

# CCA 시험을 이용한 초저온용 강 용접부의 균열정지인성 평가

## Evaluation of Crack Arrest Toughness for Cryogenic Steel Weldment Using CCA Test

장 재일, 김 철만\*, 양 영철\*, 김 우식\*, 주 장복, 권 동일  
서울대학교 재료공학부, 151-742, 서울  
한국가스공사 연구개발원, 425-150, 안산\*

### 1. 서론

9% Ni강은 그 우수한 저온 인성으로 인하여  $-162^{\circ}\text{C}$ 의 액화점을 가진 LNG(Liquefied Natural Gas)외에 액체산소(LOX,  $-183^{\circ}\text{C}$ ), 액체질소(LIN,  $-196^{\circ}\text{C}$ ) 등 저온액화가스 저장용 기재료로 세계적으로 수많은 사용실적을 가지고 있으며, 아직까지도 대규모의 파괴사례는 보고된 바가 없다. 그러던 중 1977년 Qatar에서 있는 LPG 저장탱크(탄소강 내조)의 대형 파괴사고 이후 GRI(Gas Research Institute)는 9% Ni강의 취성과파괴 정지인성을 주제로한 이상형 LNG 저장탱크의 이른바 이중안전성(double integrity)에 관한 논의를 시작하게 되었고, 미국, 일본, 영국을 주요국으로 하는 세계적인 대형연구과제가 진행되게 되었다. 이후부터 현재까지 9% Ni강의 신상품에 대한 혼성 ESSO(duplex ESSO) 시험과 혼성이중인장(duplex double tension) 시험 등 대형시험을 통한 균열정지인성 Kca의 평가는 일반적이고 필수적으로 진행되어 왔다. 국내의 LNG저장탱크의 내조로 사용되는 QLT 열처리 9% Ni강의 경우도 이미 대형균열정지시험을 통하여 균열정지인성의 우수함을 인정받은 바 있다. 하지만 이러한 대형균열정지시험의 경우, 용접열영향부(heat affected zone : 이하 HAZ)내의 평가대상위치의 선정이 용이하지 않아서 HAZ내의 인성변화를 평가하기 어려운 단점이 있다. 또한 아직까지 9% Ni강의 대형파괴사고가 보고된 바가 없음을 감안할 때 장거리 균열정지성능을 평가하는 대형시험에 비하여 단거리 균열정지성능(short crack arrestability)을 평가하는 소형균열정지(compact crack arrest : 이하 CCA) 시험이 본 초저온용 강의 정지인성평가에 더욱 자세한 정보를 제공할 것으로 보인다. 이에 본 연구자들은 국내의 저장탱크에 사용되는 QLT 열처리 9% Ni강의 HAZ에 대하여 CCA 시험을 수행하여 균열정지인성을 평가하고 HAZ내 변화를 분석하고자 하였다.

### 2. 실험 방법

실험에 사용된 시험편은 QLT열처리를 통하여 제작된 22mm두께의 9% Ni 강으로 그 화학 성분과 상온에서의 기계적 성질을 표 1에 나타내었다. 이러한 후판 9% Ni강을 SMAW방식과 SAW방식으로 용접을 행하였는데, 용접조건은 실제 LNG저장탱크의 용접에 사용되는 조건으로 행하였고 이를 표 2에 나타내었다.

HAZ내의 균열정지인성을 평가하기 위한 CCA 시험은 ASTM E1221에 따라 수행하였고 시험기로는 Instron사의 50ton급 동적시험기를 사용하였다. HAZ 내의 평가대상위치로는 용

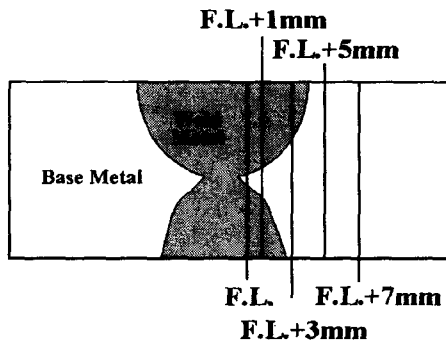
접용용선으로부터 시작하여 용융선+7mm에 이르기까지 SMA용접부와 SA용접부에 대하여 각각 수행하였다. 이때 균열의 전파경로를 일정하게 하기 위한 side-groove의 도입으로 인한 두께감소효과를 보정하기 위하여 일본용접규격협회의 WES 3003방식에 따라 결과치를 수정하여 해석하였다. 또한 균열정지인성에 의하여 얻은 결과들을 본 연구자들이 기존의 동일대상에서 수행한 균열발생인성치와 비교 분석하였다.

**Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of QLT-9% Ni steel.**

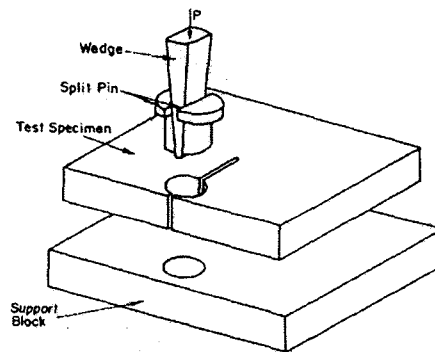
Chemical Compositions (wt%)						Mechanical Properties (at R.T.)		
C	Si	Mn	P	S	Ni	YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)
0.066	0.24	0.65	0.005	0.005	9.28	685	755	36

**Table 2. Welding conditions used for this study.**

Welding method	Edge preparation	Polarity	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Heat input (KJ/cm)
SAW	X	DC	320~360	25~28	25~53	Max. 24
SMAW	X	AC	100~130	25	5~7	Max. 30



**Fig. 1. Notch locations for toughness evaluation.**



**Fig. 2. Schematic view showing arrangement of CCA test.**

### 3. 결과 요약

본 9% Ni강의 SA와 SMA 용접 HAZ에 대한 CCA시험을 수행한 결과, 모든 부위에서 아주 높은 취성균열정지인성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 이러한 9% Ni강의 우수한 균열정지인성에 의하여 취화비드에서 발생한 취성균열은 본 재료 HAZ에 도달하자마자 정지하는 경우가 많아 정확한  $K_{Ia}$ 를 평가하기가 거의 불가능하여 얻어진 실험 data로부터 겉보기  $K_a$ 의 평가만이 가능하였다.

