

확장유한요소법을 이용한 가스배관의 인장변형 성능 평가

이승정*† · 차재윤* · 지광습* · 김우식** · 김영표**

*고려대학교 건축사회환경공학과, **한국가스공사 연구개발원

Evaluation of Tensile Strain Capacity for Gas Pipeline using Extended Finite Element Method

Seung-Jung Lee*†, Jae Yoon Cha*, Goangseup Zi*, Woo-Sik Kim** and Young-Pyo Kim*

* School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University.,

** Korea Gas Corporation

1. 서 론

장거리의 육상 및 해저지형을 통과하여 설치되는 가스배관은 지형의 형상 등의 변형에 직접적으로 영향을 받는다. 이러한 외부의 변형에 의해 지배받는 배관의 경우 기존의 응력기반 설계법으로는 고강도 및 고인성 강재의 장점을 활용할 수 없다. 따라서 변형률기반 설계를 통해 경제적인 설계가 필요하다.

파이프라인에 발생 가능한 종방향 변형률이 탄성범위를 크게 상회하게 되면 인장파괴와 압축좌굴에 대한 설계가 필수적이다.^(1,2) 압축좌굴의 경우 설계기준과 유한요소해석법 등에 의해 설계 및 평가법이 일정 수준 이상으로 확립된 것으로 볼 수 있다.⁽³⁾ 하지만 균열형태의 결함을 포함하는 파이프의 인장변형 성능의 경우 여러가지 요인에 의해 그 평가법이 완벽히 확립되지 못한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 새로운 가스배관의 인장변형 성능 평가법을 제안하고자 한다.

2. 가스배관 설계 특성

최근 30 년간 각국 가스배관 설계기준이 발전하면서 점차 변형률기반 설계의 개념을 설계기준에 도입하고 있다.^(4,5,6) DNV의 경우 변위제어 형태의 외부 작용과 관련된 일부 설계대상 항목에 대해서는 변형률기반의 기준을 제시하고 있으며 인장파괴의 경우 BS 기준을 따르도록 규정하고 있다. 또한 CSA의 경우 부록에 변형률기반 설계를 제시하고 있다.

설치 및 운영 시 가스배관에 발생 가능한 변형률의 크기가 약 1%를 넘어가는 경우 이를 허용하

기 위해서는 과도한 두께가 필요하다. 이 경우 각 기준에서 제시하고 있는 두께와 직경의 비를 벗어나기 때문에 고비용의 실험 또는 엄밀한 비선형 유한요소해석이 필요하다.

3. 확장유한요소법을 이용한 성능 평가

3.1 R-curve 법에 의한 결함 평가

유한요소법 등으로 특정 균열길이별 변형률-컴플라이언스의 관계를 작성하고 하중제하 실험의 변형률과 컴플라이언스에 해당하는 균열길이를 판독한다. 이를 통해 균열길이-CTOD의 R-curve를 작성하여 인장변형 성능 평가에 사용한다.⁽⁷⁾

이 때 사용하는 유한요소법의 경우 일반적으로 균열밴드 이론에 근거한 모델을 사용하게 된다. 이는 균열이 발생한 파괴영역을 하나의 연속체로 간주하여 미세균열이 요소내에 분포하여 균열이 진전한다고 가정하는 모델로 요소크기 단위의 균열 성장만이 가능하다. 이 경우 균열도 연속체로 간주하므로 재료의 구성방정식에 복잡한 변형열화 구간이 필요하며 사용한 유한요소의 크기에 따라 상이한 결과를 얻게 된다. 또한 균열의 성장방향이 요소망 구성방향으로 진행하기 때문에 이러한 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 시편의 형상에 의존하지 않고 균열의 성장 파악이 용이한 확장유한요소법을 이용하여 가스배관의 인장변형 성능 평가에 사용하였다.

3.2 확장유한요소법을 이용한 성능 평가

균열의 성장과 유한요소 요소망을 독립적으로 구성한 확장유한요소법은 복잡한 구성방정식이 불필요하다. 본 논문에서는 상용유한요소 해석프로그램인 ABAQUS의 확장유한요소 패키지를 이용하여 균열성장조건을 수정하여 인장변형 성능 평

† Presenting Author, fincher7vn@korea.ac.kr

가에 사용하였다.

J2 와 GTN 모델을 재료모델로 사용하였으며 재료의 변형열화는 점성균열을 이용하여 모사하였다. 부가함수를 사용하지 않았기 때문에 노치 근처에서 밀한 요소망을 구성하여 균열의 성장이 용이하도록 하였다.

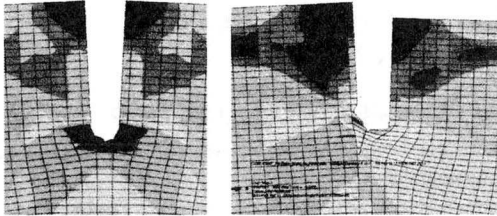


Fig. 1 Example of Single Edged Notched Tension test

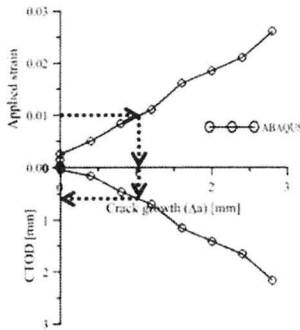


Fig. 2 Example of the evaluation chart

Fig. 1 은 제안한 평가법을 바탕으로 SENT 시편을 모사한 예를 나타낸 것이며 Fig. 2 는 요구되는 일회 총 허용변형률에 따른 배관의 필요 파괴 인성치를 파악할 수 있도록 하는 차트이다. 확장유한요소법을 이용한 가스배관의 인장성능 평가 시 이러한 차트를 이용하여 필요 인성치 또는 해당 재료의 가능 변형률을 간단히 파악할 수 있다.

4. 결론

가스배관의 인장성능 평가 시 균열의 성장과 유한요소 요소망을 독립적으로 구성이 가능한 확장유한요소법을 이용하여 진술한 차트 등을 통해 필요 인성치 또는 해당 재료의 가능 변형률을 간단히 파악할 수 있다.

후 기

본 연구는 2012 년도 한국가스공사의 가스배관 변형률기반설계 한계상태 분석 및 인장성능평가 수치해석 기법 개발 사업으로 이루어진 것으로, 본 연구를 가능하게 한 한국가스공사의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) ASME B31.8, 1995. *Gas transmission and distribution piping systems*. American Society of Mechanical Engineers.
- (2) PRCI, 2011, *Second Generation Models for Strain-Based Design*. Pipeline Research Council International, Inc.
- (3) Lee, S. J., Yoon, Y. C., Hwang, S. S., Cho, W. Y. and Zi, G., 2011, "Development of an Evaluation Method for the Compressive-Bending Plastic Buckling Capacity of Pipeline Steel Tube Based on Strain-Based Design.", *Procedia Engineering*, Vol 14, pp. 312~317.
- (4) DNV-OS-F101, 2010, *Submarine Pipeline Systems*, Det Norske Veritas.
- (5) CSA Z662-11, 2011, *Oil and Gas Pipeline Systems*, Canadian Standard Association.
- (6) BS 7910:2005, 2005, *Guide to Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures*, British Standard
- (7) Minnaar, K, Gioielli, P. C., Macia, M. L., Bardi, F. and Biery, N. E., 2007, "Predictive FEA Modeling of Pressurized Full-Scale Tests", *Proceedings of the Seventeenth International Offshore and Polar Engineering Conference*.