

공동주택의 바닥충격음 저감성능에 관한 연구

A Study on the Reduction Performance of Floor Impact Sound in Apartment Building

이종균*
Lee, Jong-Kyoon

Abstract

As a result of supply-oriented housing policy of Korea since the 1960s, the number of apartment housing units has increased up to six million as of the end of 2001 that is 55% of total housing units. Although the needs of placid living environment increases according to the enhancement of residents' living standard, most of construction firms as apartment suppliers plan and design apartment buildings to maximize the profit and give rise the residents' petitions and troubles about floor impact noise. In consequence, the floor impact noise becomes one of principal problems of living environment, and the government placed the obligation of installing the noise isolation materials between upper and lower floors in 2001 and controlling the floor impact noise lower than 60dB from the middle of 2004.

In other to provide the fundamental research data to enhance the reduction performance of floor impact sound, in this paper, the factors that influence on the floor impact noise are derived from the survey of many research papers and the performance of various materials used as noise reduction objects are compared and surveyed with the factors in the experiments in field and laboratory.

Keywords : Apartment buildings, Floor impact sound, Reduction performance

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

공동주택은 대표적인 주거형태로서 정부의 주택정책과 신도시 건설에 맞물려 주거문화로의 올바른 정착이 요구되고 있다. 더욱이 거주민의 생활수준이 올라가면서 주거환경의 쾌적성에 관한 질적 요구가 높아지고 이를 충족시키기 위한 다방면의 연구가 진행 중이다.

특히, 차음에 대한 거주민의 요구는 공동주택 쾌적성에 관한 조사결과 가장 신속히 해결해야 할 선결 과제로 대두되었다.(대한주택공사) 이 중에서도 한정된 두께의 바닥을 인접 세대와 공유해야 하는 특수성 때문에 바닥충격음에 대한 차음성능 개선이 절실히 필요하다.

쾌적한 주거환경 수준에 대한 거주자의 관심은 증대되는데 반하여 건축물에 사용되는 재료의 두께는 점점 얇아지고 경량화 됨에 따라 건축용 부재의 차음성능이 저하되어 이제는 부재의 차음성능이 주거성능 수준을 결정하는 중요한 인자로 등장하게 되었다.(기노갑 2003)

바닥충격음 차음성능이 건물의 구조형식, 바닥슬래브의

두께 및 구성, 마감재의 종류, 주변의 보나 벽에 의한 지지조건 등 여러 가지 요소들에 의하여 복합적인 영향을 받으며, 각각의 경계조건에 대한 시공방법과 사용재료에 따라 바닥충격음의 차음성능이 차이를 보인다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 그 중 구조 역할을 담당하는 콘크리트 슬래브의 강성을 높이고 두께를 늘리는 것이 가장 효과적인 방법으로 알려져 있지만 현재 시공되는 두께보다 늘리는 것은 비경제적이라는 인식이 지배적이다.(장재희 2000)

2001년부터 아래 위층 간에 소음을 차단할 수 있는 구조물의 설치가 의무화되고 공동주택의 층간소음 기준이 입법화됨에 따라 향후 공동주택 바닥충격음의 저감이 상당 부분 예상된다. 따라서, 본 연구는 현장실험 및 실험실 실험을 통하여 바닥충격음 저감과 관련된 영향요소를 도출하고 성능평가를 비교, 분석하여 기초 자료를 제공하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

공동주택 바닥충격음에 대한 차음성능을 파악하기 위하여 의정부의 S건설 아파트(슬래브 두께 135mm)와 인천 H건설 아파트(슬래브 두께 150mm)를 측정대상으로

* 유럽산업개발(주) 공사지원본부장, 공학박사, 기술사

선정하였고, 완충재와 일반단열재의 성능비교, 완충재의 물성추출, 그리고 바닥충격음과 동탄성계수의 상관관계를 분석하였다. 그리고 현장 측정값과 실험실 저감량을 비교하여 시공오차에 따른 차음성능 차이를 파악하였다. 해 크게 좌우되므로 본 연구에서는 물리적 내용연수를 중심으로 국내 공동주택 가운데 RC 아파트의 공용부분에 대한 장기수선계획을 대상으로 한다.

연구의 절차는 그림1과 같다.

