

# 벽식구조 공동주택의 바닥충격음 개선에 대한 연구

## A Study on the Improvement of the Floor Impact Sound Insulation Performance in Wall Slab Type Apartment

김 선 우\*

Kim, Sun-Woo

### Abstract

Floor impact sound has been most annoying for years among the noises which are produced in apartment. This study aims to analyze the improvement of floor impact sound by comparing the results of the test which was carried out for the wall slab type apartment and moment frame apartment, and also for the effect of advanced vibration isolation layer. Moment frame structure that main structure consists of column and slab has shown better performance for the heavyweight impact sound comparing with wall slab type structure which is general type in Korea. Stiffness of floor system was raised by reinforcing the stiffness of vibration isolation layer, and it was analyzed how much the floor impact sound performance was improved. The result showed that the reinforced floor had better performance than the existing floor system that uses lightweight porous concrete as vibration isolation material. In addition, a system used wire mesh in mortar showed improvement of floor impact sound than a system without wire mesh, and better performance for the frequency bands lower than 160 Hz which causes floor impact problem in wall slab type apartment.

키워드 : 벽식구조, 모멘트골조, 바닥충격음, 차음성능개선

Keywords : Wall slab type apartment, Moment frame apartment, Floor impact sound, Sound insulation performance improvement

### 1. 서 론

지난 1961년 대한주택공사가 서울 마포지구에 도화 아파트를 건설한 이후 우리나라 아파트 도입 기간이 50년이 지나고 있다. 인구의 도시집중 및 지가의 상승 등으로 인해, 좁은 대지에 다수의 주거를 확보할 수 있는 공동주택은 현재 우리나라의 가장 보편적이고 대표적인 도시 주거 양식이 되었다. 2005년도에 아파트는 전국의 1,322만 3천 가구 가운데 모두 696만 3천 가구로 전체주택의 52.7%를 차지, 단독주택 426만 4천 가구(32.2%)를 20.5% 추월한 것으로 조사되었고<sup>1)</sup>, 2011년도에는 전국의 17,339,558가구 가운데 공동주택이 9,920,238 가구로 57.2%를 차지하고 있으며 광주광역시의 경우에는 공동주택이 65%를 차지 단독주택 33.8%에 비해 30%를 초과하는 것으로 조사되었다<sup>2)</sup>.

그런데 이와 같이 우리나라의 대표적인 주거형태라고 할 수 있는 공동주택은 구조적으로 각 세대가 벽과 바닥을 공유하고 있기 때문에, 필연적으로 여기에 수반되는 제반 문제가 나타나게 되는데 그 대표적인 것이 세대간 소음과 진동의 문제라고 할 수 있다.

표 1은 공동주택 내부소음원 중에서 가장 문제가 되는 소음원과 그 지적율이 조사 시기에 따라 변화하는 추이를 정리한 결과이다. 표의 내용 중 1986년 조사는 본 연구자가 대한주택공사의 의뢰를 받아 서울, 광주, 대구, 대전 지역에 위치하고 있는 공동주택 2,825세대를 선정하여 설문 조사한 결과이고, 1994년과 1996년 그리고 2010년도의 조사는 광주광역시에 소재하고 있는 공동주택 거주자를 대상으로 조사한 결과이다. 표에서와 같이 25년의 조사시기의 차이에도 불구하고 아이들 뛰노는 소리로 대표되는 “바닥충격음”에 대한 지적율이 가장 높고, 욕조급배수, 변기급배수 등으로 대표되는 “설비소음”에 대한 지적율이 높음을 알 수 있다. 그리고 이러한 지적율이 50% 내외에 이르고 있어, 공동주택에서의 바닥충격음에 대한 대책이 중요함을 알 수 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 바닥충격음에 대한 차음성능 개선방안을 모색하기 위하여 바닥충격음의 특성과

\* 전남대학교 건축학부 교수, 공학박사 (swk@jnu.ac.kr)

이 논문은 2009년도 전남대학교 학술연구비(연구년교수연구비) 지원과 2011년도 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단).

1) 국토해양부, '05년도 주택보급율, 유형별 주택현황  
2) 국토해양부, '11년도 통계연보, 행정구역별 주택유형

영향요소를 분석하고 영향요소 상호간의 관계를 파악한 뒤, 영향요소 중 완충층의 강성을 보완함으로써 바닥충격음에 대한 차단성능을 개선하는 방안을 제시하고 그 효과를 검증하고자 하였다.

표 1. 조사시기별 주거환경소음에 대한 피해 순위

조사 시기 순위	1986년 <sup>3)</sup>	1994년 <sup>4)</sup>	1996년 <sup>5)</sup>	2010년 <sup>6)</sup>
1	아이들 뛰노는 소리 (46.7%)	아이들 뛰노는 소리 (51.1%)	아이들 뛰노는 소리 (58.4%)	윗집 아이들 뛰노는 소리 (48.1%)
2	욕조 급배수음 (42.8%)	변기 급배수음 (50.9%)	욕실 급배수음 (49.6%)	현관문 여닫는 소리 (47.0%)
3	계단, 복도의 발자국 소리 (41.4%)	욕실 급배수음 (49.7%)	변기 급배수음 (49.5%)	욕실물 급배수 소리 (46.6%)
4	변기 급배수음 (38.6%)	승강기 운행소음 (45.2%)	베란다 물 내리는 소리 (39.5%)	변기물 급배수 소리 (45.0%)
5	현관문 여닫는 소리 (32.9%)	베란다 물 내리는 소리 (41.3%)	피아노 또는 악기소리 (33.8%)	계단, 복도의 발자국 소리 (44.9%)
6	쓰레기 버리는 소리 (31.1%)	피아노 또는 악기소리 (36.1%)	현관문 여닫는 소리 (29.9%)	화장실 변기 소음 (41.7%)

## 2. 바닥충격음 영향요소

바닥충격음 발생에 관계되는 요인은 크게 충격원, 바닥구조, 수음실의 3가지 영향요소로 대별할 수 있다. 이러한 요소들은 상호 복잡한 연성관계를 가지면서 바닥충격음의 전달메커니즘과 깊은 관련을 가지고 있다.

그런데 이러한 영향요소 중 충격원은 표준화된 충격원을 사용하고 있기 때문에, 그 충격력이 일정할 뿐만 아니라 바닥구조에 전달되는 충격음의 전달 메커니즘도 모든 대상구조에 동일하게 적용시킬 수 있으므로, 바닥충격음 차음성능에 특정변수로 작용하지 않는다고 볼 수 있다. 또한 가진된 바닥구조의 곡면진동에 의해 수음실로 방사되는 바닥충격음은 국내 공동주택의 경우 내부마감의 정도가 대동소이하여 수음실의 흡음력에 별다른 영향을 받지 않기 때문에, 결국 바닥충격음 레벨에 관계되는 요소는 다층의 복합층으로 구성된 바닥구조 즉 슬래브, 완충층, 그리고 마감재의 차이에 따른 충격음 레벨의 변화라고 할 수 있다<sup>7)</sup>.

