

고속 주축 베어링용 에어-오일 윤활 시스템의 실험적 성능 분석

Analysis of Experimental Performance of an Air-Oil Lubrication System for High-Speed Spindle Bearings

*문재흠¹, 김철오¹, 조대욱¹, #김석일²

*J. H. Moon¹, C. O. Kim¹, D. W. Cho¹, #S. I. Kim (sikim@kau.ac.kr)²

¹ 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 대학원, ² 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

Key words : Air-oil lubrication, High-speed spindle bearing, Response surface methodology

1. 서론

공작기계 주축계에 널리 적용되고 있는 구름 베어링에 대한 급유량의 변동은 베어링의 발열을 야기하고, 베어링의 발열은 주축계 뿐만 아니라 공작기계 전체의 열 변형의 원인이 된다. 에어-오일 윤활은 압축 공기가 흐르는 배관 내에 미량의 윤활유를 주기적으로 토출함으로써 윤활유를 유동 형태로 베어링에 공급하는 방법으로 안정적인 윤활 상태를 유지할 수 있는 특징을 가지고 있다. 그러나 에어-오일 윤활은 일정량의 윤활유를 주기적으로 토출하는 원리를 이용하기 때문에 필연적으로 급유량이 변동하게 된다. 본 연구에서는 에어-오일 윤활에서의 급유량의 변동이 고속 주축 베어링의 회전 성능을 제한한다는 점을 고려해서 에어-오일 윤활 특성의 핵심 영향 인자들이 급유량의 변동에 미치는 영향을 에어-오일 특성 평가 시스템과 실험 계획법을 이용해서 분석하였다.

2. 에어-오일 윤활의 성능 평가 시스템

에어-오일 윤활에서의 급유량의 변동은 베어링 내부의 유막 두께의 변동을 야기하고, 유막 두께의 변동은 마찰 저항 및 발열량의 변동을 초래하기 때문에 급유량의 변동은 에어-오일 윤활 특성을 평가하기 위한 핵심 척도로 생각할 수 있다. Fig. 1은 에어-오일 윤활에서의 급유량의 변동을 측정하기 위한 에어-오일 윤활 특성 평가 시스템을 보여주고 있다.

에어-오일 윤활 특성 평가 시스템은 기본적으로 에어-오일 윤활 공급 장치, 흡유지 이송 장치, 영상 처리 장치(라인 스캔 카메라와 영상 처리 소프트웨어)로 구성된다. 에어-오일 윤활 공급 장치는 흡유지로부터 일정 높이 위에 설치된 분사 노즐을 통해서 일정 시간마다 윤활유를 압축 공기와 함께 분사한다. 분사된 윤활유는 DC 서보 모터로 제어되는 흡유지 이송 장치에 의해서 일정 속도로 이송하는 흡유지에 급유량의 변동에 대응하는 기름 띠 형태의 흔적을 남기게 된다. 그리고 이러한 기름 띠의 형상을 영상 처리 장치의 라인 스캔 카메라로 촬영하고, 영상 처리 소

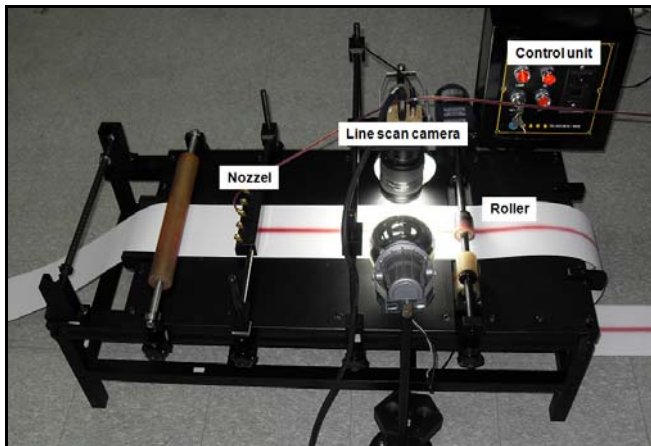


Fig. 1 Performance evaluation system for air-oil lubrication

프트웨어로 분석함으로써 급유량에 따라서 시시각각 변동되는 기름 띠의 폭을 측정하게 된다.

3. 실험 계획법을 이용한 에어-오일 윤활 시스템의 윤활 특성 실험 및 분석

본 연구에서는 영상 처리 장치에 의해서 계량화된 기름 띠의 폭을 이용하여 에어-오일 윤활 특성에 대한 중요한 척도인 급유량의 변동을 평가하였다. 그리고 4개의 실험 변수들인 윤활유의 1회 토출 유량, 윤활유의 토출 간격, 윤활유의 점도, 그리고 압축 공기의 유량의 크기를 정규화한 후, 정규화 실험 변수들을 이용해서 Box-Behnken 설계에 기반을 둔 반응 표면법을 토대로 기름 띠의 폭 변동비에 대한 예측 모델을 정립하였다.

