

평균진동량을 이용한 바닥충격을 평가

Article

04

An Evaluation of floor Impact Sound Level by the Energy-Averaged Vibration Level



김정철 상무
현대건설
건축사업본부



조호규 과장
현대건설
건축사업본부



김태희 대리
현대건설
건축사업본부

1. 서론

공동주택 입주민의 바닥충격음에 대한 관심이 높은 것은 주지의 사실로 충격음 차단성능을 향상시키기 위해 많은 관련업체에서 습식, 반건식 및 이중바닥구조 형태의 다양한 인정바닥구조를 개발하고 있다. 2007년 8월 현재, 인정기관인 한국건설기술연구원 및 대한주택공사 품질시험소에서 공고한 구조는 총 71개(일부구조 중량 충격음 차단성능 미공고)이다. 인정바닥구조는 다양한 소재 및 형태로 인해 충격음성능이외에 구조적 안정성, 시공성에 대한 기준이 수립되어 있지 않다. 이로 인해, 건설사에서는 상기의 인정바닥구조에 대해 인정기관에 의해 공고된 차단성능이외의 경제성, 시공성, 하자발생 여부 등 다양한 면을 시험실 및 현장에서 실적용에 대해 검증중을 실시하고 있다. 당사에서도 인정구조 및 개발구조에 대해 기술연구소내 잔향시험실 및 목업시험실을 통해 성능 파악 및 검증중을 수행하고 있으며 일부구조에 대해서는 현장에서 검증절차를 수행하고 있다.

당사의 인정바닥구조 검증절차는 크게 다음과 같이 5

개의 항목으로 구분할 수 있다. '①역A특성곡선에 의한 성능 평가', '②슬래브 하부에서 측정된 진동가속도레벨을 기초로 하여 주파수대역별 충격음레벨과 비교', '③바닥판 전체의 고유진동수를 측정하고 평균진동량을 평가하여 구조간의 충격음 차단성능 저감특성 파악', '④Magnitude 및 감쇠시간 파악을 위한 시간축 진동가속도레벨 평가', '⑤온돌층 상부에서 진동가속도레벨을 측정하여 기존의 습식구조와 보행감 비교'이다.

본 연구는 당사에서 수행하고 인정바닥구조에 대한 일련의 성능검증절차로 충격음 차단성능에 영향을 주는 각종 요인을 파악하고 이를 배제하여 구조가 가지는 충격음 저감 특성을 파악하는데 목적이 있다.

2. 측정개요

완충재의 충격음 저감효과를 비교하고 평가하기 위해서는 바닥충격음 차단성능 평가에 영향을 미칠 수 있는 기타 모든 측정조건을 동일하게 설정하여야 한다. 따라서, 동일한 측정조건을 유지할 수 있는 장소에서 측정하

는 것이 측정결과의 재현성과 반복성을 확보하는 방법이라 할 수 있다. 특히, 현장과 같이 시공오차에 측정상의 오차 등이 포함된다면 동일한 시료로 측정을 하는 경우에도 상당히 다른 결과가 나올 가능성이 크다[6]. 따라서, 본 연구에서는 각 시료간 측정조건을 최소화할 수 있는 판단되는 모델실험실을 이용하였다. 바닥충격음 차단성능 측정방법인 KS F 2810-1,2에 의해 측정을 실시하였으며 공동주택 바닥충격을 인정 및 관리기준을 참고하였다. 경량 및 중량충격음의 차단성능은 총 6개의 구조에 대해 40Hz ~ 5000Hz(6300Hz)대역을 측정하였다.

진동가속도레벨의 측정은 나슬래브구조를 제외한 5개의 구조에 대해 슬래브 하부에 16개 측정점에 진동가속도계를 대각선방향으로 부착하여 측정을 실시하였으며 반건식구조의 보행감을 습식구조의 보행감과 비교하기 위해서 온돌층 상부에 총 8개 측정점과 4개의 벽면에 진동가속도센서를 설치하여 측정을 실시하였다. 바닥충격음레벨과 비교하기 위해 주파수대역별로 측정을 실시하였으며 고유진동수를 파악하기 narrow band 측정도 실시하였다. 또한 바닥구조의 진동특성을 파악하기 위해서 시간축으로 진동가속도레벨을 측정하였다.

2.1 실험실의 개요

음장조건 및 진동조건을 동일하게 하기 위해서 당사 목업실험실에서 현장과 동일하게 온돌층을 시공하였다. 실험실의 개요는 <표 1>과 같으며 구조는 [그림 1]과 같다.

