

웨이브렛 변환을 이용한 저주파에서 짧은 잔향 시간을 갖는 실음향에서의 잔향시간 측정에 관한 연구

° 이상권*

Measurement of Short Reverberation Times of an Acoustic Room at Low Frequencies Using Wavelet Transform

° Sang Kwon Lee

ABSTRACT

In building acoustics, reverberation time is an important acoustic parameter. However, it is often difficult to measure short reverberation times at low frequencies using the traditional band pass filter bank if the product of bandwidth (B) and reverberation time (T) is small. It is well known that the minimum permissible product of bandwidth and reverberation time of the traditional band pass filter is at least 16 [F. Jacobsen, J. Sound Vib. **115**, 163-170 (1987)]. This strict requirement makes it difficult to measure short reverberation times of an acoustic room at low frequencies exactly. In order to reduce this strict requirement, recently, the wavelet filter bank is developed and the minimum permissible product of bandwidth and reverberation time is replaced with 4 [S. K. Lee, J. Sound Vib. **252**, 141-153 (2002)]. In the present paper, it is demonstrated how the short reverberation times at low frequencies are successfully measured by using the wavelet filter bank. In order to present this job, two synthetic signals and one measured signal are used for impulse responses of an acoustic room.

1. 서론

잔향시간의 올바른 측정은 흡음재의 예측과 음악당 및 각종 오디오 설비가 요구되는 공간의 성능예측에 중요한 인자이다. 특히 흡음의 특성이 요구되는 음악당과 여객선, 차량등의 실내공간의 음향에서의 잔향시간의 측정은 중요한데 비해 잔향시간이 충분하지 않아서 BT_{60} 의 값이 64 이하를 유지함으로 기존의 장비에서 사용되는 IIR 필터를 이용한 옥타브 필터로서는 음악당의 저주파 영역의 잔향시간과, 좁은 공간에서의 중간 주파수 잔향시간을 정확히 예측하기는 어렵다. 이러한 문제를 해결하기위해서 웨이브렛을 이용한 옥타브 및 1/3 옥타브 웨이브렛 필터가 설계되었다 [1]. 본 연구에서는 이 방법의 우월성을 증명하기위해서 시뮬레이션 신호와 실제 소형공간의 잔향시간의 측정에 대해서 논한다.

2. 웨이브렛 필터

웨이브렛 변환은 신호에 포함되어 있는 지역 정보를 시간-주파수 영역으로 분해하는 기법으로 STFT (Short Time Fourier Transform)와 위그너 분포(Wigner-distribution)와 더불어 많이 사용되는 시간-주파수 해석 기법이다. 이 방법은 위그너 분포에서 발생하는 간섭항(cross-term)에 의한 영향을 받지 않고 시간-주파수 분해능을 조절할 수 있다. 그러나 STFT는 고정된 분해능을 사용한다. 웨이브렛 변환은 기본 요소 신호인 모(母) 웨이브렛 $\psi(t)$ 의 주파수 축에 대한 스케일링과 시간 축에 대한 이동을 통하여 변조된 기본 요소 신호 $\psi(a^{-1}(t-b))$ 을 구할 수 있다. 여기서 a 는 스케일링 값이고 b 는 시간에 대한 이동 값이다. 이렇게 구한 기본 요소 신호를 사용하여 입력 신호에 대한 선형 조합으로서 신호에 대한 선형 급수 전개(linear series expansion)를 구할 수 있다. 이러한 웨이브렛 변환에는 연속 웨이브렛 변환과 이산 웨이브렛 변환이 있다. 본 연구에서 사용된 연속 웨이브렛 변환은 다음과 같이 정의할 수 있다.

*인하대학교 기계공학과 대학원 정회원

$$CWT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad a \neq 0 \quad (1)$$

$CWT(a,b)$ 는 위의 계산식에 나타난 바와 같이 신호 $x(t)$ 와 모(母) 웨이블릿 $\psi(a^{-1}(t-b))$ 의 내적의 적분으로 계산이 가능하다. 이렇게 구성된 CWT는 Heisenberg의 불확실성의 원리를 따른다. 즉 웨이블릿 기본 요소 신호 $\psi(a^{-1}(t-b))$ 에서 시간-분해능 $a\Delta t$ 와 주파수-분해능 $\Delta w/a$ 의 곱은 $\Delta t \Delta w$ 로, 이는 스케일 값 a 에 무관한 상수 값을 가지게 된다. 본 연구에서는 옥타브 및 1/3 옥타브 밴드의 디지털 필터와 동일한 형태의 웨이블릿 필터를 구성하기 위해서 변조된 가우시안(modulated Gaussian) 형태의 Morlet 웨이블릿을 사용하여 웨이블릿 필터를 구성하였다. Morlet 웨이블릿은 복소수의 값을 가지므로 다른 실수 값을 가지는 웨이블릿에 비하여 신호의 분해 과정에서 분리된 신호의 진폭 변조 정보와 위상 정보를 얻을 수 있다. 따라서 신호의 특이성(singularities)을 얻는데 유리한 장점을 가지고 있다.

