

Ar/He 보호가스분위기에서 Al 5083 합금의 대전류 MIG 용접특성

최영배* · 황인성*[†] · 강문진* · 김동철*

*한국생산기술연구원 용접접합연구실용화그룹

High Current MIG Welding of Al 5083 Alloy under Ar/He Mixed Gas Shielding

Young-Bae Choi*, In-Sung Hwang*[†], Mun-Jin Kang* and Dong-Cheol Kim*

*Advanced Welding & Joining R&BD Group, KITECH, Incheon 406-840, Korea

[†]Corresponding author : hisman@kitech.re.kr

(Received December 10, 2013 ; Revised January 28, 2014 ; Accepted February 11, 2014)

Abstract

Recently, use of thick Al 5083 plate has increased in production of LNG storage tank. In general, multi-pass welding has been used to achieve sufficient penetration in thick plate welding. High current welding which enables high deposition and deep penetration is preferred in thick plate welding because the increase of number of pass increases manufacturing cost and formation of weld defect.

In this study, welding characteristics according to various Ar/He shielding gas composition was investigated in high current MIG welding. The bead-on-plate welding and V groove welding were conducted on Al 5083 alloy with a thickness of .25 mm. The effect of shielding gas composition on bead shape was evaluated and proper shielding gas composition was proposed. Also arc stability was examined under selected shielding gas composition. One side-one pass welding experiments were conducted for V groove specimen with a thickness of 25 mm. Mechanical properties and hardness profiles were measured for the V groove specimens.

Key Words : Aluminum 5083 alloy, MIG(Metal Inert Gas) welding, Full penetration weld, Dual shielding gas, Shielding gas composition

1. 서 론

액화천연가스(LNG, Liquefied Natural Gas)는 대체 에너지원으로 타 연료 대비 높은 효율 및 저탄소 배출로 인해 수요가 증가하고 있다. 이에 따라 LNG의 수송 및 저장 관련 시설의 수요가 증가하고 있는 추세이다¹⁾.

LNG 저장탱크의 재료로는 9% Ni강, 오스테나이트계 스테인리스강 및 Al5083 합금이 사용되고 있다. 이중 가장 경량소재인 Al5083 합금은 구조용 비열처리형 알루미늄 합금 중에서 가장 우수한 강도와 저온 특성을 가지고 있다. 그러나 Al5083 합금은 철계 소재에 비해 용접성이 열위하기 때문에 LNG 저장탱크 건조를 위한 용접기술의 확보가 필요하다.

LNG 운반선의 종류에 따라 LNG 저장탱크의 재료

두께가 달라지는데, 구형 LNG운반선의 경우 최대 두께 200 mm의 Al 5083합금이 이용되며, SPB(Self-supported Prismatic type B)형 저장탱크의 경우 10~35 mm 두께의 Al 5083합금이 이용된다^{2,3)}. 후관 용접의 생산성을 향상시키기 위해서는 대전류 용접을 통한 용착량 확보가 필요하다. 특히 알루미늄 합금은 표면 산화피막의 존재로 다층용접 시 용접결합 발생률이 높아 용접 패스수의 감소가 생산성 향상에 주는 영향이 크다. 알루미늄 합금의 대전류 용접에서는 퍼커링(puckering)이라고 하는 특이한 현상이 발생한다⁴⁾. 퍼커링은 일정 전류 이상에서 아주 불규칙하고 산화된 비드가 형성되는 현상으로 적용 와이어의 직경이 증가할 경우 퍼커링 현이 전류도 증가하는 특성이 있어 대직경 와이어를 사용하는 알루미늄 후관 용접에서 발생한다⁵⁾.

알루미늄 합금의 후관용접에는 일반적으로 Ar과 He

을 혼합한 보호가스를 사용하고 있다. He 가스는 이온화 전압이 높아 아크의 온도가 증가하여 용접부의 용합 불량과 같은 결함을 저감시켜 준다. 또한, 용접속도를 증가시킬 수 있어 생산성을 향상시킬 수 있다^{6,7)}. 하지만 He의 혼합비율이 높아지면 용입이 얇고 비드가 넓게 형성되며, 비드외관이 거칠어지는 단점이 있다⁸⁾.

본 연구에서는 알루미늄 합금의 대전류 용접에서 보호 가스 중 Ar과 He의 비율을 변화시키며 용접실험을 실시하였다. 용접 아크의 안정성과 비드형상을 평가하여 적정 보호가스 비율을 도출하고 이를 기반으로 25 mm 후판의 편면 1 패스 완전용입을 수행하여 적용가능성을 검토하였다.

