



바닥구조 보행감 문제 및 평가방법

이 병 권*

(대림산업(주) 기술개발원 스마트/에코팀)

1. 머리말

우리나라의 공동주택에서 바닥충격음을 저감하기 위한 기술 개발은 바닥충격음 완충재의 개발 뿐만 아니라, 슬래브의 두께 및 건축 구조 형식의 변경을 통한 소음 저감방법을 모색하는 등 다양한 방면으로 연구 개발이 진행되고 있다. 이러한 기술 개발을 통해 최근에는 다양한 종류의 바닥충격음 완충재뿐만 아니라, 다양한 건축 구조 형태의 공동주택이 공급되고 있다. 특히, 바닥충격음 완충재의 경우 주택성능등급표시제도에 따른 바닥충격음 완충성능이 경량충격음 1급, 중량충격음 1급이 되는 완충재도 많이 개발이 되고 있다. 이러한 고성능의 바닥충격음 차단 성능을 얻고, 가격 경쟁력을 확보하기 위하여 대부분의 고성능의 바닥충격음 완충재의 경우 일반적으로 밀도 및 동탄성 계수가 낮은 제품들이 생산되고 있다. 물론 기본적인 물성에 대한 기준은 국토해양부 고시를 통해 제한 받고 있으나, 이 기준에는 밀도에 대한 규정 및 동탄성 계수의 하한치에 대한 기준은 마련되어 있지 않다.

이러한 낮은 밀도와 동탄성 계수를 갖는 바닥충격음 완충재를 사용할 경우 바닥충격음 완충 성능은 우수하나, 크게 두 가지의 문제점이 발생할 가능성을 내포하게 된다. 첫째는 완충재 설치 후 완충재 상부 온돌층의 균열과 완충재의 침하 등으로 인한 구조적인 안정성과 이로 인한 바닥

충격음 성능 저하에 대한 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제에 대해 대처하기 위해 최근 뜬바닥용 바닥충격음 완충재 잔류변형 측정에 대한 방법 및 이를 평가하기 위한 규격이 논의되고 있는 상황이다. 둘째는 온돌층 상부에서 맨발 보행시 보행자가 느끼는 감각적인 진동 문제가 발생할 수 있다. 즉, 보행감에 있어서 기존의 밀도와 동탄성계수가 상대적으로 높은 단열재에 비하여 보행시, 감각적으로 단단하지 않은 느낌, 혹은 출렁거리는 느낌 등을 줄 수 있는 가능성이 있다. 그러나, 우리나라와 같은 온돌구조에서 특히, 맨발 보행에 대한 보행감에 대한 연구는 미미한 것이 현실이다. 또한, 기존의 슬래브의 진동평가 방법의 경우 온돌구조가 아닌, 슬래브 자체의 사용성 평가이거나, 맨발 보행에 대한 감각이 아닌 경우가 대부분이다. 여기에서는 이러한 우리나라의 특수한 구조인 온돌구조에서 맨발보행에 대한 보행감 특히, 보행할 때의 충격에 의한 소리방사와 발끝에서의 진동에 대한 감각 중 후자에 대해 당사에서 고민하고 이를 평가하기 위한 방법을 제안한 과정에 대하여 소개하고자 한다.

2. 국내외 진동 평가 방법

2.1 국내 진동 평가 방법

국내에서 바닥슬래브의 진동에 대한 설계 지침 및 평가 방법은 해외의 CEN EC 3/1이나 CAN3

* E-mail : LBK@daelim.co.kr / Tel : (02) 6016-6772

S16.1의 내용을 인용하여 정리한 강구조 한계상태 설계기준과 철골철근콘크리트 구조계산 기준이 있다. 또한 냉간성형강 구조설계 기준 및 합성데크 바닥구조 설계기준에도 진동평가 기법이 기술되어 있으나, 단순한 바닥구조의 최소 고유진동수만을 규정하고 있어, 실질적인 보행감 평가로는 미흡한 것이 현실이다.

이 밖에도 KS B0712, KS B0726등 ISO를 번역한 측정에 대한 규격도 있다. 그러나, 이 또한 진

동 데이터의 측정 및 이에 대한 보고 방법에 대한 것을 기술한 것이다.

2.2 국외 진동 평가 방법

국외의 진동 평가 방법은 표 1, 2와 같이 다양한 기준이 있다. 이를 크게 나누어 보면, 진동평가곡선으로 이루어진 기준과, 진동평가식으로 평가하는 방법 및 진동 허용한계값을 이용한 방법으로 나눌 수 있다.

