

MCSA 기반의 BLDC 모터 기어박스의 고장 진단

신사철, 김준영, 양철오, 박규남, 송명현
국립순천대학교 전기제어공학과

Fault Diagnosis Based on MCSA for Gearbox of BLDC Motor

Sa-Chul Shin, Jun-Young Kim, Chul-Oh Yang, Kyu-Nam Park, Myung-Hyun Song
Sunchon National University

Abstract - In this paper, the fault diagnosis for a gearbox of BLDC motor. The stator of BLDC motor consists of coil winding so it is easy to cool down and it also has a high reliability. In addition, it doesn't have a brush so it is less trouble and good in maintenance. Coupling with the motor which is the power sources, the gear has a high power transfer efficiency and various rotation speed. The gear gets a high driving force through deceleration. Thus it has been widely used. The gearbox fault detection area has not attracted much attention from electrical engineering community. A few papers describe gearbox fault based on vibration. Gearbox fault is diagnosed through FFT analysis of current and voltage. Fault characteristic frequency side band detected by calculating fault frequency. A threshold value is suggested by comparing normal peak value with fault peak value using detected fault characteristic frequency side band. Experimental results demonstrate that motor current and voltage signal analysis are viable tools in detecting these gear faults. Lower side band(LSB) is bigger than upper side band(USB) in current FFT. LSB and USB are similar in voltage FFT. Finally, fault diagnosis system that can easily detect flaws is developed for gearbox of BLDC motor.

1. 서 론

BLDC 모터는 구조적으로 브러시가 없으므로 고장이 적으며 유지 보수가 용이하다. 또한 DC 모터의 고 토크 특성과 유도 모터의 고효율 특성의 장점을 가지고 있으며, 속도 및 위치제어가 용이하므로 널리 사용되고 있다. 최근 고 에너지 밀도를 갖는 영구자석을 이용한 고효율 소형 BLDC 모터가 개발되어 로봇 다관절 및 구동용 액추에이터로 널리 사용되고 있다. 기어는 높은 동력 전달효율과 다양한 속도비를 갖는 기계요소로서 동력발생 원인 모터와 함께 제작되어 감속을 통한 높은 구동력을 얻는데 많이 사용되고 있다. 기어구동부의 고장은 장기간 운전에 의한 마모와 한계점 이상으로 운전할 경우 기어 이(tooth)의 크랙 등이 원인이 되기도 한다. 기어 구동부에 고장이 있으면 진동과 소음이 발생하여 제품에 대한 신뢰도가 하락하고 경우에 따라서 기어 구동부가 사용되는 전체 시스템의 정지까지도 야기할 수 있다. 하지만 여러 기어쌍이 조합되어 기어박스로 케싱 되어있는 감속기의 경우에 한 쌍, 또는 그 이상의 기어 이에 고장이 발생할 경우 고장이 있는 기어를 식별하는 것은 쉽지 않다. 기어 시스템의 진동 신호로부터 이런 충격과 신호를 찾아내기 위한 방법으로 주파수 추출법, 적응신호 처리 기술 등을 이용하여 배경 잡음을 제거한 후에 충격파를 형성하는 잔류 신호를 탐지하여 기어의 결함을 진단하는 방법이 많이 사용되고 있으며, 디지털 신호처리 기법의 발전에 힘입어 잔류 신호에 대한 주파수 정보를 탐지하기 위하여 시간 주파수 분석법, 이산 웨이블릿 변환, 연속 웨이블릿 변환 등이 이용되고 있다.[1-8]

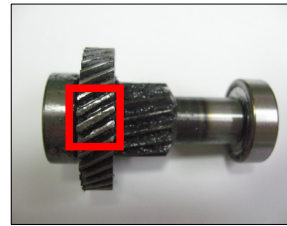
BLDC 기어 고장의 경우 대다수 진동 신호를 이용하여 주파수 스펙트럼 분석이나, 웨이블릿변환 등을 이용하여 기어 박스를 진단하였으나 BLDC 모터의 잔류 신호를 이용하여 기어 종류에 대한 고장을 검출한 예는 거의 없었다.

본 연구에서는 기어박스의 고장 진단을 위하여 BLDC 모터의 잔류값을 실시간으로 측정하여 기어박스의 고장을 진단할 수 있는 진단 시스템을 제안 한다.

