

하드디스크 드라이브에서의 소음 저감에 관한 연구

○곽주영* · 손진승* · 이행수* · 홍민표* · 고정석* · 조은형* · 좌성훈*

A Study of Noise Reduction in Hard Disk Drive

Joo Young Kwak, Jin Seung Sohn, Haeng Soo Lee, Min Pyo Hong, Jeong Seok Koh,
Eun Hyung Cho, Sung Hoon Choa

ABSTRACT

This paper proposed a method of reducing a noise in hard disk drive. This method is performed through three parts of procedures. First procedure is sound-oriented experiment, which contains sound intensity techniques and measurements of sound pressure level and sound power. Second is vibration-oriented experiment, which contains FRF(Frequency Response Function) analysis and disk vibration reduction techniques. And the third is computer-oriented simulation, which contains modal analysis and force vibration analysis using ANSYS and sound radiation prediction using SYSNOISE. As these three parts can affect with each other, they should be considered and conducted simultaneously. Through this procedure sound power is measured 2.7 Bels in idle-spinning mode, which is the lowest noise level in the HDD industries.

1. 서론

HDD(hard disk drive)는 대용량화, 고속화의 꾸준한 기술발전이 힘입어 21세기 Digital Multimedia 시대에도 대표적인 저장매체로 이용되고 있다. 특히 최근에는 AV 기기에도 장착이 되는 사례가 늘어나면서 그 응용범위가 확대되고 있다. 이러한 현실은 곧 HDD가 사용자에게 점점 가까이 다가감을 의미하며 결과적으로 개발자의 입장에서는 무엇보다도 소음 저감이라는 피할 수 없는 문제를 해결해야함을 의미한다.

HDD의 소음은 일반기계구조물의 소음에 비하여 그 절대 음압이 매우 낮은 편이지만 전술한 것처럼 점점 Desktop PC에 국한되지 않고 게임기나 VTR에 내장되는 등 사용자의 일상생활에 파고 들고 있으며, 그 소음성분 역시 인간의 민감가청대역인 1.5kHz 성분들이 지배적이기 때문에 더욱 철저한 소음제어가 필요하다고 할 수 있다 [1]. 또한 PC 업체들은 HDD의 소음성능에 대해 더욱 엄격한 사양을 요구하고 있으며 최근 들어 'Sound quality'까지 관리하는 업체가 있어, HDD의 소음에 대한 연구는 지속적인 발전을 보이고 있다.

국내에서도 HDD 소음 저감에 대한 연구가 최근에 상당히 진전되어 많은 성과를 거두고 있다. 즉, 소음원인 스피들 모터의 구조 변경을 통한 소음의 저감 연구[2], 소음 전달 경로에서 이를 차단하려는 연구[3] 및 구조물의 동특성 변경을 통한 진동의 제어[4,5]와 연관된 소음의 저감 연구 등이 있다.

본 논문에서는 지금까지 삼성에서 꾸준히 발전시켜온 HDD의 소음 제어 방법들을 이용하여 새로운 플랫폼을 갖는 HDD의 소음 저감 과정을 보이고자 한다. 그 방법을 크게 나누면 다음의 세가지로 요약될 수 있는데, 첫째 소음의 관점에서는 기본적으로 음압레벨(sound pressure level, SPL)을 측정하여 현 시스템의 소음특성을 파악하고 Sound Intensity를 측정하여 취약지점을 보강한다. 둘째, 진동의 관점에서는 FRF(frequency response function)를 측정하여 진동특성을 파악하고 소음에 영향을 줄 수 있는 인자들과 관련된 진동 실험 및 분석을 하여 소음 저감 대책을 강구한다. 셋째, 컴퓨터 시뮬레이션 관점에서는 ANSYS를 이용한 모드해석과 강제진동해석을 행하고 SYSNOISE를 이용한 음향방사예측을 한다. 최종 소음 저감 결과는 Sound Power로 확인하게 된다. 위 세가지 방법은 서로 보완적인 기능을 하면서 시스템에 적용되

* 삼성종합기술원 Storage LAB.

어 목표하는 소음 저감을 구현한다. 특히 본문에서는 소음 저감을 위해서 기존에 사용하였던 Noise Barrier 를 제거한 후 베이스와 커버의 두께 및 형상을 적절히 조절하였으며, 디스크와 베이스 간의 갭 간격 조절, 그리고 Whirl Damper 등의 적용을 통하여 HDD 업계 최저 소음 수준인 2.7 Bels 를 달성한 현장개발사례를 보이고자 한다.

