

MEMS 가속도계를 이용한 테이퍼 롤러 베어링 진단

Taper roller Bearing outer-race diagnosis Using MEMS Accelerometer

*조필희¹, #신형철², 양규현³, 소일섭³, 박정홍³, 박경미³

* C. H. Cho¹, # H. C. Shin (shin@kpu.ac.kr)², K. H. Yang³, I. S. So³, J. J. Park³, K. M. Park³

¹ 한국산업기술대학교 기계시스템설계, ² 한국산업기술대학교 기계설계공학과, ³ 한국산업기술대학교 기계설계공학과

Key words : Bearing defect, Diagnosis System , MEMS accelerometer

1. 서론

산업 기계는 급격한 속도로 발달하여, 점점 고속화, 대용량화, 자동화하는 추세에 있어 기계의 고장 및 파손은 엄청난 손실과 안전사고 문제에 직결된다. 이러한 이유로, 기계요소 품질관리와 기계의 성능을 감시하고 진단하는 방법들에 대해 다양한 연구가 진행되고 있다.

기존 베어링 진단 장치들의 고가 장비들에 비해 저렴하고 간단하게 현장에서 기계의 결함을 진단하는데 목표를 두고 있다. 뿐만 아니라 유지 보수비용을 최소화 시키고, 진단 시 기계 운전 정지에 따른 생산 차질을 지양 할 수 있으며, 안전사고를 예방하며, 더 나아가 MEMS가속도계를 이용한 무선 진단 장비를 개발하는데 의의를 두고 있다.

2. 진단장치 구성

실험 장치 구성은 다음과 같다. 임의로 크랙을 낸 테이퍼 롤러 베어링의 외륜을 기계 내부의 하우징에 장착을 시키고, 경 방향과 축 방향으로 하중을 가해 모터로 일정한 속도로 회전을 시켜 랩뷰로 구성된 프로그램과 MEMS 가속도계를 DAQ와 연결시켜 결함 베어링의 결함 정도를 그래프와 수치로 확인을 한다. 수집된 데이터를 시간영역과 주파수영역의 분석 방법으로 데이터를 구축한다.



Fig 1. Bearing diagnostic device



Fig 2. construction of System

테이퍼 롤러 베어링 진단장치의 특징은, 조립과 분해가 용이한 베어링 하우징을 설계하였고, 모터의 진동관련 영향을 줄이기 위해 V-벨트를 사용하였다. 그리고 센서 부착을 고려하여 하우징을 가공하였으며, 회전축과 내·외륜 하우징에 열처리를 하였다. 또한 회전중인 하우징의 일정한 온도를 유지하기 위하여 외륜 하우징에 냉각회로를 설계하였고, 플러머블력의 상부는 냉각팬으로 냉각시킨다.

3. 실험

3.1 실험방법

베어링 하우징에 테이퍼 롤러 베어링 30205J의 외륜과 내륜을 결합시킨 후, 모터의 전원을 가동한다. 모터 드라이버에 장착된 다이얼로 모터를 저속 회전 시킨 후, 유압 펌프로 외륜 하우징과 내륜 하우징을 체결한다. 후에 유압펌프로 일정량의 하중을 가한 뒤 모터 드라이브를 통해 원하는 속도만큼 다이얼을 조정한다. 일정 부하와 속도가 실험 조건에 만족하면 하우징에 가속도계를 부착하여 진동신호를 전압신호로 변환하는 MEMS가속도계로 데이터를 취득하여 LabVIEW 프로그램을 통해 전압-진폭-시간 그래프 및 주파수-진폭 그래프로 나타낸다.

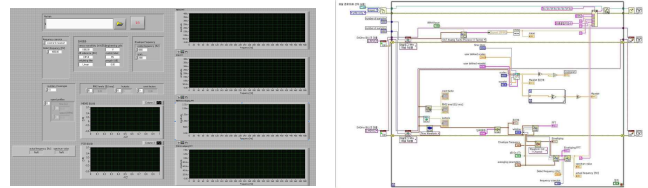


Fig 3. Labview 2099 Front Panel & Block diagram

이때, 시간영역 분석방법을 통해 베어링 외륜 결함의 크기에 따른 변화를 분석하고 주파수 영역 분석방법을 통해 진폭의 크기로 결함의 크기를 검증한다.

