진공청소기용 팬모터의 소음 및 진동모드 분석을 위한 3차원 레이저 진동측정

김재열(조선대 기전공학과), 곽이구*(조선대 대학원), 송경석(조선대 대학원),
안재신(조선대 대학원), 이창선(조선대 대학원), 윤성운(조선대 기계공학과)

3-D Laser Vibration Measurement for Nose and Vibrating Mode Analysis of Fan Motor in a Vacuum Cleaner

J. Y. Kim(Mecha. Eng. Dept. CSU), L. K. Kwac(Graduate School. CSU), K. S. Song(Graduate School. CSU),
J. S. An(Graduate School. CSU), C. S. Lee(Graduate School. CSU), S. U. Yoon(Mech. Eng. Dept. CSU)

ABSTRACT

Noise cause is dividing to fluid noise by exhaust flow of fan and vibration noise by rotational vibration of motor. Until now, measuring method has been used to measure vibration by the accelerometer, this method has been not measured for the vibration in some parts of brush and commutator because of motor construction.

This research was purposed on the accurate analysis, using laser vibration analyzer, of noise cause against the difficult part in old times. By using this measured data, we would like to use for the design of silent motor.

Key Words : vibration(진동), high revolution motor(고속 회전 모터), laser vibration analysis(레이저 진동측정), noise characteristic(소음 특성)

1. 서론

30,000rpm 이상의 고속 회전 모터를 사용하는 제품중 청소기용 모터는 팬을 회전시켜 공기의 흡입과, 배출시키는 동작을 반복한다. 여기에서 발생되는 소음은 인간의 귀에 상당히 민감하게 작용하여 각종 스트레스를 일으키는 원인이 되기도 한다. 그러므로 소음은 제품의 판매에 직접 영향을 미치는 중요한 요소라고 볼 수 있다[2,5].

공기유체를 흡입하는 고속모터의 소음원은 크게 두가지로 구분될수 있다. 첫째는 유체가 흡배기 과정에서 압축후 팽창과정에서 발생되는 급격한 압력변화에 따른 유체소음, 둘째는 모터의 제작시 공차등에 의한 모터 자체의 진동으로 야기되는 진동소음이다. 이 두가지 소음원중 고속 회전 모터의 주된 소음원은 지금까지의 연구에 의해 유체소음이 주를 이룸을 알 수가 있다[3,6].

고속 회전 모터의 소음을 저감시키기 위한 방법은 주된 소음원인 유체 소음을 감소시키기 위한 모터의 소음특성을 개선하는 방법이고, 다른 방법으로 모터로부터 발생된 소음이 밖으로 전달되는 경로를 적절하게 차단하는 방법이 있다. 유체 소음의 감소를 위한 연구로는 모델링을 통한 유동해석과 실험을 통하여 임펠러의 형상과 유로 길이의 조절, 흡음제의 사용이 효과가 있음이 연구를 통하여 검증되었다. 진동소음의 감소를 위한 연구로는 모터 본체에 가속도계를 부착하여 진동을 측정하고 발생되는 진동을 외부로 전달 시키지 못하도록 방진 고무를 이용하는 방법이 연구되었다[4,5].

지금까지의 연구들을 종합해 보면 공기유동에 의해서 케이스에 어떠한 진동이 전달되어질 것으로 사료되어진다. 하지만 이러한 연구에서 소음과 진동과의 상관관계를 분석하여 소음원을 규명하는 방법은 고려되지 않았다.

본 논문에서는 공기유동에 의해서 케이스에 진동이 전달 된다고 가정하고, 레이저 3 차원 진동측정기를 이용하여 진동모드를 관찰하였으며, 공기유동과 케이스의 진동과의 상관관계를 분석하였다.

2. 모터의 구조 및 측정 방법

2.1 모터의 구조

모터는 크게 케이싱, 임펠러, 디퓨저, 축 및 베이링등 기구부와 아마츄어, 필드, 정류자, 브러쉬 등 전기부로 이루어져 있다.

