

로봇 위빙에 의한 리프팅 러그 다층 용접법 개발

김영주* · 김강욱* · 김석형* · 강성원* · 김수호*

*대우조선해양 자동화연구소

Development of Multi-pass Welding Method for Lifting Lug by Robot Weaving

Young-Zoo Kim*, Kang-Uk Kim*, Suk-Hyoung Kim*, Sung-Won Kang* and Soo-Ho Kim*

* Associate Automation R&D Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co.,LTD,
Geje-si 656-714, Korea

Abstract

A welding process of a lifting lug for lifting heavy objects is one of the important welding processes directly related to the safety in shipbuilding. Welding a lifting lug is done in the manually and takes about forty minutes. Working environment for the lifting lug welding is very poor due to an radiant heat and a harmful fume. The purpose of this study is to develop methods of multi-pass welding using the lifting lug welding robot system. This study shows robot welding methods to achieve proper corner, straight and connection welding and an effectiveness of application.

*Corresponding author : youngzoo894@dsme.co.kr

(Received August 21, 2007)

Key Words : Shipbuilding industry, Flux cored arc welding, Welding robot system, Beveled both sides bevel joint fillet welds, Build-up concept, Multi-pass welding, Weld defects

1. 서 론

최근 조선 산업의 호황에 따른 수주 물량의 증가로 인해 블록조립 단계에서의 용접 물량이 대폭 증가하고 있는 추세이다. 용접 기능 인력의 인건비 상승 및 부족 현상을 극복하며, 수동 용접 작업 대비 균일한 용접 품질을 향상하고 생산성 및 작업환경 등을 개선하고자 자동화 용접 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁾. 자동화 용접은 간이자동화, 기계화에서 전자동화, 로봇화로 장치가 점차 기능과 성능 면에서 고급화로 변화하고 있는 추세이다²⁾.

1척의 선박을 제조하기 위하여 블록 조립 단계에서는 높이가 16m, 무게 40ton 이상 되는 블록 300개 내외가 도크 안에서 탑재, 조립 공정을 거치며 이때 크레인 으로 블록을 운송하기 위해 사용되는 리프팅 러그의 사용량은 연간 약 20만개 내외로 로봇을 통한 용접 자동화가 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 후판 양면 개선 필릿부인 리프팅

러그의 용접 품질 및 생산성 향상을 위한 로봇 용접법을 개발하는 것이다.

본 연구에서는 후판 양면 개선 필릿부인 리프팅 러그에 적합한 용접법, 패스수, 용접 절차 시방서 및 다층 용접 방안³⁾ 등을 검토하였으며, 용접 로봇 시스템을 개발하여 러그 돌림구간, 직선구간, 이음구간의 다층 용접을 구현하였고, 그로 인한 용접 로봇 시스템 적용 효과에 대해 다루고자 한다.

2. 현장 조사

2.1 러그 형상

Fig. 1은 리프팅 러그 형상을 보인 것으로 후판 양면 개선 필릿부를 가지는 러그에 지지부재인 브라켓이 붙어 1개의 리프팅 러그를 구성하는 것을 볼 수 있다.

2.2 러그 물량

Fig. 2는 조립 공장에서 용접된 리프팅 러그 물량을

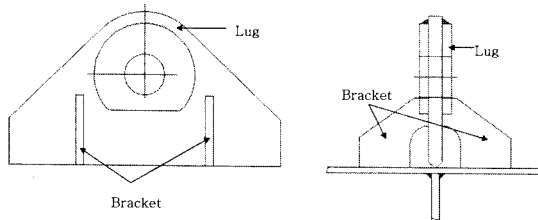


Fig. 1 Shape of Lifting lug

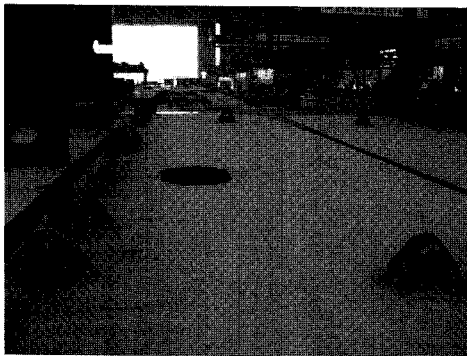


Fig. 2 Photograph of lifting lug

보인 것으로 블록 무게에 따라 리프팅 러그 종류 및 수량이 결정된다. 일반적으로 정반 1개당 12~30개의 리프팅 러그를 용접사가 수동 용접하고 있다.

2.3 수동 용접 및 개선 사항

러그 수동 용접 작업 시간을 분석한 결과, 2시간 주기로 최대 30개의 러그를 용접하기 위하여 7명의 용접사가 투입되고 있다. 대입열 용접에 의한 과도한 복사열로 인하여 연속용접이 어려우며, 또한 러그 1개당 약 40분 이상의 작업시간이 소요되어 2시간 이내에 용접작업이 완료되지 못하여 인근 작업장의 용접사가 긴급 투입되거나 다음 공정으로 미용접 러그가 흘러가게 되어 생산 흐름을 저하시키는 병목현상(bottleneck)을 유발하고 있었다. 그러므로 본 연구에서는 용접 작업에 소요되는 인원을 절감하고 생산 공정의 병목현상을 방지하며 고품질 러그용접을 구현하기 위하여 로봇을 사용한 리프팅 러그 용접법에 대한 연구를 수행하였다.

