

LNG선 화물창의 코너부위 용접로봇 개발

김재권*[†] · 이지형* · 김종준* · 배범찬* · 박인완* · 김경주*

*현대중공업 산업기술연구소

Development of Welding Robot for Corner-piece in LNG Ship

Jae-Gwon Kim*[†], Ji-Hyoung Lee*, Jong-Jun Kim*, Beom-Chan Bae*,
In-Wan Park* and Kyeong-Ju Kim*

*Hyundai Industrial Research Institute, Ulsan 682-792, Korea

[†]Corresponding author : kim@hhi.co.kr

(Received September 28, 2009 ; Revised October 26, 2009 ; Accepted January 27, 2010)

Abstract

Generally, angle pieces at the corners of cargo tank of membrane type LNG carrier ship are manually welded, due to their various shapes and positions. In this study, a GTA welding robot system was developed in order to improve productivity, which consists of a 7-axis manipulator, a system controller, a GTA welding power source, and peripheral devices. The welding system is characterized by capabilities of welding corrugated work pieces as well as 90/135 degree linear work pieces, and controlling the entire weld cycle automatically.

The developed system was field tested on actual work pieces and its performance was proven to be successful.

Key Words : Welding robot, Membrane LNG, GTA welding process, Kinematics

1. 서 론

멤브레인 LNG 운반선의 건조 능률을 향상하기 위해, 소재 공급업체 다변화, 설계 및 건조공법 등 다방면에서의 개선을 통해서 납기 단축 및 원가절감을 하였다. 특히 공기의 대부분을 차지하는 화물창 제작은 공법개선이 필수적이며, 멤브레인 박판용접에 플라즈마 자동용접기술을 개발하여 적용하였으며, 이를 바탕으로 다수의 멤브레인 LNG선을 수주하여 건조하였다. 또한, 북미를 중심으로 청정에너지인 LNG의 수요 증가로 인하여 LNG 운반선에 대한 수요가 급증하고 대형화되는 추세여서 생산효율 증대를 위한 기반구축이 필요하게 되었다. 특히, 화물창의 주부재인 멤브레인의 전자세 용접은 자동 용접을 적용하여 왔으나, 화물창의 경계부분에 부착되는 앵글피스(Angle Piece)는 전적으로 수작업에 의존하였다. 왜냐하면 앵글피스가 부착되는 위치가 기준 위치에서 보았을 때 일정하지 않고, 부재의

크기 및 형상도 다양하기 때문에 자동화 시스템을 적용하기에 어려움이 많았다. 따라서 본 시스템의 개발을 통하여 수동 용접에만 의존하고 있던 앵글피스 부분에 대한 용접을 세계 최초로 자동화하여 생산성을 향상하였다.

멤브레인 LNG선 내부는 Fig. 1과 같이 수많은 멤브레인 시트와 코너부의 앵글피스로 형성되어 있다. 평면

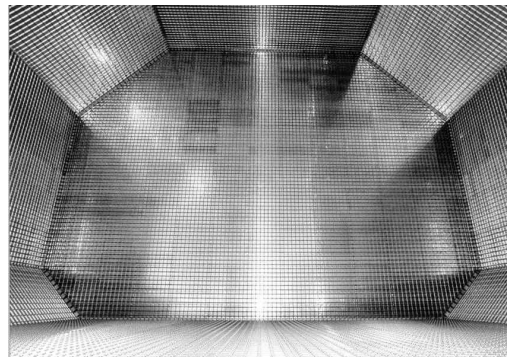


Fig. 1 Inner view of tank

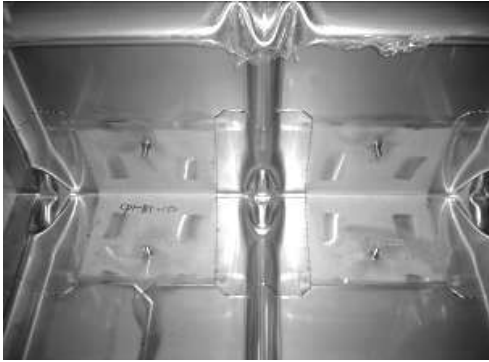


Fig. 2 Corner-piece

부에 배치되는 멤브레인 시트는 코너부의 앵글피스의 용접보다는 쉬운 조건이다. 코너부의 앵글피스는 그림에서와 같이 각진부분에 배치되고, 그 형상과 크기가 다양하여 용접이 어렵다. Fig. 2는 코너부 앵글피스 취부의 한 예를 나타낸다.

