

바닥충격음 저감 표준바닥구조와 동향

김정욱/ 건재환경팀 연구원

1. 서 론

우리가 거주하는 건축물은 외부환경으로부터 인간을 보호하는 단순한 역할뿐 아니라 사용목적에 적합한 인간의 생활을 담는 그릇의 역할을 해야 한다. 또한 경제발전에 따라 개인소득이 증가하면서 가치관은 다양화되고 주생활에 대한 질적 향상의 욕구가 증대되었다.

쾌적한 주거공간을 실현하고자 할 때 건물에는 여러 성능이 요구된다. 예를 들면 열(熱), 음(音), 진동(振動), 빛(光), 공기(空氣) 및 화재(火災) 등 물리적으로 넓은 범위에 걸쳐있다. 이러한 건물에 요구되는 성능은 인간의 욕구, 사회·경제적 요인에 따라 크게 변화하고 있다.

건물의 차음성능은 음환경에 있어서 중요한 성능의 하나이다. 2000년대에 들어서면서 국민의 50 % 이상이 공동주택에서 생활하게 되고, 거주자의 생활수준 향상으로 주거의 질에 대한 관심이 고조되면서, 정온한 주거환경(개인의 프라이버시 보호 및 쾌적한 주거환경) 특히 공동주택에서의 바닥충격음 저감에 대한 관심 및 요구가 증대되고 있다. 그러나 쾌적한 주거환경에 대한 욕구는 증대되는 반면 공동주택의 구조는 고층화에 따라 경량화가 진행되고 이 과정에서 소음증가에 따른 민원이 점차 증가하고 있는 실정이다.

2008년 환경부의 연차보고서에 의하면 중앙환경 분쟁조정위원회에 접수된 소음·진동관련 분쟁사건은 총 1,100여건이며 이중 바닥충격음 관련 분쟁사건은 213건으로 20 %에 가까운 발생률을 보이고 있다. 이는 각종 규제 및 인정제도가 시행되었음에도 불구하고 전년보다 7 % 이상 증가한 수치이다. 발생 책임별로 건축주·시공회사의 부실시공이 52 %, 위층 거주자의 공동체의식 부족이 35 % 등으로 나타나고 있다.

이처럼 공동주택에 사용되는 재료 및 층간의 경량화에 따른 아이들의 뛰어다니는 소리, 발자국 소리 등 바닥충격음 계통의 소음이 입주자의 불만을 유발하여 이웃간 불화와 분쟁을 초래함에 따라 공동주택 위층과 아래층간의 소음 문제가 사회문제로 대두되고 있으며, 차음이 주거성능을 결정하는 가장 중요한 인자로 등장하게 되었다.

이에 따라 아파트 층간소음을 줄이기 위해서 공동주택 성능등급제도, 공동주택 표준바닥구조 및 친환경건축물 등의 제도까지 시행되기에 이르렀다. 이는 생활소음문제의 심각성을 나타내는 한 척도로서 소음환경에 대하여 사회적 인식의 변화와 독립적 공간 및 개인 프라이버시가 중요시되는 공간에 대한 소음환경개선의 수요 증대를 나타내고 있다.

2. 바닥충격음의 개요

바닥충격음이란 물체의 낙하나 진동 시 또는 사람의 보행 시 바닥에 가해지는 충격에 의하여 바닥구조가 진동함으로서 발생하는 음으로 좁은 의미에서는 바로 아래 실로 한정된다.

