

HSLA 100 강재의 용접성 연구 (II)

A Study on the Weldability of HSLA 100 Steel (II)

윤중근, 박태동, 김광수, 심인옥*, 백두현*
 현대중공업(주) 산업기술연구소, 울산시 동구 전하동 1
 * 국방과학연구소, 대전시 유성

1. 서 론

고강도 강재인 HY 계열 강재에 대해서는 많은 용접시공상의 제약을 가지고 있어, 이를 대체하고자 탄소량의 저감, 결정립 미세화와 석출 강화효과를 이용한 HSLA(high strength low alloy) 강재가 개발되었다. 이 강재는 상업용으로는 ASTM A710으로 분류되며 군수용으로는 HSLA 80 혹은 100으로 승인되어 있다. 국내에서도 1990년대 중반에 HSLA 강재를 개발하였으며, 이 강재를 육상, 해양 및 군수 분야의 대형 구조물에 적용하여 용접생산성을 향상하고자 노력하고 있다. 일반적으로 HSLA 강재를 사용하면 HY 강재에 비하여 용접 제작비용이 절감되고 용접부의 물성이 우수하다고 보고되고 있으나, 아직 HSLA 강재에 대한 용접은 HY 강재에서 정립된 용접기술이 그대로 적용되어 HSLA 강재의 장점을 충분하게 활용하지 못하는 실정이다.

본 연구에서는 항복강도 100ksi 급 HSLA 강재에 대한 용접기술을 정립하고자, 국내에서 개발된 HSLA 100 강재를 이용하여 강재의 용접성, 적정 용접재료의 선정 및 용접기법과 조건 등에 대하여 체계적인 연구를 수행하였다. 본 보에서는 I 보에서의 결과를 토대로 형성된 HSLA 100 강재의 GMA 용접부에 대한 특성을 평가하고자 하였다. 또한 국내에서 개발된 HSLA 100 강재의 수준을 평가하고자, 외산 HSLA 100 강재와 HY 100 강재의 용접성과 용접부 특성도 함께 평가하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 강재는 25mm 두께의 HSLA 100 강재와 HY 100 강재이다. 각 강재의 저온 균열 민감성을 평가하기 위해 y-groove 시편을 이용한 Tekken 시험을 실시하였다. 시험은 ER120 와이어를 이용한 GMAW기법으로 입열량 약 17kJ/cm 조건에서 예열온도를 변수로 하여 수행하였다. 용접부의 특성 평가를 위하여 용접조건은 표 1과 같다. 용접시 예열은 HSLA 100 강재의 경우에는 무예열 및 50℃, HY 100 강재의 경우는 100℃로 하였다. 용접부 특성 평가는 횡방향 인장시험, 충격 시험, 경도시험 등으로 수행하였다.

Table 1. GMA welding condition employed

모재	용접 조건			예열 온도	개선 형상	용접재료
	전압(V)	전류(A)	입열 (kJ/cm)			
HSLA 100	28~30	260~300	18 ~ 22	상온, 50℃	K	ER120 1.2φ
HY 100				100℃		

3. 결과 및 고찰

3.1 모재의 특성

표 2는 본 연구에 사용된 HSLA 100 강재들과 HY 100 강재의 화학성분 분석 결과를 보여 주고 있다. HSLA 100 강재들은 공히 0.05wt.% 이하의 저 탄소 및 고 Cu (1.9wt.%)의 특징을 가지고 있는데, 양자간의 큰 차이는 Ni 함량과 Al, Nb의 함량이다. 반면 HY 100 강재는 0.14wt.%의 고 탄소 및 고 Cr-Ni의 화학적 특징을 보이고 있다. 탄소당량은 국산 HSLA 100 강재의 경우 0.76으로 HY 100 강재와 유사하지만 외산 HSLA 100 강재에 비해서는 높은 편이다. 그러나 용접성과 밀접한 저온균열 민감성지수인 Pcm은 HSLA 100 강재는 0.30 - 0.31 정도이며 0.37의 HY 100 강재에 비해 낮다. 각 강재에 대하여 두께 방향으로 경도시험을 실시한 결과, HSLA 100 강재들은 250~260 Hv 수준의 유사한 경도 분포를 가졌으나 HY 100 강재는 280~300 Hv의 높은 경도 분포를 나타내었다.

