

기둥단면형상에 따른 무량판구조시스템 강성변화에 관한 연구

A study on stiffness of flat-plate system according to column section shape

강수민*
Kang, Su-Min

이지웅**
Lee, Ji-Woong

김옥종***
Kim, Ook-Jong

이도범****
Lee, Do-Bum

ABSTRACT

In the present study, design methodologies for effective width of slabs in slab-column connections were evaluated in comparison with the experimental results on the full-scale slab-column connections. The design methodologies are as follows: the methodology proposed by Jacob S. Grossman and the methodology proposed by Choi & Song. The former does not predict the stiffness change of the slab-column connection due to the change in the column section shape and the latter overestimates the stiffness when edge length of the column section in the loading direction is long. Accordingly, the equation to calculate the effective width of slabs should be modified to reflect the effect of the change in the column section shape.

1. 서론

가변형 평면의 구현에 유리하여 수요자들의 다양한 요구를 충족시킬 수 있으며, 리모델링이 용이하다는 장점이 있는 무량판 구조 시스템이 최근 미래형 주거 시스템으로 주목받고 있으며, 실제 시공되고 있다. 특히, 최근 국내에서 공동주택의 주거형식이 벽식 구조에서 무량판+기둥식 구조로 전환을 시도하고 있는데(그림 1 참조), 이러한 경우 횡력에 대하여 효율적으로 저항하기 위하여 한 변의 길이가 긴 직사각형 단면의 벽기둥을 사용하는 경우가 많다. 따라서 다양한 기둥단면형태에 따른 무량판 구조시스템의 강도와 강성을 정확하게 예측하는 것은 중요한 문제이며 이에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다. 특히, 무량판 구조시스템의 강성을 정확히 예측하는 것은 시스템해석과 직접적으로 연관된 매우 중요한 문제라고 할 수 있다.

무량판 구조시스템에서 강성을 가정하여 시스템을 해석하는 대표적인 방법으로 유효요소법, 등가골조법, 유효보폭법이 있으며, 적용이 간편하고 3차원 모델링에까지 확장이 가능하며 해석 시간이 짧은 장점을 지닌 유효보폭법이 주로 사용되고 있다. 하지만 무량판 구조에 대한 실험이 부족하고, 특히 단일 접합부에 대한 실험 데이터가 없어서 기존의 유효보폭 계산식에 대한 검증이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실물대 무량판 접합부 실험을 바탕으로 기존의 유효보폭 계산식의 유효성을 검증하였으며 특히 다양한 기둥단면형태에 따른 유효보폭 계산식의 유효성을 검증하였다.

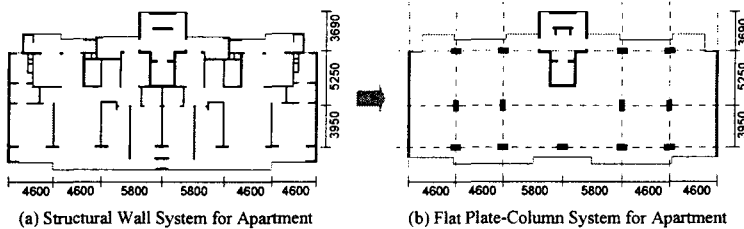


그림 1 공동주택 구조시스템의 변화

* 정회원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 주임연구원, 공학박사
** 정회원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 연구원
*** 정회원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 책임연구원, 공학박사
**** 정회원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 팀장

