

광자기 기록 장치에서의 디스크 진동과 회전 공기 유동 특성에 관한 연구

김수경*, 0송인상*, 손희기*

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SPINNING DISK VIBRATION INFLUENCED BY CENTRIFUGAL AIRFLOW

Sookyung Kim*, Insang Song* , Heuigi Son*

Key word : Disk vibration , Spinning disk , Rotating airflow , Centrifugal airflow ,
Natural frequency of rotating disk , Modal index , Cartridge

Abstract

A study on dynamic characteristics of rotating disks in magneto optical disk drives is presented. Natural frequencies of rotating disks are investigated experimentally and numerically. The frequency response and critical speeds of the ASMO disk are discussed. The characteristics of airflow around the disk and their effects on disk vibrations are also investigated. It is found that the numerical calculation of the natural frequencies of rotating disks agrees well with the experimental results. The airflow around the disk in the cartridge affects the characteristics of the disk vibrations to reduce the modal frequencies of the disk. The experiment shows that negative vertical offsets of the disk in the cartridge possibly increase the vibration amplitudes. As being influenced by the geometry of the cartridge, the rotation of the disk causes an asymmetric airflow in the presence of window.

1. 서 론

지난 몇년 동안 정보 저장 장치로서 광디스크 매체를 이용한 디스크 드라이브는 많은 발전을 해오고 있다. 최근 일본등을 중심으로 구미, 한국 등의 일부 업체들이 참가한 가운데 DVD-RAM(Digital Versatile Disk - Random Access Memory), ASMO(Advanced Storage Magneto-Optical) 드라이브 장치 등에 관한 규격화 작업이 진행되어 오고 있다. 그리고 반도체 메모리, CPU등의 용량 증가와 고속화를 이루는 급속한 발전과 함께 가격 하락은 하드 디스크 등과 같은 보조 기억 장치의 대용량화 및 저가격 추세로 이어지며 또 다른 열가형 보조 기억 장치의 출현을 요구하고 있다. 데이터 파일 사이즈의 증가는 이러한 보조 기억 장치의 대용량화 개발을 촉진시키며 최근 업계의 동향으로 보아 동영상을 장시간 녹화 할 수 있는 수 ~ 수십 기가 바이트급의 고밀도 저장 매체의 출현이 가까운 장래에 실현될 전망에 있다.

또한 향후 차세대 POST VTR로 기대를 모으고 있는 4.7Gbyte급의 DVD-RAM 또는 6.1Gbyte급의 ASMO 디스크 저장 장치는 현재의 CD-ROM을 재생할 수 있으며 대용량 컴퓨터 보조 기억 장치로서 향후 그 수요가 증가할 전망이다.

동화상 정보를 장시간 기록하는 대용량 디스크 저장 장치는 하드 디스크 용량을 넘어서는 고밀도화 / 고속화 기술이 구현되고있고, 이러한 고밀도화 디스크 장치에 있어서는 데이터 액세스 시간을 단축하고 픽업 헤드의 정밀한 위치 제어와 고속 회전 디스크의 진동 제어가 더욱 절실히 요구되어 지고 있다. 보통 회전하는 디스크는 스피들 베어링, 디스크 주위의 공기 유동, 그리고 기록 재생 헤드의 상호작용과 같은 많은 왜란 요인 때문에 진동을 한다.^[2-5] 또한 디스크 진동은 디스크 회전에 의해 야기되는 공기 유동과 함께 연성 되어 지는 것이 그동안 실험적으로도 관찰되고 보고 되어왔다.^[1,6] 일반적으로 광 디스크 또는 광자기 디스크 드라이브에 있어서 높은 기록 밀도와 기록/재생 성능은 디스크 요동과 헤드 위치 에러를 줄이는 기술과 밀접한 관계가 있다. 그러므로

* LG전자 주식회사 DIGITAL MEDIA(연) DSK Gr.

고속으로 회전하는 디스크의 진동 현상을 좀더 깊게 이해하는 것은 고 신뢰성 디스크 드라이브 개발을 하는데 필요하며 헤드 위치 에러와 트랙킹 에러를 줄여주어 품질 향상에 도움이 될 것으로 기대되고 있다.

