

웨이브렛 변환을 이용한 잔향시간의 측정

°이 상권* 김봉기**

Estimation of Reverberant Time Using Wavelet Transform

Sang-Kwon Lee , Bong-Gi Kim

ABSTRACT

Estimation of reverberant time is one of important factor for the calculation of absorption ration of absorption material. In general the digital filter bank has been used for the estimation of decay curve of the sound pressure in a reverberant room. However at low frequency, it is not easy to get a good linear decay curve for the estimation of reverberant time. Now, wavelet transform is applied to this difficult task, a good result has been obtained at low frequency. The decay curve using wavelet filter bank is better than that using digital filter bank at low frequency. At higher frequency, both curves are similar.

1. 서론

잔향시간은 공간의 음향 특성을 표현할 수 있는 대표적인 음향 파라미터 중 하나로서, 공간 내의 정상상태에 있는 음압레벨이 음원이 소거된 후 60dB 감소하는데 걸리는 시간으로 정의된다.[1] 잔향시간은 음향재료의 흡음률 측정 및 공간 내 소리의 전파 특성에 관한 정보를 제공할 수 있으며, 특히 음향학 관점에서 연주회 장, 강당, 영화관, 강의실 등 공간의 사용 목적에 따라 최적의 잔향시간을 설계하고 예측, 평가하는 것이 중요하

다는 것은 주지의 사실이다.[2] 잔향시간은 소리 에너지가 정상 상태에서부터 감소해가는 곡선을 시간축상에서 나타낸 음감쇄곡선(Sound decay curve)으로부터 구할 수 있으며, [3-6] Octave Band의 주파수 영역에서 각각 표현될 수 있다. 이 곡선은 일반적으로 Octave의 중심 주파수에 따라 서로 다른 감쇄율을 나타내며, 대부분의 공간에서 저주파에서는 오랜 시간동안 잔향하며, 고주파일수록 빠르게 감쇄하는 특성을 보여준다. 따라서, 정확한 음감쇄곡선을 얻기 위해서는, 저주파의 경우 충분

* 인하대학교 기계공학과

** 한국기계연구소

히 좋은 주파수 분해능(Frequency resolution)을 이용하여 좁은 주파수 밴드 내에서 긴 시간 동안 음압의 감쇄특성을 나타내야 하며, 고주파일수록 주파수 폭은 넓어지는 대신 시간 축 상에서 좋은 시간 분해능(Time resolution)이 요구되어진다. 현재 잔향 시간의 측정에 사용되고 있는 디지털 필터의 경우 저주파의 감쇄 곡선을 측정하기에는 데이터가 충분하지 않다. 따라서 본 논문은 적은 데이터를 이용해서 지역 정보(Logal Information)을 충분히 나타내면서도 고전적인 Octave Band 의 필터 기능을 가진 Wavelet 해석을 통하여 저주파에도 음압의 감쇄특성을 충분히 나타내는 방법에 대하여 연구하여 Wavelet 변환과 Digital Filter Bank 를 이용하여 Octave 와 1/3-Octave 주파수에서 잔향시간을 계산하고 비교하였다.

2. Wavelet 변환

Wavelet 변환에는 연속 Wavelet 해석과 이산 Wavelet 이 존재한다 [7,8]. 또한 Mother Wavelet 의 종류에 따라서 다양하게 응용되고 있다. 신호에 대한 연속 Wavelet 는 다음과 같이 정의 된다.

$$W_g(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)g^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (1)$$

여기서 $g(t)$ Mother Wavelet 이고 $x(t)$ 는 신호이다. a 는 scale factor 이고 시간 주파수 해석에서는

$a = \frac{f_0}{f}$ 로서 주파수를 scaling 한다. b 는 shift factor 이며 시간에 대한 이동이다. 이것을 이산 신호 처리로 표현하면 다음과 같다.

$$\psi_{j,k}(t) = a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j}t - kb_0) \quad (2)$$

여기서 a_0 의 값에 따라서 우리는 직교(Othogonal)의 Wavelet 을 얻을 수 있다. 본 연구는 연속함수에 많이 사용되는 Morlet Wavelet 에 a_0 는 2를 취하는 이산 Wavelet 변환을 이용하였다.

