

진동측정에 의한 전동공구 양산라인의 품질관리 자동화

이봉현*, 최연선**

(Automatic Q.C. of Electric Grinder using Vibration Signal)

(B. H. Lee, Y. S. Choi)

ABSTRACT

An automatic Q. C. tester for a production line of electric grinder is developed using vibration signals. The methods of measuring and analyzing the vibration signals are found through several experiments at laboratory and production line. The experiments show that checking a vibration signal at running condition only, without any sound signal, is enough to judge whether the product is good or not. The Q. C. tester is made of accelerometer and PC. Measured vibration signal using accelerometer is transmitted to PC through A/D board. Vibration level are calculated using FFT algorithm in PC for already selected five frequency bands, which can specify the cause of fault. The Judging criteria of vibration levels of each bands are decided through a lot of experiment with the comparison of manual judgement.

1. 서론

기계제품에서 발생하는 이상 진동은 설계불량, 특정부품의 불량, 조립불량 등에 기인한다. 따라서 기계제품에 대한 진동검사는 제품의 불량여부를 판별하기에 좋은 수단이다. 진동 신호를 분석하면 불량 원인까지를 규명할 수 있으므로 생산라인에서 진동신호를 이용하여 불량여부를 판단하게 된다면 보다 객관적이고 빠른 검사가 가능하다. 불량제품에서는 불량원인에 따른 고유의 진동특성을 보이게 되므로 불량여부와 더불어 불량원인을 검사과정에서 밝힐 수 있다면 생산과정상의 오류를 확인할 수 있고 개선도 쉽게 될 수 있어 전체적으

로 보다 확실한 품질개선이 가능하고 나아가 제품의 신뢰성을 증대하고 부가가치를 높일 수 있는 계기가 될 것이다.[1,2]

본 연구에서는 전동공구의 진동 신호를 이용, 생산현장에서 품질관리 및 고장진단을 하기 위한 자동화 검사기를 개발하였다. 이를 위해 센서의 선정과 부착방법, 검사조건 및 검사 치구, 검사 주파수대역 등 신호의 측정 및 분석 방법을 결정하였다. 또한 분석 방법을 통하여 불량여부의 판단기준 및 불량원인과 신호와의 관계를 밝혔다.[3-5]

신호의 측정 및 분석 방법을 결정하기 위하여 제품 샘플에 대한 다양한 실험실 실험과 현장 생산라인에서 여러 차례 실험을 실시하였고 이를 바탕으로 BAND 별 주파수 대역을 나누고 대역별 불량 판단 기준 진동 레벨을 결정하여 이를 소프트웨어로 구현한 자동화 검사기를 개발하여 생산라인에서 품질검사를 자동화하였다.

* 성균관대학교 기계공학부, 교수

** 성균관대학교 대학원

2. 주파수 성분

전동공구의 진동원인을 밝히기 위해서는 측정된 신호에 대한 주파수 성분을 계산하여야 한다. 특히 대역 주파수 선택과 기준레벨 선정 시 실험에서 얻은 주파수 성분이 의미하는 바를 알고 있어야 한다. 본 연구에서는 기계부품별 주파수 계산식을 이용하여 표 1과 같은 부품별 주파수 성분을 얻을 수 있었다.[4-5]

Table 1 Frequency component of each parts

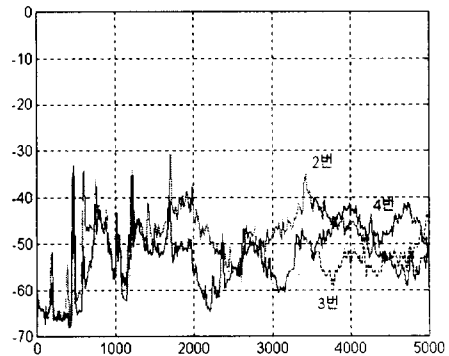
| | | |
|-------------------|-----|-----------|
| 회전속도 | 구동부 | 30000 rpm |
| | 중동부 | 12273 rpm |
| 회전주파수 | | 500 Hz |
| 기어 물림주파수 | | 9000 Hz |
| 베어링 결함에 의한 주파수 성분 | | 1886 Hz |
| FAN에 의한 주파수 성분 | | 6000 Hz |

