

컴퓨터 하드 디스크 드라이브용 유체 동압 코니컬 베어링의 동특성 해석

Dynamic Analysis of the Fluid Dynamic Bearings with Conical Surfaces in a Computer Hard Disk Drive

김학운* · 장건희†

Hakwoon Kim and Gunhee Jang

1. 서론

유체 동압 베어링은 회전체 지지구조로서 대부분의 컴퓨터 하드 디스크 드라이브(hard disk drive, HDD)에 사용되고 있으며, HDD의 성능을 결정하는 중요한 기계구조이다. 기존에는 반경방향 하중을 지지하는 저널 베어링과 축방향 하중을 지지하는 스톱스트 베어링이 연성된 구조의 유체 동압 베어링을 사용하였지만, 최근에는 베어링 단품만으로도 다축방향의 하중을 동시에 지지할 수 있는 코니컬 베어링이 적용되기 시작하였다. Fig.1은 코니컬 베어링이 적용된 HDD의 구조를 나타낸다. 코니컬 베어링의 성능을 결정하는 주요 설계변수는 베어링 면의 기울기이기 때문에 그에 따른 유체 동압 베어링의 동특성 해석 및 평가가 필요하다. 하지만 지금까지의 연구는 코니컬 베어링의 동특성을 예측하기 위한 해석 이론 개발 수준에 머물러 있는 실정이었다.

본 연구에서는 코니컬 베어링 면의 기울기와 회전체의 구동 위치 및 자세에 대한 동특성 해석을 수행하였다. 이를 통하여 코니컬 베어링의 성능을 최적화 할 수 있는 베어링 면의 기울기가 존재함을 확인하였고, 단축방향 운동에 대한 다축방향의 동특성을 평가하였다.

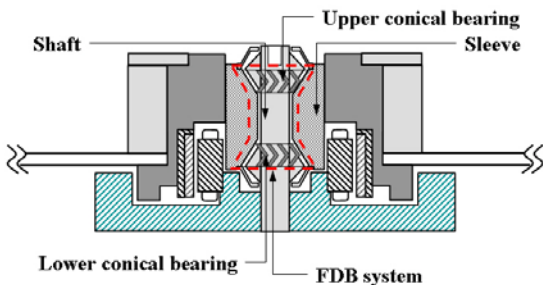


Fig. 1 Structure of a HDD spindle system with coupled journal and conical bearing

2. 동특성 해석 방법

유체 동압 베어링의 지배 방정식인 레이놀즈 방정식은 베어링의 표면과 유막두께 방향으로 정의된 일 반화된 좌표계로부터 유도할 수 있다. 강성 및 감쇠 계수를 계산하기 위해서는 섭동 방정식을 유도해야 하며, 준평형 상태의 유체 동압 베어링에 미소 섭동을 가하였을 때 발생하는 유막두께 및 압력 변화를 선형화 하여 레이놀즈 방정식에 대입함으로써 11개의 섭동 방정식을 유도할 수 있다. 코니컬 베어링의 강성 및 감쇠계수는 유한요소 해석 기법을 통해 레이놀즈 방정식과 섭동 방정식을 계산하여 구할 수 있다. 공동 현상에 대한 내부 경계조건으로는 물리적 타당성을 만족시킬 수 있는 레이놀즈 경계조건을 사용하였다.⁽¹⁻²⁾

3. 해석 결과

본 연구에서는 두 개의 코니컬 베어링이 상부와 하부에 대칭인 구조의 유체 동압 베어링 모델을 사용하였다. 회전축과 베어링 면 사이의 각도인 ψ 의 변화에 따른 유체 동압 베어링의 동특성을 살펴보기 위하여 ψ 의 크기를 15° 에서 75° 까지 15° 간격으로 변화시켜가며 해석을 수행하였다. 이때 각 해석의 일관성을 유지하기 위하여 상부 및 하부 코니컬 베

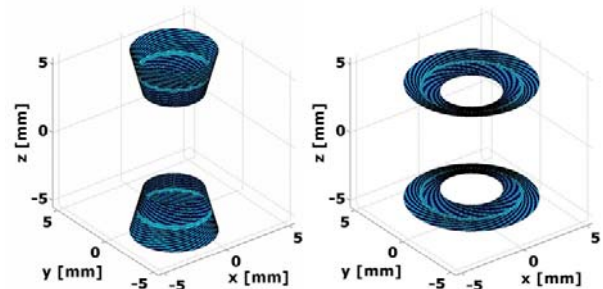
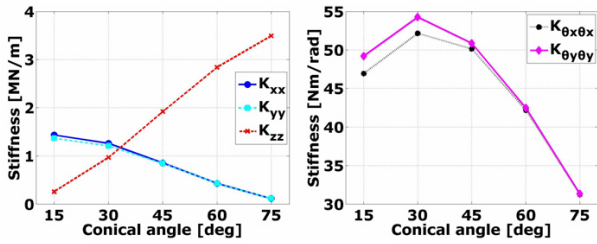
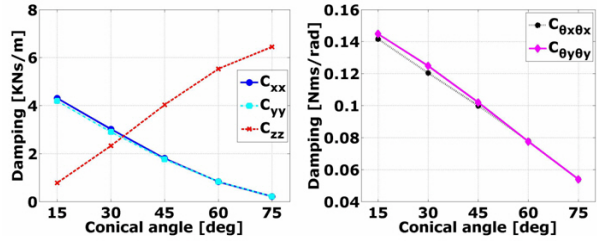


