

PC의 진동/소음 저감을 위한 쿨링팬의 동흡진장치 및 절연장치의 개발

A Development of the Dynamic Absorber and Damper for Vibration and Noise Reduction of the Personal Computer

정 율 영*·이 규 호*·정 진 태†

Won-young Jung, Kyu-ho Lee and Jin-tai Chung

(2011년 1월 6일 접수 ; 2011년 3월 18일 심사완료)

Key Words : Dynamic Absorber(동흡진장치), Cooling Fan(쿨링팬), Vibration Reduction(진동저감), Damper(절연장치)

ABSTRACT

The purpose of this study is reduction the vibration of the personal computer by developing the vibration absorber and damper. The eccentricity of the cooling fan causes the vibration of the computer. We designed the material properties of the vibration absorber and damper by FEM model within operation frequencies of the cooling fan. We experiment the overall analysis and system analysis by using a laser vibrometer. The result shows that the proposed dynamic absorber and damper reduce the vibration of the personal computer.

1. 서 론

현재 일반적으로 사용되고 있는 PC는 다양하고 높은 수준의 멀티미디어 환경을 원하는 고객의 수요를 맞추기 위하여 빠른 속도로 발전하여 고성능화 되고 있다. 이러한 고성능 컴퓨터는 한 번에 여러 가지의 높은 사양의 프로그램들을 실행시키며 빠른 연산속도로 작업을 처리해야 하므로 시스템에 과부하에 따른 열이 발생하게 되는데 그 열을 외부로 전달시키기 위해 PC 내부에 쿨링팬이 장착된다. 쿨링팬과 같은 소형 회전기기는 가공오차, 축정렬 오차로 인하여 편심이 발생하게 될 뿐 아니라 쿨링

팬의 경우 오랜 기간 사용됨에 따라 팬의 내부에 발생하는 먼지와 같은 이물질로 인하여 편심이 존재하게 된다. 회전기기의 경우 편심은 진동 및 소음을 발생시키는 주 원인으로 시스템의 가진주파수를 증폭시키고 만약 고유진동수와 일치하게 될 경우 부품의 고장 및 파손의 원인이 될 수 있다. PC의 경우 쿨링팬의 편심으로 인한 진동이 본체에 전달되어 하드디스크와 같은 부품의 파손 고장의 원인이 되며 진동에 의하여 발생하는 소음은 사용자에게 심리적·정신적 불쾌감을 유발하며 작업 능률을 저하시키게 된다. 따라서 PC의 진동저감을 위한 동흡진장치 및 절연장치의 개발에 관한 연구는 장치의 성능 및 작업환경을 개선하는 것 뿐 아니라 PC의 진동에 의한 각종부품의 고장 및 파손을 줄여 데이터를 보호할 뿐 아니라 불필요한 비용을 줄일 수 있을 것이다.

진동저감을 위한 동흡진장치의 설계와 관련하여 많은 연구가 진행되어 왔다. PC에 사용되는 디스크

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학과
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : (031)400-5287, Fax : (031)406-6964

* 한양대학교 일반대학원 기계공학과

이 논문의 일부는 2009년 추계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

드라이브의 진동저감을 위한 동흡진기 설계에 관한 연구가 진행되었으며⁽¹⁾ 이론적으로 디스크 드라이브를 5자유도 모델로 정의하여 물성치에 따른 진동량의 변화를 시뮬레이션을 통하여 예측하고 동흡진장치 및 절연장치의 설계변수를 도출하기도 하였다⁽²⁾. 또한 디스크 드라이브의 틸팅모드를 회피하기 위한 절연장치의 설계에 관한 연구⁽³⁾도 수행되었으며 동흡진장치를 2자유도 모델로 단순화하여 동흡진장치의 위치에 따른 진동저감에 관한 연구를 수행하였다⁽⁴⁾. 그리고 동흡진기를 비선형 2자유도계로 모델링하여 모드해석을 통해 동특성에 따른 강성계수를 도출하는 연구도 수행되었다⁽⁵⁾. 광디스크 드라이브 방진마운트의 설계를 위하여 유한요소법이 사용되기도 하였고⁽⁶⁾ 수직펌프의 경우 진동을 저감시키기 위하여 실험을 통하여 가진원을 분석하고 유한요소 모델을 통하여 동흡진장치 설계를 위한 연구도 진행되었다⁽⁷⁾. 유한요소모델을 통해 모드해석을 수행하여 모터의 진동을 저감하기 위한 연구의 사례도 있다⁽⁸⁾.

