

조선에서의 이중 선체 조립을 위한 소형 용접 로봇 개발 및 적용

이지형 · 김재권 · 김종준 · 박종연

Development and Application of Small Sized Welding Robot for Double Hull Ship Structure in Shipbuilding

Ji-Hyoung Lee, Jae-Gwon Kim, Jong-Jun Kim and Jong-Ryon Park

1. 서 론

조선에서는 선체 블록 조립을 위한 용접 공정이 많은 부분을 차지하고 있으며 시간과 비용이 많이 투입되는 중요한 공정 중의 하나이다. 그러나 용접 작업이 대부분 대형 블록 속의 밀폐 공간이나 협소한 장소에서 이루어질 뿐만 아니라, 용접 중에 흠과 스파터, 분진 등의 발생으로 인하여 작업 환경은 열악하다. 그리고 최근 조선 산업은 작업자의 고령화와 숙련 용접사의 부족 등에 직면해 있고 각국 조선사들과의 경쟁이 치열하게 가속화되고 있는 실정이다.

이러한 상황을 극복하기 위한 방편으로써 일반 용접 로봇이 블록 조립용으로 많이 사용되고 있으나, 주로 오픈 패널 블록 조립이나 소조립 분야에 국한되어 있다^{3,4,6,7}). 특히 이중 선체 블록 조립에서는 여태까지 소개되어진 용접로봇 형태로서는 적용이 힘들다^{1,5}). 왜냐하면 대형 블록 속으로 용접로봇을 투입하기 힘들 뿐만 아니라, 용접로봇은 한정된 동작 범위 내에서만 움직이기 때문이다. 이로 인해 이중 선체 블록 내부에서 자유롭게 핸들링할 수 없고 설치가 어려운 단점이 있다. 이러한 이유로 로봇을 대신할 수 있는 고기능 용접 캐리지의 적용은 또 하나의 해법이 될 수 있는데²), 용접 캐리지의 이동성은 용접 로봇이 제한된 작업 범위를 가지는 단점을 극복할 수 있고, 핸들링의 편의성은 대형 블록 속으로의 투입을 원활하게 하고, 또한 고기능화는 작업자의 노고를 덜어주는 발판이 될 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 조선에서의 이중 선체 구조를 가진 블록 내부에서 작업자가 쉽게 로봇을 이동할 수 있고, 이중 선체 구조의 특징인 수평과 수직 용접 부위를 동시에 용접할 수 있는 캐리지 형태의 소형 용접 로봇(이하, 격자 용접 로봇)을 개발하였다. 제 2장에서는 격자 용접 로봇의 기구부 설계와 제어시스템을 소개하고, 제

3장에서는 로봇용 작업프로그램을 자동으로 생성하고, 실시간으로 로봇을 제어할 수 있는 운영소프트웨어를 언급하고, 제 4장에서는 개발된 시스템을 실험을 통하여 성능을 검증하고 실블록의 적용 사례를 소개한다.

2. 격자 용접 로봇의 개발

2.1 이중 선체 블록

격자 용접 로봇이 적용될 작업 부재는 다음 Fig. 1과 같이 하나의 큰 블록(block)이며 크기가 20m × 20m 정도이다. 이 블록의 내부에는 Fig. 2와 같이 무수히 많은 셀(cell)로 구성되어 있으며, 하나의 셀에는 용접 부위가 수직과 수평으로 이루어져 있는 것이 특징이다.