2. 실험 장치 및 측정 방법

2.1 음압레벨 측정 실험

음압레벨 측정 규격은 HDD 로부터 수직 1m 위에서 측정하게 되어 있으나 최근 HDD 가 점점 저소음화 되어 기존의 1m 측정으로는 소음 저감 효과의 파악이 어려운 점을 감안하여 본 실험에서는 0.5m 의 간격을 두고 음압레벨을 측정하였다. 여기에서 기본적인고도 중요한 사항은 무향실 압소음 조건이다. HDD 의 음압레벨이 현재 대략 25dBA 전후이므로 최소한 15dBA 정도의 압소음을 확보할 수 있는 무향실 및 실험 장비를 확보해야 한다.

2.2 음향파워 측정 실험

HDD 업계에서 소음에 대한 수치는 음향파워(sound power)로 나타내므로 신뢰할만한 음향파워 측정이 요구된다. 본 실험에서는 ISO3745 규격에 맞게 반무향실 조건에 10 개의 마이크로폰을 반구 형태로 세팅하여 A-Weighted 1/3-Octave Band 분석을 통하여 0.1~20kHz 에서 측정하였다[3].

2.3 음향인텐시티 측정 실험

전술한 음압레벨이나 음향파워와는 달리 벡터량으로 정의되는 음향인텐시티(sound intensity)는 음원의 위치파악, 음향에너지의 전파형태를 파악하기 위해 측정한다. 본 실험에서는 상용 인텐시티 프로우브(B&K 3545)를 사용하여 측정하여 분석하였다[3].

3. 실험 결과 및 분석

3.1 소음 저감의 전과정

초기 개발 목표였던 음향파워(sound power) 2.8/3.0Bel (Typ/Max)을 달성하기 위해 문헌 [5]에서 개발된 소음 해석 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 해석을 한 후, 실험샘플을 제작하여 실험을 행하였다. 해석과 실험의 상호 활동을 통하여 소음 저감을 행한 전과정이 Fig. 1 과 같다. 본 논문에서는 실험의 측면에서 그 과정을 전개하고자 한다.

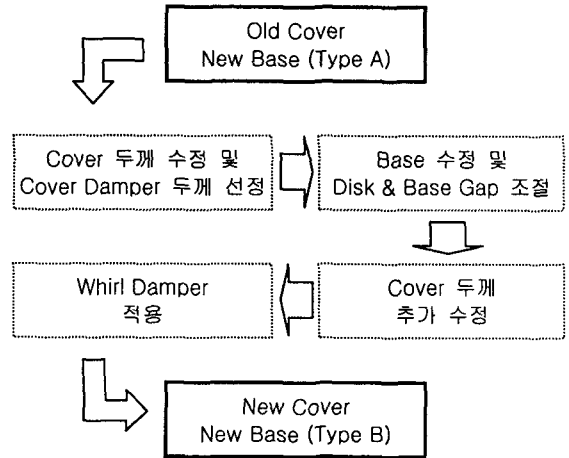


Fig. 1 소음저감의 전과정

3.2 Cover 두께 수정 및 Cover Damper 두께 선정 - Step 1

소음개선 과정의 첫번째 단계로서 진동 및 충격 개선을 위해 베이스의 두께를 늘렸는데 기존 양산품에 쓰이던 커버를 두꺼운 베이스에 맞게 수정후 장착하여 소음실험을 행한 결과 양산중인 HDD 보다 소음성능이 떨어짐이 확인되었다. 단순히 커버 두께를 두껍게 한 결과도 좋지 않음을 알 수 있었다. 또한 원가절감의 차원에서 기존의 Noise Barrier(Fig. 2)를 제거하면서 기존대비 동등 또는 우세한 소음 성능을 확보해야 했으므로 새로운 커버의 제작이 불가피하였다. 5400 rpm 으로 회전하는 HDD 는 Cogging Frequency 라고 불리는 2160Hz 에 주요 가진 성분이 있고 이 주파수 근방에서 소음 방사가 가장 크게 일어날 수 있는 모드가 있다고 알려져 있어[2], 소음저감 설계에서는 이 가진 성분과 모드를 회피해서 설계하는 것이 가장 우선적으로 고려되어야 한다. 이런 방안을 기본으로 소음 해석을 통하여 Noise Barrier 가 없는 얇은 커버(두께, 1.18t) 모델을 제안 받아 샘플

