

550kJ/cm 대입열용접 적용이 가능한 50mm 두께 EH36-TM강

Development of 50mmt EH36-TM steel for high heat input welding up to 550kJ/cm

김충명*, 정홍철*, 장웅성**

* 포항종합제철(주) 기술연구소

** 포항산업과학기술연구원

1. 서론

선박의 대형화 추세에 있어서 조선 업체의 다른 공정의 개선에 의하여 조선 생산성을 증대시키는데는 어느 정도 한계에 이른 실정에서 TMCP강은 기존의 normalizing강에서 문제시되던 탄소당량의 증가로 인한 용접성 저하 문제를 해결할 수 있는 매우 유효한 수단으로서 실용화되었다. 특히 판 두께 50mm 이상의 후물 조선용 강재의 장점인 대입열용접을 적용하는데 있어서 매우 중요한 인자는 용접부 충격 인성과 고온 균열 감수성의 완화를 생각해 볼 수 있다. 이와 같은 특성을 고려하여 본 연구에서는 고온 균열 감수성이 매우 낮으며, 또한 50mm 판 두께의 전 두께를 1pass에 용접할 수 있는 550kJ/cm의 대입열 용접부에 있어서도 충격 인성 확보가 가능한 강재를 개발하여 그 품질 특성과 함께 화학 조성의 영향에 대하여 고찰하였다.

2. 시험재 및 실험 방법

시험재는 TMCP 제조법으로 생산한 EH36급 조선용 강재로서 판 두께 50mm로 포항제철 후판 공장에서 제조되었다. 기존에 사용되던 EH36-TM강과 이번에 개발된 EH36-TM 강재의 화학 조성은 화학 조성은 Table 1에 나타내었으며, 이들에 있어서 탄소 첨가량과 용접 열영향부 미시 조직 제어를 위한 미량 합금 원소들의 차이를 특징으로 볼 수 있다. 시험 대상재들의 기계적 성질은 Table 2에 나타내었으며, 모두 강재의 규격을 만족시키고 있다. 용접부 고온 균열 감수성을 평가하기 위한 시험 방법은 현재 조선 업체에서 적용하고 있는 고온 균열 감수성 평가 기법을 적용하였다. 용접 이음부에 대한 성능 평가를 위한 용접 조건은 50mm 판 두께를 양면 2pass로 용접하는 140kJ/cm의 SAW와 전 두께를 1pass로 용접하는 SEGARC 용접법을 적용하였으며, SEGARC 용접 조건은 50mm 두께의 용접을 위하여 당초의 설비 사용 범위에서 확대 변경되었다. 미량 합금 원소들의 영향을 평가하기 위하여 용접 열영향부에 대한 SEM, TEM 시험을 실시하여 석출물의 상태를 관찰하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

기존 강재 대비 EH36-TM강의 대입열 용접부 고온 균열 감수성을 감소시키기 위하여 강재의 화학 조성에서 탄소 첨가량을 감소시키고 강도 보상을 위한 합금 원소 첨가량을 조정하여 UCS 값을 7.11 수준으로 감소시켰다. Photo.1은 두 가지 소재의 모재에 대한 미시 조직을 광학현미경으로 관찰한 것이다. 이러한 소재에 대한 모재 특성은 후물재에 대한 저탄소화에도 불구하고 소재의 강도 저하 없이 충분한 강도를 확보하였으며, 기타 품질 특성 또한 매우 우수하게 나타났다. 새로운 성분계의 EH36-TM강에 대하여 수요가에서 제시한 고온 균열 시험을 실시한 결과 용접부에 고온 균열이 발생하지 않았다. 따라서 개발 강재에서는 기존 강재에 비하여 고온 균열 감수성 지수를 대폭 낮은 Table 1과 같은 적정 제조 성분계를 설정할 수 있었다. 도출된 성분계는 0.07%C-1.4%Mn-0.2%Ni-0.2%Cu의 기본 성분계에 Cr,

Mo, Ti, Nb 등이 적정량 첨가된다.