Fig. 3은 여러 가지 형태의 셀 중에서 대표적인 것으로, 종방향보강재(longitudinal stiffener)의 폭이 700 - 1100mm 정도이며, 높이가 700 - 850mm 정도이다. 대부분 하나의 셀은 수직필릿 용접과 수평필릿 용접으로 구성되어 있다. 이러한 셀은 한 블록당 120 - 160 개 정도가 있으며, 오픈 블록인 경우에는 갠트리에 매달려 있는 용접로봇이 단위 셀 내로 투입되어 용접을 자동으로 수행할 수 있다. 하지만, 이중 선체 조립인

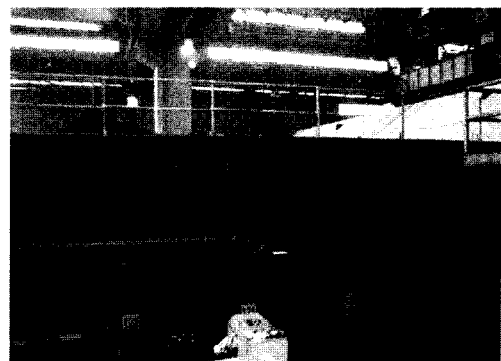


Fig. 1 Actual block of double hull structure

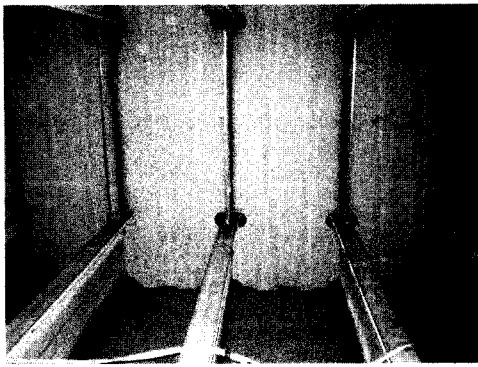


Fig. 2 Inside cells of the block

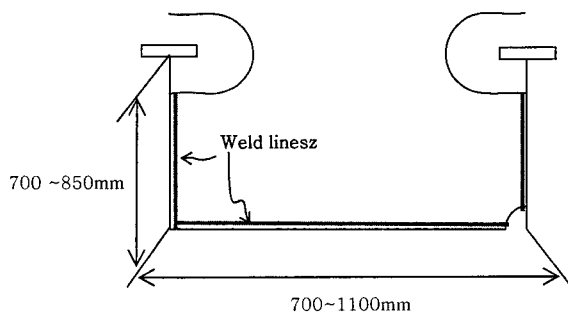


Fig. 3 Cell dimensions

경우에는 이러한 용접 로봇을 단위 셀 내부로 투입할 수 없기 때문에 오픈 블록과 같은 용접자동화를 실현하기가 어렵다.

Fig. 4는 대표적인 셀의 형태를 나타낸다. 종방향 부재에 스캘럽(scallop)이 있는 경우와 없는 경우, 그리고 슬릿(slit) 또는 슬롯(slot) 형태로 구성된다. 따라서 이러한 부분에 대해서 로봇 작업프로그램 생성 시에 반드시 고려되도록 준비되어야 한다. 그리고 수직과 수평 용접은 용접의 각장(leg length)이 다른 경우도 있다.

