



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

공동주택 바닥충격음 전이체
종류에 따른 충격음 감소효과



2008년 8월

부경대학교 산업대학원

건축공학과

박 용 진

공학석사 학위논문

공동주택 바닥충격음 전이체
종류에 따른 충격음 감소효과

지도교수 이 수 용

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2008년 8월

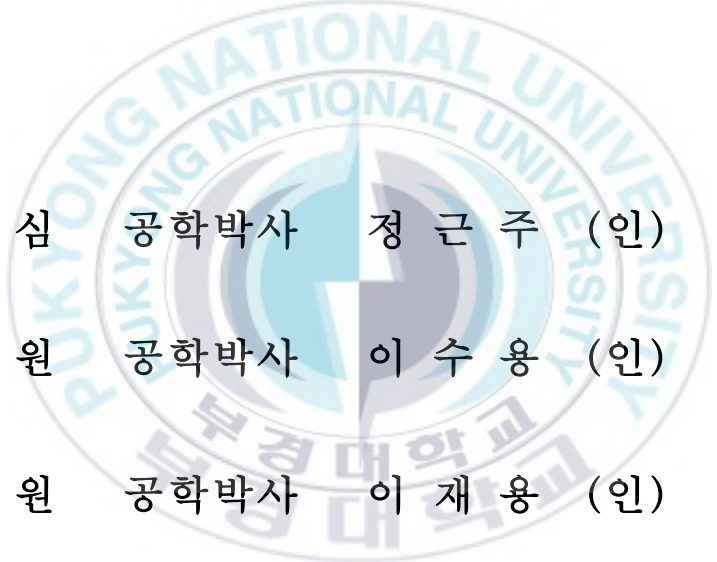
부경대학교 산업대학원

건축공학과

박 용 진

박용진의 공학석사 학위논문을 인준함

2008년 7월 8일



주 심 공학박사 정 근 주 (인)
위 원 공학박사 이 수 용 (인)
위 원 공학박사 이 재 용 (인)

목 차

표 목차

그림 목차

Abstract

I. 서 론

1.1 연구의 배경 과 목적	1
1.2 연구내용 및 범위	2
1.2.1 연구내용	2
1.2.2 연구범위	3
1.2.3 연구방법	4

II. 이론적 고찰

2.1 공동주택의 소음 종류	5
2.2 바닥충격음	7
2.2.1 바닥충격음의 정의	7
2.2.2 바닥충격음 차단 표준바닥구조	8
2.3 습식튼바닥 구조	10
2.4 바닥충격음 전이체의 종류	12
2.5 바닥충격음 레벨의 측정기준	15
2.5.1 표준경량충격원에 의한 방법	15
2.5.2 표준중량충격원에 의한 방법	18

2.6 바닥충격음 레벨의 평가기준	21
2.6.1 표준경량충격원에 의한 차단 성능	21
2.6.2 표준중량충격원에 의한 차단 성능	24
Ⅲ. 바닥충격음 전이체 구성변화에 따른 충격음 측정	
3.1 실험개요	26
3.2 실험조건	28
3.3 실험방법	30
3.4 실험결과 분석 및 고찰	31
3.4.1 경량충격음 측정결과	31
3.4.2 경량충격음 측정결과 분석 및 고찰	34
3.4.3 중량충격음 측정결과	38
Ⅳ. 결론	42
참고문헌	44
부록	46

표 목차

표 1.1 바닥충격음 전이체 구성	3
표 2.1 벽식 및 혼합구조에서 바닥충격음 차단을 위한 표준바닥구조	9
표 2.2 경량충격음 법적기준	10
표 2.3 중량충격음 법적기준	10
표 2.4 바닥충격음 전이체의 종류	13
표 2.5 바닥충격음 차단성능 평가 기준 값	22
표 2.6 건축물 실간 바닥충격음 차단성능 단일 수치 평가량	23
표 2.7 바닥충격음 단일 수치 평가량(옥타브 밴드)	24
표 2.8 바닥충격음 차단성능 기준 값	25
표 3.1 바닥충격음 전이체 구성	28
표 3.2 경량충격음 측정결과	32
표 3.3 전이체 구성 A~D 수음점별 경량충격음 측정결과	37
표 3.4 전이체 구성 E~J 수음점별 경량충격음 측정결과	38
표 3.5 중량충격음 측정결과	39

그림 목차

그림 2.1 공동주택 소음 중 불만요인	6
그림 2.2 벽식 및 혼합구조에서의 표준시공단면도	9
그림 2.3 바닥충격음 전이 요소	13
그림 3.1 뜬바닥 구조의 모형	27
그림 3.2 실험세대 바닥 단면도	27
그림 3.3 실험세대 단위 평면도	27
그림 3.4 목문하부 고정틀(시멘트 벽돌+합판)	29
그림 3.5 목문하부 고정틀(각재+합판)	29
그림 3.6 목문하부 고정틀(각재+압축고무판)	29
그림 3.7 목문하부 고정틀(각재+완충재)	29
그림 3.8 측벽 하부 절연재(완충재)	29
그림 3.9 목문하부 고정틀 조건에서의 경량충격음 측정결과	33
그림 3.10 완충재 고정못 조건에서의 경량충격음 측정결과	33
그림 3.11 측벽 및 분배기 조건에서의 경량충격음 측정결과	34
그림 3.12 목문하부 고정틀 조건에서의 중량충격음 측정결과	40
그림 3.13 완충재 고정못 조건에서의 중량충격음 측정결과	40
그림 3.14 측벽 및 분배기 조건에서의 중량충격음 측정결과	41

The Effect on Reduction of Floor Impact Sound according to the sort of Sound Bridge Materials in Apartment Buildings

by Yong - Jin, Park

Department of Architectural Engineering,
Graduated School,
Pukyong National University

Abstract

Recently, The floor impact sound in apartment buildings has become a serious problem contrary to users' various needs for comfortable residential environments in an korean ON-DOL heating system, and the floor impact sound from upper floor specially such as children's play and sound of piano etc. causes noise problem to the downstairs neighbors. According to the recent research data, it is said that the most dissatisfactory problem of apartment buildings is the floor impact sound. The floor impact sound that was occurred when impact directly breaks on concrete surface is transferred easily in near houses because of concrete property for lack of structure vibration decrement. However, there are many difficult points to solve fundamentally the problem as synthetically consider to property of floor structure, economic condition, the level of users' subjective needs in apartment buildings.

The purpose of this study is to examine the effect on reduction of floor impact sound according to the sort of sound bridge materials in apartment buildings and to present the sample construct in apartment job site as the subject to sound

isolation materials to improve the insulation performance for the floor impact sound of upper floor. The results of this study are as follow.

(1) In every receiving rooms, lightweight impact sound was satisfied with grade 3~4 and heavyweight impact sound was satisfied with grade 2~3 in impact sound level.

(2) In the case of lightweight impact sound, it has difference measure of 1~4dB according to the sort of sound bridge materials, on the contrary heavyweight impact sound has little difference. To improve the insulation effect for heavyweight impact sound, it is important to increase concrete slab thickness and the structural stiffness of concrete slab, and to development the better insulation materials.

(3) Considering receiving rooms on floor impact points, the largest lightweight impact sound come out in directly under point and the difference of impact sound in receiving rooms according to the sort of sound bridge materials come out greatly. On the contrary heavyweight impact sound is about the same in all receiving rooms, it has the higher measure of 4~5dB in the central part than in the edge of concrete slabs.

I. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

2000년대 초반까지의 공동주택은 대부분 콘크리트 슬래브 두께가 135mm~150mm로 이루어져 벽체와 연결되는 벽식 구조 형태가 대부분으로 경량 및 중량충격음에 상당히 취약하였으나 지속적인 바닥충격음 저감재 등의 신소재 개발과 건축시공법의 발전으로 경량충격음에 대하여 법적기준에 부응하는 측정치를 얻게 되었으나 150mm 슬래브 두께로는 중량충격음에 대한 법적기준에는 상응하는 측정값을 기대하기 어려웠다. 2003년 4월 22일 건설교통부는 바닥충격음 기준으로 경량충격음은 58dB이하, 중량충격음은 50dB이하로 규정한 '주택건설 기준 등에 관한 규정'을 개정하여 그로부터 1년 뒤인 2004년 4월 22일 경량충격음에 대한 표준바닥구조가 고시되었으며 2005년 7월 바닥충격음을 차단할 수 있는 표준바닥구조를 개정 고시되었다¹⁾.

공동주택에 사용되는 주재료인 콘크리트는 특성상 중량물이고, 밀실성이 우수하기 때문에 동일한 두께의 다른 재료들보다 사람의 말소리나, TV음 등 공기를 매체로 전달되는 공기 전달 음에 대하여 충분한 차단성능을 가지고 있으나 콘크리트 면에 충격이 가해질 때 발생하는 고체 전달 음에 대해서는 콘크리트 재료의 특성상 자체 감쇠 능력이 미약하므로 인접세대로 고체 전달 음이 쉽게 전달되는 특성을 가지고 있다²⁾. 이러한 바닥충격음을 해소할 방안이 필요하게 되었으며 그 방안으로 시공되어진 것이 구조체 슬래

1) 유영동 외 2인, 초고층 공동주택 건축물의 천장 구조체의 차음성능 평가, 대한건축학회 논문집, 제 26권 제1호, 2006.03.
2) 김홍열 외 3인, 공동주택 바닥충격음 저감용 페타이어 칩과 뜬바닥구조의 물리적 성능에 관한 실험적 연구. 대한건축학회 논문집, 제14권 제10호, 1998.05.

브와 마감 바닥층 사이에 완충작용구간을 두어 진동에 대한 전달을 차단시키고 진동에너지를 흡수함으로써 바닥충격음을 저감시키는 뜬바닥 구조이다.

우리나라 대부분의 아파트는 온돌구조로서 모르터 마감을 시공 하는 습식 뜬바닥 구조라 일컫는다. 이는 구체로서의 콘크리트 바닥판위에 완충재를 두고 콘크리트 주벽 등에 절연재(벽면 완충재)를 설치하여, 구조체와 음향적으로 절연한 모르터 등의 습식재료 뜬 바닥 층을 현장에서 시공하는 공법을 말한다. 이공법의 적용 시 바닥 완충재로서 어떠한 제품을 사용하는지에 대하여 완충효과를 결정하는 중요한 요소가 되며 공동주택 시공특성상 발생할 수 있는 충격음 전이체(음향적가교, Sound Bridge)를 Zero화하여 완벽하게 절연된 뜬바닥 구조를 형성 하는 것 또한 중요하다. 하지만, 공동주택의 시공 중 불가피하게 음향적가교가 발생하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 바닥충격음 전이체의 종류 및 구성 변화에 따라 바닥충격음 차음 효과가 어떻게 일어나는지 각 변수별로 시공하여 바닥충격음에 대한 측정결과를 비교분석함으로써 공동주택 시공 시 바닥충격음 저감을 위한 시공 기준을 제시하는 데 그 목적이 있다.

1.2 연구내용 및 범위

1.2.1 연구내용

본 연구에서는 공동주택 시공 시 발생하는 바닥충격음 전이체 실태분석을 통하여 전이체의 구성 및 제반조건의 변화에 따른 바닥충격음 저감효과를 측정하기 위하여 부산 다대동에 위치한 공동주택 신축현장 5세대에서 9조건의 바닥충격음 전이체 구성변화를 주어 바닥충격음 측정을 실시하였으며 조건은 표 1.1과

같다.

시험 대상의 환경은 아래와 같은 조건으로 실시하였다.

- (1) 실험대상 공동주택 위치 : 부산 다대동 소재 공동주택 신축현장
- (2) 실험대상 공동주택 평수 : 109.243m², 5세대
- (3) 슬래브 두께 : 150mm
- (4) 바닥충격음 저감재 : 20mm
- (5) 기포콘크리트 층 : 40mm
- (6) 시멘트모르타 층 : 50mm
- (7) 바닥마감재 : 침실 5mm 비닐시트, 거실 및 주방 9mm 온돌마루판

표 1.1 바닥충격음 전이체 구성

No.	호수	위치	전이체의 종류	전이체의 구성
1	1404호	침실 목문 주변	목문하부 고정틀	시멘트 벽돌+합판(mm)
2	1304호	침실 목문 주변	목문하부 고정틀	각재+합판(20mm)
3	1204호	침실 목문 주변	목문하부 고정틀	각재+압축고무판(5m*4겹)
4	1104호	침실 목문 주변	목문하부 고정틀	각재+완충재(20mm)
5	1304호	침실 2	완충재 고정못	고정못 미사용
6	1204호	침실 2	완충재 고정못	고정못 25mm 10EA 시공
7	1104호	침실 2	완충재 고정못	고정못 32mm 10EA 시공
8	1104호	주방	측벽 절연재	절연재 9mm 시공
9	1004호	주방	측벽 절연재	완충재 20mm 시공+분배기절연
10	1104호	거실	일반 시공	

1.2.2 연구범위

측정대상의 세대는 동일 평수와 동일 타입의 세대로서, 모든 마감은 동일조건하에서 시험하였으며, 상하층간 바닥충격음 및 평가방법의 검토, 바닥충격음

현장측정, 바닥충격음 저감효과 실태분석을 하기 위하여 KS(KS F 2863-1)규정에 의거 모든 수음점 에서 아래와 같이 경량충격음 및 중량충격음을 각각 1회씩 측정하였다.

- (1) 경량충격음 : 500g 쇠 볼 5cm 연속적으로 낙하
- (2) 중량충격음 : 7kg 타이어 80cm 낙하

1.2.3 연구방법

바닥충격음 측정시험은 모든 마감공사가 끝난 후 입주직전에 실시하여 입주 후의 일반적인 여건에 가장 근접한 상황에서 실시하는 것이 측정오차를 줄일 것으로 사료되어 공동주택 입주 시작 1주일 전에 실시하였다.

각 지점에서 측정 전 암소음 측정을 실시하여 바닥충격음 측정 시와 소음레벨의 차이를 확인하였으며, 바닥충격음 시험은 충격음 발생기(경량충격원, 중량충격원) 및 수음장치 등을 사용하여 시험하여 각각의 충격원에 대해 모두 4~5지점의 수음점을 설치 바닥충격음을 측정하였다.