- 3) 대한주택공사, “공동주택의 내부소음기준설정에 관한 연구”, 주택연구자료 건연86-050, 1986.12
- 4) 김선우, 박주욱, 정광용, “주택환경소음에 대한 거주자의 반응 변화추이 고찰”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회, 1996.5
- 5) 박주욱, “공동주택 주거환경소음에 대한 주민반응의 변화추이에 관한 조사 연구”, 전남대학교 대학원 석사학위논문, 1996.8
- 6) 박현구, 송국근, 김원식, 김선우, “주거지역 환경소음에 대한 거주민 의식 분석”, 한국소음진동공학회 논문집 제22권 2호, 2012.2
- 7) 김선우, 공동주택 바닥충격음 차음성능 평가에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, 1989.7, p116

### 2.1 바닥 슬래브 조건에 따른 바닥충격음 변화

바닥에 가하여 지는 충격에 의해 생기는 슬래브의 진동은 다음과 같이 크게 세 가지로 대별할 수 있으며, 이러한 바닥구조의 진동에 의해 수음실의 공기를 여진시켜 바닥충격음 레벨을 수음실로 전달한다고 할 수 있다<sup>8)</sup>.

- 바닥판 전체로서 만곡하여 움직이는 휨에 의한 탄성진동
- 바닥판의 국부변형에 의해 일어나는 곡면진동
- 바닥판의 중간부위에서 압축 및 팽창운동에 의해 발생하는 소밀진동

이 때 무겁고 단발의 충격을 대표하는 타이어에 의해 가진된 바닥구조의 진동은 완충층이 압축되어 완충능력이 없어지기 때문에, 가진력이 그 밑에 있는 슬래브로 그대로 전달되어 수음실로 방사되는 중량충격음 레벨은 슬래브 조건변화에 따라 거의 결정된다고 해도 과언은 아니다.

표 2는 보통콘크리트 슬래브로 4번이 큰보로 지지되고 스판비가 1.0~1.5정도인 경우의, 슬래브 두께와 슬래브 면적에 따른 중량충격원에 대한 차음등급의 변화를 정리한 표이다. 그러나 이 표에 의한 차음등급 변화는 모멘트골조(이하 라멘구조)에 해당되는 4번 큰보지지 보통콘크리트 슬래브에 대한 사항이므로, 우리나라 공동주택과 같이 벽식구조의 경우에는 이 표에 의한 예측 값이 실제 측정치와 일치하지 않는 경우가 많다.

표 2. 슬래브 두께, 슬래브 면적과 중량표준충격원에 의한 차음등급 변화<sup>9)</sup>

슬래브 두께(mm)	슬래브 면적(m <sup>2</sup> )									
	12	15	20	25	30	35	40	45	50	60
120	L-55	L-60	L-60	L-65	L-65	L-65	-	-	-	-
130	L-55	L-55	L-60	L-60	L-65	L-65	L-65	-	-	-
140	L-50	L-55	L-55	L-60	L-60	L-65	L-65	L-65	-	-
150	L-50	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-65	L-65	L-65
160	L-50	L-50	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-65	L-65
180	L-45	L-50	L-50	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60
200	L-45	L-45	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60
230	-	L-45	L-50	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-60
250	-	-	L-45	L-50	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-60

### 2.2 완충층 차이에 따른 바닥충격음 변화

바닥충격음에서 충격원의 특성을 표준화시킬 경우 가진된 충격 스펙트럼은 일정하기 때문에, 결국 바닥충격음 레벨에 직접적으로 가장 큰 영향을 미치는 것은 바닥구조의 변화에 따른 충격음 레벨의 감쇠량이라고 할 수 있다. 특

- 8) 김재수, 공동주택 바닥충격음 차음성능 예측을 위한 실험적 연구, 전남대 박사학위논문, 1993.8, pp45-47
- 9) 日本建築學會; 建築物 遮音性能基準 設計指針[第2版], 技報堂出版, 2002.4, p 95

히 국내 공동주택 바닥구조는 외국과는 달리 철근콘크리트 슬래브를 모재로 하고 슬래브와 마감몰탈층 사이에 다층의 단열층이 있으며, 필요시에는 자갈과 같은 축열층을 부가 시공하고 있는 온돌이라는 특수한 난방방식을 채택하고 있기 때문에, 단열층 혹은 단열층+축열층이 슬래브와 마감몰탈층을 절연시키고 있으며 마감몰탈층에 가하여지는 충격력에 대하여 완충층의 역할을 하고 있다. 따라서 온돌바닥에 가해진 충격음에 의해 온돌구성층이 진동할 때 이 음에너지를 흡수하거나 완화시키기 위하여 철근콘크리트 슬래브와 마감몰탈층 사이에 있는 층을 완충층이라 할 수 있으며, 이러한 관점에서 본다면 국내 공동주택 바닥구조는 뜬 바닥구조(floating floor)라 할 수 있다.

이러한 다층의 복합체로 구성된 완충층은 대부분 질량 및 강성이 약하고, 가진 시 분할진동을 하는 비선형적 특성을 갖을 뿐 아니라 완충층을 구성하는 각각의 재료들에 대한 물성이 표준화되어 있지 않기 때문에, 표준충격원에 의한 바닥구조 가진 시 완충층 종류의 변화에 따른 바닥충격음 레벨의 감쇠를 파악하기는 어렵다.

경량표준충격원에 대한 차음성능 개선량은 완충층의 종류에 따라 현저한 차이가 있고, 63Hz, 125Hz와 같이 파장이 길어 완충층에 의한 감쇠효과가 없는 저음역의 경우는 완충층 종류의 변화에 따라 별다른 차이를 보이고 있지는 않지만, 완충효과가 뛰어난 고음역으로 갈수록 차음성능 개선량에 많은 차이가 있다.

