

플랫 플레이트 외부접합부의 불균형모멘트에 관한연구

A Study on Unbalanced Moment of Flat Plate Exterior Connections

최 현 기* 백 성 우** 백 영 수*** 진 언 식**** 최 창 식*****
Choi, Hyun Ki Beck, Seong Woo Back, Young Soo Jin, Eon Sik Choi, Chang Sik

ABSTRACT

Flat plate slab has been widely used in high rise building for its remarkable advantages. However, Flat plate structures under lateral load are susceptible to punching shear of the slab-column connection. Exterior slab-column connections has an unsymmetrical critical section for eccentric shear of which perimeter is less than that of interior connection, and hence, around the connection, unbalanced moment and eccentric shear are developed by both gravity load and lateral loads. Therefore, exterior connections is susceptible to punching shear failure. For that reason, this study compare ACI 318-05 to CEB-FIP MC 90 that is based on experiment results and existing data of flat plate exterior connections. This study shows that compared to CEB-FIP MC 90 is more exact about eccentric shear stress, unbalanced moment and Both of all are not suitable in large column aspect ratio. Considering gravity shear ratio, These are suitable but design condition only consider gravity shear ratio. So these should be considered differences from change of design condition

요 약

플랫 플레이트 구조는 다른 구조형식에 비하여 매우 경제적인 구조형식이다. 그러나 횡하중을 받는 플랫 플레이트 구조는 슬래브-기둥 접합부의 뚫림전단파괴에 대해 취약하다. 플랫 플레이트 구조의 외부접합부는 편심전단에 대해 비대칭형의 위험단면을 가지고 있으며, 위험단면의 길이가 내부접합부 보다 작고 중력하중과 횡하중 모두에 의해 편심전단응력이 발생하게 되므로 뚫림전단파괴에 대해 매우 취약하다. 이에 본 논문에서는 플랫 플레이트 외부접합부의 실험결과와 기존 데이터를 바탕으로 ACI 318-05와 CEB-FIP MC 90의 설계기준식을 비교한 결과 편심전단응력, 불균형모멘트에 대해서 CEB-FIP식이 더 정확했고 형상비의 영향은 기둥 형상비가 큰 경우에는 기준식의 적용성에 문제가 있는 것으로 나타났다. 중력전단력비의 영향은 기준식의 제안을 만족하였으나 설계 기준에서는 단순히 중력전단비만 고려하고 있어서 다른 설계조건 변화에 따른 차이를 고려할 필요가 있다.

*정회원, 한양대 건축환경공학과 박사과정
**정회원, 한양대 건축환경공학과 석사과정
***정회원, 현대산업개발(주) 기술연구소 연구원
****정회원, 벽산건설(주) 이사
*****정회원, 한양대 건축공학부 교수, 공학박사

1. 서 론

현행 기준에 따르면 플랫 플레이트는 중력 저항 시스템으로 설계되며, 특히 지진에 대한 특별한 상세조건을 만족한다면 횡력 저항 시스템의 고층건물에 대한 사용도 증가하고 있다. 그러나 보가 없는 구조형식으로 보-기둥 골조에 비하여 구조적인 취약점을 갖게 되는데 대표적인 것이 접합부에서의 뚫림전단파괴이다. 접합부에서의 뚫림전단파괴 매커니즘 규명과 전단내력의 산정을 위한 연구가 활발히 진행되어 왔으나 이는 내부 접합부에 집중되어 있으며 편심전단에 대해 비대칭형의 위험단면을 가지고 있으며, 위험단면의 길이가 내부접합부 보다 작고 중력하중과 횡하중 모두에 의해 편심전단응력이 발생하게 되므로 뚫림전단파괴에 대해 매우 취약한 외부접합부에 대한 평가는 부족한 실정이다. 이에 본 논문에서는 플랫 플레이트 외부접합부의 실험결과와 기존 데이터를 분석하고 ACI 318-05¹⁾와 CEB-FIP MC 90²⁾의 설계기준식에 대한 평가를 통해 그 적용성을 비교 검토하고자 한다.

2. 설계기준

현재 사용되고 있는 ACI 318-05의 편심전단응력모델은 위험 단면의 중심에서 작용된 직접 전단응력(V_g)과 불균형 모멘트(M_u)의 일부에서 발생된 응력이 중첩되어 전단 위험단면에서 작용하는 전단응력으로 결정한다. ACI 318-05에서는 식 (1), (3), CEB-FIP MC 90에서는 식 (2), (4)와 같이 나타낸다. 즉, 기둥과 플랫 플레이트 사이에 모멘트를 전달하는데 있어서, 비틀림, 휨, 그리고 전단응력의 기여도가 기둥의 단면 형상, 치수 및 플레이트의 단면치수와 경계조건에 따라서 변화함을 보여준다. 하지만 이러한 가정과 변형성능은 모멘트전달 특성이 충분히 검증되지 못한 상태이다.

