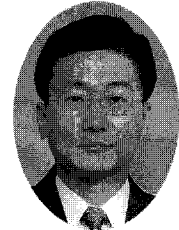


장스팬 철골조건물의 수직진동 기준의 현황

- State of the Arts of Vertical Vibration Standards of Long-spanned Steel-framed Buildings -



윤 성 원*
Yoon, Sung-Won

1. 서 론

넓은 오픈스페이스를 확보하기 위하여 장스팬구조나 무주공간구조를 사용하는 경우가 있다. 이 경우에 보행자의 보행 등으로 인한 바닥슬래브의 수직진동으로 인한 사용성문제가 발생하고 있다. 그러나 국내에는 진동원에 따른 적절한 기준이 아직 마련되어 있지 않은 실정이다.

특히 이러한 바닥진동은 철근콘크리트조 건물보다는 철골조건물에서 자주 진동 문제가 발생하고 있다. 철골조 건물에서 발생하는 진동으로는 보행자나 기계에 의하여 건물의 바닥슬래브에서 유발되는 수직진동으로 인하여 건물 내부에 거주자에게 불쾌감을 유발하거나, 건물 내에서의 여러 가지 작업성을 저해하고, 설비기계류의 성능을 저해하기도 한다.

건물의 사용성 진동성능에 관련한 국내기준으로는 최근에 들어서 “강구조 한계상태설계기준”에서 처음으로 도입되기 시작하였고, 건물에 작용하는 진동의 평가나 진동을 고려한 구조설계지침에 해당하는 세부사항은 기준의 해설부분에서 CEN 기준과 Allen & Murray의 연구보고서를 인용하여 제시하고 있다.

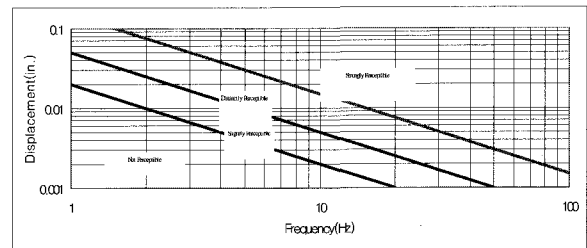
따라서 여기서는 철골조건물의 바닥진동에 대한 수직진동의 국외기준을 소개하고 각 기준의 특징을

분석하여 구조실무자들에게 도움이 되었으면 한다.

2. 해외기준 현황

2.1 수정 Meister

5%이하의 감쇠율을 갖는 바닥슬래브에서의 단일 보행에 의한 진동의 평가이다.



〈그림 1〉 수정마이스터 감각곡선

Lenzen(1966)은 데크플레이트 합성바닥슬래브에 있어서의 heel drop impact 진동실험 결과를 마이스터 곡선과 비교했다. 이 결과를 기초로 마이스터 곡선을 약 10배하여 5% 이하의 감쇠율을 갖는 바닥슬래브에 있어서 단일 보행에 의한 진동의 평가와 대응하도록 개량하였으며, 이 개량곡선은 다른 연구자에 의해서도 적용성이 실증되었다.

* 서울산업대 건축설계학과 조교수

2.2 GSA

진동수, 진폭, 감쇠율에 따른 인지등급 함수를 제시하고 있다. 기준은 Wiss & Parmelee의 연구에 근거하는데 이들은 일시적인 바닥 슬래브 진동의 인간의 인지를 결정하는 실험적 연구를 수행해 왔다 (1974). 진동수, 진폭과 감쇠율은 일반적인 바닥 슬래브에서 발견되는 범위로 변화되었고, 다음의 인간 반응 함수가 진동의 주관적인 등급의 통계적인 해석으로부터 개발되었다.

$$R = 5.08 [A_0 / D^{0.217}]^{0.265}$$

f = 진동수 (Hz)

