

FEM 을 이용한 BLDC Axial-gap type 전동기의 진동과 소음 특성 분석

The vibration and noise characteristic analysis of the BLDC Axial-gap type motor by using Finite Element Method

이택진*·박준홍†·이상호*·홍정표**

Taeckjin Lee, Junhong Park, Sangho Lee, Jungpyo Hong

Key Words : Axial-gap(평면 대향형), Vibration(진동), Noise(소음), Frequency Response Function(주파수 응답 함수), Sound Pressure Level(음압 레벨), Finite Element Method(유한요소법)

ABSTRACT

The vibration and noise characteristic of the Axial-gap motor for an air conditioner were analyzed. Experimental Modal Analysis was performed to understand the vibration characteristic of the motor. The noise of motor was measured in a dead room. Finite Element Method was performed to find the vibration characteristic of the motor by using ABAQUS program.

1. 서론

Axial-gap 전동기는 BLDC(Brushless Direct Current)전동기의 하나로써 VCR, CD players, Floppy disc driver에 주로 쓰이고 있다.⁽¹⁾ 전동기의 진동과 소음은 Rotor와 Stator사이에서 발생하는 자기력에 의해 발생한다. 따라서, 전동기에서 발생하는 진동과 소음을 줄이기 위해 소음의 원인을 파악하기 위한 해석이 필요하다.

본 연구에서는 벽걸이형 에어컨에 쓰이고 있는 Axial-gap 전동기의 진동 및 소음을 분석하기 위하여 실험적 모드 해석 방법(Experimental Modal Analysis)을 수행하고 소음 측정을 통해 소음의 원인이 될 수 있는 요인들을 파악하였다. 또한, 상용 프로그램인 ABAQUS 를 이용하여 전동기의 진동 특성을 나타내기 위해 유한 요소 모델을 만들어 진동 특성을 해석하였고, 진동과 소음을 줄이기 위한 전동기의 구조적 설계를 확립하였다.

2. 실험적 모드 해석 방법

2.1 진동 실험 장치

전동기의 구조 및 음향 특성을 파악하기 위해 그림 1 과 같이 Impact Hammer Test 를 수행

하였다. 윗면에 1 개의 가속도계를 설치하고 FFT 분석 장치인 B&K 의 Pulse 장비로 관심 주파수를 3200Hz 로 설정 후, 윗면을 Impact Hammer 로 5 회 고정 가진하는 실험을 수행하였다. 또한, 상용 프로그램인 STAR MODAL 을 이용하여 전동기의 진동 특성 분석과 함께 모드 형상(Mode Shape)과 고유 주파수(Natural Frequency)를 분석하였다.

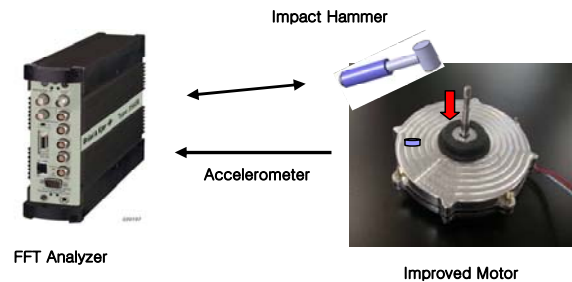


Fig.1 Experimental setup for vibration measurement of axial-gap motor

2.2 고유주파수

그림 2 는 Axial-gap 전동기에 대하여 측정된 주파수응답함수(Frequency Response Function)를 나타냄으로써, 첫번째 공진주파수는 296Hz 에서 발생하였고, 두번째 공진주파수는 391Hz 에서 발생하였다.

