

9%Ni강의 용접성(II)

-용접부의 파괴특성-

Weldability of 9%Ni steel(II) -Fracture toughness of welded joint-

이종봉*, 한재광*, 장래웅*, 소문섭**

* RIST 용접연구센터, ** POSCO 품질관리부

1. 서론

최근 LNG탱크의 대형화 추세에 따라 더욱 높은 안전성이 요구되고 있으며, 특히 극저온에서의 사용재료에 대한 취성과파 발생 및 전과균열 정지특성의 평가는 탱크에의 실제 적용을 위해 일반적으로 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 고인성화된 국산의 극저온용 9%Ni강을 대상으로, 이러한 용접부의 취성과파 특성을 종합 평가함으로써 LNG 탱크에의 적용성을 검토하고자 했다.

2. 실험방법

사용한 시험재는 두께 25mm 및 37mm의 9%Ni강으로서, 그 화학성분, 기계적 성질 및 열처리 방법 등은 제1보¹⁾와 동일하다.

CTOD시험을 위한 용접부는 제1보¹⁾와 동일한 용접방법 및 용접조건을 사용하여 제작했다. 시험은 BSS762에 준하여 실시했으며, 시험편의 노치 가공 위치는 용접금속부(WM), Fusion line(FL), FL+1, FL+3, FL+5, FL+7mm의 위치로 세분하고, 시험은 -170 및 -196°C의 두 온도에서 실시했다.

Table 1은 대형시험을 위한 용접방법 및 용접조건을 나타낸 것으로, 개선형상, 용접조건 및 용접재료는 LNG 탱크의 실제 제조시와 동일하게 했다. Fig.1은 대형 인장시험편의 형상을 나타낸 것이다. 중앙부의 노치 크기는 240mm이며, 노치선단의 위치는 FL+3mm로 하고, 시험은 -170 및 -196°C의 두 온도에서 실시했다. 한편, Fig.2는 duplex ESSO시험편의 형상을 나타낸 것이다. 시험편과 취화판은 3.5%Ni강용 용접재료를 사용하여 SAW를 실시했으며, 취화판의 표면에는 균열이 시험편의 FL+3mm에 쉽게 돌입할 수 있도록 guide 노치를 가공했다. 또, 취화판에서의 균열전파 속도는 strain gauge를 사용하여 측정했으며, 시험편에 돌입하기 직전의 속도를 800m/sec 이상으로 했다. 시험시의 하중은 40kg/mm²로 하고, 시험온도는 -170°C로 했다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.3 및 Fig.4는 각각 37mm 두께의 SMAW 및 25mm 두께의 GTAW이음부에 대한 CTOD시험 결과를 나타낸 것이다. 두 결과 모두 -196°C에서의 CTOD값(δ_c)이 FL+3mm에서 0.12~0.19mm로서 최소치를 보이고 있다. 그러나 이 위치에서도 -170°C에서는 δ_c 가 0.33~1.15mm의 높은값을 보이며, 이러한 극저온에서의 용접부의 δ_c 는 최근의 타사 제품의 결과²⁾와 비교할때 동등 이상의 수준이다.

Fig.5는 대형인장시험 결과를 나타낸 것으로, pop-in의 발생시점 및 최대 하중시의 파괴인성치(K_c)를 병기하였다. 모든 시험편의 균열은 노치선단으로 부터 진전되어 최대하중을 지난 후에는 용접금속에서 파단됐다. 시험결과로부터, 본 시험범위 내에서는 K_c가 용접방법 및 판두께의 변화에 거의 무관하며, 그 값이 약 710~1135kgf/mm²의 범위임을 알 수 있다. 또 pop-in시점의 K_c를 기준할때, -170°C가 -196°C에 비해 70~165kgf/mm² 정도 높

은 값을 보이고 있다. 이러한 Kc는 용접 입열량, 불순물 원소 등에 따라 변화하겠지만, 본 시험에서 얻은 값은 동일한 최근의 다른 시험결과와 비교할때 상당히 높은 수준이다.

한편 예측하지 못한 취성파괴가 발생한 경우의 균열전파 정지특성을 평가하기 위한 duplex ESSO 시험결과를 Table 2에 나타냈다. 또 Fig.6은 예로서 37mm의 SMAW 및 GTAW에 대한 파면사진을 나타낸 것이다. 시험재 모두 최저 사용온도에서 균열의 전파가 정지되어 정확한 취성균열 전파정지 인성치(K_{IC})는 추정할 수 없지만, 이 시험결과로부터 K_{IC}는 최소 950kgf/mm²이상이라고 평가 할 수 있다.