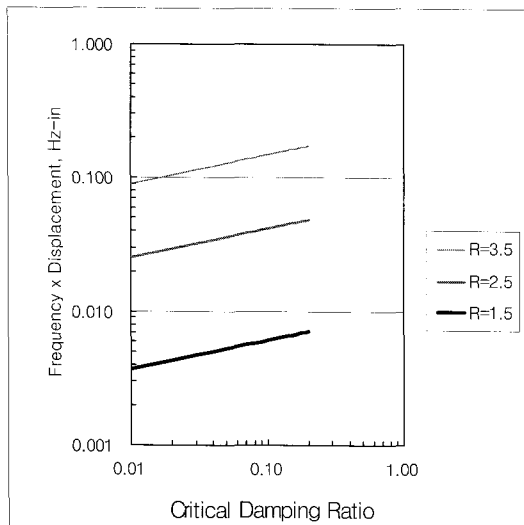
A_0 = 최대진폭 (in)

D = 감쇠율

여기에서 R = 평균 반응 등급

- $R=1$: 인지할 수 없는 진동
- $R=2$: 겨우 인지할 수 있는 진동
- $R=3$: 현저히 인지할 수 있는 진동
- $R=4$: 강하게 인지할 수 있는 진동
- $R=5$: 심각한 진동

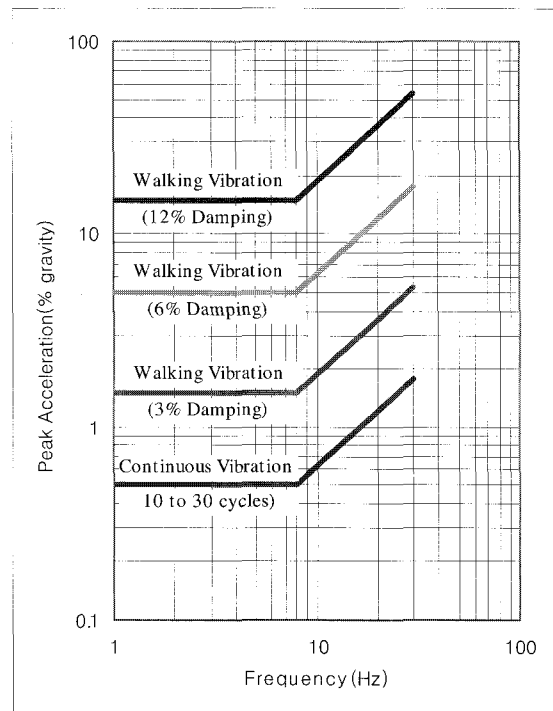
GSA/PBS 기준은 Wiss-Parmelee의 평균반응등급을 그래프 형태로 나타내고 허용치를 $R=2.5$ 로 정했다.



〈그림 2〉 GSA 감각곡선

2.3 CSA

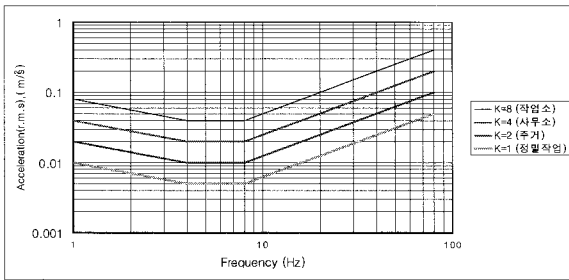
8m를 넘는 스패스로 고유진동수가 10Hz이하의 바닥슬래브에 적용된다. Canadian Standard Association CSA S16의 부록G에 실려있으며 이는 보행에 의한 주거, 학교, 사무소에서의 바닥슬래브진동의 불쾌감을 느끼는 한계를 정량화 했다. 보행실험 데이터는 연속진동 데이터의 불쾌감을 느끼는 한계와 비교되었고, heel-drop 데이터는 나머지 한계치와 비교되었다. 연속진동 평가곡선을 기준으로 하여, 이것을 3배, 10배, 30배한 것을 감쇠율 3%, 6%, 12%의 바닥 슬래브 충격진동 평가곡선으로 하고 있다.



