는 구동축, 툴의 높이 조절용 축, 툴의 각도 조절용 축, 툴의 회전 축 총 4 개의 축이 필요하다.

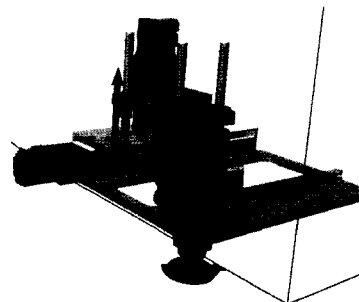


Fig. 10 Four driving axes of working robot module

특히 툴의 각도 조절을 위해 Fig. 11 과 같이 4절 링크로 구성해서 공간상의 제약을 최소화 하였다.

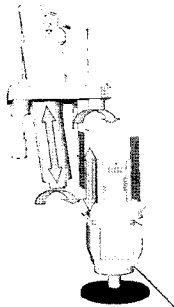


Fig. 11 4-bar linkage mechanism for tool's angle control

툴을 좌우로 이동할 수 있는 구동은 볼스크류 및 LM 가이드를 이용하고, 툴의 높이 조절용 및 툴의 각도 조절은 큰 힘이 필요하기 때문에 서보실린더를 이용하였다. 그리고 툴의 회전은 3,000rpm 서보 모터를 이용하였다. 자세한 사양은 Table 2 와 같다.

Table 2 Specifications of driving axes

Item	Specification	Remark
X-axis	Velocity	300mm/s
	Stroke	300mm
Z-axis	Velocity	5mm/s
	Stroke	80mm
T-axis	Velocity	5mm/s
	Stroke	80mm.s
Tool Velocity	3,000rpm	Spindle Type

#### 4. 비전 시스템 설계

취부용 피스를 제거하고 남은 용접 비드를 제거하기 위해서는 용접 비드를 인식할 수 있는 시스템이 필요하다. 그리고 취부용 피스가 용접 선을 중심으로 Fig. 12 과 같이 양쪽으로 존재하기 때문에 용접선을 추적하면서 이동하는 알고리즘이 필요하다.

용접 비드 추적과 용접 비드 제거에 사용된 Vision sensor 는 연산 능력이 있는 Table 3 과

같은 제원의 CCD camera 를 이용하여 시스템을 구성하였다.

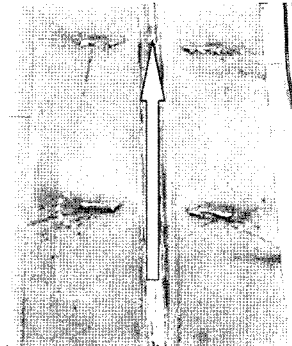


Fig. 12 Central and side welding beads

Table 3 Specifications of vision system

Camera	Resolution	640*480
	Image size	1/3inch CCD
	color	no
	Acquisition rate	60fps
Communication	Ethernet & rs232	yes

Vision System 의 테스트를 위해 Fig. 13 과 같이 테스트 환경을 조성하고 얻어진 영상은 Fig. 14 와 같다.

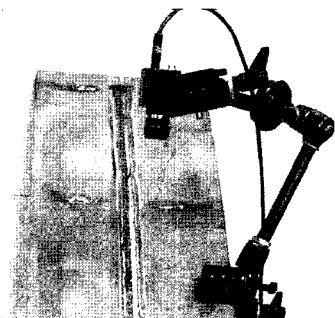


Fig. 13 Test environment of vision system



Fig. 14 Image of welding beads

5. 제어부 설계

Fig. 15 은 개발된 취부용 피스 사상 작업 로봇의 제어기의 기본 구조를 보여준다. 호스트 컴퓨터는 이동로봇에 탑재된 CCD 카메라로부터 영상신호를 처리하여 본 용접 라인과 피스를 제거하고 남은 용접비드의 위치를 계산하여 이동로봇 바퀴 구동모터에 신호를 준다. 용접 라인을 추적하면서 자동으로 이동하게 되고 용접 비드의 위치를 파악하여 작업할 수 있게 해준다. 그리고 작업시 출력되는 토크를 입력받아 높이 조절용 서보 실린더에서 일정하게 토크를 낼수 있다.

