

〈論 文〉

회전하는 원판사이에서의 유체유동

—컴퓨터 하드디스크 시스템의 실험적 시뮬레이션—

최상민* · 김진수** · 현재민*

(1991년 1월 14일 접수)

Flow Between Corotating Shrouded Disks -Experimental Simulation of Computer Hard Disk Storage Systems-

Sangmin Choi, Jin Soo Kim and Jae Min Hyun

Key Words: Rotating Flow(회전유동), Magnetic Storage System(자기기록 저장시스템), Flow Visualization(유동가시화), Image Processing(영상처리)

Abstract

In an attempt to simulate the flows in the computer hard disk storage system, flow visualization and quantification by image processing technique were applied. Model geometry was constructed while the dynamic similitude was maintained. Circumferential velocities were mapped out in the transient spin-up phase. During the spin-up phase, fluid close to the rotating inner hub approached the solid body rotation, while the fluid in the outer region showed the velocity deficit compared to the rotating speed of the disks. Effects of presence of read/write head arm assembly between the gap were studied by changing the location of the head. The experimental results could serve as a benchmark for the validation of numerical codes.

기 호 설 명

- H : 평행 원판 사이의 간격(축방향 거리)
- L : 원통면으로 부터 축 중심선까지의 직선거리 (Fig.A.1)
- n : 공기의 굴절률(=1)
- n_1 : 물의 굴절률(=1.33)
- R : 무차원 반경변수 $\{=(r-r_2)/(r_1-r_2)\}$
- r : 반경방향 좌표축
- r_1 : 원판의 반경
- r_2 : 허브의 반경
- Re : 회전레이놀즈수 $(=\Omega r^2/\nu)$
- t : 시간(sec)
- V : 유체의 원주방향 실제속도
- V_a : 원판의 원주방향속도

- X : 중심선으로 부터 원통면 위치까지의 직선거리 (Fig. A.1)
- Z : 무차원 축방향 변수 $(=z/H)$
- z : 축방향 좌표축
- θ : 원주방향 각도 좌표
- ϕ : 원통의 법선에 대한 빛의 입사각 (Fig.A.1)
- τ : 지수함수의 시간상수
- ν : 점성계수
- Ω : 회전각속도

1. 서 론

최근에 들어서 회전하는 두 원판 사이의 공간에 존재하는 유체의 유동이 여러가지 공학적 목적에 적용되고 있다. 이 가운데 특별히 관심의 대상이 되는 것으로서 컴퓨터 하드 디스크라고 흔히 불리

*정회원, 한국과학기술원 기계공학과
**대우전자, 가전기술연구소

는 자기 기록저장장치 또는 광학디스크 등과 같이 급속히 활용범위가 넓어지는 예를 들 수 있다. 이들 회전체에서는 고속으로 원판형의 디스크가 회전하며 기록·해독용 장치(read/write head assembly)인 매그네틱 헤드가 디스크 표면과 미소간격을 유지하면서 전진·후퇴하는 위치 이동을 하고 있다. 최근에 들어서는 고밀도의 저장능력을 달성하기 위하여 더욱 정밀한 설계를 요구하고 있으며, 이를 위한 제반 관련 물리 현상의 이해가 중요시 되고 있다^(1,2,3,4).

컴퓨터 하드 디스크에서와 같은 종류의 회전유동은 매우 복잡한 구조의 3차원적 유동현상이며 이의 과도시간에 따른 현상과약은 단순한 문제가 아니다. 관심의 대상이 되는 유동을 이루는 유체는 회전체와는 디스크로 상하에 단혀있고 축과 평행한 방향으로 일정크기 이상으로 반경방향의 허브가 있어 마치 실패 또는 굴렁쇠 같은 모습을 하고 있다. 반경방향의 바깥으로는 원통형 또는 사각 박스형의 외부 보호 케이싱으로 구성되어 있다. 아울러 기록·해독용 헤드는 바깥지지에 의한 외팔보의 모습을 갖고 있는 암에 연결되어 있으며 헤드와 디스크 사이의 간격은 집적밀도 및 기록·해독의 정확도를 높이기 위하여 매우 좁게 유지되고 있다. 이와 같은 실제적 상황에서 나타나는 문제점으로는 크게 나누어 열발생의 문제⁽⁵⁾, 유동에 의한 헤드·암의 탄성변형 및 동적 상호관계 등을 들 수 있다. 본 연구는 이들 문제의 가장 근원이 될 수 있는 유동현상의 이해에 중점을 두고 하드 디스크 시스템을 실험적으로 모사하고자 한다.

