

<논 문>

# 광 디스크 드라이브의 공력소음 감소에 관한 연구

## A Study on Reduction of Sound Noise Induced by Disk Rotation in Optical Disk Drives

송인상\* · 박건순\* · 최학현\* · 김수경\*\* · 이승엽\*\*\*

I. S. Song, G. S. Park, H. H. Choi, S. K. Kim and S. Y. Lee

(1998년 12월 28일 접수 : 1999년 6월 2일 심사완료)

**Key Words** : Flow Induced Sound(유체 유발 소음), Flow Induced Vibration(유체 유발 진동), Rotating Disk(회전 디스크), Sound Pressure Level(음압 레벨), Sound Intensity(음 강도), Disk Vibration(디스크 진동), Optical Disk Drives(광 디스크 드라이브), Fluid-Structure Interaction(유체-구조물 상호 작용)

### ABSTRACT

We study the characteristics of airflow and sound noise induced by disk rotation in optical disk drives. The characteristics of airflow around a rotating disk surrounded by various tray structures are numerically investigated using a commercial CFD program and then compared with experimental results. Sound pressure and intensity caused by the fluid-structure interactions in the CD/DVD-ROM drive are measured, and the effect of the airflow on the sound noise and disk vibration is discussed. In order to reduce airflow-induced noise and vibration around the rotating disk, tray geometry is modified. Both numerical and experimental studies implemented with different tray models show that the improved tray model alters the characteristics of the disk-induced airflow, causing the reduction of the airflow-induced sound level.

### 1. 서 론

최근 컴퓨터 주변장치로서 서환형 광디스크 드라이브의 고밀도 기록, 고속화 제품에 대한 규격 및 제품 개발이 일본 광 디스크 드라이브 업계의 주도로 진행되어 오고 있다. 수 기가급의 데이터 파일 또는 동화상 정보를 장시간 기록 재생하는 대용량 광디스크 장치에서는 픽업 헤드의 정밀한 위치 제어와 고속 회전 디스크에 대한 진동 제어가 고밀도화

및 고속화를 위한 중요한 요소이다. 디스크 드라이브 장치에서 회전 디스크는 스피들 모터 및 베어링, 디스크 클램핑 조건, 디스크 주위의 공기 유동, 헤드나 광 픽업과의 상호 작용 등 많은 요소에 의해 진동이 유발된다. 그 동안 여러 문헌에서도 이론적으로나 실험적으로 연구되어진 바와 같이 디스크 진동은 디스크 회전 속도에 비례하여 회전 방향(forward) 성분과 회전반대 방향(backward) 성분으로 갈라지는 모드 분리(mode split)와 고유 진동수가 영이 되는 임계 회전 속도에 관한 초기 연구뿐만 아니라 최근에는 고속 회전시 야기되는 공기 유동 특성을 고려한 연구가 되어지고 있다<sup>(1~7, 9~13)</sup>.

그러나 이러한 연구들은 주로 하드 디스크나 플로

\* LG전자 디지털미디어연구소

\*\* 정희원, LG전자 디지털미디어연구소

\*\*\* 정희원, 서강대학교 공과대학 기계공학과

피 디스크 드라이브를 대상으로 하였으며 광 디스크 드라이브에서의 디스크 진동과 공기 유동에 대해서는 많은 연구가 되어있지 않고 있다. 그 이유는 그동안 CD-ROM의 경우 하드디스크에 비해 상대적으로 저속의 회전속도를 가지고 있었으며 지속적인 저장 밀도의 증가로 더 정밀한 진동 기준을 요구하는 하드디스크와는 다르게 CD-ROM은 고정된 저장 용량을 가지고 있기 때문이었다. 그러나 최근에는 고속의 데이터 전달률을 원하는 요구 때문에 CD-ROM의 경우 회전 속도의 급격한 증가가 이루어지게 되었고 더불어 DVD나 ASMO등 고밀도 광 디스크 드라이브의 출현으로 디스크 진동이 중요한 문제가 되었다. 디스크가 고속 회전시 공기 유동과의 상호 작용 및 공력 소음에 대한 연구와 광 픽업이나 헤드의 위치 오차에 미치는 영향 등은 서로 밀접한 관계를 지니고 있기 때문에 이에 대한 종합적인 연구가 필요하다<sup>(8)</sup>.

보통 광 디스크 드라이브 장치는 디스크를 수납하여 이동시키는 트레이 장치, 스피들 모터가 위치한 턴테이블 장치, 픽업 이송 기구 등에 대해 다양한 설계가 이루어 진다. 그런데 고배속 및 고밀도 광 디스크 드라이브 장치에서는 디스크 회전의 고속화에 따른 공력 구조 진동과 소음의 저감이 매우 필요하다. 이를 위하여 드라이브 내부의 여러 가지 설계 인자들에 대해 디스크 주변의 공기 유동 특성과 이에 수반되는 소음 특성의 관점에서 수치 해석 및 실험을 통하여 검토하고자 한다. 본 연구에서는 최고 속도가 7200 rpm인 CD/DVD-ROM 드라이브(CD-ROM 32배속)와 최고 회전 속도 8500 rpm의 CD/DVD-ROM 드라이브(CD-ROM 40배속) 모델을 대표적으로 선정하여 디스크 주변의 공기 유동 특성과 공력 소음 특성에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 공기 유동 유한 요소 해석

일반적으로, 광 디스크 드라이브의 디스크와 같이 유연한 구조물에 유체가 가해져서 발생하는 소음 및 진동은 회전하는 공기의 흐름에 의한 바람 소리(wind noise)와 유체와 고체의 상호작용에 의해 발생하는 유체 유발 진동(flow induced vibration)에 의한 소음으로 구분될 수 있다. 유체 유발 진동은 유체와 고체의 연성 관계를 해석해야 하므로 이론적으로 완전 해를 구하기가 불가능할 뿐 아니라 수치적인 근사 해를 구하기도 쉽지 않다. 고속 유동 장 내의 기구 구조물이 존재하는 시스템에서의 유체 유발 진동

및 소음을 CAE로 해석하기위한 첫 단계로서 기구 구조물의 진동의 영향을 배제한 조건으로 유동 특성을 먼저 해석한다. 이후 유동으로 인한 유체 유발 소음을 정확히 예측하기 위해서는 유한 요소 코드를 사용하여 유동소음을 발생시키는 유동에 대한 해석을 수행한다. 그리고 해석 결과로부터 음향학적 계산을 통해 방출되는 음을 계산한다.

