

# 조합하중시의 플랫 플레이트 슬래브 시스템에 대한 수정된 등가골조 모델

## A Modified Equivalent Frame Model for Flat Plate Slabs Under Combined Lateral and Gravity Loads

오 승 용<sup>\*</sup>      박 영 미<sup>\*\*</sup>      한 상 환<sup>\*\*\*</sup>  
Oh, Seung Yong    Park, Young Mi    Han, Sang Whan

### Abstract

Flat plate slab systems have been commonly used as a gravity force resisting systems, which should be constructed with lateral force resisting systems such as shear walls and moment resisting frame. ACI 318(2005) allows the Direct design method, the equivalent frame method (ACI-EFM) under gravity loads and the finite-element models, effective beam width models and equivalent frame models under lateral loads. ACI-EFM can be used for gravity loads as well as lateral loads analysis. But the method may not predict the behavior of flat plate slabs under lateral loads. Thus Previous study developed a Modified equivalent frame method(Modified-EFM) which could give more precise answer for flat plate slab under lateral loads. This study is to verified the accuracy of a Modified-EFM under combined lateral and gravity loads. The accuracy of this model is verified by comparing the results using the Modified-EFM with the results of finite element analysis. For this purpose, 7 story building is considered. The analysis results of other existing models are included. The analysis results show that Modified-EFM produces comparable drift and slab internal moments with those obtained from finite element analysis.

### 1. 서론

층고 절감, 유연한 평면, 공기 단축 등 많은 장점을 갖는 플랫 플레이트 슬래브 시스템은 주로 중력 저항 시스템으로 많이 사용된다. 또한 ACI 318-05<sup>(1)</sup>(sec 21.2)에는 지진에 대한 특별 상세조건에 만족하면 중간 모멘트 골조로서 횡하중 저항시스템의 일부로도 사용할 수 있다. 실제로 이 시스템은 우리나라와 유사한 미국의 동부의 중·약진 지역에서 많이 사용하고 있다.

ACI 318(2005)<sup>(1)</sup>에서는 중력하중에 대한 해석모델로 직접설계법과 등가골조법을 제시하였으며, 횡하중에 대한 해석모델로 유한요소해석법, 유효보폭법, 등가골조법을 허용하고 있다. 유한요소해석은 가장 정확한 탄성해석 방법이지만 해석시간이 상대적으로 길고, 유한요소에 대한 지식과 경험이 요구된다. 따라서 보다 간단한 실용적인 골조해석모델이 많이 사용되고 있다.

등가골조모델은 기존 연구자들(Vanderbilt<sup>(2)</sup>, Cano<sup>(3)</sup>, Han&Park<sup>(4)</sup>)에 의해 확장되었으며, 선행연구<sup>(4)</sup>에서 제안한 수정된 등가골조법은 기존 ACI 등가골조법의 단점인 횡하중에 대한 슬래브 부재력과 횡변위를 좀 더 정확한 값으로 예측가능하다.

\* 정회원, 한양대학교 건축환경공학과 석사과정

\*\* 정회원, 한양대학교 건축환경공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축환경공학과 교수, 공학박사

본 연구에서는 선행연구<sup>(4)</sup>에서 제안한 수정된 등가골조법을 이용하여 여러 층이 있는 구조물에 대한 횡하중과 중력하중이 작용하는 조합하중 상태에서의 해석결과의 정확성을 검증하고자 하였다.

## 2. 기존 이론

표 1 플랫 플레이트 슬래브 해석 모델

해석 모델	중력 하중 해석	횡 하중 해석
ACI 등가골조법 <sup>(1)</sup>	Used	Used
유효보폭법 <sup>(5)</sup>	Not Used (ACI 등가골조법 Used)	Used
Vanderbilt 등가골조법 <sup>(2)</sup>	Used	Used
Cano 등가골조법 <sup>(3)</sup>	Used	Used
수정된 등가골조법 <sup>(4)</sup>	Not Used (ACI 등가골조법 Used)	Used

표 1은 플랫 플레이트 슬래브 시스템의 해석모델을 사용가능한 작용하중에 대하여 구분하였다. 해석 모델들 중에 ACI 등가골조법, Vanderbilt와 Cano의 등가골조법은 중력하중과 횡하중에 대한 해석에 동시에 사용이 가능하다. 그리고 유효보폭법과 선행연구<sup>(4)</sup>의 수정된 등가골조법은 횡하중에 대한 해석 모델이다.

