

변동 축하중을 받는 중공 철근콘크리트 교각에 관한 해석적 연구

Analytical Study on Hollow Reinforced Concrete Bridge Piers under Varying Axial Load

김 태 훈* 김 영 진** 신 현 목***
Kim, Tae Hoon Kim, Young Jin Shin, Hyun Mock

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the inelastic behavior of hollow reinforced concrete bridge piers under varying axial load. The role of the variable axial load is very important in the ductility, strength, stiffness, and energy dissipation. A computer program, named RCAST (Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology), for the analysis of reinforced concrete structures was used. Material nonlinearity is taken into account by comprising tensile, compressive and shear models of cracked concrete and a model of reinforcing steel. The proposed numerical method for the inelastic behavior of hollow reinforced concrete bridge piers under varying axial load is verified by comparison with reliable experimental results.

1. 서론

교량이 장대화 되고, 교각의 높이가 높아짐에 따라 발생하는 자중증가에 따라 과도한 설계 지진력을 감소시킬 수 있는 교각의 필요성이 대두되었으며, 이러한 필요에 의해 개발된 교각구조가 바로 중공단면 교각이다.

근래에 이러한 중공단면 교각이 구조물의 자중, 사용재료의 경감 및 수화열 억제를 위하여 경제적 및 구조적인 측면에서 고속도로 교량 및 기타 교량에서 널리 설계·시공되어지고 있으나 국내·외적으로 중공단면 교각의 지진에 대한 연구는 미흡한 실정이다^{1,2)}. 더욱이 비탄성해석을 통한 중공단면 교각의 연성능력을 파악하거나 지반운동에 대한 경제성 및 안전성 확보를 위하여 동적거동에 관한 실험적·해석적 연구가 절실히 요구되는 실정이다.

중공단면 교각의 내진성능은 동일한 단면적을 갖는 중실단면 교각과 내진성능이 유사한 것으로 평가되었으며 비내진 상세를 갖는 중공 교각도 어느 정도의 연성능력을 확보하고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 일반적으로 전단에 취약하며 높은 축력비를 갖는 경우 중공 안쪽면의 압축파괴로 취성거동을 보임으로써, 연성거동을 위한 기술개발이 요구되고 있다. 또한 중공단면 교각의 경우 중공비, 축력

* 정회원, 대우건설 기술연구원 선임연구원, 공학박사
** 정회원, 대우건설 기술연구원 수석연구원, 공학박사
*** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사

비, 주철근비 등 제원특성에 따라 다양한 거동을 나타내게 되므로, 매개변수 연구를 통하여 거동특성을 심도 있게 규명할 필요가 있다.

이 연구의 목적은 최근 들어 관심과 활용이 증가하고 있는 중공 철근콘크리트 교각의 비탄성 거동을 해석적으로 예측하는 것이다. 아울러 다주식 교각의 경우 발생할 수 있는 변동 축하중에 의한 영향을 파악하는 것이다. 이러한 교각구조는 지진에 의해 축력이 변화하여 축인장력과 축압축력이 동반되는 복잡한 거동특성을 지니고 있다.

이 연구에서는 중공 철근콘크리트 교각을 등가환산단면을 이용하여 2차원 평면요소로 해석이 가능하도록 하고 비선형 유한요소해석을 실시하여 비탄성 거동특성 및 파괴메커니즘을 파악하였다.

2. 비선형 유한요소해석 프로그램 RCAHEST

이 연구에서는 저자 등에 의하여 그 동안 개발된 철근콘크리트 평면응력요소, 그리고 경계면요소 등³⁻⁵⁾을 미국 버클리 대학의 Taylor가 개발한 범용 유한요소해석 프로그램인 FEAP⁶⁾에 이식하여 모듈화된 비선형 유한요소해석 프로그램인 RCAHEST(Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology)을 중공 철근콘크리트 교각의 거동특성을 모사할 수 있도록 수정을 가하여 사용하였다.

3. 해석 예 및 고찰

이 연구에서 제안한 해석기법과 모델의 타당성을 검증하기 위해서 그림 1, 2에 나타난 것과 같은 중공 철근콘크리트 교각의 실험체⁷⁾를 선정하였다.

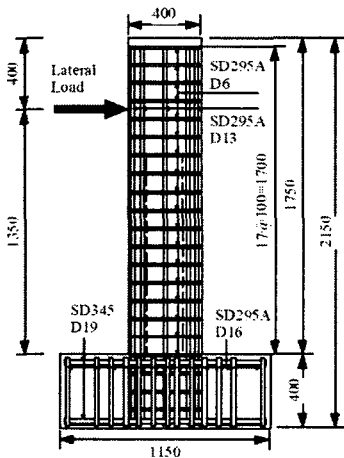


그림 1 실험체의 형상 (단위: mm)