Fig. 2는 기름 띠의 폭 변동비에 대한 측정값들과 예측값들을 각각 수평축 좌표값과 수직축 좌표값으로 활용해서 점들로 나타낸 것이다. 측정값과 예측값이 일치할수록 해당 점의 위치는 45°각도의 점선에 근접하게 되는데, 다양한 에어-오일 윤활 특성 실험 조건들로부터 얻은 점들이 45°각도의 점선에 근접하게 분포하고 있다는 사실로부터 기름 띠의 폭 변동비에 대한 예측 모델의 신뢰도는 매우 높다고 판단된다.

본 연구에서는 실험 변수들의 상호 작용이 기름 띠의 폭 변동비에 미치는 영향을 분석하기 위해서 4개의 실험 변수들 중에서 2개의 실험 변수들의 값을 고정시키고, 다른 2개의 실험 변수들의 값을 변화시켜가면서 예측 모델을 이용하여 기름 띠의 폭 변동비를 산정하였다.

Fig. 3은 윤활유의 1회 토출 유량과 토출 간격 사이의 상호 작용을 분석한 결과로써 윤활유의 토출 간격이 감소할수록, 그리고 윤활유의 1회 토출 유량이 증가할수록 기름 띠의 폭 변동비가 감소하는 경향을 보여주고 있다. Fig. 4는 윤활유의 1회 토출 유량과 점도 사이의 상호 작용을 분석한 결과로써 윤활유의 1회 토출 유량이 증가할수록, 그리고 윤활유의 점도가 감소할수록 기름 띠의 폭 변동비가 감소하는 경향을 보여주고 있다. Fig. 5는 윤활유의 1회 토출 유량과 압축 공기의 유량 사이의 상호 작용을 분석한

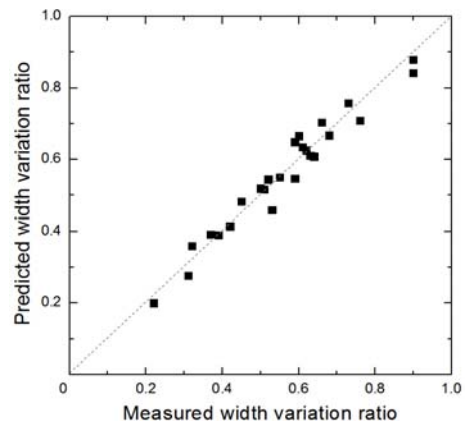


Fig. 2 Relation between measured and predicted width variation ratio

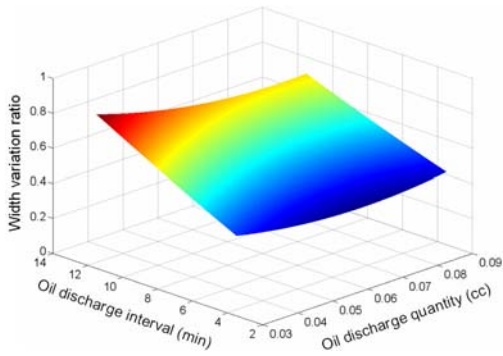


Fig. 3 3D response surface : interactive effect of oil discharge interval and oil discharge quantity

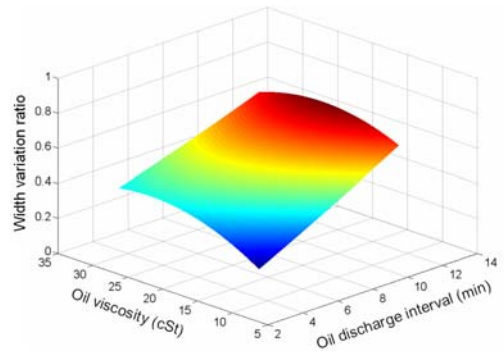


Fig. 6 3D response surface : interactive effect of oil viscosity and oil discharge interval

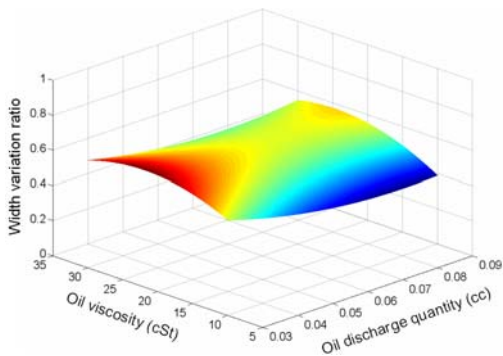


Fig. 4 3D response surface : interactive effect of oil viscosity and oil discharge quantity

