

유체동압베어링의 그루브 설계 인자별 3차원 유동 정특성 해석 3D Simulation for Various Parameters of the Groove to show Static Behaviors of Hydrodynamic Bearing

*김정배¹, #이혜진², 박성준³, 이형욱¹, 송정한²

*J. Kim¹, #H.J. Lee((naltl@kitech.re.kr)², S.J. Park³, H.W. Lee¹, J.H. Song²

¹충주대학교 에너지시스템공학과, ²한국생산기술연구원 융합생산기술연구부, ³충주대학교 기계공학과

Key words : Hydrodynamic Bearing, Static Behaviors, Hard Disk Drive, 3D Numerical Turbulent Flow Simulation

1. 서론

저소음, 고속, 고정도의 특성을 가져야 하는 HDD 모터의 최신 핵심 기술 중의 한 가지는 유체동압 베어링이다.

선진 외국의 베어링에 적용하고 있는 Radial 그루브를 슬리브에 가공을 통해 만들고, 축을 회전시키는 형태로 베어링을 설계하고 있다.

기존의 유사한 국내 연구에서는 축과 슬리브 사이의 간극에서의 유체의 유동을 층류로 가정하여 얻어진 레이놀즈방정식을 이용하여 주로 계산하고 있다.

본 연구에서는 내부 축의 표면에 존재하는 그루브를 가정하고, 이러한 그루브의 설계 인자별로 3차원 난류 유동해석을 통해 베어링의 정적 안정 상태에서의 유동 특성을 해석하였다. 이러한 해석 결과로부터 축 표면 Radial 그루브의 최적 조건을 도출하고자 한다.

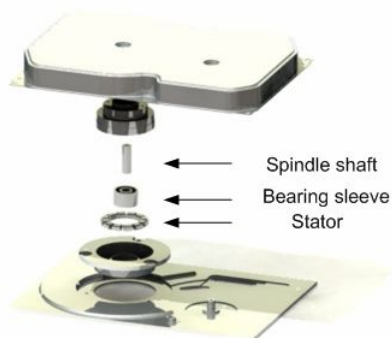


Fig. 1 Schematics of spindle motor assembly

동압 베어링에서 축방향으로 압력을 발생시키면서 축을 부상시키는 동시에 축의 상하진동을 잡아주는 역할을 하는 그루브를 thrust 그루브라 한다. thrust 그루브의 형상은 spiral 형태의 그루브이다.

Thrust 그루브가 축방향의 베어링이라면 radial 그루브는 반경방향의 움직임을 잡아주는 베어링이다. 축이 회전하기 시작하면 동압 그루브 면을 따라 유체가 회전하게 되고 높은 압력이 그루브 센터 영역에 형성된다. Fig. 2는 radial 그루브에 의한 동압 형성의 기본 원리를 보여주고 있다.

Radial 그루브는 thrust 그루브에 비하여 강성 및 댐핑의 값이 축의 운동에 크게 영향을 미치며, 상부와 하부측 그루브 형상을 달리하여 최적화된 동적 거동을 발생시킬 수 있도록 해야 한다.

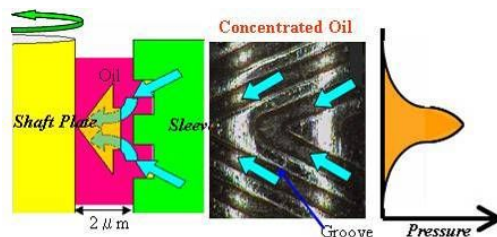


Fig. 2 Radial groove shape and pressure generating mechanism on sleeve

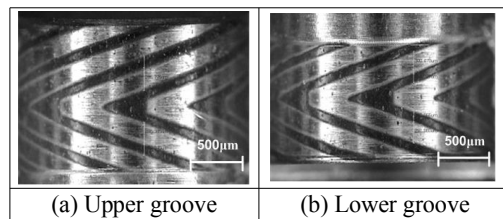


Fig. 3 Radial groove shape and specification on sleeve (number of grooves : 8ea, angle : 20°, depth : 15µm)

2. 계산 조건 및 계산 수행

3차원 해석은 유체 유동 해석용 FLUENT코드를 이용하였고, 유동 해석 모델은 Standard $k-\epsilon$ 모델을 적용하였다. 유체는 비압축성 유체로 고려하였다.

실제 베어링의 형상은 먼저, 축의 직경은 4mm, 축과 슬리브의 간격은 4 μ m, 그루브의 양쪽 끝단 사이의 길이는 2.2mm 수준이다. 그러나 계산을 위한 형상은 실제 형상과 축의 직경은 동일하게 하면서, 안정적인 계산 수행을 위하여 베어링의 높이는 1mm로, 직경은 4mm로 고정하고, 그루브의 기준 각도는 50°, 깊이는 0.05mm, 폭은 0.25mm, 개수는 8개로 결정하였다.