3. Wavelet 변환을 이용한 잔향 시간측정

Fig.1은 디지털 필터를 이용한 감쇄곡선에 적용된 디지털 필터이며 이것은 ANSI 규격에 따라서 설계된 양식이다. Wavelet 필터도 ANSI 규격에 맞추기 위해서 먼저 Wavelet 필터를 설계해야 한다. Fig.3는 ANSI 에 명시된 디지털 필터와 이에 맞도록 설계된 Wavelet 필터를 나타낸다. 이렇게 설계된 Wavelet 필터는 Fig.2 과 같은 필터 Bank 를 나타낸다. Wavelet 필터가 디지털보다 다소 협대역이지만 ANSI 규격에는 만족되고 있다. 이러한 두 필터 Bank 를 이용하여 잔향실에서 측정된 음압감쇄곡선을 계산하면 Octave Band 는 Fig.5 (a)에서 보여주는 좌와 같이 저주파에서는 디지털 필터보다 wavelet 필터가 더좋은 결과를 보여준다. 그러나 중고주파 (128Hz 이상)에에서는 두 필터 모두 동

일한 결과를 보여 준다. 1/3 Octave Band 에서도 Fig.6 에서 보여 주는 봐와 같이 저주파에서는 디지털 필터보다 wavelet 필터가 더 좋은 음압감쇄곡선을 보여 준다. 그러나 중고주파 (128Hz 이상)에서는 두 필터 모두 동일한 결과를 보여 준다.

4. 결론

저주파 영역의 잔향시간측정을 위해서 Wavelet 변환을 적용하면 효과적인 음압감쇄곡선을 얻을 수 있다. 이것에 대한 원인은 Fig.4 에서 보여주는 봐와 같이 Wavelet 은 지역정보를 (Local Information) 을 충분히 나타내기 때문이며 또한 디지털 필터와 동일한 filter Bank 를 구성할 수 있다. 따라서 Wavelet 변환은 저주에서 잔향시간을 더 정확히 구할 수 있으며 고주파에서는 디지털 필터와 비슷한 결과를 얻을 수 있다.

후기:

본 논문을 위해서 실험장소로 여러가지 조언을 해주신 한국 기계연구소의 강현주 박사에게 감사드립니다.

참고문헌

1. Kinsler, Frey, Coppens, and Sanders, Fundamentals of Acoustics, Third Edition, (John Wiley & Sons, 1982),

Ch.3

2. Acoustics, Leo L. Beranek, 1993 by the Acoustical Society of America Ch.10
3. M. R. Schroeder, "New method of measuring reverberation time," J. Acoust. Soc. Am, pp.409-412 (1965).
4. C. F. Eyring, "Reverberation time in dead rooms," J. Acoust. Soc. Am., pp.217-241 (1930).
5. G. Millington, "A modified formula for reverberation," J. Acoust. Soc. Am., pp.69-82 (1932).
6. D. Fitzroy, "Reverberation formula which seems to be more accurate with non-uniform distribution of absorption," J. Acoust. Soc. Am., 31, pp.893- 897 (1959).
7. 이 상권, "웨이브렛 변환 이용한 감쇠율 예측과 승용차 하쉬니스 평가에의 응용", 한국소음진동공학회, Vol. 제 9 권 3 호, pp.577-586
8. Lee S. K., " Application of Wavelet Transform to Impact Harahness of a Passenger Vehicle", Imech, Journal of Mechanical Engineering Science, 2000 (Accepted Paper)

