

공동주택 경량바닥충격음 측정불확도 추정에 관한 연구 A Study on Estimation of Uncertainty in Measurement of Light Impact Sound Insulation of Floors

고종철† · 이종인* · 김현배** 이철***

Go, Jong-Chul, Lee, Jong-In, Kim, Hyun-Bae, Lee, Chul

Key Words : Uncertainty in Measurement(측정불확도), Light Impact Sound Insulation of Floors(경량바닥충격음).

ABSTRACT

In measuring, uncertainty in measurement is essential to improve measuring reliability. Currently, however, in measuring impact sound insulation of floors, there are no guidelines to estimate uncertainty in measurement. In addition, the concept of uncertainty in rating is required to recognize the relation between measuring and rating. Therefore, through this paper, the efforts have been made to establish uncertainty in measurement and rating of light impact insulation of floors. The result of estimating of uncertainty in measurement and rating in our laboratory is considered reliable, considering $\pm 0.46 \sim 1.44$ dB of uncertainty in measurement and 1dB of uncertainty in rating.

1. 서론

1993년 국제표준화기구(ISO)는 BIPM, IEC, IFCC, IUPAC, IUPAP 및 OIML 등의 저명한 국제기구화 합동으로 모든 측정현장에서 통일적으로 적용할 수 있는 “측정불확도 표현지침(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)”을 발간하였다. 이 지침은 1970년대부터 국제도량형위원회(CIPM)가 중심이 되어 국제적으로 동의를 얻을 수 있는 측정불확도 표현방법을 검토하던 끝에 발간된 것으로 현재로서는 측정불확도 평가와 표현에 있어 가장 적절한 접근방법으로 인정받고 있기 때문에 세계적으로 널리 채택되고 있다. 하지만 바닥충격음 측정 및 평가 부문에서는 아직까지 체계화된 측정불확도가 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 바닥충격음 중 경량충격음을 대상으로 하여 측정불확도를 추정하였으며, 평가불확도에 대해서 역 A 특성곡선으로 평가를 시도하였다.

2. 측정불확도의 개념 및 추정순서

2.1 측정불확도

측정불확도란 측정품질이 어떤가를 알려주는

수단으로 어떤 측정결과에서도 존재하는 의심으로 GUM(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 측정불확도 표현지침서)에 의하면 측정결과에 관련하여, 측정량을 합리적으로 추정한 값들의 분산특성을 나타내는 파라미터이다. 불확도 성분의 평가는 A형 불확도 평가와 B형 불확도 평가로 구분되며, A형 불확도 평가에서 분산의 추정값 u^2 은 반복 측정된 값으로부터 계산되며, 이는 통계학에서 사용되는 표준분산 s^2 에 해당한다. 추정 표준편차 u 는 u^2 의 양(+)의 제곱근으로서 $u=s$ 이 되며 이를 편의상 ‘A형 표준불확도’라고 부른다. B형에 의해 산출되는 분산의 추정값 u^2 은 이미 알려진 정보를 이용하여 구하며 이때 추정표준편차 u 를 ‘B형 표준불확도’라고 부른다. 즉 A형 표준불확도는 반복측정값의 빈도분포에 근거한 확률밀도함수에서 구하는 반면, B형 표준불확도는 기존의 정보 또는 문헌을 통해 측정값이 가질 수 있는 확률밀도함수를 가정하여 구한다. 두 가지 방법은 모두 확률에 근거를 둔 것이다.

2.2 측정불확도 추정순서

먼저 측정량에 대한 모델식을 정립한 후, 불확도 요인에 대해 표준불확도를 A형 평가, B형 평가를 통해 도출한 다음 불확도 전과법칙에 의해 합성표준불확도를 구한다. 최종적으로 확장불확도를 t 분포를 이용하여 산정한다. 합성표준불확도를 산정하는데는 일반적으로 불확도 요인의 감도계수 제곱과 표준불확도의 제곱의 곱들의 합의 제곱근으로 산정하지만 행렬을 이용하거나 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하는 방법도 있다. 본 연구에서는 GUM에서 제시하는 일반적인 방법을 사용하

† 고종철 ; 포스코건설 기술연구소

E-mail : 90water@poscoenc.com

Tel : (031) 370-9816, Fax : (031) 370-9829

* 포스코건설 기술연구소 건축기술연구팀장

** 포스코건설 기술연구소 소장

*** 포스코건설 상무

였다.

