

SM490A의 FCAW 용접 자세별 형상에 관한 기계적 특성 연구

임광묵* · 이성일**†

A Study on the Mechanical Properties of SM490A by FCAW Welding Attitude

Kwang Mook Lim* · Sung Ill Lee**†

†Corresponding Author

Sung Ill Lee

Tel : +82-10-4411-5492

E-mail : silee@ac.ut.kr

Received : September 27, 2019

Revised : December 11, 2019

Accepted : December 18, 2019

Abstract : Flux Cored Arc Welding (FCAW), which has been widely used in many industries, was developed in the 1950s to supplement shortcomings of the Shielded Metal Arc Welding (SMAW). FCAW has an advantage in that it can weld regardless of postures and give good quality results in the filed with many different working conditions. In this study, SM490A (rolled steel for welding structural purpose) with different thicknesses (L:25T+R:30T) were welded using FCAW. Then the mechanical properties (tension test, bending test, hardness test, impact test and macro test) were analyzed and the following conclusions were drawn. In the tensile test, it exceeds the KS standard tensile strength range (400~510) in all welding positions, which means there is a problem in the tensile force transmission performance. In the bending test, it was found that most of the specimens did not exhibit surface rupture or other defects during bending test and they exhibit sufficient toughness even after plastic deformation. In the hardness test, all the results were lower than the standard value of 350 Hv of KS B 0893, which means they have good hardness. In the impact test, all results were larger than the KS reference value of 27J. In the macro test, they showed uniform structure state by the shape of the weld, and there was risk of lamination because no internal defects, bubbles, or impurities were found on the surface of the weld.

Key Words : FCAW, guide bend, hardness, impact, macro, SM490A, tensile

Copyright©2019 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

FCAW(Flux Cored Arc Welding)는 용착률이 높고 전 자세 용접이 가능할 뿐 아니라, 탄소-망간(C-Mn)강 및 저 합금강 등의 용접 시 경제성과 생산성이 높기 때문에 선진국 뿐 아니라 국내에서도 그 사용량이 증가 추세에 있다^{1,2)}.

또한, 용접 접합부 내진성능에 영향을 미치는 강재나 용접금속 등의 재료적 취약성과 용접상세의 개선을 통해 재료적인 측면에서 그 특성들을 파악하여 접합부가 충분한 능력을 갖도록 규정하고 있는 상황이다^{1,2)}.

용접 구조용 압연강재(SM490A)의 경우에는 용접성이 뛰어나고 균열 등이 생기지 않는 강재로서, 다리, 선박, 차량, 석유 저장조, 용기 및 여러 가지 구조물에

사용되며, 특히 조선 해양 구조물 및 교량 건조시 대량으로 사용되고 있다.

용접 시 금속 재료가 가열, 용융, 용합, 응고, 냉각하는 일련의 복잡한 과정이 국부적으로 단 시간 내에 이루어지기 때문에 잘못된 시공이 이루어질 경우 용접 결함 발생, 이음 성능 저하 등의 문제가 발생한다. 또한 불완전한 용접은 대형 사고로 이어질 수 있기 때문에 완전한 용접 검사를 통해 용접부의 품질 및 안전성을 확보하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있는 SM490A(L:25T+R:30T) 용접 후 시험편을 채취하여 한국산업규격(KS)에 따라 인장시험, 굽힘시험, 경도 시험, 충격시험, 매크로시험을 실시하고자 한다. 이를 통해 각기 다른 두께의 용접한 강재의 기계적 특성을

*한국교통대학교 안전공학과 박사과정 (Department of Safety Engineering, Korea National Transportation University)

**한국교통대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Korea National Transportation University)

명확히 파악하여 용접부의 품질 및 안정성을 확인할 수 있는 구체적인 근거를 제시하는데 목적이 있다^{4,5)}.

2. 실험방법

2.1 사용재료 및 실험조건

본 연구에서는 용접구조용 압연강재인 SM490A (L:25T+R:30T)를 용접하여 사용하였고, Table 1, 2에 각각 화학성분 및 기계적 성질을 나타내었다.