[표 1] 실험실의 개요

구분	내용
크기	3,000mm(W)× 3,900mm(D)× 3,000mm(H)
용적	31.2m ³
슬래브 및 벽체 두께	150mm / 200mm

실험실의 개요는 <표 1>과 같으며 구조는 [그림 1]과 같다.

1) 고유진동주파수의 분포

실내에서는 3차원 공간의 음파를 생각하지 않으면 안 되는 음파의 속도 \emptyset 는 1차원인 경우, 식1과 같은 파동방정식으로 표현할 수 있다.

$$[식 1] \quad \frac{\alpha^2 \emptyset}{at^2} = c^2 \left(\frac{\alpha^2 \emptyset}{ax^2} + \frac{\alpha^2 \emptyset}{ay^2} + \frac{\alpha^2 \emptyset}{az^2} \right)$$

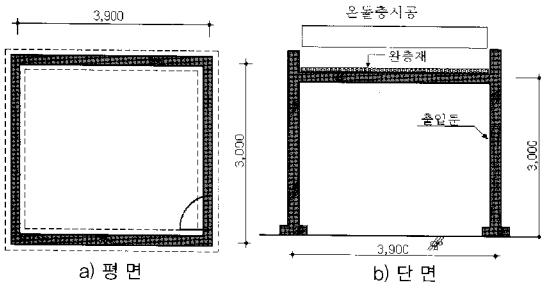
일반적으로 침실 등 직방형태의 실은 가장 단순한 경우로서 실의 한 모서리를 원점으로 해, 각 변의 길이를 각각 lx , ly , lz 로 한다. 실의 주변이 전부 강벽인 경계조건은 벽면상에서 수직방향의 입자속도가 0인 경우인데 3개의 변수가 분리가능하므로 이 경우에서의 고유주파수는 식2와 같다.

$$[식 2] \quad f_n = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{nx}{k}\right)^2 + \left(\frac{ny}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{nz}{l_z}\right)^2}$$

실의 형상 및 장단변의 길이에 의해 측정실의 고유진동수가 정해지는데 침실과 같은 장소에는 바닥충격음 차단성능에 영향을 미칠 수 있어 본 연구에 앞서 침실의 형태인 실험실의 고유진동수를 계산하였다. 룸모드의 계산은 실의 장변, 단변 및 높이에 따라 정해지며 일차원 모드(axial mode), 이차원 모드(tangential mode) 및 삼차원 모드(oblique mode)로 구분하는데 이중 가장 강하게 작용하는 일차원 모드(axial mode)를 근사적으로 확인한 결과는 <표 2>와 같다. 고유진동분포의 변화를 크게 해 실내음향에 좋지 않은 영향을 주는 축퇴현상이 발생하지 않고 비교적 고른 고유진동수의 분포를 나타낼 수 있다.

[표 2] 룸모드 계산결과

구분	x	y	z	고유진동수	1/1옥타브밴드중심 주파수대역[Hz]
Axial mode	1	0	0	51.5	63Hz
	0	1	0	56.7	63Hz
	0	0	1	70.8	63Hz
	2	0	0	103.0	125Hz
	0	2	0	113.3	125Hz
	0	0	2	141.7	125Hz
	3	0	0	154.5	125Hz
	0	3	0	170.0	125Hz
	0	0	3	212.5	250Hz
	4	0	0	206.1	250Hz
	0	4	0	226.7	250Hz
	5	0	0	257.6	250Hz
	0	5	0	283.3	250Hz
0	0	5	354.2	500Hz	



[그림 1] 측정실의 구조

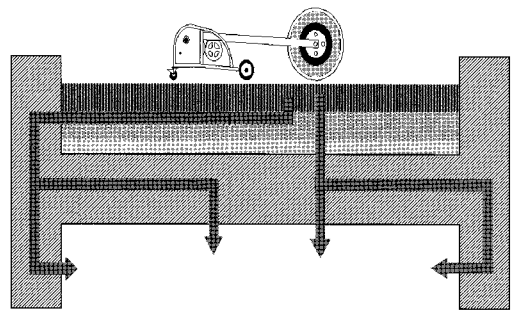
2.2 시료의 개요

당사의 인정바닥구조 검증절차인 ①역A특성곡선에 의한 성능 평가, ②슬래브 하부에서 측정된 진동가속도레벨을 기초로 하여 주파수대역별 충격음레벨과 비교, ③바닥판 전체의 고유진동수를 측정하고 평균진동

