

바닥충격을 저감용 단열완충재 개발 연구

1970년대부터 건설되기 시작하여 1980년대 본격적으로 보급되기 시작한 '아파트'는 1990년대 후반 들어 양적인 팽창의 한계를 드러내기 시작하면서 그동안 간과했던 소음, 실내공기질 등과 같은 실내환경에 대한 요구가 서서히 부각되기 시작했다. 그 중 상하층 사이 슬래브만을 경계로 하는 아파트에서 필연적으로 발생하는 바닥충격음은 해결해야 할 우선과제가 되었다.



01 서론

1970년대부터 건설되기 시작하여 1980년대 본격적으로 보급되기 시작한 '아파트'는 1990년대 후반 들어 양적인 팽창의 한계를 드러내기 시작하면서 그동안 간과했던 소음, 실내공기질 등과 같은 실내환경에 대한 요구가 서서히 부각되기 시작했다. 그 중 상하층 사이 슬래브만을 경계로 하는 아파트에서 필연적으로 발생하는 바닥충격음은 해결해야 할 우선과제가 되었다.

이러한 사회적 요구에 따라 정부차원에서 그동안 정성적인 규정으로만 존재하던 주택법을 경량충격음 58dB, 중량충격음 50dB로 하는 정량적인 규정으로 개정하였다.

그리고 슬래브 두께와 온돌구성층을 규정한 시방규정도 함께 제시하였으며, 이러한 시방규정을 따르지 않는 바닥구조에 대해서

는 1급~4급까지의 인정을 받을 수 있도록 하였다.

이에 본 원고에서는 기존 기술현황을 인정바닥구조를 중심으로 살펴보고, 당사와 청도맥반석이 공동개발하여 2005년 11월 8일 건설신기술 제472호로 인정받은 사운드제로플러스시스템 (Soundzero Plus System)의 바닥충격음 차단성능을 개선하여 한국건설기술연구원에 성능인정에 앞서 자체적으로 실시한 간이 실험 연구에 대하여 소개하고자 한다.

02 인정바닥구조 현황

건설교통부고시 제2005-189호에 의한 바닥충격음 차단성능 인정기관인 한국건설기술연구원과 대한주택공사에서 2006년 1월 말까지 인정받은 업체 및 바닥구조 현황은 <표 1>과 같다.

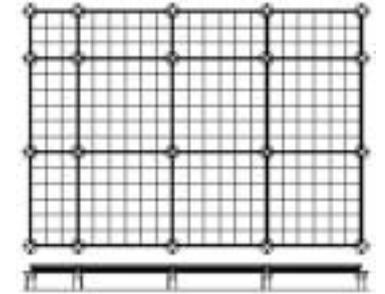
표 1 | 바닥충격음 차단구조 인정 현황

(a) 한국건설기술연구원

인정업체	바닥구조명	두께		성능등급	
		ALL	SLAB	경량	중량
금강하이텍	EO2-150 System	268	150	1급	4급
삼성물산	EO2-180 System	300	180	1급	-
	LG히트릭스 Type-1	237	180	4급	-
LG화학	LG히트릭스 Type-2	227	180	3급	-
	LG히트릭스 Type-3	271	150	4급	-
	LG히트릭스 Type-4	268	150	2급	4급
	LG히트릭스 Type-5	298	180	1급	-
	LG 반간식 Type-1	280	180	1급	4급
	LG 반간식 Type-1	250	150	2급	4급
에코마이스터	PS Ball 구조 1	322	180	3급	-
	PS Ball 구조 1	312	180	3급	-
에이비에이	에어보드 PTE-180	288	180	3급	-
	에어보드 PTE-150	278	150	2급	-
LG화학	LG히트릭스 Type-6	257	180	3급	-
삼성물산	LG히트릭스 Type-7	277	180	4급	-
중앙CMI	코로바온돌150-1	270	150	3급	-
	코로바온돌150-2	247	150	1급	-
해피론이엔지	해피시스템	291	180	2급	4급
오이에스	XO2-150 System	262	150	1급	3급