본 연구에서는 유동가시화와 영상처리기법을 활용하여 회전원판 디스크 내부에서의 유동현상에 실험적 연구를 시도하였다. 가능한한 실제 사용되고 있는 컴퓨터 하드 디스크를 그대로 모사하도록 실험장치의 설계변수를 조정하였으나 대부분의 디스크에서처럼 공기 또는 실링 기체를 직접 대상으로 하지 않고 상사법칙에 근거하여 물에서의 유동을 대상으로 하였다. 이에 따라서 회전속도와 실험장치의 길이차원 결정을 회전 레이놀즈수가 실제 하드디스크의 경우와 같게 유지되도록 알맞게 조정하였다. 주요시험대상은 용기가 정지상태로부터 순간적으로 가속되어 일정속도로 회전하는 과도 과정인 스핀·업 상태에서 유체의 회전 유동속도를 정량적으로 측정하였으며 이와 동시에 자오평면상의 2차 유동현상을 관측하고 매그네틱 헤드·암과 같은 방

해물이 유동중에 놓인 경우에 대하여 정성적인 관측을 시도하였다.

본 연구는 지금까지의 수치계산에 의한 연구^(2,5)가 실험 데이터와 검토하지 못하였으며 실험적인 연구에서도^(1,4) 과도과정의 유동특성을 분석하는데 미흡하였던 점을 보완하는 의미가 있으며, 아울러 설계자에게 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 회전테이블 및 회전용기

실험장치의 기본 구동기구인 회전테이블은 본 실험실에서 각종회전유동실험을 위하여 이미 활용된 바 있는^(7,8) 정밀 서보 모터를 사용하였다. 이 구동장치로 순간적인 가속과 안정된 등속도 운전이 가능하다.

회전용기의 개략도와 치수가 Fig. 1에 나타나 있다. 좌표축은 아래 원판 중심을 원점으로 $r-z$ 축을 설정하였으며 무차원 좌표로서 $R=(r-r_2)/(r_1-r_2)$ 그리고 $Z=z/H$ 을 택한다. 원통형 용기와 동심축에 연결된 반경 r_1 인 원판디스크 두장 사이의 유체공간 주변에는 원통형 벽이 있고 디스크와 원통벽 사이에는 일정한 간격이 있다. 중심축 부위에는 회전축과 아울러 밀바침을 이루는 반경 r_2 의 허브가 끼워져 있다. 회전용기 설계와 회전수의 결정은 동력학적 상사성에 기초하여 선정하였다. 용기내의 유체에는 자유표면(free surface)이 나타나지 않고 공동현상(cavitation)도 발생하지 않으므로 회전레이놀즈수($Re=r^2\Omega/\nu$)만으로 동역학적 상사가 만족된다. 시뮬레이션 대상을 밀폐형 100 mm 직경의 40MB 급의 하드 디스크로 설정하였기 때문에 작동유체를 물로 선택한 본 실험연구에서는 회전용기는 커지고 회전수는 낮아지게 되었다. 따

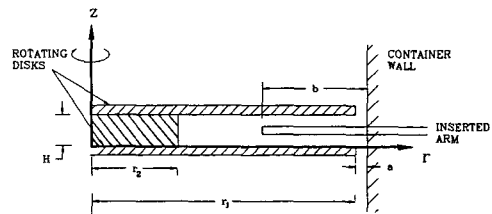


Fig. 1 Flow and container configuration. $r_1=185$ mm, $r_2=75$ mm, $H=23.5$ mm, $a=7$ mm, $b=$ variable.

라서, 회전레이놀즈수를 5×10^4 로 유지하면서 직경 385mm의 원통용기안에 있는 디스크는 1.47 rad/sec의 각속도로 회전하도록 하였으며, 두 디스크 사이의 간격과 디스크 직경의 상대적 크기는 1/8로 고정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 원통벽으로 부터 길게 나온 20×10 mm의 단면을 갖는 외팔보 형태의 디스크 기록 및 해독용 헤드를 모사하기 위하여 헤드·암(head arm)을 제작하였으니 그 삽입길이를 임의로 변경시킬 수 있게 설계하였다.

2.2 유동가시화 및 정량화 기법

회전하는 유체유동현상을 원주방향운동과 자오평면(r - z 평면)안에서의 운동에 대하여 각각 관측하는 실험을 별도로 수행하였으며 Fig.2에 실험장치의 개략도를 보여준다. 원주방향 유체속도의 측정을 위하여 사용된 기법은 유동현상이 저속이며 과도현상의 시간에 따른 관측이 필요한 것을 감안하여 염료주사기법을 활용하였다. 바깥지름 1.1mm, 안지름 0.5mm의 가는 강관을 통하여 염료를 주입시키며 이 주입된 염료의 진행상태를 시간에 따라 관측한다. 염료로서는 연속주입시 유동성과 염료의 확산속도를 고려하여 시행착오를 거쳐 찾아낸 우유와 잉크의 혼합액을 사용하였고 시간별 관측을 위하여는 시간에 따른 자동 감기 기능이 있는 35mm 필름 카메라(니콘 F801)를 사용하였다. 과도유동의 특성시간이 수 10초인 것을 고려하여 카메라를 1/3초 간격으로 촬영하도록 하였다. 필름은 감도 ASA #100의 천연색 필름을 주로 사용하였다. 현상된 필름은 참고로 표시된 시간과 함께 주사된 염료의 순간위치를 나타내 주고 있으며 순차적으로

촬영된 두개 화면상에서의 위치를 측정하여 시간간격으로 나누어 원주방향의 유체속도를 계산한다. 염료의 진행상태를 촬영한 사진필름을 CCD 카메라를 통하여 영상처리에 입력시킨 뒤, 영상처리를 거쳐 정량적 측정을 한다.

