

바닥충격음 저감방안에 따른 성능평가

Evaluation of Floor Impact Sound Performance according to the Reduction Methods

김 경 우[†] · 최 경 석* · 최 현 중* · 양 관 섭**

Kyoungh-Woo Kim, Gyoung-Seok Choi, Hyun-jung Choi, and Kwan-Seop Yang

(2004년 4월 3일 접수 : 2004년 7월 22일 심사완료)

Key Words : Floor Impact Sound(바닥충격음), Floor Impact Sound Test Building(바닥충격음실험동), Floor Impact Sound Reduction Methods(바닥충격음 저감방안)

ABSTRACT

Impact sounds, such as those created by footsteps, the dropping of an object or the moving of furniture, can be a source of great annoyance in residential buildings. The character and level of impact noise generated depends on the object striking the floor, on the basic structure of the floor, and on the floor covering. This study base on the evaluate of isolation performance of impact sound according to the impact noise reduction methods. Reduction methods consist of four ways. First way is increase thickness of bare floor and other ways are using the soft coverings on the floor and ceiling assemblies. Last way is make floating floor with shock absorbing materials.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

공동주택에서 발생하는 소음 중 바닥충격음은 바닥 슬래브를 상부세대와 하부세대가 공용하기 때문에 필연적으로 발생하는 소음이다. 바닥충격음 문제를 완화하기 위하여 건설교통부에는 주택건설기준 등에 관한 규정을 개정하여(2003.4.22.) 바닥충격음의 성능기준을 공포하였으며, 세부 관리기준 등을 고시하였다. 바닥충격음 저감을 위하여 바닥슬래브 상부에 완충재를 시공하여 온돌층(기포콘크리트, 마감모르티)을 슬래브로부터 절연시키는 뜬바닥공법이 일반적으로 사용되는 방법으로 보다 성능이 우수한 완충재 및 공법 개발이 진행되고 있다. 완충재를 사용하는 뜬바닥공법은 경량충격음에 대해서는 상당히 우수한 성능을

보이고 있으나 중량충격음은 공진의 영향으로 저주파수에서 오히려 역효과를 가져오는 경우가 있어 바닥충격음에 대한 해결방안으로는 한계를 보이고 있다. 일반적으로 알려진 충격음 저감방법은 ① 충격원의 특성을 변화시키는 방법, ② 바닥슬래브를 충격으로부터 진동하기 어렵게 만드는 방법, ③ 충격에 의한 진동이나 충격에너지를 바닥슬래브에 전달되지 않도록 하는 방법, ④ 충격에 의해 바닥슬래브로부터 방사되는 소리를 차단하는 방법으로 구분할 수 있다. 4가지 충격음 저감방안에 대한 충격음 차단효과는 일반적으로 많이 알려진 사항이나 체계적인 성능평가가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 국내 바닥충격음 현황을 살펴보고 충격음 저감방안에 대한 충격음 차단 정도를 평가하여 저감방안에 대한 영향정도를 파악하고자 한다.

2. 바닥충격음 평가를 위한 실험동

2.1 실험동 필요성

바닥충격음 평가는 일반적으로 2가지 방법으로 진

[†] 책임저자 : 정희원, 한국건설기술연구원

E-mail : kwj@kict.re.kr

Tel : (031) 910-0356, Fax : (031) 910-0361

* 한국건설기술연구원

** 정희원, 한국건설기술연구원

행하여 왔다. 건축부재 등에 대한 음향성능평가를 위하여 제작된 잔향실험실에서 실시하는 방법과 공동주택 시공현장에 mock-up을 설치하여 평가하는 방법으로 나누어진다. 잔향실험실 평가는 잔향실험실 바닥에 측정대상 바닥구조를 시공한 후 평가하는 것으로 실제 현장과 달리 주변이 고정되어 있지 않기 때문에 현장 측정 결과와는 편차가 심한 편이다. 현장에 mock-up을 설치하는 방법은 장소 선정 협조, 현장 공사일정 등 다양한 조건을 인위적으로 만족할 수 있는 mock-up을 마련하기에는 한계와 어려움이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존 잔향실험실이 아닌 공동주택과 유사한 구축조건을 가지는 형태의 실험실을 구축하여 바닥충격음 평가를 용이하게 수행할 필요가 있다.