2. 실험방법

실험에 사용한 모재는 25mm 두께의 Al 5083-O를 사용하였으며, 용접재료는 직경 3.2mm Al5183 합금 와이어를 사용하였다. 모재 및 용접와이어에 대한 화학적 성분은 Table 1과 같다.

실험에 사용된 용접장치는 Fig. 1과 같다. 용접전원은 정전류 제어형 1500A급 MIG 용접기이고, 용접캐리지는 아크 발생을 원활히 해주기 위한 고주파 아크 스타트 장비를 내장하고 있으며, 용접전류 및 전압, 속도의 조절이 가능하다. 용접토치는 용접중 보호가스의 편류, 난류를 없애고 용접 중 용융부를 외부 대기로부터 완전하게 차단시키기 위하여 Fig. 2와 같이 대구경의 이중 보호가스 공급용 토치를 사용하였다.

외부 보호가스는 100% Ar을 유량 80 l/min으로 공급하였다. 내부 보호가스는 가스혼합기를 이용하여 Ar과 He의 조성비를 조절하면서 유량 80 l/min으로

Table 1 Chemical composition of materials (wt, %)

Material	Si	Fe	Cu	Mg	Zn	Mn	Cr	Ti	Al
Al5083	0.14	0.17	0.01	4.8	0.02	0.98	0.01	0.02	Bal.
Al5183	0.4	0.4	0.1	4.3 ~5.2	0.25	0.5 ~1.0	0.1 ~0.3	0.15	Bal.



Fig. 1 High current MIG welding system

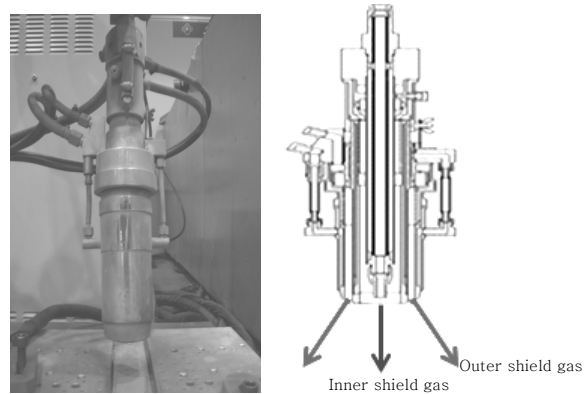


Fig. 2 Dual shielding torch

공급하였다.

용접토치의 방향은 전진각으로 이용하였으며, 토치 각도는 용접진행 방향 반대쪽 10°로 유지하였다⁹⁾. 용접팁과 모재간의 거리는 35mm로 설정하였다.

Al 합금의 표면에는 두껍고 강한 산화피막이 형성되므로 실험 전 스테인리스강 와이어 브러시를 사용하여 산화피막을 제거하였다.

보호가스 조성에 따른 용접특성을 분석하기 위해 먼저 비드(bead-on-plate, BOP)용접을 수행하였다. 보호가스 조성은 100% Ar, 75% Ar, 50% Ar, 25% Ar을 사용하였다. 용접속도는 40 cm/min으로 고정하였고, 용접전류 및 전압은 각각 450~600 A, 28~34 V로 조정하였다.

용접 후 시험편의 표면형상을 관찰하고, 단면 형상에서 비드형상을 분석하였으며, 용접전류와 전압을 50 kHz로 샘플링하여 용접의 안정성을 평가하였다.

V 그루브용접에서는 Fig. 3과 같은 시험편을 이용하였으며, 시편의 세부 형상은 Table 2와 같다. 편면 1 패스용접을 수행하면서 용락을 방지하기 위하여 세라믹

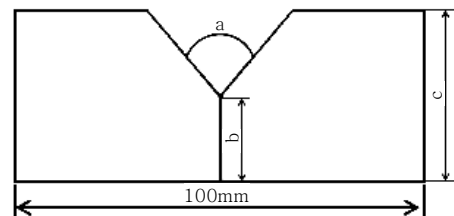


Fig. 3 V Groove welding specimen

Table 2 Geometric parameters for V groove

Groove angle (a)	Root face (b)	Thickness (c)
60°	10 mm	25 mm
90°	12 mm	25 mm

배킹을 이면에 부착하였다. 용접 속도 30 cm/min, 35 cm/min에서 완전용입이 가능한 적정 용접전류 및 전압을 선정하여 용접을 수행하였다. 용접부에서 시험편을 채취하여 인장시험, 굽힘시험 및 경도 분포 측정을 수행하여 기계적 물성을 평가하였다.