2.2 격자 용접 로봇의 기구부

개발된 캐리지 형태의 용접 로봇은 Fig. 5와 같이 세

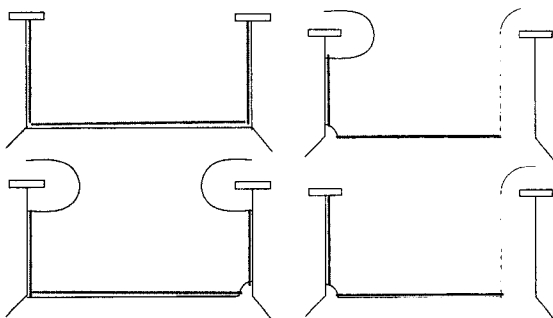


Fig. 4 Typical cell types

개의 직선운동과 두 개의 회전 운동축으로 구성되어 총 5축으로 주행축(ex0-axis), 회전축(r1-axis: yaw), 전후진축(d2-axis), 업다운축(z3-axis), 그리고 틸팅축(t4-axis: pitch)으로 구성되어 있다. 주행축을 제외한 모든 축은 단위 셀에서의 좌우측의 수직 용접 부위를 용접할 수 있도록 동작 범위가 정해졌다. 주행축은 베이스 좌표계의 X축과 나란하게 동작되어 하나의 여유축으로 간주되고, 이 주행축은 종방향 보강재의 폭이 넓은 경우에 더욱 효과적으로 사용될 수 있다. 즉, 주행축을 제외한 격자 용접 로봇의 작업 반경으로는 셀의 모든 용접 부위를 감당할 수 없으므로, 종방향 보강재의 폭이 넓은 경우 및 좌측 수직 용접 부위에서 우측 수직 용접 부위로 이동할 때 사용될 수 있도록 주행축을 구성하였다. 따라서 하나의 셀에 격자 용접 로봇을 한번 셋팅으로 좌우측 두 군데의 수직용접과 하나의 수평용접을 연속적으로 용접할 수 있도록 설계하였다.

Table 1은 격자 용접 로봇의 구동 방식과 최대 속

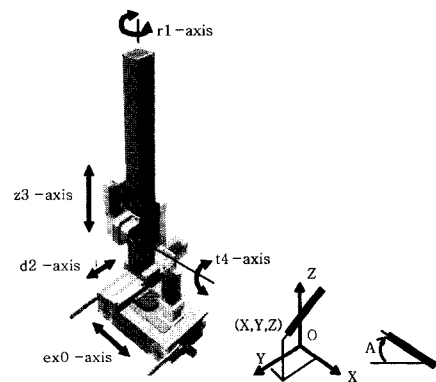


Fig. 5 Concept of the robot and its coordinates

Table 1 Mechanical specification of the robot

Items	Detail	Specifications
ex0 axis	Motor	200W, 3000rpm
	Speed	82466mm/min
	Stroke	2000mm
r1 axis	Motor	100W, 3000rpm
	Speed	10rpm(2Hz)
	Stroke	360deg.
d2 axis	Motor	50W, 3000rpm
	Speed	3000mm/min
z3 axis	Motor	50W, 3000rpm
	Speed	300rpm
	Stroke	490mm
t4 axis	Motor	100W, 3000rpm
	Speed	12.5rpm(2Hz)
	Stroke	360deg.
Dimension	mm	400(L) × 220(W) × 780(H)
Weight	Total	23kgf

도, 그리고 유효 이동 거리(stroke)를 나타낸다. 격자 용접 로봇은 전장이 약 400mm, 전폭이 220mm, 높이는 780mm가 되도록 설계하였다. 이러한 치수는 로봇 몸체가 셀 내부에 놓였을 때, 수직부 및 수평부의 용접선에 토치 끝단이 접근할 수 있는 동작 영역을 고려하여 선정하였다. 또한 주행 시에 주판 상에 있을 용접 비드를 넘어갈 수 있도록 주행 바퀴의 반경을 고려하였다.

2.3 제어시스템의 구성

격자 용접 로봇의 제어시스템은 크게 전체 시스템을 관리하고 모든 시퀀스 및 모션 계획을 담당하는 산업용 컴퓨터, 모터 구동을 위한 서보 드라이브(servo drive), 로봇을 조작하기 위한 교시 조작반(teach pendant), 각종 정보를 표시하기 위한 LCD 모니터, 그 외에 용접기, 터치센서, 주변장치와의 인터페이스 장치로 구성되어 있다. 주제어기인 산업용 컴퓨터에는 5축의 모션을 제어하기 위한 모션보드, 용접조건 설정을 위해 용접기와의 인터페이스를 담당하는 아날로그 입출력 보드, 그리고 각종 디지털 신호를 처리하기 위한 디지털 입출력 보드로 구성되어 있다(Fig. 6). 작업자가 쉽게 교시 조

