

실제크기 배관 피로시험에 의한 손상배관의 수명평가

김철만 · 백종현 · 김영표 · 김우식

한국가스공사 연구개발원

1. 서론

가정용 및 산업용으로 사용되고 있는 천연가스는 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 지하에 매설되어 있는 API 5L X65재질의 배관을 통하여 공급되고 있다. 생산기지에서 공급되는 압력이 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 이지만 가스소비량에 따라 계절별 및 월별 가스 내압이 변화되고 있다. 하루에도 최대 2회정도 주기적으로 변화를 보이고 있다.

본 연구에서는 API 5L X65등급의 가스배관 모재 및 용접부에 일정한 형태의 가우지 결함을 가공하여 현재 사용중인 내압 조건과 유사한 내압변화를 재현하여 피로수명을 평가하였다.

2. 실제크기 배관 피로 시험 방법

시험에 사용된 재료는 직경 26" (660mm), 두께 11.9mm와 직경 30" (762mm), 두께 17.5mm의 API 5L X65 등급의 가스배관이다.

Fig. 1은 실제크기의 배관에 물을 채우고 반복적으로 가압을 하기 위한 시험장치의 개략도 및 시험장면을 나타낸 것이다. 직경 30inch(762mm), 길이 3m의 배관에 물을 채우고, ΔP (amplitude)를 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 설정하여 실제 사용되는 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력까지 최대 0.5Hz로 반복하중을 가할 수 있는 용량으로 설계되었다. 가스배관 내압변화를 재현하기 위한 시험장치이기 때문에 압력제어를 선택하였고 압력 수치를 기준으로 피스톤을 움직이게 하였다. 파열 검출은 설정된 압력변화를 유지하기 위하여 유압 피스톤이 움직일 때, 파열시 LVDT의 설정 한계값을 초과할 경우 파열로 인식하였다.

내압변화에 따른 배관의 피로특성을 평가하기 위하여 길이 3m의 배관 양쪽끝단을 캡으로 용접하여 밀봉하였다. 실제크기 배관의 표면에 Fig. 2와 같이 길이 200mm, 반경 0.2~0.3mm의 가우지 결함을 모재 및 용접부위에 대형 선반으로 가공하였다. 내압이 작용하는 배관에서 배관표면에 작용하는 원주방향 응력은 길이방향 응력보다 두 배 정도 크기 때문에 모두 길이방향으로 결함을 가공하였다. 배관 상단부에 압력게이지를 부착하기 전에 배관 내부에 잔존할 수 있는 공기를 제거하여 급격한 파열에 대한 위험을 방지하였다.

피로시험 속도는 0.5Hz로 정하고 $50\sim 70\text{kg}/\text{cm}^2$ 범위의 압력을 반복 가압하였다. 내압 변화에 의한 배관의 피로수명은 하루 2회 주기적으로 내압이 변화하고 200년을 사용할

수 있다는 가정하에 146,000회를 피로한으로 설정하였다.

피로시험 후, 파열된 가우지 결함 주위를 절단하여 액체 질소로 냉각시킨 다음 노치를 중심으로 이등분하였다. 거시적으로 가우지 결함을 관찰하여 파면양상을 분석하였다.

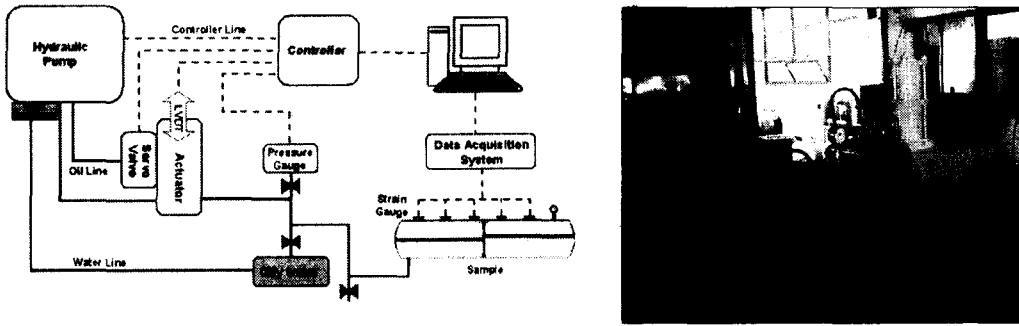


Fig. 1. Schematic diagram and fatigue testing device

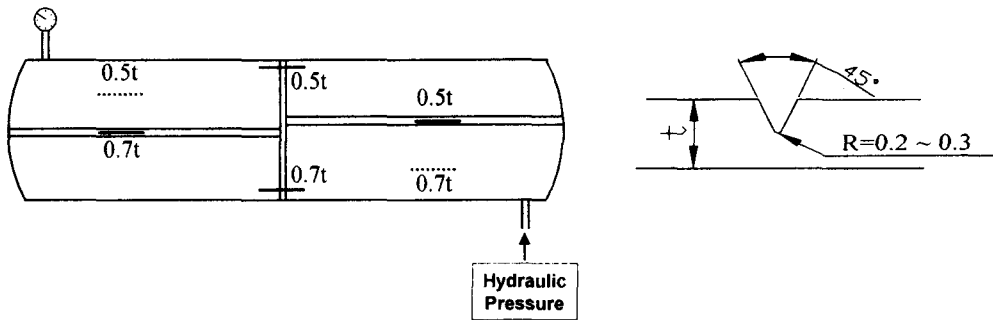


Fig. 2. Full scale pipe specimen and defect shape

3. 시험결과 및 고찰

실제크기 배관에 대하여 수압 피로시험을 수행하기 위하여 생산기지에서 가장 가까운 거리에 있는 공급관리소 가스배관의 1년간 압력변화를 조사하였다. 내압변화는 최소 $50\text{kg}/\text{cm}^2$, 최대 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도였고, 이것을 근거로 하여 길이 3m의 API 5L X65 재질의 배관에 물을 채우고 내압 변화를 재현하였다.

