

SAPH440재료의 GMA용접시 용접변수에 따른 인장 강도 특성 평가

김원섭¹, 이종훈¹, 이한섭¹, 박상흠^{2*}

¹공주대학교 기계공학과

²공주대학교 기계자동차공학부

Evaluation of tensile strength according to welding variables in GMA welding of SAPH440

Won-Seop Kim¹, Jong-Hun Lee¹, Han-Seop Lee Seo¹, Sang-Heup Park^{2*}

¹Division of Mechanical Engineering, Kongju University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 본 논문은 자동차 구조용 열간 압연 강재인 SAPH440을 GMAW 겹치기 용접을 하여 용접 변수인 용접 전류, 용접 전압, 이송 속도를 달리하여 인장 특성을 평가하였다. GMAW 공정의 접합 변수에 따라 인장 시험을 수행하기 위하여 겹치기 용접 하여 KS B ISO 9018에 따라 시험편을 제작하여 실험하였다. 각 조건에 따른 비드 외관을 관찰하였고 그에 따른 인장시험을 하여 용접성을 평가하였다. 평가 결과 용접전류가 높을수록 깊은 용입이 형성되는 것을 알 수 있었으나 인장강도 측면에서는 모재부 파단으로 인해 일정 변수 이상부터는 큰 차이는 없는 것으로 확인되었다. 용접 전류 200A, 용접 전압 17V의 조건에서와 같이 전압에 비해 전류가 높으면 다량의 스파터가 발생하며 용접이 불안정하고 이로 인해 용접부 파단이 일어나는 것을 확인 하였다. 전압이 높을수록 대체로 결함이 발생 되지 않을 정도의 비드 외관을 관찰할 수 있었으며 너무 높은 전압 또한 용접성에 영향을 끼치는 것을 확인하였다. 너무 낮은 전류와 전압의 조건에서는 용접이 정상적으로 되지 않아 인장강도를 측정할 수 없었다. 그러나 용접이 가능한 용접 조건에서는 전류가 증가함에 따라 전압과 이송속도가 증가하더라도 인장강도에는 큰 영향을 미치지 않았다.

Abstract This study evaluated the tensile properties of SAPH440, a hot-rolled steel for automotive structural applications, based on GMAW lap welding, the welding current, the welding voltage, and the feed rate. Tensile tests were performed according to the joint parameters of the GMAW process, for which specimens were fabricated according to KS B ISO 9018 by lap welding. The bead appearance was observed in each condition, and the weldability was evaluated by the tensile test. Higher the welding current resulted in a deeper weld, but the tensile strength was not significantly different from when the parameter was fixed due to the fracture of the base material. When the current was higher than the voltage, as in the case of a welding current of 200 A and welding voltage of 17 V, a large amount of spatter is generated, the welding is unstable, and the welded part breaks. Higher the voltage resulted in the bead not causing defects in general, and it also affected the weldability. If the current and voltage were too low, the welding was not performed normally, and the tensile strength could not be measured. However, as the current increased, the increase of the voltage and the feed rate did not affect the tensile strength.

Keywords : GMAW, Lap-Welding, Tensile Strength, SAPH440, Welding

본 논문은 산업통상자원부, 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행 되었음. (No. 20161520101490)

*Corresponding Author : Sang-Heup Park(Kongju Univ.)

email: weldpark@kongju.ac.kr

Received June 5, 2019

Revised July 4, 2019

Accepted August 2, 2019

Published August 31, 2019

Table 1. Mechanical characteristics of base metal and filler metal

	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SAPH440 (Base)	275~305	≥440	29~35
SM-70 (Filler)	440	540	28

Table 2. Chemical compositions of base metal and filler metal

[wt%]

	C	Si	Mn	P	S	Al
SAPH440 (Base)	-	-	-	0.040	0.040	-
SM-70 (Filler)	0.07	0.83	1.47	0.017	0.020	-

1. 서론

자동차 산업의 경우 spot 용접을 주로 사용하고 있지만 spot 용접기가 용접할 수 없는 패공간 등에서 주로 CO2 용접을 사용하고 있다. 특히 차체 생산 라인과 자동차 부품 산업에서는 완제품을 생산하기 위해서 CO2 용접이 꼭 필요하다. 차체 생산 라인의 경우 사용되는 용접 자세는 전 자세가 거의 다 사용된다고 할 수 있지만 주로 아래보기 자세 또는 수평 필릿 자세로 용접하는 것이 일반적이다. 또한 용접 이음부는 제품의 복잡한 형상으로 인하여 주로 겹치기 이음을 사용한다.

