

SM355강재의 플럭스 코어드 아크 용접에서 보호가스 및 용접자세에 따른 기계적 특성에 대한 실험적 연구

황세주¹ · 백재민² · 윤경수^{2*}

¹석사과정, 강릉원주대학교, 기계공학과, ²교수, 강릉원주대학교, 기계공학과

Experimental Study on Mechanical Characteristics According to Shielding Gas and Welding Positions in FCAW of SM355 Steel

Hwang, Se Ju¹, Baek, Jae Min², Yun, Kyeong Soo^{2*}

¹Master's Course, Dept. of Mechanical Engineering, Gangneung-Wonju National University, Wonju, 26403, Korea

²Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Gangneung-Wonju National University, Wonju, 26403, Korea

Abstract - This study experimentally evaluates the mechanical characteristics of welded parts of SM355 steel according to the welding position and shielding gases of FCAW (Flux Core Arc Welding). The welding positions 1G, 2G, 3G are considered and CO₂ gas and mixed gas(Ar 80% + CO₂ 20%) are considered as the shielding gas. Specimens are fabricated by welding SM355A which is a rolled steel plate for welded structures. Various tests including tensile, bending, hardness, impact, macro and non-destructure tests are conducted. It is confirmed that all test results satisfy the KS standard. Based on the test results, CO₂ gas can be replaced with mixed gas as the shielding gas for FCAW of SM355 steel.

Keywords - Flux cored arc welding, Shielding gas, Welding positions, Mixed gas, CO₂ gas, Mechanical characteristics

1. 서론

용접(welding)은 접합하고자 하는 2개 또는 여러 개의 금속 부품을 국부적으로 용착시키는 방법이다^[1]. 용접의 적용 분야는 자동차, 조선, 플랜트 산업등 산업 전반을 포함하며, 전자 산업의 발전에 따라 반도체 산업에도 적용되고 있다^[2]. 다양한 용접 방법 중 플럭스 코어드 아크 용접(FCAW; Flux Cored Arc Welding)은 관 형태의 와이어에 플럭스(flux)가 채워져 있는 플럭스 코어드 와이어(Flux Cored Wire; FCW)를 사용하는 방법이다. FCAW는 주로 조선업계에 한정되어 사용되어 왔으나 용접 속도가 빠르고 전 자세 용접이 가능하여 점차 산업계 전반으로 확산되고 있는 추세이다^[3].

Note.-Discussion open until August 31, 2024. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 25, 2023; revised on January 22, 2024; approved on January 29, 2024.

Copyright © 2024 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-33-760-8748 Fax. +82-33-760-8721

E-mail. ksyun@gwnu.ac.kr

FCAW는 아크(arc)열로 플럭스를 용융시키면서 용접하게 되는데 이때 용접부를 보호하기 위해서 보호가스(shielding gas)를 이용한다. 보호가스로는 주로 탄산가스(CO₂)가 사용되나 여름철 드라이아이스의 높은 수요와 원료 생산업체들의 정기 보수로 인하여 탄산가스의 공급은 불안정한 실정이다. 따라서 산업현장에서는 용접 시 사용되는 보호가스를 혼합가스(mixed gas)로 대체하려는 시도가 이루어지고 있다. 용접에서 보호가스 용도로 사용되는 혼합가스는 주로 탄산가스(CO₂)와 아르곤 가스(Ar)를 혼합하여 사용하며 일반적으로 Ar 80 %와 CO₂ 20 %로 구성하여 사용한다^{[4],[5]}. 보호가스를 탄산가스에서 혼합가스로 대체하였을 때 용접부의 기계적인 특성이 달라질 수 있다. 기존에는 보호가스의 혼합 비율에 따라 MAG용접에서 기계적 특성 차이를 연구한 사례가 있었다^[6]. 또한, FCAW에서는 보호가스의 혼합 비율에 따라 Atos 60 강재^[7], 카본스틸^[8], 스테인리스 스틸^[9]의 용접부 특성에 관한 연구들이 있었다. 용접부의 기계적 특성은 보호가스뿐만 아니라 용접조건에도 영향을 받게 된다. FCAW에서 극후판 강재^[10]와 HSA800 강재