II. 이론적 고찰

2.1 공동주택의 소음 종류

공동주택에서 발생되어 거주자들에게 영향을 미치는 소음은 그 소음의 발생 위치에 따라서 옥내소음과 옥외소음으로 나눌 수 있다. 옥외소음으로는 공장, 철도, 도로, 공사장 등에서 발생하는 소음으로 대변되며 옥내소음의 경우는 사람의 발자국 소리, 현관문 개폐음, 급·배수음 및 세탁기 소리, 피아노음, 운동기구로 인한 충격음 등 옥외소음의 경우와는 달리 그 종류 및 발생원이 매우 다양하다.

공동주택에서 쾌적한 주거환경을 형성하는데 있어 소음발생 방지대책은 필수적인 요소다. 소음의 종류 및 전달경로는 공동주택에서 거주자에게 영향을 미치는 소음의 전파특성에 따라 공기전달음(기류음)과 고체전달음(고체음)으로 구분할 수 있다. 기류음이란 공기 중의 전파에서 벽면 및 개구부를 투과함으로써 실내에 전파되는 음으로 인접세대의 대화음, TV 소리 등이 여기에 속한다. 고체음은 건물의 구조체를 따라 진동에 의하여 발생하는 음으로서 구두 발자국소리, 현관문 개폐음, 수도의 유수음 등과 같이 건물의 구조에 직접 가진력이 작용하는 경우와 피아노, 스트레오, 항공기 소음과 같이 강한 음파가 벽면에 입사하여 고체음으로 전달되는 경우가 있다. 일반적으로 철근콘크리트구조의 공동주택은 벽면의 질량이 크기 때문에 벽면을 투과하는 공기음 차단에는 유리하지만, 진동은 쉽게 전달되기 때문에 건물의 넓은 범위에 걸쳐 고체음이 발생한다.

그림 2.1은 공동주택 거주자들을 대상으로 설문조사 한 연구결과³⁾를 도표

3) 김병길, 공동주택의 바닥충격음 감소를 위한 차음 저감재 설치 효과에 관한 연구, 서울산업대학교 석사학위 논문, 2004.02.

로 나타낸 것이다. 이 연구결과에서 알 수 있듯이 공동주택 거주자들이 지적하는 내부소음원의 90%이상이 고체 음으로 전달되는 소음이라는 것을 알 수 있다.

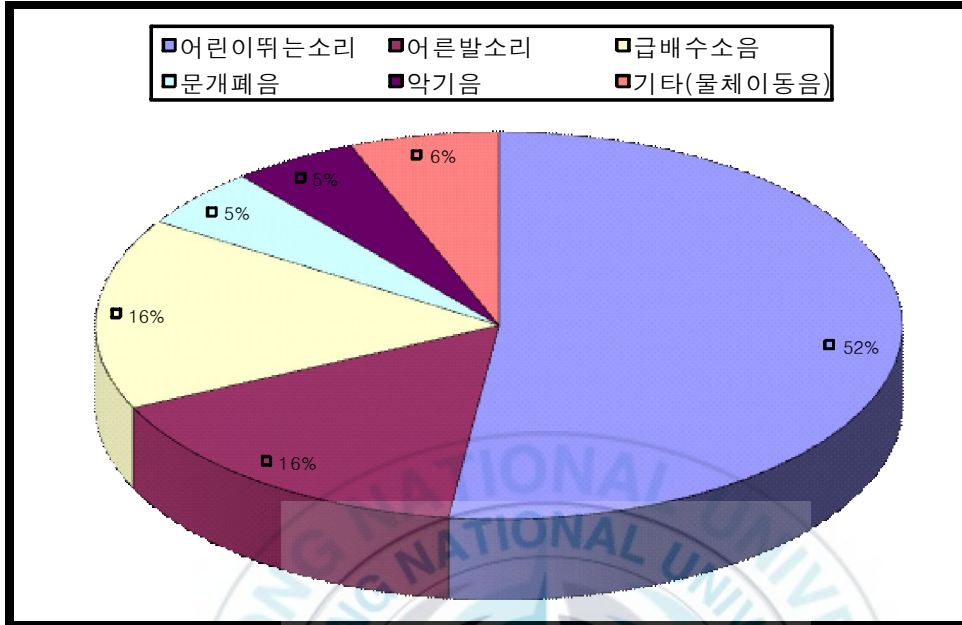


그림 2.1 공동주택 소음 중 불만요인

이렇듯 공동주택에서의 층간소음은 발소리 및 급·배수 소음, 현관 개폐음과 같은 고체음의 영향이 크게 나타나고 있으며, 특히 위층에서 뛰어다니거나 돌아다니는 바닥충격음에 가장 신경이 쓰이는 것으로 나타나고 있다. 이 바닥충격음은 바닥 위를 걷거나 물체를 이동할 때 발생하는 경량충격음과 아이들이 바닥 위를 뛰어 다닐 때 발생하는 중량충격음으로 분류할 수 있다.

2.2 바닥충격음

2.2.1 바닥충격음의 정의

바닥충격음⁴⁾이란 인간의 보행, 물건의 낙하, 어린이들의 뛰어나 달림, 가구 및 물체들의 이동에 의해 발생한 충격이 바닥에 가해지면서 바닥슬래브는 굴곡 진동하고, 그 진동이 공기 중에 음으로서 방사되는 것을 말한다. 이러한 바닥충격음은 충격특성에 따라 경량충격음과 중량충격음으로 구분하여 평가하고 있다. 경량충격음은 작은 물건의 낙하나 가구의 이동시 바닥에 가해진 충격에 의해 바로 아래층에서 어느 정도 발음 성을 나타내는지를 평가하는 지표이고, 비교적 고음역의 음을 발생시킨다. 중량충격음은 어린이가 뛰거나 달리 때에 발생한 무거운 충격이 바로 아래층에서 어느 정도의 발음 성을 나타내는지를 평가하는 지표로서 저음역의 음을 발생시킨다.

이러한, 바닥충격음은 크게 고체음과 진동음으로 분류할 수 있다.

(1) 고체음

소음 발생원으로부터 직접 공기 중에 음파가 방사, 전파되어 귀에 들리는 음을 공기전파음(air-borne-sound) 또는 공기음 이라고 하는 것에 반해, 하나의 진동원에서 발생한 진동이 지반이나 건축구조체 등의 고체 물질을 전파하면 그 전파된 진동이 건물의 천장, 바닥, 벽 등을 진동시킴에 따라 공기 중에 음으로서 방사되어 귀로 들을 수 있거나 혹은 직접 인체에 진동으로 전달되어 청각으로 감지될 수 있는 것을 고체전파음(solid-borne-sound) 또는 고체음 이라고 한다. 따라서 공기음과의 차이는 발생원으로부터 방사되는 형태가 음인가, 아니면 진동인가

4) 김병길, 공동주택의 바닥충격음 감소를 위한 차음 저감재 설치 효과에 관한 연구, 서울산업대학교 석사학위 논문, 2004.02.

에 있으나 이들 모두 청각에 의해 지각된다는 공통점이 있다.

(2) 진동음

진동음이란 소음 발생원으로부터 진동으로 발생하여 마지막까지 진동으로 전달되어 인체 등에 떨림이나 진동의 형태로 감지되는 것을 말하기 때문에 명확한 구분이 필요하다.

이들 고체음과 진동의 관계를 주파수 영역으로 구분하면 전신적인 움직임이나 떨림으로서 느끼는 1Hz이하의 영역으로부터 촉각으로 느끼는 1-100Hz의 영역, 청각으로 느끼는 20-20,000Hz의 영역으로 나눌 수 있다. 이와 같이 진동과 고체음은 20-100Hz사이가 중복되나 40Hz보다 주파수 영역이 위로 올라가면 청각 쪽이 예민하게 작용하여 허용오차가 작아지기 때문에 일반적으로 40Hz 이상을 고체음의 대상으로 적용하고 있다.

2.2.2 바닥충격음 차단 표준바닥구조

2005년 6월 30일 개정된 '주택건설 기준 등에 관한 규정'에서는 공동주택과 같이 벽식 혼합구조로 이루어진 구조물에서의 바닥충격음 차단을 위한 표준바닥구조로 표 2.1과 같이 제정하였으며, 뜯 바닥 구조의 표준단면을 그림 2.2로 나타내고 있다).

5) 건설교통부 고시 제2005-189호, 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리지침, 2005.06

표 2.1 벽식 및 혼합구조에서의 바닥충격음 차단을 위한 표준바닥구조

구분	표준바닥구조단면상세 ¹⁾	바닥마감재의종류
1	콘크리트 슬래브두께210mm이상+단열재20mm이상+경량기포콘크리트40mm이상+마감모르터40mm이상	가중바닥충격음 레벨 감소량이 13dB이상인 바닥마감재
2	콘크리트 슬래브두께210mm이상+완충재20mm이상+경량기포콘크리트40mm이상+마감모르터40mm이상	바닥마감재 제한없음
3	콘크리트 슬래브두께210mm이상+경량기포콘크리트40mm이상+단열재20mm이상+마감모르터40mm이상	가중바닥충격음 레벨 감소량이 13dB이상인 바닥마감재
4	콘크리트 슬래브두께210mm이상+경량기포콘크리트40mm이상+완충재20mm이상 ⁴⁾ +마감모르터40mm이상	바닥마감재 제한없음
5	콘크리트 슬래브두께210mm이상+완충재40mm이상+마감모르터50mm이상	바닥마감재 제한없음

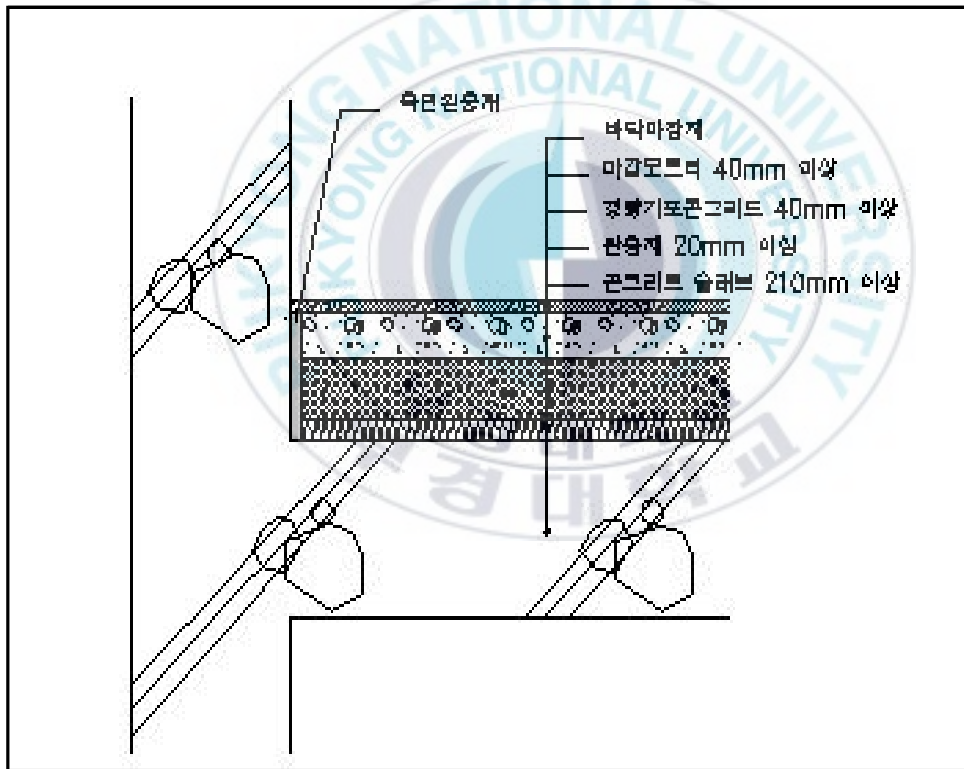


그림 2.2 벽식 및 혼합구조에서 표준시공단면도

또한 경량충격음 및 중량충격음에 대한 법적기준치는 표 2.2와 표 2.3과 같다.

표 2.2 경량충격음 법적기준

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

표 2.3 중량충격음 법적기준

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

2.3 습식튼바닥 구조

서두에서 설명하였듯이 공동주택의 바닥구조는 콘크리트 재료로 구성된 구체와 바닥 마감 층 사이에 바닥충격음을 전달을 차단할 수 있도록 절연된 완충 층을 두고 그 위에 마감 바닥 층을 형성시키는 뜬바닥 구조를 이루고 있으며, 일반적으로 건식과 습식형태로 나누어진다. 난방배관을 통한 온돌난방 형식을 취하는 우리나라의 대부분의 공동주택은 마감 바닥 층이 시멘트 모르타르로 형성되는 습식 뜬바닥 구조로 이루어져 있다. 뜬 바닥을 형성시키는 가장 기본적인 목

적이 바닥충격음의 절연으로 인한 바닥충격음 전달의 차단기능에 있는 만큼 뜯바닥을 형성시키는 완충재의 역할이 큰 비중을 차지한다. 즉, 뜯바닥 구조의 차단성능은 바닥슬래브, 완충재 및 뜯바닥 층에 의해 결정된다. 질량이 있는 타성체로 지지하고, 구성된 공진계의 특성을 이용하여 바닥충격음 전달을 저감하는 것은 방진의 기본적인 방법으로서 뜯바닥 공법도 완충재와 뜯바닥 층으로 구성되는 공진계의 특성을 이용하는 것이라 할 수 있다⁶⁾.

공동주택의 바닥충격음은 충격력의 특성, 바닥구조의 진동특성, 수음실의 음향특성에 의해 좌우되며⁷⁾, 이들 요소 중 충격력 특성은 한국산업규격(F 2810)에 명기되어 있는 Tapping Machine(경량충격음), Tire 충격기(중량충격음)을 사용함으로써 일정하게 되고, 대부분이 벽식 구조로 형성되어 있는 공동주택의 경우 수음실의 음향특성이 비슷하므로 바닥충격음은 결국 바닥구조의 진동특성에 의해 좌우된다고 할 수 있다. 또한 공동주택의 바닥구조는 구체인 콘크리트 슬래브와 완충 층, 바닥 마감 층, 천장구조로 구성되고 이러한 요소 중 바닥마감재 및 천장마감재는 대부분의 구조에 비슷한 조건으로 적용되므로 콘크리트 슬래브와 완충 층이 바닥충격음 차이의 가장 큰 변화 요인이라고 할 수 있으며, 바닥충격음에 대한 차음성능을 향상시키기 위한 방안이 첫째로는 콘크리트 슬래브 중량화이며⁸⁾, 둘째가 뜯바닥 구조를 개선, 발전시키는 방법이 제시되고 있다⁹⁾.

