

# 용접강관의 황화수소 응력부식균열에 관한 연구

## A Study of Sulfide Stress Corrosion Cracking in Welded Steel Pipe

박 영록\*, 김 희진\*, 강봉용\*

\* 한국생산기술연구원

**ABSTRACT** Sulfide Stress Corrosion Cracking(SSCC) of welded Steel pipe has been investigated. A specimens are stressed into the synthetic sea water saturated with H<sub>2</sub>S. Therefore SSCC occur at the hardnest point. we are discusses the test methods used for laboratory corrosion testing of welded steel pipe and the results of test.

### 1. 서 론

천연가스 및 원유 수송용 용접강관은 황화수소(H<sub>2</sub>S)가스에 노출되어서 수소의 강제침입을 촉진하여 균열을 발생시킨다. 특히 강관에 응력이 가해지면, 수소침입에 의한 균열과 응력부식에 의한 균열이 동시에 발생하여 강재에 치명적이게 된다. 이에 실제 사용되는 수송용 용접강관에 대한 황화수소 응력부식균열(Sulfide Stress Corrosion Cracking, SSCC)의 발생실험을 통해 강관 수명을 예측하고 내구성 향상을 위한 실험을 하려한다. 이에 따라 평가장비를 구축하고 실험을 행하였다.

### 2. 실험방법

강재가 황화수소가스 환경에서 응력을 받을 경우, 표면에서 환원반응에 의하여 발생하는 수소가 내부로 유입되어 강재를 취약하게 하여, 동일한 크기의 외부응력에 대하여 비활성 환경에서 보다 쉽게 균열이 발생하는 현상을 규명하기 위한 실험으로써, 본 실험에서는 4점굽힘강도시험(4 Point Bent Beam Test)에 의한 방법과 항인장응력시험(Constant Load Tensile Test)의 두가지 방법을 행하였다.

#### 2.1 소재

실험에 사용된 강관의 원 소재는 POSCO에서 공급된 강재를 현대 하이스코에서 ERW 용접기법으로 제작한 것이다. 실험에 사용된 강관은

API 5LX-70의 규격으로, 항복강도는 586MPa, 인장강도는 645MPa, 그리고 신율은 30%로 보고되었다. 20인치 직경으로 강관이 제작되어 공급되었는데, 공급된 강관의 두께는 11.55mm로 원자재의 두께와 동일하다.

강관의 모재부와 용접부에서 측정된 인장강도는 각각 65.3kgf/mm<sup>2</sup>, 61.7kgf/mm<sup>2</sup>로 보고되었다 그런데 API 규격에서 X-70급 강관에 대해 요구되는 최저항복강도는 483MPa(70ksi)이며, 최저인장강도는 565MPa (82ksi)이다. 최저항복강도는 본 SSCC 시험에 적용하중의 기준이 된다.

#### 2.2 시편가공

용접부와 모재부(180° 방향)에서 채취한 시편은, 용접부에서는 시편길이방향이 용접방향과 수직이어야 하고, 모재부에서는 시편 길이방향이 강관길이방향과 수평이어야 한다. Fig. 1에 보듯이 채취는 강관의 세부위에서 하였고, 4점굽힘시편은 용접부 9, 모재부 9개를, 항인장응력시편은 용접부3, 모재부 6개를 각각 채취하였다.

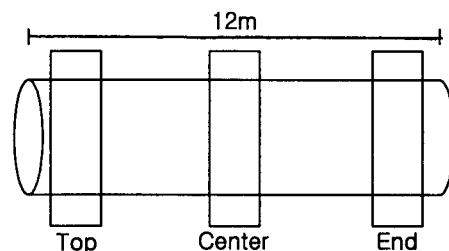


Fig. 1 Specimen picking position in Welded Steel Pipe

2.3 실험조건

SSCC 실험은 NACE TM 0177-96 에 따라서 행하여진다. 본 실험에서의 조건은 Table 1, 2에 나타내었다.

Table 1. 4 Point Bent Beam SSCC Test condition

Test Material	API 5L-X70 (ERW)	
Geometry of Specimen	115×15×5mm	
Test Stress	SMYS 72, 85%	
Surface Condition	800 Grit Paper	
Test Solution	TM 0284-96 A Solution	
Test Temperature	25±2℃	
Initial pH of Solution	2.70	
The Last pH of Solution	3.70	
Purging	Flow Rate	100 ml/min
	Flow Rate	200 ml/min
Saturating	Flow Rate	200 ml/min
Duration Time	720hr	

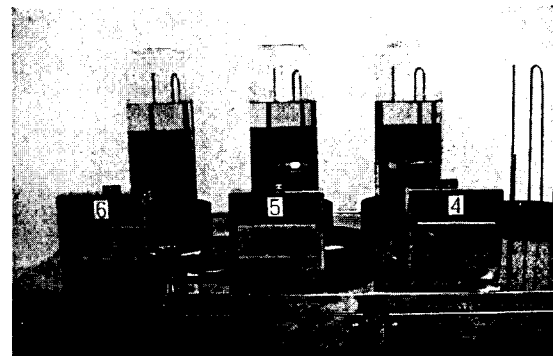
Table 2. Constant Load SSCC Test condition