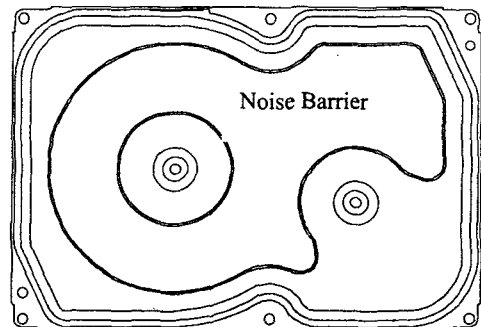


Fig. 2 "9"자 형상의 Noise Barrier

을 제작하여 실험을 행하였다. 그 결과 목표했던 2160Hz 성분의 피크값이 낮아진 것을 확인하였고 이 결과로 미루어, 개발중인 두께운 베이스 모델에 맞는 커버는 Noise Barrier 를 제거하면서 얇은 쪽으로 가는 것이 맞다고 판단되어 추후 작업을 수행하였다.

현재의 1.18t 커버에는 기존 양산에서 쓰이던 0.63t Cover Damper 가 장착되어 있는데 이 Cover Damper 의 두께도 최적화할 필요가 있어 시뮬레이션 결과를 바탕으로 여러 가지 두께를 제안 받아 Cover Damper 두께 선정을 위한 실험을 행하였다. 아래 표는 그 실험 결과로서 Cover Damper 가 0.8t 이상 되어야 함을 알 수 있다. 그러나 Cover Damper 가 두꺼울수록 원가가 상승하므로 원가 절감을 고려하여 두께를 0.8t 로 결정하였다.

표 1. Cover Damper 두께 선정 실험 (단위, dBA)

Thickness	Sound Pressure Level (PCB DN/UP)
0.4t	22.7 / 21.8
0.8t	21.8 / 21.5
1.0t	21.8 / 21.4
1.2t	21.8 / 21.5

한편, 부분적인 소음개선을 위해 Sound Intensity 를 측정하였는데 그 결과 오른쪽 Fig. 3 에서 보듯이 커버쪽 VCM(voice coil motor) 부위에서 소음값이 크게 나타났으며 SPL 측정에서도 확인되었다. 이는 VCM 상단부에 고무재질의 Damper 를 붙임으로써 해결하였다.

3.3 베이스 수정 및 디스크와 베이스 사이 갭 조절 - Step 2

베이스쪽은 Sound Intensity 측정 결과 특별한 소음원이 발생하지 않았다. 다만 Fig. 4 에서 보듯이 7~8kHz 대역에서 모터 장착 부위 위쪽에 소음원이 다소 있는 것으로 나타나 이에 대한 대책이 요구되었다. 따라서 무게를 줄이면서 강성은 유지하는 개념으로 베이스쪽 형상을 Fig. 5 와 같이 일명 Honeycomb 형상으로 하였다. 그러나 베이스 수정 후 SPL 을 측정한 결과(Fig. 6), Honeycomb type 이 수정 전 모델(Plain type, 즉 Honeycomb 형상이 없는 모델)에 비하여 4kHz 대역의 피크치 상승으로 인해 불리한 결과를 보였으며, 900Hz 부근에서 2160Hz 못지 않은 피크치가 있는 것으로 파악되었다. 이 대역들은 현재의 소음 시뮬레이션 툴로는 신뢰할 수 있는 결과를 얻기가 어려워 다양한 실험을 통해 접근하는 대책이 필요하였다.

먼저 4kHz 대역의 소음증가 원인을 파악하기 위해 모터에 random(white noise) 가진을 주고 laser scanning vibrometer 를 이용하여 베이스부의 주파수 특성을 구한 결과 Fig. 7 과 같이 Honeycomb type

