

소형 DC 모터의 자동검사를 위한 음향신호 분석

장수영*, 이종찬*, 김성진*, 김천덕**

*부경대학교 대학원 음향진동공학과, **부경대학교 전기세어공학부

An Sound Signal Analysis for Automatic Test of Small DC Motor

Su-Young Jang*, Jong-Chan Lee*, Sung-Jin Kim*, Chun-Duck Kim**

*Dept. of Interdisciplinary Program of Acoustic and Vibration, Pukyong National Univ.

**Faculty of Electronic and Control Eng. Pukyong National Univ.

요 약

본 연구에서는 소형 DC 모터 완성품의 제품검사에서 객관성이 결여된 판정기준인 작업자의 청각에 의한 관능검사에 대신하여 자동 진단 시스템의 적용으로 고신뢰성을 확보하기 위하여 음향신호를 취득하여 분석하는 방법을 제안하였다. 소형 모터가 회전할 때 발생하는 음향신호를 마이크로폰으로 취득하여, 취득한 신호에 단구간 Hanning Window를 걸어 시간에 따라 이동하면서 신호의 주파수 성분을 시간에 따라 전개하는 STFT(Short-Time Fourier Transform)기법으로 정상적인 모터와 이상인 모터에서 발생하는 음향신호를 분석하였다.

I. 서 론

최근 회전기계 계의 발달에 따라 새로운 제품의 개발과 함께 소음을 방지하는 등의 품질향상에 많은 노력이 기울이고 있다. 특히 우리 나라에서 생산하는 자동차용 소형 DC모터는 많은 중소 기업체에서 생산되고 있지만 완제품 검사에 대한 신뢰성에 대해 기술적으로 많은 어려움을 가지고 있다.

모터의 검사는 보통 정류자의 단선, 단락 그리고 모터의 성능에 대한 특성등을 측정하고 마지막 공정에서 모터의 회전시 발생하는 진동과 소음 및 이음에 대한

검사 단계로 실시하고 있다. 그러나 모터의 구조적, 전기적 특성검사는 이미 자동화 시스템에 의존할 정도이지만, 소음 및 이음 진동에 대한 평가는 숙련된 2-3명의 기술자에 의해 DC 모터가 회전할 때 발생하는 음향신호를 청취 또는 감각에 의하여 양·부를 판별하는 관능검사에 의존하고 있다. 인간의 청각과 감각으로 하는 관능 검사는 검사원의 청력, 숙련도 등에 따라 다르며 또한 객관성이 결여된다. 또 같은 검사원이라 하더라도 고속으로 검사하는 것은 검사원의 그때의 건강상태에 따라 양·부의 판별에 영향을 주는 것은 피할 수가 없는 문제이다.

이 분야에 있어서 종래의 방법은 모터 회전 주기 이상의 장시간에서의 파워 스펙트럼과 함께 1/3 octave band pass filter기법을 이용해 일정 대역마다의 진폭을 비교하여 양·부를 판별하고 있다. 그러나 이 방법에서는 이상음이 명료하지 않은 경우에는 그 분석이 곤란하고 사용자의 기술적 기식을 요구하고 있다.

따라서 본 연구에서는 마이크로폰을 회전모터 가까이 설치하여 음향 신호를 수음하여 협대역 신호의 파워 포락을 구하고 각 대역별로 주기 분석을 하여 자동검사 시스템의 적용에 대한 가능성을 검토 하였다. 모터는 3000rpm에서 무부하로 회전하고 마이크로폰에 의해 수음된 신호는 Low Pass Filter(12kHz)와 AD변환(50kHz sample)을 통해 신호를 추출 하였다.

II. 스펙트럼 분석

먼저 모터가 회전할 때 발생하는 음향신호를 모터 상부로부터 3cm 거리에 정밀 마이크로폰을 설치하고, 발생하는 신호를 수음하여 기존의 신호처리 수법의 하나인 파워 스펙트럼을 이용하여 분석하였다. 그림 1.1에서 그림 1.3에 정상음과 이음에 대한 파워스펙트럼을 나타내고 있다.