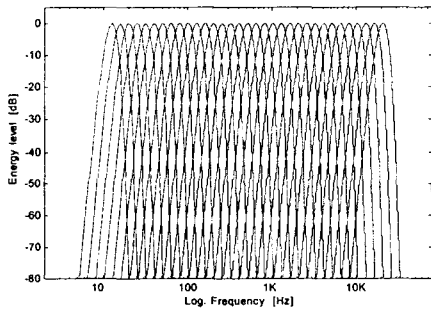


Fig. 1 1/3 octave wavelet filter bank.

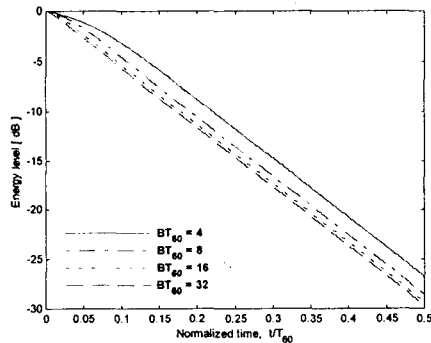


Fig. 2 Influence of wavelet filter.

이러한 장점을 지니고 있는 Morlet 웨이블릿을 사용하여 웨이블릿 필터 बैं크를 구성 하였다. 구성 범위는 가청 주파수 대역으로 총 33-채널(33-밴드)의 1/3 옥타브 필터 बैं크를 구성 하였다 [1]. 앞 절에서 설명한 웨이블릿 이론에 따라서 1/3 옥타브 밴드의 웨이블릿 필터를 설계하였다. 이는 ANSI의 필터 규격에 따라서 설계하였고, 대역폭은 가청 주파수 범위를 포함하는 11.3Hz에서 23.17KHz로 33개의 필터로 बैं크를 구성 하였다. 그림 1 이러한 1/3 옥타브 웨이블릿 필터 बैं크를 도시하였다.

지수함수로 감쇠하는 신호에 대한 BT_{∞} 값에 따른 웨이블릿 필터에 의한 영향을 그림 2에 도시하였다. 일반적으로 IIR 필터를 사용하는 경우 BT_{∞} 값이 64보다 커야 한다고 알려져 있다[2]. 그러나 그림.2의 결과를 보면 이에 비하여 웨이블릿 필터의 경우 BT_{∞} 값이 16보다 커면 필터에 의한 영향 음향 감쇠곡선의 왜곡현상이 적어짐을 알 수 있다[1,3].

3. 시뮬레이션 신호 잔향측정

본 연구에서는 웨이블릿 필터의 효과를 증명하기 위해서 잔향시간을 1'을 갖는 신호에 대하여 시뮬레이션 신호를 제작하여 실제 Wavelt 필터가 저주파에서 IIR filter 보다 우수함을 증명하고자 한다.

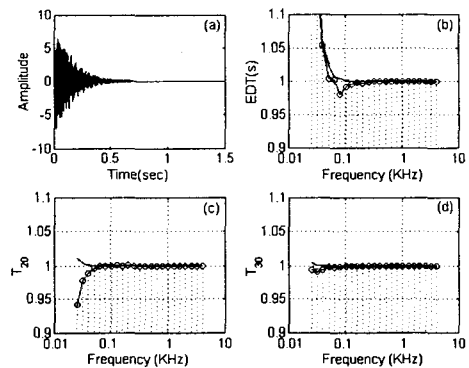


Fig. 3 Comparison of Reverberation Times

Fig. 3(a)의 경우 여러 1/3 옥타브 밴드의 잔향 시간이 1인 인공신호로서 Fig.3(b) (c) (d)에서 저주파와 100Hz 이하 영역에서 EDT, T20, T30 모두 Wavelt 필터를 이용할 경우 잔향 시간이 1이지만 IIR 필터를 이용하는 경우는 1이 아님을 알

수 있다. 이것에 대한 이유는 Fig.4 에서 보여주는 BT 값의 영향으로 알 수 있다.

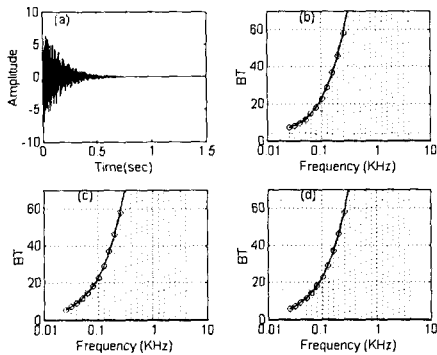


Fig. 4 Comparison of the value of the BT60

100Hz 이하에서는 BT 값이 16 이하 임으로 일반 IIR 필터를 사용하는 경우 신뢰 할 수가 없다. EDT 의 경우 315 Hz 이하에서는 64 이하 임으로 이 경우 IIR filter 를 이용한 EDT 의 값은 부정확 하다.