사실 우리나라에서도 콘크리트 슬래브를 중량화를 위해 2003년 4월 관련법령이 개정되어 2005년 6월 이후 사업승인 공동주택부터는 적용되고 있다. 그러나 공동주택의 건설의 경제성을 감안한다면 계속적으로 콘크리트 슬래브의 중량화

6) 양관섭 외 3인, 공동주택 바닥충격음 저감을 위한 뜯바닥 구조의 적용에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제8권 제2호, 1988.02.
 7) 정영, 공동주택의 바닥충격음 저감 효과에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 제19권 제1호, 1999.04.
 8) 김수영 외 3인, 공동주택의 바닥슬래브 두께에 따른 바닥충격음 저감성능에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제15권 제1호, 1995.04.
 9) 김선우 외5인, 바닥충격음 차음성능기준 및 등급화에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제6권 제2호, 1990.06.

를 추진하기는 어려울 것이다.

이러한 의미에서, 바닥충격음 차음성능을 증대시키기 위한 방법으로 뜬바닥 구조의 가장 큰 핵심재료인 완충재의 지속적인 연구개발을 통한 뜬바닥 구조의 개선 및 발전이다¹⁰⁾. 2000년 이후 아이소핑크, PE섬유, 스티로폼, 압면, 페타이어 분쇄 칩, 경랑고무 칩, 발포고무, 발포우레탄 등 수 많은 재료가 바닥충격음 차음성능 향상을 위한 완충재로서 연구 개발되어 수많은 시행착오를 겪었으며 현재에도 활발하게 연구가 진행 중이다.

그러나, 주지해야 할 사실은 뜬바닥 구조란 구체인 콘크리트 슬래브와 마감 바닥 층 사이에 완전히 절연된 완충 층을 두어 바닥충격음의 전달을 최대한 차단하는 데 있다. 하지만, 공동주택 시공 시 전체공종의 마감을 위하여 불가피하게 문틀하부 및 배관주위 등에 충격음 전이체(Sound Bridge)들이 발생하게 된다.¹¹⁾ 아무리 우수한 완충재를 사용하고 콘크리트 슬래브를 중량화 시킨다 하더라도 충격음들이 전이될 수 있는 전이체 들을 묵과하고 지나친다면 목적하고자 하는 차음성능은 현저히 낮아지게 될 것이다.

2.4 바닥충격음 전이체(Sound Bridge, 음향적 가교)의 종류

공동주택 시공에 있어서 대량시공, 급속시공 및 균일화 시공 등은 경제성 및 효율성을 감안해 불가피한 사항이다. 습식 뜬바닥 구조의 효능 및 완충재의 성능 실험을 위해 제작되어지는 연구동이나 공동주택에서 현장시공을 위해 만드는 Mock-Up 세대 등의 소수의 세대의 경우 뜬 바닥 시공을 위한 완충재 시공 및 마감 바닥 층 형성 시 구조적으로 완전히 절연된 뜬 바닥을 시공하는 것은 그리

10) 장재희, 공동주택 바닥충격음 저감재의 저감효과에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제18권 제4호, 2002.04.

11) 박병진 외 1인, 습식뜬바닥 구조의 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제8권 제7호, 1992.07.

어려운 일이 아니다. 하지만, 공동주택 시공에 있어 뜬바닥을 형성시키는 공정에서 각 공종을 단기간에 대량으로 급속 시공되는 본 공사의 경우 완벽하게 구조적으로 절연된 뜬바닥 층을 형성시키기란 어려울 것이다. 또한, 절연체를 형성시키기 어려운 부분도 존재하며 절연체가 형성되지 않는 전이체 부분과 절연체를 형성하기 어려운 부분, 이 두 가지로 나눌 수 있다. 그 종류는 표 2.4 과 그림 2.3로 나타내었다.

표 2.4 바닥충격음 전이체 종류

구분	종류
충격음 전이체	1. 목문 및 PL 창호, 금속창호 등의 창호 프레임 하부 고정체 2. 완충재 시공 시 고정용 타카 못
절연 난이체	1. 습식 뜬 바닥 구조상에 위치한 난방 온수분배기 2. 욕실 하부Sill 부근 3. 합지벽(단열재+석고보드) 하부 4. 현관 마루갑석 경계 절연면

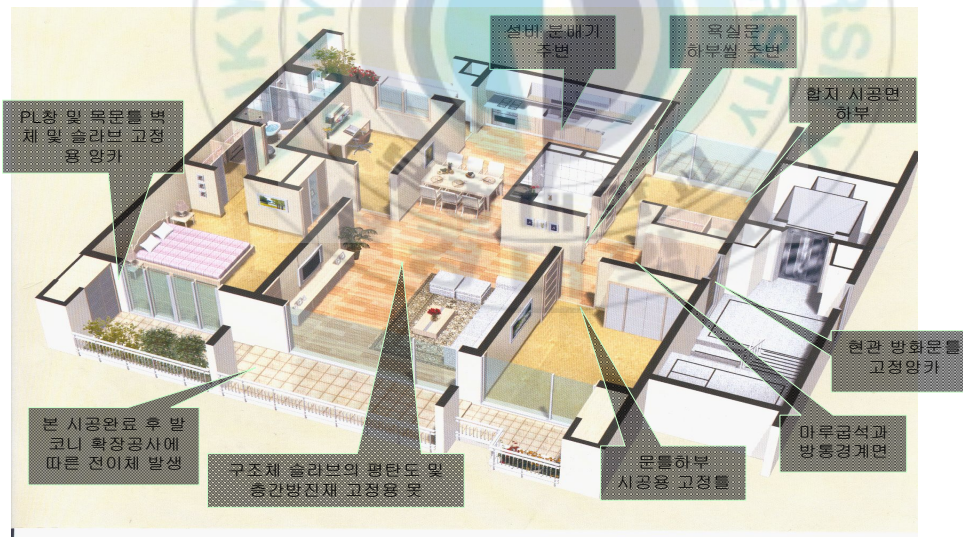


그림 2.3 바닥충격음이 전이될 수 있는 요인

공동주택 시공에 있어 가장 큰 충격음전이체는 창호 프레임 하부 고정틀이라

할 수 있을 것이다. 공동주택의 공정상 창호 프레임 공사의 경우 골조 및 조적 공사 등 공동주택의 골격을 이루는 공정 바로 다음에 이루어진다. 프레임의 측면 및 상부 고정의 경우 풍압 및 자제하중 등의 구조적인 목적에서라도 당연히 시공되어야하나 하부 고정철물이나 고정 틀의 경우 프레임 시공 직후 마감 바닥 층이 밀실하게 시공되어 진다면 없어도 무방하다. 공동주택 시공 시 프레임 시공에서 습식 뜬 바닥 층이 형성되는 완충재 시공 및 기포콘크리트 타설, 시멘트 모르타르 타설 등의 공정까지는 상당한 시일이 소요되므로 장기간 작업자들의 이동 및 자재야적 등에 의한 창호 하부 프레임의 처짐 및 변형을 방지하고자 하부 고정철물 및 고정 틀을 시공하게 된다. 목문 및 PL창호 프레임의 경우 측면 및 상부 고정용 철물은 외부가 합성수지류의 캡이 일체가 되는 앵커류를 사용하여 각종 충격음이 구조체로 전달되는 것에 대해 완충작용을 하나 하부 고정철물 및 고정 틀의 경우 이러한 완충작용을 하는 재료를 사용하지 않는 것이 대부분이다.

그림 3.1에서 나타났듯이 공동주택 입주민들이 불편해하는 바닥충격음 중 문 개폐음이 5%를 차지하고 있고, 이중에서 현관 금속 문 개폐 음이 많은 비중을 차지하고 있다. 이는 현관문이 설치되는 바닥은 뜬바닥이 형성되지 않으며 금속 프레임 하부고정 철물 시공 시 충격음 완화에 대한 적절한 대책이 없는 재료를 구조체인 콘크리트슬래브에 직접 고정시킴으로써 문 개폐에 따른 충격음 발생 시 충격음 전이가 그대로 이루어지기 때문이라고 볼 수 있다. 목문의 경우 목문틀 하부 고정이 뜬 바닥 내에서 이루어지며 고정철물을 현관문 프레임과 같이 콘크리트 슬래브에 직접 고정하지는 않으나 처짐 및 변형방지를 위하여 시공하는 하부 고정 틀은 완충재와 같은 성질이 아니므로 충격음 전이체로 볼 수 있으며 고정 틀의 물성에 따라 충격음이 전이되는 정도도 차이가 있다. PL창호 프레임 또한 하부 고정 철물을 콘크리트 슬래브에 고정을 하나 측면에 적절한 절연재를 시공하고 철물주변에 우레탄폼 등으로 적절한 보강을 할 경우 충격음 전이

를 어느 정도 방지할 수 있을 것이다.

뜬바닥 구조를 위해 시공하는 완충재를 시공하는 과정에서도 전이체가 발생할 수 있다. 과거 고무 칩 등 고풍성 분말 칩은 결로 및 시공과정상 많은 문제점이 발생하여 근래에는 거의 사용하지 않고 대부분 폴리우레탄 등으로 제작된 판 재형 재료를 많이 사용하고 있다. 공동주택 시공의 특성상 대량시공이 이루어지므로 완충재 시공 후 약24시간에서 36시간까지 후속작업 없이 방치되며, 이러한 완충재는 최초의 시공 상태가 기포콘크리트타설 이 완료될 때까지 완벽하게 유지되어야 하나 바람, 기온변화에 의한 수축 팽창, 기포콘크리트 타설시 떠오름 등의 이유로 대부분 완충재 고정용 타카 못을 이용하여 완충재를 고정시키고 있다. 고정용 못의 경우 역시 구조체인 콘크리트 구조체에 매입되므로 충격음에 대한 전이체로 보아야 할 것이다. 완충재 시공 후 즉시 기포콘크리트 타설이 이루어진다면 기포콘크리트의 비중이 0.45 즉, 1m² 당 45kg의 기포 층 하중이 가해지기 때문에 굳이 고정용 못을 시공할 필요는 없으나 시공 상 전이체를 발생시킬 가능성은 여러 요인으로 인하여 배제할 수 없다..

2.5 바닥충격음 레벨의 측정기준(한국산업규격)

2.5.1 표준 경량 충격원에 의한 방법(KS F 2810-1)

(1) 적용범위

이 규격은 표준 경량 충격원을 이용하여 현장에서 건축물의 바닥 충격음 차단 성능 측정방법을 규정한 것이다.

(2) 정의 : 이 규격에서 사용하는 주요 용어의 정의는 다음과 같다.

① 실내 평균 음압 레벨 (average sound pressure level in a room) L

수음실(受音室)의 공간 및 시간적 평균 음압레벨을 제공하고, 이를 기준 음압의 제공으로 나누어 상용로그 값을 취한 후 10배한 것이며, 이 때 실내 전 공간에 대해 평균값을 취한다.

② 바닥충격음 레벨 (impact sound pressure level) L_i

측정 대상 바닥을 표준 경량 충격원으로 가진하여 수음실에서 측정한 실내 평균 음압레벨로 단위는 데시벨(dB)이다

③ 기준 화 바닥 충격음 레벨(normalized impact sound pressure level) L'_n

기준 등가 흡음력 A_0 에 대한 수음실의 흡음 면적 A의 비율을 상용로그 값으로 취하여 10배하고, 이 보정 값을 바닥 충격음 레벨 L_i 에 더한 값이다.

$$L'_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right)$$

여기서 A_0 는 $10m^2$ 이다

(3) 측정 장치

① 바닥충격음 발생기

부속서 1의 규정에 적합한 표준 경량 충격원을 사용한다.

② 수음장치

KS C 1502에 규정하는 보통소음계 또는 KS C 1505에 규정하는 정밀 소음계를 이용한다.

③ 주파수 분석기

주파수 분석에는 KS A 5113에 규정하는 옥타브 또는 1/3 옥타브 밴드 분석기를 이용한다.

(4) 측정방법

측정은 옥타브 밴드 또는 1/3 옥타브 밴드마다 실시하며, 이들 중 어느 것에 따르는가는 측정의 목적에 따라 사전에 결정한다.

① 바다 충격음의 발생

측정 대상 바다 위에 표준 경량 충격원을 설치하고 충격음을 발생시킨다. 표준경량 충격원의 위치는 실의 주변 벽으로부터 50cm 이상 떨어진 바닥 평면 내로, 중앙점 부근의 1점을 포함하여 균등하게 분포하는 4점 이상으로 한다. 보와 리브를 갖는 이방성의 바닥 구조의 경우에는 각 햄머를 연결하는 선이 보와 리브의 방향에 대하여 45° 방향이 되도록 설치한다.

표준 경량 충격원에 의해 발생하는 충격음이 작동 개시 후의 시간 경과에 따라 변화하는 경우에는 발생음의 레벨이 안정된 이후에 측정해야 한다. 측정 대상 바닥은 표준 경량 충격원의 설치 및 작동에 지장이 없도록 평탄하고 수평면 이어야만 한다. 그리고 표준 중량 충격원의 타격에 의해 바닥 표면을 손상할 소지가 있을 경우에는, 바닥 충격음 레벨의 발생에 큰 영향을 주지 않을 얇은 종이 등을 붙이고 측정하여도 좋다, 다만 그러한 경우에는 사용된 재료를 보고서에 명기하여야 한다.

② 실내 평균 음압 레벨 측정

마이크로폰의 설치 방법

a) 고정 마이크로폰법 : 수음실 내에서 천장, 주위 벽, 바닥면 등으로부터 0.5m 이상 떨어진 공간 내에, 서로 0.7m 이상 떨어진 4점 이상의 측정 점을 공간적으로 균등하게 분포시킨다.

b) 이동 마이크로폰법 : 0.7m 이상의 회전 반지름을 갖는 마이크로폰 이동 장치를 이용하여 수음실 내의 천장, 주위 벽, 바닥면 등으로부터 0.5m 이상 떨어진 공간 내에서 마이크로폰을 연속적으로 회전시킨다. 그 회전면은 바닥면에 경사지고, 또한 각 벽면에 대하여도 10° 이상의 각도가 되도록 하고 회전주기는 15 초 이상으로 한다.