이상의 시험결과로부터, 본 시험재의 용접부는 취성균열의 발생 뿐아니라 취성균열의 전파정지 특성도 양호하여 내취성파괴특성이 극히 우수함을 알 수 있다. 따라서, 본 강재를 LNG 탱크에 실제 적용하는 경우에도 취성파괴에 대한 충분한 안전성을 확보할 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- 1) 이 종봉 외 : 용접학회 춘계 학술발표 개요집, 1994
- 2) 町田 외 : 壓力技術, 29-6, 1991, 341

Table 1 Welding conditions of 9%Ni steel plate for large scale test

Casting Method	Plate Thick. (mm)	Welding Method	Test Dir.	Welding Conditions						
				Edge Preparation	Multi-pass Layer	Welding Material	Current (A)	Voltage (V)	Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/cm)
IC	25	SMAW	L	X	5	NIC-70S	100~120	25	55~80	25
		GTAW	L	X	5	NF196	220~280	10.5	45~60	31
	37	SMAW	L	X	7	NIC-70S	90~120	25	55~90	23
		GTAW	L	X	8	NF196	220~290	10.5	45~65	30

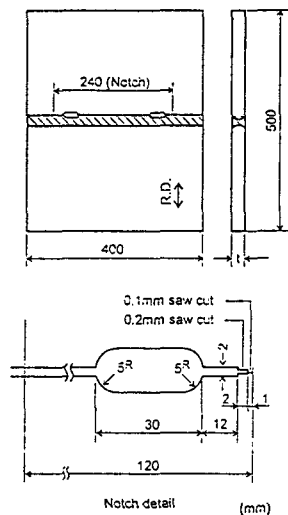


Fig.1 Configurations of center notched wide plate tension test specimen

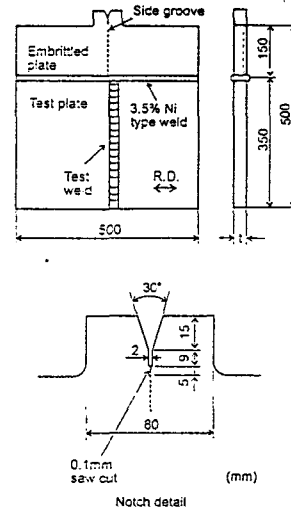


Fig.2 Configurations of duplex ESSO test specimen

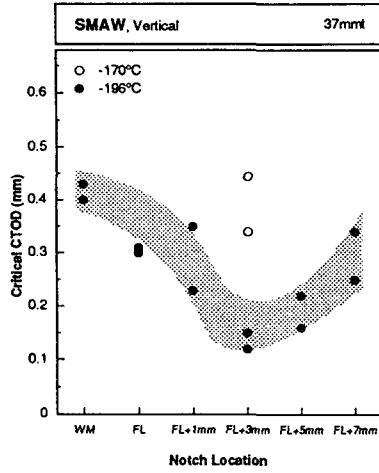


Fig.3 CTOD value at the various notch location in SMA welded joint

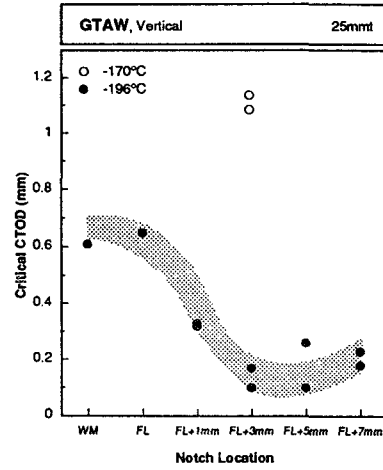


Fig.4 CTOD value at the various notch location in GTA welded joint

Table 2 Results of duplex ESSO test

Cast Method	Plate Thick. (mm)	Welding Method	Position	Dimension of Specimen		Applied Stress σ (kgf/mm ²)	Test Temp. T (°C)	Arrested Crack Length a (mm)	Fracture Toughness K _{IC} (1) kgf√mm/mm ²	Note
				Thick. t (mm)	Width W (mm)					
IC	25	-	BM	24.3	500	40	-174	176	>994	Arrest
		SMAW	HAZ	24.4	500	40	-175	169	>969	WM Arrest
		GTAW	HAZ	24.3	500	40	-174	165	>955	HAZ Arrest
	37	-	BM	36.8	500	40	-173	178	>1,001	Arrest
		SMAW	HAZ	36.8	500	40	-173	174	>987	HAZ Arrest
		GTAW	HAZ	36.8	500	40	-174	176	>994	WM Arrest

$$(1) K_{IC} = \sigma \sqrt{\pi a} \sqrt{(2W/\pi a) \tan(\pi a/2W)}$$

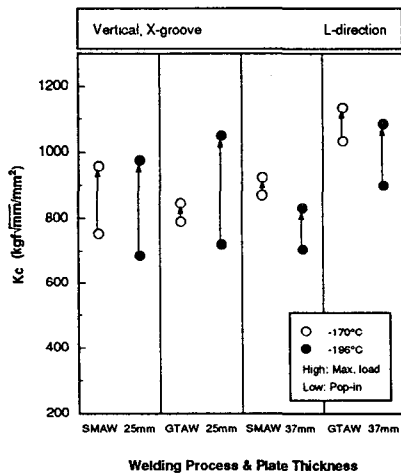


Fig.5 Fracture toughness value of welded joint

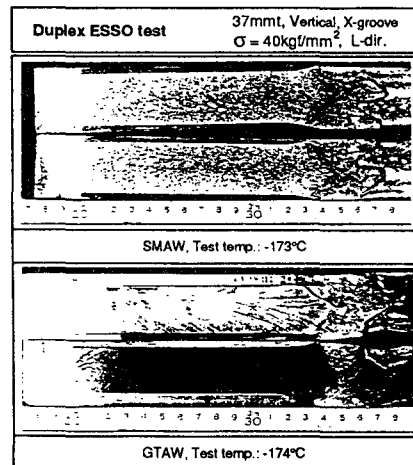


Fig.6 Fracture faces of duplex ESSO test specimen