(b) 대한주택공사

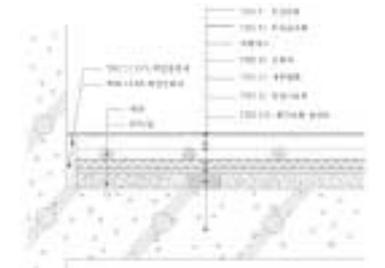
인정업체	바닥구조명	두께		성능등급	
		ALL	SLAB	경량	중량
삼세대시공	SSD방진구조	300	180	1급	2급
영보화학	P-ZEN 165 System	275	165	2급	-
금강하이텍					
양아산업	이중공기층 구조	266	165	3급	4급



<XO2-150 System 평면과 단면>

2) SSD 방진구조 (경량1급, 중량2급)

바닥구조 두께	슬래브 두께	바닥구조 구성
300mm	180mm	풍산마루 8mm 시멘트모르타 50mm 완충재(Non Noise Pad) 20mm 내수합판 12mm 방진고무마운트 30mm (공기층/EVA충진) 콘크리트 슬래브 180mm 천장구조 : 석고보드9.5mm + 경량철골천장틀70mm

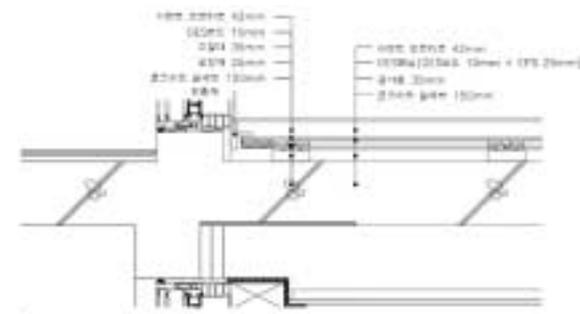


<SSD 방진구조 바닥구조 단면도>

상기의 인정바닥구조 중 각 인정기관에서 최고의 등급을 부여받은 바닥구조 1개씩을 각각 소개하면 다음과 같다.

1) XO2-150 System (경량1급, 중량3급)

바닥구조 두께	슬래브 두께	바닥구조 구성
262mm	150mm	시멘트모르타 42mm OES패널(OES보드 10mm + EPS 25mm) 공기층 35mm 콘크리트 슬래브 150mm 천장구조 : 석고보드9.5mm+경량철골천장틀70mm



<XO2-150 System 바닥구조 단면도>

이러한 인정바닥구조의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- ① 현재까지 인정바닥구조는 모두 벽식구조를 대상으로 하고 있다.
- ② 온돌구성층의 구조를 변화시킴으로써 경량충격음 차단성능은 1급까지 확보할 수 있다.
- ③ 슬래브 두께를 150mm에서 180mm까지 두껍게 한다고 하더라도 중량충격음 차단성능이 반드시 향상된다고 할 수는 없다.
- ④ 유사한 바닥구조라 하더라도 측정장소 및 측정기관에 따라 평가등급이 달라질 수 있다.
- ⑤ 바닥충격음 차단성능이 우수한 바닥구조 형식은 방진마운트를 설치하여 온돌구성층으로부터 전달되는 충격진동을 효과적으로 제어할 수 있도록 하는 이중바닥구조로 나타났다.

특히 이러한 이중바닥구조는 현재 가격이 비싸고, 시공성이 기존 공법과 비교하여 공사기간이 길어질 뿐만 아니라 실제 시공에 따른 기술적인 사항이 정립되어 있지 않고, 바닥구조에 요구되는 열관류율을 만족하기 위해서는 별도의 단열처리를 해야 하는 등 바닥충격을 차단능성이 우수하다는 것만으로 실제 현장에 적용할 수는 없는 상황이다.

