

# 고속 HDD의 소음 제어

황태연\* · 강성우\*\* · 한윤식\* · 손 영\* · 전정일\*

(\*삼성종합기술원 정밀기계랩 · \*\*삼성전자 중앙연구소)

## 1. 머리말

최근의 HDD(hard disk drive, 하드디스크 드라이브)는 각 요소 기술의 급속한 발달과 고성능 요소 부품의 보급으로 인하여, 정보 저장기기 시장에서 시장 점유율 80%대를 유지하며 그 위상을 더욱 확고히 하고 있다<sup>(1)</sup>. HDD의 고성능화는 고속화를 수반하고 있으며 디스크 회전 속도의 증가는 기록/재생 성능의 향상을 이룰 수 있었다. 그러나 구조적 측면에서 HDD 시스템 내에 많은 불안정 요인을 증가시켰으며 이로 인하여 다양한 경로의 소음이 증가하였으며 이에 대한 적극적인 소음제어 대책을 요구하게 되었다. HDD에 사용되는 스피들 모터의 회전속도가 이미 10000 rpm을 넘어선 고속의 제품이 출시되고 있는 상황에서 소음 규제는 오히려 더욱 엄격해지고 있으나, 현재까지 HDD의 소음을 체계적으로 저감하고자 하는 연구는 거의 이루어지지 못한 상황이다. 또한 HDD의 소음은 일반기계구조물의 소음에 비하여 그 절대음압은 낮은 편이나 사용자가 HDD를 근접위치에서 사용하게 되고, 그 소음성분 역시 인간의 민감가청대역인 고주파수 성분들이 지배적이기 때문에 더욱 철저한 소음제어가 필요하다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 세계시장을 주도하고 있는 대형컴퓨터업체들은 일반적으로 널리 사용되는 특정 원거리음장에서 음압레벨(예, 1m에서의 음압레벨)이 아닌 음원의 전체음향방사파워를 규제기준으로 제시하고 있어 음향학적으로 'Global Weak Sound Radiator' 구조설계문제로 접

약될 수 있다.

본 원고에서는 고속 HDD의 저소음 제어를 위하여 음향학적 입장에서 체계적인 접근 방식을 제시하고, 실제 시스템에 적용하여 얻은 간단한 소음저감 사례를 보이고자 한다.

우선 제 2 절에서는 HDD의 구조 및 구성을 살펴보고, 제 3 절에서는 HDD에서 발생되고 있는 소음 전달 과정을 구조기인소음(SBN : structure borne noise)와 공기기인소음(ABN : air borne noise) 관점에서 전반적으로 고찰한 후, HDD 소음의 근본원인으로 볼 수 있는 스피들 모터의 소음발생 성분 및 특성을 살펴보도록 한다. 또한 구조음향학적 입장에서 소음전달함수로 볼 수 있는 구조진동모드 및 내부음향모드에 대하여 고찰하도록 한다. 제 4 절에서는 운행 중 발생 소음 특성 및 소음원을 주파수영역 및 공간영역에서 파악하기 위하여 소음/진동 스펙트럼 분석 및 음향 인텐시티(sound intensity), 운행 변형 형상(ODS : operational deflection shape) 측정결과를 제시한다. 제 5 절에서는 위 측정 결과들을 바탕으로 효과적인 흡/차음 제어를 시도하고 그 간단한 실례를 보이도록 한다

## 2. HDD의 구조

HDD의 구조는 일반적으로 그림 1과 같이 나타낼 수 있으며, 기록 매체인 자기 디스크와 이를 정격 회전 속도로 회전시키는 스피들 모터 시스템, 데이터를 읽고 기록하는 헤드와 이를 구동하는 액츄에이터, 그리고 이들을 고정하는 구조물로 구성되어 있다. 그림

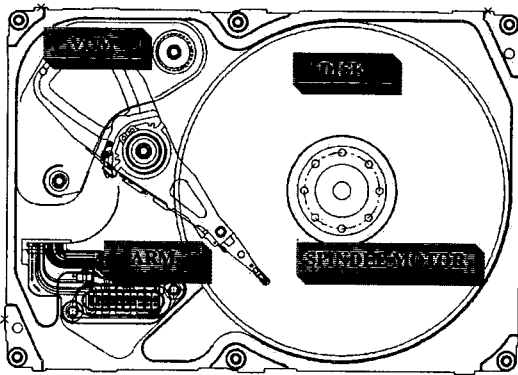


그림 1 HDD 구조

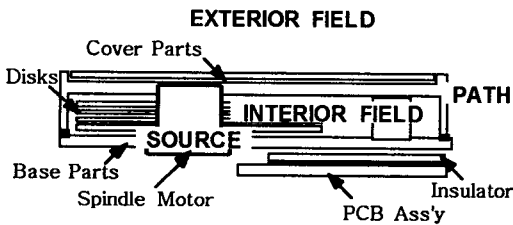


그림 2 소음 제어 관점에서의 하드 디스크 드라이브 구조

2는 소음전달과정 측면에서의 HDD 구조를 나타내고 있으며, 소음원과 가진원에 해당되는 스피들 모터와 디스크 회전체, 고속의 공기유동과 그에 따른 유동소음이 존재하는 내부장(interior field), 발생한 소음과 진동을 외부로 전달하고 차단하는 커버와 베이스 구조물(path) 및 HDD 소음이 원음장으로 전파되어 가는 외부장(exterior field)으로 구성된다.