겹치기 용접은 두 부재의 일부를 겹친 이음부를 용접하는 것을 말하며, 맞대기 용접 이음에 비해 강도가 떨어지기 때문에 돔, 관 받침대, 보강 받침대, 덮개판 등의 부착 외에는 사용하지 않는다. 현재는 주로 자동차 프레임 제작 시 사용되고 있어 이음부의 강도에 대한 관심이 매우 높아지고 있다.

기존 연구자들의 경우 용접형상의 재현성을 좀 더 높이기 위해 전류와 전압, 용접속도에 대한 민감도 분석과 같은 통계적인 방법을 사용하여 비드 형상을 예측하는 연구가 진행되었고[1], 다중회귀 분석을 통해 CO2 레이저 용접에서의 비드 예측 연구가 진행되었다[2]~[5]. 하지만 아크 용접 시 용접전류, 용접전압과 이송속도에 따라 비드 형상과 인장강도에 대한 연구는 아직 충분하지 않은 것 같다.

이에 본 연구는 현재 버스 프레임에 사용되고 있는 SAPH 440 재질을 사용하여 용접전류, 용접전압, 이송속도의 변화에 따라 형성되는 비드 외관을 관찰하였고 이에 따른 인장강도를 측정하여 용접성을 평가하였다.

Table 3. Welding parameters

Parameters	Condition	Unit
Joint Method	Lap	-
Welding Current	150	A
	160	
	170	
	180	
	190	
	200	
Welding Voltage	17	V
	18	
	19	
	20	
	21	
	22	
	23	
Welding Speed	300	mm/min
	420	
	540	
Shielding gas	CO2	-

2. 실험방법

본 연구에 사용된 자동차 구조용 열간 압연 강재인 SAPH440과 겹치기 용접에 사용된 용가재 SM-70에 대한 기계적 특성과 화학조성은 JIS 기준에 따라 Table 1 과 Table 2에 각각 나타내었다. 용접 조건은 Table 3에 나타내었다. 용접기는 PROTECH 사의 MIGWEL-353D 모델을 사용하여 자동용접 하였고, 토치각도 45°, 가스유량 15l/min으로 고정하였다. 각각의 실험조건으로 용접한 시험편을 접합 변수에 따라 인장시험을 수행하기 위하여 KS B ISO 9018에 따라 Fig. 1과 같이 시험편을 제작하였다. 겹치기 용접된 시험편을 레이저 절단을 한 후 기계적 특성을 평가하기 위해 SHIMADZU사의 25t급 만능 인장 시험기를 사용하여 1mm/min의 시험속도로 인장시험을 시행하였다.

Table 4. Tensile strength in welding speed 300mm/min

Unit:MPa

[A] \ [V]	17	18	19	20	21	22	23	24
150	-	352.4	440.5	477.9	469.5	-	-	-
160	480.1	473.0	479.4	473.5	470.5	-	-	-
170	-	480.9	482.5	477.9	473.6	476.5	-	-
180	-	445.4	475.7	469.8	473.3	480.1	-	-
190	-	-	479.9	472.1	469.3	478.1	477.0	-
200	-	-	479.4	471.7	467.5	473.9	470.3	483.9

Table 5. Tensile strength in welding speed 420mm/min

Unit:MPa

[A] \ [V]	17	18	19	20	21	22	23	24
150	-	183.7	466.5	455.4	473.4	-	-	-
160	457.4	468.9	453.2	454.3	472.6	-	-	-
170	-	473.0	447.8	477.2	484.5	462.4	-	-
180	-	464.7	476.3	478.0	480.4	479.5	-	-
190	-	-	441.0	469.8	473.7	478.6	484.1	-
200	-	-	474.2	464.9	476.2	482.6	463.1	480.9

Table 6. Tensile strength in welding speed 540mm/min

Unit:MPa

[A] \ [V]	17	18	19	20	21	22	23	24
150	-	-	468.7	467.9	463.5	-	-	-
160	321.4	459.4	474.0	479.6	463.3	-	-	-
170	-	195.3	462.5	452.6	463.2	480.5	-	-
180	-	182.6	457.8	473.9	483.8	476.7	-	-
190	-	-	459.6	468.9	465.6	456.2	475.9	-
200	-	-	464.0	457.4	451.1	477.2	463.8	476.9

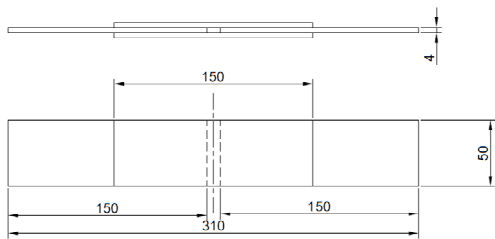


Fig. 1. Tensile Specimen

용접 속도(V)에 따른 입열량 H는 전압 E(V), 전류 I(A) 일 때 다음과 같다.

$$H = \frac{60EI}{V} (J/cm)$$

위 공식에 의하면 용접 속도가 느릴수록 입열량은 높

게 나온다. 식을 이용하여 용접 가능 구간에서 용접조건에 따른 입열량도 함께 검토하였다.

