

RC 플랫 플레이트 골조의 비선형 해석모델

Nonlinear Analytical Model for RC Flat Plate Frames

박 영 미* 황보 진** 한 상 환***

Park, Young Mi Hwang-Bo, Jin Han, Sang Whan

ABSTRACT

In general, RC flat plate frames have been used as a gravity load resisting system(GLRS) in building. This system should be constructed with lateral force resisting system(LFRS) such as shear walls and brace frames. When lateral loads such as earthquakes occur, LFRS undergo displacement by which connected gravity systems experience lateral displacement. Thus, flat plate system designed as GLRS should be predict unbalanced moments and punching failure due to lateral deformation. This study developed an analytical mode for predicting nonlinear behavior of RC slab column connection for the seismic performance evaluation of RC flat plate frames. For verifying the analytical model, the test results of two flat plate specimens having two continous spans with the difference gravity shear ratio($V_g/\phi V_c$) were compared with the results of analysis. The developed model can predict the failure modes and punching failures.

요 약

RC 플랫 플레이트 골조는 중력저항 시스템으로 설계하고, 횡력저항 시스템인 전단벽이나 모멘트 골조를 같이 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 지진하중과 같은 횡하중은 횡력저항 시스템의 변형을 일으키며 일체로 연결된 중력저항 시스템도 예상치 않았던 횡변위가 발생하여, 접합부에서 큰 불균형 모멘트가 발행하게 된다. 따라서 횡하중에 의해 유발된 불균형모멘트의 고려가 필요하며, 뚫림전단 파괴를 정확하게 예측할 수 있어야 한다. 본 연구는 RC 플랫 플레이트 골조의 내진성능평가를 위하여 슬래브-기둥 접합부의 비선형 거동을 예측하기 위한 해석모델을 개발하였다. 해석모델의 검증을 위하여 중력전단비가 다른 2개의 2경간 플랫 플레이트 구조물의 실험결과와 해석모델의 결과를 비교하였다. 그 결과 개발된 해석모델은 실험체의 뚫림전단파괴 및 파괴모드를 잘 예측하는 것으로 나타났다.

* 정회원, 한양대학교, 내진진동연구실, 박사과정
** 정회원, 한양대학교, 내진진동연구실, 석사과정
*** 정회원, 한양대학교, 건축공학부, 부교수

1. 서 론

플랫 플레이트 골조는 층고절감, 공간의 유연성, 거푸집 조기 탈형에 의한 공기 단축 등의 장점으로 인하여 널리 사용되고 있다. 플랫 플레이트 골조는 중력저항 시스템으로 설계하고, 횡력저항 시스템인 전단벽이나 모멘트 골조를 같이 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 지진하중과 같은 횡하중은 횡력저항 시스템의 변형을 일으키며 일체로 연결된 중력저항 시스템도 예상치 않았던 횡변위가 발생하여, 접합부에서 큰 불균형 모멘트가 발생하게 된다. 따라서 횡하중에 의해 유발된 횡변위의 고려가 필요하며, 뚫림전단 파괴를 정확하게 예측할 수 있어야 한다.

플랫 플레이트 골조 해석은 일반 RC 보-기둥 골조와 달리 슬래브-기둥 접합부의 뚫림 전단 파괴를 고려해야 한다. 그러나 기존의 해석모델은 단순히 슬래브를 보요소로 치환하여 해석을 수행하므로, 이러한 해석 모델은 플랫 플레이트 골조에서 발생하는 슬래브-기둥 접합부의 뚫림 전단 파괴를 정확히 예측하지 못한다. 본 연구에서는 플랫 플레이트 골조의 여러 파괴 모드를 고려한 해석 모델을 개발하였으며 해석모델의 타당성을 검증하기 위해 Roertson과 Durrani¹⁾의 2경간 골조실험 결과를 개발된 해석모델을 사용하여 얻은 결과와 비교하였다.

2. 슬래브-기둥 접합부 이력 모델의 제안

플랫 플레이트 골조에 전단 보강근이 없을 경우, 전단응력 (v_u)이 콘크리트의 공칭 전단응력 (v_c)에 도달할 때의 불균형모멘트와 철근이 항복에 도달할 때의 불균형 모멘트($M_{n,unb}$)는 식 (1)과 (2)를 사용하여 각각 구할 수 있다.

$$M_{n,unb} = (v_c - \frac{V_u}{b_o d}) \frac{J_c}{c \gamma_v} \tag{1}$$

$$M_{y,unb} = \frac{(M_{y,c_2+3h}^{\pm} + M_{y,c_2+3h}^{\mp})}{\gamma_f} : \text{내부 접합부}, \quad M_{y,unb} = \frac{M_{y,c_2+3h}^{\pm}}{\gamma_f} : \text{외부 접합부} \tag{2}$$

여기서, V_u 는 중력하중에 의한 직접 전단력, b_o 는 슬래브 위험단면의 둘레 길이, d 는 유효 슬래브 폭, γ_v 는 편심 전단에 의해 전달된 불균형 모멘트 비, c 는 위험 단면의 도심에서 응력이 작용하는 지점까지 거리, J_c 는 모멘트에 대한 위험단면의 극단면 2차모멘트, $M_{y,c_2+3h}^{\pm} + M_{y,c_2+3h}^{\mp}$ 는 슬래브의 유효폭내 철근이 항복할 때의 슬래브 모멘트강도, c_2 는 기둥폭, 그리고 h 는 슬래브 두께이다.

