

공 학 석 사 학 위 논 문

공동주택의 바닥, 벽 차음시공에 따른
바닥충격음 차단성능평가

2006년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

건 축 공 학 과

서 민 호

공 학 석 사 학 위 논 문

공동주택의 바닥, 벽 차음시공에 따른
바닥충격음 차단성능평가

지도교수 임 영 빈

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2006년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

건 축 공 학 과

서 민 호

서민호의 공학석사 학위논문을 인준함

2005년 12월 21일

주 심 공학박사 이 수 용



위 원 공학박사 박 천 석



위 원 공학박사 임 영 빈



목 차

1. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	2
2. 이론적 고찰	4
2.1 바닥충격음	4
2.1.1 바닥충격음의 개요	4
2.1.2 국내 바닥구성층의 현황	6
2.1.3 충격원의 종류와 특성	9
2.1.4 바닥충격음 차단성능 측정 및 평가방법	20
2.2 바닥충격음 성능기준	22
2.2.1 국내	22
2.2.2 일본	24
2.2.3 미국	26
2.2.4 ISO (국제표준화기구)	28

3. 바닥충격음 측정개요 및 방법	29
3.1 측정대상의 선정	29
3.2 측정대상의 구조	30
3.2.1 측정대상 바닥구조	31
3.2.2 측정대상 벽구조	32
3.2.3 측정대상 천장구조	32
3.3 측정방법	33
 4. 측정결과의 분석 및 고찰	 35
4.1 측정결과	35
4.1.1 기본바닥구조(구조A)의 바닥충격음레벨	35
4.1.2 바닥차음시공(구조B)의 바닥충격음레벨	37
4.1.3 바닥차음시공(구조C)의 바닥충격음레벨	40
4.1.4 벽차음시공(구조DA)의 바닥충격음레벨	43
4.1.5 조합차음시공(구조DB, 구조DC)의 바닥충격음레벨	45
4.2 분석 및 고찰	48
4.2.1 바닥차음시공 평가	48
4.2.2 벽차음시공 평가	52
4.2.3 조합차음시공 평가	54
4.2.4 성능기준대비	56

5. 결 론	58
--------------	----

참 고 문 헌	60
---------------	----

Abstract	61
----------------	----

표 목 차

표 2.1 바닥충격음 발생장치의 주요제원	10
표 2.2 중량충격원의 충격력 주파수특성 실효치	16
표 2.3 경량 바닥충격음 차단성능의 등급기준	22
표 2.4 중량 바닥충격음 차단성능의 등급기준	23
표 2.5 충격음 차단 성능기준 (공업화주택 성능 및 생산기준)	23
표 2.6 바닥충격음 차음성능 기준안 (대한주택공사)	23
표 2.7 공동주택의 바닥충격음 적용등급 (日本建築學會)	25
표 2.8 바닥충격음 대책등급 (주택품질확보촉진법-주택성능표시제도)	25
표 2.9 공동주택 경계바닥의 IIC차음기준 (HUD)	27
표 3.1 구조부위별 시공조합표	30
표 3.2 바닥충격음 측정 장비	34
표 4.1 바닥충격음 차단성능 기준 평가	56

그 림 목 차

그림 1.1 연구의 흐름도	3
그림 2.1 바닥충격음의 특성구분	4
그림 2.2 바닥충격음 발생장치	11
그림 2.3 바닥충격음레벨에 관한 기준주파수 특성곡선(JIS A 1419)	24
그림 2.4 바닥충격음에 대한 IIC곡선	26
그림 2.5 바닥충격음의 기준곡선(ISO)	28
그림 3.1 측정대상 건물의 평면도 및 측정지점	29
그림 3.2 측정대상 건물 현장의 완충재 시공 장면	31
그림 3.3 측정대상 바닥 부분 단면상세도	31
그림 3.4 측정대상 벽 부분 단면상세도	32
그림 3.5 측정대상 천장 부분 단면상세도	32
그림 3.6 측정대상 건물 현장측정 장면	34
그림 4.1 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조A)	35
그림 4.2 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(기본바닥구조A)	36
그림 4.3 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조B)	37
그림 4.4 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(바닥차음시공B1)	38
그림 4.5 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(바닥차음시공B2)	39
그림 4.6 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조C)	40
그림 4.7 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(바닥차음시공C1)	41

그림 4.8 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(바닥차음시공C2)	42
그림 4.9 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조DA)	43
그림 4.10 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(벽차음시공DA)	44
그림 4.11 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조DB, 구조DC)	45
그림 4.12 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(조합차음시공DB)	46
그림 4.13 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(조합차음시공DC)	47
그림 4.14 구조A, B의 바닥충격음 비교(L등급)	48
그림 4.15 구조A, C의 바닥충격음 비교(L등급)	50
그림 4.16 바닥구성층 완충재 시공위치별 L등급 최대 개선량	52
그림 4.17 구조A, DA의 바닥충격음 비교(L등급)	53
그림 4.18 구조A와 구조DB, DC의 바닥충격음 비교(L등급)	54

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

과거 주택난 부족의 해소차원으로 공동주택의 보급은 현재까지 급격히 증가하고 있으며, 공동주택의 특성상 거주자들의 쾌적한 주거 환경에 대한 요구도 증대되고 있다.

특히, 건축기술과 재료 등의 발달에 의해 공동주택의 고층화, 경량화가 이루어지면서 주택의 품질 및 거주 성능은 향상되고 있으나 거주자의 요구와 대응해 보면 아직도 개선되어야 할 부분이 많다. 그 중 공동주택의 인접세대간 공유되는 부분적 특성에 의한 바닥충격음은 이웃 세대와의 잦은 분쟁과 위축된 실내 생활 등 심각한 사회문제로 대두되고 있다.

따라서 공동주택에서 발생하는 바닥충격음으로 인한 층간소음은 공동주택의 품질을 결정짓는 중요한 요인으로서 현재 공동주택의 층간소음 기준에 대한 법제화 움직임이 있는 것을 감안하여 볼 때 층간소음 저감에 대한 개선방안의 수립이 필요하다.

현재 층간소음 개선방안의 목적으로 바닥충격음 성능 등급화와 표준바닥구조 5종 등의 고시안¹⁾을 마련하여 설계에 반영토록 제시하고 있으나, 현장적용에 대한 바닥충격음 성능기준과의 성능평가는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 층간소음 개선방안에 의한 저감공법이 적용된 현장을 측정하여 바닥구조 변화와 벽의 차음시공 조건에 따른 층간소음의 차단성능평가를 통해 공동주택 바닥충격음에 대한 효과적인 저감방안을 마련하고자 한다.

1) 건설교통부고시 제2005-189호 2005.6.30 “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”

1.2 연구의 방법 및 범위

바닥구조 변화와 벽의 차음시공 조건에 따른 공동주택 층간소음의 차단 성능을 측정하기 위해 이와 관련된 국내외 선행연구에 관한 이론적 고찰과 함께 층간소음 저감공법이 적용된 현장을 선정하여 최근 새로이 개정된 한국산업규격에 의한 측정방법(KS F 2810-1, KS F 2810-2)을 통해 얻어진 측정데이터를 가지고 성능평가(KS F 2863)하였다.

먼저, 차음성능을 평가하기 위해 부산 S구 소재의 D공동주택을 대상으로 바닥충격음을 측정하였다. 측정대상 공동주택은 43평형의 8세대에 대해 구조별 차음시공을 통한 차별성을 두어 바닥구조의 변화와 벽의 차음시공 그리고 조합차음시공 조건 등에 따라 측정대상을 구분하여, 경량충격음(KS F 2810-1)과 중량충격음(KS F 2810-2)에 대한 바닥충격음레벨 측정을 실시하였다.

실험 측정된 측정데이터는 성능평가(KS F 2863)기준에 따라 경량충격음과 중량충격음의 주파수대역별로 구분지어 바닥구조변화와 벽의 차음시공 그리고 조합차음시공 조건에 따른 소음저감에 대한 결과를 분석함으로써 기존 공동주택과의 성능대비와 표준바닥구조 변화 등을 통한 차음성능 평가를 실시토록 하였다.

본 연구에서의 연구의 흐름은 다음 그림 1.1과 같다.

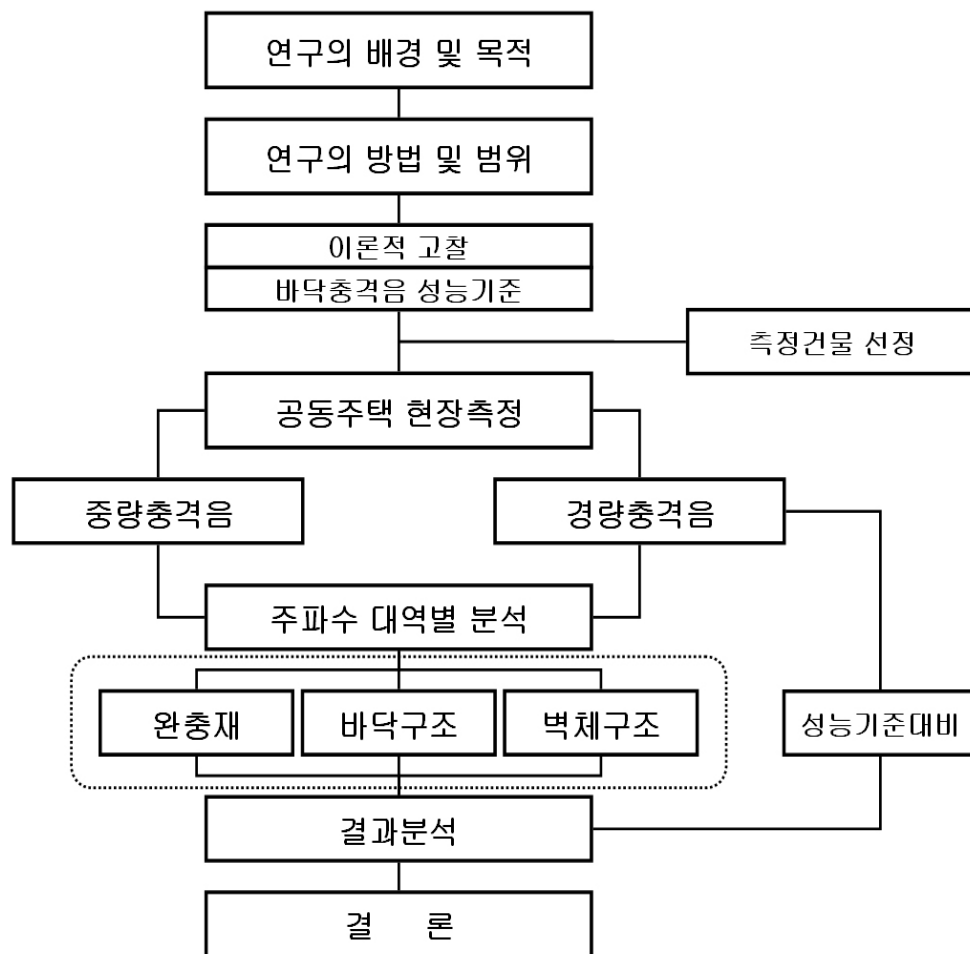


그림 1.1 연구의 흐름도

2. 이론적 고찰

2.1 바닥충격음

2.1.1 바닥충격음의 개요

바닥충격음이란 물건의 낙하, 보행, 의자이동 등에 의해 바닥에 충격이 전달된 후 진동되어 고체음 및 공기전파음의 동시 발생에 의하여 인접실에 방사되는 소음을 말한다. 이 음은 충격진동이 콘크리트 슬래브 및 벽체 등을 통해 전달되는 고체 전달음이므로 공기 소음원을 잘 차단하는 콘크리트 구조체에도 쉽게 투과되어 인접세대에 전달된다.

바닥충격음은 음원의 역할을 하는 충격소음원의 크기, 진동에너지가 전달되는 바닥구조의 특성, 구조전달소음으로 전파되는 하부의 공간구조에 의해 크게 좌우된다. 이러한 바닥충격음의 특성을 그림 2.1과 같이 구분하여 소음원, 전달경로, 수음부로 나타내었다.

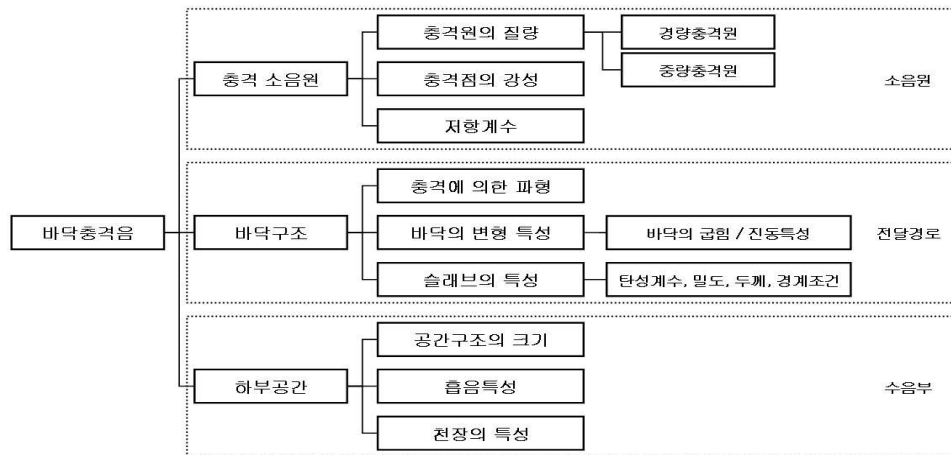


그림 5.1 바닥충격음의 특성구분

그림 2.1에서와 같이 충격소음원과 관계되는 요소는 충격에너지에 영향을 미치는 질량 및 속도에 의한 운동량, 충격력의 파형에 관계되는 질량, 충격점의 강성, 저항계수 등이 있다. 바닥구조의 경우 충격원과 연관된 충격에 의한 파형, 충격점에서 본 바닥의 굽힘과 진동특성에 의한 바닥의 변형, 슬래브의 진동계 및 음향반사에 관련되는 탄성계수, 밀도, 두께 경계조건 등이 바닥충격을 전달에 영향을 미치는 요인이다. 하부공간의 수음부에 있어서는 음의 시간적인 축적효과에 관계되는 공간구조의 크기 및 흡음력과 음향반사에 관계되는 천장의 기하학적인 조건 등이 큰 변수이다.²⁾

여기서, 바닥충격음의 충격소음원은 고주파의 충격음(경량충격음)과 저주파의 충격음(중량충격음)으로 구분된다. 경량충격음은 의자의 끌림 소리, 구두의 굽 소리, 단단한 물체의 낙하 등과 같은 경우에 발생하는 소음이며, 중량충격음은 맨발로 걷거나 뛰는 경우에 발생하는 바닥충격음을 뜻한다. 경량충격음은 유럽 및 북미지방과 같이 입식 생활방식인 거주공간에서 주로 발생하며, 중량충격음은 신발을 벗고 맨발로 거주하는 좌식 생활방식인 거주공간에서 주로 발생한다.