03 단열완충재 성능시험

3-1. 간시험 내용 및 방법

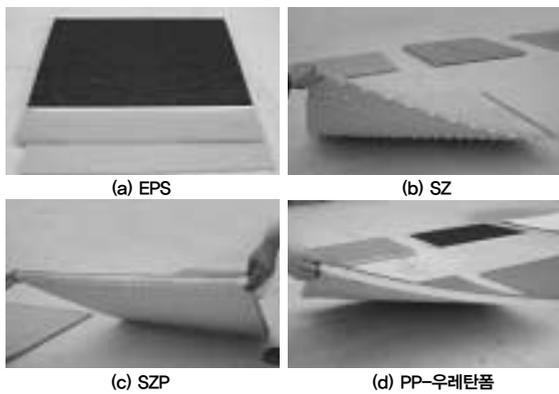
바닥충격을 차단성능 1급을 목표로 인정바닥구조를 개발하기 위하여 발포 EVA와 우레탄폼보드를 일체로 적용하는 것을 기본 원리로 하여 <표 2> 및 <그림 1>과 같은 구성으로 바닥구조의 바닥충격을 차단성능에 대한 모르터 시험편을 이용한 성능시험을 실시하였다.

이 때 수음실은 외부와 통하는 창 및 문을 밀폐할 수 있는 샘플룸으로 하였으며, 그 직상부를 음원실로 하여 두께 40mm, 크기 1.0m×1.0m 모르터 시험편을 거실 중앙에 설치하고 콘크리트 슬래브와 모르터 시험편 사이에 단열완충재(크기 1.0m×1.0m)를 교체 설치하는 방법으로 시험을 실시하였다.

표 2 | 시험대상 단열완충재의 종류 및 구성

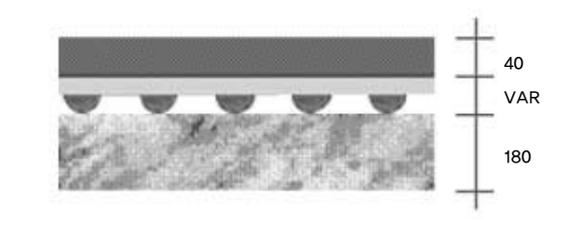
번호	명칭	구 성	두께(mm)
1	EPS	비드법 보온판(KS2호)	20
2	SZ	발포EVA	20
3	SZP	발포EVA + 우레탄폼	40
4	SZ-R	SZ + (PP-우레탄폼, 50)	70
5	SZP-R	SZP + (PP-우레탄폼, 30)	70
6	S-SZP	PE + SZP	45
7	S-SZ-R	PE + SZ-R	75
8	S-SZP-R	PE + SZP-R	75

그림 1 | 시험대상 단열완충재의 종류



측정 대상실의 바닥구조는 <그림 2>와 같이 두께 180mm 콘크리트 슬래브로 되어 있으며, 전체 단면구성은 단열완충재와 40mm 두께의 모르터 시험편으로 구성하였다.

그림 2 | 측정 대상 바닥구조 단면



음원실에서의 충격음 발생 및 수음실에서의 측정은 <그림 3>에 나타나 있듯이 거실 중앙 1곳만을 대상으로 하였으며, 수음실에서 마이크로폰의 설치높이는 1.2m로 하여 3번 측정값의 평균값을 이용하였다.

