



03

해외의 진동관련 기준 소개 2 : 일본

Introduction of Japanese Standards for Structural Vibration



김 유 석 Kim, Yu Seok
주식회사 아키텍
대표이사
archimac@me.com



목 지 옥 Mauk, Ji Wook
서울시립대학교,
건축공학과 석사과정
ahrwldnr@uos.ac.kr

머리말

국내에서 최근 들어 건축물의 사용성 관련하여 강구조 한계상태 설계기준 등이 도입되어 활용되고 있으나 진동의 평가나 진동을 고려한 구조설계의 실무에서는 일본의 건축물 진동기준을 다수 고려하고 있다. 일본의 건축물 진동기준은 건축물의 진동에 관한 거주 성능 평가지침에서 진동인지곡선을 바탕으로 한 평가방법을 제시하고 있으며, 철근콘크리트 구조계산 기준 및 강구조 한계상태 설계기준에서 바닥판의 허용 진동수를 바탕으로 한 평가방법을 제시하고 있다. 본고에서는 바닥진동에 대하여 국내에서 적용빈도가 높은 일본의 기준을 소개하고 이에 대한 특징을 소개하여 구조실무자들에게 도움이 되고자 하였다.

일본의 건축물 진동관련 법령 체계

일본에서는 국내의 건축법과 유사한 기능을 하는 '건축기준법(최종 개정: 2014. 6. 27, 법률 제 92호)'을 제정하고 있으며 이는 건축법규의 근간을 이루어 구조내력상, 방화상, 위생상 등의 안전성 및 양호한 집단적 건축 환경의 확보를 위한 최저기준을 정하고 있다. '건축기준법'의 시행을 위하여 그 하위법령으로 '건축기준법 시행령' 및 '건축기준법 시행규칙'과 각종 건축기준을 정하는 고시를 구성하고 있다. 일본의 '건축기준법'에서 제시하고 있는 건축물 진동관련 조항들을 정리하면 다음과 같다.

- 제 2장 건축물의 부지, 건축과 건축시설: 건물의 자중, 적재하중, 적설하중, 풍토압과 수압 및 지진과 기타의 진동 및 충격에 대하여 안전한 구조를 확보

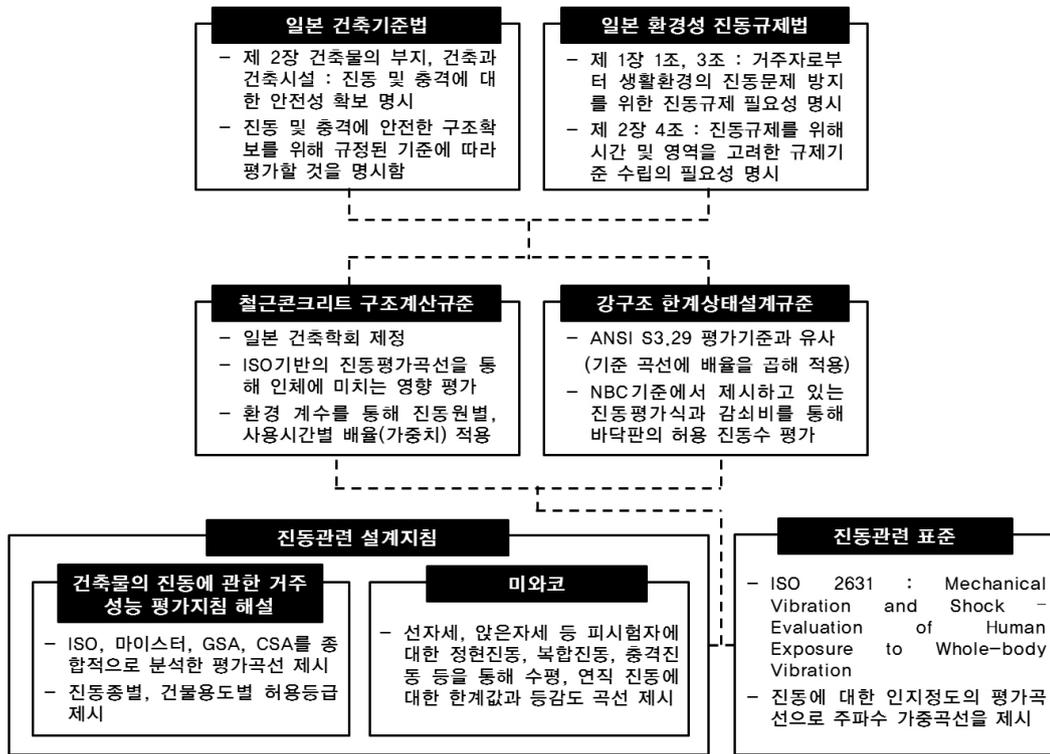


Fig. 1 일본의 건축물 진동관련 법령 체계

하기 위해 당해 각호에 규정된 기준을 충족하여야 한다. 규정된 기준이란 건축물의 안전에 필요한 건축방법에 관하여 정부에서 정하는 기술기준에 부합하는 대상을 의미한다.