본 논문에서 주로 검토한 ASMO 디스크는 두께 0.6mm 이고 외경 120mm의 PC(Poly carbonate)재질로 된 매우 유연한 (flexible) 디스크로서 자기 헤드 슬라이더가 장착되어 디스크와 접촉 주행을 하는 상태에서 카트리지 안에서 회전하도록 되어 있다. 이에 따라 자기 헤드 슬라이더의 요동은 진동원의 하나라 간주되고 드라이브를 작동하는 동안 헤드 슬라이더와의 상호작용(Head-disk interface)에 따라 디스크의 요동은 증가될 것이다. 본 논문은 ASMO형의 광자기 디스크 드라이브에 있어서 디스크 주위의 공기 유동과 디스크 진동 특성을 기술하고자 한다. 디스크의 진동 특성을 파악하기 위하여 회전하는 디스크의 고유 진동수를 여러가지 회전 속도에서 수치 해석적, 실험적으로 검토 하였다. 더욱이 카트리지 내에서 디스크의 수직 위치 오프셋 및 디스크 기울기(Tilt Angle)량의 변화에 따른 실험을 수행함으로써 디스크 주위의 공기 유동에 대한 동적 특성과 디스크 진동에 대한 영향을 검토하였다.

2. 회전 디스크의 동적 특성

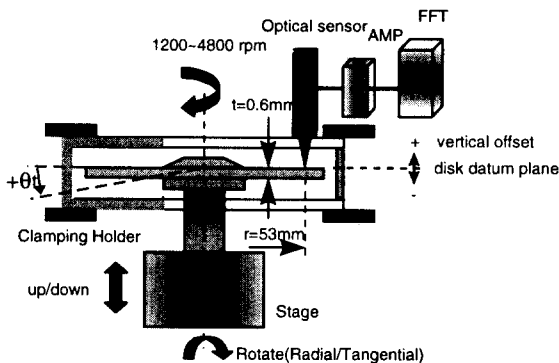


Fig.1 A schematic view of experimental set-up

정보 저장 장치에서 사용되고 있는 여러가지 디스크들에 대한 동특성 파악을 위해서는 정지와 회전상태의 두 조건에서 디스크 표면에 대한 수직 방향의 진동을 비교, 분석하는 것이 필요하다. 임팩트 헤머로 디스크를 가진 하는동안 레이저 도플러 바이브로미터 (LDV) 또는 포토닉(Phononic) 센서를 사용하여 회전 속도를 함수로 하여 회전하는 디스크의 진동 진폭을 측정하였다. Fig.1은 회전하는 디스크의 진동 진폭을 측정 하기위한 실험 장치의 구성을 도식적으로 보여준 것이며 Fig.2는 실험장치의 사진이다.

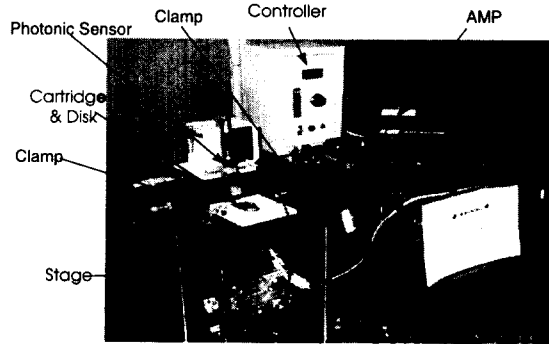


Fig.2 Picture of experimental set-up

한편 디스크 진동에 대한 공기 유동의 영향을 검토 하기 위하여 실험에 사용한 드라이브는 디스크가 카트리지 내에서 임의의 수직 위치 오프셋을 갖도록 움직이거나 반경/접선(Radial/Tangential) 방향의 경사각(Tilt Angle)을 갖고 회전할 수 있도록 설계 되었다. 실험에 사용한 디스크는 두께 0.6mm, 외경 120mm의 ASMO 디스크(클램핑 부위의 두께는 1.2mm)와 두께 1.2mm, 외경 120mm의 DVD를 사용하여 진동 특성을 비교 하였다. 이 두 가지 디스크는 모두 내경이 15mm로서 내주가 클램핑 되어지는 구조로 되어 있다.