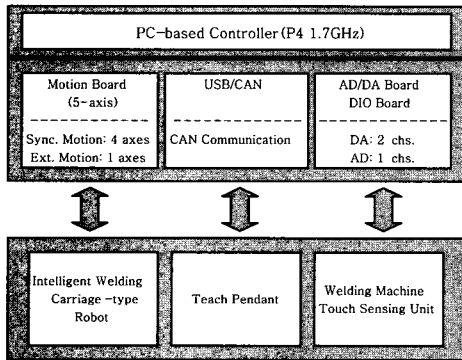


Fig. 6 Configuration of the control system

작반을 핸들링할 수 있도록 제어기와 조작반 사이에서 정보교환은 CAN(controller area network) 통신을 수행하여 케이블 수를 줄였다. 그리고 전원을 켜다 켜를 때도 로봇의 축좌표를 알 수 있도록 절대치 엔코더(absolute encoder)를 사용하였다.

2.4 격자 로봇의 정/역기구학

로봇의 끝단(end effector)이 이동해야 할 위치와 자세는 로봇 작업 프로그램(job program)에서 주어진다. 이러한 위치와 자세로부터 로봇의 각 축이 구동되어야 할 값을 찾는 과정이 역기구학(inverse Kinematics)이다. 이와는 반대의 과정이 정기구학(forward Kinematics)이다. 각각의 해는 식(1), 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 r1 &= \tan^{-1}\left(-\frac{X}{Y}\right), \\
 d2 &= -\sqrt{X^2 + Y^2} + L_t \cos(B) + Y_{offset}, \\
 z3 &= Z + L_t \sin(B) - Z_{offset}, \\
 t4 &= -A
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 L_t 는 토치의 길이를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 X &= -(-d2 + L_t \cos(t4) + Y_{offset}) \sin(r1), \\
 Y &= (-d2 + L_t \cos(t4) + Y_{offset}) \cos(r1), \\
 Z &= z3 + L_t \sin(t4) + Z_{offset}, \\
 A &= -t4
 \end{aligned} \tag{2}$$

3. 운용 소프트웨어

3.1 로봇 명령어

단위 셀을 용접하기 위한 작업 프로그램은 로봇 명령

Table 2 Robot commands and its examples

COMMANDS	USAGES
M8(MOVE) : Absolute move	M8X[Target coord]Y[]Z[]A[]B[]T[]F[speed] ex) M8X10Y20Z30A10B0T10F100
M9(SENS) : Touch sensing	M9X[]T[storage table no]F[sensing speed] ex) M9X036T99F100
M10(WELD) : Absolute move & welding	M10X(target coord)Y[]Z[]A[]B[]T[]W[wp]S[sp]E[ep] F[welding speed] ex) M10X100Y200Z300A45B 25W10S10E10F350
M60(SMOVE) : External axis move	M60X[U axis target coord]W[wp]S[sp]E[ep]F[welding speed]
M72(WEAV) : Weaving mode	M72X[] : X0 left vertical, X1 horizontal, X2 right vertical welding

어의 집합으로 구성되어 있다. Table 2는 격자 로봇의 주요 명령어와 예를 나타낸다.

3.2 작업 프로그램 생성용 소프트웨어

하나의 로봇 작업 프로그램이 만들어 지는 과정을 Fig. 7에서 나타내고 있다. 먼저 작업하고자 하는 셀 형태(cell type)가 정해지고 나면, 그 셀에 해당하는 매크로형태(MACRO TYPE)를 간단하게 정의한다. 원 매크로 정의(primitive MACRO definition)에는 셀의 형태에 따라 다르게 설정될 수 있도록 매개변수(parameter)가 내재되어 있다. 그래서 그 셀에 해당하는 주요 치수가 입력되고 나면, 매크로 내의 변수에 할당되어 최종적으로 하나의 셀에 대한 로봇의 작업 프로그램이 완성되게 된다.

Fig. 8은 하나의 셀형태(cell type)에 따른 매크로를 나타낸다. 그 셀에 해당하는 매크로는 스킴이 있는 경우와 없는 경우에 따라서 터치 센서를 이용한 센싱 방법이 달라지고 터치 센싱 완료 후 로봇 좌표값이 저장되는 테이블(TB) 번호도 달라진다. 그리고 같은 수직상향 용접이더라도 각장에 따라서 그 용접 조건과 워빙 패턴이 다르기 때문에 이것에 대한 정의가 필요하다.