Table 1. Mechanical characteristics of base metal and filler metal

Separation	C	Si	Mn	P	S
SM490A (SM355A)	≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035

Table 2. Chemical compositions of base metal and filler metal

Separation	Yield Strength[MPa]	Tensile Strength[MPa]	Elongation[%]
SM490A (SM355A)	≥345	410~550	≥22

Table 3. Welding procedure

Separation	Content
Joint	<ul style="list-style-type: none"> Type of Joint : See Joint Detail Single : [O], Double : [X] Backing : [O]
Base Metals	<ul style="list-style-type: none"> Mat'l class : SM490A Qualified thickness : 25 mm+30 mm (Groove) : unlimited (Fillet) : N/A Pipe dia range : N/A
Filler Metals	<ul style="list-style-type: none"> AWS Spec : A5.20 AWS class : E71T-1 Wire Size : φ1.4 Brand name : SF-71 (Hyundai General Metal Co., Ltd) Consumable insert : N/A
Shielding	<ul style="list-style-type: none"> Flux : Electrode-Flux(class) Brand name : N/A Gas(es) : CO_2 Type : CO_2 Composition of gas mixture : 100% Flow rate : 20~25 l/min Gas cup size : 10~20 mm Other : NONE
Preheat	<ul style="list-style-type: none"> Min. Preheat Temp : 25 mm UNDER(20°C), OVER(50°C) Mix. Interpass Temp : MAX. 250°C Other : NONE
Elec.Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> Current type : DCRP Transfer mode(GMAW) : N/A Other : NONE
Technique	<ul style="list-style-type: none"> String/wave : BOTH single / multi. Pass(PER SIDE) : MULTI single / multi. Elect : SINGLE Electrode spacing Longi : N/A, Lateral : N/A, Angle : N/A
Post weld heat treatment	<ul style="list-style-type: none"> PWHT Temp : 93~104°C Holding Time : 46~50H

용가재의 경우 SF-71(φ1.4), AWS Spec는 A5.20, AWS-class는 E-71T-1을 사용하였다. 용접부 보호를 위하여 CO_2 (Composition of gas mixture 100%) 가스를 사용하였으며 (유량: 20~25 l/min, gas sup size: 10~20 mm), 전류형태는 역극성(Direct Current Reverse Polarity, 이하 DCRP)을 사용하였다. 위빙은 BOTH, 팁과 모재와의 간격은 15~25 mm, Single, Multi. pass를 사용하였다. 또한 예열 시 최저예열온도는 20~50°C을 최대층간온도는 MAX. 250°C, 후열 처리 시 온도는 93~104°C, 후열처리시간은 46시간~50시간으로 하였다.

2.2 용접 자세별 형상

용접구조용 압연강재인 SM490A을 각기 다른 두께로 L:25T+R:30T 용접 하였다. 1G, 2G, 3G에 따른 용접 자세별 이음형상은 Figs. 1~3에 나타내었다. 1G에서는 판 두께 25 t(mm)에 루트간격 6s(mm), 각도는 45°, 뒷 받침대는 SM490A(두께 9 mm, 길이 75 mm)를 이용하였다. 2G에서는 판 두께 25 t(mm), 각도는 35°, 뒷 받침대는 SM490A(두께 9mm, 길이 75mm)를 이용하였다. 마지막으로 3G에서는 1G와 동일하게 판 두께 25 t(mm)에 루트간격 6s(mm), 각도는 45°, 뒷 받침대는 SM490A(두께 9 mm, 길이 75 mm)를 이용하였다.

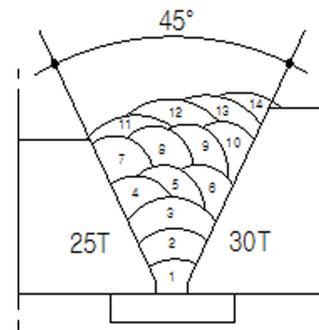


Fig. 1. Flat position(1G).

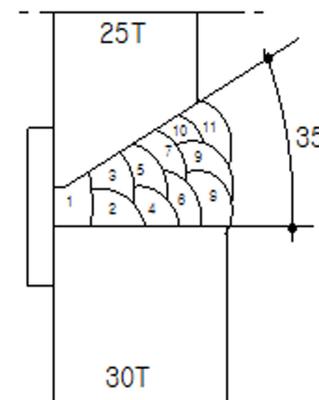


Fig. 2. Horizontal position(2G).

