

수직진동에 대한 사용성을 고려한 경계조건에 따른 2방향 슬래브 최소두께 제안

Proposing the Thickness of 2-Way Slab Satisfying Floor Vibration Criteria for Several Boundary Condition

김 동 현* 이 민 정** 한 상 환***
Kim, Dong Hyun Lee, Min Jung Han, Sang Whan

ABSTRACT

KCI 2003 provides minimum thickness of slab that satisfies serviceability to static displacement. Previous study(Han, et al. 2003) showed the several slabs that designed according to minimum thickness criteria had floor vibration problem. In this study, evaluate the floor vibration serviceability of KCI 2003 minimum thickness requirements for 2-way flat plate and propose the minimum thicknesses of 2-way slabs that satisfy floor vibration criteria according to several boundary condition. For this purpose, one degree of freedom model is used and Monte Carlo simulation is performed.

1. 서론

콘크리트구조설계기준(2003)에서는 균열, 처짐 및 피로의 영향 등에 대하여 사용성 검토를 하도록 하고 있다. 특히, 처짐에 대한 사용성 검토에 대해서는 최대 처짐을 제한하고 이에 따라 처짐을 계산하지 않을 경우 사용할 수 있는 최소두께를 제시하고 있다. 선행 연구(Han, 2004)에서는 현행 설계기준의 최소두께로 설계된 아파트 거실 바닥에서 수직진동에 대한 사용성을 만족하지 못하는 경우가 있음을 보여준 바 있다. 본 연구에서는 2방향 플랫플레이트 슬래브를 대상으로 현행 설계기준에 제시된 최소두께에 대하여 수직진동에 대한 사용성 검토를 수행하고, 수직진동에 대한 사용성을 고려하여 경계조건에 따른 2방향 슬래브의 최소두께값을 알아보고자 한다.

2. 플랫플레이트 최소두께 기준에 대한 진동성능 평가

콘크리트설계기준(2003)에서 제시하고 있는 플랫플레이트의 최소두께에 대하여 수직진동 성능평가를

*정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

**정회원, 한양대학교 건축공학과 박사과정

***정회원, 한양대학교 건축공학과 부교수

수행하였다. 대상 건물은 6m 스패의 플랫플레이트 구조로 내부 슬래브와 테두리보가 없는 외부 및 모서리 슬래브를 대상으로 하였고, 철근의 강도는 우리나라에서 상용되고 있는 $f_y=400(MPa)$ 을 대상으로 하였다. 평가 기준은 일본건축학회 기준을 사용하였고, 진동해석 및 평가 결과는 각각 표 1과 그림 1에 나타내었다. 일본건축학회 기준에서는 주거 및 사무실 용도의 슬래브에 대하여 뒤꿈치 충격하중에 대한 최대가속도가 그림 1의 그래프에서 V-5 이하가 되도록 제안하고 있다.

표 1 플랫플레이트 최소두께 및 진동해석 결과

Position	Minimum thickness	Applied value (mm)	Natural frequency (f_n)	Peak acceleration (cm/sec^2)
Interior	$l_n/33$	1820	10.38	16.59
Exterior	$l_n/30$	2000	10.50	14.01
Corner	$l_n/30$	2000	10.01	14.47

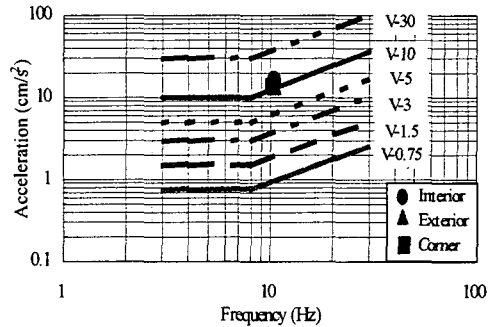


그림 1 일본건축학회 기준에 의한 평가

3. 진동해석

3.1. 대상 모델

본 연구에서는 주거 및 사무실 건물 구조에서 나타날 수 있는 경계조건 8가지에 대하여 진동해석을 수행하였다. 해석의 편의를 위하여 등가단자유도 모델을 이용하였고, 대상 모델은 주거 및 사무실 공간을 고려하여 8개의 경계조건에 대하여 한 변이 4m, 6m, 8m인 정방형으로 하였다. 표 2에 8개의 경계조건 및 이에 따른 형상함수를 나타내었다. 바닥두께는 기준의 최소두께값 범위를 고려하여 10cm~42cm까지 2cm간격으로 적용하였고, 콘크리트 압축강도는 $f_{ck}=24, 30(MPa)$ 의 두 경우를 고려하였다.

