

잔향시간의 자동측정을 위한 데이터 처리 시스템 설계

° 이근구\*, 한진하\*\*, 박민용\*\*, 이상백\*\*, 차일환\*\*

\* 한국전기통신연구소 \*\* 연세대학교

Design of Data Processing System for  
the Automatic Measurement of the Reverberation Time

° Gun-Goo, Lee Jin-Ha, Han Min-Yong, Park Sang-Bae, Lee Il-Whan, Cha  
\* KETRI \*\* YONSEI UNIV.

ABSTRACT

In this paper, a method measuring the reverberation time simultaneously on all of the audio frequency range was studied.

The system developed in this study is composed of a pink noise generator, filter bank, and micro-computer with graphic display.

In the experiment, reverberation time data measured by existing analog method and by the system were compared, and were almost same through the audio frequency.

Based on the conclusion, the subject method has more convenience and accuracy with algorithm program development without existing problems and it was found out that this kind of method is widely available for many branches of room acoustics and architectural acoustics.

1. 서론

음원에서 방음이 중지된 후에 소리가 실내에 남는 현상을 잔향 (reverberation) 이라 하는데 잔향을 양적으로 표시하는데 잔향시간을 사용한다. 이것은 실내에서 일정한 세기의 소리를 공급하여 정상상태로 되었을 때 음원을 정지시켜 실내의 평균 에너지 밀도가 60dB 감소될 때 까지의 시간으로 규정되어 있다. 이 현상은 W.C. Sabine 이 1895년에 연구 발표한 이때 실내의 음향환경을 표시하는데 아주 중요한 요소로서 사용되어 왔다.

이러한 잔향시간으로 실내의 전송특성을 비롯해서 그 음장에 관한 여러가지 물리량을 알 수 있고, 또한 배열의 흡음 계수 측정도 가능케 한다.

그런데 기존 잔향시간의 측정방법은 데이터 처리

문제 및 ISO (the International Organization for Standardization) 에서 제안된 옥타브 또는 1/3 옥타브 밴드 (Octave band) 에 대한 잔향시간을 동시에 측정할 수 있는 문제가 있으며 장비조각이 어렵고 실제 측정시 많은 경험이 필요하게 된다.

본 연구는 이와같은 제반 문제점을 해결하기 위한 방법으로 데이터 처리 시스템을 설계하여 잔향데이터를 간단히 처리하여 측정할 수 있는 방법을 제시하고 기존방법과 비교 분석하였다.

2. 이론

잔향시간을 산출하는 잔향식은 대표적으로 Sabine, Eyring, Eyring-Knudsen 식이 있다.

이 잔향공식들은 모두 실내음장이 하나의 공간으로서, 완전 확산을 하고 있는 것을 가정한 것이다.

Sabine 이 유도한 잔향식에 의하면, 잔향시간  $T$  는

$$T = K \frac{V}{A} \quad \text{이다.} \quad \begin{array}{l} K: \text{비례상수} \\ C: \text{음속 (sec/m)} \end{array}$$

여기서,  $V$ : 실내용적 ( $m^3$ )

$$A = S \bar{\alpha} \quad [m^2] \quad \begin{array}{l} A: \text{흡음력 (m}^2\text{)} \\ S: \text{실내의 표면적 (m}^2\text{)} \\ \bar{\alpha}: \text{평균 흡음율} \end{array}$$

$$K = \frac{24}{c \log_{10} e}$$

위의 Sabine 의 잔향식은 흡음률이 작고 잔향시간이 긴 방 (live room) 에서는 실험치와 잘 일치하지만, 흡음률이 크고 잔향시간이 짧은 방 (dead room) 에서는 실험값보다 크다.

이에 대해, 흡음률이 큰 경우에도 실험치에 근사하도록한 것이 Eyring 의 잔향식으로 다음과 같다.

