

하부철근 유무에 따른 PT 플랫 플레이트 골조의 내진성능

Seismic Performance of Post Tensioned Flat Plate Frames according to Slab Bottom Reinforcement

박 영 미* 황보 진** 유 종 혁*** 한 상 환****

Park, Young Mi Hwang-Bo, Jin Jong-Hyuk, Ryu Han, Sang Whan

ABSTRACT

This study evaluates the seismic performance of post-tensioned(PT) flat plate frames with or without slab bottom reinforcement. For this purpose, 3 and 9 story PT flat plate frames designed only considering gravity loads. This study conducts a nonlinear static pushover analysis. This study use an analytical model which is able to represent punching shear failure and fracture mechanism. The analytical results showed that seismic performance of PT flat plate frame is strongly influenced by the existence of slab bottom reinforcement through column. By placing slab bottom reinforcement in PT flat plate frame, lateral strength and deformation capacity are significantly increased.

요 약

본 연구는 슬래브의 하부철근이 포스트 텐션(PT) 플랫 플레이트 골조의 내진성능에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위하여 슬래브-기둥 접합부에 슬래브 하부철근이 있는 경우와 없는 경우의 3층, 9층 골조를 중력하중만 고려하여 설계하였다. 본 연구에서는 대상 건물을 비선형 정적 푸쉬 오버 해석하여 기둥을 관통하는 슬래브 하부철근 유무에 따른 전체 구조시스템 거동을 평가 하였다. 본 연구에서 사용한 접합부 모델은 뚫림 전단과 파괴메커니즘을 예측할 수 있도록 본 연구자들에 의하여 기존 연구에서 제안된 것이다. 본 연구결과에 따르면 기둥을 관통하는 슬래브 하부철근은 PT 플랫 플레이트 골조의 내진성능에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 슬래브 하부 철근이 있는 PT 플랫 플레이트 골조는 슬래브 하부철근이 없는 골조에 비하여 최대 강도와 변형 능력이 크게 향상되었다.

* 정회원, 한양대학교, 내진진동연구실, 박사과정

** 정회원, 한양대학교, 내진진동연구실, 석사과정

*** 정회원, 삼성엔지니어링, 사원

**** 정회원, 한양대학교, 건축공학부, 정교수

1. 서 론

최근에 층고 절감과 평면의 유연성 그리고 거푸집 조기 탈형 등 경제적 효과와 더욱 넓은 공간의 확보를 위하여 포스트 텐션(PT) 플랫 플레이트 구조가 많이 사용되고 있다. PT 플랫 플레이트 골조의 경우 RC 플랫 플레이트 골조와는 다르게 기둥을 관통하는 슬래브 하부철근에 대한 요구조항이 명확하지 않다 [1~2]. 지진발생시 PT 플랫 플레이트 골조의 접합부에는 모멘트 역전으로 정모멘트가 발생할 수 있다. 이러한 경우 접합부의 취성적인 파괴가 예측되며, 이는 전체 시스템의 갑작스런 붕괴로 이어질 수 있다.

본 연구에서는 중력하중만으로 설계한 PT 플랫 플레이트 골조를 슬래브 하부철근을 변수로 하여 내진성능을 평가하고자 한다. 본 연구를 위하여 중력하중으로 설계된 3층, 9층 PT 플랫플레이트 골조를 설계하였다. 내진성능평가를 위한 접합부 해석 모델은 이전 연구[3]에서 개발한 모델을 사용하였으며, 비선형 정적 푸쉬오버 해석을 수행하여 내진성능평가를 하였다.

비선형 정적 푸쉬오버 해석을 통하여 얻은 결과를 토대로 기둥을 관통하는 슬래브 하부철근이 있는 경우와 없는 경우의 골조의 내진 성능을 평가하였다.

2. 대상골조

본 연구는 3층과 9층 PT 플랫 플레이트 골조를 대상으로 하여 내진성능 평가를 하였다. 설계는 중력하중만 고려하여 ACI 318-05에 따라 수행하였다. 대상 골조는 그림 1과 같이 층고 3.5m, 경간 8m를 갖고, 양방향 3 경간의 정방향 골조이다. 슬래브의 하중은 일반 주거 및 사무실 건물로서 고정하중은 자중(23.5 kN/m^3)과 마감 및 칸막이 하중을 고려해서 0.49 KPa 로, 적재하중은 1.96 KPa 를 사용하였다. 콘크리트 설계 압축 강도는 30 MPa 으로, 철근의 항복 강도는 400 MPa 로 가정하였다. 강선은 강도가 1890 MPa 로 가정하였으며 고정하중의 90%에 해당하는 긴장력을 작용시키는 것으로 가정하였다. 슬래브의 두께는 22 cm 로 정하였고, 기둥의 크기는 $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 로 하였다.

