

임팩트 볼에 의한 바닥충격음 측정 및 평가 간편법

Simplified method on measurement and evaluation of floor impact sound using impact ball

김용희† · 이신영* · 전진용**

Yong Hee Kim, Sin Young Lee and Jin Yong Jeon

Key Words : Heavy-weight Impact Sound(중량충격음), Impact Ball(임팩트 볼), Sound Level Meter(사운드레벨미터)

ABSTRACT

In this study, simplified methods on measurement and evaluation of heavy-wight impact sound was proposed due to provide easy quality control method to construction engineers. The simplified methods include using of rubber impact ball instead of bang machine, reduced number of measuring and impact positions which is prescribed as over 4 points, using of hand-held sound level meter as a frequency analyser and prediction equation for $L_{i,Fmax,AW}$, single number rating, using L_{Amax} and L_{Lmax} at each frequency band. The results showed that a method of boundary driving and boundary measuring is the most similar to the current rating method.

1. 서 론

공동주택의 바닥충격음 차단성능을 사전에 확보하기 위해 표준바닥구조 또는 인정구조를 사용하도록 하는 경량충격음 및 중량충격음에 관한 규제가 2005년 6월부터 시행되었다⁽¹⁾. 따라서 공동주택 신축시에는 반드시 일정 성능 이상의 바닥충격음 차단성능(경량충격음 58dB 이하, 중량충격음 50dB 이하)을 확보하기 위해 검증된 구조로서 건교부 표준바닥구조 또는 공인 인정기관에서 인정받은 인정구조를 사용하여야 한다. 이것을 통해 설계값의 제한으로 건축허가서 서면으로 최소한의 성능을 확보하고 있다.

하지만 실제 시공시 품질관리 상태의 확인점검은 인정기관의 장에 의해서 필요에 따라 점검할 수 있게만 되어 있고, 시공사 자체적으로 품질을 관리하는 프로세스는 규제화되어 있지 않다. 시공 회사는 건축 중인 공동주택의 층간소음 차단성능이 얼마나 되는지에 대해 많은 관심을 가지고 있으나 현행 측정방법⁽²⁻³⁾이 음향관련 부설 기술연구소가 없는 경우 자체적으로 측정하기에는 장비 구입에 대한 비용 및 측정 절차, 평가 방법이 복잡하게 규정되어 있다.

따라서 본 연구에서는 건축기사가 건축 중인 공동주택

의 바닥충격음 차단성능을 손쉽게 측정하고 최종 평가량인 역 A특성 가중 바닥 충격음레벨(이하 $L_{i,Fmax,AW}$)를 예측하도록 간편화된 방법을 제안하고자 한다. 경량충격음은 최종 바닥 마감재에 의해서 크게 좌우되고, 현행 규제기준을 만족시키기 때문에, 공동주택 환경분쟁의 주이슈인 중량충격음의 측정 및 평가 방법에 대해서 간편법을 제안하고자 한다.

측정방법 간편화를 위한 제안요소로서 핸들링이 쉬운 가진원으로서 임팩트 볼의 제안, 가진 및 측정 개소 수의 변경, 측정위치의 표준화, 소형 사운드레벨미터의 이용을 고려하였고, 평가방법의 간편화를 위해 전주파수 대역의 L_{Amax} 값과 주파수대역별 L_{Lmax} 값을 이용한 예측식을 제안하였다.

2. 임팩트 볼

2.1 개요

현행 표준 중량 충격원으로 자동차용 타이어를 낙하시키는 기계인 뱅 머신(bang machine)을 이용하고 있다. 하지만 어린이의 달리기(running) 및 점핑(jumping)의 충격 특성을 재현하기 위해 개발된 뱅 머신이 실충격원과 차이가 있다는 문제제기에 따라 임팩트 볼(impact ball)이 ISO 140-11에 의해 새로운 표준 중량 충격원(목 구조에 한정)으로 규정되어, 이를 적용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁻⁴⁾ 특히 이평직 외 3인⁽⁷⁾은 실충격원과 비교를 통해 뱅 머신보다 임팩트 볼의 기계적 임피던스와 충격력이

† 한양대 건축환경공학과 석박사통합과정
E-mail : kimyonghee@gmail.com
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793

