한국정밀공학회지 제 22 권 제 3 호 (2005 년 3 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 22, No. 3, March 2005.

레이저 3 차원 진동측정기와 마이크로폰을 이용한 진공청소기용 팬모터의 실험적인 공력소음 분석

곽이구*, 김재열#, 안재신*

The Experimental Analysis of Aerodynamic Sound for Fan Motor in a Vacuum Cleaner Using Laser 3-D Scanning Vibrometer and Microphone

Lee Ku Kwac*, Jae Yeol Kim# and Jae Sin An*

ABSTRACT

The vacuum cleaner motor runs at very high speed for suction power. Specially, motor power is provided by the impeller being rotated at very high speed. The centrifugal fan consists of the impeller, the diffuser, and the circular casing. Due to the high rotating speed of the impeller and small gap distance between the impeller and the diffuser, the level of noise in the centrifugal fan is at BPF(Blade Passage Frequency) and its harmonic frequencies. In order to calculate the sound pressure of centrifugal fan, unsteady flow data are needed. The cause of noise is obtained by dividing the fluid noise by exhaust flow of fan and vibration noise by rotational vibration of vacuum cleaner fan motor. Until now, an accelerometer has been used to measure vibration. However, it can not measure vibration in some parts of brush and commutator because of motor construction and 3-D vibrating mode. This study was conducted to perform accurate analysis of vibration and aerodynamic sound for fan motor in a vacuum cleaner using a laser vibration analyzer. A silent fan motor can be designed using the data measured in this study.

Key Words : Fan Motor in Vacuum Cleaner(진공청소기용 팬모터), Laser Vibration Measurement(레이저 진동측정), Aerodynamic Sound(공력소음), Micro Phone, BPF(Blade Passage Frequency),

1. 서론

최근 가전제품의 기술개발은 고효율화, 다기능화와 더불어 환경문제를 고려하는 방향으로 진행되고 있다. 거론되고 있는 문제 중 제품의 소음에 대한 문제도 이제는 성능의 관점과 더불어 환경문제로 인식 되어야 한다. 진공청소기는 가전 제품 중에서 인간의 일상생활에서 꼭 필요한 가전제품의 하나이다. 그러나, 성능향상을 위한 과도한 회전 속도증가 때문에 큰 소음을 유발하며 그로 인해서 사용자에게 큰 불편을 초래하고 있다. 이것은 진공청소기 내에 있는 팬모터가 30000 ~ 35000 rpm 의 고속회전을 통해서 축에 연결되어 있는 임펠러를 회전시켜 공기를 흡입, 배출시키는 일련의 작동을 하면서 여러 가지 진동 및 유체소음을 일으키기 때문이다.[1] 이러한 진공청소기용 팬모터의

접수일 : 2004 년 2 월 9 일 ; 게재승인일: 2004 년 12 월 10 일
* 조선대학교 대학원 정밀기계공학과
# 교신저자 : 조선대학교 공과대학 기전공학과
Email : jykim@chosun.ac.kr Tel. (062) 230-7035

소음 저감 연구는 국내외 관련회사 및 연구소에서 활발히 진행되고 있다.

하지만 대부분 유동해석 등의 이론적인 방법에 의해 소음분석에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한 측정을 통한 실험적인 방법의 소음분석은 접촉식 가속도계를 사용한 소극적인 연구가 진행되고 있다.[2-4]

본 연구에서는 진공청소기 팬 모터의 공력소음 및 주요 소음 원인을 규명하기 위해서 아래의 2 가지 실험적인 방법으로 소음분석에 대한 연구를 진행할 것이다.

(1) 3 차원 레이저 측정기를 이용하여 모터 케이싱, 베어링, 정류자, 브러쉬 등의 진동모드를 측정 정한다
(2) 마이크로폰을 이용하여 팬모터의 소음을 측 한다.

위와 같은 방법을 통하여 진동 데이터와 소음 데이터를 비교하여 진공청소기용 팬모터의 공력소음 및 주요 소음의 원인을 분석 한다.

