

CD-ROM 메인 베이스에 적용한 압전 션트 회로의 어드미턴스 해석

Admittance Analysis for Piezo Shunt Circuit with Application to CD-ROM Main Base

김홍수[†], 박종성^{*}, 최승복^{**}, 박영필^{***}

Heung Soo Kim[†], Jong-Sung Park^{*}, Seung-Bok Choi^{**} and Young-Pil Park^{***}

Abstract

In this paper, vibration suppression of a CD-ROM main base with piezoelectric shunt circuit is studied. Admittance is introduced to predict the performance of piezoelectric shunt damping. Numerical admittance obtained by commercial finite element code, ANSYS, correlates well with experimentally measured one. Multi-mode piezoelectric shunt damping is realized based on the target mode and frequencies obtained by the admittance analysis. Experimental results prove that admittance of the piezoelectric structure is capable of predicting the performance of piezoelectric shunt damping and the vibration of the main base with the piezoelectric patches is reduced effectively.

Key Words : Admittance, piezoelectric shunt, vibration suppression, CD-ROM main base, optical disk drive

1. 서 론

광 디스크 드라이브(optical disk drive, O.D.D.)는 음성, 영상 및 데이터 정보 등 소위 멀티미디어 정보를 저장(기록) 하거나 재생(검색)하는데 있어서 대표적인 광 저장장치로써, 제 1 세대 계열의 CD-ROM, CD-R/RW, 그리고 제 2 세대 계열의 DVD-ROM/RAM/RW 등 다양한 미디어 형태를 이루며 하드 디스크 드라이브와 더불어 2 차 저장매체로써 확고한 위치를 차지하고 있다. 이들 중 특히 2 세대 미디어 용 저장기기의 경우, 높은 저장 밀도와 함께 안정적인 고속의 데이터 입,출력을 요구하고 있다[1]. 따라서, 드라이브 내에서 발생하는 진동 등에 의한 드라이브의 신뢰성 문제가 매우 중요시되고 있는 실정이다.

광 픽업 장치의 대물렌즈는 비교적 강성이 작은 구조물에 지지되어 있고, VCM(voice coil motor)

으로 구동되는 작동기로 구성되어 작은 전류에도 빠른 응답과 큰 가동 범위가 가능하도록 되어 있다. 그러나 드라이브가 고배속, 고밀도화 되어갈수록 외부의 진동 및 충격에 그 성능이 매우 민감하여 제어 가능 이상의 외란에 노출될 경우 기록 및 재생의 오동작 가능성이 높아지며, 또한 내부 진동원에 대해서도 대책이 마련되어야 하는 등 광 기록 재생 기기의 기본적인 구조상 진동에 매우 취약하다는 특성을 내재하고 있다[2]. 현재의 상용 광 디스크 드라이브에는 스피들 및 광 픽업을 포함하는 피딩 시스템의 진동 감쇠를 위하여 점탄성재의 방진부가 설치되어 내, 외부에서 발생하는 진동을 흡수하도록 하고 있는데, 내부의 불균형된 디스크로부터 발생하는 슬레드 베이스의 진동과 이로 인한 외부로의 진동 전달을 방지하기 위하여 적절한 강성과 감쇠를 갖는 방진부 설계가 필요하며, 현재 유한요소법을 이용한 방진재료의 거동 해석과 실험을 통한 연구가 진행되어 왔다. 또한, 24 배속 이상의 고배속 장치에서 기존의 점탄성 재료만을 이용한 방진부 설계의 한계를 극복하기 위하여 자동 불 균형장치를 채용하거나 ER 유체를 이용한 드라이브 마운트가 제안되었다[3,4]. 그러나 실제 드라이브에 있어서 테크 메커니즘을 구성하는 부품들의 진동 특성 역시 피딩 시스템의 진동 특성에 많은 영향을 주게되며, 특히 메인 베이

† 인하대학교 기계공학과
E-mail : heungsookim@inha.ac.kr
TEL : (032)860-8256 FAX : (032)868-1716

* 인하대학교 기계공학과

** 인하대학교 기계공학과

*** 연세대학교 기계공학과

논문접수일 (2005년 10월 4일)

스가 공진을 일으킬 경우 광 픽업에 의한 기록 및 재생과정에 치명적인 결함을 유발시킬 수 있다.

