

중력하중으로 설계된 포스트텐션 플랫플레이트 골조의 내진성능

Seismic Performance of Gravity-Load Designed Post-Tensioned Flat Plate Frames

한상환¹⁾ · 박영미²⁾ · 유연호³⁾

Han, Sang Whan · Park, Young Mi · Rew, Youn Ho

국문 요약 >> 본 연구에서는 기둥을 관통하는 슬래브 하부 철근이 중력하중만으로 설계된 포스트텐션 플랫플레이트 골조의 내진성능에 미치는 영향을 평가하였다. 중·약진 지역에서 건물은 흔히 중력하중만을 고려하여 설계되고 있다. 본 연구에서는 중력하중으로 설계된 PT 플랫플레이트 골조의 내진성능에 집중되고 있다. 이를 위하여, 3,6,9층 PT 플랫플레이트 골조는 중력하중만으로 설계하였다. 철근 콘크리트 플랫플레이트 골조에서는 취성적인 붕괴를 예방하기 위해서는 기둥을 관통하는 연속된 슬래브 하부철근이 위치하여야 한다. 그러나 PT 플랫플레이트 골조에서는 슬래브 하부 철근에 대해 ACI 318-05에서는 특별한 언급이 없기 때문에 흔히 생략하고 있다. 본 연구는 대산건물을 비선형 시간이력해석으로 골조 모델의 내진성능에 대해 평가한다. 비선형 시간이력해석은 6개의 지진과 2개의 다른 위험수준 (475, 2475년 주기), 3개의 다른 지역 (보스턴, 시애틀, LA)을 사용하였다. 해석모델은 PT슬래브-기둥 접합부의 파괴 메카니즘과 비선형 거동을 살펴보기 위해 개발되었다. 본 연구는 중력하중으로 설계된 PT 플랫플레이트 골조가 몇몇 내진저항 능력을 보여주고 있다. 또한, PT 플랫플레이트 골조의 내진성능은 기둥을 관통하는 슬래브 하부철근이 위치할 때 눈에 띄게 향상되었다.

주요어 해석모델, 플랫플레이트, 슬래브 기둥 접합부, 하부 철근

ABSTRACT >> The purpose of this study is to evaluate the seismic performance of gravity-designed post tensioned (PT) flat plate frames with and without slab bottom reinforcement passing through the column. In low and moderate seismic regions, buildings are often designed considering only gravity loads. This study focuses on the seismic performance of gravity load designed PT flat plate frames. For this purpose, 3-, 6- and 9-story PT flat plate frames are designed considering only gravity loads. For reinforced concrete flat plate frames, continuous slab bottom reinforcement (integrity reinforcement) passing through the column should be placed to prevent progressive collapse; however, for the PT flat plate frames, the slab bottom reinforcement is often omitted since the requirement for the slab bottom reinforcement for PT flat plates is not clearly specified in ACI 318-08. This study evaluates the seismic performance of the model frames, which was evaluated by conducting nonlinear time history analyses. For conducting nonlinear time history analyses, six sets of ground motions are used as input ground motions, which represent two different hazard levels (return periods of 475 and 2475 years) and three different locations (Boston, Seattle, and L.A.). This study shows that gravity designed PT flat plate frames have some seismic resistance. In addition, the seismic performance of PT flat plate frames is significantly improved by the placement of slab bottom reinforcement passing through the column.

Key words Analytic model, Flat plate, Post tensioned, Slab column connection, Bottom-reinforcement

1. 서론

최근 포스트텐션(PT) 플랫플레이트 구조가 자주 사용되고 있으나, 중약진 지역에서 대부분의 중저층 PT 플랫플레이트 골조는 중력하중만으로 설계하고 있다.^{(1),(2)} 따라서 현재 내진기준에 명시된 설계 지진력에 해당하는 지진하중이 작용할 때, 중력하중만으로 설계된 플랫플레이트 구조 시스템은 내진성능을 만족할 것이라고 보장할 수는 없다. ACI 318-08⁽³⁾에서는 철근콘크리트(RC) 플랫플레이트 골조의 경