3. 실 음향에서 잔향 시간의 측정

자동차의 음질실험을 하는 소형 음향실에 대한 잔향시간은 중요하다 이유는 자동차 음질을 평가 하려면 자동차 공간의 잔향시간과 동일한 공간의 잔향 시간을 가질 필요가 있다.

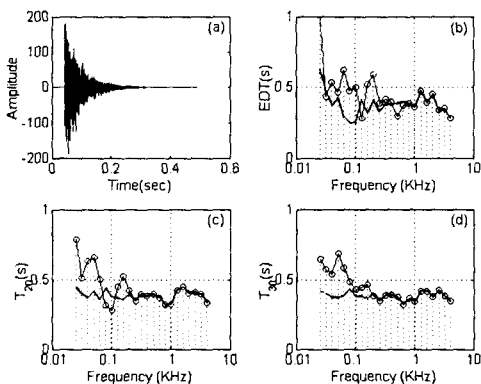


Fig.5 (a)는 음향실의 Impulse Response 로서 일반 음악당과 비교하면 잔향 시간이 짧다. 따라

서 저주파 영역에서 BT 문제가 존재한다. Fig.5 (b), (c), (d) 에서 보여 주듯이 Wavelet 필터의 경우보다 저주파에서 IIR 필터의 경우는 잔향 시간이 갑자기 증가 함을 볼 수 있다. 이 경우에는 250Hz 이하에서는 T20 과 T30 을 IIR 필터로 평가 하면 부정확한 결과를 얻는다.

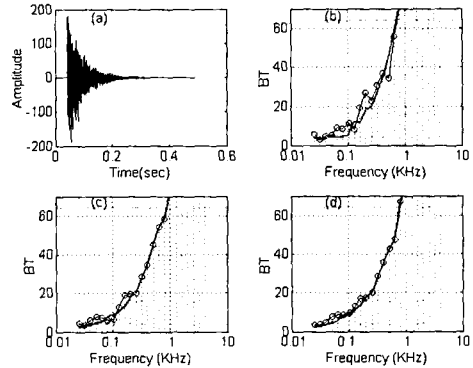


Fig. 6 Comparison of the value of the BT60

이 결과는 Fig6 을 통하여 증명 할 수가 있다. 또한 Fig6 에서 음향실에 대한 음향 감쇠곡선을 통하여 이 문제를 보다 명확히 이해 할 수가 있다.

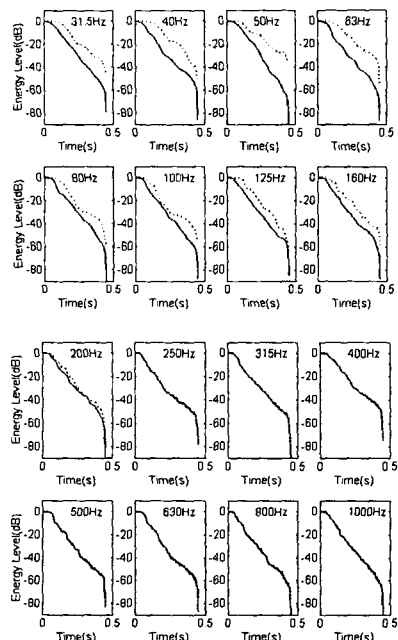


Fig. 7 acoustic decay curves for a small room

Fig. 7 에서 보여준 음향 감쇠곡선에서 기울기의 차이가 250Hz 까지는 심하게 발생 하다가, 고주파에서 동일한 형태를 가진다.

4. 결론

본 연구는 실 공간의 잔향시간 개선에 관한 연구를 다루었다. 잔향시간은 실내 공간에서의 음질의 향상을 위해서 혹은 음향학적 성능을 예측하기 위해서 매우 중요하다. 이 결과에 의하면 저주파 영역에서 잔향시간의 정확한 예측을 위해서는 기존의 IIR 필터 보다 웨이브렛 필터를 이용해야 한다

5. 후기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R02-2000-00301) 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Jacobsen, F., 1987, "A Note on Acoustic Decay Measurements," J. sound vib., Vol. 115(1), pp.163-170.
2. 이상권 2001, "음 감쇠 측정에서의 IIR 필터와 웨이브렛 필터의 영향에 대한 수치 계산, 비교, 한국음향학회지, 제 20 권 제 5 호 PP5 ~ 13.
3. S. K. Lee, 2002, "A Acoustic Decay Measurement Based on Time-Frequency Analysis Using Wavelet Transform", Journal of Sound and Vibration. Vol. 252. No.1 pp. 141-153
4. 5. Vorländer, M., Bietz, H., 1994, "Comparison of Method for Measuring Reverberation Time," Acustica, Vol. 80, pp.205-215.
5. ISO 3382, 1997, Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.
6. M. R. Schroeder, 1965 "New Method of Measuring Reverberation Time," J. Acoust. Soc. Am. 37, 409-412.