3. 로봇 용접법 개발

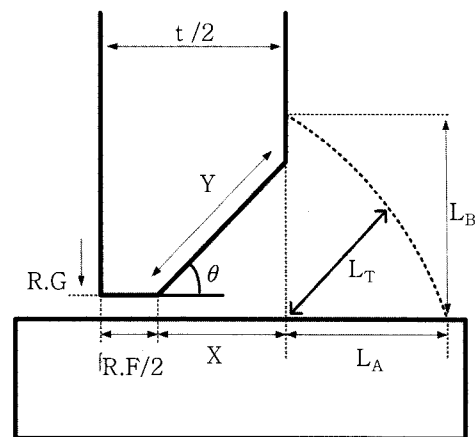
러그 용접에 적합한 로봇 용접법을 개발하기 위하여 우선 용접 자체의 기계적, 열적 특성 및 용접성과 같은 용접공정에 관한 것과 로봇을 사용한 용접 실험 및 용접실험 결과를 조건별 D/B로 구축하는 것이 필요하다. 본장에서는 리프팅 러그 자동 로봇 용접 시공을 위해 중점적으로 검토되었던 내용에 대해 다루고자 한다.

3.1 용접법 검토

초기 슬래그 제거에 소요되는 시간을 절감하기 위하여 솔리드 와이어를 쓰는 MAG 용접을 검토하였으나, MAG 용접 작업 시 과도한 복사열과 단락 이행으로 인한 스파터, 소음 발생 등의 문제가 있었고 부착된 스파터로 용접 품질 검사인 자분 탐상 검사가 어려웠다. 본 연구에서는 보호가스와 용접재의 확보가 용이한 CO₂ FCAW를 채택하여 용접 조건을 개발 하였다.

3.2 용접 Pass 수 결정

리프팅 러그 용접이음의 강성은 각장, 용접장, 잔류 응력, 이음형식 등의 영향을 받아 복잡하다. 일반적으로 용접이음의 강도계산은 루트부나 토우부의 응력 집중을 무시하고 응력이 용접 목단면적에 균등하게 걸린다고 가정하므로 용접이음 강도를 만족하기 위해 용접 전 요구 각장 및 각목에 대한 조사가 필요하다. Fig. 3은 리프팅 러그의 양면 개선 중 한면 개선부 모식도 및 러그 길이정보를 보인 것이며, Table 1은 리프팅 러그 종류 별 설계 치수, 요구 각장 및 각목을 보인 것이다. 설계 인자인 두께(t), 개선각(θ), 루트면(R.F)등의 정보를 이용하여 개선부 내부 깊이(X, Y)를 계산하여,



- *Design Factor: t, θ , R.F, R.G
- *Command Factor: L_A, L_B, L_T
- *X = (t - R.F) / 2, Y = X · COS θ

LUG TYPE	L1 (mm)	L2 (mm)
A40	90	440
A50	115	500
A60	145	590
A70	155	620
A85	115	560
A100	130	590

Fig. 3 Schematic of one-side cross section and length for lifting lug

Table 1 Design and command factors for lifting lug

Design Factor								Command Factor		
LUG TYPE	t (mm)	t/2 (mm)	θ (*)	R.F (mm)	R.G (mm)	X (mm)	Y (mm)	LA (mm)	L8 (mm)	LT (mm)
A40	30	15	45	6.0	0	12.0	17.0	14.0	14.0	9.9
A50	30	15	45	5.0	0	12.5	18.0	14.5	14.5	10.3
A60	30	15	45	6.0	0	12.0	17.0	14.0	14.0	9.9
A70	30	15	45	4.5	0	12.8	18.0	14.8	14.8	10.4
A85	40	20	45	10.0	0	15.0	21.0	17.0	17.0	12.0
A100	40	20	45	8.0	0	16.0	23.0	18.0	18.0	12.7

부분 용입(Partially Penetration) 이음부인 리프팅 러그 개선부의 용입량 및 용착량⁴⁾을 결정해야하고, 요구 각장(LA, LB) 및 각목(LT)을 만족시키기 위한 다층 용접 패스수를 결정하여야 한다. 작은 개선인 러그 A40~A70은 다층 4패스 용접을 적용하였고, 큰 개선인 A85~A100은 다층 5패스 용접을 적용하였다.