2. 유효보폭식 분석

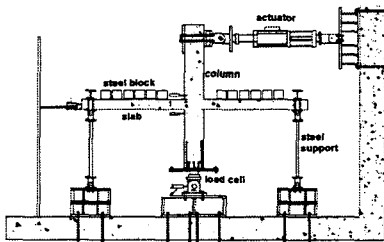
표 1 유효보폭계수 연구 요약

연구자	유효보폭계수	강성저감계수
Moehle	내부 : $\alpha = \left[\left(2c_1 + \frac{l_1}{3} \right) / l_2 \right] \frac{1}{1-\nu^2}$ 외부 : $\alpha = \left[\left(c_1 + \frac{l_1}{6} \right) / l_2 \right] \frac{1}{1-\nu^2}$	$\beta = 5 \frac{c}{l} - 0.1 \left(\frac{LL}{40} - 1 \right) \geq \frac{1}{3}$ 약산식 : $\beta = 4 \frac{c}{l} \geq \frac{1}{3}$
Grossman	$l_2 = K_d \left[0.3l_1 + c_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right) + \frac{(c_2 - c_1)}{2} \right] \left(\frac{d}{0.9h} \right) K_{FP}$ K_d : 횡변위비에 대한 계수, 1.1(1/800), 1.0(1/400), 0.8(1/200), 0.5(1/100) K_{FP} : 골조 위치에 대한 계수, 1.0(내부), 0.8(외부), 0.6(모서리)	
최정욱 송진규	$\alpha = (1.2c_1 + 0.3l_1 + 0.8c_2) / l_2$	단기 강성감소계수 : $\beta_s = \frac{17 f_{ck} h^3}{L_{SUP} I_p^4}$ 장기 강성감소계수 : $\beta_L = \frac{DL + LL}{\xi L_{SUS} + DL + LL}$ 횡변위비 강성감소계수 : $\beta_H = 1 - \frac{1}{2} \log(1 + 1000SD)$ $\rightarrow \beta = \beta_s \beta_L \beta_H$

무량판 구조물의 해석에 있어서, 적용이 간편하고 3차원 모델링으로의 확장이 용이하기 때문에 지금까지 유효보폭계수에 대한 연구가 많이 진행되었으며 유효보폭계수 계산식들이 여러 연구자들에 의하여 제안되었다. 대표적인 연구자들로 Moehle, Grossman, 최정욱과 송진규를 들 수 있으며, 이들에 의해 제안된 유효보폭계수를 표 1에 요약하였다. 본 논문에서는 이 식들의 유효성을 검증하기 위하여 대한주택공사와 대림산업에서 수행한 실물대 무량판 실험(이후 '무량판 실험'이라 지칭함.)에 대하여 이 식들을 적용하여 실험결과와 비교하였으며, 해석프로그램으로는 Midas GENw가 사용되었다.

2.1 실험 개요

무량판 실험은 기둥의 형상비와 전단보강방법을 주요 변수로 하여 실시되었으며 슬래브-기둥 내부 접합부를 대상으로 하였다. 수평하중 작용 시 슬래브와 기둥 스펠의 변곡점 위치에서 잘라낸 입체 +자 형으로 5개의 실물대 실험체를 제작하였고, 슬래브 두께 200mm, 슬래브판의 크기 4.6m×3.4m, 높이 3.1m(상하 힌지간 중심거리 3.15m)이며, 그림 2와 같이 실험체를 설치하였다. 표 2에 실험체에 대하여 정리하였으며, 그림 3의 가력 사이클에 따라 실험을 진행하였다.



(a) Test Set-up of Experiment by Daelim

그림 2 실험체 세팅

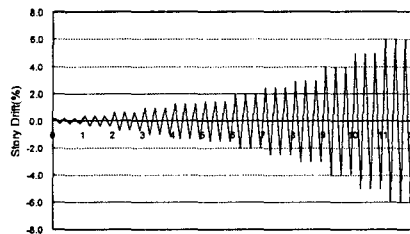


그림 3 가력 사이클

표 2 실험체 일람표

실험체명	기둥크기 [b ₁ ×b ₂] (mm)	c ₂ -3h 폭 내의 철근 비율(%)		주철대 철근 비율(%)		주간대 철근 비율(%)		중력하중비 (V _u /φV _c)	
		상부	하부	상부	하부	상부	하부	계획	실험
FIS1-05	400×800	0.64	0.32	0.56	0.26	0.30	0.22	0.20	0.44
FIS1-10	400×400	0.64	0.32	0.56	0.26	0.30	0.22	0.20	0.51
FIS1-20	800×400	0.59	0.32	0.56	0.26	0.30	0.22	0.20	0.44

2.2 경계조건

무량판 실험에서는 지그를 설치하여 가력직각방향의 변위를 제어하고 실험체의 네 모서리에 강봉을 편 접합함으로써 실제 구조물의 경계조건을 모사하였다. 하지만 이는 일반적으로 유효보폭을 제한할 때 적용하는 연속 슬래브 경계조건과는 차이가 있으므로 실험체를 모델링할 때 경계조건의 영향을 반영할 필요가 있다. 그림 5는 그림 4의 b점(접합 영역의 중심)에 모멘트를 가하였을 때 A-A(b→a)에 발생하는 회전각 그래프이다. 실험체의 경계조건을 적용할 경우 연속 슬래브 경계조건 하에서보다 접합부의 회전각은 크게, 모서리 쪽의 회전각은 작게 발생하는 것으로 나타났으며, 이를 바탕으로 구한 유효보폭계수는 표 2와 같다. 따라서 실험체를 모델링할 때 표 2의 비율만큼 축소된 유효보폭을 적용하였다.