2. 진동 및 소음 측정

2.1 3 차원 레이저 진동 측정

모터는 Fig. 1 에서 나타낸 것과 같이 크게 케이싱, 임펠러(Impeller), 디퓨저(Diffuser), 축 및 베어링 등 기구부와 아마츄어, 필드, 정류자, 브러쉬 및 전기부로 이루어져 있다. 모터의 공력소음은 임펠러를 통과한 공기가 디퓨저와 주기적으로 충돌하면서 발생되는 진동소음은 케이스의 안내벽을 통하여 모터의 상단에서 하단으로 전달된다. 본 논문에서 측정하고자 하는 모터의 제원은 임펠러 깃이 9 개, 디퓨저 깃이 15 개이다.

진동을 측정하기 위해 10 분 이상 모터를 회전시켜 모터를 안정화시켰으며, 모터의 앞쪽으로부터 1 m 떨어진 위치에서 진동을 측정하였다. 측정한 모터는 회전수 34000 rpm 의 고속 회전을 하며, 220 V, 60 kHz의 교류전원으로 작동시켰다. 외부로부터의 진동 유입을 방지하기 위해 방진 테이블과 우레탄 패드를 사용하였다. 진동 측정 장비로는 3 차원 레이저 진동 측정기(PSV300)와 기준(Reference) 진동 측정용 접촉식 가속도계를 사용하였다. 모터의 진동 측정 부위는 4 파트로 나누어서 Fig. 2 와 같이 전체 케이스, 베어링, 정류자, 브러쉬 등을 측정 하였다.

먼저 케이스 전체영역의 진동모드를 관찰함으로써 각 주파수 성분이 주로 어디 부위에 존재하는가를 살펴보았다. 또한 30 개의 포인트를 선택하여 특정 포인트에서의 주파수 성분을 관찰하였다.

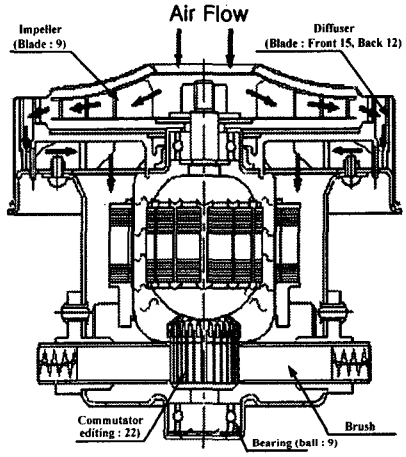


Fig. 1 Structure of fan motor in a vacuum cleaner

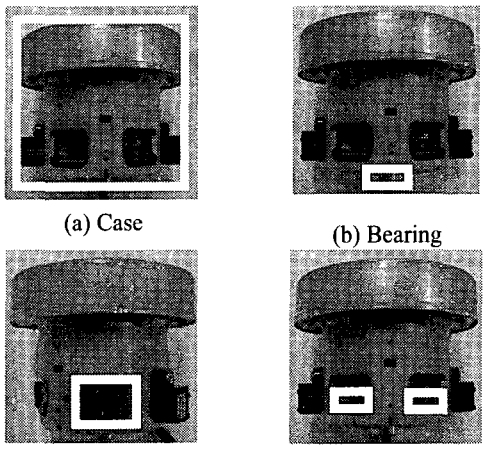


Fig. 2 Vibration Measurement area of fan motor

먼저 전체영역에 대한 진동 스팩트럼을 관찰하여 피크가 일어나는 주파수 대역을 찾아내었다. Fig. 3 에서 보는 것처럼 120 Hz, 240 Hz, 360 Hz, 480 Hz, 570 Hz, 1.710 kHz, 2.510 kHz, 4.000 kHz, 4.572 kHz, 5.130 kHz, 6.270 kHz, 10.26 kHz, 12.54 kHz,

15.39 kHz 에서 피크값이 관찰되었다.