3. 경량충격음 레벨 측정량 및 모델식

3.1 시험규격

“KS F 2810-1:2001 바닥충격음 차단성능 현장측정방법-제 1 부 : 표준경량충격원에 의한 방법”에 의하면 다음과 같다.

- ① 수음실의 배경소음을 측정한다.
- ② 음원실에 경량충격원을 중앙점 부근에 위치 한 후 수음실의 4 점 이상에 대해 배경소음이 포함된 등가음압레벨을 측정한다. 음원실의 경량 충격원 위치는 실의 주변 벽으로부터 0.5 m 이상 떨어진 바닥 평면 내로 하며, 고정 마이크로폰의 경우 마이크로폰의 위치는 천장, 주위 벽, 바닥면 등으로부터 0.5 m 이상 떨어진 공간 내로 서로 0.7 m 이상 떨어진 4 점 이상의 측정점을 공간적으로 균등하게 분포시킨다.
- ③ 음원실의 경량충격원을 중앙점 부근 1 점 에 대해 수음실의 측정이 완료되면, 음원실에 균 등하게 분포하는 3 점 이상의 다른 위치로 이동시 키면서 수음실의 측정점별로 등가음압레벨을 측정 한다.
- ④ 수음실의 잔향시간을 측정한다.

KS규격이 경량충격원의 위치 및 마이크로폰 의 위치를 범위로 해서 위치별로 다른 측정결과를 인한 민원의 소지를 갖고 있었다. 하지만 2006 년 6 월 30 일 고시된 공동주택 바닥충격음 차단 구조 인정 및 관리기준의 내용에 의하면 수음실에 설치하는 마이크로폰의 높이는 바닥으로부터 1.2 m로 하며, 거리는 벽면 등으로부터 0.75 m(수음 실의 바닥면적이 14 m² 미만인 경우에는 0.5 m) 떨어진 지점으로 하였고 측정공간도 거실로 한정 하여 민원에 대한 객관적 기준을 마련하였다. 하 지만 음원실의 충격원 위치와 수음실의 측정위치 는 중앙점을 포함한 4 개소 이상으로 하여 충격원 의 위치와 음원실의 측정위치에 따른 측정값의 신 뢰성에 논란의 소지를 남겨놓았다.

3.1 모델식

(1) 규준화 바닥충격음 레벨 L'_n (dB)

$$L'_n = L + 10 \log \frac{A}{A_0}$$

- L : 바닥충격음 레벨(dB)
- A : 수음실의 흡음면적 (m²)
- A_0 : 기준 등가흡음면적 (= 10 m²)

(2) 바닥충격음 레벨 L (dB)

$$L = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L_i$$

- m : 가진점의 수
- L_i : i 번째 가진점에서의 실내평균 음압레벨(dB)
- (3) 가진점 i 에서의 실내평균 음압레벨 L_i (dB)

$$L_i = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_{ij}/10} \right)$$

- n : 가진점의 수
- L_{ij} : j 번째 측정점에서의 배경소음이 보정된 음압레벨 (dB)
- (4) 가진점 i 일때 측정점 j 에서의 배경소음이 보정된 음압레벨 L_{ij} (dB)

$$L_{ij} = L_{sb,ij} - L_{c,ij}$$

- $L_{sb,ij}$: 배경소음이 포함된 음압레벨 (dB)
- $L_{c,ij}$: 배경소음 보정치 (dB)

4. 경량바닥충격음 측정불확도 인자

4.1 배경소음이 포함된 음압레벨($L_{sb,ij}$)에 대한 합성표준불확도 $u(s)$

①마이크로폰의 교정성적서상의 불확도(B Type)
단위 : Hz, dB

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 불확도 U | ±0.07 | ±0.07 | ±0.07 | ±0.07 | ±0.07 |
| k (약 95%의 신뢰수준) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 표준불확도 $u(sm)$ | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 |

②소음측정장비의 교정성적서상의 불확도(B Type)
단위 : Hz, dB

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-------------------|------|------|------|-------|-------|
| 불확도 U | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| k (약 95%의 신뢰수준) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 표준불확도 $u(sl)$ | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |

③소음측정장비 교정기의 교정성적서상의 불확도(B Type)

단위 : Hz, dB

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|----------------|------|------|------|-------|-------|
| 불확도 U | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| k(약 95%의 신뢰수준) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 표준불확도 $u(sc)$ | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

④경량충격원(Tapping Machine)에 대한 불확도(B Type)

경량충격원은 국내에서는 주로 추무계를 측정하지만, 제조사의 특성상 추 분리가 어려워 측정불확도 추정을 위해 한 지점에 대해 10 회 측정된 음압레벨의 표준편차를 불확도로 추정하였다.

