

알루미늄합금 선체 구조의 용접기술

A Study on the Welding technology of Aluminum-alloy for Hull Structure

임동용, 김남인, 이정수, 최우현
한진중공업 기술연구소

1. 서 론

높은 강도와 밀도비, 내식성, 인성, 저온 특성을 보유한 알루미늄 합금은 자동차, 항공뿐만 아니라 경량구조를 요구하는 선박에도 많이 적용되고 있다. 그러나 알루미늄 합금은 높은 열전도도와 열팽창계수에 의해 용접시 집중적인 입열특성을 요구하며, 용접부재의 치수변화나 뒤틀림 변형, 균열발생이 용이하다. 본 연구에서는 당사에서 건조중인 알루미늄 선체구조의 용접공정 기술에 대해 고찰하였다. 알루미늄 합금의 재질과 용접재료의 특성에 맞는 용접법과 용접 변형을 최소화할 수 있는 용접공정 기술을 검토하였다. 부재의 두께, 재질, 용접재료별 데이터베이스를 구축하여 실선 제작에 적용함을 목적으로 하였다.

2. 보강판 구조물 용접기술

형상과 치수가 다른 보강재를 갖는 알루미늄 합금 용접 구조물을 제작하여 초기 변형, 잔류응력, 좌굴 강도, 비선형 해석을 수행하였다. 그리고, 알루미늄 선체 용접 구조물의 최적의 용접 조건 및 구조물의 건전성을 검토하였다. Fig. 1은 보강재 형상, 보강재가 용접된 구조물, 유한요소 모델을 나타낸다.

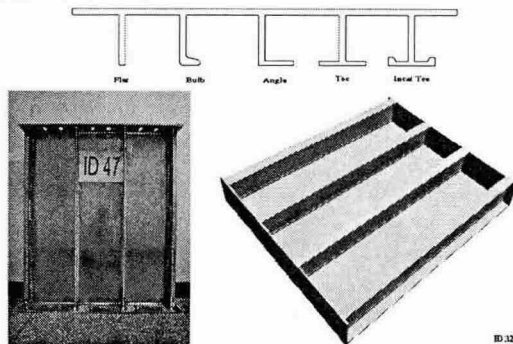


Fig. 1 Manufacture of Stiffened panels

2.1 용접방법

알루미늄합금 용접 구조물(Al 5083, Al 5383)의 최적의 제작 공정을 검토하기 위해 용접재료 ER 5183과 ER 5556을 사용하였다. Table 1은 모재와 용접재료의 화학성분을 나타낸다. 일반적으로 Mg과 Mn의 함유량이 많을수록 인장강도는 증가하고 연신율은 저하한다. 화학성분 분석 및 인장강도 시험을 통해 모재 Al 5383, 용접재료 ER 5556이 강도면에서 유리함을 알 수 있었다.

Table 1 Chemical compositions of materials

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Al 5083	0.40	0.40	0.10	0.70	4.45	0.15	0.25	0.14
Al 5383	0.08	0.20	0.07	0.82	4.72	0.09	0.12	0.01
ER 5183	0.1	0.27	0.01	0.58	4.55	0.11	0.06	0.11
ER 5556	0.25	0.40	0.10	0.75	5.10	0.13	0.25	0.13

용접중 발생하는 용접구조물의 변형 방지를 위해 종방향 보강재와 횡방향 프레임의 전용 고정 지그를 제작하여 사용하였으며, Fig. 2는 변형 방지를 위한 전용지그를 나타낸다.

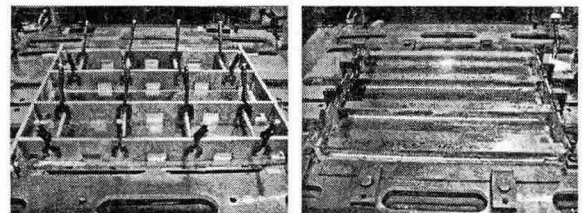


Fig. 2 Constraint & Suction jig

2.2 용접 조건

최적의 보강판 구조물을 제작하기 위해 용접성 시험 및 용접재료에 대한 미세조직을 분석하였다. Table 2에서는 모재 Al 5383 5t, 6t, 8t에 용접재료 ER 5183을 사용하여 최적의 용접성과 각장을 유지하면서 변형을 최소화할 수 있는 조건을 정리하였다.