Fig. 4 를 보면 각 주파수 성분별로 어느 영역에서 주로 발생되는가를 관찰할 수 있었다. 여기서 전원 주파수를 제외한 대부분의 높은 피크값의 진동이 임펠러 케이스부에서 발생되는 것을 알 수 있으며, 이는 공기의 유동에 의한 것으로 사료되어진다. 30개의 포인트는 Fig. 5(a)와 같이 설정하였으며, 특정 포인트에 대한 주파수 특성은 Fig. 5(b)~(d)와 같이 측정되었다. 여기서 전원 주파수를 제외한 문제시되는 피크 주파수는 2.51 kHz, 4.572 kHz, 5.13 kHz, 10.26 kHz, 12.54 kHz, 15.39 kHz 이며 특히 5.13 kHz, 10.26 kHz,와 15.39 kHz 대역의 진동이 소음과 연관되는 것으로 사료된다. 저주파 영역에서의 진동 측정결과 중 120 Hz, 240 Hz, 360 Hz, 480 Hz의 피크는 60 Hz 의 하모닉(Harmonic) 성분으로써 220 V, 60Hz 교류의 구동전원에 따른 진동임을 알 수 있다. 또한 570 Hz 의 진동은 34000 rpm 의 회전속도에 의해 가진되는 진동이며, 이것의 하모닉 진동은 1.710 kHz 에서 발생 하였으며, 다음 하모닉 진동은 관찰되지 않았다. 따라서 모터의 발란싱은 양호한 것으로 사료된다.

고주파 영역에서의 진동 측정 결과에서 5.13 kHz, 10.26 kHz, 15.39 kHz 의 진동은 9 개의 임펠러의 출구로부터 분출되는 유동이 디퓨저 날개 전면부와의 간섭에 의해서 발생하는 BPF 소음에 의한 진동과 하모닉 주파수 소음에 의한 진동이다. 이것은 임펠러 및 디퓨저의 날개 면에서의 박리와 후류에 의한 와류에 의해서 발생된다. Fig. 5 에서 볼 수 있듯이 5.13 kHz 의 진동을 각 측정 포인트를 비교하면 모터 상부 케이스 쪽에서 멀어 질수록 진동의 크기가 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 디퓨저로부터 멀어질수록 유체의 난류유동이 감소함으로써 BPF 의 고주파 소음은 감소되고 있기 때문이다. 그리고 회전 진동과 임펠러와 디퓨져 사이에서 발생하는 진동의 2 차 하모닉 진동은 2.510 kHz, 4.000 kHz, 4.572 kHz, 6.270 kHz 등이 관찰 되었다.

또한 12.54 kHz 는 570 Hz × 22 로써 정류자의 편심 22 개와 브러쉬의 접촉에 의한 진동이며 모터 상부까지 전파된 것으로 사료된다. 이상의 진동측정 실험결과 고속 회전 모터의 기계적인 진동과 유체 소음에 의한 진동을 모두 관찰할 수 있었으며, 특히 유체 소음 중 임펠러로부터 분출되는 유동이 디퓨져 날개와의 간섭으로 발생되는 BPF 소음과 임펠러로부터 분출되는 유동이 디퓨저 날개와 부딪히고 날개를 통과하면서 1 kHz 이상의 주파수 대역에서 발생하는 난류소음에 의한 진동을 정확히 구별할 수 있었다.