2.3 슬릿광과 입자산란

회전유동에서 슬릿광과 입자산란에 의한 자오평면 유동의 가시화 기법은 매우 광범위하게 적용되고 있다⁽⁸⁾. 본 실험에서는 원주 방향의 축대칭 1차원 속도의 측정을 위하여 염료주입법을 주로 사용하였으나, 자오명상의 2차 유동 관측을 위하여 슬릿광과 입자 산란 기법을 적용하였다. 입자로는 나일론 입자(poliolite)를 사용하고 1500W 할로겐 램프에 의한 슬릿광을 이용하여 가시화를 시도하였다. 특별히 슬릿광이 자오평면을 따라서 비취지머그 수직방향에서 관측하게 되므로 원통형 용기의 경우 물과 공기의 굴절율 차이에 의한 공간상 왜곡이 발생하게 된다. 이를 보상하기 위하여 광학관계식으로 부터 보정식을 만들어 수정해 주었다. (부록 참조) 영상처리는 MVP-AT 영상보드(Matorx 사)와 Image-Pro 소프트웨어(Imaging Technologies 사)에 의하여 수행되었으며 等價化(Equalization), 置換(Index Replacement), 部分的 段階化(Thresholding by Parts)와 최대크기 조절에 의한 보정(Calibration by Scaling) 등의 순서로 행하여진다. 영상처리는 광학적 왜곡을 보정하여 주면서 시각적 정보처리의 정량화를 가능케 해 주었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 원주방향 회전속도

우선 속도 측정법의 신빙성을 확인하기 위하여 정상상태에서 강제회전운동을 하는 것으로 확인된 허브에 가까운 영역($0 < R \leq 0.5$)에서의 속도를 측정하여 디스크의 속도와 비교하여 나눈 무차원 속도(V/V_d , 여기에서 $V_d = r\Omega$)로 표시한 그림이 Fig. 3에 나타나 있다. 유체의 속도 V 가 $V_d (= r\Omega)$ 와 같은 경우가 강제회전 상태를 쉽게 알 수 있다. $R=0.1$ 에서 0.5까지는 측정된 유체의 속도가 디스크의 회전속도와 일치하며 z 방향의 측정위치를 다르게 한 경우에도 차이가 없음을 볼 수 있다. 이 실험의 결과를 바탕으로 정상상태에서의 디스크 속도를 기준으로 할때 염료주사법에 의한 유

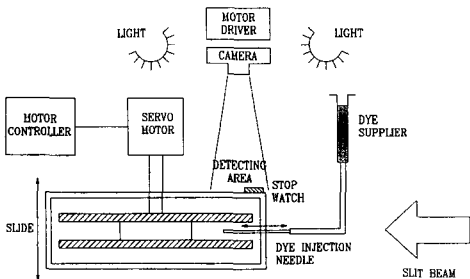


Fig. 2 Flow visualization set-up. dye injection experiments are performed to show the circumferential fluid velocity field, while the particle visualization is designed to show the flow motion in the meridional plane. two experiments were performed separately.

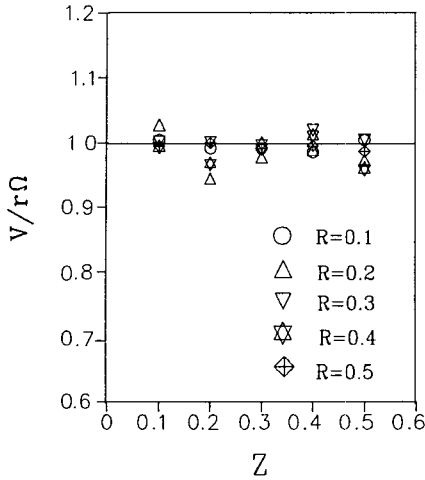


Fig. 3 Validation of fluid velocity measurements. Non-dimensionalized fluid velocities at steady state must be equal to unity throughout the flow field.

체속도측정이 평균 5.4% 이내의 오차를 갖는 것을 볼 수 있다.