### 3. HDD의 소음원과 전파과정

고속 회전의 스피들 모터는 HDD 가진원이라 할 수 있다. 기록/재생 성능 향상을 위해 스피들 모터의 회전 속도는 계속 증가하고 있으며, 1998년 7200 rpm의 디스크 회전 속도를 갖는 HDD 제품의 출시를 기점으로 최근에는 7200 rpm의 HDD 제품이 주력이 되고 있다. 나아가 10000 rpm대의 HDD가 출시되고 있는 실정이다. 한편 이와 같은 디스크 회전 속도의 증가는 시스템 내에 많은 불안정 요인의 증가와 더불어 시스템의 소음 성능 향상을 위한 적극적인 대책을 요구하

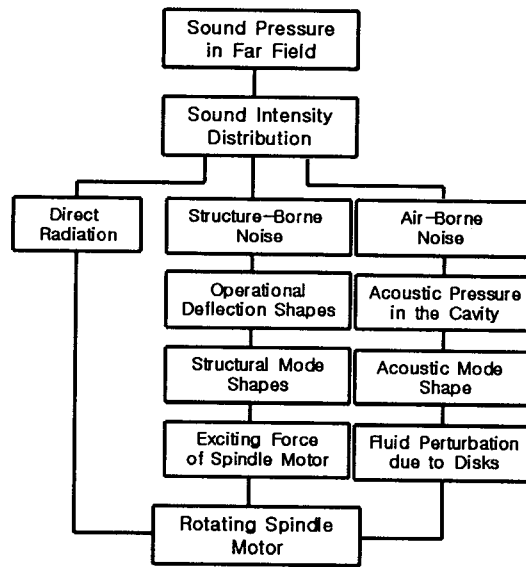


그림 3 HDD 소음전달 경로

고 있다.

#### 3.1 소음 전달 경로

그림 3은 HDD에서의 소음전파과정을 간략히 도식화한 개략도이다. HDD에서의 소음은 디스크와 체결된 스피들 모터의 회전운동으로부터 시작된다. 이러한 원인으로부터 외부장으로 전파되는 소음은 스피들 모터로부터 직접 방사되는 소음(direct radiation)과 스피들 모터를 지지하는 베이스 및 커버 등의 기구적 구조물을 가진시켜 발생하는 구조기인소음 및 디스크의 회전으로 인해 발생한 공기유동에 의한 소음이 내부 인클로저 공간의 음향모드와 연성되어 커버 및 베이스 구조물을 통과해서 외부장으로 전달되는 공기기인소음으로 구성된다고 할 수 있다.

구조기인소음은 HDD의 측면에 비해 상대적으로 넓은 방사면적을 갖는 베이스면과 커버면의 수직방향 진동성분과 밀접한 관계를 지니며, 공기기인소음성분은 HDD의 경우 내부 오염방지를 위해 밀봉 제작되기 때문에 틈새에 의한 소음누설은 무시할만 하며 베이스면과 커버면을 평판투과하여 전파되는 성분이 주된 요소라고 할 수 있다

#### 3.2 스피들 모터 소음

HDD에 사용되는 스피들 모터는 일반적으로 볼 베어링을 사용하는 소형 브러쉬리스

(brushless) DC 모터이다. 스피들 모터에서 발생할 수 있는 가진 성분으로는, 회전자와 고정자 사이에 발생하는 불평형 반경 방향 자기력(unbalanced radial magnetic Force), 코깅 토크(cogging torque), 그리고, 토크 리플(torque ripple) 등의 전자기적인 가진력과 디스크 체결 시에 잔류하는 질량 불평형 또는 정렬 불량에 의한 디스크 회전체의 주기적 가진력과 볼 베어링 구조물들의 결합에 의한 가진력 등을 들 수 있다.

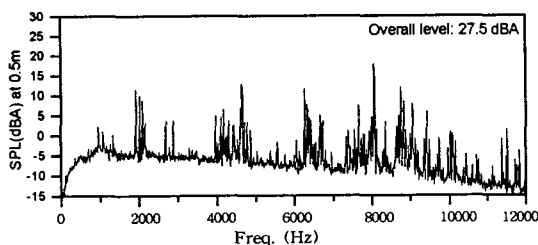
그림 4는 정격 회전 속도 7200 rpm으로 회전하고 있는 스피들 모터로부터 발생된 음압을 0.5 m중심축선상에서 측정된 A-보정 스펙트럼을 나타낸다. 측정공간은 무향실을 사용하였으며 이후의 모든 음향측정결과들은 무향실에서 수행한 결과들이다. 그림 4(a)는 볼 베어링으로 지지되는 스피들 모터의 스펙트럼이고, 그림 4(b)는 유체베어링으로 지지되는 스피들 모터의 경우이다.