2.2 실험동 설계조건

바닥충격음 실험동의 설계는 ISO와 일본의 규정을 근거로 국내의 현실에 적합한 내용으로 설정하였다. 실험동의 구조는 현 공동주택에서 주로 시공되는 콘크리트 벽식구조로 설정하였다. 실험실 크기는 우선 ISO⁽¹⁾는 육면체 실험실로 50m³ 이상의 용적으로 규정하고 있으며 국내 규격도⁽²⁾ 실험실의 용적을 50m³ 이상으로 규정하고 있다. 일본 주택품질확보촉진법에서 50~70m³의 용적으로 규정하고 있다. 또한 실험실 형태 선정은 공동주택 거실이 아주 다양한 평면구성을 보여 대표성을 가지는 평면을 선정하기 어렵기 때문에 정방형인 방의 형태로 설정하였다. 바닥충격음의 경우 일상생활에서 사용빈도가 높고 활동시간이 상대적으로 긴 거실에서의 바닥충격음 차단성을 평가하는 것이 바람직하다고 판단하여 실험실의 형태는 방과 같은 직방체이지만 면적은 거실의 면적을 기준으로 설정하였다.

다음은 일본 주택품질확보촉진법에서 규정한 바닥충격음 실험실 조건⁽³⁾이다.

- 2개 층으로 구성된 철근콘크리트 벽식구조
 - 음원실과 수음실은 직방체로 용적이 50~70 m³
 - 음원실과 수음실 사이의 슬래브(표준콘크리트바닥)는 보통 콘크리트 150±10 mm 혹은 200±10 mm 두께로 설치한다.
 - 표준 콘크리트 바닥의 크기는 실내 축 길이로 긴 변이 5±0.4 m, 짧은 변이 4±0.4 m로 한다.
- 실험실의 면적 설정은 일본의 경우 약 20m²로 규

정하고 있으나 국내에서 가장 많이 시공되는 평형을 조사하여 이를 토대로 실험실 면적을 설정하였다.

Table 1은 조사대상 73,185세대의 평형별로 분류한 것으로 30~39평의 세대수가 전체 조사대상 세대수의 약 48.3%를 차지하고 있었으며, 30~39평형의 거실 면적인 23~25m²를 기준으로 하여 실험실의 바닥면적을 4.5 m × 5.1 m(23 m²)로 설정하였다.

실험동 설계조건은 다음과 같다.

- ① 공동주택 표준실 모델 : 30평형대
- ② 공동주택 표준 층고 모델 : 2850 mm

Table 1 The number of households by size(PY)

| Total number | ~20PY | 20~29PY | 30~39PY | 40~49PY | 50~59PY | 60~69PY | 70~79PY | 80PY ~ |
|--------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 73,185 | 743 | 10,534 | 35,259 | 14,532 | 5,934 | 3,933 | 1,348 | 902 |
| 100% | 1.0% | 14.4% | 48.2% | 19.9% | 8.1% | 5.4% | 1.8% | 1.2% |

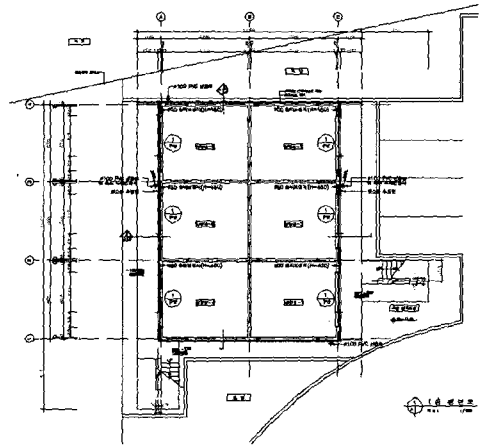


Fig. 1 The plan of floor impact sound test building



Fig. 2 The view of floor impact sound test building

- ③ 콘크리트 설계 기준강도 : 210 kg/cm²
- ④ 단위시험실 크기 : 4.5 m × 5.1 m
- ⑤ 바닥슬래브 두께 : 150 mm, 180 mm, 210 mm, 240 mm
- ⑥ 시험실 수 : 150 mm 2개, 180 mm 3개, 210 mm 3개, 240 mm 2개, 총 10개소
- ⑦ 기타 사항 : 일반적 공동주택 설계방법에 준함