본 연구에서는 본격적인 유체 유발 소음을 해석하기 위한 기초 작업으로서 디스크의 회전에 의해 발생하는 드라이브 내의 유동 현상을 먼저 해석하고 이들 유동 현상이 드라이브의 소음 발생에 미치는 영향을 수치 해석 결과로부터 예측해 본다. 드라이브 내의 부품 중 디스크를 수납하여 턴테이블에 안착 시켜주는 트레이는 디스크에 가장 근접해 있고 또한 형상이 복잡하여 유체 흐름에 끼치는 영향이 크다는 점에 착안하여 주로 이의 영향을 검토하여 기술하고자 한다. 고정된 벽 가까이에서 회전하는 디스크의 경우에는 공기 유동을 원주 방향 성분과 반경 방향 성분으로 나눌 수 있다. 원주 방향 공기 유동은 회전 점성 감쇠(rotating viscous damping)의 역할을 하며 반경 방향으로 배출되는 공기 유동은 디스크에 강성의 증가 효과를 가져온다<sup>(6,7)</sup>. 이와 같은 반경 방향의 강성 효과는 디스크의 진동을 감소시키나 회전 감쇠는 조건에 따라 디스크 진동을 유발시킬 수 있다.

유동해석은 I-DEAS ESC 모듈을 사용하였다. 이 상용 프로그램은 비압축성의 시간 평균된 나비에-스톡스 방정식(time-averaged Navier-Stokes equation)을 요소 근간의 유한 체적법(element-based finite volume method)으로 풀었다.

그리고, 난류유동해석을 위하여 고정 난류 점성 모델(fixed turbulent viscosity model)을 사용하였다. 이 모델은 유동 난류 점성(flow turbulent viscosity)  $\mu_t$ 를 다음과 같이 계산한다.

$$u_t = 0.01\rho V_m L_t$$

여기서,  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $V_m$ 은 평균 유동 속도(mean fluid velocity scale), 그리고  $L_t$ 는 난류 소용돌이 길이(turbulent eddy length scale)을 나타내고  $V_m$ 과  $L_t$ 는 유체의 상태를 표현하는 특성치이다. 또한 수렴 조건은 잉여 오차(residual error)가 0.001보다 작아졌을 때로 하여 반복 계산을 중지하였다. 잉여(residual)는 각각의 분리된 방정식이 얼마나 진행되었는가를 나타내는 척도이다. 하지만 아

무리 작은 오차라도 아주 큰 메쉬 영역에서는 누적되므로 잉여가 진정한 수렴의 조건이라 할 수 없고 항상 총체적 운동량(global momentum), 질량 및 에너지 평형(mass and energy balance)을 검사해야 한다.

2.1 모델링

Fig. 1은 광 디스크 드라이브의 구조와 드라이브 내의 공기 흐름에 영향을 주는 인자들을 표시한 그림으로서 드라이브 내부에는 많은 부품들이 조립되어 있어 공기 흐름에 장애가 되거나 와류를 발생시키는 원인이 된다. 디스크 트레이(tray) 하단에는 광 픽업(pick-up) 이송계 구동 부품, 모터 그리고 광 픽업 조립체 등이 있어 이의 배치에 따라 트레이 하단부의 공기 흐름에 영향을 끼친다. 트레이의 측면 벽은 돌기물 및 구멍 등으로 형상이 복잡하고 또한 디스크 측면 바로 옆에 디스크 수직 지지대가 설치되어 있어 측면 공기 흐름에 영향을 준다. 그리고 디스크 트레이는 회전 디스크와 가장 근접해 있기 때문에 디스크 주위의 공기 유동에 가장 영향을 주기 쉽다. 트레이는 그 자체의 구조나 디스크와의 간격, 픽업 및 모터 창의 크기와 형상에 따라서 드라이브 내의 유동 현상에 직접적으로 영향을 끼친다. 이에 따라 트레이 자신도 유체와 고체간의 상호 작용에 의해 유체 유발 진동이 일어나기 쉬워진다.

Fig. 2는 광 디스크 드라이브에 대한 유체 유동 해석을 위한 유한 요소 모델로 유동 영역(flow region), 유동 표면(flow surface) 및 배출면(vent surface)의 3개 부분으로 구성되어 있으며 유동 표면 및 배출면은 경계 조건을 포함하고 있다. 유동

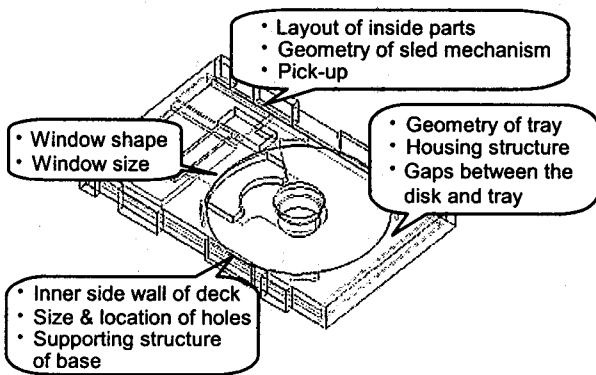


Fig. 1 Geometry of typical CD/DVD-ROM drive and design parameters related to the characteristics of airflow

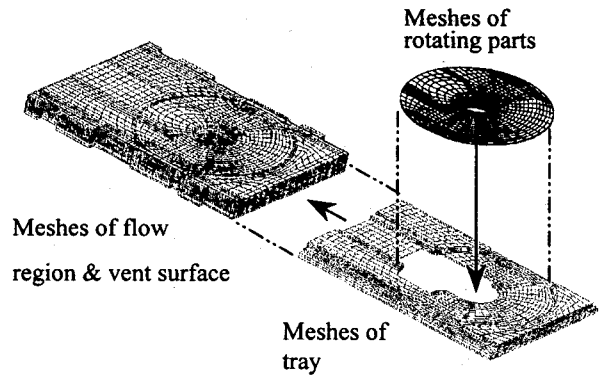


Fig. 2 Finite element model of CD/DVD-ROM drive the 7200 rpm disk rotating speed

Table 1 Finite element model for CD/DVD-ROM drive with 7200 rpm disk rotating speed

	Flow surface		Vent area	Flow region
	Tray	Rotor		
Number of elements	3742	1768	1526	14284
Element typ	Quadri-lateral	Quadri-lateral	Quadri-lateral	Brick
Material	-	-	Air	Air

영역(flow region)은 드라이브 내의 빈 공간에 대한 메쉬(mesh)로 이루어져 있으며, 배출면은 드라이브 내의 공기가 드라이브 내외로 출입할 수 있는 영역에 대한 메쉬로 구성된다. 또한 유동 표면은 공기의 흐름을 유도하거나 공기 흐름에 장애가 되는 표면에 대한 메쉬로 이루어진다. 즉 트레이에 대한 메쉬와 디스크, 클램퍼, 스피들 모터로 이루어진 로터에 해당하는 메쉬로 구성된다. 그리고 로터에 대한 유동 표면은 유체에 회전력을 주도록 모델링 하였다.

