

드론 프로펠러 파손에 의한 부위별 진단 및 특성 분석

김지선*, 고영진**, 이범*, 김경민*

전남대학교 전기및반도체공학과*, 동명대학교 전기공학과**, † 교신저자

Diagnosis and characteristics of each part due to drone propeller damage

Ji-Seon Kim*, Yeong-jin Goh**, Buhm Lee*, Kyoung-Min Kim*†

Chonnam National University*, Tongmyong University**, † Corresponding Author

Abstract - 본 논문에서는 프로펠러의 파손 부위에 따른 효율적인 진단을 위해 파손 부위별 특성을 분석하였다. 위 특성을 분석하기 위해 프로펠러의 부위별 파손에 따른 회전자 고장을 갖는 모터의 고장 진단 방법 중 FFT를 이용한 측대파기법을 이용하였으며, 측대파에서 발생하는 주파수를 이용하여 진단을 실시하도록 한다.

키워드 : FFT, 측대파, 주파수, 프로펠러, 모터

1. 서 론

4차 산업혁명 시대에 첨단기술의 발달로 드론은 다양한 분야의 산업에 활용되고 있으며 촬영이나 드론축구, 드론낚시와 같이 드론 레저산업이 각광받으며 대중적으로 접근성이 낮아지고 활용할 수 있는 범위가 확장되어 많은 사람들이 드론을 접하는 기회가 늘어나고 있다.

국내에서도 드론시장의 규모를 확대하기 위해 드론 특별자유화구역을 신설하여 비행 실증이 가능하도록 해서 드론 산업의 발전을 도모하고 있다.

이처럼 드론 산업이 전 세계적으로 각광받으며 다양한 분야로 성장하면서 사람들의 요구가 다양해짐에 따라 드론 성능 향상을 위한 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

이렇듯 지속적인 성장 가능성을 가진 드론 산업이 빠른 활성화를 위해서는 드론의 고장에 대한 원인을 정확하게 파악하고 대응 방안을 마련하여 드론이 추락하는 사고를 최소화 하여야 할 것이다.

만약 드론의 고장으로 인한 추락 사고로 인명이나 재산의 피해를 지속적으로 갖게 된다면 산업적인 잠재성은 줄어들 수 밖에 없을 것이다.

드론이 추락하는 원인을 살펴보면 조정거리 이탈로 인한 무선 통신의 끊김, 외부와의 충돌, 드론 배터리 화재, 프로펠러의 파손에 따른 모터 과부하 등의 여러 가지 원인을 찾을 수 있다.

본 논문에서는 프로펠러의 파손에 의한 드론추락의 원인을 파악하기 위해 프로펠러의 부위별 파손에 의한 부위별 진단과 특성을 분석한다.

진단 방법은 FFT 측대파를 이용한 진단 방법을 사용하며 측대파(side band)에서 발생하는 주파수를 이용하여 파손 부위별 진단을 가능하도록 한다.

2. 본 론

2.1 프로펠러와 모터

드론 프로펠러는 BLDC모터의 회전력을 양력과 추력으로 변환하는 장치이다.

추력이란 드론이 비행하는 방향으로 추진력이 가해진 힘을 말하며 양력이란 드론을 위로 뜨게 하는 힘을 말한다.

이 때 드론은 프로펠러가 가지는 기본 규격에 의하여 추력과 양력을 발생하며 비행을 하게 되는데 프로펠러의 길이에 의해 양력을 만들어내는 정도가 달라 모터에 가해지는 부하의 크기도

달라진다. 프로펠러의 길이가 긴 경우 공기를 더 많이 밀어내기 때문에 더 많은 양력을 만들어내고 그 만큼 모터에 가해지는 부하가 커지면서 모터의 소비전력도 커지게 된다.

회전시 관성이 크게 발생해 비행의 반응이 느려지는 것을 모터가 부담하게 되어 높은 회전력을 필요로 하며 토크가 크고 KV(1V당 회전수)값이 작은 모터를 사용하게 된다.

위의 프로펠러와 모터의 상관관계를 통해 프로펠러가 파손 되었을 때 모터에 부담되는 회전력에 의한 토크의 크기를 확인하며 프로펠러의 각 파손 부위별 진단 및 특성을 분석하기 위한 실험 환경을 고안하였고 모터의 전류값을 확인하였다.

