



01

국내 건축물 수직진동관련 법규 및 설계기준 소개

Introduction of Building Code and Design Standards for Structural Vertical Vibration



양 원 직 Yang, Won Jik

광운대학교
환경대학원 교수
yangwj@nate.com



신 동 현 Shin, Dong Hyeon

서울시립대학교,
건축공학과 박사과정
donghyeon_shin@uos.ac.kr

머리말

최근 공동주택 및 소규모주택 등에서 바닥진동으로 인한 거주자간 분쟁 사례가 증가되고 있으며 이로 인한 건물의 진동에 대한 사회적인 관심이 급속히 부각되고 있다. 이와 같은 진동에 대한 관심과 진동평가의 필요성은 국내의 건축법규 및 다양한 설계기준을 통해서 고려되고 있다. 본고에서는 건축물 내의 바닥진동과 관련된 국내의 법규 및 설계기준의 체계와 각 설계기준상 진동평가방법의 특징에 대해서 소개하고자 한다.

국내 진동관련 법규

2.1 건축법규 상의 진동관련 조항

최상위법인 건축법규는 2002년 개정됨에 따라 진동 관련 조항을 법규상에 포함하고 있다. 건축법 제 5장 '건축물의 구조와 재료'의 38조 '구조내력'에서는 1항에 건축물은 고정하중, 적재하중, 적설하중, 풍압, 지진 그 밖의 진동 및 충격 등에 대하여 안전한 구조를 가져야 한다는 조항을 정하고 있다. 하위항목으로서 2009년 국토교통부령으로 개정된 '건축물의 구조기준 등에 관한 규칙'에서는 제 1절 5조에 '구조부재의 강성 및 내구성'에 건축물의 구조부재는 사용에 지장이 되는 변형이나 진동이 생기지 아니하도록 필요한 강성을 확보하여야 하며, 순간적인 파괴현상이 생기지 아니하도록 인성의 확보를 고려하여야 한다고 제시하

고 있다. 또한 국토교통부가 고시하고 1997년 개정된 ‘건축물의 구조내력에 관한 기준’에서는 제 6장 52조에 형강보 및 조립보는 이에 가하여지는 하중에 대하여 충분한 휨강도 및 전단강도를 가져야 하며, 처짐이나 진동 등의 장애가 생기지 아니하도록 충분한 강성을 확보하여야 한다고 제시하고 있다.

이와 같이 최상위법인 건축법규를 포함하여 국내 진동관련 법규 및 규칙에서는 진동으로 인한 구조부재의 손상 방지 등과 같은 구조적 안전에 대한 내용을 조항으로 포함시켜 원천적으로 진동문제 발생을 제한하고 있으며 사용에 지장이 되는 변형 등의 문제도 법규 및 규칙의 조항으로 정하여 설계단계에서 방지할 수 있도록 할 것을 제시하고 있다. 즉, 진동을 고려한 구조설계 및 진동수준의 평가와 관련된 사항은 법규상에 기술되어 있지는 않으며, 진동과 관련된 세부사항은 하부 구조설계기준에서 고려하도록 하고 있다. 또한 하부 구조설계기준의 진동관련 설계는 대부분 사용성 설계를 바탕으로 처짐과 함께 다루어지고 있으며 이에 대한 사항은 지침서 및 해설 등을 통해서 뒷받침되고 있다.

2.2 소음진동관리법 상의 진동관련 조항

건설교통부에 의하여 2009년 개정되었으며 ‘건설소음·진동 규제기준’, ‘생활소음·진동 규제기준’과 ‘교통소음·진동 한도’를 통하여 건설환경, 주거환경 및 교통환경으로 인한 소음 및 진동의 허용한계를 규정하고 있는 소음진동관리법은 각종 민원이나 보고서에서 진동의 영향평가에 많이 인용되고 있으며, 구조물의 진동수대역에 관계없이 일률적으로 적용되는 수평적인 허용한계를 규정하고 있다. 특정 지역내 학교, 병원, 도서관과 그 외 기타지역의 주간 및 야간 생활진동을 dB단위로 규제하고 있으며 진동 측정방법 및 평가단위는 소음·진동공정시험 방법에 의한 수행이 제시되어 있다. 한편 규정된 허용한계는 구조물의 고

유진동수에 따른 진동인지의 변화가 무시되는 단점이 있으며, 한계값이 높게 설정되어 있다는 지적을 받고 있기도 하다.