이에 비해 단발의 큰 충격력을 갖는 중량표준충격원의 경우 완충층에 의한 차음성능 개선효과는 전 주파수 대역에서 10dB이하로 보고되고 있다<sup>10)</sup>. 이는 타이어에 의한 바닥구조 가진 시 부드럽고 무거운 충격력에 의해 완충층이 압축되어 완충능력이 없어지게 됨에 따라, 가진력이 그 밑에 있는 슬래브에 그대로 전달되게 되어 슬래브의 곡면진동에 의해 충격음 레벨이 감쇠하게 된다. 따라서 중량충격음의 경우 완충층을 변화시켜도 차음성능향상 효과는 기대하기 힘들며, 슬래브 조건에 따라 영향을 받기 때문에 차음성능을 확보하기 위해서는 질량과 강성이 큰 철근콘크리트 슬래브 조건(두께, 면적, 지지조건)을 강화시켜 슬래브의 곡면진동을 억제시켜 수음실로 방사되는 중량충격음 레벨을 낮춰야 할 것이다.

결국 경량충격음의 경우에는 완충층 차이에 따라 차음성능 개선량에 변화가 있으며, 중량충격음에 대해서는 슬래브조건(두께, 면적, 지지조건) 변화에 따라 충격음 레벨이 변화한다는 것을 알 수 있다.

### 3. 골조방식의 차이에 따른 바닥충격음 변화

#### 3.1 공동주택의 바닥충격음 차단성능 기준

우리나라 공동주택 구조방식의 경우 1980년대부터 벽식(Wall-slab)구조가 사용되기 시작하여, 지금 국내에서 건축되었거나 시공되고 있는 공동주택은 거의 모두 벽식구

조라 하여도 과언은 아니다. 벽식구조의 경우에는 라멘구조방식에서의 보와 기둥의 역할을 벽이 대신하므로, 라멘구조방식에 비하여 공동주택 내부공간의 활용과 층고 그리고 공기단축의 측면 등 여러 가지의 장점이 있다. 그러나 바닥충격음 측면에서는 라멘구조방식에 비하여 매우 불리하여, 이러한 단점을 보완하기 위하여 바닥슬래브의 두께를 두껍게 시공하고 있다.

정부에서는 바닥충격음에 대한 민원이 급증함에 따라 바닥충격음에 대한 최저기준(경량 58dB, 중량 50dB)을 마련하여 2003년도에 법제화하였으며, 2004년 4월 23일부터는 경량충격음에 대하여 먼저 시행하였고 중량충격음은 2005년 7월 1일부터 시행하고 있다. 2005년도 6월 30일 개정된 주택건설기준 등에 관한 규정에 의하면 바닥충격음에 대한 차음성능기준을 만족하기 위해 각 건설사에서는, 국토해양부에서 발표한 5개의 표준바닥구조로 시공하거나 인정기관에서 인증을 받은 구조를 시공토록 되어 있다. 국토해양부에서 고시하고 있는 각 구조방식별 표준바닥구조는, 콘크리트 슬래브 두께만 제외하면 모든 조건이 동일하다. 즉 벽식구조 및 혼합구조의 경우에는 콘크리트 슬래브 두께가 210mm 이상, 무량관 구조의 경우에는 180mm 이상, 라멘구조의 경우에는 150mm 이상으로 규정하고 있다. 즉 라멘구조로 시공하면 150mm 두께의 바닥슬래브로 시공하면 되지만, 대부분의 국내 공동주택에서 채택하고 있는 벽식구조를 사용하면 바닥슬래브 두께는 210mm를 사용하여야 한다.

이와 같이 우리나라 공동주택의 구조방식인 벽식구조 공동주택은, 바닥충격음에 대한 차음성능을 충족시켜야 한다는 단 하나의 조건 때문에 바닥슬래브의 두께를 라멘구조보다는 60mm 이상, 무량관구조보다는 30mm 이상 두껍게 시공하도록 되어 있다. 따라서 벽식구조의 차음성능을 개선할 수 있다면 바닥슬래브의 두께를 60mm까지도 줄일 수 있으므로 바닥슬래브 시공에 소요되는 자재의 양을 절감할 수 있음을 물론, 슬래브 구조체의 하중 절감에 따라 벽체의 두께도 저감시킬 수 있으므로 자재절약은 물론 공사기간의 단축도 가능하여 공사비의 절감이 가능하다고 할 수 있다.

#### 3.2 구조방식의 차이에 의한 중량바닥충격음 차음성능 변화

구조방식의 차이에 의한 중량바닥충격원에 대한 바닥충격음 차음성능 변화를 파악하기 위하여, 벽식구조체와 라멘구조 실험체를 표 3과 같이 제작하여 진동 및 소음 특성의 차이를 조사하였다<sup>11)</sup>. 모델구조체를 벽식구조 3종류, 라멘구조 1종류로 제작한 이유는, 현재 국내에서 준공되어 사용하고 있거나 시공하고 있는 대부분의 공동주택이 벽식구조이기 때문에 길이의 차이에 의한 소음진동의 변화량을 파악하기 위해서이다. 각 실험체 별 고유진동수 파악을 위한 동적응답 비교는 그림 1과 같다.

10) 김재수, 공동주택 바닥충격음 차음성능 예측을 위한 실험적 연구, 전남대 박사학위논문, 1993.8, pp45-47

11) 김선우 외, "공동주택 바닥충격음 저감대책 연구", 전남대학교 건축과학기술연구소(GS건설), 2006. 8

표 3. 모델 실험체 종류

시험체번호	슬래브 제원(m)			구조방식
	길이	폭	두께	
1	4	3	0.15	벽식구조
2	5	1.5	0.15	
3	6	1.5	0.15	
4	4	3	0.15	라멘구조

그림에서와 같이 4m 경간 벽식구조체는 125Hz 이하의 주파수 영역에서 여러 개의 모드가 나타내 반하여, 5, 6m 경간은 1차 모드가 지배적임을 알 수 있다. 4m 경간 라멘구조 실험체의 진동특성을 보면 특정한 모드가 나타나지 않고, 60Hz 부근에서 진동가속도가 가장 크게 나온다. 즉 벽식구조체와 라멘구조의 동적거동은 상당히 다를 수 있다.