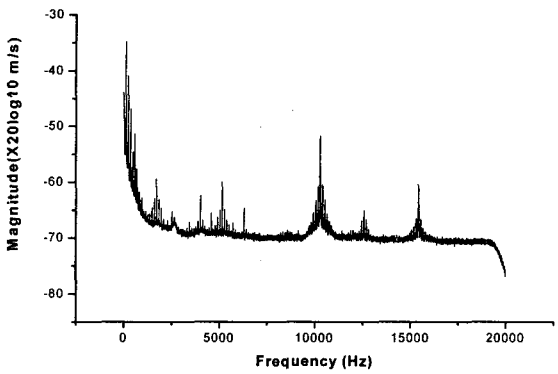


Fig. 3 The spectrum of fan motor case

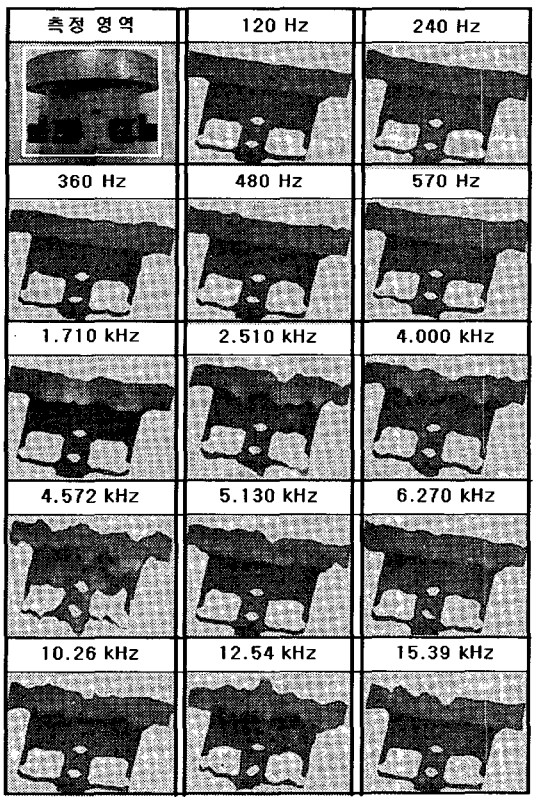
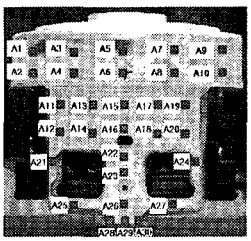
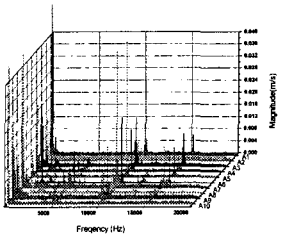


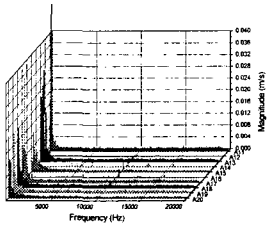
Fig. 4 3-D vibrating mode of fan motor



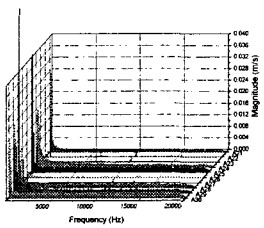
(a) Measuring point



(b) FFT of Point A1~A10



(c) FFT of Point A11~A20



(d) FFT of Point A21~A30

Fig. 5 The Spectrum of specification point (Case)

베어링에서의 진동 피크 값은 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 120 Hz, 240 Hz, 360 Hz, 480 Hz, 570 Hz, 1.719 kHz, 5.131 kHz, 10.26 kHz 에서 발생하였으며, 전원 주파수를 제외한 영역에서는 문제시되는 주파수는 존재하지 않았다. 5.13 kHz, 10.26 kHz의 피크는 모터 상부의 진동이 전파된 것으로 피크 값은 미약하였다. 570 Hz, 1.719 kHz 는 회전진동이다. 모터의 불평형과 관계가 있을 것이다. Fig. 7 은 베어링의 각 주파수별 진동모드를 보여주고 있으며, Fig. 8은 각 포인트별 진동 스팩트럼을 보여주고 있다.