이 연구는 쿨링팬을 장시간 사용함에 따른 발생하는 편심에 의하여 발생하는 PC 본체의 진동을 저감하는데 목적을 두고 있다. 먼저 기존 쿨링팬의 작동영역에서 쿨링팬의 진동의 주파수를 분석하여 진동을 발생시키는 가진원을 분석하였으며 쿨링팬에 편심이 존재하는 경우 PC의 진동량을 측정하여 작동주파수 대역에서 진동을 저감시키기 위한 동흡진장치 및 절연장치를 개발하였다. 유한요소 해석을 통하여 설계변수를 도출하였으며 시작품을 다양하게 제작하여 시스템분석(shaker test)과 진동량 overall 값을 측정하여 시작품을 평가하였다. 또한 본체와 쿨링팬의 체결부에 절연장치를 추가하여 쿨링팬에서 PC로 전달되는 진동성분을 흡수하도록 설계하였다. 동흡진장치 및 절연장치를 설계하기 위하여 ansys를 이용한 유한요소 해석 결과를 활용하였다.

2. 기존 쿨링팬의 가진원 분석

2.1 쿨링팬의 주요부품

쿨링팬의 구성부품은 Fig. 1에서 보여주고 있다. 대상으로 한 쿨링팬은 본체용 쿨링팬으로 7개의 날개를 갖는 날개부, 4개의 극수를 갖는 고정자, 본체와 연결되는 case로 구성되어 있다. 회전하는 물체

의 날개 수와 모터의 극수는 편심이 존재할 경우 진동이 증폭되는 성분을 보여주는 것이 일반적이며 이와같은 쿨링팬의 주요부품에 대한 정보는 쿨링팬의 진동량을 측정하여 가진원을 분석하는데 중요한 역할을 한다.

2.2 쿨링팬의 가진원 분석

쿨링팬의 진동/소음 저감을 위한 동흡진장치 및 절연장치를 설계하기 위하여 기존 쿨링팬의 가진원을 분석하고 쿨링팬이 작동시 PC의 진동량을 측정하여 어떤 동특성이 나타나는지 파악하는 것이 중요하다. Fig. 2는 실험을 위한 장치구성도를 나타내고 있다. Tachometer로 쿨링팬의 회전속도를 측정 한 결과 정격상태인 12V, 0.17A에서 쿨링팬은 2880 rpm으로 작동하였으며 실험조건을 고려하여 비접촉식 laser vibrometer를 사용하여 진동신호를 측정하였다. 쿨링팬의 노후조건에 맞게 약 2g의 편심이 존재하는 정격상태에서 auto-spectrum을 측정한

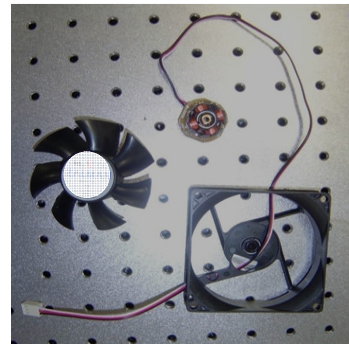


Fig. 1 Components of the cooling fan

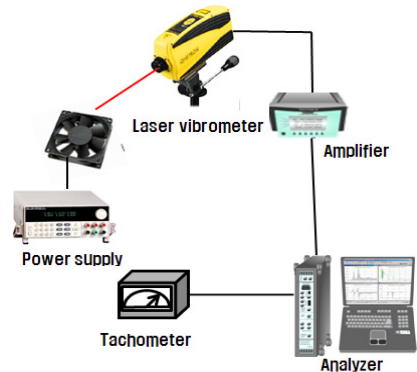


Fig. 2 Experimental setup for the overall analysis

결과 Fig. 3에서와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 주파수분석 결과 팬의 1차 회전성분 48 Hz와 모터의 극수에 의해 발생하는 4차 회전성분인 192 Hz에서 비교적 커다란 진동성분을 보이고 있다. 또한 730 Hz와 1281 Hz에서도 많은 진동성분이 포함된 것을