Test Material	API 5L-X70	
Geometry of Specimen	Tensile Specimen	6.35 mm diameter
Test Stress		
Test Solution	NACE TM 0177-96 A Solution	
Test Temp.	25±2℃	
Initial pH of Solution	2.71	
Purging	Flow Rate	100 ml/min
	Flow Rate	200 ml/min
Saturating	Flow Rate	200 ml/min
Duration Time	720hr Max.	
The Last pH of Solution	3.20	

2.4 시험장비

본 시험장비의 부식조는 시험용액과 화학적으로 반응하지 않고 외부에서 시편을 관찰할 수 있도록 모든 용기가 유리로 제작되어 있다. 이는 H<sub>2</sub>S 가스의 방출여부를 쉽게 확인할 수 있을 뿐만 아니라, 시험중인 시편의 상태도 확인할 수 있다. 또한 시험용액의 온도제어를 위해 실내를 항상 25℃내외로 유지하고 있으며, 용기내부에는 자동 온도 조절시스템이 장착되어 있다(시험온도: 25±2℃). 그리고 항인장응력시험을 하던 중에 하중을 받던 시편이 파단 되면 그때의 시간을 시스템이 체크할 수 있도록 고안되어 있다.

두가지 종류의 실험을 행하는데 사용된 장비에 대한 그림을 Fig. 2에 나타내었다. (a)는 4점굽힘 시험의 장치로 하나의 Vessel에 3개의 시편을 장착한 지그를 세 개씩 넣어서 사용할 수 있다. (b)의 항인장응력시험기는 각 장치에 시편을 거치하여 일정하중을 주어 시험을 한다. 각 시험의 유지시간은 최대 720시간이다.



(a)



(b)

Fig. 2 Test equipment. (a) 4 Point Bent Beam Test Type (b) Constant Load Tensile Test Type

### 3. 결 과

#### 3.1 4점굽힘시험의 균열발생여부

3.1.1 규정항복강도의 72%의 응력을 준 시험 시험이 종료된 시편에 대해 표면균열 발생여부를 자분탐상 시험으로 확인하였다. 확인결과, 어디에서도 균열은 발견되지 않았다.

3.1.2 규정항복강도의 85%의 응력을 준 시험 4점굽힘 시험에 의해 수행한 SSCC 시험에서 모재부의 세 개의 시험편에서 미세한 표면균열이 확인되었으나, 균열이 깊이방향으로 침투가 일어나지 않았다.

3.2 Constant Load SSCC 시험결과 시험의 적용하중은 실제항복강도(555MPa)의 90%로 매우 가혹한 조건을 주었다. 그 결과 모든 시험편들은 시험을 시작한지 12~ 20시간 내에 모두 파단되었다.

### 4. 결 론

황화수소 응력부식균열의 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 황화수소 응력부식균열 실험설비는 맹독성의 가스를 사용하므로 가스의 중화처리, 누출시의 가스배출문제 등을 해결할 수 있도록 장비를 구축해야 하며, 그리고 용액내의 황화수소가스의 방출량 조절, 가스방출여부 관찰이 용이하도록 설계되어야 하며, 내부자동온도조절이 가능해야 한다. 그리고 항인장응력실험을 하던 중에 하중을 받던 시편이 파단 되면 그때의 시간을 시스템이 체크할 수 있도록 고안되어야 한다.

2) API 5LX-70 강재를 이용하여 하중을 각각 NACE TM 규정에서 정한 규정항복강도의 72%와 85%를 준 상태에서 4점굽힘강도시험을 720시간 행하였다. 그 결과 72%에서는 전혀 균열이 보이지 않았고, 85%에서는 약간의 표면균열만이 나타났다. 이는 강재가 규정항복강도 85%이하의 하중에서의 Sour Gas 분위기에서 균열발생 및 파단이 일어나지 않는다는 것을 보여준다.

3) API 5LX-70 강재를 이용하여 하중을 규정항복강도보다 높은 실제항복강도의 90%로 항인장응력실험을 행하여서, 12-20시간내에 모두 파단되었다. 향후 규정항복강도를 기준으로 하여 72-95%까지의 실험을 행하여 황화수소 응력부식균열의 저항성을 평가해 보고자 한다.

### 후 기

본 연구는 한국생산기술연구원의 신뢰성평가센터 내에 구축된 강관의 부식시험의 신뢰성 평가장비를 이용하여 행하였다.

### 참고문헌

1. Treseder, R. S., "A Comparison of Stress Cracking Tests," Corrosion Testing and Evaluation: Silver Anniveraary Volume, ASTM STP 1000, R. Baboian and S. W. Dean, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, pp. 312-318.
2. T. Kaneko, H. Kajimura and A. Ikeda., : Influence of Various Factors on the Uni-axial Tension Load Test for Sulfide Stress Cracking., Corrosion83(The International Corrosion Forum Sponsored by the National Association of Corrosion Engineers), 161, 1983,
3. T. Taira, K. Tsukada, U. Kobauashi, H. Inagaki, and T. Watanabe : Sulfide Corrosion Cracking of Linepipe for sour Gas Service., Corrosion-NACE, Vol. 37, No. 1, January, 1981,15-16.