

유출 허브를 갖는 HDD내 동시회전디스크 표면에서의 열전달 및 유동특성 해석

조형희* · 원정호** · 류구영***

Heat Transfer and Flow Characteristics on Co-rotating Disks with a Ventilation Hub in Hard Disk Drive

Hyung Hee Cho, Chung Ho Won and Goo Young Ryu

Key Words : Rotating Disk(회전디스크), Blowing Hole(유출홀), Mass Transfer(물질전달), LDA Measurement(광학속도측정)

Abstract

In the present study, local heat transfer rates for co-rotating disks with two modified hubs having ventilation holes are investigated for Rossby number of 0.04, 0.1 and 0.35 to evaluate the influence of incoming flows through hub holes. A naphthalene sublimation technique is employed to determine the detailed local heat/mass transfer coefficients on the rotating disks using the heat and mass transfer analogy. Flow field measurements are conducted using Laser Doppler Anemometry (LDA) and numerical calculations are performed simultaneously to analyze the flow patterns induced by the disk rotation. The basic flow structure in a cavity between co-rotating disks consists of three regions; the solid-body rotating inner region, the outer region with turbulence vortices and the shroud boundary layer region. The heat/mass transfer rates on the co-rotating disks are very low near the hub due to the solid-body rotation and those increase rapidly in the outer region due to turbulence mixing. The modified hubs with ventilation holes enhances significantly the heat/mass transfer rates on the region near the hub. The results also show that the heat transfer of Hub-2 is superior to that of Hub-1, but Hub-1 is more profitable for destructing the solid-body rotating inner region.

기호설명

a = 회전원판과 슈라우드 간격, m
 D_{naph} = 공기 중 나프탈렌 확산계수, m^2/sec
 H = 동시회전원판 사이의 축방향 간격, m
 Nu = 국소 Nusselt 수
 Nu_{∞} = 자유 회전 원판의 평균 Nusselt 수
 Q = 허브홀 유출 유량, m^3/s

r = 반경방향 위치, m
 R_1 = 허브 반경, m
 R_2 = 원판 반경, m
 Re_{Ω} = 회전 Reynolds 수, $R_2^2 \omega / \nu$
 Ro = Rossby 수, $V_o / R_2 \omega$
 Sc = Schmidt 수, ν / D_{naph}
 Sh = 국소 Sherwood 수, $h_m R_2 / D_{naph}$
 Sh_{∞} = 자유 회전 원판의 평균 Sherwood 수
 Sh = 원주방향 선 평균 Sherwood 수
 Sh_{av} = 면적 평균 Sherwood 수
 U_{θ} = 원주 방향 속도 성분, m/sec

* 회원, 연세대학교 기계공학과

** 연세대학교 대학원

*** 경원세기(주)

E-mail : hhcho@yonsei.ac.kr

TEL : 02-361-2828 FAX : 02-312-2159

U_{rms}	=	원주 방향 섭동속도 성분, m/sec
V_o	=	유출홀 평균 유출 유속, m/sec
z	=	축방향 위치, m
ν	=	동점성계수, m^2/sec
ω	=	각속도, rad/sec

1. 서 론

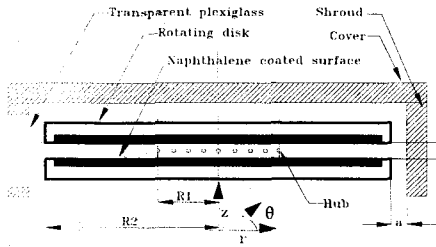
최근의 높은 정보 저장밀도를 갖는 고용량의 자기저장 하드디스크 드라이브(magnetic hard disk drives)는 소형화(compactness), 고속화(high data access velocity), 고집적화(high density)로 발전함에 따라 보다 정밀한 회전디스크의 속도제어, 헤드 암의 위치제어, 디스크와 헤드암의 진동 방지, 내부 유로의 청정도 유지 등이 요구된다. 또한 구동 모터와 스피들 베어링, 제어 반도체 소자로부터의 발열은 자기회전디스크 표면에 부적절한 온도분포를 야기하여 불균일한 열팽창을 발생시키게 된다. 회전디스크 표면의 불균일 열팽창으로 야기되는 헤드의 회전디스크 표면 정보저장위치 판독 오류는 고집적, 고속의 저장 정보처리시 부정확한 정보전송의 원인이 될 수 있다. 회전속도의 고속화로 발생하는 공력가열(aerodynamic heating), 공력마찰(aerodynamic friction)과 진동은 수십 나노미터의 거리로 자기회전디스크와 이격되어 정보를 주고받는 헤드암(read / write head arm)과 회전디스크사이 미세 유로에서 헤드의 부정확 위치판독 등 그 기능에 심각한 영향을 주게된다. 이에 따라 차세대 고성능의 HDD의 개발을 위해서는 위의 문제에 대한 해결이 요구되고 자기회전디스크 내에서의 유동 및 열전달 특성 해석은 필수적이다.

