

바닥충격음 방지재의 재료강성 효과

이동훈*, 황 윤*, °강 문**, 김민배***

Effect of the Stiffness on the Performance of Impact Noise Isolation Pads of a Floor

Dong-Hoon Lee, Yoon Hwang, Moon Kang, Min-Bae Kim

ABSTRACT

This paper describes the effect of the pad stiffness on the noise reduction of impact noise isolation pads of a floor. And also a new semi-experimental method for measuring the impact noise isolation capability of a pad is introduced. The impact noise isolation pads made of wire-mesh, urethane-chip and foam rubber are used for measuring the stiffness, the vibrational insulation performance and the impact noise isolation capability. The correlation between the stiffness and impact noise isolation capability of pads is theoretically reviewed, and confirmed from the experimental results. For measuring the impact noise isolation capability of only an isolation pad, a semi-experimental method proposed in this study is more effective than the reverberation room method.

1. 서 론

최근에 건설되는 각종 건축물의 초고층화, 다기능화, 고급화 및 경량화로 인하여 파생된 가장 심각한 문제의 하나로 소음을 들 수 있다. 특히 이 중에서 물체의 낙하 또는 실내보행시 바닥에 가해지는 충격력에 의해 층과 층간으로 전파하는 바닥충격음은 건축설계 단계에서 고려되어야 할 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 이 때문에 이를 해결할 목적으로 페타이어칩, 코르크, 발포고무 및 폴리패드와 같은 다양한 소재를 이용한 제품개발이 시도되고 있으며, 일부제품의 경우는 이미 현장에 적용되고 있다. 그러나 개발제품의 대부분이 만족할만한 바닥충격음 저감성능을 확보하고 있지 못한 관계로 소비자들에게 좋은 반응을 얻지 못하고 있는 실정이다.

한편 충격력에 의해 야기된 충격음과 관련하여 국외에서의 연구는 오래전부터 이루어져 왔으며^(1,2), 바닥충격음 방지재의 소음저감특성이나 성능평가법을 비롯한 시공문제에 관해서도 많은 연구결과가 발표된 바 있다⁽³⁾. 그러나 국내에서는 바닥충격음의 저감성능과 성능예측에 관한 연구결과의 일부만이 발표되고 있는 정도이며^(4,5), 제품개발에 대한 다양한 기술적 정보를 다룬 연구문헌은 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 바닥충격음 방지재를 개발하기에 앞서 방지재의 성능을 좌우하는 가장 주된 물성치에 대하여 토의하고, 개발단계에서 방지재의 성능을 간단하게 평가할 수 있는 성능평가법의 도출을 연구목표로 하였다. 바닥충격음 방지재의 성능시험은 KS F 2810에 명시되어 있는 것처럼 잔향실에서 수행되어야 하지만, 크기가 매우 큰 성능시험용 시료를 별도로 제작하여 잔향실에서 일일이 측정해야 하므로 개발단계에서 많은 비용과 시간이 허비되는 단점이 있다. 특히 바닥충격음 방지재의 최적소재를 탐색하는 개발단계에서 작은 크기의 시험용 시료만을 이용하여 방지재의 저감

* 서울산업대학교 기계공학과. ldh@duck.snut.ac.kr
** 서울산업대학교 산업대학원 기계공학과
*** (주) 엠티엠

성능을 손쉽게 파악할 수 있는 실용적인 측정법은 개발자 입장에서 대단히 중요하다.

2. 이론검토

바닥충격음은 실내에서 물체의 낙하 또는 보행시 바닥에 가해지는 충격력에 의한 충격음으로서 인접실이나 직하층으로 전달된다. Fig. 1은 방지재가 슬래브 표면에 설치되어 있는 바닥구조를 나타낸 것이며, 이를 집중형 진동시스템으로 등가시켜 표현하면 Fig. 2와 같다.