〈그림 4〉 CSA 감각곡선

2.4 ISO 2631-2

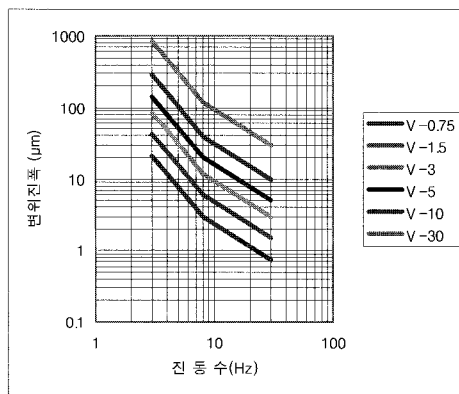
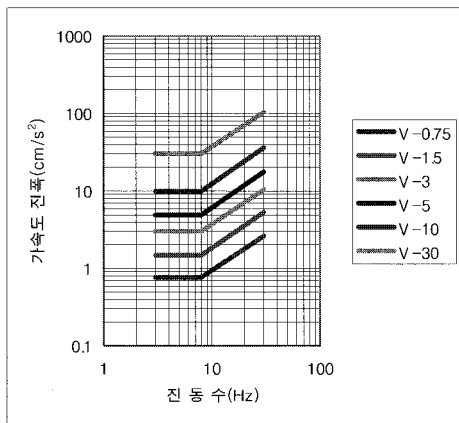
건축물에 발생하는 연속적 또는 단속적인 진동으로서 Annex A,B에서는 과도진동에 있어서도 다루고 있다. 대상 진동수범위는 1~80Hz이며, 불쾌감 레벨과 허용 한계를 제시하지는 않고, 인체감각 곡선을 설정하고 있다. 다만 Annex A에서 불쾌감이 느껴지기 시작하는 레벨에 대하여 Guidance가 제안되어 있다.



〈그림 4〉 ISO 감각곡선

2.5 일본 건축물의 진동에 관한 거주성능 평가치

주거나 사무환경의 성능을 유지하는 관점에서, 건축물의 바닥슬래브에 발생하는 수직진동을 평가하는 경우에 적용한다. 대상 건축물의 바닥슬래브 용도는 주거, 사무소 및 이와 유사한 바닥슬래브로 한다. 바닥슬래브의 수직방향의 고유진동수는 통상의 경우 3~30Hz 정도의 진동수 범위에 있고, 3Hz 이하, 30Hz 이상의 진동수를 대상으로 하는 것은 실질적이지 않다. 따라서 대상 진동수 범위는 3~30Hz로 한다.



〈그림 5〉 일본기준의 감각곡선

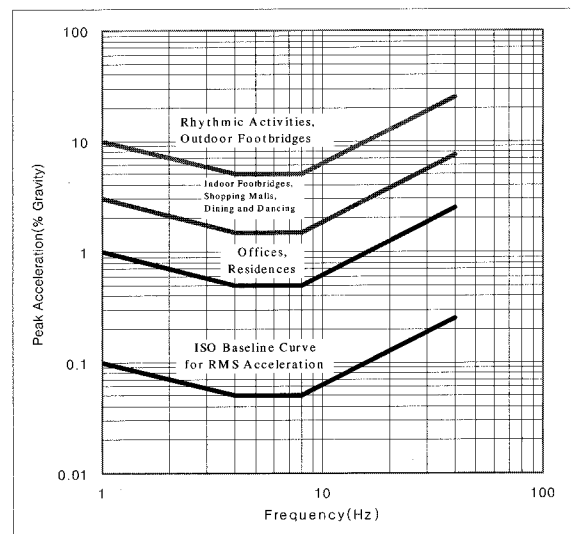
〈표 1〉 진동종별 및 건축물의 용도별 성능평가 구분

진동종별 등급	건축물 실용도	진동종별1			진동 종별2	진동 종별3
		등급I	등급II	등급III	등급III	등급III
주거	거실 침실	V-0.75	V-1.5	V-3	V-5	V-10
	회의·응접실	V-1.5	V-3	V-5	V-10	V-30
사무소	일반사무실	V-3	V-5	V-5정도	V-10정도	V-30정도

[주] 등급은 단순히 거주성능상의 단계를 나타내지만, 일반적으로 등급II에 두고 있다. 또한 등급I은 거주 성능상 그 범위를 하회하는 것이 바람직한 레벨, 등급III은 마찬가지로 이 범위를 하회하지 않도록 해야하는 레벨이다.

