

완전 조립식 교량 하부구조의 비선형해석을 위한 전산플랫폼

A Computational Platform for Nonlinear Analysis of Totally Prefabricated Bridge Substructure Systems

김 태 훈* · 신 현 목**

Kim, Tae-Hoon · Shin, Hyun-Mock

요 약

이 연구에서는 완전 조립식 교량 하부구조의 비선형해석을 위한 전산플랫폼을 개발하였다. 완전 조립식 교량 하부구조의 비선형거동을 정확하게 파악하고 합리적이면서 경제적인 설계기준의 개발을 위한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 재료적 비선형성에 대해서는 균열콘크리트에 대한 인장, 압축, 전단모델과 콘크리트 속에 있는 철근모델을 조합하여 고려하였다. 사용된 부착 또는 비부착 텐던요소는 유한요소법에 근거하며 프리스트레스트 콘크리트 부재의 콘크리트와 텐던의 상호작용을 구현할 수 있다. 그리고 접합면요소는 세그먼트 접합부의 비탄성거동을 예측할 수 있다. 제안된 해석기법은 수치예제에 대하여 비선형거동을 비교적 정확하게 예측하였다.

keywords : 완전 조립식 교량 하부구조, 비선형해석, 전산플랫폼, 비선형거동, 재료적 비선형성

1. 서 론

새로운 교량 하부구조에 대한 연구로서 프리캐스트 기술의 적용이 최근 들어 활발하게 이루어지고 있는데, 이러한 조립식 교량 하부구조는 여러 개의 세그먼트를 공장에서 제작한 후 현장에서 조립하여 프리스트레스 힘을 도입하는 시스템으로서 최근 선진 각국에서 실용화를 위한 연구가 진행되고 있다(Kim 등, 2010).

이러한 조립식 교량 하부구조는 여러 가지 복합적인 요인으로 공법의 장점이 부각되어 채택되는 경우가 늘어가고 있다. 콘크리트 타설 또는 거푸집 설치 등이 용이하지 않은 입지조건이나 신속한 하부구조 시공이 요구되는 경우에 매우 효과적이며 교량 건설에서 유발되는 환경문제 및 민원문제를 최소화 할 수 있는 장점이 있다.

이 연구에서는 고속도로 4차로 편측폭원 3경간 교량의 조립식 하부구조를 현행설계법과 하중저항계수설계법으로 설계하였다. 두 방법으로 설계된 결과의 구조성능과 경제성을 분석하였으며, 비선형 유한요소해석에 의한 지진해석을 수행하고 지진응답 등을 비교 · 고찰 하였다.

* 정회원 · 삼성물산(주) 건설부문 기반기술연구소 수석연구원 th1970.kim@samsung.com

** 정회원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수 hmshin@skku.edu

2. 전산플랫폼 RCAHEST

2.1 프리스트레스트 콘크리트의 비선형 재료모델

프리스트레스트 콘크리트는 일반적으로 콘크리트와 철근 및 텐던으로 구성되는 복합재료이며, 비선형 재료모델은 이들 각 구성 재료가 중첩된 것으로 표현할 수 있는데 각각의 해석모델은 콘크리트와의 부착특성을 고려하여 개발된 것이라야 한다. 이러한 비선형 재료모델은 저자 등에 의하여 이미 발표된 재료모델(Kim 등, 2003; Kim 등, 2007; Kim 등, 2008; Kim 등, 2010)을 그대로 적용하기로 한다.

2.2 전산플랫폼의 작성

이 연구에서는 저자 등에 의하여 그 동안 개발된 철근콘크리트 평면응력요소, 부착 또는 비부착 텐던요소, 그리고 접합면요소 등(Kim 등, 2003; Kim 등, 2007; Kim 등, 2008; Kim 등, 2010)을 미국 버클리 대학의 Taylor가 개발한 범용 유한요소해석 프로그램인 FEAP ver. 7.2(Taylor, 2000)에 이식하여 모듈화된 비선형 유한요소해석 프로그램 RCAHEST (Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology)을 수정하여 사용하였다(그림 1).

2D or 3D Spring element	4 nodes PSC shell element	2D or 3D Flexibility-based fiber beam-column element	4 nodes Elastic shell element
Interface element	FEAP		4 nodes RC shell element
Joint element	Bonded or Unbonded prestressing bar element	RC plane stress element	2D Elasto-plastic plane stress element

그림 1 전산플랫폼 RCAHEST

3. 수치예제 및 고찰

이 연구에서는 고속도로 4차로 편측폭원 3경간 교량의 조립식 하부구조를 현행설계법과 하중저항계수설계법으로 각각 설계하였다. 이때 설계는 현행 도로교설계기준(2005), 콘크리트구조설계기준(2007), 그리고 AASHTO-LRFD(2007)를 근거로 하였다. 그리고 현행 도로교설계기준의 DB-24 및 DL-24 설계활하중을 적용하여 AASHTO-LRFD에 기초한 하중저항계수설계법으로 설계하였다.

