

# 장애물이 없는 3.5" 동시회전 디스크의 유동교란에 관한 수치적 연구

공대위<sup>†</sup>, 주원구\*

## Numerical Simulation for Flow Disturbance Between 3.5" Co-rotating Disks Unobstructed in Shroud

Dae-Wee Kong and Won-Gu Joo

**Key Words :** Co-rotating disks, Flow Disturbance, HDD, LES, FIV

### ABSTRACT

The rotating flow in the space between co-rotating disks is of considerable importance in information storage systems. Hard disk drivers(HDD) in computer are used extensively as data storage capacity. The trend in the computer industry to produce smaller disk drives rotating at higher speed requires an improved understanding of fluid motion in the space between disks. In this study, we have tried LES model for inner-disk flowfield to investigate the flow disturbance and the flow structure driven by co-rotating disks. The boundary pattern between inner region and outer region obtained lobe-shape structure clearly and its number has been validated on experimental data by our previous study. We obtain the spectra of velocity and pressure components with several frequencies. We revealed there are two kinds of disturbances, one is global wave propagation and another is local wave propagation on Ekman boundary layer.

#### 기호설명

$r$  : 디스크 반경방향  
 $\theta$  : 디스크 원주방향  
 $z$  : 디스크 높이방향

#### 1. 서론

하드 디스크 드라이브(이하 HDD) 내부의 유동은 디스크가 고속 회전함에 따라 오염입자의 유도, 동력손실, 디스크 및 서스펜션에 대한 유동 기인

진동(FIV) 등 많은 문제점을 유발하는 것으로 알려져 있다. 특히 FIV 문제에 있어서 회전하는 디스크에 의한 유동의 기본적인 교란특성을 이해하는 것이 우선적 과제이다. 디스크 회전 유동의 제어는 지난 10 여 년간의 중요한 관심사<sup>(1-2)</sup>였으나 그 기본적인 규명에도 국내외적으로 아직 진행중에 있으며 규명되지 못한 부분이 많다. 일반적으로 근래의 HDD 에서 유동에 기인한 진동의 주파수는 수 백 Hz 에서 수 만 Hz 까지 범위가 넓은 것이 특징이다. 이는 동시회전 디스크라는 기본적인 형태의 구조안에서 일어나는 유동의 교란과 내부 장애물에 의한 것까지 발생원인도 다양하다. 디스크 맴퍼나 스포일러와 같이 동시회전 유동장의 특성을 제어하려는 목적의 구조물 사용이 시도 되기도 하지만 이와 같이 회전하는 주 유동 자체에 암 (arm) 이외의 장애물을 설치하는 것에는 동시회전 기본 유동장과의 간섭문제를 잘 살펴볼 필요가 있

---

<sup>†</sup> 연세대학교 대학원  
E-mail : dw409@yonsei.ac.kr  
TEL : (02)2123-2815 FAX : (02)312-2159  
\* 연세대학교 기계공학부

---

다. 반경방향에서 볼 때 외부영역(outer region)에 나타나는 난류영역의 유동구조가 FIV 문제와 밀접한 관계가 있다고 여겨지고 있으며 따라서 기본 유동장이 가지는 진동특성에 대해 규명하는 것이 우선되어야 한다.

본 연구의 대상이 되는 형상은 허브와 함께 디스크가 동시 회전하며 곁에는 실린더로 씌워진 형태이다. 이 형상은 단순한 구조이면서도 기본적인 유동 구조를 연구하기에 적합한 것이다. 이와 같이 압과 서스펜션과 같은 장애물을 제거한 기본적인 형태의 동시회전 디스크 내부의 유동의 구조를 규명하고 이를 해석하는 기법을 확립하여 차후 HDD 내부 유동에 대해 적용할 수 있는 기술을 확립하는데 목적이 있다.

기존의 HDD 관련 수치해석은 동시회전 디스크 자체의 중요한 유동교란을 모사하기에 불가능하거나 부족한 경우가 많았다. 이는 엔지니어링 분야에서 난류를 해석하는데 보편적으로 사용되는 이방정식(2-eq.) 난류모델들이 동시회전 디스크 유동의 난류를 모사하는데에 한계를 가지고 있으므로 난류가 지배적인 유동에 유효한 성능을 보이는 LES 모델을 사용하였다.

