

실제크기배관 피로시험을 통한 가스배관 손상부의 피로수명 평가

김영표, 김철만, 김우식, 고영태
한국가스공사 연구개발원 배관연구센터

Fatigue Life Assessment for Damaged Pipeline with full scale pipe fatigue test

Young-pyo Kim, Chol-man Kim, Woo-sik Kim, Young-tai Kho
Pipeline Technology Center, R&D Center, KOGAS

1. 서론

배관이 건설되었을 때 배관 제작 시 발생한 결함이나 건설 시 발생한 결함을 포함하고 있을 수 있다. 초기결함이 심각하지 않다면 운용 전에 시행하는 수압시험은 이를 찾아낼 수 없다. 운용 중에 배관이 반복적으로 내압 변화를 받으면 결함이 성장하게 된다.^{(1)~(2)}

국내외에서 배관에 존재하는 결함의 피로수명을 평가하기 위해 결함에 대한 유한요소해석, 배관재료 및 용접부의 피로균열성장거동 평가 및 결함이 존재하는 배관의 실제크기 배관 피로시험 등의 많은 연구가 이루어졌다.^{(3)~(5)} 그러나 이러한 연구대상배관은 국내 가스배관의 재료, 용접방법 및 운용조건이 서로 다르다.

본 연구에서는 국내 가스배관을 대상으로 실제크기배관 피로시험을 실시하여 피로수명을 파악하고, 계산된 가스배관 표면균열의 피로수명과 비교하였다.

2. 실험방법

실배관 피로시험에는 외경 762mm, 두께 17.5mm, 길이 2.3m의 API 5L X65 배관을 사용하였으며 실배관 피로시험 장치는 Fig.1 에 나타내었다. 배관은 물을 사용하여 4.9 MPa 에서 6.9 MPa 까지 반복압력을 가하였으며 주기는 0.5 Hz 이었다.

가스배관에 작용하는 반복하중은 내압변화 때문에 발생한다. 내압 변화가 가장 심한 배관의 경우 2000년 1월중 배관에 작용하는 최소 압력은 4.5 MPa 이고 최대 압력은 6.7 MPa 이었으며, 압력변화의 주기는 일간 최대 2회 정도였다.

실배관 피로시험에 사용된 결함의 크기 및 위치는 표 1에 나타내었다. Fig 2는 LC 결함과 TB 결함의 형상을 보여주고 있다. Fig. 2(b)에서 실배관 피로시험시 용착금속부의 형상에 의한 영향을 없애기 위해 그라인딩으로 용착금속의 보강부를 제거하였다.

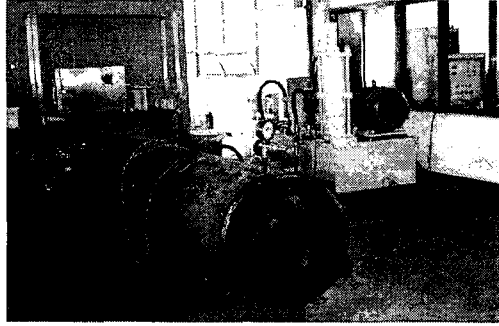
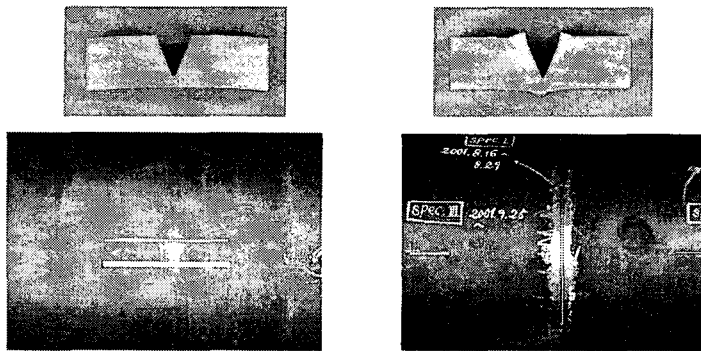


Fig.1 Full scale fatigue tester

Table 1 Defect size, direction and position on the pipeline

No.	Position	Length of longitudinal or circumferential direction(mm)	Depth (mm)
LA	Base metal	100(longitudinal)	13.1
LB	Base metal	200(longitudinal)	13.1
LC	Base metal	300(longitudinal)	13.1
TA	Base metal	400(circumferential)	13.1
TB	Weld metal	400(circumferential)	13.1



(a) LC defect

(b) TB defect

Fig. 2 Defect shape for full scale fatigue test specimen

3. 실험결과 및 고찰

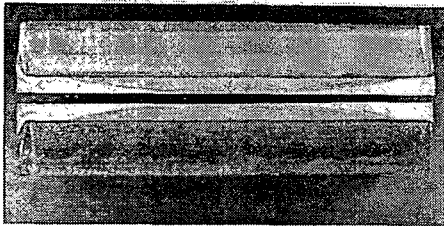
표 1의 결함에 대한 실키기 배관 피로파괴 횟수를 표 2에 정리하였다. TA 결함은 150,299회 까지 피로파괴가 발생하지 않은 상태이며, 피로수명은 가스배관이 하루에 2회 반복하중을 받는다는 가정에서 계산된 값이다.