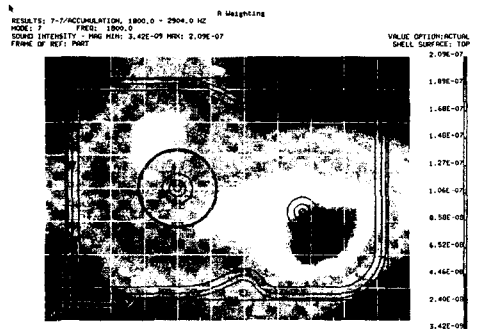
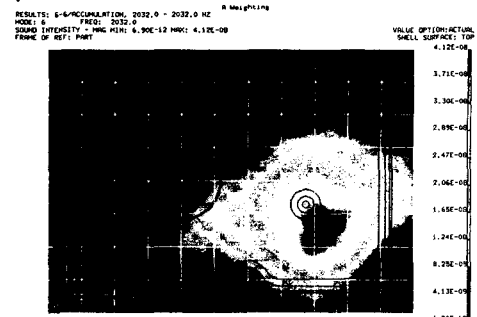


Fig. 3 커버쪽 Sound Intensity 측정 결과

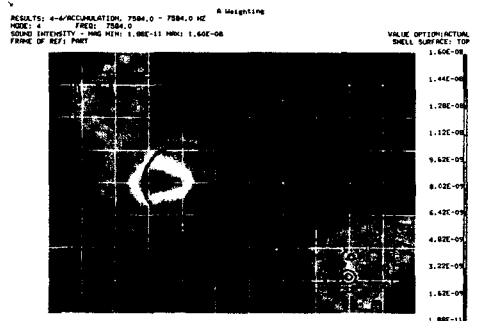
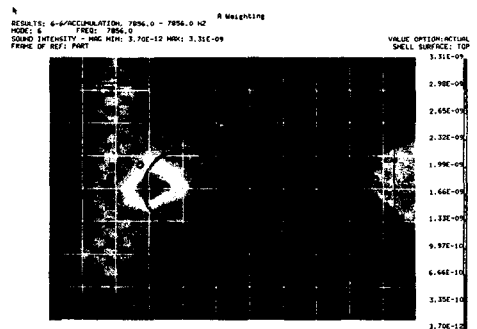


Fig. 4 베이스쪽 Sound Intensity 측정 결과



Fig. 5 Honeycomb type Base

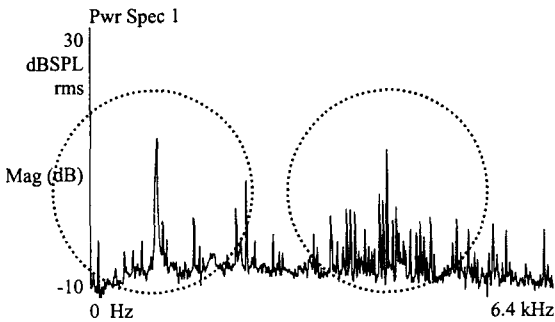


Fig. 6 Honeycomb type Base SPL 측정 결과 (900Hz, 4kHz 대역 피크값 발생)

으로 수정한 후 4kHz 대역의 gain 값이 상승했음을 알 수 있다. 이는 곧 이 대역의 구조적인 입력 모빌리티(Structural input mobility)가 상승하여 결과적으로 소음에서 4kHz 대역이 상승했다는 의미가 된다. 음향학적으로 볼 때 구조물로 입력되는 진동 입력 파워와 구조물로부터 방사되는 음향방사 파워가 단순 비례관계로 설명될 수는 없으나[6], 진동 입력 파워와 직접적으로 관련 있는 국부적인 입력 모빌리티가 구조 소음에 의한 음향방사 파워 제어에 효과적일 수 있다는 연구 결과[7]를 바탕

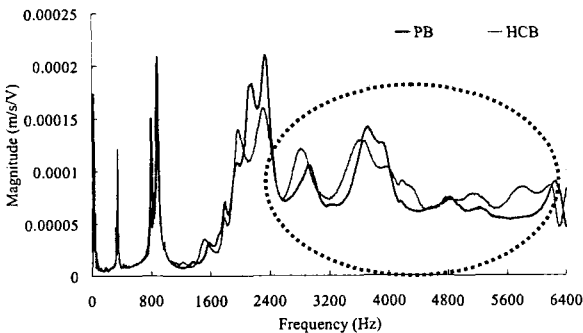


Fig. 7 베이스 형상에 따른 입력 모빌리티 변화

으로 입력 모빌리티의 절대 레벨을 줄이기 위해 베이스 형상을 바꾸기로 했다.

