Check for updates

Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng., 36(5) : 449~457, 2026
https://doi.org/10.5050/KSNVE.2026.36.5.449

한국소음진동공학회논문집 제 36 권 제 5호, pp. 449~457, 2026
ISSN 1598-2785(Print), ISSN 2287-5476(Online)

경량바닥충격음 평가방법에 따른 단일수치 평가지표의 주파수 의존성 비교: ISO, JIS 및 ASTM을 중심으로

Comparison of the Frequency Dependence of Single-number Rating Methods for Lightweight Floor Impact Sound: ISO, JIS, and ASTM

김 경 우* · 정 진 연†
Kyoung-Woo Kim* and Jin-Yun Chung†

(Received July 8, 2026 ; Revised August 19, 2026 ; Accepted August 19, 2026)

Key Words : Lightweight Floor Impact Sound(경량바닥충격음), Evaluation Indicators(평가지표), Frequency Dependence(주파수 의존성)

ABSTRACT

Single-number rating methods for the floor impact sound facilitate performance comparison among floor systems and compliance assessment by converting frequency-dependent measurement data into a single representative value. In this study, the characteristics of six floor impact sound rating methods, namely ISO ($L'_{nT,w}$), JIS, ASTM ($L'_{nT,w}$), IIC, HIIC, and LIIC, were compared for lightweight floor impact sound using descriptive statistics correlations, and analysis of machine learning-based feature importance. The findings demonstrate that although identical impact sound measurement data were analyzed, the frequency characteristics reflected by each single-number rating method differed, leading to variations in the evaluated insulation performance. The highest frequency dependence was observed at 200 Hz for ISO ($L'_{nT,w}$), 100 Hz for ASTM ($L'_{nT,w}$) and IIC, 1600 Hz for HIIC, and 63 Hz for LIIC.

1. 서 론

공동주택은 국내 주거형태의 대부분을 차지하고 있으며, 실내 쾌적성 확보는 거주자의 생활 편의성과 주거 환경의 질을 결정하는 중요한 요소이다. 그러나 공동주택의 고층화 및 고밀화가 진행됨에 따라 층간 소음 문제가 지속해서 증가하고 있으며, 이는 주민 간 갈등과 사회적 비용을 유발하는 주요 원인으로 지적되고 있다. 특히 바닥충격음은 발생 빈도가 높고 거주자의 불쾌감 및 생활 만족도에 직접적인 영향을 미치기 때문에 공동주택 음환경 성능을 확보하기 위해서 반드시 고려해야 하는 항목이다.

주파수별로 측정된 바닥충격음레벨은 평가방법에 따라 단일수치평가량(single number quantity, SNQ)으로 계산할 수 있다. 평가방법으로는 국제표준인 ISO[1], 한국표준 KS[2], 일본 JIS[3], 미국 ASTM 있으며[4], 평가방법은 다소 차이점을 가지고 평가지표도 다르게 표현하고 있다.

이러한 지표들은 주파수별 측정 결과를 하나의 수치로 환산함으로써 제품 간 성능 비교 및 기준 적합성 평가를 쉽게 한다. 그러나 단일수치평가방법은 여

† Corresponding Author ; Member, Korea Conformity Laboratories, Researcher
E-mail : jinyun97@gmail.com
* Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Researcher

‡ Recommended by Editor Joo Young Hong
ⓒ The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

러 주파수 대역의 특성을 하나의 값으로 축약하는 과정에서 특정 주파수 대역의 영향이 과대 또는 과소 반영될 수 있다는 한계를 가진다[5].

동일한 단일수치평가량이라 할지라도 거주자들의 주관적 반응에는 차이가 있다는 다수의 연구에서 알 수 있듯이 단일수치만으로 그 성능을 평가하는 것은 충분하지 않다[6,7]. 경량바닥충격음 평가를 위해 $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w}$ 등이 사용되고 있으며, ASTM에는 저주파 특성을 강조하는 LIIC(low-frequency impact insulation class)와 고주파 특성을 강조하는 HIIC(high-frequency impact insulation class)와 같은 평가방법이 같이 적용되고 있다.

기존의 연구는 주로 평가방법 간 상관관계 비교 또는 평가값의 단순 비교에 초점을 맞추고 있으며[8,9], 각 평가방법이 실제로 어떤 주파수대역의 영향을 받는지에 대한 정량적 분석은 상대적으로 부족한 실정이다. 동일한 충격음 스펙트럼을 사용하더라도 평가방법에 따라 서로 다른 결과가 산정될 수 있으며, 이는 각 평가방법이 반영하는 주파수 특성이 상이하기 때문이다. 따라서 단일수치평가방법의 주파수 의존성(상관성)을 분석하고, 각 평가방법의 특성을 객관적으로 비교할 필요가 있다.