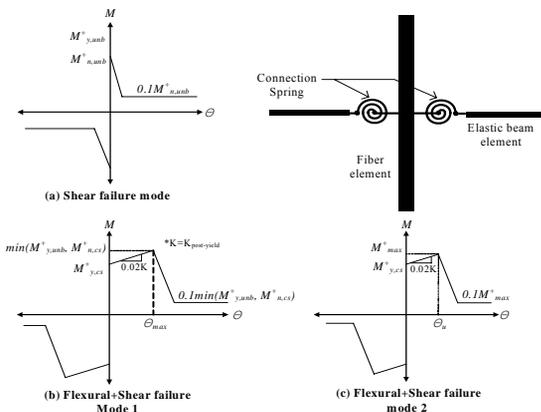


그림 1. 접합부 이력모델

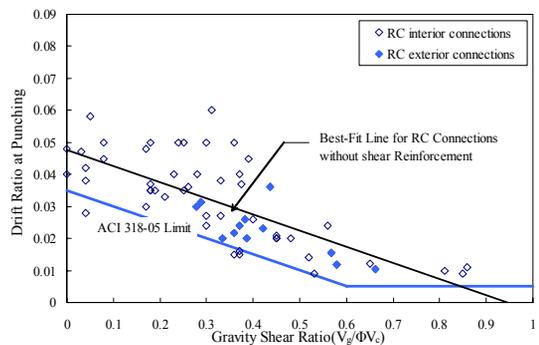


그림 2. 중력하중비에 따른 뚫림전단이 발생한 변형각

2.1 전단 지배 파괴

식 (2)에서 구한 $M_{y,unb}$ 가 식 (1)에서 구한 $M_{n,unb}$ 보다 큰 경우에는 접합부 부근의 슬래브 철근이 항복하기 전에 뚫림 전단파괴가 발생한다. (전단파괴모드) 따라서 이를 표현하기 위해 그림 1(a)의 경우처럼 스프링의 모멘트가 편심 전단 응력에 의한 $M_{n,unb}$ 값 도달할 때 강도가 급격히 떨어지도록 묘사하였다. 뚫림 전단이 발생한 후 불균형 모멘트의 10%로 기존 연구와 같이 저감되는 것으로 정하였다.

2.2 휨 지배 파괴

식 (1)에서 구한 $M_{n,unb}$ 가 식 (2)에서 구한 $M_{y,unb}$ 보다 클 경우 접합부는 슬래브의 휨철근이 항복한 후 뚫림 전단파괴가 발생하게 된다.(휨파괴모드) 일반적인 RC보의 경우 극한모멘트는 그림 3(b)의 응력상태에서 얻을 수 있으나, 슬래브와 같은 폭이 큰 경우는 압축측 콘크리트의 영향을 크기 때문에 극한모멘트는 그림 3(c)와 같은 응력-변형 상태를 나타낸다. 따라서 극한 휨모멘트를 얻기 위한 철근의 항복강도는 FEMA 350의 변형도 경화를 고려할 수 있는 다음 식 (3)의 C_{pr} 을 반영한 항복강도를 사용하였다.

$$C_{pr} = \frac{f_y + f_u}{2f_y} \quad (3)$$

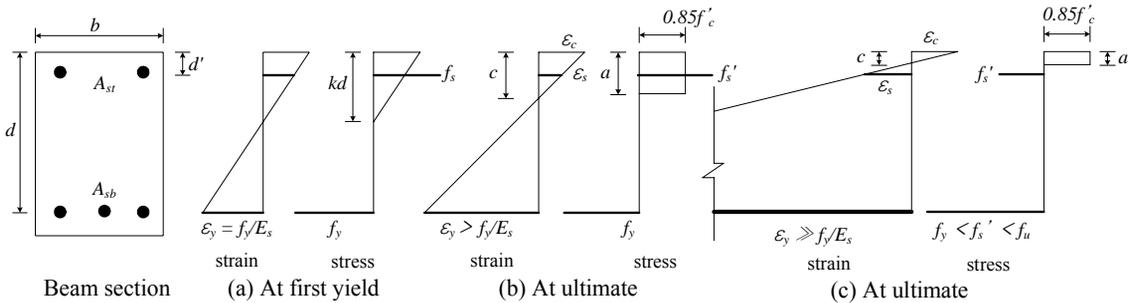


그림 3. RC 보의 응력-변형도

휨이 지배하는 경우는 그림 1(b)와 같이 휨철근이 항복한 후 휨모멘트 공칭 강도에 도달 한 후 휨 저항성능 저하와 동시에 뚫림 전단 파괴가 발생하는 경우와 그림1(c)에 나타난 것처럼 휨 철근이 항복하고 모멘트 최대강도 도달하기 전에 뚫림 전단 파괴가 발생하는 경우이다. 그리고 뚫림 전단파괴는 접합부가 전단강도나 한계 변형각(θ_u) 중 하나에 먼저 도달하여 발생한다. 본 연구에서는 기존의 플랫 플레이트 접합부 실험에서 뚫림 전단이 발생한 변형각을 수집하여 그림 2에 나타냈다.