요소의 질을 높여 해의 수렴성을 향상시키도록 드라이브를 수십 개의 육면체형의 체적으로 분할한 뒤 분할된 각 체적에 대해 세밀한 메쉬 작업을 수행하였다. 유동 영역은 직육면체(brick) 요소를 사용하였으며 총 요소 수는 14284개이다. 유동 표면에 대한 메쉬는 유동 영역의 고체 요소에서 유동 표면에 해당하는 면에 표면 집합(surface coating) 함으로서 생성하였으며 사각형 셀 요소로 이루어져 있다. 그리고 유동 표면의 로터부 및 트레이부와 배출면은 각각 1768, 3742, 1526개의 요소로 이루어져 있으며 이를 Table 1로 정리하였다.

## 2.2 광디스크 드라이브내의 유동 특성

회전 디스크에 가장 인접해 있는 트레이의 형상이나 창의 크기 등의 변수들이 드라이브 내의 유동 특성에 가장 큰 영향을 미친다. 그래서 현재 제품에 사용 중인 기존의 트레이와 여러 가지 형상의 트레이를 대상으로 유동 현상을 관찰하고, 그 결과 소음을 유발할 소지가 있는 부분은 개선한 후 유동 현상을 해석하여 주요 설계 변수들이 유동 현상에 미치는 효과를 고찰해 본다.

### (1) 기존 모델 A의 유동 해석 결과

Fig. 3은 광디스크 드라이브에서 디스크를 수납하여 턴테이블에 안착 시켜주는 전형적인 트레이를 보여주는 사시도로서 현재 시판 중인 7200 rpm CD/DVD-ROM 드라이브 모델에 적용되고 있다. 트레이에는 디스크 안착면 바깥으로 디스크 가이드를 위하여 디스크 가이드 벽이 구성되어 디스크 안착면보다 높게 단이 형성되어 있다. 또한 픽업의 접근을 위하여 디스크 안착면에는 픽업 창이 형성되어 있다.

Fig. 4는 기존 트레이를 사용한 드라이브 내의 속도 벡터들을 3차원적으로 보여주고 있다. 디스크의 회전에 의해 디스크의 안쪽 상하의 공기가 디스크

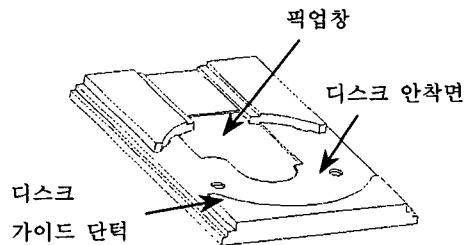


Fig. 3 Shape of tray model A in the optical disk drive

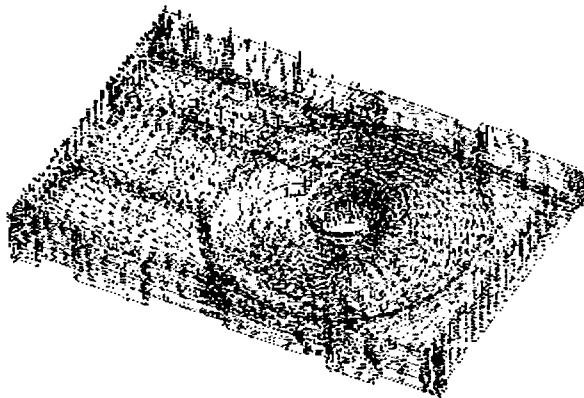
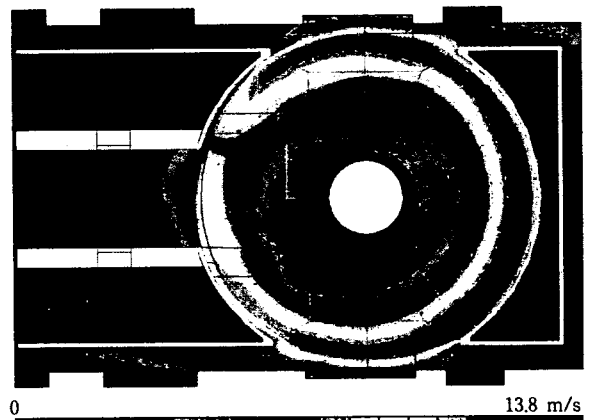


Fig. 4 Velocity vector slice of 3-dimensional airflow in a disk drives

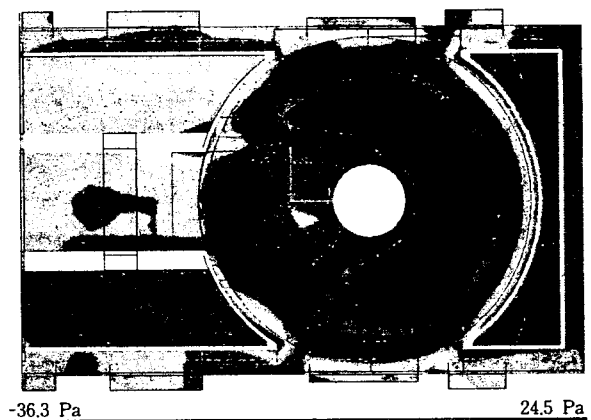
쪽으로 흡입되고 흡입된 공기는 디스크의 회전을 따라 디스크 외곽으로 방출되고 있으며 주위 트레이와 테크 측면벽의 위치와 형상에 따라 복잡한 유동 현상을 보이고 있다. Fig. 5는 기존 모델 A에 대한 유동 해석 결과 드라이브 내의 유동 현상을 보다 자세히 보여주는 그림으로서 주요 단면 및 layer에서의 속도 및 압력 분포를 보여주고 있다. Fig. 5(a)는 드라이브 내의 한 단면에서의 속도를 보여주는 그림으로서 디스크 하단부의 속도가 상단보다 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 디스크의 하단에 트레이가 근접해 있기 때문에 상단보다 유로가 협소해 나타나는 현상이며 상단과 하단의 압력 차이는 상하간의 압력



(a) Cross sectional view of velocity in drive



(b) Velocity distribution on the 0.1 mm off-set layer from bottom surface of disk



(c) Pressure distribution on the 0.1 mm off-set layer from bottom surface of disk

Fig. 5 Simulation results about model A

차이로 이어져 진동과 소음의 발생 원인이 된다. 또한 그림의 우측에 유동 속도가 매우 큰 부분은 바로 옆에 디스크 가이드 벽이 있어서 트레이에 진동을 유발할 소지가 많다.