그림 3 | 바닥충격을 발생 및 측정

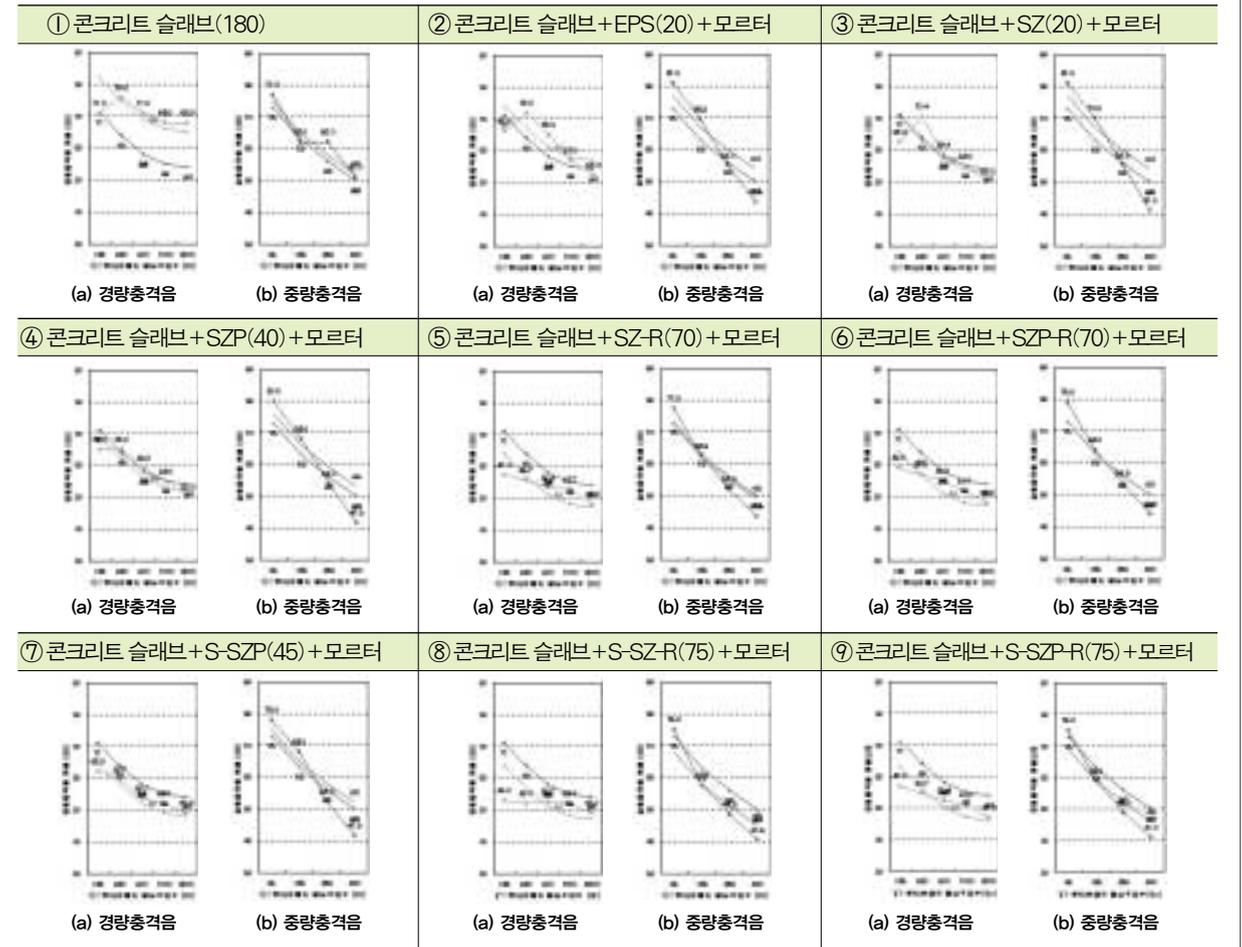


3-2. 바닥충격을 측정 및 분석

1) 단열완충재 종류별 측정결과

앞의 <표 2>에 나타나 있는 8가지 바닥구조 구성에 대하여 거실 중앙 1곳을 대상으로 경량충격음과 중량충격음을 측정된 결과를 규제기준에 해당하는 각 주파수별 바닥충격음 레벨과 비교한 결과는 각각 다음과 같다.

단, 이 때 경량충격음은 수음실의 잔향시간을 고려한 균준화 바닥충격음레벨이 아니라 측정결과만을 이용하였다.



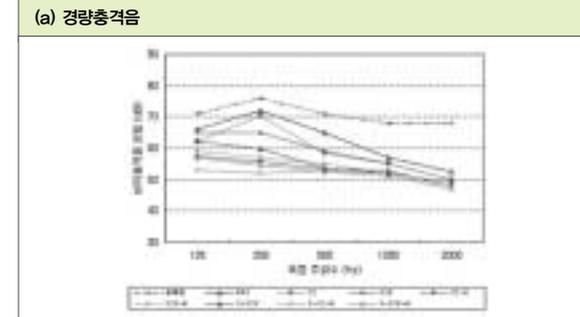
2) 측정결과 분석

각 바닥구조 구성별 바닥충격음 측정결과를 종합하면 <그림 4>와 같다. 전체적으로 완충재 설치에 따라 콘크리트 슬래브만 있을 때 보다 경량충격음 레벨은 낮아지는 것으로 나타났으나, 중량충격음 레벨은 저주파수 대역에서 오히려 증가하는 것으로 나타났다.