표 1 국외 진동 평가 방법

	진동평가 방법	발표기관
1	수정 Reiher-Meister곡선	Lenzen
2	ISO 2631-1(1997), ISO 2631-2(2002)	ISO
3	ISO 2631-1(1985), ISO 2631-2(1989)	ISO
4	BS 6472(1992)	BS
5	DIN 4150 Part2	DIN
6	ANSI S3.29	ANSI
7	CAN3-S16.1-M89	CSA
8	건축물의 진동에 관한 거주성능 평가지표	AIJ
9	철근콘크리트 구조계산 기준 · 동해설	AIJ
10	LRFD	ASCE
11	NBC	NRCC
12	PCI Handbook	PCI
13	Wiss & Parmlee	ASCE
14	Allen & Murray's "보행진동에 대한 설계"	AISC
15	AISC Steel Design Guide Series 11	AISC
16	ATC Design Guide 1	ATC
17	강구조 한계상태설계기준 · 동해설	AIJ

표 2 국외 진동 평가 방법 비교

	진동평가 방법	기준 하중원	응답유형
1	수정 Reiher-Meister곡선	Steady-state vibration	피크값
2	ISO 2631-2(1989)	건물에서 발생한 연속/충격진동	RMS값
3	DIN 4150 Part2	건물에서 발생한 연속/충격진동	RMS값
4	CAN3-S16.1-M89	보행에 의한 연속/충격진동	피크값
5	일본건축학회(AIJ)	건물에서 발생한 연속/충격진동	피크값
6	LRFD	Heel drop excitation	피크값
7	Wiss & Parmlee	Transient vibration	피크값
8	AISC Steel Design Guide Series 11	보행에 의한 연속/충격진동	피크값

그러나 대부분의 방법은 건물에서 발생한 연속 혹은 충격진동에 관한 것으로 보행에 의한 충격보다는 큰 진동 영역인 경우가 많다. 또한, 보행에 의한 충격력을 평가하는 방법의 경우 대부분 진동에 대한 응답 유형을 피크값으로 제안하고 있다.

3. 바닥충격음 완충재 종류별 진동평가

3.1 피크값에 의한 물리적 평가

보행감의 물리적인 평가를 위해서 일정한 충격을 흔들침위에서 가진하여 진동을 픽업하였으며 이를 각 바닥충격음 완충재 종류별로 진동 평가를 하였다. 바닥충격음 완충재의 종류는 다음 표와 같이 일반적으로 사용되는 표준바닥구조용 완충재로서 밀도와 동탄성계수가 상대적으로 높은 군에 속하는 완충재를 2종류를 선택하였으며, 단열성능에 대한 기준을 만족하기 위하여 1층세대에 주로 시공하는 반건식 압출성형단열재, 습식형 인장바닥구조 1종 및 밀도와 동탄성계수가 상대적으로 가장 작은 반건식 인장바닥구조 1종에 대해서 평가를 진행하였다. 또한, 시공이 완료

