

바닥충격음 측정 및 차음 평가의 방향

Improvement of Floor Impact Noise Measurement and Method for Rating Floor Impact Noise Isolation Performance

정정호* · 정영** · 서상호** · 송희수*** · 전진용****

Jeong Ho Jeong, Yeong Jeong, Sang Ho Seo, Hee Soo Song and Jin Yong Jeon,

Key Words : Impact Ball(임팩트 볼), Evaluation Method of Floor Impact Noise(바닥충격음 평가방법)

ABSTRACT

The aims of this study were to investigate the floor impact noise isolation performance of floating floor with isolation materials and propose the improvement direction of floor impact noise measurement method and evaluation classes using impact ball. Reduction of light-weight impact sound pressure level can be achieved by the finishing materials, such as vinyl finishing material and wooden flooring with isolation materials. Floor impact noise isolation material which satisfy the properties of the floor impact noise isolation materials cause resonance in the low frequency band and worsen heavy-weight impact sound pressure level. Heavy-weight impact sound level can be reduced by using noise reduction flooring, ceiling and increase of slab thickness. Strong impact force in low frequency bang below 63Hz of bang machine is not similar to human impact source and causes some problem in evaluating heavy-weight impact noise but heavy-weight impact noise measurement and evolution using impact ball which is very similar to human impact is more reliable than bang machine. Correction value on the background noise and sensitivity of residents should be considered on the floor impact noise evaluation classes.

1. 서 론

공동주택 바닥충격음 저감을 위해 2001년 바닥충격음 측방법이 개정되었으며 2002년에는 바닥충격음 평가방법 제정과 함께 경량, 중량충격음 규제 기준을 포함한 주택건설기준등에 관한 규정 개정안이 발표되었다. 현재 경량충격음에 대한 등급화 기준을 포함한 “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”[1]이 시행되고 있으며, 중량충격음에 대해서는 2005년 7월 이후로 시행이 연기되었다.

“공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”에는 경량충격음 차단 표준바닥구조와 이를 구성하기 위한 완충재의 성능평가항목, 기준 및 표준바닥구조 이외의 저감구조에 대한 인정 절차가 제시되어 있다. 제시된 표준바닥구조는 180mm 콘크리트 슬래브를 기준으로 단열재, 완충재 및 바닥마감재를 조합하여 5가지 안으로 구성되어 있으며. 완충

재의 물성으로는 밀도, 동탄성계수, 손실계수, 흡수량, 가열후 치수안정성, 가열후 동탄성 계수, 손실계수 및 표준바닥구조의 단열성능의 범위가 나타나 있다. 표준바닥구조용 완충재의 성능평가 항목별 세부 기준은 Table. 1과 같다. 또한 경량충격음 등급기준을 58dB ($L_{n,AW}$)을 기준으로 5dB 간격으로 4개 등급으로 제안하고 있다.

Table. 1 Floor impact noise isolation material properties in the regulation

항목	기준	관련 기준
밀도	-	KS M ISO 845
동탄성계수(완충재)	40MN/m ³ 이하	KS F 2868
동탄성계수 (측면완충재)	150MN/m ³ 이하 두께 5mm이상	KS F 2868
손실계수	0.1~0.3	KS F 2868
흡수량	4%v/v 이하	KS M ISO 4898
가열후 치수안정성	5% 이하	KS M ISO 4898
단열기준	건축물의 설비기준 등에 관한규칙 제21호의 규정에 의한 단열기준에 적합	

* 한양대학교 건설연구소 연구원, 공학박사

E-mail : jhjeong92@hotmail.com

Tel : (02) 2290-1795, Fax : (02) 2291-1793

** 한양대학교 대학원 건축공학부, 박사과정

*** 한양대학교 건설연구소 연구원

**** 한양대학교 건축대학 건축공학부, 부교수

JIS의 경우 바닥충격음 측정용 표준 중량충격원으로 Impact ball을 개발하여 사용하고 있다. Impact ball에 대한 국내 공동주택에서 실제충격원(어린이 25kg)과 비교한 연구 결과[2] Impact ball 충격원이 실제충격원과 재현성, 사용 편리성, 유지보수 관리 등 많은 부분에서 기존의 중량충격원(Bang machine)보다 합리적인 것으로 나타났다. 중량충격원(Bang machine)은 바닥슬래브가 공진을 일으키기 쉬운 63Hz대역의 충격력이 커서 중량충격음 차단성능 레벨을 합리적으로 평가하지 못하는 것으로 나타났다[3].