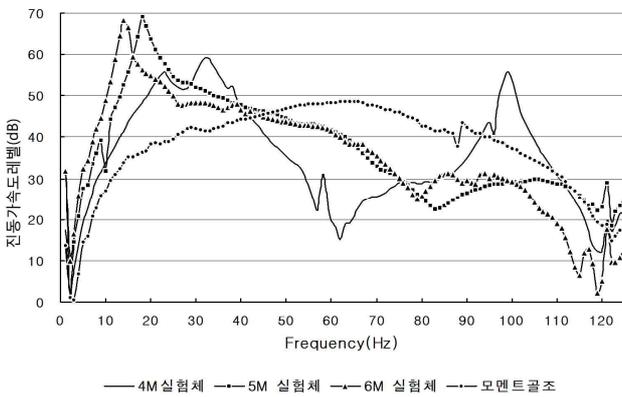


그림 1. 벽식구조와 라멘구조의 고유진동수 비교

이러한 결과가 구조체의 양면을 강접합으로 몰탈마감(이하 몰탈마감)과 철강재벽판을 이용한 접착제에 의한 마감(이하 철강재벽판 마감)하였을 경우, 구조방식의 차이에 의한 차음성능변화는 그림 2~그림 5 와 같다. 그림 2는 벽식구조방식 실험체의 양면을 두 가지 종류로 마감하고 바닥충격음 레벨을 측정된 결과인데, 철강재벽판으로 마감한 경우에 비하여 0.5B 벽돌벽을 설치한 경우가 50~250Hz 대역에서 몰탈 마감한 경우의 바닥충격음 레벨이 높게 나타나고 있다. 이는 슬래브의 충격력이 설치된 벽을 통해 전달되어 진동하므로 나타나는 현상이라고 생각한다. 그림 3은 라멘구조에서의 양면 마감방식의 차이에 의한 바닥충격음 변화량이다.

그림에서와 같이 벽식구조체와 라멘구조의 벽체마감의 형식에 따라 충격음 차단성능에 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 벽식 구조의 경우 0.5B 조적 후 몰탈 마감한 경우가 대부분의 주파수 대역에서 바닥충격음 레벨이 높게 나타나고 있다. 이는 슬래브와 강접합된 몰탈마감구조가 약접합된 철강재벽판구조보다 진동전달이 용이해, 벽체로부터 전달되는 충격음이 증가하였기 때문으로 판단된다. 라멘구조의 경우에는 양상이 벽식의 경우와는 다소 차이가 있으나, 벽체를 쌓은 후 측정을 한 것이 80-200Hz 대역에서 높게 나타나고 있다. 이 또한 충격력이 벽체를 통하여 전달되어, 벽체 진동에 의해 해당대역에서 레벨이 상승한 것으로 판단된다.

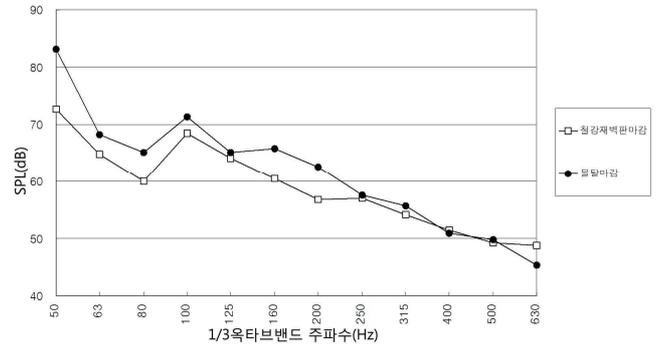


그림 2. 일반벽식에서 벽체마감 구조간 특성비교

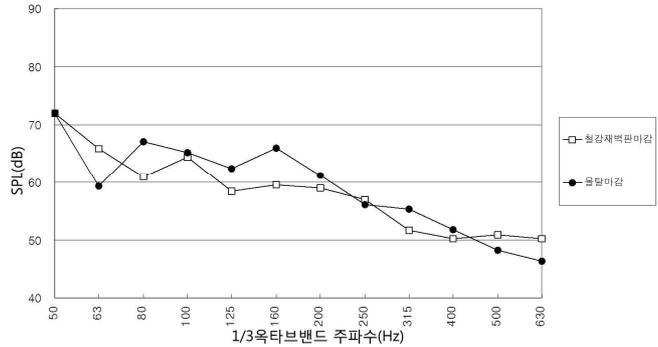


그림 3. 라멘구조에서 벽체마감 구조간 특성비교

구조방식의 차이에 의한 중량충격원에 대한 바닥충격음 레벨 변화는 그림 4, 그림 5와 같다. 그림에서와 같이 라멘구조가 벽식구조에 비해 중주파수 대역에서 양호한 특성을 보이고 있는데, 이는 라멘구조의 기둥과 보가 충격력에 의한 슬래브의 진동을 제어하기 때문에 나타나는 결과로서 라멘구조가 벽식구조보다 하부로 전달되는 충격음이 효과적으로 차단할 수 있을 것으로 판단된다. 철강재벽판 마감의 경우와 동일하게 몰탈마감 벽체에서도 라멘구조가 벽식구조에 비해 저주파수 대역에서 양호한 특성을 보이고 있는데, 라멘구조가 벽식구조보다 하부로 전달되는 충격음을 효과적으로 차단할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 50~63Hz 대역에서의 음압레벨 값이 8-10dB 정도 저감됨을 알 수 있다. 벽체마감 후 구조의 차이에 따른 실험 결과를 살펴본 결과 라멘구조의 차음성능이 우수하게 나타나므로, 아파트 구조에 있어 슬래브의 급격한 증가를 피하고 중량충격음 차단성능의 개선을 위해서는 라멘구조에 대한 고려가 필요하리라 판단된다.

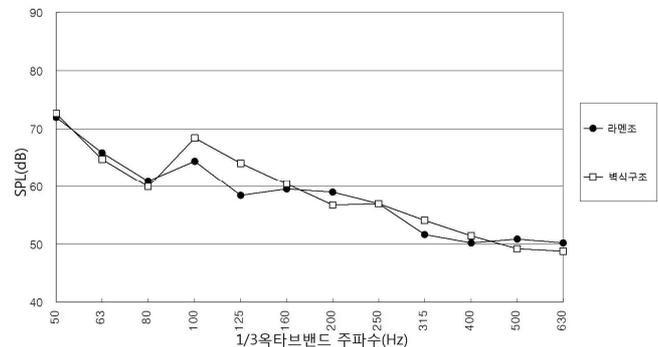


그림 4. 건축용 철강재벽판 마감시 구조별 특성비교

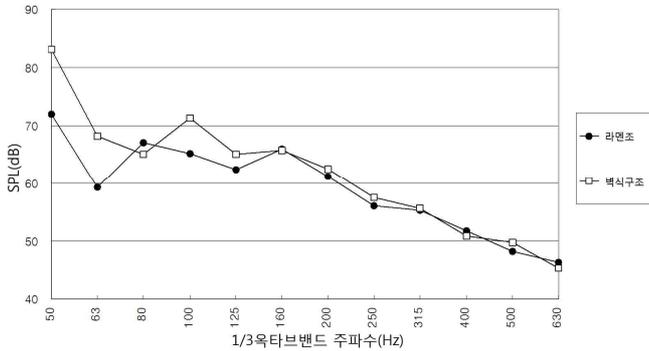


그림 5. 몰탈마감 벽체의 구조별 특성비교

#### 4. 완충층 구성재료의 차이에 의한 차음성능 변화

##### 4.1 바닥구조의 조건에 의한 충격음 차단성능 변화

바닥충격음은 어린이의 뛰어내림과 뛰어다님에 의해 발생하는 중량충격음과 충격력이 작은 구두나 책상을 밀 때 발생하는 경량충격음의 2 종류가 있다. 중량충격음과 경량충격음이란 충격력 등의 발생 메카니즘이 다르기 때문에 표 4와 같이 그 차단성능을 좌우하는 요인의 영향도 다르다.