2. 시스템의 구성 및 장착

Fig. 3에서 보는 바와 같이, 캐리지는 전체 6축 전동 구동에 1축 수동 절환을 통해 앵글피스의 직선 및 곡면 용접부에 대응할 수 있도록 구성되었으며, 작업 편의성을 위해 캐리지의 주행레일에 분할 장착할 수 있는 개념이 도입되었다. Table 1은 캐리지의 제원을 나타낸다.

3. 자동 용접 제어시스템

3.1 기구학

앵글피스 부재는 그 부착위치가 다양하고, 위치의 반복 정도가 떨어지므로 자동화 장비적용에 어려움이 있었다. 또한 용접 프로세스가 GTA이므로 용접선 추적



Fig. 3 Carriage machinery part of automatic welding system

Table 1 Specification of carriage

Item		Type and Specification
Type		6 axes motor driven, 1 axis manual driven, separated
Dimension		829 X 750 X 270 (mm)
First Part	X0	Rail Guided Rack & Pinion driven
Second Part	X-1	Ball Screw & LM Guide
	Y-1	
	Z-1	
Third Part	A-1	Worm & Worm wheel driven
	Z-2	Ball Screw & LM Guide

정도가 우수하여야 한다. 이러한 제약 조건을 극복하기 위해서 기구학의 해석을 통한 제어를 도입하였다.

로봇이 직교좌표계 내에서 제어가 되기 위해서는 각 모터의 위치값(즉, 로봇의 조인트값)으로부터 시스템 좌표계값을 구하는 순기구학(forward kinematics) 문제와 시스템 좌표계에서 로봇의 끝단부(end-effector)가 가야할 목표값이 주어졌을 때 그것을 구현하기 위해 필요한 각 모터의 위치값을 구하는 역기구학(inverse kinematics)의 해가 구해져야 한다¹⁾.

본 시스템은 직선부 용접부분과 곡면부 용접부분을 용접하기 위해서 좌표계가 변경되기 때문에 기구학도 용접부분에 맞게 2개의 기구학을 구성하였다. Fig. 4와 5는 로봇의 좌표계와 축에 대한 정의를 나타내고 있다. 용접 토치의 축 a1과 b1은 각각 평면 XY에 대한 기울기 각으로 표현된다.

Fig. 5에서 곡면부를 용접하기 위한 순기구학에 대한 해는 다음 식에 의해서 구할 수 있다²⁾.

$$\begin{aligned}
 X &= x_0 + x_1 + L_t \cos(b_1) \\
 Z &= z_0 + z_1 + L_t \sin(b_1) \\
 B &= b_1
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

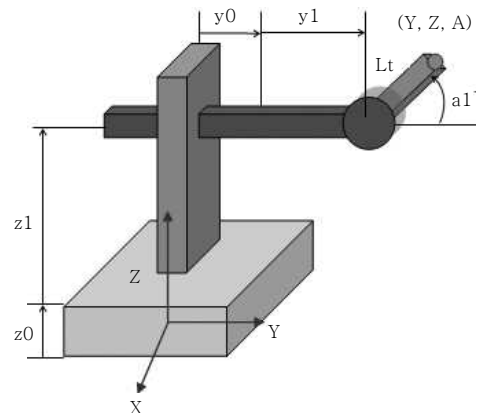


Fig. 4 Robot coordinate and Axis definition (corrugation part)

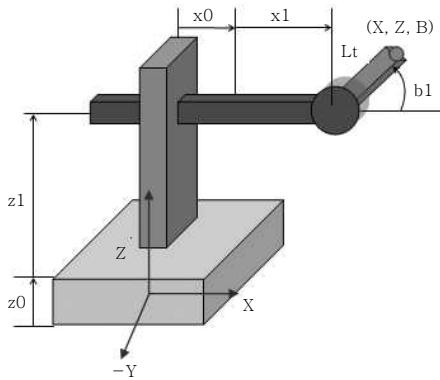


Fig. 5 Robot coordinate and axis definition(linear part)

여기서 x_0 , z_0 는 오프셋값을 나타내고, L_t 는 토치 길이, x_1 , z_1 , b_1 는 각 축의 변위값을 나타내고, X , Z , B 는 직교 좌표계에서의 좌표값을 나타낸다. 또한, 역기구학의 해는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 b_1 &= B \\
 x_1 &= X - x_0 - L_t \cos(B) \\
 z_1 &= Z - z_0 - L_t \sin(B)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Fig. 5에서 직선부를 용접하기 위한 순기구학에 대한 해는 다음 식에 의해서 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Y &= y_0 + y_1 - L_t \sin(a_1) \\
 Z &= z_0 + z_1 + L_t \cos(a_1) \\
 A &= a_1
 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 y_0 , z_0 는 오프셋값을 나타내고, L_t 는 토치 길이, x_1 , z_1 , a_1 는 각 축의 변위값을 나타내고, X , Z , A 는 직교 좌표계에서의 좌표값을 나타낸다. 역기구학의 해는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 a_1 &= A \\
 y_1 &= Y - y_0 + L_t \sin(A) \\
 z_1 &= Z - z_0 - L_t \cos(A)
 \end{aligned} \tag{4}$$