본 연구에서는 경량충격음 저감을 위한 완충재를 적용할 경우의 중량충격음 차단성능 변화와 경량, 중량충격음 저감 방안을 조사하였으며, Impact ball을 활용한 바닥충격음 정방법의 개선 및 바닥충격음 평가등급의 보완방향을 제안하고자 한다.

2. 경량충격음

바닥마감재에 의한 경량충격음 차단성능을 확인하기 위하여 비닐계 바닥마감재, 목재 마루재와 다양한 완충재가 일체화되어 마감몰탈 상부에 시공하는 완충마루재를 대상으로 바닥충격음 차단성능을 조사하였다. 바닥충격음 차단성능은 30평형대 공동주택의 거실 및 안방에서 실시하였다. 이때 공동주택의 기본 구조는 마감재가 설치되지 않은 상태였으며, 천장틀+공기층20mm+슬래브150mm+(완충재10mm, 거실)+경량기포60mm+마감몰탈50mm로 구성되었다. 바닥충격음은 KS F 2810, 2863에 따라 측정, 평가되었다. 측정대상 마감재는 비닐계 마감재 2종, 완충마루재 3종을 대상으로 하였으며, 측정결과는 Table. 2에 나타내었다.

Table. 2 Impact sound pressure level of finishing materials

구분		경량(거실/안방, dB)	중량(거실/안방, dB)
비닐계 마감재	기본	60 / 68	55 / 57
	1	51 / 50	56 / 57
	2	52 / 50	56 / 56
완충 마루재	기본	64	56
	1	50	56
	2	50	56
	3	44	56

Table. 1에서와 같이 비닐계 마감재의 경우 경량충격음 평가 등급으로 약 3등급 수준으로 평가되었으나, 중량충격음 레벨은 비닐계 바닥마감재의 적용에 의해 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 10mm 완충재가 적용된 거실의 경우 완충재가 적용되지 않은 안방보다 경량충격음이 약 8dB낮게 나타났으나, 비닐계 마감재를 적용할 경우 경량충격음 레벨이 51~50dB로 나타나 비닐계 마감재만으로 경량충격음 저

감이 가능한 것으로 나타났다. 완충마루재의 경량충격음 레벨은 최대 2등급 수준으로 저감되며, 중량충격음 레벨의 변화는 없는 것으로 나타났다.

3. 중량충격음

3.1 바닥충격음 완충재와 중량충격음 레벨

바닥충격음 완충재 적용에 따른 중량충격음 차단성능을 조사하기 위하여 PE 등의 재료로 구성된 20mm 두께의 두 가지 바닥충격음 완충재를 30평형대 공동주택의 서로 다른 크기의 방3개소에 시공하였다.

적용된 바닥충격음 완충재의 동탄성 계수와 손실계수를 측정하여 Table. 3에 나타내었다. Table. 3에서와 같이 적용된 완충재 모두 표준바닥구조용 완충재의 성능평가기준의 동탄성계수와 손실계수의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

Table. 3 Dynamic stiffness and loss factor of floor impact isolation materials

	동탄성계수	손실계수
완충재1	21MN/m ²	0.17
완충재2	24MN/m ²	0.19

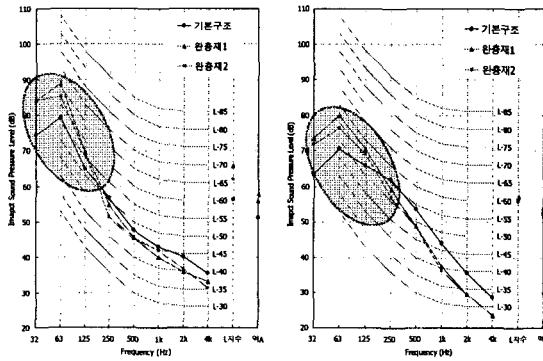
위의 두 가지 완충재를 적용하여 바닥충격음 레벨을 측정하였으며, 뱅 머신과 Impact ball을 사용한 중량충격음 측정 결과는 Table. 4와 Fig. 1에 각각 나타내었다. Fig. 1은 세 개방에서의 중량충격음 레벨의 평균 스펙트럼을 나타낸 것이다.

