



바닥충격음 표준 중량 충격원과 평가지표 간의 대응관계

Correspondence Between Standard Heavy Impact Sources and Single Number Indexes of Floor Impact Sound

김 경 우[†] · 신 혜 경^{*}
Kyoung-woo Kim[†] and Hye-kyung Shin^{*}

(Received October 8, 2019 ; Revised October 29, 2019 ; Accepted October 29, 2019)

Key Words : Heavy Impact Sound(중량 충격음), Heavy Impact Source(중량 충격원), Correlation(상관성), Single Number Quantity(단일수치 평가량)

ABSTRACT

A bang machine and a rubber ball can be used as a heavy impact source. Rubber ball sources have recently been included in International and Korean Standards. Heavy impact sound evaluation indexes are used for the inverse-A characteristic curve, arithmetic mean, A-weighted impact sound pressure levels, and the L index. To improve the utilization of the measurement results of the two heavy impact sources, we looked at the relationship between two sources and their evaluation indexes. The correlation between the evaluation index and the impact source was good in some cases, but differences of more than 10 dB in the same performance also occurred. Therefore, it seems necessary to select an evaluation index suitable for each heavy impact source.

1. 서 론

바닥충격음은 경량 충격음과 중량 충격음으로 구분한다. 중량 충격음은 일본에서 개발된 충격원을 사용하여 국내와 일본에서 주로 평가하고 있다. 일본에서 처음 개발되어 사용된 타이어(bang machine)는 약 4200 N의 충격력으로 20 ms 충격시간으로 바닥을 가진하도록 제작되었다. 타이어 충격원의 과도한 충격력 때문에 경량 건축물과 경량 바닥구조를 측정하기 위하여 새로운 충격원 필요성에 따라 일본에서 고무공(rubber ball) 충격원 개발·검증이 이루어져 왔다^(1,2). 타이어 및 고무공은 표준 중량 충격원으로 KS규격에⁽³⁾

명시되어 있으며, 국제표준에는 고무공만이 포함되어 있다⁽⁴⁾. 고무공은 사람이 걸거나 달릴 때의 발생하는 소리에 대한 청감반응과 상관관계가 좋다고 알려져 있으며⁽⁵⁾, 고무공 충격시 진동과 사람의 반응관계를 검토하여 사람의 동작과 대응성도 양호함을 언급하고 있다⁽⁶⁾. 또한 고무공 충격원이 실제 충격원의 주파수 특성을 잘 재현하는 것으로 나타나 있다⁽⁷⁾. 중량 충격음 평가를 위한 지표는 역 A 특성 곡선 사용, A 특성 음압 레벨, 산술평균 방법을 규정하고 있다⁽⁸⁾. 일본은 등급곡선(L)을 이용한 평가, A 특성 음압 레벨, 산술 평균 방법을 사용하고 있으며⁽⁹⁾, 2가지 충격원이 같이 사용되고 있다. 타이어 충격원은 고무공 충격원보다 먼저 개발되었고 다양한 연구가 타이어 충격원을 통

[†] Corresponding Author; Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
E-mail : kwj@kict.re.kr

^{*} Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

[‡] Recommended by Editor Jong Kwan Ryu

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

해 이루어져 왔기 때문에 고무공 충격원의 활용을 위해 타이어 충격원과의 관계를 검토한 연구결과도 소개되었다⁽¹⁰⁾. 최근 일본건축학회에서 차음설계관련 설계지침을 발간하여 중량 충격음 성능등급을 제시하였다. 성능등급을 위한 충격원과 평가지표는 타이어 충격원이 아닌 고무공으로 변경되었으며, 평가방법은 L 등급에서 A 특성 음압 레벨로 변경되었다⁽¹¹⁾.

이 연구는 중량 충격음 평가에 사용되는 평가지표 상호간의 활용도를 높이기 위하여 평가지표들과 표준 중량 충격원과의 상관성을 파악하였으며, 일본과 국제표준에 도입된 고무공 충격원과 기준에 사용하고 있는 타이어 충격원과의 대응관계를 살펴보았다.

2. 분석방법

대응관계를 파악하기 위한 데이터는 총 85개이며, 바닥충격음 차단구조 제도가 시행되기 전에 벽식구조로 지어진 공동주택 거실 측정결과이다. 슬래브 두께는 120 mm 내외이며, 타이어 및 고무공 충격원을 사용하여 중량 충격음을 각각 측정하였다. 준공 된지 오래된 공동주택으로 설계도면의 부재로 바닥구조 구

성을 확인하기에는 한계가 있었다. 측정대상 일부 세대 바닥에 Fig. 1과 같이 구멍을 뚫어 바닥구성을 확인하였다. 슬래브 상부에 자갈층, 모래층, 모르타르가 구성되어 전체 바닥두께는 대략 240 mm 정도였다. 최종감재는 많은 측정세대에서 톱류가 설치되었으며, 천장도 대부분 세대에서 설치되어 있었다.