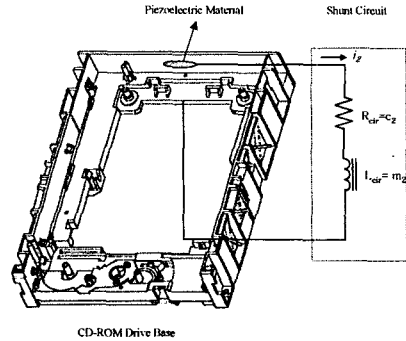
현재까지는 주로 방진부 설계에 대한 방향제시 차원에서 메인 베이스의 진동 특성 연구가 진행되고 있으며 압전 셉트회로를 이용하여 메인 베이스에 대한 단일모드 수동감쇠에 대한 연구도 시도되고 있지만[5] 메인 베이스의 압전 셉트 설계에 대한 방향제시는 이루어 지지 않았다. 압전 셉트 기법은 구조물에 가해지는 기계적 에너지를 해당 구조물에 부착된 압전체를 이용, 전기적 에너지로 변환 시키고 이 전기적 에너지를 셉트 회로의 저항에서 열로 소산 시키는 것이다[6-9]. 따라서 압전 셉트 시스템은 압전체가 부착된 구조물(압전 구조물)과 셉트 회로로 구성되며 효과적인 진동 또는 소음의 감소를 위해서는 압전 구조물 부분과 셉트 회로 부분을 각각의 기능에 맞도록 설계하는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 압전 셉트 시스템의 효율적인 진동 저감을 위해 압전 구조물의 설계 방법을 제안하고 이를 CD-ROM 메인 베이스에 응용하였다. 압전 셉트 성능을 향상시키기 위해서는 압전 구조물에서 기계적 에너지의 전기적 에너지로의 변환 효율이 높아야 하므로 본 논문에서는 압전 구조물의 전기-기계적 특성값인 어드미턴스(admittance)를 성능/설계 지수로 선정하였고, 이론과 실험을 통하여 해당 압전 구조물의 어드미턴스가 압전 셉트 시스템의 성능과 비례함을 밝힘으로써 어드미턴스가 압전 셉트 시스템의 설계/성능 지수가 될 수 있음을 검증 하였다.

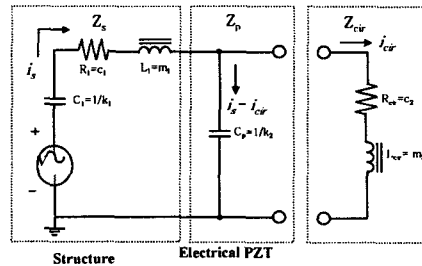
2. 압전 셉트 시스템의 어드미턴스

어드미턴스는 임피던스의 역수로 어떤 회로나 시스템에 흐르는 교류 흐름의 쉬운 정도를 의미한다. 전술한 바와 같이 압전 셉트 시스템은 기계적 에너지의 전기적 에너지로의 변환 과정이므로 변환 메커니즘을 담당하는 압전 구조물의 어드미턴스가 높다는 것은 변환된 전기에너지가 셉트회로로 쉽게 이동할 수 있다는 의미이고 만일 변환/이동된 에너지가 셉트 회로에서 모두 소산 된다고 가정 하면 어드미턴스는 압전 셉트 시스템의 감쇠 성능을 예측할 수 있는 지수(index)가 될 수 있다.

Fig. 1 (a)는 본 연구에서 제안된 CD-ROM 메인 베이스에 압전 셉트회로가 장착된 모습이고, 전기-기계 상사 모델을 이용하면 공진 압전 셉트 시스템은 Fig. 1(b)와 같이 모델링된다. 이 때 구조물(s), 압전 재료(p), 셉트 회로(cir)의 임피던스(Z)는 식(1)로 나타낼 수 있다.



(a) Schematic diagram of the proposed model



(b) Equivalent electrical model

Fig. 1 The propose model consisting of the CD-ROM main base with piezoelectric shunt circuit

$$Z_s(s) = m_1s + \frac{k_1}{s} + c_1 = j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + R_1$$

$$Z_p(s) = \frac{k_2}{s} = \frac{1}{j\omega C_0}$$

$$Z_{cir}(s) = L_{cir}s + R_{cir} = j\omega L_{cir} + R_{cir}$$

개회로 상태, 즉 $Z_{cir} = \infty$ 일 때, 외력에 의해 발생하는 압전 구조물의 전체 전류, I_O 는 식(2)로 주어지며

$$I_O = \frac{V_O}{(Z_s + Z_p)} = V_O \cdot Y_{sp}$$

여기서, $Y_{sp} = (Z_s + Z_p)^{-1} = I_O/V_O$ 이고 개회로 상태에서 압전 구조물의 어드미턴스이다. 또 $Z_{cir} \neq \infty \neq 0$ 일 때, 즉 셉트 회로가 연결되었을 때 발생하는 압전 셉트 시스템의 전체 전류는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = I_s = I_p + I_{cir} = V_{cir} \cdot \left(\frac{Z_p + Z_{cir}}{Z_p \cdot Z_{cir}} \right)$$