량을 평가하여 구조간의 충격음 차단성능 저감특성 파악, ④Magnitude 및 감쇠시간 파악을 위한 시간축 진동가속도레벨 평가, ⑤온돌층 상부에서 진동가속도레벨을 측정하여 기존의 습식구조와 보행감 비교'를 평가하기 위해 선정된 인정바닥구조 및 표준바닥구조의 두께 및 형태는 <표 3>과 같다. 표준바닥구조를 포함한 이유는 현재 가장 많이 사용하는 일반적인 구조로 충격음 및 보행감의 평가에 기준이라 판단해서이다.¹⁾

[표 3] 측정시료의 개요

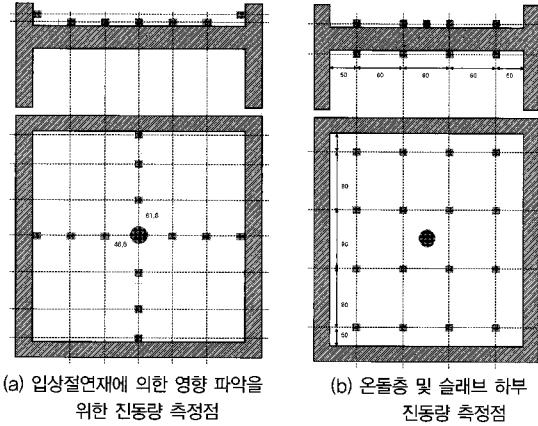
구분	인정구조의 두께(mm)	바닥구조 총두께(mm)	측정 항목	비고
A	50mm	100	Sound Pressure Level & Vibration Accelerometer Level(FFT, Time domain)	반건식*
B	40mm	110		습식(이중바닥구조)*
C	60mm	100	Sound Pressure Level & Vibration Accelerometer Level(FFT, Time domain)	반건식구조 (이중바닥구조)**
D	40mm	110		습식*
E	20mm	110	Sound Pressure Level & Vibration Accelerometer Level(FFT, Time domain)	습식*
F	-	-		나슬래브(150mm)



[그림 2] 건물에서의 중량충격음 전달경로

[그림 2]는 상부에서 충격원을 가진 하는 경우, 진동이 전달되는 경로를 나타낸 것으로 최종적으로 고체전달음이 공기전달음형태로 방사되는 부위는 벽면과 슬래브

1) * : 10mm두께의 고무재질 서포터가 설치, ** : 30mm두께의 고무재질 서포터가 설치



[그림 3] 온돌층 및 슬래브 하부의 진동량 측정점

하부가 된다. [그림 3]의 (a)는 벽면을 통해 전달되는 입상절연재의 영향을 파악하고 진동이 가했을 때 거리에 의한 변화를 파악하기 위해 선정한 12개의 측정점을 나타낸 것으로 가진시 상부층 벽면의 진동량과 하부층의 천장인 슬래브하부에서의 진동량은 거의 유사한 결과를 나타내었으나 본 연구에서는 제외하였다. 본 연구에서는 [그림 3]의 (b)의 측정점에서 평가한 진동가속도레벨을 위주로 하였다.

3. 측정결과

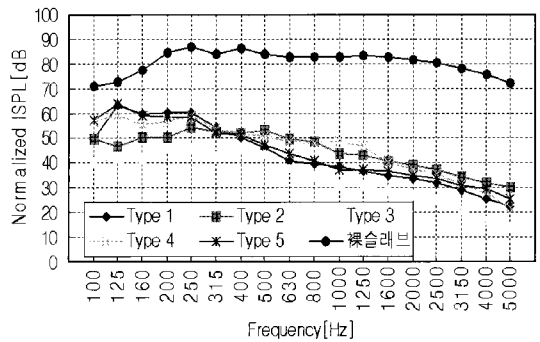
3.1 바닥충격음레벨분포

3.1.1 주파수대역별 분포

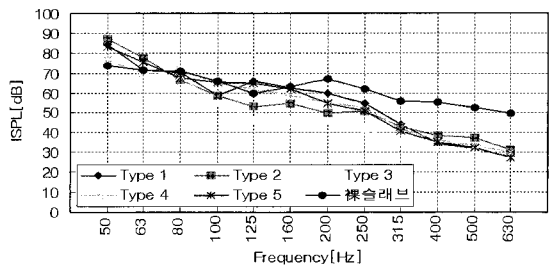
각 구조의 주파수대역별 충격음 차단성능의 차이는 경량충격음 및 중량충격음에 대해 각각 [그림 4]와 [그림 5]와 같다. 경량충격음의 경우, 나슬래브 측정결과와는 200Hz대역이상에서 거의 평탄한 것으로 나타나 일반적인 특성과 유사한 것으로 나타났다.