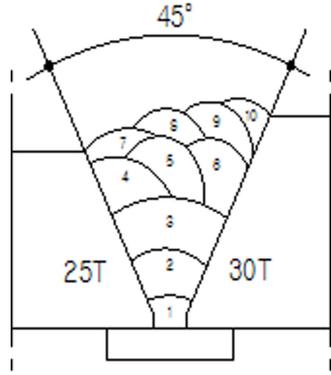


Fig. 3. Vertical position(3G).

2.3 기계적 특성 시험

인장시험은 강재의 기계적 성질 및 소재특성을 파악하기 위한 일반적인 시험방법으로 이를 통해 항복강도, 인장강도, 항복비 및 연신율 등을 알 수 있다. SM490A의 인장시험을 위해 KS B 0801(금속재료 인장시험편)에 따라 압연방향으로 인장시험편 4호 2개를 제작하여 실험을 하였다⁶⁾.

용접부 굽힘 시험은 용접부의 연성을 육안으로 확인하기 위한 방법으로 KS B ISO 5173(금속재료 용접부의 파괴시험-굽힘 시험)을 준용한다. 시험편을 구부려, 굽힘 시 표면의 터짐이나 기타 결점의 유무를 확인할 수 있다. SM490A의 굽힘 시험을 위해 직경은 표본의 4배, 굽힘 강도는 180°로 설정하여 실험을 하였다.

용접부 경도시험은 용접에 의한 경도분포를 조사하기 위해 꼭지각이 136°인 다이아몬드 사각추의 압입자를 1~120 kgf의 하중으로 시험편에 압입한다. 이때 생긴 오목 자국의 대각선을 측정하고 미리 계산 되어진 환산표와 비교하여 경도를 표시한다⁷⁾. KS B 0893(용접 열영향부의 최고경도 시험방법)에 따른 비커스 경도시험기를 사용하였으며, 자세별 3개의 시험편을 제작하여 10 kgf의 하중을 가해 실험을 하였다.

충격시험은 강재의 기계적 성질 및 소재특성을 파악하고 강재의 각 방향별 충격 특성을 파악하기 위해 실시한다. 본 연구에서는 KS B 0809(금속재료 충격시험편)에 따라 10 mm×10 mm×55 mm의 규격을 가진 3개의 시험편을 제작하였으며, 천이온도를 파악하고자 20°C의 온도에서 실험을 하였다.

단면의 조직을 육안으로 관찰하여 불순물 개입여부, 조직 균일정도, 라미네이션 발생여부 등을 확인하는 것을 목적으로 한다. KS D 0210(강의 매크로조직 시험방법)에 따라 조직시험을 계획하였으며, 시험편을 모재의 용접부 방향으로 설정하여 실험을 하였다⁸⁾.

3. 실험분석 및 결과

3.1 인장시험 결과

강재의 자세별 인장시험 결과는 Table 4~6에 나타내었다. 1G에서는 541 MPa, 2G에서는 556~561 MPa, 3G에서는 537~541 MPa으로 나타났다. 이는 KS 규격 인장강도 범위 (400~510 MPa)를 초과하여 인장시험간 모재가 파단되지 않았으며 이는 강재에 대한 스트레스 발생 가능성이 농후하여 향후 용접부에 대한 인장력 전달 성능에 문제가 발생할 것으로 판단되었다.

Table 4. Tensile test results(1G)

Specimen No.	Width [mm]	Thickness [mm ²]	Areas [mm]	Ultimate Stress [N/mm ²]	Remarks
No. 1	20.04	24.45	489.98	541	Ductile, Base Metal
No. 2	20.03	24.41	488.93	541	

Table 5. Tensile test results(2G)

Specimen No.	Width [mm]	Thickness [mm ²]	Areas [mm]	Ultimate Stress [N/mm ²]	Remarks
No. 1	19.95	24.27	484.19	561	Ductile, Base Metal
No. 2	20.03	24.53	491.34	556	

Table 6. Tensile test results(3G)