③ 평균화 시간

a) 고정 마이크로폰에 의한 경우 : 각 마이크로폰 설치 위치에 있어서 음압 레벨의 평균화 시간은 측정 주파수 대역에 있어서 옥타브 밴드 측정의 경우에는 중심 주파수 250Hz 이하의 주파수 대역에서는 3초 이상, 500Hz 이상의 대역에서는 2초 이상으로 한다. 1/3 옥타브 밴드 측정의 경우에는 중심 주파수 400Hz 이하의 주파수 대역에서는 6초 이상, 500Hz 이상의 주파수 대역에서는 4초 이상으로 하고 그 사의의 등가 음압레벨을 측정한다. 또한 A특성 음압레벨을 측정하는 경우에는 평균화 시간은 6초 이상의 등가 소음 레벨을 측정한다.

b) 이동 마이크로폰 법에 의한 경우 : 평균화 시간은 마이크로폰 이동 장치의 주기 이상으로 30초 이상을 하고, 회전 주기의 정수배로 한다.

④ 측정 주파수 범위

충격음 레벨의 측정은 다음의 중심 주파수의 주파수 대역에서 실시한다.

a) 옥타브 밴드 측정(Hz) : (63), 125, 250, 500, 1000 및 2000,(4000)

b) 1/3 옥타브 밴드 측정(Hz) : (50), (63), (80), 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 및 3150, (4000), (5000)

()의 주파수 대역은 측정하는 것이 바람직한 주파수 대역이다

2.5.2 표준 중량 충격원에 의한 방법(KS F 2810-2)

(1) 적용범위

이 규격은 표준 중량 충격원을 이용하여 현장에서 건축물의 바닥 충격음 차단 성능 측정방법을 규정한 것이다.

(2) 정의 : 이 규격에서 사용하는 주요 용어의 정의는 다음과 같다.

① 최대 음압 레벨 (maximum sound pressure) L_{Fmax}

소음계의 시간 보정 특성 F를 이용하여 측정한 음압레벨의 최대값이다.

② 바닥충격음 레벨 (impact sound pressure level) L_{iFmax}

측정 대상 바닥을 표준 중량 충격 원으로 가진하여 수음실에서 측정한 최대 음압 레벨의 에너지 평균값으로 단위는 데시벨(dB)이다

③ 규준화 바닥 충격음 레벨(normalized impact sound pressure level) L'_n

기준 등가 흡음력 A_0 에 대한 수음실의 흡음 면적 A의 비율을 상용로그 값으로 취하여 10배하고, 이 보정 값을 바닥 충격음 레벨 L_i 에 더한 값이다.

$$L'_n = L_i + 10\log\left(\frac{A}{A_0}\right)$$

여기서 A_0 는 $10m^2$ 이다

(3) 측정 장치

① 바닥충격음 발생기

부속서 1의 규정에 적합한 표준 중량 충격원을 사용한다.

② 수음장치

KS C 1502에 규정하는 보통소음계 또는 KS C 1505에 규정하는 정밀 소음계를 이용한다.

③ 주파수 분석기

주파수 분석에는 KS A 5113에 규정하는 옥타브 또는 1/3 옥타브 밴드 분석기를 이용한다.

(4) 측정방법

측정은 옥타브 밴드 또는 1/3 옥타브 밴드마다 실시하며, 이들 중 어느 것에 따르는가는 측정의 목적에 따라 사전에 결정한다.

① 바닥 충격음의 발생

측정 대상 바닥 위에 표준 중량 충격원을 이용해서 충격음을 발생시킨다. 표준 중량 충격원의 위치는 실의 주변 벽으로부터 50cm 이상 떨어진 바닥 평면 내로, 중앙점 부근의 1점을 포함하여 평균적으로 분포하는 3~5점으로 한다. 측정대상의 바닥은 표준 중량 충격원의 낙하에 지장이 없을 정도로 평활하고 수평한 면이어야 한다.

② 마이크론의 설치 방법

수음실 내에서 천장, 주위 벽, 바닥면 등으로부터 0.5m 이상 떨어진 공간 내에, 서로 0.7m 이상 떨어진 4점 이상의 측정 점을 공간적으로 균등하게 분포시킨다.

b) 이동 마이크론 법 : 0.7m 이상의 회전 반지름을 갖는 마이크론 이동 장치를 이용하여 수음실 내의 천장, 주위 벽, 바닥면 등으로부터 0.5m 이상 떨어진 공간 내에서 마이크론을 연속적으로 회전시킨다. 그 회전면은 바닥면에 경사지고, 또한 각 벽면에 대하여도 10° 이상의 각도가 되도록 하고 회전주기는 15초 이상으로 한다.

③ 평균화 시간

a) 고정 마이크론에 의한 경우 : 각 마이크론 설치 위치에 있어서 음압 레벨의 평균화 시간은 측정 주파수 대역에 있어서 옥타브 밴드 측정의 경우에는 중심 주파수 250Hz 이하의 주파수

④ 측정 주파수 범위

최대 음압 레벨의 측정은 다음의 중심 주파수의 주파수 대역에서 실시한다.

a) 옥타브 밴드 측정(Hz) : (31.5), 65, 125, 250 및 500

b) 1/3 옥타브 밴드 측정(Hz) : (25), (31.5), 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500 및 630

저주파수 대역의 측정이 필요한 경우 ()의 주파수 대역은 측정하는 것이 바람직한 주파수 대역이다.

2.6 바닥충격음 레벨의 평가기준(한국산업규격)

2.6.1 표준 경량 충격원에 의한 차단 성능(KS F 2863-1)

(1) 적용범위

표준 경량 충격원을 이용해서 측정한 건물 및 건물 부재의 바닥 충격음 차단 성능 평가 방법을 규정한 것으로, 1/3 옥타브 밴드 또는 옥타브 밴드의 측정결과에서 바닥 충격음 차단 성능을 단일 수치 평가량으로 평가하는 방법에 대하여 규정한다.

(2) 정의

① 1/3 옥타브 밴드 측정에 의한 바닥 충격음 차단 성능 단일 수치 평가량

1/3 옥타브 밴드 측정값에 대해서 이 규격에서 규정하는 방법에 의해 기준곡선을 이동하였을 때 기준 곡선의 500Hz에 해당하는 값이다.

② 옥타브 밴드 측정에 의한 바닥 충격음 차단 성능 단일 수치 평가량

옥타브 밴드 측정값에 대해서 이 규격에서 규정하는 방법에 의해 기준 곡선을 이동하였을 때 기준 곡선의 500Hz에 해당하는 값으로부터 5dB을 뺀 값이다.

(3) 단일 수치 평가량을 구하는 방법

① 기준 값

측정값과 비교 기준이 되는 값을 표 2.5에 나타내었다.

표 2.5 바닥 충격음 차단 성능 평가 기준 값

주 파 수(Hz)	기 준 값 (dB)	
	1/3 옥타브 밴드	옥타브 밴드
100	62	
125	62	67
160	62	
200	62	
250	62	67
315	62	
400	61	
500	60	65
630	59	
800	58	
1000	57	62
1250	54	
1600	51	
2000	48	49
2500	45	
3150	42	

② 비교의 방법

a) 1/3 옥타브 밴드의 경우

기준 곡선을 측정 결과 곡선에 대비하여 1dB 간격으로 상하 이동시키는데 16개 1/3 옥타브 밴드에 있어서 측정 결과가 기준곡선을 상회하는 값의 총합이 32dB을 넘지 않는 범위에서 가능한 한 기준 곡선이 아래로 위치하게 한다. 이상의 과정을 거친 후, 기준 곡선의 기준 곡선의 500Hz 대역에 대한 레벨 값을 $L_{n,w}$, L'_{nTw} (표 2-6 참조)의 값으로 한다. 여기서는 중심 주파수 100Hz부터 3150Hz의 주파수 대역을 대상으로 한다.

b) 옥타브 밴드의 경우

기준 곡선을 측정한 결과 곡선에 대비하여 1dB 간격으로 상하 이동시키는데 5개 옥타브 밴드에 있어서 측정 결과가 기준곡선을 상회하는 값의 총합이 10dB

을 넘지 않는 범위에서 가능한 한 기준 곡선이 아래로 위치하게 한다. 이상의 과정을 거친 후, 기준 곡선의 기준 곡선의 500Hz 대역에 대한 레벨 값에서 5dB 을 뺀 값(dB)을 $L_{n,w}$, $L'_{nT,w}$ (표 2.6 참조)의 값으로 한다. 여기서는 중심 주파수 125Hz부터 2000Hz의 주파수 대역을 대상으로 한다.

표 2.6 건축물 실간 바닥 충격음 차단 성능 단일 수치 평가량

평가량 명칭과 규격			단일 수치 평가량	
규격	명칭	기호	명칭	기호
KS F 2810-1	규준화 바닥충격음 레벨	L_n	가중 규준화 바닥충격음 레벨	$L_{n,w}$
	표준화 바닥 충격음 레벨	L'_{nT}	가중 표준화 바닥 충격음 레벨	$L'_{nT,w}$

③ 결과의 표시

이 규격에 따라 평가한 단일 수치 평가량을 나타내고 각각의 경우에 있어서 1/3 옥타브 밴드 및 옥타브 밴드 측정 결과 중 어느 것에 의해 단일 수치 평가량을 구했는가를 반드시 명기한다. 그리고 최초 측정 결과가 1/3 옥타브 밴드인 경우 옥타브 밴드의 값으로 환산할 경우에는 아래의 식을 이용하여 적용한다.

$$X_{1/1} = 10 \log(10^{X_{1/3,1}/10} + 10^{X_{1/3,2}/10} + 10^{X_{1/3,3}/10})$$

여기서

$X_{1/1}$: 옥타브 밴드의 값(dB)

$X_{1/3,1}$, $X_{1/3,2}$, $X_{1/3,3}$: 해당 옥타브밴드에 포함되는 3개의 1/3옥타브밴드의 레벨 값

2.6.2 표준 중량 충격원에 의한 차단 성능(KS F 2863-2)

(1) 적용범위

표준 중량 충격원을 이용해서 측정한 건물 및 건물 부재의 바닥 충격음 차단 성능 평가 방법을 규정한 것으로, 1/3 옥타브 밴드 또는 옥타브 밴드의 측정결과에서 바닥 충격음 차단 성능을 단일 수치 평가량으로 평가하는 방법에 대하여 규정한다.

(2) 정의

① 바닥 충격음 차단 성능 단일 수치 평가량

이 규격에서 규정하는 방법에 따라서 평가한 값

② 역 A 특성곡선

이 규격에 의하여 건축물의 바닥 충격음 차단 성능에 이용되는 곡선

(3) 단일 수치 평가량을 구하는 방법

① 기준 값

측정값과 비교 기준이 되는 값을 표 2.8에 나타내었으며 그림 4-3은 표의 내용을 기준 곡선으로 표현한 것이고, 표 2.7은 단일 수치 평가량의 용어와 기호를 나타낸 것이다.

표 2.7 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가량 (옥타브 밴드)

평가량 명칭과 규격			단일 수치 평가량	
규격	명칭	기호	명칭	기호
KS F 2810-2	바닥충격음 레벨	L_{iFmax}	역 A특성 가중 바닥충격음 레벨	$L_{iFmax.AW}$

② 비교의 방법

중심 주파수 63-500Hz의 옥타브 대역 측정 결과를 연결한 곡선에 대해서 기준 곡선을 상하 1dB씩 이동시켜 4개의 옥타브 밴드에 있어서 측정값이 기준 곡선을 상회하는 값의 총합이 8.0dB을 상회하지 않는 범위 내에서 가능한 한 기준 곡선이 낮게 위하는 곳까지 이동시키며, 이상의 수순으로 이동한 기준 곡선의 500Hz 대역에 있어서의 값을 $L_{iFmax.AW}$ 의 값으로 한다.

표 2.8 바닥 충격음 차단 성능 기준값

주 파 수(Hz)	기 준 값(dB)
63	83
125	73
250	66
500	60
1000	57
2000	56

Ⅲ. 바닥충격음 전이체 구성변화에 따른 충격음 측정

3.1 실험 개요

본 연구에서는 공동주택 시공 시 발생하는 바닥충격음 전이체 실태분석을 통하여 전이체의 물성 및 제반 조건의 변화에 따른 바닥충격음 저감효과를 측정하기 위하여 부산 다대동에 공동주택 신축현장에서 5세대를 기준으로 하여 바닥충격음 전이체의 구성을 9종류의 조건으로 시공하여 바닥충격음을 측정하였다.

실험 대상의 기본 환경은 아래와 같은 조건으로 실시하였으며 그림 5.1,과 그림 5.2는 뜬바닥 층의 모형과 본 실험을 실시하였던 세대의 바닥 단면을 나타내었으며, 그림 5.3은 실험대상 세대의 평면도이다.