† 한양대학교 기계공학과 음향진동연구실(교신저자)
E-mail : parkj@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2220-0424

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** 한양대학교 부교수 기계공학과

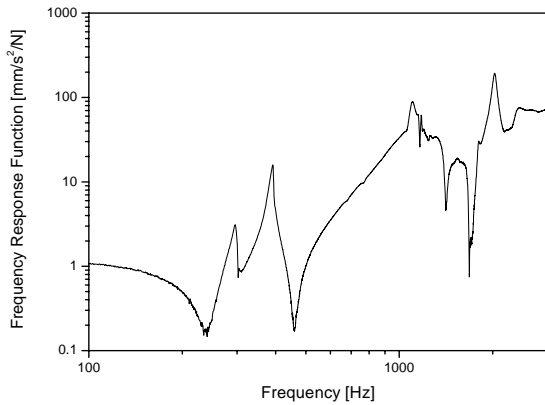


Fig.2 Frequency response function of axial-gap motor

2.3 고유 모드 형상

상용 프로그램인 STAR MODAL 을 이용하여 Axial-gap 전동기의 진동 특성 분석한 결과, 그림 3 과 같이 Axial-gap 전동기의 첫번째 고유 모드 형상은 전동기가 좌우로 압축과 인장하였고, 두번째 고유 모드 형상에서는 전동기가 상하로 움직였다.

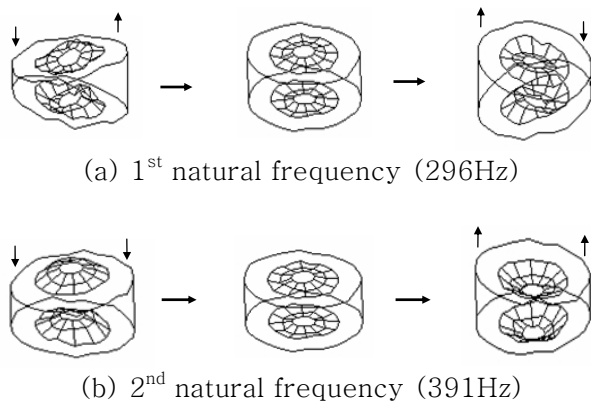


Fig.3 Mode shape of axial-gap motor

3. 소음 측정

3.1 소음 실험 장치

그림 4 와 같이 Axial-gap 전동기의 소음 측정을 하고자 무향실에서 전동기를 50rpm 간격으로 100 ~ 500rpm 운행하면서 전동기의 정면부와 측면부의 소음을 측정하였다. 전동기와 마이크론의 거리는 0.5m 이었고, 1 개의 마이크론으로 전동기의 정면부에서 측정하였고, 2 개의 마이크론으로 전동기의 측면부에서 측정하였다.

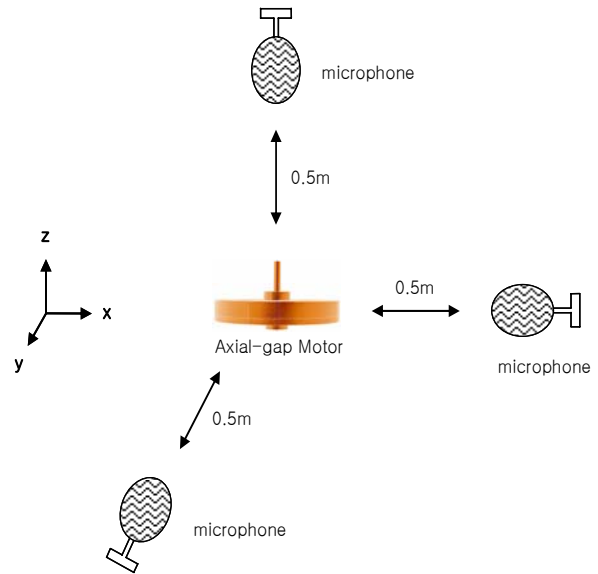


Fig.4 Experimental setup for measuring sound radiation of axial-gap motor

3.2 소음 분석

그림 5 는 Fan 을 부착시킨 Axial-gap 전동기를 50rpm 간격으로 100 ~ 500rpm 운행하면서 전동기 정면부의 소음을 Narrow band 로 측정 한 결과와 전동기의 공진 주파수와 의 비교를 나타낸다. 운전 속도에 상관없이 전동기의 소음은 전동기의 첫번째와 두번째 공진 주파수 대역인 300 ~ 400Hz 에서 발생하였다.