동시회전디스크 내부 유동 구조는 그 유동특성상 유체입자간의 상대운동없이 강제회전(solid-body rotation)하는 내부영역(inner region), 3차원 와류구조의 높은 섭동성분을 갖고 활발한 혼합이 발생하는 외부영역(outer region), 슈라우드와의 경계영역(shroud boundary region)등 세 영역으로 구분된다. 이러한 회전디스크 내부 유로에서의 유동은 단일회전디스크에서보다 복잡한 열·유동 특성을 가지게 된다. 내부 강제회전 영역은 HDD가 정상작동 중 외부영역과 유체의 교환이 발생하지 않는 밀폐된 영역을 형성하여 매우 낮은 열

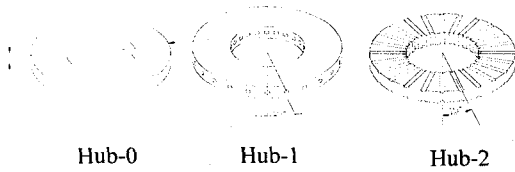
전달 계수의 분포를 보이게 된다. 이로 인하여 내·외부 영역의 동시회전디스크 표면에는 불균일한 온도분포가 야기된다. 강제회전하는 내부영역을 제거하거나 혹은 작게 만드는 것은 동시회전디스크 표면의 열전달 향상과 불순입자 배출에 유리한 순환 유동구조 형성을 위하여 매우 중요하다. 이를 위하여 허브의 형상변화나 회전디스크 외곽에 설치된 유동분리기(partition)을 이용하여 유로내부에 균일한 순환 유동구조를 형성하고⁽¹⁾, 허브의 유출홀을 통하여 내부순환 공기를 분사하여 강제적으로 열전달 향상을 도모하는 방향으로 연구가 진행되고 있다⁽²⁾.

Abrahamson 등⁽²⁾은 동시회전디스크 내부 유로에서 물을 작동유체로 하여 염료 주입에 의한 유동가시화와 함께 PIV(Particle Image Velocimetry)를 이용하여 허브 유출홀과 유출의 유체유량 변화에 따른 유동구조 변화를 연구하였다. Humphrey 등⁽³⁾은 LDA(Laser Doppler Anemometry)를 이용하여 동시회전디스크에 헤드암이 삽입된 경우 다양한 회전 Reynolds 수에 대하여 내부 유동의 변화를 측정하고, 스펙트럼 분석을 통하여 외부영역에서 와류구조의 주기성을 연구하였다. 이 연구에서 그들은 외부영역 와류의 수와 관계 있는 무차원 특성주파수(f/rps_{flow})는 디스크의 회전수의 증가에 대하여 일정한 준위를 가지고 계단형으로 감소함을 제시하였다. 최상민 등⁽⁴⁾은 동시회전디스크 사이에서의 유동 현상에 대하여 유동가시화와 영상처리에 의한 정량화기법을 이용하여 과도기상태와 정상상태의 유동특성을 연구하였다. 또한, 헤드암이 삽입된 경우 암의 삽입 깊이에 따른 유동의 교란 정도 및 후류영역에서 난류교란의 재 층류화 현상을 확인하였다. 원정호 등⁽⁵⁾, 류구영 등^(6,7)은 단일회전디스크와 동시회전디스크 내부 유로에서 회전 Reynolds 수 200,000이하의 층류 경계층의 유동에 대하여 허브높이와 회전수의 변화에 대하여 LDA 측정과 유동가시화 및 열/물질전달 측정을 통하여 유동 및 열/물질전달 특성을 연구하였다.

본 실험은 자유회전디스크 기준 임계 회전 Reynolds 수 2.0×10^5 이하의 층류유동영역에서 HDD내 달개와 슈라우드로 차폐되어진 중간단의 동시회전디스크가 유출 허브를 갖는 경우의 열전달 유동구조를 고찰하기 위한 것이다. 2가지 다른 형태의 유출홀을 갖는 허브에 대하여 유출



(a) Cross-section and coordinates of co-rotating disks



(b) Shapes of modified hubs with blowing holes
Fig. 1 Schematics of the test disks and hubs

