

# 베어링 위치에 따른 FDB 스피들 모터의 락킹모드

## Effect of the bearing location on rocking vibration of FDB spindle motor

최종학\* · 박재성\*\* 박노철\* · 박영필\* · 박경수†

Jonghak Choi, Jaesung Park, No-Cheol Park, Young-Pil Park and Kyung-Su Park

### 1. 서 론

최근 널리 사용되고 있는 FDB(Fluid Dynamic Bearing) 모터는 기존의 볼-베어링 스피들 모터가 갖는 회전에 의해 베어링과 샤프트의 접촉으로 인한 소음과 진동 문제, 베어링의 마모로 인한 모터의 수명 문제, 비반복적인 오차 등의 문제를 극복한 시스템이다. FDB 스피들 모터의 첫 번째 락킹모드는 HDD의 성능과 PES(Position Error Signal)에 많은 영향을 끼치기 때문에, 이를 고려하는 것은 매우 중요하다. HDD 제조 업체들은 통상적으로 원가 절감과, 제품의 표준화를 위하여 디스크의 개수를 고려하지 않은 채 FDB 스피들 모터를 사용하고 있다. 따라서 이러한 FDB 스피들 모터의 동특성은 디스크의 수에 따른 변화를 고려하지 않았으며, 작동상태에서의 진동 또한 고려되지 않았다.

이에 본 연구에서는 기존에 고려하지 않은 디스크의 수와 베어링의 위치로 인해 FDB 스피들 모터 시스템의 락킹모드가 시스템 전체에 미치는 영향을 살펴보고, 실험과 유한요소해석을 이용하여 HDD의 성능에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 한다. 또한 첫 번째 락킹모드의 크기를 감소시킬 수 있는 스피들 모터 시스템의 최적화된 디자인을 찾고자 한다.

### 2. FDB 스피들 모터의 베어링 해석

FDB 스피들 모터 시스템은 상하부의 저널베어링과 트러스트베어링으로 구성되어 있다. 저널베어링은 스피들 모터의 원주 방향 하중을 지지하고, 트러스트베어링은 축 방향의 하중을 지지한다. FDB 모터 시스템이 회전을 시작할 때, 시스템은 회전부분

† 교신저자; 연세대학교 기계공학과

E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr

Tel : 02-2123-4677, Fax : 02-365-8460

\* 연세대학교 기계공학과

\*\* 두산인프라코어

의 질량이 트러스트베어링에 생기는 지지압력과 같아질 때까지 상승하게 되고, 이러한 상태에서 시스템은 윙클 동작과 틸팅 동작을 갖게 된다. 특히 FDB 스피들 모터의 락킹모드의 스피들 시스템 전체에 미치는 영향을 확인하기 위해서 그림 1과 같이 스피들 모터 시스템의 유한요소모델을 구축하였다

### 3. 유한요소해석

구축된 유한요소모델을 바탕으로 주파수응답 해석을 진행하였다. 그림 2와 같이 디스크의 수에 따라 락킹모드의 주파수가 다르게 나온 것을 볼 수 있다. 이는 디스크 수에 따른 FDB 스피들 모터의 무게중심의 변화가 락킹모드의 주파수를 변화시킨