Table 2. Major chemical composition of the HSLA 100 and HY 100 steel used, wt.%

모재 (두께 25mm)	C	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	Nb	Ceq.	Pcm
국산 HSLA 100	0.035	3.73	0.64	0.41	1.90	0.56	0.45	0.76	0.31
외산 HSLA 100	0.05	1.71	0.62	0.46	1.92	0.03	0.023	0.68	0.30
HY 100	0.14	2.55	1.49	0.44	0.02	0.04	0.005	0.75	0.37

$$Ceq. = C + Mn/6 + (Cu+Ni)/15 + (Cr+Mo+V)/5$$

$$Pcm = C + Si/30 + (Mn+Cr+Cu)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10$$

3.2 강재의 저온 균열 민감성

그림 1은 각 강재들의 예열 온도에 따른 y-groove 시험결과를 보여 주고 있다. HSLA 100 강재에서는 무예열 용접일지라도 용접부의 표면이나 단면에서의 균열 발생은 없었다. 그러나 HY 100 강재인 경우에는 무예열 용접시 약 36%의 균열 발생률을 나타내었으며 예열온도가 50°C 이상인 경우에는 균열이 발생되지 않았다. HY 100 강재 용접부에서 발생된 균열은 응력 집중처인 root부의 열영향부에서 발생하여 열영향부를 따라 전파되었다. 이를 통하여 HSLA 100 강재의 우수한 저온균열 저항성을 확인할 수 있으며 HY 100 강재의 경우에는 반듯이 예열이 필요함을 알 수 있다.

3.3 GMA 용접부 특성 평가

그림 2는 각 강재의 GMA 용접부 경도분포를 도시한 것이다. HSLA 100 강재의 경우에는 무예열로 용접된 것이며, HY 100 강재의 경우에는 100°C의 예열이 적용된 것이다. 전반적으로 용착금속이 열영향부보다 낮은 경도 값을 가지고 있으며, 외산 HSLA 100 강재 용접부의 경우는 모재의 경도 값이 용착금속의 경도 값과 유사하거나 다소 낮다. HY 100 강재의 용접 열영향부 경우에는 100°C의 예열이 적용되었음에도 불구하고 최대 경도 값이 약 450Hv로 매우 높으며 HSLA 100 강재의 용접 열영향부에 비해 약 100~150Hv10 정도 높다. 각 강재의 용접부에 대한 횡방향 인장시험 결과, 국산 HSLA 100 강재와 HY 100 강재 용접부는 파단이 경도 값이 낮은 용착금속에서 발생하였으며 인장강도는 각기 약

855MPa와 약 890MPa 이었다. 그러나 외산 HSLA 100 강재 용접부는 파단이 모재에서 발생하였으며 인장강도는 약 800MPa 수준이었다.

그림 3은 각 강재의 GMA 용접부에 대한 -51℃에서 충격 시험한 결과를 보여 주고 있다. 전반적으로 용착금속에서 가장 낮은 충격 인성 값을 가지며 용착금속에서 모재 쪽으로 노치 위치가 이동함에 따라 충격 인성이 증가하고 있다. HSLA 100 강재의 열영향부가 HY 100 강재의 열영향부보다 높은 충격 흡수에너지로 지니고 있으며 국산 HSLA 100 강재가 외산에 비하여 인성이 높음을 알 수 있다. 한편 예열에 의한 HSLA 100 강재 용접 열영향부의 인성 변화는 현저하지 않다.

