

소음 신호 계측을 위한 다양한 신호처리 기법 적용 Application of Signal Processing for Noise measurement

*박원식¹, 정동현², 강귀현³, 정재은⁴, 이유엽⁵, 오재응⁶

* W. S. Park¹, D. H. Jung², K. H. Kang³, J. E. Jung⁴,
Y. Y. Lee⁵, #J. E. Oh(jeoh@hanyang.ac.kr)⁶

¹ 한양대학교 기계공학과, ² 한양대학교 기계공학과, ³ 한양대학교 기계공학과,
⁴ 한양대학교 기계공학과, ⁵ 호원대학교 기계·자동차공학부, ⁶ 한양대학교 기계공학과

Key words : RMS, PTP, STFT, Prominence, Loudness

1. 서론

생활수준이 향상 됨에 따라 사람들이 소음에 대한 관심이 높아지고 있다. 시스템의 동적 상태를 파악하기 위해서는 정확하고도 신속한 계측과 측정이 필요하다. 이를 위해서 연속적인 시호인 자연계의 신호를 연산 제어하기에 적합한 이산적인 신호로 변환하여 시스템을 해석하는 신호처리 기법의 필요성은 크다고 할 수 있다. 구조물의 운전에 기인하여 발생하는 진동신호와 소음신호를 이용한 기법들이 종래부터 많이 사용되고 있으며, 일반적으로 이러한 기법들은 통계적인 방법과 신호처리법으로 구분할 수 있다. 통계적 방법은 대표적으로 RMS, Peak-Peak, Crest Factor 등이 있으며, 신호처리기법으로는 스펙트럼, STFT, Wavelet 등이 있다. 또한 소음의 특성을 파악하기 위해서 음질요소를 신호처리 기법에 접목시켜서 사람의 인지 특성을 고려한 신호처리 기법들이 있다. 본 연구에서는 기계시스템의 소음에 대한 신호처리 기법들을 논하고자 하며 소음을 계측하여 다양한 신호처리 기법을 적용하여 각각의 신호처리 기법의 특성을 파악하고 신호에 따른 적용가능성을 주요 내용으로 한다.

2. 신호처리 이론

2.1 시간영역의 신호처리

시간 영역의 신호처리는 통계적 방법이라고도 하며, 시간영역에서 사용되고 있는 해석 기법들은 통계학에 기초를 두고 있다. 여러가지 기법중 RMS, PTP, Crest Factor 에 대해 논하고자 한다.

2.1.1 RMS

RMS 값을 이용하면 어떤 계에 대해 전 주파수대에 걸친 진동의 크기가 문제될 경우 진동 및 소음의 전체 크기의 변화를 파악할 수 있다. 시스템으로 부터 측정된 시간 데이터를 $x(n)$ 라 하면, RMS 값은 다음과 같다.

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(n)^2 dt} \quad (1)$$

2.1.2 PTP

진동 및 소음의 심한 정도를 나타내는 특성인 진폭을 정량화 할 수 있으며, 신호의 최대 변화를 나타내기 위해 적합한 신호처리 기법이다. x_{max} 을 신호의 최대값 이고 x_{min} 을 신호의 최소값이라고 한다면 PTP는 다음과 같다.

$$x_{PTP} = x_{max} - x_{min} \quad (2)$$

2.1.3 Crest Factor

Peak 치와 RMS 값의 비를 Crest Factor 라 하며 이는 충격과형의 신호를 검출, 즉 초기결함을 감지할 수 있는 factor 로 알려져 있다.

$$Crest\ Factor = \frac{Crest\ value}{rms\ value} = \frac{\sup|x(n)|}{\sqrt{(1/N) \sum_{n=1}^N [x(n)]^2}} \quad (3)$$

2.2 시간-주파수 영역의 신호처리

신호의 시간과 주파수 성분을 모두 고려한 신호처리 방법인 STFT 에 대해서 논하고자 한다.

2.2.1 STFT

Short time Fourier transform 은 신호를 짧은 구간으로 나누어서 Fourier 변환을 적용한다. 신호를 짧은 구간으로 나누기 위해 창 함수를 사용하며, $x(t)$ 를 시간에 따른 신호라고 하고 창 함수를 $W(t)$ 라고 한다면 STFT 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$STFT_x(f, b) = \int x(t)w(t-b)e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

2.3 음질 요소를 고려한 신호처리

신호에 대해 사람이 느끼는 음질요소를 고려하여 측정된 소음의 신호처리를 하고자 한다. 음질요소 인자 중 가장 소리의 크기와 밀접한 관계가 있는 Loudness 와 배경음에 대한 영향을 알아보기 위한 Prominence 를 다루고자 한다.