Table. 4 Heavy-weight impact sound pressure level of floating floor consisted of isolation materials

L _{i,Fmax,AW} [dB]		방1	방2	방3
Bang machine	기본구조	57	49	49
	완충재1	58	58	58
	완충재2	57	55	55
Impact ball	기본구조	55	51	51
	완충재1	54	54	54
	완충재2	52	51	51

Table. 4에서와 같이 표준바닥구조 완충재의 성능평가 기준에 부합하는 바닥충격음 완충재를 적용한 경우 뱅머신으로 평가한 중량충격음 레벨은 모두 증가되는 것으로 나타났다. Impact ball로 평가할 경우도 방1의 경우를 제외하고는 증가되는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 1에서와 같이 완충재 적용한 바닥구조의 경우 기본구조에 비해 250Hz 이상의 고주파 영역에서는 충격음이 감

소되었으나, 250Hz 이하의 저주파 영역에서는 오히려 증가하였으며 특히 63Hz 대역에서 가장 크게 증가되는 것으로 나타났다. 충격원에 따라 레벨 차이는 있으나 뱅 머신과 Impact ball로 측정한 경우 모두 동일한 것으로 나타나 완충재로 인해 바닥 구조의 동특성 즉 고유진동수 등의 변화에 기인하는 것으로 판단된다. 바닥충격음 완충재가 적용되지 않은 세대와 적용된 공간을 대상으로 표준충격원에 의한 바닥충격음과 진동 특성을 조사하였다.



(a) Bang machine

(b) Impact ball

Fig. 1 Heavy-weight impact sound pressure level

바닥충격음과 진동 측정은 상부층 바닥충격시 슬래브에 상, 하부에 설치된 진동센서와 직하실에 설치된 마이크로폰을 통해 동시에 측정하였다. 바닥충격진동 및 소음 측정 결과는 Fig. 2에 나타내었다.

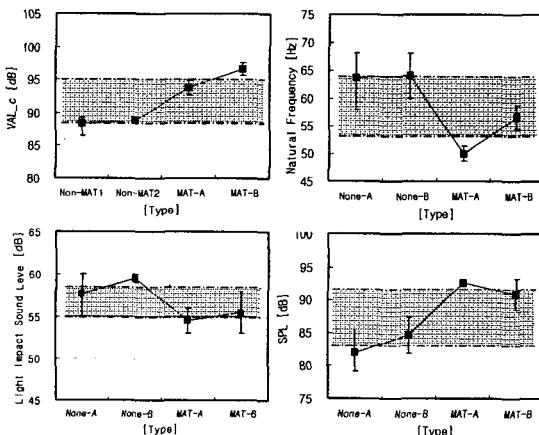


Fig. 2 Floor impact noise and vibration

Fig. 2에서와 같이 바닥충격음 완충재를 적용한 충격 슬래브 상부 및 하부면(직하실 천장)의 음압레벨과 진동 레벨을 완충재가 적용되지 않은 경우와 비교할 경우 음

압과 진동레벨 모두 증가하였다. 공진주파수의 경우 완충재 적용으로 인해 65Hz에서 50, 57Hz로 낮아지는 것으로 나타났다. 또한 완충재의 동탄성계수 측정결과와 비교할 경우 완충재의 동탄성계수가 증가할수록 음압레벨은 감소하지만, 고유진동수는 증가되는 것으로 나타났다. 완충재 적용에 따른 고유진동수의 변화와 바닥충격진동, 소음과는 매우 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 고유진동수가 증가할수록 바닥충격음 레벨과 진동 모두 감소하였으며, 이전의 연구[4]에서와 같이 수음실 천장의 진동레벨과 수음실에서의 바닥충격음레벨 사이에는 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.

또한 Fig. 2에서와 같이 완충재 적용시 경량충격음 레벨은 평균 3dB정도 감소하였으나, 중량충격음 레벨은 오히려 7dB증가하는 것으로 나타났다. 중량충격음 증가 현상은 완충재 적용에 따른 공진의 발생으로 Fig. 3에서와 같이 저주파 대역의 충격음이 증가되는 것으로 나타났다. 특히 저주파의 충격력이 지배적인 중량충격음은 단일수치 평가량도 증가되었으나, 중고주파 대역을 중심으로 저감되어 단일 수치 평가량이 저감되는 것으로 나타났다. 그러나 경량충격음의 경우도 Fig. 3에서와 같이 저주파 대역의 충격음이 다소 증가되는 것으로 나타나고 있다.

