

고강도 알루미늄 합금의 용접특성에 관한 기초연구 A Study on the Welding Characteristics of High Strength Aluminum Alloy

김 남인*, 이 정수*, 최 우현*

* ㈜한진중공업 기술연구소

1. 서 론

알루미늄 합금은 높은 강도/밀도비, 내식성, 인성/저온 특성을 보유하고 있어 자동차, 항공 뿐만 아니라 경량구조를 요구하는 선박에도 많이 사용되고 있다.

알루미늄 합금은 FRP(Fiberglass Reinforced Plastics) 재질이나 Steel 재질과 비교했을 때 밀도에 비해서 강도가 높은 재질임을 알 수 있다. 즉, 구조적 효율(Structural Efficiency = Ultimate Tensile Strength/Density)이 매우 우수하다. 그리고 함정 건조용으로 많이 사용하고 있는 5000계열/6000계열 알루미늄은 해수환경에 대한 내식성이 크며, 염도의 변화나 수온의 차이에도 크게 영향을 받지 않는다.

당사에서 건조 예정인 공기부양식 고속정의 적절한 강도와 가벼운 중량의 재질이 우선적으로 요구된다. 이와 같은 이유로 공기부양상륙정의 선체 재질을 알루미늄 합금으로 선정하였다.

따라서, 본 연구에서는 5000계열 알루미늄 합금 중 대표적인 구조재질인 AL 5083와 AL 5456을

사용하여 여러 가지 소재의 두께, 그루브 형상 등에 따른 용접특성을 알아보고 최적의 용접조건 데이터를 구축하는 것을 목적으로 하였으며 그 중 일부 결과에 대해 고찰하였다.

2. 실험 방법

2.1 용접부재 및 재료

본 실험에서 사용된 재료는 알루미늄 합금 AL 5083-O이며 용접재료는 AL5183-WY(1.2 ϕ)이다. 용접모재와 재료의 화학적 성분 및 기계적 성질은 Table 1와 Table 2에 나타내었다. 용접 시험편은 두께가 동일한 두 판넬과 두께가 서로 다른 두 판넬의 맞대기 용접과 필렛 용접으로 구분할 수 있으며 8mm이상의 맞대기 용접에서는 개선각을 40°, 60°로 설정하고 백킹재(Temporary Backing Strip)를 사용하였다. Table 3에 용접부재의 치수를 나타내었다.

Table 1 Chemical Compositions of Materials (wt. %)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
AL 5083-O (base metal)	0.40	0.40	0.10	0.70	4.45	0.15	0.25	0.14
AL 5183 (wire)	0.10	0.27	0.01	0.58	4.55	0.11	0.06	0.11

Table 2 Mechanical Properties of Materials

	Yield Strength (kg/mm ²)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	E (kg/mm ²)
AL 5083-O (base metal)	19.0	34.2	14	7.0x10 ³
AL 5183 (wire)	18.6	32.7	14	7.0x10 ³

Table 3 Dimension of Work-piece

Butt			Fillet
Dimension: 400x100xThickness (mm)			
Thickness	Root Gap	Bevel Angle	Thickness
2.5x2.5	0, 1	-	2.5x2.5
3.0x3.0	0, 1	-	3.0x3.0
4.0x4.0	0, 1	-	4.0x4.0
5.0x5.0	0, 1	-	5.0x5.0
6.0x6.0	0, 1	-	6.0x6.0
8.0x8.0	0, 2	40°, 60°	8.0x8.0
10x10	0, 2	40°, 60°	2.5x8.0
2.5x4.0	-	-	3.0x8.0
3.0x4.0	-	-	4.0x8.0
4.0x8.0	-	-	6.0x8.0
3.0x5.0	-	-	8.0x3.0
5.0x4.0	-	-	4.0x3.0
5.0x6.0	-	-	5.0x3.0
5.0x8.0	-	-	6.0x3.0
10x4.0	-	-	5.0x6.0

2.2 용접장비 및 용접방법

본 연구에서 사용된 용접장비는 수동 용접용 Power Source와 자동 용접용 로봇시스템으로 크게 나눌 수 있다. 수동용접 및 용접로봇 시스템의 용접 Power Source는 모두 500A급 MIG P/S를 사용하였으며 용접로봇은 6축 다관절 로봇을 사용하였다.