[11]의 용접조건에 따른 이음성능에 관한 연구가 있었다. 하지만, 기존 연구에서는 SM355급 강재의 FCAW에서 용접자세와 보호가스 종류에 따른 기계적 특성을 비교, 분석한 사례를 거의 찾아볼 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 용접자세 및 보호가스에 따른 용접부의 기계적 특성을 실험적으로 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 사용재료 및 실험조건

본 연구에서 사용한 재료는 용접구조용 압연강재(KS D 3515 SM355A)로 철강구조물, 선박, 교량, 철도차량 등에 사용되고 있다. 본 연구에서 판재를 이용하였으며 사용한 강재의 KS규격 기준 및 품질검사증명서(Mill Test Certificate)는 Table 1에 나타내었다. 원자재는 SM355A급의 기계적 물성^[12]을 갖고 있음을 확인하였다.

본 연구에서 사용한 용접구조물의 형상과 용접자세와 보호가스별 실제 용접한 구조물의 사진을 Fig. 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다. 용접자세별로 용접을 실시하는 자세별 공시체의 크기는 475×200×25 mm이다. 45°각도로 일면 개선을 하였으며 루트페이스는 없이 모재를 가공하였다. 용가재는 현대중합금속 (SF-71, AWS A5.36

E71T-1C)∅1.4를 사용하였다. SF-71은 티타니아계 타입의 플렉스 코어드 와이어로서 전자세 용접용이며 비드 외관이 미려하다는 장점이 있다^[13]. 일반적으로 SF-71은 보호가스로 100% CO₂를 사용하지만, 본 연구에서는 보호가스로 탄산가스(CO₂ 100 %) 또는 혼합가스(Ar 80% + CO₂ 20 %)를 사용하였다(Fig. 3). 보호가스의 유량은 25 l/min이고 캡 노즐 20 mm를 사용하였다. 용접자세는 1G, 2G, 3G 3가지 자세로 실험하였다. 시험편은 예열 없이 상온에서 용접을 수행하였으며, 최대 층간온도는 230 °C 이하로 하였다. 전류 형태는 정극성(Direct Current Electrode Negative ; DCEN)을 적용하

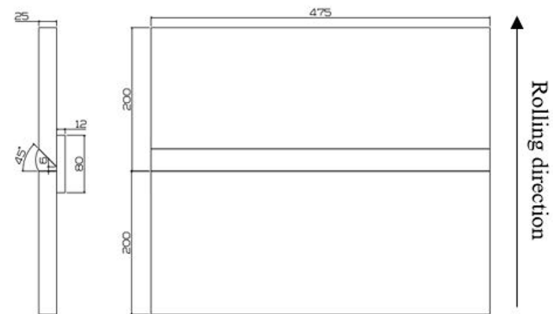


Fig. 1. Specification of the welded structure

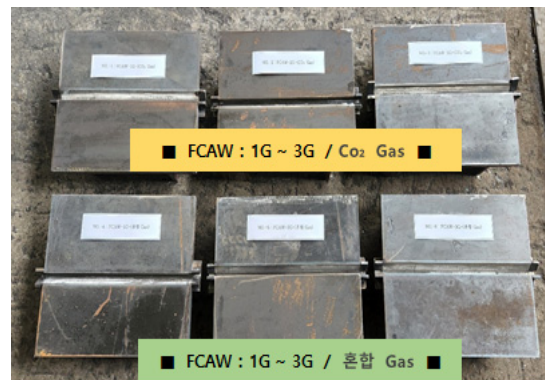


Fig. 2. Welded structures according to the shielding gas and welding positions

Table 1. Mill Test Certificate and KS Specification of the base material (Manufacturer: POSCO)

(a) Mechanical properties				
	Tensile test			Impact test
	YP [MPa]	TS [MPa]	EL [%]	V Notch + 20°C[J]
SM355A	377	534	26	194
KS Spec.	≥ 345	490~630	≥ 19	≥ 27

(b) Chemical composition							
	Chemical composition						
	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	CEQ (%)	PCM (%)
SM 355A	0.16	0.35	1.39	0.012	0.002	0.40	0.26
KS Sepc.	≤ 0.20	≤ 0.55	≤ 1.60	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.47	≤ 0.27



(a) CO₂ 100%

(b) Ar 80%+CO₂ 20%

Fig. 3. Shielding gases

였고, 토치를 지그재그로 움직이는 위빙(Weaving)을 적용하였다. 상세 용접 절차는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Welding procedure