3.2 제어시스템 구성

제어시스템은 Fig. 6과 같이 구성된다. 주제어기는 산업용 컴퓨터를 사용하여 구축하였으며, 산업용 제어기 내에는 모션보드와 디지털 입출력 보드가 장착되어 있다. 모션 보드는 앵글피스 캐리지 기구부 5축을 통합적으로 제어하게 되는데, 캐리지는 부재 형상에 따라 두 가지 모드로 나누어지며 각각의 모드에 따라서 모션

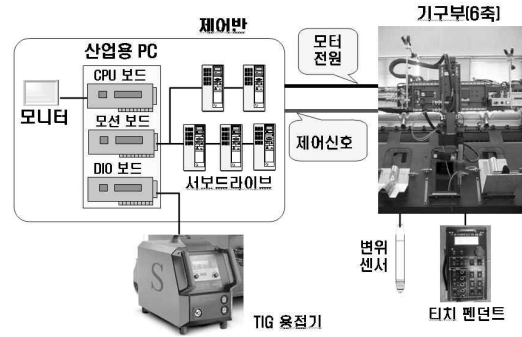


Fig. 6 Construction of control system

제어와 시퀀스 제어가 자동으로 변경되게 된다. 디지털 입출력 보드는 용접기와 인터페이스를 담당한다. 용접기 인터페이스는 용접 시퀀스 제어를 위한 인터페이스 뿐만 아니라, 용접 조건 선택도 동시에 수행하게 된다. 모션과 동기가 되어서 특정 위치에 왔을 때 용접 조건이 자동으로 변경이 되도록 구현하였다^{3,4)}.

용접 프로세스가 GTA이므로 전극봉의 높이를 일정하게 유지하는 것이 아주 중요하다. 이를 구현하기 위해서 변위 센서를 용접 방향에 대해서 수직으로 토치와 평행하게 설치를 하였다. 용접이 시작되면 제어기는 변위 센서 신호를 받아서 이 값으로부터 현재 전극봉의 높이를 추출하고 높이 제어 지령량을 생성하여 제어를 실시간으로 수행함으로써 전극봉의 높이 즉, 아크 길이를 일정하게 유지하게 된다.

3.3 부재형상별 용접 경로 계획

부재 형상은 4가지 형상으로 나눌 수 있는데, 곡면 LC (Large Corrugation), 곡면 SC (Small Corrugation), 직선부 135도, 직선부 90도로 구분된다. 곡면부의 형상 및 부재 치수는 Fig. 6과 같다. 제어 시스템은 각 형상에 대한 데이터를 내장하고 있어서 작업자가 부재 형상을 터치 펜던트에서 선택하면 자동으로 각 경로가 생성되게 된다.

3.4 운영소프트웨어 개발

로봇을 원활하게 운영하기 위해서 필요한 운영소프트웨어를 개발하였다. Windows XP 상에서 작동되는 본 프로그램은 오퍼레이터가 쉽게 사용할 수 있고 운용이 편리하게 될 수 있도록 설계되었다. 운영 소프트웨어의 기능을 간단히 요약하면 다음과 같다⁵⁾.

- 로봇 디지털 입출력 모니터링 기능
- 수동/자동 선택 기능
- 수동 운전 시 조그 기능

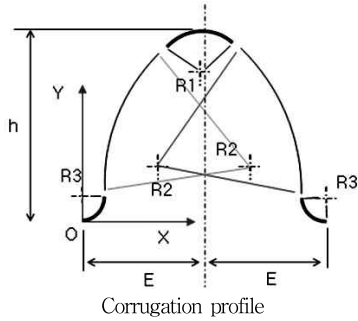


Fig. 7 Shape of corrugation

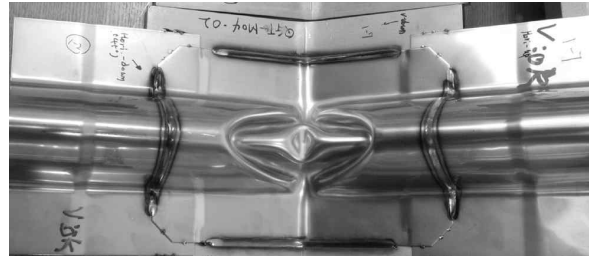


Fig. 9 Welding bead(135 degree)



