

라인 스캔 카메라를 이용한 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템의 개발 Development of an Air-Oil Lubrication Characteristics Evaluation System Using a Line Scan Camera

*이원재¹, 문재흠¹, 김석일²

*W. J. Lee¹, J. H. Moon¹, S. I. Kim(sikim@kau.ac.kr)²

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

Key words : Air-oil lubrication, Lubrication characteristics evaluation, Line scan camera

1. 서론

구름 베어링을 채용한 공작기계 주축계에서는 베어링에서의 마찰, 마모, 발열 등이 최소화되도록 적정량의 윤활유를 공급함으로써 공작기계의 수명 연장 및 정밀도 향상을 도모하는 것이 매우 중요하다. 구름 베어링의 윤활 방법은 공작기계의 성능 향상과 함께 발전하고 있으며, 공작기계 주축계에는 그리스 윤활(Grease lubrication), 오일 미스트 윤활(Oil-mist lubrication), 에어 오일 윤활(Air-oil lubrication), 오일 제트 윤활(Oil-jet lubrication) 등이 적용되고 있다.

그리스 윤활은 사용 방법이 간편하지만, 베어링 부분을 밀폐해야 하고, 그리스 봉입량에 따라서 발열이 많아지는 문제가 있다. 분무 상태의 윤활유를 압축 공기와 함께 베어링으로 공급하는 오일 미스트 윤활은 급유량이 매우 작기 때문에 발열도 작지만, 오일 미스트에 의해서 환경이 오염된다는 점, 공급 유량이 온도에 의해서 크게 변동된다는 점, 사용할 수 있는 윤활유에 제약이 있다는 점 등과 같은 문제가 있다. 미량의 윤활유와 대량의 압축 공기를 혼합 밸브(Mixing valve)에서 혼합하여 연속적인 흐름 상태로 베어링에 공급하는 에어 오일 윤활은 안정적인 윤활 상태를 유지할 수 있고, 베어링의 운전 조건에 따라서 급유량을 제어할 수 있으며, 환경 오염 문제가 적다. 그리고 대량의 윤활유를 베어링에 직접 공급하는 오일 제트 윤활은 베어링의 냉각 효과가 크지만, 대규모의 급유 장치가 필요하고, 윤활유의 교반 저항에 따른 동력 손실이 매우 크다는 문제가 있다.

본 연구에서는 고속 주축계의 윤활 방법으로 가장 많이 채용하고 있는 에어 오일 윤활과 관련된 인자들이 윤활 특성에 미치는 영향을 체계적으로 평가하기 위한 목적으로 라인 스캔 카메라를 이용한 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템을 개발하였다.

2. 에어 오일 윤활의 개요 및 원리

2.1 에어 오일 윤활의 개요

에어 오일 윤활은 미량 급유에 의한 발열 억제와 대량의 압축 공기에 의한 냉각 효과를 동시에 추구하고, 친환경성을 지향하는 구름 베어링의 고속화에 적합한 윤활 방법이다. 즉 미량의 윤활유를 일정하게 베어링으로 공급하기 때문에 열 발생이 작아서 베어링의 온도가 안정적으로 유지되고, 그 결과로 베어링의 고속 회전이 가능하게 된다. 또한 윤활유를 분무 상태가 아니라 흐름 상태로 공급하기 때문에 환경 오염에 대한 문제가 작게 발생하며, 새로운 윤활유가 지속적으로 공급되기 때문에 윤활유의 열화 현상은 발생하지 않는다. 그리고 대량의 압축 공기가 항상 베어링으로 공급되기 때문에 주축 하우징 내부의 압력이 높게 유지되어서 먼지, 절삭유, 칩 등과 같은 이물질의 침입을 방지하는 효과도 있다.

2.2 에어 오일 윤활의 원리

일반적으로 에어 오일 윤활 장치(Air-oil lubrication unit)는 Fig. 1에 제시한 바와 같이 기름 탱크, 펌프, 필터, 압력계(Pressure gauge), 압력 스위치, 타이머, 솔레노이드 밸브

(Solenoid valve), 유량 조절 밸브(Oil regulating valve), 혼합 밸브 등으로 구성된다. 타이머에 설정된 시간마다 구동되는 기름 펌프에 의해서 가압된 일정량의 윤활유가 솔레노이드 밸브, 필터, 그리고 유량 조절 밸브를 거쳐서 혼합 밸브로 공급되며, 혼합 밸브를 통과하면서 압축 공기의 흐름 속도로 토출된다.

혼합 밸브에서 압축 공기와 간헐적으로 혼합되는 윤활유의 초기 상태는 덩어리의 형태이다. 그러나 나일론 튜브(Nylon tube)로 만든 배관 내를 고속으로 흐르는 압축 공기에 의해서 운반되는 과정에서 지속적으로 평균화가 이루어진다. 따라서 노즐로부터 압축 공기와 함께 베어링으로 분사되는 시점에서는 연속적인 흐름의 형태를 갖게 된다.

