측정 불확도에 따른 중량충격음 측정편차에 관한 연구

Measurement uncertainty in heavy-weight floor impact sounds

유승엽†·김용희*·심명희*·전진용**

Seung Yup Yoo, Yong Hee Kim, Myoung Hee Sim and Jin Yong Jeon

Key Words : Heavy-weight impact sounds(중량 바닥충격음), Measurement uncertainty(측정 불확도), Measurement error(측정 편차), Field measurement(현장측정)

ABSTRACT

In a field measurement, measurement errors are produced by measuring environments and systematic errors in the measurement procedure. Measurement errors can be expressed as a measurement uncertainty. In this study, the measurement uncertainty and various measuring factors are investigated in heavy-weight impact sounds. According to KS 2810-2, the model functions, which is the estimation of the maximum SPL measurement in each octave band frequency, are determined. From this estimation model, 3.53dB is shown in 63Hz. This level is caused by the sound field of the receiving room, which does not meet the diffusing field.

1. 서 론

2004년 바닥충격음 레벨에 대한 법적규제 시행에 따라 바닥충격음 저감을 위한 다양한 바닥구조들이 개발되고 있다. 특히 전 건설교통부에서 고시하여 시행하고 있는 “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”(건설교통부 고시 제2006-435호)에 의해 다양한 바닥충격음 저감구조들이 인정구조로 채택되고 있다.

다양한 개발업체의 저감구조 개발과 더불어 관련 인정 및 시험에 대한 정확도(Precision) 개선을 통한 측정품질의 향상을 위한 연구들이 지속적으로 지적되고 있다. 특히 중량충격음의 경우 바닥구조의 구속조건에 따라 측정결과에 영향을 크게 받기 때문에 대부분 현장측정방법(KS F 2810-2 바닥 충격음 차단 성능 현장 측정 방법-제2부 : 표준 중량 충격원에 의한 방법)을 따르고 있다. 그러나 공동주택 수음실의 음향특성은 비확산 음장이므로 측정위치에 따라 큰 편차가 나타나 기관에 따라 편차를 발생하여 문제가 되었다.

이에 건설교통부 주관으로 충격원 가진점 및 수음점을 규정하는 연구들이 진행되어 고시 제2006-435호에 의하여 표준측정방법을 제시하였다. 그러나 현장 바닥충격음 측정방법은 다양한 측정계통 및 현장조건에 대한 변인을 포함하고 있다. 따라서 이러한 변인들에 대한 측정결과에 대해 미치는 영향을 살펴보는 연구들이 필요하다.

한편, KOLAS와 같은 인정시험기구들에서는 각 시험기관들이 불확도 추정절차를 확보하여 측정된 결과를 공인 성적서 내에 불확도 산출결과를 포함하여 의뢰자에게 전달하는 것을 권고하고 있다.

따라서 본 연구에서는 현장 중량충격음 측정편차의 원인과 영향을 살펴보고자 바닥충격음의 측정 불확도 추정절차를 검토하였고, 실제 측정결과를 통하여 모델을 검증하여 측정방법의 통계적인 오차수준을 평가하였다.

2. 중량충격음 측정량 및 모델식

2.1 중량충격음 측정량

중량충격음의 측정량은 63, 125, 250, 500Hz의 1/1 옥타브 밴드주파수 대역별 바닥충격음 최대음압레벨

† 교신저자; 한양대학교 건축환경공학과
E-mail : syrus81@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2220-4794

* 한양대학교 건축환경공학과

** 한양대학교 건축공학과 교수

($L'_{F_{\max}}$)과 단일수치 평가 값으로 역A특성 가중평균 바닥충격음 최대음압레벨($L'_{F_{\max,AW}}$)로 구분된다. 이러한 측정량의 산출은 다음의 측정프로세스에 의해 이뤄진다.