분석에 사용된 지표는 Table 1과 같이 역 A 특성 곡선 이용, A 특성 음압 레벨, 산술평균이며, 추가로 일본 L지수와 관계도 살펴보았다. A 특성 음압레벨 평가는 소음계의 특성을 A로 하여 측정된 결과를 의미하지만 이 연구에서는 F 특성으로 측정된 결과를 주파수별로 A 보정한 후에 합성한 결과를 사용하였다. 합성하는 주파수 범위와 옥타브 밴드에 따라서 4가지 방법 [1/1옥타브 (31.5 Hz ~ 500 Hz), 1/1옥타브 (63 Hz ~ 500 Hz), 1/3옥타브 (25 Hz ~ 630 Hz), 1/3옥타브(50 Hz ~ 630 Hz)]으로 구분하여 결과를 도출하였다. 일본 건축학회 설계지침에는⁽¹¹⁾ A 특성 음압레벨은 A 특성으로 직접측정하거나 주파수별로 측정된 결과(최대치)를 dB(A) 합성하는 방법을 제시하고 있다. 합성 방법은 31.5 Hz(1/3 옥타브는 25 Hz)부터 500 Hz(1/3 옥타브는 630 Hz)까지 포함하여 31.5 Hz 대역을 포함하고 있다. 산술평균 방법도 1/1 옥타브 밴드를 기준으로 31.5 Hz가 포함된 방법과 포함되지 않은 방법으로 분석하였다. 85개 데이터 중에서 1/3 옥타브밴드에서 31.5 Hz(20 Hz ~ 40 Hz) 대역이 포함되지 않은 데이터는 20개였다. 상기 평가방법을 토대로 2가지 충격원과 평가지표 간의 관계 및 2가지 충격원 간의 대응을 분석하였다.



Fig. 1 Floor boring scene

Table 1 Single number indexes used for analysis

Single number indexes	Octave band	Frequency range (Hz)	Standard
Inverse-A	1/1	63 ~ 500	KS F 2863-2
A-weighted impact sound pressure level	1/1	31.5 ~ 500	
	1/1	63 ~ 500	
	1/3	25 ~ 630	
Arithmetic mean	1/3	50 ~ 630	
	1/1	31.5 ~ 500	
L index	1/1	63 ~ 500	JIS A 1419-2
	1/1	63 ~ 500	

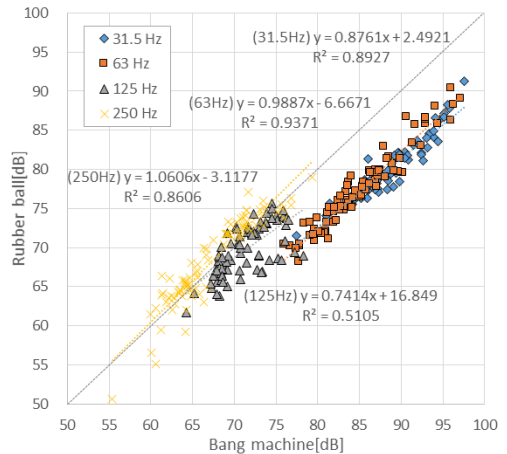
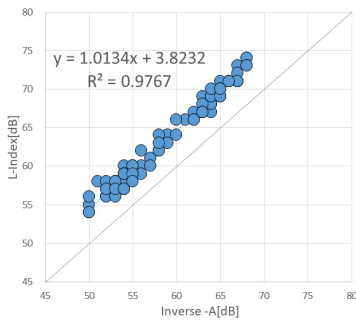
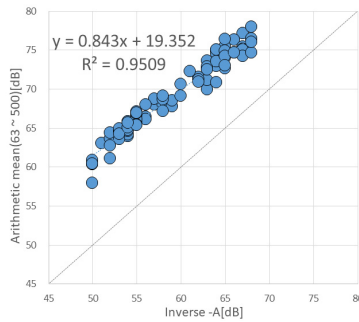


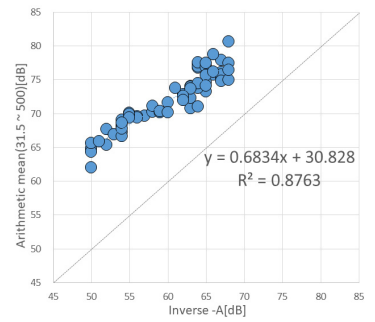
Fig. 2 Correspondence of impact sound levels by frequency band