9% Ni강의 HAZ내의 균열정지인성  $K_a$ 는 균열발생인성인  $K_c$ 에 비하여 매우 높은 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 일반 페라이트 강재의 경우 취성균열 발생인성이 취성균열 정지인성에 비하여 매우 큰 값을 가지게 되어 일단 취성균열이 발생하면, 특별히 빠르게 진전

하는 균열침단의 응력상태가 저하하거나 고온영역을 통과하지 않는 한 균열의 정지는 이루어지지 않는 것이 보통이다. 그러나 본 재료의 경우는 일반 페라이트 강재와 상반되는 결과를 보임으로써 동일온도, 동일응력하에서 발생한 균열이 전과도중 쉽게 정지할 수 있음을 예측할 수 있었다. 또한 이러한 결과는 본 재료의 정적하중시험시 나타나는 용접부 파괴거동의 특징인 계단형 pop-in의 원인이 됨을 알 수 있었다. 한편, 본 재료의 균열정지인성은 결정립조대화영역 등 일부 취화영역의 영향보다는 HAZ내 각 조직의 혼합율의 영향을 받는 것으로 판단되었다.

### 참고문헌

1. ASTM E1221, "Standard Test Method for Determining Plane-Strain Crack-Arrest Fracture Toughness,  $K_{Ia}$ , of Ferritic Steels" (1988)
2. P.B. Croseley, and E.J. Ripling : JTEVA, Vol.18 (1990) 396-400
3. R.D. Stout, S.K. Tarby, and S.J. Wiersma : Welding Journal, Vol. 65 (1986) 321s-325s
4. GRI Report 91-0227, "Development of a crack Arrest Fracture Toughness Measurement Procedure for Quality Assurance of Plates and Welds Used for Hydrocarbon Storage Tanks" (1992)
5. L. Malik, L.N. Pussegoda, B.A. Gravile and W.R. Tyson : Journal of OMAE, Vol.118 (1996) 292

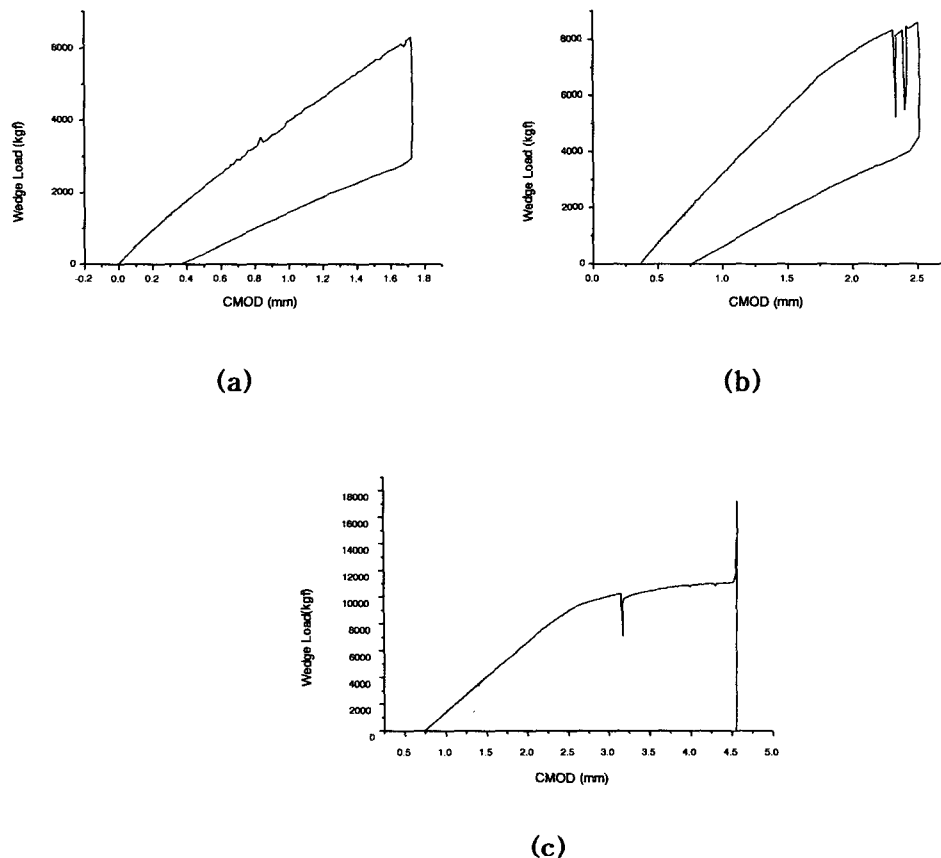


Fig 3. Example of CCA tests results ; (a) 1st cycle, (b) 2nd cycle, and (c) 3rd cycle.