2.1 모드 주파수와 FRF 특성

모든 원형 디스크의 경우 진동 모드는 각각의 진동 주파수가 다른 일정한 형상을 갖는 모드로 구성된다. 이 모드는 축대칭 형상과 비대칭 형상으로 구분되며, 수직 방향의 변위가 영이 되는 절선(nodal line)을 가진다. 축대칭 형상으로 되는 모드에서 이 절선은 동심원상의 원(circle)의 형상이며, 비대칭 모드에서는 디스크를 균등하게 나누는 직경의 형상이다.^[1] 이러한 원과 직름은 각각 절지름(nodal diameter)과 절원(nodal circle)이라 부르며 고차 모드로 갈수록 정수배로 절수가 증가한다. 내경이 클램핑된 원형 디스크 모드 형태와 모드지수(modal index) 사이의 상호 관계를 본 논문에서는 절원의 수를 m , 절지름의 수를 n 이라 할때 모드지수 (m,n) 으로 정의하는 표기법을 사용 하였으며 이때의 모드 지수와 각모드를 Fig.3에서 보여주고 있다.

디스크 드라이브의 특정 회전 속도에 있어서 바람직 하지 않는 공진에 대한 회피 설계를 하기 위해서는 각 모드에 대응하는 고유 진동수를 정확하게 알 필요가 있다. 정지 상태의 ASMO 디스크와 DVD에 대해 임팩트 헤머로 가진된 주파수 응답 특성을 Fig.4에서 보여 주고 있다. 본 논문에서는 가능한한

많은 공진 주파수를 검출하기 위해 측정점과 가진점이 거의 동일한 위치로하여 실험을 실시 하였다.

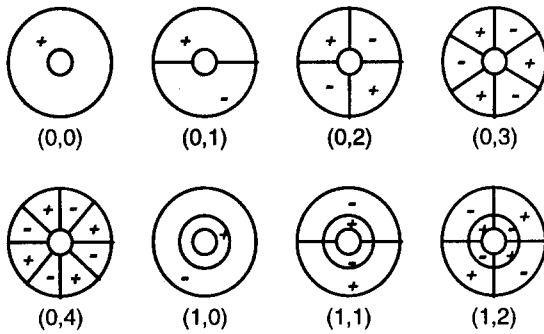


Fig.3 Mode shapes for an annular disk

Fig.4에서 보면 ASMO 디스크의 첫번째 모드 (0,1) 주파수는 66Hz이고 DVD는 92Hz라는 것을 알 수 있다. 즉, ASMO 디스크의 경우 두께가 DVD에 비해 1/2로서 강성의 저하로 인해 1차 모드 주파수는 DVD의 약 2/3정도로 감소된 값으로 측정되었다. 또한 좀 더 정확 한 디스크의 고유 진동수를 알기 위해 실험 외에도 수치해석을 수행하였으며 유한요소법(FEM)을 사용하였다. Table1은 수치 해석과 실험에 의해 얻어진 ASMO 디스크의 모드 주파수를 보여주고 있으며 DVD에 대한 모드 주파수도 실험적으로 구하여 비교 하였다. Fig.4에서 보면 ASMO 디스크의 경우 DVD에 비해 동일한 가진에 대해 그 응답에 대한 이득이 큰 것을 알 수 있다. ASMO 디스크에서 고차 모드의 경우 고유 진동수는 수치적인 계산 결과와 실험 결과가 다소 차이가 나나, 저차 모드에서는 어느 정도 잘 일치 됨을 알 수 있다.

Table 1. Modal frequencies of a stationary ASMO disk

Mode		Frequency [Hz]		
		ASMO disk		DVD disk
		FEM	Experiment	Experiment
1	(0,1)	67.4	66	92
2	(0,0)	70.0	72	110
3	(0,2)	80.3	88	142
4	(0,3)	137.6	160	292
5	(0,4)	232.4	272	512
6	(0,5)	355.1	-	-
7	(1,0)	442.1	454	-
8	(1,1)	462.5	488	-