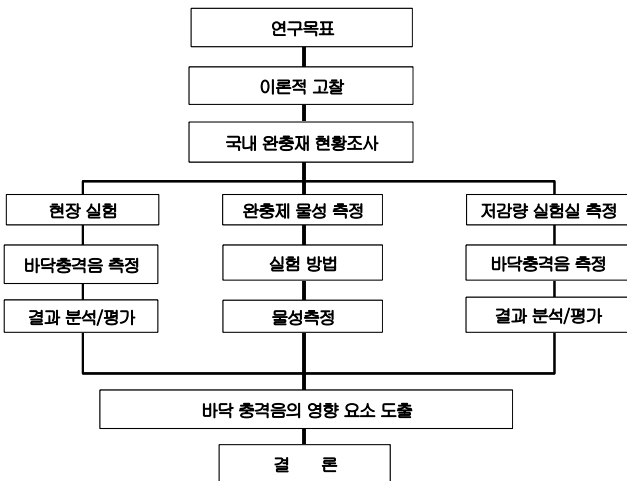


그림 5. 연구진행 절차도

2. 예비적 고찰

2.1 바닥충격음 이론적 고찰

1970년 미국에서는 표준경량충격원(Tapping machine)으로 바닥을 가진 하였을 경우의 충격음레벨을 계산하기 위한 수식을 유도하였으며, 기본 슬래브 구조에 대한 바닥충격음 레벨계산, 바닥마감재를 적용하였을 경우, 뜬 바닥 방식을 적용하였을 경우에 대해 바닥충격음 레벨을 계산할 수 있는 예측식을 전개하였다.(Istvan L.Ver, 1970) 슬래브의 두께를 늘려서 충격음을 개선하는 것이 비경제적이기 때문에 대부분의 바닥충격음 저감방법은 충격음과 공기전파음의 차음성능을 동시에 개선할 수 있는 뜬 바닥 구조를 도입하였다. 대부분의 뜬 바닥구조는 차음성능에 대한 질량의 법칙 특성과 마찬가지로 저주파수 대역에서는 저감효과가 적고 고주파로 갈수록 저감효과가 크게 나타나는 특성을 나타낸다.(전진용 2002)

바닥충격음의 발생체계는 그림2와 같이 충격원의 질량과 충돌속도(m/s), 바닥슬래브 등과 관계된다.

바닥충격음의 종류는 중량충격음과 경량충격음으로 나뉜다. 중량충격음은 어린이들이 쿵쿵거리며 뛰어놀때 발생하는 63Hz에서 500Hz 사이의 저음역으로서 슬래브의 빌도, 두께, 강성, 영(young)율, 압축강도, span, 작은보의 유무, 천장의 유무 등에 영향을 받는다. 경량 충격음은 그릇의 낙하음이나 의자 이동음과 같은 125Hz에서 2KHz 사이의 고음역으로서 표면재의 유연성에 크게 영향을 받

고 슬래브가 지지되어 있는 조건(span의 면적, 주변지지 조건 등)에 대한 영향은 적다

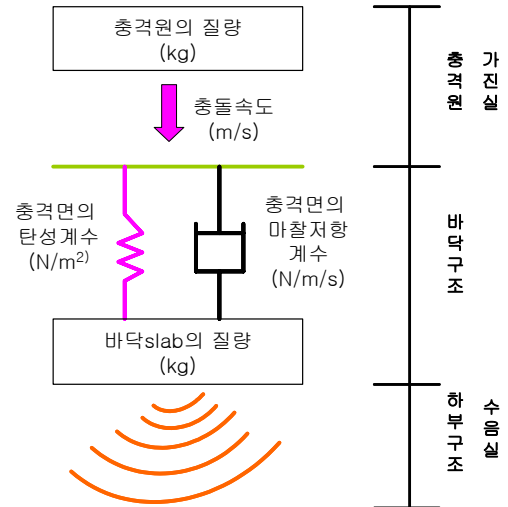


그림 6. 바닥충격음 발생체계

바닥충격음 저감 공법 및 효과는 다음과 같다.

1) 표면완충 공법

충격원이 발생하는 곳에 층간소음 저감용 바닥 마감재를 사용하는 방법이 있다. 카펫 등과 같이 유연하고 탄성이 있는 바닥 마감재에 충격이 가해지면 보통의 바닥 마감재에 비해 충격시간이 길어지고 따라서 충격력의 최대치를 낮출 수 있다. 이러한 방법은 주로 고음역대의 소음을 줄일 수 있으므로 경량충격원에는 효과적이지만 저음역대의 중량충격원에서는 기대 효과가 거의 없다고 할 수 있다.

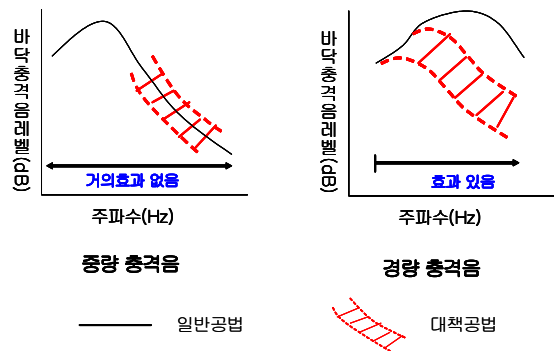


그림 7. 표면완충 공법 적용후 효과

2) 중량 고강성 바닥공법

바닥 슬래브를 중량화 하는 방법으로, 구조체의 중량을 증가시키거나 강도를 높일 경우 차음 성능이 향상되어 바닥 충격음 저감 효과를 얻을 수 있다. 즉, 슬래브의 두께를 늘리는 방법이라고 할 수 있다. 실제 이 방법을 채택할 경우 중량충격원저감에 매우 큰 효과를 볼 수 있다. 그러나 현실적으로 기존 슬래브의 두께를 무작정 늘릴 수가 없는 실정으로 실제 적용하는데 한계가 있다. 슬래브의 두께가 늘어날 경우 기둥과 벽체의 두께 또한 두꺼워질 수밖에 없으며 층고가 낮아지게 되어 경제성 문제

에 의해 현실성이 떨어진다.

