

## SM490-TMC 후판(40 mm) 강재의 SAW 용접을 통한 기계적 특성 연구

이성준  
시흥도시공사

### A Study on Mechanical Properties of SM490-TMC Back Plate(40 mm) Steel by SAW Welding

Soung-Jun Lee  
Siheung Urban Corporation

**요약** 선박의 건조과정이나 압력용기의 몸체 부분을 용접할 경우 많이 사용되는 SAW(Submerged Arc Welding)는, 용접 부위에 분말 형태의 용제(Flux)를 일정 두께로 살포하고 그 속에 전극 와이어를 연속적으로 공급하여 용접이 이루어지는 방법으로 용접 시 발생하는 아크열이 외부로 노출되지 않는 특징이 있으며, 잠호용접으로 불리기도 한다. 또한 1,500~3,000A의 전류까지 통전 할 수 있는 고전류 용접이 가능하며 아크효율이 95% 이상, 미세한 금속 산화물 입자인 Welding Fume 발생량이 적고 아크광선이 외부로 노출되지 않아 청정한 작업이 가능하며 용입이 깊고 결함이 잘 발생하지 않아 용접 이음부의 신뢰도가 높다. 본 연구에서는 SM490C-TMC 후판을 서브머지드 아크용접(SAW)을 이용하여 이중 용접한 후 용접부의 기계적 특성을 인장, 경도, 매크로, 자분탐상 검사 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다. 굽힘 시험 결과 시료에서 표면의 터짐 현상이 발생하지 않았고 기타 결점의 유무를 확인할 수 없었으며, 이는 용접 이후 소성변형 과정에서도 충분한 인성을 발휘하고 있는 것으로 나타났으며, 1F 용접 방법이 굽힘 성능에 문제가 없는 것으로 판단되었다.

**Abstract** SAW (Submerged Arc Welding) is often used for ship construction or welding pressure vessels and involves spraying a flux in a powder form to a welding site to a certain thickness and continuously supplying electrode wires therein. This welding method enables high current welding up to 1,500 to 3,000 A. Arc efficiency is higher than 95% and the technique allows clean work as it creates less welding fume, which is composed of fine metal oxide particles, and the arc beam is not exposed. In this study, SM490C-TMC thick plates were heterogeneously welded by SAW. Mechanical properties of welds were measured, and welds were assessed macroscopically and for adhering magnetic particles. The following conclusions were drawn. Bending tests showed no spots exploded on sample surfaces or any other defect, and plastic deformation testing confirmed sufficient weld toughness. These results showed the 1F welding method has no shortcomings in terms of bending performance.

**Keywords** : Guide Bend, Hardness, Impact, Macro, SM490A, Tensile

---

\*Corresponding Author : Soung-Jun Lee(Siheung Urban Corporation)

email: lee201848@naver.com

Received December 22, 2020

Accepted March 5, 2021

Revised March 2, 2021

Published March 31, 2021

## 1. 서론

선박의 건조과정이나 압력용기의 몸체 부분을 용접할 경우 많이 사용되는 SAW(Submerged Arc Welding)는, 용접부에 분말 형태인 용제(Flux)를 일정한 두께로 살포하고 전극 와이어 공급을 통해 용접이 진행되는 방법으로 용접 시 발생하는 아크열이 외부로 노출되지 않아 잠호용접으로 불리기도 한다.

또한 1,500~3,000 A의 전류를 통전할 수 있고 고전류 용접이 가능하고, 효율이 95 % 이상, 금속 산화물의 입자인 용접 흄(Welding Fume)의 발생량이 적고 아크 광선이 외부로 노출되지 않아 청정한 작업이 가능하며 용입이 깊고 결합이 잘 발생하지 않아 용접 이음부의 신뢰도가 높다.

그러나 용접이 진행되는 동안 작업자가 육안으로 용접 상태를 확인하기가 어려워 비드 형상의 좋고 나쁨을 판단하기 어려운 단점이 있다.