작업자가 손쉽게 로봇 작업 프로그램을 생성할 수 있도록 GUI(graphic user interface) 소프트웨어를 개발하였다. Fig. 9에서 나타난 바와 같이 해당 셀에 대해서 주요 치수 정보를 입력하고 작업 프로그램 생성 버튼만 클릭하면 최종 작업프로그램이 생성될 수 있도록 하였다.

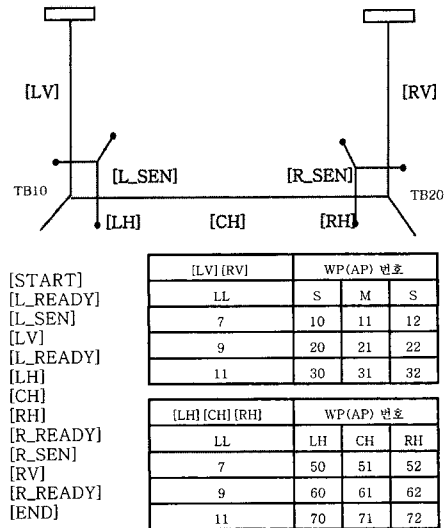


Fig. 8 An example of MACRO and Pattern number definition

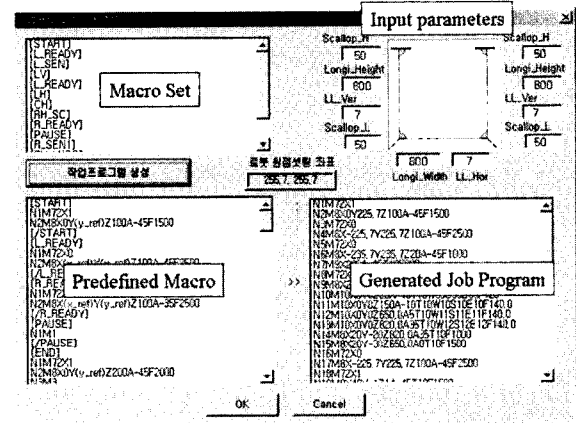


Fig. 9 Developed software for automatic job program generation

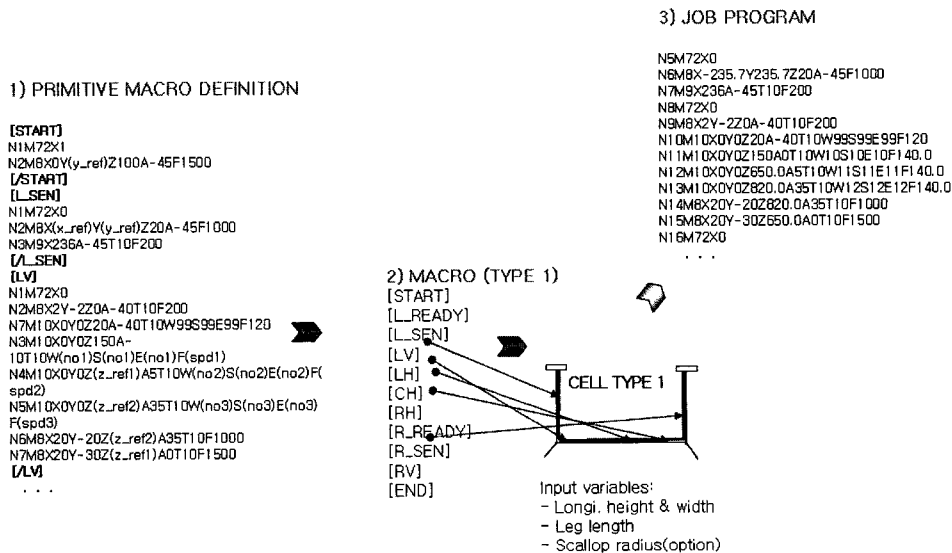
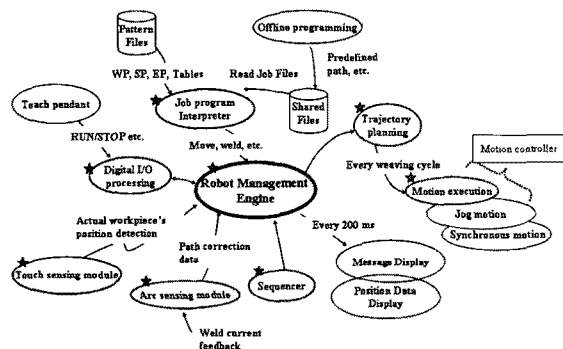