3.3 로봇 용접용 절차 시방서 검토

Table 2는 러그 수동 용접 절차 시방서 내의 용접 조건과 로봇 용접에 사용된 용접 조건을 비교한 것이다. 로봇 용접에 부여되는 입열량은 수동 용접 절차 시방서(Welding Procedure Specification, WPS)의 입열량 범위 내에 있으므로 추가적인 용접 절차 시험(Procedure Qualification Test, PQT) 없이 로봇 용접 적용이 가능하다고 판단된다. 로봇 용접 시 실물 러그 용접부에서의 용접금속은 수동 용접과 같은 기계적 성질 및 용접 경화성 등을 가질 것으로 판단 된다.

3.4 다층 용접 구현

3.4.1 적층 형상 정의

일반적으로 용접부 형상은 용융풀 내의 열이동 및 유체 유동(표면장력, 전자기력, 부력 등), 표면 활성 원소 첨가 유, 무 등에 따라 결정된다. 다층 용접에서는 이전 패스 적층 형상에 따라 후행 패스의 적층 형상이 결정되므로 각 패스별 적층 형상이 다층 용접 시 용접부

형상에 영향을 미치는 중요한 인자이다. Fig. 4는 두께 30mm 양면 필릿 개선부를 직선/위빙이 조합된 4패스로 용접하기 위해 정의된 패스 별 적층 형상 모식도를 보인 것으로 적층 형상을 고려하여 전, 후 패스 용접이 이루어져야 원하는 직선/위빙 조합의 고품질 다층 용접

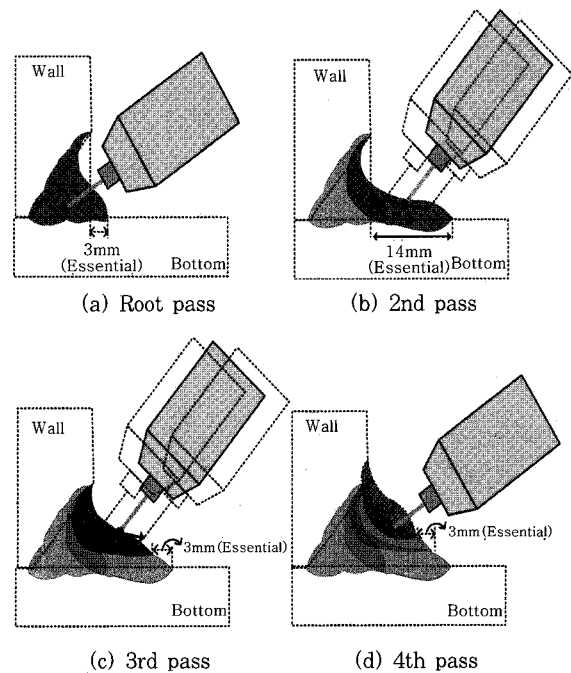


Fig. 4 Schematic of multi-pass method for robot welding by combination of straight and weaving motion

Table 2 Comparison of welding condition between manual welding and robotic welding

	Layer	Amperage current(A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Heat input(kJ/cm)	
					min	max
Manual welding (W.P.S)	Root pass	170-240	22-28	10-25	9.0	40.3
	Fill & Cap	220~420	23~40	25~70	4.3	40.3
Robotic welding	Root pass	340	35	30	23.8	
	Fill & Cap	320	31~34	30~40.2	14.8	20.9

부를 얻을 수 있다.

3.4.2 예상 용접 결함

Fig. 5는 직선/위빙 조합 다층 용접 시 예상되는 용접결함 등을 보인 것으로 직선/위빙 조합에 의한 4pass 다층 용접에서 용융 쇄물이 중력에 의해 쉽게 흘러내리므로 용접 비드의 형상 불량(오버랩, 언더컷, 언더필, 용입부족 등) 및 내부 결함(슬래그 혼입, 융합 불량 등)을 유발할 수 있다. 각 패스 별 적층 시 예상되는 다층 용접 결함이 없도록 적정 용접 조건 및 위빙 조건을 선정하여야 한다.

3.4.3 로봇 용접점 및 토치 이동 경로

Fig. 6은 터치 센서를 사용하여 제어기에 로봇 용접점을 저장하는 과정을 보인 것이다. 임의 지점에서 터치 동작을 하여 기준점(X:20, Y:0, Z:20)으로 와이어 끝단을 이동 시킨 후, GetP 명령어를 사용하여 임의의

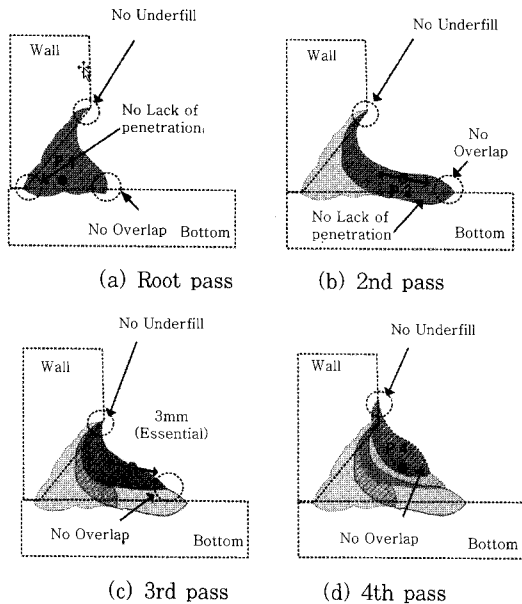


Fig. 5 Schematic of expected weld defects for combination of straight and weaving welding