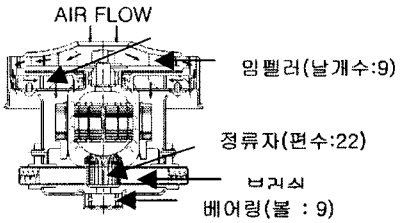
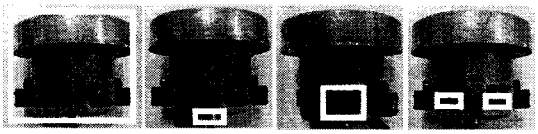


Fig.1 Structure of Fan Motor in a Vacuum Cleaner

2.2 측정방법

진동을 측정하기 위하여 10 분 이상 모터를 회전시켜 모터를 안정화 시켰으며, 모터의 앞쪽으로부터 1m 떨어진 위치에서 진동을 측정하였다.

측정한 모터의 회전수는 35,000rpm 의 고속 회전 모터이고 모터의 작동은 220V, 60kHz 의 교류전원으로 작동시켰으며, 외부로부터의 진동 유입을 방지하기 위하여 방진 테이블과 우레탄 패드를 사용하였다. 진동 측정 장비로는 3 차원 레이저 진동측정기(PSV300)와 Reference 진동측정용 접촉식 가속도계를 사용하였다. 모터의 진동 측정 부위는 4 번으로 나누어서 Fig.2 와 같이 전체 케이싱, 베이링, 정류자, 브러쉬 등을 측정하였다.



(a) Case (b) Bearing (c) Rotor (d) Brush

Fig.2 Measurement Aria of Fan Motor in a Vacuum Cleaner

3. 3 차원 레이저 진동측정

3.1 전체 케이스 진동 모드

케이스 전체영역의 진동모드를 관찰함으로써 각 성분의 주파수가 어디 부위에 존재하는가를 살펴보았다. 또한 30 개의 포인트를 잡아 특정 포인트에서의 주파수 성분을 관찰하였다.

먼저 전체영역에 대한 FFT 를 관찰 하여 공진이 일어나는 주파수대역을 찾아내었다. Fig.3 에서 보는 것 처럼 공진은 120Hz, 240 Hz, 360 Hz, 480 Hz, 570 Hz, 1.710kHz, 2.510kHz, 4.000kHz, 4.572kHz, 5.130kHz, 6.270kHz, 10.26kHz, 12.54kHz, 15.39kHz 등으로 관찰 되었다.

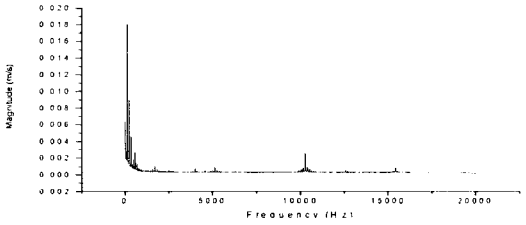


Fig.3 FFT of Fan Motor Case in a Vacuum Cleaner

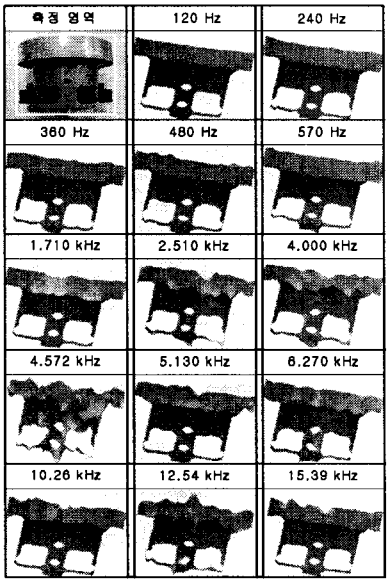
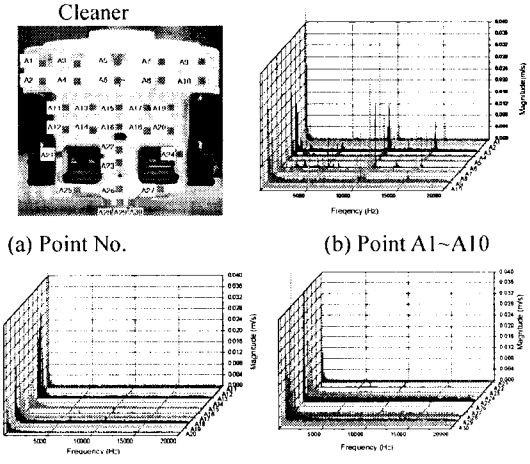