바닥충격음의 발생에 관계되는 요인은 크게 나누어 충격원, 바닥 구조, 하부구조의 3가지이며 세분화시키면 각각의 요소는 다음과 같다

(1) 충격원 :

- 충격에너지에 영향을 미치는 질량 및 속도에 의한 운동량
- 충격력의 파형에 관계되는 질량
- 충격점에서 본 탄성계수, 저항계수 등

(2) 바닥구조 :

- 충격원과 연관된 충격력파형
- 충격점에서의 국부압축변형에 관계되는 탄성계수
- 면진동에 관계되는 슬래브의 마찰저항계수, 슬래브 고유진동수
- 음향방사에 관련되는 탄성계수, 밀도, 두께, 경계조건 등

(3) 하부공간 :

- 음향방사에 관계되는 바닥의 기하학적인 조건
- 공간내의 음의 시간적인 축적효과에 관계되는 실의 크기 및 흡음력 등

이상과 같이 바닥충격음 레벨에 관계되는 요인은 매우 다양하고 복잡하며, 시공여건에 의하여 각 요소들이 가변될 수 있으므로 이론적으로 전달과정을 해석하는 데에는 많은 난점이 있다. 특히 우리나라는 온돌이라는 독특한 난방방식을 사용하고 있으므로 바닥 구조가 다층구조로 구성되고 그 구성재료가 현장작업에 의하여 시공되므로, 재료의 불균질한 물성데이터에 의한 이론적 해석에 한계가 있을 수 있다.

3. 충격음의 종류와 특성

3.1 경량충격음

하이힐 소리, 수저 등과 같은 작고 딱딱한 물건이 떨어지는 소리, 의자소리 등과 같은 소리로 대별되는 경량충격음은 운동량은 작아도 충돌 시간이 짧기 때문에 상당히 큰 최대충격력을 보인다. 이와 같이 각종 충격력을 갖는 충격원 가운데 하이힐소리, 물건낙하시의 가볍고 딱딱한 충격에 대응하는 것으로 Tapping Machine이 국제적인 표

준 충격원으로 채택되었다. 이것은 1932년 독일의 Reiher에 의해 처음 개발되었는데 그 당시 성인이 구두를 신고 보행할 경우의 발생소음을 모방하고자 하는 의도에서 280 g의 해머를 이용, 보행주기로 3 cm 높이에서 낙하시켰으나, 점차 충격주기 및 충격력을 보완하여 실생활의 충격력을 반영한 실용적인 충격원으로 개발되었다.



[그림 1] 경량충격음 음원발생기(Tapping Machine)

현재의 Tapping Machine은 (100 ± 3) mm의 간격으로 일직선상에 배치된 5개의 Hammer로 구성되며, Hammer의 무게는 0.5 kg, 낙하높이는 0.04 m이고, 충돌 순간의 속도는 (0.886 ± 0.022) m/s가 되도록 규정하고 있다.

3.2 중량충격음

중량충격음은 뛰거나 달릴 때의 무거운 충격에 의해 발생하는 저음역의 음으로서 큰 충격력과 긴 지속시간을 지닌다. 좌식생활 위주의 동양인들의 관습상 유래하여 그 보행효과를 고려한 자동차 타이어(벙머신)을 중량충격 표준음원으로 사용한다. 다만, 중량충격음원은 우리나라와 일본만이 채택하고 있는 특성적인 방법이다.

사람의 보행, 어린이의 뛰는 행위 등 부드럽고 무게있는 충격에 대응하는 것으로써 Tire(중량충격원)가 사용되고 있다. 이것은 1974년 일본의 기무라 등이 제안한 것으로써 공동주택에서 주로 문제점으로 제기되고 있는 어린이의 뛰고 달릴 때의 충격음과 같이 충격력의 지속시간이 길고, 힘의 곱이 큰 충격력에 대한 평가를 목적으로 하고 있으며, 슬래브 위에 다다미 등을 깔고 맨발로 생활하므로 저음역의 바닥충격음이 문제가 되는 일본에서 이에 대한 문제점을 보완하기 위하여 독자적으로 부가 사용하고 있는 표준충격원이 Tire이다.