3. 대역주파수

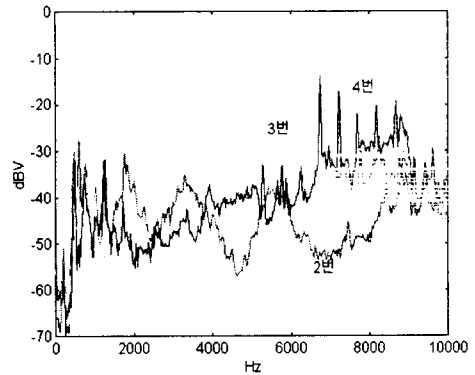
진동신호 측정 시 적절한 대역폭의 선정은 기계의 불량 유무를 판단하는데 중요한 문제이다. 전동공구의 경우 고속 회전하는 회전체이므로 회전 주파수 영역이나 기어 물림주파수 등 기계 요소들의 성분들을 모두 포함할 수 있는 대역폭을 선정하여야 한다. 본 연구에서는 대역 주파수 범위를 변경하면서 진동 신호를 측정하여 가장 적절한 대역폭을 선정하였다.

그림 1은 전동공구 각각의 센서 위치에 대해 대역 주파수 범위를 변화시키며 주파수 분석을 한 결과로 ②-④번은 센서의 위치를 나타낸다. (a)는 5 KHz 영역까지의 주파수 범위에서 분석한 결과로서 회전 주파수 성분에 해당하는 500 Hz 부근의 성분이 지배적임을 알 수 있다. 그러나 예측 가능한 주파수 성분인 FAN 성분이나 기어물림 주파수 성분을 포함하지 못한다. (b)는 10 KHz 영역에서 주파수 분석을 한 결과로 회전 주파수 성분뿐만 아니라 FAN에 의한 성분과 기어 물림 주파수 성분 등 여러 성분들을 모두 포함하고 있음을 알 수

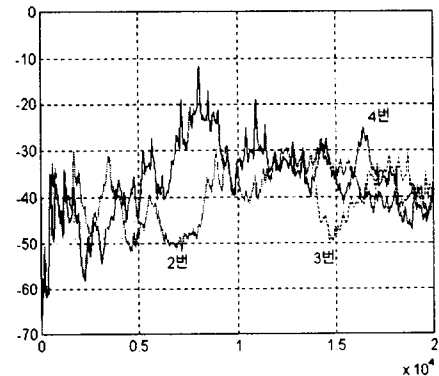
있다. (c)는 20 KHz 영역까지를 주파수 범위로 설정한 것으로 10 KHz 이상의 주파수 성분들에서



(a) 5 KHz sampling



(b) 10 KHz sampling



(c) 20 KHz sampling

Fig. 1 Spectrum of sampling frequency variation

기어 물림 주파수의 고조파 성분과 FAN의 고조파 성분 등이 나타나므로 상당히 의미가 있으나 이는 모두 1차 성분의 배수를 나타내므로 1차 성분을 모두 포함하는 10 KHz 영역의 대역주파수만으로도 이러한 성분들을 모두 분석할 수 있음을 알 수 있다. 그러므로 진동 신호를 측정하기 위한 타당한 대역주파수로는 10 KHz 임을 알 수 있다.

4. 응답형태

가진력에 의해 발생하는 응답형태는 가속도 신호와 속도 신호, 변위 신호로 나눌 수 있다. 세 신호들 사이는 상호관련이 있으며 진동 측정 대상 물체에 따라 측정신호의 응답형태를 결정하여야 한다. 일반적인 기계의 고장진단을 위해서는 속도 신호가 많이 사용되나 고속에서 회전하는 기계는 고주파에 의한 성분이 중요하므로 일반적으로 가속도 신호를 이용하는 것이 바람직하다. 진동공구의 경우 어느 신호를 기준으로 하여 판단할 것이지는 확실히 정할 수 없어 정확한 결과를 얻기 위해 실험을 통하여 결정하도록 하였다.

