

콘크리트 강도에 따른 바닥판 수직진동에 대한 적정 두께 제안

The Adequate Slab Thickness Satisfied with the Vertical Floor Vibration Criteria for Several Concrete Compressive Strength

남 상 욱* 한 상 환**
Nam, Sang Wook Han Sang Whan

ABSTRACT

Recently, the floor thickness in residence may not be satisfied with the floor vibration criteria although the thickness is evaluated by the serviceability requirements in current design provisions. Thus it is necessary to develop the procedure to determine slab thickness satisfied with the floor vibration criteria. In this study, We proposed the methods to determine the slab thickness satisfied with the vertical floor vibration criteria for several concrete compressive strength of flat plate floor systems. For this purpose Monte Carlo simulation procedure was adopted and both randomness inherent in young modulus of concrete and heel drop intensity were accounted.

1. 서론

최근 들어 건설 재료의 발달과 기술의 진보로 건물이 장스팬화, 경량화가 되어감에 따라 바닥판의 수직진동에 대한 문제점이 발생하게 되었다. 바닥판 수직진동의 사용성 문제는 사용자들에게 불쾌감과 불안감을 줄 수 있다. 그러나 우리나라의 현행 기준은 수평부재에 대한 정적 처짐에 대해 사용성 검토를 하고 있으나, 바닥판 수직진동에 대한 사용성 검토는 이루어지고 있지 않다. 따라서 수직진동에 대한 사용성 평가를 만족하는 슬래브의 적정 최소 두께에 대한 제안이 필요하다.

본 연구는 콘크리트 강도에 따라 거주 공간 바닥판의 수직진동을 만족하는 최소 두께를 제안하는 것을 목적으로 한다. 모델의 크기는 기존 아파트 거실의 크기를 고려해 한 변을 6m로 하고, 가진원은 사람의 뒤킴치 충격하중이 바닥판의 중앙에 작용하는 것으로 하였다. 그리고 수직진동 평가기준은 AISC-11(1997)에서 제시한 주거용 건물에서의 보행하중에 대한 최대가속도 제한 값인 0.5%g 값을 사용하였다. 또한 각 변수들의 불확실성을 고려하여 탄성계수와 뒤킴치 충격하중의 크기를 불확실 변수로 가정하고, 난수를 형성하여 Monte Carlo Simulation을 수행하여, 수직진동해석과 신뢰성분석을 하였다.

* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축공학과 부교수

2. 적정 두께 제한치 제안

2.1. 모델링 계획

본 연구에서는 다음과 같은 범위로 모델을 형성하였다.

- ① 플레이트 크기 : 6m×6m
- ② 콘크리트 단위부피당 질량 : 2400kg/m³, 콘크리트 포아송비 : 0.167
- ③ 플레이트 경계조건 : 단순지지, 고정지지
- ④ 플레이트 두께 : 1/10, 1/20, 1/30, 1/40 (l : 플레이트 길이)
- ⑤ 콘크리트 압축강도 : 180kgf/cm², 210kgf/cm², 240kgf/cm².

2.2. 뒤꿈치 충격하중 실험

뒤꿈치 충격하중의 분포 함수 결정을 위해 실험을 실시하였다. 실험은 플레이트 중앙에 90cm×90cm의 판에 Loadcell을 설치하여 10인을 대상으로 1인당 15회 충격실험을 실시하였다. 실험은 실험 대상이 로드셀 위에서 뒤꿈치를 5cm 이격하여, 몸을 자유낙하 시켜, 하중 최대 크기와 지속시간을 측정하여 측정된 뒤꿈치 충격하중의 최대 값의 평균값과 분포를 알 수 있었다. 본 연구에서 해석을 위해서 실험으로 인해서 얻어진 충격하중의 최대 값의 평균값과 지속시간의 평균값을 이용해 아래 그림1과 같은 Half-Sine 형태의 하중 함수를 생성하여, 해석을 수행하였다. 또한 불확실성을 고려하여 충격하중 최대값과 COV를 이용해 1000개의 난수를 생성하였다. 생성된 난수의 분포는 아래 그림2와 같다.