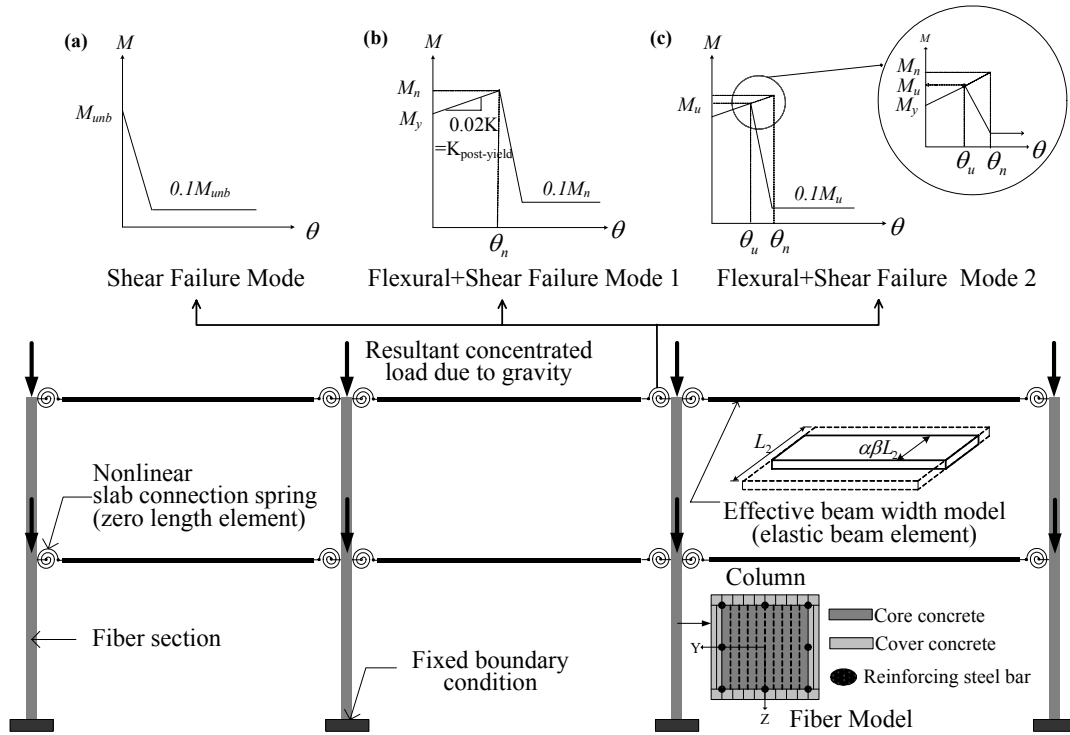
¹⁾ 정희원·한양대학교 건축공학부 교수

²⁾ 정희원·한양대학교 건축환경공학과 BK21 박사후 연구원
(교신저자: cielmi@hanyang.ac.kr)

³⁾ 한양대학교 건축환경공학과 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2010년 8월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2009. 12. 1 / 수정일 1차 : 2010. 2. 27, 2차 : 2010. 3. 11 / 게재확정일 : 2010. 3. 11)



〈그림 1〉 골조 해석모델

우, 접합부의 갑작스런 붕괴방지를 위하여 기둥을 관통하는 슬래브 하부 철근을 요구한다. 그러나 PT 플랫플레이트 골조에 대한 규정은 명확하게 제시되어 있지 않으므로, 기둥을 관통하는 슬래브 하부 철근을 흔히 생략하여 설계한다.

Han 등^(4,6)은 실험적 연구를 통하여 ACI-ASCE 352 R.1⁽⁷⁾에 따라 기둥을 관통하는 슬래브 하부철근이 PT 슬래브-기둥접합부에서 일어나는 예기치 못한 정모멘트에 저항하는데 효과적인 것으로 보고하였다. 그러나 PT 플랫플레이트의 내진성능에 대하여 기둥을 관통하는 슬래브 하부철근의 효과를 평가하는 해석적 연구는 수행된 바 없다.

본 연구는 중력하중만으로 설계된 PT 플랫플레이트 접합부의 슬래브 하부 철근 유무에 따른 내진성능을 연구하였다. 이 목적을 위하여 3, 6, 9층 PT 플랫플레이트 골조를 오직 중력하중만으로 설계하였다. PT 플랫플레이트 골조의 내진성능을 평가하기 위하여 비선형 시간이력해석을 수행하였다. 본 연구에서는 Boston, Seattle, LA의 SAC 10/50, 2/50 지진 데이터를 비선형 시간이력 해석에 사용하였다. 여기서 10/50, 2/50은 각각 재현주기 475년, 2475년의 지진에 대한 각각 50년 안에 10%와 2%초과 가능성을 나타낸다.

2. PT 플랫플레이트 골조의 해석모델

본 연구에서는 중력하중으로 설계된 PT 플랫플레이트 골조의 내진성능을 평가하기 위하여 선행 연구⁽⁸⁾에서 제안된

PT 슬래브-기둥 접합부 해석모델을 이용하였다. 이 모델은 PT 슬래브-기둥 접합부의 주기적 거동을 묘사하는 비탄성 스프링 사이에 상호작용으로 일어나는 수치 해석적 문제(값의 발산) 없이 접합부 파괴를 정확하게 나타낼 수 다. 접합부에 사용된 두 개의 비탄성 스프링은 내부 슬래브-기둥 접합부의 이력 거동을 나타내기 위해 필요하며, 그림 1은 PT 플랫플레이트 골조의 해석모델로 접합부, 기둥, 슬래브에 대한 구성요소를 보여주고 있다.

2.1 슬래브 모델

그림 1과 같이 슬래브는 유효보폭($\alpha\beta L_2$)과 두께(h)를 갖는 탄성 보요소를 사용하여 모델링되었다. 본 연구에는 Banchik⁽⁹⁾에 의해 제안된 유효보폭 식 (1)과 (2)를 사용하여 계산되었다.

$$\alpha_i = \left(5 \frac{c_1}{L_2} + \frac{1}{4} \frac{L_1}{L_2}\right) \frac{1}{1-\nu^2} \quad (\text{내부골조}) \quad (1)$$

$$\alpha_e = \left(3 \frac{c_1}{L_2} + \frac{1}{8} \frac{L_1}{L_2}\right) \frac{1}{1-\nu^2} \quad (\text{외부골조}) \quad (2)$$

여기서, c_1 은 하중 방향의 기둥 폭이고, ν 은 콘크리트의 포아송 비, L_1 은 기둥 c_1 과 평행한 방향의 슬래브 길이, 그리고 L_2 는 L_1 에 수직한 방향의 슬래브 길이이다.

본 연구는 PT 슬래브의 균열을 고려하기 위하여, 강성감

소계수 (β)는 0.33을 사용하였다. Qaisrani⁽¹⁰⁾는 강성감소계수 0.33은 PT 플랫플레이트 에서도 유효하다고 보고하였다.