Fig.4 3D Vibrating Mode of Fan Motor Case in a Vacuum Cleaner



(a) Point No. (b) Point A1~A10

(c) Point A11~A20 (d) Point A21~A30

Fig.5 FFT of Specification point (Case)

Fig.4 를 보면 각 주파수 성분별로 어느영역에서 주로 발생되는가를 관찰 할 수 있었다. 전원 주파수를 제외한 대부분의 주파수가 임펠러 케이스부에서 발생되는 것을 알 수 있으며, 이는 공기의 유동에 의한것으로 사료되어진다.

30 개의 포인트는 Fig. 5(a)와 같이 설정 하였으며, 특정 포인트에 대한 주파수특성은 Fig.5(c)~(d)와 같이 측정 되었다. 여기서 전원주파수를 제외한 문제시되는 주파수는 2.510kHz, 4.572kHz, 5.130kHz, 10.26kHz, 12.54kHz, 15.39kHz 이며 특히 10.26kHz,와 15.39kHz 대역이 문제시 되는것으로 사료된다.

저주파 영역에서의 진동 결과를 보면 120Hz, 240Hz, 360Hz, 480Hz 의 공진 주파수가 측정되었는데 이는 모터 구동 전원이 220V, 60Hz 교류전원이므로 구동전원에 따른 공진주파수임을 알 수 있다. 특히 정류자의 진동세기를 보면 측정 데이터가 다른 측정지점에 비해 두드러지게 큰것을 볼 수 있다. 이는 고속 회전 모터에서 진동 소음은 주로 정류자와 브러쉬간의 마찰에 의해 발생된 120 Hz의 진동에 의해서 발생되고 이 진동은 회전축과 케이싱을 타고 위로 전파하는 것임을 알 수 있다.

1kHz 이상의 고주파 영역에서의 진동 측정결과를 보면 전주파수 대역에서 소음이 발생하며, 5kHz, 10kHz, 15kHz 에서 공진 주파수가 나옴을 알 수 있다. 일반적인 송풍기에서 전주파수대역에서 발생하는 소음은 임펠러 및 디퓨저의 날개면에서의 박리와 후류에 의한 와류에 의해서 발생하는 난류소음이다[6]. 5kHz 와 10kHz 의 진동은 임펠러의 출구로부터 분출되는 유동이 디퓨저 날개 전면부와의 간섭에 의해서 발생하는 BPF(Blade Passing Frequency) 소음이다. 5kHz 의 진동을 각 측정 포인트에서 비교하면 정류자쪽으로 갈수록 진동의 크기가 커짐을 알 수 있다. 디퓨저로부터 멀어질수록 유체의 난류유동이 감소함으로써 BPF 의 고주파 소음은 감소되고 저주파 성분의 소음이 필터링됨을 알 수 있다.

이상의 진동측정 실험결과 고속 회전 모터의 소음은 기계적인 진동 소음(500Hz 이하)보다 유체 소음이 훨씬 크다는 것을 알 수 있으며, 이 유체 소음중 임펠러로부터 분출되는 유동이 디퓨저 날개와의 간섭으로 발생되는 BPF 소음과 임펠러로부터 분출되는 유동이 디퓨저 날개와 부딪히고 날개를 통과하면서 4kHz 이상의 주파수 대역에서 발생하는 난류소음이 상당히 크다는 것을 확인 할 수 있었다.