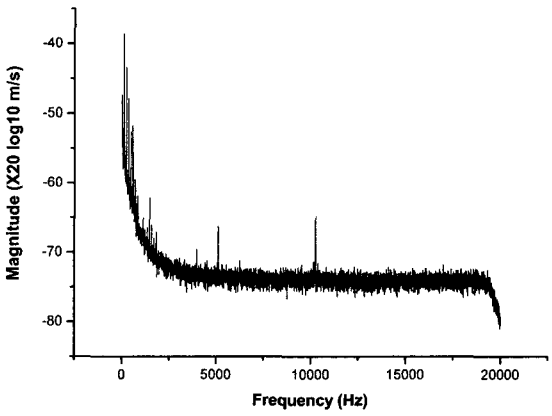


Fig. 6 The Spectrum of fan motor bearing

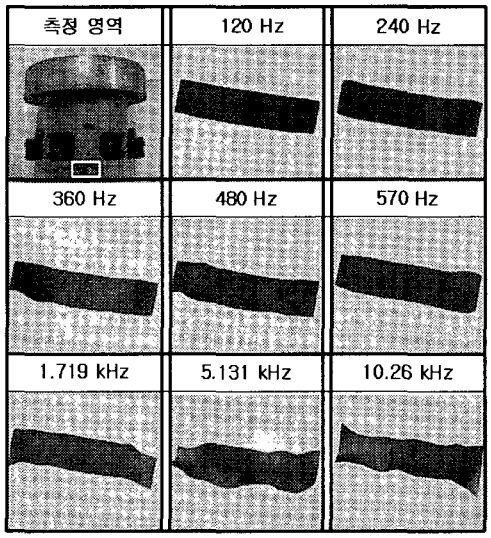
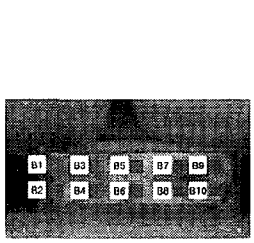
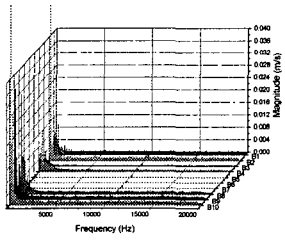


Fig. 7 3D Vibrating mode of fan motor bearing



(a) Measuring point



(b) FFT of Point B1~B10

Fig. 8 The Spectrum of specification point (on bearing)

정류자에서는 Fig. 9 와 같이 570 Hz 의 주기를 가지고 반복적으로 피크가 발생하였다. 이것은 모터가 34000 rpm 으로 회전하면서 발생하는 회전진동이며, 정류자가 회전체이기 때문에 두드러지게 관찰된 것이다. 12.54 kHz 피크는 정류자 22 개와 브러쉬 2 개가 접촉하면서 발생하는 진동이다. 그리고 C1 과 C2 의 피크값이 다른 포인트에 비해 값이 큰 것은 정류자와 브러쉬가 접촉하면서 발생하는 스파크로 인한 레이저의 난반사 때문으로 사료된다. Fig. 10 은 정류자의 진동모드를 보여주고 있으며, Fig. 11은 각 포인트별 진동 스팩트럼을 보여주고 있다.

Fig. 12 에서 확인할 수 있듯이 브러쉬에서도 정류자와 마찬가지로 570 Hz 를 주기의 피크가 관찰되었다. 이것은 회전체인 정류자와 직접 접촉을 하기 때문에 발생 할 것 이다. 12.54 kHz의 피크는

정류자와 접촉하면서 브러쉬에 전파된 진동이다. Fig. 13 은 브러쉬의 진동모드를 보여주고 있으며, Fig. 14 는 각 포인트별 진동 스팩트럼을 보여주고 있다.