3. 실험결과

3.1 BOP 용접에서 비드형상

각 보호가스 조성의 용접전류 조건별 측정된 비드폭과 용입깊이, 단면 형상을 Table 3에서 6에 각각 나타내었다. He 분율 25% 이하인 경우 종모양의 비드가 형성되나, He 분율 50% 이상인 경우 타원형 비드가 형성된다. 보호가스의 조성별로 각 용접전류에서 평균 비드 폭과 용입깊이를 Fig. 4와 5에 각각 다시 나타내었다.

100% Ar 분위기에서는 용접전류가 증가하는 경우에도 용입의 깊이는 거의 일정하게 유지되는 특징이 있으나 He를 포함하는 보호가스 분위기에서는 용접전류 증가에 따라 용입의 깊이가 증가한다. 특히 He 분율이 50% 이상인 경우 600 A 전류에서 19 mm 이상의 깊은 평균 용입이 발생하였다.

모든 보호가스 분위기에서 용접 전류가 증가하는 경우 용접비드의 폭은 증가하였다. 동일전류에서 He 분율이 증가할수록 비드폭이 증가하는 경향이 보이나 He 이 50%이상인 경우에는 거의 비드폭이 일정하였다.

Table 3 Welding results for 25%Ar/75%He shielding

Set		Measured		Cross-section		
Current (A)	Voltage (V)	Current (A)	Voltage (V)	Shape	Bead width (mm)	Penetration (mm)
450	30	468	30.2		26.4	9.6
	32	464	33.1		27.2	9.8
500	32	501	32.5		29.9	11.7
	34	498	33.8		30.0	12.3
550	32	556	32.8		29.9	14.9
	34	552	34.6		30.6	15.1
600	32	606	33.3		33.8	18.5
	34	610	35.3		34.2	19.1

후판의 그루브 용접에서는 깊은 용입과 넓은 비드 형성이 요구되고, Ar 가스에 비해 He 가스의 가격이 비싸므로 50%Ar/50%He 분율을 적절한 보호가스 조성으로 선정하였다.

3.2 용접의 안정성

50%Ar/50%He 보호가스 분위기에서 용접의 안정

Table 4 Welding results for 50%Ar/50%He shielding

Set		Measured		Cross-section		
Current (A)	Voltage (V)	Current (A)	Voltage (V)	Shape	Bead width (mm)	Penetration (mm)
450	30	468	29.3		26.9	11.3
	32	467	31.7		29.3	12.2
500	32	496	34.5		30.8	13.4
	34	493	36.0		31.6	13.5
550	32	565	31.2		27.7	14.3
	34	562	33.4		31.8	16.5
600	32	628	33.3		32.7	19.5
	34	616	34.1		34.0	19.7

Table 5 Welding results for 75%Ar/25%He shielding

Set		Measured		Cross-section		
Current (A)	Voltage (V)	Current (A)	Voltage (V)	Shape	Bead width (mm)	Penetration (mm)
450	30	453	30.6		25.5	10.5
	32	451	31.6		26.3	11.0
500	32	502	32.2		27.2	10.4
	34	495	35.3		27.0	11.2
550	32	554	32.4		29.5	15.8
	34	549	34.7		30.0	17.2
600	32	607	31.8		31.1	17.2
	34	603	33.2		29.2	17.5

Table 6 Welding results for 100%Ar shielding

Set		Measured		Cross-section		
Current (A)	Voltage (V)	Current (A)	Voltage (V)	Shape	Bead width (mm)	Penetration (mm)
450	28	465	27.1		23.7	10.1
	30	463	29.4		23.3	8.0
500	28	509	28.2		24.0	11.8
	30	515	30.5		22.3	9.3
550	32	569	32.4		22.9	8.2
	34	559	35.2		24.9	7.2
600	32	596	33.9		25.3	8.2
	34	595	35.6		24.3	8.3

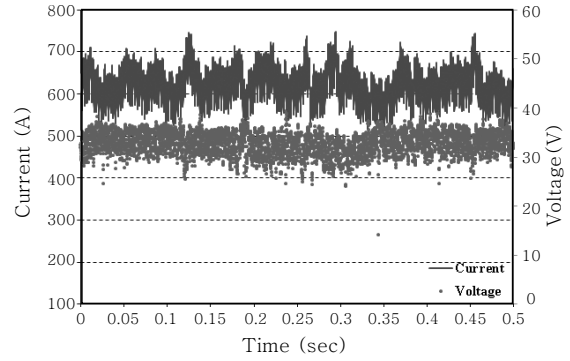


Fig. 6 Waveform of spray transfer



Fig. 7 Bead appearance (Spray)