유량(Rossby 수)의 변화에 따른 회전디스크 표면에서의 열전달 특성을 나프탈렌($C_{10}H_8$) 승화법을 이용하여 해석하였고, LDA 및 상용 프로그램인 FLUENT 5.0을 이용하여 유로내부의 유동특성을 해석하였다. 선행된 연구는 주로 회전디스크 내부 유로에서의 유동구조 해석으로 국한되었고, 열전달과 유동을 유기적으로 연계하여 해석한 경우는 매우 드물었다. 본 연구에서 회전디스크 표면의 열전달과 내부 유로에서의 유동특성 파악을 병행하여 효과적인 열전달 향상과 내부 순환 유동구조 형성을 위한 최적의 유출허브 설계 조건을 제시하고자 한다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

물질전달 실험과 LDA 측정을 위한 회전디스크의 형상은 회전디스크 반경(R_2) 85 mm, 허브반경(R_1) 30 mm, 디스크와 슈라우드 간격(a) 8 mm, 두 회전디스크 사이의 간격(H)은 6 mm로 현재 상용 HDD (3.5" -5400 rpm, $Re_{\Omega} = 8.5 \times 10^4$)에 상응하는 회전수는 1700 rpm 이다. 슈라우드 측면에는 입사 레이저의 산란과 입사광의 굴절을 최소화하고 산란광의 검출을 위하여 1 mm 두께의 평면 플

렉시글라스(Plexiglass) 입사창을 만들었다(Fig. 1(a)). Fig. 1(b)는 각각 유출홀이 없는 일반적인 허브와 유출홀을 갖는 2가지 형상의 변형허브를 나타낸다. Hub-1은 6 mm높이의 허브 중간에 직경 2 mm의 유출홀을 원주방향 15° 간격으로 24개가 형성되어 있으며, Hub-2는 직경 2 mm 반원의 형태의 유출홀이 상·하 디스크와 접하는 허브상의 위치에 Hub-1과 동일한 간격으로 배치하였다. 허브를 통하여 유출되는 유량은 디스크 끝단의 회전 선속도(V)에 대한 허브 유출홀 출구의 유출 속도(V_o)의 비인 무차원 속도 (Rossby 수, $Ro = V_o/V$)로 나타냈으며, $Ro = 0.04, 0.10, 0.35$ 의 3가지 경우에 대하여 실험하였다. 유동속도는 LDA(Laser Doppler Anemometry)를 사용하여 회전디스크내부를 측정하였다.

상용 열·유동 해석프로그램인 FLUENT 5.0을 이용하여 회전디스크 내부의 순환 이차유동구조는 계산하였다. 수치해석을 위하여 내부 유동장은 격자수가 유동계산에 영향을 미치지 않는 r-z 방향으로 154×50 개 규모의 2차원 축대칭 정렬 격자계(structured grid)로 구성하였다. 수치해석은 2차원 비압축성 정상상태로 가정하였고, RNG k- ϵ (ReNormalization Group k- ϵ) 난류 모델을 적용하였다.

2.2. 물질전달 결과 처리

열전달 실험을 대신하여 본 연구에서는 나프탈렌($C_{10}H_8$) 승화법을 이용한 물질전달 실험을 수행하였다. 열/물질전달의 상사성에 의하여 본 물질전달 실험의 경계조건은 열전달 실험의 등온조건에 해당된다.

나프탈렌 표면고도의 측정은 선형 가변 차동 변환기(LVDT ; Linear Variable Differential Transformer)를 통하여 이루어지며, 정밀도는 $0.025 \mu\text{m}$ 으로 측정오차는 1%이내이다. 실험을 통하여 측정된 나프탈렌의 승화량을 이용하여 회전디스크 표면의 물질전달계수는 다음 식으로 표현된다.

$$h_m = \frac{\dot{m}}{\rho_{v,w} - \rho_{v,\infty}} = \frac{\rho_s(dy/d\tau)}{\rho_{v,w}} \quad (1)$$

여기서 \dot{m} 은 나프탈렌 표면의 단위 면적, 단위시간당의 승화량이며, $\rho_{v,w}$ 와 $\rho_{v,\infty}$ 는 나프탈렌 벽면 및 외부유입공기($\rho_{v,\infty} = 0$)의 나프탈렌 증기

밀도이다. 그러므로 회전디스크 표면의 물질전달계수는 나프탈렌의 승화깊이 즉, 실험전과 실험후의 표면고도차(dy)와 실험시간($d\tau$), 고체 나프탈렌의 밀도(ρ_s)와 표면에서 나프탈렌 증기의 밀도($\rho_{v,m}$)에 의해서 결정된다.

$$Sh = \frac{h_m R_2}{D_{naph}} \quad (2)$$

D_{naph} 은 공기 중에서의 나프탈렌의 확산계수로 여기서는 Goldstein과 Cho⁽⁸⁾에 의해 제시된 물성치를 사용하였다.