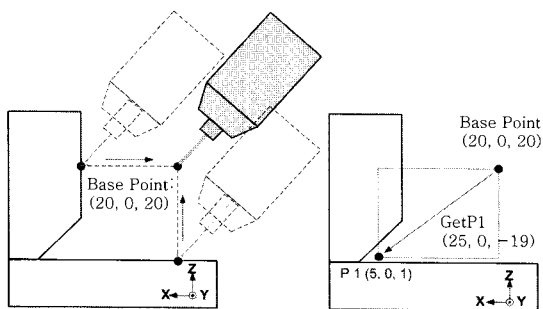


Fig. 6 Recognition of welding point by robot touch sensing

중분(dX:25, dY:0, dZ:-19)만큼 옮겨간 위치인 P1 포인트를 초층 용접 점으로 로봇 제어기에 저장한다. GetP 명령어를 사용하여 별도의 터치 동작 없이 1~4 패스까지 용접점 P1~P4를 로봇 제어기에 저장하게 된다. Fig. 7은 리프팅 리그 용접을 위한 로봇 토치 이동 경로를 보인 것이다. 용접 시 각 패스별 로봇 용접점 P1~P4 위치에서 정의된 토치 이동 경로(P#1~P#20)를 따라 토치가 이동하게 된다. 매 작업 때마다 터치 동작을 통해 용접점 및 이동경로를 찾는데 시간이 소요되므로 작업시간을 단축하기 위해 터치 5번으로 용접점 및 이동경로를 찾는 Search Shift 기능에 대한 알고리즘을 구현하였다.

4. 용접 로봇 시스템 개발/적용

4.1 대차부 개발

Fig. 8은 당사에서는 개발한 로봇 용접용 대차의 실

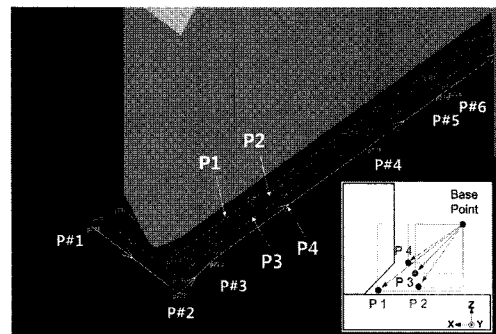
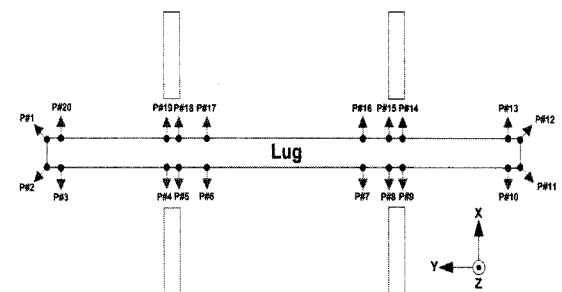


Fig. 7 Schematic of multi-pass for robot

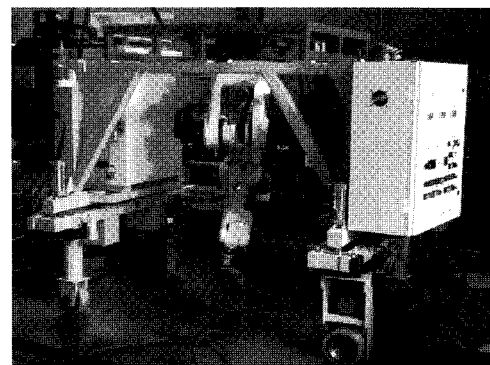


Fig. 8 Photograph of robot cart

Table 3 Description of robot cart

Size	1885(L)×1000(W)×1816(H)
Weight	845kg
Travel speed	Max 4~5 km/h
Direction of traveling	Front and rear, Right and left, Diagonal movement, Spin turn

물 사진을 보인 것이다. Table 3은 로봇 용접용 대차 사양을 보인 것으로 본 로봇 대차는 전동식으로 리모컨을 사용하여 주판위에 러그를 통과하며, 전후/좌우 및 사선/선회가 가능하다. 또한 작동 편의성을 위한 UP 기능과 안전을 고려한 추락방지 기능 등이 추가되었다.

4.2 6축 로봇, 표준제어기 개발

Fig. 9는 당사에서 개발한 6kg 급 6축 수직다관절 로봇의 작업 영역을 표시한 것이다. Table 4는 6축 로봇 사양을 보인 것이다.

