

주행중 차실 내부 소음의 평가

◦정 혁*, 이 정 권*

(Objective Evaluation of Vehicle Interior Noise in Operation)

(Hyuk Jeong, Jeong-Guon Ih)

ABSTRACT

Interior noise, engine speed and vehicle speed are measured under road-load condition and interior noise signal is transformed by using the transient signal analysis methods, such as the spectrogram and wavelet transform. Using the analyzed results, subjective noise criteria such as the loudness, noisiness and articulation index at each vehicle speed can be estimated and characteristics of interior noise for various running mode can be discussed in the viewpoint of noise quality.

1. 서론

차실내부 소음은 엔진의 운동 및 차량의 주행에 따라, 엔진소음, 흡-배기계소음, 구동계 소음, 도로 및 타이어 소음, 바람소리 등 다양한 소음원의 복합된 결과로서 나타난다. 특히 가속 또는 감속 주행모드에서는 시간에 따라 차실내부 소음의 주파수 특성이 변화하는 더욱 복잡한 형태의 소음 현상을 관찰할 수 있다. 이와같은 과도적인 차실 내부 소음의 변화 형태를 분석하기 위해서는 spectrogram, Wigner-Ville 변환 또는 wavelet transform와 같은 시간-주파수 해석법을 이용 할 수 있다[1,2].

한편, spectrogram이나 Wigner-Ville 방법은 많은 양의 계산시간과 메모리가 필요하기 때문에 가속모드와 같은 차실 내부 소음의 해석에 있어서는 실용적이지 못하다[3]. 반면, wavelet transform은 spectrogram이나 Wigner-Ville 방법에 비해 훨씬 작은 계산량과 메모리가 요구되고, loudness(sones), sharpness(acum) 또는 roughness(asper)와 같은 소음의 심리음향적 평가의 기본 자료가 되는 1/3 옥타브 해석이 가능하기 때문에 가속 모드와 같은 과도적인 차실내부 소음의 해석에 적합하다. 본 연구에서는 harmonic wavelet transform을 이용하여 1/3 옥타브 해석을 하고, time-scale map으로 부터 loudness 값과 specific loudness를 구하여 소음제어의 대상이 되는 주파수 밴드 및 엔진 회전수 대역을 찾아내고자 한다.

* 한국과학기술원 기계공학과

2. Wavelet transform 에 의한 1/3 옥타브 해석

기존의 1/3 옥타브 해석은 아나로그 또는 디지털 필터를 이용한 방법이 사용되고 있으며, N개의 시간 영역 데이터로 부터 loudness 해석에 필요한 28개의 1/3 옥타브 밴드에 대해 나타내려면 $28 \times N$ 인 행렬이 필요하다. 즉, 차실 소음의 음질 평가를 위한 샘플링 주파수를 고려하면, 급가속 주행 모드에서 얻은 차실 내부 음압의 시간 영역 데이터의 갯수가 $10^5 \sim 10^6$ 개 정도 이므로, 일반 PC에서 처리하기 힘든 많은 기억 메모리와 계산 시간이 필요하게 된다.

반면, harmonic wavelet transform과 같은 orthogonal wavelet을 이용하면 시간 영역 데이터와 같은 수의 시간-주파수 데이터가 존재하게 된다. 그러나 Chen과 Wang[4]이 지적했듯이 harmonic wavelet transform과 같은 orthogonal wavelet transform을 이용하여 얻은 시간 및 wavelet scale에 대한 등음 압선도는 각 스케일마다 시간 간격이 다르므로 인해, 소음 성분의 분포 형태가 발생 시각에 따라 원신호와 다른 형태로 보일 수 있다. 이러한 wavelet transform의 문제를 개선하기 위하여, 각 subband의 spectrum line의 갯수가 같도록 zero-padding을 하여 각 subband의 spectrum을 inverse Fourier transform 하였다.