그림 4(a)의 볼베어링 스펙트럼으로부터, 회전 주파수로부터 고주파 대역에 이르기까지 비교적 넓은 주파수 대역의 강한 피크의 소음성분들을 볼 수 있다. 스피들 모터의 코깅 토크(cogging torque)는 자기 저항의 변화가 회전각에 대하여 변동하는 일종의 자기 흡인력의 변화라 할 수 있으며 그 주파수는 모터의 pole수와 slot수의 최소공배수와 회전

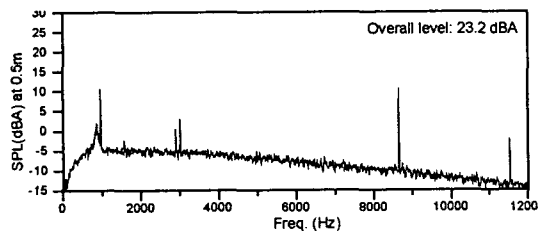
주파수와 곱의 정수배성분으로 나타난다. 그림 4의 스피들모터들은 8 pole, 12 slot을 갖고 있으며 7200 rpm(120 Hz)으로 구동되고 있기 때문에 2880 Hz, 5760 Hz, 8640 Hz,...의 코깅 토크 주파수를 갖는다. 이러한 전자기적 가진 성분들은 2 kHz이상의 고주파 영역의 소음특성을 지배하고 있으며, 디스크의 질량 불평형 또는 정렬 불량에 의해 발생하는 소음성분들은 회전 주파수 성분(7200 rpm, 120 Hz)의 정수배를 포함하여 저주파 영역의 소음특성을 형성하게 된다. 그리고 볼 베어링의 결합에 의한 가진 주파수 성분들은 저주파 영역에서 고주파 영역까지의 전대역에서 나타나게 된다.

반면, 그림 4(b)의 유체베어링 스피들 모터의 소음스펙트럼을 보면 볼베어링 스피들 모터의 경우와는 달리 회전주파수의 5배수 성분과 3차 코깅 주파수 성분들 외에 전 주파수 대역에서 나타나던 볼 베어링의 결합 주파수 성분들은 더 이상 존재하지 않음을 볼 수 있다.

그림 5는 그림 4에서 측정된 볼 베어링 지지 스피들 모터와 유체 베어링 지지 스피들 모터를 각각 사용한 HDD 세트의 음압스펙트럼 측정 결과를 나타낸다. 그림 5(a)는 볼 베어링 스피들 모터를 적용한 HDD의 주파수 영역에서의 스펙트럼이고, 그림 5(b)는

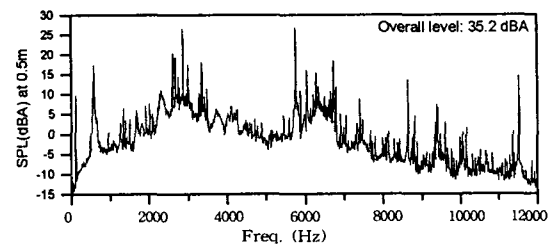


(a) 볼베어링 모터

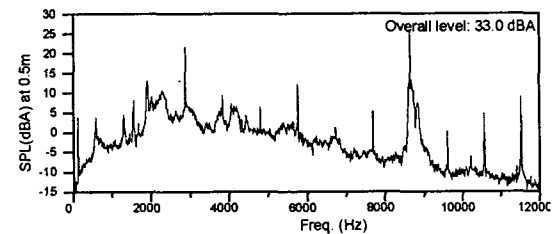


(b) 유체베어링 모터

그림 4 7200 rpm용 스피들 모터의 소음 스펙트럼



(a) 볼베어링 스피들 모터 장착상태



(b) 유체베어링 모터 장착상태

그림 5 7200 rpm용 HDD의 소음 스펙트럼

동일한 HDD 세트에 유체 베어링 스피들 모터를 장착한 경우의 스펙트럼을 나타낸다. 쉽게 예상할 수 있던 바와 같이 유체 베어링 스피들모터를 적용한 HDD의 경우(그림 5(b)), 볼 베어링 스피들모터의 경우(그림 5(a))에 비해서 전 주파수 영역에서 시스템의 소음 특성에 매우 큰 영향을 주는 피크 성분들이 크게 줄어들었다는 것을 알 수 있다. 전체적인 음압 레벨은 볼 베어링 스피들 모터를 유체 베어링 스피들 모터로 대체함으로써 2 dBA 가량의 소음 저감 효과가 있음을 알 수 있다. 이러한 형태의 베어링 구조에 대한 연구는 많은 진척을 보았으며 최근에는 유체 동압 베어링을 채택한 HDD 모델도 시장에 선을 보였다. 이러한 노력은 소음제어의 'Source-Path-Receiver' 기본 원리상 소스(source) 제어에 해당하며 소음제어의 1차 순서라고 할 수 있다.

