

플로팅 링 저널 베어링 정특성의 실험적 고찰 Static Properties of Floating Ring Journal Bearings

송진대† · 양보석*
Jin-Dae Song, Bo-Suk Yang

Key Words : Floating Ring Journal Bearing(플로팅 링 저널 베어링)

ABSTRACT

Many commercial high speed and lightly loaded rotating machineries incorporate floating ring bearings (FRBs) owing to their low cost and reduced power losses. Many researchers have developed various analytical models to predict the performance and the stability of those rotor-bearing systems with FRBs. However, most of the models failed to predict stability of the rotor-bearing systems with FRBs. FRBs comprise two fluid films in series and the ratio of floating ring speed to journal speed reflects the equilibrium state of the two fluid films. Therefore the speed ratio is one of the main concerns in the analysis of FRBs. This paper provides the experimental results of the speed ratio which enables one to verify of the analysis model for FRBs.

1. 서론

플로팅 링 베어링은 경하중 고속회전체에 주로 사용되는 저널베어링의 일종으로, 비교적 저렴한 생산원가로 고속회전에서도 높은 안정성을 제공하는 특징을 가지고 있다. 이러한 이유로 자동차용 및 선박용 과급기와 항공기용 터빈 등에 널리 채택되고 있다.

동 베어링은 그림 1 과 같이 플로팅 링에 의해 분리되는 두 개의 유막을 가지는 특징적인 구조를 갖고 있고, 특히 내측 유막의 해석에 여러 해석모델이 시도되었으나 현재까지 그 구조적 특징으로 인해 어려움을 겪고 있다.

FRBs에 관한 연구는 Stodola에 의해 1920 년 처음으로 언급되었으며, Stodola는 항공기 엔진의 커넥팅 로드와 연결된 증기 터빈에 장착된 FRBs에 대한 연구를 수행하였다. Shaw와 Nussdorfer⁽¹⁾는 무한 폭 베어링 이론으로 FRBs에 대한 해석을 수행하였으며, Kettleborough⁽²⁾는 토크와 링 그리고 저널과 링의 회전 속도비에 대한 실험을 실시하였다. Trippet과 Li⁽³⁾는 해석적 방법의 결과와 실험치의 차이점에 대하여 연구를 수행하였고, Clarke⁽⁴⁾는 FRB의 안정성을 향상시키기 위하여 링 형상을 변화시켜서 연구를 수행하였고, 또 국내에서는 김정용⁽⁵⁾ 등에 의해 층류 및 난류상태의 플로팅 링의 정적 및 동특성 해석이 수행되었다. 특히 10000 rpm이하의 운전속도 영역에서 실험이 수행되었다.

본 논문에서는 실험적으로 고속에서의 플로팅 링의 정적특성을 확인하고, 해석모델의 검증의 기초데이터를 확보하고자 한다. 특히 플로팅 링의 회전속도는 내·외측 유막의 정적평형상태를 반영

하는 주요한 요소로 가장 중요한 검토사항이다.

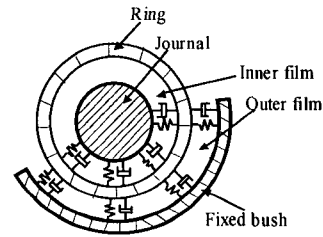


Fig 1. Floating ring journal bearing

2. 실험장치

실험장치는 Fig 2.에 나타내었다. 축의 회전은 30000 rpm 까지 운전이 가능한 BLDC 모터로 구동된다. 플로팅 링이 설치되는 위치는 외팔보 타입으로 제작되었다. 축의 지지는 구름요소베어링으로 되어있다.



Fig. 2. Floating ring journal bearing test rig.

베어링 슬리브에 대한 축 및 베어링 슬리브에 대

한 플로팅 링의 상대변위를 계측하기 위해서 6 개의 비접촉식 변위계를 사용하였다. 축에 대한 베어링 슬리브의 상대변위는 그 중 4 개의 센서를 사용하여 베어링 슬리브의 구동측 및 피동측에서 수직 및 수평으로 각각 계측하였다. 링의 거동을 확인하기 위해 베어링 슬리브에 대한 링의 상대변위를 2 개의 변위계를 사용하여 수직 및 수평으로 계측하였다.

