

소음특성 파악을 위한 다양한 신호처리 기법 적용

Put English Title Here

정동현*·박상길*·정재은*·이유엽**·오재응†
Dong-Hyun Jung, Sang-Gil Park, Jae Eun Jeong, You-Yub Lee and Jae-Eung Oh

Key Words : RMS(실효치), PTP(첨두치), STFT(단시간 푸리에 변환), regression(회귀)

ABSTRACT

With the trend of factory automation, nowadays, much industrial machinery tends to be put into 24-hours operation a day. However, these trends in industrial equipments also increase the possibility of various mechanical problems and bring about innumerable maintenance cost. There is a strong need of the condition monitoring and diagnosis for industrial equipment, especially rotating machinery, since they are connected not only to the reduction in the maintenance costs but also connected to the enhancement of production efficiency. Generally, to evaluate the operating conditions in the machinery in the industrial field, various physical properties are monitored. Among them, vibration and Noise signals are the most important indicator and it is effectively used in many diagnosis systems for machinery. Much previous research is based in the FFT (Fast Fourier Transform) method. The spectral analysis is assumed that the signal is stationary. However, almost random signals are non-stationary. The wavelet transform has been recognized an efficient Method. Most interesting sounds have time-varying features. Signal processing techniques for the analysis of transient sound have been not clearly given yet.

1. 서론

현재 산업의 치열한 시장경쟁으로 인한 유지보수비용의 절감과 플랜트의 효율성 증대를 위해 이상진단의 연구에 대한 관심은 높아지고 있다. 또한 생활수준이 향상 됨에 따라 사람들이 소음에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 산업 발전과 더불어 기계의 성능이 좋아지고 많은 기계들이 더욱 고속화되고 정밀화 됨에 따라 경제적 손실 또한 더욱 증가하게 되었다. 또한 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 등의 변화를 관측함으로써 이상발생 유무를 감지하는 간이진단 역할을 하였다. 신호처리기법으로는 스펙트럼, STFT, Wavelet 등의 신호처리 기법들이 있다. 또한 소음의 특성을 파악하기 위해서 음질요소를 신호처리 기법에 접목시켜서 사람의 인지 특성을 고려

한 신호처리 기법들이 있다. 이러한 신호처리기법의 주목적은 시스템의 이상상태와 정상상태를 적절히 진단하는데 있다. 하지만 측정하고자 하는 진동신호 주위에 노이즈가 있다면 이 목적을 수행하기 어렵다. 따라서 불필요한 신호를 제거하고 정확한 분석을 하는데 그 목적을 둔다. 또한 소음의 특성에 따라 적절한 신호처리 기법을 적용하여야 한다. 본 연구에서는 기계시스템의 소음에 대한 신호처리 기법들을 논하고자 하며 소음을 측정하여 다양한 신호처리 기법을 적용하여 각각의 신호처리 기법의 특성을 파악하고 신호에 따른 적용가능성을 주요 내용으로 한다.

2. 신호처리 이론

2.1 시간 영역 신호처리

소음 및 진동의 신호를 분석하고 파악하기에는 시간영역의 신호처리 기법이 많이 사용된다. 시간 영역의 신호처리를 통계적 방법이라고도 한다. 시간영역에서 사용되고 있는 해석 기법들은 통계학에 기초를 두고 있다. 어떠한 기계의 소음과 진동의 신호를 분석하는 기법 중에 RMS, PTP, Crest Factor에 대해 논하고자 한다. 이번 연구의 전체 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다.

(1) RMS

RMS 값을 이용하면 어떤 계에 대해 진 주파수대에 걸친 진동의 크기가 문제될 경우 구조 변경으로 인한 진동의 전체 크기의 변화를 파악할 수 있다. 결함에 의해 소음이나 진동이 증가할 경우 RMS 값의 변화 추이를 관측하여 그 시점을 파악하는 결함 진단에 사용한다. 시스템으로부터 측

† 오재응; 한양대학교 기계공학과
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** 호원대학교 기계·자동차공학부

정한 시간데이터를 $x(n)$ 라 하면, RMS 값 x_{rms} 은 다음과 같다.

