

## 후육 용접 강관의 HIC 평가

### Evaluation of HIC Resistance for thick-wall welded pipe.

\*서준석, \*\*김희진, \*\*유희수

\*한국기술교육대학교, 한국생산기술연구원

\*\*한국생산기술연구원

#### 1. 서 론

천연가스 및 원유 수송용 용접강관은 황화수소 ( $H_2S$ )가스에 노출되어서 수소의 강재침입을 촉진시킨다. 확산에 의해 강재 내부로 유입된 수소 원자는 에너지적으로 가장 안정한 트랩사이트에 위치하는데, 주로 황화물과 산화물이 이에 속한다. 즉, 강재 내부로 수소원자가 침입하면 침입된 수소는 비금속개재물의 계면에 우선적으로 집중되고, 집적된 수소 원자들은 재결합해 수소분자로 만들어 강재에는 커다란 내부압력을 작용해 균열이 발생한다. 또한 압연과같은 기계가공으로 비금속개재물이 연신된 형태를 나타내면 개재물 양단에는 응력이 발생해 수소가 위치하기에 에너지적으로 안정된 장소가 된다. 시간이 지나며 수소는 집적되어 임계함량을 초과하게 되면 균열로 전파한다. 그러므로 이러한 환경에서 사용되는 강관은 원자재 선정 과정에서 이를 충분히 고려하여야 하며, 제조 후에는 각각의 균열에 대한 감수성을 평가하여 사용 적합성이 입증되어야 한다. 본 발표에서는 원유 수송용 용접강관의 기계 가공 전후의 내수소유기균열 저항성을 평가하고, 이때 균열 발생기구를 알아 보고자 했다.

#### 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 발생하는데, 이러한 균열형상의 특징으로부터 수소유기균열을 계단형 균열(stepwise cracking)이라고 부르기도 한다. 이러한 균열은 외부 응력이 존재하지 않는 상태에서 발생하며, 발생정도는 강종의 S 함량 및 비금속개재물의 형상에 크게 의존한다. 강종의 S의 양이 증가하면 연신된 형상의 MnS 개재물의 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.



그림1. 수소유기균열 형상

### 2.2 내수소유기균열 보증 강재

실험에 사용된 강관의 원 소재는 POSCO에서 공급된 강재를 창원밴딩에서 강재를 밴딩후 SAW 용접기법으로 제작한 것이다. 실험에 사용된 강관은 API 5LX-65의 규격으로, 강재의 기계적 성질은 표1에서 보여준다. 30인치 직경으로 강관이 제작되어 공급되었는데, 공급된 강관의 두께는 25mm로 원자재의 두께와 동일하다.

구분	인장강도 [N/mm <sup>2</sup> ]	항복강도 [N/mm <sup>2</sup> ]	연신율 [%]
강 판 (밴딩전)	594.9	493.9	43.7
강 판 (밴딩후)	604.7	478.6	27.56
용착금속	604.2	510.3	19.29

표1. 모재의 기계적 성질

## 3. 장 실험 방법

### 3.1 시편 채취위치 및 방법

수소유기균열 시험을 실시하기 위하여 각각의 시편을 신뢰성 평가 규격(RS D 0004)에 의거하여 채취하였다. 본 실험에서는 강판의 밴딩으로 인한 내수소유기균열 저항성을 평가하기위해 강판을 밴딩하기 전과 밴딩 후에 대하여 실험을 했다. 따라서 밴딩전과 후 용접부와 모재부(용접부의 90°, 180° 위치)에서 각 3개씩, 밴딩전 9개 밴딩후 9개의 시편을 제작 했다.

용접부에서 채취하는 시편은 길이 방향이 용접 방향과 수직이며, 시편의 크기는 100mm(길이)X 20mm(폭)X최대 두께가 되도록 채취했다. 모재부 시편 채취는 강재의 압연 방향과 평행한 방향(강관의 길이 방향)으로 채취했다.

시편 전처리는 사포로 #1200까지 한쪽 방향으로

연마하였다.

### 3.2 수소유기균열 실험

전처리를 마친 시편은 시편의 넓은쪽 표면이 바닥과 수직이 되도록 용기에 장입하며, 용기와 시편이 접촉되지 않도록 시편과 시편사이에 절연봉을 삽입한다. 실험에 사용되는 용기는 투명한 유리로 H<sub>2</sub>S gas 방출여부를 쉽게 하기 위해서이다.

실험에 사용된 용액은 Solution A(강산성)를 사용 하였으며, 용액의 온도는 24±2℃로 유지했다. 시편을 장착한 지그를 시험 용기내에 장입한 뒤, 용액을 장입하게 되는데, 용액중의 용존 산소가 시험 중의 시편에 부식 생성의 원인이 되므로 이를 제거하기위해 용액 주입 전과 주입 후에 Ar gas로 충분히 purging 한다. 용존 산소가 0.1ppm 이하가 되면 황화수소 가스를 분당 200ml로 1시간 이상 포화시킨 후 실험을 시작한다. 시편이 장입된 상태에서 시험은 96시간 실시하며, 수시로 황화수소 가스 방출 여부를 확인 했다.