셉트 회로, Z_{cir} 가 연결되기 전과 후에 동일한 조건의 외력이 압전 구조물에 작용한다면 발생하는 전체의 charge 양은 같으므로 $I_O = I$ 이고 식(2)와 (3)으로 부터 셉트 회로에 인가되는 전압 V_{cir} 과 전류 I_{cir} 은 식(4)가 된다.

$$V_{cir} = V_O \cdot Y_{sp} \cdot \frac{Z_p \cdot Z_{cir}}{Z_p + Z_{cir}} \quad (4)$$

$$I_{cir} = \frac{Z_p}{Z_p + Z_{cir}} \cdot I_O$$

공진 셉트 회로의 저항에서 소산되는 에너지, P_D 는 식(5)로 나타낼 수 있으며,

$$P_D = \frac{1}{2} |V_{cir}^R \cdot I_{cir}^*| = \frac{1}{2} \text{Re}(Z_{cir}) \cdot |I_{cir}|^2$$

$$= \frac{1}{2} \text{Re}(Z_{cir}) \cdot \left| \frac{Z_p}{Z_p + Z_{cir}} \right|^2 \cdot |I_O|^2 \quad (5)$$

$$= \frac{1}{2} \text{Re}(Z_{cir}) \cdot \left| \frac{Z_p}{Z_p + Z_{cir}} \right|^2 \cdot |V_O|^2 \cdot |Y_{sp}|^2$$

여기서 V_{cir}^R 은 공진 셉트 회로의 저항 양단에 걸리는 전압이고 I_{cir}^* 는 셉트 회로에 흐르는 전류의 복소 공액(complex conjugate)이다. 식(5)에서 알 수 있듯이 어떤 주파수에서 압전 재료와 셉트 회로의 임피던스가 동일하다면 회로에서 소산되는 감쇠 에너지는 개회로 상태의 압전 구조물 전기-기계적 특성치인 I_O 또는 V_O 그리고 Y_{sp} 의 제곱에 비례한다는 것을 알 수 있으며 따라서 개회로 상태의 압전 구조물 어드미턴스 Y_{sp} 는 압전 셉트 시스템 성능의 지표가 된다.

압전 구조물의 어드미턴스는 임피던스 측정기를 이용하여 손쉽게 측정할 수 있다. 그러나 이미 제작된 압전 구조물의 성능 평가를 위해서 임피던스 측정기를 사용하는 것은 유용하지만 압전 구조물의 설계 단계에서 사용하는 것은 다수의 압전 구조물을 제작해야 하는 등의 시간과 재화의 낭비가 발생한다. 따라서 효율적인 압전 구조물의 설계를 위해서 해당 압전 구조물의 어드미턴스를 예측하는 것은 매우 중요하다. 압전 구조물의 어드미턴스 계산은 해석적인 방법과 수치적인 방법으로 나눌 수 있으며 본 연구에서는 수치적인 방법 중 하나인 유한 요소 해석을 이용하였다.

R. Lerch[10]가 제안한 유한 요소 행렬 방정식에서 압전 재료의 전극 표면에 흐르는 전류는 계산된 각 노드의 전하량을 이용하면 얻을 수 있

며 압전 재료의 어드미턴스는 식(6)과 같이 얻을 수 있다. 본 연구에서는 ANSYS™를 이용하였다.

$$|Y| = \left| \frac{I}{V} \right|, \quad I = i\omega \sum_i Q_i \quad (6)$$

3. 압전 메인 베이스의 어드미턴스 해석

3.1 메인 베이스의 동특성

메인 베이스의 동특성을 파악하기 위해 모드 해석을 실시하였다. 메인 베이스는 각종 보강용 리브(rib)와 보스(boss), 홀(hole)등이 있는 복잡한 구조물로 크기는 W x H x D 각각 약 140 x 40 x 180 mm 이며 재질은 ABS 와 PBT 를 혼합한 고분자 플라스틱 이다. Fig. 2 는 메인 베이스의 유한 요소 모델이고 절점은 7009 개, 요소는 6797 개 이며 4 절점 표면 요소(4 node shell element)를 사용하였다.

