

# 진동 분석을 이용한 Hub Bearing 결함 체크 시스템 개발

## Development of Inspection System for the Hub Bearing Defects Using Vibration Analysis

\*유형태<sup>1</sup>, 박종호<sup>1</sup>, 이윤도<sup>1</sup>, #류시형<sup>2</sup>  
 \*H. T. Yu<sup>1</sup>, J. H. Park<sup>1</sup>, Y. D. Lee<sup>1</sup>, #S. H. Ryu(ryu5449@chonbuk.ac.kr)<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>(주)시그널웍스, <sup>2</sup>전북대학교 기계공학과

Key words : Automotive Hub Bearing, Vibration Analysis, Automatic Inspection System, Bearing Defect

### 1. 서론

최근 자동차 생산 기술에 있어서 중요한 변화는 부품의 유닛(unit)화라 할 수 있다. 자동차 회사는 각 차종에 따라 새로운 기술의 접목과 더불어 제품의 유닛화를 통해 조립을 용이하게 하여 생산성을 향상시키고 품질의 신뢰성을 높이고 있다. 엔진이나 서스펜션 등의 유닛화 뿐 만 아니라, 자동차용 허브 베어링(hub bearing)도 유닛화하는 추세에 있다. 허브 베어링은 차량의 하중을 지지하고 바퀴와 차체를 연결하면서 바퀴의 회전운동을 가능하게 하는 요소이다.<sup>1</sup> 허브 베어링의 중요한 품질 검사 항목 중의 하나가 진동/소음의 측정이다. 기존의 베어링은 단순한 구조를 가지고 있어 진동 특성의 양부 판정이 비교적 용이하나 유닛화된 허브 베어링의 경우 조립 요소가 다양한 만큼 진동 특성 또한 복잡한 양상을 갖게 된다. 더불어 생산현장의 주변에서 전달되는 주변 진동(back ground noise) 요소가 제거된 순수한 허브 베어링 진동 특성만을 검출하는 시스템 개발이 요구된다. 그러나, 기존의 베어링 진동 측정 시스템은 FFT, band filter에 의한 노이즈 제거 등 단순 신호 처리 기능에 국한되고 있는 실정이다.<sup>2,3</sup> 본 논문에서는 ABS 휠 센서 등 주변 부품의 장착 여부를 포함하여 다양한 종류의 유닛화된 허브 베어링의 진동 특성을 분석하고, 이를 통계적으로 처리하여 허브 베어링 결함 요소를 실시간으로 판별, 진단해 주는 자동화된 베어링 전수 검사시스템을 개발하였다.

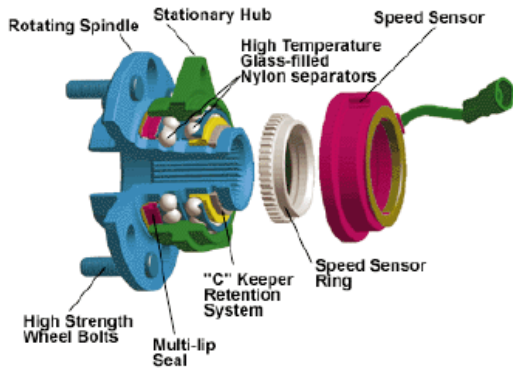


Fig. 1 Structure of automotive hub bearing

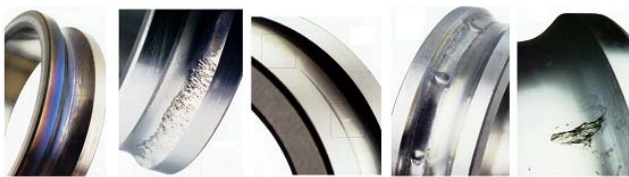


Fig. 2 Various types of bearing defects

### 2. 베어링 결함 검사 시스템

허브 베어링 성능 검사에서 마지막 단계는 진동 테스트이며, 자동차의 실제 회전수를 가정하여 진동 성능을 평가한다. Fig. 1은 자동차 허브 베어링의 구조를 나타내며, 베어링에 발생하는

대표적인 결함의 종류를 Fig. 2에 표시하였다. 베어링은 내륜, 외륜, 볼 요소로 구성되어 있으며 과도한 하중이나 이상 운전 조건에서 마모가 진행되거나 결함이 발생한다. 이러한 베어링의 결함들은 회전시 고유한 진동을 발생시키게 되는데 이의 주파수 영역 분석을 통해 결함의 종류가 감지되고 평가될 수 있다. 차종에 따라 회전수나 축방향 하중이 달라지므로, 회전수는 서보 모터를 사용하여 조정하고 축방향 하중은 공압실린더에 압력 조절 장치를 부착하여 가변할 수 있도록 시스템을 구성하였다. Fig. 3은 베어링 결함 측정 시스템의 전체적인 흐름도이다. 주행 속도 100 km/h를 기준하여 베어링을 700 rpm으로 회전시키면서 가속도 신호로부터 진동 특성을 분석한다. 본 연구에서는 back noise 제거 알고리즘이 포함된 진동 해석 소프트웨어를 개발하고, 현장에 적용이 가능한 상용화된 검사시스템을 구현하였다. DAQ Board는 NI사의 PCI-4472, Vibration Sensor는 PCB사의 IMI-623C00, 그리고 PC는 Advantech의 IPC-6806S 시리즈를 사용하여 시스템을 구성하였다.

