

실내공간의 잔향시간과 음향변수 측정방법

○ 오 양 기*, 주 진 수**, 정 광 용***, 김 선 우****

Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to Other Acoustical Parameters

Yang-Ki Oh, Jin-Soo Joo, Kwang-Yong Jung, Sun-Woo Kim

Abstract

Revision of KS, Korean Standards, is currently actively discussed. It is just the time for a new world class standards under the new system with WTO, World Trade Organization. This paper is a part of "Researchs on the Standards in the Building Acoustic Field", as one of KS revision projects. The aim of this study is to define the requirements for measuring the reverberation time and other major room acoustical parameters.

1. 서 론

산업자원부 산하 기술표준원에서는 “건축물 음환경분야 표준화 연구”를 수행하고 있으며, 이 논문은 이 사업에 의해 얻어진 결과의 일부이다. 이 논문은 실내공간에서의 잔향시간 및 여타의 음향변수를 측정하고 분석하는 방법을 규정하기 위한 것이다. 과거의 KS 체제에서는 잔향실험실에서의 흡음을 측정방법에 관한 규정은 있으되(KS F 2805), 실제 건축공간에서의 측정 방법에 관한 규정이 없음으로써 다양한 실내공간에서 잔향시간을 비롯한 음향변수들을 신뢰성있게 측정하고 비교하는 데 어려움이 있었다. 이 논문에서는 국제 규격으로서 표준화의 구심점에 서 있는 국제표준화기구(ISO)의 잔향시간 및 기타 음향변수의 측정 방

법과 관련된 기준(ISO 3382-1997)을 참조하여 우리나라의 규정을 제안하고, 그 문제점을 파악하며, 이에 따른 앞으로의 논의 방향을 설정하고자 하는데 목적을 두고 있다.

아울러 ISO 3382에서는 약간 애매한 입장을 취하고 있는 IACC, D50 등 국제적으로 그 타당성이 검증된 잔향시간 이외의 실내음향변수들에 대하여 규정의 일부로 인정하는 등, 측정의 현실성과 측정방법의 발전된 양상을 반영하는 방향으로의 KS 관련규정의 제정을 촉구하고 있다.

2. KS 규정시안(재검토) - 실내공간의 잔향시간 및 음향변수의 측정방법

본 고찰은 기술표준원의 학술연구용역에 따른 “건축물 음환경분야 표준화연구 II”의 연구결과의 일부임

* 정희원, 공학박사, 목포대학교 건축공학과 교수
** 정희원, 공학박사, 한일장신대학교 건축학부 교수
*** 정희원, 공학박사, 순천제일대학 건축학부 교수
**** 정희원, 공학박사, 전남대학교 건축공학과 교수

실내공간의 잔향시간은 많은 음향적 가치중에서 가장 중요한 지표로 여겨지고 있다. 반면, 실내공간의 음향품질을 보다 잘 평가하기 위해서는 상대적 음압레벨이나 초기음 에너지 비율, 측면 음에너지 비율, 양이상호상관도, 배경소음레벨 등의 여타 지표들도 필요하다는 점에도 의견이 일치하고

있다. 이 KS 표준은 실내음향품질의 잔향시간에 대해서 명시하고 있을 뿐더러, 위의 다양한 실내공간의 음향지표에 대해서도 설명하고 있다. 부록C에서는 이 표준에서 언급된 잔향시간 외의 다양한 음향변수들의 개념을 설명하고 있으며, 부록D에서는 슈뢰더변환식(Schroeder Equation)에 의해 충격응답의 결과를 다양한 음향 변수값으로 계산하는 방법에 대하여 명시하고 있다. 부록에서는 몇 가지 새로운 방법의 측정 과정에 대한 개념과 세부사항을 소개하는 까닭은 이들이 다양한 실내음향 지표들을 측정함에 있어서 적용되어야 할 중요한 참고이기 때문이다, 잔향시간과 더불어 측정되어야 할 실내음향의 중요한 지표들이다. 즉, 이러한 다양한 실내음향 파라메터를 측정할 경우에는 이 표준에서 제안된 방법을 따르는 것이 바람직하다.