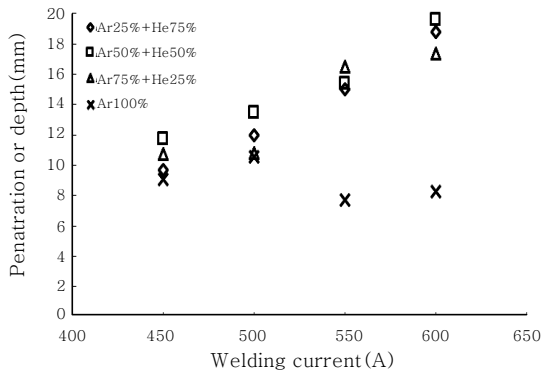


Fig. 4 Relationship between welding current and average penetration

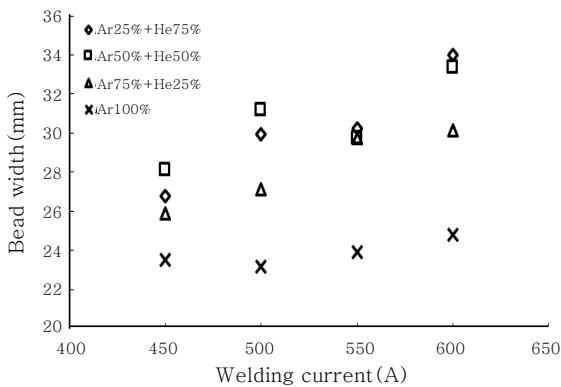


Fig. 5 Relationship between welding current and average bead width

성을 평가하기 위해 용접전류와 전압을 측정하였다. Fig. 6은 용접전류 628 A, 용접전압 33.3 V조건에서 측정된 용접전류와 용접전압의 파형이다. 스프레이 이 행이 일어나는 것으로 판단되나 용접 신호파형이 안정 되지 못하고 변동폭이 크게 관찰된다. 대직경 Al 와이어의 경우 송급성이 상당히 떨어지는데 용접신호 파형의 요동이 와이어 송급의 안정성과 관련이 있을 것으로 사료된다.

하지만 Fig. 7과 같이 600 A 이상의 대전류 에서도 퍼커링이 발생되지 않고 상당히 양호한 비드형상이 관찰되었다.

3.3 그루브 용접실험 결과

선행 실험에서 적정 보호가스로 선정된50%Ar/50%He 혼합가스 비율 조건에서 그루브 용접시험을 수행하고 용접부의 특성을 평가하였다. Table 2에서 선정한 60도 및 90도 그루브에서 각각 Table 7의 용접조건으로 편면 1 패스 용접을 수행하였다. 30 cm/min과 35 cm/min의 각 용접속도에서 양호한 용접비드 형성이 가능하였으며, 그 결과는 Table 8에 나타내었다. 각 용접속도와 그루브 형상에서 완전용입 달성이 가능하였으며, 양호한 이면 비드가 형성되었다.

Fig. 8과 9는 용접속도 35 cm/min 조건인 실험번호 2와 4에 대한 인장 및 굽힘시험 결과이다. 용접부 인장 시험과 굽힘시험은 한국선급 규격에 따라 실시하였다¹⁰⁾.

60도 그루브각을 이용한 실험번호 2번 시험편의 인장시험 결과 인장강도의 평균값은 287MPa이고 파단

Table 7 Welding conditions for V groove welding

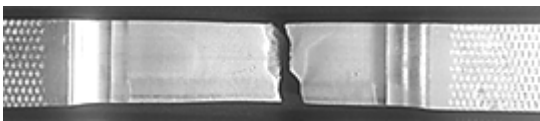
Exp. No.	Groove angle (Deg.)	Welding speed (cm/min)	Set		Measured	
			Current (A)	Voltage (V)	Current (A)	Voltage (V)
1	60	30	600	30	620	30.4
2		35			622	29.1
3	90	30			626	31.4
4		35			621	28.1

Table 8 Bead shapes for V groove welds

Exp. No.	Bead appearance (Top)	Bead appearance (Bottom)	Cross section
1			
2			
3			
4			



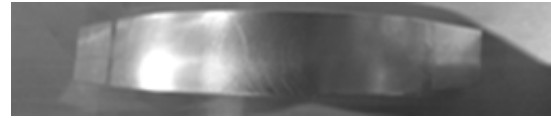
(a) bending test specimen



(b) tensile test specimen

Fig. 8 Bending and tensile test result for No. 2 specimens

위치는 용착금속부였다. 굽힘시험에서는 표면부 3mm를 초과하는 결함이 발견되지 않는 양호한 결과를 나타냈다. 90도 그루브각을 이용한 실험번호 4번 시험편의 인장시험 결과 인장강도의 평균값은 280MPa이고 파단위치는 용착금속부였다. 2번 시험편과 마찬가지로 굽힘시험 결과 표면부 3mm를 초과하는 결함이 발견되지 않았다.