덮개와 슈라우드가 없는 자유회전디스크 표면에서의 평균 Sherwood 수는 Kreith 등⁽⁹⁾이 제안한 회전원판 표면의 유동이 층류 ($3.5 \times 10^2 < Re_D < 7.0 \times 10^5$) 이고 벽이 등온조건일 경우 식(3)과 같고, Sherwood 수는 열/물질전달의 유사성에 의하여 식(4)와 같이 Nusselt 수로 변환될 수 있다.

$$Sh_\infty = 0.4586 Re_D^{0.5} Sc^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

$$\frac{Nu}{Sh} = \left(\frac{Pr}{Sc} \right)^n \quad (4)$$

본 실험에서 측정된 회전원판 표면의 원주방향 평균 물질전달 계수는 식(3)에서 $Sc = 2.28$ 일때 Sh_∞ 를 이용하여 Sh/Sh_∞ 으로 정규화(normalization)하였다. Sh/Sh_∞ 로 표현된 무차원 물질전달 계수는 Nu/Nu_∞ 와 직접적으로 비교할 수 있다.

3. 실험 결과

3.1 변형허브를 통한 유출유동에 의한 디스크

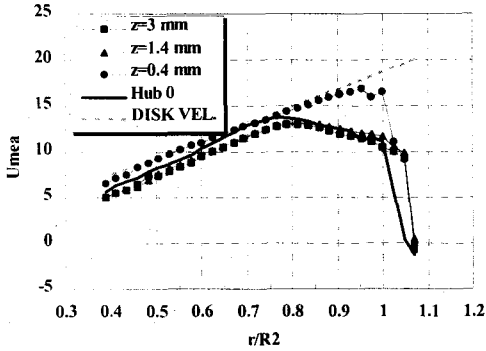
표면의 유동 및 열전달 해석

HDD의 중간단의 동시회전디스크 내부에 형성되는 강제회전 영역에 의하여 디스크 표면의 낮은 열전달 계수 분포와 유로내부의 정체유동영역이 형성된다. 그러므로 이 내부영역의 축소나 내부 영역과 회전디스크사이의 경계층 유동을 활성화시킴으로서 동시회전디스크 내부의 새로운 순환 유동구조를 형성하고 디스크 표면의 열전달을 향상하는 것은 열 확산을 위하여 필요하다.

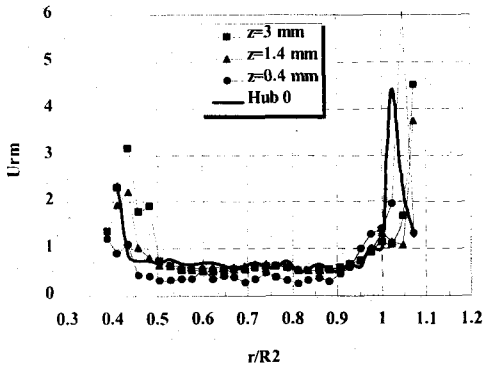
Fig. 2는 Hub-1을 통하여 회전 Reynolds 수 1.1×10^5 의 디스크 유로내부로 Rossby 수 0.35의 유출 유동을 주었을 경우, LDA를 이용하여 회전디

스크 표면에서 축방향 $z = 0.4, 1.4, 3.0$ mm 지점에서 반경방향으로 2 mm 간격으로 측정된 원주방향 평균속도, 섭동(RMS) 속도분포와 r - z 단면에서 발생하는 이차유동의 개략도이다. 허브의 높이 방향 3.0 mm 지점에 위치한 2 mm 유출홀을 통하여 분사되는 외부유입 유동은 유로 내부의 강제회전 영역과 충돌하여 내부영역을 반경방향 외곽으로 이동시키고 회전디스크 경계층에서 반경방향의 유출유동을 발생시키게 된다. 그림에서 외부 영역의 중심부분(속도가 감소하기 시작하는 부분)이 Hub-0의 경우 무차원 반경(r/R_2) 0.76지점에서 유출유동에 의하여 0.82 지점으로 약간 이동되었음을 보인다. Fig. 2(c)에서 보여 주듯이 유출홀을 통하여 분사되는 냉각류는 강제회전 영역과 충돌 후 회전디스크 표면으로 이동하며 서로 반대로 회전하는 이차유동을 야기 시키게 된다. Fig. 2(d)는 0.1C에 의한 내부 유로에서의 유동구조의 개략도를 나타낸다.