## 3. 중력하중과 횡하중이 작용할 때의 해석결과 비교

선행연구<sup>(4)</sup>에서 제안한 수정된 등가골조모델의 검증은 그림 1의 7층의 플랫 플레이트 구조물을 대상으로 하였다. 대상 건물은 슬래브 두께는 20cm, 기둥은 50x50cm, 층고는 3.5m을 갖는 일반적인 주거 및 사무실 용도의 건물로 계획하였다. 고정하중은 건물의 자중과 마감 및 칸막이 하중을 포함하여 6.17kPa, 활하중은 2.94kPa를 적용하였다. 횡하중은 중·약진 지역에 대한 지진하중을 적용하였다. IBC(2003)<sup>(6)</sup>에서 분류한 지진 설계 분류(Seismic Design Category :SDC) C 지역에 중요도 계수 1.25, 지반계수  $S_b$ , 반응수정계수 5를 사용하여 등가정적법으로 얻었다.

본 연구에서 유한요소해석 결과는 MIDAS-GEN<sup>w(7)</sup>을 사용하여 얻었다. 그림 1의 2층과 6층의 설계에 대하여 기둥면 모멘트와 횡변위의 유한요소해석 결과와 각 해석모델의 결과를 비교하였다.

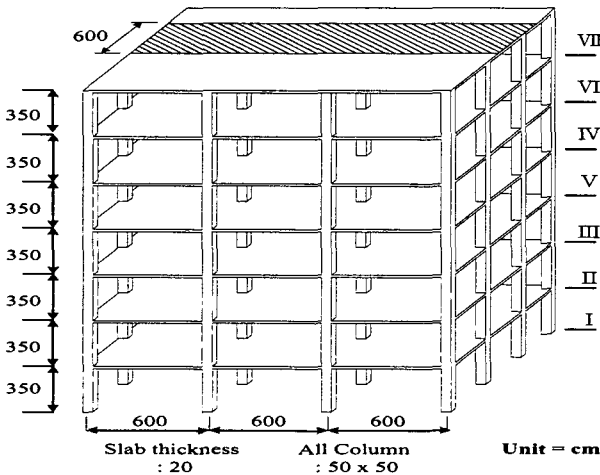


그림 1 Idealized 7-story flat plate example

용도		주거 및 사무실	
구조 시스템		중간 모멘트골조	
하중	중력 하중	DL=6.17kPa, LL=2.94kPa	
	지진 하중	지진 지역	C
		중요도 계수	1.25
		지반계수	$S_b$
	반응수정계수	5 (건물 골조 시스템)	

### 3.1 중력하중

표 2는 각 해석모델의 중력하중에 대한 설계대의 기동면 모멘트를 나타내었다. 그리고 유한요소해석 결과에 대한 각 해석모델의 비를 나타내었다. ACI 등가골조법은 유한요소해석 결과의 13%이내로 가장 근사한 결과를 보인다. ACI 등가골조법에 포함된 비틀림 부재의 강성( $K_t$ )은 중력하중하의 실험결과를 토대로 수정되어 결정되었다. 따라서 비틀림 부재의 강성( $K_t$ )를 포함하고 있는 ACI 등가골조법, Vanderbilt와 Cano의 모델은 중력하중하의 슬래브 균열이 고려되어 있다. 그러므로 이들 모델은 탄성 유한요소해석의 결과와 많은 오차가 발생한다. 그러나 실제 구조물의 거동은 균열효과가 고려되어야 하므로, ACI 등가골조법의 사용은 적절하다고 판단된다.

표 2 슬래브 모멘트(1.2D+1L)

		ACI-EFM			Vanderbilt EFM(column)			Cano EFM		
		외단외부	내단외부	내단내부	외단외부	내단외부	내단내부	외단외부	내단외부	내단내부
6층	kN·m	-127.25	-158.24	-155.58	-94.44	-159.24	-158.05	-93.94	-159.36	-158.08
	오차	-8%	13%	3%	-32%	14%	4%	-32%	14%	4%
2층	kN·m	-111.87	-169.45	-158.77	-78.49	-173.96	-163.36	-78.9	-173.86	-163.26
	오차	-8%	7%	1%	-36%	10%	3%	-35%	10%	4%

### 3.2 횡 하중

표 3과 그림 3은 각 해석모델들의 횡하중에 대한 기동면의 모멘트와 횡변위를 나타냈었으며, 또한 유한요소해석 결과에 대한 각 해석모델의 비를 나타내었다. ACI 등가골조법의 기동면 모멘트, 횡 변위는 모두 큰 오차를 보인다. Vanderbilt와 Cano의 모델은 외단 기동면의 모멘트는 30%이상, 횡변위는 170%이상 과 대평가되어 나타난다. 유효보폭법과 수정된 등가골조법은 유한요소해석 결과와 10% 이내의 가장 근사한 값을 보이고, 서로 유사한 결과를 보인다.