또한 추가적으로 일본 환경성에서는 진동과 관련하여 진동관리법을 제정하고 있으며, 진동관리법의 1장 일반규정을 통해서 진동에 대한 조항을 다음과 같이 제시하고 있다.

- 제1장 일반규정 1조: 해당 관리법의 목적은 진동관련 문제로부터 생활환경을 보존하고 사람들의 건강을 보호하기 위한 진동규제에 있다.
- 제1장 일반규정 3조: 거주자로부터 생활환경의 진동문제를 방지하기 위해 거주 지역, 학교 지역, 병원 지역 등의 진동을 제한할 필요가 있다.
- 제2장 4조: 제1장 1조에 의해 진동규제지역을 할당

한 경우에는 환경성에 의해 지정된 시간 및 영역에 대한 규제기준을 수립할 필요가 있다.

Fig. 1에는 일본의 건축물 진동관련 법령 체계를 정리하여 도시하고 있다. 일본의 경우는 건축기준법 및 진동규제법 등의 최상위법을 통해 생활환경에 대한 진동평가의 필요성을 명시하고 있으며, 건축물 진동평가를 위한 상세한 방법은 각 구조설계기준에 위임하고 있다. 또한 일본 환경성의 진동규제법에서는 이를 구체화하기 위한 규제기준 수립의 필요성 또한 조항으로서 명시하고 있다.

건축물의 진동에 관한 거주성능 평가지침 및 동해설

일본에서는 건물의 진동에 대하여 해외의 여러 진동평가기준을 종합적으로 연구하여 1991년도에 자국

의 조건에 맞는 “건축물의 진동에 관한 거주 성능 평가 지침”을 제정하였으며, 일본건축학회 환경기준 2004년 개정판(AIJES-2004)에서 지침을 개정하였다.

상기 지침은 ISO2631-2, 마이스터 곡선, GSA, CSA 등의 기준을 종합적으로 비교분석하여 일본의 설계조건에 맞추어 진동평가곡선을 정한 것이며, 진동의 종별과 건물의 용도별로 허용진동의 등급을 V-075에서 V-30으로 나누고 있다. 평가기준의 경우 다른 여러 평가기준을 비교 참조한 것으로서 평가체계는 다르지만, ISO평가기준과 비슷한 허용한계값으로 정하고 있다.

일본의 경우에는 설계자나 건축주의 판단에 따라 목표성능을 설정하도록 하고 있다. 지침은 주거 환경에서의 성능을 유지한다는 관점에서 건축물의 바닥에 생기는 수직 진동을 평가하는 경우에 적용한다. 진동에 관한 거주성능 평가는 바닥 응답과형으로부터 구한 진동수, 진동 진폭, 감쇠비를 조합하는 것으로 시행한다. 또한 진동종별 및 건축물의 용도별로 단계의 성능평가를 하며 등급 II는 권장치로 사용되고, 등급 III은 제한치이다.

그러나 상기 지침은 주거환경으로써의 성능을 유지하는 관점에서 설비나 도로진동, 교통진동에 의해 건축물에서 발생하는 진동을 평가하여 일상적인 거주 성능 확보를 위한 평가기준(등급)을 정하고 있지만, 이는 바닥 진동 성능의 허용량이나 한도를 정한 것은 아니라고 명시하고 있다. 지침에서 제안하고 있는 평가 방법은 다음과 같다.