용접 이음부에 대한 인장 시험 결과는 Table 3과 같이 두 가지 조건의 용접부 모두 인장 강도와 항복 강도가 규격치를 충분히 만족시키는 수준으로 나타났다. 따라서 두 용접 조건 모두 구조 설계를 위한 강도 확보 측면에서 충분한 기능을 가진 것으로 판단된다.

개발강에 있어서 용접 입열량 140kJ/cm의 SAW 용접부 충격 인성은 Fig.1에서와 같이 가장 취약하게 나타나는 fusion line이 시험 온도 -20°C에서 150 ~ 196joule 정도로 나타나 강재의 용접부에 요구되는 수준(34joule ≤ vE₂₀)을 충분히 만족시켰다. 충격 인성 보증이 가능한 온도 한계는 가장 취약한 fusion line에서도 평균값으로 94joule 이상을 보이고 있는 -60°C까지 가능한 것으로 나타났다. 물론 기존 강재에 있어도 140kJ/cm의 SAW 용접부 충격 인성은 강재 규격을 충분히 만족하고 있었으며, 개발강의 충격 인성 변화는 Fig.2에서 비교한 바와 같이 기존 강재 대비 약 50joule 정도 향상되는 것으로 나타났다.

개발강은 또한 Fig.3에서 보는 바와 같이 550kJ/cm 입열량의 SEGARC 용접부에 있어서도 fusion line의 충격 인성이 -20°C에서 136 ~ 164joule 정도를 나타내 규격의 요구치를 충분히 만족시켰다. 용접 입열량 550kJ/cm의 초 대 입열 용접 조건하에서 충격 인성 보증이 가능한 한계 온도는 가장 취약한 fusion line에서 평균 64joule 이상을 보이고 있는 -40°C까지 확대할 수 있다.

개발강의 용접부 충격 인성이 이처럼 우수하게 나타난 것은 기존 강재에 비하여 탄소 첨가량이 낮아 용접 열영향부에서 martensite, bainite와 같은 경화 조직의 분율이 매우 낮으며, 또한 미량 합금 원소들의 작용에 의하여 grain boundary ferrite의 석출은 매우 억제된 반면에 인성이 우수한 것으로 알려진 acicular ferrite가 많이 형성된 데 기인하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

1) 판 두께 50mm로 생산된 새로운 EH36-TM강은 기존 강재에 비하여 고온 균열 감수성 지수가 크게 낮으며, 따라서 대 입열 용접부에서 고온 균열 발생이 없었다.

2) 개발강의 용접 열영향부 충격 인성은 동일한 용접 입열량에서 기존 강재 대비 50joule 이상 향상되었으며, 판 두께 50mm의 전 두께를 1pass에 용접하는 550kJ/cm 대 입열 용접부에서도 충분한 충격 인성을 가졌다.

Table 1 Chemical compositions of EH36-TM steel plates.

Thick-ness (mm)	Type	Chemical Compositions (wt.%)															
		C	Si	Mn	P	S	Sol-Al	Ti	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb	N (ppm)	Ceq*	UCS**	P _{cm} ***
50	M ¹⁾	0.073	0.25	1.46	0.010	0.004	0.020	0.014	0.032	0.01	0.20	0.19	0.016	40	0.341	7.11	0.169
	C ²⁾	0.116	0.23	1.33	0.015	0.004	0.029	0.010	0.02	-	-	-	-	60	0.347	17.55	0.190

* Ceq(%) = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 [WES]

** UCS(%) = 230C + 190S + 75P + 48Nb - 12.3Si - 5.4Mn - 1 [TWT]

** P_{cm}(%) = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B

1) M : Modified Product, 2) C : Conventional Product

Table 2 Mechanical properties of EH36-TM steel plates.