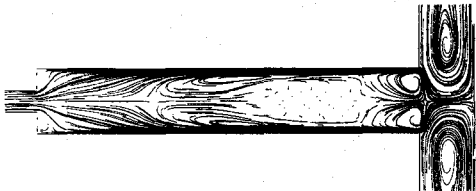
Fig. 3은 Hub-1에 대하여 Rossby 수를 $Ro = 0.04(Q = 4.57 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s})$, $0.10(Q = 1.14 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})$, $0.35(Q = 5.71 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})$ 로 변화시키면서 측정된 회전디스크 표면의 등 국소 Sherwood 수 분포이고, Fig. 5은 원주방향 평균 Sherwood 수의 분포를 나타낸다. 회전 Reynolds 수는 8.5×10^4 으로 각 경우에 대하여 일정하다. 등 국소 Sherwood 수의 분포에서 허브의 유출홀을 통하여 유입되는 유동의 회전디스크 충돌로 인하여 국소적으로 높은 Sherwood 수가 허브 근처에 분포하고 있다. 이 위치는 회전 디스크에 대하여 상대운동을 하는 반경방향의 유출 유동의 코리올리 효과에 의하여 실제 허브 유출홀의 위치보다 상류(시계방향)로 편향되어 위치하게 된다. 등 국소 Sherwood 수 분포에서 냉각류의 충돌로 인한 허브부근의 높은 열/물질전달계수를 나타내는 영역은 유출유량이 증가함에 따라 디스크의 반경의 외곽으로 더욱 넓은 범위까지 영향을 나타내고, 강제회전에 의한 낮은 열/물질전달 계수를 나타내는 영역은 그 범위가 좁아지며 회전디스크의 외곽으로 이동함을 보인다. 허브를 통한 유출유동이 없는 경우 내부 영역에서 대류에 의한 열전달은 거의 발생하지 않으나, 중심에서 유출유동이 있는 경우 외곽으로 이동된 회전디스크 내부영역의 경계층에서 반경방향의 유동성분을 발생시켜 내



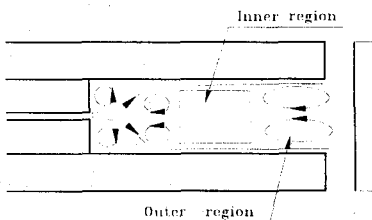
(a) Tangential mean velocity



(b) RMS velocity



(c) Numerically calculated flow pattern



(d) Sketch of secondary flow pattern in r-z plane

Fig. 2 Tangential velocity profiles in co-rotating disk with Hub-1 ($Re_D = 1.1 \times 10^5$, $Ro = 0.35$)

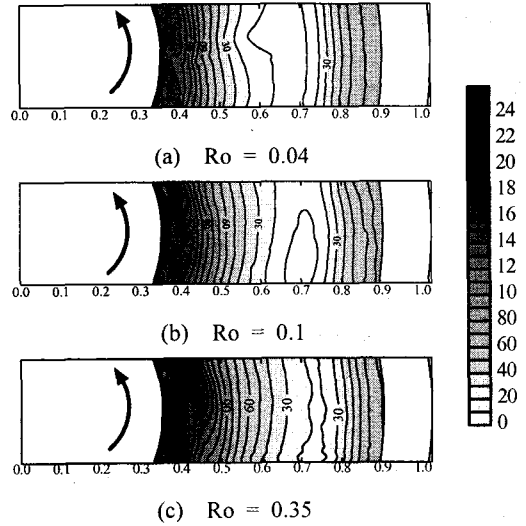


Fig. 3 Contour plots of local Sherwood numbers for various Rossby numbers on co-rotating disks with Hub-1

부영역의 디스크표면에서도 미소한 대류열전달이 발생하고 있음을 원주방향의 평균 Sherwood 수의 분포(Fig. 4)로부터 알 수 있다. Rossby 수의 증가는 더욱 강체회전 영역을 회전디스크의 외곽으로 이동시키고, 내부영역에서도 회전디스크 표면에 상당한 대류열전달이 증가함을 보인다. 내부영역의 이동은 상대적으로 활발한 유동혼합이 발생하는 외부영역의 축소와 난류강도의 감소를 가져온다. 이에 따라 Rossby 수가 증가함에 따라 상대적으로 외부영역의 디스크 표면에서 열전달이 감소하게 된다. Hub-1의 경우 분사유동에 의한 허브근방에서의 재순환 영역의 형성은 허브부근에서 국소적으로 불균일한 열/물질전달 계수의 분포를 가져오고, 열점(hot spot)을 발생시킬 수 있다. 이것은 유로 내부의 취약한 열 환경하에서 허브 부근의 회전디스크 표면에 불균일 열팽창을 발생시킬 수 있다.