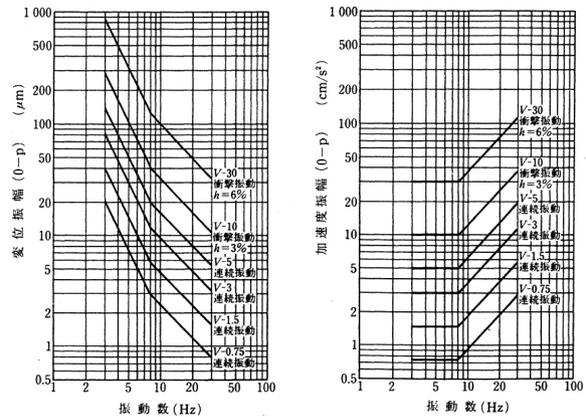


Fig. 2 바닥진동에 관한 성능평가 기준

- ① 진동 종별 1 : 연속 진동 및 간헐적으로 반복 발생되는 진동을 받은 바닥(V-5이하)
- ② 진동 종별 2 : 충격 진동을 받은 감쇠성이 낮은 바닥(감쇠 상수 $h=3\%$ 이하, V-10이하)
- ③ 진동 종별 3 : 충격 진동을 받은 감쇠성이 높은 바닥(감쇠 상수 $h=3\sim 6\%$ 정도, V-30이하)

Fig. 2는 진동 종별 적용하는 평가곡선을 나타내고 있으며, 진동 종별 및 건축물의 용도별 성능 평가 구분은 Table 1과 같이 제시한다. 거주, 사무소등의 건축물 바닥에 생기는 수직진동 (Floating slab, 이중상 등 구조적으로 일체가 되지 않은 것은 제외)을 고려하며, 바닥의 일반적인 고유진동수는 3~30Hz 범위를 대상으로 한다.

진동종별 등급		진동종별1			진동종별2	진동종별3	
		등급 I	등급 II	등급 III	등급 III	등급 III	
건축물의 실용도	주거	거실, 침실	V-0.75	V-1.5	V-3	V-5	V-10
	사무실	회의·응접실	V-1.5	V-3	V-5	V-10	V-30
		일반사무실	V-3	V-5	V-5정도	V-10정도	V-30정도

Table 1 진동 종별 및 건축물의 용도별 성능 평가 구분

* 등급은 단순히 거주 성능상의 단계를 나타내지만, 일반적 근거를 등급 II에 두고 있으며 기준 범위 수준이다. 등급은 거주 성능에서 기준 범위를 밀도는 것이 바람직한 수준이다.

철근콘크리트 구조계산규준 및 동해설

일본 건축학회의 철근콘크리트 구조계산 기준 및 동해설에서는 바닥의 진동평가에 ISO 2631-2, Annex A를 이용하고 있다. ISO2631-2, Annex A에는 기본 곡선에 대한 비율이 진동별, 주간 및 야간 별로 설정되어 있으나 철근콘크리트 구조계산 기준 및 동해설에서는 용도별로 일정 배율(환경 계수)이 규정되어 있다. 이는 ISO 2631-2를 기본으로 하되 이에 대한 보충연구를 통하여 환경계수 1,2,4,8을 설정한 평가방법이다. 환경계수는 일본의 연구진에 의하여 일본의 상황에 맞게 타당한 값으로 정한 것이지만 차후의 연구에 의하여 변경될 수 있음을 함께 기술하고 있다.

철근경량콘크리트조 슬래브에 대해서는 규준에서 정하고 있는 값 이상의 두께로 슬래브를 설계해야 하

고, 그렇지 아니한 경우는 진동 장애가 생기지 않는지를 확인하여야 한다고 정하고 있다. 해설부분에서는, 최근 슬래브의 강성부족으로 인한 처짐과 진동 장애가 다수 보고되고 있으며, 이러한 상황에서 이에 대한 실험연구 결과로부터 처짐과 진동 장애를 방지할 수 있는 슬래브두께의 제한치를 설정하여 기준의 조항으로 제정한 것이라고 기술하고 있다. 즉, 기준의 본문에서 정하고 있는 일정두께 이상의 슬래브가 아닌 경우에는 진동 장애를 확인하도록 정하고 있다.

Fig. 3에서는 해당 기준에서 제시하고 있는 바닥 진동에 관한 성능평가곡선을 나타내고 있다. 이는 ISO2631-2에 제시된 혼합곡선을 사용하며, RMS 가속도 곡선과 RMS 속도곡선을 하나의 그래프에 표시하고, 여기에 변위 곡선을 추가하였다. 기본곡선에 대한 배율을 진동의 종류, 진동시간대 등에 따라 설정하고 있으며, 고유진동수 계산은 판 진동식을 바탕으로 계산을 수행한다. 이 때, 바닥판의 중앙에 보 1개가 있는 경우에 대한 고유진동수 보정그래프를 함께 제시하고 있다.