디스크 하면에서 속도 분포를 보면 Fig. 5(b)와 같다. 여기에서 디스크의 하면으로부터 0.1 mm 떨어진 면의 속도 분포로서 디스크 외주 부분에 속도가 매우 크며 디스크 가이드 벽으로 가까이 가면서 속도가 급격히 떨어지고 있다. 유속의 구배가 큰 부위에는 Fig. 5(c)와 같이 압력이 상승하고 압축된 공기가 대기로 분출되면서 소음의 원인이 된다. 그림에서 보면 디스크 주위의 디스크 가이드 벽과 디스크에 인접한 테크 측면부에서 소음 발생 가능성이 크다는 것을 예측할 수 있다. 그림에서 압력의 단위는 파스칼(pascal)이며 대기압과의 차이를 나타낸다.

(2) 개선 모델 B의 유동 해석 결과

모델 A에 대한 유동 해석 결과 드라이브내의 유속 및 유동 압력의 변화가 디스크 측면의 가이드 벽에 의해 영향을 많이 받는 것으로 판단된다. 따라서 유동 소음을 저감 시키기 위해서는 이들 가이드 벽에 의한 영향을 줄여 줄 필요가 있다.

Fig. 6은 개선한 트레이 모델(이하 모델 B라 칭함)의 사시도로서 디스크의 외주 가이드를 위한 최소한의 부분만 남기고 벽을 대부분 제거하였다. 그리고 유량이 드라이브 내의 좁은 측면으로 집중되는 것을 막기 위하여 트레이 바닥의 픽업 창을 넓혀 공기가 트레이 하단으로 배출되도록 하였다. Fig. 7은 모델 B 트레이를 적용한 드라이브의 해석 결과를 보여주고 있다. Fig. 7(a)의 단면에 대한 속도 분포를 보면 기존 모델에 비하여 상하간의 속도 차이가 적음을 알 수 있다. 이는 디스크 상하간 압력 차이에 의한 진동 및 소음 발생이 저감 될 수 있음을 보여준다. 또한 그림의 우측을 보면 모델 A에 비해 벽이 상대적으로 많이 떨어져 있어 속도가 많이 감소된 채로 벽에 부딪치므로 트레이에 진동을 유발할

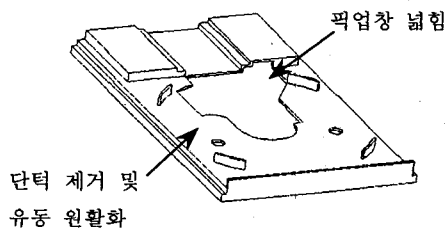


Fig. 6 Shape of tray model B in the optical disk drive

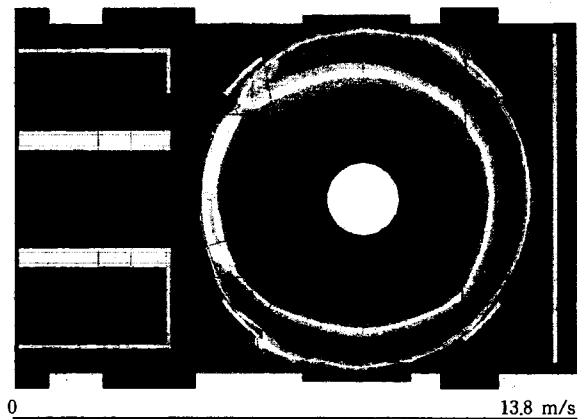
소지가 적어졌음을 알 수 있다.

Fig. 7(b)와 (c)는 디스크 하단 0.1 mm 떨어진 면에서의 속도 및 압력분포로 디스크 외주부에서의 속도는 크지만 디스크 가이드 리브와 테크 측면을 제외하고는 유속이 완만히 감소하고 있다. 압력 분포도 속도 구배가 크게 나타나는 디스크 가이드 리브 영역을 제외하고는 그다지 크게 증가 하지 않았다. 이로부터 기존 모델에 비하여 소음을 발생시킬 부위가 크게 줄었음을 알 수 있다.

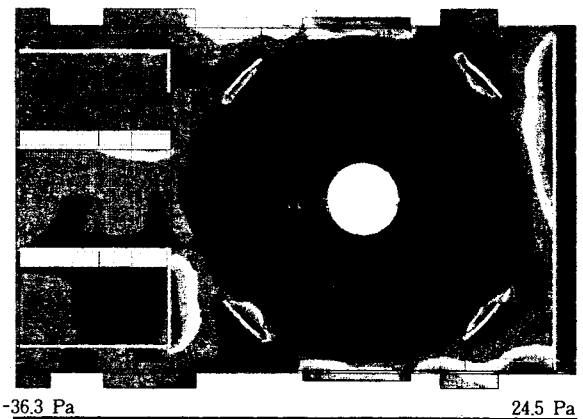
Fig. 8은 8500 rpm CD/DVD-ROM 드라이브의 유동 속도 분포를 보여 주고 있다. 전체적인 속도



(a) Cross sectional view of velocity in drive



(b) Velocity distribution on the 0.1 mm off-set layer from bottom surface of disk



(c) Pressure distribution on the 0.1 mm off-set layer from bottom surface of disk

Fig. 7 Simulation results about model B

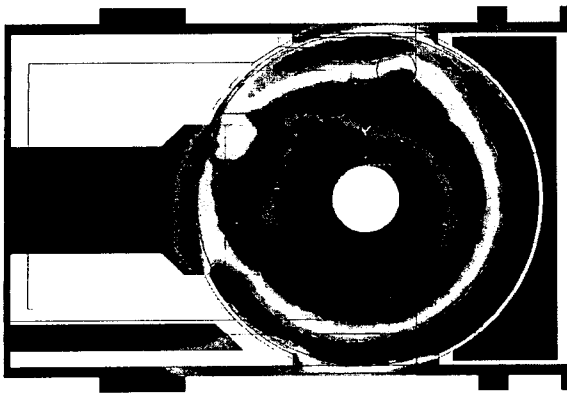


Fig. 8 Velocity distribution in the CD/DVD-ROM drive with 8500 rpm disk rotating speed

분포는 7200 rpm 드라이브에서의 속도 분포와 크게 차이가 없으나 드라이브 내부에서 좌우의 속도 비대칭성이 증가하였음을 알 수 있다. 디스크의 회전 속도가 빨라질 수록 드라이브 내의 속도 분포가 좌우 비대칭적으로 변화한다. 따라서 유동의 비대칭성이 디스크의 진동이나 드라이브 소음에 미치는 영향을 규명할 필요가 있다.

