

## 초음파측정에 의한 발전용 베어링 손상평가

이상국

한전 전력연구원, 대전광역시 유성구 문지동 103-16, sglee@kepri.re.kr

### 1. 서론

원자력 발전설비중 회전체 설비의 부분은 위험과 대형사고의 잠재적 요소를 가지고 있는 부분으로서 조기감지 대상의 대표적인 경우라고 말할 수 있다. 즉, 이들 회전체에서 가장 중요한 부분이라 할 수 있는 베어링의 상태감시 및 손상 감지에 관한 연구 및 기술의 적용은 매우 활발한 편이며 현재에도 이들에 대한 더 나은 조기파손 감지기술의 개발에 역점을 두고 있다[1,2]. 그러나 대부분의 연구들이 구름베어링에 대한 것들이 많은 편[3,4]이며 볼 베어링에 대한 진단기술은 상대적으로 저조[5]하며 지금까지의 연구는 대부분 윤활층에서 발생하는 마모입자 분석이나 윤활유 상태감시 등의 방법에 의존하고 있는 실정이다[6,7]. 따라서 본 연구는 초음파 측정기술을 이용하여 운전중인 볼 베어링에서 방출되는 초음파 성분을 취득하고 베어링 구성요소인 외륜, 내륜, 볼 및 기본열인 케이지 주파수를 정상치와 dB(데시벨) 진폭 증가 값에 비교 분석함으로써 베어링의 이상상태를 검출함으로써, 볼 베어링의 손상을 조기에 검출하는 기술을 개발하고 실질적으로 설비의 진단에 활용될 수 있는 진단기술 개발이 주목적이라 할 수 있다.

### 2. 초음파 신호검출

미국 NASA 연구소에서는 베어링에서 발생된 열과 진동특성을 이용해서 기존에 검출하였던 베어링 손상 검출을 초음파 주파수대역인 24~50 kHz 범위의 주파수에서 감시하는 동안 주파수 진폭의 변화가 열과 진동을 포함하는 다른 감시 시스템의 지시치가 나타나기 전에 베어링 손상의 초기 징후를 나타내는 음향방출이 선행하였다는 연구결과가 있었다. 이 기술은 회전기 베어링 동조주파수의 변조탐지와 분석을 근거로 하였으며, 초음파 수신 시스템에서 탐지능력이 미세한 부분까지도 검출된다는 사실을 알 수 있다.

즉, 특정주파수로 조정하여 베어링과의 동조와 주변의 소음에 상관없는 주파수를 분리하여 베어링의 상태를 진단하는 기술로써 베어링에서 발생된 음파의 진폭변화를 감시하고 해대로 다인시켜가청음으로 청취함으로써 베어링상태를 조기에 진단할 수 있다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 베어링 결함주파수분석

구름요소가 내륜, 외륜, 보 및 케이지 등에 발생된 결함을 통과할 때에는 충격력이 가해져서, 하나의 베어링 주파수 혹은 여러 성분들이 조합된 진동을 발생시키게 된다. 기계구조에 따라서 베어링 하우징에서 얻어지는 진동의 크기가 결정된다. 볼 베어링에서는 그 형상과 운전속도에 따라서 독특한 주파수들이 발생하며, 손상된 베어링에서는 기본적으로 아래와 같은 4가지의 주파수 성분들이 발생된다.

- ① 외륜볼 통과 주파수(BPFO): 손상된 외륜에 볼이나 롤러가 통과되면서 발생
- ② 내륜볼 통과 주파수(BPFI) : 손상된 내륜에 볼이나 롤러가 통과되면서 발생
- ③ 볼 자전 주파수(BSF) : 볼이나 롤러결함으로 발생
- ④ 기본열 주파수(FTF) : 케이지손상 및 부적절한 운동으로 발생

#### 3.2 초음파 이음 진단시스템 구성

볼 베어링의 협대역 진동분석은 다음 단계로 이루어진다. 즉 첫째, 베어링 주파수들을 계산한다. 그 후 둘째, 진동신호를 측정하고 분석한다. 그리고 셋째, 스펙트럼에서 주파수와 협대역 성분들을 판별한다. 마지막으로 넷째, 스펙트럼과 시간 파형의 형상, 에너지 그리고 진폭을 평가한다.

#### 3.3 진폭분석

베어링의 Ball 은 Race 표면 위에서 Hole 또는 결함을 지나갈 때 충격을 일으킨다. 한 개의 베어링 구조에서 볼 때 동조현상은 이러한 충격이 반복됨에 따라 진동이 발생하거나 울림현상을 초래하게 때문에 검출된 음파의 진폭을 분석해서 보면 초음파 주파수 범위에서 dB(데시벨) 즉 진폭증가 현상으로 나타나게 된다. Table 1 은 건전한 베어링과 대비해서 사용에 따른 베어링 이상상태를 나타내는 것으로 베어링 진폭증가인 dB 값의 증가량에 따라서 나타나는 상태를 나타낸 것으로서 초기진폭

대비 증가된 진폭 값이 8 dB 차이가 발생되면 베어링 손상의 초기 상태에 들어섰음을 나타내게 되며, 12 dB 이상 편 차가 발생되었을 때 이미 사용 베어링은 손상이 시작 되었음을 나타내게 된다.