그리고 로봇과 연동할 수 있는 레이저비전센서를 적용하였다. Fig. 1은 용접 P/S 및 로봇시스템을 나타낸다. 시험에 적용된 용접기는 용접초기 전류를 조절하여 예열효과를 얻음으로써 결함을 최소화하였다.

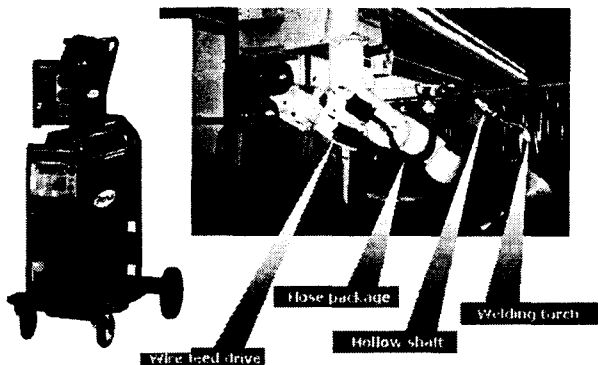


Fig. 1 Welding P/S & Robot Welding System

수동용접을 통해 Table 3의 각 용접부재에 대한 대략적인 용접조건을 도출하여 로봇용접에 적용하였다.

3. 실험 결과

매크로 단면을 관찰하여 용입깊이, 비드형상, 비드 높이 등에 대해 고찰하였고 로봇용접 현상에 대해 설명하였다. 그리고 주요 구조부재로 사용되는 몇몇 부재의 용접에 대해서는 인장시험 및 굽힘시험을 통하여 용접부의 건전성을 검토하였다.

3.1 매크로 단면과 용접조건


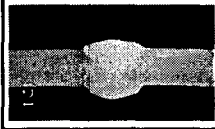
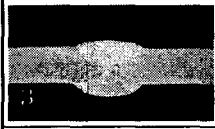
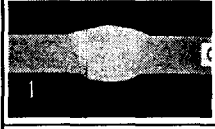
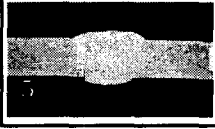
Table 4는 2.5tx2.5t 맞대기 용접 test에서의 매크로 단면 및 용접조건을 나타낸다. 전류/전압이 너무 높고 낮음에 따라 용입 깊이가 너무 깊거나 용입이 제대로 이루어지지 않는 현상을 볼 수 있다. 또한 수동용접이나 캐리지를 이용한 용접에서는 여러 가지 용접조건에 대한 용접품질이 굉장히 민감하게 반응한다. 그러나 레이저 비전센서를 사용한 용접에서는 더욱 정확하고 동일한 용접조건 및 환경을 제공하기 때문에 일정한 용접현상을 나타내는 것을 알 수 있다. Table 5는 8.0tx8.0t 맞대기 용접 시험에서의 매크로 단면 및 용접조건을 나타낸다. ①은 개선각 40°인 경우 백킹재를 이면에 부착하고 1패스에 용접을 하였으며 ⑤는 2패스에 용접하였다. ④와 같이 개선각이 60°인 경우 2패스에 용접하

Table 4 Bead Shapes of Weld Joints

Macro Section	Parameters
	79A, 17.5V, 55cpm
	79A, 17.5V, 57cpm
	67A, 17.4V, 57cpm
	ROBOT 72A, 17.4V, 57cpm

(2.5tx2.5t, Ar 100% 25 (ℓ/min), 0mm Gap)

Table 5 Bead Shapes of Butt Weld Joints

Macro Section	Parameters
	ROBOT, CBM 40°, 1.5mm Gap 179A, 23.2V, 65cpm
	40°, 0mm Gap 159A, 22V, 60cpm
	60°, 0mm Gap 137A, 19.5V, 60cpm 159A, 22V, 60cpm
	CBM 60°, 2mm Gap 159A, 22V, 59cpm
	CBM 40°, 2mm Gap 159A, 22V, 67cpm

(8.0tx8.0t Ar 100% 25 (ℓ/min))
(CBM: Ceramic Backing Material)

였으며 ②, ③은 백킹재를 사용하지 않고 각각의 개선각에 대해 2패스 용접하였다. 일반적으로 일정한 갭을 갖는 경우 이면용접 시 표면조건 보다 약간 더 높은 전류/전압값을 설정하는 것이 원하는 용입을 얻는데 유리함을 알 수 있다.