즉, 잔향시간  $T$  는

$$T = \frac{KV}{-S \log_e(1-\alpha)} \quad \text{와 같이 나타내진다.}$$

$$\text{여기서,} \quad -\log_e(1-\alpha) = \alpha + \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^3}{3} + \dots$$

또한, 음파가 전파될 때 그 에너지가 대입에 흡수되어 감쇄한다. 이러한 공기의 흡음을 고려하여 구한 잔향식의 Eyring-Knudsen의 잔향식으로 잔향시간

$$T = \frac{KV}{-S \log_e(1-\bar{\alpha}) + 4mv} \quad \text{로 표시된다.}$$

m: 공기흡수에 대한 감쇄율  
(온도와 습도에 관계, 1KHz이하는 무시해도 됨)

### 3. 시스템 구성

인원신호는 마이크로 컴퓨터에 의해서 이득 (gain)을 조절할 수 있는 전단 증폭기 (pre-amplifier)를 거쳐 31개의 1/3 옥타브 밴드 패스 필터에 병렬로 인가되고, 다시 필터를 댄싱된 출력을 버퍼를 통해 A/D 변환기에 입력된다.

A/D 변환기에서 변환된 디지털 값은 마이크로 컴퓨터내에 있는 데이터 버퍼에 저장된다.

음원에서 발생된 최소 소리의 음압 레벨이 60dB 가 감소할 때 걸리는 시간을 측정하기 위해서는 각 필터의 출력 데이터를 샘플 간격 (sampling interval)에 따라 수집해야 한다.

샘플 간격은 10ms 이하로 최대 1sec로 마이크로 컴퓨터의 키보드로서 지정할 수 있다.

데이터 수집에 필요한 다른 변수는 샘플 수이며, 이것은 샘플링할 데이터의 주수를 나타내는 변수이며 1개에서 120개의 샘플수를 지정할 수 있다.

또, 자동적으로 데이터 수집을 하기 위하여 전체 데이터 레벨이 1dB 감소되는 점을 기준으로 하여 이전의 9개의 샘플, 이후의 40개의 샘플, 전체 71개의 샘플을 수집하도록 구성하였다.

그리고 시스템의 제어 프로그램 해밍의 순서도는 그림 2.와 같다.

### 4. 데이터 처리 및 알고리즘

데이터 버퍼에 수집된 잔향 데이터는 60dB 감소 되는 점을 구하기 위해서는 2개의 데이터점의 기울기 (dB/msec)를 구하여야만 한다.

이때 기울기는 잔향 감쇄율 (decay rate) 이 된다. 마이크로 컴퓨터로 잔향시간을 측정하려면 이 기울기를 구하는 방법이 문제가 된다.

본 실험에서는 잔향시간을 계산하기 위하여 주어진 데이터 즉, 데이터 버퍼에 수집된 잔향 데이터의 최대값과 그 다음에 오는 최소값을 찾는다. 그리고 최대값과 최소값의 차이가 10dB 이상이고 4개의 샘플