표 2 경계조건에 따른 형상함수

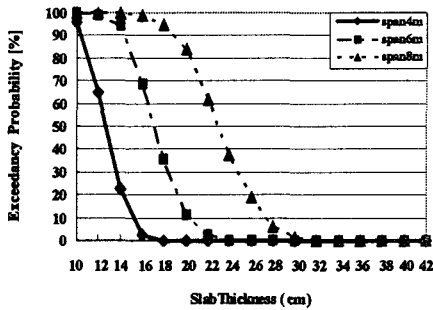
No.	Boundary	Shape function	No.	Boundary	Shape function	Note
01		$\frac{1}{4}(\cos \frac{2\pi x}{L} - 1)(\cos \frac{2\pi y}{L} - 1)$	02		$\frac{1}{1.5388} \times \frac{1}{2}(\cos \frac{3\pi x}{2L} - \cos \frac{\pi x}{2L})(\cos \frac{2\pi y}{L} - 1)$	
03		$-\frac{1}{2}(1 - \cos \frac{\pi x}{2L})(\cos \frac{2\pi y}{L} - 1)$	04		$-\frac{1}{2}(\cos \frac{2\pi x}{L} - 1)\sin \frac{\pi y}{L}$	
05		$-\frac{1}{2}(\cos \frac{2\pi x}{L} - 1)\frac{y}{L}$	06		$\frac{1}{1.5388}(\cos \frac{3\pi x}{2L} - \cos \frac{\pi x}{2L})(\cos \frac{3\pi y}{2L} - \cos \frac{\pi y}{2L})$	
07		$-\frac{1}{1.5388}(\cos \frac{3\pi x}{2L} - \cos \frac{\pi x}{2L})\sin \frac{\pi y}{L}$	08		$\sin \frac{\pi x}{L}\sin \frac{\pi y}{L}$	

3.2. 신뢰성 해석

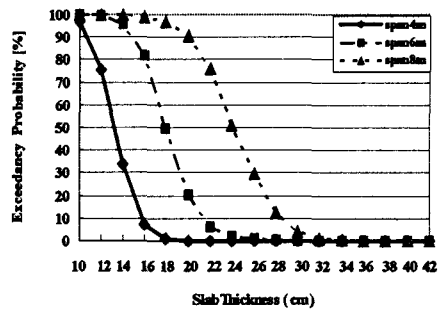
콘크리트 재료 및 하중의 불확실성을 고려하기 위하여 콘크리트의 압축강도와 탄성계수 및 뒤꿈치 충격하중과 바닥 마감하중을 불확실 변수로 선택하여 Monte Carlo Simulation을 수행하였다. 응답가속도의 초과확률은 바닥 진동의 최대응답 가속도(A_p)가 일본건축학회기준(1991)의 제한값(A_{All})을 초과하는 확률로 다음 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{Excess} = P(A_p > A_{All}) \quad (1)$$

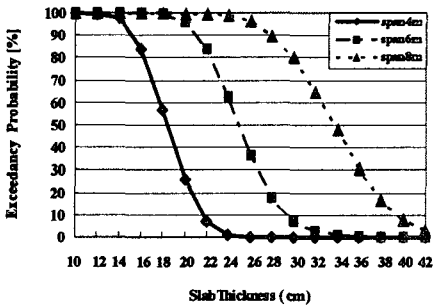
바닥판 모델 각각에 대한 1000개의 해석 결과를 이용하여, 그 최대응답 가속도 값이 일본건축학회 기준의 제한값을 초과하는 수(n)를 세어 초과확률을 계산하고, 이를 10회 반복하여 Monte Carlo Simulation을 수행하고 초과확률을 결정하였다. 다음 그림 2는 콘크리트 압축강도 $f_{ck}=24 (MPa)$ 에 대하여 표 2의 경계조건 1, 2, 5, 8의 경우 슬래브 길이에 따른 초과확률을 보여준다.



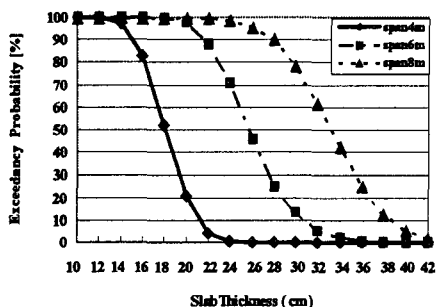
(a) 경계조건 No.01



(b) 경계조건 No.02



(c) 경계조건 No.05



(d) 경계조건 No.08

그림 2 슬래브 길이 두께별 기준초과 확률($f_{ck}=24 MPa$)

4. 경계조건별 초과확률에 대한 슬래브 최소두께

등가단자유도 모델을 이용한 진동해석 및 Monte Carlo Simulation으로 얻은 각 경계조건별 초과확률 10, 20, 30, 40%에 대한 2방향 슬래브의 최소두께는 다음 표 3과 같다.