3. 결론

자동 이송 장치를 사용하여 이송속도 300, 420, 540 mm/min 으로 변화하며 각각 용접전류, 용접전압으로 용접을 한 결과 용접전류가 높을수록 깊은 용입이 형성되는 경향이 나타났다. Tables 4~6은 각 조건별 인장강도를 나타내고 있다.

Table 4는 300mm/min의 이송속도로 실험한 결과이며 인장강도는 대부분의 모재가 최소 인장강도인 440MPa을 넘는 것을 확인하였고, 150A 17V의 시험편은 용접이 제대로 되지 않아 용접부에서 파단이 일어나

인장값 측정이 불가능하였다. 150A-18V의 조건에서는 한쪽 용접부에서 파단이 일어난 후 다른쪽이 파단이 일어나 최대 인장값이 352.4MPa로 기준치에 도달하지 못했다.

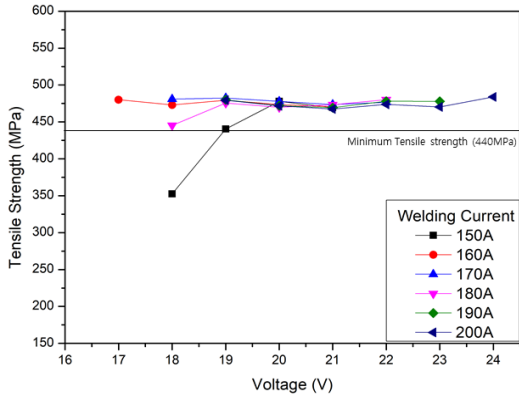


Fig. 2. Tensile shear strength with Voltage according to welding speed 300mm/min

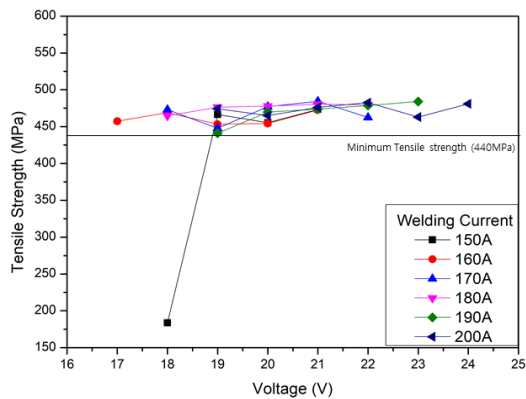


Fig. 3. Tensile shear strength with Voltage according to welding speed 420mm/min

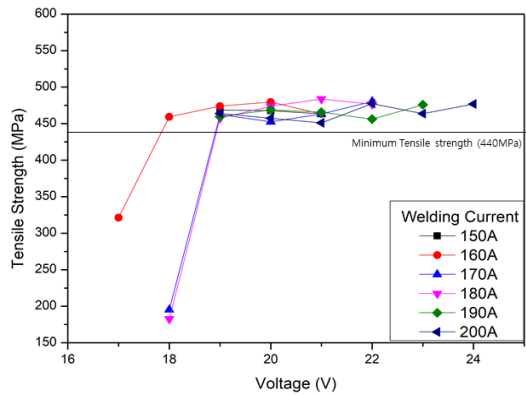


Fig. 4. Tensile shear strength with Voltage according to welding speed 540mm/min

Table 5는 420mm/min의 이송속도로 실험한 결과이며 5mm/min의 이송속도로 실험한 인장시험 결과와 비슷한 경향을 보였다. 그러나 150A-17V의 조건에서는 용접이 되지 않아 인장값 측정이 불가능하였고, 150A-18V의 조건에서는 용접은 되었으나 용접부 파단으로 인해 183.7MPa의 인장강도 값이 나온 것으로 확인되었다.

Table 6은 540mm/min의 이송속도로 실험한 결과이며 150A-17V, 150A-18V는 용착이 충분히 되지 않아 용접부가 떨어져 인장시험을 할 수 없었고, 160A-17V, 160A-17V, 170A-18V, 180A-18V의 인장값이 현저히 떨어지는 것을 확인하였다. 이는 용입이 되긴 했으나 충분한 용입이 되지 않아 시험편이 용접부에서 파단 되어 낮은 인장강도가 나온 것으로 판단된다.