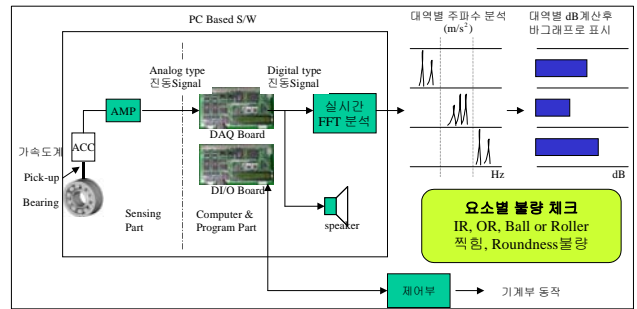


Fig. 3 Flow diagram of hub bearing inspection system

외륜이 고정되고 내륜이 회전하는 경우의 베어링 요소별 결함 진동수는 다음 식으로 계산될 수 있다.

$$FTF = \frac{S}{2} \cdot \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cdot \cos \theta\right)$$

$$BPFI = \frac{Nb}{2} \cdot S \cdot \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cdot \cos \theta\right)$$

$$BPFO = \frac{Nb}{2} \cdot S \cdot \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cdot \cos \theta\right)$$

$$BSF = \frac{Pd}{2Bd} \cdot S \cdot \left[1 - \left(\frac{Bd}{Pd}\right)^2 \cdot (\cos \theta)^2\right]$$

여기에서,

S: 베어링의 초당 회전수(RPS)

FTF: 기본 레일의 진동수(fundamental train frequency)

BPFI: 볼이 지나가면서 발생하는 안쪽 레이스 진동수(ball pass frequency of the inner race), 베어링 볼 Train의 이상에 따른 진동

BPFO: 볼이 지나가면서 발생하는 바깥쪽 레이스 진동수(ball pass frequency of the outer race)

BSF: 볼의 자전으로 생기는 진동수(ball spin frequency), 볼 손상에 따른 진동수

Bd: 볼 또는 롤러의 직경(ball or roller diameter)

Nb: 볼 또는 롤러의 수(ball or roller number)  
 Pd: 볼 또는 롤러의 중심의 공전 궤적의 직경(pitch diameter)  
 $\theta$ : 접촉각(contact angle)

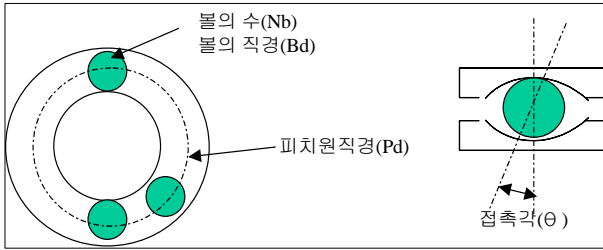


Fig. 4 Bearing parameters

Table 1 The relationship between bearing defects and the generated vibration frequency

결함	발생주파수	시간파형/스펙트럼 형상
외륜결함	BPFO와 그 조화성분	BPFO의 조화성분
내륜결함	BPFI와 그 조화성분	결함초기: 감소된 크기의 조화성분 결함성장: 운전속도에 의해 변조된 조화성분
전동체결함	BSF 또는 FTF 및 그 조화성분	FTF로 변조된 고유진동수
부적절한 윤활	고유진동수, BPFI	BPFI로 변조된 고유진동수
느 축과 베어링 스 하우징과 베 어링 어링	회전속도(1X) 및 고차 조화성분(2X, 3X, ...)	3X 또는 그 이상의 조화성분이 탁월 1X와 4X성분이 탁월
과대한 내부dung	고유진동수	운전속도(RPS)의 배수가 고유진동수를 변조

Table 1은 베어링의 결함 요소와 이에 따른 주파수 성분과 파형의 형상 변화를 나타낸다. 따라서, 진동 신호의 주파수 영역 분석을 통해 베어링의 결함 요소를 판별할 수 있다.