* 한양대 건축환경공학과 석사과정

** 한양대 건축대학 부교수

Table 1 중량충격원의 재원 비교 (Jeon의 3인⁽⁹⁾)

충량충격원	Impact Ball	Bang Machine
중량	볼 무게: 2.5±0.2kg	타이어: 7.3±0.2kg 뱅머신 총 무게: 20kg
측정인원	1인	2인
작업용이성	1 m 높이에서 자유낙하로 빠르고 쉬움	각 가진점별 타이어와 본체 조립, 전원연결, 바닥고정 등 복잡함
전원유무	필요 없음	필요함
자체소음	없음	모터 및 기어 소음
유지관리	필요 없음	타이어 공기압 체크, 모터 등 기계부속 관리
구조체 피해여부	없음	목구조에 피해
가진높이	보조도구의 이용	모터에 의한 회전반경 유지

실충격원과 유사함을 밝힌 바 있다.

임팩트 볼과 뱅 머신의 재원 및 측정에 따른 특징은 Table 1로 정리하였다. 뱅 머신의 장점은 전기모터를 이용한 자동화, 동일한 회전반경의 Arm을 이용한 가진 높이의 일정화를 들 수 있지만, 실제로는 무거운 타이어 및 본체를 가진 위치에서 조립하여, 전원을 연결하고, 바닥을 멈춤쇠로 고정하는 등 설치가 복잡하고, 이동이 불편하며, 과도한 충격력으로 목구조 건물의 경우 구조체에 피해를 유발할 수 있다. 또한 모터 및 Arm에 의한 금속 소음과 주기적인 타이어 공기압 체크의 필요성 등 측정 절차 및 유지관리가 복잡하다.

반면 임팩트 볼은 1명의 측정자에 의해 가볍게 수밀한 고무공을 떨어뜨리는 것이므로 전원 및 자체소음 등이 없으며 뱅 머신에 비해 가격이 저렴하기 때문에 현장에 쉽게 보급할 수 있다. 다만 수동적으로 떨어뜨리기 때문에 가진 높이를 일정화하기 위해서는 보조 도구를 사용하여야 하지만, 임팩트 볼의 사용으로 인해 가진원을 간편화할 수 있는 이점이 더 큰 것으로 사료된다.

3.2 임팩트 볼의 등급설정

뱅 머신과 임팩트 볼은 충격력 등의 물리적 특성이 다르기 때문에 이에 의해 평가된 바닥충격을 차단성능 평가값은 가진원에 따라 다르게 나타난다. Lee의 1인은⁽¹⁰⁾ 뱅 머신을 이용한 측정결과를 임팩트 볼 측정에 적용하기 위한 변환 지표에 대해 연구하였다.

하지만 63Hz가 강조되는 뱅 머신의 충격음과는 달리 125Hz가 강조되는 임팩트 볼의 충격음은 그 청감특성이 다르기 때문에 현 4등급으로 구분되어 있는 등급체계도 청감특성에 맞게 수정되어야 한다. 정정호 외 1인⁽⁸⁾과 Jeon 외 3인⁽⁹⁾은 임팩트 볼과 실충격원의 물리적 특성을 분석하여 유사성을 평가하였고, 청감실험을 통해 설정된 평가 등급을 제안하였다. Table 2는 피험자의 만족도비율에 의해 평가

Table 2 임팩트 볼의 충격음레벨($L_{i,Fmax,AW}$)과 만족도비율에 의해 평가된 주관적 평가등급과의 관계 (Jeon의 3인⁽⁹⁾)

Annoyance Group	Subjective Score	Scale 1	Scale 2	Scale 3	$L_{i,Fmax,AW}$ [dB]
		Noisiness	Disturbance	Amenity	
Not annoying	1	Hardly perceivable	At ease	Excellent	40
	2	Far-off noise	Not affected	Very fine	44
	3	Unconcerned	Undisturbed	Good	49
Annoying	4	Slightly heard	Detectable	Controllable	54
	5	Heard	Noticeable	Endurable	59
	6	Clearly heard	Discernable	Yielding	64
Very annoying	7	Noisy	Obvious	Unbearable	69
	8	Very noisy	Undoubted	Intolerable	74
	9	Extremely noisy	Serious	Let's move OUT!	79