당사에서는 용접 자동화 장비에 적용할 로봇의 작업 영역 분석과 Simulation을 통한 작업 모션의 검증 및 문제 발생 가능성을 검토하여 대차 이동 없이 거꾸로 매달린 로봇이 제자리에서 러그의 모든 부위를 100% 용접 가능하도록 구현하였다. Table 5는 당사에서 개발한 표준제어기의 사양을 나타낸다.

4.3 용접 결과

4.3.1 돌림 용접 구간

Fig. 10은 돌림 용접을 수행하기 위한 로봇 모션을 보인 것으로 토치 방위가 바뀌게 될 때 모식도에 표현된 적절한 다축 토치 각도 및 로봇 자세 동작 속도를 사용하는 것이 필요하다. Table 6은 돌림 다축 용접

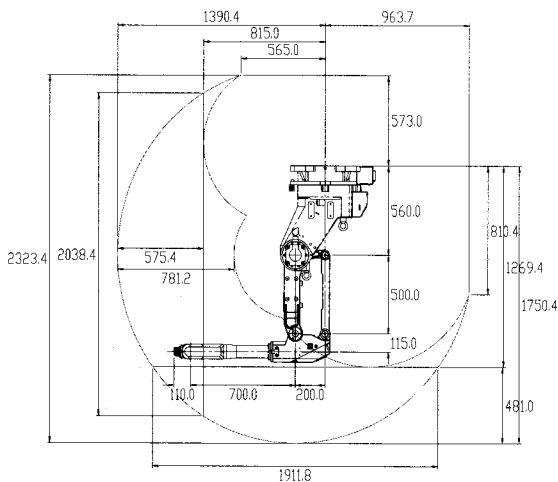


Fig. 9 Working volume of 6-axis robot

Table 4 Description of 6-axis robot

D. O. F	6
Weight	160 Kg
Payload	6 Kg
Mechanism Type	Parallel
Horizontal Reach	1,485mm
Controller	DSRC

Table 5 Description of 6-axis robot controller

CPU Board	Kontron CP605
Motion Board	MEIXMP-SynqNet-CPCI-uD
Serial Board	Advantech MIC-3612
DIO Board	NI PXI-6515
AIO Board	NI PXI-6229

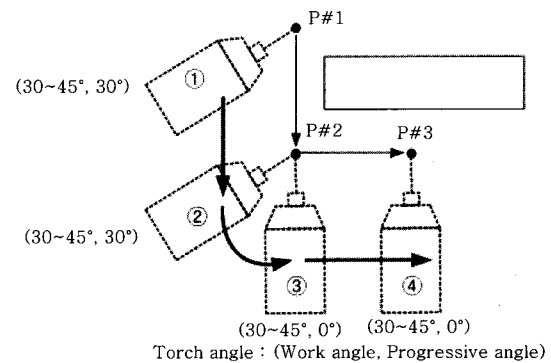
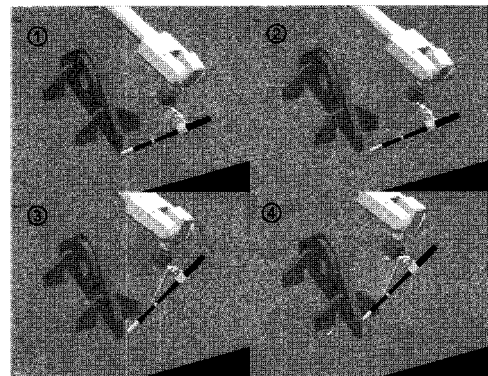


Fig. 10 Robot motion at corner section

Table 6 Welding condition of corner welding

Pass No.	Straight/Weaving	Robot motion	Work Angle(°)	Current (A)	Voltage (V)	Speed (mm/sec)
1	S	①	45	280	30	5.0
		②,③	45	280	29	5.0
2	S	①	45	280	29	5.0
		②,③	45	280	29	5.0
3	S	①	30	280	26	6.7
		②,③	30	280	24	10.0

Table 7 Welding conditions of straight welding

Pass No.	Straight/Waving	P-POINT(mm)			Work angle(°)	Current (A)	Voltage (V)	Speed (mm/sec)
		X	Y	Z				
1	S	5	0	1	30	340	35	5.0
2	W	13	0	2	45	320	34	5.2
3	W	14	0	6	45	320	32	6.0
4	S	16	0	7	30	320	31	6.7

Table 8 Welding conditions of weaving welding

Pass No.	Straight/Weaving	Width(mm)	Pitch(mm)	Angle(°)	Speed (mm/sec)	Walld well time(sec)	Bottomdwell time(sec)
2	W	10	3	10	90	0.1	0.1
3	W	6	3	10	50	0.1	0

조건을 보인 것으로 마지막 패스에서 모서리부 언더컷을 방지하기 위해 용접 속도를 올리고 토치 각도 및 전압을 낮추어야 한다.