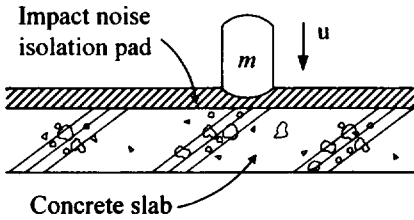


Fig. 1 Impact noise isolation pad attached over a concrete slab

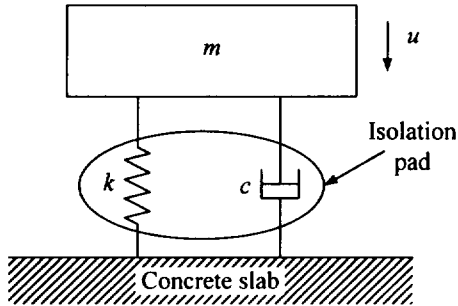


Fig. 2 Vibration model excited by an impulse force

Fig. 2에서 보듯이 바닥충격음 방지재의 진동흡수 능력은 방지재의 강성 k 와 방지재의 공진주파수 이상에서 탁월한 효과를 보이는 감쇠계수 c 에 좌우되는 것을 알 수 있다. 이들 두 인자를 적절하게 조합하므로써 바닥충격음 방지재의 성능을 극대화시킬 수 있겠으나, 현실적으로 감쇠계수를 제어하는 데는 많은 문제점이 따르게 된다. 따라서 본 연구에서는 방지재의 강성효과에 대해서만 검토하고자 한다.

먼저 Fig. 1과 같은 바닥구조에 질량 m 인 물체

가 속도 u 로 낙하하는 경우의 질량체의 운동에너지는 다음과 같다.

$$U = \frac{1}{2} mu^2 \quad (1)$$

또한 질량체가 바닥면에 충돌한 직후에는 질량체의 운동에너지가 변형에너지로 변환되므로, 방지재의 최대변형량을 δ_{max} 그리고 바닥에 가해진 최대충격력을 F_{max} 이라 할 때 방지재의 최대변형에너지는 다음과 같다.

$$U = \frac{1}{2} F_{max} \delta_{max} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)를 같게 놓고, 바닥충격음 방지재의 강성 $k = F_{max} / \delta_{max}$ 관계를 이용하여 방지재에 가해진 최대충격력 F_{max} 을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$F_{max} = u\sqrt{km} \quad (3)$$

또한 슬래브면에 동일면적의 방지재의 설치로 인하여 개선된 바닥충격음 저감량 ΔSPL 은 다음 계산식으로 구할 수 있다.

$$\Delta SPL = 20 \log \frac{F_i}{F_{ip}} \quad (4)$$

식 (4)에서 F_i 는 슬래브표면에 방지재가 없을 때의 충격력을 그리고 F_{ip} 는 슬래브표면에 방지재가 있을 때의 방지재 표면에 가해진 충격력을 뜻하며, 식 (4)의 F_{ip} 대신에 식 (3)의 최대충격력 F_{max} 을 대입하면 다음식과 같다.

$$\Delta SPL = 20 \log \frac{F_i}{u\sqrt{km}} \quad (5)$$

식 (5)에서 보듯이 방지재가 슬래브표면에 설치되어 있을 때는 물체의 질량, 낙하속도 그리고 방지재의 강성을 감소시키므로써 바닥충격음을 저감시킬 수 있음을 알 수 있다. 그러나 낙하속도나 물체의 질량은 이미 정해진 값이므로, 충격음 저감에는 방지재의 강성조절이 관건임을 알 수 있

다. 즉 강성이 작은 방지재는 충격음 저감량이 큰 반면에, 강성이 큰 방지재는 충격음 저감량이 작게 된다.

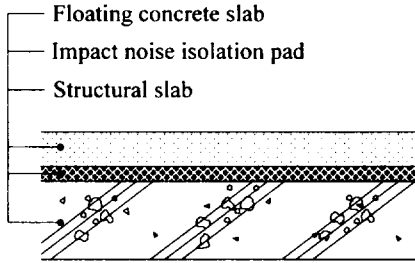


Fig. 3 Cross sectional view inserted a impact noise isolation pad between two concrete slabs.