Fig. 7 Steps for robot's job program generation

3.3 실시간 작업 처리 및 관리 소프트웨어

격자 로봇의 운전은 크게 수동 모드와 자동 모드로 나누어 진다. 수동 운전 모드에서는 단순히 조인트 좌표계 또는 직교 좌표계에서의 조그 동작과 용접과 관련된 용접 와이어 송급 동작을 수행한다. 그러나 자동 모드에서는 Fig. 10에서와 같이 실시간 작업 모듈이 실행된다. 즉, 로봇의 작업 프로그램을 읽어 들여 해석하는 모듈, 경로 계획 모듈, 터치센싱 처리 모듈, 그리고 아크 센싱 처리 모듈 등이 실시간으로 처리된다. 작업 프로그램 해석기(job program interpreter)는 로봇의 이동 명령 해석 뿐만 아니라 워빙 패턴, 용접 조건 등을 포함하는 패턴 파일(pattern files)을 읽고, 구문해석을 통하여 각 조건에 알맞게 설정한다. 터치 센싱 모듈(touch sensing module)은 용접선의 특징점(주로, 용접 시작점)의 실제 부재 위치 정보와 로봇 작업 프로그램이 가지고 있는 위치 정보의 오차를 보상해 주는 역할을 수행하고, 아크 센싱 모듈(arc sensing module)은 용접 중의 용접선을 정확히 추적하기 위해 수행된다.

Fig. 11은 로봇 제어를 위한 실시간 처리를 수행하



★ Realtime priority class running on the Windows XP

Fig. 10 Task modules for realtime processing

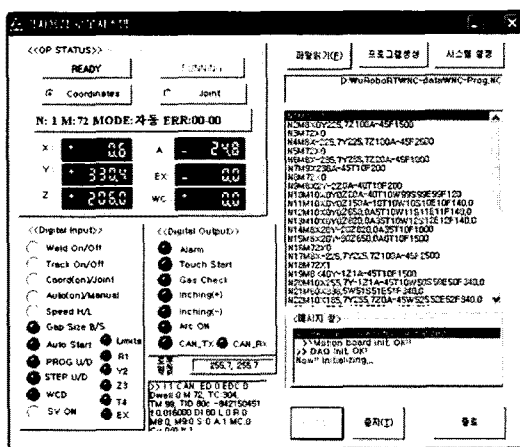


Fig. 11 Robot operating software

고, 로봇을 쉽게 운용하기 위한 운용 소프트웨어로서, 로봇의 좌표값과 각종 디지털 입출력 신호 모니터링, 그리고 작업프로그램의 현재 실행단계와 실제 용접전류 모니터링을 할 수 있다. 그리고 이 운용소프트웨어는 앞에서 기술된 로봇의 작업처리 모듈을 실시간으로 처리하기 위해 Windows XP®의 최상위 우선순위(priority)를 가지도록 하였으며, 샘플링 시간(sampling time)은 20msec이다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 12는 개발된 컴퓨터 기반 제어기, 교시 조작반과 용접기 등을 보여주고 있다.

4.1 기능 시험

격자 용접 로봇의 다양한 기능을 검증하기 위해 실제의 시험 블록을 이용하였으며, 검증된 주요 기능들은 아래와 같고 결과는 양호하였다.