기둥을 관통하는 하부 철근양은 ACI-ASCE 352 [4]에서 철근콘크리트 플랫 플레이트를 대상으로 제안된 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$A_{sm} = \frac{\alpha \omega_u l_1 l_2}{\phi f_y} \quad (1)$$

여기서, A_{sm} 는 연속된 바닥 철근의 최소 요구 면적, l_1, l_2 는 주축 방향의 기둥 중심간 간격, ω_u 는 중력하중, 그리고 α 는 접합부의 위치에 따라 결정되는 상수(단부: 1/3, 내부:1/2)이다.

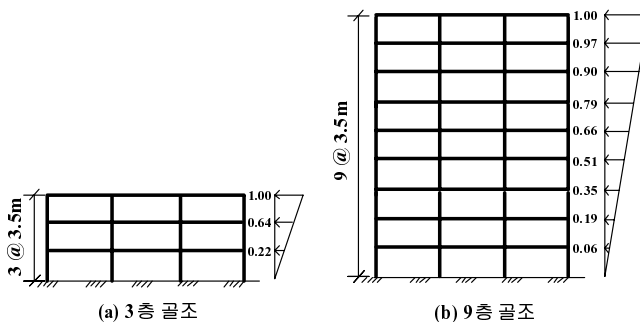


그림 1. 대상 모델의 입면도 및 횡하중 분포

3. 비선형 정적 해석

각 골조는 비선형 해석모델[4]과 OpenSees 프로그램을 이용하여 정적 푸쉬 오버해석을 수행하였다. 사용한 횡하중 분포는 FEMA 273[9]에서 제안한 식에 따라 구하였다 [그림 1]. 정적 푸쉬 오버해석을 통하여 지붕층 변위비 혹은 최대 층간 변위비와 밀면 전단력의 관계를 푸쉬오버 곡선인 그림 2와 같이 나타내었다.

그림 2에서 슬래브 하부철근이 있는 골조와 없는 골조의 푸쉬 오버 곡선을 비교해 보면 탄성 영역에서 비슷한 거동을 보였다. 그러나 비탄성 영역에서는 슬래브 하부철근이 전체 골조의 거동에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 비탄성 영역에서는 하부철근이 있는 골조와 하부철근이 없는 골조 모두 횡 하중이 증가함에 따라 슬래브 철근의 항복과 뚫림 전단으로 인한 접합부 파단이 일어나고 변위 증가와 함께 횡 하중에 대한 강도는 감소한다. 변위의 증가와 함께 뚫림 전단파괴가 확산되고 이로 인하여 최종파괴 상황에 이르게 된다.

표 1에는 기둥을 관통하는 슬래브 하부철근이 있는 경우와 없는 경우의 골조의 푸쉬 오버곡선에서 얻은 최대강도와 최대변위를 비교하였다. 본 연구에서는 최대 변위를 횡하중에 강도가 최대강도의 80%로 감소될 때의 변위로 정하였다.

슬래브 하부 철근이 있는 골조와 슬래브 하부 철근이 없는 골조의 최대 밀면 전단력을 비교해보면 3층과 9층에서 1.89배, 2.12배로 슬래브 하부 철근이 있는 골조가 횡 강도가 큰 것으로 관측되었다. 최대 변위를 비교해보면 기둥을 관통하는 슬래브 하부 철근이 있는 골조가 슬래브 하부 철근이 없는 골조에 비하여 3층, 9층 구조물에서 각각 2.92배, 2.22배 크게 나타났다.