2.6 AISC Design Guide series 11

ISO에 의해 추천된 가속도 한계(ISO 2631-2, 1989)는 사용용도에 따라 규정되었다. ISO규정은 그림 2.1.17에 나타난 것과 같이 기본곡선의 곱으로서 rms가속도향으로 표현된 한계를 제시한다. 제안된 기준의 multiplier는 peak acceleration으로 표시되는데, 오피스는 10, 쇼핑몰과 실내 footbridge는 30, 실외 footbridge는 100이다. 설계목적으로, 이 한계는 진동의 지속성과 진동의 진동수에 따라 0.8에서 1.5배 사이의 추천값을 가질 수 있도록 가정된다.



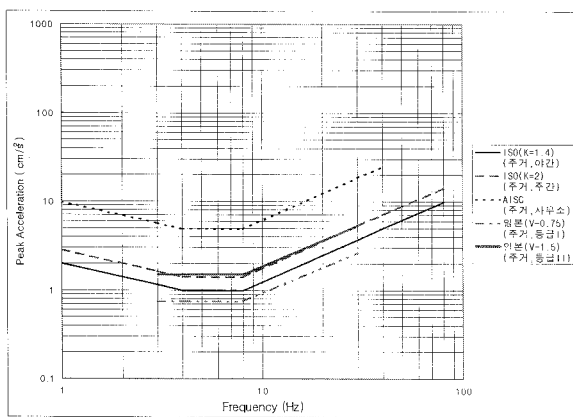
〈그림 6〉 AISC Design Guide Series 11의 감각곡선

3. 해외기준의 비교분석

보행진동에 대해서 주거와 사무소 용도에 대해 비교하였다.

3.1 주거

국외의 여러 기준들 중에서 주거의 감각곡선을 제시하고 있는 ISO기준, AISC, 일본기준을 서로 비교하며 그 결과는 <그림 7>과 같다.



<그림 7> 국외 감각곡선간의 비교(주거)

결과로서, 일본 주거·등급I(V-1.5)의 경우가 가장 엄격하며 그 다음으로 ISO의 주거·야간(K=1.4)이 위치하고, 그 위에 ISO 주거·주간(K=2)와 일본 주거·등급II(V-3)이 거의 일치하여 나타난다. 또, AISC의 경우 주거, 사무소의 구분이 없이 동일한 감각곡선을 제시하고 있어 허용치가 상당히 크게 차이

<표 2> 각 국외기준의 최대가속도(주거)

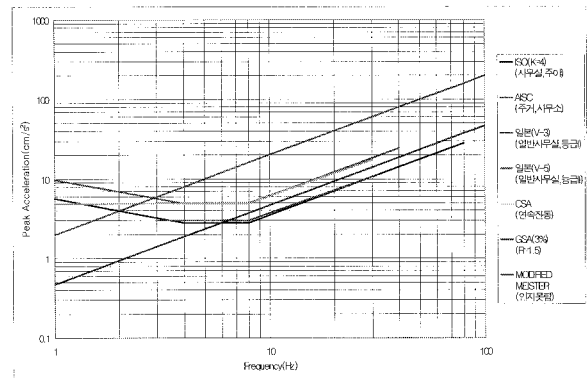
진동수 (Hz)	최대 가속도 (cm/s ²)				
	ISO(K=1.4) (주거,야간)	ISO(K=2) (주거,주간)	AISC (주거,사무소)	일본(V-0.75) (주거,등급I)	일본(V-1.5) (주거,등급II)
1	1.980	2.828	9.800		
3	1.143	1.633	5.658	0.750	1.500
4	0.990	1.414	4.900	0.750	1.500
8	0.990	1.414	4.900	0.750	1.500
30	3.712	5.303	18.375	2.665	5.330
40	4.950	7.071	24.500		
80	9.899	14.142			

가 남을 알 수 있다.