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

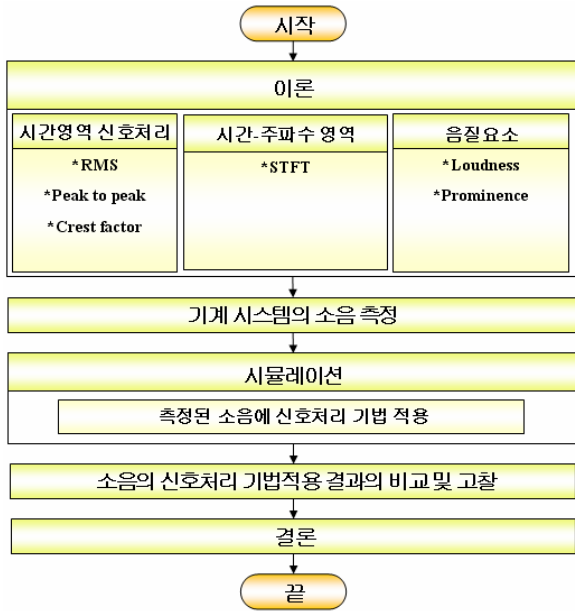


Fig. 1

(2) PTP

진동 및 소음의 심한 정도를 나타내는 특성인 진폭을 정량화 할 수 있으며, 신호의 최대 변화를 나타내기 적합한 신호처리 기법이다. 이는 기계 시스템의 소음 및 진동의 변위가 중요시 될 때 사용 되어 초기 결함을 알아내는데 적절한 기법이다. x_{max} 을 신호의 최대값 이고 x_{min} 을 신호의 최소 값이라

고 한다면 x_{PTP} 는 다음과 같다.

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

(3) Crest Factor

Peak 치와 RMS 값의 비를 Crest Factor 라 하며 이는 충격파형의 신호를 검출, 즉 초기결함을 감지 할 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 영역 신호처리

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

(1) STFT

Short time Fourier transform 은 신호를 짧은 구간으로 나누어서 Fourier 변환을 적용한다. 신호를 짧은 구간으로 나누기 위해 창 함수를 사용하며 창 함수 내의 신호는 거의 시 불변한 특성을 가지게 된다. $x(t)$ 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. 음질 요소 인자 중 가장 소리의 크기와 밀접한 관계가 있는 Loudness 와 배경음에 대한 영향을 알아보기 위한 Prominence 를 다루고자 한다.

(1) Loudness

사람이 인지하는 소리에너지 크기를 나타내며 감각적 소음의 크기를 나타낼 때 사용되는 음질요소 인자이다. 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) 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. 실험 및 분석 방법

3.1 소음 측정 방법

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. 2 와 같다.

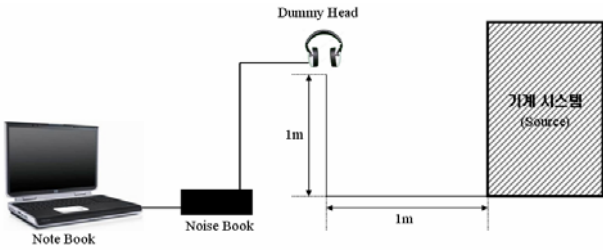


Fig. 2

3.2 분석 방법

소음데이터의 총 시간은 380sec 이며 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.

4. 신호처리 분석 결과

4.1 시간영역의 신호처리 결과

(1) Pressure

측정한 소음의 압력 값을 시간에 따라 나타낸 것은 Fig. 3 과 같다.