단위 : Hz, dB

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|---------------|------|------|------|-------|-------|
| 표준불확도 $u(st)$ | 0.62 | 0.57 | 0.43 | 0.43 | 0.59 |

⑤최대음압레벨에 대한 합성표준불확도 $u(s)$

단위 : Hz, dB

| 주파수 (Hz) | | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 장비명 | 표준 불확도 | | | | | |
| 마이크로폰 | $u(sm)$ | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 |
| 소음측정장비 | $u(sl)$ | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| 소음측정교정기 | $u(sc)$ | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

합성표준불확도 $u(s)$, (dB)

$$u(s) = \sqrt{(c_{sm}u(sm))^2 + (c_{sl}u(sl))^2 + (c_{sc}u(sc))^2 + (c_{st}u(st))^2}$$

c_{sm} : 마이크로폰의 표준불확도 $u(sm)$ 에 대한 감도계수(= 1.0)

c_{sl} : 소음측정장비의 표준불확도 $u(sl)$ 에 대한 감도계수(= 1.0)

c_{sc} : 소음측정장비 교정기의 표준불확도 $u(sc)$ 에 대한 감도계수(= 1.0)

c_{st} : 경량충격원의 표준불확도 $u(st)$ 에 대한 감도계수(= 1.0)

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------------|------|------|------|-------|-------|
| 표준불확도 $u(s)$ | 0.63 | 0.58 | 0.44 | 0.44 | 0.60 |

유효자유도 $\nu_{eff,s}$ 를 산정하기 위해 A Type 불확도 요인에 대한 자유도는 n-1, B-Type 불확도 요인에 대한 인자는 무한대(∞)로 고려한다.

$$\nu_{eff,s} = \frac{u^4(s)}{(c_{sm}u(sm))^4 + (c_{sl}u(sl))^4 + (c_{sc}u(sc))^4 + (c_{st}u(st))^4}$$

ν_{sm} : 마이크로폰에 대한 자유도(= ∞ , B-Type)

ν_{sl} : 소음측정장비에 대한 자유도(= ∞ , B-Type)

ν_{sc} : 소음측정장비 교정기에 대한 자유도(= ∞ , B-Type)

ν_{st} : 경량충격원에 대한 자유도(= 9, B-Type)

위식에 대입 후 정리하면 $\nu_{eff,s}$ 는 다음과 같다.

| 주파수(Hz) | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|---------------------|-----|-----|-----|-------|-------|
| 유효자유도 $\nu_{eff,s}$ | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 |

4.2 배경소음 음압레벨의 불확도 $u(b)$, (dB, A Type)

①소음측정장비의 불확도에 의한 요인

소음측정장비의 합성표준불확도 $u(c)$, (dB)

$$u(c) = \sqrt{(c_{sm}u(sm))^2 + (c_{sl}u(sl))^2 + (c_{sc}u(sc))^2}$$

c_{sm} : 마이크로폰의 표준불확도 $u(sm)$ 에 대한 감도계수(= 1.0)

c_{sl} : 소음측정장비의 표준불확도 $u(sl)$ 에 대한 감도계수(= 1.0)

c_{sc} : 소음측정장비 교정기의 표준불확도 $u(sc)$ 에 대한 감도계수(= 1.0)

단위 : Hz, dB

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 표준불확도 $u(c)$ | 0.086 | 0.086 | 0.086 | 0.086 | 0.103 |

②배경소음변동의 불확도 $u(d)$, (dB)

측정 전·후의 배경소음을 각각 4 회씩 측정하여 이의 표준편차를 이용하였다.