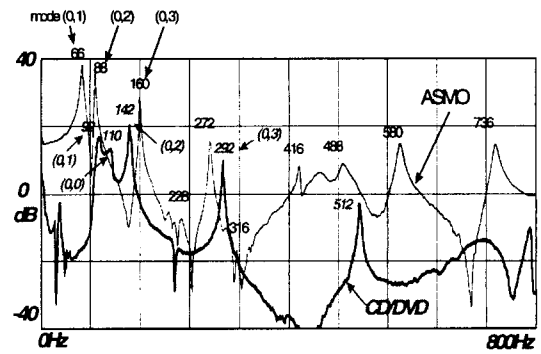


Fig.4 Typical Compliance FRFs of the ASMO and DVD disk

2.2 디스크 회전 효과와 임계 속도

회전하는 ASMO 디스크의 모드 주파수를 여러 회전속도에서 수치 해석 및 실험적으로 구하여 Fig.5에 도시 하였다. 이 그림은 디스크의 회전속도에 따라 어떻게 고유 진동수가 변하는가 하는 경향을 보여준다. 또한 공기 유동의 모드 주파수에 대한 영향을 파악하기 위하여 디스크 회전수를 증가시켜 가면서 카트리지가 유무에 따른 실험을 하고 그 결과를 플로팅 하였다. Fig.5에서 실선으로 나타낸 것은 유한요소법(FEM)에 의해 계산된 결과이며 “+”와 “x”의 표시는 카트리지가 없는 디스크를 측정 한 값과 카트리지가 있는 디스크를 대상으로 측정 한 값을 각각 나타낸다. 모드 주파수는 디스크가 정지해 있을 때의 양의 n을 갖는 각각의 (m,n)모드에 대해 오직 하나의 주파수 값을 갖는다.

디스크를 벗어난 정지한 관찰자의 입장에서 보면 회전속도가 증가함에 따라 모드 주파수는 회전수에 따라 증가 및 감소하는 두개의 주파수로 변조된다. 일반적으로 증가하는 주파수는 진행파(forward traveling wave)라 하고, 감소하는 주파수는 후퇴파(backward traveling wave)라 불리운다. 통상적으로 후퇴파의 주파수가 영이 될 때 디스크는 진동의 진폭이 증가하면서 조건적인 불안정한(conditionally unstable) 상태가 된다. 모드 주파수가 영이 될 때의 회전속도를 임계 속도(critical speed)라 하며 정하중(Static force) 하에서도 조건에 따라 불안정해질 수 있다. 실험에서 카트리지가 내에서 디스크의 모드 주파수는 카트리지가 없는 디스크의 모드 주파수에 비해서 5~10% 정도 낮은 값을 갖는 것을 알 수 있었다. 디스크의 모드 주파수가 줄어드는 것은 카트리지와 디스크 사이의 공기 유동에 의한 감쇠(damping) 효과로 인한 것으로 판단 된다. 또한 그림에서 보면 회전하는 ASMO 디스크의 첫번째 임계 속도는 (0, 2)

모드의 후퇴파로 인하여 3600 ~ 4200 rpm 의 범위에 있음을 알 수 있다.

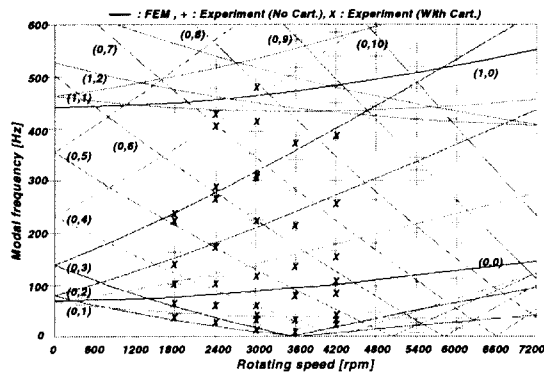


Fig.5 Modal frequencies of rotating ASMO disk

2.3 디스크 진동에 대한 공기 유동 효과

카트리지 내에서 공기 유동이 디스크 진동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 디스크의 수직 위치에 따른 진동 레벨을 조사하였다. 카트리지 내에서 디스크의 수직 위치에 대한 정의를 Fig.1에 도시 하였으며 카트리지 내에서 디스크의 오프셋(offset)은 ± 1 mm의 범위를 갖도록 하고 0.2mm씩 증감시켜 실험을 수행하였다. 여러가지 회전 속도에 대한 진동 진폭의 경향을 Fig.6에 도시 하였다. Fig.1에 정의한 오프셋이 음의 방향으로 커질 경우 디스크의 진동 진폭량이 조금씩 증가하는 경향을 그림에서 관찰할 수 있다. 이러한 경향은 회전하는 디스크의 아래쪽 부분에서 공기압력이 디스크의 윗 부분에서의 공기압력 보다 더 높고 상하 압력차에 해당하는 부하가 마치 anti-clamping force 처럼 디스크에 작용하기 때문인 것으로 보여진다.