국내 진동관련 설계기준

3.1 설계기준상 진동관련 조항

건물에 대한 진동기준은 건축법규 및 규칙에서 포괄적 조항을 통해 제시하고 있는 진동에 대한 구조적 안전성을 확보하기 위한 ‘진동을 고려한 설계’의 필요성에 대해 언급하고 있다. 건물에 대한 진동기준은 철골·철근콘크리트 구조계산규준, 강구조한계상태설계기준과 같은 진동설계기준Standard과 각 구조설계기준의 해설부분에 해당하는 진동평가지침Commentary으로 구분할 수 있으며, 전자에서는 진동을 고려한 사용성 설계방법을 후자에서는 구체적인 진동평가방법, 제한치 등으로 해당 건물의 진동수준을 평가하는 지침을 제시하고 있다.

국토교통부의 권한을 위임 받아 대한건축학회, 한국콘크리트 학회 등에서 제시된 건물의 구조설계기준 중에서 ‘강구조 허용응력 설계기준(안)’, ‘강구조한계상태설계기준 및 해설’, ‘철골·철근콘크리트 구조계산규준’, ‘합성데크 바닥구조설계기준 및 해설’, ‘냉간성형강 구조설계기준(안) 및 해설’등에서 진동을 고려하고 있으며, 각 구조설계기준에 명시된 진동관련 조항과 해설에서 제시하고 있는 진동관련 사항은 다음과 같이 요약 및 정리할 수 있다.

강구조 한계상태 설계기준

- 기준본문(제 2장 사용성 한계상태 중 2.4절 처짐 진동 및 수평변위) : 바닥구조는 바닥판, 바닥보, 천장 및 칸막이벽의 상하진동으로 불쾌감을 유발하지 않도록 바닥구조의 강성, 고유진동수 및 감쇠효

과 등을 고려한 설계를 한다.

- 해설내용 : 바닥판의 고유진동수가 최소값 이상이 되도록 제시하며, 바닥판의 고유진동수 계산식을 바탕으로 한 보진동식을 제시하고 있다.

강구조 허용응력 설계기준(안)

- 기준본문(제 2장 사용성 설계 중 2.4절 처짐 진동 및 수평변위) : 강구조 한계상태 설계기준의 내용과 동일함

합성데크 바닥구조 설계기준

- 기준본문(제 3장 중 3.5절 처짐 및 고유진동수) : 철골구조의 보가 지지하는 바닥판에서 문제시되는 처짐 및 진동 장애는 보의 강성부족에 기인하는 경우가 많으므로 주의해야 한다.
- 해설내용 : 합성슬래브의 고유진동수를 15Hz 이상으로 정하고, 1방향슬래브의 고유진동수 계산식으로 지지단의 종류별 보진동식을 제시하고 있다. 해외기준을 인용하여 최소 고유진동수를 제시하고 있지만 이에 대한 참고연구가 기술되어 있지는 않다.

철골·철근콘크리트 구조계산기준

- 기준본문(제 5장 5.3.4 처짐과 진동) : 합성슬래브의 처짐과 진동은 건물의 용도에 따라서 적절히 고려하여야 한다.
- 해설내용 : 바닥판의 고유진동수는 5Hz 또는 8Hz 이상을 요구하고 있으며, 단순보 바닥판의 고유진동수 계산식과 보행진동에 의한 진동가속도 예측식을 제시하고 있다.

냉간성형강 구조설계기준(안) 및 해설

- 해설내용(해설 3장 부재설계 중 3.4절 휨재) : 인간의 주행이나 물품의 반송에 따른 충격에 의한 바닥

의 진동 장애의 유무에 대해서도 특히 주의해야만 한다. 또한 바닥의 고유진동수로 15Hz(목조)와 20Hz(철근콘크리트) 이상을 권장하고 있으며 고유진동수 계산식으로 단순보의 진동식을 제시하고 있다. 앞선 기준과 마찬가지로 해설에서 지정한 고유진동수의 출처가 기술되어 있지 않다.

3.2 설계기준상의 진동평가 방법

국내의 대부분 구조설계기준에서는 건축물 수직진동을 평가하기 위해서 바닥판의 고유진동수를 고려하여 기준에서 정하고 있는 최소 고유진동수 이상이 되도록 제한하는 방법을 제시하고 있다. 그리고 진동으로 인한 사용성 평가에 대해서는 앞서 언급한 구조설계기준상에서는 간략하게 언급만하고 있으며, 해설부분에 부분적으로 소개되어 있거나 진동과 관련된 표준KS, Korea Standard과 지침서를 활용하여 평가하도록 제시하고 있다.