### 3.3 균열 탐상 및 균열 측정

수소유기균열 실험이 끝나면 RS D 0004 규격에 의거에 시편을 절단하기 전에 시편을 초음파 탐상하여 균열 위치를 확인하고, 균열이 가장 집중된 부위를 선택적으로 선정하여, 선정된 부위를 그림 2와같이 절단하여 균열 발생율을 측정하였다.

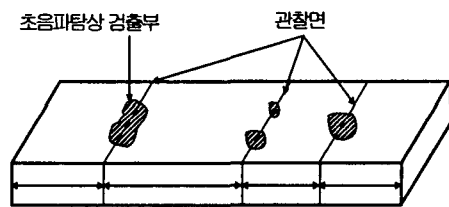


그림 2 RS D 0004규격에 의한 관찰면

4. 결과

4.1 초음파 탐상 결과

초음파 탐상 결과 강판을 밴딩하지 않은 시편에서는 거의 균열이 발생하지 않았다. 하지만 밴딩한 강판의 시편은 용접부에서 균열이 나타나지 않았지만 모재부(용접부의 90°, 180° 위치)에서 큰 균열이 발생하였다. 그림 3에서는 초음파 탐상의 결과를 보여준다.

	부위	시편	SAM image		
밴딩 전	모재	B1 B2 B3			
		B4 B5 B6			
		용접부	W1 W2 W3		
			모재 90°	R1 R2 R3	
				모재 180°	BB1 BB2 BB3

4.2 균열 발생율

용접부의 균열 발생율 측정은 RS D 0004에 의거해 시편을 절단하고 모재부 시편의 절단 방법은 초음파 탐상 결과에 의거해 균열 발생 정도가 가장 높은 3군데 위치를 선택해 절단하고, 압연 방향에 수직으로 절단한다.

절단면에서 균열이 관찰되면 균열의 길이와 폭

의 길이를 측정해 CLR, CTR, CSR을 시험편 각각에 대해 계산했다.

균열 발생율을 측정해본 결과 밴딩 전의 시편은 B1과 B2를 제외한 모든 시편에서 균열 발생율 0%를 나타냈다. 하지만 B1과 B2의 CLR은 각 4.6%와 3.5%로 나타났다.

밴딩 후의 시편에서는 초음파 탐상 사진으로도 큰 균열이 발생한 것을 확인할 수 있다. 시편을 절단하여 균열 발생율을 측정한 결과 모재부 시편인 R1, R3, BB2의 CLR이 각 21.2, 20.5, 20.3을 나타냈고 나머지 시편에서는 균열이 발생하지 않았다.

위 실험 결과는 강판에 기계 가공을 하면 균열 발생율이 증가하고 이는 내수소유기균열 저항성이 감소한다는 것을 보여준다

그림 4는 밴딩 전 시편에서 균열 발생율이 가장 높은 B1 시편 절단면의 비금속 개재물을 보여준다. 그림에서 보듯이 비금속 개재물이 비정상적으로 성장한 것을 알수 있다.

그림 6은 밴딩 후 균열이 발생한 R1의 시편으로 그림4에서 보여준 비정상적으로 성장한 비금속 개재물이 균열 사이에 존재하는 것을 확인할 수 있다. 지금까지의 실험 결과를 종합해 보면 비정상적으로 성장한 비금속 개재물은 기계가공 과정을 거치면 균열로 성장할수 있다는 것을 보여준다.

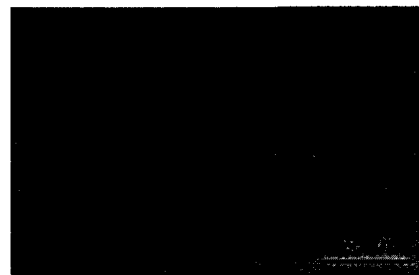


그림 4. B1 절단면의 비정상적 비금속개재물

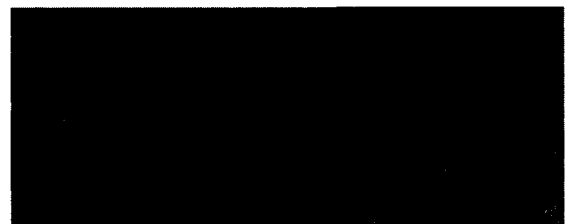


그림 5. R1 절단면의 균열

## 5. 결론

후육 용접 강관의 수소유기균열 평가에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) API 5LX-65 강관의 HIC 실험 결과 비정상적으로 성장한 비금속 개재물을 확인 했다.
- 2) 강관을 밴딩과 같은 기계 가공을 할 경우 내 수소유기균열 저항성을 떨어 뜨린다.

## 참고문헌

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