고무재질 서포터의 두께만 제외하고 동일한 구조인 구

조 B와 구조 C의 충격음 차단성능 특성은 거의 유사한 것으로 나타나 서포터의 두께가 충격음 차단성능에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 2종의 표준바닥구조(구조 A 및 구조 E)는 거의 유사한 특성을 나타내고 있다.



[그림 4] 각 구조별 주파수대역별 분포(경량충격음)



[그림 5] 각 구조별 주파수대역별 분포(중량충격음)

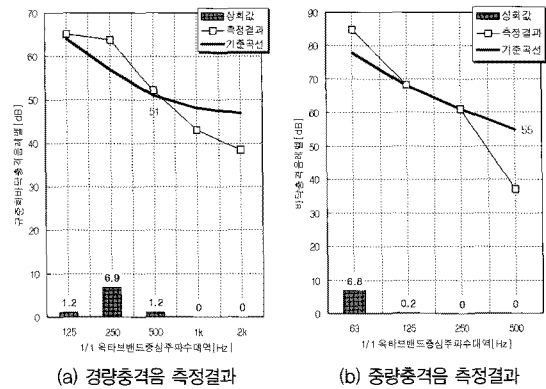
3.1.2 역A특성곡선에 의한 평가

측정대상구조간의 충격음 차단성능을 단일수치로 비교하기 위해서 역A특성곡선에 의해 평가를 하였다. 이와 동일한 구조를 현장에 샘플시공한 결과와 비교를 하였으며 <표 4>와 같다.

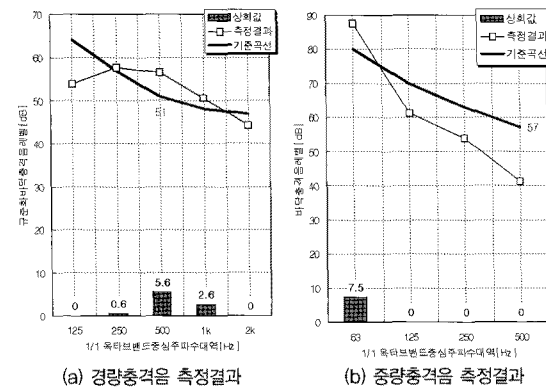
유사한 구속조건을 가지고 있는 것으로 판단한 침실에서의 측정결과를 대상으로 하였다. 경량충격음의 경우, 현장과 실험실간의 성능차이가 약 2~7dB로 다소 크게 나타났으나 중량충격음의 경우, 오히려 0~2dB로 차이가 크지 않는 것으로 나타났다.

[표 4] 단일수치에 의한 바닥구조간 차단성능 비교

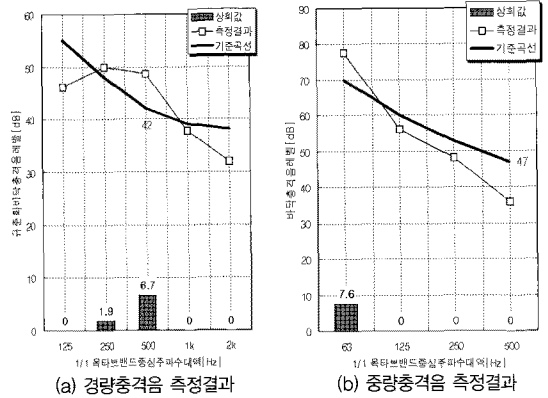
실험실	경량충격을 준발충격비	중량충격을 준발충격비	경량충격을 준발충격비	중량충격을 준발충격비
측정결과 (dB)	(dB)	측정결과 (dB)	(dB)	(dB)
구조 1	51	55	구조 1	-
구조 2	51	57	구조 2	-
구조 3	42	47	구조 3	47
구조 4	53	52	구조 4	46
구조 5	51	55	구조 5	53
나슬래브	87	57	나슬래브	-