2.2 모델식

(1) 중심주파수 대역별 최대음압레벨

각 수음점에서의 바닥충격음레벨은 사운드레벨미터에서 동일변수를 반복 측정하는 것으로 식 (1)~(3)의 순서에 따라 계산한다.

$$L_{R(\text{수음점})} = L \ (t\text{번 반복 측정}) \qquad \text{식 (1)}$$

여기서 L_R: 각 수음점별 반복 측정 레벨 평균값 [dB]

t: 반복 측정 회수 [회]

L: 1회 가진시 바닥충격음레벨의 최대음압레벨 [dB]

$$L_{S(\text{가진점})} = 10\log\left(\frac{1}{p}\sum_{n=1}^{p} 10^{\frac{L_{R(n)}}{10}}\right) \qquad \text{식 (2)}$$

여기서 L_S: 각 가진점별 바닥충격음레벨의 수음점들의 에너지평균값 [dB]

p: 바닥충격음 수음점의 수 [개소]

$$L_i = \frac{1}{m}\sum_{n=1}^{m} L_{S(n)} \qquad \text{식 (3)}$$

여기서 L_i: 각 가진점간 바닥충격음 최대음압레벨의 산술평균값 [dB]

m: 바닥충격음 가진점의 수 [개소]

수음실의 배경소음도는 식 (4)와 같이 측정하며, 측정된 바닥충격음 최대음압레벨(L_i)과 배경소음도(L_{Bg})의 차가 6 dB이상이면 식 (5)와 같이 배경소음의 영향이 보정된 바닥충격음 최대음압레벨을 산정한다. 만약 6 dB이하이면 측정결과를 사용하지 않는다.

$$L_{Bg} = L_b \ (t\text{번 반복 측정}) \qquad \text{식 (4)}$$

여기서 L_b: 1회 측정시 배경소음의 시간평균레벨 [dB]

L_{Bg}: 배경소음 레벨 [dB]

$$L'_{Fmax} = 10\log\left(10^{\frac{L_i}{10}} - 10^{\frac{L_{Bg}}{10}}\right) \qquad \text{식 (5)}$$

여기서 $L'_{F_{\max}}$: 배경소음의 영향이 보정된 바닥충격음 최대음압레벨 [dB]

(2) 역A특성 가중평균 바닥충격음 최대음압레벨

역A특성 가중평균 바닥충격음 최대음압레벨($L'_{F_{\max,AW}}$)은 배경소음의 영향이 보정된 주파수 대역별 바닥충격음 최대음압레벨을 기준으로 역A특성곡선을 상회하는 최대음압레벨의 합이 8 dB 미만이 되도록 역A특성곡선을 음압레벨 축 방향으로 ±1 dB 간격으로 평행 이동하여 계산한 뒤, 가능한 최대곡선의 500 Hz 대역의 값으로 표현한다. 그러나 단일수치평가값의 산출은 위에서 설명하는 바와 같이 가중법을 사용하므로 모델식을 정의하기 어렵다. 따라서 감도계수의 산정이 불가능하여 불확도 추정에 한계가 있다. 따라서 단일값에 대한 불확도 산출은 반복측정에 따른 A형 불확도에 의존하는 방법만이 유효할 것으로 사료된다.

2.3 중량충격음 주파수 대역별 불확도 요소

중량충격음 주파수 대역별 최대음압레벨의 불확도 요소는 Fig 1.과 같으며 각 요소는 다음을 의미한다.

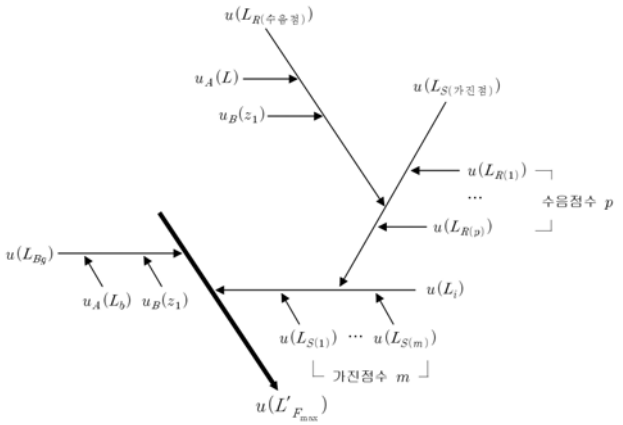

Fig 1. 주파수 대역별 최대음압레벨의 불확도 모델

① $u(L_{R(\text{수음점})})$: 1개 수음점에 대한 바닥충격음 최대음압레벨의 합성표준불확도

- $u_A(L)$: 동일 가진점 및 수음점에 대해 반복측정을 통한 바닥충격음 최대음압레벨의 A형 불확도
- $u_B(z_1)$: 측정장비에 의한 B형 불확도

