



02

해외의 진동관련 기준 소개 1 : 미국 및 캐나다

Introduction of American and Canadian Standards for Structural Vibration



윤병익 Yoon, Byung Ick
주식회사 아이맥
대표이사
biyoon@aimac.co.kr



홍석재 Hong, Suk Jae
서울시립대학교,
건축공학과 석사과정
ghd_jh@naver.com

머리말

건축물이 대형화되고 인구밀집도가 높아짐에 따라 건축물과 관련된 부수적인 환경진동문제가 발생되어 질 것이 예상되며, 진동문제는 간헐적이지만 진동의 영향을 받는 사람들이 심리적 불쾌감과 생리적인 영향까지 받게 된다는 측면에서 중요하게 다루어져야 한다. 선진 국가들에서는 이와 같은 진동문제를 해결하기 위해서 인체 및 구조물에 대한 진동기준을 제시하고 있다. 본 고에서는 주요 선진국인 미국 및 캐나다의 진동관련 기준에 대해 다루고자 한다.

캐나다의 진동기준 : CSA S16

캐나다의 진동관련 지침인 CSA S16에서는 건축물 내 진동평가를 8m를 초과하는 스패에서 고유진동수가 10Hz 이하인 바닥을 대상으로 하고 있으며, 부록에서는 보행(Heel drop)에 의한 충격진동과 연속진동에 의한 주거시설, 학교, 사무소에서 불쾌감을 유발하는 바닥진동의 허용한계를 평가하고 있다. 발생 가능한 진동원에 대한 평가는 진동평가곡선을 기준으로 하며, Allen & Murray가 수행한 42개 장경간 바닥구조에 대한 충격시험에 기초하여 Fig. 1과 같이 연속진동과 충격진동에 대해서 제시되고 있다.

해당 실험에서는 총중량 760kN의 사람이 발을 들어 발뒤꿈치가 바닥으로부터 약 64mm 떨어진 상태에서 급격히 발을 떨어트리면서 이때의 바닥진동을

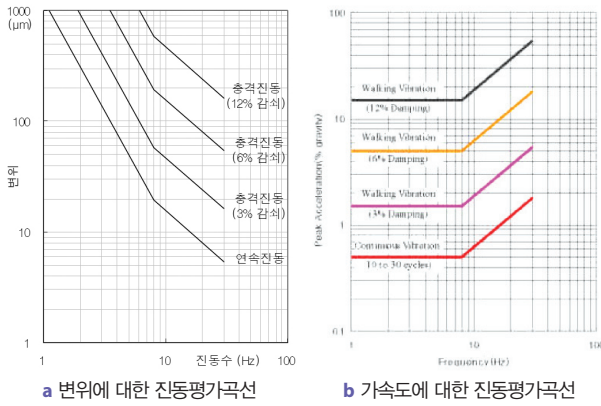


Fig. 1 캐나다 CSA S16의 진동평가곡선

계측하여 바닥의 1차 고유 진동수, 감쇠비, 초기 최대 가속도 등을 구하였다.

충격진동에 관한 평가곡선은 3%, 6%, 12%에 해당하는 감쇠율을 지닌 충격진동으로 구분되며, 그 허용한계는 연속진동의 3배, 10배, 30배로 완화되는 양상을 보이고 있다. 또한 평가척도로서는 가속도의 최대값을 적용하고 있으며 진동수가 1Hz에서 30Hz인 진동 범주에 대한 기준만을 제시하고 있다. 이처럼 CSA S16의 진동평가곡선은 구조물의 감쇠율이 증가함에 따라 그 허용한계가 완화되는 양상을 보이고 있고 최댓값을 평가척도로서 활용한다는 점에서, CSA S16의 진동관련 기준은 일시적 응답(Transient response)에 대한 제한에 비중을 두고 있다는 사실을 알 수 있다.

미국의 진동기준 : ANSI S3.29

ANSI S3.29 Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings는 American National Standards Institute Designation에서 1983년 제시되었으며, ISO 2631-2를 기반으로 하여 전반적으로 구성이 매우 유사하며, 진동평가곡선을 통해 인체에 미치는 건축물 진동의 영향을 평가하고 있다. ISO 2631-2와 마찬가지로, ANSI S3.29는 진

동수가 1Hz에서 80Hz 범주에 속하는 건축물 진동에 대해 그 응답을 제한하고 있으며 RMS값(Root Mean Square Values)을 평가척도로 활용하도록 권고한다. 뿐만 아니라, ANSI S3.29의 진동평가곡선은 ISO 2631-2의 진동평가곡선과 마찬가지로 진동에 민감한 사람의 지각 한정값과 상응하도록 제시되어 있다 (Fig. 2).