Table 3 임팩트 볼을 이용한 중량충격음의 평가등급 (Jeon의 3인⁽⁹⁾)

	Class 1	Class 2	Class 3
Impact ball ($L_{i,Fmax,AW}$)	< 44 dB	< 49 dB	< 54 dB

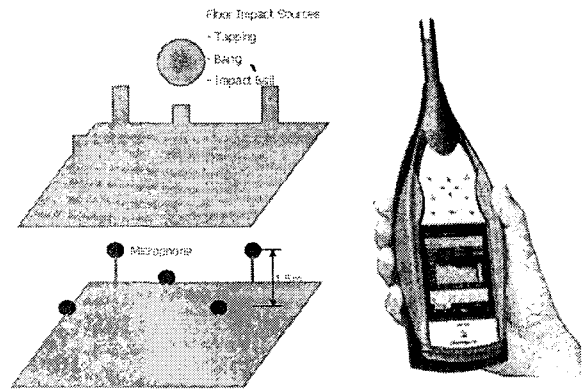


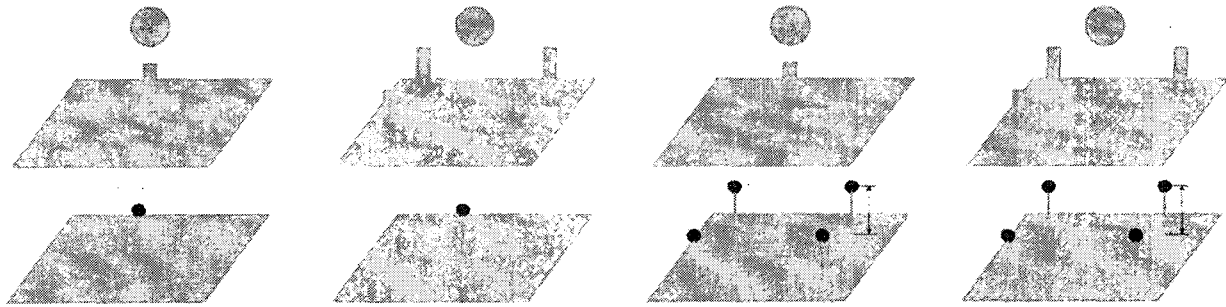
Fig. 1 측정 개요 및 사운드레벨미터

된 주관적 평가등급과 임팩트 볼의 충격음 레벨과의 관계를 나타내며, Table 3은 Jeon 외 3인⁽⁹⁾의 연구에서 최종 제안된 5dB 간격의 평가등급을 나타낸다.

3. 측정의 간편화

3.1 개요

현행 법규는 가진실에 있어 충격원의 설치지점으로 중앙점 부근 1점을 포함하여 3~5점으로 규정하고 있고, 수음



(a) 중앙 가진-중앙 수음 (b) 경계 가진 중앙 수음 (c) 중앙 가진-경계 수음 (d) 경계 가진-경계 수음

Fig. 2 가진점 및 수음점에 따른 4가지 측정 조건

실에 있어 4점 이상의 이산점에서 마이크로폰을 고정하여 최대음압레벨을 측정하도록 되어 있다.

하지만 고정 마이크로폰을 실시간 측정을 위해서는 고성능의 다채널 주파수 분석기가 요구되며 이것을 사용하기 위해서는 전문 지식과 노트북, 마이크로폰 등 고가의 장비가 요구된다. 따라서 다채널 주파수 분석기를 대신하여 쉽게 측정할 수 있는 손으로 들고 사용하는 사운드레벨미터를 이용하여 쉽게 측정하는 프로세스를 제안하고자 한다. 사운드레벨미터는 스펙트럼 분석이 가능한 고급형과 단순히 전주파수 대역 값을 보여주는 보급형으로 나눌 수 있으며, A특성 가중 하에 Fast 모드로 충격음의 최대값을 측정할 수 있다.

사운드레벨미터를 이용하게 되면 다채널로 측정할 수 없기 때문에, 측정 회수 및 지점 변화에 따라 시간이 많이 소요될 수 있다. 최소 3점에서만 가진하고 4점에서만 수음하더라도 총 12회의 측정이 요구되기 때문이다. 따라서 여기에서는 가진 지점 및 수음 지점에 따라 측정된 최대음압레벨(L_{Lmax} 와 L_{Amax})이 $L_{i,Fmax,AW}$ 와 어떤 관계를 갖는지 알아보고, 가장 효율적이고 효과적인 방법을 찾고자 한다.