단위 : Hz, dB

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 표준편차 | 1.974 | 0.781 | 2.104 | 1.196 | 0.818 |
| $u(d)$ | 0.698 | 0.276 | 0.744 | 0.423 | 0.289 |

③배경소음 음압레벨의 불확도 $u(b)$, (dB)

$$u(b) = \sqrt{(c_c u(c))^2 + (c_d u(d))^2}$$

c_c : 소음측정장비의 표준불확도 $u(c)$ 에 대한 감도계수 (= 1.0)

c_d : 배경소음변동의 불확도 $u(d)$ 에 대한 감도계수 (= 1.0)

단위 : Hz, dB

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 합성표준불확도 $u(b)$ | 0.703 | 0.289 | 0.749 | 0.431 | 0.301 |

④배경소음 음압레벨의 합성자유도 $v_{eff,b}$ 는 다음과 같다.

| 주파수(Hz) | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-------------------|-----|-----|-----|-------|-------|
| 유효자유도 $v_{eff,b}$ | 7 | 8 | 7 | 8 | 8 |

4.3 배경소음이 보정된 음압레벨의 측정불확도 $u(e)$

①배경소음이 포함된 음압레벨과 배경소음 음압레벨의 차 L_e (dB)

$$L_e = L_{sb} - L_b$$

L_{sb} : 배경소음이 포함된 바닥충격음 레벨 (dB)

L_b : 배경소음 음압레벨 (dB)

② L_e 의 불확도 $u(e)$ (dB)

$$u(e) = \sqrt{(c_s u(s))^2 + (c_b u(b))^2}$$

c_s : 배경소음이 포함된 바닥충격음의 불확도 u_s 에 대한 감도계수 (= 1.0)

c_b : 배경소음변동의 불확도 u_b 에 대한 감도계수 (= -1.0)

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 합성표준불확도 $u(e)$ | 0.941 | 0.645 | 0.868 | 0.615 | 0.668 |

③ 유효자유도 $v_{eff,e}$

| 주파수(Hz) | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-------------------|-----|-----|-----|-------|-------|
| 유효자유도 $v_{eff,e}$ | 16 | 14 | 12 | 17 | 14 |

④ 포함인자

t 분포표에서 약 95 %의 신뢰수준을 고려시 k 는 다음과 같다.

단위 : Hz, dB

| 주파수(Hz) | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| K | 2.120 | 2.145 | 2.179 | 2.110 | 2.145 |

⑤신뢰수준 약 95 %인 경우 확장불확도 $U(1)$, (dB)

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $U(1)$ | 1.995 | 1.384 | 1.891 | 1.298 | 1.433 |

⑥배경소음 보정

단위 : Hz, dB

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 확장불확도 $U(1)$ 평균값 | ± 2.00 | ± 1.38 | ± 1.89 | ± 1.30 | ± 1.43 |
| 가진점 1의 L_e | 34.3 | 35.5 | 40.6 | 38.1 | 32.9 |
| 가진점 2의 L_e | 40.1 | 40.2 | 43.4 | 42.5 | 35.1 |
| 가진점 3의 L_e | 36.0 | 35.4 | 40.8 | 36.8 | 30.6 |
| 가진점 4의 L_e | 41.1 | 40.9 | 44.2 | 41.0 | 31.4 |

약 95 %의 신뢰수준에서 $15\text{dB} \leq L_e = L_{sb} - L_b$ 이므로 배경소음보정 불필요하다. 만약 배경소음의 확장불확도를 고려한 배경소음과의 차가 15 dB 미만이라면 보정값의 분포에 따라 배경소음 보정의 측정불확도를 추정해야 한다.

4.4 가진점 i 에서의 실내평균 음압레벨 L_i 의 합성표준불확도 $u(i)$, (dB, A Type)

① 가진점 i 에서의 실내평균 음압레벨 L_i

$$L_i = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_{ij}/10} \right)$$

n : 측정점의 수 (=4)

L_{ij} : j 번째 측정점에서의 배경소음이 보정된 음압레벨 (dB)

② L_i 에 대한 합성표준불확도 $u(i)$

$$u(i) = \sqrt{(c_{s1}u(s1))^2 + (c_{s2}u(s2))^2 + (c_{s3}u(s3))^2 + (c_{s4}u(s4))^2}$$

c_{sj} : L_{ij} 에 대한 감도계수

$u(sj)$: L_{ij} 에 대한 합성표준불확도 (dB)

