

기어 정렬불량에 의한 전류, 진동 및 음향방출 신호의 비교 분석

구동식[†]·이정환*·김병수*·양보석**·최병근***

Comparison of current, vibration and acoustic emission signal occurred by gear misalignment

DongSik Gu, JeongHwan Lee, ByeongSu Kim, ByeongKeun Choi, BoSuk Yang

Key Words: Gear(기어), Acoustic Emission(음향방출), Current(전류), Misalignment(정렬불량)
Vibration(진동), Gear Meshing Frequency(기어회전주파수)

Abstract

To detect the failures in machine, the signals of current, vibration and acoustic emission are widely used in industry. And unexpected failures of gears are not only extremely damaging but also lead to economic losses. In this paper, to detect the misalignment occurred at between two gears in gearboxes, the signals of current, vibration and AE were measured at gearbox and motor power line. FFT(Fast Fourier Transform) was used for current and vibration signal analysis to find gear failure frequency. Especially, the envelop analysis and wavelet transform were applied for AE signal. Therefore, compared with the results of three kinds of signal, the possibility of early detection by AE is identified or checked.

1. 서론

기계요소 결합진단에 사용되는 신호들은 전류 신호와 진동신호(변위, 속도, 가속도)가 주로 이용된다. 하지만 최근에는 음향방출(Acoustic Emission) 기법이 기계 상태 감시 및 진단을 위해 결합의 조기 검출에 그 초점을 둔 연구에 많이 적용되고 있다

기계들 중 강력한 동력 전달 능력과 정확한 속도비를 가지고 있는 기어 구동 계는 자동차, 산

업기계, 항공기, 선박 등 산업 현장 전반에 동력 전달요소로 사용되고 있다. 특히 기계의 동력 전달을 담당하는 기어 구동 시스템은 주요한 진동 및 소음 발생원으로써 많은 연구가 이루어 졌다.

이런 기어 구동계의 문제점은 기어나 커플링의 불 평형, 정렬불량 및 균열의 발생, 베어링의 결합 등으로 인해 진동이 발생함과 동시에 소음이 발생하고, 이에 따라서 열악한 작업환경이 조성되어 주변의 설비와 작업자의 인체에 나쁜 영향을 미칠 뿐만 아니라 가동이 중단되었을 경우 심각한 시간 및 물적 손실이 발생하게 된다. 그러므로 적절한 시기에 설비 진단의 수행을 통해 가능한 조기에 결함을 제거함은 물론 수정 보완 또는 교체를 해야 한다.⁽¹⁾

따라서 본 논문에서는 기어 구동계에서 설비 진단을 위해 두 기어 사이에 정렬불량일 경우 전류, 진동 및 AE(음향방출)의 결합 신호를 검출하여 비교 분석해 보았고, AE(음향방출) 신호가 조

† 구동식, 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

E-mail : gdskam@gnu.ac.kr

TEL : (055)640-3186 FAX : (055)640-3188

* 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

** 부경대학교 기계공학부

*** 경상대학교 기계항공공학부(책임저자)

기에 결함신호의 검출이 가능한지에 대해 살펴 보았다.

2. 실험 장치 및 방법

실험에 사용된 기어 구동 시스템 실험 장치는 Fig. 1에 나타내었고 기어박스의 사양은 Table 1에 나타내었다.

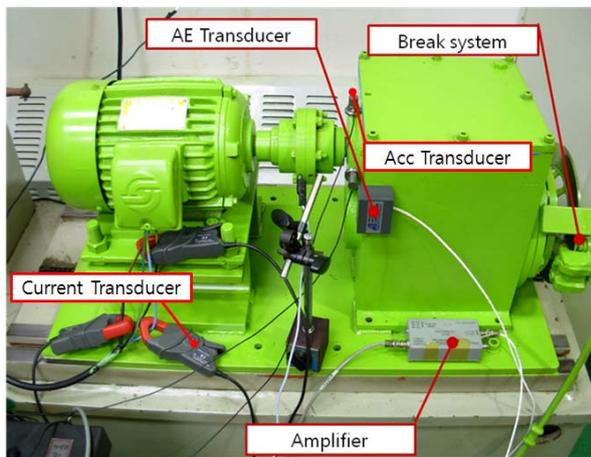


Fig. 1 Test-rig

Fig. 1에서 나타나듯이 전류 신호는 모터와 전원 선에 전류센서를 부착하여 전류 신호를 측정하였고, 진동 신호는 기어박스과 커플링 사이의 베어링 하우징에 가속도 센서를 부착하여 진동 신호를 측정 하였으며, AE 신호는 기어박스 위에 부착하여 증폭기로 신호를 증폭시켜 측정하였다.