한편 Fig. 3에서와 같이 방지재가 슬래브내부에 삽입된 뜬바닥 슬래브구조에서의 방지재의 충격음 저감량은 다음식으로 구할 수 있다⁽³⁾

$$\Delta SPL \approx 10 \log \frac{\rho_s^2 \omega^3 \eta_s c_s t_s}{k^2} \quad (6)$$

식 (6)에서 k 는 방지재의 강성, ρ_s 는 뜬바닥 슬래브의 단위면적당 질량, ω 는 각주파수, η_s 는 뜬바닥 슬래브의 손실계수, c_s 는 뜬바닥 슬래브내에서의 종파의 전파속도 그리고 t_s 는 뜬바닥 슬래브의 두께를 나타낸다. 식 (6)에서도 알 수 있듯이 바닥 충격음의 저감에는 방지재의 강성이 매우 중요한 역할을 하는 설계인자임을 알 수 있다.

3. 실험

바닥충격음 방지재의 성능시험은 서론에서도 언급한 바 있듯이 잔향실에서 수행되어야 하지만, 개발중인 시료의 중간성능을 잔향실에서 측정하는 데는 크기가 매우 큰 시료가 필요하므로 시료의 제조과정에 과도한 비용이 투입될 뿐만 아니라 시료준비에 많은 시간이 허비되는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 작은 크기의 시료를 이용하여 충격음에 대한 시료별 상대성능을 간단하게 평가할 수 있는 성능평가법을 검토하였다. 먼저 성능시험을 위해서는 실제로 현장에서 쓰이고 있는 바닥

층을 재현하는 것이 필요하므로 외형크기가 720x555x195 mm인 성능시험용 모듈드를 제작하였다. 모듈드는 목재와 합판을 이용하여 외부틀과 시료가 들어갈 내부틀을 각각 5개씩 제작하였다. 콘크리트의 배합은 Table 1에 제시된 혼합비를 참고로 하였다. 배합된 콘크리트는 모듈드인 거꾸집 틀 안에 붓고 15일 정도 양생하였다.

Table 1 Concrete compositions according to the strength

단위 : kg/m^3

설계강도	시멘트	자갈	모래	물
270 kg/cm^2	330	940	432	160
240 kg/cm^2	352	923	852	180

성능시험용 시료는 3종류로서 (주)mTm에서 개발한 wire-mesh pad, urethane-chip pad 그리고 저감성능의 상대비교를 위한 타사제품의 발포고무 패드를 사용하였다. 시료크기는 510mm x 340mm x 20mm이다.

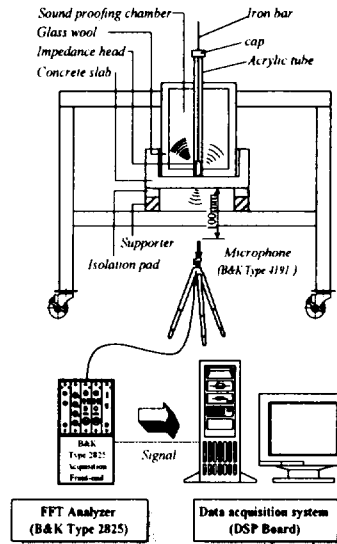


Fig. 4 Experimental apparatus for measuring impact noise isolation capability of a pad

Fig. 4는 바닥충격음 방지재의 저감성능을 측정하기 위한 장치도를 도시한 것이다. 시험법 상부의

타격에 의해 발생된 방사음을 차단하기 위하여 방음실(sound proofing chamber)을 콘크리트 슬래브의 타격면 위에 설치하였다. 방음실은 두께 10mm의 투명한 아크릴판으로 폭과 높이가 350mm 및 660mm가 되도록 제작하였으며, 방음실내에는 흡음재를 충진하였다. 시험면을 타격하는 임피던스 헤드는 가급적 KS F 2810에 준하도록 무게 $500 \pm 12.5g$, 헤드지름 3cm 그리고 충격면의 곡률 반경 50cm의 돌출 구면으로 제작하였다. 헤드는 그림에서 보는 바와 같이 아크릴관내를 이동하도록 되어 있다.