3. 국내 바닥충격음 차단성능 현황

국내 바닥구조는 온돌이라는 독특한 바닥난방 방식으로 인해 하중을 부담하는 슬래브, 열손실 방지를 위한 단열재, 열을 저장하고 방사하는 축열재 및 마감재 등으로 크게 구분할 수 있다. 공동주택의 슬래브는 대부분 철근콘크리트 벽식구조로 되어 있으며, 두께는 평형별, 시공회사별로 약간의 차이는 있으나 135~150 mm가 일반적이다. 바닥충격음 저감을 위해서 슬래브 상부에 완충재 시공이나 온돌마루 하부에

완충재를 시공하고 있다. 단열기준⁽⁴⁾ 강화에 따라 완충재도 기준에 적합한 단열성능을 가지거나 단열재와 완충재가 동시에 사용되어 단열성능을 만족시키고 있다.

Fig. 3은 슬래브 150 mm에서 완충재가 시공된 세대의 거실 측정결과를 평형별로 나타낸 것으로 역A 단일수치평가량을 나타낸 것이다. 평형이 커짐에 따라 거실 면적이 커지므로 휨진동에 의한 방사량이 커지는 것으로 알려져 있으나, 실제 측정시에는 면적이 커짐에 따라 측정점간의 편차가 커지고, 바닥 및 벽으로부터의 방사음이 감소될 것으로 판단된다. 따라서, 실제 측정결과에서는 면적에 의한 편차는 특별한 경향성을 보이고 있지는 않았다. 또한, 이 결과는 시험실 측정결과가 아닌 현장에서의 측정결과로, 측정에 있어서의 측정오차를 포함하고 있다는 것을 고려해야 할 것이다.

Fig. 4는 동일한 구조조건을 가지는 7개 현장의 각

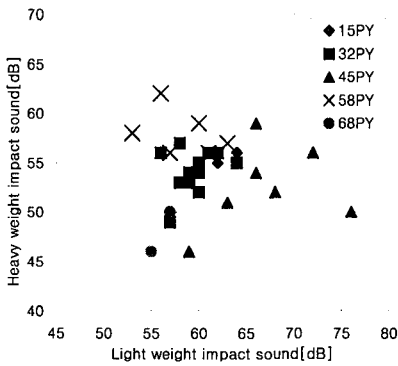


Fig. 3 Test results by size(PY)