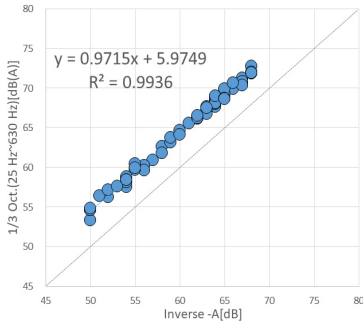
(a) Inverse-A and L



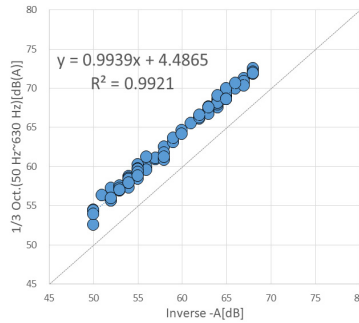
(b) Inverse-A and arithmetic mean (63~500)



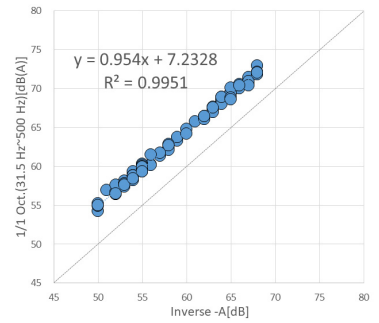
(c) Inverse-A and arithmetic mean (31.5~500)



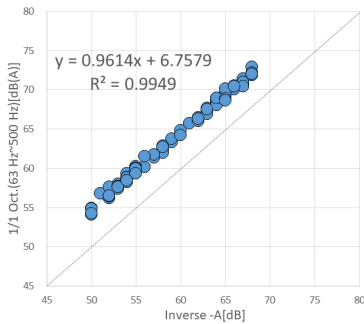
(d) Inverse-A and A-weighted impact sound [1/3 Oct. (25~630)]



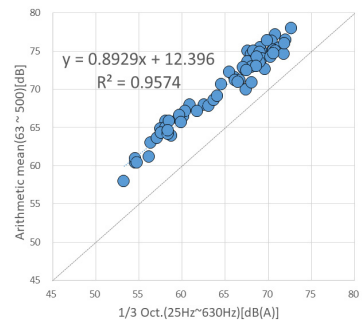
(e) Inverse-A and A-weighted impact sound [1/3 Oct.(50~630)]



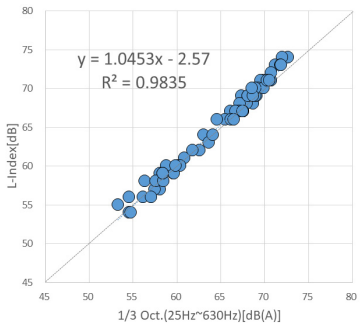
(f) Inverse-A and A-weighted impact sound [1/1 Oct. (31.5~500)]



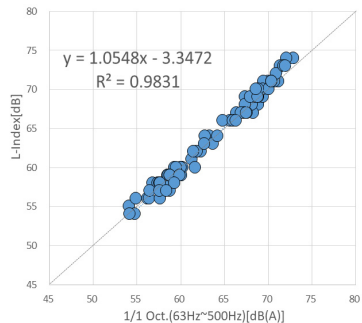
(g) Inverse-A and A-weighted impact sound [1/1 Oct.(63~500)]



(h) 1/3 Oct.(25~630) and arithmetic mean (63~500)



(i) A-weighted impact sound [1/3 Oct.(25~630)] and L



(j) A-weighted impact sound [1/1 Oct.(63~500)] and L

Fig. 3 Correspondence of evaluation indexes (rubber ball)

3. 결과 및 분석

3.1 타이어 및 고무공 충격원 간의 주파수 대역별 대응

Fig. 2는 타이어 및 고무공 충격원의 1/1 옥타브밴드 주파수별 충격음레벨을 비교한 것이다. 31.5 Hz와 63 Hz는 2개 충격원 간의 상호간 대응이 다른 주파수에 비하여 양호한 것을 알 수 있으며, 결정계수는 63 Hz에서 0.9371로 가장 높게 나타났다. 31.5 Hz와 63 Hz에서 2개 충격원 간의 충격력 폭로레벨을 비교해보면 고무공 충격원의 폭로레벨이 타이어 충격원보다 8 dB, 9 dB 낮기³⁾ 때문에 측정결과도 고무공 충격원이 폭로레벨 차이만큼 낮은 레벨을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 125 Hz 폭로레벨은 2개 충격원이 유사하기³⁾ 때문에 충격음레벨이 1:1 대응 선상에 위치할 것으로 예상되었으나 결정계수가 0.5105로 가장 낮게 나타났다. 보다 다양한 측정데이터를 토대로 주파수별 대응관계 검토가 필요해 보인다.