(1) 강구조 한계상태설계 기준

국내의 구조설계기준 해설에서 언급된 진동평가방법은 주로 국외의 진동관련 지침서나 연구들을 바탕으로 한 방법을 인용하고 있다. 강구조 한계상태 설계기준 및 해설에서는 바닥구조가 상하진동으로 불쾌감을 유발하지 않도록 바닥의 강성, 고유진동수 및 감쇠효과를 고려한 설계를 수행하기 위해 유럽의 유로코드Eurocode 및 미국의 Allen과 Murray의 연구를 인용한 진동평가방법을 제시하고 있다. 유로코드의 CEN EC 3/1기준을 인용한 경우에는 고유진동수를 다음의 식으로 산정하게 되며 이때의 바닥진동의 제한값은 Table 1과 같이 정하고 있다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{E_s I}{m}}$$

여기서 f_0 : 고유진동수(Hz), E_s : 탄성계수, I : 단

면 2차 모멘트, L : 스패, m : 단위 길이당 질량, a : 기본 진동모드의 진동수 계수(단순 지지보 : 9.869, 양단 고정보 : 22.37, 캔틸레버 보 : 3.516, 1단 고정·타단 롤러 : 15.418)이다.

Allen과 Murray의 ‘보행진동에 대한 설계’에서 바닥구조의 고유 진동수가 아래의 조건에 만족될 경우 보행진동에 대해서 문제시되지 않는다고 판단하여도 좋다고 제안하고 있다. 또한, 바닥구조의 고유 진동수가 9Hz 이하이면 공진에 의해, 9Hz~18Hz이면 자극 응답거동에 의해, 18Hz이상이면 정역학적 강성으로 설계해야 한다고 제안한다.

$$f_0 = 0.18 \sqrt{\frac{g}{\Delta_j + \Delta_g}} \geq 2.86 \left(\frac{W}{\beta W} \right)$$

여기서 f_0 : 고유 진동수(Hz), K : 체감진동계수, β : 감쇠율이며 Table 2를 통해서 결정된다. W 는 기본 주기에서의 바닥진동에 대한 유효중량을 나타내며 다음의 식으로부터 계산된다.

$$W = \frac{\Delta_j}{\Delta_j + \Delta_g} W_j - \frac{\Delta_g}{\Delta_j + \Delta_g} W_j$$

여기서 Δ_j , W_j 는 보의 처짐 및 중량, Δ_g , W_g 는 거더의 처짐 및 중량을 나타낸다.

(2) 철골·철근콘크리트 구조계산 기준

철골·철근콘크리트 구조계산 기준에서는 다음과 같은 고유진동수의 산정을 소개하고 있다.

① 합성 및 비합성 작용의 가정시, 1방향 단순보 바닥 구조의 진동수

$$f_1 = 156 \sqrt{\frac{EI_t}{wL^4}}$$

여기서 I_t 콘크리트 단면이 강재로 변환된 T형 단면

의 등가 단면 2차 모멘트, w : T형 단면의 자중, L : 스패를 의미한다.

② 1방향 구조가 강재 거더 위에 놓여 있을 때, 거더는 1방향 구조의 고유진동수를 감소시키며, 이러한 경우 다음 식으로 고유 진동수를 산정한다.

$$\frac{1}{f^2} = \frac{1}{f_1^2} + \frac{1}{f_2^2}$$

여기서 f : 장선과 수직방향에 있는 강재 거더 위에 놓인 바닥구조의 고유 진동수, f_2 : 큰 보의 고유진동수(장스패 구조물 5Hz이상, 점핑과 같은 반복운동 바닥구조 8Hz 이상)이다.

한편 합성테크 바닥구조 설계기준과 냉간성형강 구조설계기준(안)의 해설에서 기술되어 있는 진동평가방법은 단순히 바닥구조의 최소 고유 진동수만을 규정하여 체계적인 진동평가방법으로 보기에는 미흡하다.

(3) ISO 진동평가방법

추가적으로, 한국표준KS에서는 국제표준규격 ISO의 진동계측과 데이터 작성방법을 그대로 인용한 진동평가방법을 제시하고 있다. ISO 2631에서는 진동에 대한 노출기준을 규정하고 있다. 진동수가 1~80Hz인 범위에서 주기적 또는 일시적인 진동이 인체에 미치

분류	최소 고유진동수, Hz	한계변형의 합계, mm
보행바닥	3	28
리듬운동을 하는 바닥	5	10

Table. 1 강구조한계상태설계기준 및 해설의 진동평가기준 (유로코드 인용)