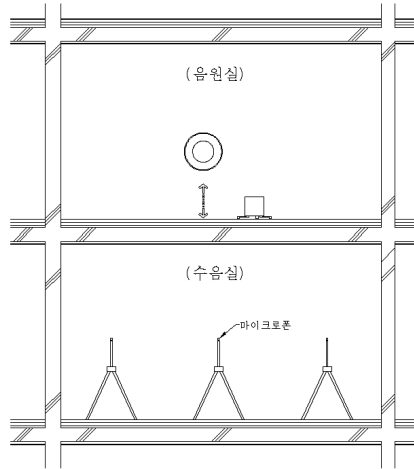
[그림 2] 중량충격음 음원발생기(Bang Machine)

현재 중량충격원(Tire)은 등가질량 (7.3 ± 0.2) kg, 반발 계수 ($0.8 \pm 0.1 \times 10^5$) N/m 로, 5.20-10-4 PR의 자동차 Tire로 공기압은 ($2.4 \pm 0.1 \times 10^5$)Pa로 규정되어 있다.

5. 측정 방법 및 평가 방법

5.1 측정 방법

바닥충격음 차단성능 측정방법은 [그림 3]에 나타난 바와 같이 상하층으로 구분된 실사이에 시험체인 바닥슬래브를 대상으로 상층 바닥위에 표준충격음원을 사용하여 충격을 연속적으로 가할 때 아래층에 전달되는 소음레벨(dB)을 측정하는 것이다. 1978년 처음 규정된 이래 최근 개정되기 전까지 KS F 2810(건축물현장의 바닥충격음 레벨 측정방법)이었으나 2001년 ISO 규격을 도입되어 KS F 2810-1(바닥충격음 차단 성능현장측정방법-제1부 경량충격원)로 개정되었으며, ISO규격에 없는 중량충격원에 의한 측정방법은 일본의 규격이 부분적으로 도입되어 KS F 2810-2(바닥충격음차단 성능 현장측정방법-제2부 중량 충격원)로 분리되어 현장측정방법으로 개정되었다.



[그림 3] 바닥충격음 측정개요도

5.2 평가방법

건축물의 바닥충격음 차단성능 평가척도로써 설정된 성능등급은 상대적인 평가서열을 나타낸 것으로 2001년도까지 바닥충격음에 대한 평가방법이 마련되지 않아, JIS A 1419의 L등급 평가방법을 차용하여 바닥에 대한 충격음 성능평가가 주로 이루어져왔다. 2002년 ISO 부합화 추세에 따라 JIS와 마찬가지로 KS F 2863-1, 2(바닥충격음 차단성능평가방법-제1부 경량충격음, 제2부 중량충격음)을 표준화하였다.

6. 관련규정 및 성능등급

공동주택에 있어서 바닥충격음에 관련된 문제가 사회적으로 대두되면서 건설교통부에서는 2003년 4월에 관련 법규인 주택건설기준 등에 관한 규정을 개정하였다. 개정된 내용은 기존의 주택건설기준 등에 관한 규정 제14조 제3항에 추가하여 “공동주택의 바닥은 각 층간 바닥충격음이 경량충격음은 58데시벨 이하, 중량충격음은 50데시벨 이하가 되도록 하여야 한다.”라고 구체적으로 명시하면서 시작되었으며 현재는 이와 관련하여 공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준, 공동주택 성능등급 제도 등 각종 법령 및 기준들이 제·개정되고 있는 추세이다.

6.1 주택법(2008.3.28 법률 제9046호)

- 제21조의2 (주택성능등급의 표시 등)

① 사업주체가 대통령령이 정하는 호수 이상의 주택을 공급하고자 하는 때에는 국토해양부장관이 지정하는 주택성능등급 인정기관으로부터 다음 각호의 1에 해당하는 주택의 성능에 대한 등급을 인정받아 이를 입주자 모집 공고 안에 표시하여야 한다.