2.2 기둥모델

기둥 단면은 OpenSees 프로그램⁽¹¹⁾에서 Fiber 단면 모델을 사용하였으며, 피복 콘크리트와 중심 콘크리트, 그리고 철근 요소 등 세 개의 요소로 구성된다. Fiber 단면 모델은 보와 기둥의 비선형 휨 거동을 적절히 묘사하는 것으로 보고된 바 있다.⁽¹²⁾

2.3 접합부 모델

PT 슬래브-기둥 접합부의 이력 거동은 휨과 전단에 의한 상호작용의 결과로 나타나며, 다양한 파괴 메커니즘과 철근의 효과 등으로 복잡하다. 본 연구는 PT 슬래브-기둥 접합부의 이력 거동을 적절히 묘사하기 위해 OpenSees에 내재된 Pinching 모델⁽¹¹⁾을 사용하였다. 이력특성을 결정하는 모델 변수들은 접합부 실험결과를 통하여 얻은 이력특성과 유사하도록 반복해석하여 결정하였다.

본 연구에서는 접합부의 파괴 메커니즘을 묘사하기 위하여, PT 플랫플레이트 접합부가 전단 지배 파괴와 휨 지배 파괴 중 한가지로 발생한다고 가정하였다. 전단 지배 파괴모드는 슬래브-기둥 접합부에서 슬래브 철근이 항복하기 전에 풀림 전단 파괴가 일어난다. 반면에 휨 지배 파괴모드는 접합부에서 일어나는 풀림 전단 파괴 이전에 슬래브 철근이 항복하는 것으로 정의하였다.

2.3.1 전단 지배 파괴모드

그림 1(a)는 전단 지배 파괴모드를 나타낸다. 접합부에서 슬래브의 유효폭($c_2 + 3h$)안에 위치한 슬래브 철근이 접합부에서 불균형 모멘트에 의해 항복하기 전에 풀림 전단 능력을 초과할 경우, 취성적인 풀림 파괴가 일어난다.

2.3.2 휨 지배 파괴모드

기준의 풀림 전단력과 일치하는 M_{unb} 가 슬래브 철근이 항복하는 시점의 M_{unb} 보다 클 때, 슬래브-기둥 접합부는 연성상태에서 파괴된다. [그림 1(b)와 (c)]

$$M_{unb} = M_y^+ + M_y^- \quad \text{내부접합부(3a)}$$

$$M_{unb} = M_y^\pm \quad \text{외부접합부(3b)}$$

여기서 M_y^+ 와 M_y^- 는 각각 슬래브가 항복할 때 정·부 모

멘트이다. 식 (4a), 식 (4b)는 슬래브가 항복할 때 정·부 모멘트를 보여주고 있다.

$$M_y^- = (A_{sp}f_{pe} + A_{st}f_y)jd - M_g \quad (4a)$$

$$M_y^+ = (A_{sb}f_y)jd + M_g \quad (4b)$$

여기서 M_g 는 중력하중에 의한 슬래브 모멘트이다. f_{pe} 는 강선 인장시 응력손실을 고려한 작용하는 응력이고, A_{sp} 와 A_{st} 는 각각 주열대 내에 위치한 철근량과 상부철근량이다. A_{sb} 는 기둥을 관통하는 하부 철근량이다. f_y 는 철근의 기준 항복강도, d 는 슬래브의 유효깊이, jd 는 인장과 압축력 사이의 거리이며 식 (5), 식 (6)을 사용하여 구한다.

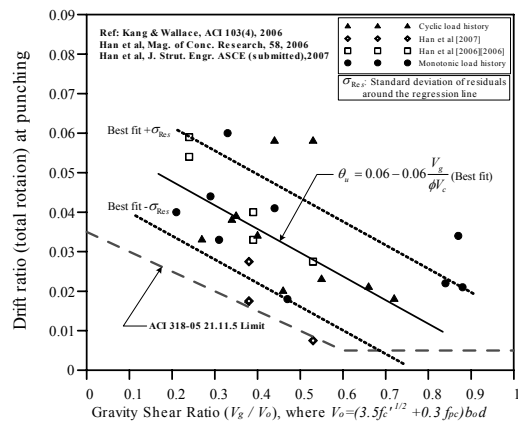
$$j = d - kd/3 \quad (5)$$

$$k = [(\rho - \rho')n^2 + 2(\rho + \frac{\rho'd'}{d})n]^{1/2} - (\rho + \rho')n \quad (6)$$

여기서 ρ (ρ')는 슬래브 유효단면의 인장(압축) 철근비이다. l 은 슬래브의 주열대 폭이며, d' 는 최상단 압축철근 중심부터 하부 철근 중심까지의 거리이며, n 은 철근 타성계수 (E_s)를 콘크리트 탄성계수(E_c)로 나눈 값이다. ($= E_s/E_c$)

기존 연구에서는 PT 플랫 플레이트 골조 접합부의 휨 항복모멘트 이후 후 탄성 강성을 초기 탄성 강성의 1%~3% 사이의 값을 갖는 것으로 보고하고 있다. 본 연구에서는 후 탄성 강성은 초기 탄성 강성의 2%를 사용하였다.

본 연구는 PT 슬래브-기둥 접합부에서 풀림 전단력에 도달하는 층간 변위비(θ_u)의 결정을 위하여, 기존 실험결과를 수집하고 중력전단비 ($\phi V_g/V_o, \phi = 1$) 관련하여 선형회귀분석의 결과로 얻은 방정식을 제안했다. 식 (7)은 θ_u 에 대해 제안된 방정식이다. 그리고 그림 2는 식 (7)과 실험결과로부터 얻어진 θ_u 를 보여주고 있다.



〈그림 2〉 중력 전단비에 따른 풀림 전단이 발생한 변형각

$$\theta_u = 0.06 - 0.06 \frac{V_g}{\Phi V_c} \quad (7)$$

여기서 V_u 는 접합부의 위험단면에 작용하는 직접전단력이고, V_c 는 콘크리트 공칭전단강도이다.