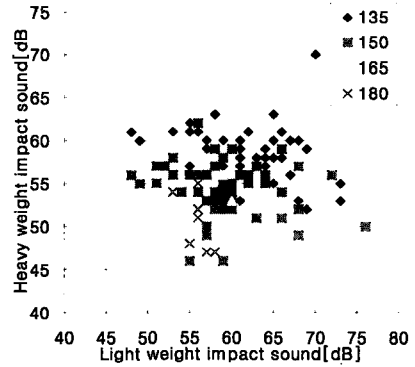


Fig. 5 Test results by thickness of slab

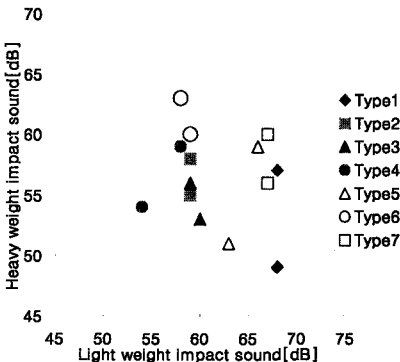


Fig. 4 Test results deviation in the same structure

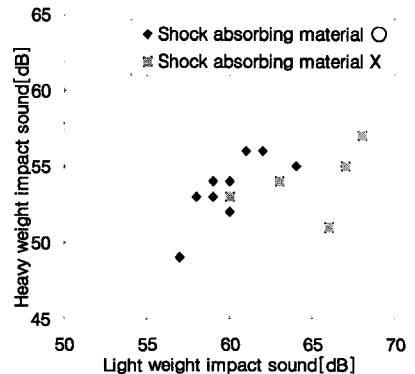


Fig. 6 Shock absorbing materials

2개소 측정결과로서 동일한 구조에서도 편차가 2~3 dB이상 나타나고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 5는 바닥슬래브 두께별 측정결과로 같은 두께의 구조에서도 성능편차가 많이 발생하며, 슬래브 두께가 두꺼워 질수록 다소 성능이 좋아지는 경향을 보이고 있으나 동일 두께의 슬래브 성능이 너무 넓게 분포하고 있어 경향성은 매우 낮다고 할 수 있다.

Fig. 6은 바닥슬래브 두께 150 mm인 구조의 거실에서 완충재 유무에 따른 측정결과를 나타낸 것으로 최종 마감재는 온돌마루로 시공되어 있다. 측정 결과 완충재를 사용하는 것이 경량충격음에 다소 유리한 것으로 나타났지만 측정결과간의 편차가 크게 발생하였는데 이는 동일한 구조로 동일한 장소에서 평가한 것이 아니기 때문에 편차가 발생한 것으로 판단된다.

국내 공동주택 현장에서 측정한 바닥충격음 차단성능을 살펴본 결과 측정결과간의 편차가 너무 크기 때문에 각 조건별 경향성은 찾기가 어려웠으며, 대부분의 측정결과가 현행 법기준을 만족하지 못하는 것으로 파악되었다.

4. 바닥충격음 저감방안에 따른 성능평가

바닥충격음의 4가지 저감방안을 토대로 시험조건을 설정하여 바닥충격음 실험동에서 시험을 실시하였다. 측정 및 평가는 KS 규격에 준하여 실시하였으며, 측정시 암소음의 영향을 최소화하기 위하여 20시 이후에 실시하였으며 암소음과 측정치와의 차이가 6 dB~15 dB일때는 보정식을 통하여 보정하였으며 6 dB 미만 일때의 측정 data는 사용하지 않았다. 측정시 사용한 장비는 다음과 같다.

- 경량충격원(tapping machine) : FI-01, 일본RION사
- 중량충격원(bang machine) : Bang machine-T형, 일본 사쓰끼사
- 주파수분석장치 : Symphonie, 01 dB
- Microphone : G.R.A.S. (Type 40 AE)
- Microphone Preamplifier : G.R.A.S. (Type 26 CA)
- Omnidirectional sound source : DO12, AVM
- Amplifier : M700, INTER M

4.1 바닥슬래브 두께, 온돌층, 천장

바닥슬래브 두께를 증대시키는 방법은 바닥슬래브

를 충격으로부터 진동하기 어렵게 만드는 중량·고강성 바닥공법으로 중량충격음 차단성능 확보에 밀접한 영향을 미친다. 바닥슬래브 두께가 150 mm, 180 mm, 210 mm, 240 mm로 시공되었을 경우 충격음 차단성능을 평가하였으며, 슬래브 상부에 설치되는 온돌층 없이 맨 슬래브 상태에서 측정하였다. 측정결과 바닥슬래브 두께가 증대됨에 따라 충격음차단성능도 향상되는 것을 알 수 있었다.

맨 슬래브에 대한 측정후 실험실에 온돌층을 설치하였다. 온돌층 구성은 국내 공동주택에 일반적으로 시공되는 EPS 단열재 20 mm + 기포콘크리트 50 mm + 마감모르타 40 mm로 설치하였다. 측정시 수음실의 천장은 설치되지 않았으며, 바닥 마감재도 설치되지 않은 상태였다. 맨 슬래브에 비하여 경량충격음은 최대 13 dB이상 성능이 향상되었으며, 중량충격음의 경우 맨 슬래브에 비하여 온돌층 구성으로 1~2 dB의 성능향상이 있는 것으로 나타났다.