1. 경량충격음·중량충격음·화장실소음·경계소음 등 소음관련 등급

2. 리모델링 등을 대비한 가변성·수리 용이성 등 구조관련 등급
3. 조경·조망권·일조시간·외부소음·실내공기질 등 환경관련 등급
4. 사회복지시설·놀이터·휴게실 등 주민공동시설에 대한 생활환경 등급
5. 화재·소방성능, 홈네트워크성능 등 대통령령이 정하는 성능 등급

6.2 주택건설등에 관한 규정(2009.1.7 대통령령 제21258호)

- 제14조 (세대간의 경계벽등)

(1) 공동주택 각 세대간의 경계벽 및 공동주택과 주택외의 시설간의 경계벽은 내화구조로서 다음 각호의 1에 해당하는 구조로 하여야 한다.

1. 철근콘크리트조 또는 철골·철근콘크리트조로서 그 두께(시멘트모르터·회반죽·석고프라스터 기타 이와 유사한 재료를 바른 후의 두께를 포함한다)가 15센티미터 이상인 것
2. 무근콘크리트조·콘크리트블록조·벽돌조 또는 석조로서 그 두께(시멘트모르터·회반죽·석고프라스터 기타 이와 유사한 재료를 바른 후의 두께를 포함한다)가 20센티미터 이상인 것
3. 조립식주택부재인 콘크리트판으로서 그 두께가 12센티미터 이상인 것
4. 제1호 내지 제3호의 것외에 국토해양부장관이 정하여 고시하는 기준에 따라 한국건설기술연구원이 차음성능을 인정하여 지정하는 구조인 것

(2) 제1항의 규정에 의한 경계벽은 이를 지붕밑 또는 바로 윗층바닥판까지 닿게 하여야 하며, 소리를 차단하는데 장애가 되는 부분이 없도록 설치하여야 한다.

(3) 공동주택의 바닥은 다음 각 호의 어느 하나의 구조로 하여야 한다.

1. 각 층간 바닥충격음이 경량충격음(비교적 가볍고 딱딱한 충격에 의한 바닥충격음을 말한다)은 58데시벨 이하, 중량충격음(무겁고 부드러운 충격에 의한 바닥충격음을 말한다)은 50데시벨 이하의 구조가 되도록 할 것. 이 경우 바닥충격음의 측정은 국토해양부장관이 정하여 고시하는 방법에 의하며, 그 구조에 관하여 국토해양부장관이 지정하는 기관으로부터 성능확인을 받아야 한다.
2. 국토해양부장관이 정하여 고시하는 표준바닥구조가 되도록 할 것

(4) 국토해양부장관은 공동주택의 바닥충격음 차단구조의 성능등급 및 기준을 정하여 고시한다.

6.3 주택성능등급 인정 및 관리기준(2008.9.29 국토해양부고시 제2008-539호)

주택성능등급은 주택법 제16조의 규정에 의하여 주택단지를 평가단위로 하며, 공동주택의 주택성능등급 인정 등에 관한 평가기준은 <표 1>과 같다.

표준바닥구조는 4급으로 평가하고 표준바닥구조 이외의 바닥구조에 대해서는 주택건

설기준등에 관한 규정 제14조의 규정에 의하여 건설교통부장관이 고시한 “공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준”에서 정하는 방법에 따라 인정기관으로부터 발급받은 인정서를 이용하여 평가한다.

<표 1> 바닥충격음 평가지표

(단위:dB)

등급	등급기준	
1급	$L'_{n,AW} \leq 43$	$L'_{i,Fmax,AW} \leq 40$
2급	$43 < L'_{n,AW} \leq 48$	$40 < L'_{i,Fmax,AW} \leq 43$
3급	$48 < L'_{n,AW} \leq 53$	$43 < L'_{i,Fmax,AW} \leq 47$
4급	$53 < L'_{n,AW} \leq 58,$ 표준바닥구조	$47 < L'_{i,Fmax,AW} \leq 50,$ 표준바닥구조

* $L'_{n,AW}$: 역 A 특성 가중 규준화 바닥충격음레벨

$L'_{i,Fmax,AW}$: 역 A 특성 가중 바닥충격음레벨

6.4 공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준(2008.9.29 국토해양부고시 제 2008-538호)

고시를 통하여 바닥충격음에 대한 규제를 실시하고 있으며, 바닥충격음 차단성능에 대하여 인정하는 표준바닥구조 및 등급을 제시하고 있다.