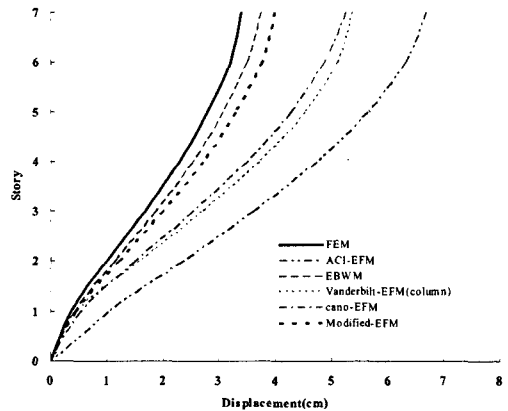


그림 3 횡 하중에 의한 층 별 횡변위값

### 3.3 조합 하중

표 4는 각 해석모델들의 중력하중과 횡하중의 조합하중에 대한 기동면의 모멘트를 나타내었다. 그리고 유한요소결과에 대한 각 해석모델 결과의 비를 나타내었다. 여기서 조합하중에서 중력하중에 대한 해석은 ACI 등가골조법, 횡하중에 대한 해석은 유한요소해석을 통해 얻은 결과를 기준으로 하였다.

표 3 슬래브 모멘트(1E)

	ACI-EFM			EBWM			Vanderbilt EFM(column)			Cano EFM			Modify-EFM			
	외단외부	내단외부	내단내부	외단외부	내단외부	내단내부	외단외부	내단외부	내단내부	외단외부	내단외부	내단내부	외단외부	내단외부	내단내부	
6층	kN·m	-44.7	-38.5	-37.3	-44.21	-42.0	-43.9	-47.85	-36.08	-35.3	-53.48	-40.5	-38.5	-44.14	-42.5	-44.03
	오차	1%	-7%	-14%	0%	1%	1%	8%	-13%	-19%	21%	-3%	-12%	0%	2%	1%
2층	kN·m	-126.7	-109	-94.14	-108.0	-102	-99.8	-135.7	-107.0	-82.1	-122.8	-96.98	-75	-106.1	-101	-99.13
	오차	23%	13%	1%	5%	5%	7%	31%	10%	-12%	19%	-1%	-19%	3%	4%	7%

표 4 슬래브 모멘트 (중력하중+횡하중)

	ACI-EFM			EBWM			Vanderbilt EFM(column)			Cano EFM			Modify-EFM		
	외단 외부	내단 외부	내단 내부	외단 외부	내단 외부	내단 내부	외단 외부	내단 외부	내단 내부	외단 외부	내단 외부	내단 내부	외단 외부	내단 외부	내단 내부
6층 kN·m	-171	-196	-192	-171	-200	-199	-142.2	-195.3	-193.3	-147.4	-199.8	-196.5	-171	-200	-199
오차	0%	-1%	-3%	0%	0%	0%	-17%	-2%	-3%	-14%	0%	-1%	0%	0%	0%
2층 kN·m	-238	-279	-252	-219	-272	-258	-214.2	-281.0	-245.5	-201.7	-270.8	-238.2	-218	-271	-257
오차	11%	5%	0%	2%	2%	3%	0%	5%	-2%	-6%	1%	-5%	1%	2%	2%

유효보폭법과 수정된 등가골조법의 조합하중 결과는 유한요소해석 결과와 매우 근사한 값으로 나타났다. ACI 등가골조법, Vanderbilt와 Cano모델의 해석결과 역시 오차는 크지 않다. 이는 중력에 의한 모멘트 값이 횡하중에 의한 모멘트 값보다 상당히 큰 값이기 때문이다. 횡 하중이 커질 경우에는 오차가 매우 커질 것이다.

#### 4. 결론

- 1) 중력하중에 대한 기둥면의 모멘트는 ACI 등가골조법이 유한요소해석을 통해 얻은 결과 값이랑 가장 근접한 결과를 주는 것으로 나타났다.
- 2) 횡하중에 대한 기둥면의 모멘트 값과 횡 변위는 유효보폭법과 수정된 등가골조법이 유한요소해석을 통해 얻은 결과 값과 가장 근사한 결과를 보여준다.
- 3) 수정된 등가골조법을 기존의 해석모델들과 비교할 때, 탄성해석을 바탕으로 유한요소해석에 의한 조합하중에 대한 모멘트와 수평변위 결과와 가장 근접한 결과를 주는 것으로 나타났다.

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10722-0)지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. ACI 318-05 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
2. Vanderbilt, M. D "Equivalent Frame Analysis for Lateral Loads", Proceedings, ASCE, Journal of the structural Division, V. 105, ST10, Oct 1979. pp 1981-1998.
3. Cano, M.T. and Klingner, R .E."Comparison of Analysis Procedures for Two-Ways Slabs" ACI Journal, November-December 1988. pp. 597-608.
4. 한상환, 박영미 "수평하중을 받는 플랫 플레이트 슬래브 해석을 위한 수정된 등가골조모델" 한국 콘크리트학회 논문집 17권, 제3호, 2005. 6, pp.419~426.
5. 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. pp. 56.
6. IBC. International Building Code, International code Council, Falls Church, Virginia, 2000.
7. MIDAS IT "MIDAS/GEN version 6.3.2 User's Manual" Computer Program.