각도의 변화는 50°와 60°, 깊이 변화는 0.05mm와 0.025mm, 폭은 0.375mm, 0.25mm, 0.1mm로 하였다. 이러한 변화로부터 각각의 설계 인자들의 영향을 분석하였고, 이를 통해 최적의 조건을 도출하였다. 마지막으로 도출된 최적의 조건에 대한 계산을 수행하여 결과를 제시하였다. 계산시 축의 회전수는 5400rpm과 7200rpm 이었다.

3. 계산 결과

우선 Table 1에서와 같이, 동일한 형상으로 축과 슬리브에 그루브가 있는 경우를 비교하면 축 표면에 그루브가 있으면 정압의 최소값이 그루브가 시작되는 꼬리부분에서 급격하게 감소하고, 축 표면에서의 속도구배에 의한 전단력이 급격하게 증가함을 알 수 있다.

Table 1. Comparison between shaft and sleeve groove

In-Wall(Shaft)		Fine	Groove
Out-Wall(Sleeve)		Groove	Fine
그루브 기준 각도 50°, 깊이 0.05mm, 폭 0.25mm, 개수 8개			
Static Pressure [Pa]	min	-223.9	-2484.7
	max	233.0	573.1
dP_static		456.9	3057.8
Dynamic Pressure [Pa]	min	0.0	0.0
	max	513.7	600.3
Total Pressure [Pa]	min	-222.0	-1931.8
	max	672.0	1002.8
dP_total		894.0	2934.6
Vmax [m/s]	max	1.13	1.13
Wall Shear Stress [Pa]	max	84.1	244.7
	avg	46.5	50.7

5400rpm의 저속에서, 그루브 깊이가 낮아지면 Fig. 4와 같이, 정압 최소값이 증가하고 벽에서의 전단응력이 감소함을 알 수 있다.

저속에서, 그루브 각도가 증가하면 Fig. 5와 같이, 정압 특성은 기준 조건과 동등하고 벽에서의 전단응력이 다소 증가함을 알 수 있다.

저속에서, 그루브 폭이 증가하면 Fig. 6과 같이, 정압과 전단응력 특성이 최적점을 가지는 것으로 나타난다.

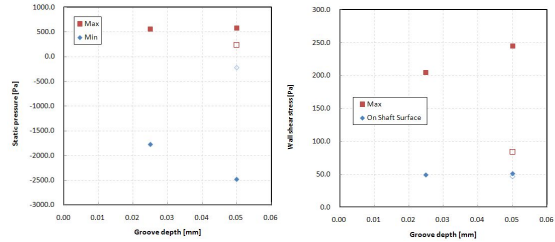


Fig. 4 The effect of groove depth

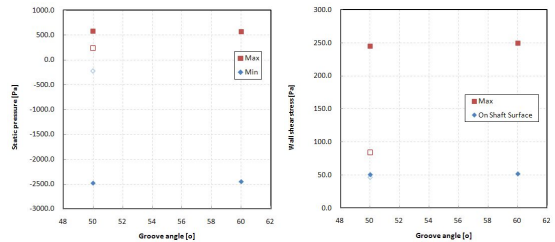


Fig. 5 The effect of groove angle

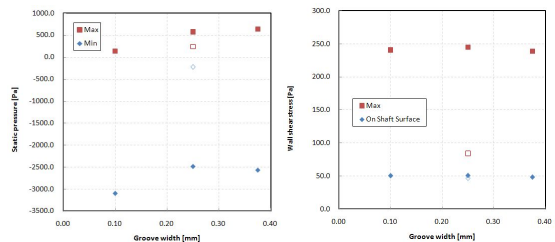


Fig. 6 The effect of groove width

4. 결론

유체 동압베어링의 radial 베어링의 설계인자별 유동특성을 3D로 계산하여 분석하였다. 설계는 그루브 폭은 작게, 각도는 낮게, 깊이는 낮게 하는 조건이 베어링 유효에 유리한 것으로 나타났다.

후기

본 연구는 2009년도 지식경제부 전략기술개발사업 "마이크로 금속소재 기능성 핵심요소부품 점진성형기술 개발"의 일환으로 연구비를 지원받아 수행되었음.

참고문헌

1. 임윤철, 신동우, "그루브형상을 고려한 빗살무늬저널베어링의 유한요소해석," 한국윤활학회 학술대회, 제29권, 162~169, 1999
2. Asada, A., Saito, H., Asaida, Y., Itoh, K., "Design of hydrodynamic bearings for high-speed HDD," Microsystems Tech., 8, 220-226, 2002.