한편, harmonic wavelet transform의 경우 주파수 영역에 대해서는 compact한 반면, 시간축에 대해서는 시간 t에 대해 1/t의 낮은 비율로 감소하여서 시간축의 localization이 떨어지게 되며, 각 subband의 spectrum을 inverse Fourier transform 하는 과정에서 edge effect가 발생한다[3]. 이와같은 시간축의 localization과 edge effect를 개선하기 위하여 각 subband의 양끝 데이터를 tapering하는 방법을 이용하는데, Fig. 1은 harmonic wavelet transform을 이용하여

1/3 옥타브 해석을 하는 과정을 간략히 나타낸 것이다. Fig. 1의 개선된 과정에 의해 가속주행 중의 차실 내부 소음을 분석하기 위해 harmonic wavelet transform한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2로부터 차실내부 소음의 주관적 평가와 관계되는 물리적 요인들인 SPL(dBA), loudness, sharpness, roughness, sound pressure distribution, impulsiveness 등을 구할 수 있다. Schiffbänker[5]는 loudness가 소음의 주관적 평가에 80-85% 정도의 영향을 주고 있으며, periodicity, roughness, sharpness, impulsiveness는 10% 미만의 영향을 주는 것으로 해석했다. 본 연구에서는 일단 소음의 주관적 평가에 가장 큰 영향을 미치는 loudness만을 차실내부 소음의 해석에 적용하였다.

Loudness 계산법으로는 ISO532에 나타나 있는 바와 같이 Stevens에 의한 방법과 Zwicker에 의한 두 가지 방법이 있으나, Zwicker에 의한 방법이 좀더 주관적 평가와 밀접하다고 여겨지고 있다[6]. Fig. 3은 Zwicker에 의해 제안된 방법으로 specific loudness와 total loudness 값을 계산한 것이다. Impulsive한 소음의 경우, 반드시 시간에 대한 마스킹효과(masking effect)가 고려되어야 하지만, 본 연구에서는 시간에 대한 마스킹효과는 고려하지 않았다. 또한, 시간에 대한 마스킹효과는 차후에 고려할 예정이다.

Fig. 3으로부터 엔진 속도가 4850 rpm 부근에서 가장 큰 loudness level이 나타나는 것을 알 수 있었으며, 이때 가장 큰 기여를 하는 1/3 옥타브 밴드는 중심 주파수가 160 Hz인 1/3 옥타브 밴드임을 확인하였다. 이로부터, 차량의 음질을 개선하기 위해 우선적으로 제어되어야 할 엔진 회전수 대역과 주파수 대역을 알 수 있다.

3. Spectrogram에 의한 harmonic tone 해석

차실내부 소음은 엔진의 가진에 의한 harmonic component와 nonharmonic component로 구분할 수 있다. Wavelet transform에 의한 1/3 옥타브 해석은 엔진 회전속도와 관련된 harmonic 성분의 관찰에는 적합하지 못하다. 본 연구에서는 4기통 엔진의 엔진 회전수 2000 ~ 5000 rpm을 고려했기 때문에 일반적으로 자동차 소음 해석에서 고려되는 10차 harmonic 성분까지의 주파수 범위는 1000 Hz 미만이 된다. 많은 계산 시간과 메모리가 요구되는 전 주파수 영역의 spectrogram을 구할 필요없이 32 kHz로 샘플링된 데이터를 2000 Hz로 resampling 하여 spectrogram을 구하였다. Fig. 4는 엔진의 회전수와 주파수를 각각 20 rpm, 2 Hz 간격으로 해석했을 때의 spectrogram으로, 각 harmonic 성분이 잘 나타나 있다. Fig. 4는 차량의 평균적인 특성을 나타내기 위하여, 각 엔진 회전수에 대해 평균한 값으로부터 구하였다. Fig. 4로부터 2차, 4차, 6차 외의 많은 harmonic 성분들도 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 청감이론에 따르면 낮은 주파수 대역의 큰 자극은 높은 주파수 대역의 작은 자극을 마스킹(masking)하기 때문에 소음 제어 측면에서 모든 order 성분이 고려될 필요는 없다[7]. Loudness가 가장 클때의 spectrum에 대해 ISO/IEC 11172-3[7]에 따라 마스킹 곡선을 구하여 Fig. 5에 나타내었다. Loudness가 가장 클때의 spectrum에 대한 결과로부터 2차, 4차, 5차, 6차 및 10차와 같은 몇몇 harmonic 성분만이 loudness에 크게 기여하는 것을 볼 수 있다. 특히, loudness에 가장 크게 기여하는 1/3 옥타브 밴드의 소음 성분은 Fig. 5로부터 2차 harmonic 성분임을 알 수 있었다. 차후 이러한 2차 및

고차 성분의 크기 변화로부터 소음의 음색에 관한 평가에 대해 연구가 수행될 예정이다.

