

유동-구조 연성해석을 이용한 저널 틸팅 패드 베어링의 변위예측

Displacement Prediction of Journal Tilting Pad Bearing Using the Fluid-Structure Coupled-Field Analysis

*김세훈¹, #박영철², 강정호², 공형걸¹, 조영직¹

*S. H. Kim¹, #Y. C. Park (parkyc67@dau.ac.kr)², J. H. Kang², H. G. Kong¹, Y. J. Cho¹
¹동아대학교 대학원 기계공학과, ²동아대학교 기계공학과

Key words : Spragging, Fluttering, Tilting pad bearing, Pivot, Coupled-Field Analysis

1. 서론

대부분의 산업중장비기기에서는 고하중 수용능력, 대형 고속 운전가능, 고충격 흡수력 및 장수명등의 장점으로 인해 fluid film bearing을 주로 사용하고 있다. 이 베어링은 강재기층에 화이트 메탈(white Metal) 또는 동(bronzen)을 lining한 이중재질의 사용이 보편화되어 있고 고속운전 및 충격흡수능력이 뛰어나 축의 손상을 방지하기 용이하나 열에 취약하고 축의 편심회전에 따른 편심회전과 자력진동(self-excited vibration)등에 의한 표면 손상이 쉽게 발생한다. 이러한 문제점을 보완하고 초고속회전에 적용하기위해 축과 베어링 하우징 사이에 자동조심역활을 수행하는 패드(pad)를 삽입하여 편심회전과 자력 진동의 영향을 최소화하고자하는 목적에서 tilting pad bearing이 개발되었다.

산업용 회전기기에서 핵심부품에서 발생하는 고장 중 베어링에서의 고장발생 빈도가 약 15%~24%에 달하고 있다. 따라서 베어링의 주기적인 진단과 수리 및 교체뿐만 아니라 장비의 운행중지에 따른 막대한 시간적 손실이 발생하고 있다. 베어링 손상의 유형중 상당부분이 조립 시 축정렬과 운행 중 마찰, 마모 및 윤활상태와 관계한 것인 반면 진동 및 스프레깅(spragging)에 의한 손상은 베어링의 설계단계에서 운행조건에 대한 최적화 설계가 반영되지 못한 결과에 기인하는 것으로 최적화 설계기법의 개발로서 그 손상 발생 비율을 줄일 수 있다. 스프레깅이란 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 운전 중 발생 하는 축진동으로 인해 상부 패드와 로터가 상호 충돌하여 상부패드의 진동 현상이라 정의 되는 플러터링(fluttering)이 발생하여¹ 틸팅 패드 모서리가 회전 중에 축에 끼여 축 및 베어링에 손상을 유발하는 현상이다. 이 스프레깅 현상이 상부패드에 집중해서 발생하는 이유는 하부패드의 경우 축의 자중에 의해 압력을 받지만 상부패드는 무부하 패드(unload pad)가 되어 정상 평형 상태를 유지하지 못하므로써 발생한다. Zeidan과 Paquett는 스프레깅의 근본원인을 규명하였고 이를 방지하기 위한 방안으로서 예압(preload) 적용, 상부 패드 원호각 변경 그리고 패드 선단부 댐퍼 설치등을 제시 하였다.²

Adams와 Payandeh는 이론해석을 통하여 상부패드가 대부분 고정형 저널베어링에서 로터 진동에 의해 야기되는 자력진동의 경향을 보이고, 이를 방지할 수 있는 여러 가지 설계변수로서 스프레깅 릴리프(Spragging relief)의 각도 및 깊이를 조정, 그리고 피벗(pivot)의 위치 조정등을 제시 하였다.³

본 연구에서는 상부 패드 원호각이나 피벗의 위치등을 변경하여 스프레깅이 최소로 발생하는 베어링을 유동해석을 통한 정확한 동압을 계산하고 구해진 동압을 통한 결과를 바탕으로 구조해석을 수행하여 베어링의 진폭을 정확히 계산하고 실험을 통해 해석을 정확성을 검증하였다.

2. 베어링 유동-구조 연성해석

2-1 해석모델

패드에 발생하는 변위를 예측하기 위해서는 우선 각각패드에 발생하는 압력을 구해야 한다. 이 압력은 정적압력이 아니라 축의 회전력에 의해 동적압력이 발생한다. 이런 동적압력을 구하기 위해서 유동해석 프로그램 CFX를 이용하여 유동해석을 수행 하였다. 유동해석을 위한 베어링 초기 모델은 3D전용

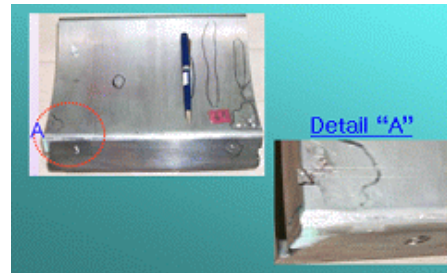


Fig.1 Spragging failure

모델링 프로그램인 CATIA를 사용 하였다. 유동해석을 수행하기 위해서 범용 CFD 해석 프로그램인 CFX 10.0을 이용 하였으며, 사용 요소는 tetrahedron과 prism요소를 사용 하였다.