Table 1. Amplitude analysis

진폭 증가량	베어링 상태
8 dB	손상 초기상태
12 dB	손상 시작
16 dB	손상진행중
35~50 dB	파손 상태

### 3.4 주파수 스펙트럼

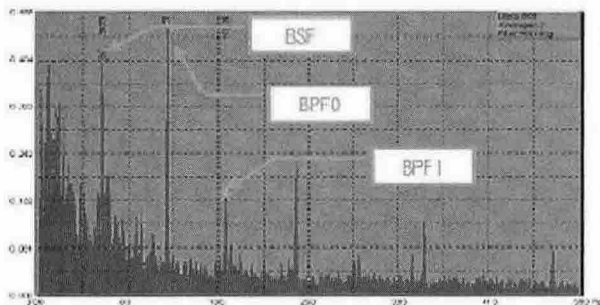


Figure 1. Frequency spectrum analysis

초음파 센서에서 검출된 시간축 상의 진동을 FFT (Fast Fourier Transformation)를 통한 주파수 축으로 변환하면 사용 베어링의 상태를 보다 정밀하게 분석할 수 있는데 이것은 베어링의 고유 주파수를 구하고 그 주파수의 정수배인 1X, 2X, 3X 등의 진폭값을 분석함으로써 이상유무를 판단 한다. Fig.1 은 베어링 각 부품에서 발생하는 고유 주파수를 스펙트럼 분석하여 나타낸 것으로서 이상상태가 검출되면 각 주파수에서의 진폭치가 Fig. 1 과 같은 신호가 나타난다.

### 3.5 고유주파수 분석에 의한 손상검출

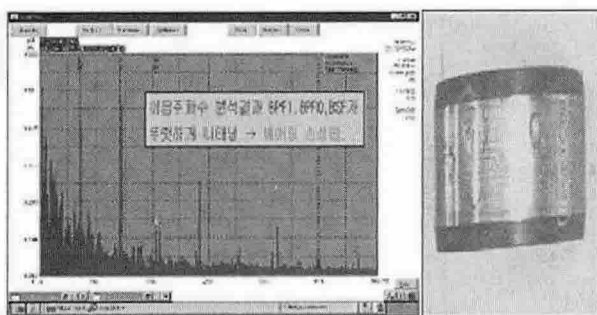


Figure 2. Frequency analysis result according to bearing damage

Motor End 측에서 이상소음 발생을 초음파 이음 분석결과를 나타낸 것으로서 이음주파수

분석결과 BPFI, BPFO, BSF 의 주파수가 뚜렷하게 진폭이 증가 되었음을 알 수 있다. 즉 베어링은 Fig. 2 와 같이 손상되었음을 확인할 수 있다. 베어링을 분 해 한 결과 베어링 Race Way 및 Roller 에 심한 S palling Damage 가 발생되었음을 알 수 가 있다.

## 4. 결론

운전중 볼 베어링에서 발생하는 마찰 이상음을 초음파 검출기술은 재료의 변형 또는 균열 및 전파시 수반되는 순간적인 에너지 방출에 의한 탄성 파로써 이상현상이 상당히 진전된 후에야 변화가 발견되는 결함 기계구조물의 특정 공진 주파수를 분석하는 진동해석에 선행해서 검출할 수 있는 장 점이 있음을 확인하였다.

또한 베어링에 미세균열이 발생된 경우 재료 내 부의 국부적 스트레인 에너지의 해소과정에서 발생되는 초음파를 검출함으로써 볼 베어링의 손상 된 외륜볼 통과주파수(BPFO), 내륜볼 통과 주파 수(BPFI), 볼이나 롤러 결함으로 발생하는 볼 자전 주파수(BSF) 및 케이지 손상으로 인한 기본 열 주파수(FTF)를 검출하고, 이들의 정수배인 조 화 주파수 성분중의 진폭을 정상치와 비교 분석 함으로써 초음파 주파수 범위에서의 dB(데시벨) 즉 진폭 증가값에 의해서 베어링의 이상상태를 검출할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] H. L. Balderston(1969), Materials Evaluation, Vol. 27, pp. 121-128
- [2] D. R. Harting(1978), ISA Trans., Vol. 17, pp. 35-40
- [3] D. Dyer, R. M. Stewart(1978), J. of Mechanical Design, Vol. 100, pp. 229-235
- [4] P. D. Mcfadden and J. D. Smith(1984), Tribology International, Vol. 17, pp. 3-10
- [5] I. Sato, T. Yoneyama, S. Sasaki and T. Sazuki(1983), J. of Acoustic Emission, Vol. 2, pp. 1-10
- [6] P. Cooper(1983), J. of NDT, March, pp. 75-83
- [7] V. Hudnik and J. Vizintin(1991), Tribology International, Vol. 24, pp. 95-98