

HDD 의 디스크의 진동 감쇄 설계를 위한 공기흐름해석

An airflow analysis for the reduction of disk flutter in HDD

권정민*·구자춘*·강성우**·황태연**

Jeong-min Kwon*, J. C. Koo*, Seong-woo kang**, and Tae-yeon Hwang**

Key Words : disk flutter, HDD, LES, PES

ABSTRACT

As the data storage device market demands higher data transfer rate with higher track density. TMR budget is to be tighter so that even minor improvement is sought in HDD development fields. Disk flutter associated with the turbulent air flow inside the chamber becomes of great interest for the reduction of PES especially at OD. A comparative transient turbulent flow study is presented in this paper for the reduction of disk flutter with different housing designs.

1. 서론

하드디스크의 용량이 증가함에 따라 트랙의 밀도가 50KTPI 에 이르고 트랙폭이 0.5 μm 이하가 되면서 디스크의 진동은 HDD 의 매우 중요한 문제가 되고 있다.

미세한 HDD 의 진동은 헤드가 디스크 트랙 위의 자료를 읽고 쓸 때 발생하는 오동작 중 하나인 트랙비 정렬 (TMR: track misregistration)을 유발시켜 HDD 저장 용량과 관련된 트랙밀도를 제한하는 중요한 요소가 되었기 때문이고 따라서 디스크 진동억제를 위한 다양한 방법이 연구 제시되고 있다[1].

이런 방법 중에 공기의 squeeze film damping 효과를 이용한 디스크 공진 억제 방법이 제시되고 있는데 디스크와 외벽, 디스크와 디스크사이의 간격의 변화로 인한 공기의 감쇄 효과를 얻는 방법으로 이런 간극의 변화를 줄 때 나타나는 유체유동을 해석하여 진동 감소 원인을 해석하고자 한다.

먼저 선행된 연구로는 회전속도는 5400rpm 이고 디스크 두께가 50mil 인 HDD 에서 문제가 된 900Hz 부근 최대피크의 감소 방법이었으며, 여기서 진동원인이라고 본 위의 영역의 피크를 줄이고 소음을 저감시키기 위해 디스크와의 간극을 최적화하려는 노력을 하였으며, 그 하나로 베이스의 디스크 사이간격을 최소화하고 디스크 사이의 "C"자형 댐퍼를 추가하는 방법으로 Squeeze Film Damping 효과를 얻어 디스크의 공진을 억제하는 결과를 얻었다. 이 결과를 바탕으로 공기의 유동이 디스크 고유진동모드를 가진 것으로 예상할 수 있었다[1].

그러나 위와 같은 결과가 공기의 흐름이 정확히 어떻게 변화하여 가진이 되는지에 대한 해석이 부족하여 그 공기흐름해석을 위한 실험과 간극변화에 따른 해석이 요

구 되었다.

이미 이러한 해석은 여러 번 실시되었고 결과[2]들이 발표되었지만 정확한 모델에 대한 결과나 적용은 그 대상 모델에 따라 변화하므로 이번 해석은 삼성전자의 실제 양상모델에 적용, 결과 값을 비교하려는데 목적이 있다

먼저 공기의 유체가 디스크에 작용하는 영향은 디스크의 회전에 따라 변화하는데 그때 디스크회전체와 정지되어 있는 벽 사이에서 Acoustic coupling 이 발생하게 된다 또 이것 말고도 두 개의 회전하는 회전체 사이에서 발생하는 속도와 압력장의 차이로 그 진동 양상은 상이하게 나타나게 된다.

그러나 공통된 이론은 회전디스크와 나머지 다른 면의 간격이 작을수록 그 공진의 영향이 작아진다고 제시하고 있다[3]. 따라서 간격변화에 따른 해석을 통해 제시된 유체흐름변화 해석에 목표를 두고 있다.

2. 해석에 적용된 방정식

해석에 사용된 방법으로는 비교대상이 된 각각의 단순화한 HDD 내의 유체유동모델을 가지고 상용 유체프로그램을 이용 계산하였다. 먼저 steady-state 상태의 유동장을 구한 다음 그로부터 시간을 증가시켜 난류유동의 Transient-state 를 구해 우리가 원하는 공진의 원인이 되는 압력변화를 구하려 한다. 여기서 고려된 방정식은 우선 지배방정식 Navier-stoke 방정식과 연속방정식을 이용 계산하였으며 그 식들은 다음과 같다.