베어링의 부수기재들에 결함이 생기면 나타나게 되는 주파수들이 있는데 그것은 이와 같은 공식을 따른다.

$$N_b = \text{Number of balls or rollers}$$

$$B_d = \text{Ball or roller diameter}$$

$$P_d = \text{Bearing pitch diameter (Outside diameter plus the inner bore diameter divided by 2)}$$

$$\theta = \text{Contact angle}$$

1. Ball pass frequency inner race or cone

$$BPFI = \frac{N_b}{2} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos\theta \right) \frac{rpm}{60}$$

2. Ball pass frequency outer race or cup

$$BPFO = \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos\theta \right) \frac{rpm}{60}$$

3. Ball spin frequency or roller/cage

$$BSF = \frac{P_b}{2B_d} \left(1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 (\cos\theta)^2 \right) \frac{rpm}{60}$$

4. Fundamental train/cage frequency

$$FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos\theta \right) \frac{rpm}{60}$$

본 실험에서 사용되는 것은 BPFO로 외륜 베어링의 결함 주파수를 나타낸다. 이것은 베어링 부품의 물리적인 크기(롤러의 개수, 롤러의 직경, 베어링 피치 지름, 압력각, 회전속도)에 따라 고유하게 나타나는 주파수로 이 값을 알고 있기 때문에 원하는 주파수 대역의 MEMS 가속도계를 선택 할 수 있다.

RPM	BPFO(Hz)	
	Theory	Experiment
350	41.3	41
450	52.9	53
550	64.9	65
650	77.2	77
750	89.3	89

Table 1 Ball pass frequency outer race Theory & Experiment

외륜 결함 주파수의 이론 주파수와 측정 주파수는 위 표에서 볼 수 있듯이 오차율은 1% 이내이다.

3. 2 테이퍼 롤러 베어링 실험군

테이퍼 롤러 베어링의 결함은 와이어 컷을 이용해 5가지 크기로 가공했다.

주요치수					기본정격하중		호칭번호
d	D	T	B	C	(kgf)		
					Cr	Cor	
25	52	16.25	15	13	3300	3550	HR 30205J

Table 2 Taper roller bearing (30205J)

구분	와이어컷 가공에 의한 외륜결함 (깊이×폭, 단위 mm)				
30205J	0.2 × 0.4	0.2 × 0.5	0.2 × 0.6	0.2 × 0.7	0.2 × 0.8

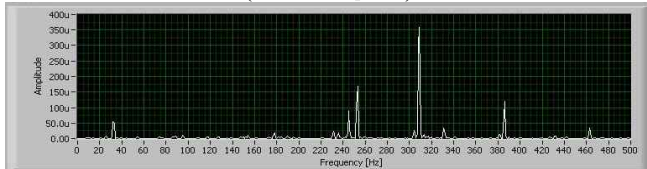
Table 3 Taper roller bearing outer race flaw size

4. 결과

4. 1 압전형 가속도계와 MEMS가속도계 비교

압전소자 가속도계(PCB사)와 MEMS가속도계 이용하여 측정된 데이터를 FFT, envelope 비교

(MEMS가속도계)



(압전형 가속도계)

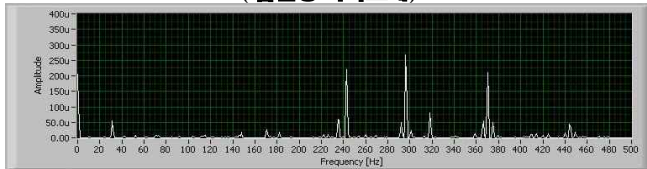
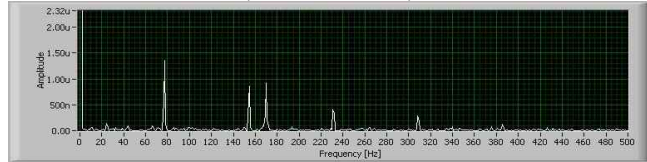


Fig 4. MEMS & piezo accelerometer FFT

두 FFT그래프를 보면 비슷한 주파수에서 진폭이 뜨는 것을 볼 수 있는데 두 그래프의 진폭 크기가 조금은 차이가 나지만 진폭의 크기 순위는 동일 한 것을 확인 할 수 있다. 위 결과로 보면 MEMS 가속도계가 일부 주파수 대역에서는 압전소자 가속도계를 대신 할 수 있다

(MEMS 가속도계)



(압전형 가속도계)

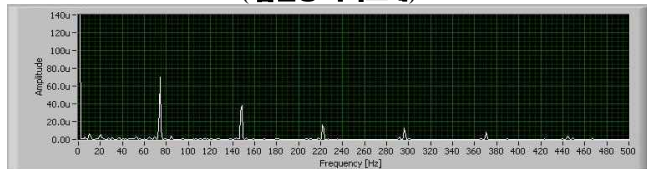


Fig 5. MEMS & piezo accelerometer Envelope FFT

Envelope 신호를 FFT하면 잡음은 줄어들고 외륜 결함의 주파수만 크게 볼 수 있다. 이 주파수는 앞서 나온 공식에 의해 계산된 이론 주파수와 거의 동일하다.(650rpm으로 내륜을 회전시 약 77Hz) 압전소자 가속도계와 MEMS가속도계 모두 동일한 주파수에서 결함이 나타나는걸 확인 할 수 있다.