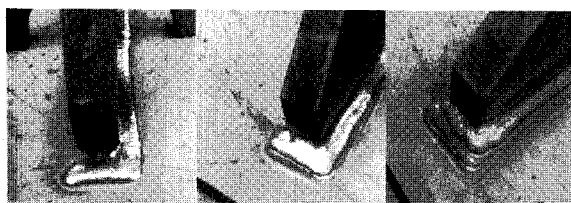
Fig. 11은 3Pass 다층 돌림 용접 비드 사진을 보인 것으로 모서리부에 언더컷이 없으며 적층 품질이 우수한 다층 돌림 용접 비드가 형성된 것을 볼 수 있다.

4.3.2 직선 용접 구간

Fig. 12는 직선 용접을 수행하기 위한 로봇 모션을 보인 것으로 로봇이 교시한 용접점을 따라 정확한 궤적으로 직선 이동하기 위하여 로봇과 용접토치에 대한 정밀한 캘리브레이션이 필요하며 적절한 적층 형상이 나오도록 다층 용접 및 위빙 조건을 사용하는 것이 필요하다. Table 7은 리그 직선 구간의 직선/위빙 조합 용접 조건을 보인 것으로 패스별 용접점 및 토치 각도는 적층 형상을 고려하여 결정하여야 하며, 전류 및 용접 속도는 용착량 및 용접 결함 발생 등을 고려하여 결정하여야 한다. Table 8은 위빙 용접 조건을 보인 것으로 위빙 폭(Width) 및 피치(Pitch)는 적층 형상을 고려하여 결정하고, 위빙 속도(Speed) 및 멈춤 시간(Dwell time)은 용입 및 용착량을 고려하여 결정해야 한다. 바닥면과 위빙 패턴 사이의 각도인 위빙 각도는

용접 중 와이어 돌출길이의 변화가 심하지 않도록 10도로 하였다.

Fig. 13은 4Pass 직선/위빙 조합 다층 용접 비드 단면을 보인 것으로 내부 용접 결함이 없이 용입이 적



(a) 1st pass (b) 2nd pass (c) 3rd pass

Fig. 11 Bead appearance of corner welding by multi-pass robot welding

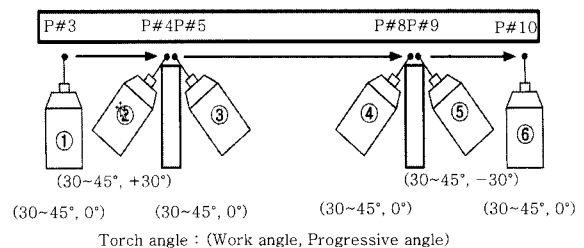
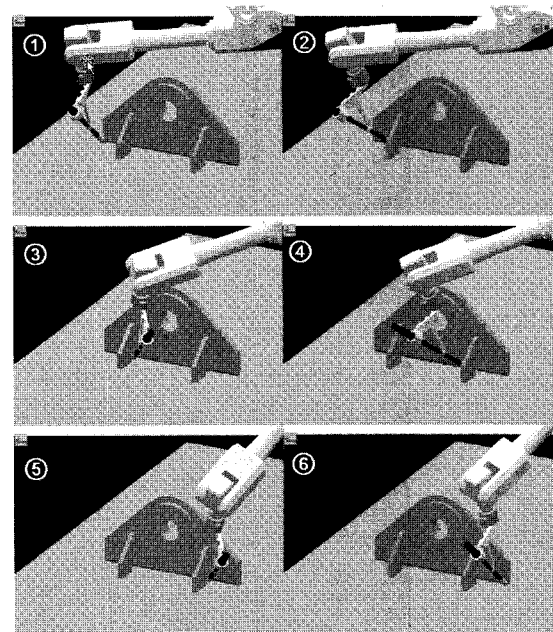


Fig. 12 Schematic of robot motion at straight section

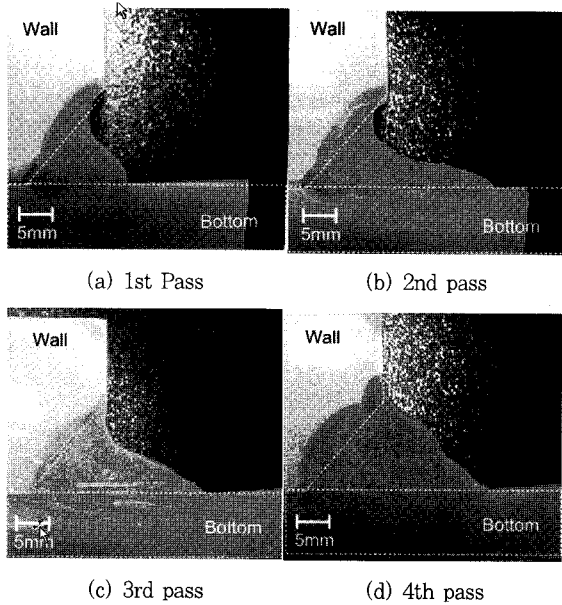


Fig. 13 Macro cross section of straight 4pass welding by combination of straight and weaving