PT 비선형 해석모델에 관한 자세한 내용과 검증은 선행 연구⁸⁾에 잘 서술되어 있다.

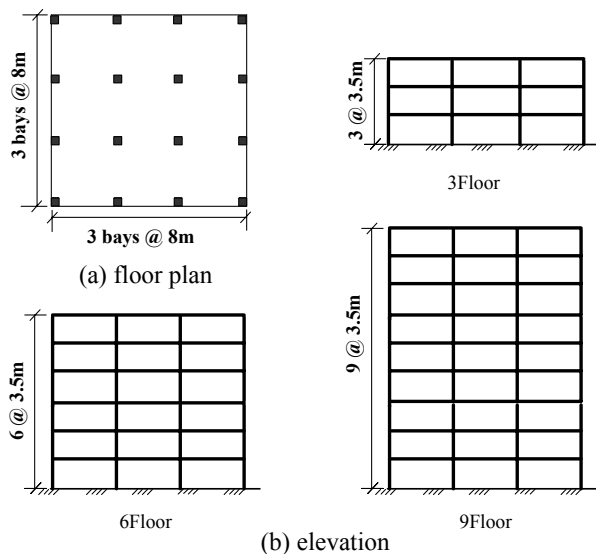
3. 내진성능 평가

3.1 대상 건물

본 연구에서는 ACI 318-08에 따라 오직 중력하중만으로 설계된 3, 6, 9층 PT 플랫플레이트 골조를 대상 건물로 고려하였다. 대상 골조는 그림 3과 같이 층고 3.5m, 경간 8m를 갖는 양방향 3경간의 정방형 골조이다. 슬래브의 두께는 22cm로 정하였고, 기둥의 크기는 50cm×50cm로 하였다. 대상건물은 주거 및 사무실로 가정하였고, 슬래브의 고정하중은 23.5kN/m³이다. 마감 및 칸막이를 고려하여 추가 고정하중은 0.5kPa과 적재하중은 2.0kPa을 사용하였다.

콘크리트의 설계 압축강도는 30MPa, 철근의 항복강도는 400MPa,, 그리고 강선의 강도는 1890MPa로 가정하였다. 긴장 강선의 수와 강선 당 긴장력은 대략적으로 슬래브 고정하중의 100%에 균형을 맞추어 결정하였다. 1.21MPa의 평균압축응력(f_{pc}) 결과는 ACI 318-08⁽³⁾에서 요구하는 0.88~3.44MPa의 범위 안에 있다. 슬래브 모멘트와 전단력은 MIDAS/Gen⁽¹³⁾을 사용하여 탄성해석을 수행하였다.

기둥을 관통하는 슬래브의 하부 철근을 가지고 있는 PT



〈그림 3〉 대상 건물의 평면도 및 입면도

〈표 1〉 대상 골조의 고유 주기

Structure	3story	6story	9story
Fundamental Period (sec)	1.00	1.94	2.99

골조에서는 슬래브의 하부 철근량은 ACI-ASCE352⁽⁷⁾에 명시되어 있는 다음 식에 의해 계산되었다.

$$A_{sm} = \frac{\alpha \omega_n L_1 L_2}{\Phi f_y} \quad (8)$$

여기서 A_{sm} 은 연속되는 슬래브 하부철근의 최소 면적이며, ω_n 은 중력하중이고, α 는 접합부 위치에 따라 결정되는 계수이다 ($\alpha=1/3$ 외부, $\alpha=1/2$ 내부).

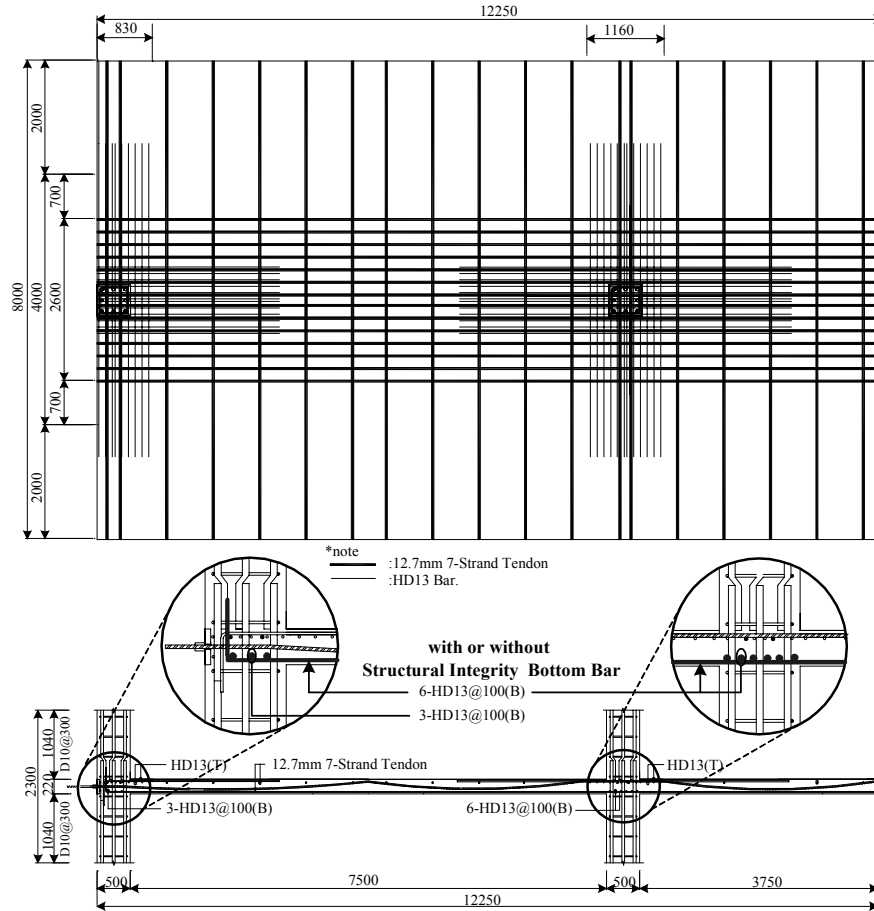
대상 골조의 고유 주기는 MIDAS/Gen 프로그램을 사용하여 평가되며, 표 1에 요약되어 있다. 그림 4는 6층 건물의 5층 부분 철근과 강선배치를 보여주고 있다.