또한 링의 회전속도를 확인하기 위해서 축방향으로 하우징의 끝에서 Gap 센서를 사용하하여, 플로팅 링의 축방향 끝단에 깊이 0.5 mm, 직경 0.5 mm의 홈을 내어 계측하였다.

그 외에 입구 및 출구온도, 입구 압력을 계측하였다.

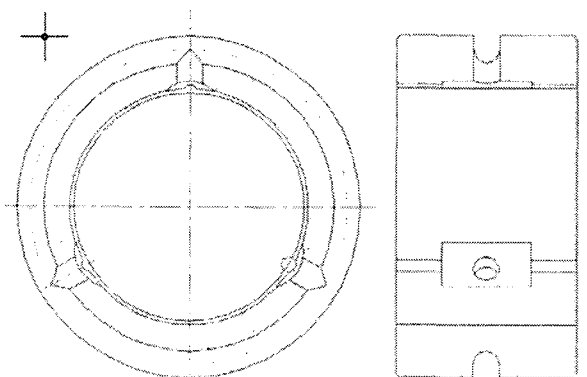
Fig. 3 은 저널속도에 대한 플로팅 링의 속도비를 나타내었다. 수행된 실험은 4 가지 경우에 대해서 수행되었다. 입구 압력조건이 다른 3 개의 실험과 플로팅 링 형상이 다른 하나의 실험을 수행하였다. 그 각각은 case 1 ~ case 4 까지로 표시하였다. Case 1 ~ case 3 의 실험에서는 Fig. 3 의 (1)에 나타낸 링을 사용하였으며, case 4 의 실험에는 Fig. 3 의 (2)에 나타낸 링을 사용하였다. 또한 모든 경우에 25 kg 의 수직방향 정하중을 가하였다. 각 실험의 특기사항을 아래에 나타내었다.

Case 1: 입구압력은 0.6~0.7 bar 로 유지하면서 실험을 수행.

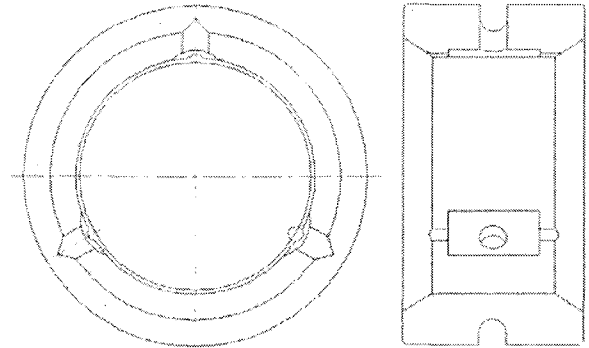
Case 2: 입구압력을 1.0 bar 로 유지하면서 수행.