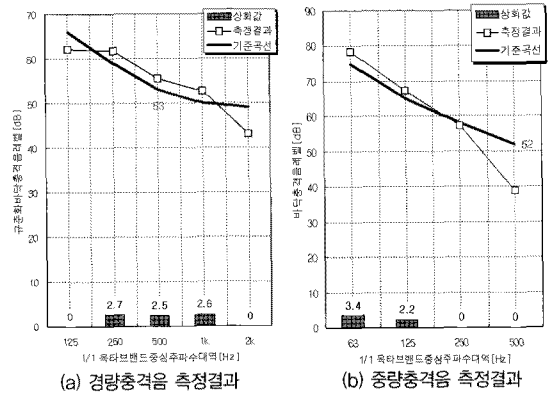
[그림 6] 구조 A의 역A평가



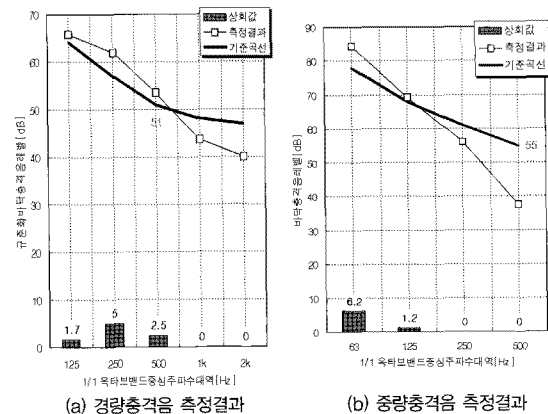
[그림 7] 구조 B의 역A평가



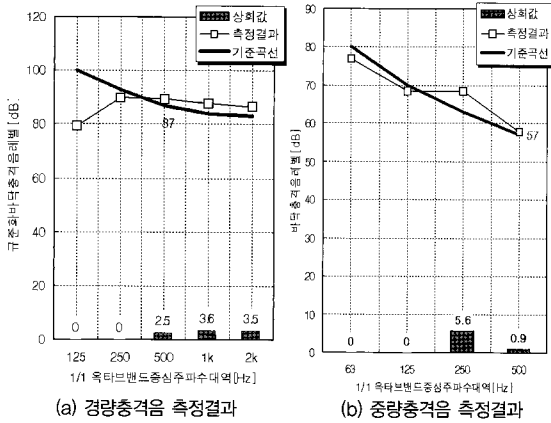
[그림 8] 구조 C의 역A평가



[그림 9] 구조 D의 역A평가



[그림 10] 구조 E의 역A평가



[그림 11] 구조 F의 역A평가

이와 같은 결과가 나타난 원인은 창호 및 슬리브 등에 의한 우회전달음 등의 영향인 것으로 판단되나 정확한 원인파악을 위해서 다양한 실험실 및 현장측정결과가 축적이 되고 상하층 세대간 공기전달음 차단성능 평가 등의 면밀한 조사가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

주파수대역별 분포 및 역A곡선에 의한 평가결과, 중량 충격음의 경우, 차단성능이 가장 우수한 구조 C에서도 50Hz 및 63Hz대역에서는 나슬래브구조보다 차단성능이 악화되는 것으로 나타났다. 구조 D는 50~80Hz대역에서 구조 C와 유사한 특성을 보이고 있으나 100Hz대역이상의 주파수대역에서 차단효과가 크지 않아 5dB의 차이가 발생하였다. 일반적으로 바닥구조 개발시 63Hz 대역에서의 저감에 많은 노력을 하나 63Hz대역에서의 충격음 저감뿐만 아니라 125Hz대역 이상에서의 충격음 저감이 되어야 우수한 차단성능을 확보할 수 있다.

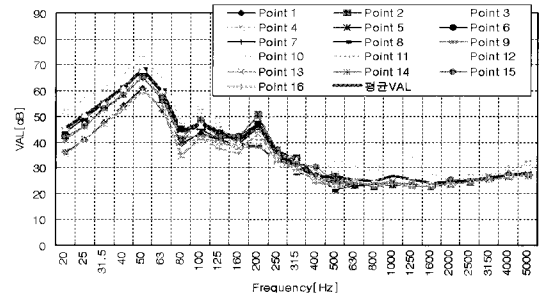
3.2 진동가속도레벨

3.2.1 슬래브하부의 진동가속도레벨 비교

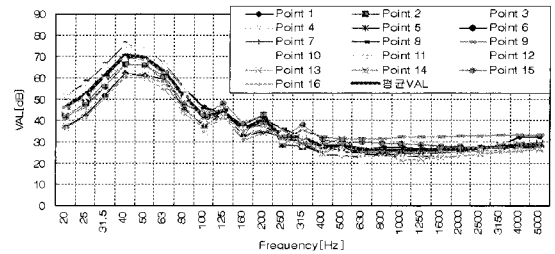
(1) Octave band 별 비교

[그림 12] ~ [그림 16]은 각 구조의 측정점 및 평균진동

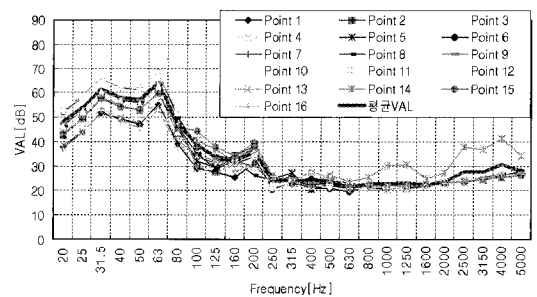
량을 나타낸 것으로 가진시 슬래브면 전체에서 진동이 발생하여 실내로 방사된다는 점과 측정규격에서 평균을 산출하는 점을 감안하여 에너지평균을 실시하였다.



