

가스배관에서 원주 및 심 용접부의 부식손상 부위에 대한 파열압력 평가

The Evaluation of Burst Pressure for Corroded Weld in Gas Pipeline

김영표*, 김우식*, 오규환**

* 한국가스공사 연구개발원, **서울대학교 재료공학부

ABSTRACT The failure pressure for corroded pipeline was measured by burst testing and classified with respect to corrosion sizes and corroded regions - the body, the girth weld and the seam weld of pipe. A series of finite element analyses were performed to obtain a limit load solution for corrosion defects on the basis of burst test. As a result, the criteria for failure assessment of corrosion defect within the body, the girth weld and the seam weld of API 5L X65 gas pipeline were proposed.

1. 서 론

가스배관에 발생하는 부식손상이 배관 건전성에 미치는 영향을 파악하는 것은 중요하다. 내압만이 작용하는 경우, 부식배관의 파열압력을 평가하는 기준 중 가장 널리 알려진 것은 ASME B31G 및 Modified B31G 기준인데,^(1,2) 최근 제작된 고인성 배관에는 너무 보수적인 평가 결과를 나타낸다. 이를 극복하기 위해 1990년대 초반부터 실크기 배관 파열시험과 유한요소해석 결과를 토대로 새로운 평가기준들이 제시되고 있다.^(3~4)

그러나 이러한 기준들은 서로 다른 평가 결과를 나타내기 때문에 특정배관에 어떤 기준을 적용할 지는 명확하지 않다. 또한, 이러한 기준들은 배관 원주용접부와 심용접부에 발생한 부식손상에 대해서는 파열압력을 평가할 수 없다고 제한하고 있다.

본 연구에서는 배관 모재의 부식손상부 잔류강도 평가 후속연구로서 원주용접부 및 심용접부에 발생한 부식부위의 파열압력을 평가 하고자 한다.

이를 위해 실제크기 배관 파열시험과 유한요소해석을 수행하여 배관 모재, 원주용접부 및 심용접부에 부식이 발생한 부식배관의 파열압력을 평가할 수 있는 한계하중해를 제시하였다.

2. 부식배관에 대한 실패관 파열시험

실패관 파열시험은 API 5L X65 등급, 762mm 외경 및 17.5mm 두께의 배관을 사용하였다. 실패관 파열시험편 길이는 약 2.3m 정도 이었으며 배관의 양단은 cap으로 용접하였다. 부식손상은 기계가공으로 배관 외부표면에 직사각형 형태로 만들었으며, 부식손상부의 바닥 모서리는 응력집중을 줄이기 위해 반경 5mm로 완만하게 가공하였다. 파열시험은 물을 사용하여 파괴가 될 때까지 압력을 증가시켰다.

실패관 파열시험편은 부식크기 및 부식위치에 따라 표 1과 같이 분류하였다. 배관 모재에 발생한 다양한 부식손상에 대한 파열시험 결과는 수식으로 제시한 바 있다.⁽⁵⁾ 원주용접부와 심용접부 파열시험편은 부식크기를 일정하게 하였으며 그림 1과 같이 부식손상부와 용접부의 상대적 위치만을 변화시켰다.

그림 2는 원주용접부 및 심용접부 부식배관의 실패관 파열시험 결과이다. 원주용접부 및 심용접부 부식배관의 파열압력은 동일한 부식크기를 가지는 모재 부식배관의 파열압력보다 조금 높게 나타났다. 그러나, 부식손상과 용접부간의 상대적 위치 변화는 파열압력에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 1. The corrosion defect size and region of burst test pipe.