표 4. 바닥의 여러 조건과 바닥 충격음 차단성능의 개략적 관계<sup>12)</sup>

바닥의 조건	중량충격음 차단성능			경량충격음 차단성능		
	영향의 정도	좋아진다 ←	→ 나빠진다	영향의 정도	좋아진다 ←	→ 나빠진다
밀도	중	크다	적다	중	크다	적다
두께	·대	두껍다	얇다	중	두껍다	얇다
바닥의 강성	대	강하다	약하다	소	강하다	약하다
영율	소	크다	적다	소	크다	적다
압축강도	소	크다	적다	소	크다	적다
스판	소	적다	크다	없음	대부분 관계 없음	
작은보유부	중	있다	없다	없음	대부분 관계 없음	
건식 2중 바닥 마감재유무	대	없다	있다	대	있다	없다
천장유무	중	없다	있다	중	있다	없다
표면재의 유연성	없음	대부분 관계 없음		대	유연하다	딱딱하다

\*1 수음실 이외의 동일 슬라브에 있는 경우(스판의 1차 고유진동수가 63Hz 대역에 없는 경우)  
 \*2 아래에 논하는 특별한 방법이 아닌, 일반적인 재료의 경우(메이커 카탈로그 LH-50~LH55 정도의 것)  
 \*3 일반적 사양: 천정판이 석고보드 9~12mm 정도로, 천정속

12) 田野正典, “床衝擊音; 住まいの音トラブル対策, 建築技術, 2000. 01, p155.

(천정 두께)가 300mm 이하인 경우

\*4 대 : 통상 사용하는 범위로 5dB 이상의 차이가 있는, 중 : 3dB 정도의 차이가 있는,

소 : 영향은 있지만 통상 사용하는 범위에서는 차이가 없음

이와 같은 차이는 중량충격음은 「쿵쿵」 거리는 저주파수 성분이 많고 바닥 마감재 유연함에는 거의 영향을 받지 않고 기본적으로 바닥 구조체의 강성등에 의존하지만, 경량충격음은 「톡톡」 하는 중·고음역 성분이 많고 그 대부분은 표면 마감재의 유연성에 크게 변화하기 때문이다. 즉 바닥충격음을 저감시키는 방법은 충격력의 바닥으로의 입력 특성을 변화시키는 방법과 충격 에너지를 구조체 전달을 억제하는 방법 그리고 충격에 대해서 바닥 진동을 억제하는 방법이라고 할 수 있다<sup>13)</sup>. 충격력의 바닥으로의 입력 특성을 변화시키는 방법은 경량충격원에 유용한 방법이라고 할 수 있고, 습식 뜬바닥 구조나 건식 이중바닥은 충격 에너지를 구조체 전달을 억제하는 방법이라고 할 수 있다. 충격에 대해서 바닥 진동을 억제하는 방법은 중량충격음의 저감에 유효한 방법이라고 할 수 있다.

##### 4.2 국내 공동주택의 바닥구조 변화와 차음성능수준

1) 1990년 이전의 국내 공동주택 바닥구조 실태<sup>14)</sup>

대부분의 공동주택에서 밀도가 0.3~0.5 정도인 경량기포콘크리트 및 리스폴콘크리트를 단열재로 사용하고 있었고, 대한주택공사 및 일부 건설업체에서는 발포폴리스티렌폼(일명, 스티로폼)을 단열재로 사용하고 있었다. 단열층의 두께는 발포폴리스티렌폼인 경우 30mm 이하이며, 경량콘크리트류는 30~80mm로서 법으로 규제하고 있는 열관류율 값과 시공성 경제성을 고려하여 두께를 결정하고 있다. 시공단계는 배관재의 종류에 따라 다르지만 난방배관을 하여야 하는 한국적 온돌구조의 특수성으로 보통 3~4단계로 시공하고 있으며, 2단계까지 공정을 단순화시킨 회사도 있다. 슬래브두께는 현행 구조공법에서 해결할 수 있는 한계까지 얇아져 대부분 120mm로 시공하고 있으나, 일부 회사에서는 150mm 또는 170mm로 시공하고 있으며 대체적으로 슬래브 두께는 점점 두꺼워지고 있는 추세에 있다. 특히 같은 단지 내에 시공하고 있는 공동주택의 경우에도 전용면적이 큰 공동주택의 슬래브두께가, 국민주택규모(85㎡ 이하)의 공동주택 슬래브두께보다 두껍게 시공하는 것이 일반적이라고 할 수 있었다. 또한 슬래브를 제외한 상부 층의 두께는 100~150mm이며, 구성 층은 경량기포콘크리트, 리스폴콘크리트, 자갈, 콩자갈 등이고 필요에 따라 누름물탈 층이 있다. 마감물탈 층은 배합비 1:3, 두께 20~50mm로 되어 있으며, 대부분의 회사에서 마감물탈의 균열방지를 위해 메탈라스를 삽입하고 있다.

2) 1990년부터 2000년도 초반의 바닥구조 현황<sup>15)</sup>

13) 田野正典, “床衝擊音; 住まいの音トラブル対策, 建築技術, 2000. 01, pp155-156.

14) 김선우 외, 공동주택 내부소음 기준설정 연구(1), 대한주택공사 연구 90-25, 1990.12

1990년 이전의 구조와 대동소이하다. 바닥슬래브는 대부분이 120mm로 시공하고 있으며, 조립식구조(PC구조: 공업화주택)인 경우에는 150mm로 시공하고 있다. 완충층의 구조는 분양이 순조로웠던 시기에는 대부분이 경량기포콘크리트 위에 시멘트몰탈로 마감한 2단계의 공정으로 시공되어 있었으나, 분양이 순조롭지 못하고 입주자의 불만이 표출되면서 바닥슬래브와 경량기포콘크리트 사이에 스티로폴을 부가한 3단계의 구조가 설계도면에 많이 반영되고 있는 실정이다. 그러나 상기 3단계 공정의 경우 시공상의 문제 때문에 하자의 원인이 되고 입주자들의 민원대상이 되자, 설계도면에는 완충층 구조를 명기하지 않고 스티로폴 시공공정을 생략한 2단계 공정으로 시공하고 있는 경우가 의외로 많았다.