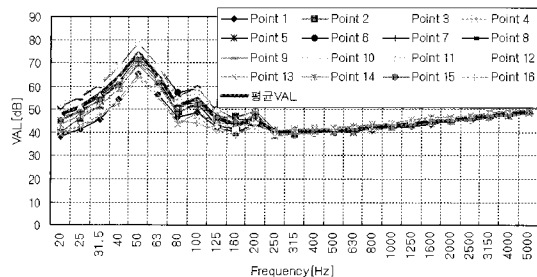
[그림 12] 구조 A의 진동가속도레벨 주파수대역별 분포



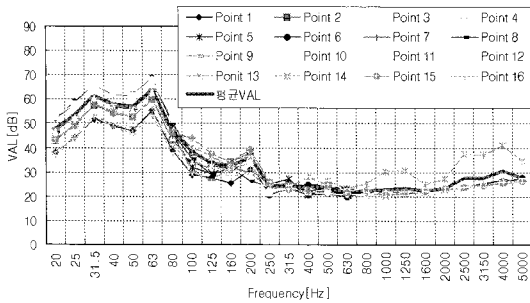
[그림 13] 구조 B의 진동가속도레벨 주파수대역별 분포



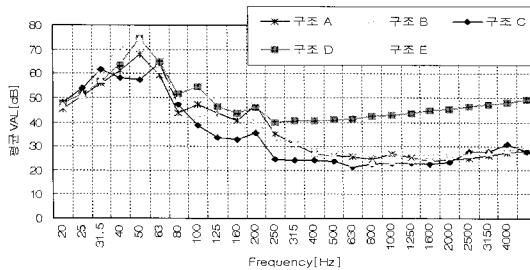
[그림 14] 구조 C의 진동가속도레벨 주파수대역별 분포



[그림 15] 구조 D의 진동가속도레벨 주파수대역별 분포



[그림 16] 구조 E의 진동가속도레벨 주파수대역별 분포

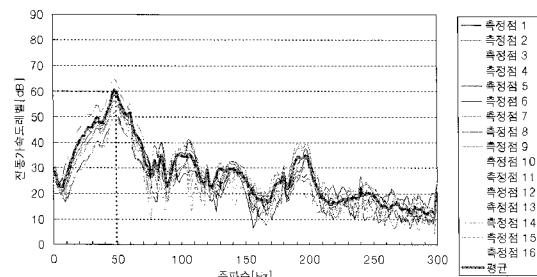


[그림 17] 구조별 진동가속도레벨 비교

[그림 17]은 각 구조별 평균진동량을 비교한 것으로 구조 A, 구조 D 및 구조 E의 경우, 50Hz대역에서 최대값을 나타내고 있으며 구조 B의 경우에는 40Hz대역, 구조 C의 경우에는 63Hz대역에서 최대값을 나타내고 있다.

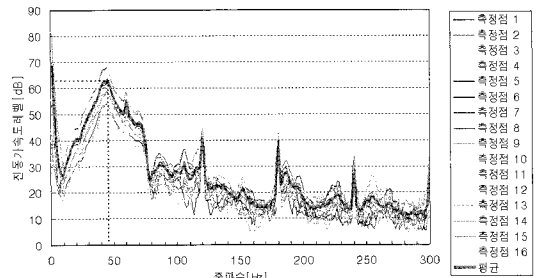
(2) Narrow band 별 비교

각 구조별 고유진동수를 파악한 결과는 [그림 18] ~ [그림 22]와 같다. 구조 A, B D 및 E에서 고유진동수가

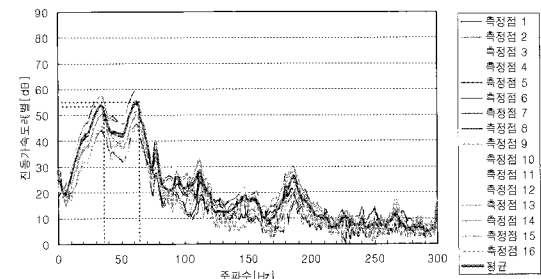


[그림 18] 구조 A의 고유진동수

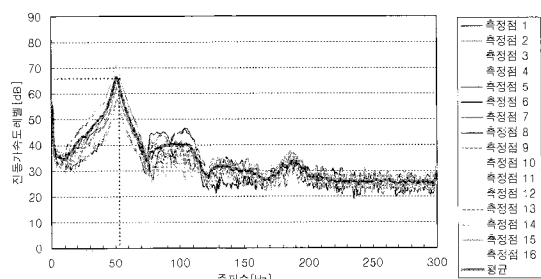
뚜렷하게 나타났으나 구조 C에서는 이러한 경향을 나타내지 않았으며 기타구조에 비해 차단성능이 향상된 원인인 것으로 판단된다.