본 실험에서는 용기안에 정지된 유체가 갑작스럽게 회전하는 원판에 의하여 유동을 일으키게 되는 스핀·업 과도 과정에 대하여 연구한다. 축대칭 원판 사이의 유동은 방해물이 없는 경우에는 원주방향의 대칭성과 아울러 축방향으로 볼때 원판사이 간격의 중심부로부터 축상하 방향에 대하여 대칭이 될 것으로 예측할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 반경 방향위치를 $R=0.5$ 에 고정하고 $Z=0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ 과 0.9 위치에서 스핀·업의 과도과정을 통하여 측정된 원주 방향의 유체속도를 Fig. 4에서 보여주고 있다. 중심위치인 $Z=0.5$ 를 기준으로 상하방향의 대칭성을 볼 수 있다. Z 방향에 따른 속도변화가 없다는 것은, 회전방향에 대한 대칭성을 추가로 고려할때, 유동의 속도가 반경방향의 위치에 따라서만 결정된다는 것을 뜻한다. 이 관측결과로부터 원통형 용기내 유동에서 흔히 적용되는 기둥형流動 가정(columnar flow approximation)이 본 연구의 기하학적형상에 대하여서도 적용될 수 있는 것으로 판단할 수 있다. Fig. 5는 Fig. 4와 같은 내용의 속도 데이터를 다른 방식으로 표시한 것이다. Z 방향에 따른 차이는 상대적으로 크지 않으며 시간이 경과함에 따라 정상상태로 접근하는 과도과정임을 볼 수 있다. 이 결과로부터 유체속도의 변화과정은 τ 가 20~30초 차원인

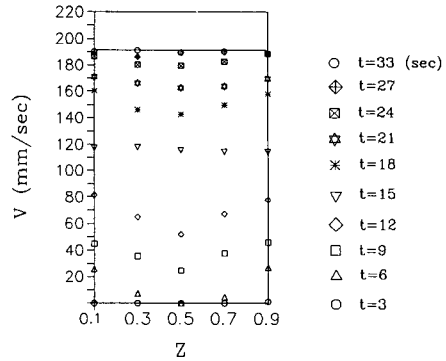


Fig. 4 Validation of symmetry about $Z=0.5$ plane (at $R=0.5$). Velocities at various Z locations show symmetric behavior across the centerline ($Z=0.5$). Elapsed time after abrupt spin-up for each symbol is shown in the margin, and the straight line represents the speed at the solidbody rotation.

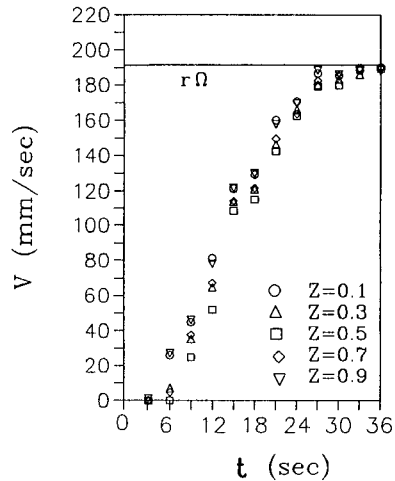


Fig. 5 Velocities at $R=0.5$ show exponential type approach to the steady state values, which is equal to $V=r\Omega$. Velocities measured at various Z locations show the similar trend, though the values may be different from one to another.

지수함수 형태 $\{1 - \exp(-t/\tau)\}$ 임을 확인할 수 있다. 이 시간상수를 본 실험조건에서 회전유동의 스핀·업 시간 스케일^(7,8)로 이해할 수 있다.

Fig. 6에서는 일정 축방향 위치에서($Z=0.5$) 반경방향위치 변화에 따른 원주방향 유체속도의 과도 응답을 요약하여 보여주고 있다. 여기에서 가장 빠른 시간내에 각속도를 나타내는것은 반경방향 위치 $R=0.9$ 에서이다. 원통용기내 회전유동에서^(7,8) 각

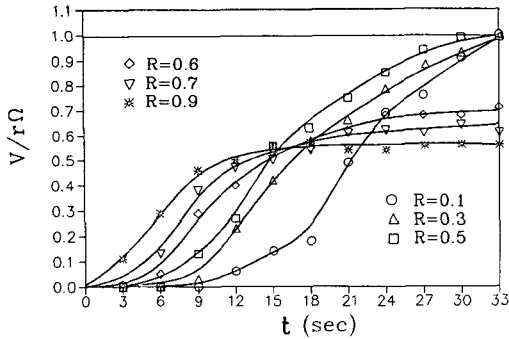


Fig. 6 Non-dimensionalized circumferential velocity distribution (at $Z=0.5$). Steady state velocities at outer radius locations ($R \geq 0.6$) show velocity deficit compared to the solid body rotation.