2.2 측대파기법과 프로펠러의 진단

드론에 활용되는 모터는 BLDC모터로 유도모터와 유사한 3상의 파형을 가지나 리플성분을 포함하기 때문에 주파수 자체 해석이 어려움에 따라 FFT를 이용한 분석적 방법이 필요하다[1].

FFT를 이용한 진단 방법 중, 측대파기법은 모터에 부착된 장치(블레이드, 폴리 등)로 기본파 BPF(Blade Pass Frequency)기준으로 양측에 발생하는 주파수성분으로 회전익과 고정익 간의 불균형을 측정하는 방법으로 활용되며, 과거 유도모터와 같은 산업용 회전기기에 활용된 진단기법으로 알려져 있다[2].

측대파에 발생하는 주파수 성분은 다음 식으로 성립된다.

$$f_b = (1 \pm 2ks)f_s \quad \text{with } k = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

여기서, f_b 는 블레이드, 폴리등의 결함으로 발생한 측대파주파수, f_s 는 기본주파수, s 는 결함에 의한 모터슬립을 나타내며, 슬립값은 다음 식 (2)를 통해 알 수 있다.

$$s = \frac{w_s - w_r}{w_s} \quad (2)$$

식 (2)에서 w_r 은 모터의 기계적 속도, w_s 는 동기속도를 의미하며, 유도모터의 식을 채용하여 동기속도 값을 다음 식 (3)과 같이 근사화할 수 있다.

$$w_s = \frac{120f_s}{P} \quad (3)$$

여기서, P는 극수를 나타낸다.

다음 그림 1은 FFT에 의한 측대파를 나타내며, LSC(Lower sideband Components)와 USC(Upper Sideband Components)를 이용하여 진단도구로 활용한다.

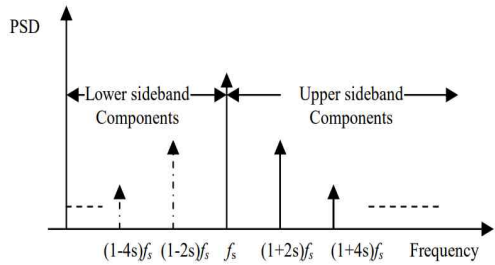


그림 1. 측대파를 이용한 모터진단 방법

Fig. 1. Method of Diagnosis for Motor Using Sidebands

한편, 프로펠러의 파손율은 가장 외곽에 위치하여 장애물과 충돌 등으로 끝부분의 깃의 파손율이 높으나, 상황에 따라 프로펠러의 중간 또는 로터의 축에 근접한 부위가 파손이 발생할 수 있다[2].

프로펠러의 각부위별 파손은 진동 및 소음을 발생시킬 수 있으며, 추력과 양력의 변화에 따른 토크의 변화 또한 불규칙적인 변화를 가져옴을 다음 식(4)~(7)을 통해 알 수 있다.

$$T_e = \frac{e_u i_u + e_v i_v + e_w i_w}{\omega} \quad (4)$$

$$i_u = -i_w = I, i_v = 0 \quad (5)$$

$$e_u = -e_c = E, e_b = \frac{6E}{\pi} \theta + E \quad (6)$$

$$T_c = \frac{2EI}{\omega} = \frac{2E}{\omega} i_a \quad (7)$$

여기서 i_u, i_v, i_w 는 각 상의 전류, e_u, e_v, e_w 는 각 상의 역기전력, E 는 역기전력의 최대치, I 는 전류, θ 는 회전자의 위치를 나타낸다. 즉, 식 (7)에서 알 수 있듯이 토크의 변화는 전류의 변화에 비례관계를 알 수 있다.

이에 본 논문에서는 모터의 전류를 이용하여 프로펠러 파손별 진단 및 특성을 분석하도록 하였다.

