

회전체 안정성을 고려한 틸팅 패드 베어링의 설계에 관한 연구

A study on the Design of Tilting Pad Bearing considering the rotor stability

김재실¹, 조현민¹, 최지람¹, 조수용²

*C. S Kim¹, #H. M. Jo¹(gerdae@nate.com), J. H Choi¹, S. Y. Jo²

¹ 창원대학교 기계공학과 ² 경상대학교 기계항공공학부

Key words : Tiltingpad bearing, Film temperature, ARMD

1. 서론

세계적으로 소형화, 고속화, 경량화 등을 통하여 에너지 손실을 최소화하여 고효율의 회전체 시스템을 개발하려는 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 회전체 시스템의 효율향상은 진동 및 소음이라는 새로운 에너지 손실의 요소를 발생시키는 경우가 많다. 따라서 회전체 시스템의 개발이나 설계를 위해서는 성능의 향상과 진동·소음 문제 사이의 개선이 필요하며, 발생할 수 있는 진동을 예측하여 진동을 억제하기 위한 대책을 수립하기 위한 기술이 필요하게 된다.

이에 따라 회전체 시스템의 설계단계에서는 진동을 예측하여 시뮬레이션을 통한 진동해석 및 평가기술과 이에 따른 설계변경과 진동품질을 검토하는 진동설계기술이 요구되고 있다. 또한 제작·설치 후에는 효율적인 운전과 보수유지를 위한 상태감시 및 진단기술, 정비기술과 발생하는 문제들에 대한 대책기술이 점점 요구되고 있다.

최근 컴퓨터의 발전은 진동해석기술과 해석 소프트웨어의 발전으로 이어졌다. 그 결과 개발된 소프트웨어를 이용하여 사용하기 쉽고 편리하게 진동의 예측 및 고유진동수와 모드해석, 안정성해석, 응답해석 등이 이루어지고 있다. 소프트웨어를 통해 회전체 모델링에 유한요소법이나 전달행렬법이 널리 이용됨으로써 여러 문제들에 대한 답을 보다 쉽게 도출할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 RBTS에서 개발되어진 회전체 기계의 동역학적 해석을 주목적으로 하는 해석 소프트웨어인 ARMD를 사용하여 회전체 안정성을 고려한 틸팅 패드 베어링의 설계를 실시 하고자 한다. ARMD의 시뮬레이션 툴을 사용하여 71000RPM급의 회전속도에서의 주축의 고유진동수 영역에 대한 베어링의 강성을 선택한 후 강성과 동작온도 85℃를 만족하는 베어링을 설계하여 회전체에 대한 안정성 해석을 실시한다.

2. 회전체의 고유진동수 해석

베어링을 설계하기에 앞서 베어링의 강성영역을 결정하기 위해 주축의 고유진동수의 해석을 실시한다. 고유진동수에 대한 해석은 ARMD의 Rotor Dynamics 모듈상의 Critical Speed Map 해석을 통해 실시한다. Fig. 1은 Critical Speed Map 해석을 위해 임펠러 부분을 단순화하여 주축을 모델링한 모습을 나타낸다. 모델링이 완료되면 베어링의 위치를 선정하고 주축의 회전속도를 영역을 정의하여 Critical Speed Map 해석을 실시한다. Fig. 2는 Critical Speed Map 해석을 통해 얻은 베어링 강성에 대한 주축의 고유진동수를 나타낸다. 해석을 통해 주축의 주회전속도인 71000 ± 10000 RPM의 범위 내에 공진이 발생하지 않기 위한 베어링의 강성은 200*10⁶ N/m² 보다 커야 함을 알 수 있다.