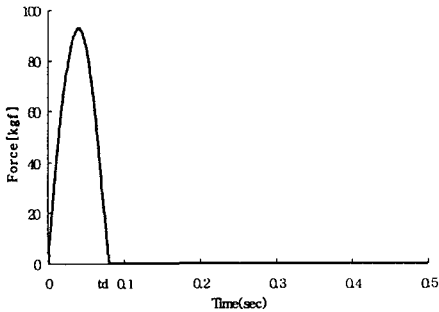


그림 4 뒤꿈치 충격하중(실험)

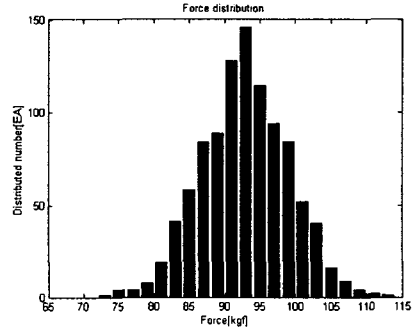


그림 5 뒤꿈치 하중 분포

3. 모델의 진동해석 및 적정 두께 제한치 제안.

3.1. 변수의 난수 생성 및 진동해석

본 연구에서는 불확실성을 고려하기 위해서 Monte Carlo Simulation을 수행하였다. 콘크리트의 압축강도와 탄성계수, 뒤꿈치 충격하중 최대 값의 평균값과 분포를 가지고 난수를 각각 1000개씩 생성하여 해석을 수행하였고, 변수인 탄성계수와 압축강도의 분포와 평균은 Choi, B. S., Oh, B. H., Scanlon, A.(2002)의 논문을 참조하여 구할 수 있다. 콘크리트의 탄성계수는 콘크리트의 압축강도에 따라 변하므로 아래 표1에서의 압축강도의 평균값, COV, 압축강도와와의 관계식을 이용해 1000개의 난수를 생성하여, 진동 해석을 하였다. 진동 해석은 단자유도 시스템으로 치환하여 시행하였다.

표 1 지배 변수의 평균과 그 분포

변수	평균값	COV	분포	비고
압축강도[kgf/cm ²]	$0.675f'_c + 77 \leq 1.1.5f'_c$	0.176	Normal	
탄성계수[kgf/cm ²]	$15000\sqrt{f'_c}$ [kgf/cm ²]	0.119	Normal	
뒤꿈치 충격하중 [kgf]	92.79[kgf]	0.259	Normal	실험값

표 2 해석결과

경계조건	두께 (L:스팬길이)	해석결과	180kgf/cm ²	210kgf/cm ²	240kgf/cm ²
단순지지	L/10	Fn(Hz)	39.35	40.21	41.28
		Ap(%g)	0.086	0.082	0.081
	L/20	Fn(Hz)	17.78	18.20	18.60
		Ap(%g)	0.434	0.417	0.402
	L/30	Fn(Hz)	10.90	11.14	11.40
		Ap(%g)	1.316	1.257	1.227
	L/40	Fn(Hz)	7.57	7.75	7.93
		Ap(%g)	1.906	1.879	1.857
고정지지	L/10	Fn(Hz)	74.24	76.17	77.72
		Ap(%g)	0.071	0.070	0.068
	L/20	Fn(Hz)	33.53	34.40	35.12
		Ap(%g)	0.285	0.278	0.268
	L/30	Fn(Hz)	20.49	20.97	21.52
		Ap(%g)	0.720	0.690	0.680
	L/40	Fn(Hz)	14.27	14.58	14.94
		Ap(%g)	1.485	1.395	1.349

* Fn : 고유진동수 Ap : 중력에 대한 최대응답가속 비

3.2. 평가 및 두께 제한치 신뢰성 분석

평가 기준인 AISC(1997)은 최대응답가속도 제한값을 0.5%g로 정하고 있다. 기준을 만족하는 적정 최소두께를 제안하기 위해서 본 연구에서는 바닥 모델링 1000개의 해석 결과를 통해 최대응답가속도가 0.5%g를 초과할 확률을 구하여, 각각의 경우에 대해서 두께 값에 따라 초과 확률을 확인하고, 이를 토대로 경계조건과 콘크리트 압축강도에 대해서 최대응답가속도가 0.5%g를 초과할 확률이 10%, 20%, 30%, 40%로 나누어서 각 점사이의 직선 보간으로 그 해당하는 최소두께 제한치를 제안하였다.