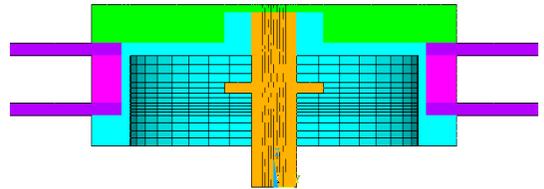


Figure 1 FDB 스피들 모터의 유한요소모델

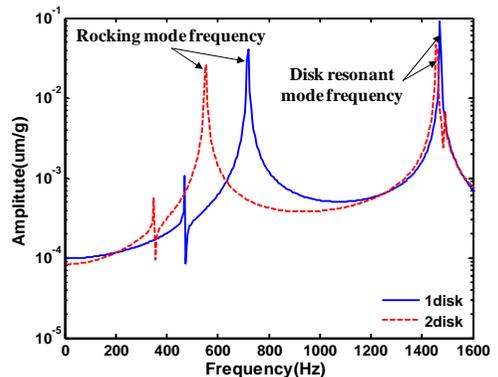


Figure 2 유한요소해석을 통한 주파수응답

것이라고 할 수 있다. FDB 스피들 모터의 동특성은 유체베어링의 강성, 저널베어링의 위치, 스피들 시스템의 질량, 그리고 스피들 시스템의 무게 중심 등의 설계변수에 의해 영향을 받는다. 기존의 연구와는 달리, 본 연구에서는 상부 저널베어링과 기준면 사이의 거리, 하부 저널베어링과 기준면 두 가지 변수에 따른 영향을 살펴보고자 하였다. 하부베어링의 위치는 0.65 mm 에서 1.05 mm 까지, 상부 저널베어링의 위치는 3.1 mm 에서 3.5 mm 까지 0.2 mm 단위로 변화 시켜가며 총 9 가지의 경우에 대하여 구축한 유한요소모델을 바탕으로 해석을 진행하여 락킹모드의 크기를 구하였다. 그 결과는 Table 1 과 같다. Table 1 을 살펴보면, #6 에서 락킹모드에서의 변위가 가장 작게 나온 것을 볼 수 있다. 하지만 이 결과는 모터의 락킹모드의 변위에 따른 영향을 고려하지 않고, 모터의 휠모드에서의 변위만 고려하였기에 정확한 베어링 강성의 영향을 고려했다고 할 수 없다. 따라서 스피들 모터 시스템에서의 분석을 위하여, 저널베어링의 위치의 변화에 따른 락킹모드 크기의 변화를 식 (1)과 같이 계산하여 민감도를 구하고, 이를 이용하여 스피들 모터 시스템의 첫 번째 락킹모드의 크기를 최소화하기 위한 작업을 진행하였다.

**Table 1** 저널베어링 위치에 따른 락킹모드 크기

Case Number	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	Amplitude (um/g)	
			1 disk	2 disk
# 1	0.85	3.55	5.97	3.85
# 2	0.85	3.35	5.91	3.99
# 3	0.85	3.75	5.32	3.62
# 4	0.65	3.35	7.32	5.59
# 5	1.05	3.55	8.00	4.97
# 6	0.65	3.75	4.98	3.35
# 7	0.65	3.55	5.82	3.71
# 8	1.05	3.75	7.53	6.28
# 9	1.05	3.35	7.35	4.50

**Table 2** 최적화에 따른 락킹모드의 크기와 감소율

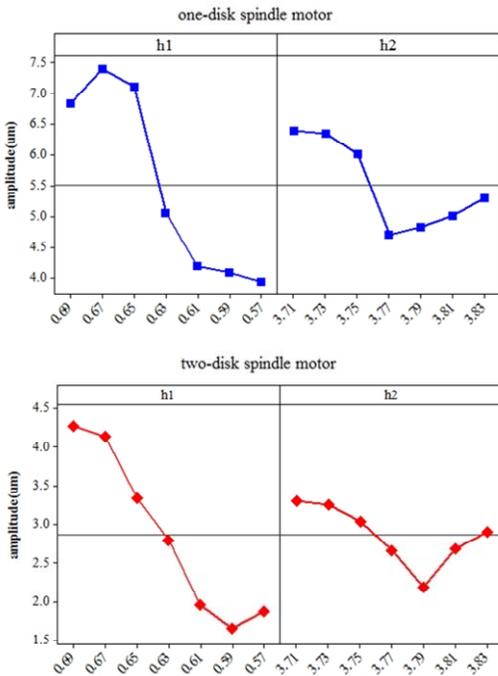
	One disk	Two disk
Original Model	5.97 um	3.55 um
Two disk Opt. Model	3.90 um	1.88 um
Decrement rate	34 %	47 %
One disk Opt. Model	3.67 um	2.23 um
Decrement rate	38 %	37 %
Common Opt. Model	3.76 um	1.95 um
Decrement rate	37 %	45 %

$$\frac{\partial \text{Amp}_{\text{onedisk}}}{\partial Z_{\text{journal-bearing}}} + \frac{\partial \text{Amp}_{\text{twodisk}}}{\partial Z_{\text{journal-bearing}}} = \min \quad (1)$$

그림 3 은 상하부 저널베어링의 위치를 나타내고 있다. 최적화 과정의 결과를 보았을 때, 하부 저널베어링에 의한 영향이 상부 저널베어링에 의한 영향보다 적은 것을 볼 수 있다. 이를 통하여 락킹모드의 크기를 최적화 할 수 있다. Table 2 에서 확인할 수 있듯이, 첫 번째 락킹모드의 변위는 디스크 한 장인 스피들 모터 시스템에서는 약 37%의 감소를, 디스크가 두 장인 스피들 모터 시스템에서는 약 45%의 감소하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 실험과 시뮬레이션을 통해, FDB 스피들 모터 시스템에서의 첫 번째 락킹모드를 감소시키는 것이다. 이를 위해 스피들 모터 시스템에 대하여 물리적 변수의 민감도를 계산하여 최적화 과정에 적용하여 락킹모드의 크기가 최적화된 베어링의 위치를 결정하였다.



**Figure 3** 베어링 위치에 따른 락킹모드 크기 변화