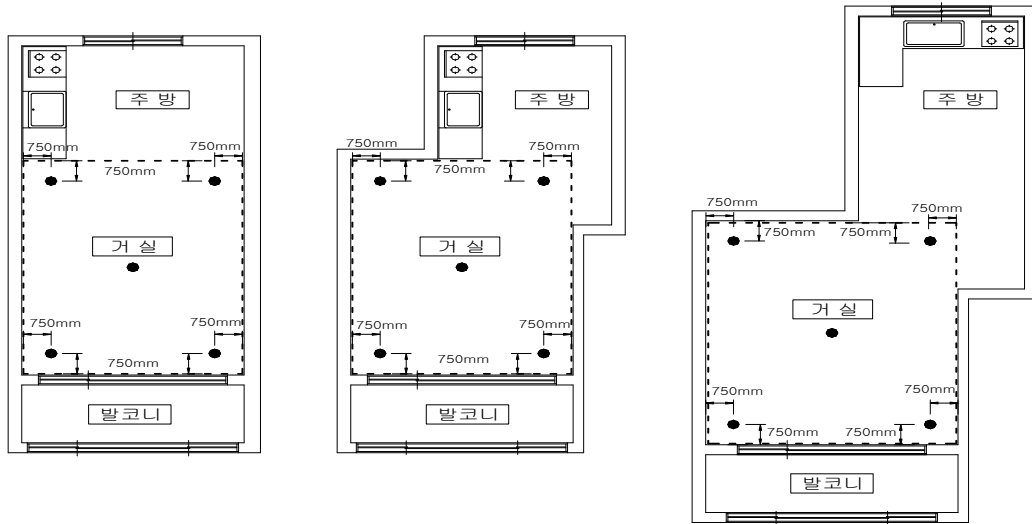
(1) 시험실의 조건

1. 측정대상 음원실과 수음실의 바닥면적은 14 m² 이상으로 한다.
2. 측정대상공간의 장단변비는 1: 1.5 이하의 범위로 한다.
3. 측정대상공간의 반자높이는 2.1미터 이상으로 한다.

(2) 현장 조건(측정 대상)

1. 하나의 동인 경우에는 중간층과 최상층의 측벽에 면한 각 1세대 이상과 중간층의 중간에 위치한 1세대 이상으로 한다. 다만, 하나의 동에 서로 다른 평형이 있을 경우에는 평형별로 3개 세대를 선정하여 측정을 실시한다.
2. 2동이상인 경우에는 평형별 1개동 이상을 대상으로 중간층과 최상층의 측벽에 면한 각 1세대 이상과 중간층의 중간에 위치한 1세대 이상
3. 측정 대상 공간 - 바닥충격음 차단성능의 확인이 필요한 단위 세대 내에서의 측정 대상공간은 거실(living room)로 한다. 단, 거실(living room)과 침실의 구분이 명확하지 않은 소형평형의 공동주택의 경우에는 가장 넓은 공간을 측정대상공간으로 한다.

4. 측정 위치 - 바닥충격음 시험을 위한 음원실의 충격원 충격위치는 다음 그림과 같이 중앙점을 포함한 4개소 이상으로 하고, 수음실의 마이크로폰 설치위치는 4개소 이상으로 하여야 한다.



[그림 4] 측정위치(충격원 충격위치 및 마이크로폰 위치)

(3) 측정결과와 평가

측정결과는 산술평균값으로 하며 측정결과와 판단기준은 등급이 제시되지 않은 경우에는 바닥충격음에 대한 최소 성능기준(경량충격음 58dB, 중량충격음 50dB)이 되며, 등급이 제시된 경우에는 등급별 성능기준이 된다.