## 2. 계산 형상과 격자

본 해석의 대상은 동축의 두 디스크 사이의 유동장이다. 디스크반경이 3.5"이고, 디스크간 간격은 3mm이다. 디스크 끝단의 벽(슈라우드)은 정지상태이고 이와 디스크 사이의 간격은 논리적으로 없다. 매질은 상온의 공기이며, 축의 회전속도는 7,200 rpm이다.

격자계는 육면체의 형상으로 구성되어 있고, 격자는 축 방향에 따라  $120 \times 360 \times 400$  ( $r \times \theta \times z$ )의 개수이다. Fig. 1은 전체 3차원 격자중  $r-\theta$  단면의 계산 격자 형상이다. 격자는 디스크 면과 슈라우드면, 디스크와 슈라우드 사이에 집중이 되도록 하였다.

## 3. 계산 과정

본 계산의 난류모델은 공간평균 모델인 LES의 Smagorinsky-Lilly 모델을 사용하였다. 대류항과

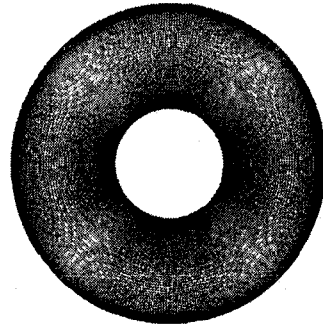


Fig. 1 Grid configuration

확산항의 처리는 QUICK scheme, 압력과 속도 보정은 SIMPLE 알고리즘에 따른다. 비정상계산을 위한 시간격은 약  $1.2E-5$  초로 설정하였다.

경계조건은 모든 벽에 점착조건이 부여되고, 디스크와 허브는 754 rad/s의 각속도로 회전한다. 모든 속도성분의 초기조건은 정지상태이다. 이와 같은 조건에서 계산은 상용프로그램인 FLUENT에서 수행되었다.

## 4. 계산 결과 및 고찰

Fig 2는 디스크 사이 중앙면의 원주속도 분포이다. A, B와 C는 각각 층류영역, inner와 outer 영역의 경계면, 그리고 난류영역을 각각 의미한다. B의 경계면은 7,200 rpm에서 여섯 개의 로브구조를 보인다. 이는 실험에서도 확인된 것이다<sup>(3)</sup>. 이러한 경계면에서의 로브구조의 수는 회전속도, 두 디스크간 간격, 디스크 끝단과 슈라우드 사이의 간격

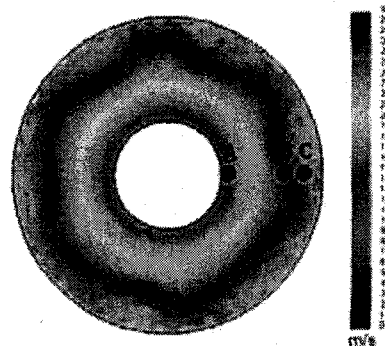


Fig. 2 Circumferential velocity contour at mid-plane between disks

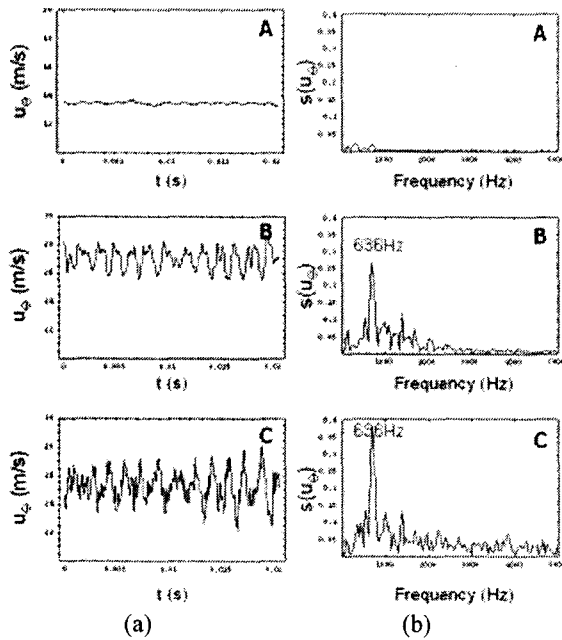


Fig. 3 Time traces of circumferential velocities (a) and velocity spectra at mid-plane between disks (b).

