

프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 비선형해석을 위한 전산플랫폼

A Computational Platform for Nonlinear Analysis of Prestressed Concrete Deep Beams

김 태 훈* · 김 영 진** · 신 현 목***

Kim, Tae-Hoon · Kim, Young-Jin · Shin, Hyun-Mock

요 약

이 연구에서는 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 비선형해석을 위한 전산플랫폼을 개발하였다. 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 전단거동을 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. 이 연구에서는 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 전단거동을 파악하기 위해 제안한 해석기법을 신뢰성 있는 연구자의 실험 결과와 비교하여 그 타당성을 검증하였다.

keywords : 프리스트레스트 콘크리트, 깊은 보, 비선형해석, 전단거동, 재료적 비선형성

1. 서 론

철근콘크리트 깊은 보의 상부 구조체의 수직하중을 지지하는 구조요소로서 충분한 전단내력을 보유하여야 하며, 전단내력을 향상시키기 위해 보의 크기를 증가시키는 방법 이외에 고강도 콘크리트 또는 프리스트레싱의 사용이 효과적인 해결책이 될 수 있다. 이러한 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 일반 철근콘크리트 깊은 보에 비해 휨-전단 균열이 감소하며 전단내력 상승이 큰 장점을 가지고 있다. 그러나 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 거동특성에 관한 연구는 부족한 상태이며 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 전단거동, 프리스트레싱 작용, 그리고 크기효과 등에 관한 연구가 진행되고 있다(이진섭과 김상식, 1999; Tan과 Mansur, 1992).

현행 콘크리트구조설계기준(2007)에서 깊은 보의 한쪽 면이 하중을 받고 반대쪽 면이 지지되어 하중과 받침부 사이에 압축대가 형성되는 구조요소로서 순경간 l_n 이 부재 깊이의 4배 이하이거나 받침부 내면에서 부재 깊이의 2배 이하인 위치에 집중하중이 작용하는 경우 집중하중과 받침부 사이의 구간에 해당하는 부재로 정의하고 있다. 이러한 깊은 보의 비선형해석 또는 스트럿-타이 모델(Strut-and-Tie Model)에 따라 설계하

* 정회원 · (주)대우건설 기술연구원 선임연구원 kimth@dwconst.co.kr

** (주)대우건설 기술연구원 전문위원 kimyj@dwconst.co.kr

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

도록 규정하고 있다. 그러나 이 연구의 대상인 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 설계에 대해서는 명확한 설계방법을 제시하지 않고 있다.

이 연구에서는 이와 같은 스트럿-타이 모델 설계법의 대안으로 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 전단 거동을 해석적으로 예측할 수 있는 기법을 제시하는데 그 목적이 있다.

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)을 그대로 적용하기로 한다.

2.2 전산플랫폼의 작성

이 연구에서는 저자 등에 의하여 그 동안 개발된 철근콘크리트 평면응력요소, 그리고 부착 또는 비부착 텐던요소 등(Kim 등, 2003; Kim 등, 2007; Kim 등, 2008)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
Joint element	FEAP		4 nodes RC shell element
Interface element	Bonded or Unbonded prestressing bar element	RC plane stress element	2D Elasto-plastic plane stress element

그림 1 전산플랫폼 RCAHEST

3. 해석 예 및 고찰

이 연구에서 제안한 해석기법과 모델의 타당성을 검증하기 위해서 그림 2에 나타난 것과 같은 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보(Tan과 Mansur, 1992)를 선정하였다.

실험체는 그림 2에 보이는 바와 같이 150 mm × 400 mm × 1800 mm의 장방형의 단순보로서 모든 실험

체의 단면과 지지점간의 거리는 일정하다. 각 실험체는 5 mm의 직경을 갖는 9개의 PS 강선($f_{py} = 1480$ MPa, $f_{pu} = 1623$ MPa)과 큰 항복강도($f_y = 508$ MPa)를 갖는 압축철근을 사용하였다.

이 실험체들의 유한요소해석을 위해서 그림 3과 같이 철근콘크리트요소 50개, 탄성요소 6개, 그리고 부착 텐던요소 1개로 총 57개의 요소로 분할하였다. 철근콘크리트요소의 경우에는 8절점을 갖는 등매개요소로서 3점 가우스 적분을 적용하였고, 가력점과 지지점에는 실험에서와 동일한 조건을 부여하기 위하여 균열이 발생하지 않는 탄성요소를 사용하였다.