### 3.3 구조적 진동모드와 음향 모드

3.1절에서 언급한 구조기인소음 성분의 전파과정을 정확하게 파악하기 위해서는 커버와 베이스 구조물에 대한 구조적 진동특성을 파악하는 것이 필요하다. 이의 자유진동특성은 잘 알려진 실험적 진동모드 해석을 통해 파악할 수 있다. 그림 6은 볼베어링 스피들 모터를 장착한 HDD에 대하여 소음레벨이 가장 큰 코깅 토크 주파수 성분인 2880 Hz (그림 5(a) 참조)에 가까운 진동모드 측정

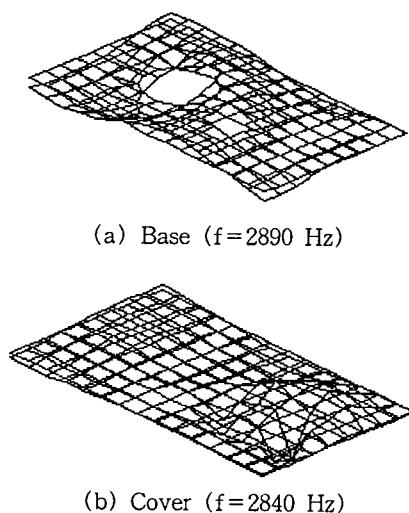


그림 6 HDD의 구조진동 모드 측정결과 예

결과를 보여준다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 HDD 커버면과 베이스면의 고유진동 모드는 각기 다르며 각 면의 최대진폭 위치 역시 다른 지점에 위치함을 알 수 있다. 구조기인소음은 이러한 진동특성이 방사면의 음향 임피던스(acoustic impedance) 특성과 연계되어 음향방사효율(acoustic radiation efficiency)을 결정하게 되므로 소음저감을 위하여는 음향방사효율 입장을 고려하여 방사면의 진동 모드 변경이나 음향임피던스 분포를 변경하는 방법으로 접근하여 나갈 수 있다. 그러나 음향학적 입장에서 간과하여서는 안될 사항은, 이러한 고유 진동 모드 패턴 및 특성이 그대로 음향방사로 이루어지는 것이 아니라 방사면의 수직방사 속도 성분에 의한 음파들이 임의의 음향전달함수(즉, acoustic Green's function)를 통하여 표면전체에 대하여 선형 중첩(즉, surface integral)되어 나타나므로 진동모드 결과를 그대로 소음방사패턴으로 파악해서는 안된다는 사실이다.

반면, 3.1절에서 언급한 공기기인소음 성분의 전파과정을 정확하게 파악하기 위해서는 HDD 내부공간에 대한 음향모드 분석을 할 필요가 있다. 그림 7은 HDD 내부공간을 음향 공동으로 보고 경계요소법에 의해 수치해석한 결과를 보여주고 있다. 이 경우 역시 주된 소음성분 중의 하나인 코깅 토크 주파수 2880 Hz 근처의 음향모드를 보여주고 있다. 이 음향모드의 경우 HDD의 양쪽 길이방향으로 절선(nodal line)을 갖는 모드 패턴을 보이고 있으며 음압의 최대진폭 위치는 디스크 상단과 VCM 모터 근처에 위치함을 알

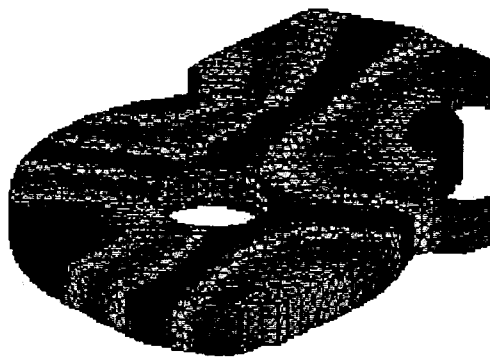


그림 7 HDD 내부 음향 모드 해석 결과 예 (2950 Hz)

수 있다. 이는 물리적으로 이러한 주파수성분의 소음이 내부에서 발생할 경우 디스크 상단과 VCM 모터 근처에서 높은 음압분포를 갖게 되어 동일한 재질과 두께의 커버, 베이스면인 경우 이들 위치에서 강한 음향투과(sound transmission)를 보일 수 있음을 의미한다.

#### 4. HDD 운행 중의 소음특성

3절에서의 소음원과 전달경로에 의하여 최종적으로 나타나는 HDD 외부장에서의 소음특성을 음향학적으로 분석하기 위하여는 다음 항목들에 대한 주파수영역 및 공간영역에서의 실험이 필수적이라고 할 수 있다.

- (1) 원음장에서의 음압 스펙트럼
- (2) 구조진동면의 진동 스펙트럼
- (3) 음압과 진동의 상관성
- (4) 근접음장에서의 음향 인텐시티 분포
- (5) 운전 중 변형 형상(ODS)

##### 4.1 음압 진동 스펙트럼

그림 8은 7200 rpm으로 회전하고 있는 HDD에 대해서 0.5 m 중심축선상에서 측정

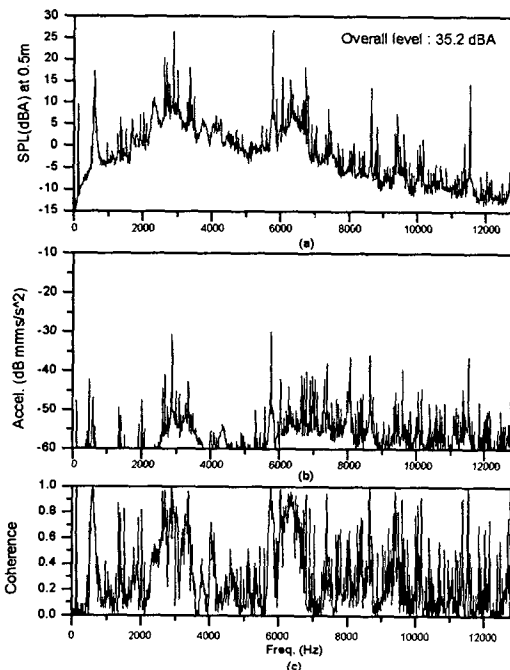


그림 8 HDD 베이스면에서의 (a)음압, (b)가속도 및 (c)상관성 함수(coherence function)