Separation	Content
Joint	- Joint Type : Single Bevel Groove - Backing : ☒ Yes ☐ No - Backing Material : SS275 - Root Opening : 6mm - Groove Angie : 45° - Backgouging : ☐ Yes ☒ No
Base Metals	- Coupon Type : Plate - Material Spec.: KS 3515(SM355A) - Material Group : Unassigned - Thickness of Test Coupon(mm): 25
Filler Metals	- Filler Weld Process(es) : FCAW - AWS Spec. No. : A5.36 - AWS Classification : E71T1 - Diameter(mm) : 1.4 - Manufacturer : HYUNDAI WELDING - Trade Name : SF-71
Shielding	- Flux: N/A - Gas: Co₂/Ar + Co₂ - Composition: (CO₂ 100%) (Ar 80% + CO₂ 20%) - Gas Flow Rate(ℓ/min): 25 - Cup or Nozzle Size(mm) : 20
Position	- Position : 1G / 2G / 3G - Groove : Single Bevel
Preheat	- Heating Method : Propane Gas - Preheat Temp. Min.(°C): (20.0 < T ≤ 38.1mm : 10°C) - Interpass Temp. Min.(°C): 100 - Interpass Temp. Max.(°C) : 230
Electric Characteristics	- Current type: DCEN - Transfer Mode(GMAW): N/A - Others : None
Technique	- String or Weave Bead: Weave - Interpass cleaning : Brushing - Multi or Single Pass : Multi - Number of Electrodes : Single

2.2 용접 자세별 이음

용접 자세는 아래보기(1G), 수평(2G), 수직(3G) 총 3가지를 고려하였으며 수직자세는 상향 용접방법으로 용접을 수행하였다. 용접 자세별로 비드 형상은 달라지

게 되며 자세별 비드 형상과 용접패스는 Fig. 4에 나타내었다. 용접부 개선은 편측 45° 개선을 적용하여, 뒷담재(backing plate)와 앤드탭(end tap)을 설치하고 용접을 실시하였다. 용접 자세별로 상세 용접조건은 Table 3에 나타내었다.

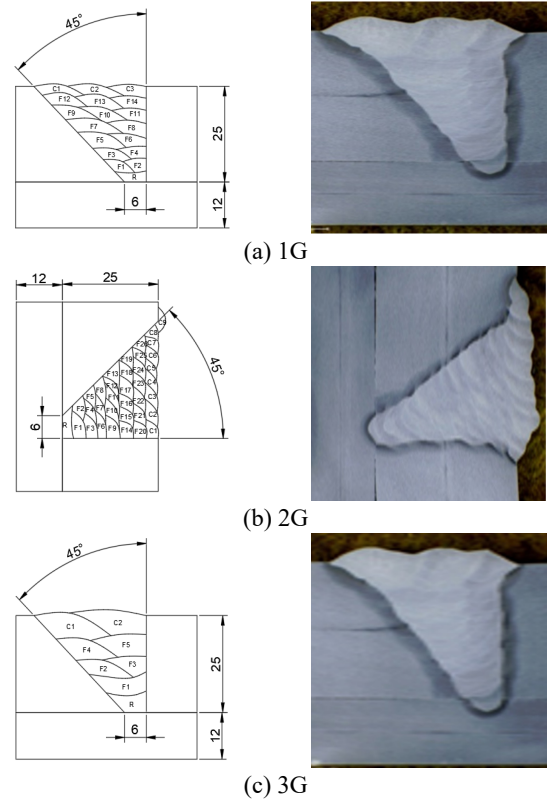


Fig. 4. Joint shapes according to welding positions
(R:Root, F:Filler, C:Capping)

Table 3. Welding conditions according to welding positions

Position	Layers	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)
1G	Root	240	28	31	13
	Filler	260	32	35	16
	Capping	260	32	34	15
2G	Root	200	28	24	14
	Filler	220	28	44	8
	Capping	220	28	75	5
3G	Root	200	26	16	19
	Filler	220	30	14	34
	Capping	180	26	10	28

2.3 기계적 특성 시험

용접부의 기계적 특성을 평가하기 위한 시험을 시행하였다. Table 4는 기계적 특성 시험의 시험 내용 및 KS 규격을 나타내고, 각 시험은 규정된 절차에 따라서 시행하였다.