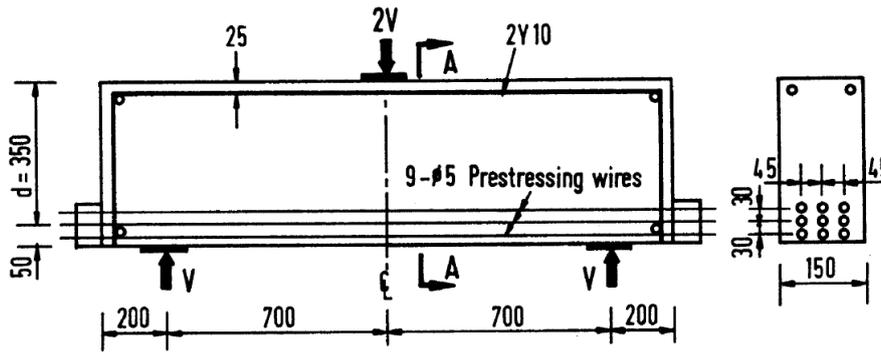
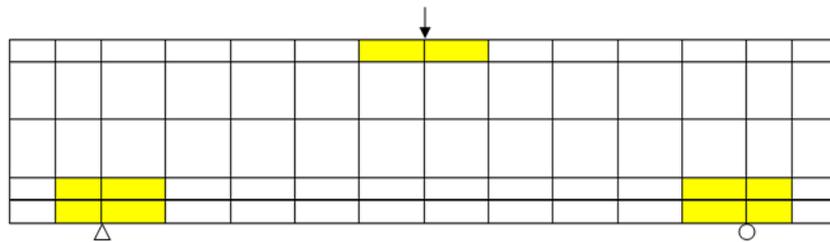


그림 2 실험체의 제원 (단위: mm)



8-node RC element	50
8-node Elastic element	6
n-node Bonded prestressing bar element	1

그림 3 유한요소모델

그림 4는 이 연구의 해석모델을 적용한 유한요소해석 결과와 실험에 의한 하중-변위 관계를 보이고 있으며, 스트럿-타이 모델에 의한 파괴하중을 함께 나타내었다. 이때 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 스트럿-타이 모델에 의한 파괴하중은 Tan과 Mansur의 연구결과(1992)를 이용하여 산정하였다.

모든 실험체는 하중이 지지점으로 직접 전달되는 스트럿-타이 작용을 보이며 가력점과 지지점을 연결하는 잠재적인 균열면을 따라 경사균열이 발생하였다. 경사균열 발생 이전까지는 탄성거동을 보였으나 경사균열이 발생된 이후에서는 강성의 감소와 함께 비선형 거동을 보여 경사균열이 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 거동특성에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었고 또한 프리스트레스의 크기가 주요한 변수임을 확인할 수 있었다.

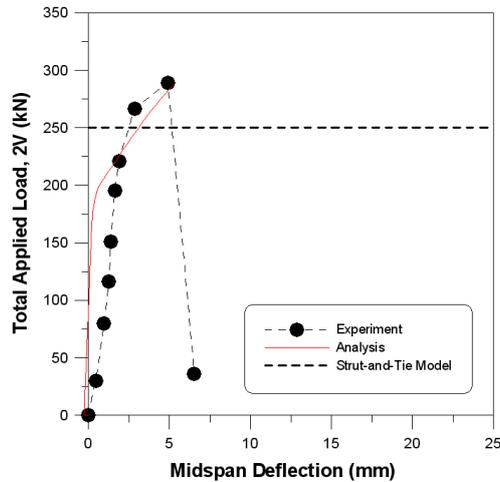


그림 4 실험체 S44의 하중-변위 곡선

4. 결론

이 연구에서 제시한 비선형 유한요소해석 방법은 극한강도를 비교적 정확하게 평가하고 있으며, 프리스트레스트 콘크리트 깊은 보의 강도 및 거동에 영향을 미치는 프리스트레스의 크기, 콘크리트의 압축강도, 그리고 전단지간대 유효깊이 비 등 주요설계변수들의 영향을 극한강도 평가 시 정확하고 일관성 있게 반영함을 알 수 있었다.

참고문헌

- 이진섭, 김상식 (1999) 집중하중을 받는 철근콘크리트 깊은 보의 전단거동에 대한 실험적 연구, **한국콘크리트학회 논문집**, 11(1), pp.191~200.
- 한국콘크리트학회 (2007) 콘크리트구조설계기준.
- 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, 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.
- Tan, K.H., and Mansur, M.A. (1992) Partial prestressing in concrete corbels and deep beams, *ACI Structural Journal*, 89(3), pp.251~262.
- Taylor, R.L. (2000) FEAP - A Finite Element Analysis Program, Version 7.2 Users Manual, Volume 1 and Volume 2.