Specimen No.	Corrosion Length L(mm)	Corrosion Depth d (mm)	Corrosion Width W (mm)	Corrosion Region
LD	300	8.75	50	Body of pipe
WA	300	8.75	50	Girth weld
WB	300	8.75	50	
WC	300	8.75	50	
SA	300	8.75	50	Seam weld
SB	300	8.75	50	

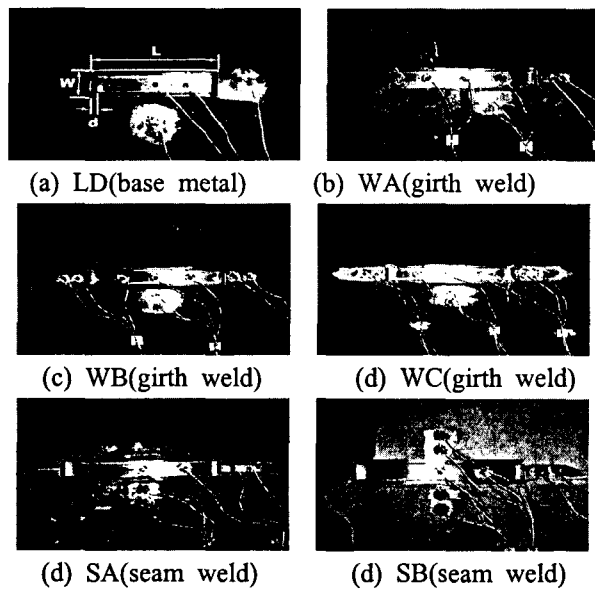


Fig. 1 The shape and region of artificial corrosion defect within the body, the girth weld and the seam weld of pipe.

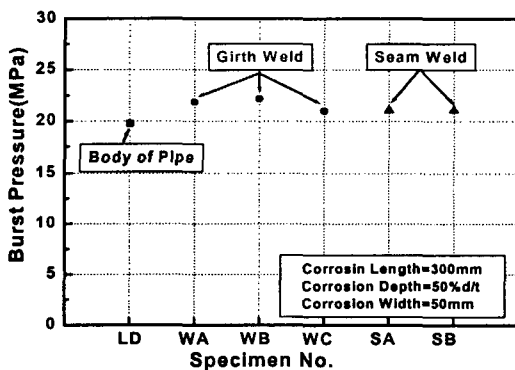


Fig. 2 Burst test result for corrosion defect within the girth weld and seam weld of pipe.

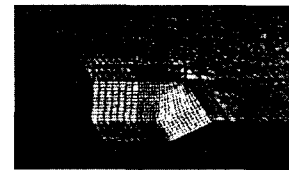
3. 부식배관에 대한 유한요소해석

3.1 유한요소해석 모델

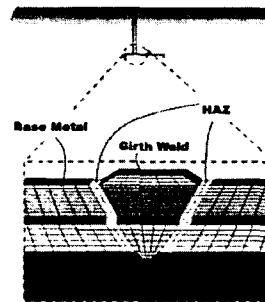
3차원 탄소성 유한요소해석에는 ABAQUS를 사용하였으며 대칭관계를 고려하여 그림 3과 같이 모재는 1/4, 용접부는 1/2 모델로 하였다. 원주용접부와 심용접부 모델은 실제 용접부의 용착 금속 및 열영향부의 크기와 일치하도록 모델을 수행하였다.

정수압은 모델의 내부표면에 부가하였으며, 실배관 파열시험 시 양단을 cap으로 밀봉한 상태를 고려하여 유한요소해석 시에도 이에 상응하는 축방향 응력을 부가하였다. 인장시험으로 모재, 용착금속 및 이에 인접한 열영향부의 기계적 특성을 평가하여 부위별 진인장-진응력곡선을 유한요소해석에 사용하였다.

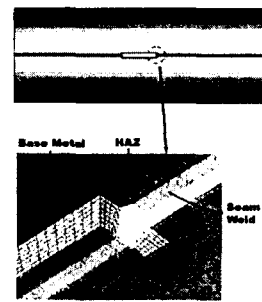
유한요소해석에서 부식손상부의 내부표면이 진인장응력의 90%에 도달하였을 때 파괴가 발생한다고 가정하였다.