Table 4. Types of tests for validating the mechanical characteristics

Test type	Test contents	KS specification
Tensile test	Tensile strength, yield strength, elongation	KS B 0801
Bending test	Defect occurrence	KS B ISO 5173
Hardness test	Vickers hardness test (Hv)	KS B 0893
Impact test	Toughness	KS B 0809
Macro test	Check for defects in the heat affected area	KS D 0210
Non-destructive test	Phase Array Ultrasonic Testing (PAUT)	KS B ISO 4761

인장시험은 용접구조물의 압연방향으로 KS B 0801 (금속재료 인장시험편) 규격의 인장시험편 1A호 3개를 제작하여 실험하였다.

굽힘시험은 판두께에 따라 규정된 굽힘 반경으로 180°의 표면과 이면 굽힘, 측면 굽힘실험을 하였다. 시험편은 용접 구조물의 압연방향으로 용접 구조물의 두께방향의 가운데 위치에서 25 mm × 10 mm × 400 mm 크기로 자세별로 4개의 시험편을 제작하여 실험하였다.

용접부의 경화의 정도를 측정하기 위해 경도시험을 수행하였다. 경도시험은 KS B 0893 (용접 열영향부의 최고경도 시험방법)와 KS B 0811 (금속재료 비커스 경도시험방법) 시험방법에 따라 실시하였고 10 kgf의 하중을 시험편에 부과하였다. 용접부, 열영향부, 모재에서 각각 3개의 시험편을 채취하였으며 자세별 3개의 시험편으로 제작하여 실험하였다. 경도는 두께의 1/4 위치에서 모재는 1 mm 간격, 열영향부는 0.5 mm 간격, 용접부는 1 mm 간격으로 3곳에서 각각 측정하였다. 경도를 측정한 상세 위치는 Fig. 5에 나타내었다.

용접부의 인성을 측정하기 위해서 충격시험을 수행하였다. 용접부, 열영향부, 모재부에서 각각 노치를 갖

는 시험편을 제작하였으며 시험편은 10 mm × 10 mm × 55 mm 크기로 폭 두께의 1/4 위치에서 채취하였다. 노치는 시험편의 가운데 위치하며 노치의 방향은 용접방향이 되도록 제작하였다. 시험편을 채취한 상세 위치는 Fig. 6에 나타내었다. 충격시험은 KS B 0809(금속재료 충격시험편)에 따라 실시하였다.

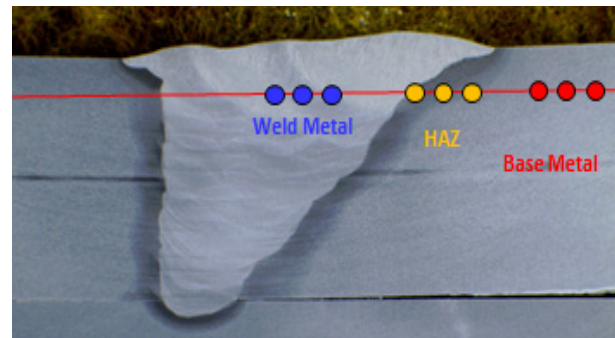


Fig. 5. Locations of specimens for hardness test

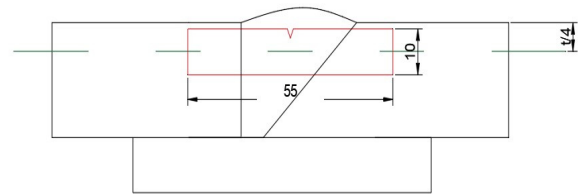


Fig. 6. Locations of specimens for impact test

용접부에서 용입의 상태, 다층 용접에 있어서 각층의 양상, 열 영향부의 범위, 결함의 유무 등을 알아보기 위해서 매크로 시험(KS D 0210) 또한 수행하였다.

용접부의 균열을 확인하기 위해서 비파괴 검사를 수행하였으며, 비파괴 검사 방법 중에서 위상배열 초음파 탐상검사(Phased Array Ultrasonic Testing; PAUT)를 수행하였다. 이 방법은 다양한 각도에서 여러 진폭을 갖는 초음파를 물체에 투과하여 2차원 영상을 실시간으로 제공하는 검사 기법^[14]으로 산업현장에서 많이 적용되고 있다. 위상배열 초음파 탐상검사는 OLYMPUS사의 OMNISCAM MX2제품을 이용하여 수행하였으며 실제 위상배열 초음파 탐상검사를 수행한 사진을 Fig. 7에 나타내었다.