③ 감도계수 c_{sj}

단위 : Hz, dB/dB

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| c_{11} | 0.202 | 0.337 | 0.304 | 0.266 | 0.258 |
| c_{21} | 0.184 | 0.203 | 0.242 | 0.237 | 0.220 |
| c_{31} | 0.403 | 0.154 | 0.201 | 0.260 | 0.252 |
| c_{41} | 0.211 | 0.307 | 0.253 | 0.237 | 0.270 |
| c_{12} | 0.139 | 0.224 | 0.236 | 0.262 | 0.245 |
| c_{22} | 0.252 | 0.214 | 0.236 | 0.244 | 0.302 |
| c_{32} | 0.400 | 0.240 | 0.236 | 0.244 | 0.219 |
| c_{42} | 0.210 | 0.323 | 0.291 | 0.250 | 0.234 |
| c_{13} | 0.154 | 0.239 | 0.284 | 0.269 | 0.201 |
| c_{23} | 0.274 | 0.228 | 0.210 | 0.224 | 0.231 |
| c_{33} | 0.434 | 0.194 | 0.253 | 0.245 | 0.248 |
| c_{43} | 0.137 | 0.338 | 0.253 | 0.263 | 0.319 |
| c_{14} | 0.265 | 0.304 | 0.257 | 0.251 | 0.245 |
| c_{24} | 0.236 | 0.271 | 0.263 | 0.229 | 0.234 |
| c_{34} | 0.319 | 0.205 | 0.251 | 0.275 | 0.257 |
| c_{44} | 0.179 | 0.220 | 0.229 | 0.245 | 0.263 |

④ 주파수대역별 합성표준불확도 $u(i)$, (dB)

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $u(i)$ | 0.332 | 0.301 | 0.222 | 0.220 | 0.299 |

| | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $u(2)$ | 0.335 | 0.292 | 0.220 | 0.219 | 0.301 |
| $u(3)$ | 0.346 | 0.295 | 0.220 | 0.220 | 0.303 |
| $u(4)$ | 0.319 | 0.292 | 0.220 | 0.220 | 0.299 |

⑤ 유효자유도 $\nu_{eff,i}$

$$\nu_{eff,i} = \frac{u^2(i)}{\frac{(c_{s1}u(s1))^2}{\nu_{s1}} + \frac{(c_{s2}u(s2))^2}{\nu_{s2}} + \frac{(c_{s3}u(s3))^2}{\nu_{s3}} + \frac{(c_{s4}u(s4))^2}{\nu_{s4}}}$$

ν_{sj} : L_{ij} 에 대한 자유도

ν_{sj} 는 가진점의 위치(i) 및 측정위치(j)와 무관하다고 가정하면 값은 다음 표와 같다.

| 주파수 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------|-----|-----|-----|-------|-------|
| 유효 자유도 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 |

$\nu_{eff,i}$ 는 다음과 같다.

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|---------------|-----|-----|-----|-------|-------|
| $\nu_{eff,1}$ | 24 | 29 | 36 | 38 | 37 |
| $\nu_{eff,2}$ | 24 | 33 | 37 | 39 | 35 |
| $\nu_{eff,3}$ | 21 | 31 | 37 | 38 | 34 |
| $\nu_{eff,4}$ | 33 | 34 | 39 | 38 | 37 |

4.5 바닥충격음 레벨 L (dB)에 대한 불확도 $u(f)$ (dB)

① 바닥충격음 레벨 L (dB)

$$L = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L_i$$

m : 가진점의 수

L_i : i 번째 가진점에서의 실내평균 음압레벨 (dB)

② L 에 대한 합성표준불확도 $u(f)$

$$u(f) = \sqrt{(c_{i1}u(i1))^2 + (c_{i2}u(i2))^2 + (c_{i3}u(i3))^2 + (c_{i4}u(i4))^2}$$

여기에서 c_{ij} : u_{ij} 에 대한 감도계수이다.