2.3.1 Loudness

사람이 인지하는 소리에너지 크기를 나타내며 감각적 소음의 크기를 나타낼 때 사용되는 음질요소인자이다. 음질요소 인자 중에 소리의 크기에 가장영향을 많이 끼치는 인자이다. 라우드니스의 단위는 sone 이며, 1kHz, 40dB 순음에 대해 사람이 인지하는 크기를 1sone 으로 정의 하였다. Zwicker 가 제안한 방법으로는 N 을 각 bark 밴드의 라우드니스라고 한다면 전체 Loudness 는 다음과 같다.

$$Loudness = \int_0^{24} N(z)dz \quad (5)$$

2.3.2 Prominence

Prominence 는 배경음으로 부터 주요한 토널 성분을 판단하고 분석하기 위한 음질 요소인자이다. 배경음과 관심 있는 성분의 상대적 크기를 나타내기 적절한 분석 방법이다. 즉, 관심 대역의 Critical Band 의 Power 를 계산하여 주변의 Critical Band 의 Power 보다 얼마나 더 두드러져 있는가를 분석하는 방법이다.

3. 소음측정 및 분석

기계시스템의 출력소음은 1m 전방, 지상 1m 에서 소음을 측정하였다. 녹음장비는 Head Acoustics 사의 Noise book 을 사용하였다. 총 측정 시간은 380sec 으로 하였다. 기계 시스템의 소음 측정 위치와 방법은 Fig. 1 과 같다. 시간 영역

신호처리를 위하여 5sec 씩 76 구간으로 나누어서 분석을 실시 하였다. 각각의 구간에 대한 값들을 Matlab 을 이용하여 표시 하였다. 또한 시간과 주파수 영역의 신호처리와 음질 요소를 고려한 신호처리의 측정된 소음 분석에는 상용 음질 분석 프로그램인 Head Acoustics 의 Artemis 를 사용하여 분석을 하였다.

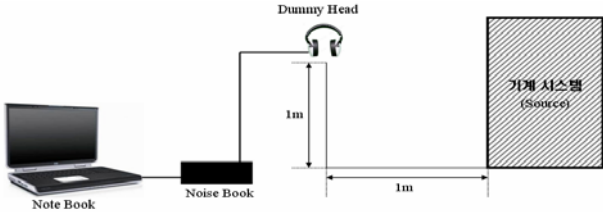


Fig. 1 Experimental setup for measurement

4. 신호처리 분석 결과

4.1 시간영역의 신호처리 결과

측정된 소음의 압력 값을 시간에 따라 나타낸 것은 Fig. 2 와 같다.

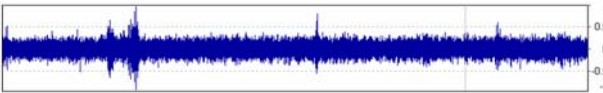


Fig. 2 Pressure of measured noise

전체 소음 380sec 중에 75, 90, 200sec 에서 급격히 소음의 크기가 증가하는 것을 알 수가 있었다. x 축은 소음데이터의 시간이고 y 축은 소음의 음압이고 단위는 papal 이다. 총 소음 측정 시간 380sec 중에 소음의 특성을 나타내기 위한 최소한의 단위로 5sec 씩 구간을 나누어서 RMS, PTP, Crest Factor 값의 각 구간에서 regression 식으로 나타내면 Fig. 3 과 같다.

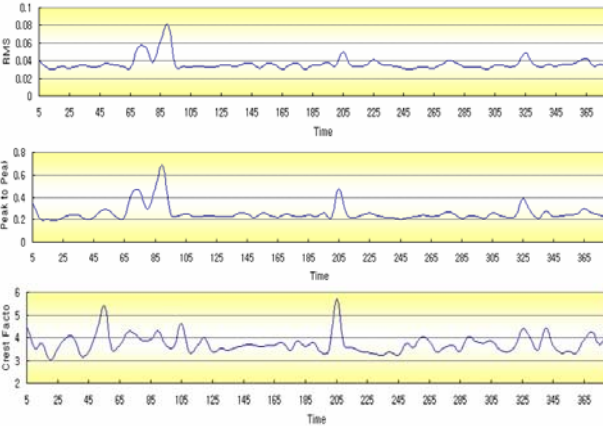


Fig. 3 RMS, PTP, Crest Factor of measured Noise

RMS 와 PTP 를 통한 결과 소음 신호의 변동특성이 있는 75~90sec 와 충격 특성인 200sec 에서 특성을 잘 분석 할 수 있다. Crest Factor 는 기계시스템의 충격 소음 특성이 나타나는 200sec 대역에서 높게 나타남을 알 수 있었다.