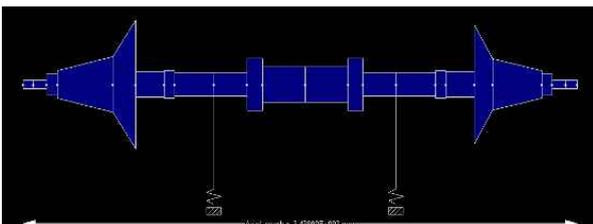


Fig. 1 Modeling of Shaft

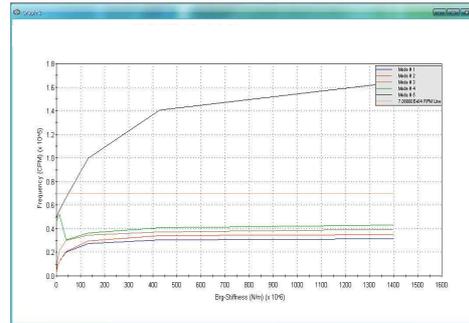


Fig. 2 Critical Speed Map of Shaft

3. 베어링의 설계

앞서 주축의 고유진동수 해석을 통해 선정된 베어링 강성의 범위를 만족하는 베어링의 설계변수를 선정한다. 베어링의 조건들(Basic Geometry)을 입력하여 모델링 한다. Fig. 3은 베어링의 조건인 Diameter, Length, Clearance, Pad angle, Pivot angle을 나타낸다. 입력 자료에 대한 모델링 형상은 Fig. 4와 같다. 모델링이 완료되면 Fig. 5와 같이 작동 유회율을 정의하고, 유회율의 공급온도와 유량을 정의한다. 유회율의 유량의 베어링의 동작온도인 유막온도에 영향을 미치는 설계변수이므로 유량에 따른 베어링 해석을 실행하여 동작온도를 만족하는 유회율 유량을 정의한다. 최종적으로 회전속도와 베어링의 예압, Pad의 수를 정의하여 해석을 실시한다. 이번 해석의 주된 목적은 71,000RPM급 회전속도에서 강성이 200*10⁶ N/m²보다 크며 유막온도 85℃이하의 베어링을 설계하는데 있다. Fig. 6은 최종해석모습을, Fig. 7은 해석결과의 3D View를 나타낸다. Table 1.은 유회율 유량과 Pad의 수에 따른 유막온도를 나타낸다. Table 2. 는 유회율 유량이 14 L/min일 때 Pad의 개수에 따른 유막온도와 편심율(ECC)을 나타낸다. 해석 결과를 바탕으로 유회율 유량 14 L/min, Pad의 수 5개인 베어링을 설계하였으며 이때의 강성은 1627*10⁶ N/m²로 앞선 해석 조건을 만족한다.