$u(ij)$: L_i 에 대한 불확도 (dB)

③ 감도계수 c_{ij}

$$c_{ij} = \frac{\partial L}{\partial L_i} = \frac{1}{4} = 0.25$$

④ 주파수대역별 합성표준불확도 $u(f)$

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $u(f)$ | 0.167 | 0.147 | 0.110 | 0.110 | 0.150 |

⑤ 유효자유도 $v_{eff,f}$

$$v_{eff,f} = \frac{u^2(f)}{\frac{(c_{i1}u(i1))^2}{v_1} + \frac{(c_{i2}u(i2))^2}{v_2} + \frac{(c_{i3}u(i3))^2}{v_3} + \frac{(c_{i4}u(i4))^2}{v_4}}$$

| 주파수(Hz) | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-------------|-----|-----|-----|-------|-------|
| $v_{eff,f}$ | 97 | 127 | 149 | 154 | 142 |

$v_i : L_i$ 에 대한 자유도

4.6 잔향시간의 측정불확도 $u(t)$, (s)

① 사운드소스의 측정불확도 $u(ts)$, (s, B-Type)

사운드소스에 대한 교정성적서를 받기가 어려워 사운드소스를 작동시킨 후 한 지점에 대해 10 회 측정된 잔향시간의 표준편차를 불확도로 추정하였다.

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0.96 | 1.05 | 1.15 | 0.92 | 0.59 |
| 2 | 0.93 | 0.79 | 1.19 | 0.92 | 0.62 |
| 3 | 0.98 | 0.90 | 1.19 | 0.91 | 0.62 |
| 4 | 1.03 | 1.02 | 1.09 | 0.91 | 0.56 |
| 5 | 0.89 | 1.24 | 1.31 | 0.90 | 0.64 |
| 6 | 1.13 | 1.28 | 1.36 | 0.91 | 0.51 |
| 7 | 1.13 | 1.16 | 1.18 | 0.94 | 0.61 |
| 8 | 1.07 | 1.10 | 1.26 | 0.89 | 0.63 |
| 9 | 1.12 | 1.20 | 1.10 | 0.87 | 0.60 |
| 10 | 1.07 | 1.10 | 1.17 | 0.89 | 0.62 |
| 표준편차 | 0.087 | 0.152 | 0.087 | 0.020 | 0.039 |
| $u(t)$ | 0.087 | 0.152 | 0.087 | 0.020 | 0.039 |

② 잔향시간의 측정불확도 $u(tt)$, (s, A Type)

수음실에서의 4 점의 표준불확도를 불확도로 추정하였.

| 주파수 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-----|-----|------|------|-------|-------|
| 1 | 1.6 | 0.96 | 1.03 | 1.01 | 0.7 |
| 2 | 1.6 | 1.2 | 1.1 | 1.05 | 0.8 |
| 3 | 1.7 | 1.04 | 1.12 | 1.15 | 0.7 |
| 4 | 1.4 | 1.19 | 1.07 | 1.00 | 0.7 |

| 표준편차 | 0.116 | 0.117 | 0.039 | 0.068 | 0.043 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $u(tt)$ | 0.0 | 0.06 | 0.02 | 0.03 | 0.0 |

③ 잔향시간의 합성불확도

$$u(t) = \sqrt{(c_{ts}u(ts))^2 + (c_{tt}u(tt))^2}$$

c_{ts}, c_{tt} 는 1 이므로

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $u(t)$ | 0.105 | 0.163 | 0.089 | 0.039 | 0.045 |

④ 잔향시간의 유효자유도 $v_{eff,t}$

$$v_{eff,t} = \frac{u^2(t)}{\frac{(c_{ts}u(ts))^2}{v_{ts}} + \frac{(c_{tt}u(tt))^2}{v_{tt}}}$$

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-------------|-----|-----|-----|-------|-------|
| $v_{eff,t}$ | 12 | 11 | 10 | 5 | 12 |

4.7 공간측정의 측정불확도 $u(v)$, (m^3 , B Type)

① 도면의 허용오차 10cm (건축법 시행규칙 제 20 조 허용오차)를 삼각형 분포로 가정하여 측정불확도를 산정

② 수음실의 용적 V (m^3)

$$V = W \times B \times H \text{ (4.4 m, 5.2 m, 2.4 m)}$$

③ W, B, H 불확도 $u(w), u(b), u(h)$ (m)

W, B, H 의 측정불확도 $u(w), u(b), u(h)$ 는 삼각형 분포로 가정하여 각각 $0.1/\sqrt{6}$ m (=0.0408 m) 로 산정하였다.

