

용접강관의 수소유기균열에 관한 연구

A Study on the Hydrogen Induced Cracking in the Welded Line Pipe

김 희진, 강봉용, 박 영록
한국생산기술연구원

1. 서 론

황화수소가스를 함유한 부식성 분위기에 사용되는 강관의 수소유기균열(hydrogen induced cracking, HIC) 저항성을 평가하는 일반적인 방법은 NACE TM 0284규격에 규정되어 있는데, 최근 강관 수요가들이 요구하는 규격은 이를 보다 엄격하게 규정하고 있을 뿐만 아니라 수요가 마다 다양한 평가기준을 적용하고 있다. 이러한 다양성을 고려하여 산자부가 주관하는 '신뢰성향상 기반구축사업'에서는 RS D 0004규격을 제정하게 되었다. RS D 0004 규격에서는 NACE TM 0284 규격을 기본으로 하여 최근 수요가들이 요구하는 사항을 보완하여 보다 엄격한 시험방법 및 평가기준을 제시하였다. 본 발표에서는 상기한 두 가지 규격의 차이점을 검토하고, RS D 0004규격이 보다 합리적임을 보여 주고자 하였다.

2. 수소유기균열

2.1 발생원인 및 균열형상

강재 내부로 원자 상태의 수소가 침입하면 침입된 수소는 비금속개재물의 계면에 집중된다. 계면에 집적된 수소원자들은 재결합하여 수소분자를 형성하여 강재의 두께방향으로 강한 압력이 작용된다. 이러한 압력에 의해 재료 내부에서 그림 1과 같이 계단 모양의 균열이 발생되는데, 이러한 균열형상의 특징으로부터 수소유기균열을 계단형 균열(stepwise cracking)이라고 부른다. 이러한 균열은 외부 응력이 존재하지 않는 상태에서 발생하며, 발생정도는 강종의 S 함량 및 비금속개재물의 형상에 크게 의존한다. 강종의 S의 양이 증가하면 연신된 형상의 MnS개재

물의 양이 증가하여 수소유기균열에 대한 저항성이 저하한다. 따라서 수소유기균열 저항성을 향상시키기 위해서 S의 함량을 최소화하고 개재물의 형태를 구상화시키는 방법이 사용되고 있다. 그런데 용착금속에서는 모든 개재물이 산화물형태로써 구형의 형상을 하고 있기 때문에 수소유기균열이 발생하지 않는 것이다.

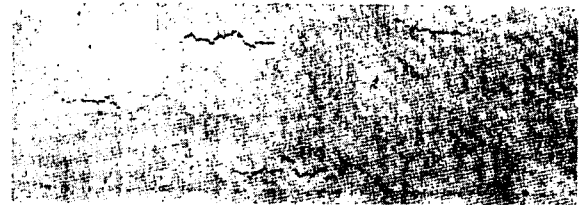


그림 1 수소 유기 균열 형상

2.2 평가지수

수소유기균열시험(HIC test)을 실시한 시편의 단면에서 그림 1과 같은 균열들이 발견되면, 이러한 균열들을 그림 2와 같이 그룹화한다. 그룹화된 모든 균열군의 크기를 길이(a)와 폭(b)으로 측정하여 다음과 같이 정의되는 세 가지 평가지수(CLR, CTR, CSR)를 도출함으로써 균열발정도를 정량화하게 된다.

- 1) CLR(Crack Length Ratio)

$$CLR = \frac{\sum a_i}{3 \times W} \times 100$$

- 2) CTR(Crack Thickness Ratio)

$$CTR = \frac{\sum b_i}{3 \times T} \times 100$$

- 3) CSR(Crack Sensitivity Ratio)

$$CSR = \frac{\sum (a_i \times b_i)}{3 \times T \times W} \times 100$$

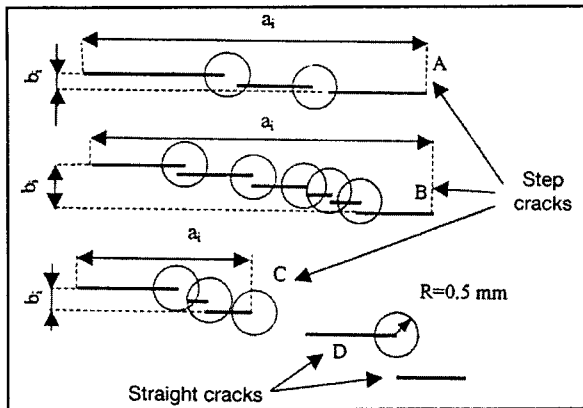


그림 2 균열균 크기의 정량화

황화수소가스를 함유한 원유 또는 천연가스 수송용으로 사용하는 용접강관에 대해서는 상기한 3가지 지수의 상한치를 규정함으로써 강관의 설계수명을 보장하고 있다. 그런데 상한치에 대한 규정이 설계자에 따라 다양하면서도 점차 보다 엄격해 지는 경향이 있다. 이러한 경향은 실증적 근거를 가지고 진행되는 상황은 아니고, 단지 강재의 품질이 향상되면서 보다 엄격한 규정도 만족시킬 수 있었기 때문이다. 즉 강재의 수소유기균열저항성이 지속적으로 향상되면서 수요가의 요구수준이 필요이상으로 높아지고 있는 것이다.