Fig. 7. Photos for phase array ultrasound testing

3. 실험결과 및 고찰

본 실험은 신뢰도가 높은 결과를 얻기 위해 공인기관인 한국화학융합시험연구원(KTR)에 의뢰하여 수행하였다.

3.1 인장시험 결과

인장시험 결과와 시험편 사진을 Fig. 8과 Fig. 9에 각

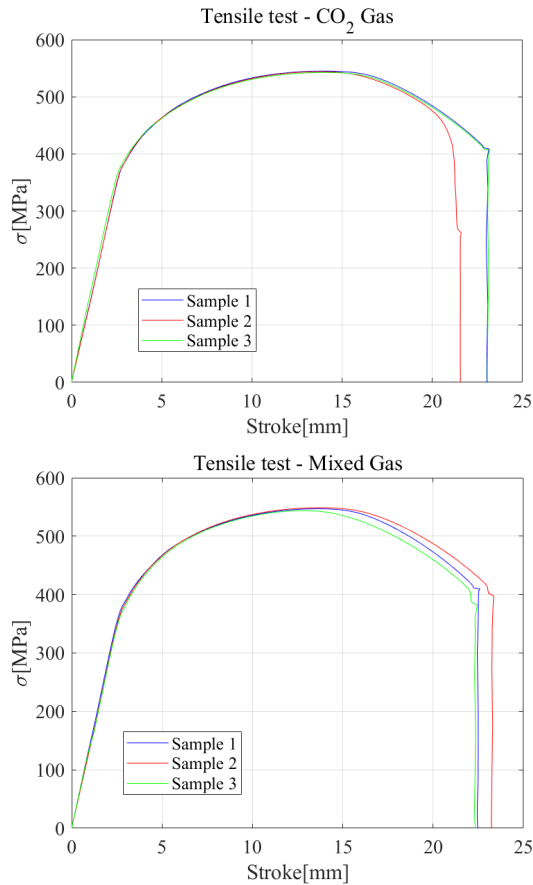
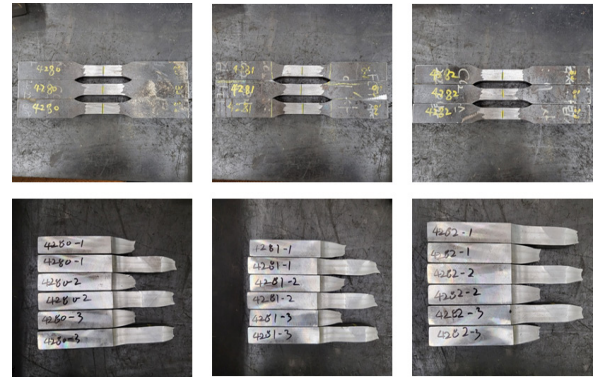
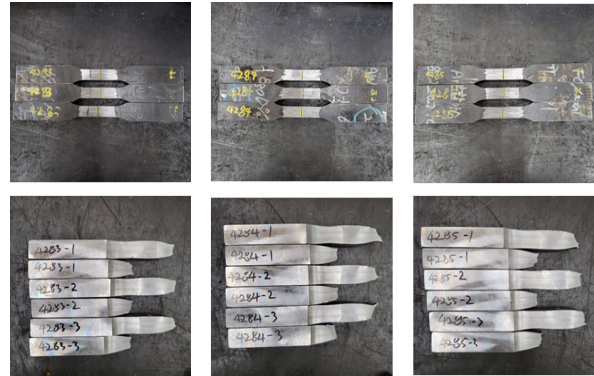


Fig. 8. Tensile test results

각 나타내었다. 시험편별로 매우 유사한 거동을 보이는 것을 알 수 있으며 파단의 위치나 인장강도 모두 유사함을 알 수 있다. 시험편 별로 인장강도는 Table 5에 비교를 하였다. 용접자세와 보호가스에 의한 인장강도의 차이는 1 % 미만인 것을 확인 하였으며 이는 용접구조



(a) CO₂ Gas 100% (1G, 2G, 3G)



(b) Mixed Gas - Ar 80% + CO₂ 20% (1G, 2G, 3G)

Fig. 9. Tensile test specimens

Table 5. Tensile strength of each specimen

Welding position	Tensile Strength (MPa)			
	Base material	CO ₂ Gases	Mixed Gases	Fracture location
1G	534	550	547	base material
		549	549	
		551	544	
2G		548	551	base material
		547	542	
		548	546	
3G		542	548	base material
		544	551	
		546	546	

용압연강재 규격(KS D 3515)의 인장강도(490 MPa–630 MPa)를 만족하는 것을 알 수 있다.