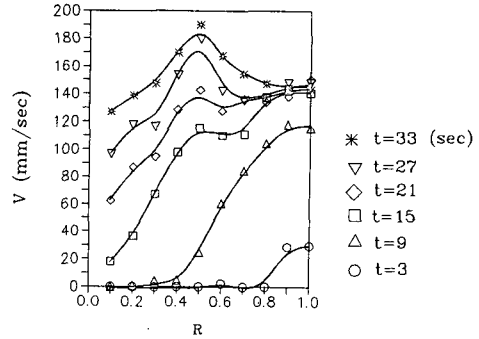


Fig. 7 Transient velocity distribution along the radius (at $Z=0.5$). velocities in the inner radius ($0.1 < R < 0.5$) show almost linear variation with respect to the R axis, which means that the fluid is in solid body rotation.

운동량은 반경 바깥영역에서 내부 방향으로 전달되는 것으로 해석할 수 있는 것처럼 R 이 큰 쪽에서 가장 빠른 시간내에 각속도를 얻는 것을 당연하다고 할 수 있다. 그리고 시간적으로 볼 때는, 반경 방향 위치에 따라 각각 정해지는 일정 시간상수를 갖고 지수적으로 정상상태값을 향해 접근해 가는 것도 확인할 수 있다. 그러나 $R \leq 0.5$ 영역과 $R \geq 0.6$ 영역은 크게 구분되어, 바깥부분에서는 정상상태에서도 원판의 속도와 같은 강체 회전속도($V = r\Omega$)에 훨씬 못미치는 회전운동을 하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 원통형 용기가 디스크와 일정한 간격 떨어져 있을 뿐 아니라 디스크는 회전하는데 반하여 용기는 고정되어 있기 때문에 회전운동을 디스크와 같이 할 수는 없는 기하학적 형상 때문이며 그로 인하여 강한 전단유동영역이 생기고 있음을 말해주고 있다. 이 상황은 1차원적으로 이상화할 때 Stoke의 제 1류 문제와 유사하게 되는 것을 쉽게 짐작할 수 있다.

같은 결과를 Fig. 7에서는 절대속도 단위로 반경 방향 위치축에 대하여 표시해 주고 있다. 시간이 경과하여 정상상태에 접근하는 $t=33$ sec 때에는 R 의 전체영역에 대하여 회전속도가 반경위치와 비례하여야 한다. 그림의 $0.1 \leq R \leq 0.5$ 영역은 극히 초기상태를 제외하고는 선형으로 근사해석 할 수 있으나, $R > 0.5$ 에서는 유체가 강체회전속도에 훨씬 못 미치며 또한, Fig.1에서 표시한 바와 같이 R 의 정의상 $R=0$ 인 곳도 실제 축중심으로 부터는 반경방향 거리가 허브의 반경만큼 바깥이므로 $R=0$ 에서는 $V=0$ 이 아닌 $V=r_2\Omega$ 의 값을 갖는다. 한

편 $t=3$ 및 9 sec 때를 비교하여 보면 회전력이 미치지 도달하지 못한 영역과 회전영역을 구분하는 剪斷前線(shear front)이 옮겨가고 있음도 관측할 수 있다. 즉, 디스크는 스핀·업과 동시에 정상속도로 회전하고 있으나, $t=3$ sec에서는 $R < 0.8$ 영역이, 그리고 $t=9$ sec에서는 $R < 0.4$ 영역의 유체가 정지상태로 있다. 용기의 회전운동에 따른 영향을 받는 유체와 정지 상태에 있는 유체를 구분하는 경계선이 원주 바깥 방향에서부터 시간에 따라 중심축 방향으로 전진해 들어오는 것으로 이해할 수 있다. 이 전단전선이 허브 경계면까지 전진하는데 소요되는 시간은(그림에서 약 15sec) 유체전체가 정상상태에 도달하는 시간(그림에서 약 33sec)보다 훨씬 짧다는 것도 확인할 수 있다.

3.2 기록·해독용 헤드·암에 의한 유동교란

디스크 사이 간격 유동에서 헤드 및 지지대 형태의 암(arm)이 존재하게 되면 유동공간을 줄여주는 封鎖效果(blockage effect)를 나타내게 된다. 따라서 유동은 좁아진 간격 사이에서 가속될 것이며 헤드·암의 바로 뒷면에서는 유동이 박리(separation)되고 다시 재부착되는(reattachment) 것과 유사한 유동의 접합상황이 나타날 것으로 기대할 수 있다. 본 연구에서는 우선 헤드 암의 길이 변화에 따른 시간별 유동현상의 차이를 관측하기 위하여 20×10 mm의 단면을 갖는 헤드·암의 길이를 바꾸어 가면서 시간 진전에 따른 유동현상의 변화를 관찰하였다. 간격내 유동이 스핀·업되기 전까지는 헤드·암 전후의 유동이 정지상태에 있으나 회전유동

의 효과가 나타나는 전단전선이 통과한 후에는 일정한 원주방향 속도를 갖는 정상상태에 도달하며 이때에는 헤드·암의 후류방향에서 바로 난류성 유동이 생성된다. 축 중심에서보다는 반경방향의 바깥으로 갈수록 헤드·암 후류에서의 난류성 확산이 강하게 나타나는 것을 볼 수 있었다. $R > 0.5$ 지역에서는 헤드·암이 존재하지 않는 경우에도 원주방향 회전속도와 함께 강력한 2차유동(secondary flow)과 전단유동(shear flow)이 존재하며 속도부족(velocity deficit)이 나타나는 영역이고, 헤드·암이 존재하는 경우 유동의 난류화가 더욱 진전된 것으로 본 실험에서 관측되었다⁹⁾.