용접 구조용 압연강재(SM490A)는 용접성이 뛰어나고 균열이 등 각종 문제가 생기지 않는 강재로 교량, 석유 저장조, 차량, 용기 등 여러 구조물에 사용되며, 특히 해양 구조물 및 교량 건조 시에 대량으로 사용되고 있음에도 불구하고 국내에서 기존에 선행되었던 연구 결과를 분석한 결과 대부분의 논문이 금속의 강도, 고온특성, 부식시험 평가와 관련된 연구가 다수 진행되었고, 각각 실험특성에 대한 결과 값만 도출되어 용접부에 대한 안전성 확보에 대한 부분이 누락되었다[1-3].

이를 보완하기 위해서는 용접 간 금속 재료의 가열, 용융, 응고, 냉각하는 일련의 과정이 단 시간 내에 이루어짐에 따라 잘못된 용접을 진행할 경우 결함, 이음 성능 저하 등 문제가 발생한다. 또한 불안정한 용접으로 인한 대형사고 등이 발생할 수 있음에 따라 용접 후 검사를 통해 용접부의 품질과 안전성을 확보하는 것이 매우 중요하다[1,2].

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

본 연구에서는 여러 산업 분야에서 주로 사용되고 있는 SM490-TMC 후판 강재를 용접 후 시험편 채취를 통해 한국산업규격(KS)에 따라 굽힘 시험, 경도시험, 맥크로 시험, 자분탐상검사를 실시하고자 한다. 이를 통하여 용접 강재의 기계적 특성을 파악하여 용접부에 대한 품질과 안전성을 확인할 수 있는 구체적인 근거를 제시하는데 목적이 있다[4-6].

## 2. 실험방법

### 2.1 사용재료 및 실험조건

본 연구에서는 SM490-TMC 후판 강재를 SAW 용접을 실시하였고, Table 1, 2에 금속의 화학성분과 기계적 성질에 대한 기준을 나타내었다.

용가재의 경우 SF-777MX(Ø4.8), AWS Spec는 A5.17, AWS-class는 EH-14를 사용하였다. 전류 형태는 정현파 교류(Alternating Current, 이하 AC)를 사용하였다. 위빙은 Stringer, 팁과 모재와의 간격은 40 mm, Single·Multi pass(PER SIDE)는 MULTI를 사용하였다[1,2].

Table 3. Welding procedure

Separation	Content
Joint	· Type of Joint : See Joint Detail · Single · Double · Backing : Yes
Base Metals	· Mat'l class : SM490 C-TMC (PILAC BT33) · Qualified thickness : 40 mm · (Groove) : unlimited (Fillet) : Yes · Pipe dia range : N/A
Filler Metals	· AWS Spec : A5.17 · AWS class : EH-14 · Wire Size : ϕ4.8 · Brand name : SF-777MX (Hyundai General Metal Co., Ltd) · Consumable insert : CA 502
Shielding	· Flux · Electrode-Flux(class) · Brand name : N/A · Gas(es) · Type : N/A · Composition of gas mixture : N/A · Flow rate : N/A · Gas cup size : N/A · Other : NONE
Preheat	· Min. Preheat Temp : 25 mm UNDER(20 ℃), OVER(50 ℃) · Mix. Interpass Temp : MAX. 250 ℃ · Other : NONE
Elec.Characteristics	· Current type : AC · Transfer mode(GMAW) : N/A · Other : NONE

Technique	<ul style="list-style-type: none"> <li>· String/wave : Stringer</li> <li>· single / multi. Pass(PER SIDE) : MULTI</li> <li>· single / multi. Elect : Double</li> <li>· Electrode spacing Longi : N/A, Lateral : N/A, Angle : N/A</li> <li>· Contact tip work distance : 30 mm</li> <li>· Peening : NONE</li> <li>· Inter pass cleaning : GRIND NIG AND / OR BRUSHING</li> </ul>
Post weld heat treatment	<ul style="list-style-type: none"> <li>· PWHT Temp : NONE</li> <li>· Holding Time : NONE</li> </ul>

## 2.2 용접 자세별 형상

SM490-TMC 후판 강재를 SAW 용접을 실시하였다. 1F에 따른 용접 이음 형상은 Fig. 1~2에 나타내었고, 판 두께 40 mm에 55°의 각도로 이용하였다.

