

FCAW 이종접합에서 용접자세에 따른 기계적 시험 특성 평가

이성준*, 조병준**

*시흥도시공사

**한국폴리텍대학 신기술교육원

e-mail:lee201848@naver.com

Evaluation of Mechanical Test Characteristics according to Welding Position in FCAW Heterojunction

Soung-Jun Lee*, Byung-Jun Cho**

*Siheung Urban Corporation

**Korea Polytechnic University New Technology Education Center

요약

조선소, 교량 구조물, 건설기계, 플랜트 산업 등 다양한 분야에서 폭 넓게 활용되고 있는 이산화탄소 아크용접(FCAW: Flux Cored Arc Welding)은 피복 아크 용접(SMAW: Shielded Metal Arc Welding)의 단점을 보완하기 위한 대안으로 1950년대 초 개발되었다. FCAW는 모든 자세에서 용접이 가능하고 작업여건 변수가 많은 현장에서 우수한 품질을 얻을 수 있는 장점이 있어 탄소강과 합금강의 중판, 후판 용접에 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 FCAW를 이용하여 SS400(일반구조용 압연강재)와 SM490A(용접구조용 압연강재)를 이종용접한 후 용접부의 기계적 특성(인장시험, 굽힘 시험, 경도시험, 충격시험, 매크로시험)을 분석하고 다음과 같은 결론을 도출하였다. 인장시험 결과, 모든 용접 자세에서 KS 규격 인장강도 범위(400~510N/mm²)를 만족하였다. 굽힘시험 결과, 대부분의 시편에서 굽힘시 표면의 터짐 현상이나 기타 결점이 나타나지 않았고, 소성변형 후에도 충분한 인성을 발휘하는 것을 확인할 수 있었다. 경도시험 결과, 모든 결과 값이 KS B 0893의 규격치 350HV보다 낮게 나타나 양호한 것으로 판단된다. 충격시험 결과, 모든 결과가 KS 기준 수치인 27J 보다 큰 것으로 나타났다. 매크로시험 결과 용접부의 형상별로 균일한 조직 상태를 나타냈으며, 용접부 전단면에 걸쳐 내부 결함, 기포 또는 불순물 등이 발견되지 않아 라미네이션의 우려가 없는 것으로 나타났다.

1. 서론

FCAW(Flux Cored Arc Welding)는 용착률이 높고 전자세 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.

또한, 용접 접합부 내진성능에 영향을 미치는 강재나 용접 금속 등의 재료적 취약성과 용접상세의 개선을 통해 재료적 인 측면에서 그 특성들을 파악하여 접합부가 충분한 능력을 갖도록 규정하고 있는 상황이다.

용접 시 금속 재료가 가열, 용융, 융합, 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 불안정한 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 SS400과 SM490A를 이종용접 후 시험편을 채취하여 한국산업규격(KS)에 따라 인장시험, 굽힘시험, 경도시험, 충격시험,

매크로시험을 실시하고자 한다. 이를 통해 용접한 강재의 기계적 특성을 명확히 파악하여 용접부의 품질 및 안정성을 확인할 수 있는 구체적인 근거를 제시하는데 목적이 있다.

2. 실험방법

2.1 사용재료 및 실험조건

본 연구에서는 일반구조용 압연강재인 SS400과 용접구조용 압연강재인 SM490A를 이종 용접하여 시험용 모재(두께 25 mm)로 사용하였으며, Table1, 2에 각각 화학성분 및 기계적 성질을 나타내었다.

Table 1. Mechanical characteristics of base metal and filler metal

Separation	C	Si	Mn	P	S
SS400 (SS275)	≤0.25	≤0.45	≤1.40	≤0.050	≤0.050
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[%]
SS400 (SS275)	≥ 265	410~550	≥ 21
SM490A (SM355A)	≥ 345		≥ 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], SS400
Base Metals	<ul style="list-style-type: none"> Mat'l class : SS400+SM490A Qualified thickness : 25mm (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 · Gsa(es) Type : CO₂ Composition of gas mixture : 99.9% Flow rate : 20~25 ℓ /min Gas cup size : 10~20mm Other : NONE
Preheat	<ul style="list-style-type: none"> Min. Preheat Temp : 25mm 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 현대중합금속에서 생산된 SF-71(φ1.4), AWS Spec는 A5.20, AWS-class는 E-71T-1을 사용하였다. 용접부 보호를 위하여 CO₂ (Composition of gas mixture 99.9%) 가스를 사용하였으며 (유량: 20~25ℓ/min, gas sup size: 10~20 mm), 전류형태는 DCRP를 사용하였다. 위빙은 BOTH 이었으며, 팁과 모재와의 간격은 15~25mm 설정하였고 Single, Multi. pass를 사용하였다. 또한 예열 시 최저예열 온도는 20~50°C을 최대중간온도는 MAX. 250°C, 후열 처리 시 온도는 93~104°C, 후열처리시간은 45시간~50시간으로 하였다.