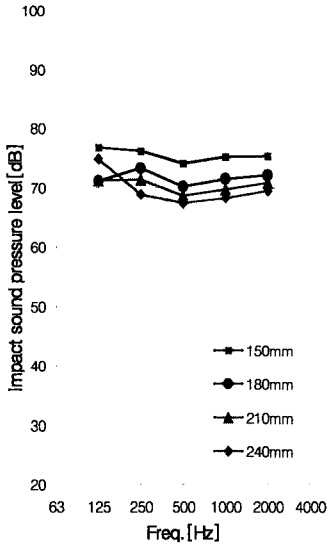
온돌층 구성후 수음실에 천장을 설치하였다. 천장은 경량철골로 슬래브 면으로부터 70 mm 이격하여 석고보드 9.5 mm 1겹을 시공하였으며, 측정결과 경량충격음은 온돌층이 구성된 상태보다 5 dB이상 성능이 향상되었으며, 중량충격음은 1~2 dB 성능이 향상된 것으로 나타났다. Fig. 8은 슬래브 두께가 150 mm 실험실에서 맨 슬래브, 온돌층, 천장구성에 따른 주파수 특성을 나타낸 것이다.

4.2 완충재

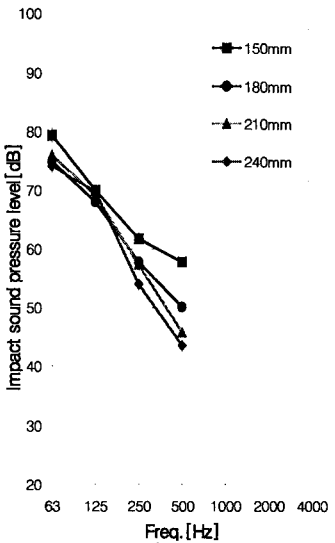
완충재는 경량바닥충격음 차단성능 향상을 위하여 바닥슬래브와 온돌층(기포콘크리트, 몰탈)을 분리하는 뜬바닥공법으로 충격음 차단을 위하여 가장 일반적으로 사용공법으로 국내에서 시판되는 완충재는 스

Table 2 Test results of set up a On-dol layer and ceiling

| Thickness of slab (mm) | Single-number quantity using a reversed A-weighted curve(dB) | | | | | |
|------------------------|--|--------|---------|---------------------------|--------|---------|
| | Normalized light weight impact sound | | | Heavy weight impact sound | | |
| | Bare slab | On-dol | Ceiling | Bare slab | On-dol | Ceiling |
| 150 | 74 | 61 | 55 | 54 | 54 | 53 |
| 180 | 71 | 58 | 52 | 52 | 52 | 50 |
| 210 | 69 | 57 | 52 | 49 | 49 | 48 |
| 240 | 68 | 58 | 52 | 50 | 50 | 49 |