### 3. 공력 소음의 특성 분석

회전 디스크 주변에서 공기 유동 현상이 드라이브 전체의 진동 및 소음 특성과 안정성에 미치는 영향을 분석하였다. 먼저 CD/DVD-ROM 드라이브 내에서 음압 레벨(sound pressure level)의 상대적 파악이 용이하도록 Fig. 9에서 보이는 바와 같이 "a"에서 "p" 까지 주요 지점을 선정하였다. 드라이브의 상면으로부터 약 10 mm 떨어진 곳에 음압 레벨 측정 센서를 위치시키고 드라이브상의 상대 위치에 따른 음압 레벨을 측정하였다. 그리고 드라이브 사용자 조건의 위치 (드라이브 전면으로부터 수직거리 50 cm, 수평거리 50 cm)에서 총 음압 레벨도 측정하였다. 원래 정확한 측정을 위해서는 근접 음장을 피하고 자유 음장에서 측정을 진행하는 것이 바람직하나 본 실험에서는 드라이브 내 주 소음원의 개략적 위치를 파악하기 위해 근접 음장에서 드라이브상의 상대 위치에 따른 음압 레벨을 측정하였다. 즉 각 지점에서 측정된 음압 레벨은 상대적인 비교를 위한 것이다. Fig. 9는 고속 회전시 디스크의 진동 진폭 파악 및 음압 레벨을 파악하기 위한 실험 장치의 구성과 측정 위치를 도식적으로 보여준 것이다. 한편 드라이브 내에서 디스크가 고속 회전시 발생하는 공기 유동이 디스크의 진동 진폭에 미치는 영향과 이

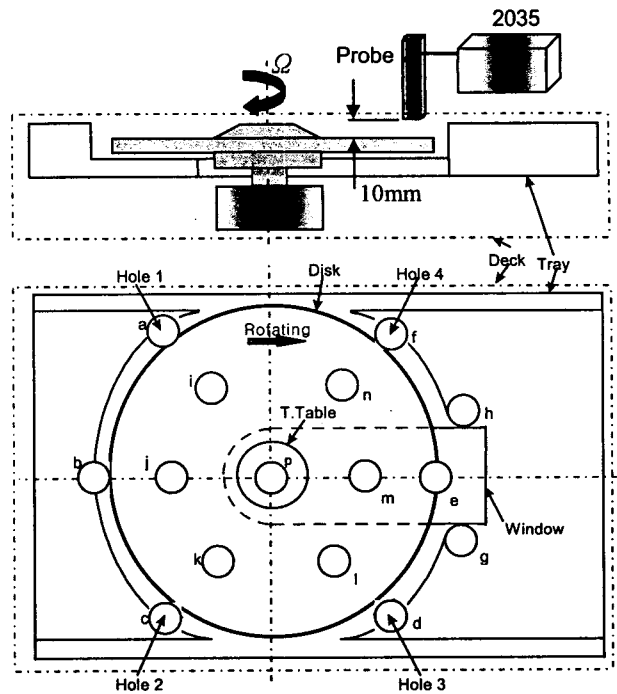


Fig. 9 A schematic view of experimental set-up

에 따른 음압 레벨의 차이를 파악하기 위해서 트레이의 유무 상태 및 여러 가지 트레이의 기하학적 형상에 따른 실험을 진행하였다.

#### 3.1 소음 및 진동 특성

Fig. 10은 7200 rpm의 CD/DVD-ROM 드라이브에 기존 트레이 모델 A와 개선 모델 B를 사용할 때 음압 레벨의 주파수 특성을 나타낸 그림이다. 그림에 따르면 음압 레벨의 차이를 보이는 특정 주파수 대역은 0.5 kHz에서 5 kHz사이이며 이 구간 내에서의 음압 레벨의 최대치는 1 kHz부근에서 나타남을

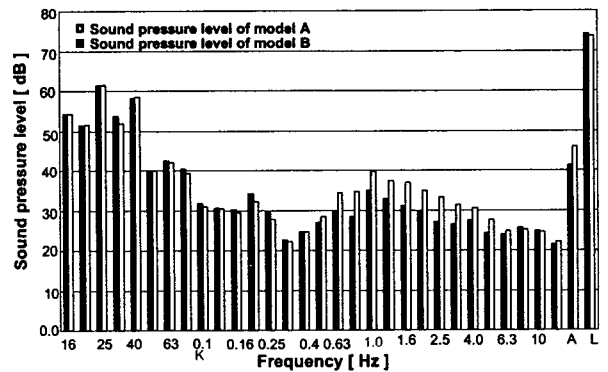


Fig. 10 Comparison of acoustic noise power spectrum for 7200 rpm CD/DVD-ROM drive

알 수 있다. 공기 유동을 영향을 고려하여 기존 모델을 개선한 모델 B의 경우 이러한 주파수 대역의 소음이 개선됨을 알 수 있다.

Fig. 11(a)와 (b)도 8500 rpm의 회전 속도를 갖는 CD/DVD-ROM 드라이브 내에서 기존 모델과 개선된 모델을 사용할 경우 음압 레벨에 대한 주파수 특성을 나타낸 그림이다. 그림에 의하면 음압 레벨의 차이를 보이는 특정 주파수 대역은 0.5 kHz에서 2 kHz사이의 대역이다. 7200 rpm 드라이브와 다른 점은 특정 주파수 대역내의 음압 레벨의 최대치가 1 kHz와 1.7 kHz부근의 두 군데서 나타나며 이러한 두 곳의 최대치가 드라이브의 전체 소음 특성을 지배하고 있다는 점이다. 참고로 문제 대역외에서 크게 나타나는 2.7 kHz와 3 kHz부근의 성분은 분석 결과 모터의 소음으로 판명되었다. 7200 rpm 드라이브와 마찬가지로 8500 rpm 드라이브의 경우에도 기존 트레이 모델을 개선한 트레이 모델 B에서는 문제 주파수 대역의 음압 레벨이 크게 개선되었다. 결과적으로 CD/DVD-ROM 드라이브의 특정 주파수 대역에서 소음 레벨의 감소는 디스크 상하간의 유속에 의한 유동 압력의 변화를 어떻게 효과적으로 제어하느냐에 의존함을 알 수 있었다.