3.2 평가지표 간의 대응

Fig. 3은 고무공(rubber ball) 충격원 가진시 측정된 바닥충격음레벨을 여러 평가지표로 환산하고 지표 상호간의 대응을 분석한 결과이다. 역 A 평가지표와 L

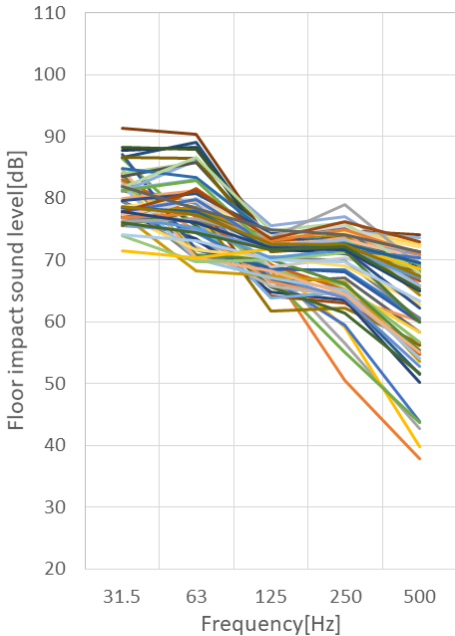


Fig. 4 Frequency characteristics of measurement results (rubber ball)

지표의 결정계수는 0.9767로 높음을 알 수 있으며, 대략 5 dB 정도 L지표가 높게 분석되었다. 역 A 평가지표 보다 L지표, 산술평균, dB(A) 합성 지표가 더 높은 값을 나타내고 있으며, 산술평균 지표가 다른 지표보다 대략 10 dB 이상 더 높은 값으로 분석되었다. 고무공 충격원 차단성능을 평가하는 여러 지표들 상호간의 대응은 양호한 것으로 나타났으며, 역 A 평가지표와 1/1 옥타브(31.5 Hz ~ 500 Hz)를 dB(A) 합성한 지표의 결정계수가 0.9951로 가장 높으며, 산술평균(31.5 Hz ~ 500 Hz) 지표가 0.8763으로 가장 낮게 분석되었다. 1/3 옥타브(25 Hz ~ 630 Hz) dB(A) 합성한 지표와 1/1 옥타브(63 Hz ~ 500 Hz) dB(A) 합성한 지표의 결과가 L지표와 레벨차이 없이 거의 1:1 대응이 가능한 것으로 나타났다.

Fig. 4는 고무공으로 측정된 바닥충격레벨의 주파수별 특성을 나타낸다. 모든 주파수 대역에서 레벨편차가 크게 발생되고 있으며, 31.5 Hz에서 충격음레벨이 가장 높거나 63 Hz 레벨이 가장 높은 다양한 주파수 특성이 혼재되어 있었다. 주파수 대역 중에서 125 Hz의 편차가 가장 작게 나타났다.

Fig. 5는 역 A 평가지표와 dB(A) 합성하는 4가지 방법 간의 레벨 차이를 계산한 그림이다. dB(A)로 합성하는 주파수 범위와 옥타브 밴드레벨 차이에 따라 합성된 결과치가 다를 수 있다. 역 A 평가지표보다 dB(A) 지표가 대략 4 dB ~ 5 dB 더 높은 수치를 보였으며, 4가지 dB(A) 지표 간의 차이는 (0 dB ~ 2.0 dB)를 나타내었다.

3.3 평가지표 간의 대응

타이어 충격원(bang machine)의 측정결과를 여러 평가지표와의 대응을 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 각 지표 간의 대응은 고무공 충격원 결과와 유사함을

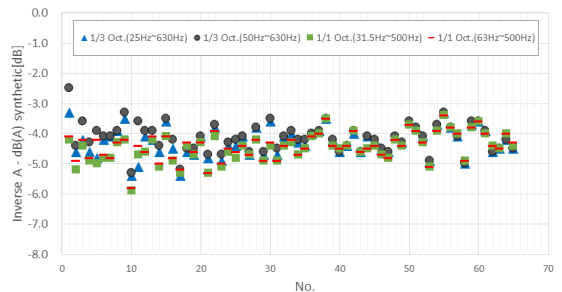


Fig. 5 Level difference between inverse-A and dB(A) synthetic method (rubber ball)