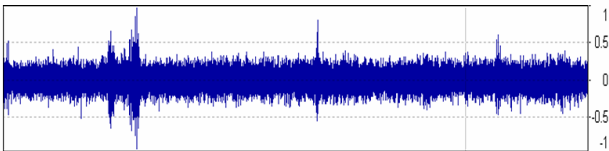


Fig. 3

전체 소음 380sec 중에 75, 90, 200sec 에서 급격히 소음의 크기가 증가하는 것을 알 수가 있었다. x 축은 소음데이터의 시간이고 y 축은 소음의 음압 이고 단위는 pascal 이다.

(2) RMS

총 소음 측정 시간 380sec 중에 소음의 특성을 나타내기 위한 최소한의 단위로 5sec 씩 구간을 나누어서 RMS 값을 은 Fig. 4 와 같이 나타낸다.

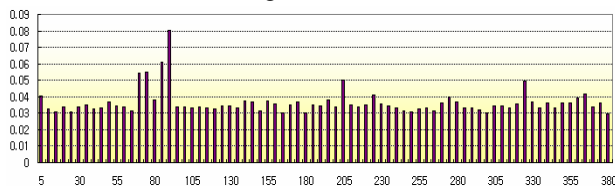


Fig. 4

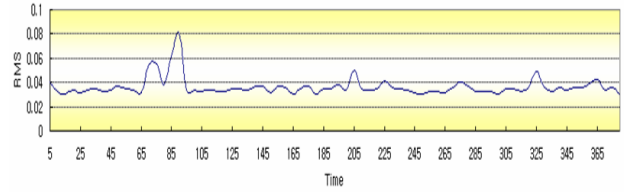


Fig. 5

각 구간에서 regression 식으로 나타내면 Fig. 5 와 같다. 75sec 와 90sec 에서의 신호의 변동특성을 잘 파악 할 수 있었다.

(3) PTP

5sec 씩 구간을 나누어서 PTP 값을 계산하여 Fig. 6 에 나타내었다.

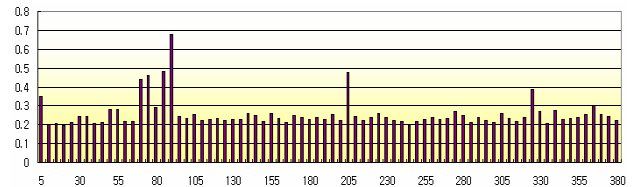


Fig. 6

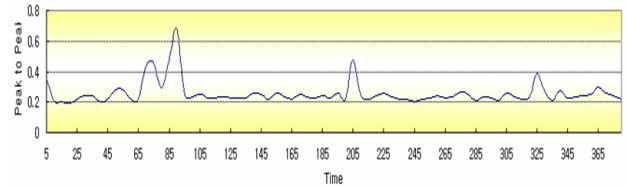


Fig. 7

각 구간에서 regression 식을 그려보면 Fig. 7 과 같다. 소음 신호의 변동특성이 있는 75~90sec 와 충격 특성인 200sec 에서 특성을 잘 분석 할 수 있다.

(4) Crest Factor

5sec 씩 구간을 나누어서 Crest Factor 값을 계산 하여 Fig. 8 에 나타내었다.

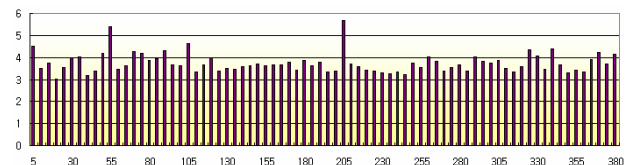


Fig. 8

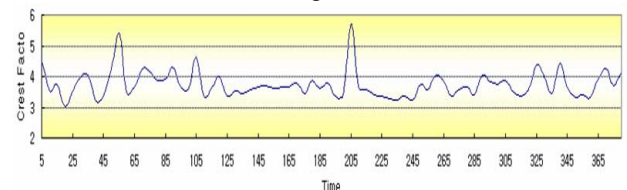


Fig. 9

각 구간에 대한 regression 을 그려보면 Fig. 9 와

같이 나타낼 수 있다. 기계시스템의 충격 소음 특성이 나타나는 200sec 대역에서 Crest Factor 가 높게 나타남을 알 수 있었다.