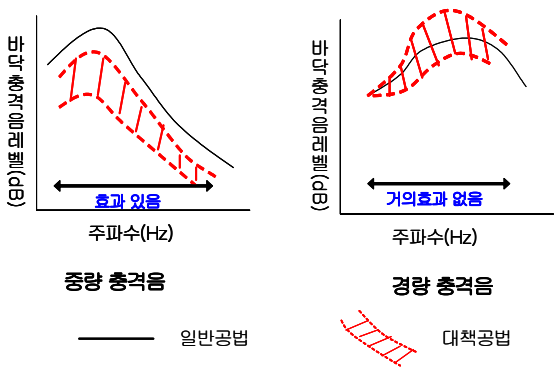


그림 8. 고강성 바닥공법 적용후 효과

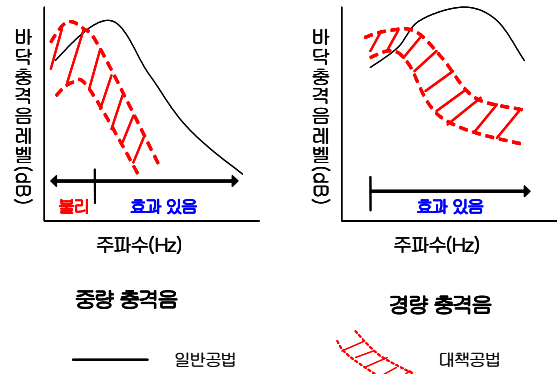


그림 10. 뜬바닥 공법 적용후 효과

3) 차음 이중 천장 공법

바닥슬래브를 통해 전달된 음이 아래층으로 방사되는 것을 차단하기 위해 천장에 차음을 하는 방법이 있다. 이는 주로 이중천장의 구조로 이루어지는데 천장 차음의 경우 구조체로 전달되는 음을 차단하는 것이 아니라 이미 구조체를 통과한 음을 차단하는 것이므로 효과가 적으며 이중천장을 설치할 경우 공기층의 두께 및 지지조건 등에 따라 감소량이 크게 달라져 공명 현상이 일어날 수도 있다.

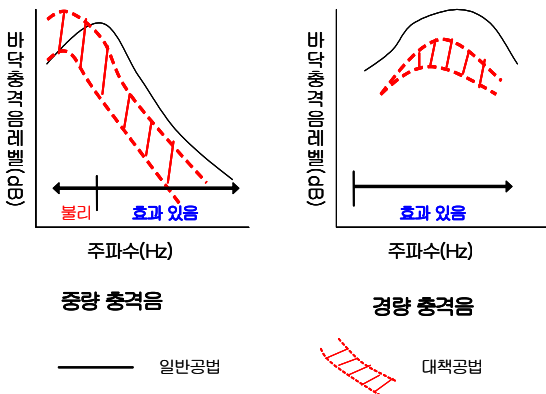


그림 9. 차음 이중천장 공법 적용후 효과

4) 뜬바닥 공법

층간 소음은 주로 고체 전달음으로 이는 구조체(바닥 슬래브나 기둥, 벽체)를 통해서 공동주택의 곳곳에 전달된다. 이때 충격에너지를 감소시켜 구조체에 전달되는 에너지를 최대한 낮추기 위해 완충재나 뜬바닥 구조가 사용된다. 이것은 일반적인 층간소음방지재로 바닥슬래브와 기포콘크리트 사이에 완충재를 설치하고 온돌바닥과 벽체를 격리시켜 구조체로 전달되는 충격에너지를 감소시키거나 사이에 공기층, 흡음재 등을 설치하여 소음을 분산, 흡수하도록 하는 것이다.

2.2 국내 완충재 현황

1990년대 중반 이전에는 완충재로 발포폴리스티렌폼을 사용한 구조가 많이 이용되었다. 이와 같은 방식은 방음보드, 누름모르타르, 자갈, 마감모르타르로 구성되거나 유?무공 발포폴리스티렌폼, 누름모르타르, 자갈, 마감모르타르로 이루어졌다. 또한, 1990년대 중반 이후에는 경량기포콘크리트를 사용한 구조로 경량기포콘크리트, 마감모르타르 또는 발포폴리스티렌폼, P.E필름, 경량기포콘크리트 마감모르타르로 구성된 완충재가 이용되었다. 그리고 완충재로 압면이나 유리면을 상용한 구조로 국내의 공동주택 바닥구조로는 사용되고 있지 않지만 외국의 경우는 완충재로 대부분 압면이나 유리면을 사용하고 있으며 JIS에서도 그 완충력을 규정하고 있다.

다음은 완충재로 사용되는 기타 재료들이다.