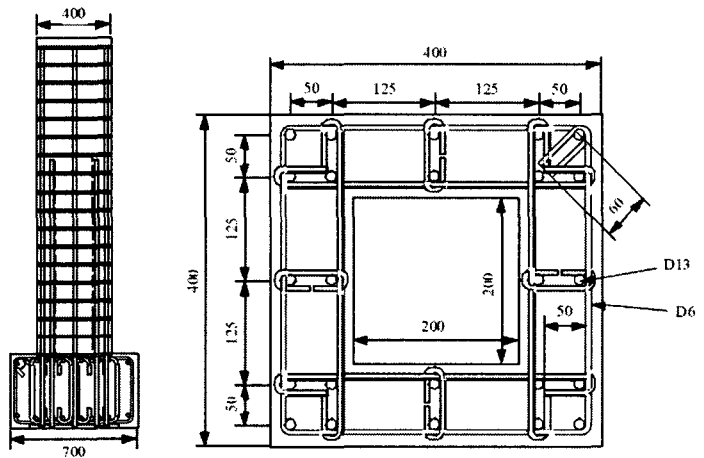


그림 2 실험체의 단면 (단위: mm)

실험체의 단면은 중공 사각형 단면이며 형상비(shear aspect ratio)는 3.86이다. 재하는 순차적으로 변위진폭을 증가시켰으며 실험체 TP-35와 TP-36은 축압축력 230 kN을 일정하게, TP-37과 TP-38은 축력을 -10~410 kN로 변동시켜 재하하였다.

이 실험체들의 유한요소해석을 위해서 중공 철근콘크리트 교각을 등가환산단면을 이용하여 그림 3과 같이 2차원 평면요소로 해석이 가능하도록 하였으며 그림 4는 비선형 유한요소해석을 수행하기 위하여 요소 분할한 예이다.

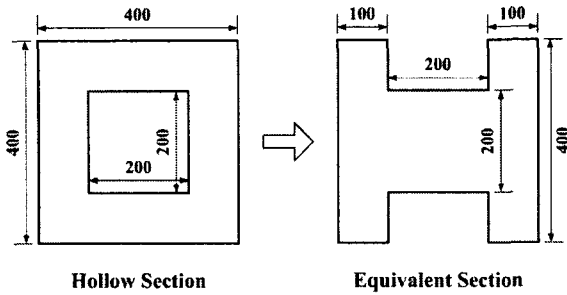


그림 3 등가환산단면 (단위: mm)

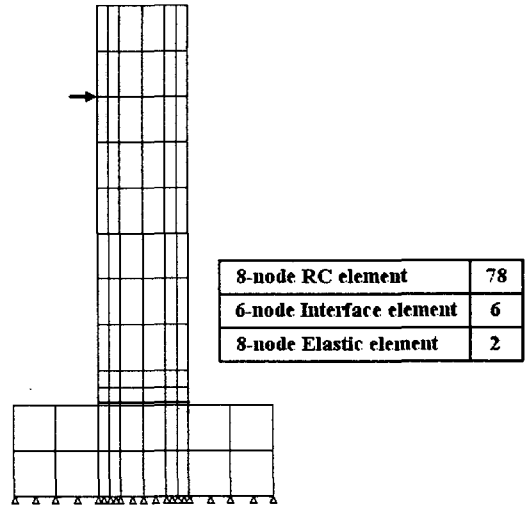


그림 4 유한요소모델

그림 5, 6은 이 연구의 해석모델을 적용한 유한요소해석 결과와 실험에 의한 하중-변위 관계를 나타내고 있으며 해석결과가 실험결과와 전반적으로 잘 일치함을 알 수 있다.