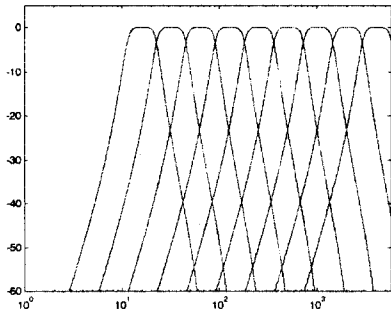


Fig.1 Octave Band Digital Filter Bank

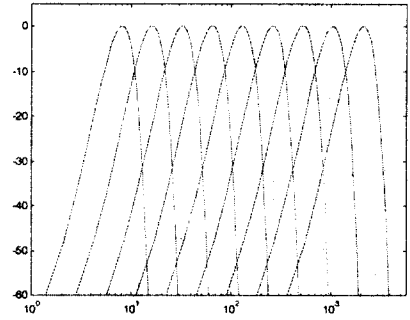


Fig.2 Octave Band Wavelet Filter Bank

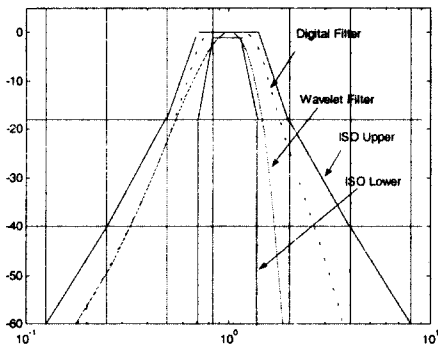


Fig.3 ANSI Octave Filter

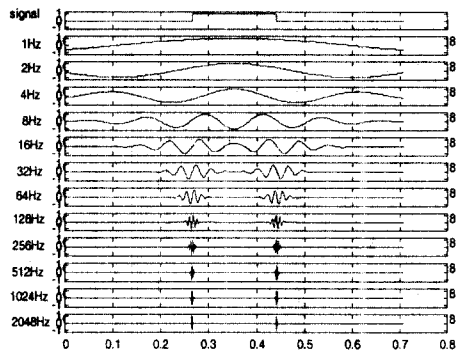
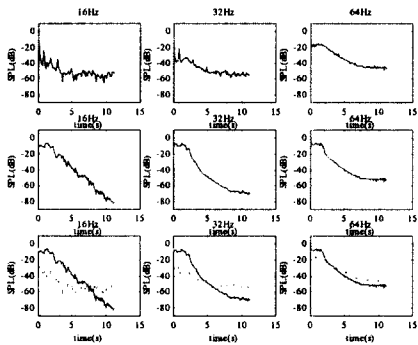
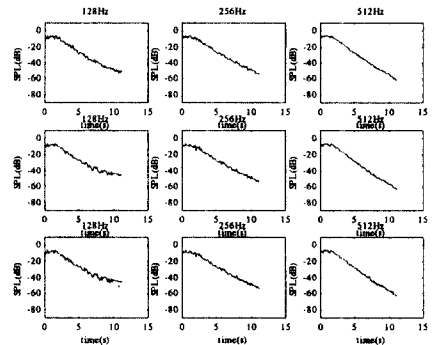


Fig.4 Wavelet Decomposition of Pulse

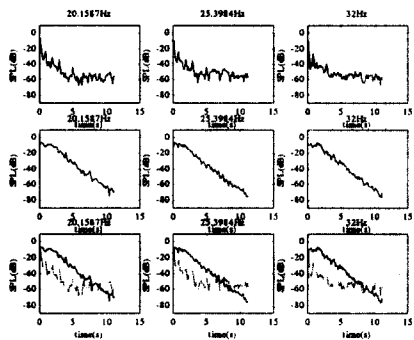


(a) Low Frequency

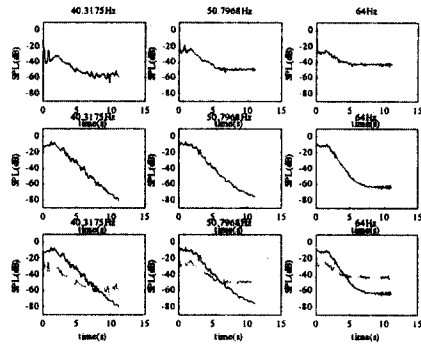


(b) Lower Frequency

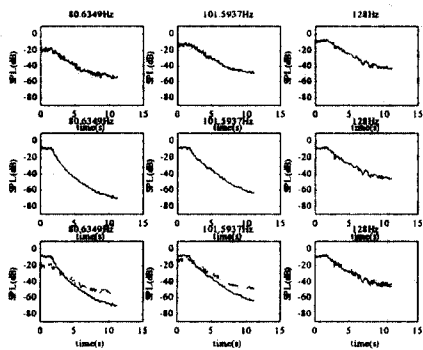
Fig . 5. Comparison of octave band pressure decav curve between digital filter and wavelet



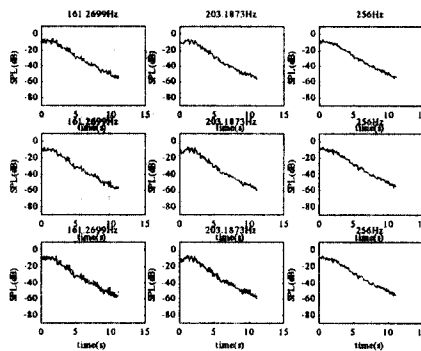
(a) Low Frequency



(b) Middle and High Frequency



(c) Low Frequency



(d) Middle and High Frequency

Fig . 6. Comparison of 1/3 octave band pressure decay curve between digital filter and