위와 같은 바닥구조의 경우 바닥충격음에 대한 차음성능의 저하 및 시공 후의 하자 발생으로 경량기포콘크리트를 사용하지 않고, “발포폴리스티렌폼 + 누름몰탈 + 콩자갈 + 마감몰탈”의 4단계 공정으로 완충층의 구조를 시공하고 있는 건설회사도 다수 있었다. 경량기포콘크리트 대신에 폴 콘크리트를 사용하고 있는 경우도 있으나, 현장 시공시 상기 4단계의 공정으로 대체되는 경향이 있다. 4단계의 공정인 경우에는 공기 및 인건비의 상승을 유발하여, 새로운 완충층 구조에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 수요에 부응하여 새로운 완충층 부재가 개발되고 있으나, 사용되고 있는 부재는 스티로폴을 성형하여 만든 구조가 대부분이다.

3) 바닥구조의 차이에 의한 차음성능

이와 같이 1980년대 중반부터 1990년대 및 2000년도 초반에 신축된, 평균 바닥슬래브 두께인 135-150mm의 공동주택의 바닥충격음에 대한 차음성능 수준은 그림 6 과 같다<sup>16)</sup>. 이 시기의 공동주택은 시공성과 편리성 때문에 대부분이 벽식구조로 시공되었고, 이에 따라 바닥충격음에 대한 차음성능이 공동주택의 가장 중요한 민원의 대상이 되었다.

그림 6은 바닥슬래브의 두께가 135mm 및 150mm인 벽식구조 공동주택의 바닥충격음 차음성능 수준이다. 이러한 차음성능 실패는 거실 및 침실을 대상으로 바닥마감재가 설치되지 않은 시공현장을 포함하여 모두 268개소 중 96개소가 법적 기준인 58dB을 만족(약 35%)하고, 중량충격음에 대해서는 26개소만이 법적 기준인 50dB을 만족(약 10%)하는 것으로 조사되었다<sup>17)</sup>. 따라서 경량충격음의 경우 슬래브 150mm에서도 적절한 완충재나 표면마감재를 선정하여 시공할 경우 기준을 만족할 것으로 판단되나, 중량충격음의 경우 현행 온돌시스템으로서는 거의 불가능할 것으로 판단되고 있다.

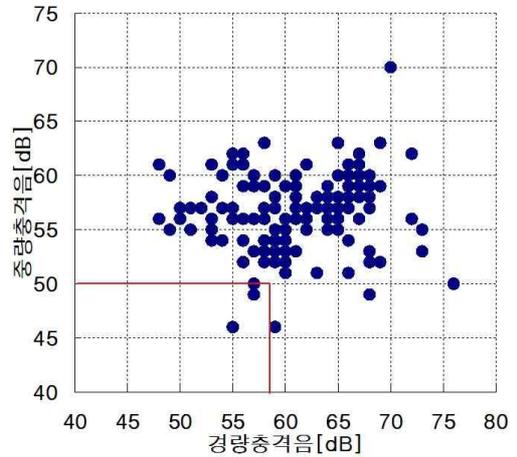


그림 6. 135mm, 150mm 슬래브 벽식구조의 바닥충격음 차단성능 수준

5. 완충층의 강성변화에 의한 차음성능개선 방안

5.1 완충구조의 강성보완에 의한 차음성능개선

바닥충격음을 저감시키는 방법은 충격력의 바닥으로의 입력 특성을 변화시키는 방법과 충격 에너지를 구조체 전달을 억제하는 방법 그리고 충격에 대해서 바닥 진동을 억제하는 방법이라고 할 수 있다. 충격력의 바닥으로의 입력 특성을 변화시키는 방법은 경량충격원에 유용한 방법이라고 할 수 있고, 습식 뜬바닥 구조나 건식 이중바닥은 충격 에너지를 구조체 전달을 억제하는 방법이라고 할 수 있다. 충격에 대해서 바닥 진동을 억제하는 방법은 중량충격음의 저감에 유효한 방법이라고 할 수 있다.

경량충격원의 경우에는 마감재를 사용하여 충격력의 바닥으로의 입력 특성을 변화시키거나, 완충재의 적절한 사용으로 충격 에너지를 구조체 전달을 억제하는 방법 등 유효한 방법이 있다. 그러나 중량충격원의 경우에는 충격에 대해서 바닥 진동을 억제하는 방법이 가장 효과적이라고 할 수 있다. 충격에 대하여 진동을 억제하기 위해서는 질량과 강성이 큰 철근콘크리트 슬래브 조건(두께, 면적, 지지조건)을 강화시켜 슬래브의 곡면진동을 억제시켜 수음실로 방사되는 중량충격음 레벨을 낮춰야 한다.

지금까지는 중량충격원에 대한 차음성능을 개선하기 위해서는 콘크리트 슬래브의 두께를 두껍게 하거나, 주변지지조건을 개선하여 콘크리트 바닥슬래브의 강성을 보완하는 방법을 사용하여 왔다. 국토해양부의 표준바닥구조에서 구조방식별로 규정하고 있는 콘크리트슬래브의 두께 조정, 즉 벽식구조는 210mm, 무량판구조는 180mm 라멘구조는 150mm가 이에 해당된다고 할 수 있다. 따라서 벽식구조의 차음성능을 개선할 수 있다면 바닥슬래브의 두께를 60mm까지도 줄일 수 있으므로 바닥슬래브 시공에 소요되는 자재의 양을 절감할 수 있음을 물론, 슬래브 구조체의 하중 절감에 따라 벽체의 두께도 저감시킬 수 있으므로 자재절약은 물론 공사기간의 단축도 가능하여 공사비의 절감이 가능하다.

