

# 해양구조물용 극후물 API 2W Gr. 50강의 HAZ 인성 및 저온균열 감수성

## Characteristics of HAZ Toughness and Cold Crack Susceptibility of Heavy Thickness API 2W Gr. 50 Steel for Offshore Structures

홍 현욱\*, 김 충명\*

\*포스코 기술연구소 용접연구팀

**ABSTRACT** The evaluation of HAZ toughness and cold crack susceptibility of 90mm thickness API 2W Grade 50 steel has been made in accordance with API RP 2Z as preproduction qualification test to be certified as a steel supplier from Shell International E & P. It was shown that the steel has superior HAZ toughness; CTOD value for CGHAZ more than 1.5mm at  $-10^{\circ}\text{C}$ , CVN absorbed energy more than 150J at  $-60^{\circ}\text{C}$ . Additionally, no generation of cold cracks was observed at 0.7kJ/mm even without preheating condition. These excellent results are due to the extremely low hardenability in HAZ of the steel.

### 1. 서 론

안전성이 특히 중요하여 요구품질이 엄격한 해양구조용 강재는 프로젝트에 따라 다르지만 일반적으로 석유회사로부터 공식인증을 받아야 제조·공급이 가능해진다. 해양구조물용 강재의 공식 공급자로서 석유회사의 인증을 받기 위해서는 제3의 검사기관 입회 하에 재료의 제조, 모재 및 용접관련 품질평가를 행하여 그 결과를 석유회사 및 시공자가 인정해야 공급 자격이 인가된다. 이 중 용접관련 품질평가는 용접 열영향부(HAZ) 인성시험과 저온균열 감수성평가를 수행하도록 API RP 2Z<sup>1)</sup>에서 권고하고 있다. 본 논문에서는 포스코에서 Shell사로부터 vendor 인증을 받기 위해 제조된 API 2W Gr. 50 강재에 대한 용접부 품질 평가결과를 소개하고자 한다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 HAZ 인성 평가

시험용 대상 소재의 규격은 API 2W Gr. 50이며, 두께는 90mm이다. 이음부 형상은 개선각  $4^{\circ}$ 를 갖는 narrow single-bevel이며, 0.7kJ/mm의 저입열 조건에 대해서는 FCAW로, 3.0 및 4.5kJ/mm의 중·고입열 조건에 대해서는 SAW로 다층 용접하여 얻어진 이음부의 CGHAZ 및 SCHAZ에 대해 CTOD(시험온도:  $-10^{\circ}\text{C}$ ) 및 Charpy 충격 시험을 실시하였다.

#### 2.2 저온균열 감수성 평가

용접 저온균열을 방지하는 최소 입열량 및 최소 예열온도 선정의 가이드라인을 제시하기 위하여 y-groove 및 CTS 시험을 여러 조건(입열범위: 0.7~1.7kJ/mm, 예열온도범위:  $20\sim 130^{\circ}\text{C}$ )에서 실시하여 저온 균열 발생여부를 조사하였다. 아울러 저온균열 발생 예측의 지표가 되는 모재의 경화성 평가를 위해 최고경도 시험 및 테이퍼 경도 시험을 실시하였으며, 재현 HAZ 연속냉각변태조직과 연계하여 해석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 1에 HAZ 인성평가 및 저온균열 감수성 평가 결과를 간략히 정리하였다. 우선, CTOD 시험결과를 살펴보면, 모든 경우가 클립게이지 측정범위를 초과할 때까지 파단 되지 않을 정도로 우수한 값을 나타내었으며 API 2W 규격<sup>2)</sup>인 0.38mm 값을 훨씬 상회하는 것으로 나타났다. 한편, 모든 경우에 있어서 하중-클립게이지 변위 곡선 상에서 pop-in이나 unstable brittle fracture 현상<sup>3)</sup>이 전혀 나타나지 않고, 하중이 점진적으로 증가하는 형태인 fully ductile 거동을 보여주는  $\delta_m$  type 이었다. 이러한 결과들로부터 취성 파괴의 평가 기준 온도인  $-10^{\circ}\text{C}$ 에서는 HAZ에 취성파괴가 발생하지 않음을 알 수 있다.

Table 1 Summary of HAZ toughness and delayed cracking test results.

Items			Requirement of API 2W <sup>2)</sup>	POSCO (API 2W Gr.50, 90mm)
HAZ Toughness Test	CTOD (-10℃)		≥ 0.38mm	CGHAZ: ≥ 1.39 SCHAZ: ≥ 0.74
				CGHAZ: ≥ 1.56 SCHAZ: ≥ 1.73
				CGHAZ: ≥ 2.06 SCHAZ: ≥ 2.00
	Charpy (vE <sub>-60℃</sub> , vTrs)	Root		CGHAZ: 151J, -59℃ SCHAZ: 225J, -79℃
				CGHAZ: 369J, -85℃ SCHAZ: 407J, -88℃
				CGHAZ: 155J, -47℃ SCHAZ: 353J, -112℃
Cold Cracking Susceptibility	y-groove cracking (Tekken)		No crack at 1.7kJ/mm & 130℃	No crack at 0.7kJ/mm & 25℃
	Controlled Thermal Severity (CTS)		No crack at 1.0kJ/mm & 80℃	No crack at 0.7kJ/mm & 25℃

Charpy 충격시험 결과를 살펴보면, -50℃ 이하의 천이온도 및 -60℃에서 평균 150J 이상의 충격값들로부터 HAZ의 우수한 인성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히, 3.0kJ/mm의 입열에서 가장 우수한 인성을 보이고 있다.

한편, 저온균열 감수성 평가 결과로부터 0.7kJ/mm의 저입열 조건에서 예열이 없어도 용접균열 발생이 나타나지 않았다. 이는 모재의 낮은 경화성과 연관이 있으며, 재현 HAZ 연속냉각 변태조직 시험으로부터, 냉각속도가 아무리 빠르더라도( $\Delta t_{800-500}=3\text{sec}$ ) 마르텐사이트 조직이 아닌 경도값 Hv 300 수준인 베이나이트 조직이 주로 관찰되었다(Fig. 1).



Fig. 1 Microstructure of synthetic HAZ subjected to thermal cycle ( $\Delta t_{800-500}=3\text{sec}$ ).

따라서, 본 강재의 소입성이 극히 낮고, 그로 인해 underbead 균열, 수소유기 균열 등의 저온 균열이 발생할 확률은 희박한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

두께 90mm의 극후물 API 2W Gr. 50 강의 우수한 HAZ 인성은 HAZ 취화영역(Local Brittle Zone)의 존재가 시험온도 범위에서는 무시할 정도로 미비하기 때문이다. 또한, 본 소재가 예열 없이 0.7kJ/mm의 저입열 조건에서도 용접 저온 균열 발생이 나타나지 않은 것은 소입성이 작도록 성분 설계되어 경화성이 낮은데 기인한다. 이러한 결과로부터 본 소재는 SMYS 50ksi급의 해양구조물용 강재로서 사용하는 데에 매우 적합한 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. API RP 2Z : Recommended Practice for Pre-Production Qualification for Steel Plates for Offshore Structures, American Petroleum Institute, 1998
2. API 2W : Specification for Steel Plates for Offshore Structures, Produced by Thermo-Mechanical Control Processing (TMCP), American Petroleum Institute, 2000
3. K. Isaka and K. Arimochi : A Study on a Dynamic Behaviour of Pop-in in Weldments and Its Application to the Assessment Method for Significance of Pop-in. Journal of the JWS, 3-3 (1985) 188-195 (in Japanese)