대부분의 시험편은 모재부에서 파단이 일어났으나 전압에 비하여 높은 전류를 사용한 시험편은 용접부 파단이 일어났다. 또한 다량의 스패터가 발생하고 용접이 불안정하였다. 이는 전류는 와이어 송급 속도에 영향을 미치는데, 용접 입열량 부족으로 용입이 충분히 되지 않고 비드만 형성되어 용접부 파단이 일어나는 것으로 판단된다.

인장시험 결과에 대한 그래프를 용접 이송속도에 따라 Figs. 2~4에 각각 나타내었다.

Figs. 2~3과 같이 300mm/min와 400mm/min의 속도에서 용접한 시험편의 인장강도는 인장강도 면에서는 약간의 차이가 있었으나, 150A-18V의 조건을 제외하고는 대체로 최소인장강도를 만족하는 경향을 보였다.

Fig. 4와 같이 540mm/min의 속도에서 용접한 시험편은 빠른 용접속도로 인하여 낮은 전류에서는 용입이 되지 않아 용접부 파단으로 인하여 최소인장강도를 만족하지 못하는 부분이 비교적 많이 발생하였으나 19V 이상의 조건에서는 최소인장강도를 만족하는 경향을 보였다.

Figs. 5~7은 용접 전류에 대한 인장강도를 나타낸 그래프이며 용접이 정상적으로 되지 않은 데이터는 도시하지 않았다. 이론적 입열량 공식에 의하면 용접이 정상적으로 된 실험조건과 용접이 되지 않는 실험조건의 입열량은 큰 차이가 없었으나, 단순 입열량 계산으로는 용접 가능 조건을 판별하기에는 어려움이 있는 것으로 판단된다.

Fig. 5에서와 같이 300mm/min-150A-18V의 조건은 용접은 되었으나 충분한 용입이 되지 않아 용접부 파단으로 인하여 최소인장강도인 440MPa를 만족하지 않았으나 이를 제외한 용접이 된 모든 조건에서는 최소인장강도인 440MPa를 충족하는 것을 확인하였다.

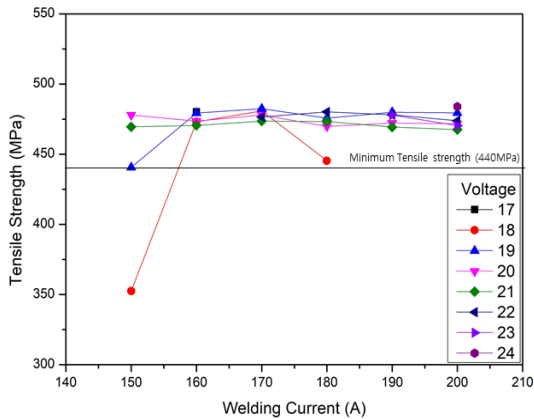


Fig. 5. Tensile shear strength with welding current according to welding speed 300mm/min

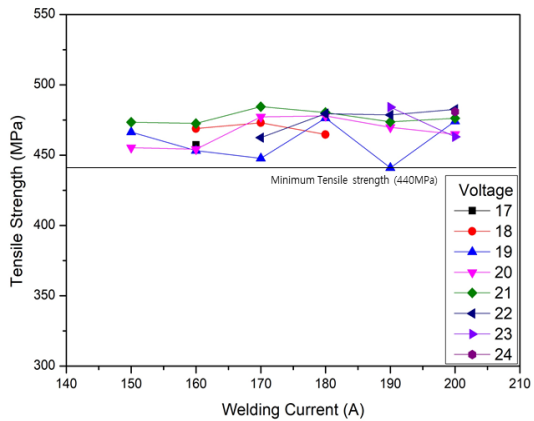


Fig. 6. Tensile shear strength with welding current according to welding speed 420mm/min

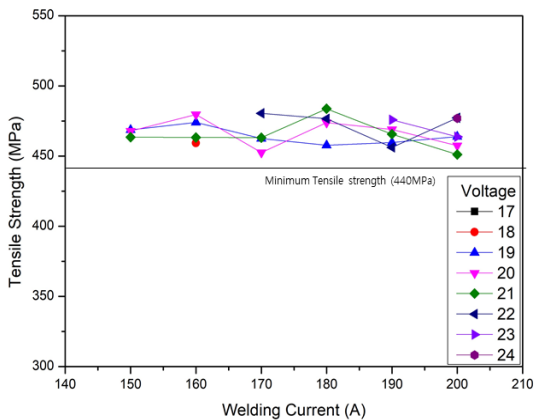


Fig. 7. Tensile shear strength with welding current according to welding speed 540mm/min

Figs. 5~7은 용접 전류에 대한 인장강도를 나타낸 그래프이며 용접이 정상적으로 되지 않은 데이터는 도시하지 않았다. 이론적 입열량 공식에 의하면 용접이 정상적으로 된 실험조건과 용접이 되지않는 실험조건의 입열량은 큰 차이가 없었으나, 단순 입열량 계산으로는 용접 가능 조건을 판별하기에는 어려움이 있는 것으로 판단된다.