3. 평가방법의 차이

NACE TM 0284에 규정되어 있는 시험방법을 수행하게 되면 실제 사용 중에 발생하는 균열과 동일한 양상의 균열을 신속히 재현할 수 있음이 입증되었다. 그런데 균열발생율을 평가함에 있어 NACE규격에서는 시편을 균등하게 4등분하도록 하였다. 즉 수소유기균열의 발생 위치에 관계없이 균등하게 4등분함에 따라 경우에 따라서는 균열이 존재하고 있음에도 불구하고 균열발생율은 0%가 될 수도 있다. 이러한 문제점을 보완하고자 RS D 0004규격에서는 시편을 절단하기 전에 균열이 집중된 부위를 우선적으로 검출하고자 하였다.

먼저 시편에 초음파탐상을 실시하여 균열발생 위치를 확인하고, 균열이 가장 집중된 부위를 선택적으로 선정하여, 선정된 부위를 그림 3과 같이 절단하여 균열발생율을 측정하도록 하였다.

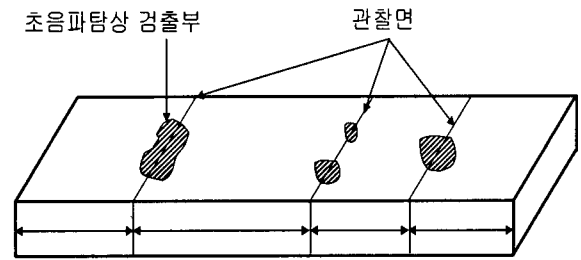


그림 3 RS D 0004규격에 의한 관찰면

따라서 동일한 시편이라고 하더라도 RS규격에 의거 한 균열발생율 측정결과는 NACE 규정에 의한 결과와 상이할 수밖에 없으며, RS규격에 의한 결과가 보다 보수적으로 나타나게 된다. 즉 RS D0004규격에 의한 평가방법이 NACE규격에 의한 방법 보다 엄격하다는 것이다. 이를 보다 정량적으로 확인하기 위하여 동일한 시편에서 균열발생율을 상기한 두 가지 방법으로 측정하는 비교평가지험을 실시하였다.

4. 비교평가지험

4.1 시험용 강재 및 시험방법

비교평가지험에 사용된 강재는 12mm 두께의 API 5L $\times 70$ 급의 hot coil이었으며, hot coil의 $\frac{1}{4}W$ 위치에서 $100 \times 20 \times 10$ mm 크기의 시편을 채취하였다. 채취된 시편편에 대해 수소유기균열 시험을 실시하였는데, 수소유기균열시험은 강산성용액(NACE 규격의 Solution 'A')에 황화수소가스를 포화시킨 상태에서 96시간 방치하였다. 시험기간 동안 시험용액의 온도는 $24 \pm 2^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 시험이 종료된 상태에서 확산성수소량을 측정하였는데 시편에 따라 다소의 차이를 보여 주었다.

4.2 시험 결과

표 1은 두 개의 시편편에 대해 NACE규격에 따라, 즉 균등 분할한 상태에서 평가지수를 측정 한 결과이다. 그리고 표 2는 RS규격에 따라 균열이 집중된 부위를 선택적으로 취하여 평가한 결과이다. 이 결과들을 비교하여 보면 평가위치를 선택적으로 취하여 평가한 경우에 평가지수들의

값이 현저히 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히 H1-1의 경우 균등분할한 경우에는 3가지 평가지수가 모두 0%로 나타나고 있는데 선택분할한 경우에는 CLR, CTR, CSR이 각각 3.8, 0.5, 0.1로 나타나고 있다. 이러한 결과로부터 시편을 분할하는 방법에 따라 평가지수의 값은 크게 차이가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 강관 또는 강재의 합격/불합격 기준으로써 균열발생율 지수를 사용할 경우에는 시편분할 방법을 필히 명시하여야 한다.

표 1 NACE규격에 의한 균열발생율 측정결과

시편 D	균열 발생율		
	CLR	CTR	CSR
H1-1	0, 0, 0 (0)	0, 0, 0 (0)	0, 0, 0 (0)
H1-2	6, 7.3, 2.3 (5)	1.3, 0.1, 0.1 (0)	0.1, 0.1, 0.1 (0)

() : 평균치

표 2 RS규격에 따른 균열발생율 측정결과

시편 D	균열 발생율		
	CLR	CTR	CSR
H1-1	5, 2.8, 3.7 (3)	1.3, 0.1, 0.1 (0)	0.2, 0.1, 0.1 (0)
H1-2	6.3, 8.7, 8.3 (7.8)	1.3, 4.0, 1.3 (2.2)	0.3, 1.0, 1.0 (0.8)

() : 평균치

4. 결 론

1) 수소유기균열시험이 완료된 시험편에서 균열발생부위를 초음파탐상법에 의해 2차원적으로 검출할 수 있었다.

2) 수소유기균열 발생정도를 정량화함에 있어 균열이 집중적으로 발생된 부위를 선택적으로 취하여 균열발생율을 측정하는 방법이 제안되었다.

3) 수소유기균열은 국부적으로 존재하는 균열임으로 강재의 수소유기균열 저항성을 평가하기 위해서는 시편을 선택적으로 분할하는 방법이 보다 합리적이다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 주관하는 '부품소재 신뢰성향상 기반구축사업'으로 수행되었기에 산업자원부 관계자들에게 감사드립니다.

참고문헌

1. NACE TM 0284-96: Evaluation of pipeline pressure vessel steels for resistance hydrogen-induced cracking
2. RS D 0004: Welded steel pipe for resistance hydrogen induced cracking(in Korean)
- 3.