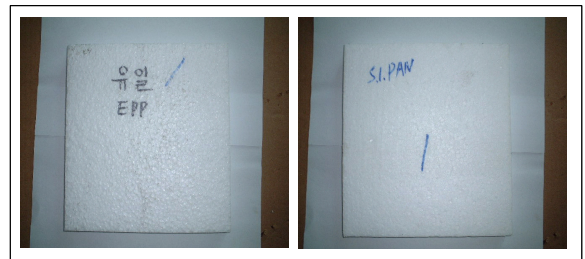


그림 11. EPP

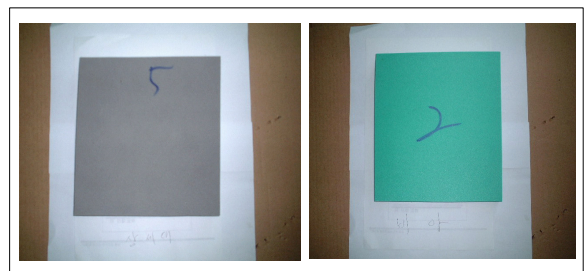


그림 12. 발포 우레탄

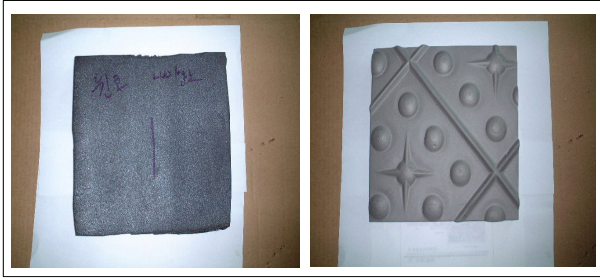


그림 13. 발포 고무

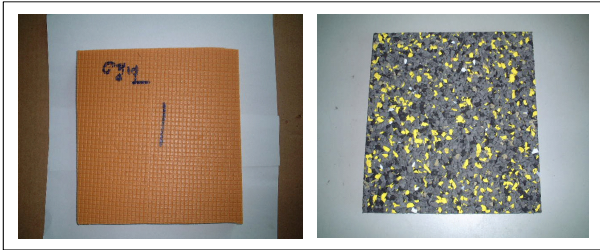


그림 14. 발포PE 및 페타이어 칩

2.3 층간소음 국내규정

주택건설 기준 등에 관한 규정 14조 3항에 공동주택의 바닥은 각 층간의 바닥 충격음을 충분히 차단할 수 있는 구조로 하여야 한다고 명시되어있다. 또한, 건축물의 설비 기준 등에 관한 규정 제21조 1항에 의하면 음환경 기준과 건축물 현재 위치에 있어서의 바닥 충격음 측정 방법(KS F2810)에 의하여 측정하되, 바닥(최하층 바닥을 제외한다)의 충격음 차단 성능 기준은 다음 표와 같다

표 2. 중량 충격원에 대한 기준

급 별	바닥 충격음 레벨(단위:dB)		
	주파수 63Hz	주파수 500Hz	주파수 2,000Hz
1급	66미만	43미만	39미만
2급	71미만 66이상	48미만 43이상	44미만 39이상
3급	7미만 71이상	53미만 48이상	49미만 44이상

표 3. 경량 충격원에 대한 기준

급 별	바닥 충격음 레벨(단위:dB)		
	주파수 63Hz	주파수 500Hz	주파수 2,000Hz
1급	66미만 76이상	43미만 63미만	39미만 59이상
2급	86미만 76이상	68미만 63이상	64미만 59이상
3급	96미만 86이상	73미만 68이상	69미만 64이상

3. 실험내용 및 방법

3.1 현장 실험 측정방법

측정방법은 KS F 2810-1(바닥충격음 차단성능 현장 측정방법 1부 : 표준경량 충격원에 의한 방법)에 준수하였고 적용범위는 건축물의 바닥(맨바닥 및 마감재 설치) 충격음 차단성능/차음특성 비교, 요구조건 부합여부를 판정하였다. 바닥충격음 발생은 중앙점 포함 4개소 이상 측정시 바닥손상방지용 얇은 종이 사용이 가능하며 mic. 설치시 수음점(중앙점 포함 4개소이상)에 고정 및 이동식 마이크로폰을 이용한다. 측정주파수는 125Hz-2000Hz(옥타브), 100Hz-3159Hz(1/3옥타브)이고 흡음면적 7㎡가는 잔향시간으로부터 계산하여 ISO 3382 규정을 따른다. 측정결과는 측정값 최대차와 무관하게 0.1dB단위로 표시한다.

또 다른 측정방법으로는 KS F 2810-2(바닥충격음 차단성능 현장측정방법 2부 : 표준중량 충격원에 의한 방법)를 준수하였다. 충격원의 유형은 타이어이고 표준 충격원 사양으로는 바닥접촉면적 150-250cm², 바닥접촉반경 9-25cm, 유효질량 7.1~7.5kg을 기준으로 한다. 충격음 발생은 중앙점 포함 4개소 이상 낙하높이 85cm, mic. 설치시 중앙점 포함 4개소 이상이 된다. 측정주파수는 63Hz-500Hz(옥타브), 50Hz-630Hz(1/3옥타브)이고 배경소음 보정은 0.1dB단위로 보정표 규정을 따른다.