한편, 헤드·암 주위에서 난류화된 유동은 후류방향(일정한 r 위치에서 θ 방향으로 후류)으로 가면서 차츰 다시 층류화되는(relaminarize)것을 관측

할 수 있었다. (일반적으로 회전유동의 스핀·업과정은 자오면상의 2차 유동이 중요한 역할을 하고는 있으나 그 속도 크기가 회전방향속도에 비하여 훨씬 작기 때문에 축 대칭 일차원적 유동으로 단순화되어 관측되게 된다. 헤드·암의 봉쇄 효과때문에 생기는 유동교란은 3차원적 난류현상이며, 이것이 후류에서 회전방향의 속도만 갖는것으로 관측되는 상황을 재층류화라고 표현하였다.) Fig. 8에 헤드·암이 $R=0.1$ 까지 들어와 있는 경우에 대하여 헤드·암 후류 방향의 각도에 따른 위치에서 유동의 모습을 보여주고 있다. 사진의 우측하단부 둥근 부분은 회전원판의 허브이고 그 위 밝은 부분은 유체이다. 이 유동통로안에 헤드 암이 굵은 선으로 보이고 있다. 유동은 반시계방향으로 회전하고 있으며 헤드 암위치에서부터의 각도를 각각 (a) $\theta =$

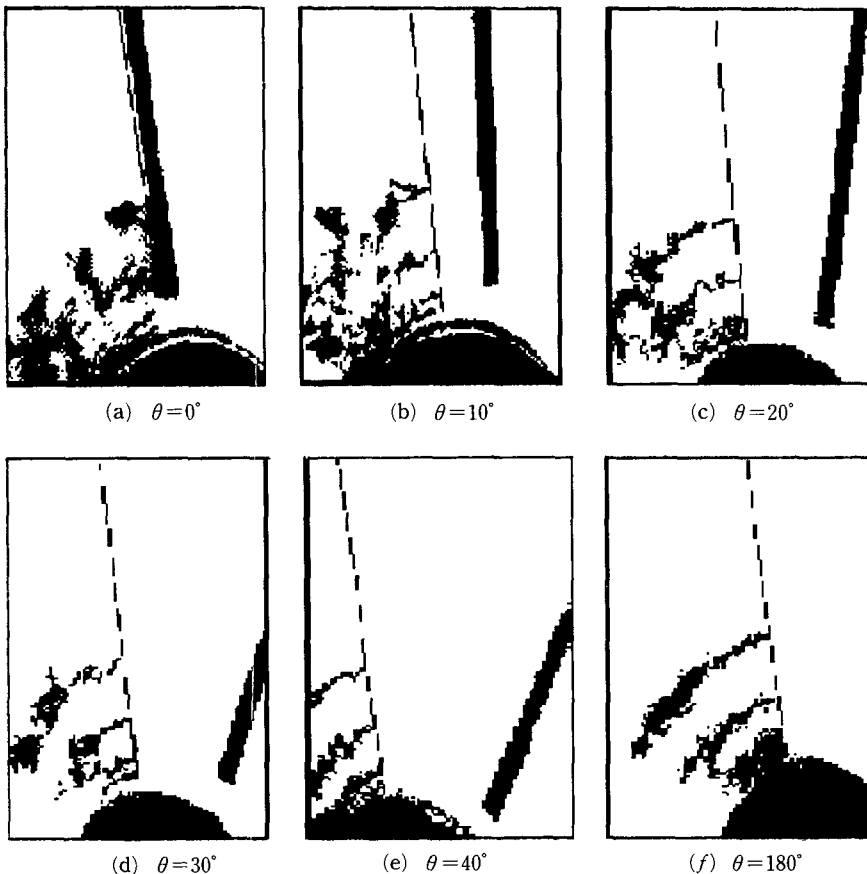


Fig. 8 Flow pattern shows quick relaminarization after passing over the head arm (shown as a thick bar). θ represents the angular displacement of the injection needle (shown as a thin bar) downstream of the head arm. The disk is rotating counterclockwise.