한 음압과 진동면의 진동 가속도 및 두 신호 사이의 상관성 함수(coherence function)의 측정 결과를 나타내고 있다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 스피들모터에서 발생된 많은 피크 소음성분들 중 음압과 가속도 사이의 상관성이 높은 2~4 kHz, 5.5~7 kHz 대역에서는 구조기인소음 성분이 소음스펙트럼의 상승을 유발시키고 있음을 알 수 있다. 특히 전술한 코강토크 주파수의 1차, 2차 하모닉 성분들(2880 Hz, 5760 Hz)이 두 대역 내에 존재하여 더욱 큰 소음상승을 일으키고 있음을 알 수 있다.

##### 4.2 음향 인텐시티

음향 인텐시티(sound intensity)는 임의의 위치에서 단위면적을 통과하는 음향에너지의 시간당 변화율로서 음압과 입자속도의 곱으로 나타나는 벡터량으로서, 음향 인텐시티를 측정함으로써 주파수별 음원의 위치파악, 음향 에너지의 전파형태 및 음원의 전체음향파워를 효과적으로 알아낼 수 있다<sup>(2)</sup>.

일반적으로 음향인텐시티는 두 개의 마이크로폰을 이용하여 측정하게 되며 본 논문에서는 상업화된 인텐시티 프로우브(B&K 3545)를 사용하여 측정하였다. 현재 HDD의 소음(그림 8(a) 참조)은 약 10 kHz까지 분석할 필요가 있으므로 1/4" 마이크로폰과 6 mm 스페이서를 측정하였다.

그림 9는 HDD표면의 음향 인텐시티 측정의 개략도이며, HDD표면으로부터 3 cm 상단의 표면에 대하여 11 × 8지점에 대하여 공간상에 이리어싱(aliasing)을 고려하여 1.5 cm 간격으로 측정하였다.

그림 10, 11의 음향 인텐시티 측정결과로부터, HDD의 소음의 원인은 스피들모터이나

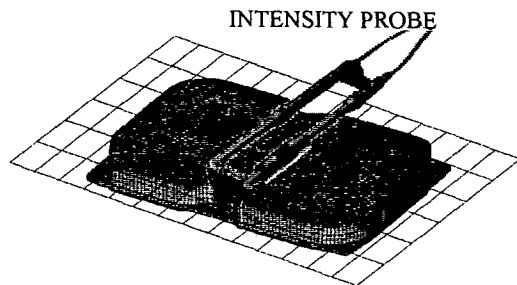
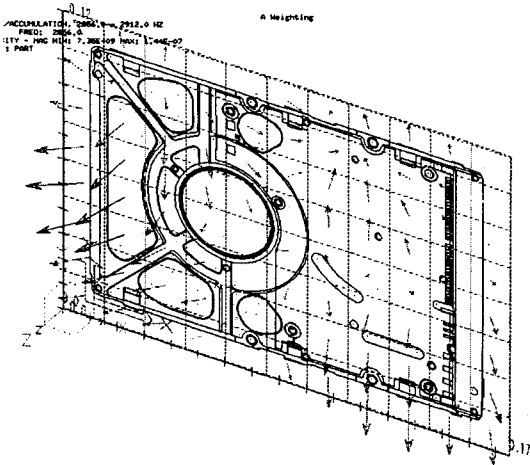
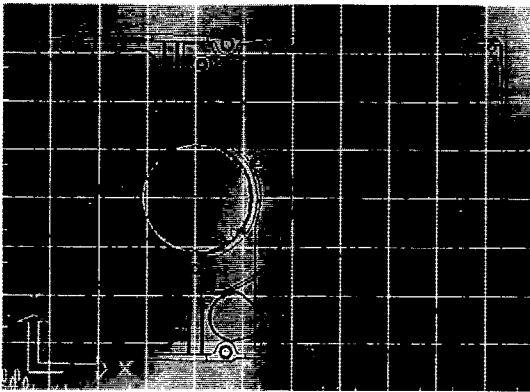


그림 9 음향 인텐시티 측정 장치 개략도



(a) 3차원 vector map



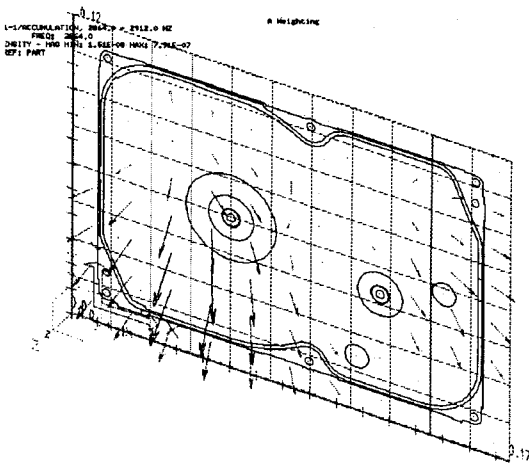
(b) 2차원 contour map

그림 10 HDD 베이스면에서의 음향 인텐시티 측정 결과( $f=2880$  Hz)

