

수평하중을 받는 플랫 플레이트 슬래브 해석을 위한 수정된 등가골조모델

Modified Equivalent Frame Models for Flat Plate slabs Under Lateral Load

박 영 미* 조 경 현* 한 상 환** 이 리 형**
Park, Young Mi Cho, Kyung Hyun Han, Sang Whan Lee, Li Hyung

ABSTRACT

This study is to propose a modified equivalent frame method under lateral loading. ACI 318-02 allows the equivalent frame method to conduct slab analysis subjected to lateral loads. However, current method can not predict the behavior of the slabs particularly under lateral loading because the equivalent frame method in the ACI 318 has been developed against gravity loads. This study provides more precise model for the analysis of the flat plate slabs under lateral loading. The model reflect the force transfer mechanism of slabs, column and torsional member more accurately than the existing model. The accuracy of this model is verified by compared with finite element method analysis results.

1. 서론

ACI 318-02¹⁾에서는 수평하중을 고려한 플랫 플레이트 슬래브 해석으로 유한요소해석, 유효보폭, 그리고 등가골조법을 제안하고 있다. 유한요소해석은 가장 정확한 탄성해석법이지만 해석시간이 상대적으로 크고, 유한요소해석에 대한 지식과 경험이 요구된다. 따라서 보다 간단한 실용적인 골조해석 모델이 많이 사용되고 있다. 골조해석 모델은 슬래브를 하나의 보로 가정하여 해석하는데 슬래브의 폭이 기둥폭에 비하여 매우 크기 때문에 슬래브-기둥 사이의 모멘트 전달을 정확하게 고려할 수 있는 접합부 강성 모델링은 무엇보다 중요하다.

ACI 318의 등가골조해석 모델은 중력방향 하중의 해석을 기초로 개발되었다. 따라서 수평하중에 의해 발생하는 내력을 정확하게 예측하기는 어렵다. 그리고 중력방향 하중이 지배적인 경우와 수평하중이 지배적인 경우의 골조의 역학적 거동이 다름에도 불구하고 기존 등가골조해석은 이를 충분히 반영하지 못하고 있다.

본 연구는 수평하중이 지배적인 경우 힘의 전달 경로를 파악하고, 특히 비틀림 부재의 역학적 거동을 명확히 모델화할 수 있도록 하고, 수정된 등가골조모델도 제안하고자 한다. 수정된 모델을 이용한 해

* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

석결과와 유한요소해석결과를 비교하여 본 연구에서 제안한 모델의 타당성을 검증한다

2. 등가골조모델 제안

2.1 기존의 등가골조모델 소개

등가골조모델(Equivalent Frame Model)은 기둥 측면에 접하는 슬래브를 비틀림 부재로 정의한 Corly와 Jirsa²⁾의 연구를 바탕으로 슬래브와 기둥사이의 모멘트가 비틀림 부재에 의하여 간접적으로 전달된다고 가정한 것이다. Jirsa²⁾는 비틀림 부재에 삼각형 형태의 단위 모멘트 하중이 분배되는 것으로 가정하여 비틀림 강성 K_t 를 유도하였다.

등가골조모델에서 다음과 같은 수식을 사용하여 기둥의 등가강성을 계산한다.

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\Sigma K_c} + \frac{1}{K_t} \quad \text{여기서 } K_t = \Sigma \frac{9EC}{L^2 (1 - \frac{c_2}{L})^3}$$