이와 같이 바닥충격음에 관계되는 요인은 매우 복잡하고 다양하며, 시공조건에 의하여 각 요소들이 변화될 수 있으므로 이론적 전달과정을 해석함에 있어서는 많은 어려움이 있다. 특히 한국은 좌식 생활로 인한 온돌 난방방식을 채택하고 있으므로 바닥구조가 다층으로 구성되어 이론해석에 명확성을 기대하기 어려우며, 경량충격음과 중량충격음의 성능기준 선정에도 어려움이 따르고 있는 실정이다.

2) 사중성, “생활 속의 소음진동” 청문당, 2004.3.2 pp 224

2.1.2 국내 바닥구성층의 현황

한국은 보편적으로 온수온돌에 의한 바닥 난방방식이 적용되고 있어 바닥구성층의 설계는 난방성능 확보에 큰 비중을 두어 왔다. 그러나 최근 공동주택에서의 상하층간 바닥충격음에 대한 거주자의 불만이 증대됨에 따라 바닥충격음 차단성능은 바닥구성층에 요구되는 주요한 성능항목의 하나로 대두되었다.

보편적으로 사용되고 있는 국내 공동주택 바닥의 단면구조는 기능에 따라 마감층, 채움(축열)층, 단열·완충층, 철근콘크리트 슬래브 등으로 구성되어 있으며, 각 구성층별 현황 및 요구 성능을 정리하면 다음과 같다.

(1) 철근콘크리트 슬래브

건물구체를 형성하고 있는 부위로서 주로 철근콘크리트로 이루어져 있다. 슬래브의 두께는 단위 실의 바닥면적에 따라서 135~150mm 두께로 시공되고 있는 것이 일반적이다. 특히 우리나라 대다수의 공동주택은 별도의 기둥이 없이 슬래브와 일체화되어 있는 벽체를 통해 건물의 하중을 지반에 연결시키는 벽식구조 공법이 채용되고 있다. 벽식구조 공법은 실을 구성하고 있는 바닥슬래브가 2~4변의 주변 벽체와 긴결하게 연결되어 있어 바닥 면적이 상대적으로 작은 실이나 충격점이 벽체와 가까운 경우에는 이러한 구속부에 의해 저주파수 대역의 충격진동 저감을 다소 도모할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 반면 충격진동이 발생하는 슬래브가 벽체와 일체화되어 있어 경량성의 충격원의 경우 직접 슬래브를 통한 소음전달 뿐만 아니라 슬래브와 연결된 벽체를 통해 수음실로 적지 않은 소음이 전달될 수 있다는 단점을 가지고 있다.³⁾

3) 김명준, “공동주택 바닥충격음의 부위별 전달특성 평가”, 박사학위논문(한양대학교), 1999.6

(2) 단열·완충층

온돌구조에서 바닥 하부로의 열손실 차단을 위해 적용되는 최하부층으로 통상 10~25mm 두께의 판상 형태의 단열재를 사용하며 이를 단열층이라 한다. 그러나 최근 바닥충격음 저감에 대한 요구가 증대됨에 따라 바닥에 가하여진 충격진동의 전달을 차단하기 위한 목적으로 널리 사용되고 있어 완충층(resilient layer)이라 불리기도 한다. 이에 기능을 명확히 하기 위해 단열·완충층으로 개념을 부가시킨 것이다.

현재 에너지절약을 위해 공동주택의 층간 바닥에 대해서도 단열기준⁴⁾이 구체적으로 적용되고 있는 실정에서 기존에는 시공성 향상 등을 위해 많은 시공업체에서 단열·완충층을 별도로 시공하지 않고, 경량기포콘크리트 등을 주로 활용하였으나, 단열기준의 개정으로 최근에는 바닥구조 설계 시 단열성능 뿐 아니라 바닥충격음 차단성능 향상을 위해서 단열·완충층을 시공하는 사례가 늘어나고 있다.

(3) 채움층

채움층은 반드시 필요한 것은 아니나, 현재 공동주택의 일반적인 설계 및 시공 관행상 현판과 거실 바닥면, 거실과 화장실의 적정 높이 차를 형성하기 위한 일정 이상의 온돌층 두께 확보와 슬래브 상부에 급수·급탕관이 중첩되어 시공될 경우에 필요한 적정 높이 확보 등의 측면을 고려하여 사용되고 있다고 볼 수 있다. 주로 경량기포콘크리트, 모르타, 자갈 등이 사용되어져 왔으며 현재에는 채움의 기능과 단열기능, 시공성 등을 고려하여 주로 경량기포콘크리트류의 재료를 적용하는 사례가 많다.

일반적으로 경량기포콘크리트류는 비중이 약 400~600kg/m³으로 바닥구

4) 건설교통부령 제270호, 2001.1 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”

조 전체에 비해 차지하는 비중이 작기 때문에 경량기포콘크리트 재료의 종류 및 두께의 차이가 충격을 차단성능에 미치는 영향은 크지 않으며, 기포콘크리트를 구성하는 미세 기포들은 각각 독립적으로 형성되어 있기 때문에 이러한 미세기포가 충격을 저감요인으로 크게 작용하기는 어려운 것으로 분석된다.

(4) 마감층

마감층은 채움층 상부에서 바닥 표면까지의 구성층을 의미한다. 일정수준 이상의 압축강도가 필요하며, 바닥의 평활성, 온도변화 및 팽창·수축에 대한 내구성 등과 함께 방열관을 보호하며 방출된 열을 실내로 전달해주는 역할을 한다.

가장 일반적인 마감층 재료는 시멘트모르타르로서 30~50mm 정도의 두께로 시공되고 있다. 또한 균열방지와 강도를 높이기 위해서 와이어메쉬, 메탈라스, 섬유보강재, 혼화재 등이 함께 사용되기도 한다.

(5) 바닥마감재

마감층 위에 최종적으로 시공하는 바닥마감재는 거주자가 항상 접촉하면서 생활하는 내장재로서 내구성, 관리의 용이성 등 다양한 성능이 요구되고 있다. 현재 두께 2mm 전후의 염화비닐계인 립카페트나 종이장판, 목재로 성형한 온돌마루재 등으로 시공되고 있다. 바닥마감재는 충격진동이 직접 발생하는 부위이기 때문에 재료의 종류에 따라 충격음의 특성이 달라지게 되며, 소프트한 재료일수록 중고주파수 대역에서의 경량충격음 저감능력이 탁월한 것으로 알려져 있다.

2.1.3 충격원의 종류와 특성

일상생활에서 공동주택의 바닥에 가해지는 충격에는 사람의 보행, 문의 개폐, 가구의 이동, 물건의 낙하충격 등 수많은 종류가 있다. 이렇듯 바닥에 각기 다른 충격력이 가해질 경우, 바닥충격음의 차단성능을 적절히 평가할 수 있는 방법은 발생하는 모든 충격원에 대해 바닥충격음레벨을 측정하고 제각기 통계적으로 얻어진 발생확률과 질량을 곱해 생활감으로서 합성 또는 에너지를 합성하는 것이다.

그러나 이는 실제바닥에 가해지는 충격력 파형과 그 발생확률을 고려하여 정량화해야 하고, 그 만큼 많은 수의 충격원을 이용해 결정해야 하기 때문에 실행하기 어려운 방법이다. 따라서 발생빈도가 높고, 보다 크게 인지되며, 충격력도 비교적 큰 충격원을 추출하여 이와 추종성이 좋은 표준 충격원을 설정하는 것이 좋다.

각종 충격력을 갖는 충격원 가운데 하이힐소리, 물건낙하 시의 가볍고 딱딱한 충격에 대응하는 것으로써 Tapping Machine이 국제적인 표준충격원으로 채택되었다. 이것은 1932년 독일의 Reiher에 의해 처음 개발되었는데 그 당시 성인이 구두를 신고 보행할 경우의 발생소음을 모방코자 하는 의도에서 280g의 Hammer를 이용, 보행주기로 3cm높이에서 낙하시켰으나 점차 충격주기 및 충격력을 보완하여 실생활의 충격력과 추종성이 좋은 충격원으로 개발되어 왔다. 즉 비교음원을 이용해 청감으로써 판단하는 주관적인 측정이 아니라 마이크로폰으로 수음하여 계측기의 지시값을 읽는 것과 같은 물리적 음향측정의 문제로 취급한바 정상음이라고 여겨질 정도의 짧은 충격주기와 성능이 좋은 바닥에서 충분한 S/N비가 확보될 수 있는 강한 충격원이 필요하게 된 것이다.

한편, JIS에서는 사람의 보행, 어린이의 뛰는 행위 등 중량의 무게감 있는 충격에 대응하는 것으로서 Tire가 사용되고 있다. 이것은 1974년 일본

의 木材, 安岡이 제안한 것으로서 공동주택에서 주로 문제점으로 제기되고 있는 어린이의 뛰고 달릴 때의 충격음과 같이 충격력의 지속시간이 길고, 힘의 곱이 큰 충격력에 대한 평가를 목적으로 하고 있으며, Tapping Machine이 바닥표면 마무리재료의 성능검토에는 적합하나, 무거우면서도 유연한 충격력의 평가에는 적절치 못하고 있는 점을 보완한 것이다.

즉 Tapping Machine은 두꺼운 고강성 슬래브 위에 하이힐을 신고 걸어 다닐 때 발생하는 고음역의 바닥충격음에 적합하도록 고안된 표준충격원이고, 얇고 저장성인 슬래브 위에 다다미 등을 깔고 맨발로 생활하므로 저음역의 바닥충격음이 문제가 되는 일본에서 이에 대한 문제점을 보완하기 위하여 독자적으로 부가 사용하고 있는 표준충격원이 Tire이다. 한국의 경우에는 일본에서와 같이 표준충격원으로 Tapping Machine 및 Bang Machine(Tire)을 모두 사용하고, Tapping Machine을 경량충격원으로 Bang Machine을 중량충격원으로 명기하고 있다.

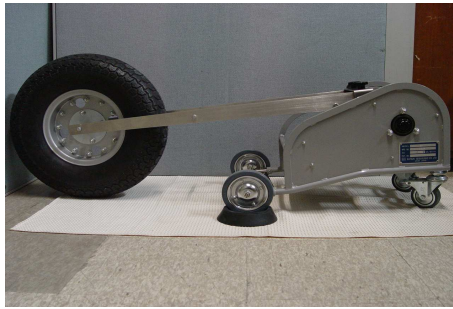
경량 및 중량충격음 발생장치의 주요 제원은 다음의 표 2.1과 같다.

표 2.1 바닥충격음 발생장치의 주요제원

항목	경량충격음		중량충격음	
장비명	Tapping Machine		Bang Machine	
제원	질량	500±12g	질량	7.3±0.4kg
	재질	Steel	재질	Rubber
	크기	3cm 접촉면곡률반경 30cm	크기	Tire (5.20-10-4PR)
	낙하높이	4±0.1cm	낙하높이	90±10cm
	기타	충격간격 100±20ms	기타	공기압 2.4±(0.1)×10 ⁵
주파수특성	고음역의 바닥충격음 발생 (하이 힐 보행)		저음역의 바닥충격음 발생 (맨발 보행, 의자이동소리)	
특징	입식생활모방		좌식생활모방	
적용	바닥충격음의 차음성능평가			
국내기준	KS F 2810-1, KS F 2810-2			



경량충격원(Tapping Machine)



중량충격원(Bang Machine)

그림 2.2 바닥충격음 발생장치

(1) 경량충격원의 특성⁵⁾

Tapping Machine은 길이 0.4m의 일직선상에 배치된 5개의 Hammer로 고정되어 있으며, Hammer의 무게는 $500 \pm 12\text{g}$, 낙하높이는 $4 \pm 0.1\text{cm}$ 이고 1초에 10회 낙하하게 되어 있다. 이와 같은 Hammer가 주기적으로 바닥슬래브에 충격을 가하게 되었을 때 바닥충격음을 발생시키는 충격량은 충격력(F)이 작용하는 동안의 시간(Δt)에 충격력을 곱한 것이 되고, 이에 의하여 슬래브에 발생하는 운동량은 Hammer의 질량(M)과 속도 차의 곱이 된다. 따라서 충돌속도를 ν , 반발계수를 μ 라 하고 바닥충돌 후의 손실을 무시하면 충격량과 운동량의 관계는 다음 식 (2.1)로 표시될 수 있다.

$$F \times \Delta t = M\nu(1 + \mu) \quad (2.1)$$

이 때 Hammer가 콘크리트 면에 충격을 가할 때와 같이 충격력의 지속시간이 아주 짧아 이상적인 충격이라고 간주되는 범위에서의 충격력의 에너지 적분치가 단위 주파수 폭 당의 파워가 되기 때문에 중심주파수를 f_m 으로 하는 유효주파수대역 $f_m/\sqrt{2}$ 에 포함되는 충격력의 실효치는 다

5) 대한주택공사, 1990.12 “공동주택 내부소음 기준설정 연구(Ⅰ)”

음의 식 (2.2)로 나타낼 수 있다.

$$F_{rms} = \frac{1}{2}(F/\Delta t)^2 \frac{f_m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}\{M\nu(1+\mu)\}^2 \frac{f_m}{\sqrt{2}} \quad (2.2)$$

이 값을 dB값으로 표시하면 다음 식 (2.3)과 같다.

$$20\log_{10}F_{rms} = 20\log_{10}\{M\nu(1+\mu)\} + 10\log_{10}f_m - 4.5 \quad (2.3)$$

그런데 위 식의 경우 주파수 대역의 충격파워 실효치는 유효 주파수대역이 중심주파수 크기에 비례하여 증대되므로, 충격력의 파형과는 관계가 없음을 알 수 있다. 이러한 결과는 충격력이 이상적인 충격(pulse)이라고 가정했기 때문으로, 충격고주파수 이상의 주파수대역에서는 표준충격원 특성과 일치하지 않는다.