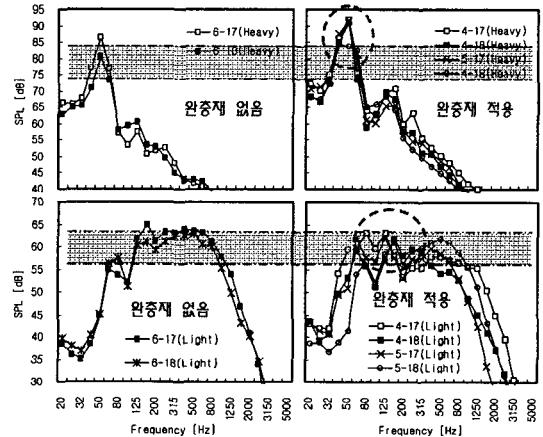


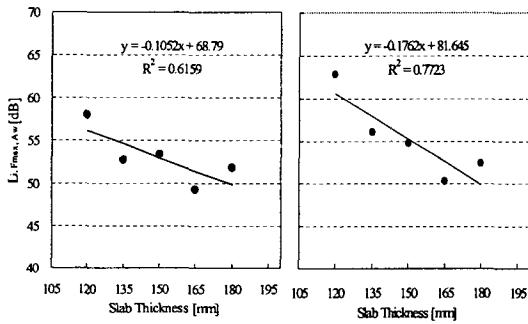
Fig. 3 Floor impact sound spectra with and without isolation material

표준바닥구조용 완충재의 성능평가 기준에 부합되는 완충재를 적용한 이상의 결과에서와 같이 바닥충격음 저감을 위해 완충재를 적용할 경우 경량충격음에는 효과적이지만 중량충격음에 대해서는 오히려 증가되는 현상이 발생하고 있다. 또한 중량충격음 저감은 표준바닥구조용 완충재 성능평가 기준 밖이라 하더라도 다양한 땜핑재료의 적용, 구조개선 및 구법 개발과 바닥충격음 차단성능 인정을 통해서만 가능한 것으로 사료된다.

3.2 중량충격음 저감

중량충격음 저감을 위해 현재 다양한 재료 개발 및 구조개선에 대한 연구가 수행되고 있으며 콘크리트 슬래브 두께 증가에 따른 중량충격음 저감이 제안되었다. 본 연구에서는 중량충격음 저감을 위해 콘크리트 슬래브 두께 증가, 차음마루, 차음천장을 조사하였다.

슬래브 두께 증가에 따른 중량충격음을 차단성능 변화를 조사하기 위하여 마감공사 전후의 공동주택을 대상으로 중량충격음을 측정하였다. 측정대상 공동주택은 22평형에서 69평형, 바닥 슬래브의 두께는 120mm에서 180mm의 범위에서 22개 평형 88개소를 선정하였다. 각 슬래브 두께별 측정결과 평균치를 Fig. 4에 나타내었다.



(a) Bang machine (b) Impact ball
Fig. 4 Impact sound pressure level according to the increasement of slab thickness

현재 KS 및 JIS에 규정된 뱡머신과 Impact ball을 대상으로 국내 공동주택에서의 충격음 특성을 측정한 결과 중량충격음(Bang machine)은 평균 53dB, Impact ball은 평균 54dB로 나타났다. 또한 바닥 슬래브 두께가 증가함에 따라 Fig. 4에서와 같이 바닥충격음레벨은 감소하는 것으로 나타났다. 슬래브 두께 15mm 증가에 따라 중량충격음은 약 1.6dB 감소되는 것으로 나타나 기존의 표준시험동에서의 슬래브 두께변화 연구[5]와 유사한 것으로 나타났으며, Impact ball 충격음은 약 2.6dB 정도 감소되는 것으로 나타났다. 뱡 머신을 사용한 중량충격음의 경우 측정대상 공간의 슬래브 면적에 따라 슬래브 두께 증가에 의한 저감량은 다소 차이가 있는 것으로 나타는데, 슬래브 면적이 작은 경우는 슬래브 두께 증가에 따른 저감량의 차이는 없는 것으로 나타났으며, 슬래브 면적이 넓어질수록 두께 증가에 의한 중량충격음 차단성능이 증가되는 것으로 나타났다. 그러나 Impact ball로 측정한 경우는 슬래브 면적에 관계없이 슬래브 두께증가에 따른 일정한 저감특성을 갖는 것으로 나타났다. Slab 두께 증가와 함께 Slab의 크기 및 공동주택 평