(a) Normalized light weight impact sound

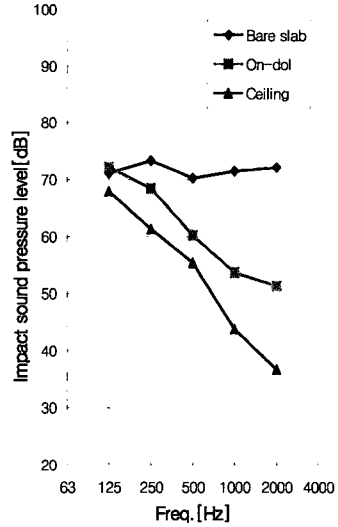


(b) Heavy weight impact sound

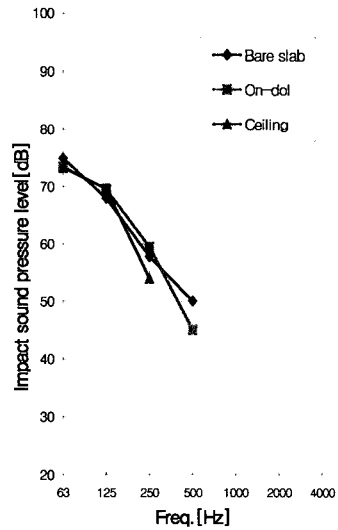
Fig. 7 Test results in bare slab

티로폼, 폐우레탄계열, EVA 발포고무, 발포PE, 유리 섬유 및 락울, 페타이어, 발포폴리프로필렌, 압축 폴리에스테르, 기타 복합소재의 재료를 사용하고 있다.

단열재를 대체한 완충재 선정은 동탄성계수를 근거로 하였다. 공동주택 바닥구조에서 일반적으로 사용되는 단열재인 EPS(스티로폼 2호)의 경우 동탄성계수의 값이 50~60 MN/m³으로 완충재는 기존의 EPS 보다는 낮은 동탄성계수 즉, 60 MN/m³이하로 선정



(a) Normalized light weight impact sound



(b) Heavy weight impact sound

Fig. 8 Test results of set up a On-dol layer and ceiling(slab 150 mm)

하였다. 동탄성계수 10 MN/m³ 이하인 제품과 40~50 MN/m³인 제품을 선정하여 충격음 차단성능을 평가 하였다.

측정은 150 mm, 180 mm, 210 mm, 240 mm 슬래브 두께의 실험실에서 각각 실시하였으며, 4.1의 실험을 실시한 실험실이 아닌 다른 실험실에서 실시하였다. 슬래브 상부에 완충재 20 mm+기포콘크리트 50 mm+마감모르터 40 mm를 설치한 후에 최종바닥마

감재는 없는 상태에서 측정을 실시하였다. 완충재 시공으로 경량충격음에 대한 차단성능은 맨 슬래브에 비하여 16 dB 이상 성능이 향상되었으며, 동탄성계수가 낮은 완충재1의 경우 충격음 저감정도는 29 dB 이상 향상 폭이 크게 측정되었다. 중량충격음은 충격음 차단성능이 거의 동일하거나 다소 좋아지는 결과를 나타내었다.

4.3 천장구성방법

일반적인 공동주택의 천장구성은 천장슬래브 면에서 30~80 mm 이격하여(실내측 층고 2.3 mm 이상 유지) 석고보드 9.5 mm를 1겹 시공하는 것이 일반적이다.

천장마감이 없이 시공되는 공동주택도 있으며, 주상복합과 같이 실내 공조를 실시하는 고층아파트의 경우는 공조를 위한 덕트 등의 설치 공간 확보를 위하여 천장슬래브 면에서 천장 마감면까지 깊이가 300

mm 이상 되기도 하며, 마감 석고보드를 2겹씩 시공하기도 한다.

천장구성방법에 대한 평가는 150 mm 슬래브 조건의 실험실에서 실시하였으며 동일한 실험실에서 천장 구조를 바꾸어 설치하면서 실시하였다. 천장구성방법은 다음과 같다.

- 천장구성1 : 경량철골 70 mm + 석고보드 9.5 mm 1겹
- 천장구성2 : 경량철골 70 mm + 석고보드 9.5 mm 2겹
- 천장구성3 : 경량철골 70 mm + 흡음재(glass wool 32 k, 50 T) + 석고보드 9.5 mm

중량충격음의 경우 석고보드 개수에 따른 변화는 없었으며, 천장내부에 흡음재를 설치한 구조에서 2 dB 향상된 측정결과를 보였다. 경량충격음의 경우 석고보드가 2겹으로 시공되는 것보다 내부에 흡음재를 충전 하였을 경우 성능이 4~5 dB 향상되었다.