특정적으로 ISO2631-2에서는 가속도곡선과 속도곡선을 따로 표기하고 있으나, ANSI S3.29에서는 이를 하나의 그래프에 동시에 표시하고 있으며, ISO2631-2에서 기본곡선에 대한 할증계수를 혼합곡선에 대한 것만 제시하고 있는 것과 비교하여 ANSI

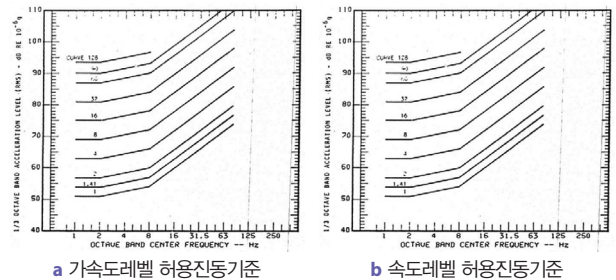


Fig. 2 미국 ANSI S3.29의 진동평가곡선

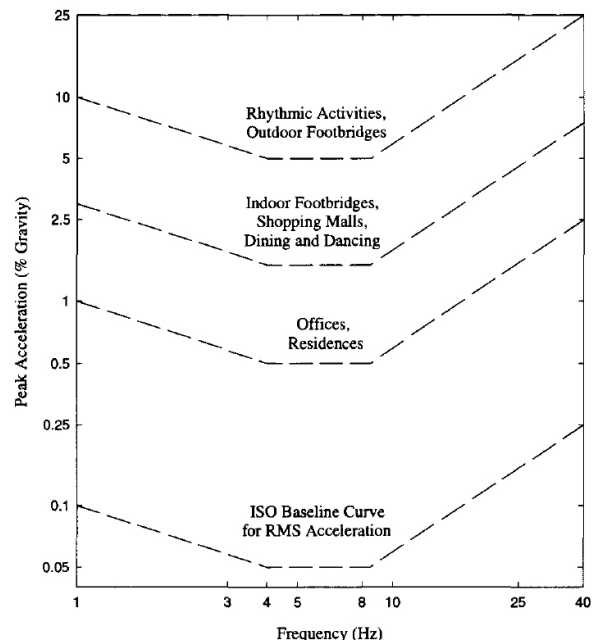


Fig. 3 AISC #11의 진동평가곡선

S3.29에서는 Z축 곡선, X, Y축 곡선, 혼합곡선에 대하여 모두 할증계수를 제시하고 있다.

ANSI S3.29의 건축물 진동관련 기준은 ISO 2631-2의 내용을 차용하는 수준에 그쳐 미국 건설시장 내 특성을 반영하지 못하는 한계가 내재되어 있었다. 또한 건축물 진동과 관련하여 미국 연구개발시장에서 다양한 연구 실적이 축적됨에 따라 이를 반영·통합한 기준 정립의 필요성이 대두되었고, AISC와 CISC의 협력하에 AISC #11이 발간되었다.

미국과 캐나다의 통합형 진동기준 : AISC Steel Design Guide 11 (AISC #11)

AISC #11(1997)에서는 사람의 보행(walking, rhythmic activities), 기계설비(Equipments) 등을 건축물에서 발생하는 진동의 주요인으로 분류한다. 그리고 각각의 경우에 상응하는 가속도 최댓값 산정식과 진동수 평가식 등을 통해 진동에 대한 건축물의 사용성을 평가하는 방법을 제시하고 있다.

AISC #11의 진동평가곡선은 Fig.3에 제시된 바와 같이 RMS값을 평가척도로 하는 ISO 2631-2의 진

동평가곡선을 기반으로 재구성되었다. 즉, 그림에 도시된 바와 같이, 거주/사무실 등의 용도에 따라 ISO 2631-2의 진동평가곡선의 10배, 30배, 100배에 해당하는 최댓값의 허용한계치를 지니도록 진동평가곡선을 정의하였다. AISC #11에서는 이 곡선은 진동의 지속 시간이나 진동수 성분에 따라 설계 목적으로 0.8에서 1.5에 해당하는 배율을 적용하는 것을 허용하고 있다.

AISC #11에서 제시하는 계산에 의한 구조물의 진동 사용성 평가방법은 Fig. 3에서 제시된 허용한계치와 계산된 구조물의 가속도 최대응답을 비교하여 그 응답이 한계치보다 하회함을 확인하는 것이다. Table 1에는 보행과 리듬운동에 대한 가속도 최대응답 산정 방법이 각각 제시되어 있다. 제시된 바와 같이 보행에 대한 최대응답과 리듬운동에 대한 최대응답은 구조물의 고유진동수를 산정하는 것을 기반으로 한다.