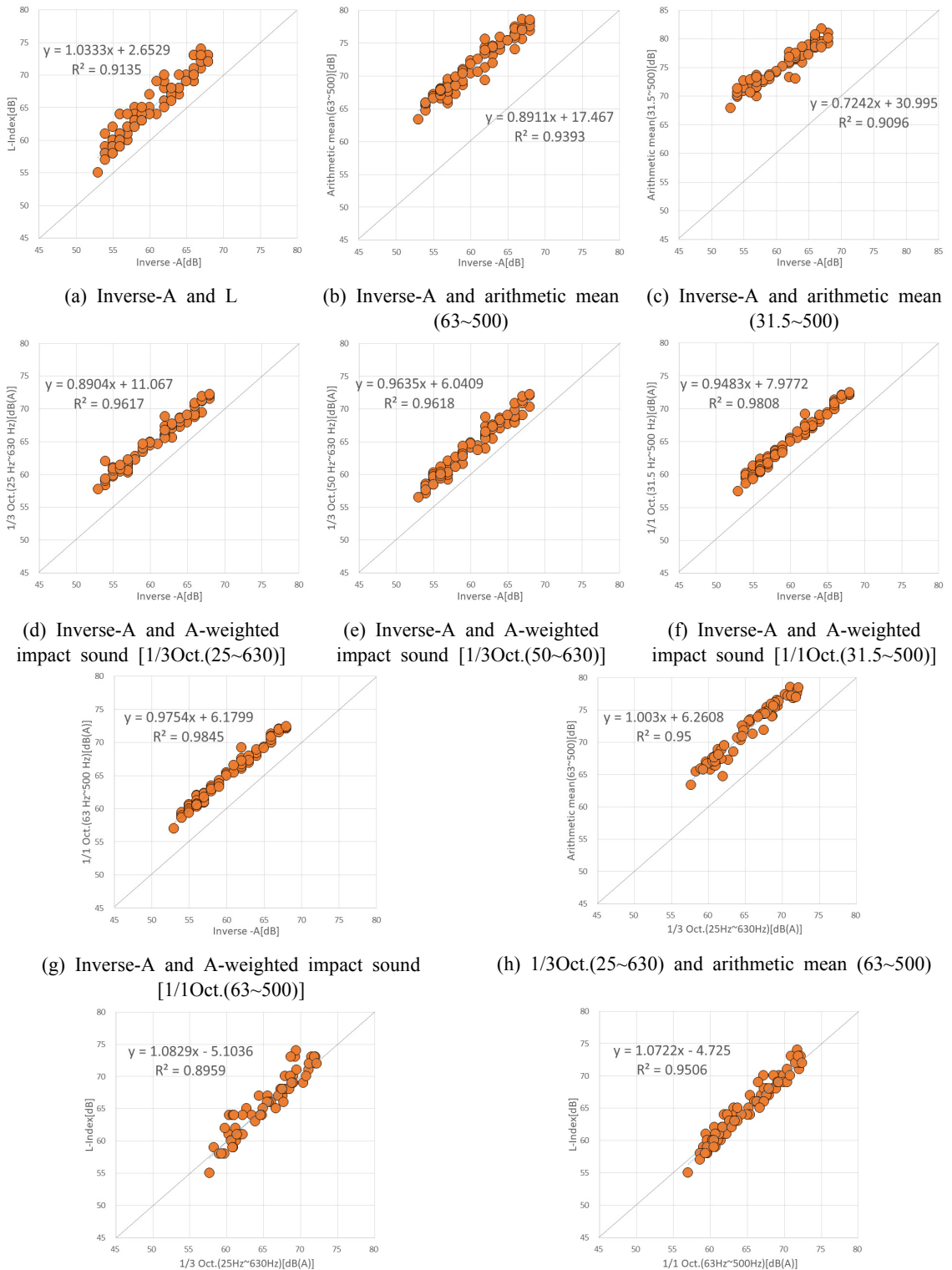


Fig. 6 Correspondence of evaluation indexes (bang machine)

알 수 있으나, 각 지표간의 결정계수가 Fig. 6(c)를 제외하고 낮아진 것으로 분석되었다. 결정계수가 가장 높은 지표는 역 A 평가지표와 1/1 옥타브(63 Hz ~ 500 Hz)를 dB(A)로 합성한 지표이며, 0.9845로 분석되었다. 산술평균 지표는 주파수 범위에 따라 역 A 평가지표와 레벨차이를 보이고 있는데, 31.5 Hz가 포함되는 경우가 31.5 Hz 포함되지 않는 경우에 비하여 레벨차이가 더 큰 것으로 나타났다. 31.5 Hz 충격음레벨이 63 Hz에 비하여 더 높은 주파수특성에 기인한 것으로 판단된다. 각 지표간의 결정계수는 0.8959 ~ 0.9845로 상호간의 대응이 높음을 알 수 있으며, 김홍식 외⁽¹²⁾연구에서도 지표간의 결정계수가 0.9 이상으로 분석되었으며, 역 A 평가지표와 L지표의 결정계수가 0.9169로 이 연구결과와 유사함을 알 수 있다.

Fig. 7은 타이어 충격음레벨의 주파수 특성을 보여준다. 고무공 충격음레벨과 유사한 특성은 보이고 있으며, 전체적으로 레벨이 고무공에 비하여 더 증가한 것을 알 수 있다. 측정 데이터 간의 편차는 크게 나타나고 있으며, 고무공과 같이 125 Hz의 편차가 다른 주파수에 비하여 낮았다.