(a) Base metal



(b) Girth weld



(c) Seam weld

Fig. 3. The finite element model of corrosion defect within the body, the girth weld and the seam weld of pipe

3.2 부식배관 평가를 한계하중해 도출

그림 4에서 유한요소해석에 의한 원주용접부 부식배관의 파열압력은 실배관 파열시험 결과보다 낮게 나타났다. 그러나 원주용접부 부식배관의 파열압력은 부식부와 원주용접부의 상대적 위치에 큰 영향을 받지 않으며, 모재 부식배관의 파열압력보다 약간 높게 나타났다. 따라서 원주

용접부 부식배관에 파열압력 평가기준은 보수성이 약간 더 증가하지만 모재부 부식배관의 파열압력을 평가하는 수식을 그대로 사용해도 무방할 것으로 판단된다.

$$P_{f,SeamWeld} = 0.9 \times P_{f,Body}$$

$$= 0.86\sigma_{UTS,True} \frac{2t}{D} \left[1 - \frac{d}{t} \left(1 - \exp \left(-\frac{0.224L}{\sqrt{R(t-d)}} \right) \right) \right]$$

4. 결 론

실제크기 배관 파열시험과 유한요소해석 결과를 수행하여 가스배관 원주용접부 및 심용접부에 존재하는 부식부의 크기와 위치에 따른 파열압력 평가기준을 제시하였다.

참고문헌

1. American National Standard Insititute(ANSI)/ American Society of Mechanical Engineers(ASME), 1991, ASME B31G-1991, "Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded pipelines".
2. John F. Kiefner and Paul H. Vieth, 1989, "A Modified Criterion for Evaluating the Remaining Strength of Corroded Pipe", Battelle Memorial Institute.
3. D. R. Stephens, B. N. Leis, M. D. Kurre and D. L. Rudland, 1999, "Development of and alternative failure Criterion for Residual Strength of Corrosion Defects in Moderate to High Toughness Pipe", Battelle Memorial Institute.
4. Fudfinnur Siquidsson, E. H. Gramer, O. H. Bjornoy, B. Fu and D. Ritchie, 1999, "Introduction to DNV RP-F101, Corroded Pipelines", *Proceeding of OMAE 99, 18th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, OMAE99/PIPE-5030
5. Young Pyo Kim, Jong Hyun Baek, Woo Sik Kim and Young Tai Kho, 2002, "The Evaluation of Burst Pressure for Corroded Pipeline by Full Scale Burst Test", *KSME Journal A*, Vol. 26, No. 1, pp. 203~210.

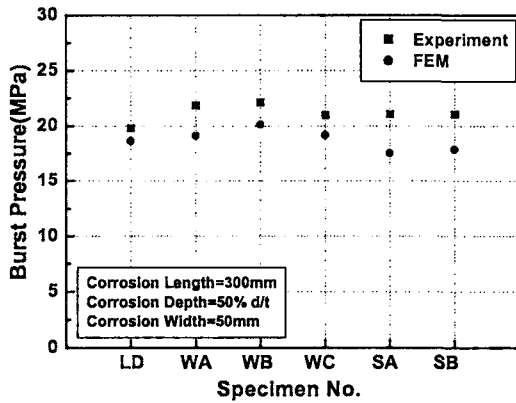


Fig. 4 The results of experimental burst test and finite element analysis for corrosion defect with the body, the girth weld and the seam weld of pipe.

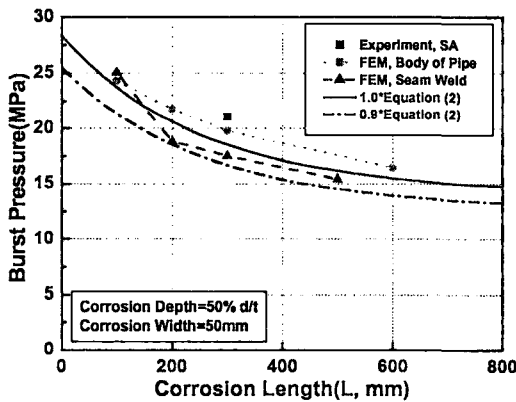


Fig. 5 The finite element analysis result for corrosion defects within the seam weld of pipe.

그림 5는 심용접부 SA 시험편의 실패관 파열압력, 모재 부식배관의 유한요소 해석결과 및 심용접부 부식배관의 유한요소 해석결과 이다. 부식길이에 관계없이 심용접부 부식배관의 파열압력이 낮게 나타남을 알 수 있다.

그림 5에서 심용접부 유한요소해석 결과에 의한 파열압력은 모재부 부식손상 평가수식에 0.9를 곱한 값보다는 높게 나타나므로, 심용접부 부식배관의 파열압력 평가기준은 다음과 같이 제시하였다.