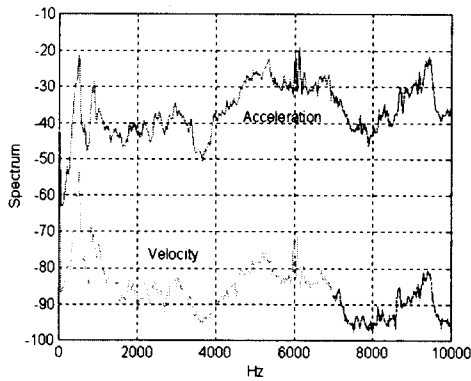


Fig. 2 Spectrums of velocity and acceleration

진동 신호 측정시 속도 신호와 가속도 신호를 모두 측정하여 신호 분석을 시도해 보았다. 그림 2는 속도 신호와 가속도 신호에 대한 주파수 응답으로서 속도 신호는 저주파 영역에서 주파수 응답이 크게 나타나고 고주파 영역에서의 주파수 응답이 가속도 신호에 비해 적음을 알 수 있다. 결국

가속도 신호와 속도 신호의 주파수 성분은 거의 차이가 없으나 주파수 영역에서 강조되는 부분이 다를 수 있다.

본 연구에서는 고속 회전하는 진동공구에서 FAN에 의한 진동과 기어물림 주파수가 고주파 성분임으로 가속도 신호를 측정 분석하였다.

5. 센서위치

진동 신호는 센서의 부착 위치에 따라 진동 특성이 달라지므로 목적에 적합한 최적의 위치를 선정하기는 쉽지 않다. 본 연구에서는 앞에서 정한 대역주파수와 가속도 신호를 이용하여 최적 위치 선정을 위해 그림 3과 같이 진동공구 윗면에 임의의 여러 위치를 선정하여 실험을 수행하였고 그림 4와 같은 주파수 응답 결과를 얻을 수 있었다.

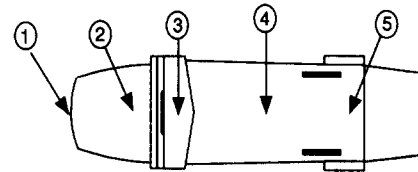


Fig. 3 Sensor locations

센서 위치 ①번에서 측정된 주파수 응답을 보면 FAN에 의한 주파수 성분이 나타남을 알 수 있으나 회전 주파수 성분이나 기어 물림 주파수 성분은 미소함을 알 수 있다. 센서 위치 ②번에서 측정된 주파수 응답은 회전 주파수 성분과 기어 물림 주파수 성분, 베어링 성분이 확연히 나타남을 알 수 있으나 FAN 성분은 나타나지 않음을 알 수 있다. 센서 위치 ③번에서 측정된 주파수 응답을 보면 회전 주파수 성분과 FAN 성분이 나타남을 알 수 있으며 기어물림주파수나 4000 Hz 부근의 모터 고유진동수 성분도 나타남을 알 수 있다.

센서 위치 ④번에서 측정된 주파수 응답은 센서 위치 ③번에서 측정된 주파수 응답과 유사하나 회전 주파수 성분이 과도하게 나타났다. 또한 전체적인 진동 레벨도 가장 크게 나타났다. 센서 위치 ①번과 ②번에서 측정된 주파수 응답의 크기가 센서 위치 ③번과 ④번에서 측정된 주파수 응답의 크기보다 적음을 알 수 있다.

센서 위치 ⑤번에서 측정된 주파수 응답은 과도한 회전 주파수 성분과 FAN에 의한 성분이 지배적이며 고주파 영역의 성분이 미약하게 나타났다.

그러므로 본 연구에서는 전동공구의 진동 신호를 측정시 모든 주파수 성분 정보를 제공하며 센서의 부착이 용이한 센서 위치 ③번에서 진동 신호를 측정하는 것이 타당함을 알 수 있다.