동에 의해 영향을 받는다. Fig. 3 는 Fig. 2 에 도시된 A, B, C 각 위치에서의 원주속도 성분과 그 스펙트럼이다. B 와 C 에서 주기적인 교란이외에도 폭 넓은 성분들이 나타난다. 특히 경계면인 B 보다 외부영역의 반경방향의 중간지점 C 에서 더 큰 강도를 보인다. 이들 지점에서의 가장 큰 스펙트럼의 피크는 636 Hz 로써 로브구조의 개수와 관련이 있다.

Fig. 4 에서 나타난 바와 같이 정지된 벽면인 슈라우드에서의 압력교란은 외부영역에서의 주요 교란성분과 동일하다. 따라서 외부영역의 636 Hz 성분은 외부영역 전체의 동일한 교란성분을 포함한다. 그러나 디스크 경계면에 가까울수록 1,762 Hz 의 피크가 나타나는데 이는 디스크 끝단부근에서의 높은 와도의 크기를 가지는 성분임을 알 수 있다(Fig. 5). 따라서 외부영역은 내부 영역과는 유동 구조면에서 확연한 차이가 있으며 1,500~100k 의 vorticity magnitude 를 가지는 다양한 구조들이 복잡하게 섞여 있으며 이는 외부영역에서의 2 차 유동의 비정상적 거동에 영향을 주게 된다. 만약 이 유동장에 서프렌션이 설치되고 유동장의 특성이 어느 정도 살아 있을 수준의 위치에 있는 경우, 즉 외부영역에서 슈라우드 방향으로 근접할수록 이 구조의 영향을 받을 가능성이 있다.

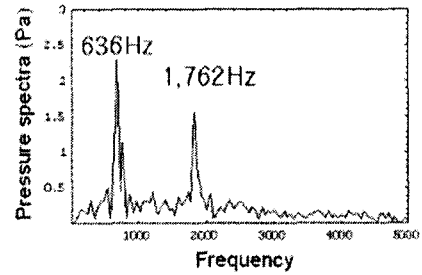


Fig. 4 Pressure spectra on shroud

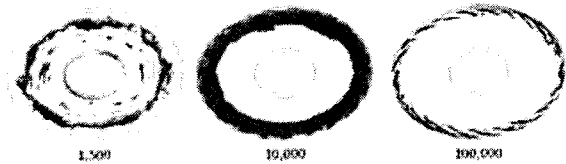


Fig. 5 Isosurface of vorticity magnitude

외부영역에 전체적으로 포함되는 636 Hz 의 성분과 경계층에서의 1,762 Hz 의 성분은 각각 6 개 및 22 개 반복구조를 가진다. 따라서 각각 회전 속도 주파수는 106Hz 와 80Hz 이며 이는 디스크 회전속도의 88%와 67%이다.

## 5. 결론

두 디스크 사이에는 반경방향에서 유동이 안정된 내부영역(inner region)과 난류가 지배적인 외부영역(outer region), 그리고 두 영역의 경계면이 존재하는데 각 영역에서의 유동교란의 스펙트럼을 비교하였다. 계산은 실험에 의해 가시화된 두 영역 사이의 경계면에 대해서 일치한 로브구조의 개수를 확인하였다. 특히 외부영역에는 크게 두 가지의 교란성분이 존재하는데 하나는 내/외부의 경계면과 동일한 주파수를 가지는 성분으로 외부 영역에 전체적으로 걸쳐 있고, 다른 하나는 디스크 경계면 주위의 국소적인 교란성분이다. 이 두 성분들의 조합으로 외부영역에는 복잡한 유동에 의한 교란이 존재하게 된다. HDD 와 같은 정보저장 기기에서도 이와 같은 유동구조가 발견될 수 있으며 따라서 이에 대한 간섭효과를 조사할 필요가 있다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기기 연구센터의 지원(과제번호:2005-8-0067)을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Schuler, C. A., Usry, W., Weber, B., J. A. C. Humphrey, and Greif, R., 1990, "On the flow in the unobstructed space between shrouded corotating disks," *Phys. Fluids A* Vol. 2, No. 10, pp. 1760-1770.
- (2) Masuda, S. and Obi, S., 1998, "Flow instability between shrouded corotating disks," *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> China-Japan Workshop on Turbulent Flows*, pp. 228-236.
- (3) Dae-Wee Kong and Won-Gu Joo, 2004, "Visualization of boundary pattern at mid-plane of corotating disks in cylindrical case," *International Conference on Advanced Optical Diagnostics in Fluids, Solids and Combustion*, V0044.