Continuity

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} (RU) + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad (1)$$

* 성균관대학교

E-mail : pfwon@mail.skku.ac.kr

Tel : (031) 290-7910, Fax : (031) 290-5849

** 삼성종합기술원

R-Momentum

$$U \frac{\partial U}{\partial R} - \frac{V^2}{R} + W \frac{\partial U}{\partial Z} = -\frac{\partial P}{\partial R} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial R} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} (RU) \right) + S \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \right] \quad (2)$$

θ-Momentum

$$U \frac{\partial V}{\partial R} - \frac{UV}{R} + W \frac{\partial V}{\partial Z} = -\frac{\partial P}{\partial R} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{1}{S} \frac{\partial}{\partial R} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} (RV) \right) + S \frac{\partial^2 V}{\partial Z^2} \right] \quad (3)$$

Z-Momentum

$$U \frac{\partial W}{\partial R} + W \frac{\partial W}{\partial Z} = -S^2 \frac{\partial P}{\partial Z} + \frac{1}{\text{Re}} \left[\frac{1}{S} \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial W}{\partial R} \right) + S \frac{\partial^2 W}{\partial Z^2} \right] \quad (4)$$

$$U = \frac{u}{\Omega R^2}, \quad V = \frac{v}{\Omega R^2}, \quad W = \frac{w}{\Omega R^2},$$

$$P = \frac{p}{\rho(\Omega R_2)^2}, \quad R = \frac{r}{R_2}, \quad Z = \frac{z}{H},$$

$$\text{Re} = \frac{H\Omega R_2}{\nu} \quad (5)$$

AIR: $\nu = 1.46E-5 \text{ (m}^2\text{/s)}$

$R_2 =$ 디스크외경

이때 사용된 하드디스크의 회전속도는 7200RPM 이고 위식에서 회전속도 Ω 는 753.98 rad/s 되므로 회전속도에 따른 Re (Reynolds number) (5)를 고려하면 $\text{Re} = 7.5068 \times 10^3$ 가 되어 steady-state 상태에서는 viscous model 을 $k-\epsilon$ 적용하여 해석하였다[3].

비정상상태의 해석의 경우는 정상상태의 유동해석후 그때 유동자의 값을 초기값으로 이용 그로부터 3 초까지의 유동을 해석하였으며 이때 viscous model 의 경우 LES(Large Eddy simulation)모형을 적용하였는데 LES는 고속의 회전체에 대한 난류해석 시뮬레이션에 가장 적합하다고 알려져 있다[2].

각 상태에 적용된 해석방법은 Table I 에 정리하였다.

TABLE I
Calculation Method

Item	Calculation Method
Basic equation	Navier-stokes equation
Time advancement	2nd order implicit method
Turbulence model	K-ε and LES(Large Eddy Simulation)

3. 해석방법 및 내용

3.1 Geometry set up

먼저 유체유동영역을 만들기 전에 기본이 되는 하드디스크의 기본사항은 삼성의 양산모델에 맞추었고 첫번째 비교는 Fig.1 과 같은 기본디스크 모형에서 디스크와 외벽과의 거리에 변화가 있는 모델을 만들어 비교 하였으며 그 크기는 TABLE II 에 나오는 사항과 같다.

이 두개의 Case 중 Fig.1 에서 간격(D3) 크기가 1.27mm 인 것을 Case.1 으로, 3.0mm 인 것을 Case.2 로 놓았다.

Case.1 Tight Shroud(Without Damper)

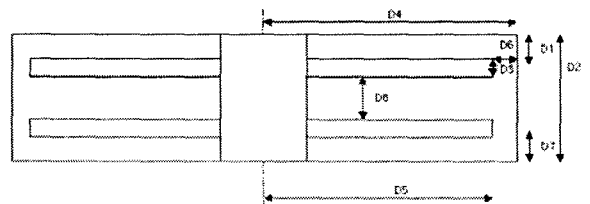


Fig.1 기본디스크모형

TABLE II
ANALYSIS CONDITIONS

Case.1

Item	Value
Number of disks	2
Disk gap (D1)	0.60mm
Cylinder (D2)	6.70mm
Disk thickness (D3)	1.27mm
Cylinder diameter (D4)	48.50mm
Disk diameter (D5)	47.50mm
Disk gap (D7)	0.50mm
Disk distance (D8)	3.06mm

두번째 비교항목은 댐퍼의 추가 유무로 앞의 Case.1 과 모든 크기가 동일하지만 Fig.2 와 같이 18.0mm 댐퍼를 추가한 모델을 만들어 비교하였다 이때 사용된 Cell의 숫자는 약 500,000 개 정도이고 Node 수는 600,000 개이다.