Fig. 8 GUI View of operating software

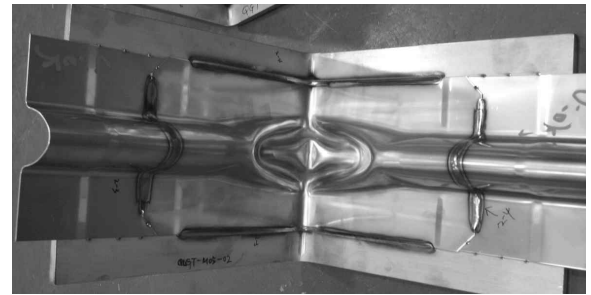


Fig. 10 Welding bead(90 degree)

- 자동 운전 시 추적 ON/OFF 기능
- 자동 운전 시 용접 ON/OFF 기능
- 용접기 시물레이션 ON/OFF 기능
- 로봇 좌표계 선택 기능: 직각 좌표계/조인트 좌표계
- 로봇 좌표값 표시 기능
- 각종 메시지 표시 기능



Fig. 11 Application test

Fig. 8은 시스템 운용과 용접조건을 쉽게 설정할 수 있도록 구성된 GUI 화면이다. 앵글피스부의 용접은 용접자세가 아주 다양하고, 같은 용접부에 대해서도 다양한 용접조건을 가지는 것이 특징이다. 이를 관리하기 위해서 곡면부의 SC(Small Corrugation)과 LC (Large Corrugation), 직선부의 90도와 135도로 구분되어 있으며, 용접 자세에 따른 기구부의 처짐 특성을 고려하여 곡면부의 시작과 끝부분의 오프셋값을 설정할 수 있도록 하여 현장 대응력을 높였다.

4. 용접 실험 및 결과

4.1 용접 시험 및 선급 인증

캐리지 기구부에 대한 기구학의 해석을 통해서 제어를 했으며, 시험 부재에서 시스템의 성능을 검증하였다.

135도와 90도 시험부재에 대해서 용접을 했으며 그 결과는 Fig. 9 및 Fig. 10과 같다. 또한 선급 인증을 획득하여 성능에 대한 객관적 검증을 완료하였다.

4.2 현업 적용 시험

기구부 안정성과 제어의 신뢰성을 실제 조건하에서 검증하기 위해서 현업 적용성 시험을 실시하여, 그 효용성을 입증하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 멤브레인 LNG선 화물창 건조에 있어서 수동 용접으로 남아있던 앵글피스 부분을 자동 용접

하였으며, 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 곡면부와 직선부에 대해서 미리 계획된 경로를 따라 동작이 구현되도록 하였으며 순기구학과 역기구학의 해석을 통한 모터 동시 제어를 수행하였고, 토치 방향으로 여유축을 두어 아크길이 일정제어를 실시간으로 실현하였다.

2) 실시간 제어를 위해 PC 기반 제어기를 개발하였으며, 작업자 편의성 제공 및 다양한 용접조건을 설정하기 위해 운영소프트웨어를 개발하였다.

3) 현업 실블록 적용을 통하여 장비의 성능과 기능을 검증하였으며, 선급 인증을 획득하였다.

참 고 문 헌

1. Ji-hyoung Lee, Jong-jun Kim, Jae-Gwon Kim, and Jong-ryon Park : Development of Carriage-type

Welding Robot for Double Hull Assembly Line in Shipbuilding, The 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, July 6-11, 2008., 4310-4311 (in Korean)

2. J.H. Lee, J.C. Kim, J.R. Park, and J.G. Kim(2007) : Technical Trend of Automatic Welding Carriage Built by High Technology Functions, HHI Engineering Review, 27-2, 82-89.(in Korean)

3. T. Ogasawara, K. Hashimoto, M. Tabata, M. Komatsu, T. Hara, and Y. Kanjo(1998) : Application of Multi-robots Control Technology to Shipbuilding Panels, Journal of the Robotics Society of Japan, 16-1, 46-47

4. Y. Okumoto(1997) : Advanced Welding Robot System to Ship Hull Assembly, Journal of Ship Production, 13-2, 101-110

5. J.H. Lee, C.S. Kim, and K.S. Hong(2005) : Off-Line Programming in the Shipbuilding Industry: Open Architecture and Semi-Automatic Approach, Int. J. of Control, Automation, and Systems, 3-1, 32-42. (in Korean)