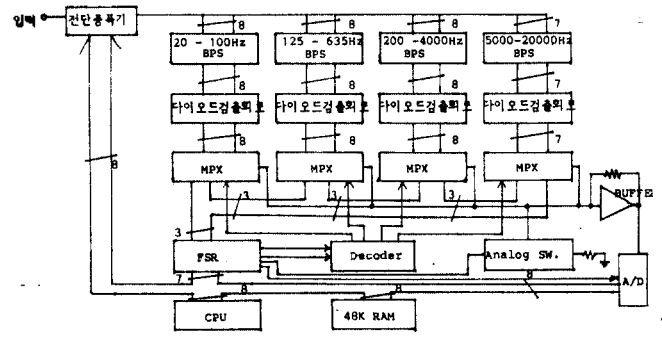


그림 1. 잔향데이터 처리 시스템의 구성도

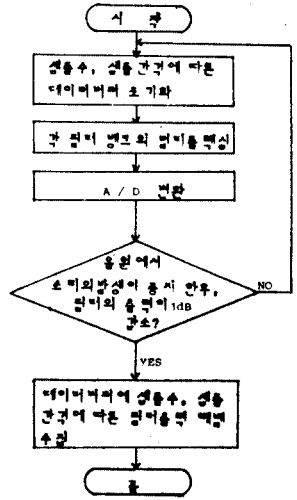


그림 2. 시스템의 제어 프로그램 해밍의 순서도

이상 되어져 있으면 이 데이터는 음모하다. 만의 기울기를 구하려고 하는 두점간의 기울기 조건을 만족하면 두점사이의 기울기를 계산하고, 이 기울기를 있는 최대점, 최소점 부근에 2dB 이상의 음기가 있으면 두점중 한점을 무시하고 다시 다른 최대점 혹은 최소점을 찾아 위의 과정을 반복하여 유효한 데이터 범위를 발견할 때까지 계속 진행한다. 60dB 에 두점사이의 레벨 (dB) 차이로 나누고 두점 사이의 시간간격을 곱하면 잔향시간을 구할 수 있다.

$$\text{잔향시간, } T = (t_B - t_A) \frac{60}{P_A - P_B}$$

- $t_A$  : 최대점의 시간
- $t_B$  : 최소점의 시간
- $P_A$  : 최대점의 음압레벨
- $P_B$  : 최소점의 음압레벨

본 실험은 진음 (warble tone) 은 4회 평균한 것을 샘플간격 40msec 로 핑크노이즈 (pink noise) 에서는 잡음 (noise) 의 진폭을 줄이기 위하여 8회 평균하여 20msec 로 데이터를 수집하였다.

### 5. 실험 결과

그림 3, 4는 현재 잔향시간 측정에 사용되는 기존 방식이다. 신호발생기에 의한 신호는 증폭기 (power amp) 를 거쳐 스피커 (loud speaker) 에서 음원으로 측정실내를 정상상태 (steady state) 까지 여기 (excite) 시킨다. 마이크 (microphone) 의 출력전압은 여파기 (filter) 와 증폭기 (amplifier) 를 통하여 데시벨 (dB)값으로 조정된 대수 기록계 (logarithmic recorder) 에 보내진다. 이때 기록장 작동 스위치를 연결시킨후 발생기의 신호를 스위치로 차단시키면 감쇄곡선이 그려진다.

발생기 신호는 진음 (warble tone) 과 핑크노이즈 (pink noise) 를 사용하였는데, 이 신호는 250Hz-4KHz 까지 1/3 옥타브 밴드로 대역통과되어 기록되어진다.

그림 5, 6은 본 시스템의 측정 방식으로 음원을 차단시킬 경우 자동 트리거 (auto trigger) 에 의해 잔향데이터가 수집된다.

진음일 경우에는 1/3 옥타브 밴드로 대역통과되어 수집된 잔향 데이터를 앞에 설명한 커브 피팅 (curve fitting) 알고리즘에 의해 잔향시간을 구할 수 있고, 핑크노이즈 (pink noise) 인 경우에는 선형으로 대역통과된 잔향데이터로 동시에 각 1/3 옥타브 밴드의 잔향시간을 구할 수 있다.

핑크노이즈 사용시 측정실의 특성을 플랫 (flat) 하게 하기 위하여 동화기 (equalizer) 를 사용하였다.

위의 실험과정에 의해 각각 구한 잔향시간을 아래 표1, 표2 와 같이 나타내었다.

다음 그림 7, 8은 기존 방식에 의해 대수 기록계로 얻어진 감쇄곡선 (decay curve) 를 주파수 1KHz 일때 진음과 핑크노이즈일때를 각각 나타낸다.

다음 그림 9, 그림 10은 본 시스템에 의해 얻어진 감쇄곡선 (decay curve) 이고 그림 11은 핑크노이즈로 동시에 처리한 그림이고 그림 12는 전 주파수대의 감쇄를 3차원적으로 표시 (display) 한 그림이다.