K_{ec} : 기둥의 등가강성, K_c : 기둥의 강성, K_t : 비틀림 부재의 강성

2.2 수정된 등가골조모델을 위한 비틀림 부재 강성의 산정

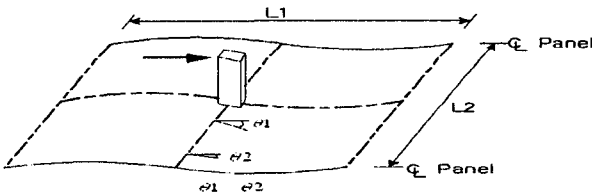


그림 1 슬래브-기둥 접합부 거동³⁾

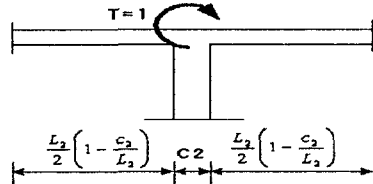


그림 2 기둥과 비틀림 부재

수평하중이 작용하는 플랫 플레이트의 회전변형은 그림 1과 같이 중력하중이 작용하는 경우와는 반대로 기둥근처에서 가장 크고 기둥에서 멀어질수록 점점 작아지는 현상을 보인다. ACI 318의 비틀림 강성 K_t 는 중력하중이 작용하는 경우를 기초로 하여 결정된 것이다. 따라서 수평하중이 지배적인 경우에는 사용하는 것은 한계가 있다고 할 수 있다. 따라서 그림 1에서 보이는 것처럼 플랫플레이트의 거동을 기반으로 비틀림 강성을 유도하였다.

이를 위하여 그림 2와 같이 기둥과 비틀림 부재의 접합된 구조에 기둥의 수평하중에 의한 단위 비틀림 모멘트 $T=1$ 이 작용한다고 가정한다. 이런 비틀림 모멘트는 비틀림 부재에 의하여 저항한다.

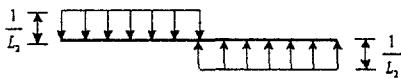


그림 3 단위길이당 비틀림 모멘트

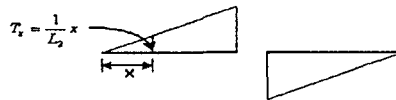


그림 4 비틀림 모멘트 도

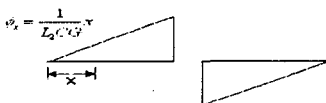


그림 5 단위길이당 각(Angle) 변화

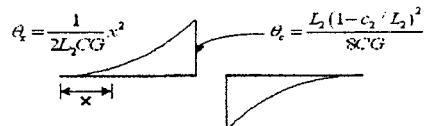


그림 6 단위길이당 회전각(Angle of rotation)

따라서 그림 3에서와 같이 단위 비틀림 모멘트 T를 양변 등변분포 되게 작용시킨다. 전체 면적을 1로 하기 위해 크기는 $1/L_2$ 이 된다. 가정된 비틀림 모멘트의 분포가 대칭이기 때문에 구조체의 중앙에서 왼쪽편만 고려하면, 왼쪽 스펀 중앙부로부터 x지점까지 비틀림 모멘트의 합은 다음과 같이 표현된다.

$$T = \int_0^x \frac{1}{L_2} dx = \frac{1}{L_2} x$$

단위길이당 각 변화는 $\phi = T/CG$ 이고, 단위길이당 회전각은 이를 적분한 결과이다.

$$\theta_x = \int_0^x \frac{1}{L_2 CG} x dx = \frac{1}{2 CGL_2} x^2 + A$$

슬래브 중심의 회전각은 기둥면의 회전변형에 비하여 매우 작으므로 $A=0$ 이라고 가정할 수 있다. 그리고 평균회전변형은 포물선이므로 기둥면의 회전변형의 1/3로 가정한다.

$$\theta_{t,avg} = \frac{1}{3} \frac{L_2(1 - c_2/L_2)^2}{8CG}$$

포아송비를 무시하면 $G=E/2$ 이고, 이는 비틀림 부재의 반쪽에 대응하는 값이고, 단위모멘트에 대하여

$K_t = \frac{1}{2\theta_{t,avg}}$ 이므로 비틀림 부재의 강성은 다음과 같다.

$$K_t = \sum \frac{6EC}{L_2(1 - c_2/L_2)^2}$$

2.3 수정된 등가골조모델의 제안

중력하중이 지배적인 경우에는 슬래브의 회전변형이 발생하고, 그 결과 비틀림 부재의 비틀림 변형이 발생하게 된다. 또한 이는 휨 강성을 가진 상하기둥으로 전달된다. 따라서 이러한 하중 메카니즘은 등가 기둥 개념을 도입하게 된다. 기둥의 유효 회전변형(=슬래브의 평균회전변형)은 아래식과 같이 기둥의 회전변형(θ_c)과 비틀림 부재의 회전변형($\theta_{t,avg}$)의 합으로 표현할 수 있다.