<표 2>에서 나타난 바와 같이 주거용 감각곡선은 8Hz에서 약 0.75~4.9 cm/s² 에 분포하며 이중에서 주거와 사무소의 구분이 없는 AISC를 제외하면 0.75~1.5 cm/s² 사이에 분포함을 알 수 있다.

3.2 사무소

대부분의 국외의 기준들이 사무소 용도의 감각곡선을 제시하고 있어 이를 비교해 보면 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 국외 감각곡선간의 비교(사무소)

결과로서 ISO 사무실·주야(K=4)가 가장 엄격하며, 거의 중첩되어 일본 일반사무실·등급I(V-3)이 뒤를 잇고 있다. GSA3%(R=1.5)가 이보다 약간 위에 위치하며 CSA(연속진동), 일본 일반사무실·등급 II(V-5), AISC 주거·사무소가 거의 일치하는 값을

〈표 3〉 각 국외기준들의 최대가속도(사무소)

진동수 (Hz)	Peak Acceleration (cm/s ²)						
	ISO(K=4) (사무실,주야)	AISC (주거,사무소)	일본(V-3) (일반사무실,등급I)	일본(V-5) (일반사무실,등급II)	CSA (연속진동)	GSA(3%) (R=1.5)	MODIFIED MEISTER (인지못함)
1	5.657	9.800			4.900	0.469	2.006
3	3.266	5.658	3.000	5.000	4.900	1.408	6.017
4	2.828	4.900	3.000	5.000	4.900	1.878	8.022
8	2.828	4.900	3.000	5.000	4.900	3.756	16.044
30	10.607	18.375	10.659	17.765	17.410	14.083	60.165
40	14.142	24.500				18.778	80.220
80	28.284					37.556	160.440
100						46.945	200.550

나타낸다. 가장 엄격하지 않는 기준은 수정마이스터 곡선(인지하지 못함)으로 다른 기준들의 값과 큰 차이를 보이고 있다.

〈표 3〉에서 나타난 바와 같이 사무소용 감각곡선은 8Hz에서 약 2.83~16.04 cm/s² 에 분포하며 이중 다른 기준과 큰 차이를 보이는 수정마이스터 곡선을 제외하면 2.83~5.0 cm/s² 사이에 분포함을 알 수 있다.

4. 결 론

국외 기준의 감각곡선은 크게 진동종별, 용도별로 구분하여 감각곡선을 제시하고 있다. 진동종별로는 보행 등의 연속진동인지 간헐적인 충격진동인지로 구분한다. 보행에 의한 진동은 주로 연속진동이고 이 연속진동이 바닥구조의 고유진동수와와의 공진 여부가 중요하다. 따라서 바닥슬래브의 수직진동 평가 시에는 진동원과 구조물의 상황을 고려하여 적합한 기준을 사용함이 바람직하다.

참고문헌

1. 日本建築學會 : 建築物の振動に關する居住性能評價指針・同解説, 제1판, 1991.4

2. European Convention for Construction Steel Work : 1987 Recommendation for the Calculation of Wind Effects on Buildings and Structures, Technical Commentary, T12

3. ISO6897 : 1984 Guidelines for the evaluation of the response of occupants of fixed Structure, especially buildings and off-shore structures, to low frequency horizontal motion (0.063-1Hz)

4. ISO10137 : Bases for Design of Structures-Serviceability of Buildings against Vibration, 1992.

5. ISO2631-1 : Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to whole-body Vibration-Part1 : General Requirements, 1997.

6. 日本建築學會, 建築物荷重指針同解説, 技報堂, p.p. 281~283. 1992.3

7. 日本建築學會, 建築物の振動に關する居住性能評價指針同解説, pp. 281~283.,1991