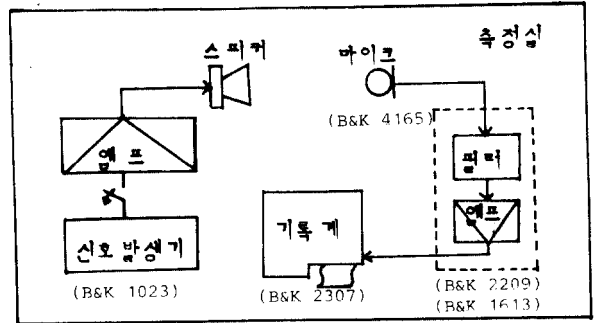


그림 3. 진음을 사용한 기존 잔향시간 측정방식

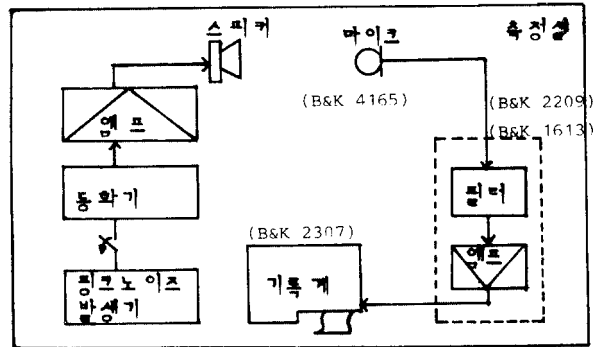


그림 4. 핑크노이즈를 사용한 기존 잔향시간 측정방식

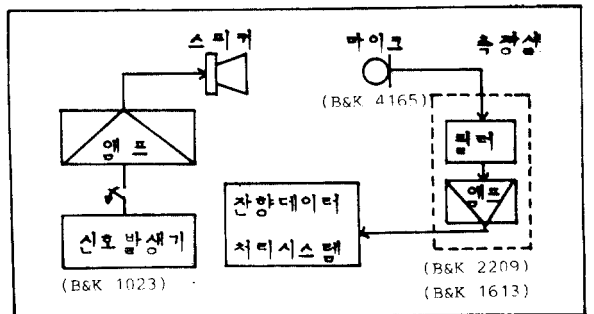


그림 5. 진음을 사용한 본 시스템에 의한 잔향시간 측정방식

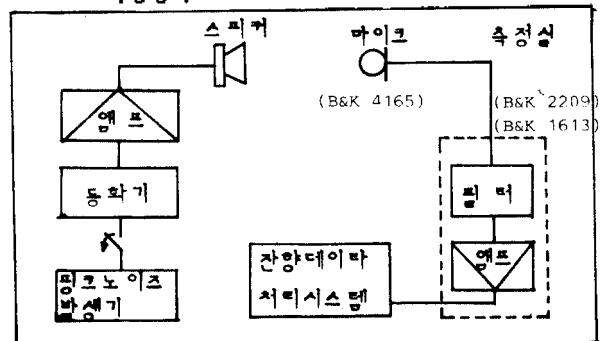


그림 6. 핑크노이즈를 사용한 본 시스템에 의한 잔향시간 측정방식

주파수	250	500	1000	2000	4000
기존방식에 의한 잔향시간	1550	1420	1440	1550	1400
본 시스템 방식에 의한 잔향시간	1460	1350	1350	1460	1350

표 1. 진동을 사용하였을 경우의 잔향시간

주파수	250	500	1000	2000	4000
기존방식에 의한 잔향시간	1450	1550	1520	1350	1150
본 시스템 방식에 의한 잔향시간	1450	1490	1500	1220	1000