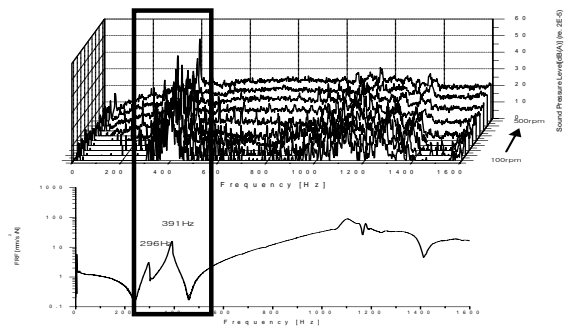


Fig. 5 Sound pressure level and frequency response function of axial-gap motor (narrow band)

그림 6 은 Fan 을 부착시킨 Axial-gap 전동기를 50rpm 간격으로 100 ~ 500rpm 운행하면서 전동기 정면부의 소음을 1/3 Octave band 로 측정 한 결과와 전동기의 공진 주파수와 의 비교를 나타낸다. 1/3 Octave band 에서도 운전 속도에 상관없이 전동기의 소음은 전동기의 첫번째와 두번째 공진 주파수 대역인 300 ~ 400Hz 에서 발생

하였다. 따라서 소음이 발생하는 주파수 대역과 전동기의 첫번째와 두번째 공진주파수 대역이 일치함으로 전동기의 소음은 전동기의 공진 현상에 의해 발생함을 알 수 있었다.

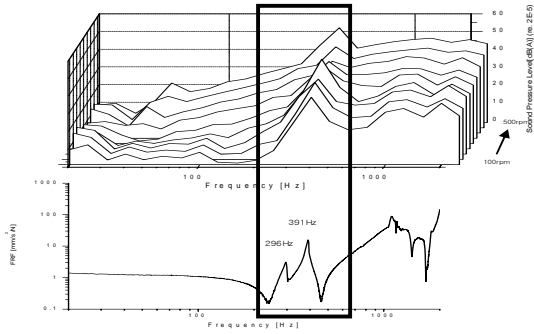


Fig. 6 Sound pressure level and frequency response function of axial-gap motor (1/3 octave band)

그림 7 은 Fan 을 부착시킨 Axial-gap 전동기를 50rpm 간격으로 100 ~ 500rpm 운행하면서 전동기 측면부의 소음을 Narrow band 로 측정 한 결과와 전동기의 공진 주파수와의 비교를 나타낸다. 정면부 측정 결과와 같이 운전 속도에 상관없이 전동기의 소음은 전동기의 첫번째와 두번째 공진 주파수 대역인 300 ~ 400Hz 에서 발생하였고, 세번째 공진 주파수 대역인 1100 ~ 1200Hz 에서도 소음이 발생하였다.

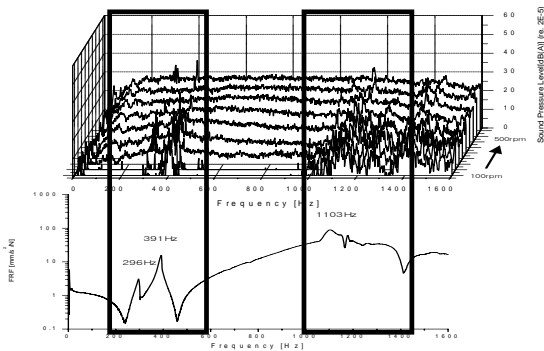


Fig. 7 Sound pressure level and frequency response function of axial-gap motor (narrow band)

그림 8 은 Fan 을 부착시킨 Axial-gap 전동기를 50rpm 간격으로 100 ~ 500rpm 운행하면서 전동기 측면부의 소음을 1/3 Octave band 로 측정 한 결과와 전동기의 공진 주파수와의 비교를 나타낸다. 1/3 Octave band 에서도 운전 속도에 상

관없이 전동기의 소음은 전동기의 첫번째와 두번째 공진 주파수 대역인 300 ~ 400Hz 에서 발생하였고, 세번째 공진 주파수 대역인 1100 ~ 1200Hz 에서도 소음이 발생하였다. 또한, Narrow band 측정시와 같이 상대적으로 전동기의 정면부 측정 결과에서 나타나는 전동기의 첫번째와 두번째 공진 주파수 대역인 300 ~ 400Hz 의 소음은 줄어들었다.