1 범위

이 KS 규정은 실내공간에서 잔향시간 및 기타 실내음향 변수의 측정 방법을 확립하기 위한 것이다. 또한 잔향시간 이외의 중요한 실내음향 변수, 즉 음압레벨(SPL) 및 그 분포, 명료도(D50), 음성전달지수(STI), 충면음에너지비율(LEF), 양이상호상관도(IACC) 등의 측정 방법을 권장하기 위한 것이다. 이 표준을 적용할 수 있는 범위는 음성전달이나 음악공연을 위한 공간 뿐 아니라, 소음 및 차음성능의 예측이 필요한 경우에도 가능하다. 이 표준에는 측정의 절차, 측정장비의 요구사항, 데이터의 평가방법과 측정결과로 보고서에서 다루어야 할 것들이 포함되어 있다. 또한 현대적인 디지털 측정방법과 충격응답 측정으로부터 얻을 수 있는 음향지표들에 관한 것도 다루어지고 있다.

2 관련 규격

이 규정의 조항은 KS와 ISO 등 국내/외 규격을 참조하여 만들어졌다. 측정의 방법 및 신뢰성 등에 관하여는 ISO 3741 및 ISO 5725 등의 ISO 관련 규정이, 측정기기의 요건에 관해서는 IEC 268, IEC 651, IEC 60286-16, IEC 1260 등의 IEC 관련 규정을 주로 참조하였다.

3. 용어의 정의

3.1 감쇠곡선

- 실내의 한 지점에서 음원이 멈춘 후 시간축으로 나타낸 음압레벨의 감쇠
- 음원의 중단시킨 후의 감쇠를 측정할 수도 있으며, 충격응답 제곱의 역시간 적분에 의해 구할 수

도 있음

3.2 소음원증단법

- 광대역 혹은 대역소음에 의해 실내공간을 울린 후, 그 증단 이후의 감쇠로부터 감쇠곡선을 구함

3.3 충격응답적분법

- 충격응답 제곱의 역시간 적분에 의해 감쇠곡선을 구하는 방법

3.4 충격응답

디락델타함수(Dirac Delta Function)나 그 근사방법에 의해 실내공간의 울림 결과로 얻어진 시간축에서의 음압레벨의 함수(dB/sec)

3.5 잔향시간

최초레벨로부터 5dB 떨어진 시점부터 35dB 떨어지기까지의 감쇠곡선으로부터 구해진, 60dB 감쇠에 걸리는 시간(초, T_{30}), 혹은 5dB로부터 25dB까지의 감쇠곡선으로부터 구한 시간(초, T_{20})

3.6 점유상태

빈상태와 준비상태, 혹은 점유된 상태로 표시되는 실내공간에서의 좌석점유상태를 말함

3.7 음압레벨 SPL (Sound Pressure Level)

실내공간의 각 청취 위치에서 측정한 음압레벨

3.8 명료도 D50 (Deutlikeit)

전체의 음에너지량에 대하여, 직접음 도달후 초기 50ms 까지의 음에너지량을 퍼센트로 나타낸 값

3.9 음성전달지수 STI (Sound Transmission Index)

실내공간을 통해 왜곡된 출력음과 원래의 입력 신호음을 비교함으로써 원음 왜곡의 정도를 정량화하여 음성의 명료도를 평가하고자 하는 음향지표

3.10 충면음에너지비율 LEF (Lateral Energy Fraction)

실내공간에서 무지향성 마이크로폰으로 측정한 전체 음에너지에 대한 8자형 마이크로폰으로 측정한 충면입사 음에너지의 비율

3.11 양이상호상관도 IACC(Inter-Aural Cross Correlation)

완전히 같은 음향시그널의 상호상관도를 1이라 하였을 때, 청취자의 양쪽 귀 위치에 도달한 음향시그널의 상호상관도를 0부터 1 사이의 수치로 표현한 값