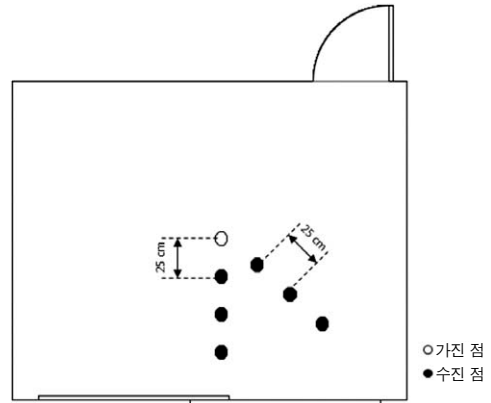


그림 1 물리적 평가시 사용된 가진 및 수진 점

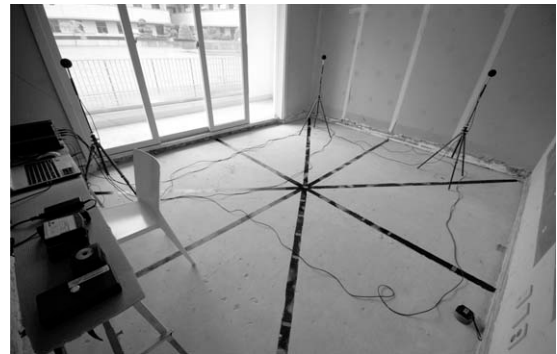


그림 2 동일한 크기의 5개실에서 보행감 평가

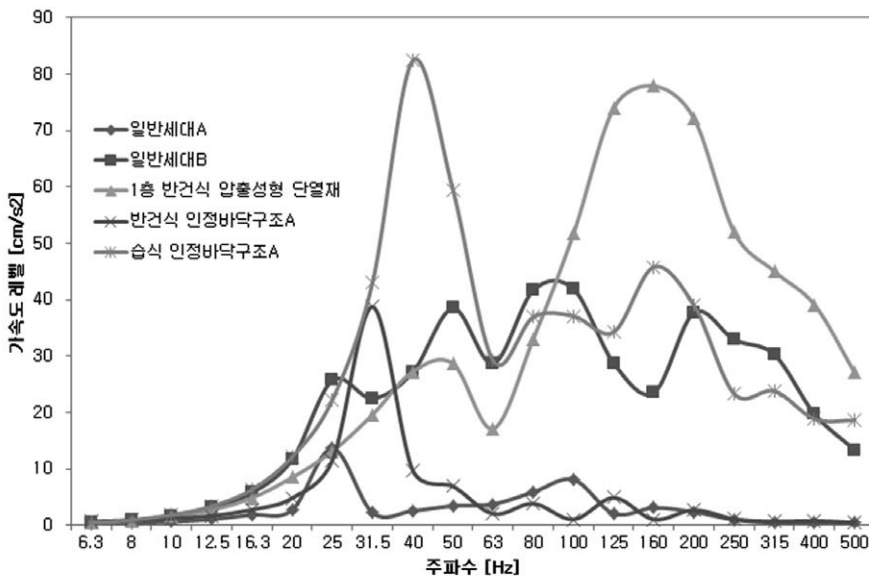


그림 3 각 바닥완충 구조에 따른 주파수별 진동량

된 30채의 미입주 세대를 대상으로 현재의 공동주택의 보행감에 대한 물리적 평가를 진행하였다. 평가의 대상이 된 미입주 세대의 경우 바닥완충구조의 경우 일반적으로 사용되는 표준바닥구조로 시공되었으며, 과거 10여년 동안 보행감 부분에 있어서 거주자의 불만이 없었던 구조로 선정하였다. 평면 구조는 탑상형, 판상형이 모두 포함되었으며, 각 평형대별로 모두 평가하였다.

상기의 보행감 평가 대상을 물리적으로 일정하게 평가하기 위하여 임팩트볼을 활용하여 실의 중앙점을 가진하였으며, 진동의 픽업은 대각선 및 십자 방향으로 25 cm간격으로 진동의 픽업 위치를 선정하여 여러회 측정하였다. 임팩트볼 가진시 가진 높이는 18 cm, 100 cm의 두 종류로 진행하였다.

평가 결과를 살펴보면 100 Hz 미만의 진동 영역에서는 습식 인정바닥구조 A가 가장 큰 진동값을 나타내었으며, 그 다음은 일반적인 표준바닥구조를 사용한 일반세대 B, 반건식 인정바닥구조 A, 1층 반건식 압출성형단열재, 일반세대 A

순으로 진동 가속도레벨이 큰 값을 보였다.

3.2 피크값에 의한 물리적 평가량과 주관적 평가의 관계

즉, 피크값에 의한 물리적인 평가를 근거로 보행감을 평가할 경우 상기의 순서대로 습식 인정바닥구조 A가 가장 나쁜 보행감을 나타내어야 한다. 반대로 일반세대 A가 가장 좋은 보행감을 나타내어야 하는 것이다. 이에 대한 실제적인 주관적인 평가와의 관계를 알아보기 위하여 상기의

표 3 진동 피크값과 보행감간의 순위

진동 피크값 순위	보행감 나쁜 순위
습식 인정바닥구조 A	반건식 인정바닥구조 A
1층 반건식 압출성형단열재	습식 인정바닥구조 A
일반세대 B	1층 반건식 압출성형단열재
반건식 인정바닥구조 A	일반세대 B
일반세대 A	일반세대 A