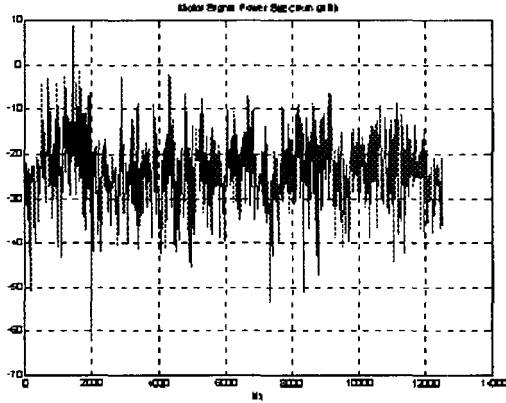


그림 1.1 정상모터의 파워스펙트럼

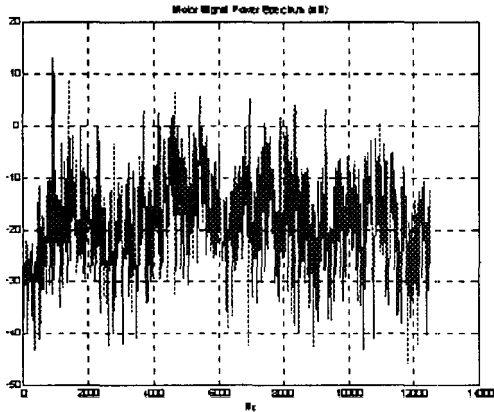


그림 1.2 불량 모터의 파워 스펙트럼(표본 a)

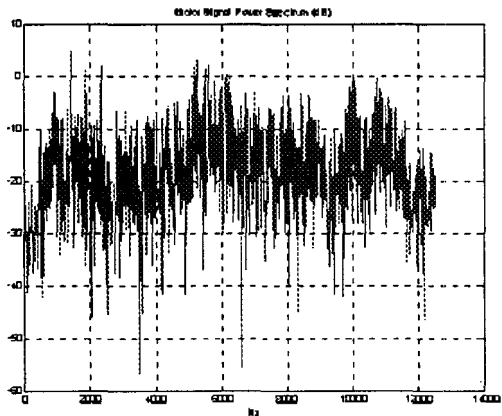


그림 1.3 불량모터의 파워 스펙트럼(표본 b)

파워스펙트럼은 2048점 Hanning 창을 사용하여 16회 가산 평균하는 것에 의해 계산되었다. 그림 1.1의 정상적인 모터 소음을 갖는 파워 스펙트럼과 그림 1.2, 그림 1.3의 비정상적인 모터 소음을 갖는 파워스펙트럼 사이에 현저한 차이는 나타나지 않는다. 또 각 그림에서 정상인 모터가 발행하는 소음이 비정상인 모터(불량)가 발생하는 소음 보다도 소음의 파워가 전대역에 있어서, 수dB 큰 경우도 있다.

각 그림에 나타난 파워 스펙트럼에서는 모터가 회전할 때 반복주기에 해당하는 피크가 검출되지 않았다. 이는 소형 모터가 회전할 때 나타나는 회전에 해당하는 고유성분이 낮은 S:N를 갖는 것으로 고려된다.

III. 협대역 신호의 파워 포락화에 의한 이상음 검출법

파워스펙트럼에서 정상적인 모터의 소음과 불량인 모터의 소음의 특징을 추출하는 것은 곤란하다. 이에 대해 협대역 신호의 진폭자승의 파워 포락신호에 바탕을 둔 이상음 검출법을 제안한다. 먼저 잡음에 대한 고유 회전성분의 강조에 대한 원리를 살펴보면 2N점의 입력 음향신호 $x(n)$ 과 대역제한된 신호 $y(n)$ 을 생성한다.

$$x(n) \quad (-N \leq n \leq N-1)$$

$$y(n) \quad (-N \leq n \leq N-1)$$

여기에서, 길이 2N점은 주기 T보다도 충분히 짧은 것으로 한다. 위에서 적용한 내용에서는 2N=16점이라고 설정하고 있다. 따라서 이 분석구간 내에서는 모터가 회전할 때 발생하는 피크가 기껏해야 하나의 구동 펄스밖에 존재하지 않는다. 이 대역제한된 신호 $y(n)$ 의 스펙트럼 $Y(p)$, $x(n)$ 의 푸리에 변환 $X(p)$ 와 협대역 통과 필터의 전달함수 $W(p)$ 를 사용하여 다음과 같이 나타낸다.

$$Y(p) = W(p) \cdot X(p) \quad (1.1)$$

다음에 대역통과 신호 $Y(n)$ 의 진폭자승 신호 $Z(n)$ 을 계산한다. $y^*(n)$ 의 푸리에 변환 $F[y^*(n)]$ 에 관한 공식: $F[y^*(n)] = Y^*(-p)$ (단 $y^*(n)$, $Y^*(-p)$ 는 각각 $y(n)$, $Y(-p)$ 복소 공액을 나타낸다.)을 사용함에 의해 진폭자승신호 $z(n) = |y(n)|^2$ 의 스펙트럼 $Z(p)$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} Z(p) &= F[y(n) \cdot y^*(n)] \\ &= \sum_{k=-N}^{N-1} W^*(k-p) X^*(k-p) \end{aligned} \quad (1.2)$$