② $u(L_{S(\text{가진점})})$: 1개 가진점에서 수음점 에너지평균시 합성표준불확도, 수음점 개수에 따라 $u(L_{R(1)})$~$u(L_{R(p)})$ 모두 합성

③ $u(L_i)$: 가진점간 산술평균시 합성표준불확도, 가진점 개수에 따라 $u(L_{S(1)})$~$u(L_{S(m)})$ 모두 합성

④ $u(L_{Bg})$: 배경소음도의 합성표준불확도

•$u_A(L_b)$: 동일 가진점 및 수음점에 대해 반복측정을 통한 배경소음 평균음압레벨의 A형 불확도

•$u_B(z_1)$: 측정장비에 의한 B형 불확도

⑤ $u(L'_{F_{\max}})$: 배경소음을 보정한 바닥충격음 최대음압레벨의 합성표준불확도로서 $u(L_i)$와 $u(L_{Bg})$를 합성

3. 불확도 산출

3.1 불확도 산출방법

(1) 1개 수음점에 대한 최대음압레벨의 합성표준불확도 : 식 (1)

① A형 표준불확도 $u_A(L)=\dfrac{\sqrt{\sum_{j=1}^{t}\dfrac{(L_{(j)}-\overline{L})}{t-1}}}{\sqrt{t}}$

② B형 표준불확도 $u_B(z_1)=0.2$

③ 감도계수 $c(L)=\dfrac{\delta u(L_R)}{\delta u(L)}=1$

④ 합성표준불확도

$u(L_{R(수음점)})=\sqrt{[c(L)u_A(L)]^2+u_B(z_1)^2}$

⑤ 자유도

$$\nu(L_{R(수음점)})=\frac{u(L_{R(수음점)})^4}{\dfrac{u_A(L)^4}{\nu(L)}+\dfrac{u_B(z_1)^4}{\infty}}=\frac{u(L_{R(수음점)})^4}{\dfrac{u_A(L)^4}{\nu(L)}}$$

(2) 1개 가진점에서 수음점 에너지평균시 합성표준불확도 : 식 (2)

A형 표준불확도 및 B형 표준불확도 요소 없다. 대신 (1)에서 구한 $u(L_{R(수음점)})$을 합성한다.

① 감도계수

$$c(L_{R(수음점)})=\frac{\delta u(L_{S(가진점)})}{\delta u(L_{R(수음점)})}=\frac{\log_{10}e}{\sum_{n=1}^{p}10^{\frac{L_R(n)}{10}}}\times\frac{1}{10}10^{\frac{L_{R(수음점)}}{10}}\ln 10$$

② 합성표준불확도

$$u(L_{S(가진점)})=\sqrt{\sum_{j=1}^{p}[c(L_{R(j)})u(L_{R(j)})]^2}$$

③ 자유도 $\nu(L_{S(가진점)})=\dfrac{u(L_{S(가진점)})^4}{\sum_{j=1}^{p}\dfrac{u(L_{R(j)})^4}{\nu(L_{R(j)})}}$

(3) 가진점간 산술평균시 합성표준불확도 : 식(3)

A형 표준불확도 및 B형 표준불확도 요소 없다. 그 대신 (2)에서 구한 $u(L_{S(가진점)})$을 합성한다.

① 감도계수 $c(L_{S(가진점)})=\dfrac{\delta u(L_i)}{\delta u(L_{S(가진점)})}=\dfrac{1}{m}$

② 합성표준불확도

$$u(L_i)=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}[c(L_{S(j)})u(L_{S(j)})]^2}=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}[\frac{u(L_{S(j)})}{m}]^2}$$

③ 자유도 $\nu(L_i)=\dfrac{u(L_i)^4}{\sum_{j=1}^{m}\dfrac{u(L_{S(j)})^4}{\nu(L_{S(j)})}}$

(4) 배경소음레벨의 합성표준불확도 : 식(4)