Fig. 8은 타이어 충격원의 역 A 평가지표와 dB(A) 합성하는 4가지 방법 간의 레벨 차이를 구한 결과이다. Fig. 5 고무공 충격원에 비하여 합성 방법 간의 편차는 더 크게 발생하고 있는 것으로 알 수 있다. 4

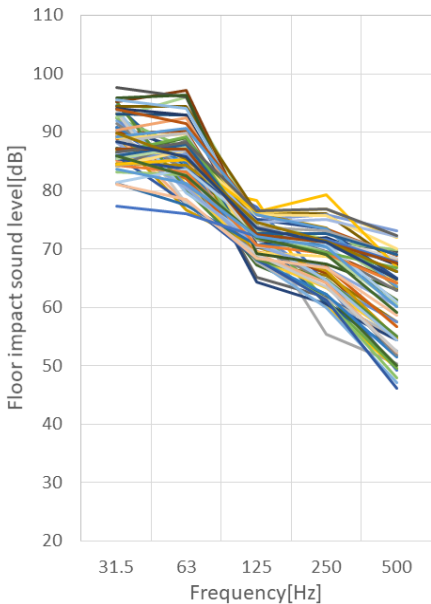


Fig. 7 Frequency characteristics of measurement results (bang machine)

가지 합성방법 간의 차이는 (0 dB ~ 4.0 dB)를 나타내어 고무공 보다 더 넓게 두지표의 차이가 분포되는 것으로 나타났으며, dB(A) 합성 방법에 따라 평가결과가 달라질 수 있음을 알 수 있다.

3.4 표준 중량 충격원 간의 대응

(1) 동일 평가지표

Fig. 9는 동일 지표에 대한 2개 충격원 간의 대응을 보여준다. 어느 지표가 2개 충격원간의 상관성이 좋은지 확인하기 위한 것으로 결정계수가 가장 높은 지표는 산술평균(63 Hz ~ 500 Hz)으로 0.8554로 분석되었다. L지표는 다른 지표들 보다 결정계수가 가장 낮은 0.6468을 보이고 있다. Fig. 3과 Fig. 6의 동일 충격원 일 때 각 지표간의 대응보다는 상관성이 낮아지는 것을 알 수 있으며, 2개 충격원 사이의 편차는 ±5 dB 이상도 보이고 있기 때문에 충격원 상호간의 직접적인 결과 환산은 한계가 있을 것으로 판단된다. 타이어 충격원의 L지표와 고무공 충격원의 dB(A) 지표간의 상관성을 분석한 연구에서도⁽¹⁰⁾ 2개 지표를 직접적으로 유추하기에는 상관성이 낮음을 언급하고 있다.

(2) 타이어 충격원 역 A 평가지표와 고무공 평가지표

Fig. 10은 타이어 충격원 평가지표로 사용 중인 역 A 특성 곡선 평가지표와 고무공 충격음 레벨을 평가한 다른 지표들 사이의 관계를 나타낸다. 타이어 충격원의 역 A 평가지표와 1/1 옥타브 (31.5 Hz ~ 500 Hz)의 dB(A) 합성치가 0.7891의 가장 높은 결정계수를 보였다. 다른 평가지표도 거의 유사한 결정계수를 보이고 있으며, 다른 지표 모두 타이어 충격원의 역 A 평가지표 보다 추세선을 토대로 보면 평가량이 더 높음을 알 수 있다. 국내는 일본의 L등급과 같은 기울기의 곡선을 역 A 특성 곡선으로 사용하고 있으나 접선법으로 평가하는 L등급과의 직접적인 대응은 한계

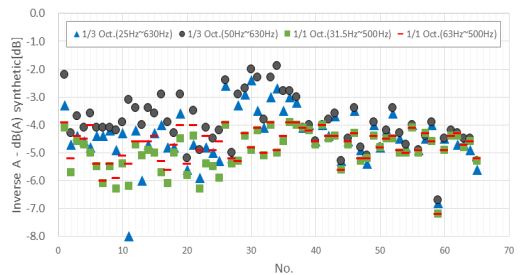


Fig. 8 Level difference between inverse-A and dB(A) synthetic method (bang machine)

가 있다고 판단된다. 일본 품질확보촉진법(住宅の品質確保の促進等に関する法律)의 중량 충격음 성능등급은 타이어 충격원을 사용한 L등급을 사용하고 있

으며, 일본건축학회에서⁽¹¹⁾ 고무공 충격원과 A 특성 음압레벨을 평가 충격원 및 지표로 사용하고 있다. Table 2에서 충격원별로 제시하고 있는 평가지표의