<표 2> 측정결과와 판단기준

(단위:dB)

등급	역A특성 가중 표준화 바닥충격음레벨	
1급	$L'_{n,AW} \leq 43$	$L'_{i,Fmax,AW} \leq 40$
2급	$43 < L'_{n,AW} \leq 48$	$40 < L'_{i,Fmax,AW} \leq 43$
3급	$48 < L'_{n,AW} \leq 53$	$43 < L'_{i,Fmax,AW} \leq 47$
4급	$53 < L'_{n,AW} \leq 58$	$47 < L'_{i,Fmax,AW} \leq 50$

<표 3> 표준바닥구조

구분	표준바닥구조 단면상세
1	콘크리트 슬래브 두께 ¹⁾ 210 mm 이상 + 단열재 ²⁾ 20 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상
2	콘크리트슬래브 두께 210 mm 이상 + 완충재 ³⁾ 20 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상
3	콘크리트슬래브 두께 210 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 단열재 20 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상
4	콘크리트슬래브 두께 210 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 완충재 20 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상
5	콘크리트슬래브 두께 210 mm 이상 + 완충재 40 mm 이상 + 마감모르터 50 mm 이상

주 1) 벽식구조 및 혼합구조: 210 mm

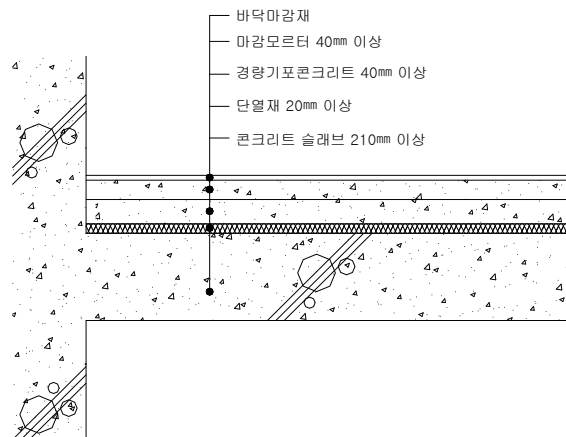
라멘구조 : 150 mm

무량관구조 : 180 mm

주 2) 단열재 : 가중 바닥충격음레벨 감쇠량이 13dB 이상인 바닥마감재 사용

* 감쇠량 : KS F 2865에서 규정하고 있는 방법으로 측정한 바닥마감재의 바닥충격음저감량을 KS F 2863-1에 따라 평가한 가중 바닥충격음 레벨 감쇠량

주 3) 완충재 : 바닥마감재 사용제한 없음.

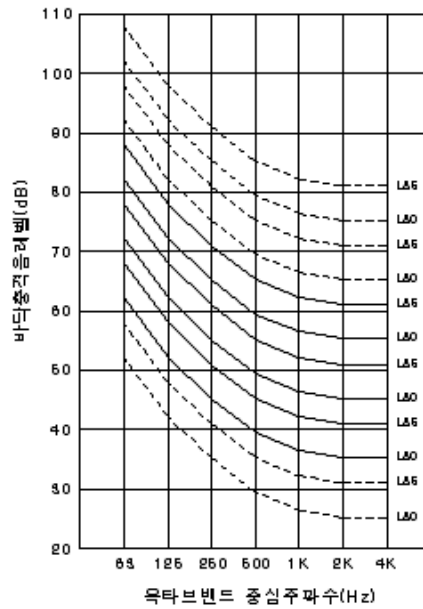


[그림 5] 표준바닥구조 시공단면

7. 각국의 바닥충격음 관련 규정

7. 1 일본

바닥충격음차단성에 대한 평가등급방법은 JIS A 1419-2에 규정하고 있다. 이 규격은 건축물의 차음성능을 적절하게 평가하기 위한 것으로, 평가등급 곡선은 우리나라의 역 A 특성곡선과 같은 [그림 6]의 L등급의 기준곡선을 이용하여 그 차단성 평가등급을 나타낸다.