Fig. 2 Finite element models of fluid dynamic bearing in a HDD

† 교신저자; 한양대학교 기계공학부
E-mail : ghjang@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2299-5685, Fax : (02) 2292-3406
* 한양대학교 대학원 기계공학과



(a) Stiffness coefficients



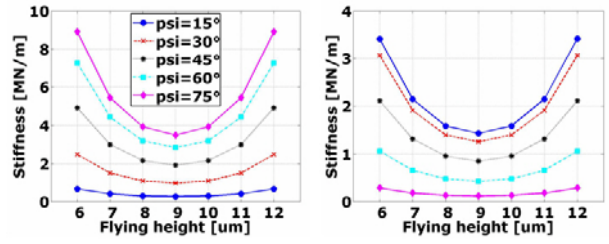
(b) Damping coefficients

Fig. 3 Analysis result of dynamic coefficients due to conical angle

어링의 면적을 각각 47.16 mm^2 로 고정하였다. Fig. 2 는 ψ 가 15° 인 경우와 75° 인 경우에 대한 유한 요소 모델이다.

Fig.3 은 ψ 의 변화에 따른 유체 동압 베어링의 동특성 해석 결과이다. 해석 조건으로는 회전속도 $15,000\text{rpm}$, 편심률 0.1 , 부상높이 $9 \mu\text{m}$ 를 적용하였다. 코니컬 베어링은 ψ 가 증가하면 축방향 동특성 계수는 증가하고 반경방향 동특성 계수는 감소하게 된다. 하지만 회전방향 강성 계수는 ψ 가 30° 일 경우 최대가 되는데, 이는 코니컬 베어링의 기하학적 구조로 설명할 수 있다. 유체 동압 베어링의 압력은 축의 편심과 틸팅 운동으로 야기되는 유로의 축소에 의한 쉐기 효과에 의해서 발생하는데, 코니컬 베어링은 틸팅 운동에 대하여 유막 두께 변화를 극대화할 수 있는 ψ 가 존재한다. 해석에 사용된 모델은 상부 코니컬 베어링 하단으로부터 틸팅 중심까지의 거리와 하단의 반경이 각각 3.598mm 와 2.017mm 이다. 따라서 틸팅 운동에 대한 코니컬 베어링의 유막두께 변화를 극대화 시킬 수 있는 ψ 는 기하학적 구조에 의하여 29.27° 로 결정되고, 회전 방향 강성 계수가 최대값을 갖게 된다.

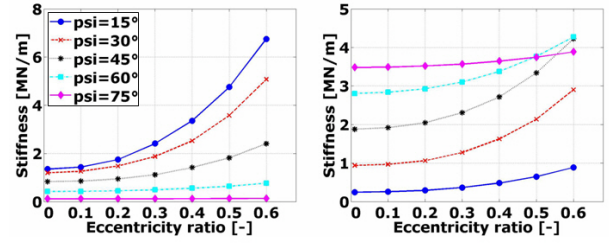
Fig.4 와 Fig.5 는 각각 부상높이와 편심률의 변화에 따른 반경방향 및 축방향 강성계수를 ψ 에 대하여 계산한 결과이다. ψ 가 크면 축방향 하중의 지지면적이 증가하여 K_{zz} 의 크기와 변화율이 증가하고, ψ 가 작으면 반경방향 하중의 지지면적이 증가하여 K_{xx} 의 크기와 변화율이 증가한다. 하지만 Fig.5(b)에서는 편심률 변화에 따른 K_{zz} 의 변화율이 ψ 가



(a) K_{zz}

(b) K_{xx}

Fig. 4 Analysis result of dynamic coefficients due to flying height



(a) K_{xx}

(b) K_{zz}

Fig. 5 Analysis result of dynamic coefficients due to eccentricity ratio

45° 일 때 최대가 된다. 이는 ψ 가 클 경우에는 편심을 변화에 따른 유막두께 변화율이 작아지기 때문에 K_{zz} 의 변화율이 감소하며, ψ 가 작을 경우에는 편심률 변화에 의한 유막두께 변화율이 크지만 축방향 하중의 지지면적이 작아지고 상하 대칭구조로 상쇄되기 때문에 K_{zz} 변화율이 감소하는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 코니컬 베어링의 주요 설계 변수인 베어링 면의 기울기에 대한 동특성을 해석하였고, 단축방향 운동에 대한 다축방향의 동특성을 평가하였다. 해석 결과를 통해 유체 동압 베어링 시스템의 기하학적 구조에 따라 코니컬 베어링의 성능을 최적화 시키는 베어링 면의 기울기가 존재함을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) 김학운, 장건희, 2008, “컴퓨터 하드 디스크 드라이브 스피들 모터에 사용되는 곡면 유체 동압 베어링 해석” KSNVE, 2008 년 추계학술대회 논문집, pp. 401~406.
- (2) 김학운, 이지훈, 장건희, 2009, “컴퓨터 하드 디스크 드라이브 스피들 모터에 사용되는 곡면 유체 동압 베어링의 동특성 해석” KSNVE, 2009 년 춘계학술대회 논문집, pp. 216~217.