Fig. 1(b)의 Hub-2는 유출 분사류의 이차유동구조 변화를 통하여 표면의 열점을 제거하고 얇은 냉각류의 막(thin flow film)을 형성하여 허브부근에서 보다 균일한 냉각효과를 얻기 위하여 고안된 형상이다. Fig. 5은 Hub-2를 통하여 반경방향의 유출유동($Ro = 0.35$)을 갖는 회전 Reynolds 수 1.1×10^5 의 동시회전디스크 내부 유로에 대하

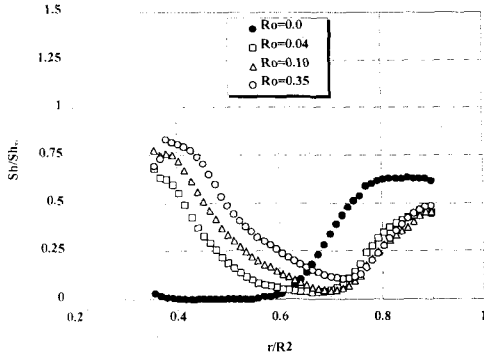
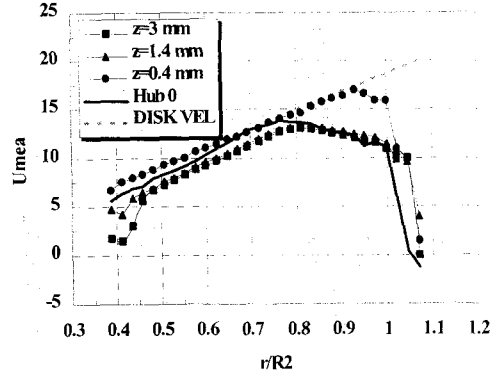


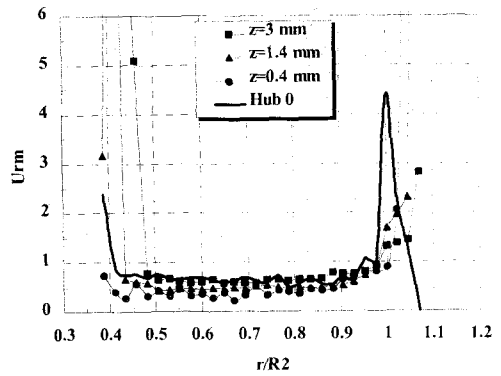
Fig. 4 Distributions of average Sherwood numbers for various Rossby numbers (Hub-1)

여 LDA를 이용하여 회전디스크로부터 축 방향 (z) 0.4, 1.4, 3.0 mm 지점에서 반경방향(r)으로 2 mm 씩 이동하며 측정한 평균 원주속도와 원주방향 섭동 속도, r - z 단면에서 발생하는 이차유동 구조를 나타낸다. 허브 유출유동에 의한 이차유동 구조는 강제회전 영역의 존재와 두 회전디스크 사이 유로에서의 압력 구배의 영향으로 Hub-1에 의한 이차유동구조와는 다른 유동구조를 보여주고 있다. 원주방향의 평균속도 분포(Fig. 5(a))를 보면 허브 부근 축방향 $z = 3.0, 1.4$ mm 지점에서 Hub-1의 유동결과와는 다른 매우 낮은 원주속도 분포를 보이는 영역이 존재한다. 이것은 이차유동에 의한 원주방향의 운동량의 감소 때문으로 허브부근 유로내에서 Hub-1의 결과보다 높은 RMS 속도 분포를 나타내게 한다.

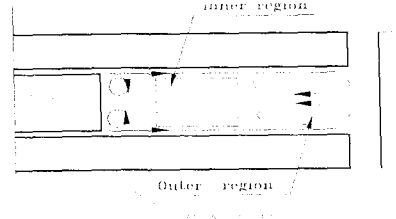
Hub-2의 경우 회전 Reynolds 수 8.5×10^4 와 Rossby 수 0.04($Q=4.57 \times 10^5$ m³/s), 0.10($Q=1.14 \times 10^4$ m³/s), 0.35($Q=5.71 \times 10^4$ m³/s)의 경우 발생하는 등 국소 Sherwood 수와 원주방향 평균 Sherwood 수의 분포를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 디스크 회전과 허브유출 유동의 상대운동 의한 코리올리 효과로 유출유동의 편향은 시계방향을 향하게되고 표면 막냉각의 효과로 인하여 Hub-1의 경우보다 균일한 디스크 표면의 국소 Sherwood 수의 분포가 발생함을 Fig. 7을 통하여 알 수 있다. 또한 Hub-1에서 국소적으로 위치한 허브부근의 열점(낮은 열전달 계수를 나타내는 부분)도 제거되었음을 알 수 있다. Hub-1의 경우 허브로 접근함에 따라 원주방향 평균 Sherwood 수는 증가하다가 미소하게 감소하는 현상은



(a) Tangential mean velocity



(b) RMS velocity



(c) Sketch of secondary flow in r - z plane

Fig. 5 Radial profiles of the tangential mean velocity and RMS velocity on co-rotating disks with Hub-2 ($Re_D = 1.1 \times 10^5$, $Ro = 0.35$)