측정결과 분석에 사용된 자료는 완충재가 설치되어 있지 않은 기존 공동주택 35개소에서 측정한 자료이며, 임팩트 불을 이용하여 측정하였다. 또한 가진점 및 수음점을 일정하게 유지하기 위해 Fig. 1과 같이 측정 지점을 중앙점과 측벽으로부터 75cm 떨어진 경계 각 4점으로 측정점을 한정하였다.

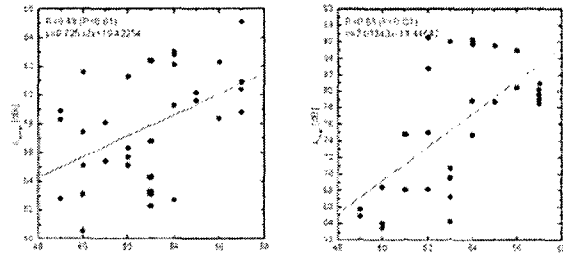
3.2 측정지점 조건 변화

측정점은 가장 큰 충격음을 발생시킬 것으로 예상되는 중앙점과 경계부 4점으로 구분하여 Fig. 2와 같이 4가지로 측정지점의 조건을 변화시켰다. 각 조건하에서 L_{Lmax} 와 L_{Amax} 의 $L_{i,Fmax,AW}$ 에 대한 관계를 상관관계 분석을 통해 알아보았다. 35개실의 $L_{i,Fmax,AW}$ 값은 47~57dB로 10dB의 범위를 보였다.

(1) 중앙 가진-중앙 수음

‘중앙부 가진과 중앙부 수음’ 조건에서 L_{Amax} , L_{Lmax} 값 모

두 $L_{i,Fmax,AW}$ 와의 상관계수가 0.48과 0.63으로 낮게 나타났다. L_{Amax} 의 범위는 16dB(50~66dBA), L_{Lmax} 의 범위는 26dB(61~87dB)이다. A가중 특성을 적용했을 경우 값의 범위가 $L_{i,Fmax,AW}$ 와 유사하게 나타났지만 편차가 큰 것으로 나타났다. 따라서 이 방법은 가진 및 수음 개소 수가 가장 적기 때문에 실제 활용이 매우 용이하지만, 바로 적용하기에 정확도가 낮은 것으로 나타났다.

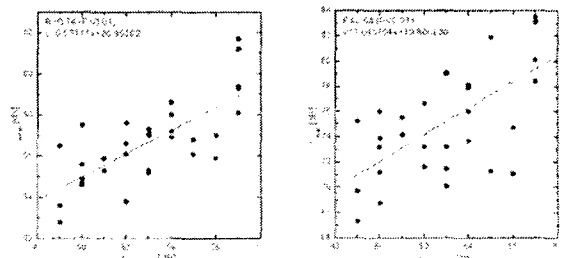


(a) L_{Amax} vs $L_{i,Fmax,AW}$ (b) L_{Lmax} vs $L_{i,Fmax,AW}$

Fig. 3 중앙부 가진과 중앙부 수음 시 평가량간의 관계

(2) 중앙 가진-경계 수음

‘중앙부 가진과 경계부 수음’ 조건에서 L_{Amax} , L_{Lmax} 값 모두 $L_{i,Fmax,AW}$ 와의 상관관계가 0.45와 0.24로 매우 낮게 나타났다. L_{Amax} 의 범위는 15dB(50~65dBA), L_{Lmax} 의 범위는 20dB(72~92dB)이다. 가진 개소수는 적지만 수음지점이 4개로 많고 정확도도 낮기 때문에 적용하기에 무리가 있는 조건인 것으로 사료된다.