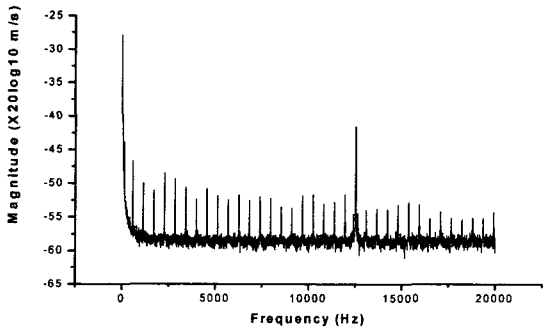


Fig. 9 The spectrum of fan motor

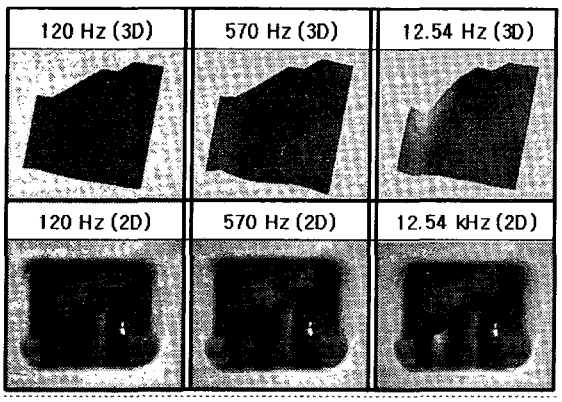
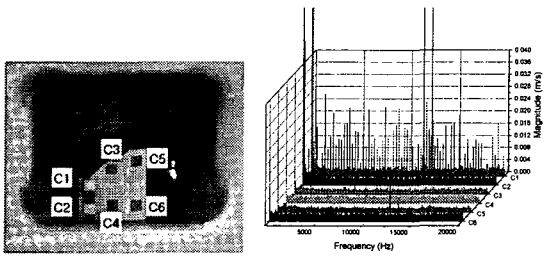


Fig. 10 2-D and 3-D vibrating mode of fan motor commutator



(a) Measuring point (b) FFT of Point C1~C10

Fig. 11 FFT of specification point (on commutator)

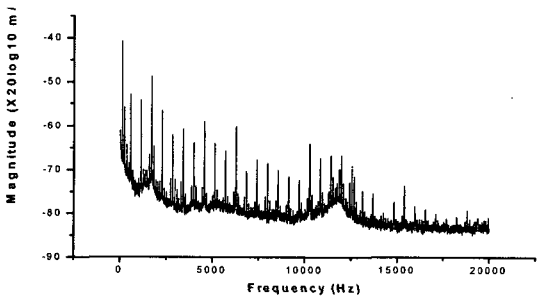


Fig. 12 The spectrum of fan motor brush

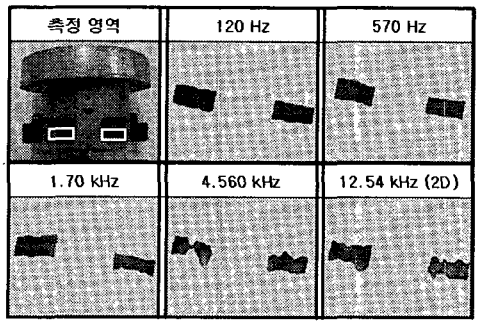
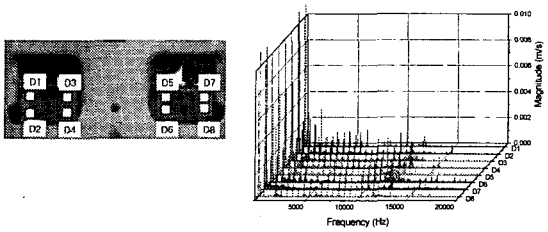


Fig. 13 3-D vibrating mode of fan motor brush



(a) Measuring point (b) FFT of Point D1~D10

Fig. 14 The spectrum of specification point (on Brush)

2.2 소음측정

소음측정은 팬모터와 1m 떨어진 위치에서 측정하였으며, 소음 데이터는 579 Hz, 1.14 kHz, 5.13 kHz, 10.26 kHz, 15.39 kHz 의 주파수 영역에서 큰 피크 값을 관찰할 수 있었다. Fig. 15 의 소음측정 데이터와 모터 전체케이스의 진동측정 데이터를 비교해 보면 비슷한 주파수 영역에서 피크가 발생하는 것을 알 수 있다. 570 Hz, 1.14 kHz 의 피크는 모터 회전속도에 의한 것이며, 소음 피크값은 크지만 불쾌감을 주는 주파수는

아니며, 청소기 외부 케이스에 의해 상당 부분 방음된다. 여기서 가장 문제시되는 소음은 5.13 kHz, 10.26 kHz, 15.39 kHz 대역의 소음이다. 가장 인간의 귀에 거슬리며, 청소기 외부 케이스를 덮은 후에도 크게 존재하는 소음이기 때문에 반듯이 이 소음을 줄이는 대책이 필요할 것이다.