Case 3: 입구압력을 1.4 bar 로 유지하면서 수행

Case 4: 링 형상을 일부 변경하여 실험을 수행



(1) ring for case 1, case 2 and case 3



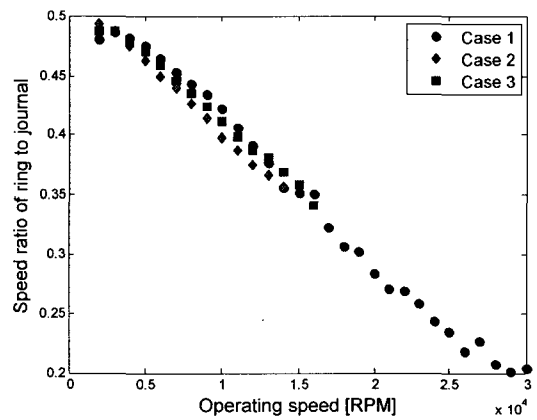
(2) ring for case 4

Fig. 3. Floating rings

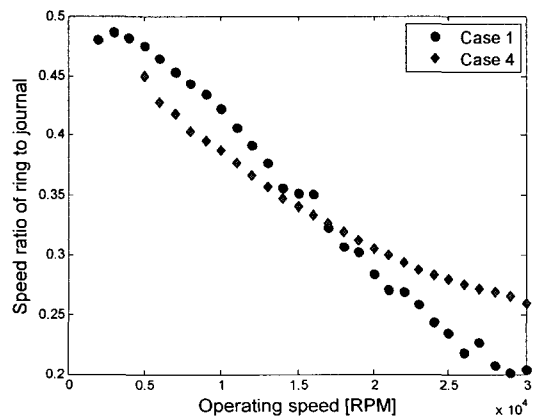
3. 실험결과 및 고찰

실험이 수행된 영역내에서 입구 압력변화에 따른 링속도비의 변화가 크게 관찰되지는 않는다.

Case 1, 2 그리고 3 의 실험은 14000 rpm 의 속도에



(1) Variation of speed ratio vs. inlet pressure



(2) Variation of speed ratio vs. ring shape

Fig. 4. Speed ratio of floating ring to journal

서는 최대한 입구온도를 25 °C로 유지시켰으며 15000 rpm 이후에는 45 °C로 유지하려 하였다. Case 1의 경우 30,000 rpm까지 증속하는 데에 문제가 없었으나, case 3의 경우는 15,000 rpm으로 운전하는 데에 과대한 진동이 관측되었다. 주파수 분석을 통해 확인하여 링 속도의 0.42 배 성분 임을 확인하였다. 외측유막에서 발생하는 Oil whip이

과대진동의 원인으로 추정된다. 다음으로는 case 1과 case 4의 링 속도비를 나타내었다. Case 4는 Fig 3의 (2)에 나타낸 링으로 실험이 수행되었다. Case 4에 사용된 링은 내측틈새의 끝단에서 유막형성이 되지 않는 형상을 하고 있다. Case 4의 경우는 case 3와 유사한 입구압력을 유지시켰으나 oil whip이 발생하지 않았다.

Table 1. Test parameters for case 1

No.	Speed		Temperature		Pressure
	Journal	Ring	Inlet	Outlet	Inlet
	[RPM]	[RPM]	[° C]	[° C]	[bar]
1	2000	961	25.0	25.5	0.60
2	3000	1459	24.5	25.0	0.60
3	4000	1929	24.5	27.0	0.60
4	5000	2377	24.5	27.5	0.60
5	6000	2787	24.5	27.5	0.65
6	7000	3172	25.5	28.5	0.60
7	8000	3550	26.0	30.0	0.60
8	9000	3910	26.5	38.0	0.60
9	10000	4225	25.0	39.0	0.60
10	11000	4469	24.5	38.0	0.60
11	12000	4702	25.0	43.0	0.60
12	13000	4894	25.0	45.0	0.60
13	14000	4981	25.0	47.0	0.60
14	15000	5266	45.0	59.5	0.70
15	16000	5609	46.0	60.5	0.70
16	17000	5487	45.0	61.0	0.70
17	18000	5519	44.0	61.0	0.70
18	19000	5739	44.5	62.0	0.70
19	20000	5681	45.0	62.5	0.70
20	21000	5678	45.0	63.0	0.70
21	22000	5916	45.5	65.5	0.70
22	23000	5948	44.5	64.5	0.70
23	24000	5848	43.0	64.5	0.70
24	25000	5865	44.0	66.0	0.70
25	26000	5671	44.0	67.0	0.70
26	27000	6118	45.0	68.0	0.70
27	28000	5810	45.0	69.0	0.70
28	29000	5829	46.0	70.0	0.70
29	30000	6129	46.0	71.0	0.70

Table 2. Test parameters for case 2

No.	Speed		Temperature		Pressure
	Journal	Ring	Inlet	Outlet	Inlet
	[RPM]	[RPM]	[° C]	[° C]	[bar]
1	2000	987	24.0	24.0	1.25
2	3000	1463	24.2	24.5	1.25
3	4000	1900	24.5	25.5	1.30
4	5000	2312	25.5	27.0	1.30
5	6000	2698	26.0	28.0	1.30
6	7000	3077	25.0	28.0	1.35
7	8000	3414	25.0	29.5	1.35
8	9000	3730	26.0	30.5	1.35
9	10000	3982	26.5	32.0	1.40
10	11000	4258	27.0	33.5	1.40
11	12000	4505	27.0	34.0	1.50
12	13000	4756	27.5	35.0	1.50
13	14000	4988	28.0	36.5	1.50