Fig. 3 은 메인 베이스의 모드 해석 결과를 나타낸다. 모드 1 이 287.7Hz 에서 나타나며 변위가 발생하는 부분은 메인 베이스의 전면부임을 알 수 있고 메인 베이스 후면에 399Hz, 535Hz 그리고 654Hz 에서 큰 변위가 발생됨을 알 수 있다. 전술한 바와 같이 첫번째 모드에서 일반적으로 가장 큰 변위가 생성되지만 메인 베이스의 경우 전면부는 구조의 복잡성으로 압전 재료를 부착하기 힘든 구조로 되어있다. 게다가 이 부분은 O.D.D가 조립될 때 디스크 로딩 모터(disc loading motor)와 부속 PCB 가 장착되는 곳이기 때문에 조립 후 전면 부분의 강성이 매우 높다. 따라서 모드 1 이 발생하는 전면부 보다는 압전 재료를 장착하기 쉽고 모든 부품이 조립되어도 강성의 변화가 크게 없는 후면부의 진동을 감쇠 목표로 설정하였다. 모드 해석의 결과를 검증하기 위해서 실험장치를 구성하고 메인 베이스의 후면에 가속도계를 부착하여 메인 베이스의 주파수 응답을 측정하였다. 측정 결과와 해석과의 비교 결과를 Table 1 에 정리하였다. 해석과 비교하여 발생 주파수는 최대 3.2% 이내에서 일치하고 있음을 알 수 있고 이에 따라 모드 해석의 유효성을 확보할 수 있었다.

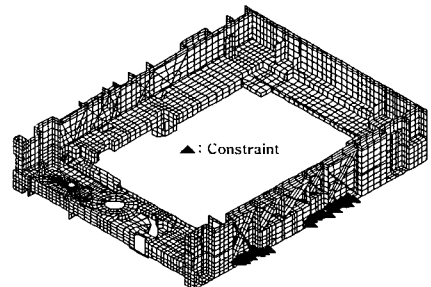


Fig. 2 Finite element model of the CD-ROM main base

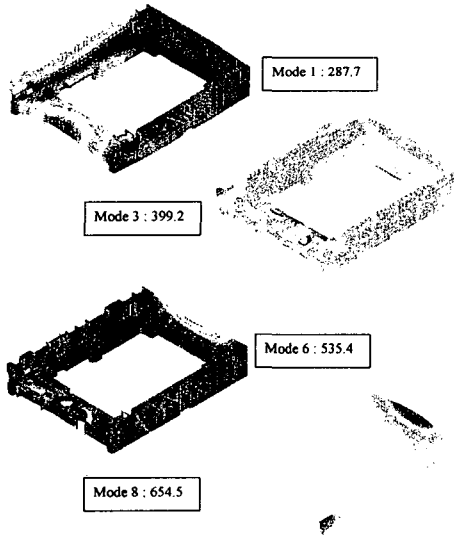


Fig. 3 Selected finite element modal analysis results of the main base

Table 1 Natural frequencies between F.E. modal analysis and experimental results

Mode	Finite Element Method	Experiment	Relative error (%)
	Frequency (Hz)	Frequency (Hz)	
3	399.2	411.9	3.2
6	535.4	529.3	1.1
8	654.5	634.7	3.0