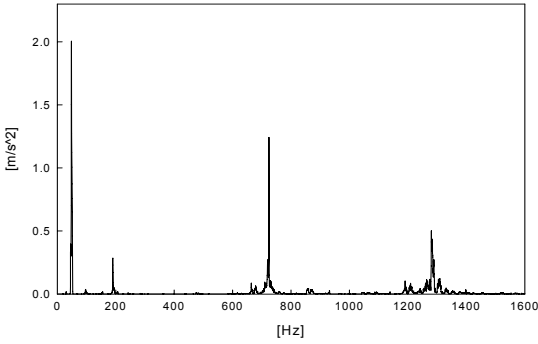


Fig. 3 The auto-spectrum of the cooling fan when operating speed is 2880 rpm

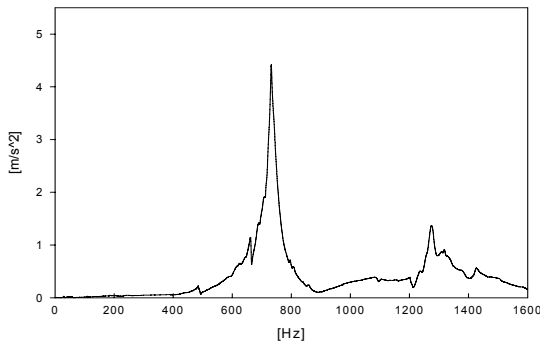


Fig. 4 The frequency response function of the cooling fan

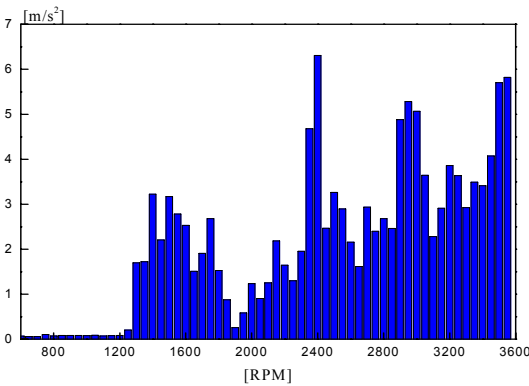


Fig. 5 Experimentally measured RMS of the PC

알 수 있는데 각 성분의 진동원인을 파악하기 위해 쿨링팬이 PC에 체결된 상태에서 쿨링팬에 대하여 impact test를 실시하였으며 실험결과 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 732 Hz와 1276 Hz에서 peak를 확인할 수 있으며 auto-spectrum 측정결과와 비교해 보면 730 Hz와 1281 Hz는 구조적인 공진에 의하여 발생하는 것을 알 수 있다.

2.3 PC의 진동신호 측정

쿨링팬의 과도한 진동은 PC의 본체를 따라 전달되며 옆면의 중앙부분에서 가장 커다란 진동이 발생하게 된다. 따라서 쿨링팬의 회전속도에 따라 PC의 진동량이 크게 발생하는 대역에서 진동을 저감시키기 위한 동흡진장치 및 절연장치를 설계하기 위하여 power supply를 이용하여 쿨링팬의 회전주파수를 600 rpm에서 3600 rpm까지 증가시키면서 PC의 진동량 변화를 측정하였다. PC의 진동은 Fig. 5를 보면 2400~3600 rpm의 작동영역에서 상대적으로 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 그러므로 이 영역에서 진동을 저감시키기 위한 동흡진장치를 설계하고 PC로 전달되는 진동을 흡수할 수 있는 절연장치를 설계해야 한다.