① 일반 콘크리트 슬래브의 충격음레벨

충격을 받은 슬래브에 의하여 아래층의 수음실로 방사되는 음향출력 (sound power : W_{rec})은 다음 식 (2.4)로 표시할 수 있다.

$$W_{rec} = U_{rms}^2 \rho C S \sigma_{rad} \quad (2.4)$$

단, U_{rms}^2 : 슬래브의 평균진동가속도 실효치(m/s^2)

S : 슬래브 한면의 면적(m^2)

σ_{rad} : 방사계수

그런데 에너지의 평형식에 의하여 입력 power는 슬래브에 의하여 손실된 power와 같으므로

$$F_{rms}^2 \cdot Y = U_{rms}^2 \rho_s \omega \eta S \quad (2.5)$$

단, Y : 무한장 슬래브의 점 입력 어드미턴스

ρ_s : 슬래브의 단위면적당 질량(kg/m^2)

ω : 각 주파수($= 2\pi f$; radians/s)

η : 손실계수

위의 식 (2.5)에서

$$U_{rms}^2 = \frac{F_{rms}^2 Y}{\rho_s \omega \eta S} \quad (2.6)$$

그러므로 슬래브에 가하여진 충격에 의하여 수음실로 방사되는 음향축력(W_{rad})은 식 (2.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_{rad} = F_{rms}^2 \frac{Y \rho C \sigma_{rad}}{\rho_s \omega \eta} \quad (2.7)$$

그런데 표준경량충격원의 충격력 실험치는 다음 식 (2.8)로 표시할 수 있으므로,

$$F_{rms}^2 = \frac{4}{\sqrt{2}} f_m (N^2) \quad (2.8)$$

단, f_m : 중심주파수(Hz)

위 두식을 대입하여, 점입력 어드미턴스를 슬래브의 물리적 특성치로 표시하면 식 (2.9)와 같다.

$$W_{rad} = \frac{\rho C \sigma_{rad}}{5.1 \rho_p^2 C_l \eta h^3} \quad (2.9)$$

단, ρ_p : 슬래브 재료의 밀도 ($= \rho_s h : \text{kg}/\text{m}^3$)

확산음장의 경우 수음실에 방사되는 power(W_d)는 다음 식 (2.10)으로 표시할 수 있다.

$$W_d = \frac{P^2}{4\rho C} A_0 \quad (2.10)$$

단, P^2 : 수음실의 평균음압

옥타브 대역의 평균음압은 다음과 같다.

$$P^2 = \frac{4}{5.1} \frac{(\rho C)^2 \sigma_{rad}}{\rho_p^2 C_l \eta h^3 A_0} \quad (2.11)$$

그러므로 각 옥타브 대역에서 규준화 음압레벨(The normalized impact sound level)은 다음 식 (2.12)와 같게 된다.

$$L_n = 10 \log_{10} \left(\frac{4}{5.1} \frac{(\rho C)^2 \sigma_{rad}}{P_{ref}^2 A_0 \rho_p^2 C_l \eta} \right) dB \quad (2.12)$$

단, L_n : 수음실에서의 음압레벨(dB)

P_{ref} : $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2 = 0.0002 \text{ } \mu\text{bar}$

ρC : 고유음향 임피던스($\text{kg/m}^2\text{s}$)

σ_{rad} : 슬래브의 방사효율

A_0 : 흡음력

ρ_p : 슬래브 밀도 (kg/m^3)

C_l : 종파속도(m/s)

h : 슬래브 두께(m)

η : 복합손실 계수

상기 식 (2.12)를 공동주택 시공 시 일반적으로 사용되는 콘크리트 ($\rho_p = 2.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $C_l = 3.4 \times 10^3 \text{ m/s}$)에 대해 적용할 경우 다음 식 (2.13)과 같이 간략하게 정리된다.

$$L_n = 32.5 - 30 \log h + 10 \log \left(\frac{\sigma_{rad}}{\eta} \right) \quad (2.13)$$

이들 식으로부터 콘크리트 슬래브 특성의 변화에 따라 수음실에서의 음

압레벨은 다음과 같은 감소효과를 지닌다는 중요한 결과를 얻을 수 있다. 즉, L_n 은 슬래브의 두께(h)가 두 배가 될 때마다 9dB이 감소된다. 또한 L_n 은 슬래브의 밀도(ρ_p)를 두 배로 할 때마다 6dB이 감소된다.

② 콘크리트 슬래브 상면에 탄성마감재를 시공하였을 경우

경량 충격원에 의해 발생하는 바닥충격음은 바닥상면에 탄성을 지닌 재료를 시공하면 효과적으로 감소시킬 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다.

이와 같은 탄성재료 층은 가진력의 파형을 바꾸며, 결과적으로 충격용 Hammer에 의해 슬래브에 전해지는 가진력의 스펙트럼을 변화시킨다. 부드러운 표면이 단단한 콘크리트 슬래브 면에 비하여 임피던스가 적다는 것은 주지의 사실이다. 콘크리트 슬래브 상면의 탄성 마감재에 의한 충격음 차음성능 개선치(ΔL_n)는 탄성마감재에 의해 슬래브에 가해지는 힘이 줄어드는 정도를 의미하며 다음 식 (2.14)와 같이 정의될 수 있다.

$$\Delta L_n = 20 \log \frac{|F_n|}{|F'_n|} = 20 \log \left(\frac{4/\pi}{\sin \alpha / \alpha + \sin \beta / \beta} \right) dB \quad (2.14)$$

$$\text{단, } \alpha : \frac{\pi}{2} \left(1 - n \frac{f_r}{f_o} \right)$$

$$\beta : \frac{\pi}{2} \left(1 + n \frac{f_r}{f_o} \right)$$

F'_n : 탄성층에 가해지는 힘

F_n : 기본 콘크리트 슬래브에 가해지는 힘

위 식을 댐핑이 없고 강성이 높은 바닥에 대해 적용하면 주파수 f/f_0 의 함수로 표현된다. $f/f_0 = 1$ 이하일 경우 개선치는 0 이고, 이상일 경우라도 40dB/Oct. 곡선을 따라 개선된다. 따라서 슬래브 상면에 탄성 마감재를 시공하였을 경우 바닥충격음 개선치는 탄성층의 고유진동수를 기준으로 주파수가 10배가 될 경우 40dB의 저감효과를 거둘 수 있다.

(2) 중량충격원의 특성⁶⁾

공업규격에 중량충격원으로 사용토록 규정된 타이어는 등가질량 7.3 ± 0.4 kg, 동적등가 되튀기 정수 $1.6 \pm 0.1 \times 10^5$ N/m로서, 5.20-10-4PR의 자동차 타이어(공기압 $2.4 \pm 0.1 \times 10^5$ Pa)에 해당한다.

KS F 2810에서 규정하고 있는 중량충격원(타이어5.20-10-4PR)을 공기압 1.5×10^5 Pa 상태에서 $90\text{cm} \pm 10\text{cm}$ 높이로 자유낙하시켰을 때에 상당하는 충격원의 특성 실효치를 나타내면 다음 표 2.2와 같다.(日本建築學會, 1988)

표 2.2 중량충격원의 충격력 주파수특성 실효치

	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
충격력 실효치	44.7	10.0	5.6	2.2	1.0	1.1	0.9
충격력 레벨(dB)	33.0	20.0	15.0	7.0	0	1.0	-1.0

① 상부구조에서의 전달이론

상부구조 표면에 가해지는 충격이 철근콘크리트 슬래브에 수직방향으로만 전달되고 상부구조의 휨방향으로 전달되는 힘을 무시하면, 충격시간 내 충격원에 대응하는 상부구조의 변위는 동 위상에서 진동하는 것으로 되어 상부구조의 진동은 단 진동으로 가정할 수 있다.

공동주택의 바닥구조는 슬래브두께가 상부구조의 두께보다 두껍고 먼밀도도 크므로 상부구조의 휨과파장은 슬래브의 파장에 비하여 짧게 되어, 상부구조를 통하여 슬래브에 전달되는 체계는 가진상태를 가진점으로 한 Lumped undamped vibration system(집중 정수 단진동계)로 생각할 수 있다.

따라서 상부구조에 가해진 충격력이 슬래브에 전달될 때 상부구조에 의

6) 대한주택공사, 1990 “공동주택 내부소음 기준설정 연구(I)”

해서 발생하는 전달손실은 다음의 식 (2.15)로 표시할 수 있다.

$$\Delta L_r = 20 \log \frac{1}{\tau} dB \quad (2.15)$$

이때 진동전달율 τ 는 다음 식 (2.16)과 같이 표시할 수 있다.

$$\tau^2 = \left| \frac{F_s}{F_m} \right|^2 = \frac{1 + (\eta f / f_n)^2}{1 - (f^2 / f_n^2)^2} \quad (2.16)$$

단, F_s : 상부구조가 진동원일 때 슬래브의 가진력(N)

F_m : 상부구조에 가해지는 가진력(N)

η : 손실계수

또한, 진동계의 고유진동수 f_n 다음 식 (2.17)로 표시된다.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M_{eff}}} \quad (2.17)$$

단, K : 완충층의 스프링 상수

M_{eff} : 상부구조의 유효질량

이때의 유효질량 M_{eff} 는 다음 식 (2.18)로 표시된다.

$$M_{eff} = \pi \left(\frac{\lambda_b}{2} \right) \rho h \quad (2.18)$$

단, λ_b : 상부구조의 충격주파수에 대한 휨파의 파장(m)

ρ : 상부구조의 등가밀도(kg/m³)

h : 상부구조의 두께(m)

이때 중량충격원의 충격주파수에서 휨파의 파장(λ_b)은 다음 식 (2.19)로 표시된다.

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{\pi C_l h}{\sqrt{3} f}} \quad (2.19)$$

그러나 상기의 이론식은 집중정수계로서의 가정조건에 상부구조가 적합할 경우에 해당하는 점에 주의하여야 한다. 만일 강성이 부족할 경우에는 휨변형이나 소밀변형이 생겨서 상부구조가 일체로 움직이지 않게 되어 분할진동이 생기므로 세밀하게 분할하여 다질점계로 해석 하던가 분포정수계로 취급하는 것이 필요하다. 특히 국내의 바닥구조는 온돌의 특수성 때문에 자갈층을 축열재로 사용하는 경우가 많고, 마감모르터 층의 두께로 40mm이하가 대부분이어서 이론을 통한 전달 손실의 계산에는 많은 문제점을 내포하고 있다고 할 수 있다.

② 철근콘크리트 슬래브에 의한 전달손실

슬래브를 무한판이라고 가정하면 파장에 비하여 넓은 균일한 판의 일점에서 가진한 경우가 되므로, 부분적인 압축변형이나 전단변형을 제외하면 판의 임피던스(외력과 구 부분의 속도비)는 다음 식 (2.20)이 일반적으로 사용된다.

$$Z_b = 8\sqrt{BM} = \frac{4}{3}\rho C_l h^2 \quad (2.20)$$

단, B : 바닥슬래브의 휨강성(EI , Nm^2)

E : 바닥슬래브의 영계수(N/m^2)

M : 바닥슬래브의 단위면적당 질량(kg/m^2)

ρ : 바닥슬래브의 밀도(kg/m^3)

C_l : 종파의 전달속도(m/s)

h : 바닥슬래브의 두께(m)

이때 기본 임피던스 레벨 L_z 는 다음 식 (2.21)과 같이 된다.

$$L_z = 20\log_{10} Z_b \quad (2.21)$$

콘크리트 슬래브의 1차 고유 주파수는 슬래브의 장단변의 길이, 두께, 주변의 고정도 등에 의하여 변한다. 따라서 고정도 및 Span의 변화에 대한 1차 고유주파수와 슬래브의 면적과의 관계를 구하여야 한다.

여기서 고정도라는 것은 슬래브의 1차 고유주파수(f_0)의 주변완전 고정도에 대한 계산치($f_0 \cdot fix$)에 대한 비($f_0/f_0 \cdot fix$)이다. 실제로는 주변의 구속조건이 완전고정이 되지 않으므로 1차 고유진동수는 다음과 같은 관계가 있다.

$$f_0 \approx 0.8 f_0 \cdot fix \quad (2.22)$$

이때 유한 장 슬래브의 주변고정에 의한 1차 고유진동수($f_0 \cdot fix$)는 다음 식 (2.23)으로 산출된다.

$$f_0 \cdot fix = \frac{\pi}{4} \sqrt{3} \left(\frac{2.25}{a^2} + \frac{1.4}{b^2} \right) \left(\frac{E}{(1-\sigma^2)\rho} \right)^{\frac{1}{2}} h \quad (2.23)$$

단, a : 단변의 길이(m)

b : 장변의 길이(m)

σ : 포아송 비

일반 공동주택의 경우 슬래브 면적 10~30m², 스펠비 1~2 정도가 대부분으로 일차 공유 진동수는 31.5Hz 대역에 해당하는 경우가 많다.

또한 슬래브는 길이가 한정되어 있으므로 위 식을 이용하여 산출한 1차 고유진동수 대역에서 진동응답량이 증가하고 임피던스의 저하를 일으킨다. 이 공진주파수 영역에 있어서 임피던스 저하량은 슬래브의 손실계수에 의존한다. 공동주택의 슬래브를 대상으로 고주파수 대역에 있어서의 손실계수는 평균적으로 0.06 정도로 거의 일정하게 나타나고 있다. 그리고 슬래브의 유효방사면적은 주변부의 구속성이 클 경우에는 휨파의 파장(λ_b)의 1/4을 제외한 면적을 유효방사면적으로 보는 것이 타당하다.

2.1.4 바닥충격음 차단성능 측정 및 평가방법

(1) 측정방법

국내 바닥충격음 측정방법은 1978년 한국산업규격(KS F 2810)으로 처음 규정되었다. 이 규격은 표준충격원으로서 국제규격(ISO 140-7)을 바탕으로 한 경량충격원(Tapping Machine)만을 규정하였다. 경량충격원은 하이힐 소리나 물건 낙하 시 가볍고 딱딱한 충격에 대응하여 만들어진 충격원으로 초당 10회 타격하기 때문에 정상음에 가까운 정도의 짧은 주기를 갖는 충격원이다. 그 후 1981년에 실내에서 어린이의 뛰와 같은 비교적 무겁고 저주파수 성분이 탁월한 음에 대해 규정하기 위하여 표준충격원으로서 중량충격원을 추가로 도입하는 규격의 개정이 이루어졌다. 또한 1996년에는 SI 단위계로 통일하기 위해 부분적인 한국산업규격의 개정이 이루어졌다. 그러나 한국산업규격은 건축물의 차음성능을 개선하고 공법을 개발하는데 크게 기여하여 왔으나, 표준충격원이 이원화되어 있고 측정주파수대역이나 수음실 공간에서의 충격음레벨 산정방법 등에 있어 국제규격과 적지 않은 차이점을 가지고 있어 자료의 상호비교 등에 있어 문제점을 지니어 왔다.

최근 ISO 규격의 활발한 제·개정과 유럽에서의 표준화작업, 일본의 JIS 개정 및 제정의 움직임은 국제무역기구(WTO) 체제 하에서 국내규격도 국제규격과의 정합화가 필요하게 되었다. 따라서 바닥충격음 차단성능 측정방법에 대한 기존의 한국산업규격은 ISO 규격에 내용과 형식을 모두 일치시킨 개정이 이루어졌다.(2001.6.19) 그러나 경량충격원만을 규정하는 ISO 규격을 따를 경우 우리나라 공동주택 거주자의 주요 불만요인의 하나인 중량충격음을 효율적으로 측정·평가하는데 어려움이 예상되어, 그동안 하나의 규격 안에서 규정되어 왔던 표준 경량충격원 및 중량충격원

에 의한 측정방법을 분할하여 제1부(KS F 2810-1, “바닥충격음 차단성능 현장 측정방법, 제1부: 표준경량충격원에 의한 방법”)와 제2부(KS F 2810-2, “바닥충격음 차단성능 현장 측정방법, 제2부: 표준중량충격원에 의한 방법”)로 규정하였다.⁷⁾

바닥충격음 차단성능의 측정은 위와 같이 KS F 2810-1 및 KS F 2810-2에서 규정하고 있는 방법에 의하여 실시하되, 경량충격음레벨 및 중량충격음레벨에 대하여 측정한다.