모터는 3마력 모터를 사용하였으며 부하는 최대 2.5~3A로 하여 측정하였다.

Table 1 Specification of gearbox

	Pinion	Gear
Number of teeth	50	70
Speed of shaft	25.01 rev/s	
Meshing frequency	1250Hz	1750Hz

데이터 취득은 전류, 진동 신호는 Labview를 이용하여 취득하였으며, AE 신호는 AE 소프트웨어를 사용하여 취득하였다. 그리고 데이터는 기어 구동 시스템을 가동한 이후 전류, 진동, AE 신호 모두 30분마다 데이터 취득 하였다.

Fig. 2는 기어박스 안의 gear와 pinion을 나타내었다. gear는 잇수가 70개고 지름이 140mm 이고, pinion은 잇수가 50개, 지름이 100mm 이고, pinion의 경우 열처리를 하지 않은 상태였다.

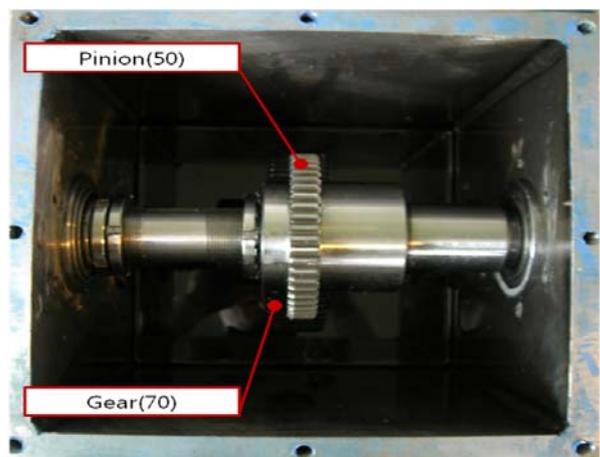


Fig. 2 Pinion and gear in the gearbox

데이터 획득 이후에 기어박스를 열어서 gear와 pinion을 확인해보니 pinion의 이에 Fig. 3과 같은 결함이 발견 되었고, 이 결함으로 보아 두 기어의 정렬불량에 의한 결함으로 의심이 되어 데이터 분석을 해보았다.



Fig. 3 Gear fault

3. 데이터 분석

3.1 전류 신호

전류 신호는 Fig. 1에서와 같이 모터의 전원 선에 전류센서를 부착하여 전류 신호를 측정하였고, 우리나라 전원 주파수가 60Hz인 것에 반해 실험에서 50Hz로 한 이유는 샤프트 출력을 조절하여 좀 더 좋은 출력을 얻기 위해 인버터를 사용하여 10Hz정도 낮추어서 50Hz로 하였다.

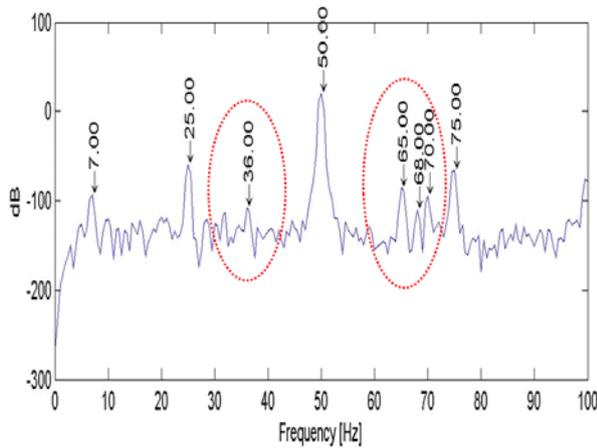


Fig. 4 Current analysis 1

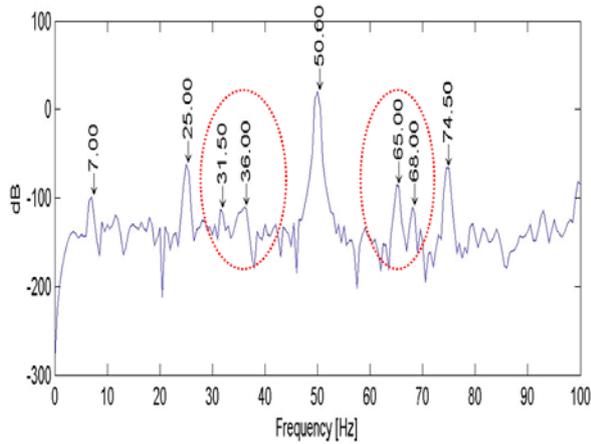


Fig. 5 Current analysis 2

Fig. 4와 5는 전류신호를 Labview로 계측하여 Matlab으로 분석한 그림이다. Fig. 4와 5의 결과는 약 한달 정도의 시간차를 두고 측정된 결과이다.