면형태에 의한 바닥충격음 차단성능 영향 조사도 필요하다

슬래브 두께 증가 및 완충재 등 저감 재료를 활용하는 방법은 신축 공동주택에는 적용이 용이하지만 기존 공동주택의 성능향상에는 무리가 있다. 따라서 기존 공동주택의 바닥충격음 차단성능 향상을 위해 차음마루 및 차음천장의 바닥충격음 차단성을 조사하였다.

차음마루는 중량충격음 저감을 목적으로 기존의 공동주택 슬래브(천장틀+공기층20mm+슬래브150mm+완충재10mm+경량기포60mm+마감몰탈50mm)에 흡음재와 중량충격음 저감용 접착재로 12mm 강화마루를 시공하였다. 차음천장은 기존의 슬래브 구조를 구성하는 천장재를 대신하여 두 가지 천장구조를 적용하였다. 기존의 목상구조에 Resilient channel과 흡음재, 석고보드를 적용한 구조와 경량철골(M-bar) 구조에 제진재+흡음재+차음재를 일체화한 재료를 마감재로 적용하는 구조를 적용하였다. 각 구조는 Fig. 5에 나타내었다.

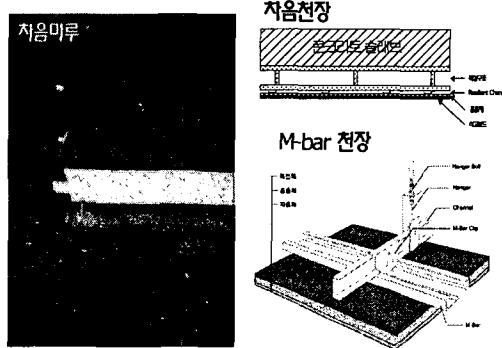


Fig. 5 Floor impact noise isolation wooden flooring and ceiling structures

차음마루와 차음천장의 바닥충격음을 측정결과는 Fig. 6과 같다. 차음마루의 경우 경량충격음은 5dB 저감되었으며, 중량충격음의 경우 이전의 마감재와는 달리 3dB 저감률을 나타내었다. 따라서 차음마루의 적용을 통해 기존 공동주택의 중량충격음 차단성능을 용이하게 향상 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

차음천장(목구조+Resilient channel)과 M-bar 천장(M-bar+제진제+흡음재+차음재)의 경우 경량충격음 차단성능은 평균 2dB 저감되는 것으로 나타났으며, 중량 충격음의 경우 평균 3dB 저감되었으며, 최대 5dB까지 저감되는 것으로 나타났다. 차음마루와 차음천장의 적용만으로 최대 5~6dB의 중량충격음 차단성능을 확보할 수 있는 것으로 판단되며, 차음천장과 차음마루는 기존 공동주택 바닥충격음 차단성능 향상은 물론 신축 공동주택의 중량충격음 차단 성능 향상에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

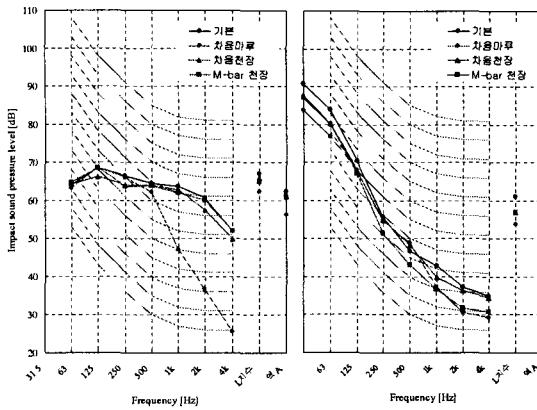


Fig. 6 Impact noise spectra of floor impact noise isolation wooden flooring and ceiling structures

또한 벽식구조 이외에 라멘 복합구조 공동주택에 대한 바닥충격음 측정결과[6] 기존의 벽식 구조 공동주택과 비교하여 우수한 성능으로 나타나, 벽식구조 공동주택의 구조개선 등의 방법이 중량충격음 차단성능 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