표 1. ACI 318-05와 CEB-FIP MC 90식 비교

| | ACI 318-05 | CEB-FIP MC 90 |
|------------------------|---|---|
| Eccentric shear stress | $v_u = \frac{V_g}{b_f d} + \frac{r M_u c}{J} \quad (1)$ | $\tau_u = \frac{V_g}{b_f d} + \frac{K M_u}{W_1 d} \quad (2)$ |
| Unbalanced moment | $M_u = \left(\frac{V_c - V_g}{b_f d} \right) \left(\frac{r_c c}{J} \right) \quad (3)$ | $M_u = \left(\frac{V_c - V_g}{b_f d} \right) \left(\frac{W_1 d}{K} \right) \quad (4)$ |

3. 실험개요

3.1 실험 계획

반복 횡하중을 받는 실험체는 무량판 구조로 시공된 다층 주거용 건물로 그림 1과 같이 대상건물에서 외부접합부를 기준으로 설계 되었으며, 실험체의 크기는 4600mm*2820mm이며 full scale 실험체로 제작하였다.

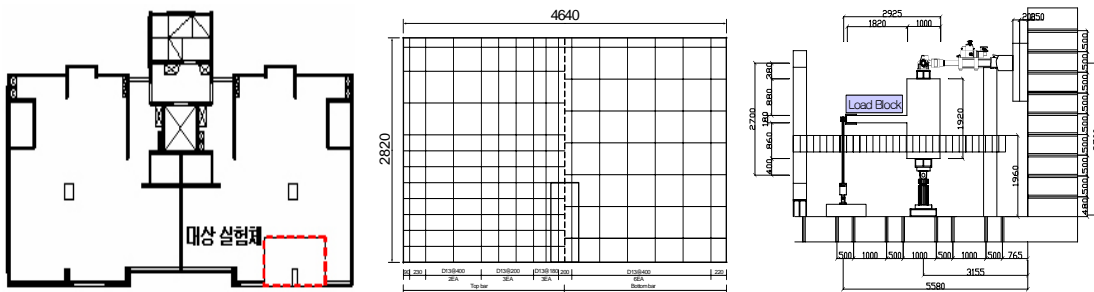


그림 1. 실험체 배근 상세 및 세팅

2 구조실험

3.2 실험 결과

표 2. 실험체 상세 및 결과

| specimen | C_1/C_2 [-] | ρ_{c+3h} [%] | d [mm] | f'_c [MPa] | f_y [MPa] | V_g/V_c [%] | P_{peak} [kN] | D_u [%] | $M_{u, Test}$ [kN·m] | $M_{u, ACI}$ [kN·m] | $M_{u, Test} / M_{u, ACI}$ | μ (D_μ / D_y) |
|----------|------------------|----------------------|-----------|-----------------|----------------|------------------|--------------------|--------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| C1 | 2.5 | 0.0053 | 150 | 22.8 | 410 | 0.38 | 74 | 4.4 | 200 | 193 | 1.03 | 2 |

3.3 실험연구 특징

플랫 플레이트 외부접합부 실험체만을 선별하여 총 30개의 실험체의 모멘트 전달에 관한 실험연구를 표 3에 나타내었다.

표 3. 플랫 플레이트 외부접합부 실험적 연구

| Reference no | β_c [c1/c2] | f_{ck} [MPa] | ρ_{c+3h} [%] | V_g/V_c [%] | Reference no | β_c [c1/c2] | f_{ck} [MPa] | ρ_{c+3h} [%] | V_g/V_c [%] |
|----------------|----------------------|-------------------|----------------------|------------------|------------------|----------------------|-------------------|----------------------|------------------|
| Hawkins et al. | 0.41~ 2.44 | 24.62~ 29.51 | 1.07~ 1.27 | 0.33~ 0.52 | Durrani et al. | 1.0~ 1.0 | 12.32~ 22.77 | 0.49~ 0.49 | 0.29~ 0.41 |
| Durrani et al. | 1.0~ 1.0 | 20.69~ 31.23 | 0.49~ 0.55 | 0.13~ 0.21 | Robertson et al. | 1.0~ 1.0 | 30.75~ 33.03 | 0.83~ 0.83 | 0.36~ 0.56 |
| Regan | 0.67~ 1.0 | 39.78~ 51.51 | 1.08~ 1.08 | 0.63~ 0.76 | Falmaki et al. | 0.75~ 1.0 | 26.82~ 35.30 | 0.81~ 1.82 | 0.76~ 0.81 |
| Rangan et al. | 0.56~ 1.25 | 27.99~ 43.99 | 0.72~ 0.90 | 0.64~ 0.78 | Present study | 2.5 | 22.8 | 0.53 | 0.38 |

4. 기존 실험자료에 의한 해석모델의 평가

기둥-슬래브 외부접합부에 대한 해석모델의 데이터 값을 식 (1), (2), (3), (4)을 적용하여 편심전단 응력과 불균형모멘트를 계산하였고, 실험자료를 바탕으로 해석모델에 관한 계산식의 적용성을 평가하여 표 4에 나타내었다.