4. 결 론

1. ER120과 GMAW에 의한 y-groove 시험 결과, HSLA 100강은 무예열 용접조건에서도 용접부에는 균열이 발생하지 않았다. HY 100강의 경우 무예열시 용접부에서 균열이 발생하였으나 50℃의 예열 시에는 균열이 발생하지 않았다.
2. 국산 HSLA 100 강재와 HY 100 강재의 GMA 용접부의 인장강도는 약 855MPa와 약 890MPa 이었으며 파단은 용착금속에서 발생하였다. 외산 HSLA 100 강재 용접부는 파단이 모재에서 발생하였으며 인장강도는 약 800MPa 수준이었다. -51℃에서의 충격 시험 결과, HSLA 100 강재의 용접 열영향부가 HY 100 강재의 열영향부보다 높은 충격 흡수에너지를 가지고 있었으며 국산 HSLA 100 강재 열영향부의 인성 값이 외산 HSLA 100 강재 열영향부에 비하여 높았다.

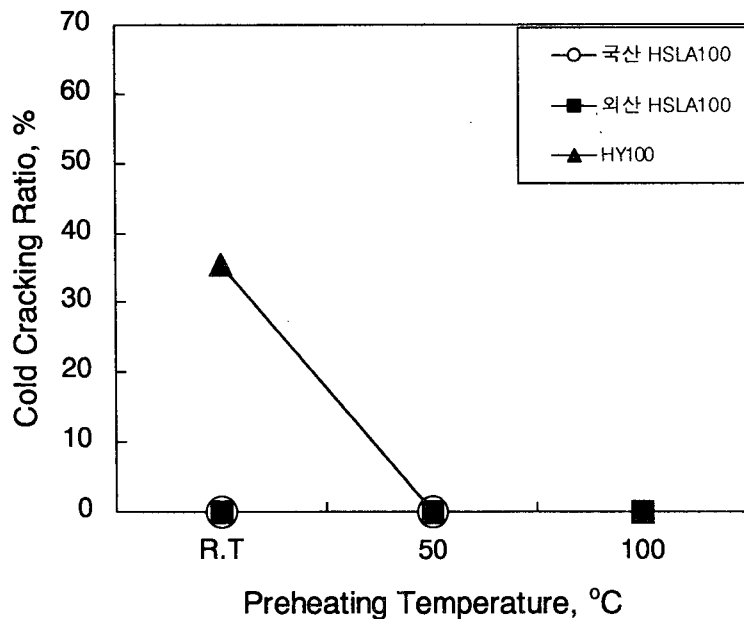


Fig. 1 Cold cracking ratio of HSLA 100 and HY 100 steel weldments obtained after y-groove test as a function of preheating temperature