① A형 표준불확도 $u_A(L_b)=\dfrac{\sqrt{\sum_{j=1}^{t}\dfrac{(L_{b(j)}-\overline{L_b})}{t-1}}}{\sqrt{t}}$

② B형 표준불확도 $u_B(z_1)=0.2$

③ 감도계수 $c(L_b)=\dfrac{\delta u(L_{Bg})}{\delta u(L_b)}=1$

④ 합성표준불확도

$u(L_{Bg})=\sqrt{[c(L_b)u_A(L_b)]^2+u_B(z_1)^2}$

⑤ 자유도

$$\nu(L_{Bg})=\frac{u(L_{Bg})^4}{\dfrac{u_A(L_b)^4}{\nu(L_b)}+\dfrac{u_B(z_1)^4}{\infty}}=\frac{u(L_{Bg})^4}{\dfrac{u_A(L_b)^4}{\nu(L_b)}}$$

(5) 배경소음을 보정한 중량충격음 최대음압레벨의 합성표준불확도 : 식(5)

A형 표준불확도 및 B형 표준불확도 요소가 없다. 대신 식 (3)에서 구한 $u(L_i)$와 식 (4)에서 구한 $u(L_{Bg})$를 합성한다.

① 감도계수

$$c(L_i)=\frac{\delta u(L'_{F_{\max}})}{\delta u(L_i)}=\frac{\log_{10}e}{10^{\frac{L_i}{10}}-10^{\frac{L_{Bg}}{10}}}\times\frac{1}{10}10^{\frac{L_i}{10}}\ln 10$$

$$c(L_{Bg})=\frac{\delta u(L'_{F_{\max}})}{\delta u(L_{Bg})}=\frac{\log_{10}e}{10^{\frac{L_i}{10}}-10^{\frac{L_{Bg}}{10}}}\times(-)\frac{1}{10}10^{\frac{L_{Bg}}{10}}\ln 10$$

(6) 최종합성불확도

주파수대역별 중량충격음 최대음압레벨의 최종합성불확도와 유효자유도는 다음의 식 (6), (7)에 의해 구해진다.

$$u(L'_{F_{\max}})=\sqrt{[c(L_i)u(L_i)]^2+[c(L_{Bg})u(L_{Bg})]^2} \quad 식\ (6)$$

$$\nu_{eff}=\frac{u(L'_{F_{\max}})^4}{\dfrac{u(L_i)^4}{\nu(L_i)}+\dfrac{u(L_{Bg})^4}{\nu(L_{Bg})}} \quad 식\ (7)$$

주파수 대역별 최대음압레벨의 확장불확도는 각각의 최종 합

성표준불확도에 포함인자를 곱하여 산출한다. 포함인자는 ν_{eff}에 따라서 신뢰수준 95.45 %에서 t-분포값을 사용하며, ν_{eff}가 100보다 큰 경우에는 근사값 2를 포함인자로 사용한다.

3.2 불확도 산출예시

본 불확도 모델을 검증하기 위한 중량충격음 주파수 대역별 최대음압레벨의 불확도 산출예시는 표준시험동 150mm 두께의 맨슬래브에서 이뤄졌다. 측정조건은 가진점 5개, 수음점 3개로 설정하였으며 5회 반복측정에 의해 이뤄졌다.

본 예시에서는 63Hz 대역에 대한 불확도 추정이 이뤄졌으며 각 절차에 따른 불확도 추정은 Table 1.~ Table 4.의 순서로 이뤄졌다.

식(2)에 의한 합성표준불확도에 있어 1개 가진점에서의 수음점 간 에너지 평균레벨의 불확도가 0.99 수준을 가지고 있어 수음점간 공간별 레벨의 편차가 측정불확도 산출에 영향을 미칠 수 있음을 확인할 수 있다.

Table 4.의 배경소음을 보정한 규준화 바닥충격음레벨의 합성표준불확도는 1.76으로 이에 포함인자(k) 2를 곱하여 확장불확도($U(L'_{Fmax})$)로 표현하면 3.53 dB의 불확도가 나타내게 된다.