Thick. (mm)	Type	Charge No.	Plate No.	T. S. (MPa)	Y. S. (MPa)	Elongation (%)	vE _{-40°C} (joule)
50	M ¹⁾	X00326	D29410	496	378	28	334
	C ²⁾	Y85243	918452	497	365	25	234

1) M : Modified product,

2) C : Conventional Product

* T. S. : Tensile Strength

* Y. S. : Yield Strength

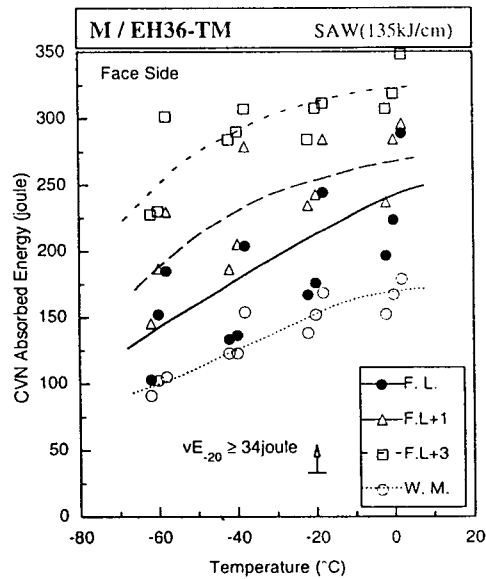


Fig.1 CVN absorbed energy of SAW joint developed steel.

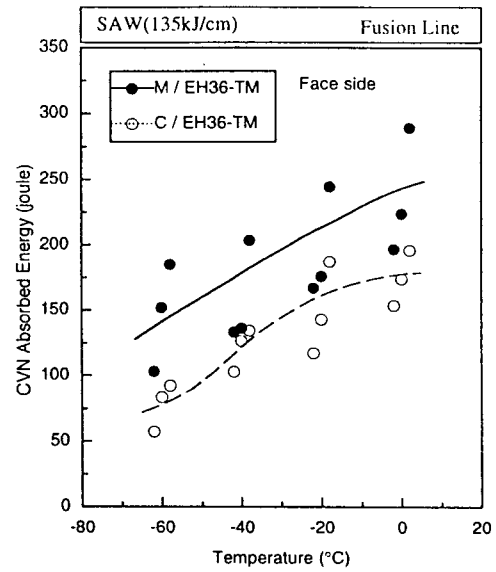


Fig.2 Comparison of CVN absorbed energy of SAW joints.

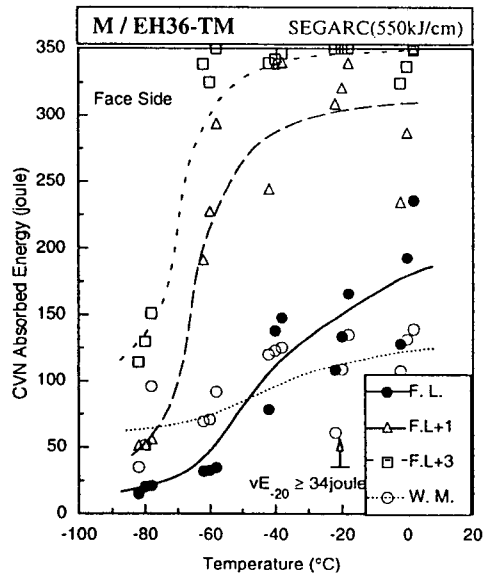


Fig.3 CVN absorbed energy of SEGARC welded joint of developed steel.

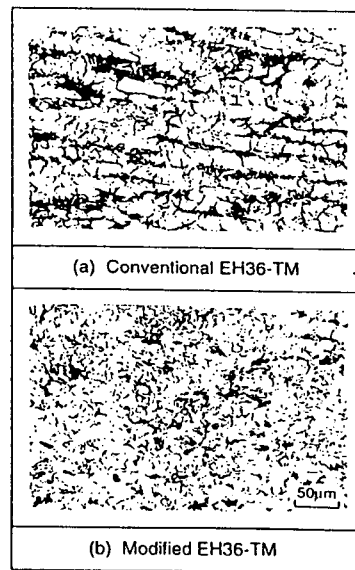


Photo.1 Microstructures of conventional and developed EH36-TM steels.