4. 결론

급가속 주행 모드와 같은 과도적인 상태의 자동차 주행에서 발생하는 차실 내부 소음의 크기나 음질을 평가하기 위해 wavelet transform을 이용하였고, wavelet transform 결과로부터 각 엔진 회전수에 대한 specific loudness를 구했으며, 이로부터 소음의 주관적인 평가를 개선할 수 있는 엔진 회전수 대역과 주파수 대역을 알 수 있었다. 또한, 저주파대역에서 소음의 주관적 평가를 결정하는 엔진회전수에 따른 harmonic 성분들을 관찰하기 위하여, spectrogram을 이용했으며, 이로부터 문제 회전수 대역에서 청감에 기여하는 harmonic 성분들을 찾아낼 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] Y. S. Shin and J. J. Jeon, "Wavelet Analysis vs. Wigner-Ville Distribution for Time-Frequency Domain Representation of Signatures", Proc. 3rd. Int. Congress on Air- and Structure-Borne Sound and Vibration, Montreal, Canada, pp. 725-742, 1994.
- [2] J. Leuridan, H. V. Auweraer and H. Vold, "The Analysis of Nonstationary Dynamic Signals", Sound and Vibration Magazine, Vol. 28, No. 8, pp. 14-26, 1994.
- [3] D. E. Newland, "Random Vibrations, Spectral and Wavelet Analysis", Longman, Harlow and John Wiley, New York, 1993.
- [4] D. J. Chen and W. J. Wang, "Pattern Changes of Time-Shifted Vibration Signals on Wavelet Time-Scale Maps", ASME Design Engineering Technical Conferences, DE-Vol.84-1, pp. 1345-1349, 1995.

[5] H. Schiffbänker, F. K. Brandl and G. E. Thien "Development and Application of an Evaluation Technique to Assess the Subjective Character of Engine Noise", SAE 911081, Noise and Vibration Conference, Traverse City, MI, pp. 369-379, 1991.

[6] ISO532, "Acoustics-Method for Calculating Loudness Level", 1975.
 [7] ISO/IEC IS11172-3, "Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1.5Mbit/s-Audio Part", 1992.

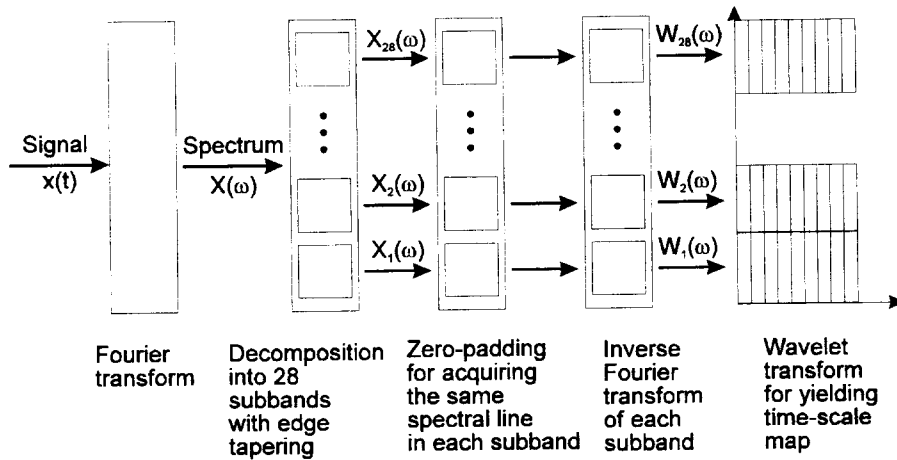


Fig. 1. 1/3 octave analysis procedure using wavelet transform.

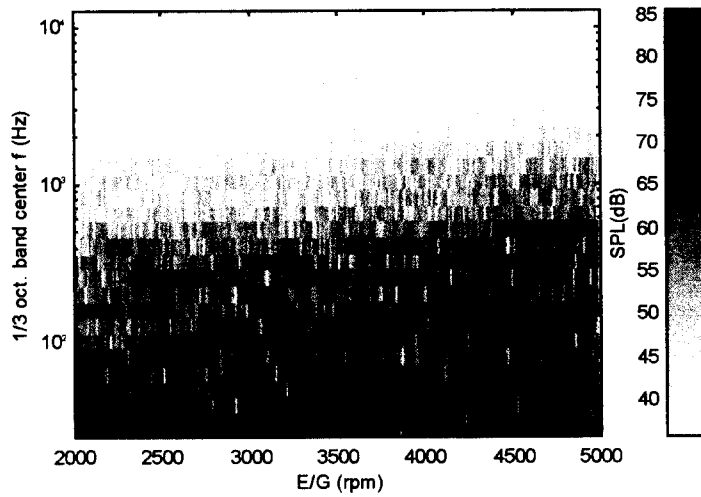


Fig. 2. Time-scale map by wavelet transform.