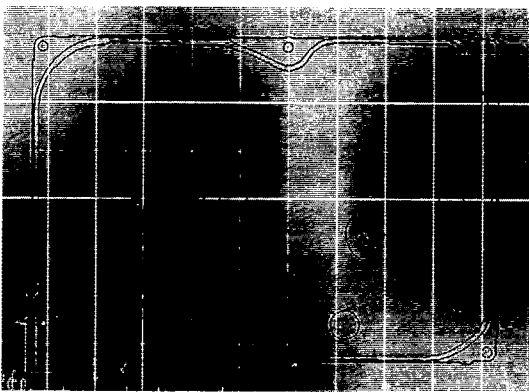
스핀들모터 중심에서 소음이 방사되는 것이 아니라 스핀들 모터 좌측 구조면을 통하여 방사됨을 알 수 있다. 즉, 소음제어 입장에서 이러한 위치에 제어를 가할 경우 가장 효과적인 제어결과를 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

#### 4.3 운행 변형 형상

제 3 절에서 언급한 바와 같이 구조기인소음 성분에 대한 정확한 파악을 위하여는 HDD 운행 중의 진동거동에 대한 측정이 필요하다. 전술한 고유진동 모드의 분석으로부터는 방사소음과 직접적인 상관성을 얻기 어려우며, 실제 구조음향 방사현상은 운행 중의 진동패턴에 의해 결정지어지게 된다. 즉, 모드 해석에서 구현한 모드 형상은 임펄스 가진에 대한 상대적인 변위로 구성되므로 계의 운전중의 응답을 그대로 표현하지는 못하며



(a) 3차원 vector map



(b) 2차원 contour map

그림 11 HDD 커버면에서의 음향 인텐시티 측정 결과( $f=2880$  Hz)

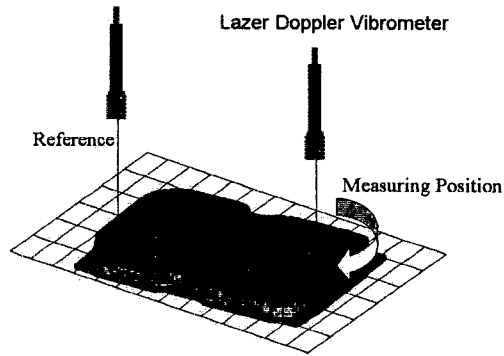
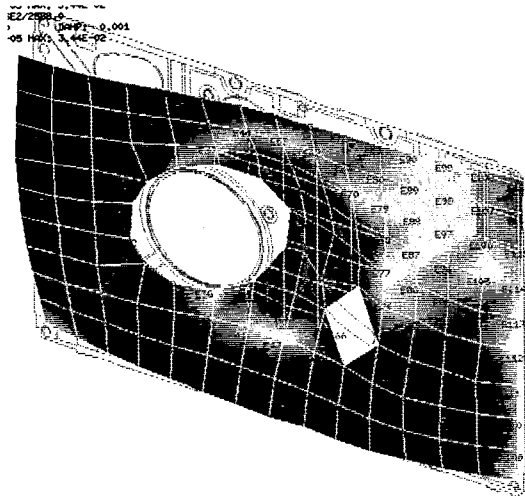
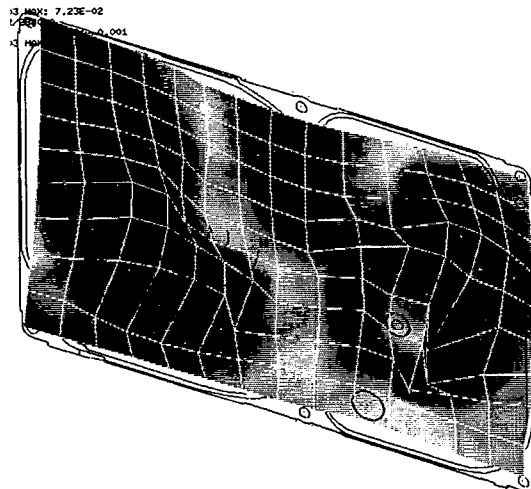


그림 12 ODS 측정 장치 개략도

계의 고유 진동수를 예측하고 이를 피하기 위한 설계 및 검증 자료로 사용되지만 현재의 HDD에 대한 소음저감을 위한 정보를 얻는 데는 미흡하다고 할 수 있다. 이러한 운행 중의 진동정보는 ODS<sup>(3)</sup> 측정으로부터 얻어질 수 있으며, 이는 그림 12과 같이 두 개의 진



(a) Base



(b) Cover

그림 13 HDD 베이스면에서의 ODS 측정결과  
( $f=2880\text{Hz}$ )

동센서와 2 채널 주파수 분석기를 이용하면 측정이 가능하다.

운행 중의 거동을 가시화하는데 효과적이라고 할 수 있다. 또한 전술한 음향 인텐시티 맵(map)과 ODS 맵을 연계분석할 경우 구조기인소음 성분에 대한 좀 더 명확한 정보를 얻어낼 수 있다.

본 원고에서는 가속도계의 질량효과를 제거하기 위하여 비접촉 레이저 도플러 진동측정기(LDV : laser dopper vibrometer)를 사용하여 ODS를 측정하였다. 그림 13은 현재의 관심주파수 2880 Hz에 대한 ODS 측정결과를 보여주고 있다.