3. 유한요소 해석을 통한 설계변수 도출

3.1 동흡진장치 및 절연장치의 기본설계

동흡진장치 및 절연장치의 기본설계를 실시하였다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 동흡진장치는 질량역할을 하는 황동과 스프링 및 댐퍼 역할을 하는 실리콘으로 구성되어 있으며 쿨링팬의 좌우에 부착하는 방식이다. 또한 절연장치는 실리콘으로 이루어져 있으며 본체와 쿨링팬을 결합시키며 진동이 전달되는 것을 차단하는 방식이다.

3.2 동흡진장치 및 절연장치의 유한요소 해석

기본설계안을 바탕으로 동흡진장치 및 절연장치의 유한요소모델을 수립하였다. Fig. 7(a)와 같이 solid로 모델을 세우고 ansys를 이용하여 모달해석을 수행한 결과 모드형상은 Fig. 7(b)와 같은 형태이며 1차 모드의 고유진동수가 47 Hz를 보이고 있다. 마찬가지로 Fig. 8(a)와 같이 solid로 모델을 세우고 ansys를 이용하여 모달해석을 수행한 결과 모드형상은 Fig. 8(b)와 같은 형태이며 1차 모드의 고유

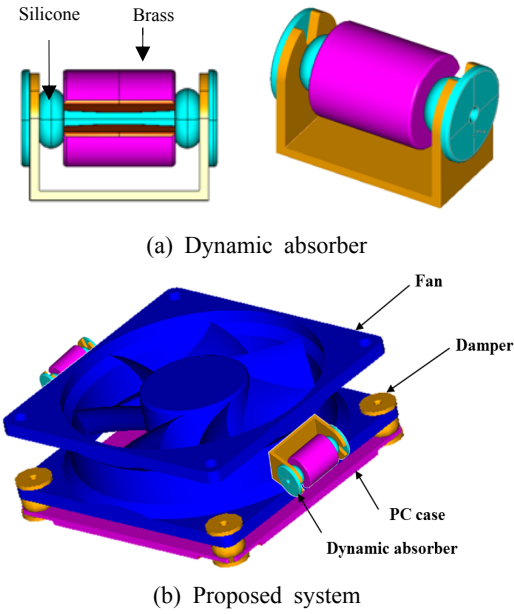


Fig. 6 Proposed vibration absorbing system

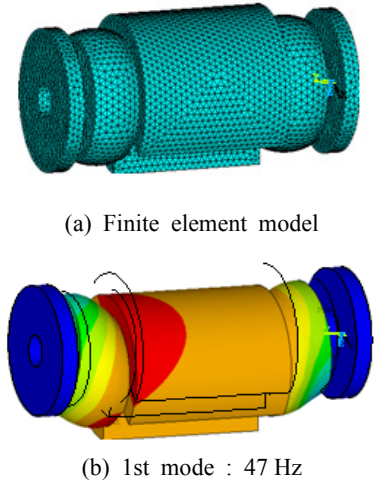


Fig. 7 Finite element model and 1st vibration mode of dynamic absorber

진동수가 57 Hz를 보이고 있다. 시뮬레이션을 결과를 바탕으로 목표로 한 특정주파수대역에 맞는 동흡진장치 및 절연장치를 개발하기 위한 설계변수를 도출하였다. 1차 고유진동수가 45~60 Hz 범위 내에서 설계하여 시작품 제작시 황동과 크기, 질량, 실리콘의 재료 등의 물성치를 다양하게 제작할 수 있도록 설계하여 시작품을 제작하는데 반영하였다.