- (1) 실험대상 공동주택 위치 : 부산 다대동소재 공동주택 신축현장
- (2) 실험대상 공동주택 평수 : 109.243M²(구, 33평형에 해당) 5세대
- (3) 슬래브 두께 : 150mm
- (4) 바닥충격음 저감재 : 20mm
- (5) 기포콘크리트 층 : 40mm
- (6) 시멘트모르터 층 : 50mm
- (7) 바닥마감재 : 침실 5mm 비닐시트, 거실 및 주방 9mm 온돌마루판

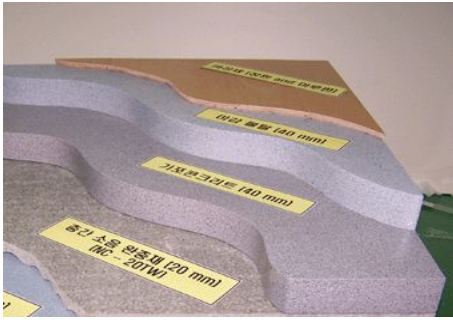


그림 3.1. 뜬바닥 구조의 모형

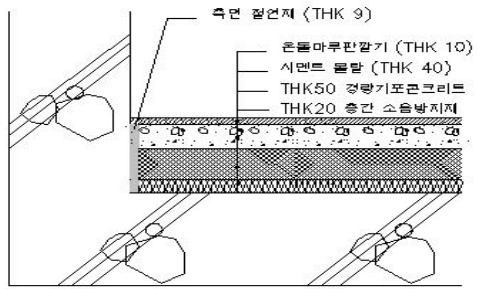


그림 3.2 실험세대 바닥 단면도

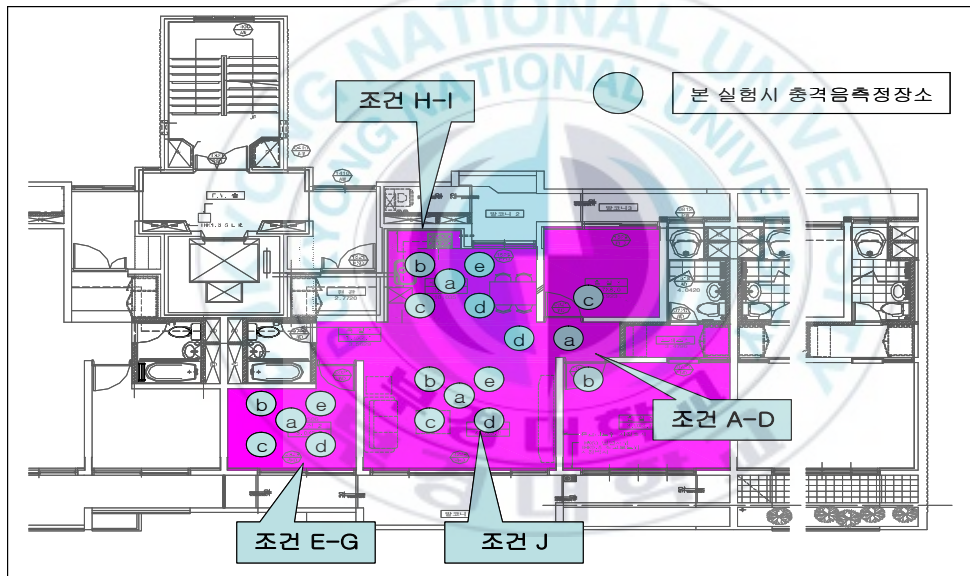


그림 3.3 실험세대 단위세대 평면도

3.2 실험 조건

바닥충격음 전이체 구성 변화에 따른 바닥충격음 차이를 분석하기 위해 아래의 구성으로 총 10종류의 전이체 구성변화를 주었으며 표 3.1과 같으며 각 구성 조건에 대한 사진을 그림 3.4~그림 3.8에 나타내었다.

.표 3.1 바닥충격음 전이체 구성

No.	호수	위치	전이체의 종류	전이체의 구성
1	1404호	침실 목문 주변	목문하부 고정 틀	시멘트 벽돌 + 합판(mm)
2	1304호	침실 목문 주변	목문하부 고정 틀	각재
3	1204호	침실 목문 주변	목문하부 고정 틀	각재 + 압축고무판(5m*4겹)
4	1104호	침실 목문 주변	목문하부 고정 틀	각재 + 완충재(20mm)
5	1304호	침실 2	완충재 고정 못	고정 못 미사용
6	1204호	침실 2	완충재 고정 못	고정 못 25mm 10EA 시공
7	1104호	침실 2	완충재 고정 못	고정 못 32mm 10EA 시공
8	1104호	주방	측벽 절연재	절연재 9mm 시공
9	1004호	주방	측벽 절연재	완충재 20mm 시공+분배기절연
10	1104호	거실	일반 시공	



그림 3.4 목문하부 고정 틀 :
시멘트벽돌 + 합판



그림 3.5 목문하부 고정 틀
:각재+ 합판



그림 3.6 목문하부 고정 :
각재+ 압축고무판



그림 3.7 목문하부 고정 틀
:각재+ 완충재

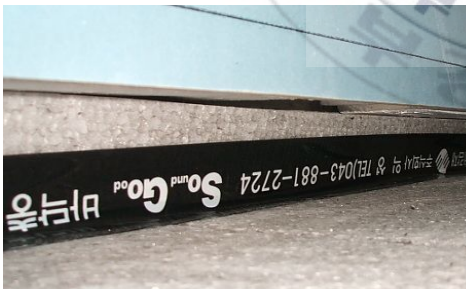


그림 3.8 측벽 하부 절연재 : 완충재

3.3 실험 방법

바닥충격음 측정시험은 모든 마감공사가 끝난 후 입주직전에 실시하여 입주 후의 일반적인 여건에 가장 근접한 상황에서 실시하는 것이 측정오차를 줄일 것으로 사료되어 공동주택 입주 시작 1주일 전에 실시하였다.

각 각의 지점에서 측정 전 암소음 측정을 실시하여 바닥충격음 측정 시와의 소음레벨의 차이를 확인하였으며, 바닥충격음 시험은 충격음 발생기(경량충격원, 중량충격원) 및 수음장치등을 사용하여 시험하여 각각의 충격원에 대해 모두 4 지점의 수음점을 설치 바닥충격음을 측정하였다.

측정대상의 세대는 동일 평수의 동일 타입의 세대로서, 모든 마감은 동일조건하에서 시험하였으며, 상하층간 바닥충격음 및 평가방법 검토, 바닥충격음 현장측정, 바닥충격음 저감효과 실태분석을 하기 위하여 KS규정에 의거 모든 수음점 에서 아래와 같이 경량충격음 및 중량충격음을 각각 1회씩 측정하였다.

- (1) 경량충격음 : 500g 쇠볼 5cm 연속적으로 낙하
- (2) 중량충격음 : 7kg 타이어 80cm 낙하

본 실험에 앞서 바닥충격음 완충재 시공 전 콘크리트 슬래브 위에서 바닥충격음 전이체의 구성요소로 사용되어진 재료를 대상으로 기본적으로 각 재료별 바닥충격음 저감효과 실험을 실시하여야 하였으나 여건상 실행하지 못하여 대상 재료의 기본적인 저감효과 측정치를 나타내지는 못하였다.

3.4 실험 결과 분석 및 고찰

3.4.1 경량충격음 측정 결과

표 3.2와 같이 2007년 11월 24일 거실 및 침실 1, 침실2, 침실3, 주방에서 경량충격음을 측정하였다..

그림 3.9, 그림 3.10, 그림 3.11은 바닥충격음 전이체의 구성 조건별 경량충격음 측정결과를 비교한 것이다. 경량 충격음 측정결과 바닥 전이체 구성조건 중 목문 하부 틀 구성조건에 변화를 주었던 A~D의 경우 최고 2dB의 차이가 발생하였다. 하부 틀, 고정 틀 조건 중 최 하부 층의 조건이 합판으로 각각 같았던 A와 B는 모두 52dB의 측정치를 나타내었으며, 최하부층 조건이 압축고무판인 C와, 완충재를 사용하였던 D는 모두 50dB로 나타났다.

또한, 바닥충격음 완충재 시공을 위한 고정 못 구성조건을 달리 하였던 E~G의 경우 고정 못을 전혀 시공하지 않았던 E의 측정치가 52dB로 고정 못을 시공하였던 F와 G의 측정치인 53dB보다 1dB 낮게 측정되었으며, 주방측벽 절연체를 바닥충격음 완충재로 사용하고 분배기 주변을 9mm 절연체로 절연하였던 I의 측정 결과가 51dB로 절연체를 일반 9mm 절연체로 시공하고 분배기 주변을 절연시키지 않았던 H의 측정치인 55dB보다 4dB 낮게 측정되었다.

모든 시공세대가 경량충격음 기준인 58dB 보다 3~8dB 낮게 측정되어 바닥충격음 완충재의 바닥충격음 저감성능은 있는 것으로 나타났다.

표 3.2 경량충격음 측정 결과

구분	호수	위치	전이체의 종류	전이체의 구성	경량충격음(dB) (기준치:58dB이하)
A	1404호	목문 주변	목문하부 고정 틀	시멘트 벽돌 + 합판(mm)	52
B	1304호	목문 주변	목문하부 고정 틀	각재	52
C	1204호	목문 주변	목문하부 고정 틀	각재 + 압축고무판(5mm*4겹)	50
D	1104호	목문 주변	목문하부 고정 틀	각재 + 완충재(20mm)	50
E	1304호	침실 2	완충재 고정 못	고정 못 미사용	52
F	1204호	침실 2	완충재 고정 못	고정 못 25mm 10EA 시공	53
G	1104호	침실 2	완충재 고정 못	고정 못 32mm 10EA 시공	53
H	1104호	주방	측벽 절연재	절연재 9mm 시공	55
I	1004호	주방	측벽 절연재	완충재 20mm 시공, 분배기 절연	51
J	1104호	거실	일반 시공		51

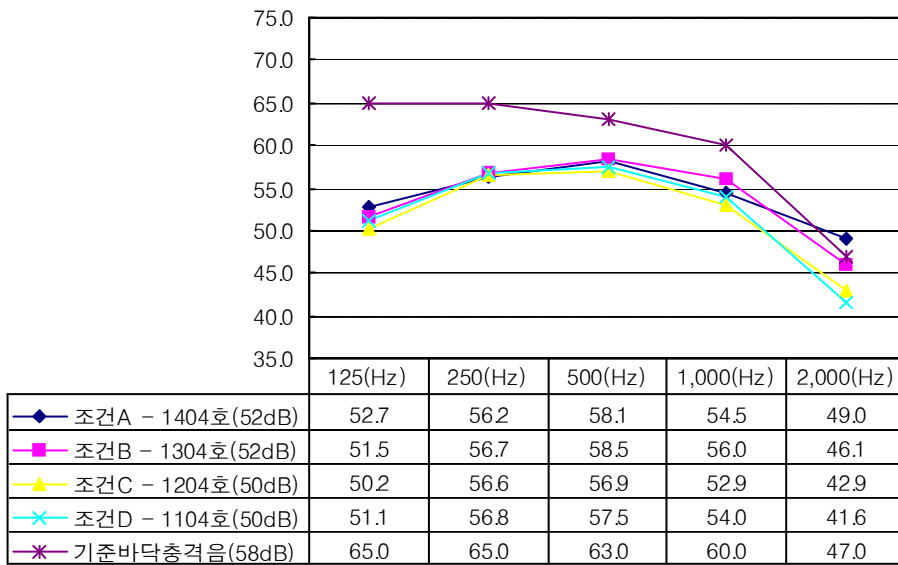


그림 3.9 목문하부 고정 틀 조건에서의 경량충격음 측정결과

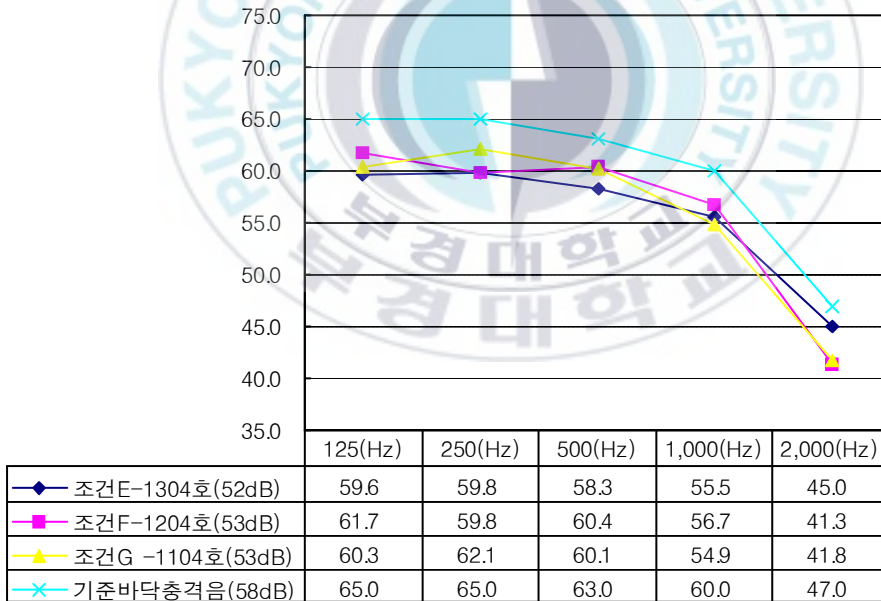


그림 3.10 완충재 고정 못 조건에서의 경량충격음 측정결과

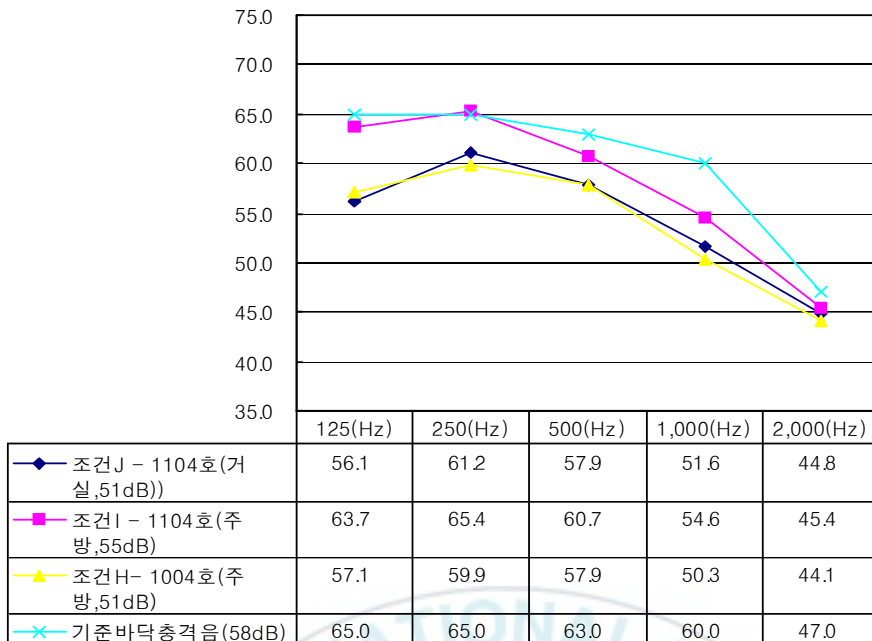


그림 3.11 측벽 및 분배기 절연조건에서의 경량충격음 측정결과

3.4.2 경량충격음 측정결과 분석 및 고찰

실험 대상이었던 전 세대에서 경량 충격음 기준치인 58dB을 만족하는 측정치가 나타났으며, 입주 후의 바닥충격음 성능은 가구 및 커튼 등의 영향으로 인하여 경량충격음이 측정치보다 약 1~2(dB) 감소할 것으로 추정된다.