3.2 베어링 진동모드

베어링에서의 공진은 Fig.6 에서 볼 수 있듯이 120Hz, 240Hz, 360Hz, 480Hz, 570Hz, 1.719kHz, 5.131kHz, 10.26kHz 에서 발생 하였으며, 전원주파수를 제외한 영역에서는 문제시 되는 주파수는 존재하지 않았으며, 미약하지만 1.719kHz, 5.131kHz, 10.26kHz 의 주파수 영역에서 공진이 있었지만 소음과는 상관없는것으로 사료된다. 하지만 베어링의 수명과의 관계는 확인되지 않았으며, 더 살펴보아야 할것이다. Fig.7 은 베어링의 각주파수별 진동모드를 보여주고 있으며, Fig.8 는 각 포인트별 FFT 를 보여주고 있다.

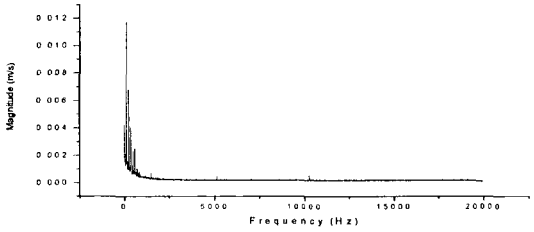


Fig.6 FFT of Fan Motor Baring in a Vacuum Cleaner

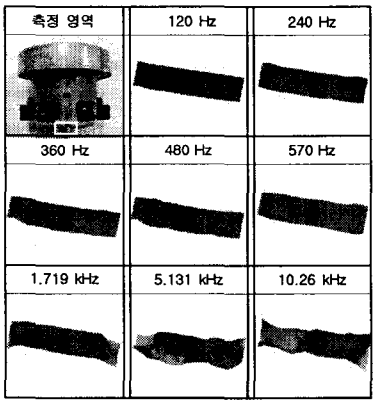


Fig.7 3D Vibrating Mode of Fan Motor Bearing in a Vacuum Cleaner

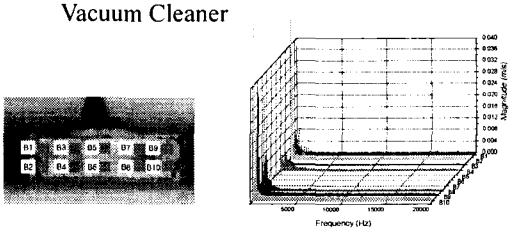

(a) Point No (b) Point B1~B10

Fig.8 FFT of Specification point (Bearing)

3.3 로터 진동모드

로터에서는 Fig.9 와 같이 570Hz 의 주기를 가지고 반복적으로공진이 발생하였다. 이것은 임펠러의 날개수와 회전속도에 의한 것으로 사료된다. 전원주파수를 제외하고 문제시 되는 주파수는 12.54kHz 이며, 이것은 브러쉬와 접촉하면서 발생하는 공진으로 보인다.

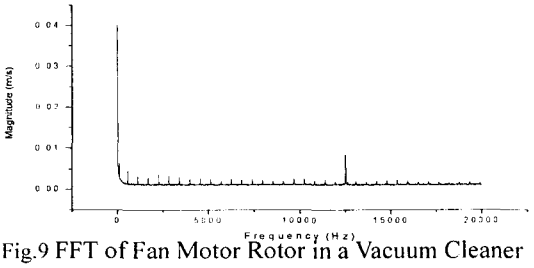


Fig.9 FFT of Fan Motor Rotor in a Vacuum Cleaner

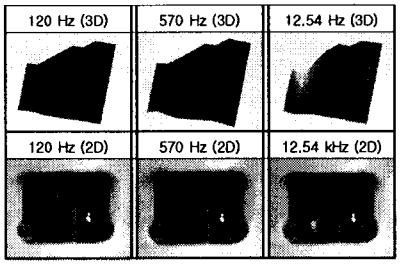
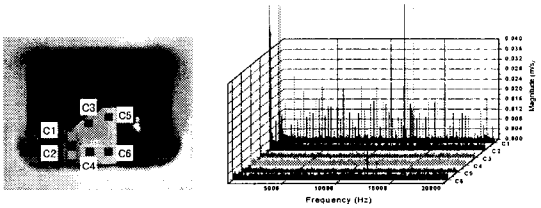


Fig.10 2D and 3DVibrating Mode of Fan Motor Rotor in a Vacuum Cleaner



(a) Point No (b) Point C1~C6

Fig.11 FFT of Specification point (Rotor)

Fig.10 은 로터의 진동모드를 보여주고 있으며, Fig.11 은 각 포인트별 FFT 를 보여주고 있다.