Fig. 7에서 보이지 않고 최대값으로 급격히 상승한다. Rossby 수의 증가에 대하여 국소 Sherwood 수 20 이하의 낮은 분포를 보이는 내부영역이 감소하고 디스크의 외곽으로 밀려나고 있음을 등 Sherwood 수 분포와 원주방향 평균 Sherwood 수 분포를 통하여 알 수 있다. 내부영역의 외곽으로의 이동은 활발한 와류혼합이 발생하는 외부영

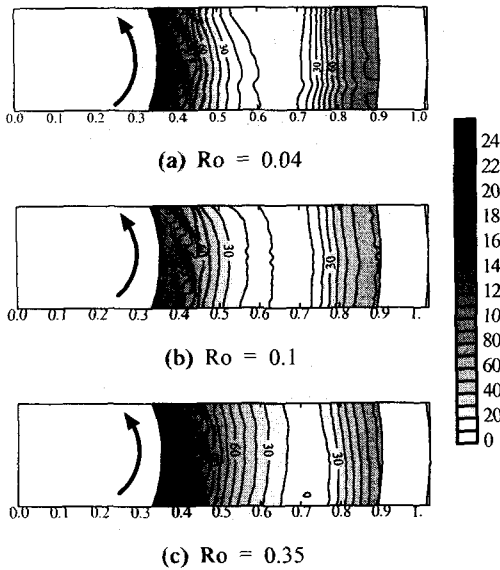


Fig. 6 Contour plots of local Sherwood numbers for various Rossby numbers on co-rotating disks with Hub-2

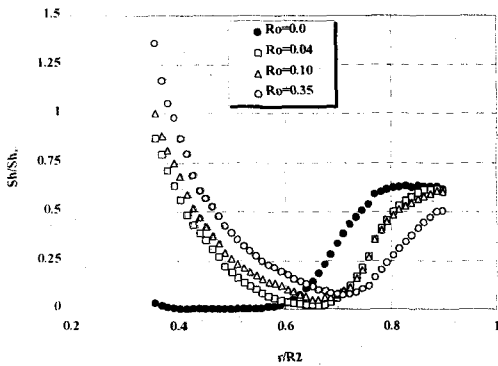


Fig. 7 Distributions of average Sherwood numbers for various Rossby numbers (Hub-2)

역의 크기를 축소시키고 이것은 와류유동의 강도와 크기를 축소시키게 된다. 즉, 외부영역의 원주평균 Sherwood 수의 분포가 Rossby 수의 증가에 대하여 오히려 감소하는 결과를 나타내게 된다. 특히 Hub-2의 경우 유출홀을 통한 분사유동이 디스크 표면을 따라 이동하므로 유출유동과 내부 영역의 간섭이 Hub-1의 경우보다 작고, 이로 인한 내부영역의 축소나 위치의 이동도 Hub-1

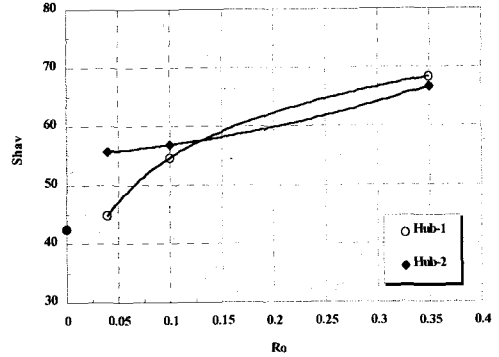


Fig. 8 Comparisons of area averaged Sherwood number for Hub-1 and Hub-2

보다는 작은 결과를 보인다.

3.2 면적평균 열전달 계수

Fig. 8은 디스크 회전 Reynolds 수 8.5×10^4 에 대하여 Rossby 수 $Ro = 0.0, 0.04, 0.10, 0.35$ 의 경우 회전디스크 표면의 면적평균 Sherwood 수의 분포를 나타낸다. 적은 분출유량(낮은 Rossby 수)의 경우 Hub-2가 Hub-1보다 높은 열전달 효과를 나타냄을 알 수 있다. Hub-1의 분출홀의 위치는 디스크의 축방향 간격 중간위치($z = 3\text{mm}$)로 유출 유동은 유로내 압력구배에 역행하게 된다. 유동 방향에 대한 압력구배와 내부의 강제회전 영역과 충돌로 인한 재순환 이차유동의 형성과 이로 인한 큰 운동량 손실은 상대적으로 운동량의 손실이 적은 Hub-2의 경우보다 적은 유출 유량에서 낮은 열전달 특성을 나타나게 한다. Rossby 수 0.13이상의 유량조건에서 Hub-1과 Hub-2에 의한 면적평균 Sherwood 수의 분포가 거의 일치하는 경향을 보이는데, Rossby 수 0.15이상의 높은 유량에서 Hub-1의 경우 허브 유출홀을 통한 유출제트의 디스크의 충돌로 국소적으로 높은 열전달을 보이는 부분과 허브부근의 재순환 이차유동구조의 영향으로 열점 발생의 우려가 있으므로 큰 분사 유량에서는 Hub-2의 사용이 유리한 것으로 보인다.