3. 실험 및 고찰

3.1. 실험환경

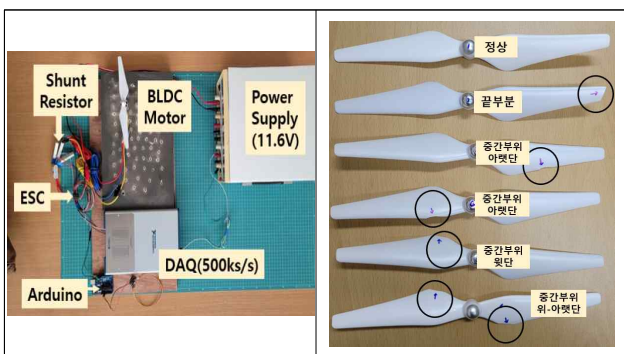


그림 2. 실험환경

Fig. 2. Experiment environment

그림 2는 실험환경을 나타내고 있으며, 전류 raw-data 측정을 위해 드론 보드와 동일한 500 ks/s 샘플링 성능을 가지는 NI USB-6341 DAQ 보드를 활용하였으며, 프로펠러의 상태별 1분 동안 데이터를 수집하도록 하였다. 또한, BLDC 모터의 속도변화를 위해 아두이노를 통해 PWM 제어를 실시하였으며, 사용된 BLDC모터는 ReadyToSky RS2312 920 kv, ESC는 Favourite

LittleBee- Spring 30 A를 이용하였으며, 입력 전압은 11.6 V로 설정하여 주었다.

고장환경은 정상상태, 프로펠러의 끝부분파손, 중간부위 윗단, 중간부위 아랫단, 중간부위 위-아래의 상태들로 총 4가지의 파손상태를 진단하도록 한다.

3.2. 고찰

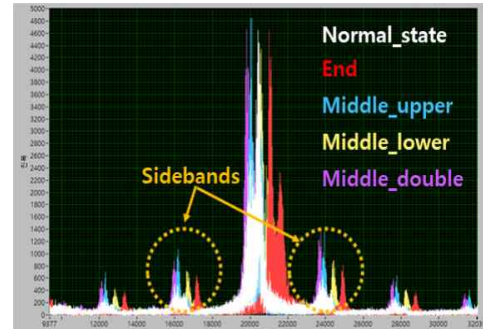


그림 3. 측대파를 이용한 프로펠러 파손 특성분석

Fig. 3. Analysis of characteristics of broken-propeller Using sidebands

그림 3에서 흰색라인은 정상상태, 붉은색은 끝부분파손, 푸른색은 중간부위 윗단, 노란색은 중간부위 아랫단, 보라색은 중간부위 위-아래파손을 나타내고 있다.

중간의 가장 큰 DB를 가지는 기본파만을 이용하더라도 토크의 변동에 따른 전류의 변화와 그에 따른 주파수의 변이가 존재함에 따라 진단이 가능함을 알 수 있으나, 정상상태(흰색)와 중간부위의 아래파손(노란색)은 동일 주파수선상에 존재함에 따라 진단이 어려움을 알 수 있다.

하지만, 측대파에서는 기본파의 고유주파수는 줄어들고 고장부위의 모든 요소들의 주파수변화 및 DB크기가 확연히 차이를 보임에 따라 측대파기법의 진단기법이 용이함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 드론의 프로펠러 파손부위에 따른 효율적인 진단을 위해 파손부위별 특성을 분석하도록 하였다. 분석에 있어서 과거 회전기기의 기계적 결함의 진단에 활용된 측대파 기법을 이용하였으며, 실험결과 용이함을 알 수 있었다.

This results was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE)(Grant number: 2021RIS-002)

[참고 문헌]

- [1] 고영진, 김지선, 이범, 김경민. "Park's Vector Approach를 이용한 BLDC모터진단 방법과 새로운 데이터 셋 특징 추출 연구", 전기전자학회논문지, 26(1), 104-110, 2022.
- [2] Boudinar, A. & Azeddine, Bendiabdellah & Boughanmi, Nabil, "Three phase induction motor incipient rotor's faults detection based on improved Root-MUSIC approach", International Review of Electrical Engineering, 2, 2007.
- [3] 고영진, 김지선, 이범, 김경민. "전류 Raw-data 기반 UAV 프로펠러 진단 연구", 제어.로봇.시스템학회 논문지, 28(5), 477-482, 2022.
- [4] 송연하, 김덕관. "Development of Coaxial Propeller Test Facility and ExperimentalStudy on Hover Performance Characteristics for Drone", 한국항공우주학회지, 46(1), 59-67. 2018.