(2) 평가방법

평가방법은 경량충격음과 중량충격음 모두에 대해 공통적으로 적용할 수 있으며, 단일수치 평가량(weighting method)으로 평가가 가능한 역A특성 기준곡선을 적용하는 것으로 한다. 경량충격음의 경우 수음실의 등가흡음력을 고려한 규준화 바닥충격음레벨(L'_n) 측정치를 역A특성 기준곡선에 적용하여 산정한 역A특성 가중규준화 바닥충격음레벨($L'_{n,AW}$)을 적용한다. 또한 중량충격음의 경우는 바닥충격음레벨($L_{i,Fmax}$) 측정치를 역A특성 기준곡선에 적용하여 산정한 역A특성 가중 바닥충격음레벨($L_{i,Fmax,AW}$)을 적용한다.

본 연구에서는 역A특성 가중규준화 바닥충격음레벨($L'_{n,AW}$)은 경량충격음 성능레벨로, 역A특성 가중 바닥충격음레벨($L_{i,Fmax,AW}$)은 중량충격음 성능레벨로 나타내어 평가하도록 하였으며, 두 충격원을 함께 나타낼 경우는 바닥충격음 성능레벨(L_A)로 표기하였다.

7) 대한주택공사, 2001.12 “공동주택 바닥충격음 차단성능 기준설정 연구”

2.2 바닥충격음 성능기준

2.2.1 국내

주택성능 인정제도의 일환으로 공동주택의 각 층간 바닥충격음의 차음 성능기준은 “주택건설기준등에관한규정”(대통령령 제17972호)에 의하면 건설교통부장관이 정하여 고시하는 방법에 따라 측정한 공동주택의 바닥 충격음레벨은 경량충격음은 58dB이하, 중량충격음은 50dB이하가 되도록 하고 있다.

건설교통부 고시(제2004-71호)에는 표준바닥구조 5종을 포함한 경량 바닥충격음 성능등급을 정하여 경량충격음의 최소 기준인 58dB이하를 만족하는 바닥구조 5종을 제시하였다. 중량충격음의 경우에는 2005년 6월 30일자로 개정 고시된 “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”에 따라 표준바닥구조는 구조별 5종으로 제시, 온돌 층을 제외한 콘크리트 슬래브 바닥두께를 벽식과 혼합구조는 210mm이상, 라멘구조는 150mm이상, 무량판구조는 180mm이상으로 정하고 있다.

공동주택의 경량 바닥충격음과 중량 바닥충격음 차단구조인정 및 관리 기준은 다음의 표 2.3, 표 2.4와 같다.

표 2.3 경량 바닥충격음 차단성능의 등급기준

등급	역A특성 가중규준화 바닥충격음레벨(dB)
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 2.4 중량 바닥충격음 차단성능의 등급기준

등급	역A특성 가중 바닥충격음레벨(dB)
1급	$L_{i,Fmax,AW} \leq 40$
2급	$40 < L_{i,Fmax,AW} \leq 43$
3급	$43 < L_{i,Fmax,AW} \leq 47$
4급	$47 < L_{i,Fmax,AW} \leq 50$

“주택건설기준등에 관한규정”(제22조-2)에서 공업화주택 성능 및 생산기준의 별표 7의 2에 바닥충격음 측정방법(KS F 2810)에 의하여 측정한 바닥(최하층 바닥 제외)의 충격음 차단성능기준을 나타내고 있는데, 그 내용은 다음의 표 2.5와 같다.

표 2.5 충격음 차단 성능기준 (공업화주택 성능 및 생산기준)

구분	급별	바닥충격음레벨(dB)		
		주파수 63Hz	주파수 500Hz	주파수 2kHz
경량충격음	1급	76미만	66미만	59미만
	2급	86미만 76이상	68미만 63이상	64미만 59이상
	3급	96미만 86이상	73미만 68이상	69미만 64이상
중량충격음	1급	66미만	43미만	39미만
	2급	71미만 66이상	48미만 43이상	44미만 39이상
	3급	76미만 71이상	53미만 48이상	49미만 44이상

또한, 대한주택공사에서 제시하고 있는 기준치 및 권고안은 표 2.6과 같다. 이 기준안의 평가척도는 측정방법이 한국과 동일하고 실내 생활양식이 유사한 일본의 평가방법(JIS A 1419)을 준용하여 L지수(등급)로 표현한 것이다.

표 2.6 바닥충격음 차음성능 기준안 (대한주택공사)

구분	실용도	부위	바닥충격음 기준안 (L지수, dB)	
			경량충격음	중량충격음
기준치	거실	세대간	L-70	L-50
권장치	침실	경계바닥	L-60	L-45

2.2.2 일본

일본에서는 바닥충격음에 대한 차음기준 및 등급을 “JIS A 1419”에 규정하고 있다. 이 규격은 건축물의 차음성능을 적절하게 평가하기 위한 것으로, 바닥충격음레벨에 관한 차음등급의 기준주파수 특성 곡선을 이용하여 차음등급을 결정하고 있다. 차음등급을 구하는 방법은 차음등급을 나타낸 기준주파수 특성 곡선을 이용하여 충격원별로 1/1 Oct. band 중심주파수 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz의 측정치를 기준곡선에 기입해서 그 값들이 모든 주파수 곡선에 하회할 때 그 최소기준곡선을 부르는 법에 의해 차음등급을 나타낸다. 단, 측정정도 등을 고려하여 각 주파수대역의 측정치는 기준곡선을 2dB 상회하는 것을 허용하고 있다.

바닥충격음레벨에 관한 기준주파수 특성 곡선과 그 등급을 표기하면 그림 2.3과 같다. 또한 공동주택에 대한 개정된 일본건축학회의 적용등급과 적용등급의 의미는 표 2.7과 같다.

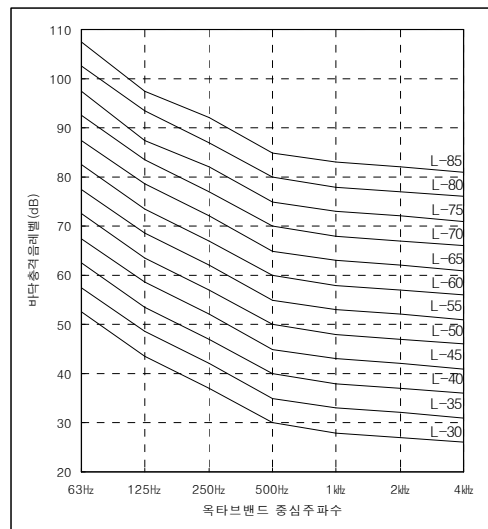


그림 2.3 바닥충격음레벨에 관한
기준주파수 특성곡선(JIS A 1419)

표 2.7 공동주택의 바닥충격음 적용등급 (日本建築學會)

등급	충격음레벨(dB)	등급구분	의미
특급	L - 40 L - 45*	특급 (특별시방)	차음성능상 매우 우수
1급	L - 45 L - 50*	1급 (표준)	차음성능상 바람직함
2급	L - 55	2급 (허용)	차음성능상 거의 만족
3급	L - 60	3급 (최저한)	차음성능상 최저 한도

*표시는 중량충격원에만 적용

최근 일본에서는 주택품질확보촉진법을 제정하여 2001. 4월부터 시행하고 있다. 이 법의 주요 내용은 주택성능표시제도, 분쟁처리체제의 정비, 하자담당책임의 특례 등으로 이루어져 있다.

주택품질확보촉진법에서 규정하고 있는 바닥충격음 대책등급의 기준은 표 2.8과 같다.

표 2.8 바닥충격음 대책등급 (주택품질확보촉진법-주택성능표시제도)

성능등급(rank)		5	4	3	2	1
성능수준	경량(dB)	$L_L - 45$	$L_L - 50$	$L_L - 55$	$L_L - 60$	rank2 미만
	중량(dB)	$L_H - 50$	$L_H - 55$	$L_H - 60$	$L_H - 65$	rank2 미만
차음성능 수준		특히 우수	우수	기본	약간 낮음	그 외

L_L , L_H : 경량 및 중량충격음의 성능을 나타내는 평가기준곡선(JIS A 1419-2)

2.2.3 미국

미국에서 바닥충격을 평가방법으로 ISO에서 제안하고 있는 IIC(Insulation Class)곡선을 사용하는데, IIC값은 경량충격원에 의한 1/3 Oct. band의 현장 측정치에 IIC기준곡선을 겹쳤을 때 500Hz와 교차하는 값으로 구한다. FHA(Federal Housing Administration)에 의해 사용이 권장되고 있는 충격음의 기준곡선은 그림 2.4와 같고, 그림에서 Grade I 은 야간 집 밖에서 40dB이하(농촌, 고급주택지), GradeⅡ는 40~45dB(교외 일반주택지), GradeⅢ는 45dB이상(도심지)으로 적용하고 있다.

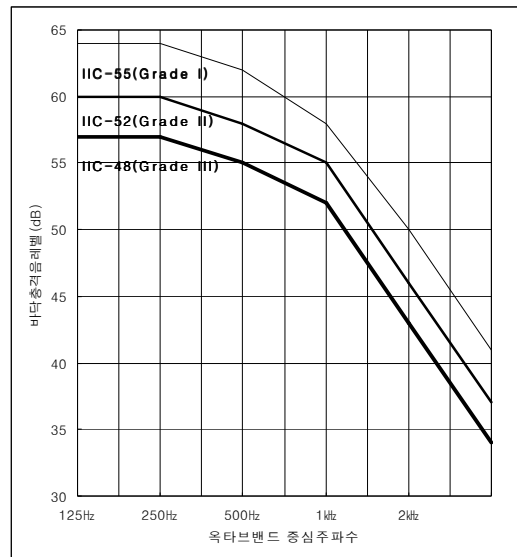


그림 2.4 바닥충격음에 대한 IIC곡선

HUD(The U.S. Department of Housing and Urban Development)에서 공동주택의 바닥에 규정하고 있는 차음성능의 권장치는 표 2.9와 같다. 이 기준은 지리적 위치, 경제적 조건, 바닥 구조의 기능에 따라 3등급으로 구분되어 있다.

표 2.9 공동주택 경계바닥의 IIC차음기준 (HUD)

세대간 실용도		바닥충격음(IIC, dB)			세대간 실용도		바닥충격음(IIC, dB)		
상층	하층	Grade I	Grade II	Grade III	상층	하층	Grade I	Grade II	Grade III
침실	침실	55	52	48	침실	주방	52	50	46
거실		60	57	53	거실		55	52	48
주방		65	62	58	주방		55	52	48
가족실		65	62	58	욕실		55	52	48
복도		65	62	58	가족실		60	58	54
					복도		55	52	48
침실	거실	55	52	48	침실	가족실	50	48	46
거실		55	52	48	거실		52	50	48
주방		60	57	53	주방		55	52	50
가족실		62	60	56	욕실	욕실	52	50	48
복도		60	57	53	복도	복도	50	48	46

Grade I 은 야간에 외부 소음이 35~40dB이거나 위치에 관계없이 8층 이상인 공동주택에서 고급 건물인 경우에 적용되며, Grade II는 표준치로서 외부소음레벨이 보통인 경우, Grade III는 최저치로서 시끄러운 지역에 적용되고 있다.

U.S Code에서는 실내소음 목표치로서 주야간 평균소음레벨 45dB이하를 권장하고 있다.

2.2.4 ISO (국제 표준화기구)

바닥충격음에 대한 차음기준은 ISO 717로 제정되어 있으며, 이 기준은 건축물의 차음성능을 적절히 평가하고 음향적인 요구에 대한 법규를 간단히 하는 것에 그 목적이 있다. 바닥충격음의 기준은 그림 2.5와 같으며, 영국에서도 이 기준을 적용하고 있다.

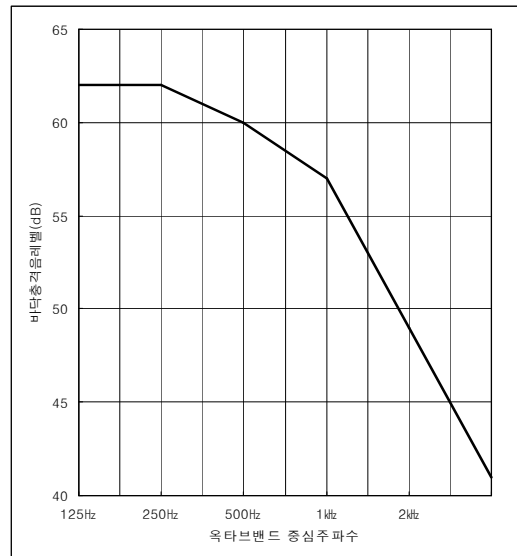


그림 2.5 바닥충격음의 기준곡선(ISO)

차음성능의 평가방법은 미국의 IIC곡선에 의한 평가방법과 동일하며, 소음의 시간에 따른 변화가 크지 않는 정상소음의 시간변화가 큰 경우에는 소음계를 사용하여 단순 dB(A)을 사용할 수 있지만 소음의 시간 변화가 큰 경우에는 등가소음도(L_{eq})를 사용하도록 하고 있다. ISO에서는 충격음 지수가 60dB인 경우를 최소 차음등급으로 규정하고 있으며, 건물의 종류나 부위별 바닥판의 평가를 위한 차음성능기준은 규명하지 않았다.

3. 바닥충격음 측정개요 및 방법

3.1 측정대상의 선정

측정대상은 건설교통부고시(제2004-71호) 표준바닥구조에 준하는 2가지 타입의 바닥구조와 차음시공이 이루어진 벽체가 샘플링 된 부산 S구 소재의 D아파트 43평형 8개 층의 세대를 측정대상으로 선정하였다.

측정대상으로 선정된 세대는 바닥과 벽의 구조체 부위별 차음시공을 실시한 후에 입주 전 마감공사가 완료된 상태에서 수음실(직하 세대)의 거실 공간에 대하여 경량 및 중량충격음을 주파수대역별로 측정하였다. 측정당시에는 주변 배경소음의 영향을 줄이기 위하여 밤 10시 이후에 측정을 실시하였다.

그림 3.1은 측정대상의 평면도 및 음원실과 수음실의 측정 위치를 나타내고 있다.

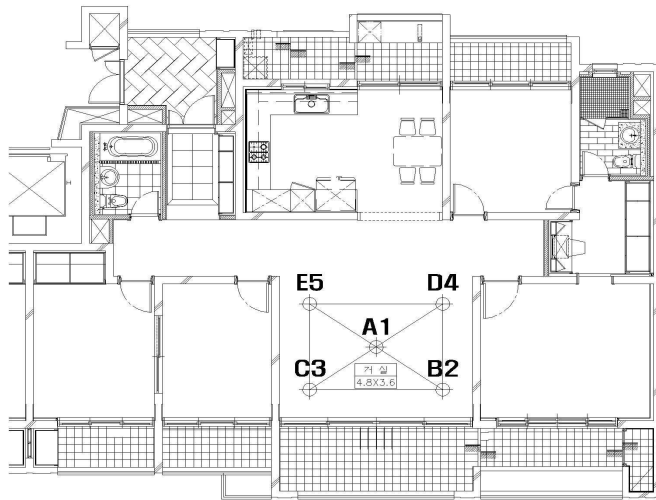


그림 3.1 측정대상 건물의 평면도 및 측정지점

3.2 측정대상의 구조

측정대상 8개 세대에 대해 바닥과 벽의 구조 부위별 차음성능을 측정하기 위하여 바닥과 벽 또는 각 부위를 조합하여 차음시공 하였다. 각 구조에 대한 시공조합표를 다음 표 3.1에 나타내었다.