0° , (b) $\theta=10^\circ$, (c) $\theta=20^\circ$, (d) $\theta=30^\circ$, (e) $\theta=40^\circ$, (f) $\theta=180^\circ$ 로 정하였다. 그림은 영상처리기와 출력기기의 특성때문에 약간의 왜곡이 있다. $\theta=180^\circ$ 즉 헤드·암과 원주 방향의 반대 편에서는 헤드 암이 없었던 경우와 거의 비슷하게 유동의 난류성향을 거의 관측할 수 없었다. 헤드·암의 바로 뒷편 후류영역에서는 가까운 곳에서부터(예를 들어 Fig. 8(d)에서부터) 유동의 재층류화가 시작되고 있는것도 볼 수 있다. 이같이 빠르게 재층류화하는 것은 디스크 사이의 강제 회전운동에 도달하기 이전에 매우 강한 전단유동을 형성하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

자오면(meridional plane)내의 유동현상을 관측하기 위하여 부유입자의 슬릿광에 의한 산란실험을 하였으며 헤드·암이 존재하지 않는 경우에도 자오면내 2차 유동이 존재하는 것을 가시화할 수 있었다. 또한, 헤드·암이 있는 경우 난류성 유체유동이 헤드·암의 앞끝 부분 주위에 집중되고 있음도 볼 수 있었다⁹⁾.

4. 설계자료로서 유동현상의 평가

하드 디스크 설계자의 커다란 관심대상은 원판과 매그네틱 헤드의 동역학적 안정성과 디스크 표면에서의 열적 균일성이다. 이것은 고속으로 회전하는 원판과 유동을 방해하는 장애물로서 매그네틱 헤드, 그리고 그 사이에 채워져 있는 유체가 강한 전단력을 받으며 요동을 하는 상황 그리고 그에 따른 불균일한 마찰열의 발생 및 소산이 관련된 복잡한 상황이다. 본 연구에서는 열적 불균일성이 없는 원판내부 유동실험에 국한하여 기본적인 유동현상에 대한 이해를 얻을 수 있었다. 구체적으로, 일정 반경위치 안쪽에서는 강제회전을 하고 그 외부에서는 상대적으로 낮은 속도를 유지하고 있으며, 원주방향 회전속도를 디스크 사이의 간격 위치에 따라 측정된 결과 스핀·업 시간 스케일 이내의 유체유동에 대하여 원통형 대칭을 이루는 기동형 유동가정이 적절하다는 것을 보였다. 이 회전유동속도로 매그네틱 헤드가 진입하면 원주방향 회전유동은 외팔보 형태의 헤드·암에 대한 하중으로서 작용하게 된다. 이와 같은 유동의 기본구조를 바탕으로 강성의 지지대가 반경방향 중심쪽으로 진행해가는 위치에 따라서 부과되는 하중의 변화를 계산할 수 있다. 또한 과도현상의 시간 상수를 이용하여 디스크

의 회전개시와 헤드·암의 반경방향 진입개시 시간과 일정한 간격을 유지시키는 설계결정을 하여 디스크와의 충돌에 의한 기기파손을 방지할 수 있다. 이외에도 회전속도 또는 기하학적 형상 등 제반 설계변수의 변화에 따른 효과를 실험적으로 측정하는 방법으로서 활용할 수 있으나, 무엇보다도 중요한 기여는 수치적 계산이 이미 개발되어 발표되었으나(예를 들어 참고문헌 2,5) 그 모형 설정의 타당성을 입증할 길이 없었던 것을 본 연구의 결과를 활용하여 보완할 수 있다는 점이다. 구체적으로는 이들 모형의 타당성증명을 위하여 본 실험의 조건과 일치하게 계산한 결과를 비교 검토하는것이 필요하다고 판단된다. 특히 열및 유체 유동을 종합적으로 고려한 고도로 복잡한 계산모형의 경우에는 세부적 모형이 타당한가를 판단하여야만 할 것이다.

5. 결 론

컴퓨터 하드 디스크 시스템을 모사하는 동역학적 상사 실험장치에서 유동가시화 및 영상처리에 의한 정량화 기법을 적용하여 유동특성을 연구하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

원주방향의 유동속도를 과도적으로 측정하였으며 극히 초기의 원판 가까운 영역을 제외하고는 기동형 유동가정이 적용될 수 있다는것을 확인하였다. 실험대상의 형상에서 $R < 0.5$ 영역은 일정시간이 지난후 부터는 강제회전운동을 하고 있으나 그보다 반경의 바깥부분에서는 매우 커다란 속도부족(velocity deficit)이 나타나고 있다. 과도 유동현상은 스핀·업 시간 스케일을 고려한 지수함수 형태로, 정상상태를 향하여 전진됨을 보여 주었다. 이 과도 속도 분포가 매그네틱 헤드 암에 걸리는 하중을 예측하는 데 적절하게 사용될 수 있다.

헤드·암이 진입한 상태에서의 유동에 대하여도 기본적으로 과도 스핀·업 과정과 정상상태에 대하여 구분해 줄 수 있으며, 또한 반경방향 위치에 따라서 유동에 부과하는 교란의 정도가 다르게 나타남을 보았다. 아울러, 유동후류에 발생한 난류성 교란은 후류로 가면서 재층류화 하는 것을 볼 수 있었다.