그림 2는 설계된 예제의 제원과 비선형 유한요소해석을 수행하기 위하여 요소 분할한 예이다. 완전 조립식 교량 하부구조 설계예제의 경우 기초부, 기둥부 그리고 코핑부에 9개의 세그먼트로 구성되어 있으며 총 137개의 요소로 분할하였다. 8절점 철근콘크리트 평면응력 요소가 96개, 세그

먼트 사이에 6절점 프리캐스트 접합면 요소 32개, 프리캐스트 기초부재와 후타설 기초부 사이에 6절점 경계면 요소 4개, 그리고 부착 텐던의 거동을 고려하기 위한 다절점 부착 텐던요소 5개가 사용되었다. 또한 원형 프리캐스트 세그먼트 교각의 2차원 해석을 위하여 등가환산단면을 이용하여 원형단면을 4개의 직사각형 요소로 변환하여 해석을 수행하였다. 등가환산단면은 원형 프리캐스트 세그먼트 교각의 실제거동과 유사하도록 PS 강재와 콘크리트의 단면적, 하중재하 방향의 단면 2차 모멘트를 같게 하여 유도하였다.

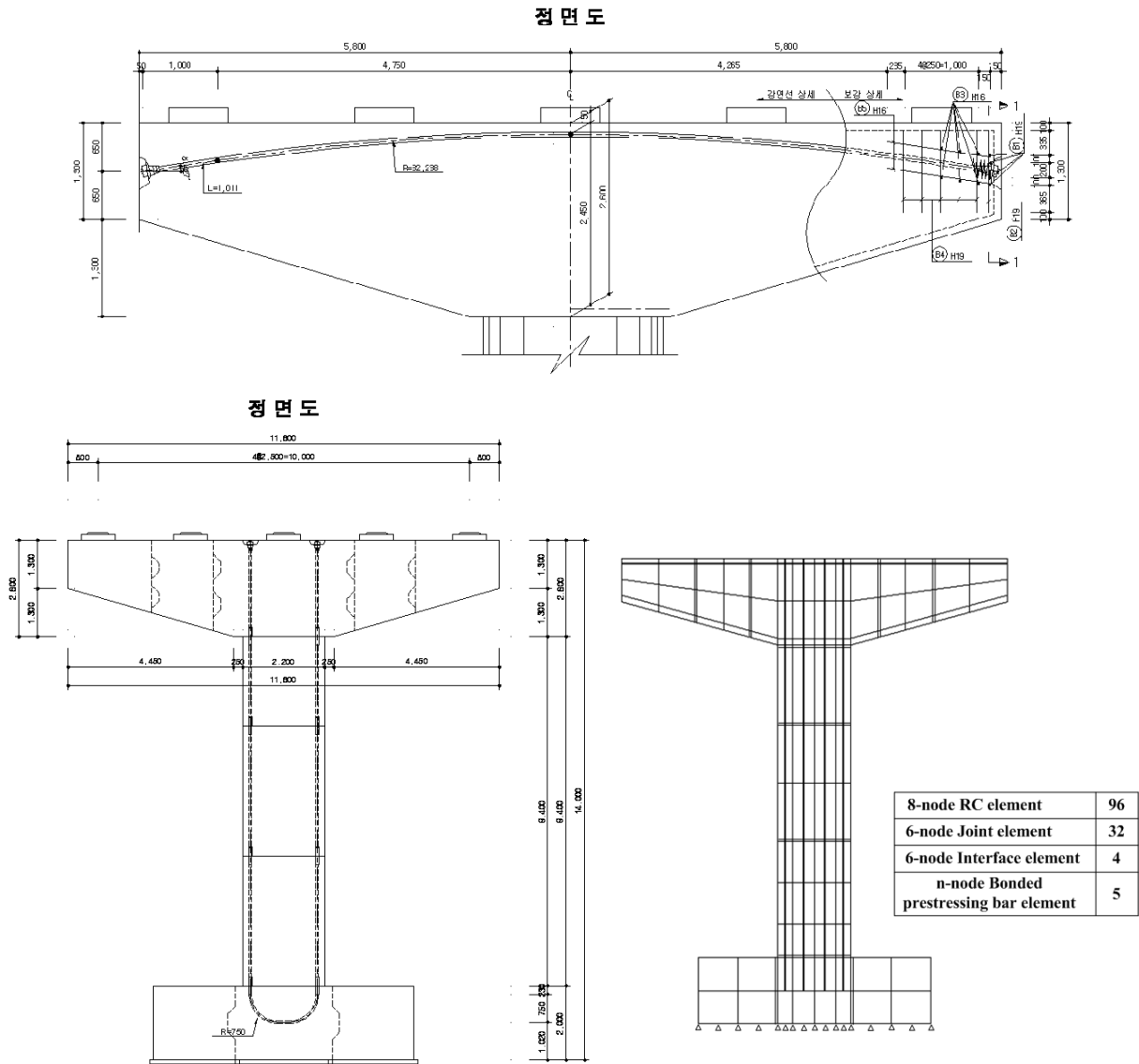


그림 2 완전 조립식 교량 하부구조

그림 3은 비선형 동적 유한요소해석 결과에 의한 변위와 하중의 이력관계를 현행설계법과 하중저항계수설계법으로 비교하여 나타내고 있으며 완전 조립식 교량 하부구조의 지진하중에 대한 변위와 하중의 주기 및 전체적인 응답특성을 전반적으로 정확하게 나타내고 있음을 알 수 있다.

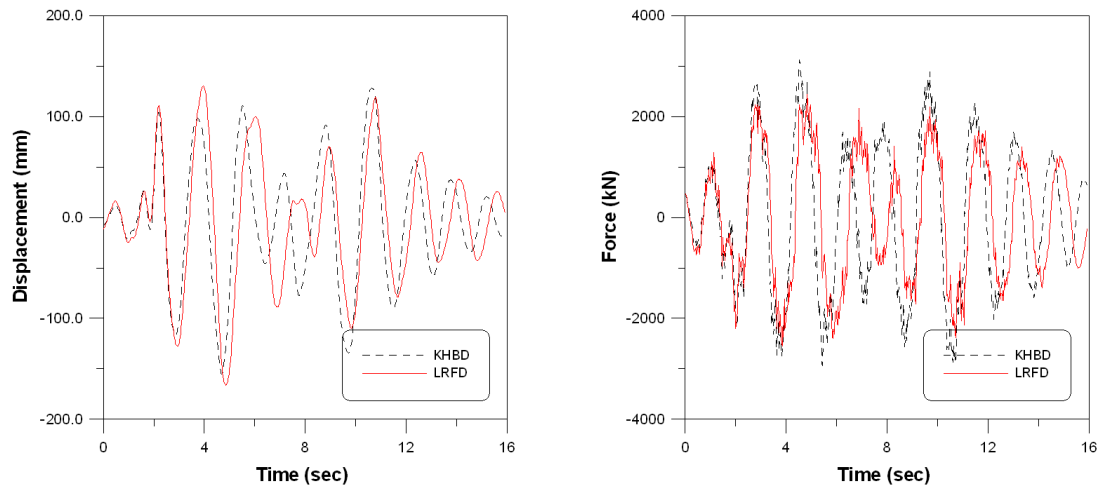


그림 3 지진응답 (0.5g)

4. 결론

이 연구에서 제안하고 있는 방법은 지진하중에 의한 완전 조립식 교량 하부구조의 비탄성 이력 거동을 적절히 평가하고 있으며, 개발된 비선형 유한요소해석 프로그램(RCAHEST)을 이용함으로써, 해석적 방법에 의한 완전 조립식 교량 하부구조 시스템의 내진성능평가가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부 (2005) 도로교설계기준.

한국콘크리트학회 (2007) 콘크리트구조설계기준.

AASHTO (2007) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 4th Edition.

Kim, T.H., Kim, Y.J., Kang, H.T., and Shin, H.M. (2007) Performance assessment of reinforced concrete bridge columns using a damage index, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(7), pp.843~855.

Kim, T.H., Lee, H.M., Kim, Y.J., and Shin, H.M. (2010) Performance assessment of precast concrete segmental bridge columns with a shear resistant connecting structure, *Engineering Structures*, 32(5), pp.1292~1303.

Kim, T.H., Lee, K.M., Yoon, C.Y., and Shin, H.M. (2003) Inelastic behavior and ductility capacity of reinforced concrete bridge piers under earthquake. I: theory and formulation, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 129(9), pp.1199~1207.

Kim, T.H., Park, J.G., Kim, Y.J., and Shin, H.M. (2008) A computational platform for seismic performance assessment of reinforced concrete bridge piers with unbonded reinforcing or prestressing bars, *Computers & Concrete*, 5(2), pp.135~154.

Taylor, R.L. (2000) FEAP - A Finite Element Analysis Program, Version 7.2 Users Manual, Volume 1 and Volume 2.