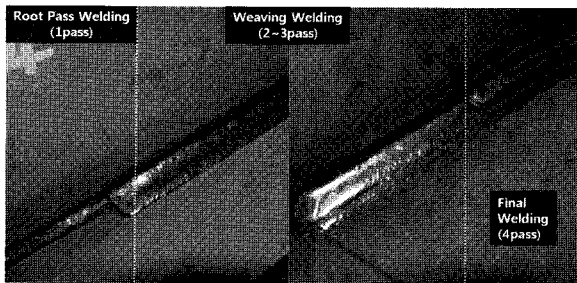


Fig. 14 Bead appearances of straight 4pass welding by combination of straight and weaving

절히 된 것을 볼 수 있다. Fig. 14는 4Pass 직선/위빙 조합 다층 용접 비드 사진을 보인 것으로 각 패스별 비드 외관이 미려하며 표면 결함이 없는 것을 볼 수 있다.

4.3.3 이음 구간

러그 용접에서 러그의 지지부재인 브라켓을 피하면서 로봇 용접을 하여야 하므로 아크 종료 및 아크 재시작이 발생하는 이음 구간이 존재하게 된다. Fig. 15는 이음 구간 용접을 수행하기 위한 로봇 모션을 보인 것으로 오버랩 없이 비드 이음을 연결하기 위해서 아크 종료 후 용접 재시작 위치는 종료부에서 5mm 떨어진 모재위에서 시작하여야 한다. 용접 재시작 후 20mm는 직선 이음 용접 조건이 반영되어 용접을 수행하고 20mm 이후는 직선 구간 용접 조건이 반영되어야 한다. 직선 이음 용접 조건을 보면 전류는 280A이고, 전

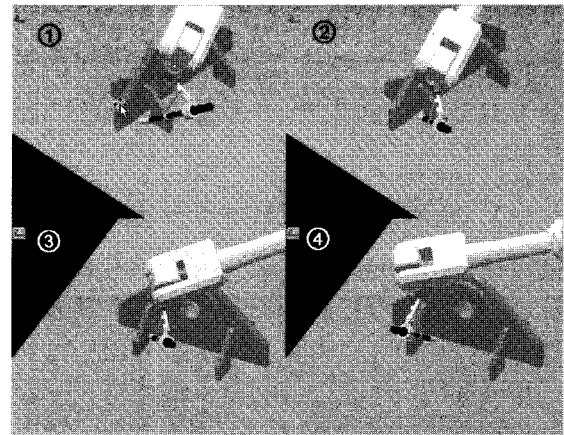


Fig. 15 Schematic of robot motion at connection section

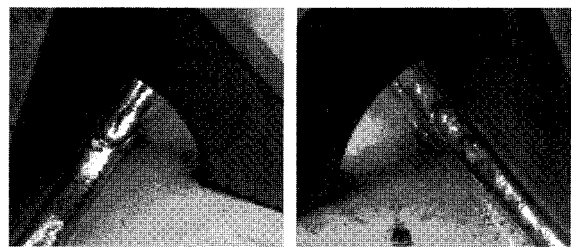


Fig. 16 Bead appearances of connection welding by multi-pass robot welding

압은 29V이며 용접속도는 60mm/sec이다.

Fig. 16은 4Pass 다층 비드 이음 용접 비드 사진을 보인 것으로 비드간 오버랩 없이 적층 품질이 우수한 다층 이음 용접 비드가 형성된 것을 볼 수 있다.

4.4 적용 결과

4.4.1 용접 품질 향상

Fig. 17은 러그 자동 용접로봇 시스템을 적용하여 실물 러그를 용접한 후의 비드 외관 사진을 보인 것이며 Fig. 18은 마크로 용접 단면에 대한 사진을 보인 것이다. 러그 용접 구간인 돌림구간, 직선구간 및 이음구간의 용접 비드를 보면 형상불량(오버랩, 언더컷, 언더필, 용입부족 등) 및 내부 결함(슬래그 혼입, 융합불량 등)이 없고 표면 비드가 미려한 고품질, 고신뢰성의 용접부를 얻을 수 있었다. 또한 표면 미세 균열 및 크랙 검사인 자분탐상 검사를 수행한 결과를 보면 로봇 용접부의 표면 결함은 발견되지 않았다.