Fig. 5에서와 같이 300mm/min-150A-18V의 조건은 용접은 되었으나 충분한 용입이 되지 않아 용접부 판단으로 인하여 최소인장강도인 440MPa를 만족하지 않았으나 이를 제외한 용접이 된 모든 조건에서는 최소인장강도인 440MPa를 충족하는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 SAPH 440 소재의 GMAW 용접시 용접전류, 용접전압, 이송속도의 변화에 따른 인장강도 특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 각각의 용접속도를 비교한 결과, 용접이 되지 않은 300mm/min-150A-17V, 20mm/min-150A-17V, 540mm/min의 150A-17V, 150A-18V를 제외한 대부분의 모재는 최소 인장 강도인 440MPa를 만족 하였으나 300mm/min-150A-18V, 420mm/min-150A-18V, 540mm/min의 160A-17V, 170A-18V, 180A-18V의 조건에서는 용접 입열량 부족으로 충분한 용입이 되지 않아 용접부 판단으로 인하여 최소 인장강도에 미치지 못하였다.
- 2) 전압에 비하여 높은 전류를 사용하게 되면 다량의 스파터가 발생되며 용접이 불안정하게 되는 것을 확인 할 수 있었고, 이로 인해 용접성이 불안정하여 오히려 용접부 판단이 일어나는 것을 확인 할 수 있었다.
- 3) 전류와 전압이 적정한 관계일 때 비드 외관 또한 미려한 비드가 발생한 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 너무 낮은 전압과 전류는 입열량 부족으로 충분한 용입이 안되어 용접부 판단으로 인해 최소인장강도에 미치지 못하는 것을 확인하였다.
- 4) 너무 낮은 전류와 전압의 조건에서는 용접이 정상적으로 되지 않아 인장강도를 측정할 수 없었다. 그러나 대체로 높은 전류와 전압의 조건에서는 전류가 증가함에 따라 전압과 이송속도가 증가하더라도 인장강도에는 큰 영향을 미치지 않았다.

References

- [1] D. S. Choi, J.S. Kim, H. J. Kim and B.Y. Lee, October, "A Study on Characteristic of Fracture in Lap Joint Welded STS429L", Journal of KWJS, 27-5 49-54, 2009
- [2] I. S. Kim, J. Y. Shim, I. J. Kim, H. H. Kim, "A Study on Sensitivity Analysis for Selecting the Process Parameters in GMA Welding Processes, Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers", 17-5, 30-35, 2008.
- [3] K. M. Lee, H. W. Sim, J. H. Kwon, B. D. Yoon, M.K. Jeong, M. S. Park and B. Y. Lee, "A Prediction of the Penetration Depth on CO2 Arc Welding of Steel Sheet Lap Joint with Fillet for Car Body using Multiple Regression Analysis Technique", Journal of KWJS, 30-2, 59-64, KCI, 2012.
- [4] B. H. Kim, W. I. Kim, C. S. Lee, "Inspection about Influences on the Weld Parts through the Change of the Position of Welding Torch and the Voltage During CO₂ Welding", J. Korean Society of Industrial Application, 14-2, 59-65, 2011.
- [5] H. S. Park, S. H. Rhee and K. W. Um, "Estimation of CO₂ Laser Weld Bead by Using Multiple Regression", Journal of KWS. 17-3, 26-35, 1999.

김 원 섭(Won-Seop Kim)

[준(학생)회원]



- 2018년 2월 : 공주대학교 기계시스템공학 (공학사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (석사과정)

<관심분야>

육성용접, 용접공학

이 종 훈(Jong-Hun Lee)

[정회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 기계시스템공학전공 (공학석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (박사수료)

<관심분야>

육성용접, 용접공학

이 한 섭(Han-Seop Lee)

[준(학생)회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계설계공학전공 (공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (석사과정)

<관심분야>

육성용접, 공정 최적화, 용접품질검사

박 상 흡(Sang-Heup Park)

[정회원]



- 1984년 2월 : 단국대학교 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 단국대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 홍익대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

용접시공 및 용접 자동화, 비파괴 검사