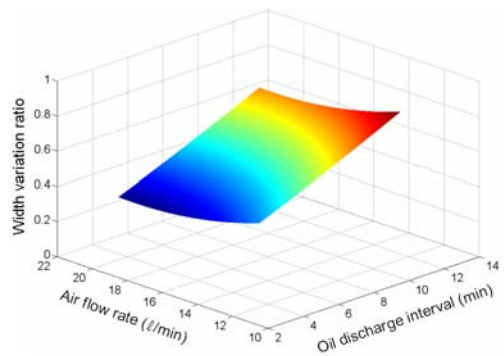


Fig. 7 3D response surface : interactive effect of air flow rate and oil discharge interval

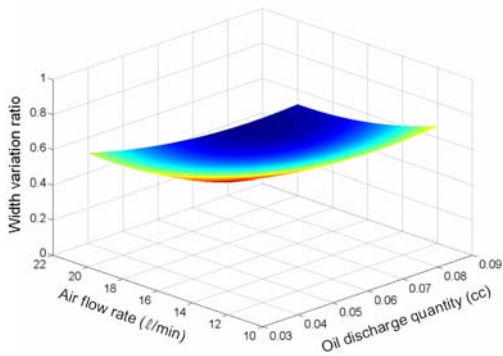


Fig. 5 3D response surface : interactive effect of air flow rate and oil discharge quantity

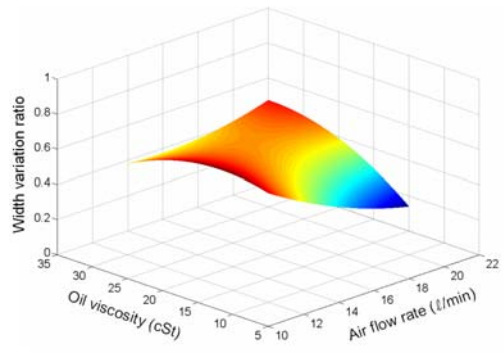


Fig. 8 3D response surface : interactive effect of oil viscosity and oil discharge interval

결과로써 윤활유의 1회 토출 유량과 윤활유의 점도가 모두 증가할수록 기름 띠의 폭 변동비가 감소하는 경향을 보여주고 있다. Fig. 6은 윤활유의 토출 간격과 점도 사이의 상호 작용을 분석한 결과로써 윤활유의 토출 간격과 윤활유의 점도가 모두 감소할수록 기름 띠의 폭 변동비도 감소하는 경향을 보여주고 있다. Fig. 7은 윤활유의 토출 간격과 압축 공기의 유량 사이의 상호 작용을 분석한 결과로써 윤활유의 토출 간격이 감소할수록, 그리고 압축 공기의 유량이 증가할수록 기름 띠의 폭 변동비가 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그리고 Fig. 8은 윤활유의 점도와 압축 공기의 유량 사이의 상호 작용을 분석한 결과로써 윤활유의 점도가 감소할수록, 그리고 압축 공기의 유량이 증가할수록 기름 띠의 폭 변동비가 감소하는 경향을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 에어-오일 윤활 공급 장치, 흡유지 이송 장치, 그리고 영상 처리 장치로 구성된 에어-오일 윤활 특성 평가 시스템을 이용하여 윤활유의 1회 토출 유량, 윤활유의 토출 간격, 윤활유의 점도, 그리고 압축 공기의 유량이 급유량의 변동과 관련된 기름 띠의 폭 변동비에 미치는 영향을 분석하고자 Box-Behnken 설계에 기반을 둔 반응 표

면법을 토대로 기름 띠의 폭 변동비에 대한 예측 모델을 정립하였고, 기름 띠의 폭 변동비에 대한 측정값과 예측값 사이의 오차가 매우 작다는 사실로 신뢰성을 확인하였다. 또한 예측 모델을 토대로 윤활유의 1회 토출 유량과 토출 간격, 윤활유의 1회 토출 유량과 점도, 윤활유의 1회 토출 유량과 압축 공기의 유량, 윤활유의 토출 간격과 점도, 윤활유의 토출 간격과 압축 공기의 유량, 그리고 윤활유의 점도와 압축 공기의 유량 사이의 상호 작용을 분석하였다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 주관하는 "에어-오일 윤활 공급 장치 설계 기술 개발" 과제의 지원에 의해서 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kim, S.I. et al., "Advanced Machine Tool Design Technology," Bando Press, 99-126, 1995.
2. Moon, J.H., Kim, C.O., Cho, D.W., and Kim, S.I., "Image Processing Based Performance Evaluation of an Air-Oil Lubrication System for High-Speed Spindle Bearings," Spring Conference of KSPE, 485-486, 2009.