측정에 사용된 장비는 다음과 같다.

- Tapping machine (경량 충격원)
- Banh machine (중량 충격원)
- Real Time Frequency Analyzer
- Personal computer
- 무지향성 speaker

3.2 실험결과 및 분석

S 건설사가 시공한 아파트의 바닥구조는 바닥마감재, 난방 및 마감모르타르, 완충재 20mm, 경량기포콘크리트, 슬래브 135mm로 구성되었고 이천의 H건설 아파트는 바닥마감재, 난방 및 마감모르타르, 완충재 20mm, 경량기포콘크리트, 슬래브 150mm로 구성되었다.

이 아파트는 중량충격음(50dB)에서 완충재 재료로 EPP를 사용할 경우 59-62(dB), 발포고무 57- 62(dB), 발포PE 58(dB)로 모두 부적격 판정이 나왔다. 또한 경량충격음(58dB)에서도 완충재 재료로 EPP를 사용할 경우 67-68(dB), 발포고무 66-67(dB), 발포PE 67-68(dB)로 모두 부적격 판정이 되었다.

H 건설사가 시공한 아파트의 경우 중량충격음(50dB)에서 완충재 재료로 EPP를 사용할 경우 55(dB), 일반단열재(2호) 52-53(dB)로 중량부적격과 부적격 판정이 나왔다. 또한 경량충격음(58dB)에서도 완충재 재료로 EPP를 사용할 경우 50-57(dB), 일반단열재(2호) 57-60(dB)로 같은 결과가 나왔다.

다음의 그림 11은 슬래브 두께에 따른 바닥충격음 레벨을 비교한 것이다.

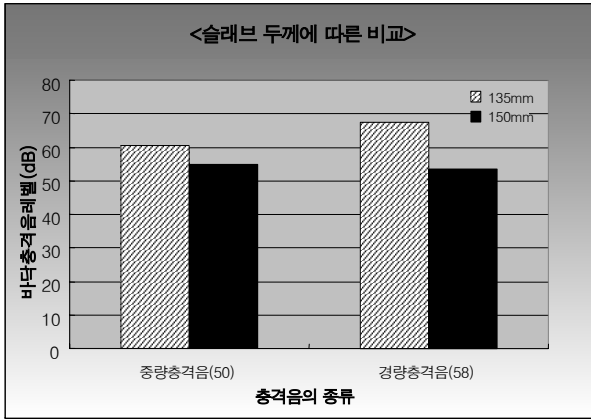


그림 15. 슬래브 두께에 따른 바닥충격음 비교

그래프에서 보여주는 바와 같이 135mm 슬래브 두께의 아파트의 바닥충격음은 150mm 슬래브 두께의 아파트의 바닥충격음에 비해 중량충격음에서는 5(dB), 경량충격음에서는 15(dB)이상 높은 것으로 나타났다.

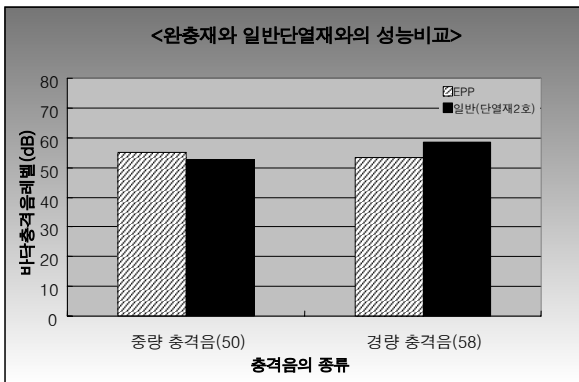


그림 16. 완충재와 일반단열재의 바닥충격음 비교

H 건설사가 시공한 아파트에서 완충재로 쓰인 EPP와 일반단열재(2호)의 바닥충격음 레벨을 비교하였을 경우, 그림 12의 그래프와 같이 중량충격음에서는 일반단열재(2호)가 경량충격음에서는 EPP 완충재의 성능이 우수한 것으로 나타났다.

한편, 완충재의 물성을 분석하여 바닥충격음과의 상관관계를 파악할 수 있다. 제품 형상과 겹보기 밀도, 단위면적당 동탄성계수 및 손실계수, 흡수량, 단열성능, 가열치수 변화율, 가열 후 동탄성계수 및 손실계수 등을 이용하여 특성을 분석한다.

완충재 재질별 흡수량은 표 3.에서 비교 가능하다.

그리고 완충재의 탄성특성을 이용한 바닥충격음 저감효과에 대한 실험으로 동탄성계수는 저감재의 성능을 평가하는 물성값 항목으로, 적절히 낮은 동탄성계수를 지닌 제품이 바닥충격음 저감에 유리하다는 다수의 실험결과를 볼 때 중요한 의미를 지닌다.