이들 실험결과는 하드 디스크 시스템 설계 및 평가시 고려되어야 할 사항을 감안한 기초자료로서 특히 컴퓨터에 의한 계산모형의 타당성 증명을 위한 이정표 자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- (1) Lenneman, E., 1974, "Aerodynamic Aspects of Disk Files," IBM J. Res. Dev., pp. 480~488.
- (2) Chang, C.J., Schuler, C.A., Humphrey, J.A.C. and Greif, R., 1989, "Flow and Heat Transfer in the Space between Two Co-rotating Disks in an Axisymmetric Enclosure," J. of Heat Transfer, Aug. Vol. 111, pp. 632~635.
- (3) 이재현, 강대진, 1990. "하드디스크 드라이브에서의 열적문제", 대한기계학회지 추계특집호, 9., pp. 198~205.
- (4) Kobayashi, T., Saga, T. and Sekimoto, K., 1988, "Velocity Measurement of Three-Dimensional Flow around Rotating Parallel Disks by Digital Image Processing," Inst. of Industrial Science, Univ. of Tokyo, pp. 1~21.
- (5) Holodniok, M., Kubicek, M. and Hlaracek, V., 1977, "Computation of the Flow Between Two Rotating Coaxial Disks," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 81, Part 4, pp. 689~699.
- (6) Szeri, A.Z., Giron, A., Schneider, S.J. and Haufman, A.N., 1983, "Flow Between Rotating Disks, Part 2, Stability," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 134, pp. 133~154.
- (7) Choi, S., Kim, J.W. and Hyun, J.M., 1989, "Transient Free Surface Shape in an Abruptly Rotating, Partially-Filled Cylinder," J. of Fluids Engineering, Vol. 111, pp. 431~439.
- (8) Choi, S., Kim, J.W. and Hyun, J.M., 1991, "Experimental Investigation of the Flow with a Free Surface in an Impulsively Rotating Cylinder," J. of Fluids Engineering, Vol. 113, pp. 245~249.
- (9) 김진수, 1991, 유동의 가시화와 영상처리를 이용한 축대칭 용기내에서의 회전하는 두원판 사이에서의 유동에 관한 실험적 연구, 한국과학기술원 기계공학과 '91년도 석사학위 논문

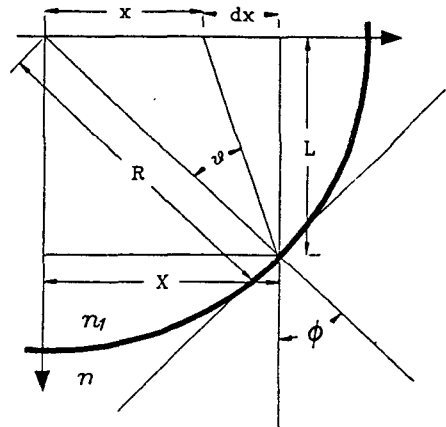
후 기

이 연구는 한국과학재단의 '90년 기초연구과제로 선정된 '영상처리기법을 이용한 회전유동의 실험적

연구'의 일환으로 수행되었으며 관계자 여러분께 사의를 표합니다.

부 록

원통형 용기내에 물이 채워져 있는 경우 외부에서 관측하는 반경방향의 길이는 왜곡되어 보인다. 즉 외부 관측자가 보게 되는 반경방향의 위치 X 가 실제 반경방향의 위치 x 와 같지 않기 때문이다. 공기와 물에서 빛의 굴절율이 다르기 때문에 나타나는 현상이다. 여기에서는 원통용기벽의 매질은 무시하고 공기와 물만을 대상으로 굴절위치 환산을 할 수 있는 기하학적 모형을 고려한다.



- R : radius of container
- x : actual location of the object
- X : apparent location of the object as seen by the observer
- n_1 : refractive index of water
- n : refractive index of air
- θ : incidence angle
- ϕ : refracted angle

Fig.A. 1 Model geometry of refractive index correction for cylindrical containers.

Snell의 굴절법칙에 의하면 두 매질의 접경지역에서 경계면에 경사진 각도 ϕ 로 입사한 빛은 θ 만큼의 각도로 굴절되며, 이 비율은 두 매질의 굴절

울에 의하여 결정된다. 즉,

$$\frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \frac{n_1}{n}$$

또한 삼각함수에 의하여

$$X = R \sin \phi$$

$$L = R \cos \phi \text{ 이며}$$

$$dx = L \tan(\phi - \theta) \text{ 이 된다.}$$

따라서 $x = X - R \cos \phi \cdot \tan(\phi - \theta)$ 이 되어 이 관계식으로 실제위치와 관측된 위치 사이의 관계를 결정하였다.