Specimen No.	Width [mm]	Thickness [mm ²]	Areas [mm]	Ultimate Stress [N/mm ²]	Remarks
No. 1	20.07	24.87	499.14	537	Ductile, Base Metal
No. 2	20.01	24.63	492.85	541	

3.2 굽힘시험 결과

SM490A의 자세별 굽힘시험 결과는 Table 7~9에 나타내었다. KS B ISO 5173(금속재료 용접부의 파괴시험-굽힘 시험) 방법에 따라 시험편을 구부려, 굽힘 시 표면의 터짐이나 기타 결점의 유무를 확인하였다. 용접자세별(1G~3G) 각 4개의 샘플(총 12개 샘플) 중 1G에서는 2개가 1.5 mm의 Open Discontinuity가 발생하였고, 2G에서 1개가 1.0 mm의 Open Discontinuity가 발생하였으나, 이는 실험 과정 중 발생한 오차로 인해 나타난 결과로 판단된다. 다른 샘플에서는 터짐 현상이 나

Table 7. Bend test results(1G)

Specimen No.	Type of Bend	Result	Remarks
No. 1	Transverse Side Bend Test	Acceptable	Open Discontinuity : 1.5 mm
No. 2			
No. 3			No Open Discontinuity
No. 4			

Table 8. Bend test results(2G)

Specimen No	Type of Bend	Result	Remarks
No. 1	Transverse Side Bend Test	Acceptable	Open Discontinuity : 1.0 mm
No. 2			
No. 3			No Open Discontinuity
No. 4			

Table 9. Bend test results(3G)

Specimen No	Type of Bend	Result	Remarks
No. 1	Transverse Side Bend Test	Acceptable	No Open Discontinuity
No. 2			
No. 3			
No. 4			

타나지 않았으며, 이는 소성변형 후에도 충분한 인성을 발휘하고 있으며, 용접방법에서도 별다른 이상이 없음을 알 수 있었다.

3.3 경도시험 결과

용접부의 경도는 냉각속도가 동일할 때 합금원소의 양에 따라 달라진다. 용접 경화성에 미치는 합금원소의 영향은 탄소당량으로 표시 되는데 이는 일반적으로 경도가 탄소당량의 증가에 따라 비례하여 증가하기 때문이며, 통상 비커스 경도가 400 Hv 이상이 되면 균열이 발생될 확률이 높다. 따라서 KS B 0893(용접 열영향부의 최고경도 시험방법)에서는 350 Hv 이하로 제한하고 있다. 자세별 경도시험 결과는 Tables 10~12와 같이 나타내었다. 1G 자세에서는 경도시험을 한 결과 SM490A의 좌측 모재부에서는 153~156, 열영향부에서는 201~211, 우측 모재부에서는 191~205, 열영향부에서는 159~160, 용착 금속부에서는 180~185의 결과가 나타났다. 2G 자세에서는 경도시험을 한 결과 SM490A의 좌측 모재부에서는 140~143, 열영향부에서는 161~173, 우측 모재부에서는 191~202, 열영향부에서는 159~160, 용착 금속부에서는 194~198의 결과가 나타

Table 10. Hardness test results(1G)

Position	LEFT								
	Base metal			HAZ					
	1	2	3	1	2	3			
Result	153	154	156	201	205	211			
Position	Weld Metal			RIGHT					
				Base metal			HAZ		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Result	181	180	185	205	199	191	159	160	159

Table 11. Hardness test results(2G)

Position	LEFT								
	Base metal			HAZ					
	1	2	3	1	2	3			
Result	143	141	140	161	166	173			
Position	Weld Metal			RIGHT					
				Base metal			HAZ		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Result	194	195	198	202	198	191	159	160	159

Table 12. Hardness test results(3G)

Position	LEFT								
	Base metal			HAZ					
	1	2	3	1	2	3			
Result	159	160	161	206	210	222			
Position	Weld Metal			RIGHT					
				Base metal			HAZ		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Result	214	214	219	239	231	229	162	160	161

났다. 3G 자세에서는 경도시험을 한 결과 SM490A의 좌측 모재부에서는 159~161, 열영향부에서는 206~222, 우측 모재부에서는 229~239, 열영향부에서는 160~162, 용착 금속부에서는 241~219의 결과가 나타났다. 이는 모두 KS B 0893의 규격치인 350 Hv보다 낮은 값으로 모든 자세에서 용접한 시료의 경도가 양호한 것으로 판단된다.