2.3 해석 모델

본 연구에서 해석은 OpenSees 프로그램을 사용하였으며, 슬래브는 단성 보 요소로 가정하였다. 그리고 비탄성 거동은 슬래브의 단부에 있는 접합부 스프링에서 발생한다. 슬래브는 Banchik²⁾이 제안한 유효보폭 모델을 사용하였고, 강성감소계수 (β)는 중력하중비에 따른 강성감소를 반영할 수 있는 Park et al³⁾이 제안한 식을 적용하였다. 기둥은 Fiber 모델로 표현하였으며, 콘크리트 응력-변형도는 Hognestad에 의해 제안된 모델을 사용하였다.

3. 슬래브-기둥 접합부 해석 모델의 검증

본 연구에서 개발한 슬래브-기둥 접합부 모델을 이용하여 Robertson과 Durrani¹⁾의 2경간 플랫 플레이트 골조의 실험결과를 예측하였다. 중력하중비가 다른 2개의 실험체 2C, 6LL의 결과와 비교하였으며, 이들 실험체의 중력전단비(V_g/V_c)는 각각 0.22와 0.54이다. 실험체 6LL의 경우는 식 (1)의 전단 응력 (v_u)이 공칭 전단응력(v_c)에 도달할 때의 불균형모멘트 (M_{unb})값이 식(2)의 접합부에 작용하는 불균형 모멘트 (M_{unb})보다 작게 나타났다. 따라서 이들 실험체는 전단파괴가 예상되며, 해석결과 역시 이를 정확히 예측하고 있다.

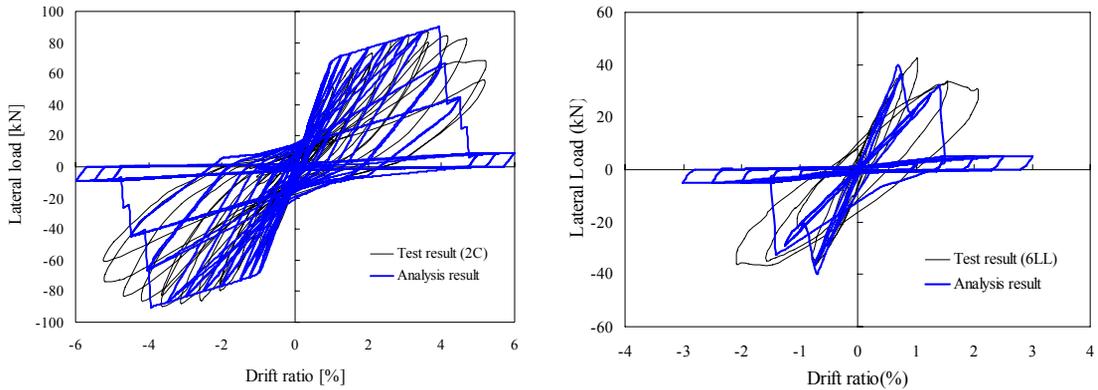


그림 4. 2C와 6LL

4. 결론

본 연구는 RC 플랫 플레이트 골조의 비선형 해석모델에 대한 연구를 진행하였다.

- 1) RC 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부 이력특성 및 다양한 파괴특성을 반영할 수 있는 슬래브 기둥 접합부 모델을 개발하였다.
- 2) 슬래브의 극한휨강도를 얻기위한 철근 항복강도는 변형도 경화를 고려해야 할 것으로 판단된다.
- 3) 개발한 접합부 모델을 이용하여 얻은 해석결과는 중력전단비와 파괴모드가 다른 실험체의 실험 결과를 잘 예측하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10722-0) 지원과 과학기술부 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터(R11-2005-056-04002-0)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Robertson, I. N, and Durrani, A. J, Seismic Response of Connections in Indeterminate Flat-Slab Subassemblies. Structural Research at Rice, Report No.41, Department of Civil Engineering, Rice University, Houston, July 1990, 266p.
2. Banchik, C. A, Effective Beam Width Coefficients for Equivalent Frame Analysis of Flat-Plate Structures. ME thesis, University of California at Berkeley, Cali. May, 1987, 56p.
3. 박영미, 한상환, 오승룡, 플랫 플레이트 슬래브 해석을 위한 강성감소계수. 대한건축학회논문 구조계 제 22권, 제11호, 2006. 11, pp.105-114