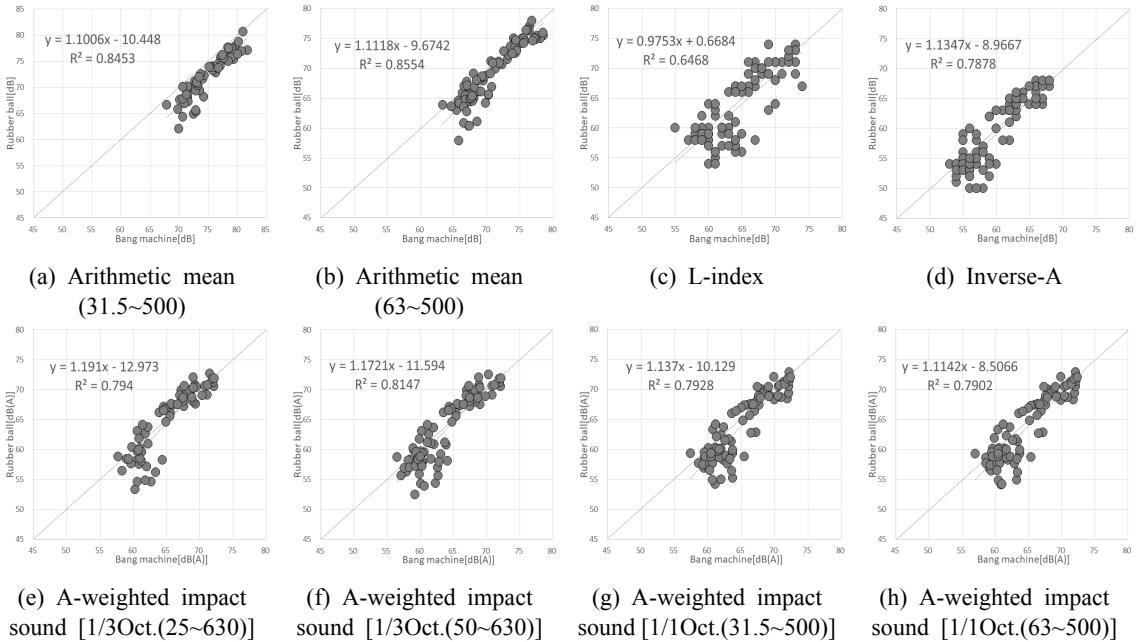


Fig. 9 Correspondence between two impact sources and indexes

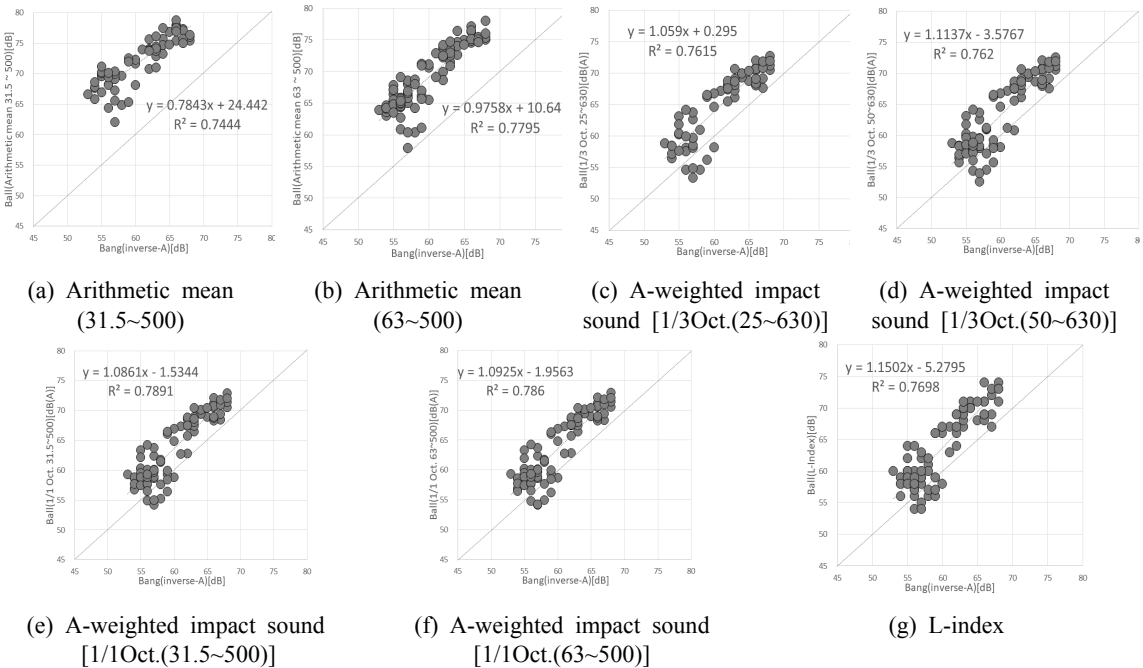


Fig. 10 Correspondence between bang machine inverse-A index and rubber ball indexes

Table 2 Statistical analysis of results

Impact source	Index	Max	Min	Ave.	Std.	
Bang machine	Inverse-A	68	53	59.9	4.4	
	dB(A)	1/3 Oct. (25~630)	72.2	57.7	65.2	4.1
		1/3 Oct. (50~630)	72.2	56.5	63.8	4.3
		1/1 Oct. (31.5~500)	72.4	57.4	64.8	4.2
		1/1 Oct. (63~500)	72.4	57.0	64.6	4.3
Rubber ball	Inverse-A	68	50	59	5.6	
	dB(A)	1/3 Oct. (25~630)	72.7	53.3	64.7	5.5
		1/3 Oct. (50~630)	72.5	52.5	63.2	5.6
		1/1 Oct. (31.5~500)	72.9	54.2	63.5	5.4
		1/1 Oct. (63~500)	72.9	54.1	63.5	5.4

간략한 통계치를 분석하였다. 타이어 충격원의 역 A 평가지표는 산술평균이 59.9 dB이며, dB(A) 환산방법의 산술평균은 (63.8 dB ~ 65.2 dB)로 dB(A) 환산치가 역 A 평가지표 보다 (3.9 dB ~ 5.3 dB) 더 높은 값을 보였다. 고무공 충격시 dB(A) 환산치의 산술평균은 (63.2 dB ~ 64.7 dB)로 타이어 충격원과 유사한 값을 보였다.