표 3.1 구조부위별 시공조합표

구분(거실)		구조(mm)
기본바닥구조	A	슬래브180 + 경량기포Con'c70 + 마감모르터40 + 마감재
바닥차음시공 (측면완충재적용)	B-1	슬래브180 + 완충재(페타이어칩)20 + 경량기포Con'c50 + 마감모르터40 + 마감재
	B-2	슬래브180 + 완충재(전선칩·스티로폼)20 + 경량기포Con'c50 + 마감모르터40 + 마감재
	C-1	슬래브180 + 경량기포Con'c50 + 완충재(페타이어칩)20 + 마감모르터40 + 마감재
	C-2	슬래브180 + 경량기포Con'c50 + 완충재(전선칩·스티로폼)20 + 마감모르터40 + 마감재
벽체차음구조	D	기본벽체 + 차음석고보드 + 차음시트(염화비닐수지)4 + 석고보드9.5 + 벽지마감
조합차음시공 (측면완충재적용)	D-A	D구조 + A구조
	D-B	D구조 + (B-1)구조
	D-C	D구조 + (C-1)구조

3.2.1 측정대상 바닥구조

일반적인 공동주택의 벽식구조에서 콘크리트 슬래브 두께를 180mm로 한 기본바닥구조(구조A)를 중심으로 표준바닥구조 중 2가지 타입을 선정(구조B, 구조C)하여 완충재의 위치에 따른 차음성능 차이를 알아보기 위해 경량기포콘크리트 상부, 하부에 나누어 완충재를 시공하였고, 완충재의 종류를 페타이어칩과 전선칩·스티로폼으로 적용하여 완충재의 종류별에 따른 차음성능 영향을 알아보고자 하였다. 이때 온돌층이 벽과 접하는 부위에는 측면완충재를 적용하였다. 그림 3.2는 바닥충격음 완충재와 측면완충재의 현장 시공 장면을 보여주고 있다.



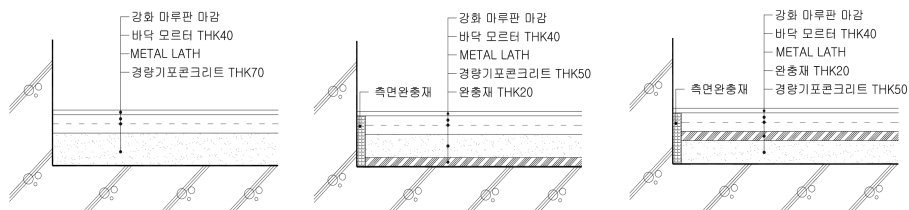
페타이어칩

전선칩·스티로폼

측면완충재

그림 3.2 측정대상 건물 현장의 완충재 시공 장면

그림 3.3은 기본바닥구조(구조A)의 바닥 단면상세도와 바닥차음시공(구조B, 구조C)의 바닥 단면상세도를 나타내고 있다.



기본바닥구조(구조A)

바닥차음시공(구조B)

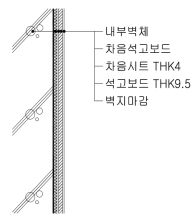
바닥차음시공(구조C)

그림 3.3 측정대상 바닥 부분 단면상세도

3.2.2 측정대상 벽구조

측정 기준이 거실 공간이기 때문에 측정대상의 벽구조는 내벽의 기본벽체에 차음석고보드와 염화비닐수지 계통의 1000mm×1000mm인 차음시트를 시공성 접착제로 부착하여 석고보드와 벽지로 마감(D구조)하도록 하였다.

이 벽구조는 바닥구조와 조합시공(구조DA, 구조DB, 구조DC)하여 바닥과 벽의 조합차음시공 시의 차음성능평가를 실시하도록 하였다. 그림 3.4는 측정대상의 벽차음시공구조 부분 단면상세도를 나타낸 것이다.

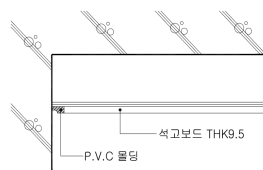


벽차음시공(구조D)

그림 3.4 측정대상 벽 부분 단면상세도

3.2.3 측정대상 천장구조

측정대상 8개 세대의 모든 천장구조에는 특별한 차음시공이 적용되지 않은 P.V.C몰딩에 석고보드와 천장지로 마감된 천장틀과 슬래브 사이의 공기층으로 이루어진 천장구조를 가지도록 하였다.



천장구조

그림 3.5 측정대상 천장 부분 단면상세도

3.3 측정방법

바닥충격음의 측정위치는 그림 3.1의 평면도에서처럼 음원실과 수음실의 벽체에서 75cm 떨어진 곳에 대각선상의 4지점과 중심점을 포함해 가진점(A, B, C, D, E)과 수음점(1, 2, 3, 4, 5)을 선정하였다.

이때, 음원실의 1개소에서 충격원 가진 시 수음실 5개소에서 바닥충격음을 측정하도록 하였다.

음원실의 측정 방법은 각 세대 거실의 가진점을 대상으로 경량충격원(Tapping Machine)과 중량충격원(Bang Machine)을 사용하여 가진 하였으며, 바닥충격음레벨의 차이를 줄이기 위하여 측정자가 충격원 주위를 벗어난 상태에서 측정을 실시하였다.

수음실의 측정 방법은 측정공간의 모든 개구부를 닫은 상태에서 바닥으로부터 1.2m 높이에 마이크로폰을 설치하여 음의 회절이 일어나지 않도록 측정자가 주위를 벗어난 상태에서 측정을 실시하였다.

이때, 실시간 분석기능을 갖춘 적분형 정밀 소음계(NA-27)에 주파수보정 Flat / A특성과 지시계기 Fast로 설정한 후 KS F 2810에 의한 바닥충격음을 세밀하게 평가하기 위하여 측정주파수대역을 경량충격음의 경우 100Hz~3150Hz의 16개 대역, 중량충격음은 50Hz~630Hz의 12개 대역에 대한 1/3 Oct. band로 분석하였다.

그림 3.6은 실제 현장에서의 측정 장면을 보여주고 있으며, 표 3.2는 사용된 측정 장비를 나타내고 있다.



그림 3.6 측정대상 건물 현장측정 장면

표 3.2 바닥충격음 측정 장비

측정 장비	제원
경량충격원	Tapping Machine, Type T(FI02) / SATUKI
중량충격원	Bang Machine, N211 / Norsonic
소음측정기	Sound Level Meter, NA-27 / RION
주파수분석기	S-NA 3.0 UK / RION
Level Recorder	LR-04 / RION

4. 측정결과의 분석 및 고찰

바닥과 벽의 구조부위별 차음시공이 적용된 각 8개 세대 거실에 대한 바닥충격음을 측정한 후 주파수분석기(S-NA 3.0 UK)를 사용하여 분석한 데이터의 1/3 Oct. band 주파수대역별 평균값을 가지고 경량충격음과 중량충격음에 대한 비교, 분석을 실시하였다.

바닥충격음 차단성능 및 영향요인을 단일 수치 평가량으로 평가하기 위하여 1/3 Oct. band에 대한 바닥충격음 기준곡선(경량)과 1/3 Oct. band를 1/1 Oct. band의 값으로 환산하여 역A특성곡선 및 일본공업규격·일본건축학회에서 제시하고 있는 차음등급곡선(L등급)을 병용하여 평가하였다.

4.1 측정결과

4.1.1 기본바닥구조(구조A)의 바닥충격음레벨

(1) 주파수대역별 바닥충격음레벨

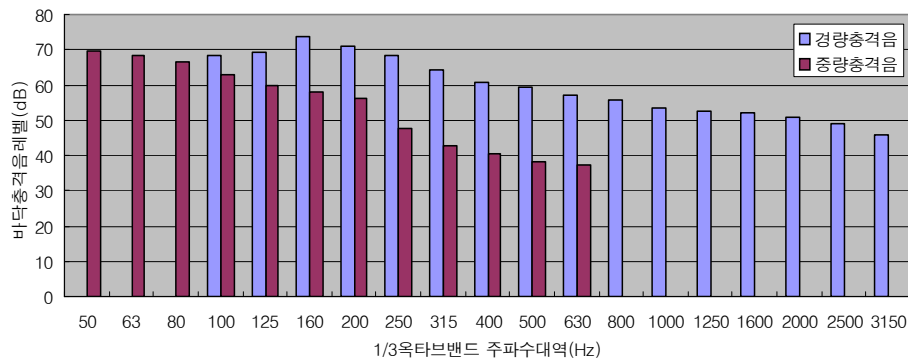
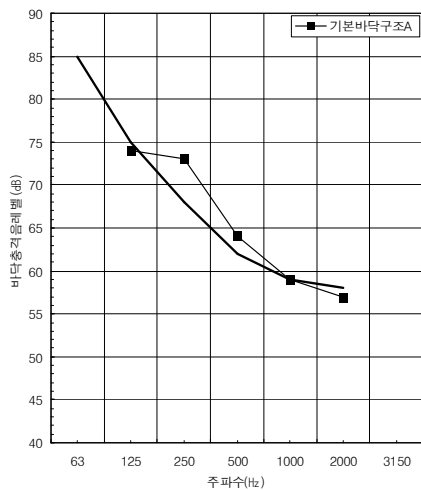


그림 4.1 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조A)

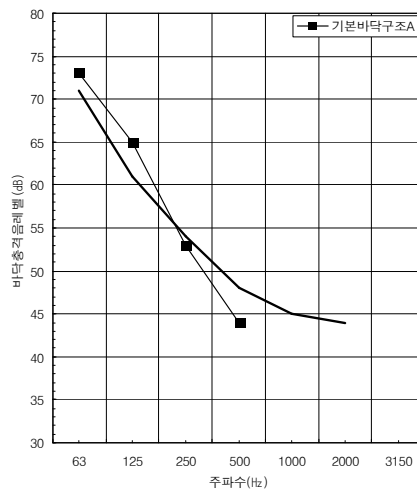
그림 4.1은 기본바닥구조(구조A)의 1/3 Oct. band 주파수대역에 대한 현장측정결과를 나타내고 있다. 구조A는 경량충격음에 대한 표준바닥구조에 준하지만 차음시공이 이루어지지 않아 전반적인 주파수대역에서 바닥충격음레벨이 높게 나타났다.

(2) 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가(역A특성 기준곡선)

건물 및 건물 부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법(KS F 2863)에 의해 1/3 Oct. band 주파수대역 측정결과를 1/1 Oct. band 값으로 합성한 후, 경량충격음과 중량충격음의 역A특성 기준곡선을 이용하여 중심주파수에 대한 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가량을 그림 4.2와 같이 나타내었다.



경량충격음(구조A)



중량충격음(구조A)

그림 4.2 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(기본바닥구조A)

경량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 250Hz와 500Hz에서 7.0(<10.0)으로 500Hz 대역에 있어서의 $L'_{n,AW} = 62(\text{dB})$ 의 값으로 나타났으며, 중량충

격음 기준곡선 상회값의 합계는 63Hz와 125Hz에서 6.0(<8.0)으로 500Hz 대역에 있어서의 $L_{i,Fmax,AW} = 48(\text{dB})$ 의 값으로 나타나 국내 바닥충격음 차단성능 등급기준과 비교해 경량충격음은 기준을 만족시키지 못하는 결과를 보였다.

4.1.2 바닥차음시공(구조B)의 바닥충격음레벨

(1) 주파수대역별 바닥충격음레벨

바닥슬래브 상부에 2가지 Type의 완충재 종류에 의해 바닥차음시공 된 거실의 바닥충격음 주파수 측정결과는 그림 4.3과 같다.

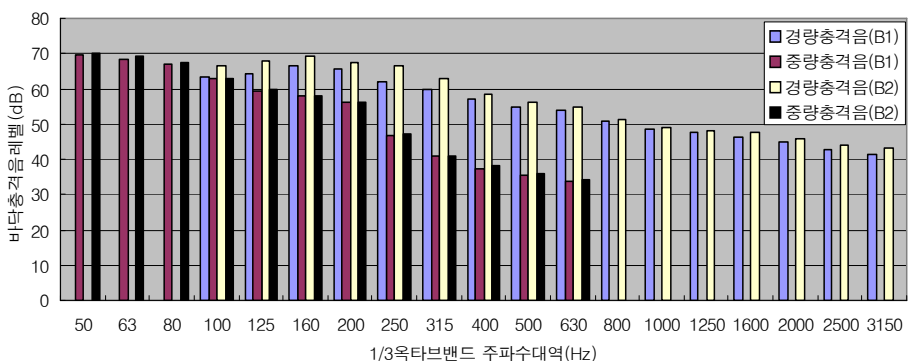


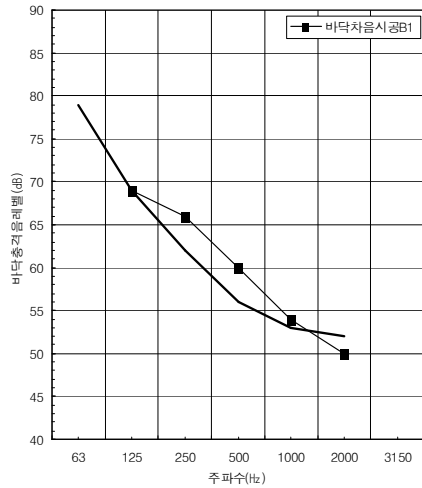
그림 4.3 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조B)

전 주파수대역에서 페타이어칩 완충재를 이용한 구조B1이 전선칩과 스티로폼을 이용한 구조B2에 비해 바닥충격음레벨이 낮게 측정되었다.

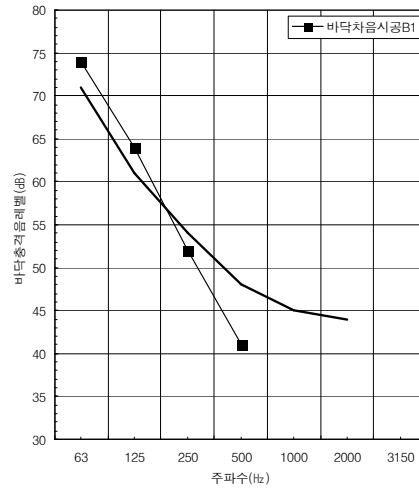
특히, 중량충격음 보다 경량충격음의 전체적인 주파수대역에서 바닥충격음레벨의 측정결과 차이가 잘 나타났다.

(2) 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가(역A특성 기준곡선)

바닥슬래브 상부에 바닥차음시공 된 구조B1과 구조B2에 대한 역A특성 기준곡선을 이용한 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가량은 그림 4.4, 그림 4.5와 같다.