3.2 인장시험 및 굽힘시험

Table 6은 용접부의 인장시험 결과를 나타낸다. 용접부의 형상, 열영향부의 크기, 모재의 화학성분 등에 따라 강도가 다르게 나타나며 용접부의 가장 취약한 부분에서 파단이 발생하게 된다. 파단 발생시 강도는 29.8kg/mm² (요구치: 28.1kg/mm²)이며 파단은 모재에서 발생하였다. 2.5t 맞대기 용접부재의 인장강도는 규격에서 제시된 요구치를 만족하는 것을 알 수 있다.

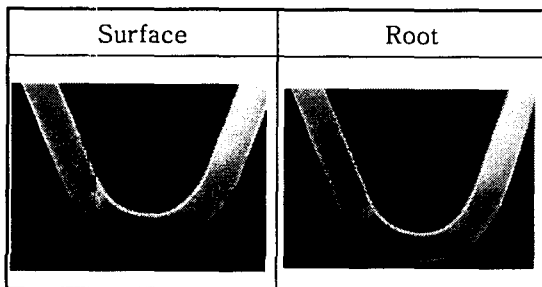


Fig. 2 Bending Test Result (Surface/Root)

Fig. 2는 용접부의 형상을 나타내며 표면 및 이면 모두 용접부에 균열이 발생하지 않았음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 알루미늄 5456을 선체 재질로 갖는 고속정의 각종 용접부재의 최적용접조건 도출을 위한 기초연구로서 알루미늄 5083을 이용하여 용접조건 시험을 실시하였다.

1) 3mm 이하 박판용접에 대한 기본적인 용접조건을 알 수 있었고 로봇용접의 적용성을 검토하였다. 단, 심각한 용접변형 문제는 향후 Suction Jig와 Robot을 이용한 연구에서 다룰 것이다.

2) 8mm 맞대기 용접에 백킹재의 활용으로 표면 1패스 또는 2패스 용접을 실시하여 그 타당성을 고찰하였다.

3) 그 외 2.5t~10t의 다양한 두께의 조합에서도 출될 수 있는 맞대기/필렛용접을 실시하여 향후 알루미늄 5456 용접적용 시 중요한 데이터로 사용될 것이다.

고강도 경량구조를 갖는 선체의 박판용접 적용을 위한 기초자료를 확보함으로써 실선 건조시 유용하게 활용될 것이다.

참고문헌

1. 김원태, 김명한, 이보영: 가열주형 수평식연속주조법에 의한 Al-Si합금 용접봉 제조, journal of KWS, Vol.12, No.3, Sep., 1994
2. 윤광희, 한용섭: 알루미늄 GMAW 용접, journal of KWS, Vol.12, No.1, Mar., 1994
3. 정재강, 양훈승, 이동길: Al5083-O 알루미늄합금의 보호가스 혼합비율 및 입열량에 따른 GMA용접 특성에 관한 연구, journal of KWS, Vol.20, No.2, April, 2002, 65-70
4. AWS: Guide for Aluminum Hull Welding, ANSI/AWS D3.7-90
5. ISO: Arc-welded joints in aluminum and its weldable alloys - Guidance on quality levels for imperfections (ISO10042), First edition, 1992
6. ISO: Welding - Recommendations for welding of metallic materials - Part4: Arc welding of aluminum and aluminum alloys (ISO TC 44/SC 10 N 456), 2001
7. ISO, Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part2: Arc welding of aluminum and its alloys (ISO/FDIS15614-2), Final draft, 2004
8. ABS: Rules for Building and Classing Aluminum Vessels 1975. Notice No.1
9. JIS: 비철, 일본규격협회, 2004
10. Servo Robot: Laser Vision Sensor User's Manuals