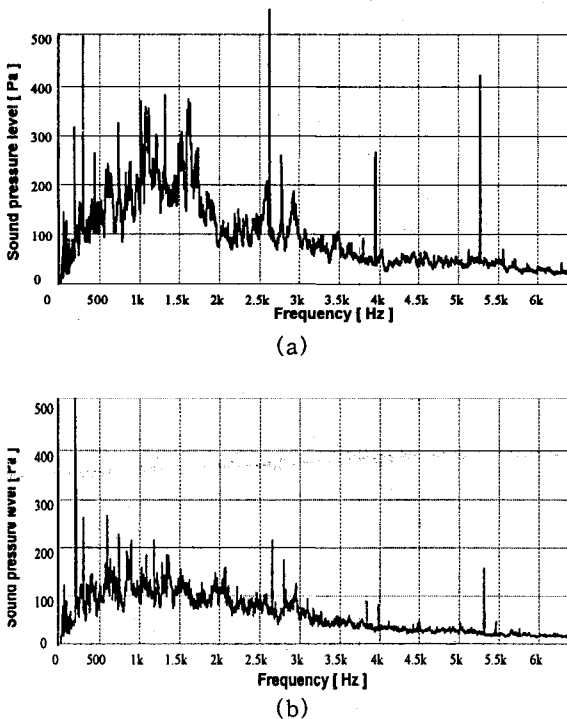


Fig. 11 Acoustic noise power spectrum for 8500 rpm CD/DVD-ROM drive (a) before modification of tray (b) after modification of tray

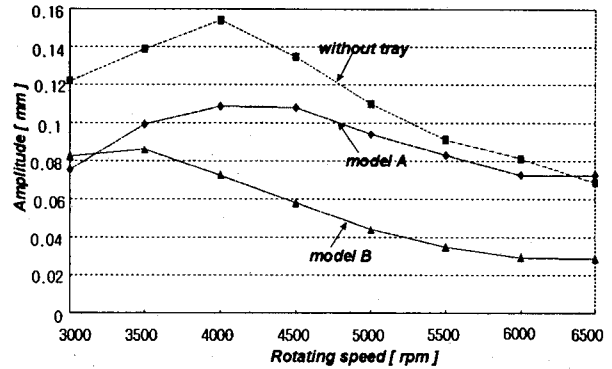


Fig. 12 Comparison of vibration amplitudes of 1.2 mm disk in the CD/DVD-ROM drive as a function of rotating speeds

한편 CD/DVD-ROM 드라이브내에서 1.2 mm두께의 디스크가 3000 rpm부터 6500 rpm으로 회전할 때 트레이의 유무 및 공기유동성 개선전후에 따른 디스크 진동 최대 진폭값(peak to peak amplitude)을 Fig. 12에 도시하였다. 트레이가 없이 디스크를 회전시킬 경우는 트레이가 있는 나머지 경우보다 디스크의 진동량은 상대적으로 커짐을 알 수 있다. 이는 회전 디스크와 트레이 사이의 공기압으로 인한 횡 방향 강성과 감쇄력의 영향에 의한 현상으로서 고정 벽에 근접하여 회전하는 디스크의 진동에 대한 기존 연구 결과와 일치한다<sup>(6,7)</sup>. 기존 트레이 모델에 비해서 개선된 모델 B의 경우가 진동 진폭이 작은 이유는 앞의 유동 해석 결과로부터 개선된 모델의 경우가 디스크 상하간에 공기 유속과 압력 차이가 작기 때문인 것으로 보여진다. 세가지 실험 가운데 모델 B에 대한 경우 디스크 진동 진폭량 뿐만 아니라 음압 레벨도 상당히 줄어들었다. 그림에서 보면 드라이브 내에서 트레이 상태에 따라 디스크 진동량은 3500 rpm~4500 rpm까지 증가하다가 이후 감소하는 경향을 보이고 있다.

### 3.2 드라이브 내의 소음원 분석

일반적으로 광 디스크 드라이브는 여러 가지 소음원을 갖고 있으므로 소음 저감을 위해서는 소음원에 대한 정확한 규명이 필요하다. 본 연구에서는 CD/DVD-ROM 드라이브 내에서 디스크가 고속 회전할 때 마이크로폰과 신호 분석기를 이용하여 총 음압 레벨(total sound pressure level)과 음 강도 레벨(sound intensity level)을 측정하였다. 음 강도(sound intensity)를 분석하기 위한 측정 위치는 Fig. 13에 나타낸 드라이브 상편의 격자점(grid

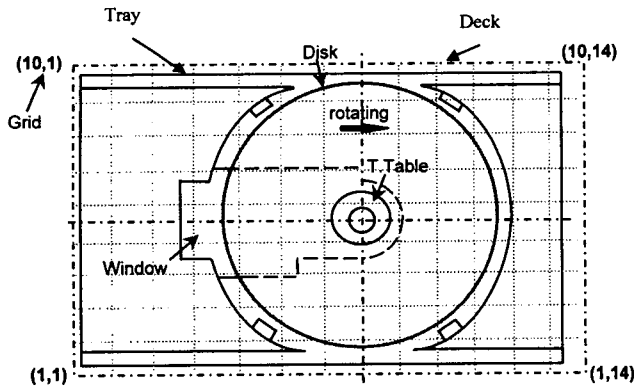


Fig. 13 Definition of grid points in the drive

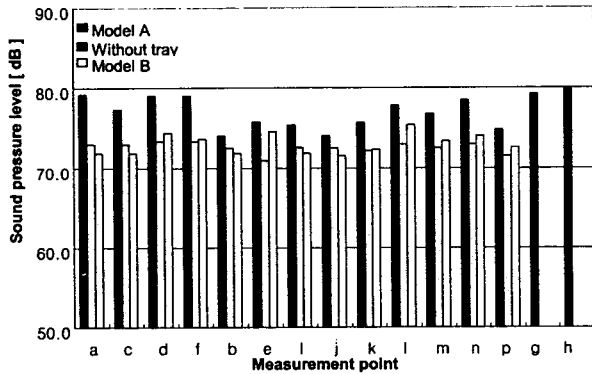


Fig. 14 Comparison of sound pressure level for 7200 rpm CD/DVD-ROM drive

point)이며, 총 음압 레벨의 측정은 사용자 조건의 위치 (드라이브 전면으로부터 수평거리 50 cm, 수직거리 50 cm)에서 행하였다.