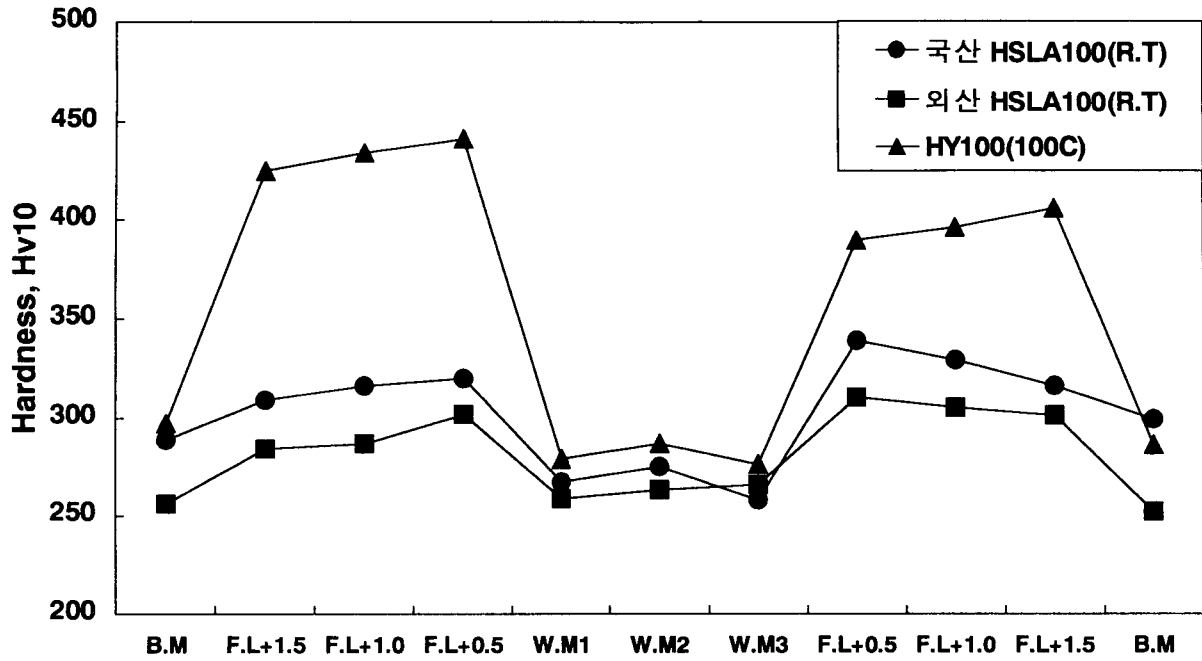


Fig. 2 Hardness distribution of HSLA 100 and HY 100 steel GMA weldments

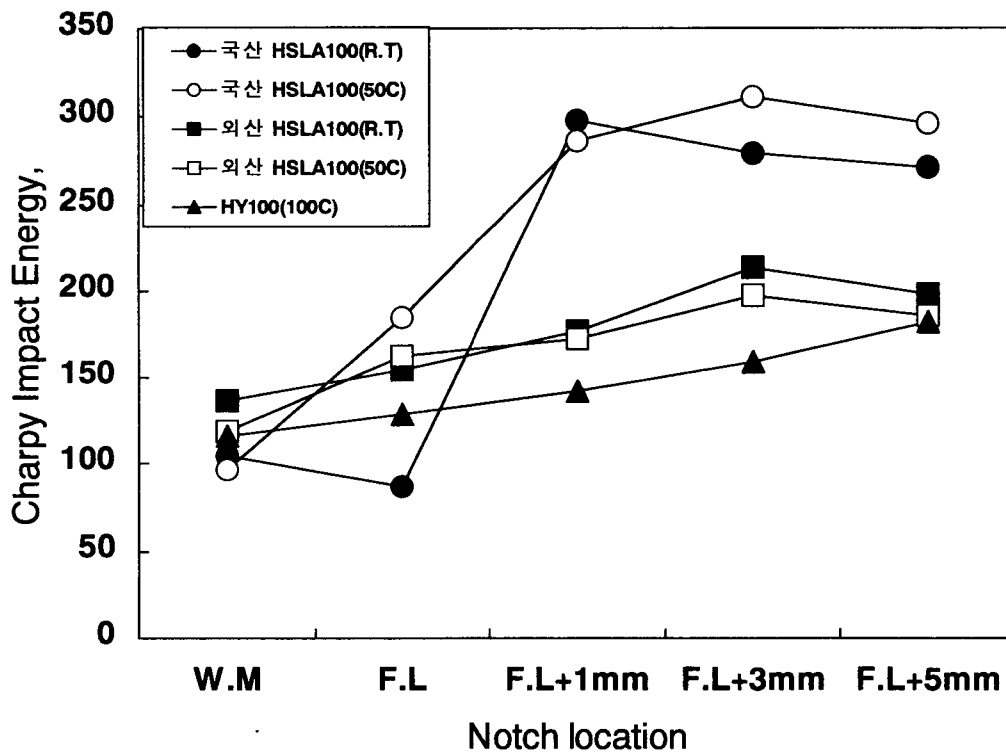


Fig. 3 Charpy impact toughness of each GMA weldment at -51°C