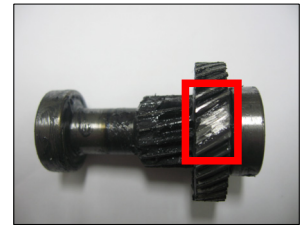
2. 본 론

2.1 모터 진동의 원인 및 기어 결함의 종류

진동의 기계적 요인 중 질량 불균형은 기계적 진동 발생의 가장 일반적인 원인으로 불균일한 질량 분포에 의해서 무게 중심의 위치가 회전 중심에서 어긋남으로써 발생한다. 불균형 진동의 특징은 반경 방향으로 높은 진동이 발생하게 되고, 회전 속도에 비례하여 진동이 증가하며 원심력에 의한 진동성분인 동기 주파수 성분을 가진다. 축 정렬 불량은 가공 불량이나 커플링 등을 이용한 부하와의 부정합으로 발생하게 되고, 축의 변형은 베어링, 커플링의 마모를 가속화 시키는 원인이 된다. 그림 2.1은 본 연구에서 실험에 사용한 기어의 고장을 나타내고 있다.



a. 1차축 기어 이 고장



1차 축 닳음 고장

<그림 2.1> 기어 고장

2.3 전류를 이용한 진단

기어는 일반적으로 작은 톱니바퀴와 속도를 줄여주는 구동 휠로 이루어져 있다. 모터에 결합될 때, 작은 톱니바퀴와 구동 휠의 이(tooth)의 수에 의해 속도 조절이 가능하다. 작은 톱니바퀴나 구동 휠에 어떠한 고장이 존재 한다면, 그것들은 모터 고정자 전류와 전압에 독특한 고조파 성분으로 나타난다. 전류 $i(t)$ 는 정상파 $G_1(t)$ 와 짧은 기간 충격 $G_2(t)$ 의 진폭 변조이다. $G_1(f)$ 와 $G_2(f)$ 는 $g_1(t)$ 와 $g_2(t)$ 각각의 푸리에 변환이다. 변조된 신호 $g_2(t)$ 가 임펄스일 때부터, 상응하는 푸리에 변환 $G_2(f)$ 는 $1/T$ 에 존재하는 다수의 이산 고조파의 연속이다. 그것은 컨볼루션 정리(두 함수의 푸리에 변환된 함수의 곱의 역푸리에 변환함수는 두 원래 함수의 컨볼루션과 같다.

$$i(t) = g_1(t) \cdot g_2(t) \leftrightarrow I(f) = G_1(f) * G_2(f) \quad (2.1)$$

전류의 푸리에 변환에 $G_1(f)$ 와 $G_2(f)$ 의 대표적인 중첩의 결과, $i(f)$ 는 $f_0 \pm k/T(k=1,2,3,...)$ 에 위치한 고조파 스펙트럼은 기본주파수 f_0 근처에 나타난다. 다시 말하면 구동휠의 부분 고장은 다음의 고정자 전류 고조파를 발생 한다.

$$f_{pin,h} = f_0 \pm k \cdot f_r \quad (2.2)$$

부분 이 손상: $k=1,2,3...$
여기서 f_r 은 구동휠 주파수이다.

비슷하게 구동 휠은 다음 고장 주파수를 발생한다.

$$f_{driv,h} = f_0 \pm k \cdot f_d \quad (2.3)$$

급합: $k=1$

기어속 잔해, 부분 이 손상: $k=1,2,3,\dots$

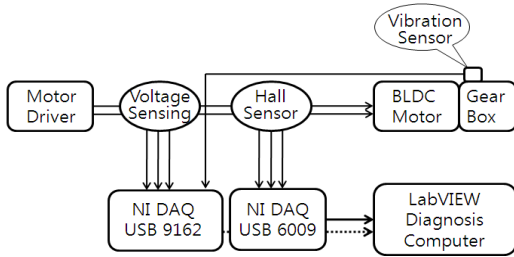
여기서 f_d 는 다음 식에 의해 주어지는 구동 휠 주파수로서 n 은 기어비, p 는 모터 극의 수이다.

$$f_d = \frac{f_0}{n \cdot (p/2)} \quad (2.4)$$

따라서 전류 스펙트럼에서 진폭의 크기와 고장 고조파 주파수는 기어에서 고장의 형태와 고장의 위치에 따라서 결정된다.

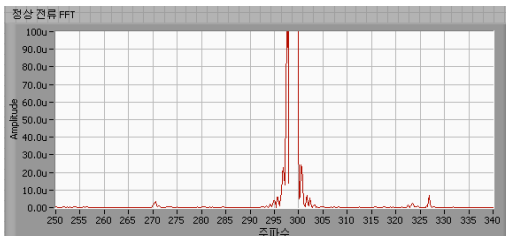
2.4 실험결과 및 분석

실험에는 세우산전 BLDC 기어드 모터를 사용하였고, 모터 구동을 위해 BLDC 드라이버를 사용하였다. 기어박스 고장진단을 위해 SPG사의 30:1 감속 비율의 감속기를 결속하였다.