바닥충격음 전이체 구성 조건 중 첫 번째 변화조건이었던 목문 하부 고정 틀 조건에서 완충재 층의 전이체 조건이 합판이었던 A와 B가 모두 52dB의 경량충격음 측정결과가 나와 전이체 조건이 압축고무판과 완충재였던 C와 D의 경량충격음 측정결과인 50dB보다 2dB 높은 측정결과 나왔다. 다시 말해 이는 목문 하부고정 틀의 완충재 층인 최하부층 20mm의 바닥충격음 전이체 구성조건에 따라 경량충격음 저감성능에 차이가 나타난다는 것을 의미한다. A와 B의 경우 완충

재 층의 재료는 합판으로 같고 상부 뜯바닥층 재료는 각각 시멘트 벽돌과 각재를 사용하였으나 뜯바닥 층의 재료와는 상관없이 같은 단일수치 바닥충격음 차단성능을 나타내는 것으로 최하부 층인 전이체층 즉, 완충재 층의 전이체 구성조건에 따라 바닥충격음 차단성능이 차이를 보인다고 할 수 있다. 그리고 A, B와 달리 상부 뜯바닥 층의 재료는 각재로 하고 완충재 층의 재료로 각각 압축고무판 20mm와 바닥충격음 완충재를 사용하였던 C와 D의 경우 단일수치 바닥충격음 측정결과가 50dB로 같은 결과가 나왔다. 완충재 층에서 압축고무판이 바닥충격음 전이체로서 바닥충격음 완충재와 같은 바닥충격음 저감성능을 가진다는 것은 결코 간과해서는 안 될 것이다. 사실 실험을 위해 일부 Mock-up세대나 실험대상세대의 목문 하부 고정틀 최하부에 실험 직전 바닥충격음 완충재를 시공하는 것이 가능하나, 대량 시공 및 급속시공으로 대변되어지는 공동주택공사 중 목문 하부 고정틀의 최하부층을 완충재로 교체 시공한다는 것은 변형 및 파손 등 여러 가지 요소를 감안한다면 불가능한 일이라고 할 수 있을 것이다. 그러나 같은 바닥충격음 저감 성능을 지닌 압축고무판의 경우 처짐 및 변형 등의 우려가 크지 않으므로 최초 목문 하부 고정 틀 시공 시 사용하여도 무방하다. 이처럼 목문 하부 고정틀 최하부층에 바닥충격음 완충재와 동일한 바닥충격음 저감 성능을 가지는 압축고무판을 시공하는 것이 시공 상 편의를 가져오는 것은 물론, 바닥충격음 차단성능에 좋은 효과를 있을 것으로 판단된다.

바닥충격음 전이체 구성조건 중 두 번째 변화조건이었던 바닥충격음 완충재 시공을 위한 고정 못 사용 변화조건의 경우 고정 못을 전혀 사용하지 않았던 E의 경우 경량충격음 측정결과 52dB로, 각각 25mm 고정 못 10개와 32mm 고정 못 10개를 사용하였던 F와 G의 경량충격음 측정결과 53dB 보다 1dB 더 나은 바닥충격음 저감성능이 나타났다. 완충재 시공용 고정 못이 25mm와 32mm로 콘크리트 슬래브 층에 대한 매입깊이는 약 7mm와 14mm이다. 그러나 콘크리트 슬래브 층에 대한 고정 못의 매입깊이에 따른 바닥충격음은 나타나지 않았으나,

고정 못을 전혀 사용하지 않은 세대의 경우가 바닥충격음 측정결과가 낮게 나와 바닥충격음 완충재 고정 못의 경우도 바닥충격음 전이체로 볼 수 있다고 판단되며, 가급적이면 시공수량을 최소화하면 바닥충격음 차단성능을 향상시킬 수 있을 것이라 판단된다.

본 실험에서 제시되었던 세 번째 변화조건이었던 주방측벽 하부 절연재 변화와 난방 분배기 주변 여부에 따른 측정의 경우, 측벽 절연재로 일반적으로 시공되어지는 9mm 절연재를 시공하고 난방 분배기 주변을 절연시키지 않았던 H의 경량충격음 측정결과는 55dB, 절연재로 20mm 바닥충격음 완충재를 사용하고 분배기 주변을 9mm 절연재로 절연시킨 I의 경량충격음 측정결과는 51dB로 나타나 측벽 절연재를 바닥충격음 완충재로 시공하고 분배기 주변을 절연하였을 때가 4dB 더 우수한 바닥충격음 저감성능을 나타내는 것으로 관측되었다. 현장에서 주방 측벽 등의 합지벽(스치로폼+석고보드)을 시공시 내부측의 스티로폼을 콘크리트 슬래브까지 내려 시공하게 되면 바닥완충재 시공 시 별도의 측벽 절연이 불필요하나 대부분 층고가 규격화되어 내부 스티로폼의 불필요한 자재손실이 많이 발생하게 되므로 대부분 뜬바닥 층의 두께만큼의 측벽 절연재 시공은 바닥충격음 완충재 시공 시 이우려져야 하며, 이때 합지 벽체 하부는 시공 상 쉽게 간과할 수 있는 부위가 될 수 있으므로 시공 시 매우 주의하여야 한다. 특히 주방의 온수 분배기는 구조체인 콘크리트 슬래브에 바로 고정되어 있는 가장 큰 바닥충격음 전이체로 볼 수 있으므로 온수 분배기가 뜬바닥 층위에 시공되어진 구조에서는 바닥충격음 완충재 시공 시 분배기 주변의 절연재 시공에도 신경을 써야한다.

표 3.3은 전이체 구성 조건 A~D의 수음점별 경량충격음 측정 결과를 표로 내었다. 전이체 구성별 각 수음점 별 바닥충격음 측정치를 분석한 결과 대부분의 구성조건에서 수음점 a(침실1~침실3, 거실공간)에서 최대치의 바닥충격음 측정결과가 나왔으며 모든 조건에서 수음점 b(침실1)가 최소의 바닥충격음 측정결과

를 나타내었다. 이 결과를 분석해 보면 벽식 구조로 구성되어진 공동주택에서 본 실험과 같은 수음점 a는 진동의 전이체로 볼 수 있는 콘크리트 구조물로 둘러싸여 있으며, 또한 목문 하부 고정 틀의 영향으로 인해 경량충격음이 크게 나타난다고 해석할 수 있으며 바닥충격음이 공동주택의 벽식 구조나 슬래브 단부 고정조건 및 각종 전이체 조건에 따라 장소별 측정결과가 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 그리고 모든 조건에서 충격원의 지하실에서 바닥충격음이 가장 크게 측정되고 목문 하부 고정 틀의 완충재 층의 재료 재질이 완충재의 재료 특성과 유사할수록 각 수음실 별 경량충격음 차이가 크게 난다는 것은 목문 하부 고정 틀 완충재 층의 뜬바닥과의 절연이 확실할수록 바닥충격음 전이가 적게 나타남을 알 수 있다.

표 3.3 전이체 구성 A~D 수음점별 경량충격음 측정 결과

조건	위치	충격원	수음점별 바닥충격음(dB)						비고
			a	b	c	d	평균	최대 -최소	
A	1404호 침실1- 침실3 주변	A	53	53	52	51	52	2	C>A=D>B
		B	53	53	50	49	51	4	
		C	54	53	57	54	54	4	
		D	53	52	52	52	52	1	
		평균	53	53	53	52	52		
B	1304호 침실1- 침실3 주변	A	58	58	58	56	57	2	A>D>C>B
		B	48	49	46	46	47	3	
		C	51	49	51	50	50	2	
		D	55	55	55	55	55	0	
		평균	53	53	53	52	52		
C	1204호 침실1- 침실3 주변	A	56	56	56	54	55	2	A>D>C>B
		B	45	46	44	43	45	3	
		C	47	47	50	46	48	4	
		D	52	52	52	53	52	1	
		평균	50	50	51	49	50		
D	1104호 침실1- 침실3 주변	A	55	56	54	53	54	3	A>D>C=B
		B	49	51	46	45	48	6	
		C	48	47	52	46	48	5	
		D	51	49	50	51	50	2	
		평균	51	51	51	49	50		

표 3.4는 전이체 구성 조건 E~F의 수음점별 경량충격음 측정 결과를 표로

나타내었다. 이 조건들은 각 충격원에 대한 수음점 들이 모두 같은 실내에 존재하므로 각 수음점 별 바닥충격음 측정결과 차이가 크게 나타나지 않았다.

표 3.4 전이체 구성 E~J 수음점별 경량충격음 측정 결과

조건	위치	충격원	수음점별 바닥충격음(dB)					평균	최대-최소
			a	b	c	d	e		
E	1304호 침실2	A	53	53	52	52	52	52	1
F	1204호 침실2	A	52	52	55	52	52	53	3
G	1104호 침실2	A	53	53	52	53	52	53	1
H	1104호 주방	A	55	55	55	55	54	55	1
I	1004호 주방	A	51	51	51	51	50	51	1
J	1104호 거실	A	51	52	52	51	52	51	1

3.4.3 중량충격음 측정 결과

표 3.5와 같이 2007년 11월 24일 거실 및 침실 1, 침실2, 침실3, 주방에서 중량충격음을 측정하였다.

그림 3.12, 그림 3.13, 그림 3.14는 바닥충격음 전이체의 구성 조건별 중량충격음 측정결과를 비교한 것이다. 중량 충격음 측정결과 바닥 전이체 구성조건 중 목문 하부 틀 구성조건에 변화를 주었던 A~D의 경우 각각 40dB, 41dB, 40dB, 40dB의 중량충격음 결과가 나타났다.

또한, 바닥충격음 완충재 시공을 위한 고정 못 구성조건을 달리 하였던 E~G의 모두 43dB이 측정되었으며, 주방측벽 절연체 및 분배기 절연조건을 달리 하였던 H와 I는 각각 45dB과 44dB의 결과치가 나왔고 일반적 시공조건이었던 거

실 J의 경우 46dB로 가장 높은 중량충격음 측정치를 나타내었다.

모든 시공세대가 중량충격음 기준인 50dB 보다 4~10dB 낮게 측정되었다. 중량충격음 측정결과 경량충격음 측정결과와는 달리 전이체 조건별 측정치의 차이는 거의 나타나지 않은 것으로 보아 중량충격음의 경우 전이체 및 주변 환경에 의한 측정치의 차이는 미약하며 슬래브 두께에 따라 충격음 저감성능이 차이는 나는 것으로 판단되며, 슬래브 단부 보다는 슬래브 중앙부에서 중량충격음이 크게 측정되었다.

표 3.5 중량충격음 측정 결과

구분	호수	위치	전이체의 종류	전이체의 구성	중량충격음(dB) (기준치:50dB이하)
A	1404호	목문 주변	목문하부 고정 틀	시멘트 벽돌 + 합판(mm)	40
B	1304호	목문 주변	목문하부 고정 틀	각재	41
C	1204호	목문 주변	목문하부 고정 틀	각재 + 압축고무판(5mm*4겹)	40
D	1104호	목문 주변	목문하부 고정 틀	각재 + 완충재(20mm)	40
E	1304호	침실 2	완충재 고정 못	고정 못 미사용	43
F	1204호	침실 2	완충재 고정 못	고정 못 25mm 10EA 시공	43
G	1104호	침실 2	완충재 고정 못	고정 못 32mm 10EA 시공	43
H	1104호	주방	측벽 절연재	절연재 9mm 시공	45
I	1004호	주방	측벽 절연재	완충재 20mm 시공, 분배기 절연	44
J	1104호	거실	일반 시공		46

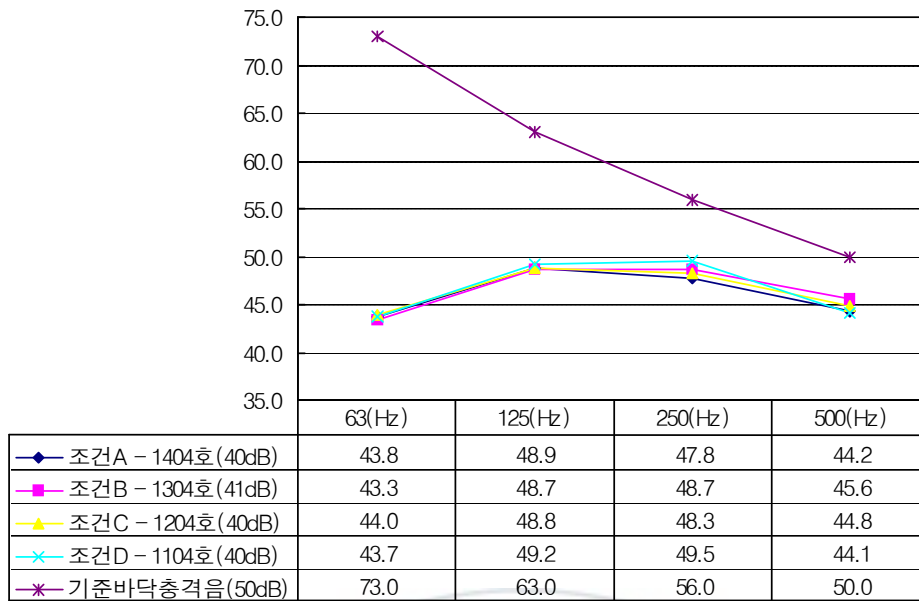


그림 3.12 목문하부 틀 고정조건에서의 중량충격음 측정결과

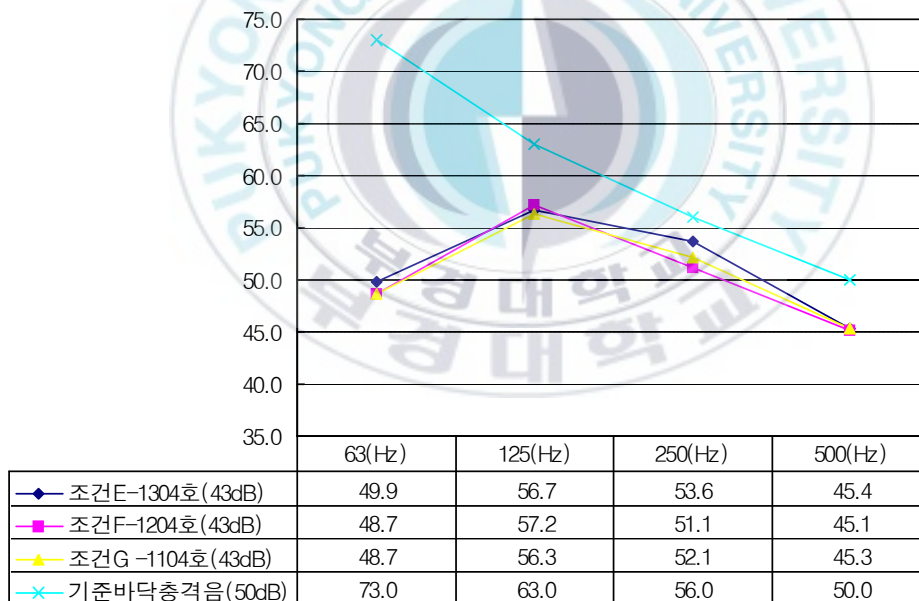


그림 3.13 완충재 고정 못 조건에서의 중량충격음 측정결과



그림 3.14 측벽 절연재 및 분배기 절연조건에서의 중량충격음 측정결과



IV. 결 론

본 연구는 공동주택 시공의 특성상 발생할 수 있는 바닥충격음 전이체(Sound Bridge)의 종류 및 구성 변화에 따른 경량충격음 및 중량충격음 저감효과에 대해 분석해 보았다. 이러한 연구는 층간소음 저감을 위한 뜯바닥 구조의 현장시공에 참고가 되리라 기대하며 도출된 연구결과는 다음과 같다.