이 연구는 경량바닥충격음을 대상으로 ISO, JIS, ASTM, IIC, HIIC 및 LIIC 평가지표를 기술통계 분석, 상관분석 및 머신러닝 기반 변수 중요도 분석을 수행하여 평가방법별 특성을 비교하였다. 연구 결과를 토대로 공동주택 바닥충격음 평가체계의 개선 및 보완을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 경량바닥충격음 평가지표

2.1 ISO 표준

경량바닥충격음 평가지표로 측정된 충격음레벨이나 잔향시간 또는 흡음면적이 보정된 레벨($L'_{nT,w}$, $L'_{n,w}$)을 사용하고 있다. ISO 표준을 부합화하여 KS를 제정하였다. 단일수치평가량은 1/3 옥타브 측정 결과를 바탕으로 100 Hz ~ 3150 Hz의 기준곡선(Table 1) 값을 초과하는 값의 총 합이 32 dB 이하가 되도록 조정하여 500 Hz의 값을 읽어서 표기한다[1]. 하지만 곡선을 상회하는 주파수별 최대 초과값에 대한 규정은 없다. 기준곡선은 1/1옥타브 대역도 제시하고 있으며, 어느 옥타브 대역을 선택해도 무방하다. 저주파수 대역의 측정이 필요한 경우에는 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz를 포함할 수 있으며, 확장 주파수 범위에 대한 스펙트럼 조정항($C_{I,50\sim2500}$)을 계산하여 표기할 수 있다.

2.2. ASTM 표준

(1) Impact Insulation Class(IIC)

ASTM의 평가방법은 ISO와 동일한 기준곡선을을 사용하여 평가하지만 기준곡선을 초과하는 주파수별 최대값은 8 dB 규정이 있으며, 전체 합은 32 dB 이하여야 한다. 주파수별 8 dB를 초과해서는 안되기 때문에 동일한 측정결과라 할지라도 ISO 표준에 따른 단일수치평가량과는 차이를 보일 수 있다.

Impact insulation class(IIC)는 실험실 측정결과, apparent impact insulation class(AIIC)는 현장측정결과를 단일수치로 표현한 값을 의미한다. 기준곡선을 통해 계산된 값(예, $L_{n,w}$)을 110 수치에서 뺀 값이 IIC 값이 된다. 예를 들어 기준 곡선을 통한 $L_{n,w}$ 값이 61 dB이라고 하면, IIC = 110 - 61 = 49 dB이 된다(Fig. 1)[4]. IIC는 충격음레벨이 아닌 차단성능을 표시하는 것으로 값이 높은 것이 충격음레벨이 낮음을 의미한다.

(2) High-frequency Impact Insulation Class(HIIC)

ASTM에는 바닥충격음 성능을 저주파수와 고주파

Table 1 Reference values for impact sound

Frequency [Hz]	Reference values [dB]	
	One-third-octave bands	Octave bands
100	62	
125	62	67
160	62	
200	62	
250	62	67
315	62	
400	61	
500	60	65
630	59	
800	58	
1000	57	62
1250	54	
1600	51	
2000	48	49
2500	45	
3150	42	

수 대역을 분리하여 추가 분석가능하다. HIIC는 고주파수의 저감성능만을 분석하기 위한 것으로 1/3옥타브 대역 400 Hz ~ 3150 Hz의 범위에서만 평가하는 방식이다[10]. IIC 기준곡선에서 400 Hz 이상을 사용하기 때문에(Fig. 2) 기준곡선을 초과하는 측정 결과의 합은 20 dB 이하여야 하며, IIC 평가와는 다르게 각 주파수를 초과하는 값의 한계인 8 dB은 적용하지 않는다.

(3) Low-frequency Impact Insulation Class(LIIC)

LIIC는 저주파수 대역의 차단성능을 평가하기 위한 것으로 식 (1)에 따라 구한다. 대상 주파수 범위는 1/3옥타브 중심주파수 63 Hz 대역인 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz만 분석한다. LIIC를 분석하기 위해서는 저주파수를 포함하여 측정하여야 한다.

$$\mathrm{LIIC} = 190 - 2 \cdot 10\log\left(\sum_{f=50}^{f=80} 10^{\frac{L_n(f)}{10}}\right) \quad (1)$$

$L_n(f)$ = the normalized sound pressure level L_n at frequency band f.