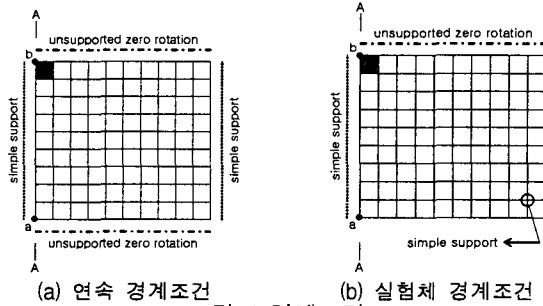


그림 4 경계조건

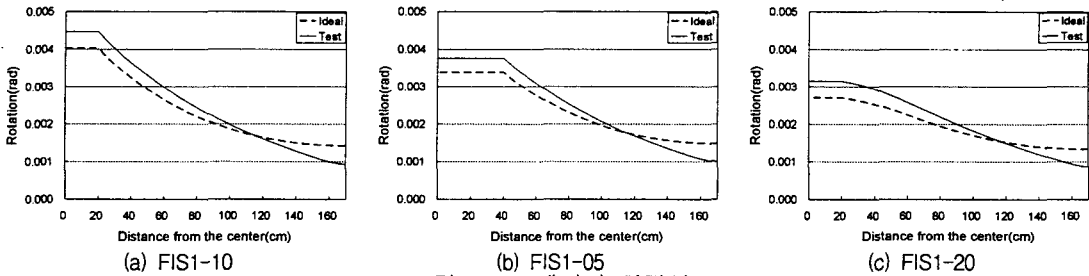


그림 5 A-A에서의 회전각
표 2 경계조건에 따른 유효보폭계수

	FIS1-10		FIS1-05		FIS1-20	
	연속	시험체	연속	시험체	연속	시험체
유효보폭계수	0.7453	0.6365	0.8869	0.7542	1.1053	0.9006
비율		85.40%		85.04%		81.48%