성능측정은 방지재별 소음저감량을 구하기 위하여 방지재를 장착하지 않았을 때와 장착하였을 때의 음압레벨을 동일지점에서 측정하였다. 특히 성능시험용 모듈의 벽체로 전파하는 측로전달음(flanking noise)의 정도를 파악하기 위하여 모듈드 벽돌레에 두께 5mm의 절연패드를 부착한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해서도 시험하였다. 음압레벨은 콘크리트 하부바닥면으로부터 100mm 떨어진 위치에 마이크론을 설치하고 측정하였다. 측정의 신뢰성 및 재현성을 위해 3회이상 반복 실험하였다.

바닥충격음 방지재의 강성은 INSTRON 4467을 이용하여 시험속도 $2.54mm/min$ 로 설정한 상태에서 측정하였다. 또한 방지재의 진동절연 능력을 파악하기 위하여 진동가속도레벨을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 바닥충격음 방지재의 강성을 측정한 결과이다.

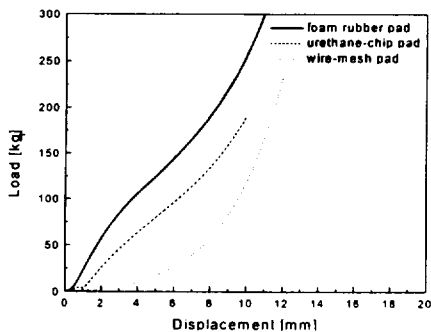


Fig. 5 Stiffness results of impact noise isolation pad

결과에서 보듯이 강성값은 발포고무의 경우가 가장 크며, 그 다음으로 urethane-chip pad 그리고 wire-mesh pad의 순으로 작아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 6부터 Fig. 8까지 제시된 결과는 상부슬래브가 모울드벽면과 절연된 상태에서 바닥충격음 방지재의 저감성능을 나타낸 결과이다.

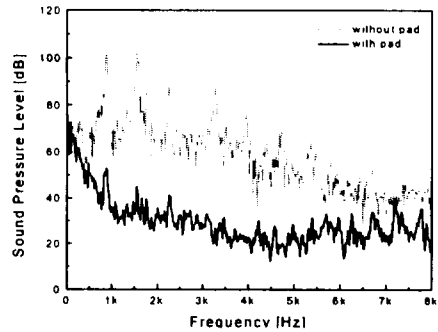


Fig. 6 Sound pressure level reduced by a wire-mesh pad under wall insulation condition.

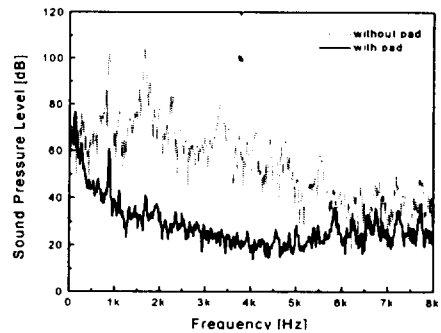


Fig. 7 Sound pressure level reduced by an urethane-chip pad under wall insulation condition.

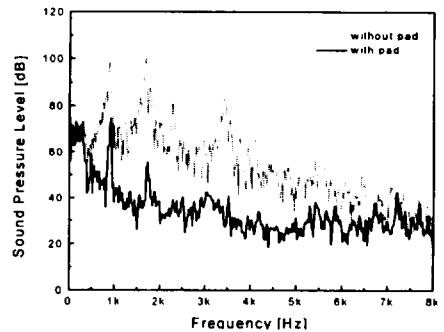


Fig. 8 Sound pressure level reduced by a foam rubber pad under wall insulation condition.

제시된 결과에서 wire-mesh pad 및 urethane-chip pad의 경우는 충격음을 저감시키는 탁월한 효과가 있음을 확인할 수 있다. 그러나 발포고무의 경우는 wire-mesh pad 및 urethane-chip pad만큼의 저감성능을 볼 수 없으며, 특히 저주파수와 고주파수대역에서의 성능이 좋지 않음을 볼 수 있다. 이상의 성능결과를 Fig. 5에 제시된 방지재의 강성측정값과 비교해 보면 강성이 작은 방지재는 충격음 저감량이 큰 반면에, 강성이 큰 방지재는 충격음 저감량이 작게 됨을 알 수 있다. 이것은 이론검토 결과와 잘 일치하는 것으로서 바닥충격음 저감성능에 재료의 강성이 미치는 효과가 크다는 것을 알 수 있다.