표 4. 플랫 플레이트 외부접합부 편심전단응력 해석결과

| | ACI 318-05 | CEB-FIP MC 90 | ACI 318-05 | CEB-FIP MC 90 |
|--------------------|------------------------------|--|------------------------------|----------------------------------|
| | Eccentric shear stress | | Unbalanced moment | |
| Strength ratio | $\frac{v_{utset}}{v_{uACI}}$ | $\frac{\tau_{utest}}{\tau_{uCEB-FIP}}$ | $\frac{M_{utest}}{M_{uACI}}$ | $\frac{M_{utest}}{M_{uCEB-FIP}}$ |
| Mean | 1.064 | 1.035 | 1.280 | 1.174 |
| Standard deviation | 0.282 | 0.243 | 0.671 | 0.560 |
| C. O. V | 0.265 | 0.235 | 0.524 | 0.447 |

4.1 실험결과 비교

식 (1), (2)로 계산된 ACI, CEB-FIP의 편심전단응력은 계산값에 대한 실험값의 비는 평균 1.064와 1.035, 표준편차 0.282와 0.243, 변동계수는 0.265와 0.235로 나타났으며 전반적으로 CEB-FIP MC 90

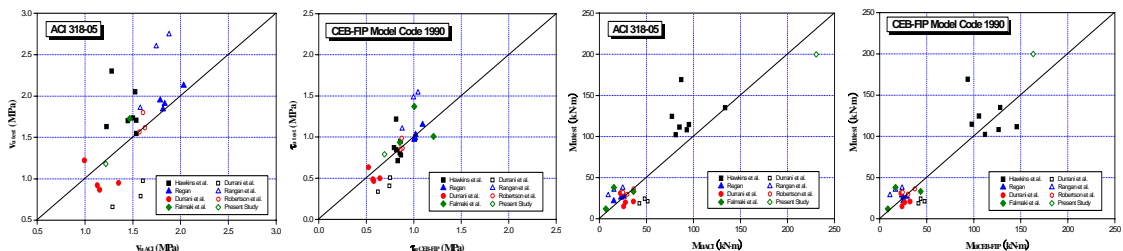


그림 2. 실험자료에 의한 해석모델식 평가

의 값이 ACI 318-05보다 정확한 것으로 나타났다.

식 (3), (4)로 계산된 불균형 모멘트의 계산값과 실험값의 비는 평균은 1.280과 1.174, 표준편차는 0.671과 0.560, 변동계수는 0.524와 0.447로 나타났으며 CEB-FIP MC 90값이 정확한 것으로 나타났다.

4.2 기동형상비의 영향

형상비의 편차가 증가 할수록 실험값과 계산값의 차이가 커지는데 이는 기동 형상비가 큰 경우에는 두 기준식의 적용성에 문제가 있는 것으로 나타났다.

4.3 중력하중의 영향

대부분의 실험체가 층간변위비 1.5%이상의 연성확보를 하였고 ACI 318-05의 Drift Limit = $[0.035-0.05(V_g/V_c)] \geq 0.05$ 를 만족하며 본 실험체는 기존의 실험체보다 높은 값을 나타내었다. 하지만 설계 기준에서는 단순히 중력전단비의 변화에 따른 변형성능의 차이만을 고려하고 있어서 기동형상비와 철근비 등의 설계조건 변화에 따른 차이를 고려할 필요가 있다.

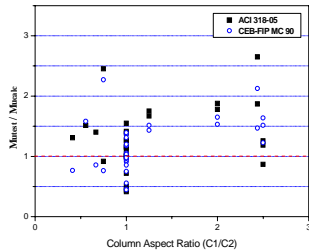


그림 3. 기동형상비의 영향

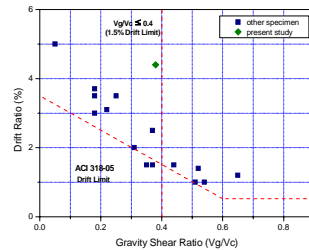


그림 4. 중력전단력비와 층간변위비의 관계

5. 결 론

본 연구는 플랫 플레이트 외부 접합부에 대한 기존 실험자료와 본 실험체를 분석하고 이를 이용하여 설계기준식을 비교한 결과 편심전단응력과 불균형 모멘트의 경우 ACI 318-05보다 CEB-FIP MC 90이 정확한 것으로 나타났고 기동형상비의 경우 형상비 편차가 증가 할수록 오차가 증가하였으며 이는 기동 형상비가 큰 경우에는 두 기준식의 적용성에 문제가 있는 것으로 나타났다. 중력하중의 영향은 기동형상비와 철근비 등의 설계조건 변화에 따른 차이를 고려할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업(과제번호:R11-2005-056-03002-0) 및 건설교통부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 07첨단도시개발사업(과제번호:07도시재생A03)에 의해 수행되었으며, 벽산건설, 현대산업개발의 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-05)", American Concrete Institute, 2005.
2. CEB-FIP(1990) "Comite Euro-International Du Beton, CEB-FIP Model Code 1990".
3. Y. H. Luo, A. J. Durrani,, "Equivalent Beam Model for Flat-Slab Buildings-Part II : Exterior Connections," ACI Structural Journal, V. 92, No. 2, March-April 250-257