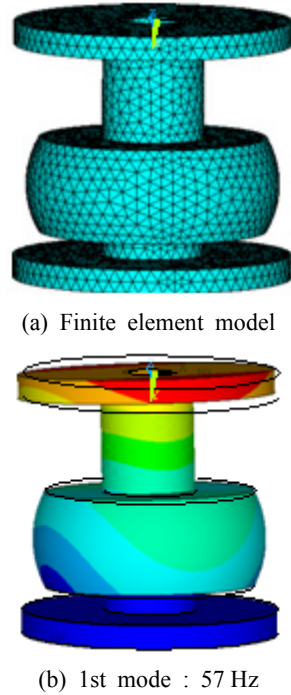


Fig. 8 Finite element model and 1st vibration mode of damper

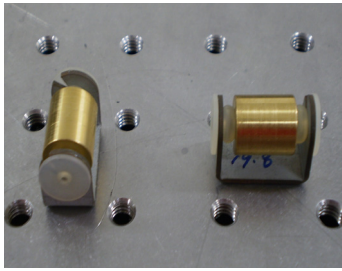
4. 시작품 제작 및 실험적 검증

4.1 시작품 제작 및 검증방법

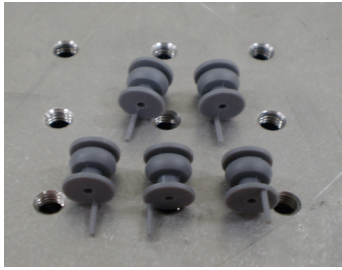
유한요소 해석 결과를 통하여 도출한 설계변수를 바탕으로 시작품을 다양하게 제작하였다. Fig. 9는 동흡진장치와 절연장치 시작품의 실제 사진이다. 시작품은 실험적으로 검증하였는데 시스템분석을 하기 위한 shaker test와 진동량을 측정하기 위한 overall analysis를 통하여 실시하였다. Fig. 10은 실험평가를 위한 장치구성도이다.

4.2 시작품의 실험적 검증

시스템분석을 통하여 시작품의 1차 고유진동수를 측정하고 쿨링팬에 시작품을 장착한 상태에서 PC의 진동량을 측정하였다. Fig. 11은 동흡진장치와 절연장치의 실험결과이며 1차 고유진동수가 동흡진장치는 46 Hz, 절연장치는 56 Hz이며 ansys를 통한 유한요소 해석 결과와 유사한 것을 알 수 있다. Table 1은 유한요소 해석 결과와 실험결과를 비교하기 위한 표이다.



(a) Dynamic absorber

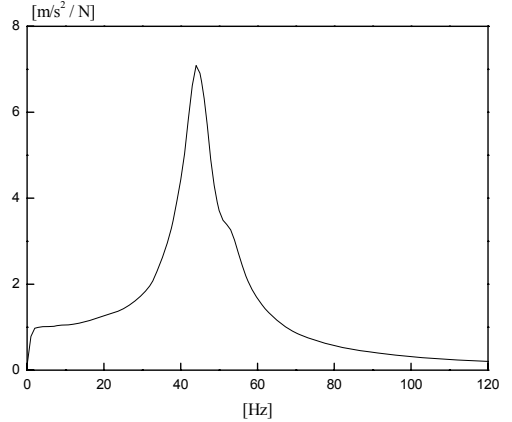


(b) Damper

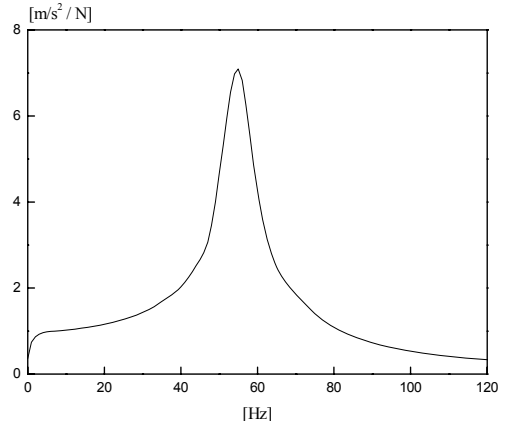
Fig. 9 The trial products of vibration absorber and damper