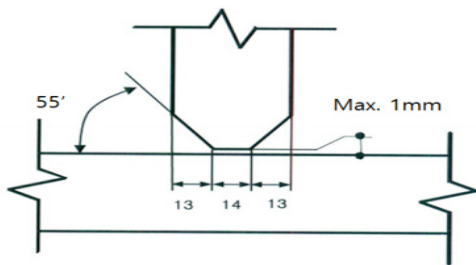


Fig. 1. Welding joint shape

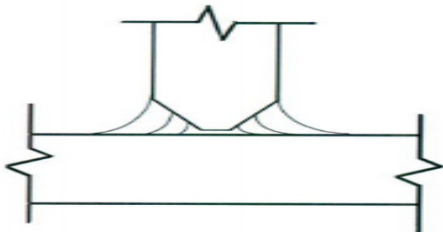


Fig. 2. Bead distribution shape

## 2.3 용접부 굽힘 시험

용접부 굽힘 시험은 용접부에 대한 연성을 육안으로 확인하기 위하여 KS B ISO 5173(금속재료 용접부의 파괴시험 굽힘 시험)을 준용하며, 시험편에 대한 시험을 통하여 표면의 터짐 등 기타 결점의 이상 유무를 확인할 수 있다. SM490A의 시험을 위해 직경은 표본의 4배, 강도는 180°로 설정 후 실험을 진행하였다[1,2,7].

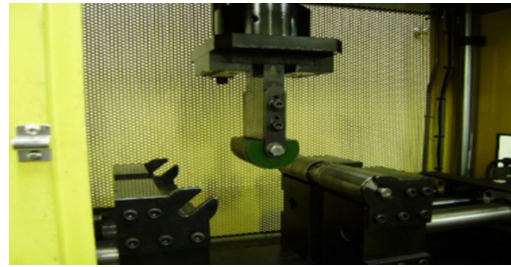


Fig. 3. Bend test device

## 2.4 용접부 경도시험

경도시험은 용접에 따른 경도 분포를 확인하기 위해 다이아몬드 사각추의 압입자(꼭지각이 136°)를 1~120 kgf의 하중으로 시험편에 압입하나 본 연구에서는 10 kgf의 하중을 가하며 오목 자국의 대각선을 측정 후 환산표와 비교하여 경도를 표시한다[1,2,8]. KS B 0893(용접 열 영향부의 최고 경도 시험방법)에 따라 Fig. 4의 비커스 경도 시험기를 사용하였으며, 자세별 3개의 시험편을 제작하여 10 kgf의 하중을 가해 실험을 진행하였다.



Fig. 4. Hardness tester

## 2.5 매크로 시험

매크로 시험은 용접부 단면의 조직을 육안관찰을 통하여 불순물 여부, 조직의 균일성, Lamination 발생 등에 대한 여부를 확인하는 것을 목적으로 하며 Fig. 5의 장비를 통해 KS D 0210(강의 매크로 조직 시험방법)의 기준에 따라 시험편 모재의 용접부 방향으로 설정하여 실험을 진행하였다[1,2,9].



Fig. 5. Macro test device

## 2.6 자분탐상검사

자분탐상검사는 시험체를 자화 시킨 후 표면 또는 내부에 존재하고 있는 불연속부(결함)에 의한 자속(Magnetic flux)이 누설되는 부위에 축적되는 자분의 모임 정도를 확인하여 표면 또는 표면 직하에 존재하는 결함의 유무와 위치를 확인하는 방법이다[1,2]. Fig. 6은 자분탐상검사를 하기 위해 반드시 필요한 자화, 자분 살포, 자외선 조사, 탈자 장치를 나타내었고, Table 4에는 자분탐상검사 방법을 나타낸 것으로 검사 대상물의 표면은 용접부 자화 방법은 연속법, 습식법, 비형광을 사용하였고, 탈자는 미 실시 하였다.