그림 10, 11, 13에서 볼 수 있듯이 현재의

HDD의 경우 음향 인텐시티 맵과 ODS 맵의 전반적인 음원, 진동원 위치 경향은 유사성을 보이나, 음향인텐시티의 vector source지점이나 인텐시티 최대지점이 진동 ODS의 최대지점과 정확히 일치하고 있지 않으며 이는 구조기인소음이 HDD의 주된 소음성분이 아니며 공기기인소음이 내부에서 강하게 발생, 투과되어 구조기인소음과 함께 함께 선형중첩되어 투과전파되고 있음을 유추할 수 있다. 이로부터 3.3절에서 언급하였듯이 진동제어가 곧 소음제어로 직결될 수 없다는 사실을 재확인할 수 있다.

## 5. HDD의 저소음 제어

지금까지 Source-Path-Receiver의 기본적인 음향학적 입장에서 HDD 소음특성을 다각적인 실험적 방법을 통하여 살펴보았다. 이러한 일련의 실험적 방법을 통해 HDD의 소음원으로부터 외부장으로 전파되는 소음특성을 파악할 수 있었으며, 이러한 분석결과를 바탕으로 각 부분별 소음제어를 수행할 수 있다.

본 원고에서는 structure-borne 와 air-borne noise 가 선형중첩되어 형성된 근접장에서의 인텐시티 측정결과에 기초하여 커버 및 베이스 구조물에 대하여 효과적으로 소음저감을 이룰 수 있는 부분차음(partial noise barrier) 및 부분흡음(partial noise absorber) 설계를 시도하였다.

HDD 구조물에 직접 차음/흡음 설계를 적용하기 전에 사용할 차음재와 흡음재의 선정 및 구조를 설계하기 위하여 차음재의 투과손실(TL : transmission loss) 및 흡음재의 흡음률(absorption coefficeint)을 측정하였다.

### 5.1 흡음재의 흡음률 측정

흡음재의 흡음률은 Two-Microphone Method<sup>(4)</sup>에 기초한 실험장치를 설계/제작하여 측정하였으며, 측정주파수 영역은 현재의 HDD 스펙트럼에 고려하여 8 kHz까지 측정 가능하도록 설계하였다. 상용 임피던스 튜브(impedance tube, B&K 4206)의 경우 측정상한영역이 6.4 kHz에 국한되기 때문에, 상한 주파수를 올릴 수 있도록 측정시스템을 자체 설계/제

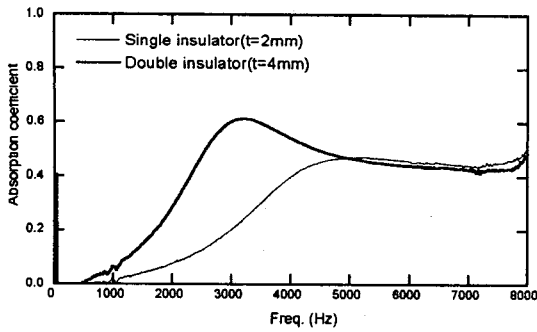


그림 14 두께 2 mm 흡음재의 흡음을 측정결과 (single-layer case, double-layer case)

작하였으며, Two-Microphone Method 이론을 상용 주파수분석기(HP 35670A)에 함수를 코딩하여 주파수 분석기 화면상에서 신속한 측정이 이루어 질 수 있도록 하였다.

그림 14는 두께 2 mm의 발포흡음재가 단일 층(layer)일 경우(2 mm)와 이중 층일 경우(즉, 4 mm)에 대한 주파수별 흡음을 측정결과를 보여주고 있다. 단일 층의 경우에 비해 이중 층일 경우 저주파수 흡음성능이 대폭 향상됨을 볼 수 있으며 이는 잘 알려진 두께에 따른 흡음성능 향상이론<sup>(5)</sup>과 일치하고 있다. 그러나 HDD에 사용 가능한 4 mm의 한정된 두께효과에 의하여 전주파수 대역에서 흡음률이 0.6을 넘지는 못하고 있음을 볼 수 있다.

### 5.2 차음재의 투과손실 측정

투과손실은 상용 임피던스 튜브(B&K 4206)를 변형하여 시편을 통과한 투과음 측정이 가능하도록 한 측정장치를 이용하였다.

그림 15는 HDD의 구조물에 사용될 수 있는 금속 재질의 주파수별 투과손실을 측정 한 결과를 나타낸다. 측정주파수로는 각각의 밀

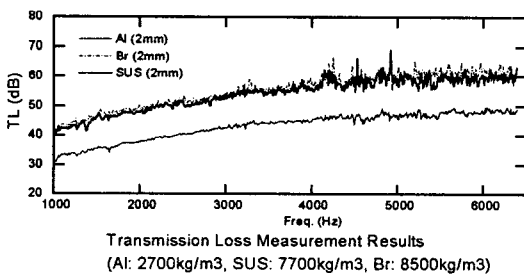


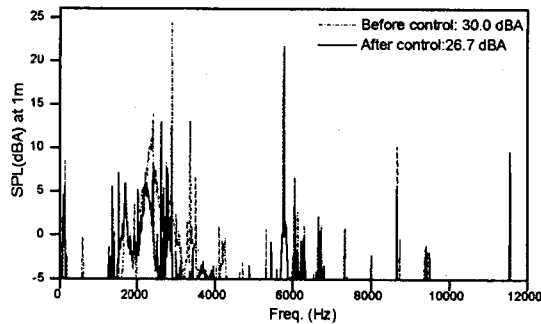
그림 15 두께 2 mm 차음재의 투과손실 측정결과(알루미늄(Al), 황동(Br), 스테인레스 스틸(SUS))