$z(n)$ 이 자승신호이기 때문에 스펙트럼 $Z(p)$ 는 직류부근에 저주파수성분을 포함한다. 스펙트럼 $X(p)$ 는 고유 신호성분 $S(p)$ 와 랜덤 잡음 성분 $N(p)$ 를 사용하여 다

음과 같이 나타낸다.

$$X(p) = S(p) + N(p) \quad (1.3)$$

식(1.2)와 식(1.3)에 의해 Z(p)는 다음과 같다.

$$Z(p) = \sum_{k=-N}^{N-1} W(k)W^*(k-p) \{ S(k)S^*(k-p) + S(k)n^*(k-p) + N(k)S^*(k-p) + N(k)n^*(k-p) \} \quad (1.4)$$

식(1.4)에서 S(k)와 N(k)사이의 상관이 없으므로, 제2항과 제3항은 아주 적은 값밖에 갖지 않는다. 또 고유신호 성분S(k)는 주파수 영역에서 일정한 위상의 특성을 갖지만, 잡음성분은 랜덤에 변화하는 위상특성을 갖는다. 따라서 위 식의 제4항의 변화는 제1항의 변화에 비하여 매우 작은 값밖에 갖지 않는다.

이상으로부터 협대역 신호의 진폭자승계임을 계산하는 방법은 랜덤잡음에 묻혀 있는 고유 신호성분을 강조하여 추출하는 이점을 갖는다는 것을 알았다.

이상음 검출에 본 방법을 적용할 때의 처리 과정은 다음과 같다. 먼저 마이크로폰으로 수음한 음향신호 x(n)에 단구간(16점)의 Hanning Window를 거는 것에 의해 소음신호를 짧은 segment로 분할한다. 그 때에 이웃에 있는 segment는 서로서로 반만큼 중첩되도록 한다. 소음신호로부터 얻어진 각각의 segment에 대하여 단구간 푸리에 변환을 실시하여 복수의 협대역신호를 동시에 생성한다. 다음에 그 각각의 협대역 신호의 진폭자승신호를 계산하고, 그 포락 신호를 Hanning window를 사용한 이동평균에 의해 신호를 추출한다. 이렇게 하여 얻어진 신호를 이용하여 배열을 고치고, 포락신호를 생성한다.

최후에 그 포락신호의 푸리에 변환에 의해 신호를 분석한다. 그 때의 시간창은 512점의 Hanning Window를 사용하고 각각의 periodgram을 5회 가산 평균한다.

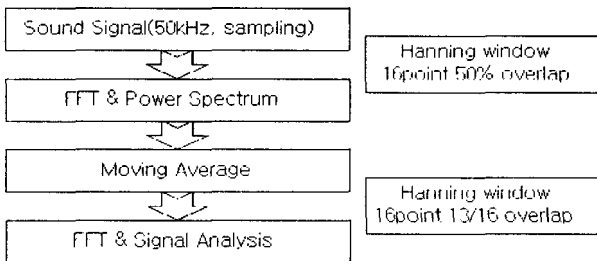


그림 2 파워 포락화 처리의 흐름도

IV. 실험 및 고찰

실험에 사용되어진 DC모터는 3000rpm으로 무부하에서 구동되고 음향 수용용 마이크로폰은 간격은 30mm에 고정하여 설치하였다. 양품모터와 불량모터를 각각

15개씩 검사하였고, 신호는 50kHz의 AD변환과 차단주파수 12kHz의 Low Pass Filter를 통과시켜 데이터를 취득 하였다.

그림3.1에 정상적인 양품모터와 그림3.2 그림3.3 그림3.4에 각각 불량모터의 결과를 나타내었다.

각대역의 결과에서 18kHz대역에서는 신호가 Low Pass Filter에 의해 필터링이 되어 제거되므로 분석대상에서 제외 시켰다.