Fig. 6. Magnetic Particle Testing Equipment

Table 4. Magnetic Particle Examination procedure

Separation	Content
Surface Condition	· AS Welded
Testing Equipment	· Maker : NAWOO · Model : MY-2
Magnetization Technique	· Yoke · AC
Magnetization Method	· Continuous · Longitudinal · Wet / Color
Demagnetization	· NO

## 3. 실험분석 및 결과

### 3.1 굽힘 시험 결과

SM490-TMC 후판의 굽힘 시험 결과는 Table 4에 나타내었다. KS B ISO 5173(금속재료 용접부의 파괴시험-굽힘 시험)에 따라 시험편에 대한 굽힘 성능(표면의 터짐 등)을 통해 결점의 유무를 확인하였다. 1F 자세의 3개의 샘플 중 터짐 현상이 나타나지 않았으며, 이는 소성변형 후에도 충분한 인성을 발휘하고 있으며, 용접방법에서도 별다른 이상이 없음을 알 수 있었다.

Table 5. Bend test results

Specimen No	Type of Bend	Result	Remarks
No. 1	Transverse Side Bend Test	Acceptable	Open Discontinuity : 0.5 mm
No. 2			
No. 3			

### 3.2 경도시험 결과

용접부에 대한 경도는 냉각 속도가 동일할 경우 합금원소의 함유량에 따라 달라진다. 용접 경화성에 영향을 미치는 합금원소는 탄소 당량으로 표시가 되며, 이는 일반적으로 경도가 탄소 당량의 증가에 따라 비례하며 증가하기 때문이고, 통상 비커스 경도가 400 Hv 이상이 될 경우 균열이 발생될 확률이 높다. 이에 따라 KS B 0893(용접 열 영향부의 최고 경도 시험방법)은 350 Hv 이하로 제한하고 있다. 자세별 경도시험 결과는 Table 6와 같이 나타내었다. 1F 자세에서 경도시험을 한 결과 SM490-TMC 후판의 모재부에서는 164~176, 열영향부에서는 162~167, 용착 금속부에서는 184~188의 결과가 나타났다. 이는 모두 KS B 0893의 규격값인 350 Hv보다 낮은 값으로 결과 값이 도출됨에 따라 전 자세에서 용접한 시료에 대한 경도가 양호한 것으로 판단된다.

Table 6. Hardness test results(1F)

Position	Base Metal			HAZ		
	1	2	3	1	2	3
Result	164	169	176	162	162	167
Position	Weld Metal					
	1	2	3			
Result	188	184	186			

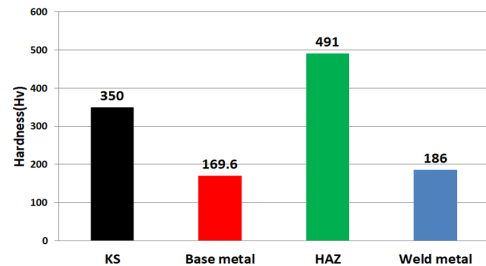


Fig. 7. Result of hardness test of fillet welding

### 3.3 매크로시험 결과

Fig. 8는 매크로 조직 시험 결과를 나타낸 것이다. 이는 용입 상태, 다층 용접부에 대한 각 층별 양상, 열 영향

부, 결합 여부를 육안으로 관찰하는 것으로 시험 결과 용접부 전면에 걸쳐 불순물(재재물)이 발견되지 않은 것으로 보아 Lamination의 우려가 없으며 전체적으로 균일한 조직 상태를 나타낸 것을 알 수 있었다.