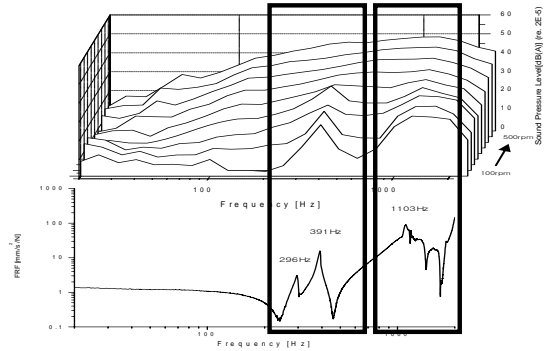


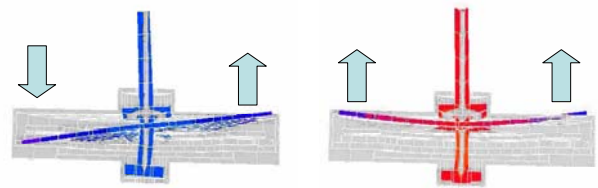
Fig. 8 Sound pressure level and frequency response function of axial-gap motor (1/3 octave band)

4. 해석

Axial-gap 전동기의 구조 해석은 상용프로그램인 ABAQUS 를 이용하여 전동기의 진동 특성을 파악하였다.

4.1 고유 모드 형상

그림 9 는 Axial-gap 전동기의 첫번째와 두번째 고유 모드 형상을 나타내는 모습이다. 첫번째 고유 모드 형상은 Rotor 의 원판이 좌우로 움직이므로써 Upper Housing 을 가진하게 되고, 두번째 고유 모드 형상은 Rotor 의 원판 전체가 상하로 움직이므로써 Upper Housing 을 가진하게 된다. 이러한 Rotor 의 움직임이 Upper Housing 을 가진함으로써 소음이 발생함을 파악하였다.



(a) 1st mode shape (b) 2nd mode shape
Fig.9 Mode shape of finite element model

4.2 Rotor의 구조적 변형에 의한 모델

그림 10은 Rotor의 원판과 베어링의 연결 부분인 Plastic의 Young's Modulus 변화에 따른 전동기의 첫번째와 두번째 공진 주파수 대역에서 Rotor의 Strain의 분포를 나타낸다. Young's Modulus를 0.7GPa에서 210GPa으로 증가시키므로써 Rotor의 Strain이 감소하였다.

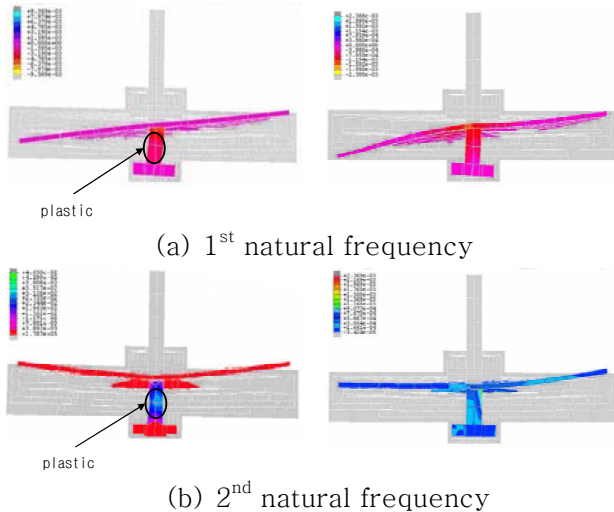


Fig.10 Strain distribution of rotor by Young's Modulus of the plastic part

그림 11은 Rotor의 원판과 베어링의 연결부분인 Plastic을 Steel로 재질을 변화시킨 후 전동기의 첫번째와 두번째 공진 주파수 대역에서 Rotor의 Strain의 분포를 나타낸다. Plastic에서 Steel로 변화시키므로써 Rotor의 Strain이 감소하였다.

