

실의 잔향시간 측정방법 고찰

○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 of rooms with reference to other acoustical parameters. In the former KS, there is no items matched with this purpose. Therefore measuring reverberation time and other room acoustical parameters with confidential test procedure was impossible. On these basis, a new part of KS is proposed, and some problems remained and further discussions in the proposed draft are described in this study .

1. 서 론

음향분야 KS 규격의 새로운 제정 및 개정이 최근 활발히 논의되고 있다. 세계무역기구 체제에 발맞추어 우리나라에서 뿐 아니라 세계적으로 통용될 수 있는 측정의 기준을 마련하는 일은 일본 등 외국의 예를 굳이 들추지 않더라도 시기적으로 매우 시급한 일이다. 또한, 이러한 세계화의 추세와 더불어 아직 그 체계가 확고히 굳어지지 않은 우리의 측정기준 KS를 짜임새있게 개편하는 일도 중요한 의미를 갖는다. 위의 배경에 따라 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 흡음률 측정방법에 관한 규정은 있으나(KS F 2805), 실제 건축공간에서의 측정 방법에 관한 규정이 없었으므로 다양한 실내공간에서 잔향시간을 비롯한 음향변수들을 신뢰성있게 측정하고 비교하는 데 어려움이 있었다. 이 논문에서는 국제 규격으로서 표준화의 구심점에서 있는 국제표준화기구(ISO)의 잔향시간 및 기타 음향변수의 측정 방법과 관련된 기준(ISO 3382-1997)을 참조하여 우리나라의 규정을 제안하고, 그 문제점을 파악하며, 이에 따른 앞으로의 논의 방향을 설정하고자 하는 데 목적을 두고 있다.

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

2. 실내공간에서 잔향시간 및 음향변수의 측정에 관한 KS 규정 시안(발췌)

1 범위

이 KS 규정은 실내공간에서 잔향시간 및 기타 실내음향 변수의 측정 방법을 확립하기 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 음향 지표들에 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 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 수도 있음

3.2 소음원중단법

- 광대역 혹은 대역소음에 의해 실내공간을 울린 후, 그 중단 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 떨어진 지기까지의 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

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 반복 측정에 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

- 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}

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

V용적(m^3), c소리속도(m/s), T잔향시간예측값(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 스위칭이나 MLS신호 등의 유사랜덤 노이즈가 사용될 수 있음

5.3.3 충격응답의 적분

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

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

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

- 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
- T₃₀을 구하기 위한 측정 최저점은 초기레벨보다 45dB, T₂₀은 35dB 이상 낮은 레벨의 점이어야 함

6.1.1 측정의 불확실성

- ISO 5725-2에 의한 측정의 반복성r과 측정횟수 N 사이의 관련은 다음과 같음

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

6.2 충격응답적분법

- 전체 적분레벨보다 5dB 낮은 지점부터 25dB 낮은 지점까지의 자료가 평가되어야 함

6.2.1 측정의 불확실성

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

6.3 비선형감쇠곡선

- 감쇠곡선이 직선이 아닐 경우 감쇠곡선이 꺾여지는 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
- 측정결과의 보고는 매우 정밀한 상황에 대한 기술을 바탕으로 하여야 함

3. 문제점 및 논의

3.1 새로운 측정기술에 대한 모호한 태도

“몇 가지 새로운 방법의 측정 과정에 대한 개념과 세부사항을 소개하였으나, 이 표준의 공식적인 내용들은 아니다. 그 의도는.....”

이 표준의 본문 내용에서 MLS(Maximum Length Sequency)나 유사랜덤신호에 의한 충격응답의 사용, 혹은 그 동기화 평균 등과 같은 새로운 측정개념에 대한 언급이 반복적으로 나타나며, 이로부터 얻어진 충격응답에서 다양한 실내음향 파라미터의 계산이 가능하다는 사실을 부록A에서 다루고 있다. 그럼에도 불구하고, 적어도 공식적으로는, 위의 예문과 같이 이 새로운 개념들이 표준화의 범위 밖에 있음을 선언하고 있다. 그러나 현실적으로 ISO의 다른 표준(예를 들면 ISO 13482 등)에서조차 공식적으로 이러한 테크닉을 표준화하고 있다는 점을 감안한다면, 위의 내용들이 이 표준의 일부로 포함되는 것이 바람직한 것으로 여겨진다.

3.2 잔향시간 이외 음향파라미터의 측정방법

“실내공간의 음향품질을 보다 잘 평가하기 위해서는 상대적 음압레벨이나 초기음 에너지 비율, 측면음에너지 비율, 양이상호상관도, 배경소음레벨 등의 여타 지표들도 필요하다”는 점에도 의견이 일치하고 있다.....”

이점에 대해서는 의견 일치 이상의 공감대와 필요성이 있다. 실제로 실내공간의 음향성능을 평가하기 위해 잔향시간만을 측정할 수는 없다. 음압레벨(SPL)의 절대값이나 그 상대적인 분포, 공간음향적인 효과(LEF, IACC), 병료도(STI, D50, C80),

초기감쇠시간(EDT) 등과 같이, ISO 3382의 부록A와 부록B에서도 언급하고 있는, 보편화된 많은 실내음향 파라미터를 사용하고 있다. 잔향시간의 측정만을 표준화하고 여타의 파라미터는 여러 측정자들의 자의적인 측정과 평가에 맡긴다면, 이는 측정의 표준화가 갖는 보편성의 의미를 축소하는 일이 될 것이다.

3.3 테이프 레코더의 사용

“테이프 레코더는 특별히 녹음시와 재생시의 속도를 잘 맞추기 위하여 다음과 같은 특성을.....”

측정기술과 장비의 발달로 실제 잔향시간의 측정에서 테이프 레코더를 사용하는 경우는 거의 찾아보기 힘들다. 사용한다고 하더라도, 특히 녹음과 재생시에 서로 다른 레코더의, 기계적인 회전 속도를 일정 수준으로 유지하고 이를 보정하는 일은 불가능에 가깝다. ISO 3382에서는 상당히 많은 내용을 테이프 레코더를 사용할 경우의 주의점에 대하여 언급하고 있으나, 그 내용중에는 옳지 않은 부분($10^{0.01n} \rightarrow 10^{0.1n}$)도 포함되어 있는 것으로 보이며, 실제 이를 허용할 경우의 문제점에 비해 실익이 없는 것으로 여겨진다. 이는 레벨 감쇠기폭의 정리를 위한 장치(4.2.2.3절)에 있어서도 유사한 흐름으로 보아야 할 것이다.

4. 결론

이상의 논의에서 실내공간의 잔향시간과 여타의 음향변수 측정방법에 대한 ISO 3382-1997의 내용을 점검하고, 그 문제점에 대한 논의를 제기하였다. 여기에서 논의하여야 할 사항은 ISO의 표준화 과정에서 드러나는 보수적인 결론을 우리가 어떻게 받아들여야 할 것인가이다. 복잡하고 오류의 가능성이 높은 조항의 삭제 여부와 함께, 앞으로 예측되는 새로운 필요성의 내용을 어떻게 첨가하여야 할 것인가에 대한 지혜가 필요하다.

참고문헌

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