(1) 바닥충격음 전이체 종류에 변화를 주어 경량충격음을 측정된 결과 목문하부 고정 틀의 바닥충격음 완충재 층을 합판으로 대체하였던 A와 B 조건에서는 모두 52dB을 압축고무판과 완충재를 시공하였던 C와 D 조건에서는 50dB이 측정되어 합판시공시보다 2dB 저감효과가 나타났으며, 고정 못을 전혀 시공하지 않은 E조건에서 52dB이 측정되어 고정 못을 시공하였던 F와 G 조건에서의 53dB보다 1dB 저감되었으며, 측벽하부를 20MM 완충재로 절연하고 분배기 주변을 절연하였던 I조건에서 51dB이 측정되어 측벽하부를 9MM 절연재 시공하고 분배기 주변을 절연하지 않았던 H조건의 55dB에 비해 4dB의 경량충격음 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

(2) 중량충격음의 경우 목문하부 고정 틀의 바닥충격음 완충재 층을 합판으로 대체하였던 A와 B 조건과 압축고무판과 완충재를 시공하였던 C와 D 조건에서 각각 40dB, 41dB, 40dB, 40dB이 측정되었으며, 고정 못을 전혀 시공하지 않은 E조건과 고정 못을 시공하였던 F와 G 조건 모두 43dB이 측정되었으며, 측벽하부를 20MM 완충재로 절연하고 분배기 주변을 절연하였던 I조건과 측벽하부를 9MM 절연재 시공하고 분배기 주변을 절연하지 않았던 H조건에서는 각각 45dB에 비해 44dB의 중량충격음이 측정되어 경량충격음과는 달리 중량충격음의 경

우 바닥충격음 전이체에 의한 충격음 저감효과는 거의 나타나지 않았다.

(3) 경량충격음의 경우 바닥충격음 전이체의 종류에 따라 1~4dB의 충격음 저감효과가 나타난 반면 중량충격음의 경우 충격음 저감 효과가 거의 나타나지 않았다. 중량충격음 저감 성능을 향상시키기 위해서는 슬래브 두께 강화 및 바닥충격음 완충재 기술개발이 더욱 더 중요한 요소라고 판단된다.

(4) 경량충격음은 충격원에 대한 수음점 분석 시 지하실에서 최대의 충격음이 측정되고 전이체 종류에 따라 수음점 별 충격음 편차도 크게 나타났으며 슬래브의 단부 조건 및 주변 환경에 충격음 측정치가 민감하게 나타난 반면 중량충격음의 경우 모든 수음점에서 비슷한 측정결과가 나타나고 슬래브 단부보다는 중앙부에서 약 4~5dB 높게 충격음이 나타났다.

(5) 공동주택 바닥충격음 차단성능을 향상시키기 위해 콘크리트 슬래브 두께를 증가시키는 물리적인 방안도 필요하지만 보다 종합적인 연구와 설계, 시공에서 충격력을 충분히 흡수할 수 있는 완충재 및 바닥마감재의 자재개발 등을 통한 기술력 과 명확한 법적 측정기준 및 시공방법 등의 해결책이 마련되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 대한주택공사, 공동주택 내부소음 기준설정연구1, 1990.02.
2. 유영동 외 2인, 초고층 공동주택 건축물의 천장 구조체의 차음성능 평가, 대한건축논문집, 제26권 제1호, 2006.03.
3. 김홍열 외 3인, 공동주택 바닥충격음 저감용 페타이어 칩과 뜬바닥구조의 물리적 성능에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 제14권 제10호, 1998.05.
4. 김병길, 공동주택의 바닥충격음 감소를 위한 차음저감재 설치 효과에 관한 연구, 서울산업대학교 석사학위 논문, 2004.02.
5. 건설교통부 고시 제2005-189호, 공동주택 바닥충격음 차단인정구조 및 관리지침, 2005.06.
6. 양관섭 외 3인, 공동주택 바닥충격음 저감을 위한 뜬바닥구조의 적용에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제8권 제2호, 1998.10.
7. 정영, 공동주택 바닥충격음 저감효과에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 제19권 제1호, 1999.04.
8. 김수영 외 3인, 공동주택의 바닥슬래브 두께에 따른 바닥충격음 저감성능에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제15권 제1호, 1995.04.
9. 김선우 외 5인, 바닥충격음 차음성능기준 및 등급화에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제6권 제2호, 1990.04.
10. 장재희, 공동주택 바닥충격음 저감재의 저감효과에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제18권 제4호, 2002.04.
11. 박병진 외 1인, 습식뜬바닥 구조의 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제8권 제7호, 1992.07.
12. 진진용 외 3인, 철근콘크리트 슬래브의 설계요소에 따른 중량충격음 영향, 대한건축학회논문집, 제22권 제10호, 2006.10.
13. 건설교통부, 공동주택 바닥충격음 완화를 위한 표준바닥구조의 설계, 시공기술 및 활용방안 연구, 2004.10.

14. KS F 2810-1, 바닥충격음 차단성능 현장 측정방법 - 제1부 : 표준 경량충격원에 의한 방법, 2001.06.
15. KS F 2810-2, 바닥충격음 차단성능 현장 측정방법 - 제2부 : 표준 중량충격원에 의한 방법, 2001.06.
16. KS F 2863-1, 건물 및 건물부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법 - 제1부 : 표준 경량충격원에 의한 차단성능, 2002.06.
17. KS F 2863-2, 건물 및 건물부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법 - 제2부 : 표준 중량충격원에 의한 차단성능, 2002.06.
18. 대통령령18929호, 주택건설기준 등에 관한 규정, 2005.06.



[부 록]

각 구성 조건별 경량 및 중량 충격음 측정결과



조건. A

(1) 경량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1404호 거실 및 침실 1·3 실 간

② 실험 조건 : 목문 하부 틀 구성 변화 (시멘트 벽돌 + 합판)

1404호 침실 1과 침실3 및 거실에서 측정한 경량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 경량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 125, 250, 500, 1000, 2000의 대역에서 바닥충격음 레벨 47.5~60.0 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	125	250	500	1000	2000	비고
A	a	50.8	57.7	58.6	56.2	49.9	
	b	51.7	57.6	59.0	55.5	49.0	
	c	48.9	55.6	58.2	55.5	48.8	
	d	49.7	56.2	56.6	54.1	46.3	
	평균	50.3	56.8	58.1	55.3	48.5	
B	a	52.7	55.6	55.2	53.5	50.0	
	b	55.5	59.6	57.9	54.2	50.6	
	c	50.0	53.8	55.3	51.4	47.5	
	d	48.2	52.1	53.6	51.4	46.5	
	평균	51.6	55.3	55.5	52.6	48.7	
C	a	55.3	53.9	60.7	56.1	49.9	
	b	50.2	51.8	59.4	54.6	49.4	
	c	62.9	58.9	61.6	57.9	54.4	
	d	51.4	52.2	58.4	55.2	51.7	
	평균	55.0	54.2	60.0	56.0	51.4	
D	a	52.2	59.4	59.3	55.0	48.0	
	b	51.1	56.0	59.5	54.0	46.9	
	c	52.4	59.2	58.8	53.3	48.3	
	d	59.7	59.7	57.9	53.7	46.9	
	평균	53.9	58.6	58.9	54.0	47.5	
전체평균		52.7	56.2	58.1	54.5	49.0	

(2) 중량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1404호 거실 및 침실 1·3 실 간

② 실험 조건 : 목문 하부 틀 구성 변화 (시멘트 벽돌 + 합판)

1404호 침실 1과 침실3 및 거실에서 측정된 중량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 중량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 63, 125, 250, 500의 대역에서 최대음압레벨 42.3~55.7 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	63	125	250	500	비고
A	a	43.1	48.2	48.2	44.2	
	b	42.3	48.3	47.6	44.9	
	c	45.1	47.8	47.9	44.2	
	d	43.2	49.5	48.0	43.8	
	평균	43.4	48.5	47.9	44.3	
B	a	43.5	48.4	48.1	43.9	
	b	47.1	51.7	50.0	44.1	
	c	44.4	47.5	47.2	44.0	
	d	42.2	47.4	46.4	43.9	
	평균	44.3	48.8	47.9	44.0	
C	a	44.1	49.3	45.7	44.3	
	b	42.5	47.2	46.6	44.2	
	c	45.5	55.7	50.2	44.8	
	d	42.1	46.9	46.1	44.2	
	평균	43.6	49.8	47.2	44.4	
D	a	43.7	48.3	47.4	44.1	
	b	42.7	47.7	47.3	44.3	
	c	44.8	47.9	47.3	44.3	
	d	43.7	50.6	50.2	44.1	
	평균	43.7	48.6	48.1	44.2	
전체평균		43.8	48.9	47.8	44.2	

조건. B

(1) 경량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1304호 거실 및 침실 1·3 실 간

② 실험 조건 : 목문 하부 틀 구성 변화 (각재 + 합판)

1304호 침실 1과 침실3 및 거실에서 측정한 경량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 경량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 125, 250, 500, 1000, 2000의 대역에서 바닥충격음 레벨 38.9~ 60.5 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	125	250	500	1000	2000	비고
A	a	51.6	58.9	59.8	59.4	56.3	
	b	51.7	57.7	60.0	59.8	55.6	
	c	50.1	57.9	59.3	59.0	56.2	
	d	51.9	58.7	58.9	57.9	54.5	
	평균	51.3	58.3	59.5	59.0	55.7	
B	a	48.5	55.0	55.6	52.3	38.5	
	b	53.2	56.8	56.6	53.0	40.2	
	c	45.1	51.7	53.8	49.5	39.0	
	d	44.2	52.2	54.1	49.6	37.9	
	평균	47.8	53.9	55.0	51.1	38.9	
C	a	54.8	51.7	60.1	55.5	39.8	
	b	48.5	53.2	57.4	54.0	39.3	
	c	60.4	58.0	60.4	55.8	42.6	
	d	48.7	54.0	57.5	53.6	38.1	
	평균	53.1	54.2	58.9	54.7	40.0	
D	a	53.7	60.3	60.9	59.4	49.8	
	b	51.6	58.3	60.2	59.7	49.7	
	c	53.4	59.2	60.5	58.1	51.1	
	d	56.4	63.1	60.3	58.7	49.6	
	평균	53.8	60.2	60.5	59.0	50.1	
전체 평균		51.5	56.7	58.5	56.0	46.1	

(2) 중량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1304호 거실 및 침실 1·3 실 간

② 실험 조건 : 목문 하부 틀 구성 변화 (각재 + 합판)

1304호 침실 1과 침실3 및 거실에서 측정된 중량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 중량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 63, 125, 250, 500의 대역에서 최대음압레벨 41.6~ 64.5 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	63	125	250	500	비고
A	a	41.9	47.8	50.2	44.5	
	b	41.6	47.6	47.9	44.4	
	c	42.1	45.8	48.0	44.2	
	d	41.8	48.4	49.0	44.3	
	평균	41.9	47.4	48.8	44.4	
B	a	42.4	48.0	47.0	44.2	
	b	48.3	54.0	48.2	44.0	
	c	45.0	48.0	45.6	44.0	
	d	42.3	46.4	45.8	44.1	
	평균	44.5	49.1	46.7	44.1	
C	a	42.9	50.2	47.3	44.7	
	b	43.0	46.6	49.5	44.3	
	c	44.3	54.6	50.7	45.1	
	d	42.2	46.7	47.8	44.3	
	평균	43.1	49.5	48.8	44.6	
D	a	43.5	48.7	49.5	44.3	
	b	43.0	48.0	50.7	44.2	
	c	44.4	48.1	49.6	64.5	
	d	44.0	50.4	52.7	44.8	
	평균	43.7	48.8	50.6	49.5	
전체평균		43.3	48.7	48.7	45.6	

조건. C

(1) 경량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1204호 거실 및 침실 1·3 실 간

② 실험 조건 : 목문 하부 틀 구성 변화 (각재 + 압축고무판)