Table 3 Test results of shock absorbing materials

| Thick-ness of slab (mm) | Single-number quantity using a reversed A-weighted curve(dB) | | | | | |
|-------------------------|--|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Normalized light weight impact sound | | | Heavy weight impact sound | | |
| | Bare slab | Shock absorbing material 1 | Shock absorbing material 2 | Bare slab | Shock absorbing material 1 | Shock absorbing material 2 |
| 150 | 73 | 37 | 50 | 52 | 52 | 52 |
| 180 | 69 | 36 | - | 49 | 51 | - |
| 210 | 68 | 37 | 46 | 51 | 50 | 50 |
| 240 | 66 | 37 | 50 | 50 | 47 | 50 |

비고 : shock absorbing material 1-Dynamic stiffness 10 MN/m³ below
 shock absorbing material 2-Dynamic stiffness 40~50 MN/m³

Table 4 Test results of ceiling setting methods

| | Single-number quantity using a reversed A-weighted curve(dB) | | |
|--------------------------------------|--|----------|----------|
| | Ceiling1 | Ceiling2 | Ceiling3 |
| Heavy weight impact sound | 53 | 53 | 51 |
| Normalized light weight impact sound | 55 | 54 | 50 |

4.4 바닥마감재

바닥마감재는 거실의 경우 온돌마루, 방은 립류가 일반적으로 사용되며, 온돌마루를 전체 공간에 시공하기도 한다. 표면 마감재의 변화는 충격음 저감방법의 하나인 표면완충공법으로 유연한 재료의 사용이 경량충격음 저감에 효과적이다. 온돌마루는 표면 완충성이 립류에 비해 떨어지므로 온돌마루 하부에 2 mm 정도의 패드류를 부착하여 경량충격음 차단성능을 높이려는 제품도 있다.

립류는 PVC(비닐)계 바닥재를 의미하는 것으로 발포층이 없는 비닐 바닥시트와 발포층이 있는 비닐 바닥시트로 구분한다.⁽⁵⁾ 발포층이 없는 바닥시트는 바닥타일과 같이 중보행용으로 주택 보다는 공공장소에 많이 사용되는 딱딱한 제품이며, 일반적으로 주택에 시공하는 것은 발포층이 있는 비닐 바닥시트를 의미한다. 립류의 대부분은 발포층이 있는 비닐 바닥시트 중 PS류(부직포 및 유리섬유 등을 중간층에 적층하고 인쇄무늬를 갖는 것)에 속하며 생산되는 제품의 두께를 1.8 mm~2.0 mm(저가형 제품), 2.3 mm~2.5 mm(중가형 제품), 3.5 mm~4.5 mm(고가형, 기능성 제품)으로 분류 할 수 있다.

바닥마감재 영향을 살펴보기 위하여 일반적으로 안

Table 5 Reduction of light weight impact sound pressure level by difference of floor covering (dB)

| Type | PVC (1.8 mm) | PVC (2.3 mm) | PVC (4.0 mm) | Wooden floor | Wooden floor with pad |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|
| 125 | -0.8 | -0.1 | -4.9 | -0.5 | -1.7 |
| 250 | -0.4 | -3.8 | -11.3 | -2.2 | -2.8 |
| 500 | -1.6 | -2.6 | -30.1 | -4.9 | -8.7 |
| 1000 | -2.1 | -8.0 | -42.3 | -11.7 | -25.0 |
| 2000 | -5.0 | -25.0 | -52.9 | -21.6 | -38.3 |

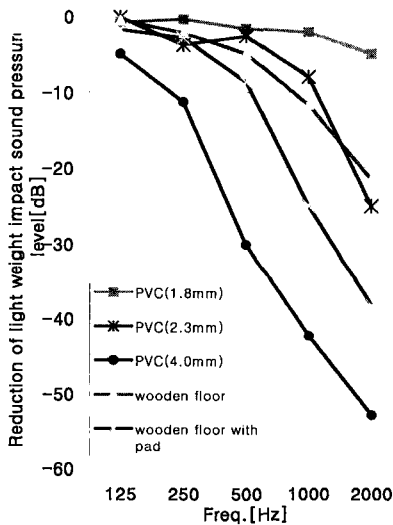


Fig. 9 Test results of floor covering variation

방에 사용되는 룬류를 두께별로 선정하였으며, 거실에 많이 시공되는 온돌마루와 온돌마루 하부에 패드가 부착된 제품을 선정하여 잔향실험실에서 경량충격음레벨 저감량을 측정하였다. 룬은 두께가 1.8 mm, 2.3 mm, 4.0 mm 제품을 선정하였다.