[그림 6] L등급기준 특성곡선(JIS A 1419-2)

분류기준으로 일본 주택성능 표시제도와 건축학회권장안이 있으며, <표 4> 및 <표 5>와 같다.

<표 4> 일본 주택성능표시제도상의 바닥충격음성능분류기준

성능등급(rank)		5	4	3	2	1
성능 기준	중량	L _H - 50	L _H - 55	L _H - 60	L _H - 65	rank2 미만
	경량	L _L - 45	L _L - 50	L _L - 55	L _L - 60	rank2 미만
차음성능수준		특히우수	우수	기본	약간낮음	그 외

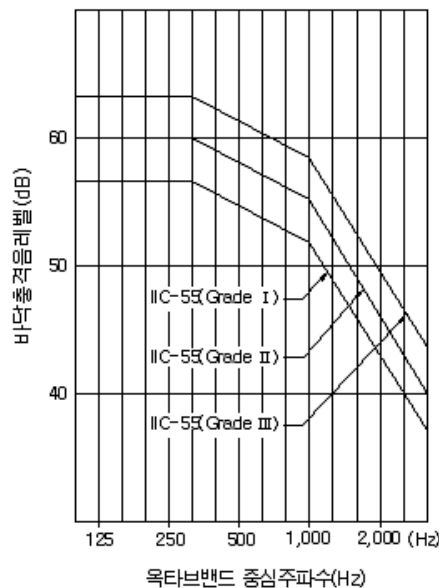
<표 5> 바닥충격음 레벨에 관한 차음등급의 종류(일본 건축학회 권장치)

건축물	실용도	적용부위	적 용 등 급			
			특 급 (특별시방)	1 급 (표준)	2 급 (허용)	3 급 (최저)
공동주택	거 실	세대간 경계 바닥	L _L - 40 L _H - 45	L _L - 45, L _H - 50	L _L - 50 L _H - 55	L _L - 60 L _H - 60

※ 특급(특별시방) : 차음성능 상 매우 우수, 특별한 차음성능이 요구되는 경우
 표준 : 차음성능상 바람직함, 보통 사용자로부터 진정이 거의 없고 차음성능상 지장 없음.
 허용 : 차음성능상 거의 만족, 사용자로부터 진정이나 차음성능상 지장이 있지만 거의 만족.
 최저 : 법규상의 최저한도, 사용자로부터 괴로움의 호소가 나올 확률이 높기 때문에 권장치
 않음.

7.2 미국

바닥충격음 평가방법으로 ASMT E 989에 의하며, [그림 7]의 IIC(Impact Insulation Class)곡선을 사용하는데, IIC값은 경량충격음 레벨과 IIC기준곡선의 교차에 의하여 구한다.



[그림 7] 바닥충격음에 대한 IIC곡선(FHA)

또한 HUD(The U.S. Department of Housing and Urban Development)에서 공동주택의 바닥에 규정하고 있는 차음성능의 기준은 <표 6>과 같다. 이 기준은 지리적 위치,

경제적 조건, 바닥구조의 기능에 따라 3등급으로 구분되어 있다. Grade I 은 야간에 밖의 소음이 35 ~ 40 dB이거나 혹은 위치에 관계없이 고층 공동주택에서 8층 이상이고 고급건물인 경우에 적용되며, Grade II는 표준치로서 외부소음레벨이 보통인 경우(40 ~ 45 dB)이며, Grade III은 최저치로서 시끄러운 지역(45 dB 이상)에 적용되고 있다.