Table 1. 수음점 1개 지점에서의 불확도 산출 (63Hz)

가진 수음 번호	산술 평균 L_R	표준 편차 s	A형 불확도 $u_A(L_R)$	확장 불확도 $U(z_1)$	B형 불확도 $u_B(z_1)$	합성표준 불확도 $u(L_R)$	자유도 vL_R
1-1	67.6	0.57	0.26	0.3	0.15	0.30	7.19
1-2	62.9	0.76	0.34	0.3	0.15	0.37	5.69
1-3	65.0	0.48	0.21	0.3	0.15	0.26	8.94

Table 2. 가진점 1개 지점에서의 수음점간 에너지 평균레벨의 불확도 산출

수음점 평균 레벨 L_R	수음점 n L_{Rn}	합성 표준 불확도 $u(L_{Rn})$	자유도 vL_{Rn}	수음점간 에너지 평균레벨 L_S	감도 계수 $c(L_{Rn})$	합성 표준 불확도 $u(L_S)$	자유도 vL_S
63 Hz	67.6	0.30	7.19	65.6	2.82	0.99	194.20

Table 3. 가진점간 산술평균시 불확도 산출

수음점간 에너지 평균 레벨 L_S	가진점 n L_{Sn}	합성 표준 불확도 $u(L_{Sn})$	자유도 vL_{Sn}	가진점간 산술평균 레벨 L_i	감도 계수 $c(L_{Sn})$	합성표준 불확도 $u(L_i)$	자유도 vL_i
63 Hz	65.6	0.99	194.20	63.3	0.20	0.33	1.83

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 중량충격음의 측정불확도 산출을 위한 모델을 제안하고 실제 바닥충격음 측정결과를 통해 불확도 산출모델을 검증하였다.

불확도 산출결과, 이전 연구결과(0.16~0.97dB)에 비해 큰 범위의 측정불확도를 가지고 있음을 확인할 수 있었다[(1)]. 본 연구에서는 각 수음점과 가진점에 대해 각각의 불확도를 추정하여 산출한 것으로 각 모델식 하나하나에 대해 불확도를 산출하는 순차적으로 산출 방식으로 보다 큰 불확도를 가지는 것으로 사료된다.

또한 불확도 산출결과, 수음실의 비확산음장에 의해 수음점간 음압레벨 편차가 큰 현상이 1지점에서의 평균 음압레벨의 불확도가 크게 나타나는 요인으로 작용하는 것을 확인할 수 있었다[(2)]. 따라서 비확산음장을 가지고 있는 현장조건에서 중량충격음 평가의 불확도를 개선하기 위해서는 수음실에 대한 음장에 대한 조사가 이뤄져야 하며 이를 바탕으로 유효 측정점을 산정하는 방식으로 측정평가방법을 개선하거나 표준화된 확산음장을 구현할 수 있도록 시설물을 설치하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

현재 중량충격음의 평가는 단일수치평가값으로 이뤄지고 있다. 그러나 불확도 산출에 있어 모델식 도출에는 한계를 가지고 있다. 따라서 중량충격음 단일수치평가값의 평가를 위한 불확도 산출에 있어서는 반복측정에 따른 A형 불확도로 평가하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한 현장 중량충격음의 측정불확도를 개선하기 위해서는 측정점 및 가진점 선정에 대한 연구방법들이 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

(1) J. C. Go. and J. I. Lee., 2006, "A study on estimation of uncertainty in measurement of heavy impact sound insulation of floors", Proceedings of the AIK Annual Conference, pp. 729-732.

(2) S. Y. Yoo, S. Y. Lee and J. Y. Jeon., 2007, "Investigation of the heavy-weight floor impact sound field in a testing building with bearing wall structure", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 969-973.

Table 4. 배경소음을 보정한 중량충격음 최대음압레벨의 불확도 산출

주파수 대역	가진점간 산술평균 레벨 L_i	합성표준 불확도 $u(L_i)$	자유도 vL_i	배경소음의 산술평균 L_{Bg}	합성표준 불확도 $u(L_{Bg})$	자유도 vL_{Bg}	보정된 측정레벨 L'_{Fmax}	감도 계수 $c(L_i)$	감도 계수 $c(L_{Bg})$	합성표준 불확도 $u(L'_{Fmax})$	유효 자유도 v_{eff}
63 Hz	63.3	0.33	1.83	25.0	0.19	28.05	63.3	5.30	0.00	1.76	1440.41