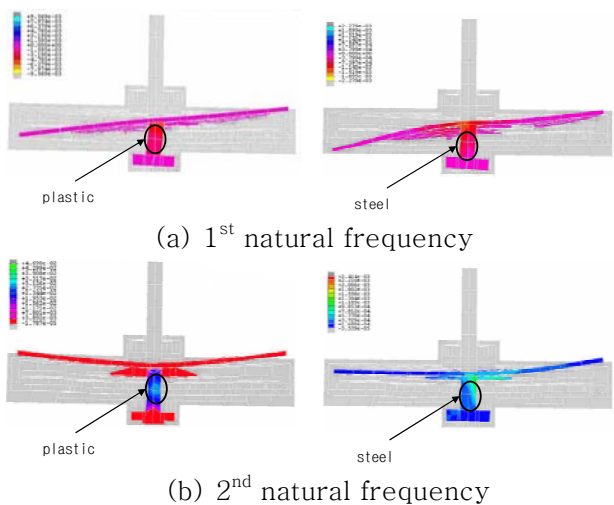


Fig.11 Strain distribution of rotor by the plastic part and the steel part

5. 결론

Axial-gap 전동기의 진동 특성을 파악하기 위해 실험적 모드 해석 방법(Experimental Modal Analysis)을 통하여 주파수응답함수(Frequency Response Function, FRF)를 비교하여 고유진동수(Natural Frequency)를 분석하였다. 또한, 상용 프로그램인 STAR MODAL을 이용하여 전동기의 진동 특성 분석과 함께 모드 형상(Mode Shape)를 분석하였고, 전동기 운행 중 소음 발생을 측정하였다. 실험을 통해 파악된 진동과 소음 특성을 토대로 전동기에서 나오는 소음은 전동기의 공진 현상에 의해 발생함을 알 수 있었다. 그리고, 유한 요소 모델의 고유 모드 형상에 의해서 전동기에서 발생하는 소음은 Rotor에 의한 전동기의 공진에 의해 발생함을 확인하였고, Rotor 원판과 베어링의 연결 부분인 Plastic의 강성을 증가시키면 Rotor의 Strain이 감소하였다. 또한, Plastic에서 Steel로 재질을 바꿈으로써 Rotor의 변형이 감소함을 확인하였다.

후기

본 연구는 LG 전자 Digital Appliance 사업본부의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Sang-Ho Lee, 2006, "Characteristic Analysis of the Slotless Axial-Flux Type Brushless DC Motors Using Image Method", IEEE Transactions On Magnetics. Vol. 42, No. 4, pp. 1327~1330.
- (2) 박남기 등, 2007, 회전형 이상 횡자속형 전동기에서 발생하는 자기력 및 토크 해석, 춘계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 33~40.
- (3) 양재영 등, 2001, BLDC 모터를 적용한 팬의 공진 소음 제어, 추계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 512~516.
- (4) 고흥석 등, 2000, 영구자석 매입형 BLDC 모터의 전자기적 가진력 및 소음특성에 관한 연구, 창립 10주년 기념 소음진동학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 1139~1146.
- (5) 정중기 등, 2001, 진동을 고려한 2상 BLDC 모터의 최적 스위칭 위치, 추계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 465~470.
- (6) 이정열 등, 1997, Slotless Axial Flux BLDC 전동기 설계, 전자기술연구지, 경북대학교 전자기술연구소, Vol. 18-1, pp. 50~58.