3.2 비선형 시간이력해석

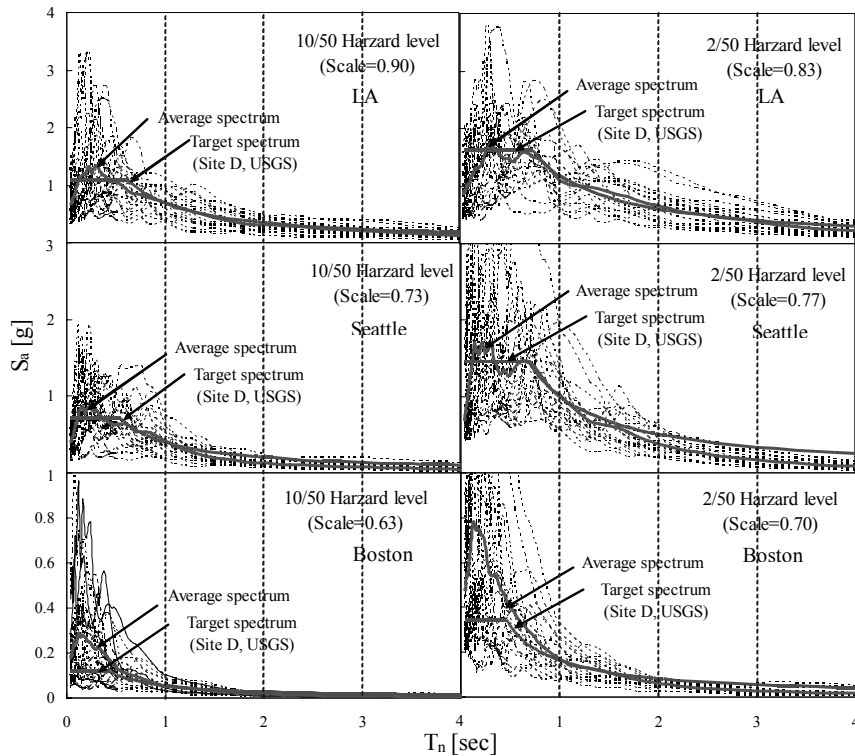
본 연구에서는 3, 6, 9층 PT 플랫플레이트 골조의 기둥을 관통하는 슬래브 하부 철근 유무를 변수로 하여 내진성능을 평가하였다. 이를 위하여 비선형 시간이력해석은 기존 연구에서 제안된 접합부 모델을 이용하고, OpenSees 프로그램을 사용하여 수행하였다. 또한 접합부 해석모델에서 슬래브의 하부 유무는 하부 철근을 고려하여 식 (3)~(6)에 따라 계산된 모멘트 강도(M_y, M_u)를 이용하여 고려되었다.

국내와 유사한 중약진 지역뿐만 아니라 강진지역에서 중력하중만으로 설계된 PT 플랫플레이트 골조의 내진성능을 함께 알아보기 위하여 SAC Project에서 제안된 Seismic Zone 4, 3, 2A로 분류되는 LA, Seattle, Boston 지역의 지반가속도를 사용하였다⁽¹⁴⁾. 지반 가속도(지진파)는 각 지역별로 50년에 10% (10/50) 및 2% (2/50) 초과 확률에 대한 지진 재해도에 대해서 각각 20의 지반 가속도를 사용하여 시간이력을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 지반 가속도는 많은 연구에서 사용되었던 지반 가속도들로 이에 대한 내용은 Somerville 등⁽¹⁴⁾의 연구에 자세히 나타나 있다.

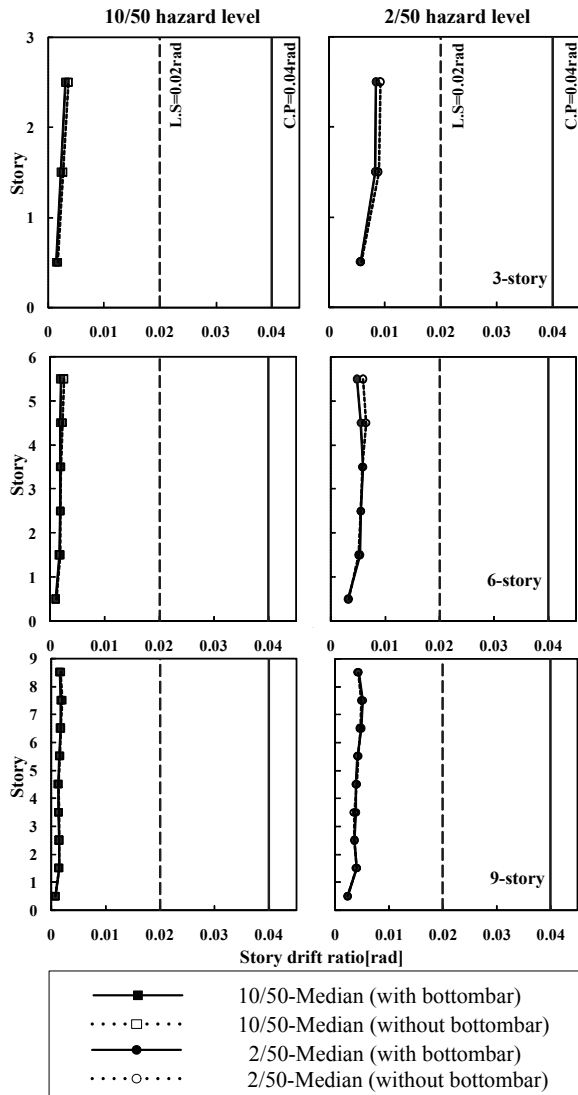
ASCE/SEI 41-06⁽¹⁵⁾에 정의된 설계 응답스펙트럼과 가까운 평균 응답스펙트럼을 얻기 위하여, Scale factor는 LA, Seattle, Boston 지역에 대한 10/50과 2/50의 지반가속도에 대하여 각각 0.9와 0.83, 0.73과 0.77, 그리고 0.63과 0.73을 사용하였다.⁽¹⁶⁾ 그림 5는 5% 감쇠비를 가지고 있는 단자유도 시스템에 대한 20개의 지반 운동에 대한 개별적인 응답스펙트럼과 평균 응답스펙트럼을 보여주고 있다. 그림 5에는 ASCE/SEI 41-06의 설계 응답스펙트럼도 함께 나타내었다.