3.2 굽힘시험 결과

보호가스 종류 및 각 자세에 따른 굽힘시험 결과는 모두 양호한 결과를 얻었다. 표면 굽힘 시 Fig. 10과 같이 표면에 결함이 발견되지 않았으며, 이는 소성변형 후에도 충분한 연성이 있음을 확인하였다.

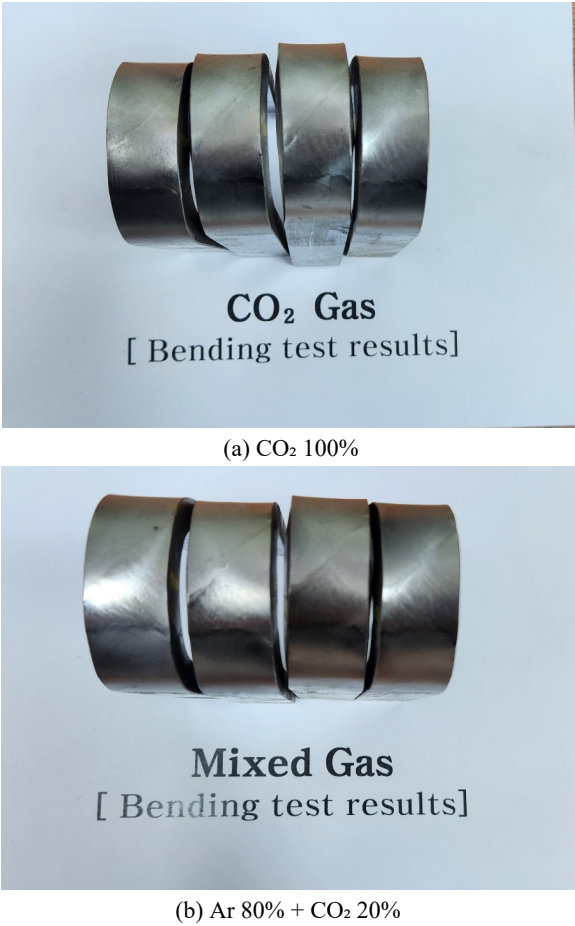


Fig. 10. Bending test result

3.3 경도시험 결과

경도시험 결과는 Table 6에 비교하였다. 용접에 따른 경화 조직의 생성은 저온 균열이 발생하는 원인이 되므로 용접부의 경도를 Hv350 이하로 제한하고 있다. 모든 용접자세와 보호가스에서 기준치 이하의 경도를 갖는 것을 알 수 있다.

3.4 충격시험 결과

CO₂가스 및 혼합 가스를 사용한 용접부의 충격시험의 결과를 Table 7에 각각 나타내었다. KS규격 기준으로 SM355강재의 용접부 충격 흡수 에너지는 20 °C에서 27 J 이상의 값을 갖도록 규정되어 있다. 본 실험의 결과를 보았을 때 모재, 열영향부, 용접부 모두에서 충격 흡수 에너지가 27 J 이상의 값을 갖는 것으로 보아 용접 구조물이 충분한 인성을 가지고 있음을 알 수 있다.

Table 6. Hardness test results

Welding position	Specimen No.	Base		HAZ		Welded	
		CO ₂	Mixed	CO ₂	Mixed	CO ₂	Mixed
1G	1	151	153	197	230	182	203
	2	153	153	204	246	184	202
	3	152	151	255	262	193	203
2G	1	148	152	221	190	190	225
	2	149	150	251	197	196	220
	3	151	151	272	226	181	208
3G	1	153	152	187	185	167	185
	2	154	152	197	205	169	190
	3	153	152	226	260	174	190

Table 7. Impact test results (20°C)

Welding posture	Welding position	CO ₂ [J]	Mixed[J]
Base Metal	1G	132	126
	2G	139	126
	3G	131	131
HAZ	1G	107	213
	2G	105	169
	3G	228	251
Weld Metal	1G	127	140
	2G	123	134
	3G	101	137

3.5 매크로시험 결과

보호가스의 종류와 용접 자세별 매크로시험 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 용접부의 단면, 표면, 열 영향부, 금속조직 모두 전체적으로 양호한 조직상태를 갖고 있음을 확인하였다.

