

2ply 벨로우즈 신축관이음의 반복하중 실험 기반 유한요소 해석

Finite Element Analysis of 2ply Bellows Expansion Joint based on Cyclic Loading Test

손호영* · 전범규** · 이상우*** · 주부석****

Son, Ho-Young · Jeon, Bub-Gyu · Lee, Sang-Woo · Ju, Bu-Seog

요약

최근 발생한 경주 및 포항 지진으로 인해 다수의 매립배관 손상이 보고되었다. 벨로우즈 신축관이음은 기하학적 특성으로 인해 진동 및 침하 등으로 인한 손상을 저감시킬 수 있다. 벨로우즈 신축관이음관의 내진 성능평가에 대한 실험적 혹은 해석적 연구는 미미한 상황이다. 본 연구는 벨로우즈 신축관이음관의 내진성능을 분석하기 위해 반복하중 기반의 실험적 연구를 수행하였다. 또한 실험결과를 기반으로 3차원 유한요소 모델을 구축하였으며 실험과 해석에서 얻어진 하중-변위 관계를 비교하였다. 해석 모델에서 전체적인 강성이 큰 것으로 나타났으며 최대 변위가 작용할 때 에너지 소산량은 약 10% 가량 큰 것으로 나타났다.

Keywords : 경주 및 포항 지진, 매립배관, 벨로우즈 신축관이음, 반복하중, 유한요소 모델

1. 서론

벨로우즈 신축관이음은 여러 개의 회선이 연결된 형태로 변위 및 회전을 일부 허용하여 배관 시스템의 기계진동 및 반복하중으로 인한 손상을 저감시킬 수 있다. 벨로우즈 신축관이음은 주로 기계적 장치에 연결되기 때문에 기계진동에 의한 성능평가 연구가 주를 이루었다. 몇몇 연구자들은 지진 특성을 고려한 벨로우즈 신축관이음의 실험적 연구를 수행하여 내진성능을 검토하였다(전범규 등, 2022). 또한 몇몇 연구자들은 벨로우즈 신축관이음의 유한요소 모델을 구축하여 전단 및 축방향 등의 하중을 적용하여 해석적 성능평가를 수행하였다(Xiang et al., 2017). 본 연구는 벨로우즈 신축관이음의 반복하중 실험을 수행하였으며 실험결과를 기반으로 유한요소 모델을 구축 및 검증하였다.

2. 반복하중 실험

본 연구는 벨로우즈 신축관이음의 내진성능을 분석하기 위해 반복하중을 적용하여 실험적 연구를 수행하였다. 실험은 그림 1 (a)와 같이 80A 배관을 대상으로 6개의 회선을 갖는 2ply 벨로우즈를 대상으로 수행되었다. ANSI/FM 1950에서 제시하고 있는 반복하중 재하시험을 참고하여 그림 1 (b)와 같은 반복하중을 적용하였다. 실험의 구성은 그림 1 (c)와 같이 한쪽 끝단을 jig로 고정하고 반대쪽은 jig와 pin 연결하여 힘 변형이 배관에 집중되도록 구성하였다. 내부 압력을 0.4MPa를 유지하면서 실험이 진행되었으며 누수가 발생하였을 때 실험을 종료하는 것으로 설계하였다. 실험은 그림 1 (d)와 같이 구성하였다.

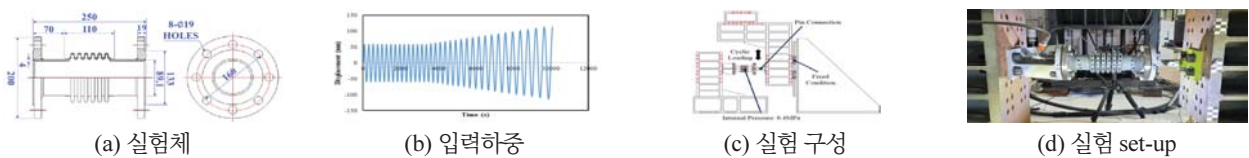


그림 1. 반복하중 실험 준비

* 정희원 · 경희대학교 사회기반시스템공학과 연구박사 shyoung0623@khu.ac.kr

** 부산대학교 지진방재연구센터 연구교수 bkjeon79@pusan.ac.kr

*** 경희대학교 사회기반시스템공학과 연구박사 slee83@khu.ac.kr

**** 정희원 · 경희대학교 사회기반시스템공학과 교수 bju2@khu.ac.kr

3. 유한요소 모델 및 해석

실험결과를 바탕으로 그림 2와 같이 유한요소 모델을 구축하였다. Solid, Shell, Beam 요소가 사용되었으며 0.4MPa의 내압을 유지한 후 Jig 끝단에 반복하중을 적용하였다. 실험결과에서 최대하중은 3.48kN이며 해석 결과는 3.97kN으로 나타났다. 최대 변위가 발생하는 사이클에서 에너지 소산량은 10%내외의 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 그림 4는 최대 변위에서 응력 컨투어로 응력 집중이 발생한 위치가 그림 5의 실험에서 벨로우즈의 손상 위치와 동일한 것으로 나타났다.

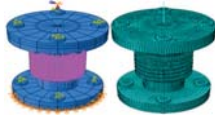


그림 2. 유한요소 모델

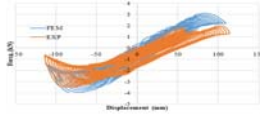


그림 3. 하중-변위 곡선

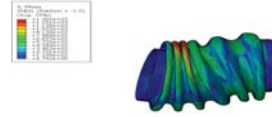


그림 4. 응력 컨투어



그림 5. 손상형태

4. 결론

본 연구는 2ply 벨로우즈 신축관이음의 내진성능평가를 위해 반복하중 실험을 수행하였으며 실험결과를 바탕으로 유한요소 모델을 구축하였다. 실험 및 해석결과를 비교하였을 때 최대 하중이 유사하며 에너지 소산량도 유사한 것으로 나타났다. 추후 연구를 통해 구축된 유한요소 모델을 업데이트하고자 하며 지반-구조물 상호작용을 고려한 벨로우즈 신축관이음의 내진 안전성 평가를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(21CTAP-C164263-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

윤다운, 전법규, 김성완, 유진석, 주부석 (2021) 벨로우즈 신축이음관의 내진 및 내침하성능 평가를 위한 저주기피로 신뢰성 실험, 한국복합신소재구조학회 논문집, 12(6), pp. 64-70.

ANSI/FE Approvals 1950 (2016) American national standard for seismic sway brace for pipe, tubing and conduit, *American National Standards Institute(ANSI)*, Boston, USA.

Xiang, X. M., Lu, G., Li, Z. X. and Lv, Y. (2017) Finite Element Analysis and Experimental Study on a Bellows Joint, *Engineering Structures*, 151, pp. 584-598.