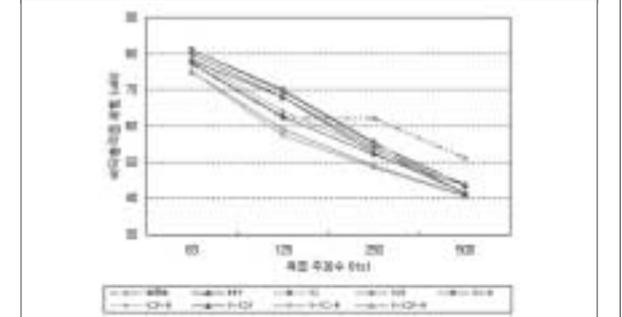
① 경량충격음 측정결과 분석

상기의 <그림 4>(a)에 나타나 있는 경량충격음 레벨을 분석해 보면 일반적인 단열재 또는 완충재인 EPS와 발포EVA(SZ)를 설치한 경우 전주파수 대역에서 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 250Hz 대역에서 상대적으로 큰 값으로 나타났다.

그림 4 | 바닥충격을 차단구조 인정 현황



(b) 중량충격음



한편, 발포EVA(SZ)와 우레탄폼을 일체화시킨 SZP는 250Hz 대역에서 전자보다 5dB 이상의 저감효과를 볼 수 있어 전체적으로 저감효과가 향상되는 것으로 나타났으며, SZP 하부에 연질우레탄 소재의 스펀지를 설치(S-SZP)할 경우 그렇지 않은 경우와 비교하여 전주파수 대역에서 3dB 이상의 저감효과를 더 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

두께 20mm의 SZ 또는 두께 40mm의 SZP를 설치하고 그 상부에 연질우레탄 소재의 스펀지와 우레탄폼으로 이루어진 우레탄폼 복합체(SZ-R 또는 SZP-R)를 설치하여 총 두께 70mm를 구성한 구조의 경우 전주파수 대역에 걸쳐 60~50dB 정도의 분포를 보이는 완만한 직선형태로 나타나 상기의 구성들보다 저감효과가 우수한 것으로 확인되었으며, 추가적으로 연질우레탄 소재의 스펀지를 설치(S-SZ-R 또는 S-SZP-R)할 경우 그렇지 않은 경우보다 125Hz, 250Hz 대역에서 3~4dB 정도 저감효과를 더 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 결과적으로 연질우레탄 소재의 스펀지, 발포EVA, 연질우레탄 소재의 스펀지와 우레탄폼으로 이루어진 우레탄폼 복합체(S-SZ-R)로 이루어진 총 두께 75mm 단열완충재가 전주파수 대역에서 50dB 정도의 직선에 가까운 형태로 나타나 가장 우수한 저감효과가 있음을 확인하였다.

② 중량충격음 측정결과 분석

다음으로 <그림 4>(b)에 나타나 있는 중량충격음 레벨을 분석해 보면 콘크리트 슬래브의 경우에는 125Hz와 250Hz에서 유사한 값을 나타내는 계단식 형태를 보이는 반면, 완충재를 설치한 경우에는 63Hz에서 500Hz까지 직선형태로 감소하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 그리고 콘크리트 슬래브와 비교하여 완충재를 설치한 경우 63Hz와 125Hz에서 오히려 큰 값을 나타내고 있는데, 이는 중량충격원 타격시 고정되지 않은 모르타 시험편이 충격에 의하여 튀어 오르는 효과에 기인한 것으로 여겨지며, 정확한 원인 규명은 전체 바닥을 실제 시공한 이후 측정된 결과와 비교를 통해 규명할 필요가 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 이용되고 있는 두께 20mm 단열재(EPS) 및 완충재(SZ)는 거의 유사한 레벨로 나타나 경량충격음 저감효과가 있는 완충재라 하더라도 중량충격음 저감효과는 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 두께 40mm 단열완충재(SZP)의 경우 전주파수 대역에서 1dB 정도의 저감효과가 있는 것으로 나타났