15) 김선우 외, “기존건물의 바닥충격음 저감을 위한 보수·보강기술”, 건설교통부 R&D/99-건축05, 2001.11, pp 18-19  
 16) 건설교통부, 공동주택 바닥충격음 완화를 위한 표준바닥구조의 설계·시공기술 및 활용방안 연구, 2004. 12.30, pp139-140  
 17) 건설교통부, 공동주택 바닥충격음 완화를 위한 표준바닥구조의 설계·시공기술 및 활용방안 연구, 2004. 12.30

**5.2 강성보완을 위한 완충층 바닥구조**

국내에서 시공되고 있는 바닥구조는 콘크리트 슬래브 바닥 위에 단열재(20mm 이상)를 깔고, 그 위에 경량기포콘크리트(40mm 이상)를 타설 마무리 양생시키고, 그 위에 난방용 온수 순환관을 설치하고, 마감물탈(40mm 이상)을 타설 마무리 양생시킨 후 최종 바닥 마감재로 마감하는 형식이다. 그러나 상기와 같은 구조형태의 변경은 경량충격음을 저감시키는데 어느 정도 효과를 발휘하기는 하나, 중량충격음은 그다지 크게 줄이지 못하였다. 이에, 바닥슬래브 자체의 강성을 증가시켜 슬래브가 쉽게 진동하지 않도록 하는 방법인 슬래브의 기준 두께를 통상적인 12~13cm에서 18cm 이상으로 증가시키는 방법을 채택하여 이를 보완하고 있으나, 여전히 중량충격음을 50dB 이하로 저감시키지는 못하고 있는 실정으로서 이 기준을 충족시키려면 슬래브 두께를 더욱 늘여야 하는 문제가 가중된다. 하지만, 슬래브 두께 증가는 콘크리트 공사비 증대로 이어지며, 나아가 동일한 천장고 확보를 위해서는 층고가 높아질 수밖에 없는데 층고의 증가는 건물 높이의 증가로 이어져 결국 건축물의 경제성을 떨어뜨리는 요인으로 작용하게 된다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 완충층의 강성을 보완함으로써 바닥구조의 강성을 높혀 바닥충격음에 대한 차단능을 보완하고자, 그림 7과 같은 완충층구조를 제작하여 그 차음성능 개선량을 현장실험을 통하여 파악하였다. 그림에서와 같이 콘크리트 바닥슬래브(1)위에 강성을 보완하기 위한 골형의 완충재(2)를 설치함으로써, 골판 위에 충전된 시멘트 모르타르(7)에 의해 완충층이 소형 보(5)의 역할을 함으로서 강성을 보완하는 방식이다. 필요에 따라서 강성을 보완하기 위해서는 골형의 완충재위에 강성보완을 위한 매쉬(4)를 설치할 수도 있다. 그림에서 (3)은 골형 완충재와 바닥슬래브 사이에 형성된 공기층이고, (6)구조는 난방배관용 파이프이다.

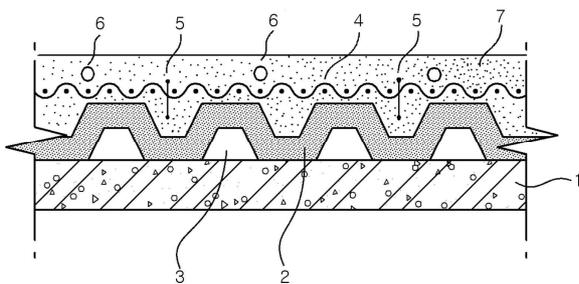


그림 7. 완충층의 강성을 보완한 바닥구조

**5.3 현장실험에 의한 차음성능 측정 및 평가**

완충층의 강성을 보완한 구조(그림 7)와 현재 많이 시공되고 있는 경량기포콘크리트를 사용한 구조와의 차음성능의 차이를 파악하기 위하여 현장실험을 실시하였다.

현장실험을 위한 조건은 표 5와 같다. 측정은 KS F 2810-1,2(바닥충격음 차단성능 현장측정 방법)에 준하여 실시하였고, 평가는 KS F 2863-1,2(건물 및 건물부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법)에 의하여 실시하였다.

측정에 사용된 기기의 내역은 다음과 같다.

1. Tapping Machine (B&K Type 3204)
2. Bang Machine (日本 Satsuki kizae)
3. 2 Ch.1/3 Octave-band Real-time Analyser (RION SA-30)
4. Realtime Frequency Analyser (01dB Symphonie Software)
5. Microphones and Preamplifiers

표 5. 현장실험구조 내역(단위 : mm)

시료 번호	슬래브 두께	완충층 구조	실 규격
1	180	발포폴리스티렌폼20 + 경량기포콘크리트 45+ 마감물탈 45	3,900(W) ×4,200(D) ×2,600(H)
2		골형완충재 70 + 매쉬 3 + 마감물탈 50	
3		골형완충재 70 + 마감물탈 50	
4		골형완충재 70 + 마감물탈 40	



사진 1. 현장 실험 구조 시공 장면

1) 현행구조와 제안된 골형구조와의 바닥충격음 차음성능 비교

현행구조인 “1번 구조”와 제안된 구조인 “2번 구조”와의 바닥충격음에 대한 차음성능 변화는 그림 8, 그림 9와 같다. 그림 8은 경량충격원에 대한 차음성능 차이를 나타낸 것으로, 125Hz 대역에서 약 4dB 차이를 최소로 1250Hz 대역 이상에서는 20dB 이상의 차음성능 개선효과가 있으며, 이를 역A 곡선에 의한 단일지수로 평가한 경우에도 18 dB의 개선효과를 보이고 있다.

그림 9는 중량충격원에 대한 차음성능으로 63Hz 대역을 제외하고는 모든 대역에서 5 dB 정도의 개선효과가 있으며, 역A 곡선에 의한 단일지수로 평가한 경우에도 5dB의 개선효과가 있었다.

2) 몰탈층의 강성차이에 의한 바닥충격음차음성능 비교

그림 8, 그림 9에서와 같이 경량기포콘크리트를 완충재로 사용하는 바닥구조에 비하여, 강성이 보완된 골형의 완충구조가 경량과 중량 모두 차음성능이 현저하게 개선됨을 알 수 있다. 이에 본 실험에서는 몰탈층의 사이에 매쉬를 설치하여 강성을 보완한 “구조 2”와 무근인 “구조 3”, 그리고 몰탈층의 두께를 50mm에서 40mm로 10mm 얇게 한 “구조 4”를 비교한 결과는 그림 10, 그림 11과 같다.