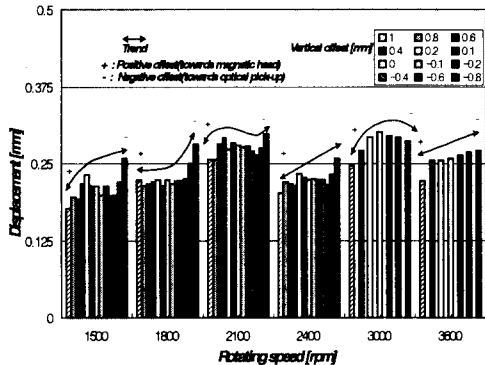


Fig.6 Typical vibration amplitudes of rotating ASMO disk versus vertical offset of the disk in the cartridge

또한 ASMO 디스크가 카트리지 내에서 Tangential tilt 와 Radial tilt량을 갖을때 진동 효과를 조사 하였다. 카트리지 내에서의 Tangential 및 Radial 방향의 Tilt angle량은 $\pm 1.2^\circ$ 의 범위를 갖고, 이것의 정의 또한 Fig.1에 나타나 있다. 여기서 카트리지 내에서 디스크 기울기의 영향은 Tangential tilt에 대한 경향만을 Fig.7에 도시 하였으며 Radial tilt에 대한 결과는 생략 하였다. Fig.7에서 Tangential angle이 Fig.1에 정의된 음의 방향으로 증가할수록 디스크의 진동 진폭량은 조금씩 감소하는 경향을 관찰할 수 있다. 한편 카트리지 내에서 공기 유동에 대한 속도 및 압력 분포에 대한 수치해석을 수행하여 공기 유동에 대한 특성을 파악 하였다.

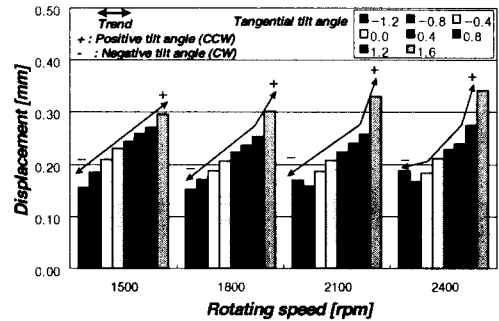


Fig.7 Typical vibration amplitudes of rotating ASMO disk versus tangential tilt angle of the disk in the cartridge

카트리지 내에서 디스크 임의 선상의 공기 유동의 속도 벡터를 Fig.8a 와 Fig.8b에 도시 하였다. 그림에서 보면 원도우의 출구쪽에서 공기 유동의 속도는 카트리지 내 다른 영역에 비해서 상대적으로 다소 높은 것으로 나타나고 있다. 그리고 원도우의 영역에서, 공기 유동은 카트리지의 바깥으로 유출하는 비회전 성분을 갖고 있는 것을 알 수 있다. Fig.8a에서 보여지는 바와 같이 원도우의 영역에서는 디스크 접선 방향의 속도 성분 외에 반경 방향의 성분이 있으며, 디스크 내주쪽에서 외주쪽으로 갈수록 이 크기는 더 커지는 것을 알 수 있다. 또한 Fig.8b에서 보여지는 바와 같이 원도우 영역에서는 디스크 표면에 수직 방향으로의 유동 속도 성분이 있어 디스크 상하면으로 공기의 유동이 있음을 알 수 있다. 이와 같이 카트리지 내에서 원도우 영역과 원도우 이외의 영역에서 유동 특성이 다소 차이가 남을 알 수 있다. 이와 같이 카트리지 내에서 회전하는 공기의 속도는 비대칭이고 디스크의 속도와 차이가 난다는 것을 알았다. 카트리지에서 원도우의 존재는 카트리지 바깥쪽으로 열려있는 공간으로부터

공기의 유입, 유출 성분에 의해 공기의 속도 분포에 영향을 준다고 볼 수 있다.

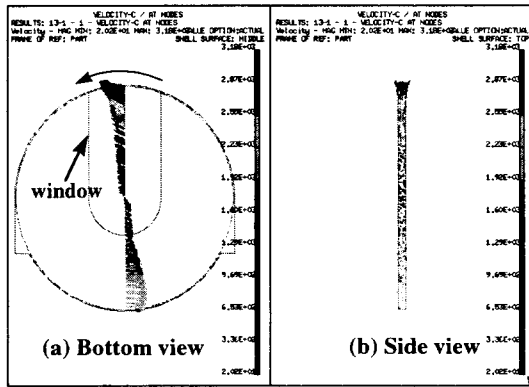


Fig. 8a,8b Velocity vectors of the rotating airflow above an arbitrary center line of the disk in the cartridge (disk rotation :1200rpm)