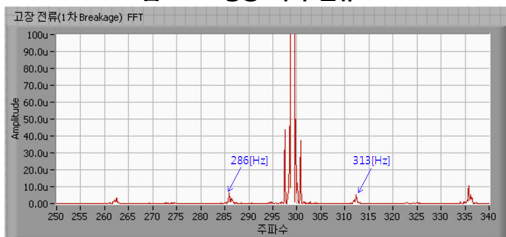


<그림 2.2> 실험장치 구성도

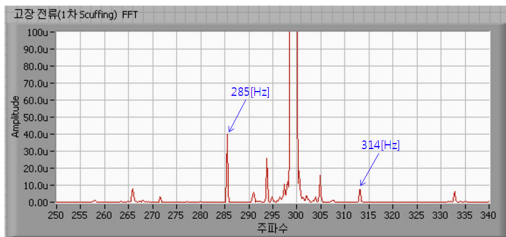
전류 측정을 위해 Diwell사의 전류 센서를 BLDC 드라이버 출력 단에 연결하였으며, USB-DAQ board는 NI(National Instrument)사의 USB 6009를 사용하였고, 전압을 측정하기 위해 DAQ가 입력 받을 수 있는 10V 이내로 전압 분배 회로를 이용하여 수집하였으며, 정밀한 고장 유무를 판별하기 위해 진동 센서를 이용하여 진동신호를 수집하였다. 수집된 데이터들은 USB2.0을 이용하여 노트북 컴퓨터와 연결하였다.



<그림 2.3> 정상 기어 전류 FFT



<그림 2.4> 1차 파손 기어 전류 FFT



<그림 2.5> 1차 닳음 기어 전류 FFT

1차 파손 기어 전류 신호를 FFT 한 결과 구림 2.4와 같이 286Hz와 313Hz 대역에서 고장 특징 주파수가 나타남을 확인 하였으며 또한 2배수 대역에서도 검출됨을 알 수 있다. 그러나 기

어 이(tooth)를 완전히 제거하였기 때문에 기어가 회전 하는 데는 크게 방해받지 않으므로 고장 주파수 대역에서 진폭은 크게 나타나지 않았다. 1차측 닳음 고장의 경우 고장 주파수 대역은 285Hz, 313Hz, 2배수인 271Hz, 327Hz이며, 그림 2.5와 같이 계산된 특징 주파수 대역에서 고장 성분이 나타남을 확인 하였다. 전류 FFT를 분석한 결과 LSB(lower side band)성분이 USB(upper side band) 성분보다 크게 나타남을 알 수 있다. 전압 신호를 FFT한 결과, 전류 신호를 FFT한 결과와 비슷하게 계산된 특징 주파수 대역에서 고장 성분이 나타남을 확인 하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 BLDC 기어 박스의 고장에 대해서 전류 신호를 이용한 주파수 분석을 통해 고장 신호를 파악 하고, 정상일 때의 데이터와 비교하여 고장을 판별하였다. BLDC 고정자 전류와 전압 신호만을 이용하여 FFT변환 후, 스펙트럼 분석을 통하여 고장을 검출하였다. 따라서 진동 기반 고장 검출의 고비용의 문제를 해결할 수 있는 대안을 제공 하였고 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

- 1) 1차 파손 기어 고장의 경우, 전압 전류 신호의 고장 주파수 대역에서 고장을 쉽게 검출 하였으며 전압, 전류의 진폭은 비슷하다.
- 2) 1차 닳음 고장의 경우, 전류 FFT에서 LSB진폭이 USB진폭 보다 높게 나타나며, 전압 FFT에서는 LSB진폭과 USB진폭이 비슷하게 나타난다.
- 3) 제안한 알고리즘은 속도가 변화하여도 주파수 스펙트럼 변화에 따른 고장 주파수 대역을 정확히 검출하였으며 속도가 감소함에 따라 진폭 또한 감소함을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] S.L.Lee, P.R.White, "Higher-order time-frequency analysis and its application to fault detection in rotating machinery." Mechanical systems and signal processing, Vol.11, No.4 1997
- [2] W.J.Wang, P.D.Mcfadden "Application of orthogonal wavelets to early gear damage detection." Mechanical system and signal processing, Vol.9, No.5 1995
- [3] Sang-Kwon Lee "Fault detection of a gear with Initial pitting uainf a zoomed phase map of continuous wavelet transform" Transaction of KAME A, Vol.25, No.11, 2001
- [4] 김재웅, "웨이브렛 변환을 이용한 기어의 결함진단" 울산대학교 석사학위, 2002
- [5] 배법원, 최연선, "진동신호를 이용한 기어체인의 고장진단" 대한기계학회논문집 A권, 제24권 2제 7호 2000
- [6] 이봉현, 신용호, " Wavelet 기법을 이용한 감속기의 고장 진단" 한국 기계기술학회지, Vol.2, No.2, 2000
- [7] 김태구, 김광일, "기어의 이상 감지 및 진단에 관한 연구" Journal of the KHS, Vol.15, No.2, 2000
- [8] 장석동, "회전 기계의 고장에 관한 연구" 경상대학교 석사학위, 2005