Case.3 With Damper

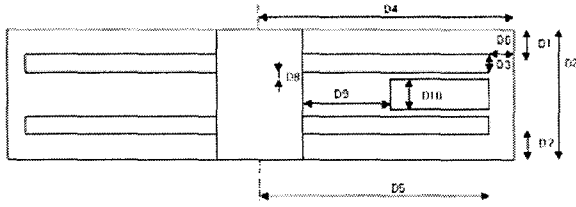


Fig.2 댐퍼포함모델

3.2 해석내용

위와 같은 간격의 변화를 주고 유체를 0.01 초를 간격으로 3 초까지 시뮬레이션 한 후 유동장의 Dynamic Pressure 와 Radial Velocity 를 선택하여 각 Case 들의 디스크 윗면과 아래면 영역을 비교하여 가진 여부와 그 주파수를 예측해 보았다.

4. 해석결과 및 분석

4.1 측면간격의 변화에 따른 결과

Case.1 과 Case.2 에서 Fig.3 에 보이는 각 Point 압력값을 Fig.4, 5, 6, 7 로 나타내었다.

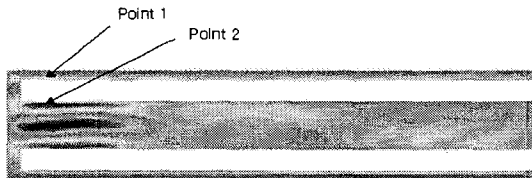


Fig.3 Case.1, 2 의 HDD 의 유체영역의 단면

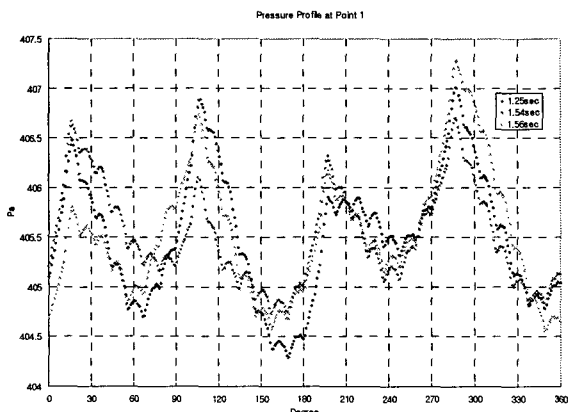


Fig.4 Case.1 의 Point.1 지점의 Dynamic Pressure (Tight Shroud)

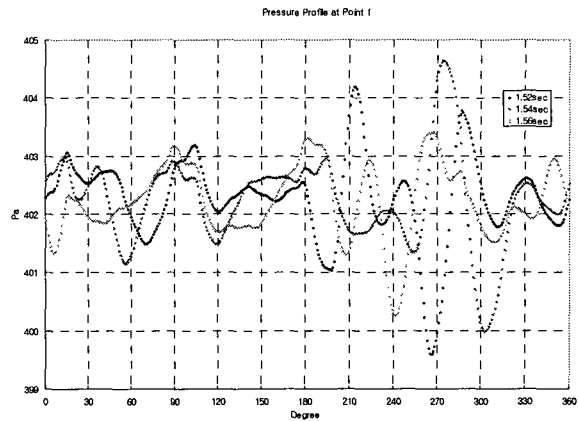


Fig.5 Case.2 의 Point.1 지점의 Dynamic Pressure (Loose Shroud)