4.4.2 생산성 향상

Table 9는 수동 용접 대비 로봇 용접 작업을 통한 생산성 향상에 관한 항목을 보인 것이다. 직선/위빙 조

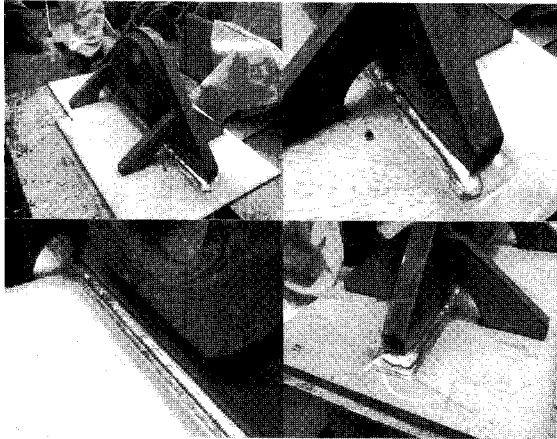


Fig. 17 Improvement of welds quality by lug welding robot system

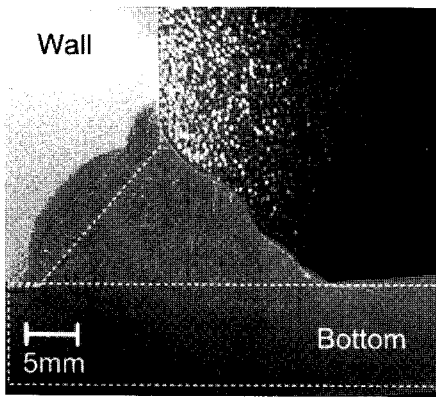


Fig. 18 Photograph of macro cross section of bead welded by lug welding robot system

합에 의한 다층 용접법을 적용하여 수동 용접 대비 러그 1개 당 용접 패스수가 3pass 절감, 아크 타임 및 토치 이동 시간은 7.0분 절감, 총 작업시간은 12.6분이 절감되어 생산성 향상이 기대된다.

4.4.3 작업 환경 개선

Table 10은 수동 용접 대비 로봇 용접 작업을 통한 작업 환경 개선에 관한 항목을 보인 것이다. 로봇 용접 작업으로 인해 작업자 수가 수동 작업에 비하여 약 50% 절감효과가 기대되며, 자동 흡 석선 장치 도입 및 로봇 대차부 차광막 설치 등의 효과로 작업환경 개선이 가능하며 근골격계 질환의 방지가 기대된다.

5. 결 론

로봇 위빙에 의한 리프팅 러그 다층 용접법 개발 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) MAG 용접에 비해 복사열, 소음 및 스파터 발생이 작고 보호가스와 용접재 확보가 용이한 CO2 FCA

Table 9 Improvement of productivity by lug welding robot system

	Manual welding	Robot welding
Production of Lug	1	1
Setting time (min)	2.0	1.0
The number of total welding pass	7	4
Arc time (min)	33.0	23.1
Motion time (min)		2.9
Slag removal time (min)	5.0	0.4
Labor time (min)	40.0	27.4
Productivity	100%	132% (32%↑)

Table 10 Improvement of working environment by lug welding robot system

	Manual welding	Robot welding
Man / Robot	Man	Robot
The number of worker	4~7	2
Fume suction	No	Auto suction
Arc light	No shield	Shield (use blackout curtain)
Musculoskeletal disorders	Happening	Prevention

용접법이 적용되었으며, 개선부 용입량 및 용착량을 고려하여 용접 패스수를 결정하였고 로봇 용접을 위한 수동 용접절차 시방서, 다층 용접 구현을 위한 패스별 용접부 형상과 결함 등을 검토하였다.

2) 후판 양면 개선부 용접 시 직선과 위빙 용접 조합을 통한 로봇 다층 용접 방법을 구현하여 수동 용접 대비 러그 1개당 작업시간을 12.6분 절감되어 생산성 향상이 기대된다.

3) 용접 자동화 장비에 적용할 로봇의 작업 영역 분석과 Simulation을 통한 작업 모션의 검증 및 문제 발생 가능성을 검토하여 대차 이동 없이 로봇이 제자리에서 러그의 모든 부위를 100% 용접 가능하도록 구현하였다.

4) 러그 용접 로봇 시스템 도입을 통해 고품질, 고신뢰도의 러그 용접품질을 얻음과 동시에 생산성 향상 및 작업환경 개선의 효과가 기대된다.

5) 향후 본 공정과 유사한 선체 블록의 오버헤드 러그 부착 장비와 함께 해양 블록의 러그 용접에도 활용이 기대된다. 또한 슬래그 자동 제거 장비와 자동 틀 교체 장비를 도입하여 보다 완성도 높은 고효율의 러그 용접 자동화 장비를 구축할 계획이다.

참 고 문 헌

1. S.W Kang, et al : A study on seam tracking algorithm for welding robot using rotating torch, Proceedings of the 2002 Spring Annual Meeting of Korean Welding Society, **Vol 38**, (2002), 46~48
2. S.W Kang, et al : Development of sub-assembly welding robot system in shipbuilding, Proceedings of the 2006 Autumn Annual Meeting of Korean Welding Society, **Vol 47**, 101~1003
3. Y.Z Kim, et al : Development of the Pulse MIG Semi-Narrow Gap Welding Process for Al6061 Thick Plate, Proceedings of the 2005 Spring Annual Meeting of Korean Welding Society, **Vol 44**, (2005), 337~339
4. M. Suban, J. Tusek : Dependence of melting rate in MIG/MAG welding on the type of shielding gas used, Journal of Materials Processing Technology **119**, (2001), 185~192