Table 2 Macro section of fillet weld joint






Macro	A	V	f	Speed
	159	22	3.5	58 cpm
	166	22.4		
	174	23	2.5	58 cpm
	202	21.4		
	179	23.2	2.5	58 cpm
	185	23.3		
	204	23.6	2.5	58 cpm
	213	23.7		
	213	23.7	2.5	58 cpm
	227	23.9		

Fig. 3은 용접재료별 미세조직을 나타낸다. 5000배열의 알루미늄 합금은 시효경화를 하지 않는 특징이 있으며, 모재의 미세조직에서 알 수 있듯이 압연방향으로 결정립이 연신되어 있다. 용착 금속의 경우 Mg 함량이 많은 ER 5556 용접재료를 사용한 시편에서 상대적으로 더 많은 석출물(Mg₂Al₃)이 형성되어 있음을 알 수 있다.

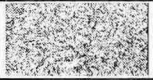


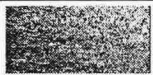
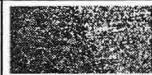
Base Metal	Weld Metal	
	ER 5183	ER 5556
Al 5383		
	Fusion Line	
	ER 5183	ER 5556
		

Fig. 3 Microstructure of welding materials

이상과 같이 최적의 용접조건을 검토하여 치수 및 형상이 다른 flat bar, T-bar, incat T-bar 로 구성된 보강판 구조물을 제작하였으며 현재 알루미늄 보강판 구조물의 전체 변형 양상, 잔류응력, 좌굴강도, 유한요소해석 등을 통해 알루미늄 보강판 선체 구조의 건전성을 검토중이다.

3. 공기부양정 선체의 용접 특성

당사에서 건조중인 공기부양정의 알루미늄 선체의 용접을 위한 Al 5456 / ER 5556의 용접 특성에 대해 고찰하였다.

3.1 용접성 시험

공기부양정 선체외판의 맞대기용접에서 최적의 용접 조건을 고찰하기 위해 모재 두께별 시편 단

위의 용접성 시험을 실시하였다. 500A급 MIG P/S, 6축 다관절 용접 전용 로봇, 자동 용접선 추적을 위한 레이저비전센서, 용접변형 제어를 위한 진공 방식의 suction jig 및 각종 구속치구들을 사용하였다. 용접중 발생하는 회전변형을 최소화하기 위해 중앙부 가접 부위에 같은 재질의 back strip을 적용하였으며 나머지 부분은 CBM(Ceramic Backing Material)을 적용하였다. Fig. 4는 6mm 이상의 모재의 일면 2패스 용접을 위한 back strip을 사용한 경우를 나타낸다. 알루미늄합금의 용접시 같은 재질의 back strip을 사용하여 용접 후 제거하고 사상작업을 하기 때문에 많은 시수가 소요된다. CBM을 사용하여 용접한 결과, 비드 형상이나 용입상태 및 인장강도 측면에서 큰 차이가 없었기 때문에 CBM을 적용하였다. 현재 back strip의 홈의 형상과 재질이 다른 back strip 적용에 대한 연구가 진행중이다.

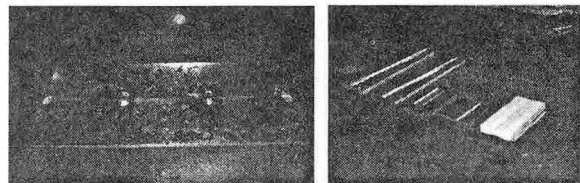


Fig. 4 Application of backing materials

Table 3 Welding conditions of butt joint





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

Table 4 Welding conditions about root angle


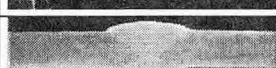



Macro Section	Parameters
	ROBOT, CBM 40°, 1.5mm Gap 179A, 23.2V, 65cpm
	40°, 0mm Gap 159A, 22V, 60cpm
	60°, 0mm Gap 137A, 19.5V, 60cpm 159A, 22V, 60cpm
	CBM 60°, 2mm Gap 159A, 22V, 59cpm
	CBM 40°, 2mm Gap 159A, 22V, 67cpm

Table 3은 2.5mm 맞대기 용접의 최적 조건을 나타내며, Table 4는 6mm 이상의 일면 맞대기 용접의 최적 용접 조건과 개선각 및 갭을 나타낸다.