〈그림 4〉 슬래브의 철근 및 텐돈 배치



〈그림 5〉 LA, Seattle, 그리고 Boston 지역의 지반운동에 대한 응답스펙트럼

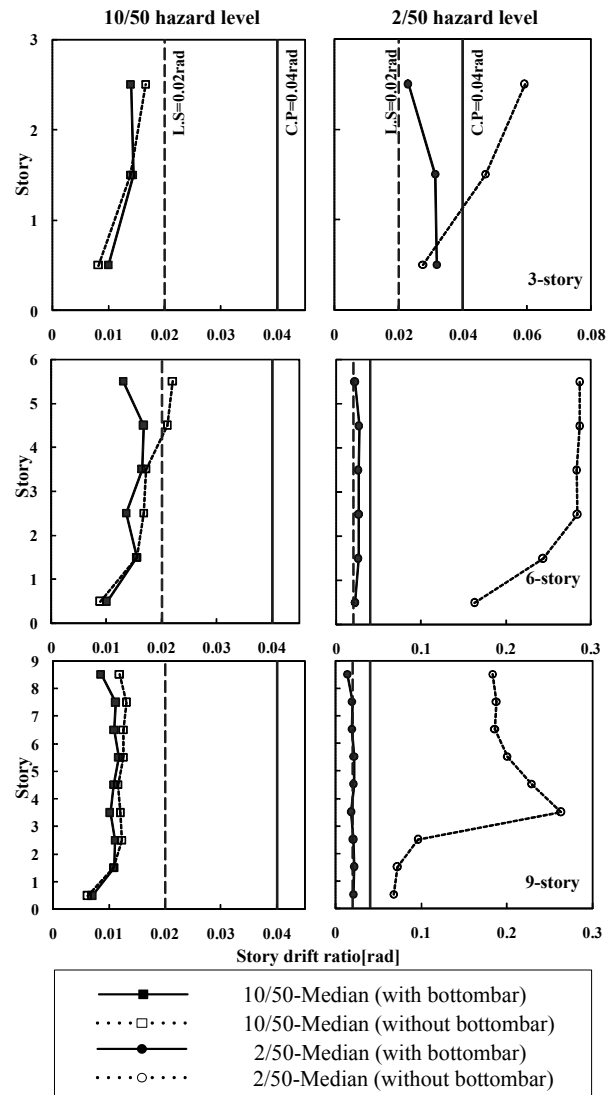


〈그림 6〉 Boston 지역의 3, 6, 9층 PT 골조의 층간 변위비의 중간 값

그림 6~8은 Boston, Seattle, LA 지역에서 10/50과 2/50 지반 운동에 의한 층간 변위비의 중간값을 보여준다. 표 2는 건물전체에 대한 층간 변위비의 중간값 중 가장 큰 값을 갖는 최대 층간 변위비(θ_{max})를 요약하여 나타낸 것이다. ASCE/SEI 41-06⁽¹⁵⁾에 따르면 기본 안전 목적(Basic Safety Objective, BSO)은 10/50과 2/50 지진력에 대하여 각각 인명 안전수준(LS)과 붕괴방지 수준(CP)을 동시에 만족하여야 한다.

3.2.1 Boston 지역

그림 6에서 슬래브의 하부 철근을 갖는 골조에 대한 층간 변위비의 중간값의 수직분배는 슬래브의 하부 철근이 없는 골조의 경우와 유사한 것을 볼 수 있다. 이것은 Boston 지역의 지진력이 작기 때문에 슬래브의 하부 철근 존재 여부와 관계없이 모든 골조의 거동이 탄성 범위에 있기 때문인



〈그림 7〉 Seattle 지역의 3, 6, 9층 PT 골조의 층간 변위비의 중간 값

것으로 판단된다. 또한 Boston의 10/50과 2/50 지진력에 대해서 모든 골조의 θ_{max} 는 CP(=0.04)뿐만 아니라 LS(=0.02)에 대하여 한계 층간 변위비를 초과하지 않았다. 따라서 Boston 지역에서는 슬래브의 하부 철근의 존재와 관계없이 중력하중만으로 설계된 PT 플랫플레이트에 대하여 추가적인 횡하중 저항 시스템은 요구되지 않는다고 할 수 있다.