으며, 특히 하부에 연질우레탄 소재의 스펀지를 설치할 경우 (S-SZP) 1dB 정도 더 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 두께 20mm의 SZ 또는 두께 40mm의 SZP를 설치하고 그 상부에 연질우레탄 소재의 스펀지와 우레탄폼으로 이루어진 우레탄폼 복합체(SZ-R 또는 SZP-R)를 설치하여 총 두께 70mm를 구성한 구조의 경우 63Hz와 125Hz에서 콘크리트 슬래브만 있을 때와 비슷한 값을 보이고 있으며, 250Hz와 500Hz에서는 훨씬 저감되는 값으로 나타나 중량충격음 차단 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

그러나 중량충격음 차단성능을 확보하기 위해서는 63Hz에서의 값을 저감시킬 필요가 있는데, 이것은 SZ-R 또는 SZP-R 하부에 연질우레탄 소재의 스펀지를 설치(S-SZ-R, S-SZP-R)함으로써 콘크리트 슬래브와 비교하여 63Hz와 125Hz에서 2~3dB 정도 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

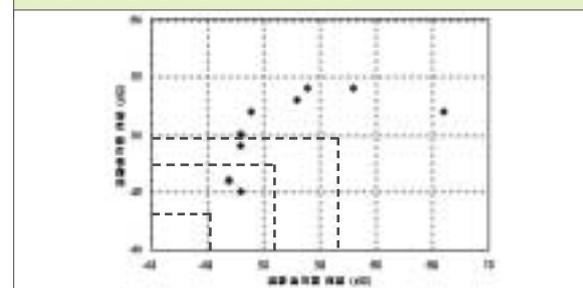
③ 단일수치평가량

이와 같이 현장의 샘플룸에서 실시한 성능시험 결과를 이용하여 단일수치평가량을 구하면 <표 3>, <그림 5>와 같다. 여기서 경량충격음에 대한 단일수치평가량을 구할 때 수음실의 흡음력은 고려하지 않았다.

표 3 | 단열완충재 종류별 단일수치평가량

번호	명칭	두께(mm)	단일수치평가량(dB)	
			경량	중량
1	슬래브	180	69	52
2	EPS	20	61	54
3	SZ	20	57	54
4	SZP	40	56	53
5	SZ-R	70	51	49
6	SZP-R	70	51	50
7	S-SZP	45	52	52
8	S-SZ-R	75	51	45
9	S-SZP-R	75	50	46

그림 5 | 단열완충재 종류별 단일수치평가량



상기의 <그림 5>에 나타나 있듯이 경량충격음 규제기준 58dB을 만족하지 않는 구조는 콘크리트 슬래브와 EPS이며, 그 외 다른

구조는 모두 만족하는 것으로 나타났다.

그리고 중량충격음 규제기준 50dB 까지 만족하는 구조는 두께 70mm 이상 구조인 SZ-R, SZP-R, S-SZ-R, S-SZP-R의 4가지 종류로써 단열완충재의 재료 구성과 두께를 조정함으로써 중량충격음 차단성능을 어느 정도 개선할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 이와 같이 규제기준을 만족한다고 하더라도 <표 4>와 같이 “공동주택의 바닥충격음 차단구조인정 및 관리지침”(건설교통부 고시 제2005-189호, 2005.06.30)에 바닥충격음 차단성능 등급이 설정되어 있는 상황에서는 기술적인 선택이 필요할 경우 최소한 2급 이상, 가능하면 1급을 확보해야 할 것으로 예상된다.

표 4 | 바닥충격음 차단성능 등급 기준

등급	경량충격음	중량충격음
1급	43dB 이하	40dB 이하
2급	43dB 초과 48dB 이하	40dB 초과 43dB 이하
3급	48dB 초과 53dB 이하	43dB 초과 47dB 이하
4급	53dB 초과 58dB 이하	47dB 초과 50dB 이하

따라서 상기의 <그림 5>에 나타나 있는 단일수치평가량을 등급 구분에 따라 살펴보면 20mm 또는 40mm 완충재는 경량충격음 규제기준은 만족하지만 4급 수준이며, 중량충격음은 규제기준도 만족하지 못하고 있다.