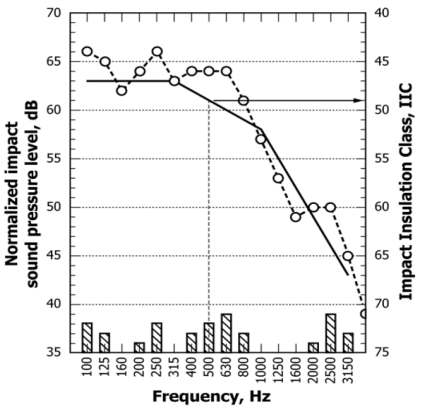


Fig. 1 Reference contour fitted to a measurement

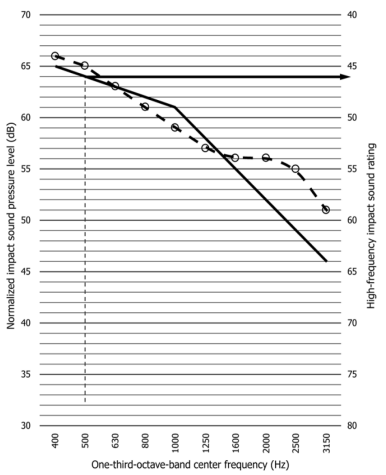


Fig. 2 Example Calculation of HIIC

2.3. JIS

일본 JIS A 1419-2 부속서 1에서 규정하고 있는 바닥충격음 차단성능의 등급곡선을 나타낸다[3]. 다른 표준과는 다르게 1/1 옥타브 대역을 적용하여 L 등급을 산정한다. 등급곡선은 5 dB 간격으로 등급을 계산하지만 이 연구는 1 dB 간격으로 L-지수를 계산하여 분석하였다. Fig. 3은 기준 곡선을 나타낸다.

3. 분석 방법

경량바닥충격음 평가지표들 간의 상관성을 분석하기 위하여 공동주택 현장에서 측정된 50개 데이터셋을 사용하였다. 바닥구조는 슬래브 두께 210 mm 상부에 완충재나 완충층이 구성되고 기포콘크리트, 마감모르터가 시공된 구성을 가지고 있다.

측정된 결과는 잔향시간이 보정된 표준화 충격음 레벨($L'_{nT,w}$)을 기본으로 설정하고 이 데이터를 ISO,

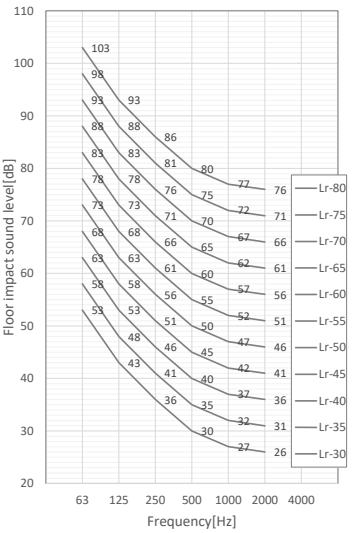


Fig. 3 Frequency characteristics and ratings (L rating curves), octave bands

JIS, ASTM 표준에서 정하고 있는 평가방법으로 단일수치평가량을 구하였다. ISO($L'_{nT,w}$), JIS는 L-지수, ASTM의 $L'_{nT,w}$, IIC, HIIC, LIIC의 총 여섯 가지 평가지표를 대상으로 분석을 실시하였다. 이 데이터셋을 사용하여 일반적인 기술통계량 및 boxplot 분석을 통해 평가값의 분포 특성과 변별력을 검토하였다. 이후 Pearson 상관분석을 통해 각 평가방법과 주파수대역 간의 선형관계를 분석하였으며, random forest 기반 변수 중요도 분석을 통해 평가값 결정에 기여하는 주요 주파수 대역을 도출하였다. 이를 통해 각 단일수치평가방법이 반영하는 주파수 의존성을 분석하고, 주파수 대역 전체를 평가하는 방법과 특정 주파수 대역을 평가하는 방법의 차별성을 분석하였다.

4. 분석 결과

4.1 기술 통계 분석

Table 2는 50개의 시험 데이터를 대상으로 ISO($L'_{nT,w}$), JIS(L-지수), ASTM($L'_{nT,w}$), IIC, HIIC 및 LIIC의 6개 평가지표에 대한 기술통계량을 나타낸다. 각 평가지표의 평균(mean), 표준오차(standard error), 중앙값(median), 표준편차(standard deviation), 분산(variance), 범위(range), 최소값(minimum) 및 최대값(maximum)을 산출하여 자료의 중심경향과 산포 특성을 비교하였다.

전체적으로 ISO($L'_{nT,w}$), JIS(L-지수) 및 ASTM($L'_{nT,w}$)의 평균은 각각 34.0 dB, 38.8 dB 및 35.9 dB로 나타났으며, IIC, HIIC 및 LIIC의 평균은 각각 74.1, 80.0 및 82.0으로 계산되었다. 또한 모든 평가지표에서 평균과 중앙값의 차이가 매우 작게 나타나 자료가 특정 방향으로 크게 치우치지 않은 비교적 대칭적인 분포를 갖는 것으로 판단된다. 이는 일부 극단값에 의해 평균이 크게 영향을 받지 않았음을 의미하며, 전체 데이터가 안정적인 분포 특성을 보이고 있음을 시사한다.