3.2 기공 및 인장강도 특성

기공 발생 원인은 기름이나 그리스에서 생기는 탄화수소나 용접재료의 표면에 묻어있는 수분과 습도의 영향으로 보고된다. 그 외 용고양상이나 냉각속도, 용융금속의 대류유동, 보호가스에 의해서 기공의 양, 크기 등의 양상이 나타난다. Lawrence, Munse 등은 상당수준의 기공이 있다 하여도 규격에서 요구하는 최소 인장강도는 상회한다고 실험을 통하여 밝힌바 있다. 또한 Shore, McCauley 등은 기공은 항복강도에는 크게 영향을 끼치지 않으나 연신율은 소량의 기공에 의해서도 크게 감소한다고 하였다.

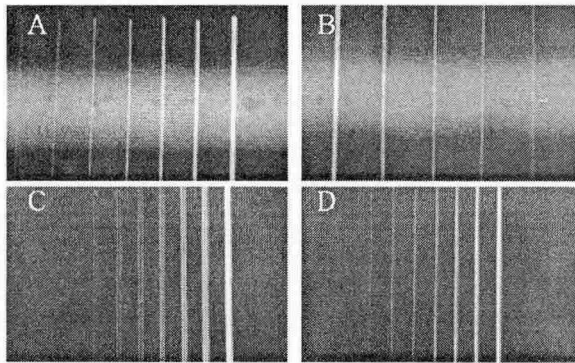


Fig. 5 RT result

Fig. 5는 Table 5에 표시된 용접 시험편의 용접 후 RT결과와 표면 비드 제거 후 RT 결과를 나타낸다. Fig. 5 A, B에서는 비드 표면에 생성된 기공을 나타낸다. Fig.5 C, D에서는 비드를 제거한 후 기공이 거의 없음을 확인할 수 있다.

Table 5 Tensile test result

Sample	Welding Conditions		Tensile [N/mm ²]	
	Power [%]	Speed [cpm]		
3.2t	1 st	① 16.5	42	275
		② 21.5	42	277
	2 nd	① 16.5	42	285
		② 20	42	293
	3 rd	① 20	42	273
		② 27	42	275
4.0t	1 st	① 24	42	290
		② 28	42	282
	2 nd	① 22	42	288
		② 26	42	276
	3 rd	① 23	42	289
		② 27	42	297

Table 5는 3.2mm, 4.0mm 용접 후 모든 경우

에 대해서 인장강도 요구치를 만족함을 알 수 있다. 용착금속 및 표면비드의 기공의 존재는 인장강도와 항복강도를 현저히 감소시키지 않는다.

4. 결 론

알루미늄 합금의 우수한 용접부의 확보를 위해 다음과 같은 연구가 수행되었다..

- 1) 알루미늄 합금 Al 5083, Al 5383, Al 5456의 용접조건을 최적화하여 데이터베이스화 하였으며 실선 건조에 적용하고 있다.
- 2) 용접시 발생하는 변형제어를 위한 효과적인 구속 방안과 용접중 발생하는 회전변형에 대한 제어를 위해 여러가지 back strip을 검토하였다.
- 3) 알루미늄 합금의 용접시 발생하는 기공의 원인을 당사의 작업환경의 기준으로 고찰하였으며, 기공의 영향은 인장강도나 항복강도에 큰 영향이 없음을 확인하였다. RT를 통하여 기공의 대부분이 표면에 집중하였음을 확인하였고 표면부의 기공 제거를 위한 방안과 용접부의 기공제어를 위한 방안을 검토하였다.

후 기

본 연구의 일부는 부산대학교 “알루미늄 보강판 구조의 좌굴강도 연구” 과제와 공동수행 되었습니다.

참 고 문 헌

1. ABS: Rules for Building and Classing Aluminum Vessels 1975. Notice No.1
2. ISO: Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part4: Arc welding of aluminum and aluminum alloys (ISO TC 44/SC 10 N 456), 2001
3. AWS: Guide for Aluminum Hull Welding, ANSI/AWS D3.7-90
4. PEMA News : User-Friendly Robotic Solutions, may., 2002