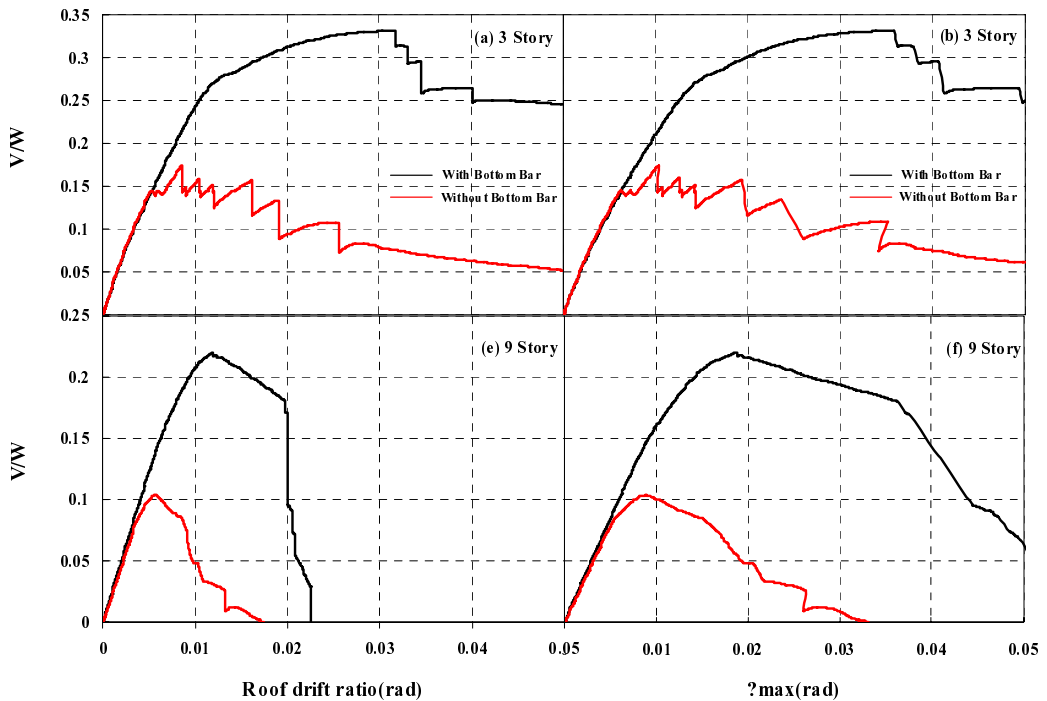


그림 2. 푸시오버 해석 결과

표 3 PT 플랫 플레이트 골조의 푸쉬 오버 해석결과의 비교

Story		Max Base Shear[KN]	Max roof drift ratio[rad]*
3story	With bottom bar (1)	1146.97	0.035
	Without bottom bar (2)	605.84	0.012
	(1) (2)	1.89	2.92
9story	With bottom bar (5)	2303.32	0.020
	Without bottom bar (6)	1085.72	0.009
	(5) (6)	2.12	2.22

*a drift when base shear force decreased to 80% the maximum base shear force.

따라서 슬래브 하부철근이 있는 골조가 없는 골조에 비하여 횡 강도가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 횡강도와 횡 변위의 증가는 기둥 슬래브 접합부의 정 모멘트가 발생할 때 슬래브 하부철근의 영향에 따른 것이라 할 수 있다.

4. 결 론

1) 비선형 정적 해석을 이용하여 얻은 푸쉬 오버곡선을 비교하면 슬래브 하부 철근이 있는 골조가 슬래브 하부 철근이 없는 골조보다 횡하중에 대한 강도가 3층, 9층 각각 약 1.89배, 2.52배 크게 나왔다. 이는 슬래브 하부 철근이 있음으로 인하여 골조의 횡하중에 대한 강도에 큰 영향을 주는 것을 의미하는 것이다.

2) 비선형 정적 해석을 이용하여 최대강도가 20% 감소될 때의 변위 (최대변위)를 비교한 결과, 3층, 9층 각각 슬래브 하부철근이 없는 경우가 하부철근이 있는 경우에 비하여 각각 2.92, 2.22배 크게 나타났다. 이는 슬래브 하부 철근이 골조의 횡강도 뿐 만 아니라 횡변위 능력에도 큰 영향을 미치는 것이라 할 수 있다.

감사의 글

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

참고문헌

1. S.W. Han, S.-H.Kee, T.H.-K.Kang, S.-S.Ha, J.W.Wallace, L-H.Lee, Cyclic behaviour of interior post-tensioned flat plate connections, Magazine of Concrete Research, Vol 58 ,2006, p699~711
2. Sang Whan Han, Seong-Hoon Kee, Young-Mi Park, Li-Hyung Lee, Thomas H.-K. Kang, Hysteretic Behavior of exterior post-tensioned flat plate connections, Engineering Structures, Elsevier, 2006, p1983~1996
3. Han, Sang-Whan, Ryu, Jong-Hyuk, Analytical model for post tension flat plate frames, the journal of earthquake engineering society of Korea, Vol 11, No. 6,2007, pp23-32
4. Joint ACI-ASCE committee 352. Recommendation for design of slab - column connections in monolithic reinforced concrete structures (ACI 352.1R-89). Farmington Hills (MI): American Concrete Institute,1997.