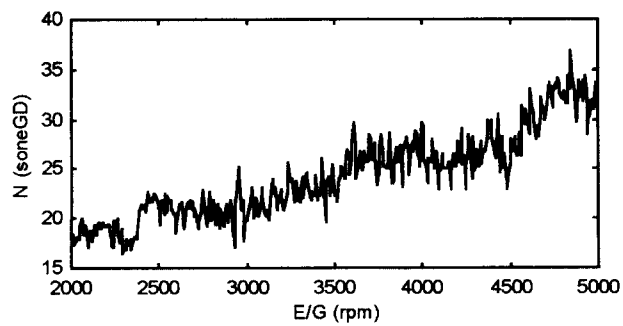
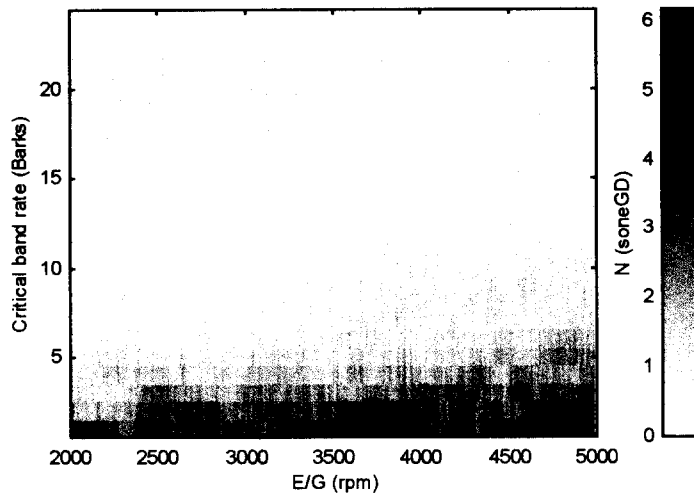


Fig. 3. Loudness and specific loudness.

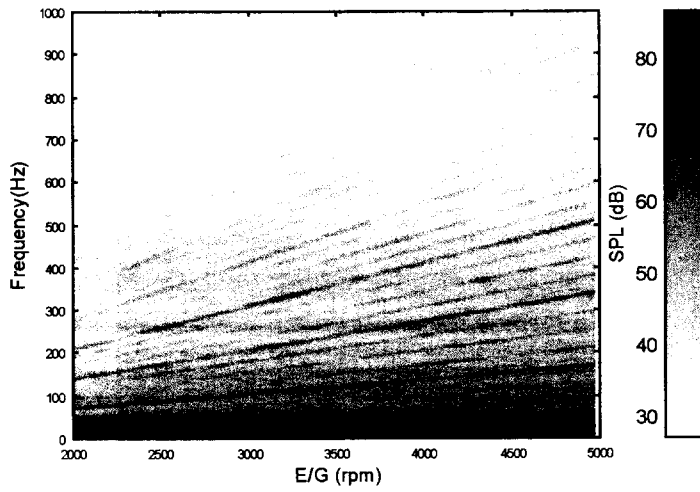


Fig. 4. Spectrogram of interior noise below 1kHz.

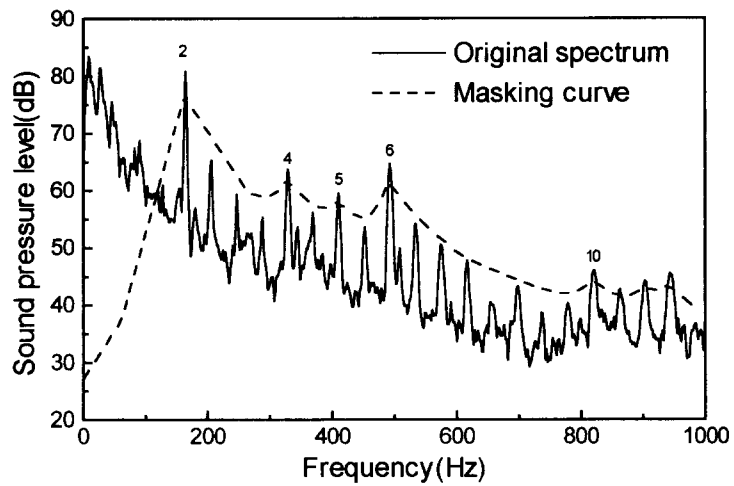


Fig. 5. Original spectrum and masking curve of interior noise at maximum loudness.