표 4. 완충재 재질별 흡수량

구 분	EPP	발포PE	발포고무
흡수량 g/100cm ³	0.7-4	0.7-2.5	1-2
구 분	발포우레탄	페타이어	암면류
흡수량 g/100cm ³	50내외	5내외	100내외

동탄성계수=겹보기의 단위면적당 동탄성계수(N/m) + 밀폐가스의 단위면적당 동탄성계수 (N/m)

완충재의 탄성계수=공기의 밀도 × (공기중의 음속)²/완충재의 두께

동탄성계수는 재료의 밀도에 영향을 받으며, 만일 동탄성계수가 과다하게 높을 경우에는 바닥충격음 저감효과가 떨어질 수 있으나 역학적 안전성은 확보가 가능하다.

그러나 동탄성계수가 극히 낮은 경우에는 동적하중이 가해질 경우, 유연한 탄력성을 바탕으로 효과적인 충격음 완충이 가능하지만 응력에 대한 물리적 저항이 떨어져 상부하중에 따른 변형으로 바닥 마감면에서 균열이 발생될 수 있다.(양관섭 2001)

그리고 손실계수는 하부바닥으로의 진동에너지 전달을 감소시키고 공진시에 진동진폭을 감소시키는 역할을 한다. 뜯바닥구조를 스프링-질량의 1자유도진동계로 보고 표준 경량 충격원의 충격 가진에 대한 바닥구조의 응답을 부족감쇠 강제진동으로 해석할 수 있다.

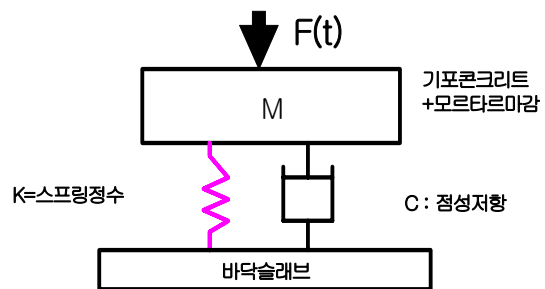


그림 17. 뜯바닥구조의 1자유도 진동계

손실계수는 재료자체가 받은 진동을 감쇠시켜주는 능력의 척도로서 손실계수가 높은 경우 진동을 차단시키는 역학이 커지나 단순히 손실계수 만으로 바닥충격음 저감 재료를 평가하는 것은 곤란하다.

동탄성계수 및 손실계수의 실험에 의한 분석값은 다음의 표 4과 같다.

표 5. 동탄성계수 및 손실계수 분석값

재료	동탄성계수	손실계수
EPP-1	20.4E + 6	0.18
EPP-1-1	13.9E + 6	0.24
발포고무	14.5E + 6	0.13
EPP-2	46.5E + 6	0.20
합성재	68.6E + 6	0.20

실험실에서의 경량충격음 레벨 저감량과 동탄성계수와 상관계 분석결과 동탄성계수가 커질수록 저감량은 낮아지는데 그 관계는 지수함수와 같은 그래프로 감소하게 된다. 다음의 그림 14, 15는 동탄성계수와 충격음 저감량에 대한 상관관계를 보여준다.

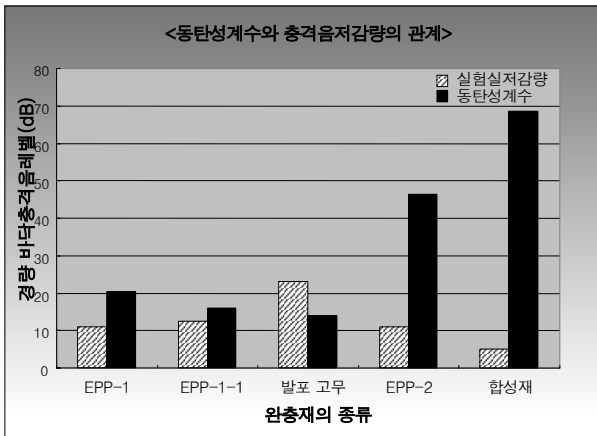


그림 19. 동탄성계수와 충격음 저감량의 상관관계

통하여 시공중 발생하는 오차를 파악하였다. 모든 항목에서 경량충격음 레벨값은 현장 측정값이 실험실 측정값보다 높은 수치를 기록하였다. 이것은 시공중 발생하는 오차에 의한 것으로 바닥면의 요철 등에 의한 완충재의 손괴나 완충재 접합시 테이핑의 부재, sound bridge에 대한 고려가 미흡한데서 발생하였다.

발포고무의 경우 실험실 측정값과 현장 측정값의 차이가 가장 크게 발생하였고 EPP-1-1은 실험실과 현장 측정값의 차이가 가장 적었다. 결과적으로 현장 측정값에 의한 경량 바닥충격음 레벨은 실험실 측정값에 비하여 일반적으로 높게 나타난다는 것을 알 수 있다. 또한, 발포고무와 EPP-1은 실험실 표준치와 법적 기준값을 크게 상회하였다.