4.2 시간-주파수 영역의 신호처리 결과

(1) SPL (dBA)

측정한 소음의 SPL 즉, 소리 크기에 A 보정을 한 dBA 는 Fig. 10 과 같이 나타난다.

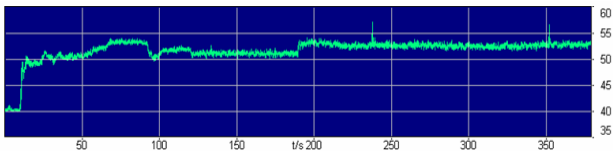


Fig. 10

측정한 소음의 절대적인 값이 사람의 귀에 들리는 크기를 나타낸 것이다. 시간영역의 신호처리 에서 나타나지 않은 10sec 에서 갑자기 dBA 가 증가하는 것을 알 수가 있다.

(2) STFT

측정된 소음을 STFT 하여 시간과 주파수 영역으로 Fig. 11 에 나타내었다.

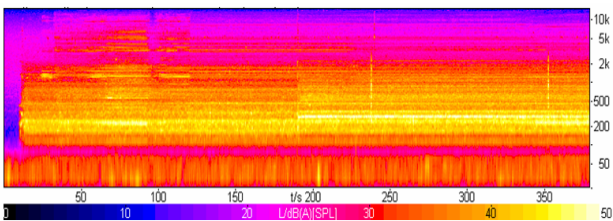


Fig. 11

10sec 에서 STFT 값이 갑자기 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 240, 350sec 부분에서 소음의 충격 특성을 파악할 수 있었다.

4.3 음질요소를 고려한 신호처리 결과

(1) Loudness (time-frequency)

측정 소음의 시간과 주파수에 따른 Loudness 값은 Fig. 12 와 같다.

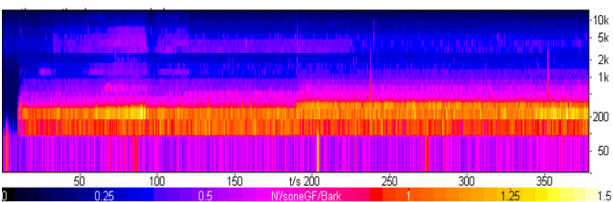


Fig. 12

전체 소음 중에 10sec 의 성분과 50~100sec 에서 의 값이 달라지는 것을 알 수가 있다.

(2) Prominence

측정한 소음을 시간과 주파수영역으로 Fig. 13 과 같이 나타내었다.

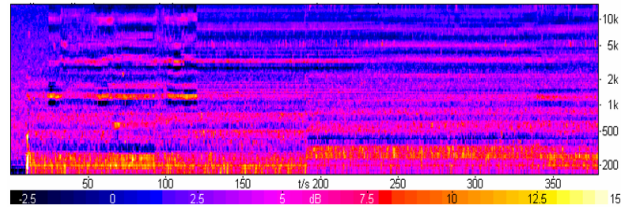


Fig. 13

전체 소음 중에 240,350sec 의 충격을 나타내기에는 부적절 했으나 10~100sec 의 배경음 대비 Tonal 성분의 변화를 잘 나타내어 준다.

(3) Loudness (time)

시간에 따른 Loudness 값을 Fig. 14 에 나타내었다.