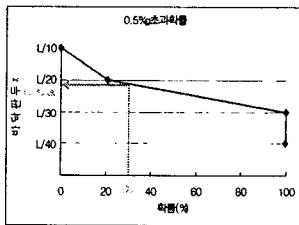


그림 6 0.5%g 초과확률(180,단순지지)

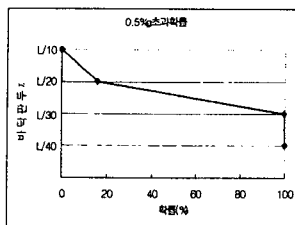


그림 7 0.5%g 초과확률 (210,단순지지)

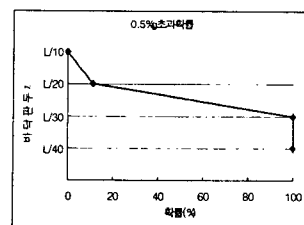


그림 8 0.5%g 초과확률 (240,단순지지)

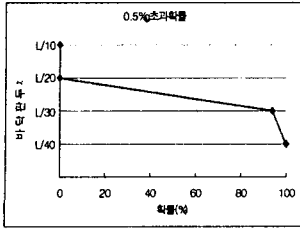


그림 9 0.5%g 초과확률
(180, 고정지지)

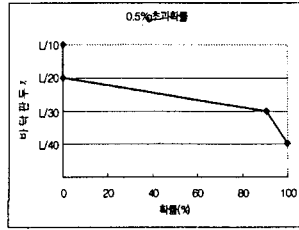


그림 10 0.5%g 초과확률
(210, 고정지지)

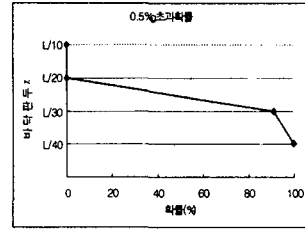


그림 11 0.5%g 초과확률
(240, 고정지지)

표 3 0.5%초과 확률에 따른 두께 제한 값

경계조건	0.5%g초과 확률	180kgf/cm ²	210kgf/cm ²	240kgf/cm ²
단순지지	10%	L/13.13	L/14.59	L/18.07
	20%	L/19.09	L/20.33	L/20.68
	30%	L/20.80	L/21.19	L/21.52
	40%	L/21.77	L/22.12	L/22.43
고정지지	10%	L/20.73	L/20.76	L/20.76
	20%	L/21.53	L/21.58	L/21.59
	30%	L/22.37	L/22.48	L/22.50
	40%	L/23.30	L/23.45	L/23.49

L : 플레이트의 스펠길이

4. 결론 및 향후 계획

Monte Carlo Simulation을 통한 콘크리트 압축강도에 따른 진동규준을 만족시키는 적정 두께 제안을 위한 본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 바닥의 최대응답가속도 값이 0.5%g를 초과할 확률 10%, 20%, 30%, 40%에 대한 바닥 두께는 단순지지인 경우는 L/13~L/23, 고정지지인 경우는 L/20~L/23.5의 범위임을 알 수 있다.

2. 적정 두께 제한치는 콘크리트의 압축강도가 커짐에 따라 만족하는 두께 제한치 값은 작아짐을 알 수 있다.

본 연구에서는 콘크리트 압축강도에 따라 두께를 제한하였으나, 바닥의 크기와 하중의 종류나 크기에 대한 고려가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2002년 건설기술연구개발 사업으로 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

1. AISC/ CISC, "Steel Design Guide Series 11. Floor Vibration Due to Human Activity," American Institute of Steel Construction, 1997, Chicago.
2. Choi, B. S., Oh, B. H., Scanlon, A., "Probabilistic Assessment of ACI 318 Minimum Thickness Requirements for One-Way Members", ACI Structural Journal, Vol. 99, NO. 3, 2002, pp.344-pp351