3. 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템

3.1 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템의 필요성

에어 오일 윤활은 윤활유 점도, 1회 토출 유량, 토출 간격, 압축 공기 유량, 배관 길이, 노즐 형상 등과 같은 여러 관련 인자들에 의해서 그 특성이 달라진다. 특히 에어 오일 윤활 장치에서는 미량의 윤활유가 간헐적으로 토출되기 때문에 노즐로부터 분사되는 베어링으로의 급유량은 주기적으로 시시각각 달라지게 된다. 베어링으로의 급유량이 변동하면 베어링 내부에서의 유막 두께가 변화하고, 결과적으로 베어링의 마찰 저항과 온도도 변화하게 된다. 따라서 에어 오일 윤활 특성을 평가하기 위해서는 베어링으로의 급유량이 얼마나 변동하는가를 파악하는 것이 중요하다.

3.2 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템의 구성

본 연구에서는 에어 오일 윤활과 관련된 인자들이 급유량의 변동에 미치는 영향을 평가하기 위해서 급유량의 변동 비율을 체계적으로 측정할 수 있는 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템을 Fig. 2와 같은 형태로 개발하였다. 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 압축기(Compressor), 에어 오일 윤활 장치, 나일론 튜브, 노즐, 흡유지 이송 장치, 라인 스캔 카메라(Line scan camera), 프레임 그래버(Frame grabber) 및 컴퓨터로 구성되었으며, 컴퓨터에는 Fig. 4에 제시한 영상 처리 소프트웨어(Image processing software)가 탑재되어 있다.

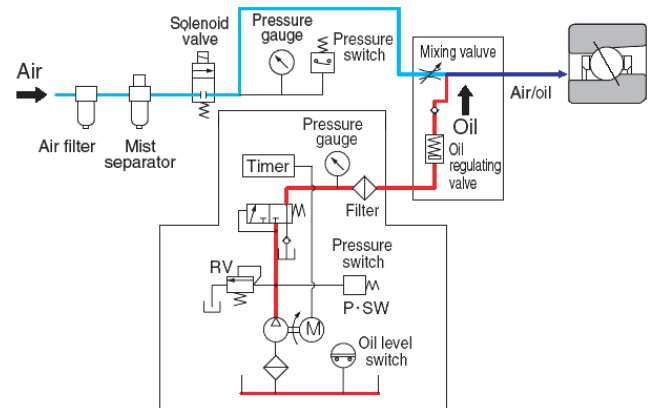


Fig. 1 Schematic diagram of an air-oil lubrication unit

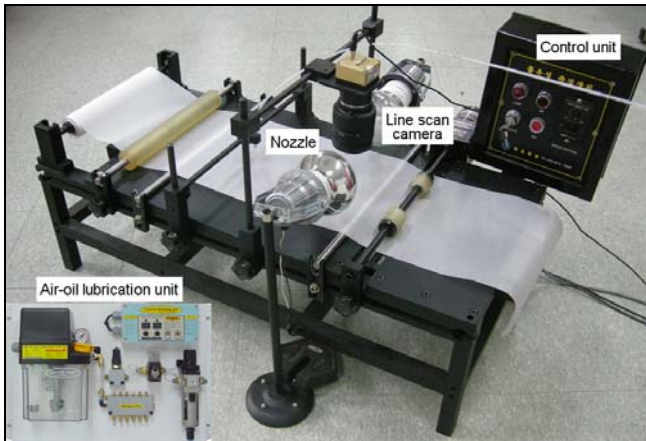


Fig. 2 Air-oil lubrication characteristics evaluation system

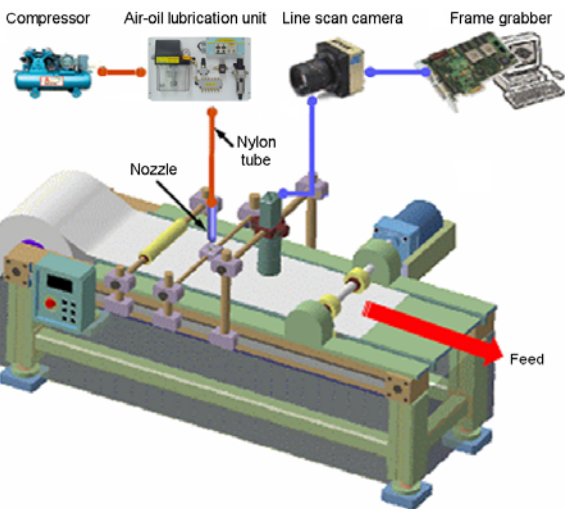


Fig. 3 Schematic diagram of the air-oil lubrication characteristics evaluation system