[수동] 로봇 구동 테스트 실시

[수동] 로봇 조그 모션 테스트 실시: 직교 이동/조인트 이동

[수동] 와이어 인칭 정/역 테스트 실시

[자동] 작업 프로그램 번역 및 구문 체크 기능

[자동] 용접조건 자동 설정 기능

[자동] 경로 계획 및 연동 제어

[자동] 워빙 및 아크센서에 의한 경로 수정 기능

[자동] 터치센서 기능

[자동] 아크센서 기능

[자동] 끝단 검출 기능

[자동] 용접기 캘리브레이션 기능: 용접조건 설정과 출력이 동일함

[자동] 실제 용접 전류 모니터링 기능

4.2 용접선 추적 시험

본 블록 용접에 앞서 우선 필릿 조인트를 가지는 시험편에 대해서 용접선 추적을 위한 아크센서 성능 테스트

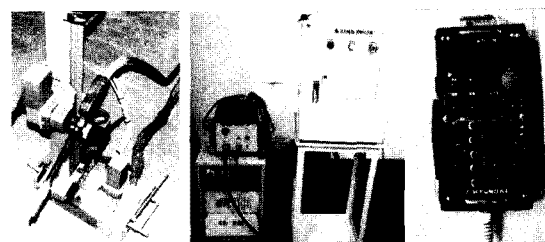


Fig. 12 Developed small sized robot, its controller and teach pendant

트를 실시하였다. Fig. 13은 수직상향 용접 시의 추적 결과를 나타내고 있다. 길이 약 120mm에 대해서 시작부(S)에 대해 끝단부(E)의 오프셋량을 X축으로 10mm, Y축으로 -10mm로 두어 추적 시험을 하였다. 그래프에서 알 수 있듯이 끝단부에서 X축으로 -8mm, Y축으로 8mm 정도로 추적 성능이 안전한 범위에 있음을 알 수 있다.

수평하향 필릿용접에 대해서는 Fig. 14에 보이는 것과 같은 시험편에 대해서 길이 약 200mm에 대해서 시작부(S)에 대해 끝단부(E)의 오프셋량을 Y축으로 -10mm, Z축으로 10mm로 두어 추적 시험을 하였다. 추적 결과의 그래프에서 알 수 있듯이, 끝단부에서 Y축으로 12mm, Z축으로 -13mm 정도로 양호한 결과를 나타내었다.

4.3 현장 적용

Fig. 15는 개발된 소형 용접 로봇을 생산현장에 적용한 예를 나타내고 있다. Fig. 16은 용접 후의 용접 비드 외관 사진을 나타내고 있다. 사진에서 보는 것과 같이 용접 결과는 외관상으로 결함은 나타나지 않고 양호하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 조선에서의 이중 선체 구조를 가진 블록 내부에서 작업자가 쉽게 로봇을 이동할 수 있고, 이