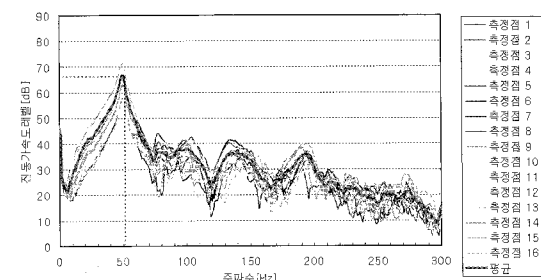
[그림 19] 구조 B의 고유진동수



[그림 20] 구조 C의 고유진동수



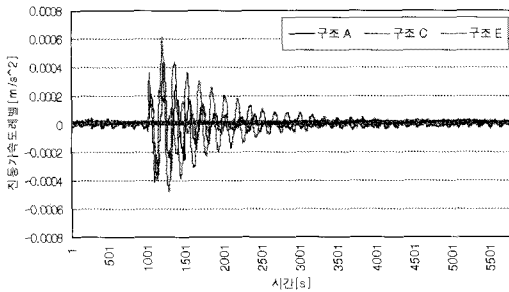
[그림 21] 구조 D의 고유진동수



[그림 22] 구조 E의 고유진동수

(3) 시료별 Time-domain 특성비교

기존의 바닥구조인 구조 E와 차단성능이 가장 우수한 구조 C의 가진시 거동특성을 각각 [그림 23]과 같다. 표준바닥구조용 완충재를 설치한 구조 E에서의 진동특성은 진폭이 크고 감쇠시간이 길게 나타났으며 구조 C의 경우, 진폭 및 감쇠시간이 크게 줄어든 것으로 나타났다. 표준바닥구조용 완충재 A의 경우, 구조 C에 비해 진폭의 크기에서는 차이를 보이거나 감쇠시간에서의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 감쇠시간 및 진폭의 크기가 충격을 차단성능에 미치는 영향에 대해서는 보다 많은 측정결과를 축적하고 면밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 23] 가진시 슬래브하부의 진동특성

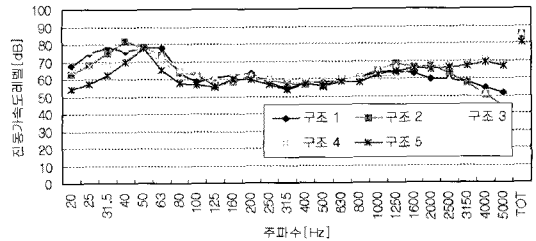
3.2.2 온돌층상부의 진동가속도레벨 비교

현재 많은 인정바닥구조의 개발현황은 습식, 반건식 및 이중바닥구조의 형태로 개발되고 있는데 관리기준상의 물리적 성능을 만족하는 범위내에서 개발되는 표준바닥구조용 완충재에 비해 정해진 기준이 없어 구조적 안정성, 장기 및 국부하중에 의한 처짐, 보형감 등에 있어 추가적인 검토가 필요한 실정으로 본 연구에서는 가진시 온돌층 상부에 발생하는 진동량을 측정하여 각 구조별 특성을 파악하였다.

일반적으로 시공하고 있는 구조 5를 기준으로 하여 구

조 1 ~ 구조 4의 진동특성을 비교한 결과는 [그림 24]와 같다. 진동량의 최대값을 나타낸 주파수대역은 슬래브 하부에서 측정된 고유진동수 측정결과와 유사하게 나타났는데 이는 일체화된 구조에 의해 서로 영향을 주고 있는 것으로 판단된다.

구조 5에 비교하여 나머지 구조에서 진동량이 크게 나타났음을 알 수 있는데 성능이 가장 우수하게 나타난 구조 C가 가장 높게 나타났음을 알 수 있다. 이와 같은 특성이 서포터를 사용하는 구조가 가지는 일반적인 경향인지 파악하기 위해서는 유사한 구조에 대한 추가실험이 반드시 필요하나 분명한 특성의 차이가 있는 것으로 나타났다.