다음으로 900Hz 부근의 소음 상승 원인을 알아내기 위하여 충격 해머를 이용한 모달 실험[8]을 수행했고 이를 통해 소음 및 진동원이 디스크(0,0) 모드의 진동에 의한 것임을 알 수 있었다. 이를 개선하기 위해 디스크와 베이스간의 간극을 조절하여 디스크 진동을 줄일 수 있었던 연구결과[8]를 바탕으로 0.6mm 간극을 적용하기로 하였다. Fig. 8, 9는 위의 두 가지 분석을 적용한 결과로서 베이스 두께를 늘리면서 디스크와 베이스간의 간극을 0.6mm 로 유지하기 위해 베이스 상단에 1.5mm 높이의 C 자 형상 모델을 제작하였고, Fig. 10~11 에서 보는 바와 같이 진동 및 소음에서 저감 효과를 확인하였다.

3.4 커버 두께 추가 수정 - Step 3

베이스가 부분 수정됨에 따라 2160Hz 에 대한 추가적인 저감이 필요하다는 판단하에, 1.18t 인 기존의 커버 두께를 최적화 기법과 시뮬레이션을 통해 0.8t와 1.0t로 제안 받아 이에 따라 샘플을 제

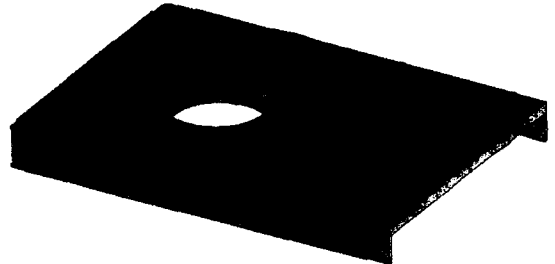


Fig. 8 Honeycomb type Base + 1.5mm height C Shape

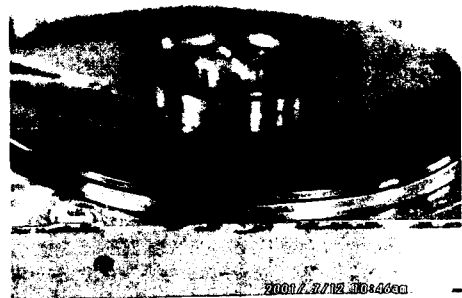


Fig. 9 0.6mm gap between disk and base

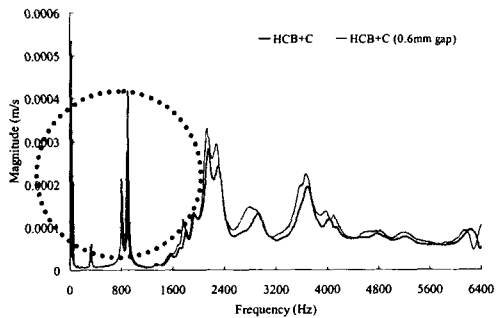
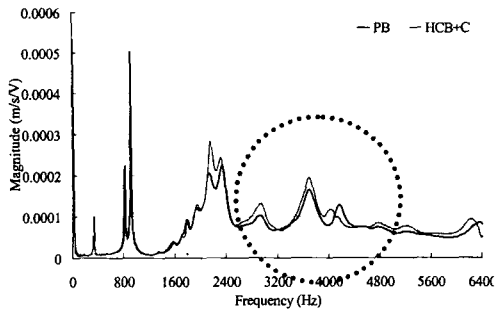
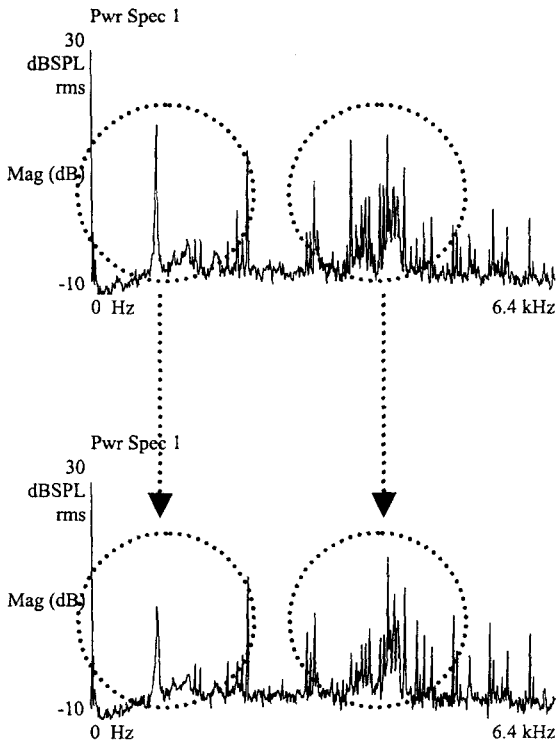