그러나 40mm 완충재 하부에 연질우레탄 소재의 스펀지를 설치할 경우 경량충격음 차단성능을 3급까지 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 SZ와 SZP 상부에 연질우레탄 소재의 스펀지와 우레탄폼으로 이루어진 우레탄 복합체를 설치하여 두께 70mm 단열완충재를 구성한 구조(SZ-R, SZP-R)의 경우 경량충격음 차단성능은 3등급 수준을 만족하며, 중량충격음 차단성능은 규제기준을 만족하는 수준으로 나타났다.

특히 그 하부에 연질우레탄 소재의 스펀지를 설치한 구조(S-SZ-R, S-SZP-R)의 경우 S-SZP 구조와는 달리 경량충격음 차단성능에 대한 개선효과는 거의 없지만 중량충격음 차단성능을 3급까지 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

04 결론

이상과 같이 바닥충격음 차단성을 위하여 발포EVA와 우레탄폼을 적용하는 것을 기본 원리로 하여 모르타 시험편을 이용한 성능시험을 현장의 샘플룸에서 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 실험에서는 표준바닥구조에 일반적으로 사용되는 단열재인 EPS와 완충재인 발포EVA를 대조군으로 선정하였으며, 인정바닥구조용 단열완충재의 구성은 발포EVA와 우레탄폼을 적용하는 것으로 기본으로 하고 연질우레탄 소재의 스펀지를 슬래브와 단열완충재 하부에 삽입하는 것을 기본으로 하였다.
- (2) 바닥충격음의 측정은 골조공사가 어느 정도 완료된 현장에 구성된 샘플룸에서 실시하였으며, 수음실은 입주 전과 유사한 상태로 구성된 샘플룸으로 하고, 음원실은 샘플룸 상부로 선정하였다. 시험편의 설치는 거실 중앙에 모르타 시험편을 위치시키고, 슬래브와 모르타 시험편 사이에 단열완충재를 교체 설치하는 방법으로 진행하였다. 바닥충격음은 음원실의 거실 중앙 1곳에서만 발생시키고, 측정 또한 수음실의 거실 중앙에서만 3회 측정하여 그 평균값을 이용하였다.
- (3) 경량충격음 차단성능은 두께 20mm 발포EVA 완충재로도 규제기준 58dB을 충분히 만족하는 것으로 나타났으나, 중량충격음 차단성능은 단열완충재의 두께가 최소한 70mm 이상은 확보되어야 규제기준 50dB을 만족하는 것으로 나타났다.
- (4) 특히 단열완충재의 물성과 구성을 변화시킴으로써 5dB 이상의 향상효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.
- (5) 향후 이러한 단열완충재의 물성과 구성에 대한 추가적인 연구 및 인정바닥구조 추진, 단위세대 실제 시공을 통한 현장 적용성 및 시공성 평가 등을 진행할 예정이다. S

◎ 참고문헌

1. 건설교통부, 「공동주택 바닥충격음 완화를 위한 표준바닥구조의 설계·시공기술 및 활용방안 연구」, 2004
2. 김경우 외, 「완충재 적용현장에서의 바닥충격음 차단성능 현황 분석」, 한국소음진동공학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp.53·58
3. 이종근, 「공동주택의 바닥충격음 저감성능에 관한 연구」, 한국생태환경건축학회 논문집 Vol.3, No.3, pp.277·34, 2003.09
4. 양관선, 「공동주택의 바닥충격음 차단성능 현황과 성능향상 방향」, 한국소음진동공학회 2004년도 춘계학술대회논문집, pp.57·62
5. 박영석, 「시험시공을 통한 공동주택 바닥충격음 저감재의 성능평가」, 대한건축학회 학술발표논문집 제23권 제2호, pp.647·650, 2003.10
6. 박선호 외, 「현장시험을 통한 바닥충격음 저감재의 성능평가 및 공동주택의 바닥충격음 저감방안」, 대한건축학회 학술발표논문집 제22권 제2호, pp.753·756, 2002.10
7. 건설교통부 고시 제2005-189호, 「공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리지침」, 2005.06.30