먼저 트레이가 없을 때와 기존 및 개선된 트레이에 대해서 7200 rpm CD/DVD-ROM 드라이브 내 소음 크기의 상대적인 비교 특징을 Fig. 14에 도시하였다. 그림에서 표시된 소음 레벨은 근접장에서 측정된 데이터로 드라이브의 절대적인 소음 레벨은 아니며 드라이브의 상면에서 위치 변화에 따른 상대적인 크기 변화이다. 그림에서 보는 바와 같이 드라이브상의 "a, c, d, f, g, h"의 위치에서 소음 레벨이 다른 위치에 비해 상대적으로 높음을 알 수 있고 8500 rpm CD/DVD-ROM 드라이브에 대해서도 유사한 실험 결과를 얻을 수 있었다.

그리고 7200 rpm CD/DVD-ROM 드라이브 내에서 디스크의 회전 속도가 4000 rpm에서 7000 rpm으로 증가할 때 0.5 kHz에서 5 kHz사이의 주파수 대역내에서 각 회전 수에 대한 음 강도의 최대치를 조사하여 Fig. 15에 도시하였다. 여기서 측정점은

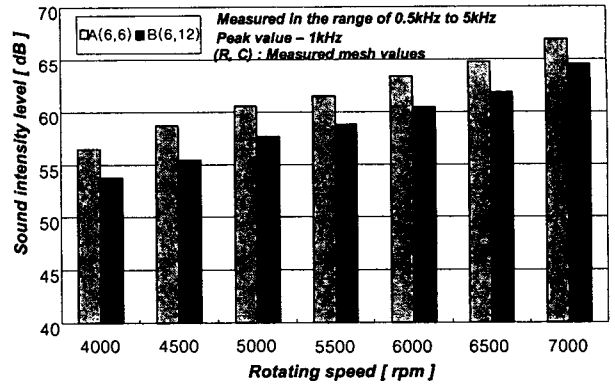


Fig. 15 A trend of peak value of sound intensity at two remarkable grid points as a function of rotating speeds for 7200 rpm CD/DVD-ROM drive

Fig. 13에 보이는 바와 같이 특정 격자점으로 소음의 피크 주파수가 가장 크게 나타나는 점들이다. 회전 속도에 해당하는 음의 강도의 피크 주파수는 회전 속도에 관계없이 1 kHz부근에서 나타났다. 그 크기는 그림에서 보는 바와 같이 회전 속도에 따라 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있었다. 본 연구에 사용되어진 CD/DVD-ROM 드라이브의 소음에 대한 주요 주파수 성분은 실험에서 검토된 모든 회전 속도에 대해서 1 kHz대역의 성분에 지배됨을 알 수 있었다. 본 논문에는 기술 되지 않았지만 8500 rpm의 CD/DVD-ROM 드라이브의 경우에도 음압 레벨의 크기는 7200 rpm 드라이브의 결과와 마찬가지로 회전 속도에 따라 선형적으로 증가하였다.

Fig. 16은 기존의 트레이 모델을 사용한 7200 rpm 드라이브의 상면에서 총 음압 레벨의 분포를 나타낸 것이다. 최대 피크 주파수 성분을 기준으로 등고선

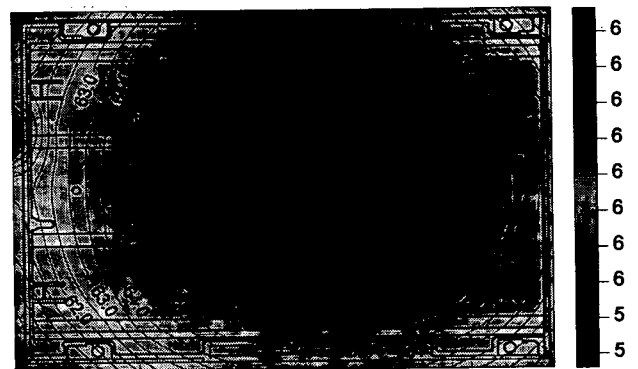


Fig. 16 Contour map of overall noise level on the model "A" of CD/DVD-ROM drive with 7200 rpm disk rotating speed





Fig. 17 Contour map of overall noise level on the model "A" of CD/DVD-ROM drive with 8500 rpm disk rotating speed

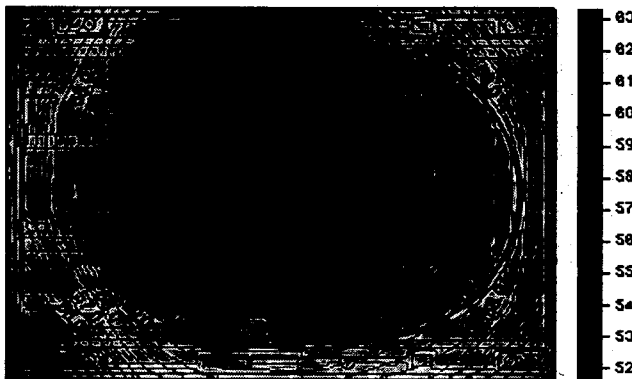


Fig. 18 Contour map of sound intensity at 1 kHz on the model "A" of CD/DVD-ROM drive with 7200 rpm disk rotating speed

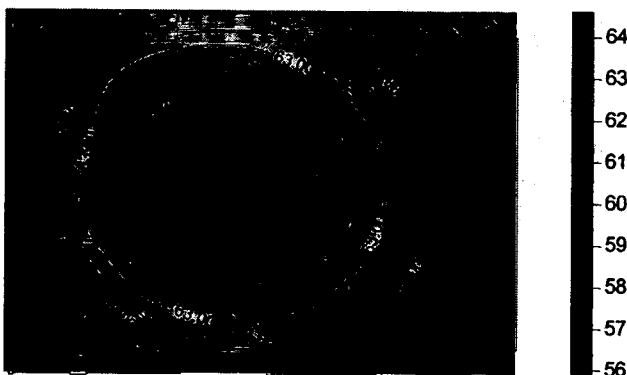


Fig. 19 Contour map of sound intensity at 1 kHz for CD/DVD-ROM drive with 8500 rpm disk rotating speed

도(contour map)를 작성하여 음 강도의 위치를 파악 하였다.