4. 바닥충격음 측정, 평가방법 개선

국내 벽식구조 공동주택에서 가장 문제가 되는 바닥충격음은 어린이들의 뛰노는 소리로 알려져 있다[7]. 따라서 합리적인 바닥충격음 차단구조의 성능 평가를 위해서는 실제 발생되는 충격원과 가장 유사한 충격원으로 측정하여야 한다. 경량충격원으로 사용되고 있는 Tapping machine의 경우는 어린이의 뛰노는 소리와 전혀 다른 특성을 나타내는 것으로 알려져 있어 경량충격원에 의한 바닥충격음 차단성능 평가는 국내의 주거환경을 잘 대변하지 못한다고 할 수 있다. 이러한 문제로 중량충격원 (Bang machine)이 개발되어 사용되고 있으나, 저주파 대역의 충격력이 과다하여 다양한 중량충격음 차단구조의 성능을 평가하기 어렵다. 일본의 경우 과다한 bang machine의 충격력에 의해 목구조주택의 구조적 피해를 우려하여 8세 25kg 어린이의 충격력을 재현하는 Impact ball을 개발하여 표준 중량충격원으로 사용하고 있다[8]. Impact ball은 국내 벽식구조 공동주택에서도 어린이의 뛰노는 소리의 특성을 가장 잘 재현 하는 것으로 나타났다[9].

또한 국내 벽식구조 공동주택 88개소의 경량, 중량충격음, Impact ball 충격음 레벨을 조사한 결과 Fig. 7에서와 같이 동일한 구조에서 측정된 중량충격음(Bang machine)의 범위 분포는 약 15dB이었으나, Impact ball 충격음 레벨은 21dB로 나타났다. 이는 동일한 구조에서 보다 넓은 레벨 분포를 갖는 변별력이 넓은 충격원으로 측정하는 방법을 통

해 측정오차에 의한 등급 결정 오류를 감소시킬 수 있다.

청감실험에 의해 바닥충격음 평가등급 연구 결과[10]에 의하면 Impact ball 충격음은 55dB, 중량충격음은 46dB 그리고 경량충격음은 56dB를 최하등급으로 하여 5dB 간격으로 하는 3개 등급을 제안하였다. 위의 청감실험에 의한 평가등급 결과를 Fig. 7의 측정결과와 비교할 경우 중량충격음 평가기준을 만족하는 것은 2개소에 불과하지만 Impact ball로 평가할 경우 기존의 벽식구조 공동주택은 2등급의 성능까지 분포하는 것으로 나타났다.

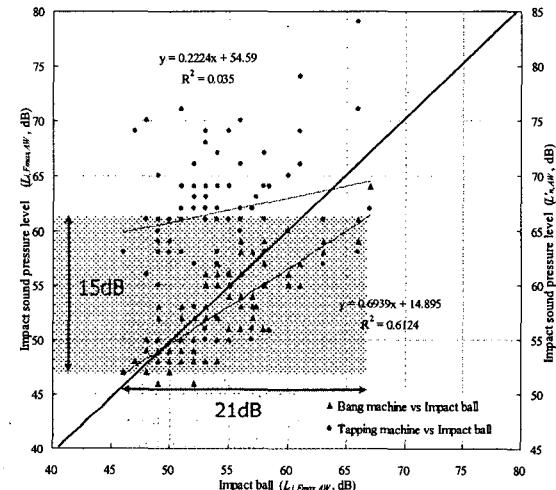


Fig. 7 Comparison of the impact sound levels of impact ball with bang and tapping machine

중량충격원의 높은 충격력은 측정시 충분한 음압레벨을 확보하기 위한 것으로 알려져 있으나, 벽식구조 공동주택에서의 Impact ball 충격음 레벨은 중량충격음 레벨과 동일하거나 다소 높은 수준으로 나타나는데 이는 63Hz 대역의 레벨은 중량충격음 레벨보다 낮으나, 125Hz 대역 레벨이 높기 때문으로 판단된다. Impact ball 충격음 레벨을 어린이의 충격음과 성인 충격음 레벨과 비교할 경우 어린이 충격음 보다는 다소 높지만, 성인 충격음 레벨보다는 낮다[11]. 따라서 Impact ball을 사용하여 바닥충격음을 측정하더라도 충분한 레벨이 확보되어 실제충격음의 특성을 재현하고 있으므로 측정결과에 대한 신뢰도를 높일 수는 방법이다.