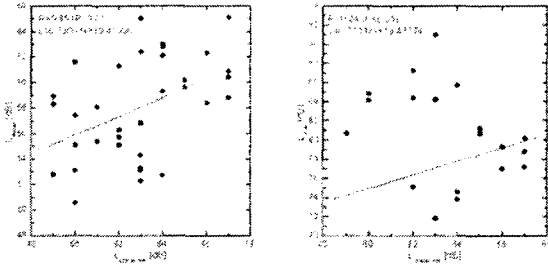


(a) L_{Amax} vs $L_{i,Fmax,AW}$ (b) L_{Lmax} vs $L_{i,Fmax,AW}$

Fig. 5 중앙부 가진과 경계부 수음 시 평가량간의 관계

(3) 경계 가진-중양 수음

‘경계부 가진과 중양부 수음’ 조건에서 L_{Amax} , L_{Lmax} 값 각각 $L_{i,Fmax,AW}$ 와의 상관계수가 0.74와 0.64로 나타났다. L_{Amax} 의 상관도가 다소 높고, 편차가 작은 편인 것으로 나타났다. L_{Amax} 의 범위는 11dB(51~62dBA), L_{Lmax} 의 범위는 19dB(65~84dB)이다. 가진 개소수는 많지만 수음지점이 중양부 1개이기 때문에 A가중 특성을 적용하였을 경우 정확도가 보다 확보되면 실제 현장평가에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

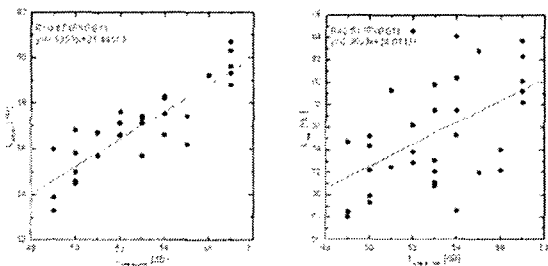


(a) L_{Amax} vs $L_{i,Fmax,AW}$ (b) L_{Lmax} vs $L_{i,Fmax,AW}$

Fig. 4 경계부 가진과 중양부 수음 시 평가량간의 관계

(4) 경계 가진-경계 수음

‘경계부 가진과 경계부 수음’ 조건에서 L_{Amax} , L_{Lmax} 값 각각 $L_{i,Fmax,AW}$ 와의 상관관계가 0.87과 0.51로 나타났다. ($p < 0.01$) L_{Amax} 와의 상관도는 다른 조건에 비해 매우 높은 것을 알 수 있으며, 편차도 2~3dB로 크지 않은 것으로 나타났다. L_{Amax} 의 범위는 9dB(53~61dBA), L_{Lmax} 의 범위는 16dB(68~84dB)이다. 가진 개소수와 수음지점 모두 많으며 법규에서 규정한 중양부 가진이 포함되어 있지 않기 때문에 실제 적용에는 어려움이 있으나 A가중 특성을 적용하였을 경우 정확도가 가장 높게 나타났다.



(a) L_{Amax} vs $L_{i,Fmax,AW}$ (b) L_{Lmax} vs $L_{i,Fmax,AW}$

Fig. 6 경계부 가진과 경계부 수음 시 평가량간의 관계

3.3 소결

35개 공동주택의 측정결과를 이용하여 가진 및 수음지점 변화에 따라 전주파수대역의 L_{Amax} 와 L_{Lmax} 단일값으로 $L_{i,Fmax,AW}$ 를 예측하고자 하였다. 그 결과 ‘경계부 가진-경계부 수음’의 L_{Amax} 값이 가장 상관 계수가 높고 편차가 작은 것으로 나타났다.

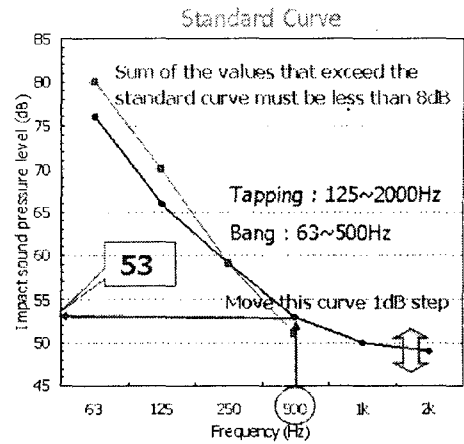


Fig. 7 역 A특성 곡선을 이용한 평가방법

4. 평가의 간편화

4.1 개요

측정 개소수를 줄이고자 하는 목적에서 L_{Amax} 와 L_{Lmax} 만으로는 충분히 $L_{i,Fmax,AW}$ 를 예측할 수 없었다. 여기에서는 ‘중양부 가진과 중양부 수음’이라는 가장 간단한 측정조건에서 주파수대역별 스펙트럼 분석이 가능한 사운드레벨미터를 이용하여 $L_{i,Fmax,AW}$ 를 예측하고자 하였다.