4 측정조건

4.1 일반사항

- 공기의 온도와 상대습도를 측정하여야 함
- 가변음향조건을 갖고 있는 실내공간의 경우 각 변환상태에 대한 측정을 수행하여야 함

4.2 장치

4.2.1 음원

- 음원은 충분한 음압레벨을 만들어낼 수 있는, 가급적 무지향성에 가까운 것이어야 함
- 유사랜덤시퀀스에 의한 단음응답측정에는 반복측정에 의하여 신호대잡음비가 높아지므로 음원에 요구되는 음압레벨이 낮아질 수 있음
- 이를 사용하지 않을 경우 T_{30} 의 측정을 위해서는 45dB, T_{20} 에는 35dB의 신호대잡음비가 필요함

4.2.2 마이크로폰, 기록 및 분석장치

- 랜덤입사형의 무지향성 마이크로폰이 사용되어야 하며, 음압형이나 자유음장형 마이크로폰의 경우는 랜덤입사보정기를 갖추어야 함
- IEC 651(Type1) 및 IEC 1260(Filters)를 만족
- 테이프 레코더는 평탄한 주파수특성, 충분한 동적 범위, 정확한 녹음/재생시의 속도비율이 유지
- 지수형태의 평균이나 선형 평균의 연속 곡선을 출력으로 하는 장치들을 출력장치로 사용함
- 측정시스템의 오버로드를 표시할 수 있는 장치가 있어야 함

4.3 측정지점

- 각 측정위치는 서로 적어도 2m 이상, 바닥에서 1m 이상 떨어져 있어야 함
- 음원으로부터의 마이크로폰의 최소거리 d_{min}

$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{cT}}$$

V=용적(m³), c=소리속도(m/s), T=잔향시간예측값(s)

4.3.1 낮은 중요도의 측정

- 소음평가나 음감쇠지수(SRI), 음향시스템의 계산을 위한 목적에서의 잔향시간 측정시 적용
- 두개의 음원위치와 3,4곳의 마이크로폰 위치에서 측정하되, 그 편차가 클 경우에는 측정을 추가함

4.3.2 보편적 중요도의 측정

- 건물의 음향성능을 검증하기 위한 측정시 적용
- 음원위치는 적어도 두군데 이상, 연주자에 의해 점유되는 모든 공간을 포괄할 수 있어야 함
- 마이크로폰의 위치는 실내에서 잔향시간의 변화가 있을 것으로 예상되는 모든 지점으로 함. 예를 들면 벽면에 인접한 좌석이나 발코니 하부, 서로 다른 공간이 만나는 지점 등
- 실내음향의 단일한 공간적 평균이 적절한 것인지에 대한 평가가 필요함

5 측정과정

5.1 일반사항

소음원중단법(Interrupted Noise Method)과 충격응답적분법(Integrated Impulse Response Method)을 사용할 수 있음. 후자는 더욱 신중한 측정기기를 필요로 하지만, 충격응답의 계산에 의해 다양한 실내음향 측정값들을 얻을 수 있음

5.2 소음원중단법

5.2.1 실내공간의 울림

- 라우드스피커를 사용한 음원의 제공
- 광대역의 소음은 88Hz부터 5,657Hz까지의 범위를, 1옥타브대역의 소음은 중심주파수 125Hz에서 4000Hz까지의 범위를 가져야 함
- 방의 울림에 필요한 시간은 적어도 그 방 잔향시간의 1/2 이상의 길이를 가져야 함

5.2.2 측정의 횟수

- 측정의 중요성 정도에 따라 달라짐
- 음원의 무작위성을 감안하여 적어도 각 위치에서 세차례 이상의 측정을 평균하는 것이 바람직함

5.3 충격응답적분법

5.3.1 일반사항

- 음원-수음점의 충격응답을 얻을 수 있는 어떠한 방법도 가능함

5.3.2 방의 울림

· 어떠한 충격응답도 사용될 수 있으나, 특정 음원을 사용하여 높은 신호대잡음비를 얻을 수 있음.
예를 들어 톤 스위핑이나 MLS신호 등의 유사랜덤노이스가 사용될 수 있음

5.3.3 충격응답의 적분

- 각 측정의 대역에서 충격응답 제곱의 역방향 적분(Backward Integration)에 의해 감쇠곡선을 구함

$$E(t) = \int_t^{\infty} p^2(\tau) d\tau = \int_0^t p^2(\tau) d(-\tau)$$

$$\int_t^{\infty} p^2(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} p^2(\tau) d\tau - \int_0^t p^2(\tau) d\tau$$