3.4 브러쉬 진동모드

Fig.12 에서 확인할 수 있듯이 브러쉬에서도 로터와 마찬가지로 570Hz 를 주기를 가지고 반복적으로 공진이 일어나며, 전원주파수를 제외하고 문제시되는 공진주파수는 1.70kHz, 4.56kHz, 12.54kHz 이며, 이것은 로터와 접촉하면서 발생하는 공진으로 보인다.

Fig.13 은 브러쉬의 진동모드를 보여주고 있으며, Fig.14 는 각 포인트별 FFT 를 보여주고 있다.

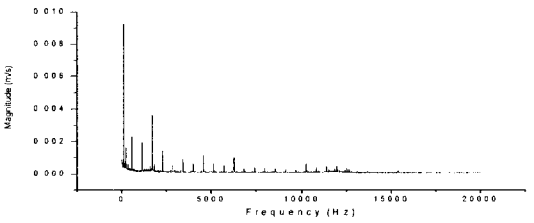


Fig.12 FFT of Fan Motor Brush in a Vacuum Cleaner

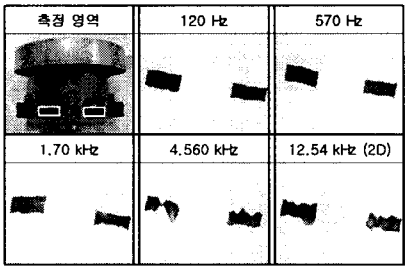
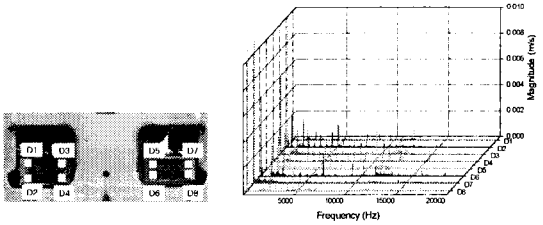


Fig.13 3D Vibrating Mode of Fan Motor Brush in a Vacuum Cleaner



(a) Point No (b) Point D1~D8

Fgi.15 FFT of Specification point(Brush)

4. 결론

1. 고속 회전 모터의 진동 특성은 일반 송풍기의 진동특성과 같이 광대역 주파수의 유체 소음과 이산 주파수 소음인 BPF 소음이 상당히 크다는 것을 검증 할 수 있었다.
2. 공기의 유동과 케이스의 진동은 밀접한 관계가 있었으며, 유동에 의해서 케이스의 진동이 발생됨을 확인 할 수 있었다.
3. 이상의 결론으로 고속 회전 모터의 소음저감을 위해서는 가장 먼저 임펠러와 디퓨저사이의 유체의 유동해석을 통하여 BPF 소음을 감소시키기 방법이 효율적임을 알 수 있었고, 유동해석을 통한 모터의 최적설계의 검증법으로써 3 차원 레이저 진동측정기의 유효성을 검증할 수 있었다.

참고문헌

1. Neise, W., "Review of noise Reduction Methodis for Centrifugal Fans", journal of Engineering for Industry, Vol. 104, pp. 151~161., 1985
2. J. D. Irwin. "Industrial Noise and Vibration Control", Prentice-HALL INC., 1979
3. Leo L. Beranek., "Noise and Vibration Control", McGRAW-HILL., 1971
4. W H Jeon, D J Lee, K W Ryu, "An Analysis of Flow and Noise for Avcuum Cleaner Centrifugal Fan", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 130~135., 1995
5. S S Park, J S Hwang, J S Son, J S, Choi, "A Noise reduction structure for vacuum cleaner", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 73~79., 1994
6. I H Choi, H K Chae, 1994, "The stduty of Noise Reduction Method for Vacum Cleaner Fan Motor", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 67~72.