구분	체감진동계수, K	감쇠율, β
주택, 사무실, 교회 등	5.9	0.03
백화점, 상가	2.0	0.02
육교	0.8	0.01

Table. 1 고유진동수 결정을 위한 K과 β 값의 결정

* 상부층 바닥까지 연장된 칸막이 벽이 있는 경우 : 0.05
천장, 덕트, 칸막이 등의 비구조체가 거의 없는 교회 등과 같은 경우 : 0.02

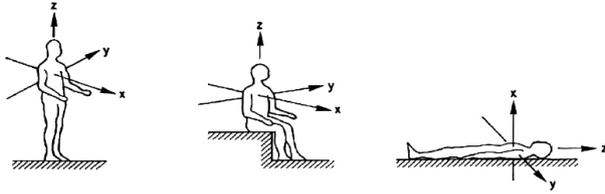
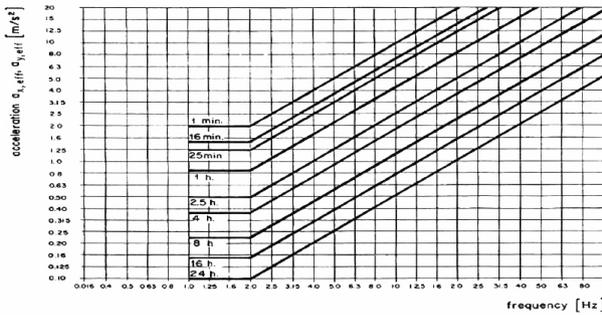
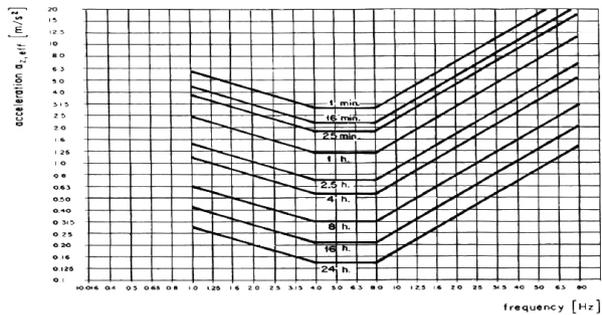


Fig. 1 ISO의 기본 좌표축 방향



a x, y방향에 대한 가속도 응답곡선



b z방향에 대한 가속도 응답곡선

Fig. 2 ISO의 피로-능력감퇴경계에 대한 가속도 응답곡선

는 영향을 ‘안락 감퇴 경계’, ‘피로-능력 감퇴 경계’, ‘노출한계’ 등으로 나누고 있으며 각각의 내용은 다음과 같다.

- ① 안락 감퇴 경계 : 식사나 독서 같은 활동시 견딜 수 있는 소란(불안)에 대한 한계
- ② 피로-능력 감퇴 경계 : 현저한 능률저하와 함께 피로를 유발하는 반복적인 진동에 대한 한계이며 ‘안락 감퇴 경계’의 3.15배 정도로 발생
- ③ 노출한계 : 인체의 건강과 안전에 대한 최대 진동을 나타내며 ‘안락 감퇴 경계’의 6배 정도에서 발생

ISO에서는 실험적 연구결과에 따라 Fig. 1과 같이 좌표축을 선정한 후, 방향별로 인체가 허용할 수 있는 진동가속도의 한계를 나타내었으며, 이는 Fig. 1과 같다. 그림에서 제시되는 바와 같이 연직진동, 수평진동에 대한 기준은 형태에 따라 연직진동에서는 4~8Hz에서 일정하고 4Hz 이하 및 8Hz 이상에서 감도가 둔화되고 있는 것에 비해, 수평진동에서는 2Hz로 일정하고 그 이상에서 매우 감도가 둔해지고 있다. 또한 진동수 영역 3Hz까지는 수평진동을 감지하기 쉬우나 3Hz 이상에서는 수평진동에 대한 한계치가 높기 때문에 공해진동에서 문제가 되는 고주파 영역의 진동수 연직진동을 잘 감지함을 알 수 있다.

맺음말

국내 건축법규 및 규칙에서는 포괄적으로 진동에 대한 구조적 안전성을 확보해야한다고 문구를 제시하고 있으며, 국토교통부의 권한을 위함 받아 대한건축학회, 한국콘크리트학회 등에서 제시된 건물의 구조 설계기준에서는 바닥슬래브의 고유진동수 및 처짐 제한을 이용하여 건축물 바닥진동을 평가하도록 제시하고 있다. 이와 같은 기준에서 제시하고 있는 평가방법은 대부분 해외의 진동관련 지침서나 연구들을 바탕으로 한 방법을 인용하고 있으며, 최근 들어 부분적으로 국내의 건물 진동평가에 관한 연구가 수행되고 있으나, 아직은 공인기관에서 체계화하여 발표한 진동평가방법이 없는 실정이다. 따라서 향후 국내의 진동평가방법을 작성하기 위해서 국내의 건축물 특성과 거주자의 진동인지각 특성 등을 반영한 실험 및 해석을 바탕으로 진동평가곡선 또는 평가식을 구성하는 보완과정이 요구된다고 볼 수 있다. ❁