(a) bending test specimen



(b) tensile test specimen

Fig. 9 Bending and tensile test results for No. 4 specimens

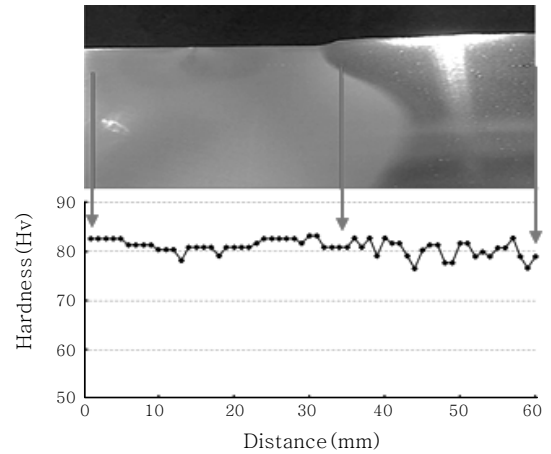


Fig. 10 Hardness profile for No. 4 specimen

Fig. 10은 실험 번호 4에 대한 경도시험 측정 결과이다. 전체 시험편에서 위치와 무관하게 거의 유사한 경도분포가 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 알루미늄 합금의 대전류 용접에서 Ar과 He의 혼합비율을 변화시키며 용접실험을 실시하였다. 용접 아크의 안정성과 비드형상을 평가하여 적정 보호가스 비율과 용접조건을 도출하였다. 이를 기반으로 25 mm 두께 Al5083-O의 편면 1 패스 용접을 실시하여 완전용입된 용접부를 얻을 수 있었다.

1) He을 포함하는 보호가스 분위기에서는 용접전류 증가에 따라 용입의 깊이가 증가한다. 또한 He 비율이 50% 이상인 경우에는 19 mm 이상의 깊은 용입 달성이 가능하였다. 모든 보호가스 분위기에서 용접 전류가 증가하는 경우 용접비드의 폭은 증가한다.

2) BOP에서 최적 보호가스로 선정된 혼합가스 비율 50%Ar/50%He의 조건에서 60도 및 90도 그루브에 용접속도 30 cm/min과 35 cm/min에서 편면 1 패스 용접을 수행하였다. 그 결과 모든 조건에서 양호한 용

접비드 형성이 가능하였으며, 각 용접속도와 그루브 형상에서 완전용입 및 양호한 이면 비드가 형성되었다. 또한 인장시험, 굽힘시험 및 경도 분포 측정을 수행하여 우수한 기계적 물성 결과를 얻을 수 있었다.

Reference

1. S.H. Hong : Present Status and Prospect of LNG Storage Tank, *Journal of KWS* **13-3** (1995), 1-7 (in Korean)
2. Baba O, Okumoto Y and Abe A : Production process of aluminium alloy tank of SPB LNG carrier, *Weld Int* 2008; 22: 438-445
3. Kumai S, Umezawa O, Takayama Y, et al. Structure and welding technologies for SPB LNG aluminium tank. In: *Proceedings of the 12th international conference on aluminium alloys*, Yokohama, Japan, 5-9 September 2010, 82-87. Tokyo: The Japan Institute of Light Metals
4. Miyazaki H, Miyauchi H, Sugiyama Y, et al. Puckering in aluminium alloy welds - prevention using double wire MIG welding. *Weld Int* 1993; 7:431-437
5. Kiyohara M, Effects of wire diameter on weldability in high current MIG welding of thick plate Al-Mg alloy. *J Light Met Weld Constr* 1977;56:20-28
6. C. H. Lee, and R. W. Jang, Weldability of Al alloys, Part I : Cracking and Porosity, *KWS* **10-3** (1992), 1-7 (in Korean)
7. J. H. Hwang and J. G. Yoon, A study on the cracking at the Al alloy weld deposited by a high current MIG process, *KWJS*, **1** (1996), 179-182
8. Lucas, "Shielding gases for arc welding part," *Welding & Metal Fabrication* 1992, 218-22
9. The Aluminum Association : *Welding Aluminum (Theory and Practice)*. Fourth Edition, 2002, 7.17
10. Rule for Classification Steel Ships : Part 2 Material and Welding, Korean Register of Shipping, 1998, 94-115