자료의 표준편차는 LIIC를 제외한 나머지 지표에서 4.0 ~ 4.9로 유사한 수준을 보였으나, LIIC는 8.5로 가장 크게 나타났다. 또한 분산은 72.1로 다른 평가지표보다 약 3배 ~ 4배 높은 값을 나타냈다. 이는 LIIC가 다른 평가방법에 비해 바닥구조의 저주파수 성능을 분석하는 것이기 때문에 저주파수의 변동성이 크다는 것을 의미한다.

이러한 특성은 데이터 범위에도 잘 나타난다. LIIC가 저주파 충격음 특성을 평가하는 과정에서 바닥구조의 성능 차이를 효과적으로 구분할 수 있는 평가방법이 될 수 있음을 시사한다. 다른 지표에 비하여 LIIC는 29.6으로 가장 넓은 범위를 보였으며, 최소값은 67.2, 최대값은 96.8로 나타났다. 이러한 결과는 LIIC가 다른 평가지표보다 측정값 분포 범위가 넓어 다양한 바닥구조의 충격음 성능을 보다 세밀하게 구분할 수 있음을 보여준다.

Fig. 4는 각 단일수치평가방법의 분포 특성을 상자 그림으로 나타낸 것이다. ISO($L'_{nT,w}$), JIS(L-지수) 및 ASTM($L'_{nT,w}$)은 비교적 유사한 분포 형태를 나타냈으며, 평균값과 중앙값의 차이가 크지 않아 대체로 대칭적인 분포 특성을 보였다. 또한 사분위 범위(IQR)가 상대적으로 좁게 나타나 측정 대상 간의 성능 차이가 크지 않은 것으로 분석되었다.

IIC와 HIIC는 ISO($L'_{nT,w}$) 및 ASTM($L'_{nT,w}$) 보다 높은 평가값 범위를 나타냈으나, 분산 특성은 비교적

Table 2 Descriptive Statistics

	ISO ($L'_{nT,w}$)	JIS (L-index)	ASTM ($L'_{nT,w}$)	IIC	HIIC	LIIC
Mean	34.0	38.8	35.9	74.1	80.0	82.0
SE	0.60	0.57	0.69	0.69	0.60	1.2
Median	34	39	36	74	80	81.7
SD	4.2	4.0	4.9	4.9	4.2	8.5
Variance	18.0	16.1	23.9	23.9	17.9	72.1
Range	17	17	18	18	18	29.6
Min	26	31	27	65	71	67.2
Max	43	48	45	83	89	96.8

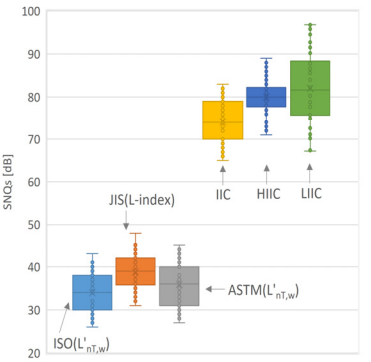


Fig. 4 Box-and-Whisker Plot of SNQs

안정적으로 유지되었다. 반면 LIIC는 가장 넓은 사분위 범위와 전체 분포 범위를 나타냈으며, 최소값과 최대값의 차이 또한 가장 크게 나타났다. LIIC는 저주파수 범위인 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz 저주파 충격음 성능을 평가하는 지표이기 때문에 충격음의 저주파수 변동성을 포함한 결과로 판단되며, 측정 대상 간 저주파 충격음 성능 차이를 보다 민감하게 반영한 결과로 판단된다.

4.2 회귀분석

Fig. 5 ~ Fig. 8은 평가지표들 간의 선형회귀분석 결과를 나타낸다. 대부분의 지표에서 유의한 상관관계가 확인되었으나 결정계수(R^2)는 평가방법에 따라 차이를 보였다. Fig. 5의 ISO($L'_{nT,w}$)와 ASTM($L'_{nT,w}$) 회귀분석은 결정계수가 0.84로 높은 값을 보이고 있으며, 거의 비례적인 선형관계를 갖는 것으로 나타났다. ISO($L'_{nT,w}$)와 ASTM($L'_{nT,w}$)은 동일한 기준곡선을 사용하고 다만 각 주파수별로 기준곡선을 초과하는 값 8 dB의 적용 유무에 따라 달라지는 것으로 두 지표간의 결정계수가 높은 것은 당연한 결과로 볼 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7에서도 선형관계를 가지는 것으로 나타났으나 ISO 평가지표가 ASTM($L'_{nT,w}$) 보다 JIS 평가지표에 보다 더 높은 결정계수를 갖는 것으로 분석되었다. ASTM($L'_{nT,w}$)과 JIS(L-지수)는 다른 기준곡선과 주파수 가중방식을 적용하기 때문에 두 지표간의 차이가 크다는 것을 의미한다.