트레이의 윈도우 영역을 중심으로 67 dB의 높은 값을 나타내며 바깥쪽으로 총 음압 레벨이 낮아짐을

관찰 할 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 17에서 보여주고 있는 것과 같이 8500 rpm 드라이브의 경우에도 마찬가지이다. 차이점은 총 음압 레벨이 약 71 dB로 7200 rpm 드라이브의 67 dB보다 조금 높아졌다. 이는 디스크의 회전 속도 증가에 의한 것임을 알 수 있었다.

Fig. 18과 Fig. 19는 드라이브내의 주 소음원 분석을 위해 7200 rpm 및 8500 rpm CD/DVD-ROM 드라이브에 대한 음 강도의 분석을 나타낸다. 여기서 음 강도 레벨의 분포를 보면 Fig. 16과 Fig. 17의 전체 소음(overall noise) 분포에서 나타난 바와 같이 1 kHz대역의 주파수 성분을 갖는 소음의 음 강도 레벨은 트레이의 윈도우 부근에서 가장 높게 나타난다. 음 강도 레벨의 절대치에 있어서는 회전속도가 8500 rpm인 CD/DVD-ROM 드라이브의 경우가 더 높게 나타났다. 그러므로 회전 속도의 증가에 따라서 음의 강도 레벨과 음압 레벨이 모두 증가함을 알 수 있었다.

#### 4. 고찰 및 결론

본 논문은 고배속의 CD/DVD-ROM 드라이브에서 공력소음을 줄이기 위해 수치 해석 및 실험적인 방법을 통해서 드라이브 내의 공기 유동 현상과 공력 소음 및 진동 특성을 분석하였다.

먼저 CD/DVD-ROM 드라이브에 사용된 트레이와 공력 소음을 개선한 트레이에 대하여 드라이브 내의 유동 현상을 유한요소방법을 이용하여 해석하였다. 개선된 트레이 모델에서는 디스크 상하간의 속도 및 압력차가 감소하여 공력 소음 및 진동이 감소되었다. 결과적으로 공력 소음 및 진동을 줄이기 위해서는 트레이의 상부 영역에서 공기 유동에 장애가 되는 부분을 제거해 주고 디스크와 트레이 사이의 협소한 부분을 제거하거나 확장해 주는 것이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 실험적인 소음 분석 결과에 따르면 7200 rpm CD/DVD-ROM 드라이브의 경우 0.5 kHz에서 5 kHz의 주파수 대역에 있어서 기존 모델과 개선된 모델 사이의 소음 레벨은 큰 차이를 보인다. 8500 rpm의 회전 속도를 갖는 CD/DVD-ROM 드라이브도 마찬가지로 트레이 모델의 개선으로 인해 0.5 kHz에서 2 kHz사이의 주파수 대역의 소음이 감소되었다. 소음 레벨의 크기에 영향을 주는 주파수는 7200 rpm 드라이브의 경우 1 kHz부근이며 8500 rpm 드라이브의 경우 1 kHz와 1.7 kHz의 두 곳에 최대치가 존재함을 알 수 있었

다. 한편 드라이브 내의 진동 특성 또한 개선된 트레이를 사용하였을 때 디스크 진동의 최대 진폭 값은 트레이가 없을 때 및 기존 트레이를 사용할 경우보다 줄어드는 것이 실험적으로 확인되었다.

결론적으로 광 디스크 드라이브 내의 트레이의 기하학적인 형상과 윈도우의 크기 및 모양 등이 드라이브의 소음 및 진동 특성에 상당히 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 행한 광 디스크 드라이브에서 고속 회전 디스크에 의한 소음 및 진동에 관한 기초적인 해석 및 실험 결과는 향후 고속 회전 광 디스크 드라이브의 개발시 소음 및 진동의 저감을 위한 기구 구조물의 설계에서 활용될 수 있을 것으로 기대한다

### 참 고 문 헌

- (1) J. C. Harrison, C.W. Miller, F.E. Talke, 1991, 1993, "Disk Surface Acceleration Effects Due to Air Flow in Induced by Rotation," ASME Adv. Info. Storage Syst., Vol. 1, pp. 155~169.
- (2) C. D. Angelo III, C. D. Mote Jr., "Aerodynamically Excited Vibration and Flutter of a Thin Disk Rotating at Supercritical Speed," Journal of Sound and Vibration, Vol. 168, No. 1, pp. 1~54.
- (3) S. Imai, K.Mori, T.Okazaki, 1997, "Flutter Reduction Reduction by centrifugal Airflow for High-Rotation-Speed Disks," International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment, Tokyo, pp. 20~23.
- (4) A. A. Renshaw, 1998, "Critical Speed for Floppy Disks," ASME Journal of Applied Mechanics, Vol. 65, pp. 116~120.
- (5) K. Yasuda, T. Torii and T. Shimizu, 1992, "Self-Excited Oscillations of a Circular Disk Rotating in Air", JSME International Journal, Series III, Vol. 35, No. 3.
- (6) F.-Y. Huang and C. D. Mote, Jr., 1995, "On the Instability Mechanisms of a Disk Rotating Close to a Rigid Surface," Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics, Vol. 62, pp. 764~771.
- (7) K. Yasuda, and R. Kaneko, 1987, "R/W Experiment Using High speed Flexible Disk," IEEE Journal on Magnetics in Japan, Vol. TJMJ-2, pp. 580~588.
- (8) 이승엽, 1998, "광디스크 드라이브의 최근 동향과 기계적 진동의 영향," 한국소음진동공학회, 춘계 학술대회논문집, pp. 218~226.
- (9) Hermann Schlichting, 1979, "Boundary-layer Theory", Seventh edition, McGraw-Hill.
- (10) J. McAllister, 1997, "Characterization of Disk Vibrations on Aluminum and Alternate Substrates," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 33, No. 1, pp. 968~973.
- (11) 김수경, 송인상, 손희기, 1998, "광자기 기록 장치에서의 디스크 진동과 회전 공기 유동 특성에 관한 연구," 한국소음진동공학회, 춘계 학술대회논문집, pp. 206~210.
- (12) S.-Y. Lee, S. Kim, 1998, "Mechanical Issues in Optical Disk Drives", Information Storage and Processing Systems Division, IMECE : ASME Winter Annual Meeting, ISPS-Vol. 4, pp. 81~90, Nov. 15~20.
- (13) S. Kim, G.Han, H. Son, 1998, "A study of Character of Disk Vibration and Rotating Airflow in Magneto Optical Disk Drives", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 3, pp. 601~605.