Fig. 10 개선 전후 베이스의 입력 모빌리티 변화

Fig. 11 개선 전후 900Hz, 4kHz 부근 소음레벨 저감
표 2. 커버 두께 수정에 따른 SPL 측정 결과



두께	Sound Pressure Level (dBA)	
	PCB DN	PCB UP
0.8t	22.6/23.1/22.5/2	22.1/22.5/22.1/2
	2.1	1.6
1.0t	22.5/22.5/22.1/2	22.2/22.3/21.8/2
	2.0	1.6
1.18t	22.9/23.0/22.7/2	22.5/22.8/21.7/2
	2.4	1.8

작하였으며 보다 더 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해 스피들 모터를 4개 준비하여 총 4회에 걸쳐 소음실험을 행하였고 표 2는 그 결과로서 1.0t 커버가 기존 1.18t 커버보다 더 우수한 소음성능이 확인되었다.

3.5 Whirl Damper의 적용 - Step 4

Whirl Damper는 SUS 계열과 3M 테이프로 구성 되어 Fig. 12에서 보는 바와 같이 커버와 모터 상단부가 만나는 곳에 장착하며 진동흡수 효과를 목적으로 한다. 본래 디스크의 Rocking Mode 개선 관점에서 적용하고자 하였으며 이를 본 시스템에 장착하여 소음 실험을 행한 결과 표 3과 같이 커버 방향에서 소음 저감의 효과를 확인했다. Fig. 13은 커버쪽 소음 스펙트럼으로 Whirl Damper가 2~8kHz 대역에 있는 피크치들을 전반적으로 줄여 주고 있음을 알 수 있는데 이는 본 시스템의 구조적인 특징이라고 할 수 있는 얇은 커버에 댐핑 효과를 준 결과로 판단된다.

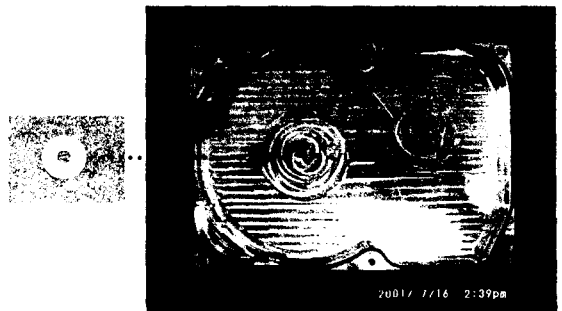


Fig. 12 Whirl Damper

표 3. Whirl Damper(W.D.) 유무에 따른 SPL 측정 결과

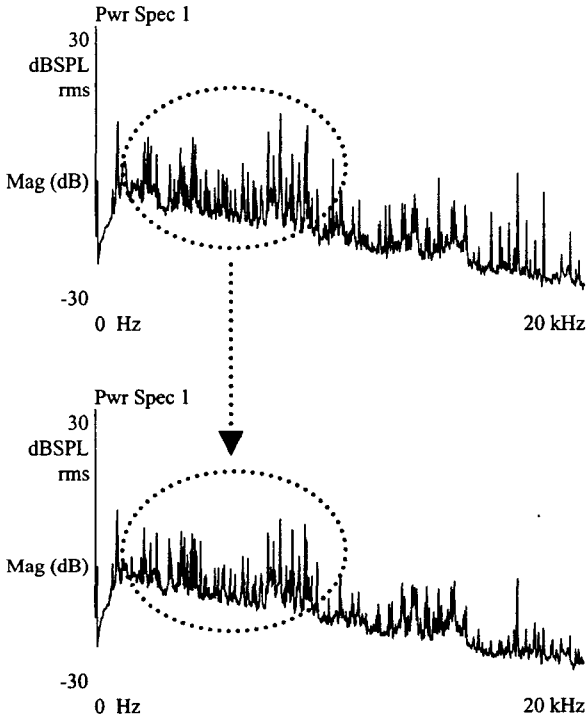
W.D.	Sound Pressure Level (dBA)
------	----------------------------

