

# 풍력발전기 메인 베어링 미세 결함 검출 Fine fault detection of a wind turbine main bearing

박춘수† · 서윤호\* · 김상렬\*

Choon-Su Park, Yun-Ho Seo, and SangRyul Kim

## 1. 서 론

풍력발전기 낫셀(nacelle) 내부에는 회전하는 블레이드의 축과, 이와 연결되어 전기를 만들기 위한 각종 설비(기어박스, 커플링, 베어링 등)들이 있다. 특히, 메인 샤프트의 회전 운동을 통해 발전을 하는 구조물이기에 베어링이 많이 사용되고 있다. 베어링은 구조물의 하중을 지지하면서 샤프트의 회전을 가능하게 하는 부품으로, 회전 설비의 동작 성능뿐만 아니라 유지 보수에 있어서도 중요한 요소 중의 하나이다.

베어링의 요소[외륜, 내륜, 볼(롤러) 등]에 결함이 발생하면, 결함 부위와 상대 접촉면의 충돌에 의해 시스템 전체를 가진 시키는 충격이 발생하게 된다. 하중 조건의 변화 및 연속적인 충격에 의해서 결함은 급격하게 성장하여 전체 시스템에 문제를 발생시킬 수 있으므로 조기에 진단하여 조치하는 것이 필요하다.

## 2. 베어링 미세결함 검출 방법

### 2.1. 미세결함 신호의 특성

베어링에 결함이 발생하게 되면, 회전에 따른 주기적인 충격열(impulse train) 신호가 발생하게 되는데, 이 결함이 매우 작은 조기 결함일 경우에는 베어링이 장착된 시스템의 작동잡음(operating noise)이나 배경잡음(background noise)에 묻혀 측정된 진동 신호에서 관찰이 쉽지 않다.

볼 베어링의 조기 결함 검출 방법을 비교한 선행연구<sup>(1)</sup>에서 최소분산 캡스트럼이 낮은 신호대잡음비

속에서도 다른 방법들에 비해 좋은 성능을 보여주었으므로, 풍력발전의 메인 베어링의 미세한 결함을 검출하는데, 이 방법을 사용하고자 한다.

### 2.2. 최소분산 캡스트럼

최소분산 캡스트럼(Minimum Variance Cepstrum, MVC)은 최소분산 알고리즘을 이용한 로그화된 파워 스펙트럼의 파워 스펙트럼으로 정의할 수 있다.<sup>(2,3)</sup> 일종의 파워 캡스트럼(power cepstrum)인 최소분산 캡스트럼은 캡스트럼을 처음 제안한 Bogert 등<sup>(4)</sup>에 의한 정의를 그대로 따르는 방법으로, 로그화된 파워스펙트럼의 파워 스펙트럼을 다시 구할 때, 최소분산 알고리즘을 적용하는 방법이다.

최소분산 캡스트럼은 큐프렌시 영역에서 연속적인 값을 가지는 잡음 신호의 특성과 피크 값을 가지는 결함의 주기 신호의 특성의 차이를 이용하여, 최소분산 알고리즘으로 잡음의 영향을 줄여가는 방법이다.

## 3. 실험장치 및 결과

### 3.1. 실험장치 구성 및 실험 조건

실험은 Fig. 1에 보이는 것과 같이, 풍력발전기 내부에 들어가는 시스템을 모사한 장치를 구성하여 수행하였다. 빨간 점선으로 된 원으로 표시된 곳이 베어링이 있는 곳이며, 이 베어링의 외부 케이스에 가속도계(sensitivity: 51[mV/g], frequency range: 0.47~4,000[Hz])를 장착하여 실험하였다.



Figure 1 An experimental mock-up model and measurement position (in the red dotted circle)

† 교신저자; 정회원, 한국표준과학연구원 삶의질표준본부 안전측정센터

E-mail : choonsu.park@kriss.re.kr

Tel : 042-868-5940, Fax : 042-868-5639

\* 한국기계연구원 기계안전시스템연구본부 시스템 디자이너  
믹스 연구실

실험에 사용된 베어링은 테이퍼 롤러 베어링 (tapered roller bearing)으로 주요 치수는 Table 1에 나타내었다. 결함 베어링으로는 롤러 사이를 잡아 주는 케이지(cage)가 파손된 베어링을 사용하였으며, 정상 베어링과 비교하였다.