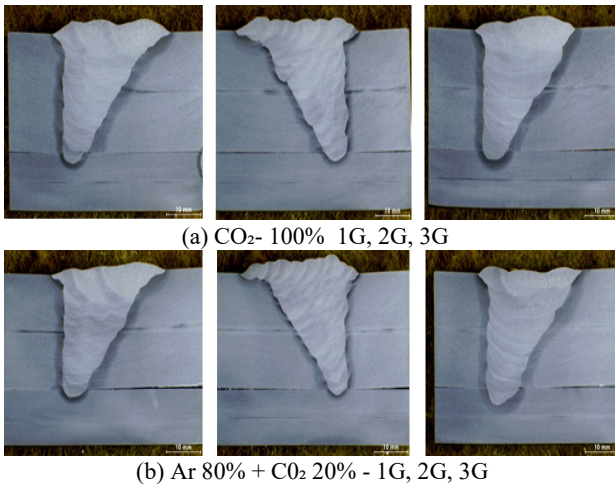


Fig. 11. Macro test results

Table 8. Summary of mechanical characteristics of welded steel according to the shielding gases

Test results				
Test method	Welding position	KS Spec.	CO ₂ Gas	Mixed Gas
Tensile test	1G	490	550.0	546.6
	2G	~	547.6	546.3
	3G	630	544.0	548.3
Bending test	1G	Acceptable	No defect	No defect
	2G			
	3G			
Hardness test	1G	Less than 350Hv	218.6	246.0
	2G		248.0	204.3
	3G		203.3	216.6
Impact test	1G	More than 27J	107.3	213.6
	2G		105.3	169.0
	3G		228.6	251.3
Macro test	1G	Acceptable	No defect	No defect
	2G			
	3G			
PAUT	1G	Acceptable	No defect	No defect
	2G			
	3G			

3.6 위상배열탐상 초음파시험 결과

보호가스로 이산화탄소를 사용하였을 때는 결함이 없었으나, 혼합가스를 사용하였을 때는 2G 자세에서 미세결함이 발견되었다. 결함의 크기는 2 mm 이내로 KS규격(KS B ISO 19285) 허용기준 이내의 크기였다. 결함의 원인으로서는 용접 중 슬래그가 제거되지 않아 발생한 것으로 추정되고 보호가스에 의한 원인은 아닌 것으로 판단된다.

3.7 시험 결과 정리

용접 자세별 보호가스의 종류에 따른 기계적 특성을 Table 8에 정리를 하였다.

보호가스 CO₂(100 %) 또는 Ar(80 %)+CO₂(20 %) 적용의 경우의 사용 강재의 특성 시험을 실시하고, 용접 자세에 따른 기계적 특성은 모두 KS규격을 만족하는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 SM355강재의 플렉스 코어드 아크 용접(FCAW)에서 보호가스와 용접자세에 따른 기계적 특성을 분석하였다. 인장시험, 굽힘시험, 경도시험, 충격시험, 매크로시험, 비파괴시험을 통하여 기계적 특성을 분석하였으며 각각의 시험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 인장시험 결과 용접자세와 및 보호가스의 종류에 관계없이 모재에서 파단이 발생하는 것을 확인하였고, 이는 용접부가 충분한 강도를 가지고 있음을 확인하였다.
- 2) 굽힘시험 결과 용접자세 및 보호가스에 상관없이 시험편 표면 및 이면에 터짐현상 및 기타 결함을 발견할 수 없었다. 따라서 굽힘성능에는 문제가 없는 것으로 판단된다.
- 3) 경도시험과 충격시험 결과 용접부(Weld Metal), 열영향부(Heat Affected Zone), 모재부(Base Metal)는 용접자세 및 보호가스 시험편 모두 KS 기준 범위 이하의 경도를 갖고 KS 기준 이상의 에너지를 가지고 있음을 확인하였다. 이를 통하여 각각의 보

호가스와 용접자세에서 용접부는 충분한 인성을 갖고 있음을 알 수 있다.