경량충격음(구조B1)

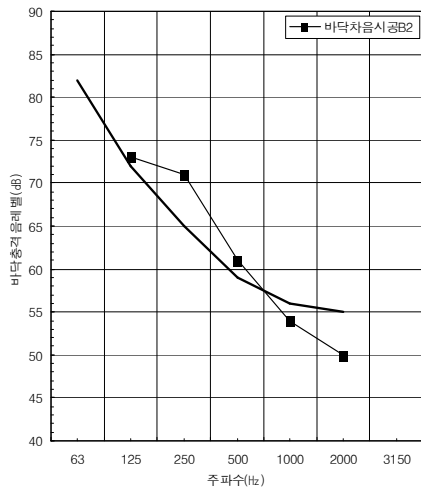


중량충격음(구조B1)

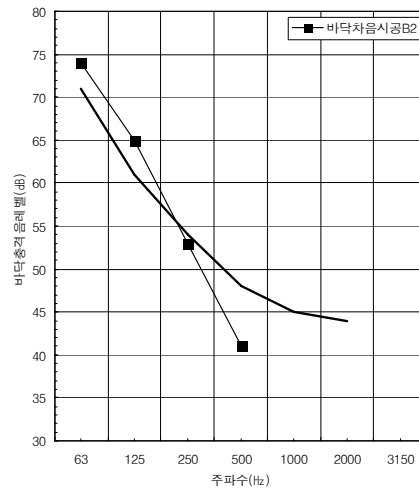
그림 4.4 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(바닥차음시공B1)

구조B1의 경량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 250Hz, 500Hz, 1kHz에서 9.0(<10.0)으로 500Hz대역에서의 $L'_{n,AW} = 56(\text{dB})$ 의 값을 보였으며, 중량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 63Hz, 125Hz에서 6.0(<8.0)으로 500Hz대역에서의 $L_{i,Max,AW} = 48(\text{dB})$ 의 값으로 나타났다.

역A특성 기준곡선에 의한 바닥차음시공 구조B1은 경량충격음과 중량충격음 모두 국내 바닥충격음 차단성능 등급기준 4급에 만족하는 결과를 보였다.



경량충격음(구조B2)



중량충격음(구조B2)

그림 4.5 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(바닥차음시공B2)

구조B2의 경량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 125Hz, 250Hz, 500Hz에서 9.0(<10.0)으로 500Hz대역에서의 $L'_{n,AW} = 59(\text{dB})$ 의 값으로 나타났고, 중량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 63Hz, 125Hz에서 7.0(<8.0)으로 500Hz대역에서의 $L_{i,Fmax,AW} = 48(\text{dB})$ 의 값을 보였다.

역A특성 기준곡선에 의한 바닥차음시공 구조B2는 국내 바닥충격음 차단성능 등급기준에 있어서 중량충격음만을 4등급 기준에서 만족시키는 결과를 나타냈다.

4.1.3 바닥차음시공(구조C)의 바닥충격음레벨

(1) 주파수대역별 바닥충격음레벨

경량기포콘크리트 상부에 2가지 Type의 완충재 종류에 의해 바닥차음 시공 된 거실의 바닥충격음 주파수 측정결과는 다음의 그림 4.6과 같다.

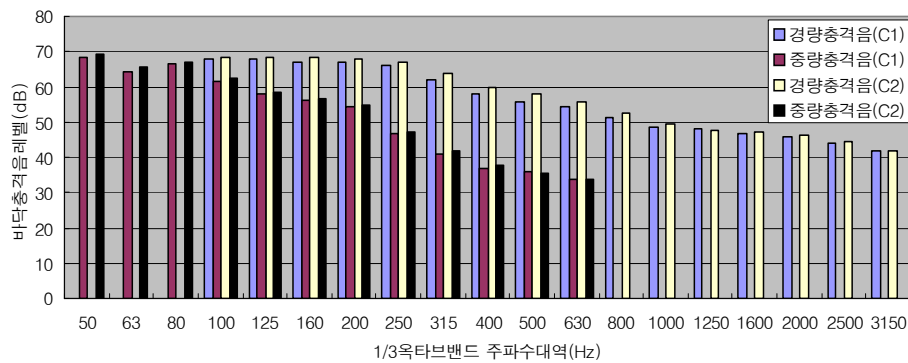
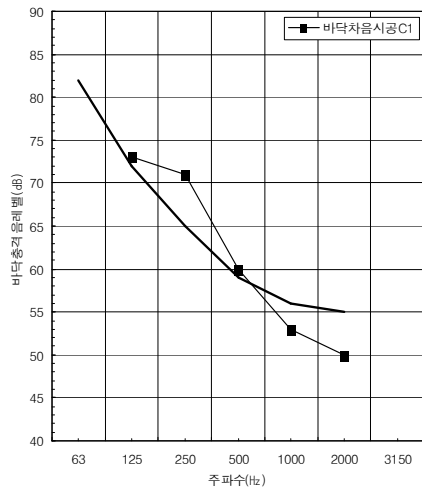


그림 4.6 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조C)

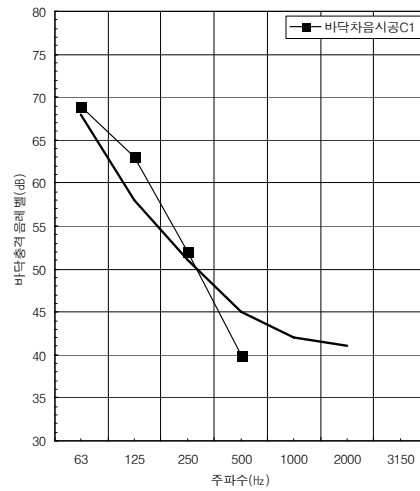
바닥차음시공(구조C) 역시 페타이어칩 완충재를 이용한 구조C1이 전 주파수대역에서 낮은 수치를 보이고 있으며, 특히 중량충격음의 저주파수 대역에서 그 측정결과가 잘 나타나고 있다.

(2) 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가(역A특성 기준곡선)

경량기포콘크리트 상부에 바닥차음시공 된 구조C1과 구조C2에 대한 역 A특성 기준곡선을 이용한 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가량은 다음의 그림 4.7, 그림 4.8과 같다.



경량충격음(구조C1)

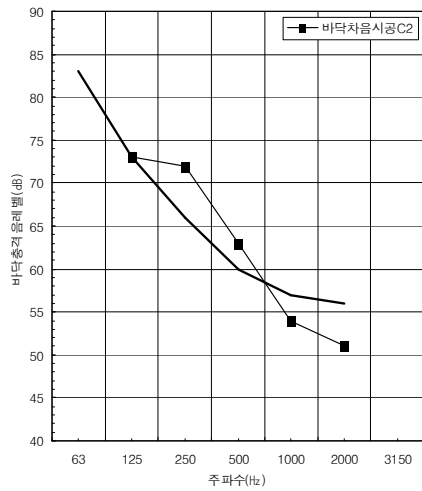


중량충격음(구조C1)

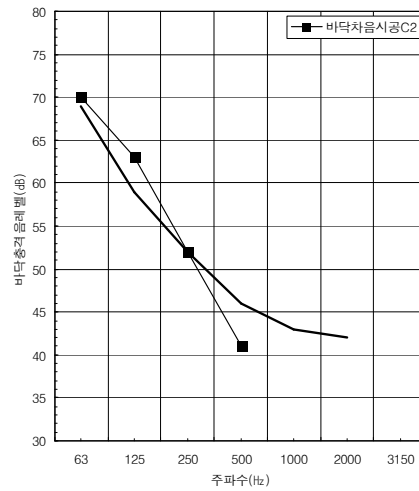
그림 4.7 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(바닥차음시공C1)

구조C1의 경량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 125Hz, 250Hz, 500Hz에서 8.0(<10.0)으로 500Hz대역에서의 $L'_{n,AW} = 59(\text{dB})$ 의 값을 보였으며, 중량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 63Hz, 125Hz, 250Hz에서 7.0(<8.0)으로 500Hz대역에서의 $L_{i,Fmax,AW} = 45(\text{dB})$ 의 값으로 나타났다.

역A특성 기준곡선에 의한 바닥차음시공 구조C1은 국내 바닥충격음 차단성능 등급기준에 있어서 경량충격음은 등급기준을 만족 시키지 못했으나 중량충격음은 등급기준 3급을 만족시키는 결과가 나왔다.



경량충격음(구조C2)



중량충격음(구조C2)

그림 4.8 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(바닥차음시공C2)

구조C2의 경량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 250Hz, 500Hz에서 9.0(<10.0)으로 500Hz대역에서의 $L'_{n,AW} = 60(\text{dB})$ 의 값으로 나타났으며, 중량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 63Hz, 125Hz에서 5.0(<8.0)으로 500Hz대역에서의 $L_{i,Fmax,AW} = 46(\text{dB})$ 을 나타내었다.

역A특성 기준곡선에 의한 바닥차음시공 구조C2는 경량충격음에서 등급기준을 약간 상회하는 바닥충격음레벨의 수치를 기록하였으며, 중량충격음의 경우에는 구조C1과 같이 국내 바닥충격음 차단성능 등급기준의 3급을 만족시키는 결과를 보였다.

4.1.4 벽차음시공(구조DA)의 바닥충격음레벨

(1) 주파수대역별 바닥충격음레벨

수음실에 있어서 기본바닥구조(구조A)에 차음석고보드와 차음시트를 이용한 벽차음시공을 실시하여 벽차음시공 시 바닥충격음레벨의 저감량을 평가하였다.

그림 4.9는 벽차음시공을 실시한 거실의 주파수 측정결과를 나타내고 있다.

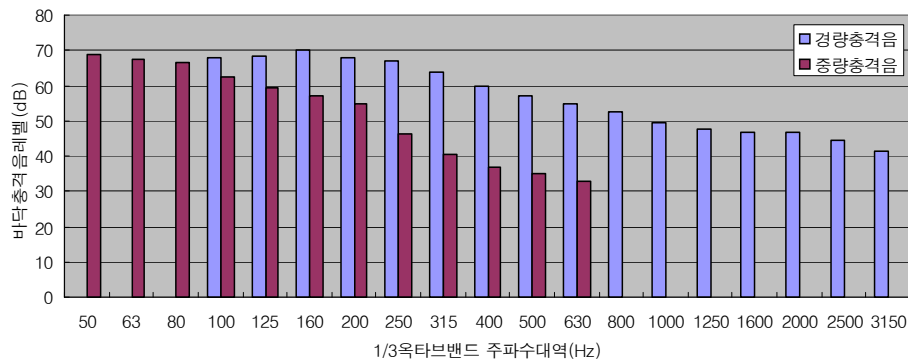


그림 4.9 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조DA)

기본바닥구조에 벽차음시공을 실시한 구조DA의 주파수 측정결과는 기본바닥구조 1/3 Oct. band 주파수대역과 비교하여 전체적인 바닥충격음레벨이 적은 폭으로 감소하는 결과를 나타냈다.

특히, 중량충격음 보다 경량충격음에서 바닥충격음레벨의 저감 수치가 크게 나타났다.

(2) 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가(역A특성 기준곡선)

기본바닥구조(구조A)에 벽차음시공 된 구조DA의 역A특성 기준곡선을 이용한 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가량은 다음 그림 4.10과 같다.

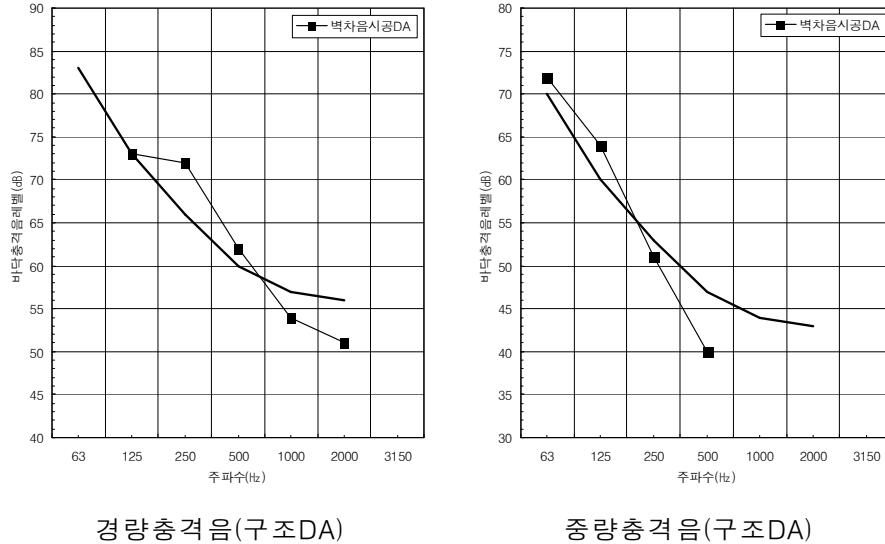


그림 4.10 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(벽차음시공DA)

구조DA의 경량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 250Hz와 500Hz대역에서 8.0(<10.0)으로 500Hz대역에서의 $L'_{n,AW} = 60(\text{dB})$ 의 값을 보였으며, 중량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 63Hz와 125Hz에서 6.0(<8.0)으로 500Hz대역에서의 $L_{i,Fmax,AW} = 47(\text{dB})$ 의 값으로 나타났다.

역A특성 기준곡선에 의한 벽차음시공 구조DA는 국내 바닥충격음 차단 성능 등급기준에 있어서 경량충격음은 기본바닥구조 보다 바닥충격음레벨의 차단성능이 향상되었으나 기준을 만족시키진 못하였고, 중량충격음은 4급 수준의 차단성능 결과를 보여주었다.

4.1.5 조합차음시공(구조DB, 구조DC)의 바닥충격음레벨

(1) 주파수대역별 바닥충격음레벨

바닥슬래브 상부와 경량기포콘크리트 상부에 완충재를 적용한 바닥차음시공구조에 벽차음시공을 함께 실시하여 조합차음시공 시의 바닥충격음레벨 저감량을 주파수대역별로 평가하였다.

그림 4.11은 바닥충격음레벨의 차단능력이 높게 평가된 바닥차음시공 구조B1과 구조C1에 대한 벽차음을 조합 시공하여 조합차음시공 시의 구조DB와 구조DC의 주파수 측정결과를 나타내고 있다.