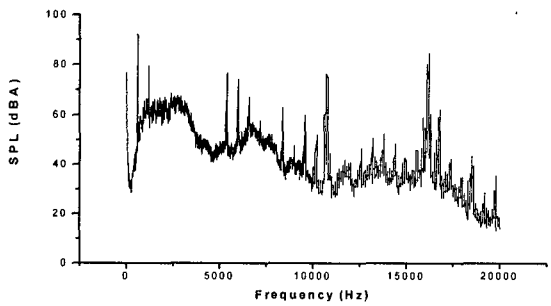


Fig. 15 The spectrum of noise

이상의 진공청소기용 팬 모터의 3 차원 레이저 진동 측정기를 이용한 진동측정과 마이크로폰을 이용한 소음 측정의 결과 고속 회전 모터의 진동 특성은 일반 송풍기의 진동특성과 같이 광대역 주파수의 유체소음과 이산 주파수 소음인 BPF 소음 의한 진동이 상당히 크다는 것을 검증할 수 있었다. 또한 공기의 유동과 케이스의 진동은 밀접한 관계가 있었으며, 유동에 의해서 케이스의 진동이 발생됨을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 고속 회전 모터의 공력소음에 대한 소음분석을 실험적인 방법을 통해 충분히 해결할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 34000 rpm 으로 회전하는 진공청소기용 팬 모터의 3 차원 레이저 진동 측정기를 이용한 모터 케이스의 진동 측정과 마이크로폰을 이용한 소음 측정을 수행하여 실험적인 방법으로 유체의 유동에 따른 소음과 진동의 연관성을 분석하였고, 주요 소음의 원인을 규명하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 3 차원 레이저 진동측정기를 이용하여 측정된 전체 케이스의 진동 데이터를 분석한 결과 교류전원 주파수를 제외하고 문제시되는 주파수는 12.4 kHz, 5.13 kHz, 10.26 kHz, 15.39 kHz 로 확인되었으며 12.4 kHz 는 정류자와 브러쉬간의 접촉에 의한 주파수이며, 5.13 kHz, 10.26 kHz, 15.39 kHz 의 주파수는 임펠러의 디퓨저 간의 BPF 소음으로 확인되었다.

(2) 마이크로폰을 이용하여 측정된 소음데이터를 분석한 결과 문제시되는 5.13 kHz, 10.26 kHz, 15.39 kHz 의 주파수 즉 임펠러와 디퓨저간의 BPF 의 값이 큰 것으로 측정되었으며, 정류자와 브러쉬 간의 진동주파수 12.4kHz 는 소음값으로 측정되지 않았다.

(3) 이상의 실험 및 고찰로 보았을 때 진공청소기의 소음의 원인은 모터 내부의 임펠러와 디퓨저간의 상호작용에 의한 공진으로 발생한다는 것을 알 수 있었다.

(4) 이러한 결과는 고속 회전 모터의 공력소음분석을 실험적인 방법을 통해 충분히 해결할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Kim, J. Y., Kwac, L. K., An, J. S., Kim, C. H., Song, K. S., Yang, D. J., "3-D Laser Vibration Measurement for Nose and Vibrating Mode Analysis of Fan Motor in a Vacuum Cleaner," Proc. of KSPE, pp. 128, 2003.
2. Mongeau, L., Thomson, D. E. and McLaughlin, D. K., "Sound Generation by Rotating Stall in Centrifugal Turbomachines," Journal of Sound and Vibration, Vol. 163, No. 1, pp. 1-30, 1993.
3. Choi, I. H., Chae, H. K., "The Study of Noise Reduction Method for Vacuum Cleaner Fan Motor," The Korean Society for Noise and Vibration Engineering Fall Conference, pp. 67-72, 1994.
4. Jeon, W. H., "An Analysis of Unsteady Flow Fields in a Centrifugal Turbomachine Using a Discrete Vortex Method," KAIST Master Thesis, 1994.
5. Kim ,W. J., Park, C. H., Kim, S. D., Lee, B. H., "Noise Source Identification and Countermeasure for the Noise of LPG Injector," J. of the KSPE Vol. 19, No. 13, pp. 144-151, 2002.