### 3.2. 미세결함 검출 결과

실험에 사용한 베어링을 30 [RPM]의 속도로 회전시키며 신호를 측정하였다. 샘플링 주파수는 센서의 주파수 대역을 고려하여 8192[Hz]로 하였으며, 측정은 각 베어링 별 10초를 받았다. 주파수 해석 및 캡스트럼을 얻기 위해서 4초의 데이터를 75% 오버랩을 해서 캡스트럼 데이터를 얻었다. 측정데이터와 주파수 스펙트럼을 확인해 본 결과, 결함의 유무를 확인할 수 있는 시간 영역에서의 주기적인 충격신호나, 주파수 영역에서의 결함 주파수를 확인할 수 없었다.

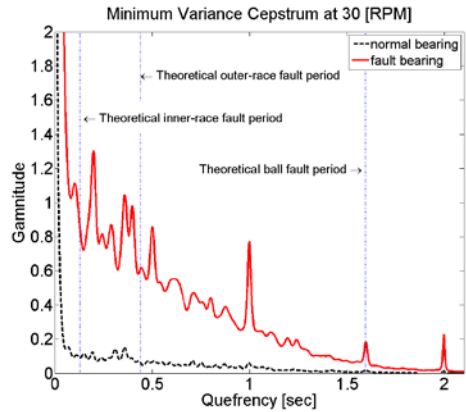
Fig.2는 정상베어링과 결함 베어링의 최소분산 캡스트럼 결과를 보여준다. 세로의 파란색 점선은 이론적으로 계산한 외륜, 내륜, 볼 결함의 주기를 표시한 것이고, 검정색 점선은 정상 베어링의 최소분산 캡스트럼의 결과를, 붉은색 실선은 결함 베어링의 최소분산 캡스트럼을 나타낸다. 케이지에 결함이 발생하게 되면 볼 결함 주기에 해당하는 신호 성분이 나타나며, 이는 1.59[sec]에 해당한다. (Fig.2의 오른쪽에서 첫 번째 수직 파란 점선) 결함 베어링의 최소분산 캡스트럼 결과, 볼 결함 주기에서 피크가 발생하는 것을 보이므로, 측정데이터나 주파수 스펙트럼 상에서 검출할 수 없었던 결함 검출이 가능함을 확인할 수 있다. 0.5, 1과 2[sec]에서 나타나는 피크는 회전 속도 주파수(0.5[Hz])의 하모닉에 해당하는 주기이다.

## 4. 결론

풍력발전기 메인 베어링의 조기 결함을 검출하기 위한 방법으로, 잡음에 묻힌 미세한 주기신호 검출이 가능한 최소분산 캡스트럼을 이용하였다. 인위적인 케이지 결함이 있는 베어링과 정상 베어링을 비교하여 본 결과, 측정된 신호와 주파수 영역 분석에서 확인할 수 없었던 케이지 결함에 의해 발생하는

**Table 1** Geometric specifications of the roller bearing

Outer diameter [mm]	Inner diameter [mm]	Contact angle, [°]	No. of rollers, [ea]
160	90	15	20



**Figure 2** A result of MVC at 30 [RPM]; a red line peak (MVC of the fault bearing) matches exactly with the theoretical ball fault period (1.59[sec], right vertical dotted line). The black dotted line is for the normal bearing.

볼 결함 주기가 결함 베어링의 최소분산 캡스트럼 결과에서 관찰이 되는 것을 확인할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 2013년도 산업자원부의 재원으로 한국 기계연구원 주요사업(NK174E)과 한국표준과학연구원의 안전계측기술개발(KRISS-13011028)의 일부 지원을 받아 진행되었으며 지원에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Y.-C. Choi and Y.-H. Kim, 2007, Fault detection in a ball bearing system using minimum variance cepstrum, Measurement Science Technology, Vol.18, pp.585~591.
- (2) C.-S. Park, Y.-C. Choi, and Y.-H. Kim, 2005, The comparison between fault detection methods about early faults in a ball bearing, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp.200~203.
- (3) C.-S. Park, Y.-C. Choi, and Y.-H. Kim, 2013, Early fault detection in automotive ball bearings using the minimum variance cepstrum, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol.38, pp.534~548.
- (4) B. P. Bogert, M. J. R. Healy, and J. W. Tukey, 1963, The quefrency analysis of time series for echoes: cepstrum, pseudo-auto covariance, cross-cepstrum and saphe cracking, Proceedings of Symposium on time series analysis, pp.209~243.