3.2 압전 메인 베이스의 어드미턴스 해석

모달 해석의 결과를 이용하여 메인 베이스 후면에 적절한 크기의 압전 재료를 부착 하였다. 부착된 압전 재료는 PZT 5H 를 이용하였고 크기는 W x H x D 각각 25 x 50 x 1 mm 이다. 또 셉트 성능을 강화 하기 위해 압전 구조물의 후면에 2 개의 압전 재료를 메인 베이스 후면의 앞과 뒤, 쌍으로 부착하였다. Fig. 4 에 압전 재료가 장착된 메인 베이스의 유한 요소 모델을 도시하였다. 이제 압전 재료가 부착된 압전 메인 베이스의 동특성을 파악 하기 위해 다시 모드 해석을 실시하였고 그 결과를 Fig. 5 에 나타내었다. 메인 베이스가 플라스틱 재질이므로 밀도가 낮고 따라서 후면부에 부착된 압전 재료의 질량 효과로 원래의 메인 베이스 동특성과 차이가 크게 발생함을 알 수 있다. 먼저 후면부에서 발생했던 주요 모드 6 과 3 이 모드 1 과 3 으로 변경되어 나타났으며 기존의 전면부 모드 1 의 형상은 모드 2 으로 나타난다. 한편 기존의 모드 8 은 약 80Hz 의 주파수 감소를 보이며 모드 7 번으로 변경되었다. 전체적으로 질량 효과에 의해 모드 발생 주파수가 낮아졌으며 특히 후면의 변형에 관계된 모드들의 주파수는 최대 200Hz 정도 하강하였다.

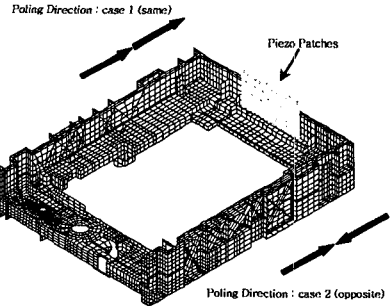


Fig. 4 Finite element model of the main base with piezoelectric patches

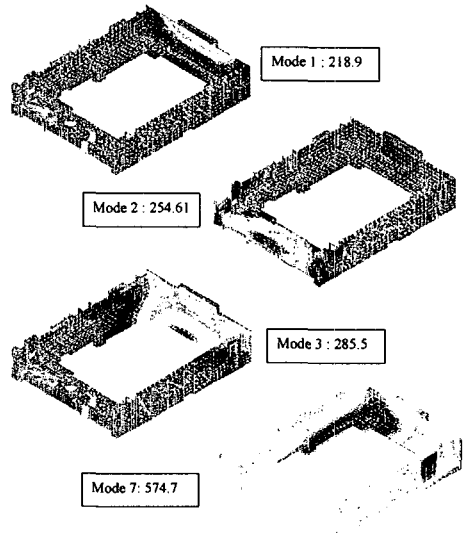


Fig. 5 Selected finite element modal analysis results of the main base with piezoelectric patches

압전 메인 베이스의 동특성과 압전 셉트 성능을 예측하기 위해 압전 메인 베이스의 어드미턴스 해석과 측정을 수행하였다. 모델은 Fig. 4 와 동일하며 압전 재료를 앞, 뒤로 두개를 붙였기 때문에 압전 재료들의 극 방향을 달리하여 해석을 수행하고 해석 결과를 검증하기 위해 임피던스 측정기를 이용하여 해석과 동일하게 압전 재료의 극을 변경하면서 어드미턴스를 측정하였다. 극 방향이 같은 경우, 유한요소를 이용한 어드미턴스 해석 결과를 Fig. 6 에 나타내었다. 극 방향이 다른 경우에도 어드미턴스의 형태는 Fig. 6 과 같이 나타난다. 이 결과들 중 콘덕턴스의 유의성 있는 증가를 보인 세 주파수에 대한 결과를 Table 2 에 정리하여 나타내었다. 실험과 해석 모두 극 방향 2 의 경우 극 방향 1 에 비해 어드미턴스의 크기가 매우 작으며 이는 극 방향 2 를 셉트 회로에 연결하여도 진동 감쇠 효과가 적다는 것을 의미한다. 한편 극 방향 1 의 경우 어드미턴스의 발생 경향은 해석과 실험이 매우 유사함을 보이고 있고 발생 주파수의 차

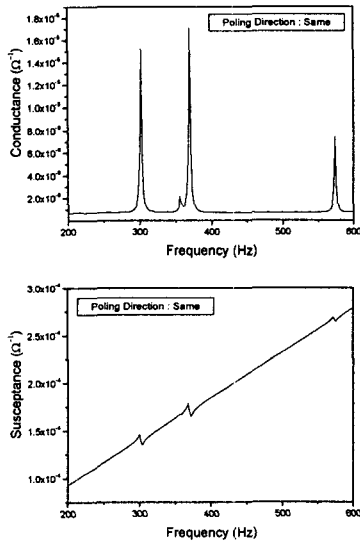


Fig. 6 Admittance - F.E.M. analysis results of the main base for the same poling direction

Table 2 Admittance comparison between F. E. M. and experiment by poling direction