전원 주파수를 중심으로 좌우에 25Hz 정도 흐르는 주파수는 운전 주파수이고, 전원주파수와 운전 주파수 사이에 있는 주파수들이 결합 주파수이며, Fig. 4와 5에서 보다시피 주파수들의 dB

값들이 거의 -100dB 값 근처로 별로 달라진 게 없어서 결합에 대한 내용은 알 수 없었다.

3.2 진동 및 AE 신호

다음의 Fig. 6~10은 진동 및 AE 신호를 계측하여 분석한 그림을 나타내었다.

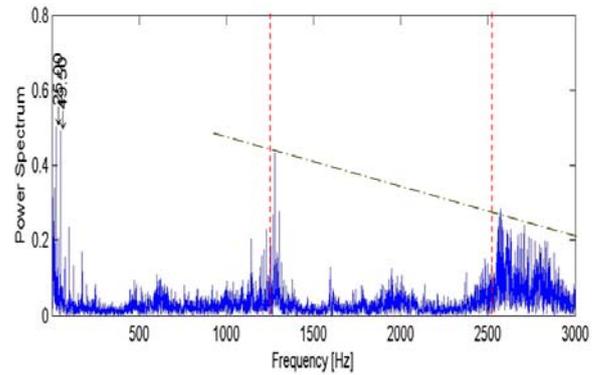


Fig. 6 Vibration signal analysis

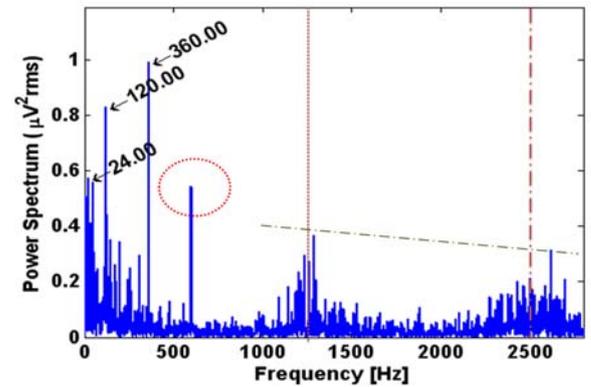


Fig. 7 AE signal analysis 1

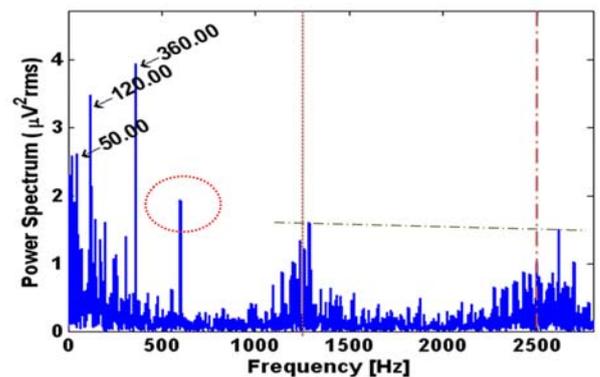


Fig. 8 AE signal analysis 2

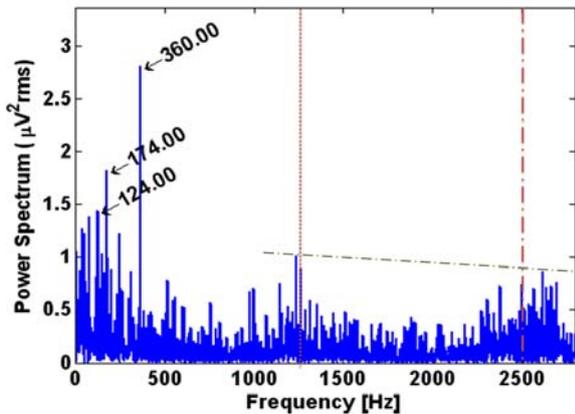


Fig. 9 AE signal analysis 3

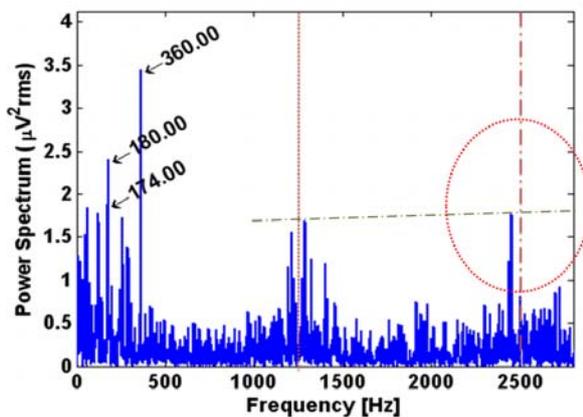


Fig. 10 AE signal analysis 4

Fig. 6은 진동신호 분석을 나타낸 그림이다. 그림에서 나타나듯이 1250Hz 부근에서 1st GMF(gear meshing frequency)와 2500Hz 부근에서 2nd GMF가 나타남을 알 수 있다.

Fig. 7~10에서 AE 신호는 Matlab을 이용해 Bandpass와 Wavelet transform, 그리고 Hilbert transform을 거쳐서 분석한 그림을 나타낸 그림이다.^{(2),(3),(4)}

Fig. 7과 8에서는 기어 고유진동수로 의심이 되는 주파수(원 점선으로 표시)가 나타나 기어 마모 현상을 유추할 수 있으나, Fig. 9와 10의 고주파 대역으로 갈수록 그 주파수대가 사라지는 것을 알 수 있다. 하지만 진동신호와 마찬가지로 1st GMF와 2nd GMF 역시 나타나고, 2nd GMF의 크기가 고주파 대역으로 갈수록 증가하여 Fig. 10에서는 1st GMF보다 약간 크게 나타나는 것으로 보아 정렬불량임을 알 수 있었다.⁽⁵⁾

그리고 진동 신호에서는 2nd GMF가 1st GMF보다 낮아서 약간의 정렬불량이 있는 것으로 사료되지만, AE 신호 고주파에서는 2nd GMF가 1st GMF와 비슷하거나 약간 높아서 정렬불량 초기증상이 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

최근의 산업 기계들은 고속화, 정밀화 되고 있으며 산업 환경에 관심의 증대로 기계의 성능 향상과 내구성을 위해 설비 진단이 중요하게 고려되고 있다. 그중 기어를 이용한 기어 구동계 같은 시스템은 우리나라 산업 전반에 활발하게 쓰이며, 특히 진동이나 소음 같은 문제들은 중요하게 생각하며, 활발한 연구가 이루어지고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 정렬불량을 가지고 있는 기어 구동계에서 전류, 진동, AE 이 3가지 신호들을 계측하여 이 신호들이 결함을 어떻게 나타내는지를 알아보았고, 또 이 신호들을 서로 비교해 보았다.