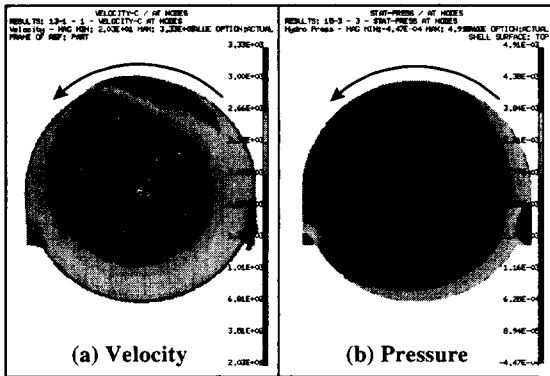


Fig.9a, 9b A typical velocity and pressure distribution of the rotating airflow above the disk in the cartridge (disk rotation : 1200rpm)

한편, Fig.9b는 카트리지 내에서 디스크상 임의의 높이에서의 공기 유동에 대한 전형적인 압력 분포를 보여준다. 여기서 공기의 압력 분포는 디스크의 선속도에 의존하지 않는다는 것을 알 수 있다. 더욱이 카트리지 내 다른 영역에 비해 상대적으로 더 높은 압력을 가진 공기 유동이 윈도우의 반대쪽 근처 영역에서 관찰되었다. 이와 같은 경향은 공기 유동의 속도 분포는 압력 분포와 약간 반대되는 경향을 지니고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 회전하는 공기의 압력 분포는 카트리지의 안쪽의 기하학적인 형상에 밀접하게 관계한다는 것을 알 수 있었다. 그림에서 보는바와 같이 카트리지 내에서 공기 유동의 하류 영역에 해당되는 부분이 상류 영역에 해당되는

부분에 비해 상대적으로 높은 압력 분포를 가진다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 카트리지 내의 공기 유동의 속도 및 압력 분포는 디스크의 회전수가 증가 할수록 그 비대칭성이 점점 증가하는 경향을 추가적인 해석을 통해서 파악 할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문은 광자기 디스크 드라이브에 있어서 디스크 주위의 공기 유동 효과를 고려하여 디스크 진동 특성을 분석하였다. 회전하는 디스크의 고유 진동수의 수치 해석적인 계산은 저차 모드에서는 실험 결과와 어느정도 잘 일치 한다는 것을 알 수 있었다. 카트리지 안에서 디스크 주위의 공기 유동은 디스크의 모드 주파수를 다소 낮추어주는 경향을 보이며 디스크 진동의 진폭 특성에도 영향을 준다. 카트리지 내에서 디스크의 양의 방향(픽업측)의 오프셋은 디스크의 진동 진폭을 감소시키는 경향을 보이며, 음의 방향의 경사각 또한 디스크의 진동 진폭을 다소 감소 시키는 경향을 보이는 것을 실험적으로 확인 하였다. 또한 카트리지의 기하학적인 모양에 의해 카트리지 내부의 공기 유동이 영향을 받으며, 특히 윈도우의 존재에 의해 디스크 주위의 공기 유동장에 비대칭성을 야기하는 것을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] J.C. Harrison, C.W. Miller, F.E. Talke, "Disk Surface Acceleration Effects Due to Air Flow Induced by Rotation," *ASME Adv. Info. Storage Syst.*, Vol.1, pp.155-169, 1991
- [2] C. D'Angelo III, C. Mote Jr., "Natural Frequencies of a Thin Disk, Clamped by Thick Collars with Friction at the Contacting Surfaces, Spinning at High Rotation Speed," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.168, No.1, pp. 1-14, 1993
- [3] C.-P. Roger Ku, I.Y. Shen, "Effect of Disk Flexibility on Rocking Mode Frequencies of a Disk Drive Spindle Motor System," *STLE Tribology Transactions*, Vol.39, No.3, pp.579-586, 1996
- [4] C.-P. Roger Ku, "Dynamic Characteristics of Hard Disk Drive Spindle Motors - Comparison Between Ball Bearings and Hydrodynamic Bearings," *Transactions of the ASME, Journal of Tribology*, Vol.118, pp.402-406, April, 1996
- [5] J. McAllister, "Characterization of Disk Vibrations on Aluminum and Alternate Substrates," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol.33, No.1, pp.968-973, January, 1997
- [6] S. Imai, K. Mori, T. Okazaki, "Flutter Reduction by centrifugal Airflow for High-Rotation-Speed Disks," *International Conference on Micromechanics for Information and Precision Equipment*, Tokyo, pp.20-23, July, 1997