표 2. 핑크노이즈를 사용하였을 경우의 잔향시간



1.45 sec

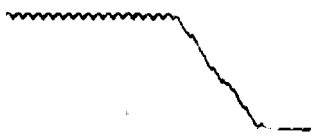


그림 7. 1KHz 진동을 사용하여 기존방식에 의해 얻어진 감쇄곡선



1.5 sec



그림 8. 핑크노이즈를 1KHz 대역통과시켜 기존 방식에 의해 얻어진 감쇄곡선

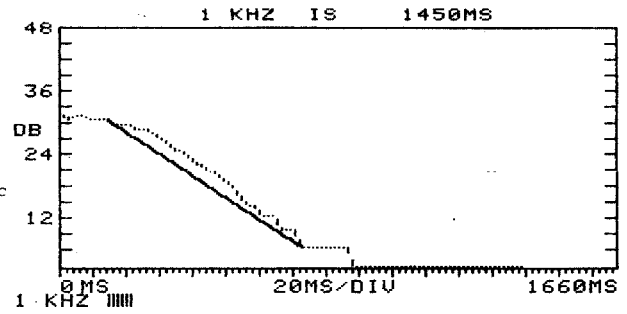


그림 9. 1KHz 진동을 사용하여 본 시스템에 의해 얻어진 감쇄곡선

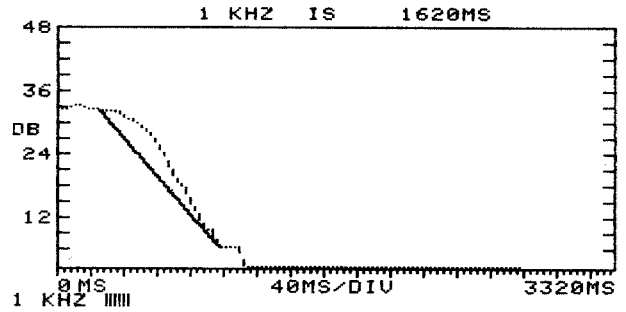


그림 10. 핑크노이즈를 사용하여 본 시스템에 의해 얻어진 1KHz 성분의 감쇄곡선

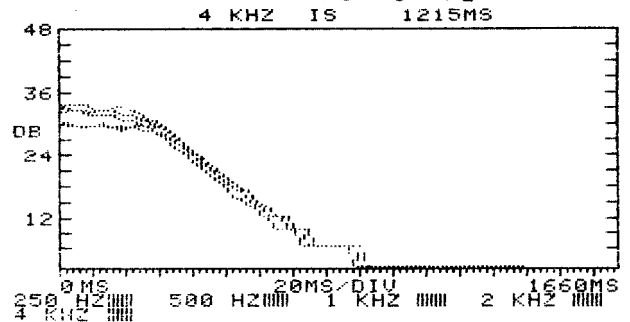


그림 11. 핑크노이즈를 사용하여 본 시스템에 의해 얻어진 250Hz, 500Hz, 1KHz, 2KHz, 4KHz, 성분의 감쇄곡선

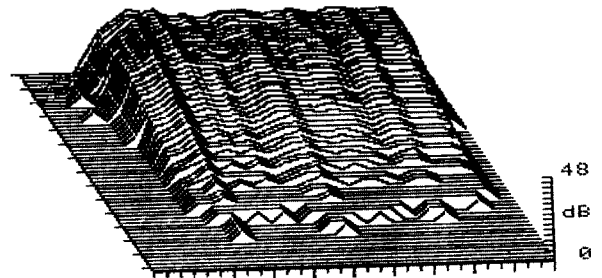


그림 12. 20Hz 에서 20KHz 에대한 잔향감쇄곡선의 3차원 그래프

## 6. 결론

본 논문 에 있어서는 잔향시간을 측정하기 위하여 데이터처리시스템을 구성하여 기존 측정방식과 비교하였다.

잔향감쇄곡선의 기울기를 구하기 위하여 잔향데이터를 검색하여 최적기울기를 가진 직선의 두점을 구하는 알고리즘을 제시하였으며, 데이터처리문제, 1/3 옥타브밴드에 대한 잔향시간을 동시에 측정, 장비조작의 간편성을 해결할 수 있었다.

그리고 핑크노이즈를 사용할 때 저주파수에서의 율률요이션 (fluctuation) 이 심하므로 저주파수의 최적잔향기울기를 구하는 알고리즘이 개발중에 있다.

## 7. 참고 문헌

1. 차일환, 음향공학개론, 한신문화사, 1976.
2. Rettinger, M., Acoustic Design and Noise Control, New York, NY Chemical Publishing Co., 1973. pp.27. 28.
3. Everest, F. Alton, Acoustic Techniques for Home and Studio, Summit, PA: Tab Books, 1973. pp.68.
4. Davis, Don and Carolyn, Sound System Engineering, Indianapolis Howard W. Sams & Co., Inc., 1975. Chapter 8.
5. Acoustics-Preferred frequencies for measurements, ISO 266-1975(E)
6. Measurement of absorption Coefficients in a reverberation room, ISO R354, December 1963.
7. Acoustics-Measurement of reverberation time in auditoria, ISO 3382-1975(E)