그림 16은 현장에서 측정된 경량 바닥충격음 레벨과 실험실 측정값의 차이를 보여주고 있다.

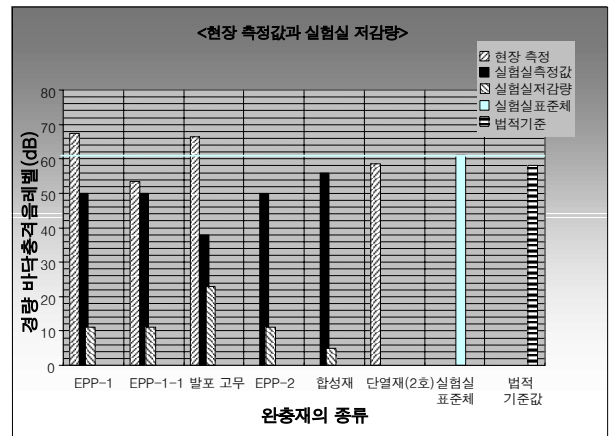


그림 20. 현장 측정값과 실험실 저감량 (a)

원충재 종류에 따른 현장측정값과 실험실 저감량의 비교는 그림 17을 보면 분명하게 나타난다.

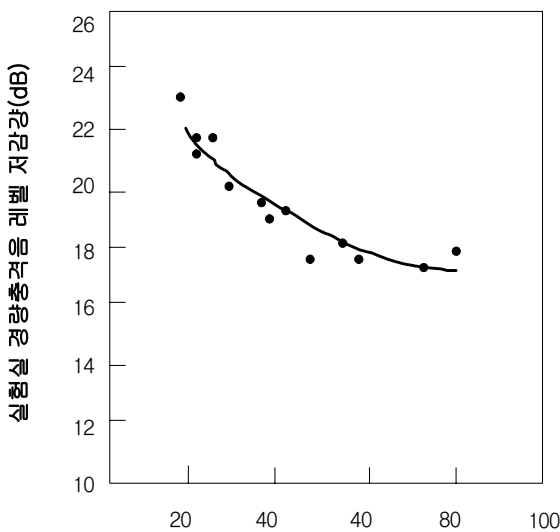


그림 18. 동탄성계수와 충격음 저감량 상관관계 분포도

마지막으로, 현장에서의 충격음 저감량과 실험실에서의 충격음 저감량을 측정하여 결과 값에 대한 비교, 분석을

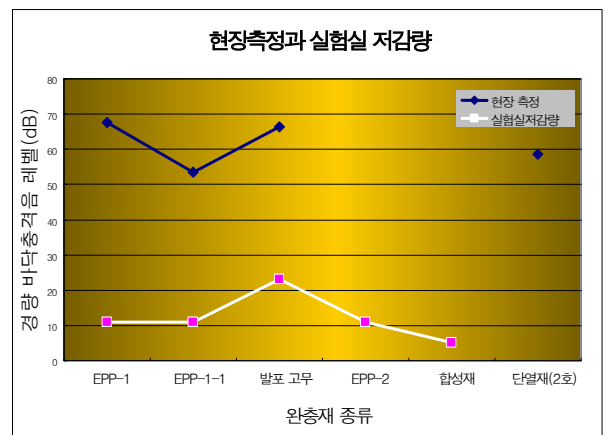


그림 35. 현장 측정값과 실험실 저감량 (b)

표 6. 측정 data log값

완충재	현장측정		실험실 측정값 (경량)	실험실 저감량	동탄성계수	손실 계수
	중량 (50)	경량 (58)				
EPP-1	59-62	67-68	50	11	20.4E+6	0.18
EPP-1-1	55	50-57	50	11	20.4E+6	0.18
발포 고무	57-62	66-67	38	23	13.9E+6	0.24
EPP-2			50	11	46.5E+6	0.20
합성재			56	5	68.6E+6	0.20
단열재 (2호)	52-53	57-60				
실험실 표준재			61			

■ 슬래브 두께 150mm

현장과 실험실(표준재 두께 200mm)에서 측정된 data log값은 슬래브 두께와 완충재의 종류에 따라 바닥충격음에 미치는 영향을 보여준다. EPP-1-1을 완충재로 사용한 현장은 경량충격음에서, 그리고 단열재(2호)를 완충재로 사용한 현장은 중량충격음에서 비교적 효과적인 차음성을 유지하였다.