현행 평가 방법은 Fig. 7과 같이 3~5지점 가진에 따른 4지점이상의 수음 결과를 1/1 옥타브 밴드 주파수대역별로 L_{Fmax} 를 분석하여 이를 역A특성 곡선에 대입하여 스펙트럼이 기준곡선의 8dB를 초과할 때의 최대 역A특성 곡선의 500Hz값으로 단일수치 평가량을 규정하고 있다. 이것은

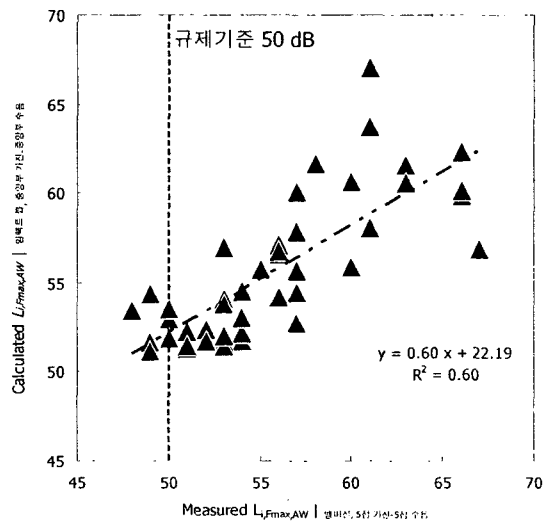


Fig. 8 뱅머신으로 측정된 ‘5점 가진-5점 수음’의 단일수치 평가량과 임팩트블로 계산한 ‘중양부 가진-중양부 수음’의 단일수치 평가량과의 관계

데이터 가감을 통해 찾아지는 값으로서 현장에서 수계산을 통해 구하기는 어려운 평가량이다.

한편 이전 연구에서 벽식 구조의 공동주택 84개소에서 뱁머신으로 측정된 주파수 대역별 측정값을 이용하여 임팩트 볼로 측정된 단일수치 평가량을 예측하였다.⁽¹⁰⁾ 이때의 주파수 대역별 L_{Fmax} 값은 중앙부 측정값으로 중앙부의 역A값을 예측하는 회귀식을 제안하였다. (R=0.93 전체) 여기에서는 중앙부의 주파수 대역별 L_{Fmax} 를 통해 5점 가진 및 5점 수음에 따른 단일수치 평가량을 회귀분석을 통해 평가하였다.

4.2 회귀분석

45개 지점의 공동주택 바닥충격을 측정결과를 토대로 임팩트 볼에 의해 측정된 ‘중앙부 가진-중앙부 수음’ 조건의 1/1 옥타브 밴드 주파수 대역별 L_{Fmax} 를 이용하여 (63~500Hz) 뱁머신으로 측정된 ‘5점 가진-5점 수음’ 조건의 단일수치 평가량($L_{i,Fmax,AW}$)을 다음식과 같이 예측하였다.

$$L_{i,Fmax,AW} \text{ 뱁머신} \approx a_1 L_{max} | 63Hz + a_2 L_{max} | 125Hz + a_3 L_{max} | 250Hz + a_4 L_{max} | 500Hz \text{ (임팩트 볼)} + c$$

여기서 상수 $c=-0.037$ 이고, 계수 $a_1=-0.015$, $a_2=0.113$, $a_3=0.684$, $a_4=0.111$ 이다. ($R^2=0.60$) 주파수 대역별 4개의 독립변수 중 250Hz의 L_{Fmax} 가 가장 높은 기여도를 보였다.

본 회귀식의 예측력은 그다지 높지 않게 나왔지만, 1개소의 가진점과 수음점을 통해 예측한 값임에도 불구하고 이전 장의 L_{Amax} 와 L_{Lmax} 보다 높은 상관관계를 보였다는데 의의가 있다. Fig. 8은 ‘5점 가진-5점 수음’시 뱁머신의 $L_{i,Fmax,AW}$ 와 ‘중앙부 가진-중앙부 수음’시 임팩트 볼을 통해 예측된 평가량의 관계를 나타낸다.