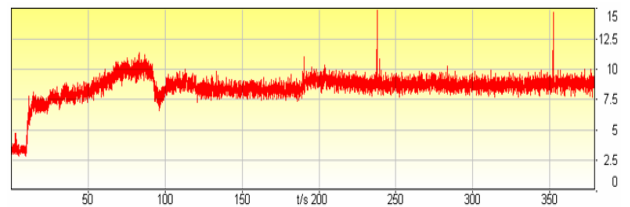


Fig. 14

소음의 크기와 가장 영향을 많이 주는 음질요소인 Loudness 의 시간에 따른 경향은 SPL(dBA)와 비슷하게 나타남을 알 수 있었다. 냉장고 전체 소음 중 240,350sec 에서 dBA 값보다는 Loudness 에서 크게 변동한다는 것으로써 상대적으로 고주파 성분을 가지고 있다고 할 수 있다.

5. 결 론

기계 시스템의 소음을 측정하여 소음 특성을 파악하기 위해 다양한 신호처리 기법을 적용하여 보았다. 측정에서는 정방, 지상 1m 에서 측정을 하였고 측정된 소음 데이터에 시간 영역 신호처리, 시간-주파수 영역 신호처리, 음질 요소를 고려한 신호처리 기법을 적용하였다. 통계적 방법인 시간영역의 신호처리 에서는 사람의 감각이 고려가 안된 신호 자체만의 객관적인 신호처리 값을 얻을 수 있었다. RMS 와 PTP 소음 신호의 전체적인 경향을 분석하기에 적합한 신호처리 이고, 부분적 경향 충격특성을 분석하기 에는 Crest Factor 와 PTP 를 통해서 분석하는 것이 적합하다. 시간-주파수 영역의 신호처리도 신호의 객관적인 값을 나타낸 것이지만 시간과 주파수 영역에서의 STFT 값을 보는 것이기 때문에 신호의 특성 및 감각적 성분까지 파악

할 수 있는 신호처리 기법이라고 할 수 있다, 음질요소를 고려한 신호처리는 소음에 대한 사람의 심리적 영향을 분석하는데 적합한 방법이라고 할 수 있다. 즉, 소음이 사람에게 어떻게 들리고 어떠한 영향을 끼치는지를 파악하기 위한 신호처리 방법이다. 이번 연구에서는 한 기계 시스템의 소음을 측정하여 소음의 특성을 파악하기 위해서 여러 가지 신호처리 기법을 적용하였다. 앞에서 제시된 신호처리 기법 말고도 많은 신호처리 기법들의 특징을 파악해 나간다면 소음 특성에 따른 신호처리 인덱스를 구축할 수 있을 것으로 예상된다. 이렇게 신호처리 기법의 특징을 잘 파악하고 측정한 신호에 맞는 적절한 신호처리 기법을 선정하여 분석 한다면 신호의 오차를 최소화 하여서 사용자가 원하는 분석을 할 수 있을 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

- (1) 조연 등, 2006” 가전제품 소음의 음질평가 표준 기술 개발, 보고서”, 산업자원부 연구개발원, 2 장.
- (2) 허덕재 등, 2000, "차량 실내 소음의 음질 분석 및 모델화", 한국소음진동공학회지 제 10 권 제 2 호, pp. 572~577.
- (3) 이상권 등, 2005, “감성공학을 기초한 진공청소기의 음질 인덱스 개발”, 한국소음진동공학회지논문집 제 15 권 제 7 호, pp. 821~828
- (4) 황동건 등, 2004, "다차원 스펙트럼 해석 법을 이용한 자동차 공조시스템의 기여도 분석”, 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 999~1004.
- (5) E. Zwicker, H. Fastl, 1999, “Psychoacoustics : Facts and Models”, Springer 2nd Edition.
- (6) 박동철 등, 2002, “승용차의 음질 개발에 관한 연구”, 한국소음진동공학회지, 제 12 권, 제 5 호, pp. 342~ 349.
- (7) 이주엽 등, 2005, “청감실험을 통한 도로교통 소음에 대한 공동주택 내부 소음 기준 설정 연구”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 83~86.
- (8) 이레테크 미니탭사업팀, 2005, “새 MINITAB 실무완성”