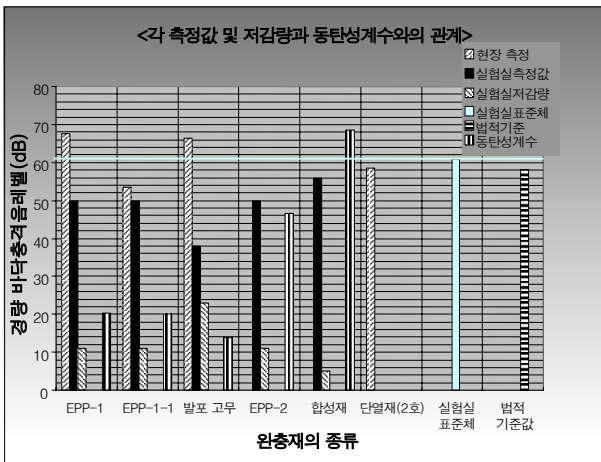


그림 37. 현장 및 실험실 측정값

4. 결론

바닥충격음의 발생에 관계되는 요인은 충격원, 바닥구조, 하부구조의 세 가지로 크게 나눌 수 있다. 충격원과 관계되는 요소는 충격에너지에 영향을 미치는 질량 및 속도에 의한 운동량, 충격력의 파형에 관계되는 질량, 충격점에서 본 스프링 상수, 저항계수 등이 있다. 바닥구조의 경우 충격원과 연관된 충격력파형, 충격점에서 본 부분적인 압축변형에 관계되는 스프링상수, 휨진동에 의한 슬래브의 저항, 슬래브의 진동계 및 음향방사에 관련된 동탄성계수, 밀도, 두께, 경계조건 등이 바닥충격음 전달에

영향을 미치는 요인이다. 하부공간에 있어서는 음향방사에 관계되는 바닥의 기하학적인 조건과 공간내의 음의 시간적인 축적효과에 관계되는 실의 크기 및 흡음력이 큰 변수이다.

그 중에서 본 연구는 공동주택의 바닥충격음 저감성능을 향상시키기 위하여 슬래브 두께에 따른 현장실험과 완충재의 종류와 특성에 따른 실험결과를 분석 비교하여 보았다.

슬래브 두께가 두꺼울수록 바닥충격음 저감 성능에 큰 효과가 나타났으나 이것은, 경제성의 문제를 고려해야 한다. 동탄성계수는 바닥충격음 저감성능에 많은 영향을 미치고 실험 항목에 포함된 완충재 종류 중 동탄성계수가 큰 완충재일수록 저감효과가 크게 나타난 것을 알 수 있다. 흡수율과 열변형율, 열관류율은 바닥충격음 저감에 많은 영향을 미치지 않는 않지만 바닥 구조의 내구성이나 단열성능과 관련된다. 또한 시공오차에 의해 실험실에서 측정된 수치와 현장 측정값이 다르게 나타나므로 바닥면 요철 등의 처리를 정확히 해야 할 것이다. 완충재의 성능은 단순히 물리적인 크기뿐만 아니라 진동특성과 충격음 저감에 대한 주관적인 반응에 대하여도 규명되어야 한다. 실험에 의해 추출된 바닥충격음 저감성능에 영향을 미치는 요인들을 정확히 인식하고 저감성능향상을 위한 지속적인 연구개발이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 장재희, 공동주택 바닥충격음 저감재의 저감 효과에 관한 연구, 대한건축학회논문집 18권4호 통권162호, 2002, pp.205-212
2. 정진용 외, 바닥충격에 의한 공동주택의 바닥, 벽, 전장의 진동 및 소음방사특성 연구, 대한건축학회논문집 18권6호 통권164호, 2002, pp.191-197
3. 정진용 외, 구조부위별 차음시공에 따른 공동주택의 바닥충격음 차단성능평가, 대한건축학회논문집 18권6호 통권164호, 2002, pp.127-134
4. 김홍열 외, 공동주택 바닥충격음 저감용 페타이어 침과 뜬바닥 구조의 물리적 성능에 관한 시험적 연구, 대한건축학회논문집 14권10호 통권120호, 1998, pp.61-68
5. 김선우 외, 공동주택 바닥충격음 개선을 위한 실험적 연구(2), 대한건축학회논문집 5권3호 통권23호, 1989, pp.133-142
6. 김선우 외, 바닥충격음에 대한 차음성능기준 설정연구1, 대한건축학회춘계학술발표대회 논문집 제17권 제1호, 1997, pp.315-320
7. 김기동 외, 공동주택의 상하층간 충격소음 방지시스템 개발에 관한 실험연구, 대한건축학회논문집 14권9호, 1995, pp.97-108
8. 기노갑 외, 공동주택 천장구조 개선에 의한 바닥충격음 저감 특성 연구, 대한건축학회학술발표 논문집 제21권 제1호, 2001, pp.505-508
9. 양관섭, 바닥충격음 저감용 완충재의 성능평가항목 설정, 한국건설기술연구원, 2001
10. 김기동외, 공동주택의 바닥충격음 차음시스템 개발에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 12권6호 통권92호, 1996,

pp.143-150

11. 박선효, 현장실험을 통한 바닥충격음 저감재의 성능평가 및 공동주택의 바닥충격음 저감방안, 대한건축학회학술발표 논문집 제22권 제2호, 2002, pp.753-756
12. 바닥충격음의 주관적 평가 및 생활감과의 대응, 대한건축학회학술발표 논문집 제20권 제2호, 2000, pp.793-796
13. 기노갑 외, 바닥마감재에 의한 바닥충격음 차음특성 연구, 대한건축학회학술발표 논문집 제23권 제1호, 2003, pp.645-648