Fig. 8은 ISO($L'_{nT,w}$)와 IIC, HIIC, LIIC의 회귀분석 결과이며, 음(-)의 기울기로 나타난다. ISO($L'_{nT,w}$)는 충격음레벨이며, IIC, HIIC, LIIC는 차단성능을 의미하기 때문에 음의 선형관계를 가진다. ISO($L'_{nT,w}$)와 ASTM($L'_{nT,w}$), ISO($L'_{nT,w}$)와 IIC는 동일한 결정계수

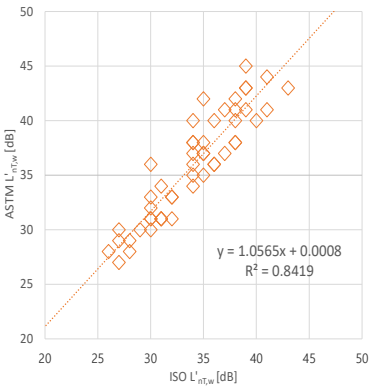


Fig. 5 Regression analysis ISO ($L'_{nT,w}$) vs ASTM ($L'_{nT,w}$)

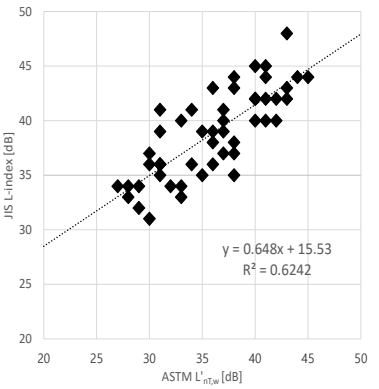


Fig. 7 Regression analysis ASTM ($L'_{nT,w}$) vs JIS (L-index)

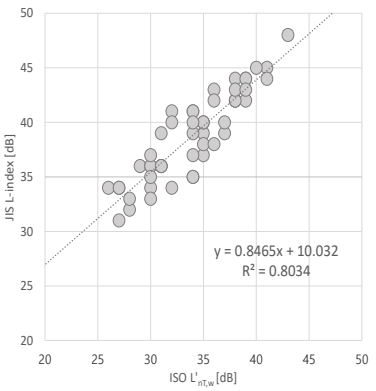


Fig. 6 Regression analysis ISO ($L'_{nT,w}$) vs JIS (L-index)

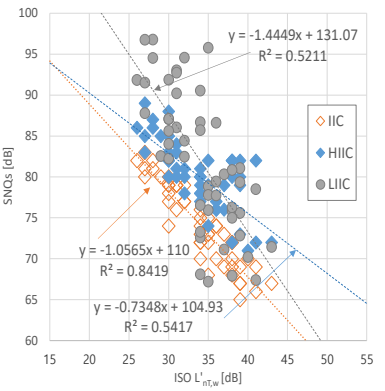


Fig. 8 Regression analysis ISO ($L'_{nT,w}$) vs IIC, HIIC, LIIC

(0.84)를 갖는데, IIC는 ASTM $L'_{nT,w}$에서 110의 값의 차로 계산하기 때문에 당연히 동일한 결정계수를 갖게된다. HIIC와 LIIC와 관계에서 0.54, 0.52의 결정계수는 HIIC와 LIIC 두 지표가 고주파수 대역과 저주파수 대역의 특징을 강조하는 평가지표이기 때문에 IIC에 비하여 상대적으로 낮은 상관성을 보인 것으로 판단된다. LIIC는 기술통계 분석에서 가장 큰 분산과 표준편차를 나타냈으며, 회귀분석에서도 가장 낮은 설명력을 보이고 있어 다른 단일수치평가량보다 저주파 충격음의 영향을 독립적으로 반영하는 지표임을 알 수 있다.

단일수치평가방법의 한계를 보완하고 저주파 혹은 고주파수 대역의 충격음 성능을 평가하기 위한 보완적 지표로 사용될 수 있다. LIIC는 다른 평가방법에 비해 약 2배 이상의 변동성을 보여 시험체 간 성능 차이를 보다 민감하게 구분할 수 있는 것으로 판단된다.

4.3 상관성분석

Table 3은 각 지표들 간의 상관성계수를 나타낸다. 단일수치평가방법 간 상관관계를 분석한 결과, ISO, JIS 및 ASTM은 상호 높은 양의 상관관계($r = 0.790 \sim 0.918$)를 나타났다. 특히 ASTM과 IIC는 완전한 음의 상관관계($r = -1.000$)를 보였는데, IIC 계산이 110 – ASTM으로 계산되기 때문이다. HIIC는 기존 평가방법과 상대적으로 낮은 상관관계($r = 0.409 \sim 0.772$)를 나타내어 특정 주파수 대역을 반영하기 때문인 것으로 분석되었다. LIIC는 ASTM($L'_{nT,w}$) 및 IIC와 비교적 높은 상관관계를 보였으나 HIIC와의 상관성은 낮게 나타나 저주파 대역과 고주파 대역을 평가하는 지표 간의 관계가 낮은 것임을 알 수 있다. HIIC와 LIIC는 각각 고주파 및 저주파 성분을 보다 강조하는 평가방법으로 전체 주파수를 평가하는 다른 지표와 참고적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3 Pearson correlation analysis