- 4) 매크로 시험과 비파괴 시험 결과 각각의 보호가스와 용접자세에서 용접부의 규격 이상의 결함은 발견되지 않았다. 따라서 보호가스를 혼합가스로 변경하여도 모든 용접자세에서 용접성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구를 통해서 SM355강재의 FCAW에서 보호가스를 혼합가스로 변경하였을 시, 기계적 특성은 모두 규격을 만족하는 것을 다양한 실험을 통해서 확인하였다. 따라서, 산업현장에서 탄산가스가 부족한 경우 보호가스로 혼합가스를 사용하여도 될 것으로 사료된다.

참고문헌(References)

- [1] Park, S.D., Jang, G.I., and Woo, S.M. (1994) *Welding Engineering*, Wonchang Press, Korea (in Korean).
- [2] KWJS (2008) *Welding and Joint Handbook 3: Processing and Thermal Processing*, The Korean Welding and Joining Society, p.3 (in Korean).
- [3] Yun, K.G. (2007) *Professional Engineer Welding*, Iljin Press, pp.115-116 (in Korean).
- [4] HRDK (1993) *Special Welding Theory*, Human Resources Development Service of Korea, p.105 (in Korean).
- [5] Lee, D.H., Park, S.H., and Park, S.G. (1992) *Special Welding Theory*, Iljin Press, pp.136-138 (in Korean).
- [6] Killing, R., Hwang, S.H., Jeong, J.P., and Park, Y.J. (1994) Effect of Shielding Gas on the MAG Welding Characteristics and Cost Reduction, *Journal of Welding and Joining*, KWJS, Vol.12, No.1, pp.51-58 (in Korean).
- [7] Lim, B.-C., Kang, C.-S., and Park, S.-H. (2014) Study of the Welding Monitor and Characteristics According to a Change in Gas Mixture by FCAW, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, KAIS, Vol.15, No.10, pp.5933-5938 (in Korean).
- [8] Gadallah, R., Fahmy, R., Khalifa, T., and Sadek, A. (2012) Influence of Shielding Gas Composition on the Properties of Flux-Cored Arc Welds of Plain Carbon Steel, *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, TAETI, Vol.2, No.1, pp.1-12.
- [9] Yilmaz, R., and Tümer, M. (2010) The Effect of Shielding Gases on the Microstructure and Toughness of Stainless Steels Weldments by FCAW. *Proceedings of the 63rd Annual Assembly & International Conference of the International Institute of Welding*, GEV, Turkey, pp. 847-852.
- [10] Kim, S.B., Hong, H.J., Choi, Y.H., and Kim, S.S. (2017) A Study of Weldability and Welded Joint Performance on the Gas Shield Arc Welding (FCAW) of SM490TMC Steel Plate (120mm), *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.29, No.6, pp. 455-465 (in Korean).
- [11] Lee, E.T., Kim, J.R., Choi, Y.H., and Kim, S.S. (2016) A Study for the Weldability, Welding Position and Welded Joint Performance on the FCAW of HSA800 Steel, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.4, pp.281-292 (in Korean).
- [12] KOSA Steel Construction Center (2018) *Handbook of Steel Frame Work*, Korea Iron & Steel Association, pp.28-32 (in Korean).
- [13] Hyundai Welding Co. (2024) *Catalog of Flux Cored Wire*, Hyundai Welding Co., p.161 (in Korean).
- [14] KISC (2018) *Non-Destructive Testing of Welds - Phased Array Ultrasonic Testing - Acceptance Levels*, KS B ISO 19285:2017, KATS, pp.1-4 (in Korean).

요약: 본 연구에서는 SM355강재의 FCAW(Flux Core Arc Welding)시 용접자세 및 보호가스에 따른 용접부의 기계적 특성을 평가하였다. 용접자세로는 1G, 2G, 3G를 고려하였고 보호가스는 탄산가스(CO₂ 100%)와 혼합가스(Ar 80% + CO₂ 20%)를 고려하였다. 인장시험, 굽힘시험, 경도시험, 충격시험, 매크로 시험, 비파괴 검사를 하였으며 모든 시험 결과는 KS 규격을 만족하는 것을 확인하였다. 실험 결과를 분석하였을 때 FCAW의 보호가스로 사용되고 있는 탄산가스를 혼합가스로 대체할 수 있을 것으로 판단 된다.

핵심용어: 플럭스 코어드 아크 용접, 보호가스, 용접자세, 혼합가스, 탄산가스, 기계적 특성