

변형률기반설계를 이용한 가스배관의 인장성능평가

이승정*† · 최국권* · 김우식** · 김영표** · 지광습*

*고려대학교 건축사회환경공학과, **한국가스공사 연구개발원

Evaluation of Tensile Capacity for Gas Pipeline using Strain-Based Design

Seung-Jung Lee*†, Gukgwon Choi*, Woo-Sik Kim**, Young-Pyo Kim*, and Goangseup Zi*

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

** Korea Gas Corporation

1. 서 론

해저 또는 극지방과 같은 특수한 에너지 수송 환경은 해저지진 등의 대규모의 지반 변형이 발생하기에 충분한 조건을 가지고 있다. 따라서 해저 또는 극지방에 설치되는 가스배관의 경우 변형성능의 확보가 필수적이다. 기존의 응력기반 설계법으로는 고강도 및 고인성 강재의 장점을 활용하여 변형성능을 확보할 수 없기 때문에 변형률기반 설계를 통해 경제적인 설계 및 변형성능 확보가 필요하다. 파이프라인의 변형성능의 경우 크게 인장과 압축으로 나눌 수 있으며, 각각의 변형성능에 대한 평가 및 설계법이 연구 및 적용되고 있다.^(1,2) 압축의 경우, 설계 및 평가법이 일정 수준 이상으로 확립된 것으로 볼 수 있지만⁽³⁾ 균열형태의 결함을 포함하는 파이프의 인장변형 성능의 경우 그 평가법이 완벽히 확립되지 못한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 변형률기반설계를 이용한 가스배관의 인장성능평가법을 제안하고자 한다.

2. 가스배관 변형률기반설계

기존에 국내에 건설된 가스배관의 경우 작용하중에 대해 배관이 안전하게 저항하도록 설계되어 있다. 설계 시 외부 작용은 크게 하중제어 방식과 변위제어 방식으로 구분할 수 있다. 전통적인 배관 설계 기법에서는 외부의 작용을 모두 하중으로 치환하여 최대 하중에 도달하기 전까지 재료의 거동을 설계에 반영하였다. 반면 외부의 작용이 변위제어인 경우에는 구조물의 저항성능이 파단 시점까지로 확장되어 사용될 수 있다. 외부 작용을 변위제어방식으로 설계 기준 내에서 허용하도록 하는 설계법을 변형률기반 설계법이라고 하며, 최

근 30 년가 각국의 가스배관 설계기준에서 인장과 압축변형 모두에 적용하는 추세에 있다.^(4,5,6)

DNV의 경우 변위제어 형태의 외부 작용과 관련된 일부 설계대상 항목에 대해서는 변형률기반의 기준을 제시하고 있으며 인장과파괴의 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 허용하기 위해서는 과도한 두께가 필요하다. 이 경우 각 기준에서 제시하고 있는 두께와 직경의 비를 벗어나기 때문에 고비용의 실험 또는 엄밀한 비선형 유한요소해석이 필요하다.

3. 확장유한요소법기반

인장변형성능 평가법

3.1 확장유한요소법

구조물에 존재하는 균열의 거동과 이로 인한 구조물의 영향을 예측하기 위하여 파괴역학이론과 수치해석기법이 기반이 된 다양한 기법들이 제안되었다. 가장 널리 사용되는 유한요소법의 경우 불연속면의 기하학적 특성이 변하지 않는 구조물 외에 균열진전을 해석하기 위해서는 요소망의 구성상 제약조건이 발생하는 단점이 있기 때문에 확장유한요소법(Extended finite element method) 등이 개발되었다. 확장유한요소법의 경우 Fig. 1과 같이 균열을 포함하고 있는 구조물의 국부적인 특이성을 기저함수의 확장을 통해 요소내적으로 표현하여 요소망 제약조건을 극복할 수 있다.⁽⁷⁾ 또한, 임의의 형상으로 교차하는 균열까지도 요소망의 제약조건 없이 해석할 수 있으며 다수의 균열 성장 및 합체도 모사할 수 있다.

† Presenting Author, fincher7vn@korea.ac.kr

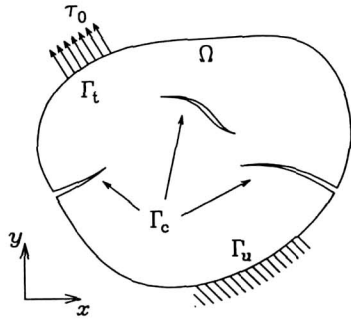


Fig. 1 Two dimensional domain with multiple cracks

3.2 확장유한요소기반 인장성능평가

균열의 성장과 유한요소 요소망을 독립적으로 구성한 확장유한요소법은 복잡한 구성방정식이 불필요한 장점이 있다. 본 논문에서는 상용유한요소 해석프로그램인 ABAQUS의 확장유한요소 패키지를 이용하여 균열성장조건을 수정하여 인장변형 성능 평가에 사용하였다. 재료모델의 경우 균열의 발생 전과 후로 이산화하여 파괴와 소성거동의 에너지 분리가 가능하도록 하였다. 균열 발생 전의 경우 해석시간 및 수렴문제를 방지하기 위해 완전 소성거동 모사만이 가능한 J2 모델을 사용하였으며, 균열 발생 후의 경우 점성균열 모델을 통해 파괴에 의한 에너지가 소산되도록 하였다. Fig. 2와 같이 균열의 시각적 모사가 가능하며 별다른 처리 없이 균열의 진전을 확인할 수 있다.

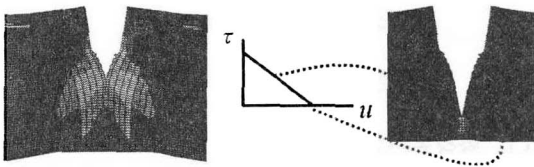


Fig. 2 Evaluation of Tensile Capacity using eXtended Finite Element Method based on Strain-based design

본 연구에서는 확장유한요소법을 이용하여 가스배관의 인장변형성능을 평가하기 위해 SENT (Single Edged Notched Tension) 시편을 이용하여 개발된 기법의 검증과정을 거쳤다. 전술한 그림과 같이 균열의 생성 및 성장이 적절히 모사되는 것을 확인할 수 있으며 실험값과의 비교를 통해 개발 기법의 적정성도 확인할 수 있었다. 이때 요구되는 일회 총 허용변형률에 따른 배관의 필요 파괴인성치를 파악할 수 있도록 하는 CTOD-균열성장길이-변형률의 차트를 작성하여 인장성능평가

에 이용할 수 있다. 확장유한요소법을 이용한 가스배관의 인장성능평가 시 이러한 차트를 이용하여 필요인성치 또는 해당재료의 가능 변형률을 간단히 파악할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 변형률기반설계를 이용하여 가스배관의 인장성능평가를 수행할 수 있는 방법을 제안하였다. 확장유한요소법을 이용한 평가법과 CTOD-균열성장길이-변형률 차트를 통해 해당재료의 인장성능을 적절히 평가할 수 있었다.

후기

본 연구는 2012년도 한국가스공사의 가스배관 변형률기반설계 한계상태 분석 및 인장성능평가 수치해석 기법 개발 사업과 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (20133010021770)

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) Zi, G., Chen, H., Xu, J., and Belytschko, T. 2005, "The extended finite element method for dynamic fractures.", *Shock and vibration*, Vol 12, No 1, pp.9~23.