<표 6> 공동주택 경계바닥의 IIC 차음기준(HUD)

인접세대간 실 용도		바닥충격음(IIC)			인접세대간 실 용도		바닥충격음(IIC)		
A(상층)	B(하층)	Grade I	Grade II	Grade III	A(상층)	B(하층)	Grade I	Grade II	Grade III
침 실		55	52	48	침 실		52	50	46
거 실		60	57	53	거 실		55	52	48
부 욱	침 실	65	62	58	부 욱	부 욱	55	52	48
-	-	-	-	-	욕 실		55	52	48
가족실		65	62	58	가족실		60	58	54
복 도		65	62	58	복 도		55	52	48
침 실		55	52	48	침 실		50	48	46
거 실		55	52	48	거 실	가족실	52	50	48
부 욱	거 실	60	57	53	부 욱		55	52	50
가족실		62	60	56	욕 실		52	50	48
복 도		60	57	53	복 도		50	48	46

7.3 ISO(국제표준화기구)

바닥충격음에 대한 차음기준이 ISO 717-2로 제정되어 있다. 이 기준은 건축물의 차음성능을 적절히 평가하고 음향적인 요구에 대한 법규를 간단히 하고자 하는데 그 목적이 있다. 차음성능의 평가방법은 ISO 충격음 등급기준에 의하며, 미국의 평가방법과 동일하다. 소음의 시간에 따른 변화가 크지 않는 정상소음의 경우에는 소음계를 사용하여 단순 dB를 사용할 수 있지만 소음의 시간변화가 큰 경우에는 등가소음도를 사용하도록 하고 있다. 건물의 종류별, 부위별 바닥판의 평가를 위한 차음성능기준 규정은 없다.

8. 맺음말

이상에서 바닥충격음의 측정 방법 및 관련 규제에 관하여 알아보았다. 바닥충격음 및 환경문제에 대한 각종 규제가 제·개정되고 국민들의 관심이 고조되고 있으나 강제적인 법적기준의 운용에는 적지 않은 문제점들이 노출되고 있다. 또한 공동주택이라는 특수성 때문에 바닥충격음에 관한 문제를 완전히 해결하는 데에는 한계가 있다. 이러한 문제에 대해서는 재료 및 구조의 개발, 측정방법 및 평가방법의 합리적인 보완 등 다각적인 분야에서의 접근이 요구되며, 많은 전문가들의 연구와 노력으로 극복해 나가야 할 것이다.

다른 한편으로는 국내에서 각종 법, 규정 및 고시 등 강제기준을 적용하는 반면 유럽, 미국, 일본 등 환경선진국에서 권장기준과 등급화를 도입하여 자율적으로 제도를 시행하고 있는 점에 주목하고 싶다.

[참고문헌]

1. 공동주택의 바닥충격음 기준연구, 건설교통부
2. 음향공학개론, 한신문화사
3. 바닥충격음 측정 및 평가방법과 차음성능기준, 소음·진동학회 학술지
4. 바닥충격음저감재 사용 바닥구조의 평가, 방재시험연구원
5. 공동주택바닥충격음 차단성능, 대한주택공사
6. 쌍용건설 건설기술, 쌍용건설(주)
7. 日本音響材料協會, 騒音振動對策 ハトブック, 技報堂
8. KS F 2810-1,2 : 바닥충격음 차단성능 현장측정방법-제1부:표준경량충격원에 의한 방법, 제2부:표준중량충격원에 의한 방법
9. KS F 2865 : 표준 콘크리트 바닥 위 마감구조의 경량 충격음 레벨 저감량 실험실 측정방법
10. KS F 2863-1, 2 : 건물 및 건물부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법-제1부 : 표준 경량충격원에 대한 차단성능, 제2부 : 표준 중량충격원에 대한 차단성능
11. JIS A 1419-1, 2 : 建築物の床衝撃音遮斷性能の評價方法 - 第 1 部 : 標準輕量衝擊源による方法), 第 2 部 : 標準重量衝擊源による方法)
12. ISO 717-2 : Acoustics-Rating of sound insulation in buildings and of building elements-Part II : Impact sound insulation
13. ASTM E 989 : Standard Classification for Determination of Impact Insulation Class(IIC)