3.2.2 Seattle 지역

그림 7은 Seattle 지역의 10/50과 2/50 지진력 하에 골조 전체에 대한 층간 변위비의 중간값의 수직분배를 나타내었다. Seattle 지역에서는 10/50 지진력에 대하여 슬래브의 하부철근이 있는 모든 골조의 θ_{max} 는 LS에 대한 한계 층간 변위비를 초과하지 않는다. 10/50지진력 에 대해서는 슬래브의 하부 철근이 없는 3, 9층 골조에 대해서 θ_{max} 는 LS에 대한 한계 층간 변위비를 초과하지 않는다. 그러나 6층 골조의

〈표 2〉 LA 지역의 3, 6, 그리고 9 층 골조의 최대 층간 변위비, θ_{max}

Location Building	Max story drift ratio(rad)																	
	10/50 (median)									2/50 (median)								
	With bottom bar (1)			Without bottom bar (2)			(2) (1)			With bottom bar (3)			Without bottom bar (4)			(4) (3)		
	Boston	Seattle	LA	Boston	Seattle	LA	Boston	Seattle	LA	Boston	Seattle	LA	Boston	Seattle	LA	Boston	Seattle	LA
3story	0.003	0.014	0.025	0.004	0.017	0.051	1.33	1.21	2.04	0.008	0.032	0.062	0.009	0.059	1.456	1.13	1.84	23.48
6story	0.002	0.017	0.030	0.002	0.022	0.313	1.00	1.29	10.43	0.006	0.027	0.058	0.006	0.287	0.715	1.00	10.63	12.32
9story	0.002	0.012	0.027	0.002	0.013	0.130	1.00	1.08	4.84	0.005	0.022	0.099	0.005	0.263	0.206	1.00	11.95	2.08

θ_{max} 는 5, 6층에서 LS에 대한 한계층 변위비가 초과하였다.

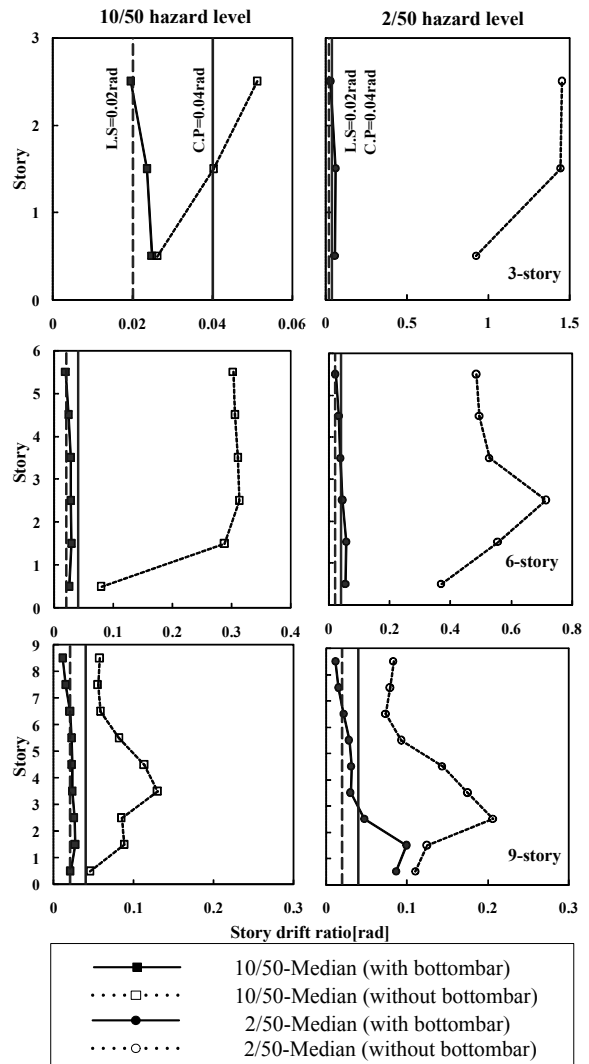
Seattle 지역의 2/50 지진력에 대하여 모든 골조의 θ_{max} 는 슬래브의 하부 철근 존재여부와 관계없이 LS에 대한 한계 층간 변위비를 초과하였다. 그러나 2/50 지진력에 대하여 슬래브의 하부철근을 가지고 있는 골조의 θ_{max} 는 CP에 대한 한계 층간 변위보다 크게 나타났다. 따라서 ASCE/SEI 41-06⁽¹⁵⁾에 명시된 기본 안전 목적 (BSO)을 만족하기 위해서, 기둥을 관통하는 슬래브의 하부 철근이 없는 중력하중만으로 설계된 골조에는 추가적인 횡하중 저항 시스템이 요구된다고 할 수 있다.

표 2에 요약된 것과 같이, Seattle 지역의 10/50 지진력에 대하여 슬래브의 하부 철근이 없는 3, 6, 9층 골조의 θ_{max} 는 슬래브의 하부 철근을 가지고 있는 골조의 θ_{max} 에 비하여 각각 1.21배, 1.29배, 1.08배 크게 나타났다. 또한 2/50 지진력에 대하여 슬래브의 하부 철근이 없는 3, 6, 9층 골조의 θ_{max} 는 슬래브의 하부 철근을 가지고 있는 골조의 θ_{max} 에 대하여 각각 1.84배, 10.83배, 11.95배 더 크게 나타났다.

3.2.3 LA 지역

LA 지역에서 10/50 지진력에 대하여 슬래브의 하부 철근이 없는 골조의 층간 변위비의 중간값은 슬래브 하부 철근을 가지고 있는 골조에 비해 훨씬 더 크게 나타났다. 그림 8에서와 같이 10/50 지진력에 대하여 슬래브의 하부 철근을 가지고 있는 골조의 θ_{max} 는 LS에 대한 한계 층간 변위비를 약간 초과하지만, CP에 대한 한계 층간 변위비는 초과하지 않는다. 이와는 대조적으로 10/50 지진력에 대하여 슬래브의 하부 철근이 없는 골조의 θ_{max} 는 CP뿐만 아니라 LS에 대한 한계 층간 변위비를 초과하였다.