전류 신호에서는 결함에 대한 이렇다 할 정보를 얻을 수 없었지만, 진동과 AE 신호에서는 결함을 나타내는 정보들을 발견 할 수 있었고, 특히 AE 신호는 진동 신호보다 결함의 조기 검출에 대한 가능성을 확인 할 수 있는 계기가 되었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부 및 한국 산업기술재단의 지역 혁신 인력 양성사업, 경상대학교 2단계 BK21 사업으로 수행되었다.

참고문헌

- (1) Jang, Y. S., Jeong, J. H., Jeong, H. E. and Choi, B. K., 2007, "Vibration Measurement and Analysis of Air-Compressor and Ammonia Refrigerator", *Proceedings of the KSME 2007 Spring Annual Meeting*.

- (2) J. Shiroishi, Y. Li, S. Lian, S. Danyluk and T. Kurfess, 1999, "Vibration analysis for bearing outer race condition diagnostics", *presented at Journal of Brazilian Society of Mechanical Science*
- (3) M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim and J. M. Poggi, "Wavelet Toolbox™ 4 user's guide," The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA 01760-2098, pp.[1-2], [1-47]
- (4) D. S. Gu, J. H. Lee, B. K. Choi, and B. S. Yang, 2008, "Application of Envelope Analysis and Wavelet Transform for Detection of Gear Failure", *Proceedings of the KSME 2008 Spring Annual Meeting*, pp. 758~763.
- (5) Mr. James E. Berry P.E. 1993, "IRD Mechanalysis Level II (Concentrated Vibration Signature Analysis and Related Condition Monitoring Techniques)" Technical Associates of Charlotte, Inc., pp. 6-151~6-153