	ISO	JIS	ASTM	IIC	HIIC	LIIC
ISO	1					
JIS	0.896***	1				
ASTM	0.918***	0.790***	1			
IIC	-0.918***	-0.790***	-1.000***	1		
HIIC	-0.736***	-0.772***	-0.553***	0.553***	1	
LIIC	-0.722***	-0.540***	-0.800***	0.800***	0.409**	1

***$p < 0.001$, **$p < 0.01$

Fig. 9는 동일한 단일수치평가량(IIC: 67 dB)을 가진 2개의 측정결과를 나타낸다. 전체 평가대상 주파수별 측정결과 없이 단순히 IIC 평가결과만으로 판단한다면, 2개 측정대상의 고주파수에 대한 저감성능 차이를 인지하기 어렵다. HIIC 평가결과는 80 dB와 72 dB로 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 IIC만으로는 고주파 영역의 성능 차이를 충분히 설명하기 어려우며, 고주파 저감성능을 평가하기 위해 HIIC를 병행 제시하는 것이 유용하다.

4.4 주파수별 의존성 분석

주파수대역별 충격음 레벨과 단일수치평가방법 간의 상관관계를 분석하기 위하여 Pearson 상관계수를 산정하였으며, 그 결과를 Fig. 10에 제시하였다. 분석결과, 각 평가방법은 특정 주파수대역과 높은 상관성을 나타내어 평가방법별 민감 주파수 특성이 상이함을 확인할 수 있었다.

ISO($L'_{nT,w}$)는 125 Hz ~ 250 Hz 대역에서 높은 상관성을 나타냈으며, 특히 200 Hz에서 가장 높은 상관계수($r = 0.938$)를 보였다. 이는 국내 표준 평가방법이 중저주파 영역의 충격음 특성을 주로 반영함을 의미한다.

JIS L-지수 또한 200 Hz 부근에서 최대 상관계수

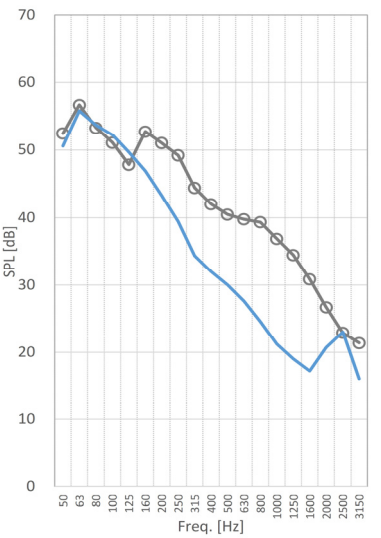


Fig. 9 Test results of IIC and HIIC

(r = 0.854)를 나타내어 KS 평가방법과 유사한 주파수 의존성을 보였으며, 200 Hz ~ 800 Hz 범위에서 높은 상관성이 있음을 알 수 있었다.

반면, ASTM($L'_{nT,w}$) 및 IIC는 100 Hz 대역에서 가장 높은 상관성을 나타냈다. ASTM($L'_{nT,w}$)의 경우 r = 0.942, IIC의 경우 r = -0.942로 나타났으며, 이는 두 평가방법이 동일한 기준곡선을 기반으로 일정한 값에서부터 산정되기 때문이다. 다만 IIC는 평가점수가 증가할수록 충격음 수준이 감소하는 특성을 가지므로 음의 상관관계가 나타났다.

HIIC는 1600 Hz에서 가장 높은 상관성(r = -0.936)을 나타내어 고주파 충격음 성분에 대한 민감도가 높은 것으로 분석되었다. 800 Hz ~ 2000 Hz 대역이 주요 결정요인으로 높은 의존성을 가진것으로 나타났다.

LIIC는 63 Hz에서 매우 높은 음의 상관관계(r = -0.972)를 보였으며, 이는 저주파 충격음 성능을 평가하기 위해 개발된 지표의 특성을 잘 반영하는 결과로 판단된다. 저주파수 대역만 대상으로 하기 때문에 50 Hz ~ 100 Hz 대역의 의존성이 높았다.

ISO($L'_{nT,w}$) 및 JIS L-지수는 중저주파 영역(125 Hz ~ 250 Hz), ASTM($L'_{nT,w}$) 및 IIC는 저주파 영역(100 Hz 부근), HIIC는 고주파 영역(800 Hz ~ 2000 Hz), LIIC는 저주파 영역(50 Hz ~ 100 Hz)의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 따라서 단일수치평가방법은 동일한 충격음 데이터를 기반으로 산정되더라도 반영하는 주파수 특성이 상이하면, 평가방법 선택에 따라 충격음 성능에 대한 해석 결과가 달라질 수 있음을 확인하였다.