- 충격응답의 마지막 부분에서의 배경소음의 영향을 줄이기 위한 방법이 사용되어야 함

6 감쇠곡선의 평가

6.1 소음원중단법

- 감쇠곡선의 최저제곱에 적합한 선, 혹은 감쇠곡선의 그래프에 가장 잘 들어맞는 선으로 T를 구함
- T_{30} 을 구하기 위한 측정 최저점은 초기레벨보다 45dB, T_{20} 은 35dB 이상 낮은 레벨의 점이어야 함

6.1.1 측정의 불확실성

- ISO 5725-2에 의한 측정의 반복성 r 과 측정횟수 N 사이의 관련은 다음과 같음

$$r_{30} = \frac{200}{\sqrt{BN}} \%, \quad r_{20} = \frac{370}{\sqrt{BN}} \%$$

6.2 충격응답적분법

- 전체 적분레벨보다 5dB 낮은 지점부터 25dB 낮은 지점까지의 자료가 평가되어야 함
- 측정된 충격응답은 적절한 후처리 계산을 통하여 잔향시간을 비롯한 제반의 음향변수를 구하는데 적용되어질 수 있음. 이 과정은 부록 D에

6.2.1 측정의 불확실성

- 충격응답적분법의 측정값은 소음원중단법의 측정을 10회 평균한 것과 동등한 정도의 반복성을 갖고 있음. 역방향 적분의 시작점 설정에 주의

5.3 비선형감쇠곡선

- 감쇠곡선이 직선이 아닐 경우 감쇠곡선이 꺾어

지는 부분이나 그 상/하부의 기울기와 동적 범위 등을 표시하여야 함

6.4 필터와 디텍터에 의한 신뢰도의 하한

- 전통적 순방향 분석에 있어서 $BT > 16$, $T > 2T_{det}$
- 낮은 중요도의 측정에서는 $BT > 8$, $T > T_{det}$

7 공간적인 평균

- 각 음원/마이크로폰 위치에서의 측정값들은 부위별 개별값으로, 그리고 공간적인 평균을 통하여 그 실내공간의 전체적인 값으로 사용할 수 있음
- 잔향시간의 산술평균(Arithmetic Averaging)
- 감쇠곡선의 조화평균(Ensemble Averaging)

8 결과의 기술

- 각 주파수에서 측정된 잔향시간의 평가는 그래프로 그려지고, 표로 정리되어야 함

• 그래프의 경우, 각 점은 직선으로 연결되어져야 한다. 가로축은 로그스케일의 주파수를 표시하는 것으로 옥타브마다 1.5cm의 거리를 갖고 있어야 하며, 세로축은 적정한 거리로 떨어진 시간(초), 레벨(dB), 퍼센트(%) 혹은 실수로 표시되어야 한다. 측정주파수 대역의 중심주파수는 IEC 1260에서 규정하고 있는 것과 같으면, 주파수 축상에 그 값이 표시되어야 한다.

- 측정결과의 보고는 매우 정밀한 상황에 대한 기술을 바탕으로 하여야 함

4. 결론

이상의 고찰에서 실내공간의 잔향시간 측정방법에 대한 ISO 3382-1997의 내용을 점검하고, 이를 토대로 실내공간에서의 잔향시간 및 기타의 음향변수 측정방법의 KS 규정화에 대한 초안을 제시하였다. 아울러 애매하게 규정되어있는 ISO 3382의 잔향시간을 제외한 실내음향변수의 측정 방법에 대하여, IACC와 SPL, D50, STI 등과 같이 국제적으로 그 타당성이 검증된 경우 이를 규정의 일부로 인정하였다.

참고문헌

- 1) ISO 3382-1997, Acoustics - measurement of the reverberation time of rooms with reference

to other acoustical parameters

2) 오양기, 주진수, 정광용, 김선우, “설의 잔향시간
측정방법 고찰”, 소음진동측계학술발표대회, 한국
소음진동공학회, 2001. 5