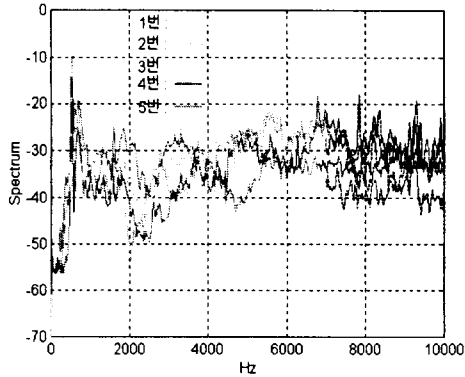


Fig. 4 Spectrum of sensor locations ①~⑤

6. 지지방법

전동공구의 진동신호를 측정하여 품질관리와 고장진단에 따른 불량 유무를 판단하기 위해서는 어떠한 검사 조건에서 측정하여야 하는지를 판단하여야 한다. 특히 지지조건에 따른 진동 신호의 응답은 기계요소의 응답에 영향을 미치므로 정확한 주파수 응답을 얻을 수 있는 적절한 방법이 결정되어야 한다.

본 연구에서는 다음과 같은 다섯 가지 조건의 지지방법에서 전동공구의 진동신호를 측정하였다.

1. 바닥지지
2. 손으로 지지
3. 스폰지 한장지지, 두께 32mm
4. 스폰지 두장지지, 두께 64mm
5. 가느다란 줄에 매단 후

그림 5~8까지는 ①번~④까지의 지지조건에서 얻은 진동 신호의 주파수 응답을 점선으로 ⑤번 지지조건에서 얻은 진동신호의 주파수 응답을 실

선으로 표시해 비교한 그림이다. 그림 5는 ①번과 ⑤번 지지조건에서 얻은 진동신호의 주파수 응답을 비교한 그림으로 6500 Hz 영역에서 약간의 차이가 발생함을 알 수 있다. 그림 6은 ②번과 ⑤번 지지조건에서 얻은 주파수 응답으로 ②번 지지조건에서 얻은 진동레벨이 약간 큼을 알 수 있다.

그림 7과 8은 스폰지로 지지한 상태에서 얻은 진동신호의 주파수 응답과 가느다란 줄에 매단 후 측정된 진동신호의 주파수 응답을 비교한 것으로서 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 보다 정확한 주파수 응답을 얻기 위해서는 외부 조건에 영향을 받지 않는 줄에 매단 지지조건이 타당하나 자동화 검사를 위한 현장 실험에서는 검사 시간이 가능한 짧아야 하므로 스폰지 지지 상태에서 실험을 하여도 무방함을 알 수 있다.

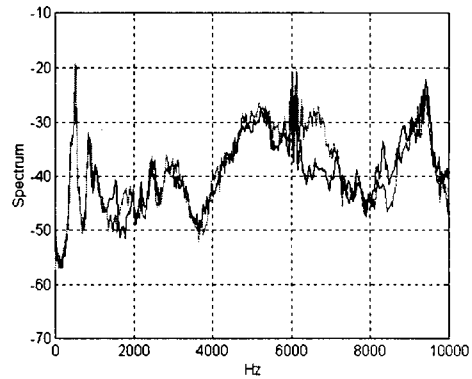


Fig. 5 Bottom support

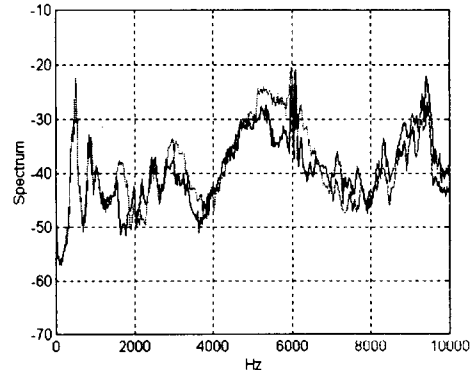


Fig. 6 Hand grip

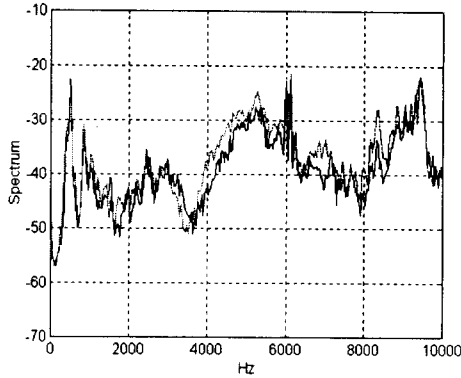


Fig. 7 Sponge support (thick : 32mm)