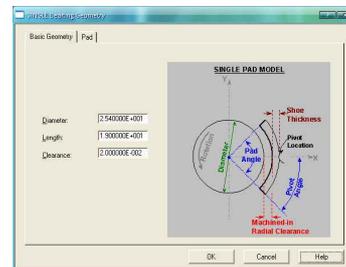


Fig. 3 Basic Geometry of Bearing

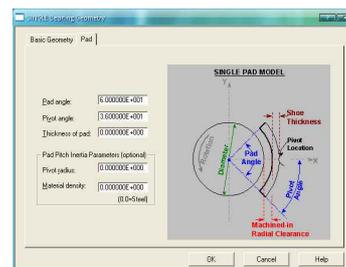


Fig. 4 Basic Geometry of Bearing

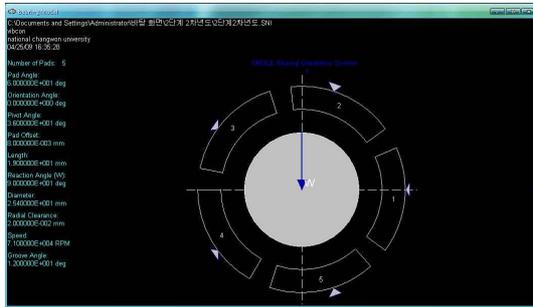


Fig. 4 Bearing Modeling

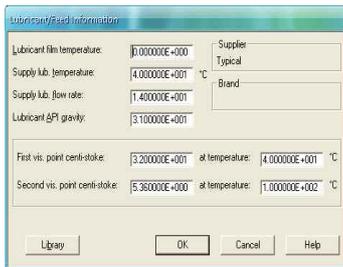


Fig. 5 Bearing Modeling

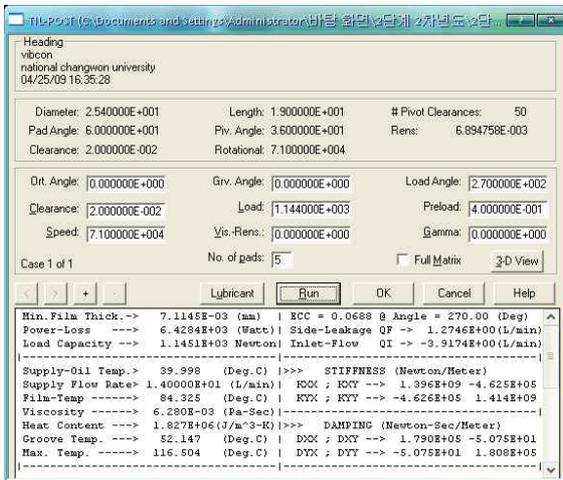


Fig. 6 Result of Bearing Analysis

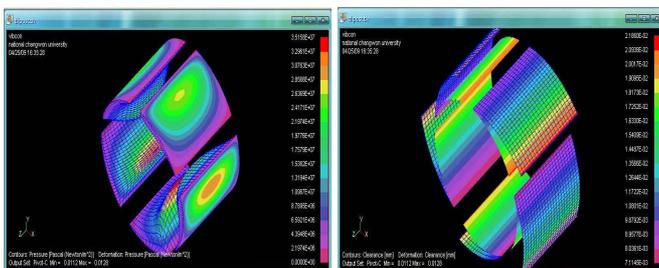


Fig. 7 Bearing 3D View

Table 1 Pad와 Rlow Rate에 따른 Flim-temp.

Flow Rate	Pad	3	4	5	6
8		84.6963	86.523	88.278	89.947
10		83.495	85.019	86.493	87.911
12		82.670	83.974	85.833	86.476
14		82.066	83.206	84.325	85.412

Table 2 Pad의 수에 따른 Flim-temp.와 ECC

Pad	3	4	5	6
Film-Temp	82.066	83.206	84.325	85.412
ECC	0.1088	0.0830	0.0688	0.0590

4.축에 대한 베어링의 안정성 해석

베어링의 댐핑 요소에 의한 고유진동수의 변화를 고려하여 최종적으로 베어링이 적용된 축의 안정성 해석을 실시하여 축의 안정성을 판단한다. 안정성 해석을 위해 먼저 축의 모델링에 설계된 베어링을 적용시킨 후 축의 해석의 대상이 되는 회전속도에 따른 베어링의 강성과 댐핑을 적용시킨다. 베어링의 설계변수들을 모두 적용시키면 Rotor Dynamics 모듈상의 Stability Map 해석을 통해 축의 안정성 해석을 실시한다. 해석 결과 축의 회전수에 대한 축의 주파수를 얻을 수 있다. 그래프 상에서 1X Speed의 선과 모드의 선이 교차하는 지점이 축의 각 모드별 고유진동수가 되는 것이다. Fig. 8은 Stability Map 해석을 통해 얻은 축의 회전수에 따른 고유진동수를 나타낸다. 그래프를 통해 각 모드의 고유진동수는 6,1000 ~ 8,1000 RPM사이가 아닌 2,5000 ~ 5,0000 RPM 사이에 존재하기 때문에 축의 안정성을 확보했다고 볼 수 있다.

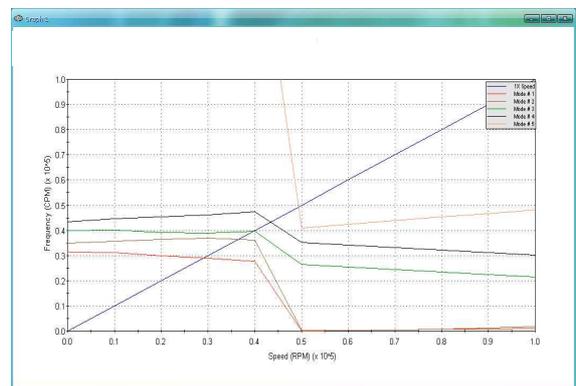


Fig. 8 Stability Map of Shaft

5. 결론

본 연구에서는 회전체 기계의 동역학적 해석 소프트웨어인 ARMD를 이용하여 해석한 주축의 고유진동수 영역에 대한 베어링의 설계조건으로 강성의 범위를 제공하였고, 이를 바탕으로 동작온도를 만족하는 틸팅 패드 베어링을 설계하였다. 또한 설계된 베어링을 축에 적용하여 실질적인 고유진동수를 해석하여 베어링에 대한 축의 안정성을 확보하였다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 양승헌, 나운학, 박희주, 김재실, "상부패드의 형상 변경을 통한 Anti-fluttering 틸팅패드 저널베어링 개발," 유체기계저널 제8권 제5호, 2005.
2. 양승헌, 박철현, 김재실, 하현천, "예압 변경을 통한 틸팅패드 저널베어링의 패드 Fluttering 방지에 관한 연구," 한국소음진동공학회논문집 제14권 제4호, 2004.
3. 양승헌, 박희주, 박철현, 김재실, "LOP형 6-패드 틸팅패드 저널베어링의 상부패드 Fluttering 특성 연구," 한국소음진동공학회논문집 제13권 제6호, 2003.
4. 양복석, "회전기계의 진동 해석, 평가, 설계 및 대책," 인터비전, pp222-318, 2003.