4.2 시간-주파수 영역의 신호처리 결과

측정된 소음을 STFT 하여 시간과 주파수 영역으로 Fig. 4 에 나타내었다.

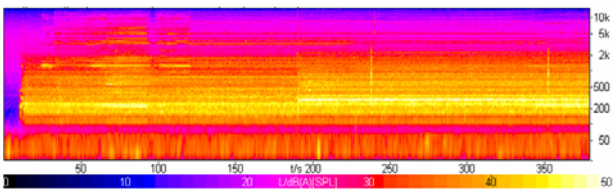


Fig. 4 STFT of measured Noise

10sec 에서 STFT 값이 갑자기 증가하는 것을 알 수 있

었다. 또한 240, 350sec 부분에서 소음의 충격 특성을 파악 할 수 있었다.

4.3 음질 요소를 고려한 신호처리 결과

측정한 소음의 SPL 즉, 소리 크기에 A 보정을 한 dBA 는 Fig. 5 와 같이 나타난다.

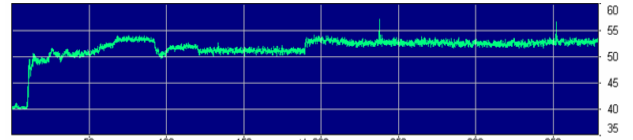


Fig. 5 Sound Pressure Level-A Weighting

10sec 에서 갑자기 dBA 가 증가하는 것을 알 수가 있다. 측정된 소음에 시간과 주파수에 따른 Loudness, Prominence, 시간에 따른 Loudness 값은 Fig. 6 과 같다.

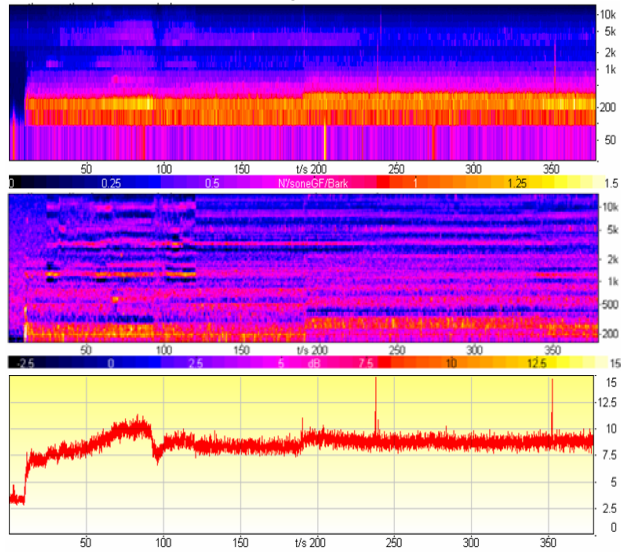


Fig. 6 Loudness, Prominence, Time-Loudness of measured Noise

Loudness 는 전체 소음 중에 10sec 의 성분과 50~100sec 에서 의 값이 달라지는 것을 알 수가 있다. Prominence 는 10~100sec 의 배경음 대비 Tonal 성분의 변화를 잘 나타내어 준다. 소음의 크기와 가장 영향을 많이 주는 음질요소인 Loudness 의 시간에 따른 경향은 SPL(dBA)와 비슷하게 나타남을 알 수 있었다.

4. 결론

RMS 와 PTP 소음 신호의 전체적인 경향을 분석하기에 적합한 신호처리 이고, 부분적 경향 충격특성을 분석하기에는 Crest Factor 와 PTP 를 통해서 분석하는 것이 적합하다. STFT 는 시간과 주파수 영역에서의 신호의 특성 및 감각적 성분까지 파악할 수 있는 신호처리 기법이라고 할 수 있다. 음질요소를 고려한 신호처리는 소음에 대한 사람의 심리적 영향을 분석하는데 적합한 방법이라고 할 수 있다.

참고문헌

1. E. Zwicker, H. Fastl, 1999, "Psychoacoustics : Facts and Models", Springer 2nd Edition..
2. 조연 등, 2006 "가전제품 소음의 음질평가 표준기술 개발, 보고서", 산업자원부 연구개발원, 2 장.
3. 허덕재 등, 2000, "차량 실내 소음의 음질 분석 및 모델화", 한국소음진동공학회지 제 10 권 제 2 호, pp. 572~577..
4. 이상권 등, 2005, "감성공학을 기초한 진공청소기의 음질 인덱스 개발", 한국소음진동공학회지논문집 제 15 권 제 7 호, pp. 821~828