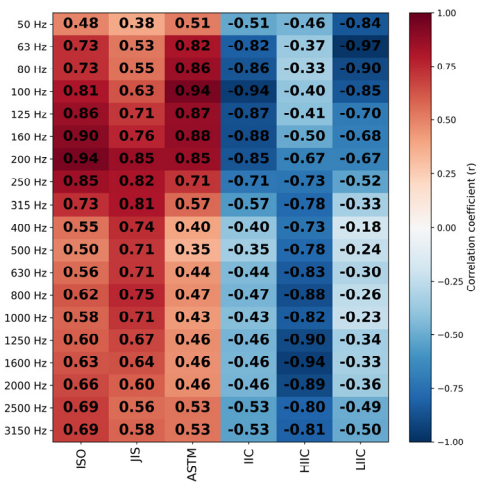


Fig. 10 Correlation heatmap: Frequency vs Indexes

Random forest 기반 변수 중요도는 Orange(version 3.40)을 사용하였으며, number of trees 500, number of attributes considered at each split 5, replicable training '체크', tree depth '제한없음'으로 설정하여 분석하였다. 분석 결과, 각 단일수치평가 방법은 특정 주파수대역에 의해 지배되는 것으로 나타났다. 특히 ASTM($L'_{nT,w}$)과 IIC는 100 Hz, HIIC는 1600 Hz, LIIC는 63 Hz에서 가장 높은 변수 중요도를 나타냈으며, ISO는 200 Hz에서 최대 중요도를 보였다. 이러한 결과는 Pearson 상관분석 결과와 전반적으로 일치하였으며, 각 평가방법이 서로 다른 주파수 특성을 반영하고 있음을 확인하였다. ISO와 ASTM은 동일한 기준곡선을 사용하지만, ASTM은 개별 주파수대역의 최대 초과값을 8 dB로 제한한다는 점에서 산정조건에 차이가 있다. 이러한 차이로 인해 동일한 충격음 스펙트럼에서도 주파수대역별 영향도가 다르게 나타날 수 있으며, 이 연구에서는 ISO는 200 Hz, ASTM은 100 Hz에서 상대적으로 높은 중요도가 확인되었다.

LIIC와 HIIC는 각각 평가범위에 속하는 저주파와 고주파 대역의 민감도가 가장 높게 나타났다. 따라서 동일한 바닥충격음 측정결과를 사용하더라도 평가방법에 따라 강조되는 주파수 영역이 상이하기 때문에 성능에 대한 해석 결과 또한 달라질 수 있다.

Pearson 상관분석은 개별 주파수대역과 평가값 간의 선형 관계를 나타내는 반면, random forest 변수 중요도 분석은 평가값 예측에 대한 각 주파수대역의 상대적 기여도를 나타낸다. 이 연구에서는 두 분석방법이 대부분 동일한 주파수대역을 주요 영향인자로 제시하고 있다.

이러한 결과는 각 단일수치평가방법이 동일한 경량바닥충격음 측정결과를 사용하더라도 평가 목적에 따라 서로 다르게 활용될 수 있음을 의미한다. ISO 및 KS 계열 평가지표는 전체 주파수 범위의 충격음 성능을 대표하는 기본 평가량으로 활용하기에 적합하며, 국내 공동주택의 성능평가 및 기준 적합성 판단에 유용하다. JIS L-지수는 등급곡선 기반의 평가체계로서 일본 기준과의 비교 또는 등급 중심의 성능 해석에 활용될 수 있다. ASTM $L'_{nT,w}$ 및 IIC는 북미권 평가체계와의 비교 및 차단성능 등급 제시에 유용

하며, 특히 IIC는 값이 클수록 성능이 우수하다는 직관적인 장점으로 인해 제품 간 성능 비교나 성능 표시 지표로 활용될 수 있다.

HIIC와 LIIC는 기존 단일수치평가량이 충분히 설명하지 못하는 특정 주파수대역의 성능을 보완적으로 평가하는 데 적합하다. HIIC는 800 Hz ~ 2000 Hz 대역의 고주파 성분에 대한 의존성이 높게 나타났으므로, 바닥마감재, 매트류, 표면재 등 경량충격음의 고주파 저감성능을 비교하는 데 활용할 수 있을 것이다. LIIC는 50 Hz ~ 100 Hz 대역의 저주파 성분에 민감하게 반응하므로, 슬래브, 완충층 및 바닥구조의 저주파 충격음 취약성을 검토하는 보완지표로 활용될 수 있다. 따라서 단일 평가량만으로 경량바닥충격음 성능을 판단하기보다는, 기본 성능평가에는 ISO, JIS, ASTM 및 IIC를 활용하고, 주파수대역별 취약성 분석에는 HIIC와 LIIC를 병행하는 방식이 보다 합리적이다.

5. 결 론

이 연구에서는 공동주택에서 측정된 경량바닥충격음 50개 데이터셋을 이용하여 ISO, JIS, ASTM, IIC, HIIC 및 LIIC의 단일수치평가방법 대상으로 기술통계, 회귀분석, Pearson 상관분석 및 Random Forest 변수 중요도 분석을 통해 각 평가방법의 특성과 주파수 의존성을 검토하였다.