Poling Direction	Experiment		F.E.M.	
	Freq. (Hz)	Admit. (Ω^{-1})	Freq. (Hz)	Admit. (Ω^{-1})
Case 1	316	1.66E-04	300	1.47E-04
	383	2.00E-04	368	1.78E-04
	533	2.73E-04	572	2.69E-04
Case 2	314	8.19E-05	300	4.81E-05
	382	9.98E-05	368	5.97E-05
	533	1.39E-04	572	9.20E-05

이도 10%이내로 해석과 실험의 결과가 일치함을 알 수 있고 이에 따라 어드미턴스가 급격하게 증가하는 세 군데의 주파수에서 진동 감쇠 효과가 있음을 예측할 수 있다.

3.3 압전 메인 베이스의 진동감쇠 실험

어드미턴스 해석을 통하여 압전 재료의 연결 방향을 결정하였고 감쇠 가능 주파수도 파악 되었다. 이제 극 방향 1로 압전 재료와 션트 회로를 연결하여 방향으로 압전 감쇠 실험을 수행하였다. 사용된 회로는 공진 회로이며 Fig. 7은 실험의 개략도를 나타낸다.

어드미턴스 해석으로 예측된 세 주파수 중에서 2개의 모드에 대한 메인 베이스의 감쇠 성능을 주파수 응답과 시간에 따른 응답을 Fig. 8과 9에 나타내었다. 예측된 2개의 주파수에서 모두 약 6dB의 감쇠 효과를 보이고 있음을 알 수 있다.

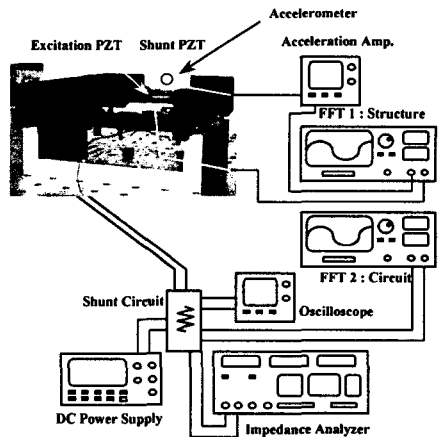


Fig. 7 Schematic diagram of the main base shunt performance test apparatus

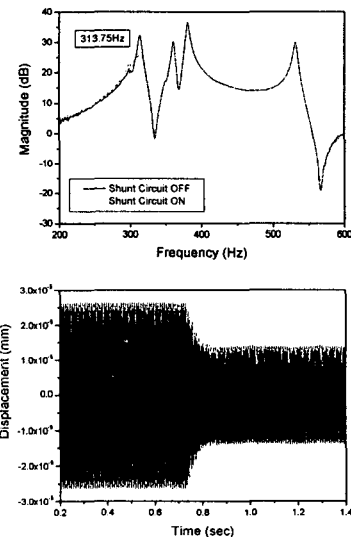


Fig. 8 Frequency and time responses of piezoelectric shunt damping at mode 1

각 주파수에서 시간에 따른 변위의 변화를 살펴보면 첫번째 감쇠 주파수인 313Hz에서는 26.2 μm 의 진동이 14.2 μm 로 감소하였고 두번째는 17.1 μm 의 진동이 8.1 μm 로 최대 약 50%의 진폭이 감쇠되었다. 한편 극 방향 2를 연결하여 압전 감쇠 실험을 수행하였으나 진동 감쇠 효과는 거의 나타나지 않았고 따라서 어드미턴스 해석이 유효함을 입증할 수 있었다. 추후 개별 부품이 아닌 전체 O.D.D.의 동특성을 파악하여 감쇠 주파수를 결정하고 또 압전 재료의 최적 부착 위치 및 형상 그리고 개수 등을 어드미턴스 해석으로 결정하여 기존 O.D.D.의 진동/소음은 물론 O.D.D.가 설치되는 컴퓨터에의 진동/소음 문제도 감쇠시키는 연구가 뒤따라야 할 것이다.