$$\theta_{ec} = \theta_c + \theta_{t,avg} \quad \text{----- (식. 1)}$$

지진과 같은 수평하중의 경우에는 하중이 처음 기둥으로 전달된 후 기둥의 휨 변형이 발생하고 비틀림 부재에 전달되어 비틀림 변형을 발생시킨다. 이는 슬래브로 다시 전달된다. 따라서 이러한 하중 메카니즘은 유효 슬래브 개념을 도입하는 것이 더 타당할 것으로 판단된다. 아래식은 슬래브의 유효 회전변형(=기둥의 회전변형)을 나타낸 것으로, 이는 슬래브의 회전변형(θ_s)과 비틀림 부재의 회전변형($\theta_{t,avg}$)의 합으로 표현할 수 있다.

$$\theta_{es} = \theta_s + \theta_{t,avg} \quad \text{----- (식. 2)}$$

단위모멘트에 대하여 $\theta = 1/K$ 이므로, 다음 식과 같다.

$$\frac{1}{K_{es}} = \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_t} \quad \text{여기서 } K_t = \sum \frac{6EC}{L_2(1 - c_2/L_2)^2} \quad \text{----- (식. 3)}$$

K_{es} : 슬래브의 유효강성, K_s : 슬래브의 강성, K_t : 비틀림 부재의 강성

3. 수정된 등가골조모델의 검토

지진지역을 UBC-2B로 선택하고 3 경간을 갖는 5층 건물을 유한요소해석하여 4층 바닥을 비교대상으로 삼았고, 세 종류의 슬래브(4m×6m, 6m×6m, 6m×4m)를 선정하여 해석을 수행하였다. 등가골조 해석은 Robertson⁴⁾의 model을 참고하여 수행하였다. 그림 7과 8에는 각각 Moment, Drift ratio의 해석 결과들이 나타나 있다.

그림 7과 8에 나타난 바와 같이 ACI 318의 등가골조해석 결과보다는 수정된 등가골조해석 결과가 유한요소해석의 결과에 비교적 근접하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

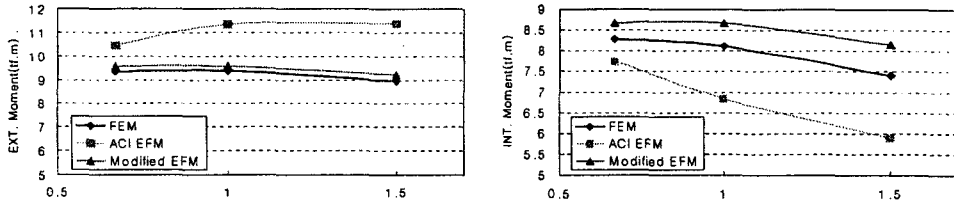


그림 7 슬래브 변장비(L1/L2)에 따른 Moment 결과

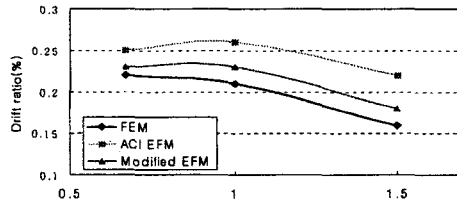


그림 8 슬래브 변장비(L1/L2)에 따른 Drift 결과

4. 결론

수평하중을 받는 플랫 플레이트의 등가골조해석법에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 비틀림 부재의 강성은 중력하중 지배하에서의 슬래브-기둥 접합부의 거동과는 다르므로 수평하중을 받는 경우에는 새로운 비틀림 부재의 강성이 유도되어야 할 것으로 판단된다.
- 2) 수평하중이 지배적인 경우에 등가기둥에 근거한 ACI의 기존 등가골조해석보다는 수정된 등가골조해석이 유한요소해석 결과와 비교할 때 더 근접한 값을 보인다는 것으로 나타났다.

감사의글

본 연구는 2004년 건설기술연구개발사업 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ACI 318-02 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
2. Corly, W. G., and Jirsa, J. O., "Equivalent Frame Analysis for Slab Design" ACI Journal, November 1970, pp. 875-884
3. Hwang and Moehle "Models for Laterally Loaded Slab-Column Frames" ACI Journal, March 2000, pp. 345-351
4. Ian. N. Robertson "Analysis of Flat Slab Structures Subjected to Combined Lateral and Gravity Loads" ACI Journal, November 1997, pp. 723-729