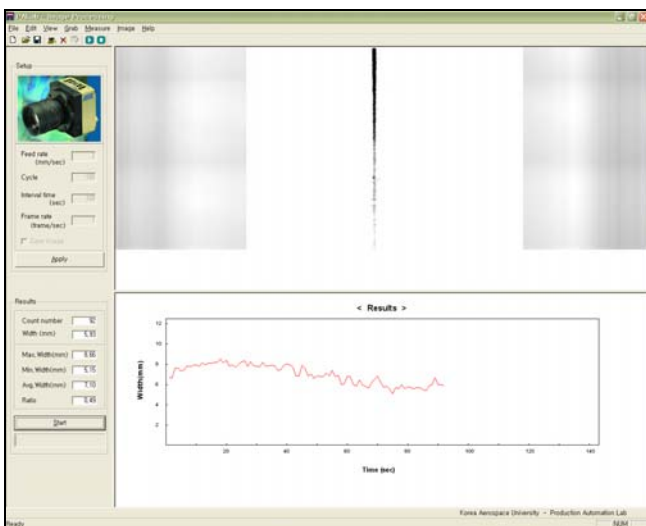


Fig. 4 Image processing software

에어 오일 윤활 특성 평가 시스템에서는 흡유지가 서보 모터(Servo motor)에 의해서 일정 속도로 이동되고, 에어 오일 윤활 장치에서 혼합된 압축 공기와 윤활유가 나일론 튜브를 거쳐서 노즐로부터 흡유지에 분사된다. 따라서 윤활유는 공급량에 비례하는 기름 띠를 흡유지에 남기게 되는데, CCD 이미지 센서 기반의 라인 스캔 카메라가 기름 띠를 아날로그 영상(Analog image)으로 측정하고, 이미지 보드(Image board)인 프레임 그래버가 아날로그 영상을 디지털 영상(Digital image)으로 변환하게 된다.

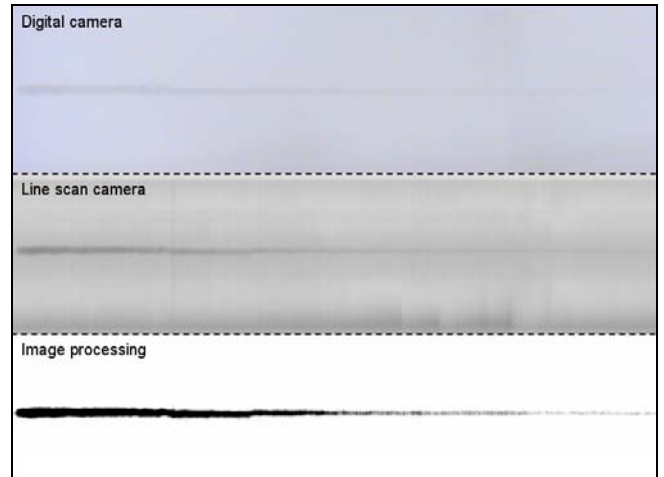


Fig. 5 Comparison of oil band widths

Fig. 4의 영상 처리 소프트웨어는 Visual C++를 이용해서 작성하였는데, 화면 상단에는 라인 스캔 카메라에 의해서 측정된 기름 띠의 모습을 나타내었고, 화면 하단에는 영상 처리를 통해서 구한 기름 띠의 폭을 실시간 그래프 형태로 나타내었다. 영상 처리 소프트웨어의 출력으로는 기름 띠의 폭의 평균값, 최대값, 최소값 및 변동 비율이 있는데, 기름 띠의 폭의 변동 비율은 기름 띠의 폭의 최대값과 최소값 사이의 차이를 평균값으로 나눈 값을 의미한다. 따라서 기름 띠의 폭의 변동 비율을 통해서 급유량의 변동 비율을 파악할 수 있다.

3.3 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템의 신뢰성 실험

본 연구에서 개발한 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템의 신뢰성을 검증하기 위해서 10회의 윤활 실험을 수행하였다. 윤활 실험의 조건으로는 윤활유 점도 10 cSt, 1회 토출 유량 0.03 cc, 토출 간격 7.5 min, 토출 시간 10 sec, 압축 공기 압력 0.5 MPa, 압축 공기 유량 16 l/min, 나일론 튜브 길이 6 m, 나일론 튜브 내경 2 mm, 노즐 구멍 직경 1 mm 등을 사용하였다. Fig. 5는 실험 과정에서 얻은 흡유지의 기름 띠에 대한 디지털 카메라의 영상, 라인 스캔 카메라의 영상, 그리고 이진화 영상(Binary image)을 비교해서 보여주고 있는데, 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 실험 결과로서 기름 띠의 폭의 변동 비율은 평균값이 2.21 정도로 예측되었으며, 특히 최대 오차가 3% 이하인 것으로 나타났다기 때문에 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템의 신뢰성은 높다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 고속 주축계의 윤활 방법으로 가장 많이 채용하고 있는 에어 오일 윤활과 관련된 인자들이 급유량의 변동에 미치는 영향을 평가하기 위한 목적으로 라인 스캔 카메라를 이용한 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템을 개발하였다. 그리고 10회의 윤활 실험에서 측정된 기름 띠의 폭의 변동 비율에 대한 최대 오차가 3% 이하라는 사실은 에어 오일 윤활 특성 평가 시스템의 신뢰성이 높다는 것을 보여주었다.

후기

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

참고문헌

1. 김석일 외, "최신 공작기계 설계기술," 1995.
2. "Precision Rolling Bearings", NTN Corporation, 39-41, 2007.