④ 감도계수

$$u(v) = \sqrt{(c_w u(w))^2 + (c_b u(b))^2 + (c_h u(h))^2}$$

$$c_w = \frac{\partial V}{\partial W} \Big|_{\substack{W=4.4 \\ B=5.2 \\ H=2.4}}, c_b = \frac{\partial V}{\partial B} \Big|_{\substack{W=4.4 \\ B=5.2 \\ H=2.4}}, c_h = \frac{\partial V}{\partial H} \Big|_{\substack{W=4.4 \\ B=5.2 \\ H=2.4}}$$

에서 $c_w = 12.48(m^2)$, $c_b = 10.56(m^2)$, $c_h = 22.88(m^2)$ 이다.

⑤ 공간측정의 합성표준불확도 $u(v)$

$$u(v) = 1.147 m^3$$

⑥ 유효자유도 $v_{eff,v}$

$$v_{eff,v} = \infty$$

4.8 흡음력보정의 불확도 $u(h)$, (dB)

① 흡음력 보정량 L_h (dB)

$$L_h = 10 \log \frac{A}{A_0}$$

A_0 : 기준 등가흡음면적 (= 10 m²)

A : 수음실의 흡음면적 (m²)

$$A = 0.16 \frac{V}{T}$$

V : 수음실의 체적 (m³)

T : 수음실의 잔향시간 (s)

$$L_h = 10 \log \left(0.016 \frac{V}{T} \right)$$

② 흡음력의 합성표준불확도

$$u(h) = \sqrt{(c_v u(v))^2 + (c_t u(t))^2}$$

감도계수는 다음과 같다.

$$c_v = \frac{\partial L_h}{\partial V} = \frac{10 \log_{10} e}{V} \text{ (dB/m}^3\text{)}$$

$$c_t = \frac{\partial L_h}{\partial T} = -\frac{10 \log_{10} e}{T} \text{ (dB/s)}$$

$V = 54.912 \text{ m}^3$ 를 대입하면 $c_v = 0.0792 \text{ (dB/m}^3\text{)}$ 이고 c_t 는 다음표와 같다.

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| V | 54.912 | | | | |
| T | 1.625 | 1.098 | 1.080 | 1.053 | 0.768 |
| c_t | -2.673 | -3.957 | -4.021 | -4.126 | -5.659 |

흡음력의 불확도 $u(h)$, (dB)

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $u(h)$ | 0.294 | 0.651 | 0.368 | 0.186 | 0.268 |

③ 유효자유도 $v_{eff,h}$

$$v_{eff,h} = \frac{u^4(h)}{\frac{(c_v u(v))^4}{v_v} + \frac{(c_t u(t))^4}{v_t}}$$

| 주파수(Hz) | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-------------|-----|-----|-----|-------|-------|
| $v_{eff,h}$ | 14 | 12 | 11 | 9 | 15 |

4.9 경량충격음의 음압레벨 L'_n 산정의 합성불확도 u (dB)

① 표준화 바닥충격음 레벨 L'_n (dB)

$$L'_n = L + 10 \log \frac{A}{A_0}$$

② 합성불확도 u (dB)

음압레벨 불확도 $u(f)$ 와 흡음력보정 불확도 $u(h)$ 의 합성불확도이다.

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| u | 0.338 | 0.668 | 0.384 | 0.216 | 0.307 |

③ 유효자유도 v_{eff}

$$v_{eff} = \frac{u^4}{\frac{(c_f u(f))^4}{v_f} + \frac{(c_h u(h))^4}{v_h}}$$

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-----------|-----|-----|-----|-------|-------|
| v_{eff} | 25 | 13 | 13 | 16 | 26 |

4.10 확장불확도의 추정

① 포함인자

k 는 다음과 같다.(t 분포표에서 약 95 %의 신뢰수준)

| 주파수(Hz) | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| k | 2.060 | 2.160 | 2.160 | 2.120 | 2.056 |

② 확장불확도 U

$U = k \times u$ 이므로 주파수별 확장불확도는 다음과 같다.

| 구분 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| U | ±0.696 | ±1.442 | ±0.830 | ±0.459 | ±0.631 |

③ 측정불확도 표현

| 주파수 (Hz) | 측정불확도 표현 |
|----------|--------------------------------------|
| 125 | 69.5 dB ± 0.70 dB (k=2, 약 95 % 신뢰수준) |
| 250 | 65.3 dB ± 1.44 dB (k=2, 약 95 % 신뢰수준) |
| 500 | 58.6 dB ± 0.83 dB (k=2, 약 95 % 신뢰수준) |

| | |
|-------|--------------------------------------|
| 1 000 | 52.7 dB ± 0.46 dB (k=2, 약 95 % 신뢰수준) |
| 2 000 | 44.0 dB ± 0.63 dB (k=2, 약 95 % 신뢰수준) |