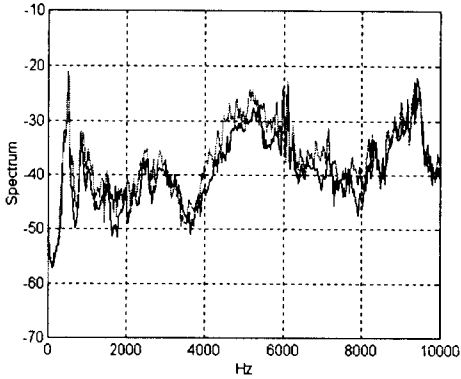


Fig. 8 Sponges support (thick : 64mm)

7. 진동레벨

전동공구에 대한 불량 여부를 생산 라인에서 직접 판정할 수 있는 자동화 검사기를 개발하기 위해서는 양품과 불량품에 대한 판단 기준을 정하여야 한다. 이미 앞에서 설정한 신호 측정 방법과 센서 위치, 대역 주파수 등 신호의 측정 및 분석 방법으로 다수의 실험을 거쳐 불량여부 판별을 위한 진동레벨을 설정하였다. 불량 유무를 위한 기준레벨 설정 시 전체 구간에 대한 진동레벨로 단순 불량여부만을 검사할 수도 있으나 불량원인까지를 검사하기 위해 본 연구에서는 주파수 영역을 BAND 별로 나눠 특정 부품에 대한 불량여부와 함께 전체적인 불량여부를 판별하도록 BAND 별 진동레벨과 전체적인 진동레벨을 설정하였다.

현장 작업자의 경험과 더불어 실제 실험을 통하여 전동공구의 주요 주파수 성분은 회전주파수 성분과 기어물림주파수, FAN, 베어링 주파수 성분임을 알 수 있었다. 또한 충격실험을 통해 케이스의 고유진동수 성분이 주요한 주파수 성분임을 알 수 있었다. 즉 전동공구의 주요 주파수 성분별 불량원인은 Table 2에 나타낸 바와 같이 5가지로 나눌 수 있었다.

Table 2 Vibration test

| 구 분 | Frequency (Hz) | 이상부위 | 주 요 인 |
|--------|----------------|------------------|-----------------|
| BAND 1 | 25~700 | Rotor | 불균형(Unbalance) |
| BAND 2 | 725~2200 | Motor 지지 Bearing | Bearing 결함 |
| BAND 3 | 2225~4500 | CASE | CASE 공진 |
| BAND 4 | 4525~8000 | FAN | FAN 에 의한 소음 |
| BAND 5 | 8025~10000 | Bevel Gear | 기어의 pitch error |
| SUM | 25~10000 | | 전체적인 진동레벨 |

Table 3. Averaged vibration levels for BAND

단위 (V^2)

| | BAND 1 | BAND 2 | BAND 3 | BAND 4 | BAND 5 | SUM |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| PINION 불량 | .0055 | .0072 | .0086 | .44 | .18 | .64 |
| BALANCE 불량 | .010 | .0066 | .0064 | .25 | .033 | .30 |
| 기어소음 | .0065 | .0045 | .0055 | .58 | .060 | .66 |
| 양품 | .005 | .0021 | .0047 | .14 | .039 | .20 |

이와 같은 방법을 이용하여 실제 생산라인에서 검사 중인 전동공구에 대해 실험을 수행하여 Table 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 불량품에 대한 원인별 검사결과와 양품에 대한 결과로부터 PINION 불량의 경우 BAND 5에서 다른 전동공구보다 높은 진동레벨이 나타남을 알 수 있었으며

BALANCE 불량률의 경우 BAND 1에서 높은 진동 레벨이 나타남을 알 수 있었고 소음이 큰 경우 BAND 4에서 FAN 에 의한 높은 진동레벨이 나타남을 알 수 있었다. 즉 실험결과로부터 BAND 별 진동레벨을 이용하여 불량원인을 규명하고 제품별 불량 유무를 판단하는 것이 타당함을 알 수 있었다.