Table 1 The results of FEM and system analysis

	FEM	System analysis
Dynamic absorber	47 Hz	46 Hz
Damper	57.3 Hz	56 Hz

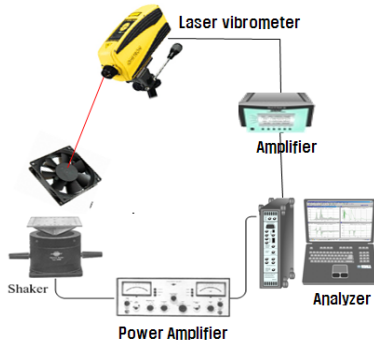


(a) Dynamic absorber(48 Hz)

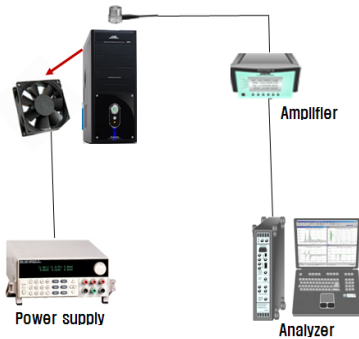


(b) Damper(56 Hz)

Fig. 11 Acceleration autospectrums of dynamic absorber and damper obtained from shaker test



(a) Shaker test



(b) Overall analysis

Fig. 10 Experimental setup for the test of trial products

시작품을 쿨링팬에 장착한 상태에서 PC의 진동량을 측정하여 시작품을 평가하였다. Fig. 12는 실험결과를 동흡진장치 및 절연장치가 없는 경우와 함께 보여주고 있는데 비교결과 진동을 저감하고자 했던 작동대역에서 커다란 진동저감효과를 확인하였다. 다만 1400 rpm의 낮은 회전속도에서 0.5 m/s² 정도의 진동이 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 쿨링팬을 볼트로 체결했을 때 보다 다소 헐거워진 구속조건 때문에 발생하는 것으로 판단되며 동흡진

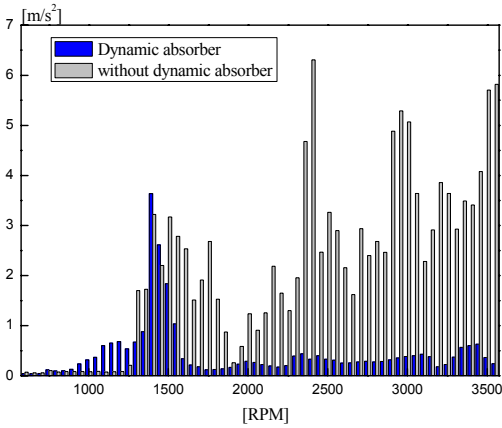


Fig. 12 Experimentally measured RMS of the PC with trial product

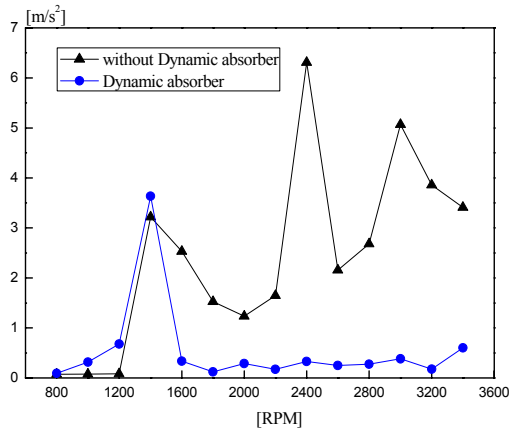


Fig. 13 The RMS values of the PC with 200 rpm interval

Table 2 The RMS values of the PC with 200 rpm interval

Speed(rpm)	Existing models(m/s ²)	Trial model(m/s ²)
800	0.074	0.093
1000	0.078	0.316
1200	0.084	0.677
1400	3.220	3.635
1600	2.532	0.337
1800	1.527	0.123
2000	1.233	0.289
2200	1.647	0.174
2400	6.307	0.331
2600	2.157	0.252
2800	2.681	0.278
3000	5.067	0.382
3200	3.858	0.177
3400	3.411	0.602
Average	2.154	0.445