3.4 충격시험 결과

SM490A(용접 구조용 압연강재)는 KS D 3515에 사르피 충격시험 대한 기준 값이 27J로 명시되어 있다. 자세별 충격시험 결과는 Table 13에 나타내었다.

1G 자세에서 용접한 부분에 대한 충격시험의 결과 SM490A의 열영향부에서는 146J, 125J, 144J, 용착 금속부에서는 147J, 157J, 145로 나타났다.

Table 13. Impact test results(1~3G)

Type	Specimen No	HAZ(J) SM490A	Weld Metal
1G	No. 1	146	147
	No. 2	125	154
	No. 3	144	145
2G	No. 1	184	113
	No. 2	166	130
	No. 3	178	144
3G	No. 1	39	62
	No. 2	51	51
	No. 3	41	58

2G 자세에서 용접한 부분에 대한 충격시험의 결과 SM490A의 열 영향부에서는 184J, 166J, 178J, 용착 금속부에서는 113J, 130J, 144로 나타났다.

3G 자세에서 용접한 부분에 대한 충격시험의 결과 SM490A의 열 영향부에서는 39J, 51J, 41J, 용착 금속부에서는 62J, 52J, 58로 나타났으며 이는 KS 기준 값 27J 보다 큰 것으로 충격에 효율적인 것으로 나타났다.

3.5 매크로시험 결과

Fig. 4~6은 각 자세별 매크로 조직 시험결과를 나타낸 것이다. 이는 용입 상태, 다층용접 각층양상, 열 영향부 범위, 결함유무 등을 육안으로 관찰하는 것으로 시험결과 용접부 전면에 걸쳐 불순물(계재물)이 발견되지 않은 것으로 보아 라미네이션(Lamination)의 우려가 없으며 전체적으로 균일한 조직상태를 나타낸 것을 알 수 있었다.

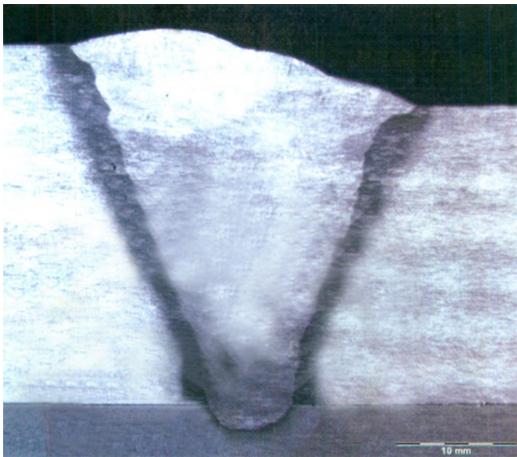


Fig. 10. Welded part macro test result(1G).

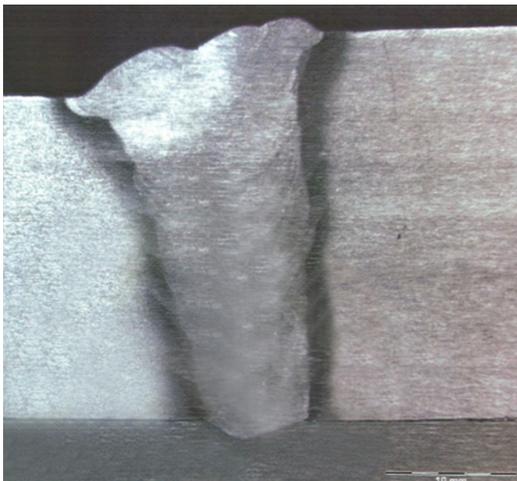


Fig. 11. Welded part macro test result(2G).



Fig. 12. Welded part macro test result(3G).

4. 결론

본 연구에서는 용접구조용 압연강재인 SM490A (L:25T+R:30T)을 플릭스 코어드 아크용접(FCAW)을 이용하여 이중용접 한 후 용접부의 기계적 특성을 인장, 굽힘, 경도, 충격, 매크로 시험을 통해 살펴보았다. 본 연구를 통해 도출된 주요 내용은 다음과 같다.