6. 자동화 검사기

본 연구에서는 앞에서 정한 신호분석방법과 BAND 구간 및 기준 진동레벨을 이용하여 전동공구 생산 현장에 사용될 수 있는 자동화 검사기를 개발하였다. 자동화 검사기는 하드웨어적으로 센서를 통한 진동신호가 A/D board를 통해 컴퓨터에 보내지고, 소프트웨어적으로 신호입력을 제어하며 FFT 알고리즘을 C 언어로 프로그래밍 화하여 주파수 분석하도록 하였다.

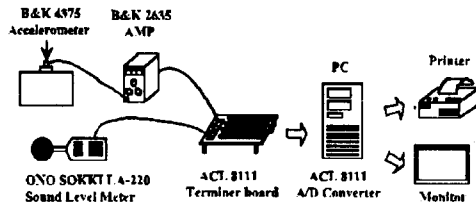


Fig. 8 System composition

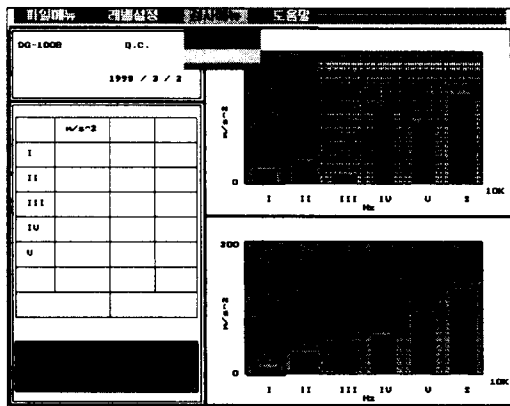


Fig. 9 Q. C. tester

그림 9는 본 연구에 사용된 시스템의 개략도를 나타낸 그림이며 그림 10은 본 연구에서 개발한

자동화 검사기를 나타낸 그림이다.

즉 주파수 응답결과를 BAND 별로 구분하여 진동레벨을 표시하였고 기준레벨을 초과한 진동레벨은 빨간색 막대그래프를 이용하여 표시하도록 하였으며 기준레벨 이하의 진동레벨을 갖는 신호는 흰색 막대그래프를 이용하여 나타내었다. 또한 제품별 검사 결과를 통계적으로 누적하여 계산하게 하여 전체 불량률과 제품별 불량원인을 기록하도록 하였다.

7. 결론

본 연구에서는 생산현장에서 전동공구 품질검사를 간편하면서도 정확하게 수행할 수 있는 자동화 검사기를 개발하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전동공구의 불량여부를 판단하기 위해 진동신호가 유용하게 쓰일 수 있었다.
2. 진동신호로 전동공구의 품질검사를 하기 위해서는 전동공구별 적절한 신호의 측정 및 분석방법이 결정되어야 한다.
3. 진동신호에 의한 품질검사는 전체적인 불량여부와 더불어 불량률의 원인까지를 구별할 수 있었다.

참고문헌

- [1] R. H. Lyon, R. G. Dejong, "Design of a High-Level Diagnostic", Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design, Vol. 106, 1984
- [2] Sang-Kwon Lee and Paul R. White, "Fault Identification for Rotating Machinery using Adaptive Signal Processing and Time-Frequency Analysis", ASME Design Engineering Technical Conference, 1997
- [3] K. G. McConnel, "Vibration Testing-Theory and Practice", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995.
- [4] Victor Wowk, "Machinery Vibration-Measurement and analysis", McGraw-Hill, 1991.
- [5] Tedric A. Harris, "Rolling Bearing Analysis", A Wiley-Interscience Pub., 1991.