	PCB DN	PCB UP
미적용	21.9/21.8/22.6/22.7	21.3/21.3/21.8/22.2
적용	21.3/21.2/21.6/21.8	21.1/21.3/21.6/21.6

Fig. 13 소음 스펙트럼 (PCB DN direction)

3.6 소음제어 결과

HDD의 양산에서 생기는 각 부품의 공차를 감



안하여 신뢰할 만한 소음 저감 결과를 확인하기 위해, 20 개의 모터를 준비하여 본 논문에서 제시한 다단계 소음 제어를 적용한 최종 샘플에 대해 음향파위를 측정된 결과, 아래 표 4에서 보는 바와 같이 Typical 값으로 2.7Bels 라는 업계 최저의 소음 성능을 달성하였음을 알 수 있다.

표 4. 경쟁사 동향

Sample	Acoustics (Idle, Bels)
	Typ / Max / Ave
IBM (Deskstar 40GV)	/ / / 3.00
Maxtor (4D040H2, D540X)	/ 3.20 / 3.00
WD (WD200EB, Prot g)	/ / / 3.20

Seagate (ST340810A)	2.90 / /
Samsung (1 Platter HDD)	2.70 / 2.76 / 2.67

주) 2001년 7월 1일 현재

4. 결론 및 향후 목표

본 논문에서는 현재까지 꾸준히 발전과정을 거쳐온 다양한 소음 저감 기법들을 이용한 결과 HDD 업계 최저 소음인 2.7Bels 를 실현한 과정을 보여주고 있다. 본 논문에서 활용한 기법들은 향후 지속적인 발전을 하며 HDD 개발에 응용되리라 사려된다. 한편, 현재까지 진행된 소음개선 과정은 Idle 상태, 즉 스피들 모터만 회전하는 기본적인 구동 단계이다. 실질적으로 데이터를 읽고 쓰는 단계인 Random Seek 시의 소음이 Idle 상태보다 높으므로 현재 두 단계간 소음값의 차이를 줄이는 연구가 진행중에 있으며, 또한 인간에 보다 더 민감한 주파수 대역에 의한 소음의 제어, 즉 "Sound Quality"가 최근의 관심사로 대두됨에 따라 이에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문의 소음 해석 컴퓨터 시뮬레이션 부문에 도움을 주신 삼성종합기술원 CSE Center 관계자분들에게 감사드립니다.

참고문헌

- [1] L. Jiang, P. Macioce, "Optimizing Hard Drive Noise Control/Performance Tradeoffs," Data Storage, Jan. 2001, pp. 24-27.
- [2] 손영, 황태연, 강성우, 한윤식, 구자춘, "하드 디스크 드라이브에 있어서 스피들 모터의 구조적 가진에 따른 시스템의 소음특성에 관한 연구," 한국소음진동공학회 2000년도 춘계학술대회 논문집, 2000, pp. 1549-1554
- [3] 강성우, 한윤식, 황태연, 손영, 구자춘, "음향 인텐시티를 이용한 하드 디스크 드라이브의 소음원 파악 및 음향파위제어," 한국소음진동공학회 2000년도 춘계학술대회 논문집, 2000, pp. 1540-1548.
- [4] 김경호, 박미유, 박윤식, "HDD 소음제어를 위한 SDM 기술 개발," 한국소음진동공학회 2000년도 추계학술대회 논문집, 2000, pp. 765-770.
- [5] 이상희, 고상철, 김준태, 강성우, 한윤식, 황태연, "하드 디스크 드라이브 소음 예측을 위한 진동 음향 연계 해석," 한국소음진동공

- 학회 2001 년도 춘계학술대회 논문집, 2001, pp. 103-108.
- [6] L. Cremer, M. Heckle, and E. Ungar, *Structure-Borne Sound*, Second Ed., 1988. Springer-Verlag.
- [7] 강성우, 한윤식, 황태연 손영, 오동호, "STRUCTURAL INPUT MOBILITY 분석을 통한 하드 디스크 드라이브의 소음제어," 한국소음진동공학회 2001 년 춘계학술대회, pp. -.
- [8] 좌성훈, 손진승, 이행수, 홍민표, 고정석, 광주영, 조은형, "HDD 디스크-스핀들 시스템의 동특성 개선에 관한 연구," 한국소음진동공학회 2001 년 춘계학술대회, pp. 1130-1135.