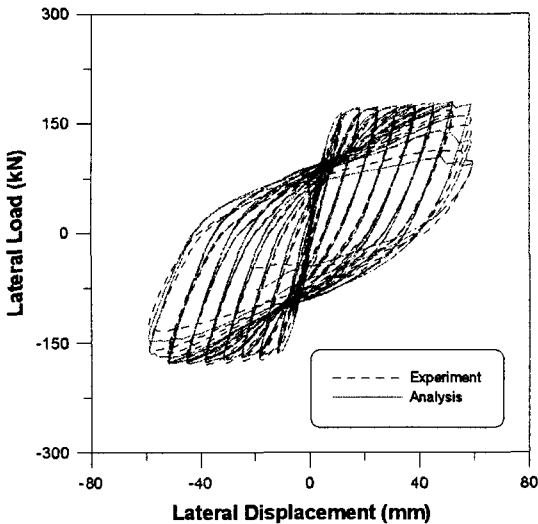


그림 5 실험체 TP-36의 하중-변위 이력곡선

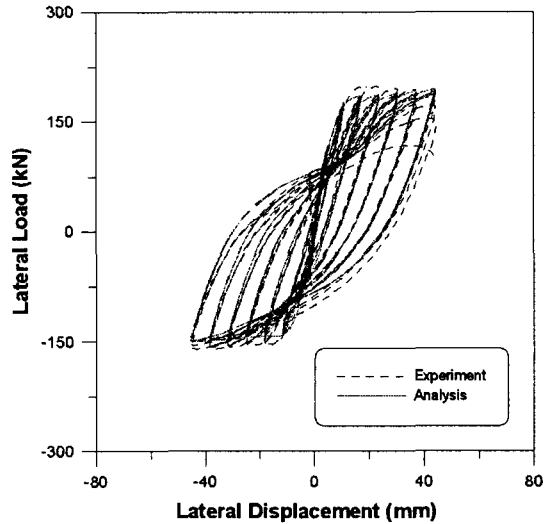


그림 6 실험체 TP-38의 하중-변위 이력곡선

변동 축하중을 받는 실험체 TP-38은 소성힌지 부분의 콘크리트의 압축파괴가 그림 7 (a)과 같이 Pull 방향보다 Push 방향에 집중된다. 이는 Push 횡변위로 인한 복원력이 Pull 횡변위로 인한 복원력보다 크기 때문이다(그림 6). 즉, Push 횡변위일 때 축하중에 의하여 압축력이 증가하기 때문이다. 이러한 비선형 거동특성을 이 연구에서 제안한 해석방법은 잘 평가하고 있으며 손상정도를 검색하기 위한 파괴시점의 요소레벨의 손상지수도^{3,4)} 이를 잘 나타내고 있다(그림 7 (b)).

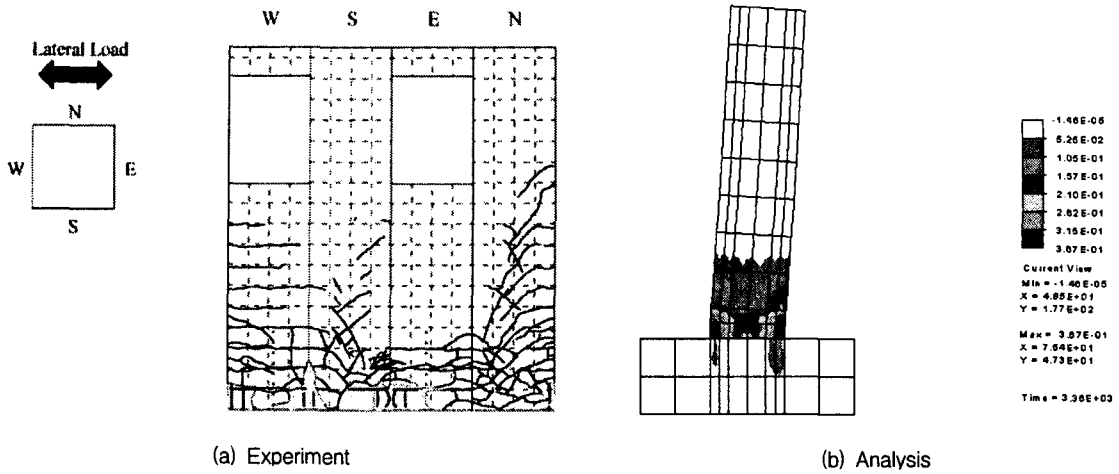


그림 7 실험체 TP-38의 파괴양상

4. 결론

일련의 실험결과와 해석결과의 비교로부터 이 연구에서 제안하고 있는 방법은 변동 축하중을 받는 중공 철근콘크리트 교각의 비탄성 이력거동을 적절히 평가하고 있으며, 개발된 철근콘크리트 구조물의 비선형 유한요소해석 프로그램(RCAHEST)을 이용함으로써, 해석적 방법에 의한 신설 또는 기존 중공 철근콘크리트 교각의 내진성능평가가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정영수, 한기훈, 이강균, 이대형, “원형중공 콘크리트 교각의 내진성능에 대한 준정적 실험,” 한국지진공학회 논문집, 1999, 제3권, 2호, pp. 41-53.
2. Mo, Y. L., Wong, D. C., and Maekawa, K., “Seismic Performance of Hollow Bridge Columns,” ACI Structural Journal, 2003, Vol. 100, No. 3, pp. 337-348.
3. 김태훈, “비선형 유한요소해석을 이용한 철근콘크리트 교각의 내진성능평가,” 박사학위 논문, 성균관대학교, 2003.
4. Kim, T. H., Lee, K. M., Chung, Y. S., and Shin, H. M., “Seismic Damage Assessment of Reinforced Concrete Bridge Columns,” Engineering Structures, 2005, Vol. 27, No. 4, pp. 576-592.
5. Kim, T. H., Kim, B. S., Chung, Y. S., and Shin, H. M., “Seismic Performance Assessment of Reinforced Concrete Bridge Piers with Lap Splices,” Engineering Structures, 2006, Vol. 28, No. 6, pp. 935-945.
6. Taylor, R. L., FEAP - A Finite Element Analysis Program, Version 7.2, Users Manual, Volume 1 and Volume 2, 2000.
7. Kawashima, K., Une, H. and Sakai, J., “Seismic Performance of Hollow Reinforced Concrete Arch Ribs Subjected to Cyclic Lateral Force under Varying Axial Load,” Journal of Structural Engineering, JSCE, 2002, 48A, pp. 747-757.