5. 결론

현재 공동주택의 바닥충격음 저감을 위한 규제는 경량충격음에 대해서 우선 시행되고 있다. 경량충격음의 경우 실제 충격원의 특성과 상이한 충격원이며, 경량충격음이 재현하고 있는 하이힐 등의 충격음에 대한 발생빈도는 국내 공

동주택에서 거의 없다. 따라서 경량충격음에 대한 평가결과가 거주자의 반응과 잘 일치하는지에 대한 확인이 필요하다.

또한 현재 경량충격음 규제 기준시행과 함께 만족할 수 있는 표준바닥구조와 이를 구성하는 완충재에 대한 성능평가기준이 함께 제안되었으나, 완충재의 성능평가 기준을 만족시키는 완충재를 적용할 경우 250Hz이상의 중고주파대역의 충격음을 저감이 되나 125Hz이하 저주파 대역은 오히려 증가되는 것으로 나타났다. 특히 완충재를 적용한 경우 중량충격음레벨은 증가되는 것으로 나타났다. 따라서 공동주택에서 가장 문제가 되고 있는 중량충격음을 저감하기 위해서는 완충재 사용이외에 차음천장, 차음마루 등의 다양한 재료 및 구조개선이 필요하다. 또한 현재의 경량충격음 평가기준 및 관련 시방기준을 적용할 경우 중량충격음의 저감이 어려우므로 이에 대한 개선이 필요한 것으로 사료된다.

표준 충격원의 경우 기준의 뱅머신을 활용한 측정방법의 경우 63Hz이하 대역의 과다한 충격력으로 각 차단구조의 성능을 평가하고 이를 저감하기 위한 기술개발을 유도하는 것은 합리적이지 못한 것으로 판단된다. 중량충격음은 실제 충격원 특성 재현성이 높은 Impact ball을 활용하여 측정, 평가하는 것이 더 합리적인 것으로 판단된다.

마지막으로 바닥충격음 평가 등급 설정에 있어서도 향후 배경소음 등 주변 환경 변화, 거주자의 소음 민감도 등에 대한 보정 방법이 추가되어야 할 것으로 판단된다. 이와 함께 설정된 등급에 대한 거주자의 이해를 도울 수 있는 각 등급의 거주자 만족 % 등의 설명이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”(과제번호: 03-1-11-2-2002)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 건설교통부, 2004, “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”.
- (2) 정정호, 전진용, 2003, “바닥충격음 평가를 위한 Impact ball의 특성 및 주관적 반응”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 제1호, pp. 617~680.
- (3) 양관섭, 김경우, 이승언, 2004, “벽식구조 공동주택의 바닥충격음 특성”, 한국생활환경학회지, 제11권 제2호, pp. 98~104.
- (4) 서상호, 전진용, 2004, “충격력 변화에 따른 공동주택의 중량충격음 및 진동특성”, 춘계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp.304~307.
- (5) 김경우, 최경석, 최현중, 양관섭, 2004, “바닥충격음 저감방안에 따른 성능평가”, 한국소음진동공학회논문집, 제14권 제9호, pp.811~818.
- (6) 정정호, 송희수, 전진용, 2001, “라멘복합구조 공동주택의 바닥충격음 실태”, 춘계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp.308~311.
- (7) 김경호, 전진용, 2002, “공동주택에서의 바닥충격음 인지도 분석”, 한국생활환경학회지, 제9권 제2호, pp.160~165.
- (8) H. Tachibana, H. Tanaka, M. Yasuoka and S. Kimura, 1998, “Development of new heavy and soft impact source for the assessment of floor impact sound insulation of buildings”, Proceedings of Inter-noise 98.
- (9) J. Y. Jeon and J. H. Jeong, 2003, “Use of rubber ball impactor for floor impact noise evaluation”, Proceedings of WESPAC 8, CD-Rom.
- (10) 정정호, 2004, “바닥충격음의 주관적 평가에 의한 등급설정”, 한양대학교 박사학위 논문.
- (11) J. Y. Jeon and J. H. Jeong, 2004, “The use of impact ball in evaluating floor impact sound”, Proceedings of Inter-noise 2004, CD-Rom.