표 3 경계조건에 따른 슬래브 두께 제한

B.C. (No.)	Span (m)	Exceedancy probability (%)							
		$f_{ck}=24(MPa)$				$f_{ck}=30(MPa)$			
		10	20	30	40	10	20	30	40
01	4	L/26.20	L/28.05	L/29.30	L/30.34	L/29.02	L/29.52	L/30.04	L/30.57
	6	L/29.54	L/31.11	L/32.51	L/33.84	L/28.61	L/30.03	L/30.43	L/30.84
	8	L/29.20	L/30.89	L/32.50	L/33.63	L/33.34	L/33.72	L/34.12	L/34.50
02	4	L/25.34	L/26.61	L/28.00	L/29.19	L/26.00	L/27.58	L/29.00	L/30.04
	6	L/27.93	L/29.98	L/31.04	L/32.18	L/28.67	L/30.67	L/31.93	L/33.29
	8	L/27.94	L/29.49	L/30.82	L/31.96	L/28.95	L/30.66	L/31.81	L/33.00
03	4	L/16.25	L/17.19	L/17.98	L/18.68	L/16.88	L/17.78	L/18.60	L/19.36
	6	L/18.25	L/19.21	L/19.99	L/20.66	L/18.89	L/20.00	L/20.68	L/21.41
	8	L/18.58	L/18.94	L/19.75	L/20.62	L/18.80	L/19.60	L/20.51	L/21.39
04	4	L/25.03	L/26.01	L/27.07	L/28.22	L/25.69	L/27.01	L/28.48	L/29.42
	6	L/26.11	L/27.89	L/29.25	L/30.53	L/27.51	L/29.50	L/30.84	L/32.00
	8	L/27.09	L/28.58	L/29.68	L/30.85	L/28.60	L/29.97	L/31.21	L/32.22
05	4	L/18.40	L/19.36	L/20.25	L/20.94	L/18.94	L/20.21	L/21.00	L/21.84
	6	L/20.36	L/21.60	L/22.48	L/23.33	L/20.73	L/22.24	L/23.36	L/24.14
	8	L/20.24	L/21.33	L/22.16	L/22.91	L/20.89	L/22.24	L/23.06	L/23.90
06	4	L/23.52	L/25.25	L/26.11	L/27.04	L/25.07	L/26.07	L/27.16	L/28.35
	6	L/25.53	L/27.39	L/28.45	L/29.60	L/26.76	L/28.25	L/29.55	L/30.70
	8	L/26.13	L/27.55	L/28.72	L/29.60	L/27.26	L/28.71	L/29.75	L/30.86
07	4	L/22.70	L/23.77	L/24.95	L/25.78	L/23.41	L/25.12	L/25.96	L/26.86
	6	L/23.34	L/24.84	L/25.96	L/27.11	L/24.41	L/26.05	L/27.46	L/28.41
	8	L/25.21	L/26.26	L/27.22	L/28.15	L/25.97	L/27.27	L/28.31	L/29.30
08	4	L/18.78	L/19.90	L/20.61	L/21.31	L/19.17	L/20.36	L/21.16	L/22.02
	6	L/19.45	L/20.76	L/21.79	L/22.59	L/20.05	L/21.36	L/22.43	L/23.40
	8	L/20.70	L/21.75	L/22.59	L/23.37	L/21.16	L/22.24	L/23.11	L/23.98

5. 결론

- 1) 현행 설계기준의 2방향 플랫플레이트의 최소두께값은 그림 1에서 V-5의 제한치를 상회하여 수직 진동에 대한 사용성 기준을 만족하지 못한다.
- 2) 등가단자유도 모델을 이용한 진동해석 및 Monte Carlo Simulation 결과 2방향 슬래브의 최소두께는 각 경계조건에 따라 수직진동 사용성 기준에 대한 초과확률 10, 20, 30, 40%에 대하여 표 3에 나타난 바와 같이 $l_n/16 \sim l_n/34$ 의 범위에 있다.

참고문헌

1. Architectural Institute of Japan, Guidelines for The Evaluation of Habitability to Building Vibration, Architectural Institute of Japan, 1991, pp.1~10
2. Rudolph Szilard, "Theory and Analysis of Plate : Classical, Numerical and Engineering Method", Prince-Hall, 1974, pp.408~409
3. Arthur Leissa, "Vibration of Plates : Rectangular plates", pp.41~154
4. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준·해설", 한국콘크리트학회, 2003, pp.79~P85
5. 한상환, 이민정, "기존 아파트 바닥의 수직진동 성능 평가", 한국콘크리트학회 논문집, 제16권 2호, 2004년 4월 pp.221~228