[그림 24] 각 구조별 온돌층 상부의 진동가속도레벨 비교

4. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 동일한 소재로 제작된 고무재질 서포터의 두께를 조절한 구조의 충격을 차단성능을 평가한 결과, 충격을 차단성능 특성은 거의 유사한 것으로 나타나 서포터의 두께가 충격을 차단성능에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.
2. 측정대상구조간의 충격을 차단성능을 단일수치로 비교하기 위해서 역A특성곡선에 의해 평가하고 유사한 구조조건을 가지고 있는 것으로 판단한 침실에서 측정결과와 비교한 결과, 경량충격음의 경우 현장과 실험실간의 성능차이가 역

2 ~ 7dB로 다소 크게 나타났으나 중량충격음의 경우, 오히려 0 ~ 2dB로 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과가 나타난 원인은 창호 및 슬리브 등에 의한 우회 전달음 등의 영향인 것으로 판단되나 정확한 원인파악을 위해서 다양한 실험실 및 현장측정결과가 축적이 되고 상하층 세대간 공기전달음 차단성능 평가 등의 면밀한 조사가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

3. 슬래브하부의 진동량 측정은 충격음레벨 측정결과와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있는데 실의 장단변비나 형상에 의해 측정결과에 영향을 받는 경우, 진동량측정만으로 구조의 특성을 파악이 가능할 것으로 판단된다. 또한 충격음이외에 우회전달음이나 기타 측정에 영향을 줄 수 있는 소음을 배제하고 구조의 차단성능을 평가할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 이중바닥구조형태의 반건식 구조의 경우, 습식구조에 비해 고유진동수가 뚜렷하지 않은 경향을 보이는데 이는 물리적 특성이 상이한 구조가 복합화되어서 나타나는 특성인 것으로 판단된다.

5. 가진시 바닥구조의 거동특성을 시간축으로 설정하여 측정된 결과, 차단성능을 좌우하는 뚜렷한 특성은 가진시 진폭의 크기와 감쇠시간인 것으로 나타났다. 표준바닥구조용 완충재를 설치한 구조 E에서의 진동특성은 진폭이 크고 감쇠시간이 길게 나타났으며 구조 C의 경우, 진폭 및 감쇠시간이 크게 줄어든 것으로 나타났다. 표준바닥구조용 완충재 A의 경우, 구조 C에 비해 진폭의 크기에서는 차이를 보이나 감쇠시간에서의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 감쇠시간 및 진폭의 크기가 충격음 차단성능에 미치는 영향에 대해서는 보다 많은 측정결과를 축적하고 면밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

6. 인정바닥구조의 가진시 온돌층 상부에서의 진동특성을 파악한 결과, 일반적으로 시공하는 구조 5에 비교하여 나머지 구조에서 진동량이 크게 나타났음을 알 수 있는데 성능이 가장 우수하게 나타난 구조 C가 가장 높게 나타났음을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 바탕으로 사용성과의 비교검토를 통해 보행감에 대한 자체적인 판단기준을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 折笠輝雄, 重量衝撃音の實務的解析方法に關する研究, 清水建設研究報告書, 1986.11.
2. 日本建築學會, 建物の遮音設計資料, pp120~pp155, 1988.8.
3. 橋本 典久, 新擴散度法による床衝撃音豫測計算法, pp3~pp5, 2007.2
4. 김흥식의 1인, (2002.10), "표준충격원에 의한 바닥구조체 및 수음실의 진동응답 특성에 관한 연구" 대한건축학회논문집 계획계 18권 10호(통권168호), pp227~pp234.
5. 김명준외 2인, (2003.1), "수음실내 구조체의 진동량 계측을 통한 바닥충격음레벨 예측", 한국소음진동공학회 논문집 제13권 제1호, pp3~pp9.
6. 서상호외 2인, (2004.8), "완충재 유무에 따른 표준중량충격원에 의한 콘크리트 바닥 구조의 소음 및 진동특성", 한국소음진동공학회 논문집 제14권 제8호, pp661~pp667.
7. 류종관외 2인, (2005.5), "공동주택 생활소음의 통합 평가등급 설정", 한국소음진동공학회 춘계학술대회는문집, pp367~pp371.
8. Ver, I.L. and Beranek, L.L., 1992, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley and sons, pp328 ~ pp337.
9. 건설교통부, (1998.12), "공동주택 바닥방시시스템 개발 및 실용화연구", R&D/96-0128, 대한주택공사.
10. 서상호외인(2005), "유한요소법을 이용한 나슬래브의 2차원 바닥충격진동 해석", 한국소음진동공학회 논문집 제 15권 제 5호, pp604~pp611.
11. 建築音響と騒音防止計劃, pp61~pp65
12. 정영외 1인, (2006), "제진재가 삽입된 바닥구조의 진동특성에 대한 실험연구" 한국소음진동공학회논문집 제16권 제10호, pp1036~1043.