2/50 지진력에 대해서는 모든 골조의 θ_{max} 는 CP에 대하여 한계 층간 변위비를 초과하였다. 슬래브의 하부 철근이 없는 3, 6, 9층 골조의 θ_{max} 는 슬래브의 하부 철근을 가지고



〈그림 8〉 LA 지역의 3, 6, 9층 PT 골조의 층간 변위비의 중간 값

있는 골조에 비하여 각각 2.08배, 2.32배, 23.48배 더 크게 나타난다(표 2). LA 지역에 위치한 중력하중만으로 설계한 PT 플랫플레이트 골조는 추가적인 횡하중 시스템을 함께 사용하지 않는다면 지진 발생시 심각한 피해와 붕괴를 경험하게 될 수 있다.

4. 결론

본 연구는 중력하중만으로 설계된 PT 플랫플레이트 골조의 기둥을 관통하는 슬래브의 하부 철근 유무에 따른 내진 성능을 평가하기 위해 비선형 응답 이력해석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Boston과 같은 약진 지역에서 중력하중만으로 설계된 PT 플랫플레이트 골조는 기둥을 관통하는 슬래브의 하부 철근 유무와 관계없이 기본 안전 목적(BSO)을 만족한다. 따라서 중력하중만으로 설계된 PT 골조에 대한 추가적인 횡력저항 시스템은 필요하지 않을 것으로 판단된다.
2. Seattle과 같은 중진 지역에서 10/50 지진력에 대하여 슬래브의 하부 철근을 가진 PT 골조는 BSO를 만족하였으나, 슬래브의 하부 철근이 없는 PT 골조는 BSO에 대해 만족하지 않았다. 따라서 슬래브의 하부 철근이 없는 중력하중만으로 설계된 PT 플랫플레이트 골조는 추가적인 횡력 저항 시스템이 요구된다.
3. LA와 같은 강진 지역에서는 슬래브의 하부 철근 유무와 관계없이 중력하중만으로 설계된 PT 플랫플레이트 골조는 BSO를 만족하지 않는다. 따라서 기둥을 관통하는 슬래브의 하부 철근 유무에 관계없이 BSO를 만족하기 위해 추가적인 횡력저항 시스템이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부(MEST) 우수연구센터육성사업인 한양대 친환경건축센터(R11-2005-056-040020-0)의 지원과 한국연구재단의 지원을 받은 연구(2009-0086384)로 수행된 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Han, S. W., Kwon, O. S., and Lee, L. H., "Evaluation of the seismic performance of a three-story ordinary moment-resisting concrete frame," *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, Vol. 33, 669-685, 2004.
2. Bracci, J. M., Reinhorn, A. R., and Mander, J., "Seismic resistance of reinforced concrete frame structures designed for gravity loads: performance of structural system," *ACI Structural Journal*, Vol. 92, No. 5, 597-609, 1995.
3. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-08), American Concrete Institute, Detroit, 465pp, 2008.
4. Han, S. W., Kee, S.-H., Kang, T. H.-K., Ha, S.-S., Wallace, J. W., and Lee, L.-H., "Cyclic behaviour of interior post-tensioned flat plate connections," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 58, No. 10, 699-711, 2006.
5. Han, S. W., Kee, S.-H., Park, Y.-M., Lee, L.-H., and Kang, T. H.-K., "Hysteretic behavior of exterior post-tensioned flat plate connections," *Engineering Structures, Elsevier*, Vol. 28, No. 14, 1983-1996, 2006.
6. Han, S. W., Kee, S.-H., Ha, S.-S., and Wallace, J. W., "Effects of bottom reinforcement on hysteretic behavior of post-tensioned flat plate connections," *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 135, No. 9, 1019-1033, 2009.
7. 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; 26pp, 1997.
8. 한상환, 유종혁, "포스트텐션 플랫플레이트 골조의 해석모델," 한국지진공학회 논문집 제11권 6호, 23-32, 2007.
9. Banchik, C. A., "Effective beam width coefficients for equivalent frame analysis of flat-plate structures," ME thesis, Univ. of California at Berkeley, Cali. 1987
10. Qaisrani, A. N., Interior Post-Tensioned flat-Plate connections subjected to vertical and biaxial lateral loading. Ph.D. Thesis, CA: Department of Civil Engineering, Univ. of California at Berkeley; 1993.
11. OpenSees Development Team. OpenSees: Open System for Earthquake Engineering Simulations, Version 1.7.3. Berkeley (CA); 465pp, 2006.
12. Hognestad E., Hanson, N. W., and McHenry, D., "Concrete stress distribution in ultimate strength design," *ACI Journal*, Vol. 52, No. 4, 455-480, 1955.
13. MIDAS IT. MIDAS/GENw user's manual. Seoul, Korea, 436, 2008.
14. Somerville, P., N. Smith, S. Puntamurthula, and J. Sun, Development of ground motion time histories for phase 2 of the FEMA/SAC steel project. SAC Background Document, Report No. SAC/BD-97/04, SAC Joint Venture, 555 University Ave., Sacramento, Calif. 44pp, 1997.
15. ASCE, Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-06), Structural Engineering Institute, 411, 2006.
16. Yun, S.-Y., Performance prediction and evaluation of low ductility steel moment frames for seismic loads. Ph. D. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign; 2000.