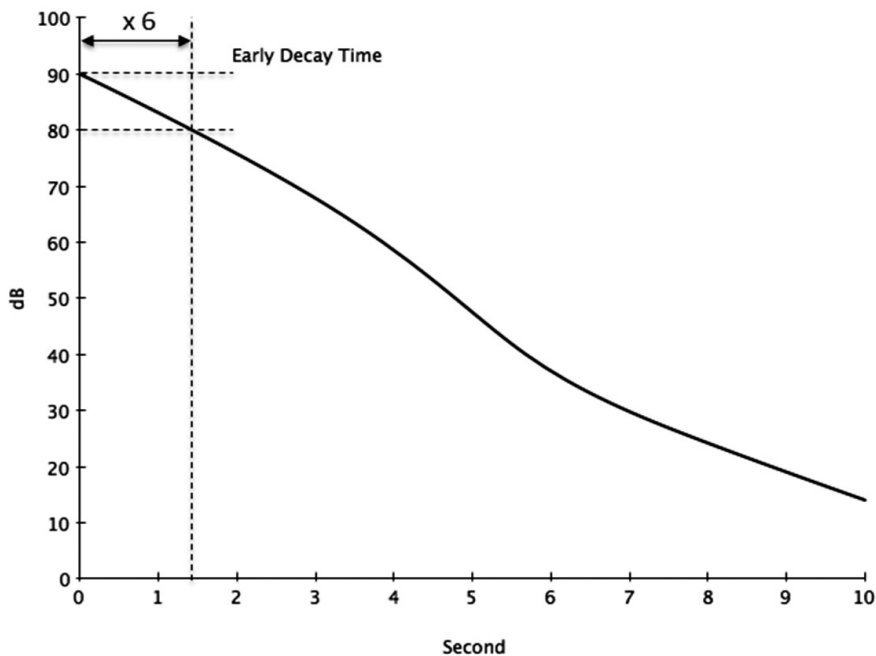


그림 4 Early decay time(EDT) 개념

바닥구조를 대상으로 20~40대 남녀 20명을 대상으로 맨발 보행 후 보행감의 만족도에 대하여 순위를 정하도록 설문평가를 하였다. 구조가 다양하고 보행감에 대한 기억력에 대한 개인차에 의하여 순위평가에 오류 발생을 줄이기 위하여 보행으로 1분이내의 공간에 상기의 바닥구조를 모두 설치하여 평가자 본인이 모든 바닥구조에 대해서 보행감을 비교할 때까지 자유롭게 각각의 실험체에 대하여 보행할 수 있도록 하였다. 주관적인 평가 결과 표 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

결과를 살펴보면 주관적인 평가 순위와 물리적인 진동 피크값간의 상관성이 약함을 알 수 있다. 즉, 인간이 보행할 때 느끼는 미세한 진동에 대한 감각은 진동 피크값과 낮은 상관성을 갖는 것으로 파악되었다. 따라서, 기존의 피크값에 대한 평가방법 보다 미세한 진동, 특히, 보행 후 발에 전달되는 후기 진동에 대한 감각을 평가할 수 있는 방법이 필요할 것으로 판단되었다.

3.3 보행감 평가 방법의 제안 및 주관평가와 비교

보행감 평가에 참여하였던 평가자와 인터뷰를 통해 실제 보행감각이 보행후 발에 전달되는 후

기 진동이라는 점에 착안하여 다음의 진동 평가 방법을 제안하고 이를 통해 주관적인 평가와 비교하였다. 건축음향부분에서는 소리가 발생한 후 단속되었을 때 후기음에 대한 평가를 할 때 **reverberation time** 혹은 **EDT(early decay time)**을 사용하기도 한다. 여기서 소리가 단속되었을 때의 초기 감쇠부분의 시간을 평가하는 방법이 EDT인데, 이 보행감 평가에서도 이와 같이 초기 감쇠 시간에 대한 평가를 통해 물리적인 평가방법을 제안하고자 한다. 즉, 임팩트볼을 가진하였을 때 이를 진동 픽업하고 이 픽업된 임펄스 형태의 진동이 최대점에서 10 dB 감쇠될 때까지의 시간 ×

표 4 진동 피크값과 보행감간의 순위

EDT값 높은 순위	보행감 나쁜 순위
반건식 인정바닥구조 A	반건식 인정바닥구조 A
습식 인정바닥구조 A	습식 인정바닥구조 A
1층 반건식 압출성형단열재	1층 반건식 압출성형단열재
일반세대 B	일반세대 B
일반세대 A	일반세대 A