Fig. 3은 LA와 TB 결함에 대한 실키기 배관 피로시험 후 파단면이다. 파단면은 기계가동된 노치부, 피로균열이 전파한 부분, 최종적으로 내압에 의해 파단된

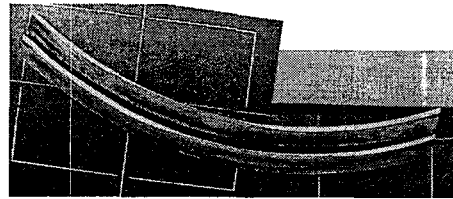
부분과 균열이 진행하지 않은 부분으로 나눌 수 있다. 결함크기에 관계없이 Leak가 발생하기 전 최종 파단된 결함 중심부의 잔류두께는 약 1 mm 인 것으로 나타났다. 즉 최종 균열의 깊이는 16.5 mm 임을 알 수 있다.

Table 2 The result of full scale fatigue test

No.	Fatigue cycle	Fatigue life	Leak or not
LA	206,596	283.0	Leak
LB	58,148	79.7	Leak
LC	17,020	23.3	Leak
TA	150,299	-	Not leak
TB	420,338	575.8	Leak



(a) LA



(b) TB

Fig. 3 Fatigue failure after full scale fatigue test

초기 균열크기(a_i)를 알고 있을 때 계산에 의한 피로수명은 Paris 식을 적분한 다음 식에서 구하였다.⁽⁶⁾

$$N_{total} = \int_{a_i}^{a_f} dN = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{C(\Delta K)^m} \quad (1)$$

실크기 배관 피로시험과 CT시험편 피로균열전파시험으로 최종 균열크기(a_f), C, m 값을 구하고, 응력확대계수는 BS 7910의 수식을 사용하여 구하였다.⁽⁷⁾

피로수명계산에 사용된 배관의 기하학적 형상과 작용하중은 실크기 배관 피로 시험에 사용된 배관크기와 작용하중을 사용하였다. 균열길이는 반복적인 하중하에서 크게 증가하지 않기 때문에 균열길이 성장은 고려하지 않았다.⁽²⁾ 균열깊이가 1mm 성장할 때마다 응력확대계수값을 변화하였으며 파단 전 최대 균열깊이는 16.5mm로 하였다.

표 1의 결함에 대한 피로수명의 계산값과 실크기 배관 피로시험에 의한 실험값을 표 3에 나타내었다. LA, LB, LC, TA 결함은 API 5L X65(T-L) 모재의 하중비 0.7에서 얻은 C와 m 값을 사용하였으며 TB 결함은 용착금속의 하중비 0.7에서 얻은 C와 m 값을 사용하였다. 동일한 결함이 존재할 때 용착금속이 더 긴 피로수명을 나타냈다.

Table 3 Calculated and experimental fatigue life

No.	Experimental(A)	Calculated(B)	B/A(%)
LA	206,596	20,907	10.1
LB	58,148	2,283	3.9
LC	17,020	636	3.8
TA	-	95,789	-
TB	420,338	101,705	23.6

배관 표면균열의 피로수명을 계산한 결과 실제보다 보수적으로 피로수명을 예측하였다. 이는 실크기 배관 피로시험에 사용된 결함이 균열이 아니고 노치이기 때문에 균열이 생성되는데 많은 시간이 걸리기 때문이라 판단된다.

4. 결론

가스배관 표면균열에 대하여 피로균열전파거동을 평가하여 계산된 피로수명과 실크기 배관 피로시험값을 비교하였다. 실크기 배관 피로시험에 의해 균열의 크기와 위치에 따른 실제 피로수명을 평가하였으며 최대압력이 6.9 MPa 인 경우 파단전 잔류두께는 약 1mm 정도임을 알 수 있었다. BS 7910 에서 제시하는 응력확대계수의 해를 사용하여 배관 표면균열의 피로수명을 계산한 결과 실제보다 상당히 보수적으로 피로수명을 예측하는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

- (1) John F. Kiefner, and Willard A. Maxey, Oil & Gas Journal, July 31, (2000) pp. 54~61.
- (2) John F. Kiefner, and Willard A. Maxey, Oil & Gas Journal. Aug. 7. (2000) pp. 54~58.
- (3) L. W. Tsay, Y. C. Chen and S. L. I. Chan, International Journal of Fatigue, Vol. 23, (2001) pp. 103~113.
- (4) J. R. Fowler, C. R. Alexander, P. J. Kovach and L. M. Conelly, Proceeding of the energy-sources technology conference and exhibition, (1995) pp 17~35.
- (5) N. Hagiwara and N. Oguchi, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol 121, (1999) pp. 369~374.
- (6) P. Paris, and F. Erdogan, Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering, (1963) pp.528~534.
- (7) BSI 7910 (1999)