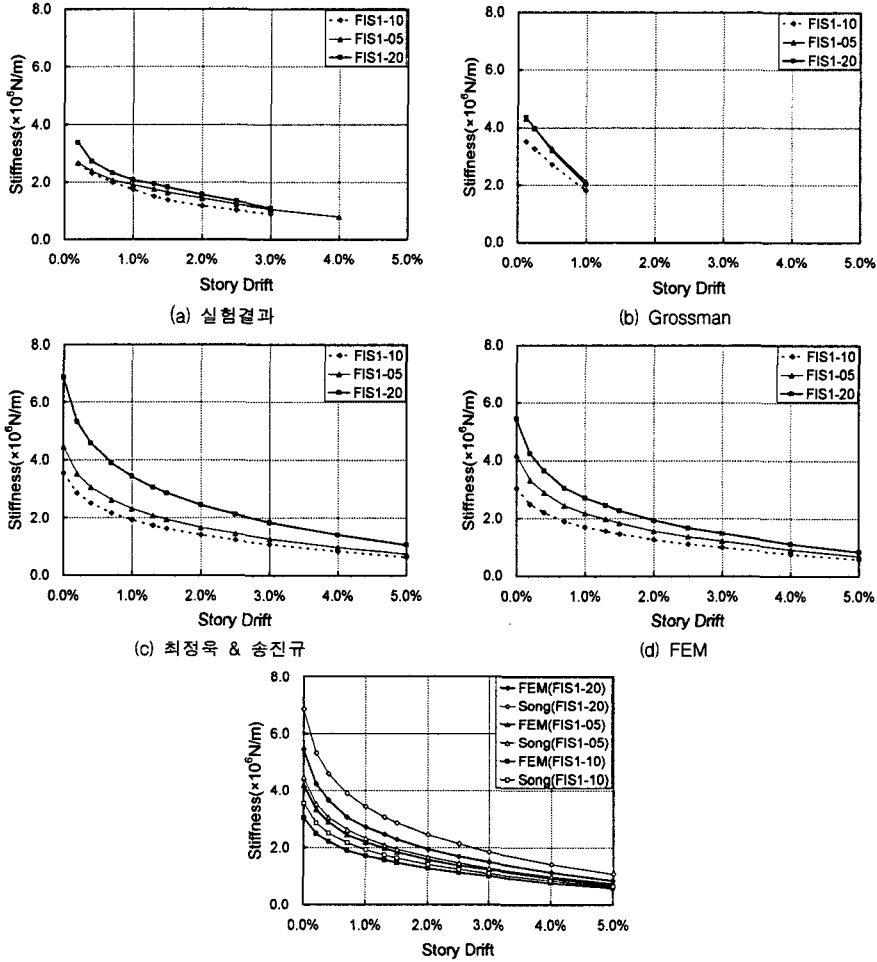
2.3 강성 비교

Grossman, 최정욱과 송진규의 제안식을 적용하여 실험체의 강성을 비교하였다. Moehle의 제안식으로는 횡변위의 증가에 따른 강성 저감을 반영할 수 없기 때문에 해석 시 제외하였다. 실험 결과 FIS1-20 실험체의 강성이 가장 크며, FIS1-10 실험체의 강성이 가장 작은 것으로 나타났으며, 세 실험체 모두 횡변위가 증가함에 따라 강성이 로그함수의 형태로 감소하는 경향을 보였다. Grossman의 제안식을 적용한 경우 FIS1-05 실험체와 FIS1-20 실험체의 강성이 거의 같으며, 횡변위가 증가함에 따라 강성이 선형으로 감소하는 결과가 나타났다. 이는 실험결과와는 상당히 다른 양상이므로 Grossman의 제안식으로는 강성의 정확한 예측이 불가능한 것으로 판단된다. 반면 최정욱과 송진규의 제안식을 적용한 경우 세 실험체의 강성 크기 순이나 횡변위 증가에 따른 강성 감소에 있어서 실험결과와 유사한 양상이 나타났다. 하지만 가력방향의 기둥 폭이 큰 FIS1-20 실험체의 강성이 지나치게 크게 나타나는 점에서 실험결과와 차이를 보였다.

이와 같이 기존의 유효보폭 계산식을 적용할 경우 실험체의 정확한 강성 예측이 어려운 것으로 나타났다. 따라서 해석 시 사용된 유효보폭계수의 유효성 여부를 알아보기 위하여 추가로 유한요소해석을 사용하여 실험체의 강성을 예측하였다. 유한요소해석을 사용할 경우 횡변위의 증가에 따른 강성의 감소와 기둥의 형상에 따른 세 실험체 강성의 상대적인 비율이 유효보폭법을 사용할 때보다 정확하게 예측되었다.

최정욱과 송진규는 유한요소해석을 이용하여 유효보폭 계산식을 제안하였으나, 실험체에 대하여 유한요소해석을 적용한 경우와 강성이 다르게 나타났다(그림 6(e) 참조). 가력직각방향의 기둥 폭이 큰 경

우에는 유한요소해석결과와 유사한 강성을 예측하였지만, 가력방향의 기둥 폭이 큰 경우에는 강성을 상당히 과대평가하였다. 따라서 가력방향 기둥 폭이 큰 경우 최정욱과 송진규의 제안식을 적용하기에는 무리가 있으며, 유효보폭 계산식에 수정이 필요할 것으로 판단된다.



(e) 강성 비교
그림 6 해석기법별 실험체 강성

3. 결론

기존의 유효보폭식을 적용하여 무량판 실험체의 강성을 예측한 후, 실험결과 및 유한요소해석결과와 비교하였다. 특히, 최근 무량판구조시스템에 사용되는 기둥의 단면형태가 다양해지고 있는 상황에서, Grossman의 제안식은 기둥의 형상비에 따른 강성의 변화를 적절하게 예측하지 못하는 것으로 나타났다. 최정욱과 송진규의 제안식은 가력방향의 기둥 폭이 긴 경우 강성을 과대평가하는 것으로 나타났다. 따라서 기존 유효보폭모델의 개선이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 최정욱, 송진규, 최기봉, "사각형 단면을 갖는 수직부재와 접합되는 슬래브의 탄성 유효보폭", 대한건축학회논문집, 제 21권 1호, 2005. 1
2. 이현호, 천영수, 김진수, 이도범, 김옥중, "철근형 전단보강근을 사용한 플랫 플레이트 시스템의 이력 거동", 한국콘크리트학회학술발표회논문집, V.17 No.1, 2005
3. Jacob S. Grossman, "Verification of Proposed Design Methodologies for Effective Width of Slabs in Slab-Column Frames," ACI Structural Journal, V.94 No.2, 1997