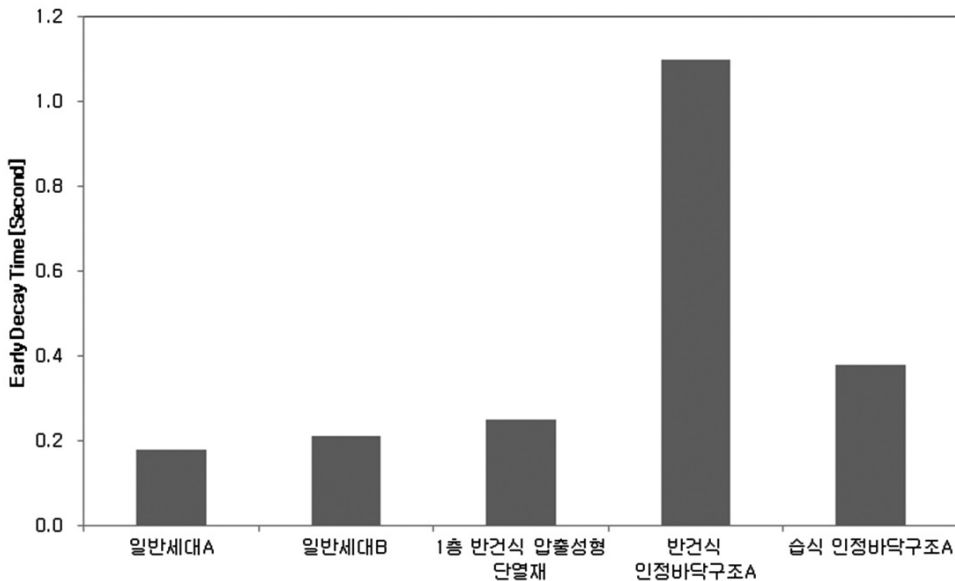


그림 5 보행 진동에 대한 EDT평가



그림 6 물리적 보행감 평가모습



그림 7 물리적 보행감 측정에 사용된 임팩트볼

6의 값을 보행감의 물리적인 척도로 제안하였다.

제안된 EDT로 평가결과 다음과 같이 반건식 인정바닥구조A가 1.1초 내외로 가장 높은 값을 보였으며, 그 다음으로는 습식 인정바닥구조A, 1층 반건식 압출성형 단열재, 일반세대B, 일반세대A순으로 나타났다.

앞서 평가한 주관적인 평가와 비교해 볼 때 순위상관에 있어 정확하게 일치하고 있음을 알 수 있다.

4. 보행감 평가를 위한 EDT값의 만족범위 제안

앞서의 선행 연구를 통해 보행감에 대한 주관적인 반응은 진동의 피크값 보다는 early decay time(EDT)이 좀 더 상관성이 있는 것으로 나타났다. 그러나 실제적인 보행감의 만족도를 평가하기 위해서는 EDT값의 만족 범위를 파악하여야

하기 때문에 다음과 같이 현재 보행감에 있어서 거저자의 불만이 보고된 사례가 없는 일반적인 세대에 대하여 앞서의 평가를 진행하여 보행감이 만족할 수 있는 범위를 파악하였다.

평가 대상은 입주예정인 실제 세대를 대상으로 30세대를 평가하였으며 일반적인 표준바닥구조를 사용하였다. 추가적으로 10세대의 1층 세대를 평가하였는데 이는 1층 세대의 경우 표준바닥구조가 아닌, 단열성능 기준을 만족하기 위해 대부분 압출성형단열재를 사용한 반건식 바닥이기 때문에 추가적인 평가를 실시하였다. 평가 결과 현재의 표준바닥구조 및 1층 세대의 EDT의 범위는 0.15~0.25초 범위를 가지고 있었으며, 실제 보행감에 있어서 0.15~0.25초 범위내에서는 불만족 사례가 보고되지 않았다. 따라서, 보행감에 있어서 만족할 수 있는 범위는 상기와 같이 0.15~0.25초 범위로 파악된다.

5. 맺음말

온돌구조라는 특수한 바닥구조를 갖는 우리나라의 문화에서 특히, 공동주택이라는 상황은 이러한 바닥구조에 다양한 요구성능을 부여하게 되었다. 바닥충격음 저감이라는 요구성능에 대응하고자 밀도 및 동탄성계수가 낮은 제품을 사용하게 되면서 정의되기도 힘든 보행감이라는 문제가 발생하게 되었다.

이러한 감각적인 문제를 객관적으로 평가하고, 이를 주관적인 평가와 결부하여 향후 제품개발에 있어서 기준을 마련하여 좀 더 나은 기술을 개발하고자 상기의 연구를 진행하였다. 연구 결과, 맨발에 대한 보행감에 있어서 진동의 피크값 보다는 EDT가 상대적으로 실제 주관적인 반응과 상관성이 높은 것으로 나타났으며, 만족가능한 EDT값의 범위는 0.15~0.25초인 것으로 파악되었다. 향후, 다수의 연구자가 국내의 특수한 환경이 만들어낸 보행감이라는 부분에 대하여 관심을 갖고 좀 더 정확한 평가 및 표준화된 방법이 제안 되었으면 하는 바람이다. **KSNVE**