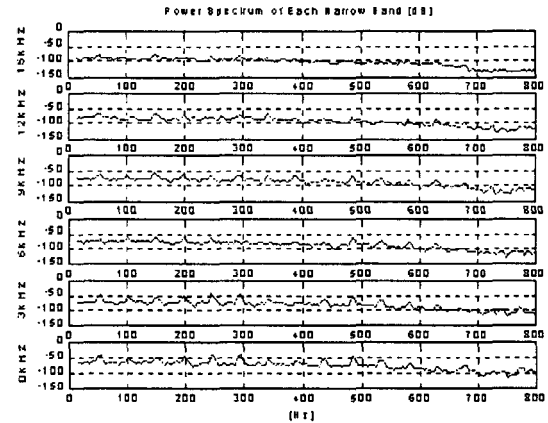


그림3.1 양품모터의 파워 포락화

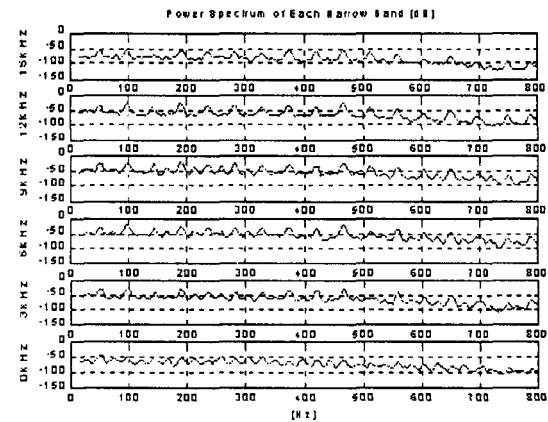


그림3.2 불량모터의 파워 포락화

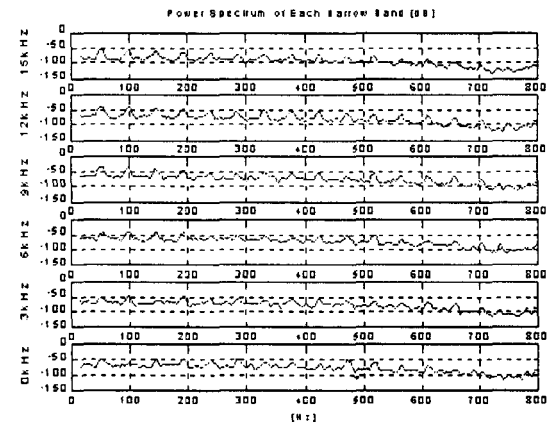


그림 3.3 불량모터의 파워 포락화

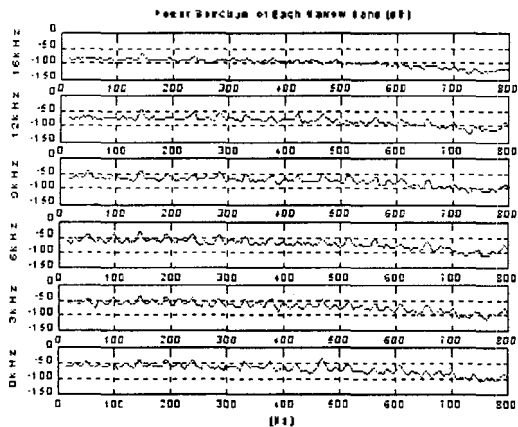


그림 3.4 불량모터의 파워 포락화

그림 3.1에서 그림 3.4의 소형 모터의 양품, 불량에 대한 파워 포락화 신호에 나타나듯이 전대역의 파워 스펙트럼에서는 불량에 대한 신호의 출현이 불명료하기 때문에 자동검사 시스템에 응용하기가 어려운 점이 있지만 대역마다의 분석에 의한 신호는 협대역 중심 주파수 0kHz에서 12kHz영역에서 신호가 명확하다. 양품 모터에서는 회전성분인 50Hz의 주기성분이 명확하지만 불량 모터에서는 주기성분 이외의 신호가 뚜렷이 나타나는 것을 볼 수 있다.

특히, 6kHz대역과 12kHz대역에서 양품과 불량모터의 분석이 가장 용이 하다.

이처럼 대역마다의 분석은 미소한 불량신호와 그 주기성의 검출에서 유효하게 되는 것을 확인하였다.

V. 결론

본 연구에서는 소형 DC 모터의 불량 검출에 협대역 신호의 진폭자승의 파워 포락신호에 바탕을 둔 이상음 검출법을 제안 및 분석하였다.

파워 스펙트럼에서는 모터의 주기성분 및 이상음에 대한 신호가 불분명하지만 협대역 신호의 파워 포락화에서는 모터의 주기성분과 이상음에 대한 신호가 전 대역에 걸쳐서 나타나는 것을 볼 수 있었다.

6kHz와 12kHz의 대역에서 주기분석과 진폭 그리고 이음의 출현 주파수 및 진폭을 검출하는 것에 의해 불량을 검출 할 수가 있다.

이상으로 이음의 회전 주파수의 주기성 및 진폭에 기초하여 분류함에 따라 불량 모터의 식별이 가능하게 된다는 것을 판정할 수 있다. 또한 마이크로폰을 통한 이음 검출에서 유효한 대역 선택과 분류법에 관한 연구는 현재 진행중이다.

Reference

1. 金井他, 第 9 回 東北大學 応情研 シンポジウム 予稿集
2. 日本音響學會 春季研究發表會 講演 論文集
3. Martin Vetterli Universit of California at Berkeley
Jelena Kovacevic AT&T Bell Laboratories :
WAVELETS AND SUBBAND CODING
4. Oppenheim, Schafer : Discrete Time Signal Processing