참고문헌

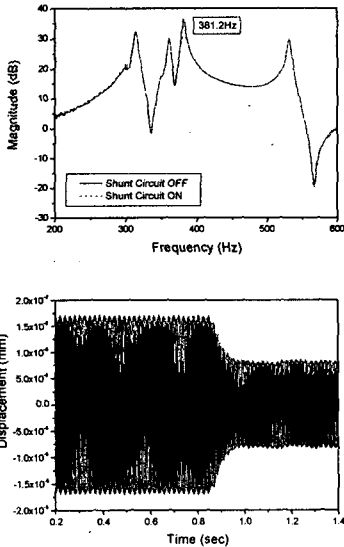


Fig. 9 Frequency and time responses of piezoelectric shunt damping at mode 3

4. 결론

본 연구에서는 압전 선트를 이용한 CD-ROM 메인 베이스의 진동 감쇠를 연구하였다. 압전 감쇠의 성능을 예측하기 위해 압전구조물의 어드미턴스를 도입하였다. CD-ROM 메인 베이스의 동특성을 확인하기 위해 유한요소법과 실험을 통하여 모달 해석을 수행하였다. 그리고 모달 해석에 기초해서 압전 재료를 붙이고 CD-ROM 메인 베이스의 전기-기계적인 특성을 어드미턴스 해석을 통하여 구하였다. 어드미턴스가 압전 선트 성능에 미치는 영향을 수학적으로 검토하였으며, 공진 선트 회로를 이용하여 압전감쇠를 수행하였다. 압전 감쇠 실험을 통하여 어드미턴스가 압전 선트의 성능을 예측할 수 있음을 확인하였다. 또한, 압전 선트가 메인 베이스의 진동을 효과적으로 줄일 수 있음을 관찰하였다. 따라서 압전 선트를 이용할 경우 CD-ROM 드라이브의 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 하지만, 압전 구조물의 어드미턴스와 선트 성능과의 정확한 수치적 관계는 도출하지 못하였다. 즉 압전 선트 기법을 적용할 때 어드미턴스의 크기를 통해 몇 mm의 진폭이 감쇠되었는지의 수치적 관계는 파악되지 않는다. 따라서, 앞으로 어드미턴스를 이용하여 선트 성능을 완벽히 예측할 수 있는 연구가 수행되어야 한다.

후 기

본 연구는 연세대학교 정보저장기기 연구센터의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사 드립니다.

[1] S.H. Chang, H.S. Kim, J.K. Choi, D.G. Lee, 1998, "A Study on the Design of Vibration Damper for High Speed CD-ROM Drive," *Journal (A) of Korean Society Mechanical Engineering* Vol.22. pp.939-952.

[2] N.W. Kim, K.W. Kim, G. Hong, M.C. Chung, W.Y. Kim, 1999, "An Anti-vibration Design of a Slim Type Optical Disk Drive," *Journal of Korean Society Noise and Vibration Engineering* Vol.9, pp.324-330.

[3] J. Lee, W.K. Van Moorhen, 1996, "Analytical and Experimental Analysis of a Self-Compensating Dynamic Balancer in a Rotating Mechanism," *ASME Journal of Dynamic System, Measurements, and Control* Vol.118, pp.468-475.

[4] S.C. Lim, J.S. Park, S.B. Choi, Y.P. Park, 2001, "Vibration Control of a CD-ROM Feeding System Using Electro-Rheological Mounts," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* Vol.12, pp. 629-637.

[5] J.S. Park, S.C. Lim, S.B. Choi, J.H. Kim, Y.P. Park, 2004, "Vibration Reduction of a CD-ROM Drive Base Using a Piezoelectric Shunt Circuit," *Journal of Sound and Vibration* Vol.269, pp.1111-1118.

[6] N.W. Hagood, A. Von Flotow, 1991, "Damping of Structural Vibrations with Piezoelectric Materials and Passive Electrical Networks," *Journal of Sound and Vibration* Vol.146, pp.243-268.

[7] H. Asheley, D.L. Edberg, 1985, "On the Virtues and Prospects for Passive Damping in Large Space Structures," *Air Force Damping Workshop II*.

[8] J.J. Hollkamp, 1994, "Multimodal Passive Vibration Suppression with Piezoelectric Materials and Resonant Shunts," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* Vol.5, pp.49-57.

[9] J. Kim, Y. H. Ryu, S. B. Choi, 2000, "New Shunting Parameter Tuning Method for Piezoelectric Damping Based on Measured Electrical Impedance," *Smart Materials and Systems* Vol.9, pp.868-877.

[10] G.A. Lesieutre, 1998, "Vibration Damping and Control Using Shunted Piezoelectric Materials," *The Shock and Vibration Digest* Vol.30, pp.187-195.