도가 다른 알루미늄, 스테인레스 스틸, 황동을 선정하였다. 그림 15로부터 알 수 있듯이 전형적인 음향 질량의 법칙(acoustical mass law)<sup>(6)</sup>를 따르고 있음을 확인할 수 있으며, 금속 재질의 차음 효과는 고주파수 영역에서 그리고 밀도가 높은 재질일수록 더욱 효과적임을 알 수 있다. 즉, 실제 가격면에서 HDD에 적용가능한 위 세 재질 중 황동이 가장 차음성능이 우수함을 알 수 있다.

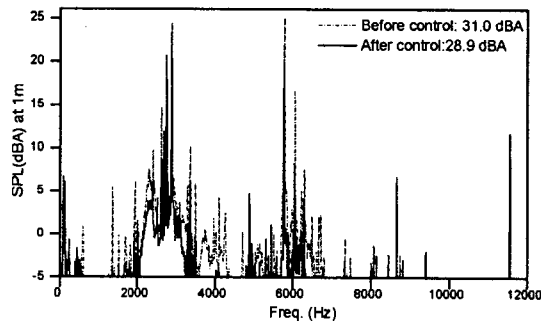
### 5.3 흡/차음에 의한 HDD 소음제어

전술한 투과손실 및 흡음률의 측정결과를 바탕으로 부분차음재로는 표준규격 두께 중의 하나인 두께 16 mm의 황동을 사용하였으며, 흡음재는 2 mm 발포흡음재를 이중 층으로 사용하였다. 부분차음재는 음향인텐시티 측정결과에 기초하여 강한 음향발생을 보이는 위치에 커버면과 베이스면에 각각 C 형태의 부분차음을 시도하였고, 이중흡음재는 HDD의 PCB 기판과 베이스면 사이에 장착하였다.

그림 16은 HDD 제어 전, 후, 커버면과 베이스면 각각에서의 소음스펙트럼과 전주파수 대역 음압레벨을 보여주고 있다. 그림 16에



(a) HDD 커버면



(b) HDD 베이스면

그림 16 부분흡음 및 부분차음에 의한 소음제어 전,후의 소음스펙트럼



서 볼 수 있듯이 전체음압레벨을 지배하고 있는 강한 코깅 토크 피크 성분인 2880 Hz, 5760 Hz 성분과 더불어 2 kHz 이상의 고주파수 영역에서 소음저감 효과를 보이고 있으며 전반적으로 HDD 커버방향으로 3.4 dB, 베이스 방향으로 2.1 dB의 소음저감 효과를 보임을 알 수 있다.

## 6. 결 론

고속 HDD에서 발생하는 소음의 체계적인 제어를 위하여 음원 및 음파전달과정을 일련의 실험적 방법을 통하여 파악할 수 있는 방법론을 제시하였으며, 그를 통한 간단한 제어 실효를 보였다.

HDD의 소음을 제어하기 위하여, 소음원의 입장에서 우선적으로 현재의 볼 베어링을 유체 동압을 이용한 비접촉 베어링으로 교체하는 방안을 생각할 수 있으며 그 소음성능을 평가하였다. 다음으로 전달경로의 입장에서 구조기인소음과 공기기인소음의 전달경로를 음향인텐시티와 ODS 측정을 통하여 파악한 후 부분차음/부분흡음 설계를 하는 것이 효과적이며, 차음재 및 흡음재의 주파수별 성능은 투과손실과 흡음률의 측정에 의해 설계/선정되는 것이 합리적임을 제시하였다.

또한 앞으로 HDD 내부공간에서의 웨이브 가이드 설계 및 헤름홀쯔 공명기 설계 등 내부제어방안에 대하여 계속 연구할 필요가 있으며, 디스크 유동발생소음에 대한 좀 더 명

확한 측정 및 분석이 이루어져야 할 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 논문의 연구비를 지원해 주신 삼성전자 스토리지 사업부 관계자 여러분과 차음률 측정에 도움을 주신 서울대 강연준교수님과 음향모드 수치해석에 도움을 주신 삼성종합기술원 김준태박사님께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Data Storage-Technology & Manufacture of Storage Device, 1998, Dec.
- (2) F. J. Fahy, Sound Intensity, Second Edition, 1995, E&FN Spon.
- (3) O. Dossing, 1988, "Structural Stroboscopy Measurement of Operational Deflection Shapes," B & K, pp. 18~26.
- (4) A. F. Seybert, 1988, "Two-sensor methods for the measurement of sound intensity and acoustic properties in ducts," J. Acoust. Soc. Am., 83(6), June, pp. 2233~2239.
- (5) U. Ingard, 1994, Sound Absorption Technology, Chap. 3.4.
- (6) L. Cremer and M. Heckle, 1988, Structure-Borne Sound, Second Edition, Chap. VI.