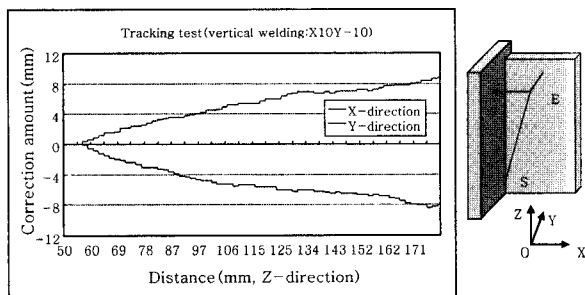


Fig. 13 Tracking result in the vertical welding

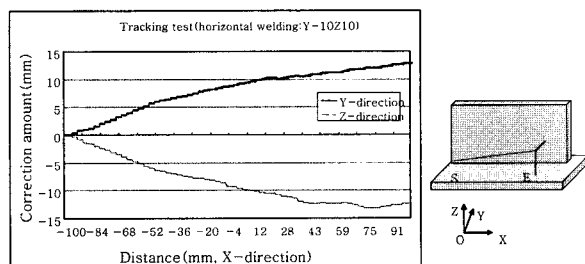


Fig. 14 Tracking result in the horizontal welding



Fig. 15 Photography after application into actual block

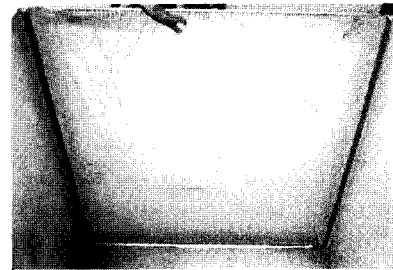


Fig. 16 Weld appearance

중 선체 구조의 특징인 수평과 수직 용접 부위를 동시에 용접할 수 있는 격자 용접 로봇을 개발하였으며, 주요 개발 항목을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 로봇 작업 프로그램을 주어진 셀에 대해 주요치수만 입력하면 자동으로 생성할 수 있는 소프트웨어를 개발하였으며, 다양한 셀의 형태에 대응할 수 있었다.
- 2) 개발된 제어기는 터치센서, 아크센서 등을 탑재하여 실제 용접 블록과 작업 프로그램의 위치 정보가 다르더라도 오차를 보상하여 우수한 용접 결과를 얻었다.
- 3) 윈도우 XP 기반에서 최상위 우선순위를 갖는 로봇 관리 소프트웨어를 개발하여 실시간 작업들을 원활하게 처리하여 여러 가지 기능들을 문제없이 잘 처리하였다.
- 4) 개발된 소형 용접 로봇은 상업용 용접 로봇(보통 100kgf 이상)보다 훨씬 가볍고 이동성이 뛰어나 현장 적용에 있어서 우수한 결과를 얻었다.

참 고 문 헌

1. J.W. Kim, et. al., "Rail running mobile welding robot 'RRX3' for double hull ship structure," Proc. of IFAC'08, July, Korea (2008)
2. J.H. Lee, J.C. Kim, J.R. Park, and J.G. Kim, "Technical trend of automatic welding carriage built by high technology functions," HHI Engineering Review, 27 (2), (2007) 82-89 (in Korean)
3. S.H. Kim, et. al., "A robot controller development of a large-scale system for shipbuilding," ICCAS2005, June, Korea (2005)

4. J.H. Lee, C.S. Kim, and K.S. Hong, 'Off-line programming in the shipbuilding industry: open architecture and semi-automatic approach,' Int. J. of Control, Automation, and Systems., **3 (1)**, (2005), 32-42
5. T. Miyazaki, et. al., 'NC painting robot for shipbuilding,' Proc. Of ICCAS'99, (1999)
6. T. Ogasawara, K. Hashimoto, M. Tabata, M. Komatsu, T. Hara, and Y. Kanjo, 'Application of multi-robots control technology to shipbuilding panels,' Journal of the Robotics Society of Japan, **16 (1)**, (1998), 46-47
7. Y. Okumoto, 'Advanced welding robot system to ship hull assembly,' Journal of Ship Production, **13 (2)**, (1997), 101-110



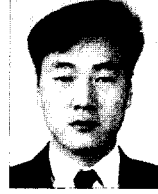
- 이지형
- 1968년생
- 현대중공업(주) 자동화연구실
- 용접 로봇 및 센서 시스템 개발
- e-mail : jihylee@hhi.co.kr



- 김재권
- 1969년생
- 현대중공업(주) 자동화연구실
- 용접자동화 및 제어시스템 설계
- e-mail : kim@hhi.co.kr



- 김종준
- 1971년생
- 현대중공업(주) 자동화연구실
- 용접자동화 및 제품설계
- e-mail : jjkim@hhi.co.kr



- 박종연
- 1968년생
- 현대중공업(주) 자동화연구실
- 용접자동화 및 용접 엔지니어링
- e-mail : pakim@hhi.co.kr