5. 평가불확도의 산정

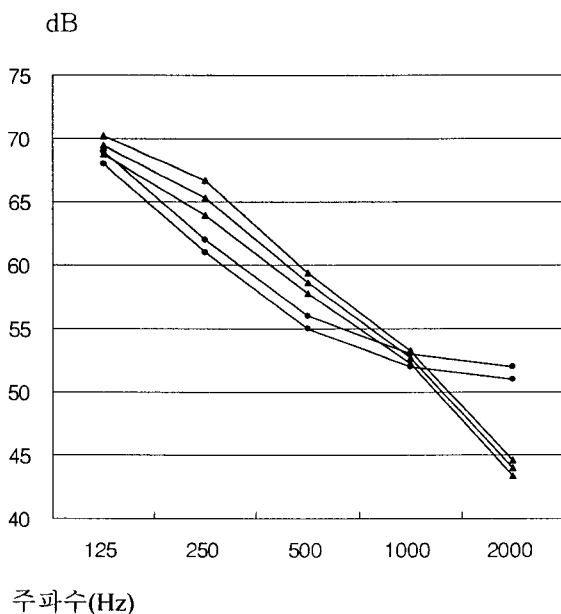
5.1 평가불확도의 산정 문제

현재 국내에서는 “KS F 2863-1:2002 건물 및 건물부재의 바닥충격음 차단 성능 평가방법”에 의해 역 A 특성곡선을 기준으로 규준화바닥충격음 레벨을 평가하고 있다.

평가불확도를 추정하기 위해서는 평가함수가 각 주파수 측정값의 함수로 표시되어야 하며, 각 주파수 측정값에 따른 감도계수가 산정되어야 한다. 하지만 역 A 특성곡선에 의한 평가는 초과치만 평가 값에 영향을 주기 때문에 감도계수 산정이 사실상 불가능하다. 이런 근본적인 평가방법의 특성에 의해 주파수별 측정불확도는 산정이 될 수 있으나 궁극적인 평가에 대해서는 불확도를 적용할 수 없는 실정이다.

5.2 평가불확도의 산정

따라서 본 연구에서는 주파수별 측정불확도에 대해 각 주파수별 최대 측정추정치와 최소 측정추정치를 기준으로 역 A 곡선으로 평가하였다. 평가 결과 약 95 %의 신뢰수준에서 55 ~ 56 데시벨로 평가되었다.



따라서 본 연구의 경우 56 dB -1 dB(k=2, 약 95 % 신뢰수준)로 평가불확도를 추정할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 경량충격음 측정에 대해 측정불확도를 추정하였다. 측정불확도 추정을 한 결과, 주파수 대역에 따라 ± 0.46 ~ 1.44 데시벨로 비교적 양호하게 나타났다. 또한 평가불확도의 경우 주파수별 측정치의 범위에 따라 평가치가 산정되어 감도계수를 산출할 수 없었지만, 역 A 특성곡선으로 평가불확도를 추정한 결과 55 ~ 56 데시벨로 나타났다.

하지만 측정장비에 있어서 교정성적서를 받을 수 없는 경우, 평가방법(A 형 평가 또는 B 형 평가)이 명확하지 않아 이 분야에 대해 심도 있는 연구가 필요하다고 본다.

그렇지만 현재 음향분야에서 측정불확도 추정에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서 향후에는 측정불확도 추정 및 평가불확도에 대한 연구가 본격적으로 진행되어야 할 것이다.

이를 통해 측정기관에 따른 평가 허용치를 합리적으로 도출해야 할 것이다. 더불어 측정불확도를 최소화 해서 시험기관마다의 대내외 신뢰도를 제고시켜야 할 것이다.

참고문헌

- (1) ISO, 1993, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
- (2) UKAS Publication M3003, 1997, The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement
- (3) 한국계량측정협회, 2005, 시험분야 측정불확도 표현지침개발
- (4) 한국건자재시험연구원, 미정, 측정결과의 불확도 추정 및 표현을 위한지침
- (5) 한국소음진동공학회, 2004, 바닥충격음세미나(III)
- (6) 한국소음진동공학회, 2003, 바닥충격음세미나(II)