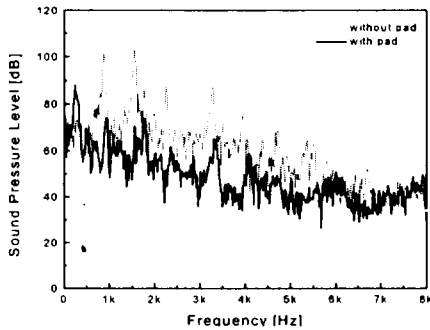


Fig.9 Sound pressure level reduced by a wire-mesh pad in the case of no wall insulation

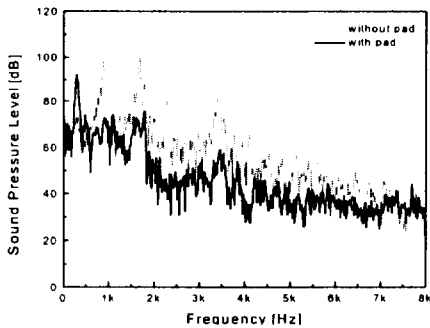


Fig. 10 Sound pressure level reduced by a foam rubber pad in the case of no wall insulation

Fig. 9와 Fig. 10은 상부슬래브 벽면에 절연패드를 부착하지 않은 상태에서 wire-mesh pad 및 발포고무 pad 방지재의 바닥충격음 저감성능을 측정된 결과이다. 결과에서 보듯이 두 경우 모두

바닥충격음에 대한 저감성능이 좋지 않음을 볼 수 있다. 이것은 벽면으로 전파되는 측로전달소음의 영향이 크기 때문이다. 따라서 방지재의 개발단계에서 방지재만의 충격음 저감성능을 얻고자 할 때는 측정시 벽면을 반드시 절연시키는 것이 필요하다고 본다.

5. 결 론

- 1) 바닥충격음 방지재의 저감성능은 방지재의 강성과 밀접한 관련이 있음을 이론적으로 검토하고 실험을 통해 확인하였다. 실험결과에서 방지재의 강성이 작을수록 저감성능은 좋아지는 반면에 강성이 클수록 저감성능은 떨어진다.
- 2) 바닥충격음 방지재만의 저감성능을 파악하기 위해서는 측로전달소음을 차단하기 위한 콘크리트 모듈드 벽면의 절연이 반드시 필요하다.
- 3) 크기가 작은 시료만을 이용하여 바닥충격음에 대한 시료별 상대성능을 간단하게 평가할 수 있는 성능측정법을 도출하였다.

편집후기

본 연구는 (주)엠티엠과 인천지방 중소기업청의 연구비지원으로 수행된 연구결과의 일부를 밝히며, 이에 감사를 표한다. 특히 실험수행에 수고를 아끼지 않은 대학원생 이 승균 그리고 학부생 이 승현에게 고마움을 전한다.

참고문헌

- (1) E.J. Richards, M.E. Westcott and R.K. Jeyapalan, "On the Prediction of Impact Noise, I: Acceleration Noise," *Journal of Sound and Vibration*, 62(4), pp.547-575, 1979.
- (2) E.J. Richards, M.E. Westcott and R.K. Jeyapalan, "On the Prediction of Impact Noise, II: Ringing Noise," *Journal of Sound and Vibration*, 65(3), pp.419-451, 1979.
- (3) LEO L. Beranek, 1971, *Noise and Vibration Control*, Chap.11, McGRAW-HILL BOOK

COMPANY, New York.

- (4) 김재수, 장길수, 김선우, 1992, "임피던스법을 이용한 공동주택 바닥충격음 차음성능 예측방법에 관한 실험적 연구(II)," 한국소음진동공학회지, 제2권, 제1호, pp.21-31.
- (5) 양관섭, 이세현, 김홍열, 김승민, 1999, "페타이어 칩의 바닥충격음 차단성능에 관한 실험적 연구," 한국소음진동공학회지, 제9권, 제3호, pp.477-484.