5. 토의 및 결론

본 연구에서는 공동주택 바닥의 중량충격음 차단성능 측정 및 평가 방법을 간편화하여 건설 현장에서 적용하여 품질관리를 자체적으로 실시할 수 있는 쉬운 방법으로 제안하고자 하였다.

표준 중량 충격원을 간편화하기 위해서 뱁머신 대신 임팩트 볼을 사용할 것을 제안하였다. 뱁머신만이 현재 KS에 표준 중량충격원으로 규정되어 있지만, 어린이의 달리기 및 점핑 등의 실충격원을 과다하게 재현하고 있고, 다루기 어렵기 때문에 손쉽게 측정할 수 있는 임팩트 볼을 사용하고 자 하였다.

측정 방법에 관해서는 측정 개소수를 축소하고자 하였으며 이에 따라 ‘중앙부 가진-중앙부 수음’의 가장 간단한 경우와 ‘경계부 가진-경계부 수음’의 가장 복잡한 경우에서 L_{Amax} 와 L_{Lmax} 값을 이용하여 $L_{i,Fmax,AW}$ 값을 예측하고자 하였다. ‘경계

부 가진-경계부 수음’의 경우가 가장 상관도가 높았지만 측정개소가 가장 많았기 때문에 단일한 전주파수대역의 L_{Amax} 와 L_{Lmax} 값만으로는 효율적인 예측이 불가능하였다.

따라서 평가 방법으로서 임팩트 볼을 이용하여 측정된 ‘중앙부 가진-중앙부 수음’ 시의 주파수 대역별 L_{Fmax} 값을 이용하여 뱁머신으로 측정된 ‘5점 가진-5점 수음’의 $L_{i,Fmax,AW}$ 값을 예측하고자 하였다. 그 결과 0.60의 결정계수로 예측할 수 있었으며, 주파수 대역별 L_{Fmax} 값 중 250Hz의 기여도가 가장 높은 것으로 나타났다.

앞으로 효율적이고 정확한 중량충격음 차단성능 측정 및 평가방법으로 발전시키기 위해서 보다 많은 측정지점 자료의 수집과 각 측정 지점의 특성(예, 평수, 구조 등) 등을 반영한 연구를 진행하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부 “표준화 기술개발사업” (과제번호 : 10023489)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 건설교통부고시 제2005-189호, 2005, “공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준”
- (2) KS F 2810-2, 2001 “바닥 충격음 차단 성능 현장 측정 방법 - 제2부 : 표준 중량 충격원에 의한 방법”
- (3) KS F 2863-2, 2002 “건물 및 건물 부재의 바닥 충격음 차단 성능 평가 방법 - 제2부 : 표준 중량 충격원에 대한 차단 성능”
- (4) J. Y. Jeon and J. H. Jeong, 2004, “The use of impact ball in evaluating floor impact sound”, Proceedings of Inter-noise 2004
- (5) 정정호, 전진용, 2004, “바닥충격음 평가를 위한 impact ball의 특성 및 주관적 반응”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 제1호, pp. 617~680.
- (6) M. Tanaka and T. Murakami, 2005 “A study on the standardized heavy and soft impact source for the measurement of floor impact sound pressure level” Symposium of the floor impact sound studies
- (7) 이평직, 정정호, 전진용, 박준홍, 2005 “표준충격원과 실충격원의 특성 비교”, 한국소음진동공학회 추계학술발표대회
- (8) 정정호, 전진용, 2005, “임팩트 볼을 활용한 바닥충격음 측정 및 평가”, 한국소음진동공학회논문집 제15권 제10호, pp.1160-1168
- (9) J. Y. Jeon, J. K. Ryu, J. H. Jeong, H. Tachibana, 2006, “Reviews of the impact ball in evaluating floor impact sound”, Acta Acustica 92(5), pp. 777-786
- (10) P. J. Lee, J. Y. Jeon, 2006, “The conversion of heavy-weight floor impact sound levels generated by standard sources” WESPAC 9