1204호 침실 1과 침실3 및 거실에서 측정한 경량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 경량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 125, 250, 500, 1000, 2000의 대역에서 바닥충격음 레벨 34.3~ 59.0 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	125	250	500	1000	2000	비고
A	a	49.3	58.2	58.8	58.7	53.9	
	b	50.7	57.9	59.4	58.3	53.1	
	c	48.5	58.5	59.0	58.9	52.7	
	d	50.8	58.5	58.8	56.7	50.7	
	평균	49.8	58.3	59.0	58.2	52.6	
B	a	44.9	55.4	54.7	48.0	34.6	
	b	51.2	55.8	55.6	48.5	36.6	
	c	43.4	53.1	54.0	45.9	33.1	
	d	43.9	52.3	53.0	44.7	33.0	
	평균	45.9	54.2	54.3	46.8	34.3	
C	a	52.1	54.4	56.4	51.9	38.9	
	b	51.5	54.6	56.5	50.1	37.3	
	c	59.5	57.4	57.5	54.2	41.1	
	d	50.1	52.9	54.8	49.7	36.2	
	평균	53.3	54.8	56.3	51.5	38.4	
D	a	51.8	59.9	57.6	55.9	46.7	
	b	49.9	55.9	57.5	55.1	46.6	
	c	49.1	58.2	57.7	55.0	47.3	
	d	56.4	61.8	59.1	55.2	45.3	
	평균	51.8	59.0	58.0	55.3	46.5	
전체평균		50.2	56.6	56.9	52.9	42.9	

(2) 중량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1204호 거실 및 침실 1·3 실 간

② 실험 조건 : 목문 하부 틀 구성 변화 (각재 + 압축고무판)

1204호 침실 1과 침실3 및 거실에서 측정한 중량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 중량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 63, 125, 250, 500의 대역에서 최대음압레벨 42.2~ 55.7 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	63	125	250	500	비고
A	a	42.2	48.3	48.8	45.3	
	b	42.5	49.0	47.9	44.5	
	c	42.8	47.1	49.0	44.5	
	d	42.8	50.0	49.5	45.9	
	평균	42.6	48.6	48.8	45.1	
B	a	43.5	47.0	47.2	44.0	
	b	48.3	52.1	49.4	44.0	
	c	44.6	46.7	46.3	44.7	
	d	42.3	45.7	46.4	43.9	
	평균	44.7	47.9	47.3	44.2	
C	a	44.1	48.8	46.8	44.3	
	b	43.4	48.5	47.7	44.2	
	c	47.7	55.7	48.6	44.4	
	d	42.4	48.0	47.0	44.3	
	평균	44.4	50.3	47.5	44.3	
D	a	45.4	48.7	50.4	46.2	
	b	43.2	47.3	47.4	44.5	
	c	44.8	47.1	49.3	45.2	
	d	43.9	50.3	51.4	47.1	
	평균	44.3	48.4	49.6	45.8	
전체평균		44.0	48.8	48.3	44.8	

조건. D

(1) 경량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1104호 거실 및 침실 1·3 실 간

② 실험 조건 : 목문 하부 틀 구성 변화 (각재 + 바닥충격음 완충재)

1104호 침실 1과 침실3 및 거실에서 측정한 경량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 경량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 125, 250, 500, 1000, 2000의 대역에서 바닥충격음 레벨 36.5~ 59.8 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	125	250	500	1000	2000	비고
A	a	49.0	58.6	58.9	58.3	51.2	
	b	51.7	58.0	60.1	58.6	52.3	
	c	49.0	57.1	59.6	57.2	49.6	
	d	49.7	57.3	58.7	56.4	48.0	
	평균	49.9	57.8	59.3	57.6	50.3	
B	a	49.3	58.8	57.0	53.0	36.9	
	b	53.8	58.7	59.6	54.8	40.7	
	c	42.0	53.0	56.4	50.1	33.9	
	d	43.6	52.1	54.8	49.9	34.4	
	평균	47.2	55.7	57.0	52.0	36.5	
C	a	53.3	51.7	56.5	52.7	38.7	
	b	49.2	53.4	55.1	50.7	40.5	
	c	64.1	57.4	58.3	53.9	41.7	
	d	50.4	52.9	55.1	50.5	36.9	
	평균	54.3	53.9	56.3	52.0	39.5	
D	a	51.0	61.4	57.7	55.3	40.2	
	b	50.8	55.9	56.9	54.8	40.6	
	c	52.8	59.5	57.2	54.1	39.8	
	d	57.2	62.5	57.8	53.9	39.4	
	평균	53.0	59.8	57.4	54.5	40.0	
전체평균		51.1	56.8	57.5	54.0	41.6	

(2) 중량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1104호 거실 및 침실 1·3 실 간

② 실험 조건 : 목문 하부 틀 구성 변화 (각재 + 바닥충격음 완충재)

1104호 침실 1과 침실3 및 거실에서 측정한 중량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 중량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 63, 125, 250, 500의 대역에서 최대음압레벨 41.6~ 59.3 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	63	125	250	500	비고
A	a	42.0	47.4	49.1	44.3	
	b	42.0	47.0	49.1	44.2	
	c	43.5	48.3	48.2	44.4	
	d	41.6	48.4	48.5	44.1	
	평균	42.3	47.8	48.7	44.3	
B	a	43.1	47.9	48.4	44.0	
	b	45.5	52.1	49.2	44.2	
	c	44.9	47.5	46.7	44.0	
	d	42.2	45.9	46.0	44.0	
	평균	43.9	48.4	47.6	44.1	
C	a	41.9	48.7	46.6	44.1	
	b	42.0	47.8	48.6	44.2	
	c	42.6	59.3	50.2	44.6	
	d	41.7	48.2	48.3	50.0	
	평균	42.1	51.0	48.4	45.7	
D	a	43.8	48.1	49.4	44.1	
	b	42.4	47.7	47.6	44.2	
	c	44.8	48.8	48.1	44.0	
	d	43.9	52.2	52.7	44.2	
	평균	43.7	49.2	49.5	44.1	
전체평균		43.0	49.1	48.5	44.5	

조건. E~G

(1) 경량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1304호 · 1204호 · 1104호 침실 2

② 실험 조건 : 완충재 고정 못 구성 변화 조건(1304호-고정 못 미 시공, 1204호-25mm 10개 시공, 1104호-32mm 10개 시공)

침실 2에서 측정한 경량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 경량 충격음 성능 레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 125, 250, 500, 1000, 2000의 대역에서 바닥충격음 레벨이 1304호에서는 45.0~ 59.8 dB의 분포를, 1204호에서는 42.3~ 61.7 dB의 분포를, 1104호에는 42.8~ 62.1 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	125	250	500	1000	2000
1304	a	56.8	61.1	58.5	56.4	46.6
	b	63.3	60.1	57.9	55.7	43.8
	c	59.4	59.8	58.5	54.9	43.8
	d	61.8	59.2	58.0	55.0	44.0
	e	56.8	59.0	58.6	55.6	46.7
	평균	59.6	59.8	58.3	55.5	45.0
1204	a	58.3	61.3	60.8	57.5	40.6
	b	63.8	59.0	60.8	55.1	40.9
	c	63.3	60.2	60.4	57.5	49.6
	d	63.3	58.8	59.9	56.0	41.4
	e	60.0	59.5	60.1	57.3	39.0
	평균	61.7	59.8	60.4	56.7	42.3
1104	a	56.3	62.5	60.3	57.2	44.1
	b	62.8	62.9	60.4	54.6	42.5
	c	60.6	62.2	60.3	54.2	42.6
	d	63.5	61.8	59.8	54.5	42.9
	e	58.2	60.9	59.7	54.1	42.0
	평균	60.3	62.1	60.1	54.9	42.8

(2) 중량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1304호 · 1204호 · 1104호 침실 2

② 실험 조건 : 완충재 고정 못 구성 변화 조건(1304호-고정 못 미 시공, 1204호-25mm 10개 시공, 1104호-32mm 10개 시공)

침실 2에서 측정한 중량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 중량 충격음 성능 레벨 평가시 적용되는 중심주파수 63, 125, 250, 500의 대역에서 최대음압레벨이 1304호에서는 34.5~ 49.2 dB의 분포를, 1204호에서는 33.6~ 48.7 dB의 분포를, 1104호에는 34.3~ 47.6 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	63	125	250	500	비고
1304	a	44.5	53.4	52.7	45.1	
	b	52.5	56.7	53.8	44.8	
	c	50.6	57.9	54.6	44.9	
	d	51.9	59.2	53.3	47.5	
	e	49.8	56.4	53.8	44.8	
	평균	49.9	56.7	53.6	45.4	
1204	a	43.6	56.1	53.8	45.3	
	b	50.9	57.9	50.4	45.9	
	c	49.4	58.7	50.5	44.4	
	d	49.7	58.5	49.6	44.9	
	e	49.8	54.8	51.3	44.8	
	평균	48.7	57.2	51.1	45.1	
1104	a	44.3	52.6	53.6	45.7	
	b	51.3	57.6	52.9	45.6	
	c	49.8	57.3	49.3	45.1	
	d	49.5	57.7	52.5	45.2	
	e	48.5	56.5	52.1	45.1	
	평균	48.7	56.3	52.1	45.3	

조건. H~I

(1) 경량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1104호 · 1004호 주방

② 실험 조건 : 측벽 완충재 변화 조건(1104호-9mm 절연재+난방분배기 미 절연, 1004호-20mm 바닥충격음 완충재+난방분배기 절연)

주방에서 측정한 경량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 경량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 125, 250, 500, 1000, 2000의 대역에서 바닥충격음 레벨이 1104호에서는 45.4~ 65.4 dB의 분포를 1004호에서는 44.1~ 59.9 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	125	250	500	1000	2000
1104	a	63.7	65.4	60.7	54.6	45.4
	b	63.9	65.6	60.9	54.8	45.6
	c	63.4	65.1	60.4	54.3	45.1
	d	64.2	65.9	61.2	55.1	45.9
	e	63.2	64.9	60.2	54.1	44.9
	평균	63.7	65.4	60.7	54.6	45.4
1004	a	57.1	59.9	57.9	50.3	44.1
	b	57.3	60.1	58.1	50.5	44.3
	c	56.8	59.6	57.6	50.0	43.8
	d	57.6	60.4	58.4	50.8	44.6
	e	56.6	59.4	57.4	49.8	43.6
	평균	57.1	59.9	57.9	50.3	44.1

(2) 중량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1104호 · 1004호 주방

② 실험 조건 : 측벽 완충재 변화 조건(1104호-9mm 절연재+난방분배기 미 절연, 1004호-20mm 바닥충격음 완충재+난방분배기 절연)

주방에서 측정한 중량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 중량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 63, 125, 250, 500의 대역에서 최대음압레벨이 1104호에서는 32.8~ 47.7 dB의 분포를 1004호에서는 32.8~ 42.4 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	63	125	250	500	비고
1104	a	43.9	55.6	56.4	46.2	
	b	44.9	56.6	57.4	47.2	
	c	42.8	54.5	55.3	45.1	
	d	45.2	56.9	57.7	47.5	
	e	43.2	54.9	55.7	45.5	
	평균	44.0	55.7	56.5	46.3	
1004	a	43.5	51.7	52.2	48.8	
	b	44.5	52.7	53.2	49.8	
	c	42.4	50.6	51.1	47.7	
	d	43.7	51.9	52.4	49.0	
	e	42.8	51.0	51.5	48.1	
	평균	43.4	51.6	52.1	48.7	

조건. J

(1) 경량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1104호 거실

② 실험 조건 : 일반 시공 조건(완충재 고정 못 25mm 10개 시공)

거실에서 측정한 경량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 경량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 125, 250, 500, 1000, 2000의 대역에서 바닥충격음 레벨이 1104호에서는 44.8~ 61.2 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	125	250	500	1000	2000
1104	a	55.5	61.8	57.9	51.5	44.1
	b	54.9	61.9	58.7	51.2	43.7
	c	58.8	60.0	58.5	52.1	46.8
	d	56.3	60.1	57.0	51.9	44.3
	e	55.2	62.0	57.5	51.4	45.0
	평균	56.1	61.2	57.9	51.6	44.8

(2) 중량 충격음 측정결과

① 측정 위치 : 1104호 거실

② 실험 조건 : 일반 시공 조건(완충재 고정 못 25mm 10개 시공)

거실에서 측정한 중량 충격음 레벨을 나타내고 있으며, 중량 충격음 성능레벨 평가 시 적용되는 중심주파수 63, 125, 250, 500의 대역에서 최대음압레벨이 1104호에서는 36.1~ 45.8 dB의 분포를 나타내고 있다.

단위 : dB

충격원	수음점 (각지점)	63	125	250	500	비고
1104	a	49.1	55.8	53.3	51.4	
	b	46.1	55.0	54.8	50.9	
	c	52.5	56.9	52.4	51.8	
	d	49.1	52.9	51.0	51.3	
	e	48.8	54.4	52.4	52.6	
	평균	49.1	55.0	52.8	51.6	

감사의 글

폭염이 몰아치는 무더운 여름 논문을 탈고하는 시점에서 만감이 교차 하였습니다. 어디서부터 시작해야 할지 방향을 잡지 못하고 안개 속을 헤매듯 방황하던 저에게 용기를 주시고 나아갈 길을 제시해 이끌어 주신 이수용 지도교수님께 진심어린 깊은 감사를 드리며, 아울러 심사과정 중 보다 좋은 결실을 위하여 지도 편달을 아끼지 않으신 임영빈 교수님과 이재용 교수님, 정근주 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

미완성의 논문이 탈고되기까지 바쁜 박사과정임에도 불구하고 정성과 수고를 아끼지 않으신 시공재료연구실 신삼성 선배님께 감사의 뜻을 전하며, 개인 업무가 바쁜 와중에도 여러 도움을 주신 연구실의 김지현 씨와 전승호 씨, 그리고 바닥충격음 측정과 자료 분석에 도움을 주신 설비환경연구실 정두환 선배님과 오근숙 씨에게도 고마운 마음을 전합니다.

이 조그마한 성과물이 나오기까지 바쁜 현장여건 속에서 시간적 배려와 정신적 격려 그리고 실험이 원활히 진행되도록 배려해 주신 롯데건설(주) 허진욱 소장님, 한철진 과장님, 김두수 과장님, 조경래 과장님 그리고 다대동 물운대아파트현장 및 부산 제2롯데월드현장 모든 식구들에게 감사의 뜻을 전합니다.

마지막으로, 항상 많은 격려와 대화로 힘이 되어 주는 형과 모자란 저를 위해 항상 기도하며 무한한 사랑과 믿음을 베푸시는 사랑하는 어머님께 이 조그마한 결실을 바치고자 합니다.