Table 3 The vibration and noise level at 2880 rpm

	Existing models	Trial model
Vibration(m/s ²)	2.461	0.283
Noise level(dBA)	71	61

장치 및 절연장치의 설계대역에서 진동저감효과와 쿨링팬이 정상작동시 2880 rpm으로 구동되는 것을 감안하면 타당한 결과라고 할 수 있다. 정상작동상태에서 200 rpm 간격으로 진동량을 측정된 결과를 Table 2를 통해 정리하였다. 전체의 평균을 계산해 본 결과 기존모델의 경우에는 2.154 m/s²의 진동량을 나타내었으나 시작품을 장착하고 0.445 m/s²의 진동량을 나타내어 60% 이상의 커다란 진동저감

효과를 보여주고 있으며 Fig. 13은 Table 2를 도식화 한 것이다.

최종적인 평가를 위하여 시작품을 장착하고 정격 상태인 12V, 0.17 A에서 쿨링팬이 2880 rpm으로 구동될 경우의 진동량 및 소음레벨을 측정하였다. 소음레벨은 PC에서 1 m 떨어진 위치에서 소음계를 사용하여 반복측정 하였다. 실험결과는 기존모델과 시작품을 장착하였을 경우를 비교하여 Table 3에 나타내고 있는데 진동량의 경우 80% 이상, 소음레벨은 10 dB 정도의 저감효과를 알 수 있다.

5. 결 론

이 연구에서는 PC의 진동 및 소음저감을 위한 쿨링팬의 동흡진장치 및 절연장치를 개발하였다. 쿨링팬의 가진원을 분석하고 구조적인 문제점을 확인하여 저감시키고자 하는 관심주파수를 선정하였다. 또한 대상의 유한요소 해석 모델을 세워 설계변수를 도출하고 관심주파수영역 내에서 진동을 저감시킬 수 있는 동흡진장치 및 절연장치를 설계하였다. 다양한 시작품의 제작과 반복적인 실험과정을 통하여 PC의 진동 및 소음을 저감할 수 있는 시스템을

개발할 수 있었다. 이 연구결과는 향후 쿨링팬과 같이 회전하는 구조물의 편심에 의하여 발생하는 진동저감을 위하여 적용될 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 중소기업청에서 지원하는 2008년도 산학연공동기술개발사업(08-c1-08-914)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) Chung, J. T., 2004, Vibration Absorber for Reduction of the In-plane Vibration in an Optical Disk Drive, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 2, pp. 552~557.

(2) Heo, J. W., Chung, J. T. and Park, J. M., 2002, Vibration and Noise Reduction of an Optical Disk Drive by Using a Vibration Absorber, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 48, No. 4, pp. 874~878.

(3) Chung, J. T., Park, J. M. and Ro, D. S., 1997, Optimal Position of the Dampers in a CD-ROM Drive to Remove the Tilting Vibration Mode, Journal of Sound and Vibration, Vol. 7, No. 3, pp. 393~399.

(4) Kim, N. W., Kim, K. W. and Sin, H. C., 2007, A Design of a Dynamic Vibration Absorber for a DVD +/- RW Drive, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 53, No. 3, pp. 956~961.

(5) Park, C. H., Song, S. H., Shin, H. J. and Hong, S. C., 1993, A Study on the Behaviour of Nonlinear Dynamic Absorber, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 137~143.

(6) Kim, K. W., Kim, N. W., Lim, J. R. and Ahn, T. K., 2001, Dynamic Characteristics Prediction of Rubber Mounts for Anti-vibration of an Optical Disk Drive, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 18, No. 12, pp. 104~109.

(7) Bae, C. H., Cho, C. W., Yang, K. H. and Park, Y. P., 2001, Vibration Reduction by Dynamic Absorber of Vertical Pump System, Proceedings of the KSNVE Autumn Annual Conference 2001, pp. 628~632.

(8) Chung, J. T. and Kim, W. H., 2009, A Study on the Characteristic of Noise and Vibration in 3-phase Induction Motor for the Forklift, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 1, pp. 3~9.