Fig. 3은 외경 30inch 두께 17.5mm와 외경 26inch 두께 11.9mm의 실제크기 배관에 대한 수압 피로시험 결과를 나타낸 것이다. 외경 26inch 배관에서 동일한 가우지 결함

깊이에 대한 원주 용접부의 피로수명은 모재보다 더 우수한 것으로 나타났다. 가스배관에서 두께에 대한 가우지 결함 깊이의 비(d/t)가 50% 이하일 경우 피로수명이 200년 이상으로 평가되었다.

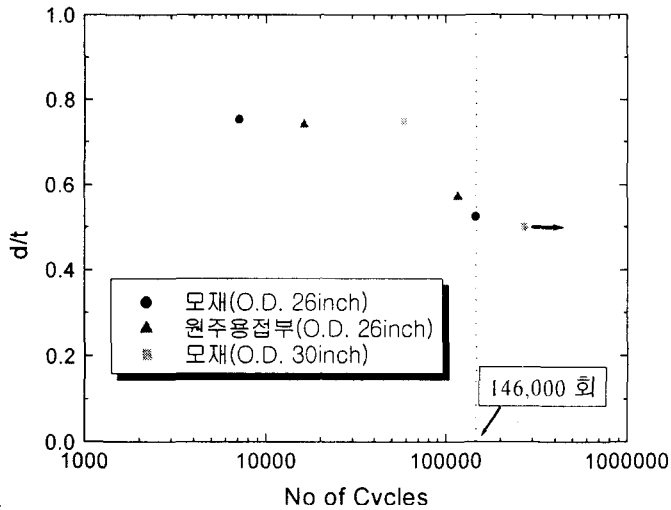


Fig. 3. Fatigue test results for full scale pipe

Fig. 4는 외경 30inch의 실제크기 배관에 d/t 가 0.5인 결함을 가공하여 반복압력을 가하였을 때 전형적인 피로파괴 및 거시적인 파면 형상을 나타낸 것이다. 압력전달 매개체가 물이기 때문에 위험을 초래하는 급격한 파열은 발생하지 않았으며, 중심부에서 균열이 전파되다가 임계 두께에서 순간적으로 전파 및 관통되어 물이 분출되었다. 거시적으로 파단면을 관찰하여보면 피로균열은 타원형태로 기계노치 부분에서 두께방향으로 전파되었고, 잔류두께가 약 1mm 정도 되었을 때 급격히 전파되어 관통되었다. 흰색 부분은 액화질소로 파단시켰을 때 나타나는 취성 파괴 부분을 나타낸 것이다.

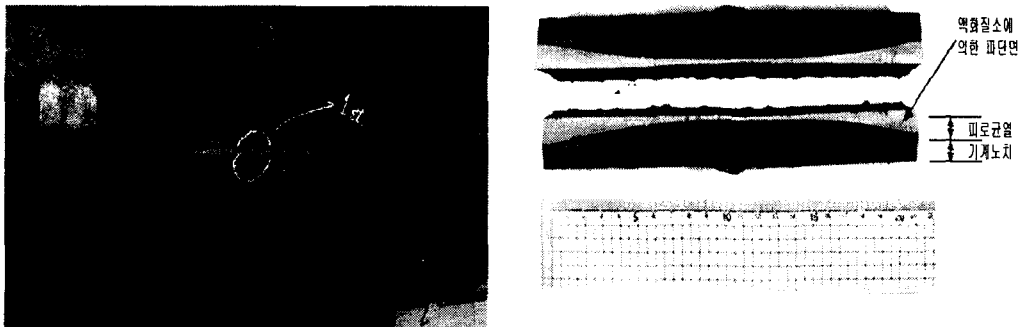


Fig. 4. Typical fatigue rupture and fracture surface

4. 요약

내압이 변화하는 실제크기의 가스배관 피로시험을 수행하기 위하여 수압 피로 시험 장치를 설계하였다. 배관 길이방향의 가우지 결함을 가공하여 피로시험을 수행한 결과 가우지결함 깊이가 두께의 50%이하일 경우 가스배관의 피로수명은 200년 이상으로 평가되었다. 피로균열은 기계노치에서 두께방향으로 타원을 그리며 진전되었고, 최종 잔류두께가 약 1mm정도 남았을 때 급격하게 관통되었다.

참고문헌

- (1) N.Hagiwara, Y.Meziere, N.Oguchi, M.Zarea, R.Champavere, "Fatigue behavior of steel pipes containing idealized flaws under fluctuating pressure", *JSME Int. J.*, Vol.4, pp.610~617, 1999
- (2) N. Hagiwara and N. Oguchi, "Fatigue behavior of line pipes subjected to severe mechanical damage", *Journal of Pressure Vessel Technology*, Vol.121, Nov. 1999
- (3) "Cyclic pressure fatigue life of pipelines with plain dents dents with gouges, and dents with welds", AGA PN5716, PN5994, 1994