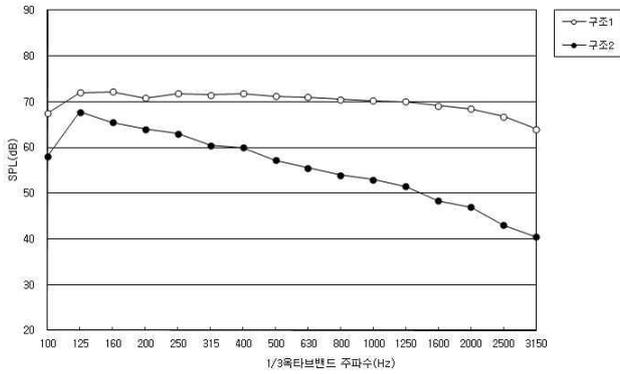


그림 8. 경량충격원에 대한 차음성능

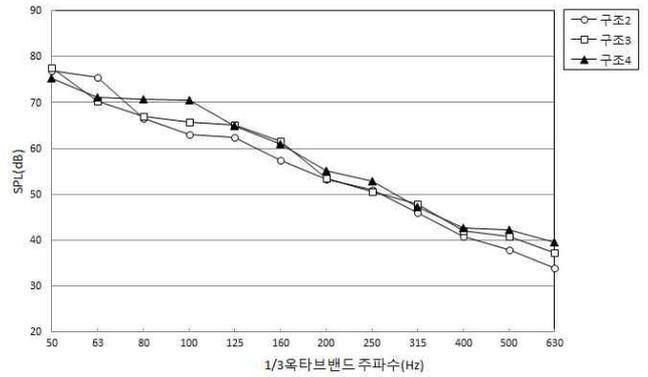


그림 11. 중량충격원에 대한 차음성능

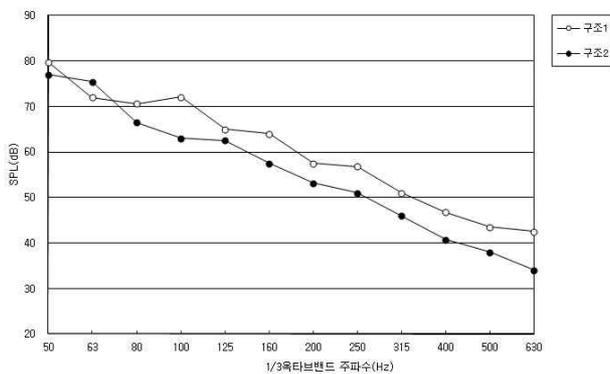


그림 9. 중량충격원에 대한 차음성능

그림 10은 경량충격원에 대한 차음성능 변화를 표현한 것으로, 몰탈두께 50mm에 메쉬를 설치한 경우가 몰탈 50mm와 몰탈 40mm보다 우수하지만, 몰탈 50mm와 몰탈 40mm의 차이에 비하여 그 개선량이 적음을 알 수 있다. 그러나 메쉬로 보강하면, 벽식구조의 공동주택에서 문제가 되는 저음역인 160 Hz 이하의 대역에서 차음량이 개선됨을 알 수 있다.

그림 11은 중량충격원에 대한 차음성능 변화로, 경량충격원의 경우와 같이 메쉬를 설치한 몰탈 50mm가 가장 우수하고, 몰탈 50mm, 몰탈 40mm순이었다.

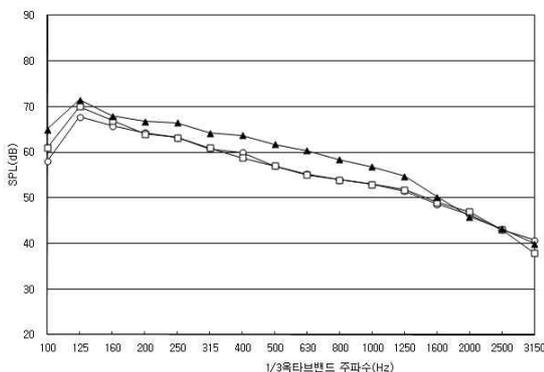


그림 10. 경량충격원에 대한 차음성능

## 6. 결론

본 연구는 공동주택에서 주민들의 생활에 가장 큰 민원의 대상이 되는 바닥충격음에 대한 차단성능 개선방안을 모색하고자, 현재 국내에서 시공된 공동주택 바닥구조의 구성요소와 구조방식과 완충층의 변화를 조사한 뒤 이에 차음성능 수준을 파악코자 하였다. 이를 위해 벽식 및 라멘구조의 구조방식에 따른 차음성능상의 차이점을 비교하였으며, 완충층 강성 보완방안을 제안한 뒤 현행구조와의 현장실험을 실시하여 차음성능 개선 정도를 파악코자 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

주요 구조체가 기둥 및 슬래브로 구성된 라멘구조가 벽식구조에 비해 저주파수 대역에서 양호한 특성을 보였으며, 바닥충격음 차단성능이 우수하게 나타났다. 따라서 중량충격음의 문제를 해결하기 위해서는 라멘구조 공동주택 고려가 필요할 것으로 판단된다.

바닥슬래브의 두께가 135mm 및 150mm인 벽식구조 공동주택을 비교한 결과 경량충격음의 경우 슬래브 150mm에서도 적절한 완충재나 표면마감재를 선정하여 시공할 경우 기준을 만족할 것으로 판단되나, 중량충격음의 경우 현행 온돌시스템으로서 거의 불가능할 것으로 판단된다.

따라서 완충층의 강성 보완을 통한 차음성능 개선방안을 제시하였으며, 현장실험을 통하여 제안된 구조가 역A 곡선에 의한 단일지수로 평가한 경우에 현행구조에 비하여 경량충격음에 대해서는 18dB, 중량충격음에 대해서는 5dB의 개선효과가 있음을 확인하였다.

## 후 기

실험에 필요한 구조체 제작을 지원하여준, GS건설과 동아타이어에 감사드립니다.

**참고문헌**

1. 공동주택의 내부소음 기준설정에 관한 연구, 주택연구자료 권연 86-050, 대한주택공사, 1986.12
2. 공동주택 내부소음 기준설정 연구(Ⅰ), 주택연구자료 권연 90-25, 대한주택공사, 1990.12
3. 기존 건물의 바닥충격음 저감을 위한 보수·보강 기술, 한국건설기술연구원, 건설교통부, 2000.11
4. 住まいの音トラブル対策, 建築技術, 2000.1
5. 日本建築學會; 建築物 遮音性能基準 設計指針[第2版], 技報堂出版, 2002.4, p 95
6. 공동주택 바닥충격음 완화를 위한 표준바닥구조의 설계·시공 기술 및 활용방안연구, 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 2004.12
7. 김선우 외, “모델구조체 실험을 통한 바닥충격음 저감방안에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 계획계 22권4호 (통권 210호), 2006.4
8. 김선우 외, “공동주택 바닥충격음 저감대책 연구”, 전남대학교 건축과학기술연구소(GS건설), 2006. 8
9. Steindor Gudmundsson, “Sound insulation improvement of floating floors”, report TVBA-3017·ISSN 0281-8477, Lund Sweden April 1984.
10. Hideki Tanaka, “Relationship between floor impact sound by heavy impact source and concrete slab size”, internoise 2011, Osaka Japan September 4-7

투고(접수)일자: 2012년 1월 10일

수정일자: 2012년 2월 10일

게재확정일자: 2012년 2월 16일