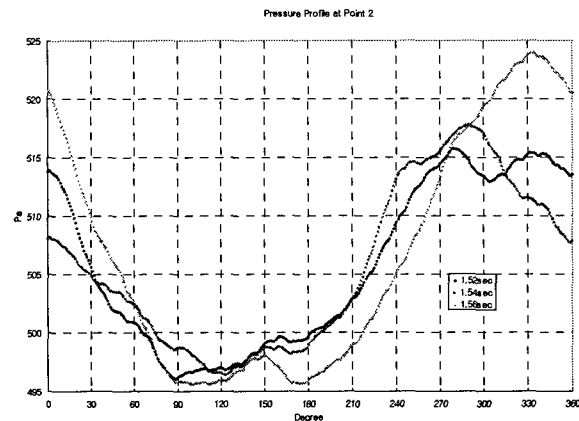


Fig.6 Case.1 의 Point.2 지점의 Dynamic Pressure (Tight Shroud)

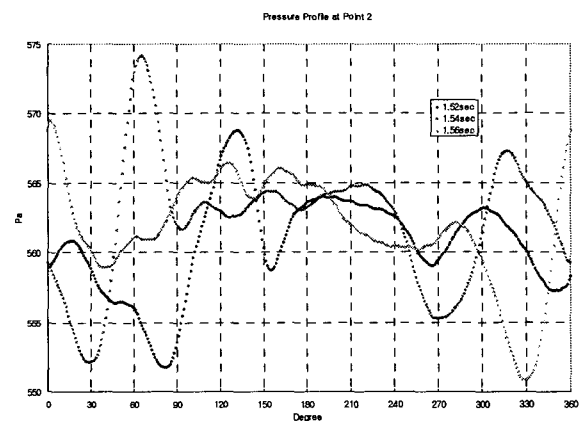


Fig.7 Case.2 의 Point.2 지점의 Dynamic Pressure (Loose Shroud)

먼저 Fig.4 는 Fig.3 의 단면도에서 보인바와 같이 회전중심으로 부터 Point.1 까지를 반경으로 하는 원주상의 압력분포를 3 가지 다른 시점 즉 S= 1.25, 1.54, 1.56 에 따라 나타내었다.

먼저 Point.1 과 그 상대점인 Point.2 를 포함하는 원주상에서의 압력인 Fig.4 와 Fig.5 를 보면 압력의 절대값비교에서는 Fig.4 가 높아보이지만 각 시간에 따른 압력을 보면 Fig.5 의 압력곡선이 시간에 따라 일치하지않는 모

습으로 디스크의 불안정한 영향을 주어 가진하는 것으로 볼 수 있고, Point 2 점에서의 압력값인 Fig.6 과 Fig.7 에서도 Fig.7 이 더 불안정한 모습을 보이고 있다.

또 각 Case 의 Point 1 과 2 의 압력차의 절대값을 비교해 보면 Fig.8 과 Fig.9 와 같이 압력차의 차이가 급격하고 훨씬 많은 곳에서 일어나 가진의 원인을 제공하는 것을 알 수 있다.

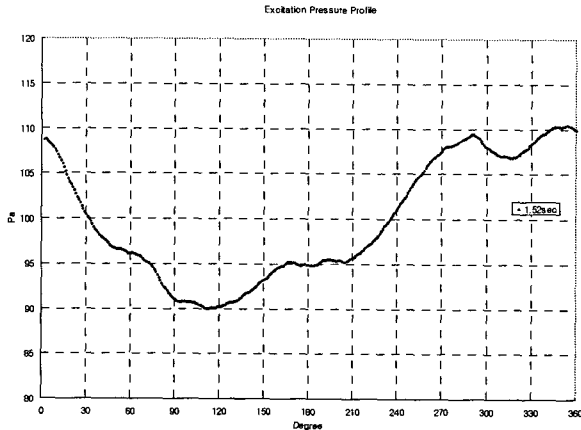


Fig.8 Case.1의 Point.1, 2 Dynamic Pressure의 차의 절대값 (Tight Shroud)

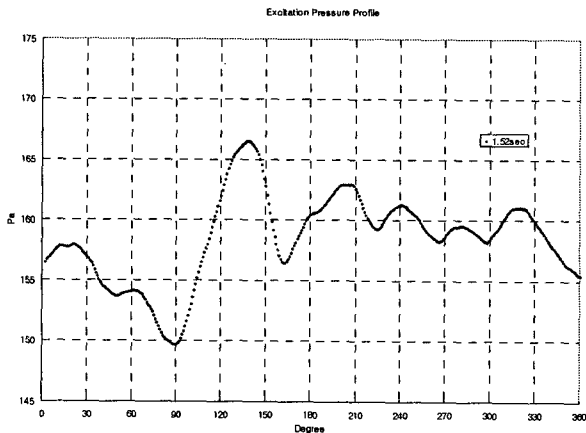


Fig.9 Case.2의 Point.1, 2 Dynamic Pressure의 차의 절대값 (Losse Shroud)