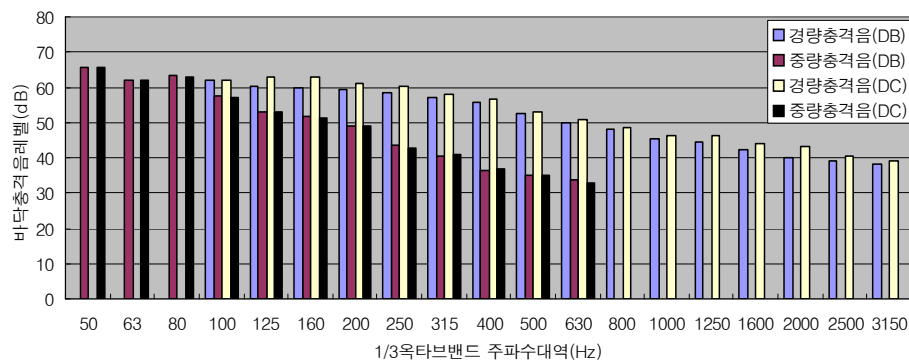
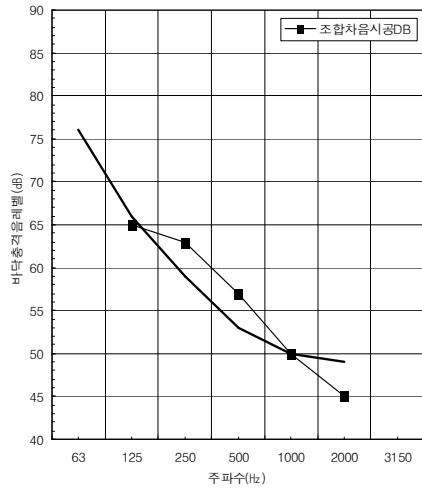


그림 4.11 1/3 Oct. band 주파수 측정결과(구조DB, 구조DC)

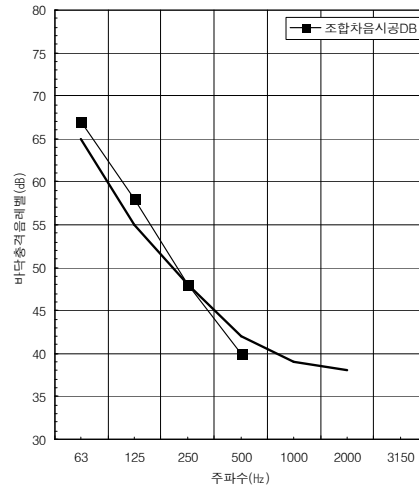
조합차음시공 구조DB와 구조DC 모두 전체적인 주파수대역에서 낮은 수치를 나타냈으며, 특히 경량충격음은 구조DB에서 그리고 중량충격음은 구조DC에서 높은 저감량을 보이고 있다.

(2) 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가(역A특성 기준곡선)

조합차음시공 구조DB와 구조DC에 대한 역A특성 기준곡선을 이용한 바닥충격음 차단 성능 단일 수치 평가량은 다음 그림 4.12, 그림 4.13과 같다.



경량충격음(구조DB)

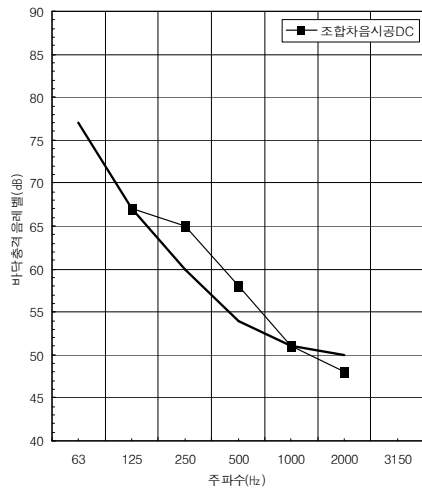


중량충격음(구조DB)

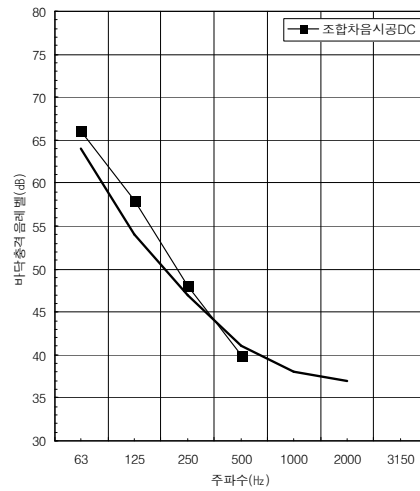
그림 4.12 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(조합차음시공DB)

구조DB의 경량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 250Hz와 500Hz대역에서 8.0(<10.0)으로 500Hz대역에서의 $L'_{n,AW} = 53(\text{dB})$ 의 값을 보였으며, 중량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 63Hz와 125Hz대역에서 5.0(<8.0)으로 500Hz대역에서의 $L_{i,Fmax,AW} = 42(\text{dB})$ 의 값으로 나타났다.

역A특성 기준곡선에 의한 조합차음시공 구조DB는 국내 바닥충격음 차단성능 등급기준에 있어서 경량충격음은 3급, 중량충격음은 2급 수준의 만족스러운 결과를 보였다.



경량충격음(구조DC)



중량충격음(구조DC)

그림 4.13 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 평가(조합차음시공DC)

구조DC의 경량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 250Hz와 500Hz대역에서 9.0(<10.0)으로 500Hz대역에서의 $L'_{n,AW} = 54(\text{dB})$ 의 값을 보였으며, 중량충격음 기준곡선 상회값의 합계는 63Hz, 125Hz, 250Hz대역에서 7.0(<8.0)으로 500Hz대역에서의 $L_{i,Fmax,AW} = 41(\text{dB})$ 의 값으로 나타났다.

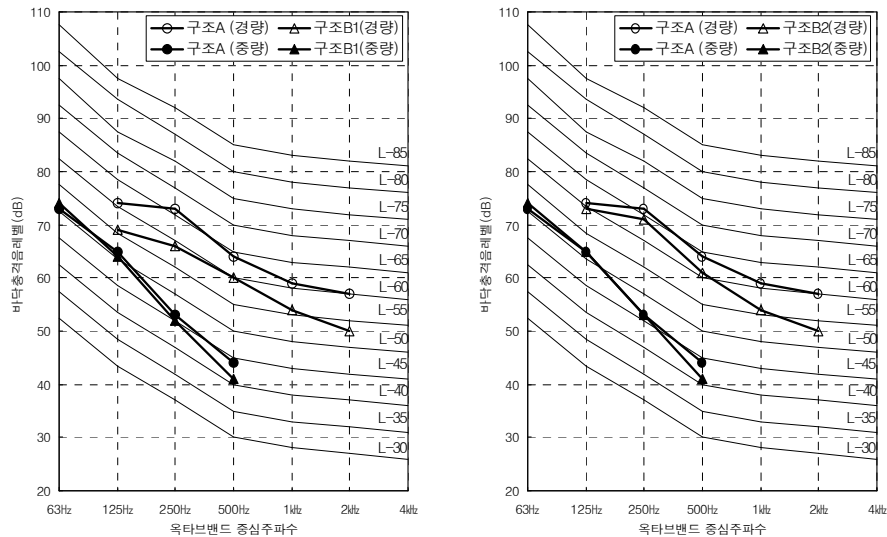
역A특성 기준곡선에 의한 조합차음시공 구조DC는 국내 바닥충격음 차단성능 등급기준에 있어서 경량충격음은 4급, 중량충격음은 2급 수준의 결과를 나타냈다.

4.2 분석 및 고찰

4.2.1 바닥차음시공 평가

바닥충격음 완충재 종류별 차음효과와 바닥구조 시공 부위별 차음효과를 알아보기 위하여 차음등급곡선(L등급)을 사용해 기본바닥구조(구조A)의 측정결과와 바닥차음시공 구조B, 구조C를 비교하였다.

(1) 경량기포콘크리트 하부 완충재 시공(구조B)



바닥차음시공(구조B1)

바닥차음시공(구조B2)

그림 4.14 구조A, B의 바닥충격음 비교(L등급)

위의 그림 4.14는 구조A와 구조B에 대한 바닥충격음레벨의 1/1 Oct. band 주파수별 측정결과를 차음등급곡선(L등급)으로 나타낸 것이다. 차음시공을 실시하지 않은 기본바닥구조(구조A)의 경량충격음 및 중량충격음의 L등급은 66, 52로 평가되었으며, 역A값은 앞선 측정결과에서 알 수 있

듯이 62, 48과 같이 평가되었다.

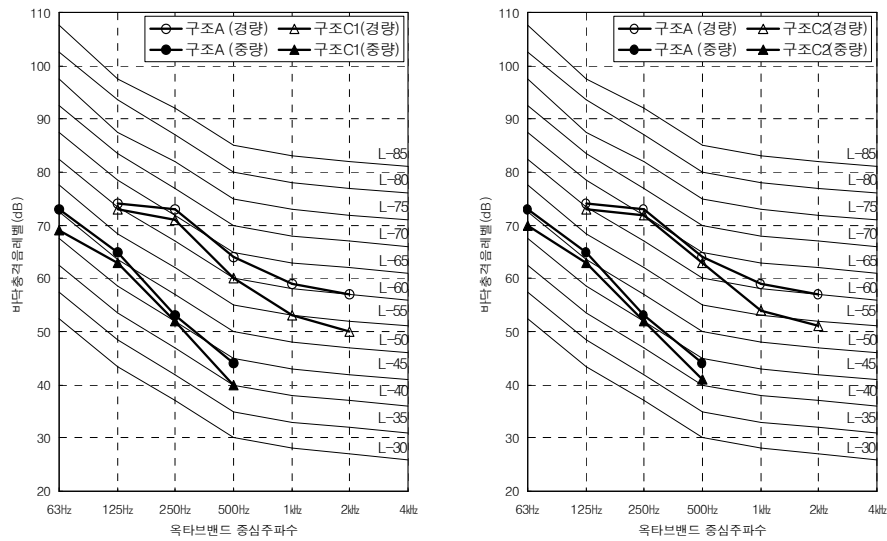
바닥차음시공 구조B는 바닥충격음의 저감을 목적으로 완충재 종류에 따라 바닥슬래브 상부에 시공을 실시한 구조B1과 구조B2로 나누어서 분석을 실시하였다.

바닥차음시공 시 페타이어칩 완충재를 적용한 구조B1은 구조A와 비교해 경량충격음에서의 개선량은 L지수 6(최대저감량 7)으로 나타났으나, 중량충격음은 L등급이 52로 평가되어 저감효과가 없는 것으로 평가 되었다. 역A특성 기준곡선과 차음등급곡선에 의한 주파수대역별 특성평가에 있어서 경량충격음의 특성평가 시 전 주파수대역에서 저감되는 것을 볼 수 있지만, 중량충격음의 경우에는 500Hz대역을 제외한 저주파수 영역에서의 저감량이 미미한 것을 알 수 있었고, 63Hz대역에서는 바닥충격음레벨이 다소 증가하였다. 이러한 현상은 바닥슬래브 마감처리가 제대로 이루어지지 않아 페타이어칩 완충재가 밀착되지 못해 일어난 것으로 사료된다.

전선칩과 스티로폼을 완충재로 적용한 구조B2는 구조A와 비교해 경량충격음에서의 개선량이 L지수 2(최대저감량 7)로 평가되었고, 중량충격음은 구조B1과 마찬가지로 L등급 52로 평가되어 저감효과를 볼 수 없었다. 주파수대역별 경량충격음의 특성평가 시 고주파수 영역으로 갈수록 저감량이 증가하였지만, 중량충격음은 구조B1의 특성과 동일하게 평가되었다.

구조B2의 경우 바닥충격음레벨의 저감효과가 구조B1에 비해 높게 나타나지 않은 것은 구조B1의 페타이어칩 완충재와는 달리 전선칩과 스티로폼으로 분리된 방식의 완충재를 사용함으로써 재료 분리에 의한 완충재의 공진 등에 의한 것으로 사료된다.

(2) 경량기포콘크리트 상부 완충재 시공(구조C)



바닥차음시공(구조C1)

바닥차음시공(구조C2)

그림 4.15 구조A, C의 바닥충격음 비교(L등급)

구조A와 구조C에 대한 바닥충격음레벨의 1/1 Oct. band 주파수별 측정 결과를 그림 4.15와 같이 차음등급곡선(L등급)으로 나타내었다.

바닥차음시공 구조C는 바닥충격음의 저감을 목적으로 완충재 종류에 따라 경량기포콘크리트 상부에 시공을 실시한 구조C1과 구조C2로 나누어서 분석을 실시하였다.

경량기포콘크리트 상부에 페타이어칩 완충재를 적용한 구조C1은 경량충격음 및 중량충격음의 L등급이 64, 49로 나타났으며, 개선량은 경량충격음 L지수 2(최대저감량 7)와 중량충격음 L지수 3(최대저감량 4)으로 평가되었다. 주파수대역별 특성평가에서는 경량충격음과 중량충격음의 전 주파수대역에서 저감되는 것을 볼 수 있었으며, 특히 중량충격음의 L등급 개선량이 향상된 것을 알 수 있었다.

전선칩과 스티로폼을 완충재로 적용한 구조C2는 경량충격음 및 중량충

격음의 L등급이 65, 49로 나타났다. 경량충격음의 개선량은 L지수 1(최대 저감량 6)의 값으로 크지 않았으나, 중량충격음의 개선량은 L지수 3으로 평가되어 경량충격음에 비해 개선량의 수치가 높았음을 알 수 있었다.

구조C2의 주파수대역별 특성평가에서는 경량충격음과 중량충격음의 250Hz대역에서 저감량의 차이가 낮게 나타났으나, 전 주파수대역에서 저감되는 결과를 볼 수 있었다. 구조C 역시 완충재 종류에 의한 저감효과의 차이에 의해 구조C1 보다 구조C2의 저감효과가 다소 낮게 평가되었다.

구조B와 구조C의 바닥차음시공에 대한 바닥충격음 완충재 종류별 차음효과 비교 결과는 1/3 Oct. band 주파수대역 분석과 역A특성 기준곡선의 평가에서 페타이어칩을 사용한 완충재(구조B1, C1)가 전선칩·스티로폼을 사용한 완충재(구조B2, C2)보다 $L'_{n,AW} = 3(\text{dB})$, $L_{i,Fmax,AW} = 1(\text{dB})$ 정도의 차음효과를 가져 단일형태의 완충재가 2가지 재료의 적용으로 재료 분리에 의한 공진현상이 발생하는 완충재 보다 바닥충격음에 대한 차음효과가 큰 것으로 나타났다.

바닥구성층의 완충재 위치별 L등급 최대 개선량에 있어서 경량충격음의 경우에는 바닥슬래브 상부에 즉, 경량기포콘크리트 하부에 완충재를 시공했을 때 바닥충격음 차음성능이 유효한 것으로 판단되었다. 이는 측면 완충재와 함께 완충재 상부에 경량기포콘크리트와 마감모르터 그리고 강화마루판 등에 의한 중량이 더해져 경량충격원 가진 시 고주파수 영역에 대한 바닥충격음레벨이 감소하였을 것으로 사료된다.

중량충격음의 경우는 경량기포콘크리트 상부에 완충재를 시공했을 때 차음성능이 더 유효한 것으로 판단되었으며, 이는 중량충격원 가진 시 측면완충재의 저감효과와 완충재의 근접함으로 인해 저주파수 영역에 대한

바닥충격음레벨이 많이 감소하는 것으로 사료된다.

다음의 그림 4.16은 바닥구성층 완충재 시공위치별 L등급 최대 개선량을 경량충격음과 중량충격음으로 비교하여 나타낸 것이다.