4. 결론

중량 충격음 평가에 사용되는 타이어 및 고무공 충격원의 대응관계를 여러 지표를 통해 살펴보았다. 각 충격원에 대응이 보다 더 양호한 지표도 있으며, 다소 낮은 결정계수를 보이는 대응도 있었다. 각 충격원은 충격력 폭도레벨 특성이 다르기 때문에 충격음 레벨 변화도 발생한다. 다양한 평가지표와 충격원 상호간의 대응은 일정 수준 평가량의 전환 및 충격원 대응이 가능한 것으로 판단되지만 동일 성능에서도 10 dB 이상의 편차를 보이기 때문에 주의가 필요해 보인다. 2개 충격원 사이의 편차는 ±5 dB 이상도 보이고 있기 때문에 충격원 상호간의 직접적인 결과 환산은 한계가 존재한다고 판단된다.

일본은 타이어와 고무공 충격원 모두를 사용하고 있으나, 2개 충격원이 동일한 평가지표를 사용하지

않고 타이어는 L등급, 고무공은 A 특성 음압 레벨을 적용하고 있다. 바닥충격음 평가지표로 여러 지표를 적용할 수 있을 것이지만 각 충격원에 특징에 맞는 평가지표를 선정하고 적용하는 것이 충격원의 특징을 보다 더 잘 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비 지원(19RERP-B082204-06)에 의해 수행되었습니다.

References

- (1) Inoue, K., Yasuoka, M. and Tachibana, H., 2000, New Heavy Impact Source for the Measurement of Floor Impact Sound Insulation of Building, Proceedings of Inter-noise 2000, pp. 1493~1496.
- (2) Inoue, K., Yasuoka, M. and Tachibana, M., 2001, Development of Standard Heavy Impact Source for Measurement of Floor Impact Sound, AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 7, No. 14 pp. 143~148.
- (3) Korean Agency for Technology and Standards, 2012, Field Measurement of Floor Impact Sound Insulation of Buildings – Part 2: Method Using Standard Heavy Impact Sources, KS F 2810-2.
- (4) International Organization for Standardization, 2017, Acoustics - Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements – Part 5: Requirements for Test Facilities and Equipment, ISO 10140-5.
- (5) Hamada, Y., 2012, Impact Force Characteristics of Walking, Running and Jumping Children, Proceedings of Meeting of Architectural Institute of Japan.
- (6) Tomita, R., Inoue, K. and Ito, W., 2008, Floor Vibration Response on Various Movement of Persons and The Rubber Ball Impact, AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 14, No. 27. pp. 179~182.
- (7) Jeong, J. H., Lee, S. C. and Jeon, J. Y., 2002, Investigating the Adequacy of Rubber Ball Impactor for Floor Impact Noise Evaluation, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 468~473.
- (8) Korean Agency for Technology and Standards, 2017, Rating of Floor Impact Sound Insulation for Impact Source in Buildings and Building Elements – Part 2: Floor Impact Sound Insulation against Standard

Heavy Impact Source, KS F 2863-2.

(9) Japanese Industrial Standards Committee, 2000, Acoustics-Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements – Part 2: Floor Impact Sound Insulation, JIS A 1419-2.

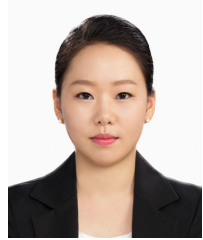
(10) Okano, T., 2016, Correspondence between two types of rating indices for the heavy weight floor impact sound insulation of residential buildings, Applied Acoustics, Vol. 106, pp. 10~15.

(11) Architectural Institute of Japan, 2016, Guidance for Evaluation and Design of Sound Insulation in Apartment Houses.

(12) Kim, H. S., Kim, M. J. and Kim, H. G., 2002, Correlation of Single-number Ratings for Sound Insulation by Floor Impact, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 791~723.



Kyoung-Woo Kim received Ph.D. in architecture engineering from Hanyang university in 2009. He is working at KICT(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) as a Research Fellow. His research interests are floor impact sound, vibration, insulation and absorption in architecture environment.



Hye-Kyung Shin is Research Specialist at KICT(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology). She received the M.S. degree in Dept. of architectural engineering from University of Seoul in 2015. Her research interests are architectural acoustic and environmental noise.