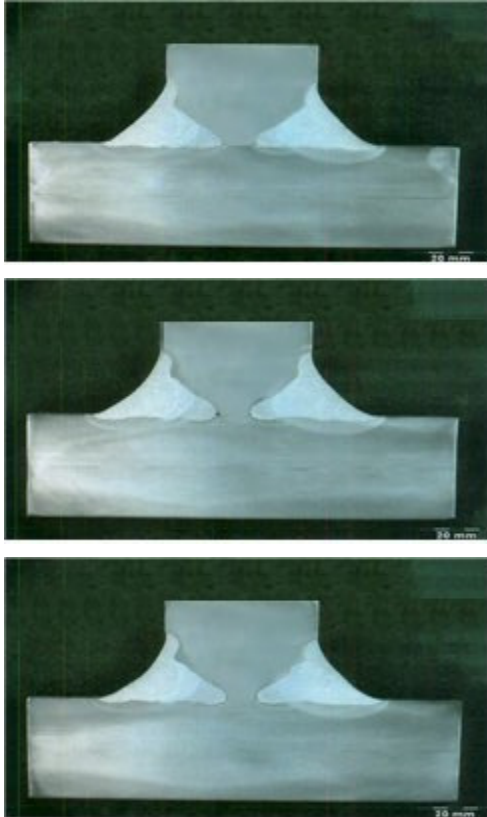


Fig. 8. Welded part macro test result

### 3.4 자분탐상검사 결과

자분탐상검사를 통해 세부적이고 정밀한 결과값을 얻기 위하여 탐상면을 직각으로 2 이상의 방향에서 자화를 실시하였고, 재료, 구조물에서 사용되는 철 및 강재 등의 결합 또는 구멍 등 Notch가 발생되지 않음에 따라 응력의 감소를 나타남에 따라 용접부에 대한 결함은 발견되지 않았다.

## 4. 결론

본 연구에서는 SM490C-TMC 후판을 서브머지드 아크용접(SAW)을 이중 용접 후 용접부에 대한 기계적 특성을 인장, 경도, 매크로, 자분탐상 검사를 실시하여 아래

와 같은 결과를 도출하였다.

1. 굽힘 시험 결과, 시험편(시료)의 표면 터짐 현상 및 결점 발생 유무를 확인할 수 없었으며, 이는 용접 이후 소성변형 과정에서도 적절한 인성을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 1F 용접 방법이 굽힘 성능에 문제가 없는 것으로 판단되었다.
2. 경도시험 결과, 모재부, 열영향부, 용착 금속부의 경도가 KS B 0893의 정규 규격치인 350 Hv보다 낮은 것으로 보아 용접 이후 경도에 용접 자세 및 부위가 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.
3. 매크로 시험 결과, 용접부 전면에 불순물 등이 발견되지 않은 것으로 보아 모든 용접 자세에서 용접 이후 Lamination의 우려가 나타나지 않은 것으로 판단되었다.
4. 자분탐상검사 결과, Notch가 발생되지 않았고, 용접부에 대한 별도의 결함이 발생되지 않은 것으로 보아 용접성에 대한 안전성은 문제가 없는 것으로 판단되었다.

## References

- [1] B. J. Cho, S. J. Lee, "Evaluation of Mechanical Test Characteristics according to Welding Position in FCAW Heterojunction", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.20, No.8, pp.649-656, 2019  
DOI: <http://doi.org/10.5962/KAIS.2019.20.8.649>
- [2] B. J. Cho, S. J. Lee, J. K. Rhim, "Evaluation of Mechanical Test Characteristics of Fillet Welding" *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.2, pp.535-541, 2020  
DOI: <http://doi.org/10.5962/KAIS.2020.21.2.535>
- [3] S. J. Lee, *Research on mechanical safety estimation of dissimilar joining through FCAW*, Ph.D dissertation, Hoseo University, pp.3
- [4] 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.
- [5] B. H. Kim, W. I. Kim, C. Choi, Y. H. Park, "Study of Weld Part Status Change by CO<sub>2</sub> 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.
- [6] B. C. Goo, "Fatigue of SS490A and SS400 Corroded Specimens", *Journal of Korean Railway Association*,

Vol. 12, No. 5, pp. 725-731, 2009.

- [7] J. Y. Kim, S. S. Kang, G. Y. Kim, S. C. Park, 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.1.85>
- [8] 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.
- [9] J. U. Park, "Computational Modelling to Predict the Welding Deformation in Steel Structures", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.8, No.1, pp.96-102, 2007

이 성 준(Soung-Jun Lee)

[정회원]



- 2018년 2월 : 한국교통대학교 글로벌 융합대학원 안전공학과(공학 석사)
- 2020년 8월 : 호서대학교 일반대학원 안전공학과(공학박사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 시흥도시공사 경영전략본부 매니저
- 2018년 9월 ~ 현재 : 한국산업 인력공단 출제 및 검토위원(용접분야)
- 2020년 12월 ~ 현재 : 산업기술 혁신평가단 정위원(주조/용접재료)

<관심분야>

이중 용접, 비파괴 분야