1. 인장시험 결과 용접 자세와 상관없이 모든 시험의 시험 결과가 KS 규격의 인장강도 범위(400~510 N/mm^2)를 초과 한 것을 보아 시험편 모재부의 파단이 발생하지 않았으며, 이는 용접부 평판에 대한 인장력 전달 성능에 문제가 있는 것으로 판단되었다.

2. 굽힘시험 결과 1G 자세 중 2개의 시험편에서 1.5 mm의 Open Discontinuity가 발생하였고, 2G 자세 중 1개의 시험편에서 1.0 mm의 Open Discontinuity가 발생하였으나 대부분의 시료에서 표면의 터짐 현상이 발생하지 않았고 기타 결점의 유무를 확인할 수 없었으며, 이는 용접 이후 소성변형 과정에서도 충분한 인성을 발휘하고 있는 것으로 나타났으며, 전 자세의 용접 방법이 굽힘 성능에 문제가 없는 것으로 판단되었다.

3. 경도시험 결과 모든 시험 시료의 모재부, 열영향부, 용착 금속부 경도가 KS B 0893의 규격치인 350 Hv 보다 낮은 것으로 보아 용접 이후 경도에 용접 자세 및 부위가 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

4. 충격시험 결과 모든 시험시료의 모재부, 열영향부, 용착 금속부 강도가 KS 기준 값인 27J 보다 높은 수치로 나타나 충격에 효율적이며, 용접 후 강도에 충격에 효율적인 것으로 밝혀졌다. 이를 통해 용접 후 강도에 용접 자세 및 부위가 영향을 미치지 않는 것으로

판단되었다.

5. 매크로 시험 결과 자세별 용접부의 형상은 균일한 조직 상태를 나타냈으며, 용접부 전단면에 걸쳐 개재물(이종 물질)이 발견되지 않은 것으로 보아 모든 용접 자세에서 용접 이후 라미네이션 등의 하자 우려가 발생되지 않는 것으로 판단되었다.

References

- 1) B. J. Cho and S. J. Lee, "Evaluation of Mechanical Test Characteristics according to Welding Position in FCAW Heterojunction", Journal of the Korean Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 20, No. 8, pp. 649-656, 2019.
- 2) J. H. Koh and J. H. Kook, "A Study on the Effect of Heat Input on the Microstructure and Toughness of Weldments Made by Domestic Flux Cored Wires", Journal of the Korean Welding society, Vol. 11, No. 4, pp. 57-69, 1993.
- 3) C. J. Ahn, "A Study on Mechanical Properties and Weldability Characteristics of Rolled (SHN400) H-Shape Section Steel", Master's thesis, Soongsil University Graduate School, pp. 1-4.
- 4) B. H. Kim, W. I. Kim, C. Choi and Y. H. Park, "Study of Weld Part Status Change by CO_2 Welding According to the Variation of Gas Composition and Welding Wire on SS400 Material", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 5, pp. 129-136, 2012.
- 5) B. C. Goo, "Fatigue of SS490A and SS400 Corroded Specimens", Journal of Korean Railway Association, Vol. 12, No. 5, pp. 725-731, 2009.
- 6) S. B. Kim, C. N. Lee, J. G. Yang and S. S. Kim, "Study on the Welding Characteristics of High Strength(500MPa) Reinforcing Bar According to Tensile Test", Journal of Architectural Institute of Korea Structural System, Vol. 27, No. 1, pp. 59-67, 2011.
- 7) D. H. Kim, D. Y. Kim, K. T. Lee and H. Y. Kim, "Strength Analysis of MIG Welding Specimen Considering Weld Characteristics", Conference on the Sector of the Korean Society of Automotive Engineers, Ilsan, Korea, pp. 1195-1201, 2012. 5.
- 8) J. Y. Kim, S. S. Kang, G. Y. Kim, S. C. Park and C. K. Kim, "Research on Fafigue Life Prediction of Muffler with Weld-zone Shape", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 36, No. 1, pp. 85-93, 2012.