또한 Table 2와 같은 동적계수(dynamic coefficient)를 활용하여 공진현상을 반영하도록 제시하고 있는데, 보행의 최대응답 단순식의 경우 이와 같은 부분이 추세식을 통해 반영되어 있다. 또한 Table 1에 제시된 가속도 산정 및 한계치와 비교를 통한 방법 외에도 공명현상 발생을 제어하기 위하여 구조물의 고유진동수가 가력진동수와 비교하여 더 높도록 Table 3과 같이 제

구분	보행에 대한 최대응답	리듬운동에 대한 최대응답
상세식	$\frac{a}{g} = \frac{R\alpha_i P_o}{\beta W} \cos(2\pi i f_{step} t)$ <p> a/g: 가속도 시간이력과 중력하중의 비 R: 감소계수 β: 동적 감쇄 계수 W: 건축물의 유효중량 f_{step}: 보행하중의 진동수 </p>	$\frac{a_p}{g} = \sqrt{\frac{1.3\alpha_i w_p}{\left[\left(\frac{f_n}{f}\right)^2 - 1\right]^2 + \left[\frac{2\beta f_n}{f}\right]^2}}$ <p> a_p/g: 가속도 시간이력과 중력하중의 비 α_i: 동적 계수 w_p: 바닥슬래브 상 보행자의 단위면적당 유효중량 w_t: 바닥슬래브 상 보행자 및 거주자의 단위면적당 유효중량 f: 가력 진동수($= i \cdot f_{step}$) </p>
단순식	$\frac{a_p}{g} = \frac{P_o e^{-0.35f_n}}{\beta W}$ <p> a_p/g: 예상 최대 가속도, g f_n: 건축물의 고유주기 P_o: 일정하중(바닥: 0.29kN, 인도교: 0.41kN) </p>	<p> $f_n = f_n$인 경우 $\frac{a_p}{g} = \frac{1.3\alpha_i w_p}{2\beta w_t}$ 공명이상의 진동수($f_n > 1.2f$) $\frac{a_p}{g} = \frac{1.3}{(f_n/f) - 1} \frac{\alpha_i w_p}{w_t}$ </p>

Table. 1 AISC #11의 활동유형별 가속도 최대응답 산정식

모드 차수	보행 (Walking)		에어로빅 (Aerobics)		군무(Group dancing)	
	f, Hz	α_i	f, Hz	α_i	f, Hz	α_i
1	1.6-2.2	0.5	2-2.75	1.5	1.5-3	0.5
2	3.2-4.4	0.2	4-5.5	0.6	-	-
3	4.8-6.6	0.1	6-8.25	0.1	-	-
4	6.4-8.8	0.05	-	-	-	-

Table. 2 최대응답 산정을 위한 동적 계수

구분	내용
진동수 제한	$f_n \geq f \sqrt{1 + \frac{k}{a_0/g} \frac{\alpha_i W_p}{W_t}}$ k : 상수(1.3 : 군무, 1.7 : 콘서트 또는 스포츠 이벤트, 2.0 : 에어로빅), a_0/g : 가속도 한계값(0.05 이하)

Table. 3 리듬운동에 대한 구조물의 고유진동수 제한식

한하고 있다.

Table 1부터 Table 3까지 제시된 각 산정식들은 구조물의 고유진동수 산정을 기반으로 제시되어 있다. AISC #11에서는 미국과 캐나다 내에서 주로 적용되는 골조시스템 등의 고유진동수 약산식을 제안할 뿐만 아니라, 실무에서 빈번히 마주하는 조건들을 해결하기 위한 방법에 대해 간략히 소개하고 있다.

한편, AISC #11에서는 진동에 대한 구조물의 사용성 평가 방법뿐만 아니라 이를 제어하는 방법 역시 소개되어 있다. AISC #11은 진동제어 방안으로 진동을 측정하여 조치하거나, 직접적인 실험, 수식적인 계산에 의한 방법을 상황에 따라 병용하기를 권고하고 있다. 또한 진동을 평가하고 조치하기 위한 방법으로 수동형 제어Passive control 및 능동형 제어Active control 방안의 실적용 사례 역시 제시되고 있다.

맺음말

본고에서는 선진국인 미국과 캐나다의 진동평가기준과 해당 국가의 특징을 고려하여 제시된 통합형 진동기준을 소개하고 이에 대한 특징을 기술하였다. 미국과 캐나다의 진동관련 기준과 해설에서는 진동의 평가에 있어 ISO의 진동인지곡선을 바탕으로 한 진동평가 곡선을 활용하고 있으며, 이와 같은 방법을 통해 바닥구조의 진동에 대한 인간의 인지수준이 바닥구조의 고유진동수와 진동응답에 따라 다르게 나타날 수 있음을 반영하고 있다. 또한 각 기준에서 제시하고 있는 조항은 기술적 배경이나, 정보 또는 엔지니어의 판단에 따라 응용하여 적용할 수 있도록 해설을 통해서 뒷받침되고 있다. 이를 통하여 본고에서는 건축물의 사용성 관련하여 발생할 수 있는 진동문제에 대해서 선진국이 정하고 있는 평가 및 대처 방안에 대한 이해를 돕고자 하였다. ❏