2.2 용접 자세별 형상

일반구조용 압연강재인 SS400과 용접구조용 압연강재인 SM490A을 이용하여 이중용접을 형상으로 하였다. 1G에서는 판 두께 25t(mm)에 루트간격 6s(mm), 각도는 45°, 뒷 받침대는 SS400(두께 9mm, 길이 75mm)를 이용하였다. 2G에서는 판 두께 25t(mm), 각도는 35°, 뒷 받침대는 SS400(두께 9mm, 길이 75mm)를 이용하였다. 마지막으로 3G에서는 1G와 동일하게 판 두께 25t(mm)에 루트간격 6s(mm), 각도는 45°, 뒷 받침대는 SS400(두께 9mm, 길이 75mm)를 이용하였다. 1G, 2G, 3G에 따른 용접본 연구에서는 일반구조용 압연강재인 SS400과 용접구조용 압연강재인 SM490A을 이중 용접하여 길이 75mm)를 이용하였다.

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. SS400, SM490A의 인장시험을 위해 KS B 0801(금속재료 인장시험편)에 따라 압연방향으로 인장시험편 4호 2개를 제작하여 실험을 하였다.

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. SS400, 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 표시한다. KS B 0893(용접 열영향부의 최고경도 시험방법)에 따른 비커스 경도 시험기를 사용하였으며, 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 10mm×10mm×55mm의 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 조직 시험을 계획하였으며, 시험편을 모재의 용접부 방향으로 설정하여 실험을 하였다.

3. 실험분석 및 결과

3.1 인장시험 결과

강재의 인장시험결과 1G에서는 457~461 MPa, 2G에서는 476~480 MPa, 3G에서는 466~469 MPa으로 나타났으며, KS 규격 인장강도 범위 (400~510 MPa)를 만족하였다. 모든 시험편의 모재부위에서 파단되어 용접부 평판의 인장력 전달 성능에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

3.2 굽힘시험 결과

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 1G와 3G 에서 각각 1개씩 0.5 mm의 Open Discontinuity가 발생하였으나, 이는 실험 과정 중 발생한 오차로 인해 나타난 결과로 판단된다. 다른 샘플에서는 터짐 현상이 나타나지 않았다. 결론적으로 소성변형 후에도 충분한 인성을 발휘하고 있는 것으로 판단되며, 용접방법에도 특별한 이상이 없음을 확인하였다.

3.3 경도시험 결과

용접부의 경도는 냉각속도가 동일할 때 합금원소의 양에 따라 달라진다. 용접 경화성에 미치는 합금원소의 영향은 탄소당량으로 표시된다. 이는 일반적으로 경도가 탄소당량의 증가에 따라 비례하여 증가하기 때문이며, 통상 비커스 경도가 400 Hv 이상이 되면 균열이 발생할 확률이 높다. 따라서 KS B 0893(용접 열영향부의 최고경도 시험방법)에서는 350 Hv 이하로 제한하고 있다. 1G 자세에서 용접한 부분에 대해 경도시험을 한 결과 SM490A의 모재부에서는 156~157, 열영향부에서는 212~222, SS400의 모재부에서는 226~235, 열영향부에서는 160~162, 용착 금속부에서는 186~189의 결과가 나타났다. 2G 자세에서 용접한 부분에 대해 경도시험을 한 결과 SM490A의 모재부에서는 164~165, 열영향부에서는 270~284, SS400의 모재부에서는 178~186, 열영향부에서는 153~156, 용착 금속부에서는 193~194의 결과가 나타났다. 3G 자세에서 용접한 부분에 대하여 경도시험을 한 결과 SM490A의 모재부에서는 146~154, 열영향부에서는 164~174, SS400의 모재부에서는 233~249, 열영향부에서는 165~169, 용착 금속부에서는 212~218의 결과가 나타났다. 이는 모두 KS B 0893의 규격치인 350Hv보다 낮은 값으로 모든 자세에서 용접한 시료의 경도가 양호한 것으로 판단된다.