경량충격음레벨 저감량 측정결과 룬의 경우는 두께가 증가할수록 저감량도 증가하는 것을 알 수 있었으며, 온돌마루는 룬 4.0 T에 비해서는 저감량이 저하되지만 온돌마루하부에 패드가 부착되면 저감량도 증가하는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

바닥충격음 차단방안에 대한 충격음 측정결과를 세

롭게 시공된 충격음 실험동 및 잔향실험실에서 실시하였다. 이와 동시에 국내 바닥충격음현황도 같이 분석하였다.

(1) 국내 바닥충격음 차단성능 현황은(현장측정결과) 슬래브 상부에 완충재를 많이 사용하고 있으며, 슬래브 두께가 증대할수록 충격음차단성능이 향상되는 경향이 있으나 측정결과 동일한 슬래브 두께에서도 측정치가 너무 넓게 분포되어있어 슬래브 두께나 측정공간의 면적 등에 따른 충격음 경향성은 확인하기 어려웠다. 전반적으로 경량충격음은 47 dB~76 dB, 중량충격음은 47 dB~70 dB의 범위에 속하고 있다.

(2) 바닥충격음 실험동에서 실시한 바닥충격음저감방안에 대한 측정결과를 살펴보면 다음과 같다.

- 맨 슬래브 두께가 150 mm에서 240 mm로 증대됨에 따라 경량충격음은 6 dB 성능이 향상되었으며, 중량충격음은 4 dB 성능이 향상되었다. 온돌층과 천장구조성을 통하여 맨 슬래브에 비하여 경량충격음은 최대 19 dB이상 성능이 향상되었으며, 중량충격음은 1~2 dB 성능이 향상되었다.

- 완충재 시공으로 맨 슬래브에 비하여 경량충격음은 성능이 향상 폭이 컸으나, 중량충격음에 대한 성능향상은 거의 미비한 것으로 파악되었다.

- 천장구성방안 중 천장상부에 흡음재를 시공할 경우 흡음재가 설치되지 않은 구조에 비하여경량충격음은 5 dB, 중량충격음은 2 dB 성능이 향상되었다.

- 바닥마감재에 대한 충격음차단성능은 룬류의 두께가 두꺼워질수록 성능이 향상되었으며, 온돌마루 하부에 패드를 부착한 경우 일반 온돌마루에 비하여 성능이 향상되었다.

참고 문헌

(1) ISO 140-1 「Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements - Parts 1 : Requirements for Laboratory Test Facility with Suppressed Flanking Transmission」.

(2) 한국표준협회, 2001, KS F 2860 건물 및 건물부재의 차음성능 측정방법-건물 부재의 차음성능 표준 측정실 조건.

(3) 國土交通省住宅局, 2003, 住宅の品質確保の促進等に関する法律「遮音測定の結果による音環境に関する試験ガイドライン」.

(4) 건설교통부, 2003, 고시 제2003-31호, 건축물 에너지절약설계기준.

(5) 한국표준협회, 1998, KS M 3802 PVC(비닐)계 바닥재.

(6) 양관섭, 1998, 건축물의 바닥충격음 저감설계 기법, 한국건설기술연구원 책임연구과제보고서.

(7) 김경우 외 3인, 2003, “바닥충격음레벨 영향 요인 분석”, 소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 255~260.

(8) 한국표준협회, 2001, KS F 2810-1 바닥충격음 차단성능 현장측정방법 제1부 : 표준 경량충격원에 의한 방법.

(9) 한국표준협회, 2001, KS F 2810-2 바닥충격음 차단성능 현장측정방법 제2부 : 표준 중량충격원에 의한 방법.