4. 결론

본 실험에서는 허브에 유출홀을 설치하여 순환 냉각유의 유입을 통한 내부 유동구조의 변화를

유도하여 디스크 표면의 열전달 향상과 정체된 유동 영역의 파괴를 통한 새로운 순환유동구조의 형성을 연구하였다. 허브를 통한 유출유동은 유로내 정체된 내부영역의 경계층에서 반경방향의 유출유동을 발생시키고 강제회전 영역을 회전디스크의 외곽으로 이동시킴으로서 상당한 열전달의 향상효과를 발생시킨다. 또한 강제회전 영역을 외곽으로 이동시켜 상대적으로 불안정 와류유동구조를 갖는 외부영역을 축소시키고 와류강도를 약화시킨다. 이것은 유동교란에 의한 헤드의 진동(aerodynamic fluctuation)에 대하여 보다 안정적인 상태가 형성됨을 의미한다. 또한 허브 유출유동에 의한 새로운 순환구조는 유로 내부 불순입자를 보다 신속히 디스크 유로 외부로 배출할 수 있는 역할도 할 수 있다.

Rossby 수 0.04, 0.10, 0.35의 유출유동에 대하여 Hub-0의 면적평균 Sherwood 수에 비하여 Hub-1의 경우 각각 5%, 28.5%, 60.93%, Hub-2의 경우 31.1%, 33.9%, 56.9%의 열전달 향상효과가 있었다. Hub-1, Hub-2에서 유출홀의 위치에 따라 허브 부근에 발생하는 재순환 이차유동은 상반되는 회전구조를 가진다. Rossby 수 0.13 이상의 분사유량에서 Hub-1이 Hub-2에 비해 약간 높은 면적 평균 열전달 계수를 나타낸다. 또한 허브 유출유동의 디스크에의 충돌로 국소적으로 높은 열전달 효과와 Hub-2에 비하여 우수한 강제회전 영역의 감소와 순환유동구조의 형성을 보여준다. 그러나 전술한 재순환 이차유동의 영향으로 허브 근접영역에서 열점(hot spot)을 발생시킬 가능성이 있다. 반면 Hub-2의 회전디스크 표면에 접한 반원의 유출홀을 통한 분사유동은 회전디스크 표면에 얇은 유동막(thin flow film)을 형성하고 Hub-1에 비하여 허브 부근에서의 열전달 향상에 유리하다.

후 기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기기연구센터의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) Y. Yamaguchi, K. Matsubara, T. Shibuya, M. Tokuyama, 1989, "A New Air Circulation Path for a High-Recording-Density Magnetic Hard-Disk Drive", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 25, No. 5, pp. 3378~3380.
- (2) S. D. Abrahamson, C. Chinang and J. K. Eaton, 1991, "Flow Structure in Head-disk Assemblies and Implications for Design", Adv. Info. Storage Syst., Vol. 1, pp. 111~132.
- (3) J. A. C. Humphrey, C. J. Chang and C. A. Schuler, 1991, "Unobstructed and Obstructed Rotating Disk Flows : A Summary Review Relevant to Information Storage Systems", Adv. Info. Storage Syst., Vol. 1, pp. 79~110.
- (4) 최상민, 김진수, 현재민, 1992, "회전하는 원판 사이에서의 유체유동", 대한기계학회 논문집, 제16권, 제2호, pp. 281~289.
- (5) 원정호, 류구영, 조형희, 1999, "구속된 단일회전원판과 동시회전원판 내부의 유동 특성", 대한기계학회 논문집(B), 제23권, 제9호, pp. 1192~1200.
- (6) 류구영, 원정호, 조형희, 2000, "동시 회전원판 사이의 간격변화에 따른 열전달 특성", 대한기계학회 논문집(B), 제24권, 제4호, pp. 570~577.
- (7) 류구영, 원정호, 조형희, 2000, "슈라우드로 차폐되어진 단일회전디스크 표면의 열전달 특성", 대한기계학회 논문집(B), 제24권, 제8호, pp. 1029~1037.
- (8) R. J. Goldstein, and H. H. Cho, 1995, "A review of mass transfer measurement using naphthalene sublimation," Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 10, pp. 416~434.
- (9) J. M. Owen and R. H. Rogers, 1989, Flow and Heat Transfer in Rotating-Disc Systems, Volume 1 Rotor-Stator Systems, JOHN WILLY & SONS INC, pp. 41~64, 93~124.