3.4 충격시험 결과

SM490A(용접 구조용 압연강재)는 KS D 3515에 샤르피 충

격시험 대한 기준 값이 명시되어 있으나, SS400(일반 구조용 압연강재)는 KS D 3503에 별도의 기준이 명시되어 있지 않다.

1G 자세에서 용접한 부분에 대한 충격시험결과를 나타낸 것이다. SS400의 열영향부에서는 163J, 162J, 164J, SM490A는 144J, 152J, 166J, 용착금속부에서는 164J, 170J, 160J로 KS 기준값 27J보다 큰 것으로 나타났다.

2G 자세에서 용접한 부분에 대한 충격시험결과를 나타낸 것이다. SS400의 열영향부에서는 166J, 153J, 150J, SM490A는 194J, 184J, 179J, 용착금속부에서는 152J, 149J, 153J로 KS 기준값 27J보다 큰 것으로 나타났다.

3G 자세에서 용접한 부분에 대한 충격시험결과를 나타낸 것이다. SS400의 열영향부에서는 124J, 120J, 144J, SM490A는 181J, 190J, 186J, 용착금속부에서는 76J, 76J, 59J로 KS 기준값 27J보다 큰 것으로 나타났다.

3.5 매크로시험 결과

매크로 조직시험은 강재의 단면에 불순물의 개입여부, 조직균일의 정도를 육안으로 관찰하는 것이다. 시험결과 용접부 전단면에 걸쳐 개재물 등의 불순물이 발견되지 않아 라미네이션 등의 우려가 없고, 판 두께 방향으로 균질한 조직상태를 나타낸 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 SS400(일반구조용 압연강재)와 SM490A(용접구조용 압연강재)를 플럭스 코어드 아크용접(FCAW: Flux Cored Arc Welding)을 이용하여 이중용접 한 후 용접부의 기계적 특성을 인장, 굽힘, 경도, 충격, 매크로 시험을 통해 살펴 보았다. 본 연구를 통해 도출된 주요 내용은 다음과 같다.

1. 인장시험 결과 용접 자세와 상관없이 모든 시험편의 시험 결과가 KS 규격의 인장강도 범위(400~510N/mm²) 내에 있었다. 또한 시험편 모두 모재부위에서 파단이 발생되어, 용접부 평판의 인장력 전달 성능에는 문제가 없는 것으로 판단된다.
2. 굽힘시험 결과 대부분의 시료에서 표면의 터짐 현상이 발생하지 않았고 기타 결점의 유무를 확인할 수 없었다. 따라서 용접 후 소성변형 후에도 충분한 인성을 발휘하고 있는 것으로 나타났으며, 모든 자세의 용접 방법이 굽힘 성능에 유효한 것을 확인하였다.
3. 경도시험 결과 모든 시험시료의 모재부, 열영향부, 용착금

속부 경도가 KS B 0893의 규격치인 350 Hv보다 낮아 양호한 것으로 확인되었다. 이를 통해 용접 후 경도에 용접 자세 및 부위가 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

4. 충격시험 결과 모든 시험시료의 모재부, 열영향부, 용착금속부 강도가 KS 기준 값인 27J 보다 훨씬 높은 수치로 나타나 충격에 효율적인 것으로 밝혀졌다. 이를 통해 용접 후 강도에 용접 자세 및 부위가 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.
5. 매크로 시험 결과 용접부 형상별로 균일한 조직 상태를 나타냈으며, 용접부 전단면에 걸쳐 개재물 등의 불순물이 전혀 발견되지 않았다. 따라서 모든 용접 자세에서 용접 후 라미네이션 등의 하자 우려가 발생되지 않는 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] J. H. Koh, 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.
- [2] 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.
- [3] B. H. Kim, W. I. Kim, C. Choi, Y. H. Park, "Study of Weld Part Status Change by CO₂ 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.
- [4] B. C. Goo, "Fatigue of SS490A and SS400 Corroded Specimens", Journal of Korean Railway Association, Vol. 12, No. 5, pp. 725-731, 2009.
- [5] S. B. Kim, C. N. Lee, J. G. Yang, 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.
- [6] D. H. Kim, D. Y. Kim, K. T. Lee, 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.

- [7] J. Y. Kim, S. S. Kang, G. Y. Kim, S. C. Park, C. K. Kim, "Research on Fatigue Life Prediction of Muffler with Weld-zone Shape", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 36, No. 1, pp. 85-93, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.1.85>