4. 2 RPM 변화에 따른 Envelope FFT 진폭

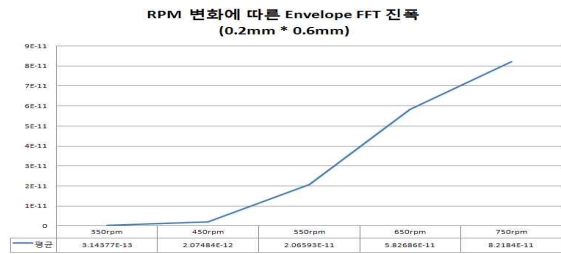


Fig 6. RPM alteration

베어링 외륜의 결함을 일정하게 고정시킨 후 내륜의 회전 속도를 변경하였다. 내륜의 회전 속도가 빨라짐에 따라 진폭의 크기도 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 때문에 진단 실험을 할 시 회전속도를 동일한 조건으로 맞춰야 한다.

4. 3 베어링 외륜 결함 크기별 데이터

외륜 결함 크기에 따른 진폭 변화 (650rpm)

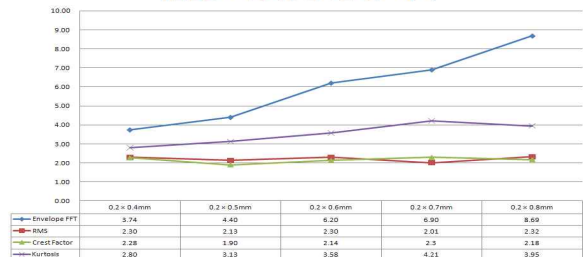


Fig 7. Defect alteration

RMS, Crest Factor, Kurtosis 모두 결함크기에 따른 진폭 값이 비선형적임을 나타낸다. 이는 올바른 베어링 결함의 진단을 하는데 시간영역으로 분석하는 방법에는 문제가 있다고 판단 할 수 있다. 하지만 원신호를 포락처리 한 후 FFT데이터의 값은 비교적 선형성을 보여주고 있다. 본 실험을 통해 동일 조건 내에서 임의의 테이퍼 롤러 베어링을 가동시켰을 때 정확한 결함의 크기를 알 수는 없겠지만 진폭으로써 어느정도 예측이 가능하다.

5. 결론

베어링 결함이 발생하였을 때 의 정확한 진단을 위해서는 시간 영역 분석 방법 보다 주파수 영역의 분석을 사용하는 것이 효율적이며 안정하다는 것은 확인 할 수 있다. 이와 같이, 일정 결함을 가진 베어링에 대한 데이터를 모터 회전, 하중, 시간 등 여러 가지 경우의 수를 가지는 DB를 구축하여 하나의 시스템으로 구성한다. 이를 이용하여 가속도 센서와 노트북, 알고리즘을 개발하면 어디에서나 쉽게 관련된 베어링에 대한 자료를 다운로드 하여 상황에 맞게 베어링 결함을 진단 할 수 있다. MEMS 가속도계가 다른 여타의 가속도계보다 저가의 가격이므로 진단 장치의 원가를 절감을 이끌어 낸다. 이를 통하여, 사용자로 하여금 시스템의 유지 보수비용을 최소화가 되도록 한다.

참고문헌

1. 롤러 베어링에서의 결함의 자동진단. (한국소음진동공학회지 수록)
2. 손종덕,신민찬,양보석 - MEMS 가속도계 기반의 상태감시용 스마트 센서 개발
3. Fault Diagnosis for a Rolling Bearing Used in a Reciprocating Machine by Adaptive Filtering Technique and Fuzzy Neural Network (Issue 1, Volume 7, January 2008)
4. Tapered Roller Bearing Damage Detection Using Decision Fusion Analysis
5. Suitability of MEMS Accelerometers for Condition Monitoring: An experimental study (Suitability of MEMS Accelerometers for Condition Monitoring: An experimental study) Published: 6 February 2008