내부 유체는 비압축성 유체인 상온의 오일을 사용 하였으며 입구조건으로 유량 50 l/m이고 주위 압력은 대기압, 출구압력은 0으로 설정, 패드 및 베어링 하우징은 마찰을 고려한 관벽 경계조건을 적용 하였으며 회전수는 3600RPM적용 하였다.

또 베어링 하우징 내에서 레이놀드(Reynolds)수가 4000을 넘는 난류거동을 하므로 난류유동에 대한 K-ε 모델의 적용과 난류유선을 설정하여 해석을 수행 하였고, 난류 관유동에 대한 마찰계수는 레이놀드 수와 상대조도에 의존하나 해석에서는 실제로 설치 될 베어링과 하우징, 패드에 대하여 고려할 수 없기 때문에 매끈한 관이라 설정하고 해석을 수행하였다.

유동해석의 결과 각각의 패드에 받는 동압을 산출하였고 이결과를 바탕으로 구조해석을 수행하였다. 구조해석은 범용 유한요소해석 프로그램인 Ansys workbench를 이용 하였다.

Fig. 2에서 구조해석에서 유한요소 모델을 생성하여 하중조건과 구속 조건을 부여한 모습을 나타내고 있다. 구속조건은 피벗홀에 축 방향, 법선 방향은 구속을 주었고 법선방향의 자유도는 자유구속이며 하중조건은 유동해석결과를 적용 시켰다. 해석의 신뢰도를 위해 베어링 하우징과 축은 생략하고 해석을 수행 하였다.

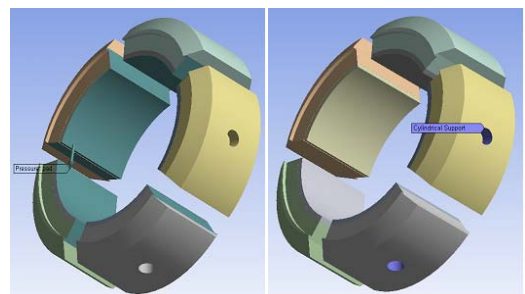


Fig. 2 Load and boundary condition of tilting pad bearing

2-2 해석 결과

Table 1 Design variable of journal bearing

Major design parameter	initial	modify
Number of pad	5	5
Radius of pivot hole	9.5	10
Location of of pivot hole	편심	중심
Arc curvature of pad Arc	62	60
Arc angle of pad	72	68