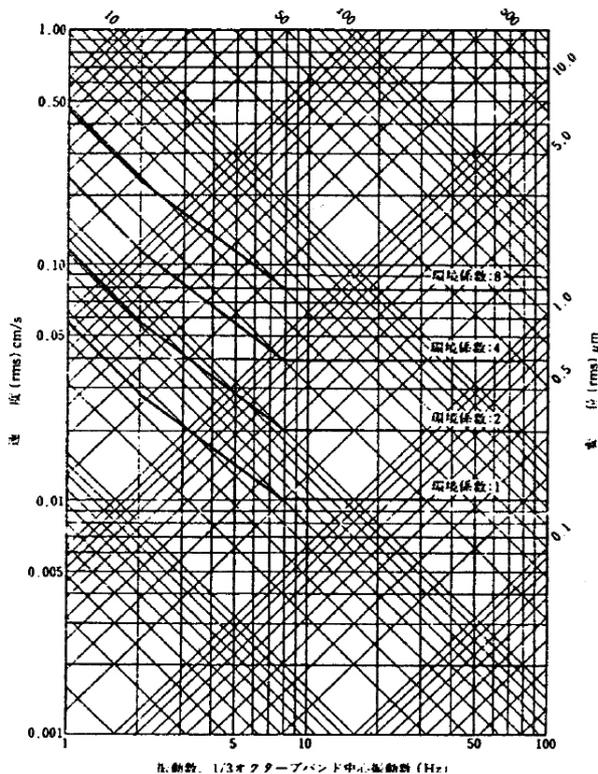


Fig. 3 주파수에 따른 불쾌감 유발 평가

강구조 한계상태설계규준 및 동해설

일본 건축학회의 강구조 한계상태 설계규준 및 동해설은 ANSI S3.29의 평가기준과 유사하며, 기준 곡선에 배율을 곱해 용도별, 연속 혹은 충격진동별 평가 곡선을 제시하는 방식 또한 ANSI S3.29와 같다.

해당 규준의 본문에서는 ‘보는 슬래브와 천장의 마감재를 포함하여 진동으로 인한 불쾌감이 생기지 않도록 강성, 고유진동수, 감쇠비를 검토한다.’라고 명시되어 있으며, 다른 기준과는 달리 마감재를 포함하여 검토하도록 지시하고 있다. 해설에서는 이와 더불어 진동평가방법을 제시하고 있는데 NBC기준에서 제시하고 있는 진동평가식과 함께 감쇠비를 기준으로

한 평가식을 만족해야한다고 설명하고 있다.

바닥을 지지하는 보의 고유진동수는 다음 식을 만족해야 한다.

$$f_0 > f \left(1 + \frac{1.3 \alpha W_t}{a_{max} W_t} \right)^{0.5}$$

여기서 기호표시는 NBC 고유진동수 계산식의 기호와 동일하게 f (Hz)는 가진 주기, f_0 (Hz)는 바닥구조의 고유진동수, w_t (psf)는 고정하중+실제 활하중, W_p (psf)는 실제 활하중, α 는 동적하중계수 그리고 g 는 중력가속도로서 386in/sec²을 의미한다. 또한 바닥구조의 감쇠비는 다음 식을 만족해야 한다.

$$\xi = 3.4 \frac{a_{peak}}{f_0} + 0.025$$

여기서, ξ 는 바닥구조의 감쇠비를, a_{peak} 는 초기 피크 가속도(g)를 의미한다.

맺음말

최근 건물의 대형화되고 리모델링됨에 따라 진동과 관련된 거주 성능의 평가에 대한 중요성이 대두되고 있으며, 건축 및 구조설계의 초기부터 이러한 사항을 반영하여 진동수준을 평가한 설계가 이루어져야 할 것이다. 이에 본고에서는 국내에서 진동관련 설계시 가장 일반적으로 적용되는 일본의 진동평가기준의 진동평가방법에 대해서 기술하였다. 일본의 진동관련 기준은 각 국의 진동평가 곡선을 참조하여 일본의 상황에 맞게 보정한 환경계수를 사용한 자체적인 진동평가곡선을 평가시에 활용하고 있다. 구조시스템별로는 철근콘크리트설계기준에는 설계시 규정에서 정하고 있는 값 이상의 슬래브 두께를 확보하도록 제시하고 있으며, 일정두께 이하의 슬래브에 대해서는 진동장해를 확인하도록 정하고 있다. 또한 강구조설계기준에서는 진동평가식과 감쇠비 기준을 통해 최소고유진동수를 평가토록 제시하고 있다.☞