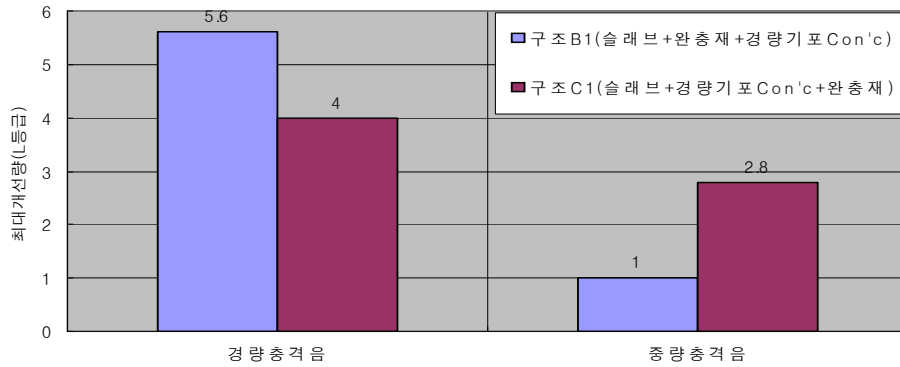


그림 4.16 바닥구성층 완충재 시공위치별 L등급 최대 개선량

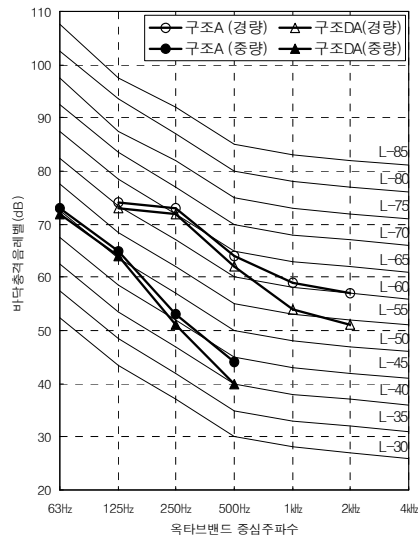
4.2.2 벽차음시공 평가

수음실 거실 내벽에 차음석고보드와 4mm 얇화비닐수지계 차음시트를 적용하여 벽차음시공 후 구조DA와 기본바닥구조(구조A)의 바닥충격음레벨 측정결과를 차음등급곡선(L등급)을 사용하여 비교, 분석을 실시하였다.

벽차음시공 구조DA의 경량충격음 및 중량충격음의 L등급은 65, 51로 나타났으며, 구조A에 대한 L등급 개선량은 경량충격음 L지수 1(최대저감량 6)과 중량충격음 L지수 1(최대저감량 4)의 값으로 평가되었다.

주파수대역별 특성평가에서는 경량충격음과 중량충격음의 전 주파수대역에서 저감되는 것을 볼 수 있었으나, 경량충격음의 125Hz, 250Hz, 500Hz 대역과 중량충격음의 63Hz, 125Hz, 250Hz대역에서 미미한 저감량을 나타내며 저주파수 영역에서 차음성능이 떨어지는 것을 알 수 있었다.

다음의 그림 4.17은 구조A와 구조DA에 대한 바닥충격음레벨 1/1 Oct. band 주파수별 측정결과를 차음등급곡선(L등급)으로 나타낸 것이다.



벽차음시공(구조DA)

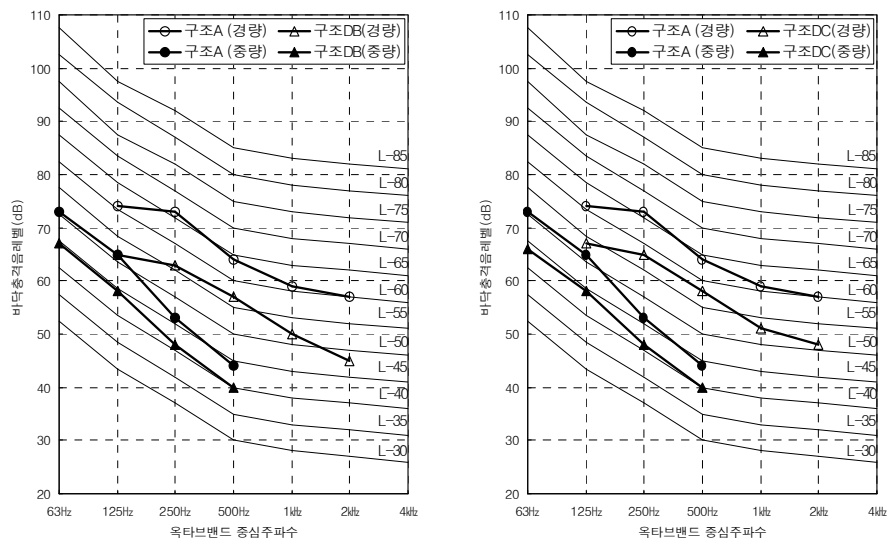
그림 4.17 구조A, DA의 바닥충격음 비교(L등급)

주파수대역별 특성평가에서와 같이 벽차음시공 시 바닥충격음레벨은 저주파수 영역에서 낮은 저감량을 보이며 L등급 개선량이 크지 않으나, 구조A와 비교하면 벽차음시공에 의한 차음성능 개선 효과가 유효하다고 판단된다. 아울러 벽차음시공이 수음실과 음원실에 모두 적용된다면 고체음 전달에 의한 저주파대역에서도 차음성능 개선 향상에 큰 도움이 될 것이라 사료된다.

4.2.3 조합차음시공 평가

바닥차음시공에서 바닥충격음레벨의 차단성능이 높게 평가된 구조B1과 구조C1에 대해 벽차음시공 구조D를 조합 시공하여 조합차음시공 시의 구조DB와 구조DC의 차음효과를 알아보았다.

그림 4.18은 구조A와 구조DB, 구조DC에 대한 바닥충격음레벨의 1/1 Oct. band 주파수별 측정결과를 차음등급곡선(L등급)으로 나타낸 것이다.



조합차음시공(구조DB)

조합차음시공(구조DC)

그림 4.18 구조A와 구조DB, DC의 바닥충격음 비교(L등급)

구조A와 조합차음시공에 의한 바닥충격음레벨 측정결과 분석을 비교해보면 조합차음시공 구조DB의 경량충격음 및 중량충격음의 L등급은 57, 44로 나타났으며, 구조A에 대한 L등급 개선량은 경량충격음 L지수 9(최대저감량 10)와 중량충격음 L지수 8의 수치로 평가되었다.

주파수대역별 특성평가에서는 경량충격음과 중량충격음의 전 주파수대역에서 저감량이 크게 나타난 것을 알 수 있었으며, 특히 경량충격음의

고주파 영역과 중량충격음의 저주파 영역에서 주파수 저감효과에 의한 차음성능이 높게 평가되었다.

조합차음시공 구조DC의 경량충격음 및 중량충격음의 L등급은 58, 44로 나타났고, 구조A에 대한 L등급 개선량은 경량충격음 L지수 8(최대저감량 9)과 중량충격음 L지수 8의 수치로 평가되었다.

구조DC의 주파수대역별 특성평가에서는 구조DB와 비교해 약간 낮은 저감량을 나타냈으나 전 주파수대역에서의 저감량은 만족스러운 결과를 보여주었다.

조합차음시공에 대한 분석결과 바닥차음시공과 벽차음시공의 조합만으로도 바닥충격음 차단성능 등급기준을 만족 시킬 수 있는 결과를 나타냈으며, 경량충격음 및 중량충격음에 대한 차음효과도 매우 유효할 것으로 판단된다.

4.2.4 성능기준대비

표 4.1은 바닥충격음레벨 측정결과에 따른 성능기준대비를 통해 국내 바닥충격음 차단성능 기준으로 평가한 것이다.

표 4.1 바닥충격음 차단성능 기준 평가

	경량충격음						중량충격음				차음시공	
	역A		L등급		1/3 Oct. band 기준곡선		역A		L등급		바닥	벽
	결과	성능	결과	성능	결과	성능	결과	성능	결과	성능		
구조A	62	·	66	기준	63	·	48	4급	52	·		
구조B1	56	4급	60	권장	57	4급	48	4급	52	·	O	
구조B2	59	·	64	기준	60	·	48	4급	52	·	O	
구조C1	59	·	64	기준	60	·	45	3급	49	기준	O	
구조C2	60	·	65	기준	60	·	46	3급	49	기준	O	
구조DA	60	·	65	기준	61	·	47	3급	51	·		O
구조DB	53	3급	57	권장	54	4급	42	2급	44	권장	O	O
구조DC	54	4급	58	권장	55	4급	41	2급	44	권장	O	O

성능기준대비를 통한 국내 바닥충격음 차단성능의 등급기준에서 경량충격음은 대한주택공사에서 제시하고 있는 바닥충격음 차음성능 기준안에 모두 유효한 것으로 나타났다. 특히 경량기포콘크리트 하부에 페타이어칩 완충재를 적용한 구조B1과 조합차음시공을 실시한 구조DB, 구조DC에서 권장치 결과가 나왔으며, 이는 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 등급기준과 1/3 Oct. band 기준곡선에 의한 차단성능 기준에서도 만족스러운 결과를 보여주었다. 하지만 그 외 구조에서는 바닥충격음레벨 저감량이 보였으나, 등급기준에 조금 못 미치는 수치가 나와서 기준을 만족시키진 못했다.

중량충격음에 있어서는 경량충격음에 대한 표준바닥구조 적용으로 1/3 Oct. band 기준곡선은 평가하지 않았다. 성능기준대비를 통한 중량충격음의 경우 역A특성 가중 바닥충격음레벨에 의한 차단성능 등급기준을 모두 만족시키며 조합차음시공 구조에서는 2급 정도의 개선효과를 나타내었다. 하지만 경량충격음과는 상반된 결과로서 대한주택공사에서 제시하고 있는 L지수에 의한 등급평가에서는 경량기포콘크리트 상부에 완충재를 적용한 구조C와 조합차음시공을 실시한 구조DB, 구조DC만이 바닥충격음 차음성능 기준안에 유효한 것으로 평가되었다.

5. 결 론

바닥과 벽의 구조부위별 차음시공에 따른 공동주택의 바닥충격음 차단 성능평가에 의한 본 연구의 비교·분석 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구의 완충재 종류별 바닥충격음 차단성능평가에서 주파수대역 분석결과에 의하면 페타이어칩을 사용한 완충재가 전선칩과 스티로폼을 병행한 완충재 보다 차음성능 향상이 뛰어난 것으로 나타났다. 바닥차음시공 시 완충재의 선택에 있어서 단일형태의 완충재를 사용하는 것이 재료분리에 의한 공진 등을 방지하고 바닥충격음 차단성능 향상에 유효할 것으로 판단된다.

(2) 바닥구성층 완충재 위치별 분석에서 경량충격음은 경량기포콘크리트 하부에 완충재 시공 시 차음성능이 향상되었고, 중량충격음은 경량기포콘크리트 상부에 완충재를 시공한 경우 유효한 저감효과가 나타났다. 좌식생활 중심인 국내 주거환경을 고려한다면 중량충격음에 대한 바닥충격음 차음성능 효과가 크게 나타나는 경량기포콘크리트 상부에 완충재를 시공하는 방안이 유효할 것으로 사료된다.

(3) 경량충격음 차음성능 개선을 위해서는 기본적인 바닥차음시공을 통하여 차음성능이 유효하게 개선되며, 조합차음시공을 통해서도 차음성능 향상을 크게 얻을 수 있었다. 바닥차음시공 시 역A특성 6(dB), 조합차음시공 시 역A특성 9(dB)까지 저감되었고, 차단성능 기준 평가도 3급까지 향상되는 것을 보여주고 있다.

(4) 중량충격음 차음성능 개선을 위해서는 바닥차음시공 시 경량기포콘크리트 상부에 완충재를 설치하거나 벽차음시공 시 유효한 효과를 거둘 수 있었고, 조합차음시공을 통해서도 차음성능 향상 효과를 크게 얻을 수 있었다. 바닥차음시공 시 역A특성 3(dB), 벽차음시공 시 역A특성 1(dB), 조합차음시공 시 역A특성 7(dB)까지 저감되었고, 차단성능 기준 평가도 2급까지 향상되는 것을 보여주고 있다.

앞으로의 과제로는 바닥, 벽, 천장 등에 대한 적극적인 바닥충격음 차단을 위한 경제적인 시공법과 완충재의 개발 등이 이루어져야 할 것이다. 또한, 물리적인 측정결과와 함께 실제 거주자의 생활감과의 대응을 통한 기존 표준바닥구조의 재조정이 필요하다고 사료되며, 국내 거주환경에 적합한 표준화된 성능기준 방안의 연구가 더욱 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준(건설교통부고시 제 2005-189호), 2005. 6. 30
2. 바닥충격음 차단성능 현장 측정방법(F 2810-1, 2 : 2001), 한국산업규격
3. 건물 및 건물부재의 바닥충격음 차단성능 평가 방법(F 2863-1, 2 : 2002), 한국산업규격
4. “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”(건설교통부령 제270호), 2001. 1
5. “공동주택 내부소음 기준설정 연구(I)”, 1990, 대한주택공사
6. “공동주택 내부소음 기준설정 연구(II)”, 1991, 대한주택공사
7. “공동주택 바닥충격음 차단성능 기준설정 연구”, 2001.12, 대한주택공사
8. 사종성, “생활 속의 소음진동”, 청문당, 2004. 3
9. 정일록 외, “최신 소음·진동(이론과 실무)”, 신평문화사, 2004. 3
10. 김명준, “공동주택 바닥충격음의 부위별 전달특성 평가”, 박사학위논문(한양대학교), 1999. 6
11. 전진용 외, “구조부위별 차음시공에 따른 공동주택의 바닥충격음 차단 성능평가”, 대한건축학회논문집 제18권6호, 2002
12. S. Kuwano, S. Namba, H. Fastl, On the judgement of loudness, noisiness and annoyance with actual and artifical noise, Journal of Sound and Vibration, vol127, no3, 1988
13. 日本建築學會, 建物の遮音設計方案, 技新堂出版, 1993
14. 건설교통부, <http://www.moct.go.kr>
15. ISO 국제표준컨설팅, <http://www.icc-iso.com>
16. 건배산업, <http://www.gunbae.co.kr>

Evaluation on Impact Sound Insulation of Apartment Floors by Floor and Wall Construction

by Min-Ho Seo

Department of Architectural Engineering
Graduate School, Pukyong National University, Pusan South Korea

Abstract

The aim of this study is suggested effective noise reduction construction between floor and wall structure for impact noise barrier insulation through performance evaluation vertically adjacent household units in apartment housings.

Base on the an advance studies and research theory of the impact noise barrier insulation through Korean Industrial Standard(KS F 2810) and measurement in living rooms each 8 household. Measurement data tested by Korean Industrial Standard(KS F 2863) and analyze according to frequency band about light-weight impact sound and heavy-weight impact sound in concrete structures. And compartmentalize into floor structure variation, construction of noise reduction and combine construction and then comparison of capacity standard with a reduction of floor impact sound level standard and L-level.

In accordance with the results of analysis on each floor level conditions of noise reduction. Light-weight impact sound is effective with reduction noise all the noise reduction construction however heavy-weight impact sound is effective only combine construction.

In conclusion suggested positive combine construction with floor and wall as well as ceiling for noise reduction in each floor level.