4.2 댐퍼의 유무에 따른 결과

Case.1 과 Case.3 을 앞의 실험과 동일한 방법으로 실험하여 얻은 값들로 Point 1 과 Point 2 에서의 압력값과 Radial Velocity 값을 비교한 것이다.

Fig.11 과 Fig.12의 경우 두 Point 압력차의 절대값이 Damper 가 있는 경우 압력이 더 낮고 그 변화도 거의 일정한 반면 Damper 가 없는 경우 절대값의 크기도 10 배이상 크고 그 변화도 최고 20Pa 정도 차이 남을 알 수 있다.

이런것을 볼 때 댐퍼를 넣으므로써 HDD 내부에서 디스크로 가진되는 디스크 위아래의 압력차를 줄일 수 있

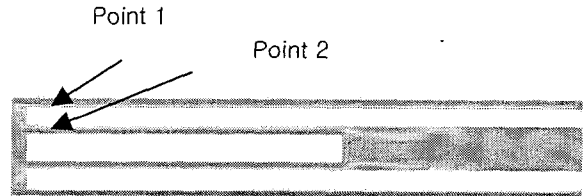


Fig.10 Case.3의 HDD 유체의 단면

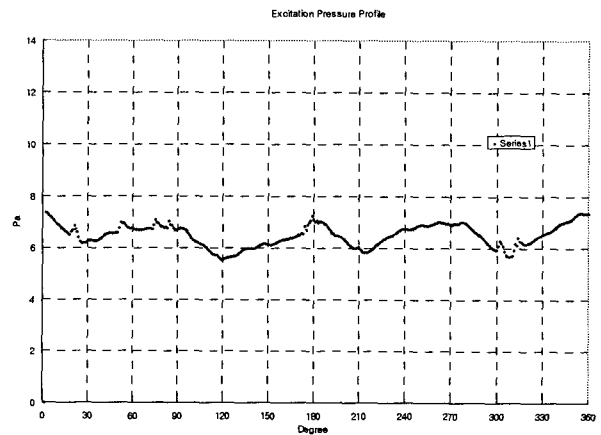


Fig.11 Case.3의 Point.1, 2 Dynamic Pressure의 차의 절대값 (With Damper)

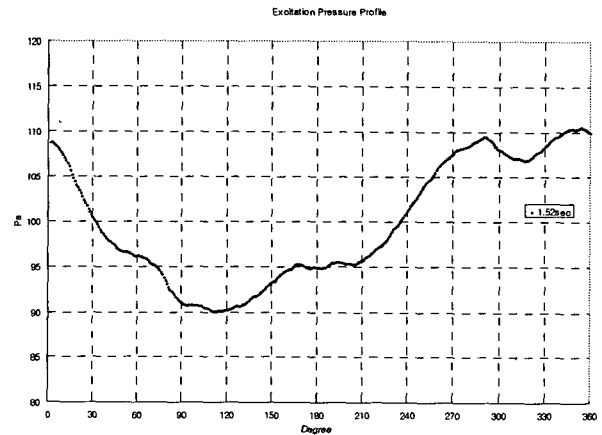


Fig.12 Case.1의 Point.1, 2 Dynamic Pressure의 차의 절대값 (Without Damper)

으며 Radial Velocity 를 보면 Fig.13 과 Fig.14 에서 Fig.13 의 경우 속도가 더 낮고 Fig.15 인 Damper 가 없는 Point 2 에서의 속도는 2.0m/s 이상 낮고 전체 디스크 내에서 그 차이가 0.05m/s 이상 나지 않지만 Fig.16 인 Without Damper 의 Point.2 에서는 최고 0.4m/s 이상 급격한 차이가 나는 것을 알 수 있는데 이런 영향들은 디스크가 회전하고 시간에 따라 유체도 회전하게 되어 주

기적으로 가진하게 되어 진동을 유발하게 되는 것이라 볼 수 있는 것이다.