분석 결과, ISO($L'_{nT,w}$), JIS(L-지수), ASTM($L'_{nT,w}$) 및 IIC는 전체 주파수 특성을 비교적 안정적으로 평가하는 반면, HIIC와 LIIC는 각각 고주파 및 저주파 대역의 특성을 보다 민감하게 반영하는 것으로 나타났다. LIIC는 가장 큰 분산과 평가범위를 보여 저주파 충격음 성능을 효과적으로 구분할 수 있는 지표임을 확인하였다.

주파수 의존성 분석에서는 ISO($L'_{nT,w}$)와 JIS(L-지수)는 125 Hz ~ 250 Hz, ASTM($L'_{nT,w}$)과 IIC는 100 Hz, HIIC는 800 Hz ~ 2000 Hz, LIIC는 50 Hz ~ 100 Hz 대역과 가장 높은 상관성을 나타냈다. 또한 Random Forest 분석에서도 동일한 주파수 대역이 주요 영향인자로 도출되어 Pearson 상관분석 결과를 뒷받침하였다.

분석된 결과를 바탕으로 동일한 충격음 측정데이터를 사용하더라도 평가방법에 따라 반영하는 주파수 특성이 다르며, 이에 따라 성능 해석 결과도 달라질 수 있음을 보여준다. ISO 및 KS 계열 평가지표는 국내 공동주택 경량바닥충격음의 기본 성능평가 및 기준 적합성 판단에 활용될 수 있으며, JIS L-지수는 일본 평가체계와의 비교 및 등급 기반 성능 해석에 유용하다. ASTM $L'_{nT,w}$와 IIC는 북미식 평가체계와 연계한 국제 비교 및 차단성능 등급 제시에 활용될 수 있다.

HIIC와 LIIC는 각각 고주파수 및 저주파수 대역을 선택적으로 평가하도록 구성된 지표이며, 이 연구에서도 해당 평가범위에 포함되는 주파수대역에서 높은 의존성이 확인되었다. 따라서 이들 지표는 전체 주파수 범위를 대상으로 하는 기존 단일수치평가량을 보완하여 특정 주파수 대역의 충격음 특성을 확인하는 데 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 접근은 공동주택 바닥충격음 평가체계의 해석력을 높이고, 제품 개발, 구조 개선 및 국제 기준 비교를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

이 연구의 분석결과는 국내 공동주택 바닥구조에서 확보된 측정데이터를 기반으로 분석된 것으로, 바닥구조 및 바닥구성, 바닥 재료, 완충구조 등의 차이가 존재하는 해외 공동주택에 동일하게 적용하는 데에는 한계가 있다.

후 기

이 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00144050).

References

(1) International Organization for Standardization, 2013, Acoustics–Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements - Part 2: Impact Sound Insulation, ISO, ISO 717-2:2013, Geneva, Switzerland.

(2) Korean Agency for Technology and Standards, 2020, Acoustics-rating of Sound Insulation in buildings and of Building Elements - Part 2: Impact Sound Insulation, KATS, KS F ISO 717-2:2020, Chungcheongbuk-do, Korea.

(3) Japanese Industrial Standards, 2000, Acoustics -rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements - Part 2: Impact Sound Insulation, JIS, JIS A

1419-2:2000, Tokyo, Japan.

(4) ASTM International, 2021, Standard Classification for Determination of Single-number Metrics for Impact Noise, ASTM International, ASTM E989-21, PA, United States.

(5) Hopkins, C., 2007, Sound Insulation, 1st Edition, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

(6) Kim, W. J., Cho, H. M. and Kim, M. J., 2020, Subjective Response on the Octave Band Level Change of Rubber Ball Sound with the Same Single-number Quantity, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 30, No. 5, pp. 506~517.

(7) Cho, H. M., Kim, S. T. and Kim, M. J., 2020, Changes in Subjective Perceptions of Heavyweight Impact Sound Levels with the Same Single-number Quantity of Floor Impact Sound Insulation, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 30, No. 4, pp. 348~356.

(8) Kim, K. W. and Shin, H. K., 2019, Correlation Analysis of the Evaluation Index of Lightweight Impact Sound Insulation and Frequency Bands, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 29, No. 5, pp. 617~623.

(9) Choi, D. W., 2024, A Study on the Changes in Single-number Quantity Due to Revisions of the Evaluation Method for the Lightweight Floor Impact Sound Insulation, M. S. Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea.

(10) ASTM International, 2020, Standard Classification for Determination of High-frequency Impact Sound Ratings, ASTM International, ASTM E3222−20a, PA, United States.

(11) ASTM International, 2021, Standard Classification for Determination of Low-frequency Impact Noise Ratings, ASTM International, ASTM E3207−21, PA, United States