Table 3. Test parameters for case 3

No.	Speed		Temperature		Pressure
	Journal	Ring	Inlet	Outlet	Inlet
	[RPM]	[RPM]	[° C]	[° C]	[bar]
1	2000	975	24.0	24.5	1.00
2	3000	1462	24.0	24.5	1.00
3	4000	1911	24.0	26.0	1.00
4	5000	2354	24.5	26.5	1.00
5	6000	2757	25.5	28.0	1.00
6	7000	3122	25.5	29.0	1.00
7	8000	3485	26.0	30.0	1.00
8	9000	3820	24.5	30.5	1.00
9	10000	4116	24.5	32.0	1.00
10	11000	4389	25.0	32.0	1.00
11	12000	4652	25.5	34.0	1.00
12	13000	4952	26.0	36.0	1.00
13	14000	5161	26.5	38.0	1.00
14	15000	5381	45.5	52.0	1.00
15	16000	5455	44.0	53.5	0.90

Table 4. Test parameters for case 4

No.	Speed		Temperature		Pressure
	Journal	Ring	Inlet	Outlet	Inlet
	[RPM]	[RPM]	[° C]	[° C]	[bar]
1	5000	2250	26.0	29.4	1.0
2	6000	2565	28.0	30.0	1.0
3	7000	2925	30.0	34.0	1.0
4	8000	3225	31.0	35.0	1.0
5	9000	3555	33.0	36.0	1.0
6	10000	2870	35.0	40.0	1.0
7	11000	4140	36.0	42.0	1.0
8	12000	4395	38.0	44.0	1.0
9	13000	4635	41.0	47.0	1.0
10	14000	4860	42.2	49.0	1.0
11	15000	5100	42.5	50.0	1.0
12	16000	5325	45.0	54.0	1.1
13	17000	5535	45.2	54.0	1.1
14	18000	5745	45.0	54.0	1.1
15	19000	5925	45.0	56.8	1.1
16	20000	6090	45.0	57.0	1.1
17	21000	6228	45.7	58.8	1.1
18	22000	6450	45.0	58.0	1.1
19	23000	6600	45.0	61.0	1.1
20	24000	6798	45.0	61.0	1.1
21	25000	6990	45.0	61.0	1.2
22	26000	7158	44.0	62.0	1.2
23	27000	7320	44.0	64.0	1.2
24	28000	7518	45.0	65.0	1.2
25	29000	7698	42.0	65.0	1.3
26	30000	7738	45.0	69.0	1.3

4. 결 론

플로팅 링 베어링의 정특성으로 플로팅 링의 저널속도에 대한 속도비를 실험적으로 측정하였다. 특히 30,000 rpm 까지의 고속에서의 플로팅 링의 속도비를 실험적으로 확보하여 이론연구의 검증데이터로 활용할 수 있는 기초데이터를 제공하였다. 또한 외측유막에서 발생하는 oil whip 현상을 실험적으로 확인하였다.

참고문헌

- (1) Shaw, M. C. and Nussdorfer, T. J., 1947, An analysis of the full floating journal bearing, NACA report 866, pp. 95~107
- (2) Kettleborough, C. F., 1955, Frictional experiments on lightly loaded fully floating journal bearings, Aust. J. Appl. Sci., pp. 211~220
- (3) Trippett, R. J., and Li, D. F., 1984, High-speed floating ring bearing test and analysis, ASLE Trans., 27, No. 1, pp. 73~81
- (4) Clarke, D.M., Fall, C., Hayden, G.N., and Wilkinson, T.S., 1987, An analysis of the steady state performance of the cylindrical spherical floating ring bearing, ASME J. of Tri., Vol. 109, pp. 704~708
- (5) 김경웅 등, 1993, "프로팅 링 저널베어링에 대한 연구", 한국과학재단 연구보고서