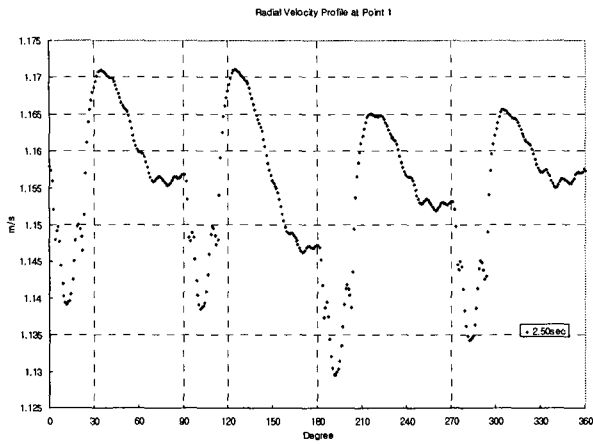


Fig.13 Case.3의 Point.1 Radial Velocity (With Damper)

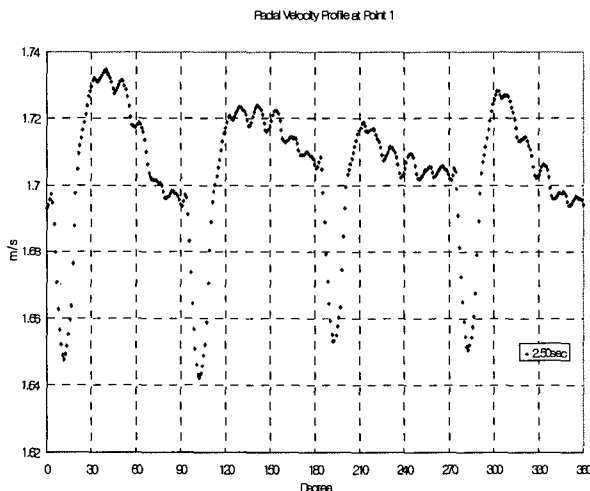


Fig.14 Case.1의 Point.1 Radial Velocity (Without Damper)

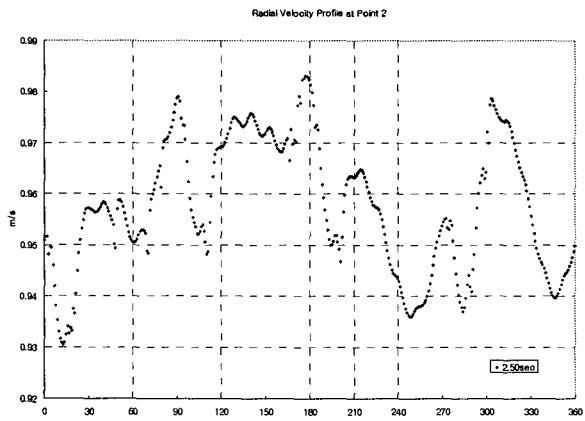


Fig.15 Case.3의 Point.2 Radial Velocity (With Damper)

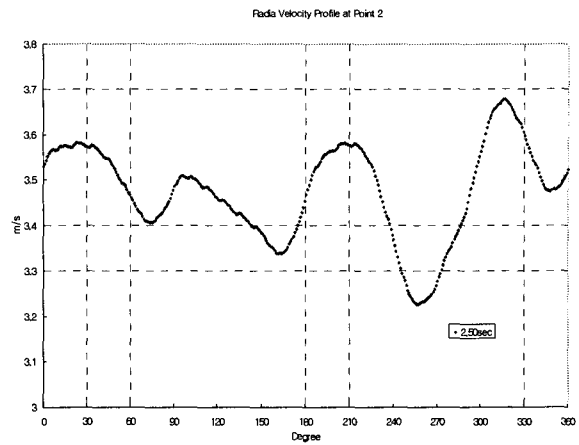


Fig.16 Case.1의 Point.2 Radial Velocity (Without Damper)

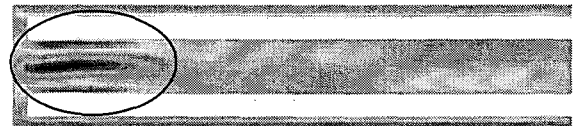


Fig.17 Case.1. 유체단면 (Without Dapmer)