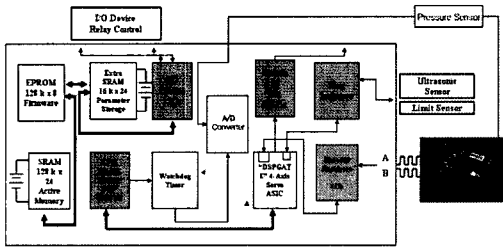


Fig. 15 Basic structure of controller

제어기 부분의 세부 사양은 Table 4 와 같다.

Table 4 Detail specifications of controller

Item	Specification	비고
Main Controller	8-axis Motion Controller	I/O Card Interface Board A/D Converter
PCNC	15"	Touch Screen
X-axis	200W	Servo Motor
Z-axis	100W	Servo Motor
T-axis	100W	Servo Motor
Tool	750W	Servo Motor
Wheel	200W	Servo Motor

6. 결론

본 연구는 선박 건조에 사용되는 취부용

피스를 제거하고 남은 용접 비드를 자동으로 제거하는 로봇 개발 관한 것이다. 철판의 수직 벽면에 부착되어 이동이 가능한 이동 로봇 개발에 관한 연구를 수행하였다. 용접 비드 제거를 위해 다이아몬드 휠을 서보 실린더에 장착하여 높은 작업 압력을 주어 그라인딩 작업을 통해 작업 할 수 있도록 설계하고 구현하였다. 그리고 작업의 편의성을 위해 용접선 추적이 가능하게 하고, 작업면을 인식할 수 있는 비전 시스템을 개발 하였다. 그리고 이 일련의 과정을 위해 8 축 로봇 제어기를 설계하고 에 관한 것이다.

후 기

본 연구는 선박 건조에 사용되는 취부용 피스를 제거하고 남은 용접 비드를 자동으로 제거 하는 로봇 개발 관한 것이다. 철판의 수직 벽면에 부착되어 이동이 가능한 이동 로봇 개발에 관한 연구를 수행하였다. 용접 비드 제거를 위해 다이아몬드 휠을 서보 실린더에 장착하여 높은 작업 압력을 주어 그라인딩 작업을 통해 작업 할 수 있도록 설계하고 구현하였다. 그리고 작업의 편의성을 위해 용접선 추적이 가능하게 하고, 작업면을 인식할 수 있는 비전 시스템을 개발 하였다. 그리고 이 일련의 과정을 위해 8 축 로봇 제어기를 설계하고 에 관한 것이다.

참 고 문 헌

- 김성청, 이재우, 1997, “ 다이아몬드공구에 의한 초경합금의 절삭”, 한국공작기계기술학회지, 제 6 권, 제 2 호, pp102-111
- 노재규, 신중계, 1999, “ 자중과 용접변형을 고려한 평블록 조립 시뮬레이션”, 대한조선학회논문집 제 36 권, 3 호, pp.122-133
- 양상민, 조택동, 전진환, 1997, “ 레이저 변위센서를 이용한 용접선 자동추적에 관한 연구”, 한국정밀공학회춘계학술대회논문집, pp. 729-733.
- 이정훈, 류성무, 최혁렬, 2000, “ 폐회로

기구학적 구조의 벽면이동 로봇 설계” 대한기계학회 논문집 A 권, 제 24 권 제 8 호, pp.2065-2073

- 이재규, 김옥현, 1996, “ 일체형 파드백 기구를 갖는 유압 서보실린더 개발연구”, 대한기계학회논문집 A 권, 제 20 권, 8 호 pp.2480-2490
- 이해우, 신용택, 박정웅, 석한길, 1998, “ SAW 맞대기 용접부의 야금학적 특성과 비드높이에 따른 피로강도 연구”, 대한조선학회논문집 제 35 권, 3 호, pp.62-70
- 한승철, 이화조, 김은찬, 2003, “ 영구자석바퀴를 이용한 벽면 이동로봇의 설계지침에 의한 이동체 개발”, 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 1676-1681
- H.K Park, “ A Self-contained Wall Climbing Robot with Closed Link Mechanism,” Journal of Mechanical Science and Technology. Vol.18. No.4. pp. 573-581. 2004



< 노 효 원 >



< 김 기 정 >



< 임 래 수 >



< 김 호 경 >