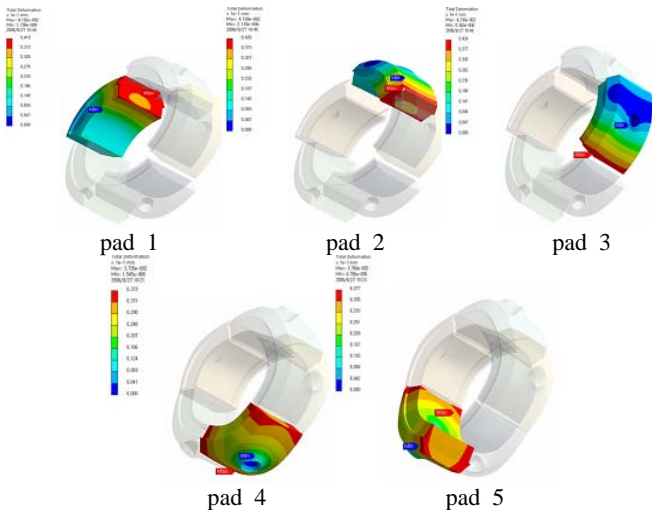


Fig. 3 The structural analysis result displacement of pad bearing

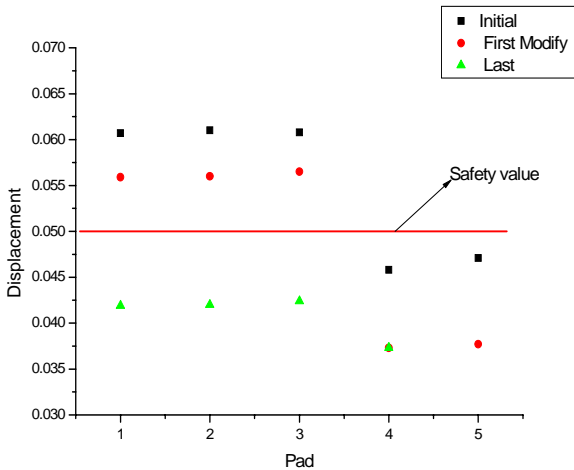


Fig. 4 displacement of pad according to design modify

유동-구조 연성해석의 결과에서 상부 패드의 변위는 0.06mm 이고 하부 패드의 변위는 0.047mm이다. 여러 논문에서 나타난 결과와 같이 상부 무부하패드에서의 변위가 안전 범위 0.05mm를 벗어나 스프레깅이 발생할 것으로 예상된다. 따라서 주요설계변수의 변경이 필요하다. 주요설계변수의 수정을 통해 많은 시행착오를 겪은 결과 안전범위에 만족하는 최종 패드형상을 Table. 1에서 나타내었고 Fig. 4에 그 해석 결과를 나타내었다. Fig. 4에서 X축 패드 1,2,3은 상부 패드를 나타내고 4,5는 하부 패드를 의미한다.

3. 실험 및 요약

시험은 가능한 수학적 모델을 향상시키는 기능적 상호관계에 관한 데이터를 획득해야하고 실제 장비와 같은 구조에서 작동되는 메탈 베어링의 하중에 정확한 예측이나 측정이 불가능하다. 따라서 다음과 같은 개념을 전제로 내구성시험기의 구동 및 하중조건에 대해 해석하였다.

최대출력 토크를 기준으로 내구성 장비의 하중을 모델한다.

$$RPM_{max}=3000 \quad RPM_{idle}=500 \quad (1)$$

$$HP= Torque \times w \quad (2)$$

$$Torque=bearing \ power(2) \times radius \quad (3)$$

$$bearing \ power = \frac{HP}{w \times radius \times 2} \quad (4)$$

공회전에서 최대 속도까지의 도달시간을 약 십 여초 소요된다 고 가정하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\text{단위시간당 RPM변화율}=(RPM_{max}-RPM_{idle})/\text{소요시간} \quad (5)$$

위의 식을 바탕으로 Table. 2에서 내구성 시험 장비의 최소부하 설계 조건을 나타내었다.

Fig. 5는 시험 설비 사진이며 Fig. 6은 시험결과를 나타 낸 것이다. 그 결과 해석에 의한 결과와 거의 유사한 것으로 나타났으

며 시험결과도 안전범위 내에 있는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 축의 회전 속도가 저속 일 때 상부패드의 변위량이 크고 회전속도가 안정화 될수록 목표 안전변위 수렴한다. 따라서 베어링 구동 초기에 발생하는 패드의 마모나 변위를 최소화 하는 연구가 필요하다.

Table 2 Operation condition of the test

The maximum rotation speed of principal	Maximum load	The maximum use possible load	Load changing shift period
3,600	16KN	10KN	1s



Fig. 5 bearing test

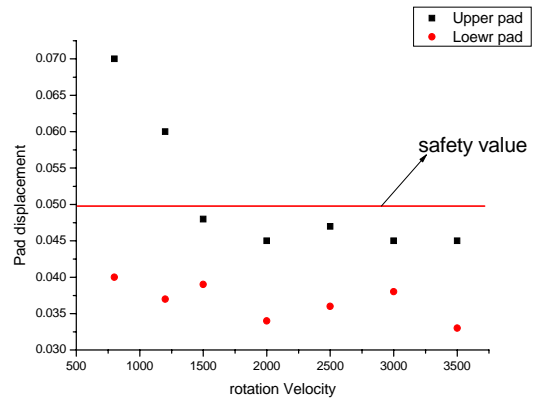


Fig. 6 displacement of pad according to test

4. 결론

본 연구에서는 베어링이 회전하면서 발생하는 동압력을 해석에 의해 구함으로써 실제 환경과 유사한 조건의 압력을 추출할 수 있었고 그 압력을 바탕으로 연성해석을 실시하여 실제조건과 유사한 해석을 수행할 수 있었고 해석을 바탕으로 베어링 형상을 수정하여 스프레깅 현상을 최소화 하는 최종 형상을 도출할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RT104-01-03)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 양승헌, 박철현, 김재실, 하현천 2004 “에압 변경을 통한 틸팅패드 저널베어링의 패드 Fluttering 방지에 관한 연구” 한국소음진동공학회 논문집 Vol. 14, No. 4, pp.344~351
2. Foud Y. Zeidan, Donald J. Paquette, 1994. "Application of High Speed and High Performance Fluid Film Bearings in Rotation Machinery." Proceedings of 23th Thubomachinery Symposium.
3. M. L Adams, S. Payandeh, 1982, "Self-excite Vibration of Statically Unloaded Pads in Tilting-Pad Journal Bearings." ASME/ASLE Joint Lubrication Conf., October 5-7
4. Hamit Saruhan, Keith E. Rouch, Carlo A. Roso, 2004 "Design Optimization of Tilting-Pad Journal Bearing Using a Genetic Algorithm" International Journal of Rotating Machinery.