High Radial Velocity

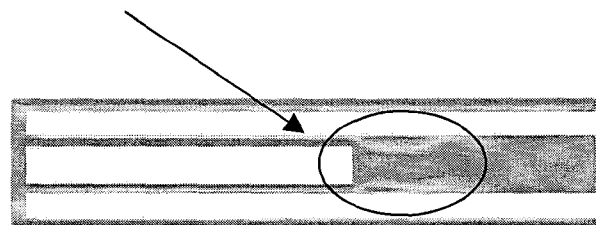


Fig.18 Case.3. 유체단면 (With Dapmer)

Fig.17 과 Fig.18 는 2.10 초 일때의 Radial Velocity 값의 횡단면으로 Damper 가 끝단의 가해지는 비대칭 압력을 감소시키는 것을 잘 볼 수 있으며 이런 이유로 댐퍼가 들어간 HDD 의 진동이 감소된 이유를 알 수 있다

5. 결론

위의 해석 결과와 같이 소음감소와 진동감소를 목적으로 squeeze film damping 효과 얻기 위해 디스크와 측면벽의 간격을 줄일수록 디스크의 윗면과 아래면의 압력차가 줄어들어 공진의 가진력이 줄어들었으며, 두 회전하는 디스크의 사이의 공간에서 압력차로 인한 가진현상을 댐퍼를 설치 디스크 끝단으로부터 멀어지게 만들었으며 또 디스크 양면에 걸리는 압력도 낮추어 진동과 소음을 감소시킬 수 있었다 그로 인해 소음과 진동을 감소시킬 수 있는 HDD 구조를 얻을 수 있다.

참고문헌

- [1] 손진승, 꺽주영, 조은형, 고정석, 이행수, 흥민표, 좌성훈 “HDD 의 디스크 공진에 의한 소음 저감연구” 한국소음진동공학회 2001 년도 추계학술대회논문집 PP.39-45
- [2] Masayuki tatewaki, Naozumi Tsuda, Tsugito Maruyama, “An Analysis of Disk Flutter in Hard Disk Drives in Aerodynamic Simulations,” March 2001, No.2, Vol.37, *IEEE Transaction On Magnetics*.
- [3] J. A. C. Humphrey, C. A. Schuler, and I. Lgesias, “Analysis of viscous dissipation in disk storage systems and similar flow configurations,” 1992, A4(7), *Phys. Fluids*, American institute of Physics
- [4] C. J. Chang, C. A. Schuler, J. A. C. Humphrey, R. Greif, 1989, “Flow and Heat Transfer in the Space Between Two Corotating Disks in an Axisymmetric Enclosure,” Vol. 111, pp. 625 - 632, *Journal of Heat Transfer*, Transactions of ASME.
- [5] C. A. Schuler, W. Usry, Weber, J. A.C. Humphrey, and R. Greif, “On the flow in the unobstructed space between shrouded corotating disks,” October 1990, A2(10), pp. 1760-1770, *Phys. Fluids*. American institute of Physics.
- [6] Hayato Shimizu, Mikio Tokuyama, Satomitsu Imai, Shigeo Nakamura, and Kazuo Sakai, “Study of Aerodynamic Characteristics in Hard Disk Drives by Numerical Simulation,” March 2001, No.2, Vol.37, pp. 831-836, *IEEE Transaction On Magnetics*.
- [7] C. Kato and M. Ikegwa, “Large eddy simulation of unsteady turbulent wake of a circular cylinder using the finite element method,” *Advanes in Numerical Simulation of Turbulent Flows ASME FED*, Vol.117, pp.46-56, 1991
- [8] Inmaculada Iglesias and Joseph A. C. Humphrey, “Two-and Three-dimensional Laminar Flows Between Disks Co-rotating In A Fixed Cylindrical Enclosure,” 1998, Vol.26, pp.581-603, *Internatonal Journal For Numerical Methods In Fluids*, Wiley & Sons.
- [9] Young-bae Chang, Dae-Kyong Park, No-Cheol Park, and Young-Pil Park, “Prediction of Track Misregistration Due to Disk Flutter in Hard Disk Drive,” March 2002, Vol.38, No.2, pp.1441-1446, *IEEE Transactions On Magnetics*,