### 3. 진동 해석 프로그램 개발

본 연구에서는 Boland사의 Delphi를 이용하여 측정 데이터를 처리, 분석, 판별하는 프로그램을 개발하였다. Fig. 5는 개발된 시스템의 메인 화면으로, 실시간 진동 신호와 주파수 영역 분석을 통한 결함의 종류, 베어링의 양부 판정을 표시한다. Fig. 6의 캘리브레이션 창에서는 여러 개의 양품으로 판단되어진 제품을 연속적으로 측정하여 평균치를 구하여 양부 판정의 기준을 작성하게 된다. 측정기 자체에서 발생하는 진동의 주파수 대역을 파악하고 노이즈를 제거하여, 실제 제품을 측정할 때에 비교 대상에서 제외 할 수 있도록 구성하였다. 이렇게 함으로서 측정기의 back ground noise를 제거하는 효과를 얻을 수 있다.

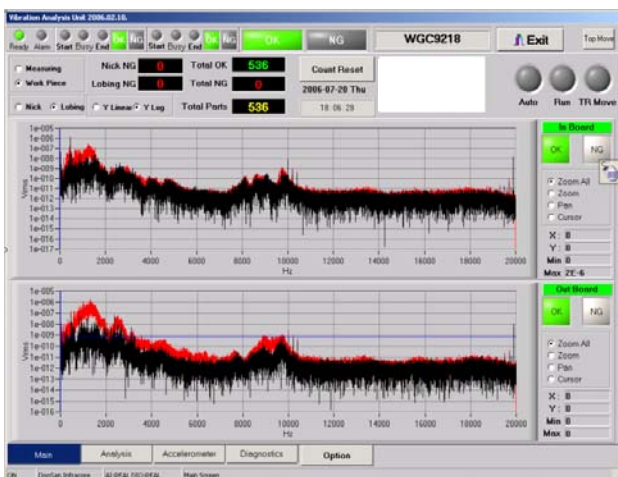


Fig. 5 Main window of bearing inspection system

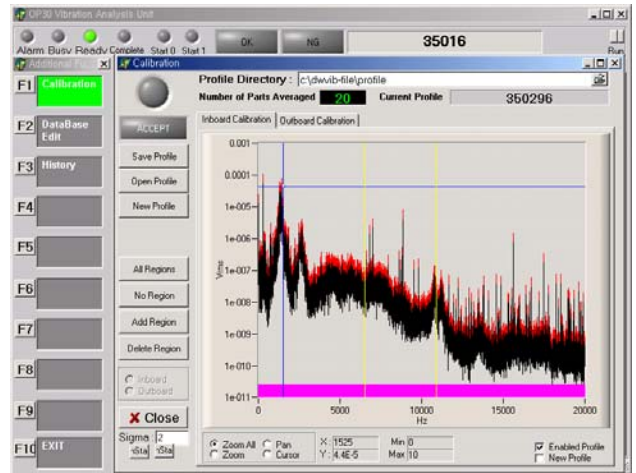


Fig. 6 Calibration window of bearing inspection system

### 4. 결론

본 논문에서는 진동 신호의 주파수 영역 분석을 통해 자동차용 허브 베어링의 결함을 측정하고 결함의 종류를 판별하는 자동화 시스템을 개발하였다. 베어링의 결함 요소와 주파수 성분의 상관 관계 분석을 통하여 유니트화된 허브 베어링의 결함 요소 판별이 가능함을 확인하였다. 또한 생산 과정에서 스펀들의 회전 진동이나, 측정기의 기계적 진동에 대한 주파수 대역을 사용자가 임의로 제거 할 수 있도록 S/W에 기능을 추가하여 보다 현장에서 사용하기 편리하도록 시스템을 구현하였다. 본 연구에서 개발된 시스템은 현장에 적용되어 베어링의 실시간 결함 검사와 통계 분석을 통한 베어링의 품질관리에 이용될 수 있다.

### 후기

본 논문은 (주)시그널웍스의 '2006년 중소기업 기술혁신개발사업'의 지원에 의해 개발되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 박준수, 최영철, 김양한, 고을석, "최소 분산 캡스트럼을 이용한 자동차 허브 베어링 결함 검출," 한국소음진동학회 춘계 학술대회논문집, pp. 593-596, 2004.
2. 정성원, "볼 베어링에서 발생하는 가진 베어링 주파수 및 특성," 한국소음진동공학회지, 제13권 3호, pp. 162-176, 2003.
3. 최영철, 김양한, "최소 분산 캡스트럼을 이용한 노이즈 속에 묻힌 임펄스 검출 방법 이론," 한국소음진동공학회지, 제10권 4호, pp. 642-647, 2000.
4. T. A. Harris, Rolling bearing analysis, 5th edition, John Wiley & Sons, 1964.
5. 이영신, 기계기술자를 위한 베어링 기술, 산업도서출판사
6. X. P. Zhang, H. Ahmed, Z. Yao, "Multi-body contact modeling and statistical experimental validation for hub-bearing unit," Tribology International, Vol. 36, pp. 505-510, 2003.