

소형 고속 구름베어링의 연료윤활 특성 연구

김기태* · 김성균**

Study on Fuel Lubrication Performance of a High Speed Rolling Element Bearing.

Kitae Kim* · Sungkyun Kim*

ABSTRACT

A parametric study was carried out to find the fuel lubrication performance of high speed small rolling element bearings. Both MIL-PRF-7808 turbine oil and JP-8 aircraft fuel were used as the lubricant to compare the operational characteristics. 17 mm inner diameter deep groove ball bearing and 20 mm cylindrical roller bearing were used. A high speed bearing test rig was developed and the testing was done with varying applied load, cooling air temperature, lubricant flow rate, and speed. Fuel caused more cage wear than oil for ball bearing with increasing axial load and rotational speed. The bearing temperature using fuel was lower than that using oil, and this seems to be the result of the high cooling capacity of fuel. According to various tests, the fuel lubrication is applicable for the lubrication on the main shaft bearings of expendable small gas turbines.

초 록

초소형 가스터빈에 사용되는 소형 고속 구름베어링의 연료윤활 특성을 실험적으로 조사하였다. 윤활유로는 항공용 가스터빈에서 사용되는 MIL-PRF-7808 터빈오일과 항공용 가스터빈의 추진연료로 사용되는 JP-8 연료를 사용하여 운용특성을 비교하였고, 시험용 베어링으로는 내경 17 mm의 깊은 홈(deep groove) ball bearing과 내경 20 mm의 원통형(cylindrical) roller bearing을 사용하였다. 베어링의 연료윤활에 따른 특성을 비교하기 위하여 오일 및 연료를 공급하며 고속베어링 시험을 수행할 수 있는 시험 장치를 개발하여 하중, 냉각공기 온도, 윤활유량 및 회전속도를 변화시키면서 시험을 수행하였다. 30,000 rpm에서 70,000 rpm까지 회전속도를 변화시키면서 시험한 결과 깊은 홈 볼 베어링은 축하중과 회전속도가 증가하는 경우 베어링 케이지에 마모가 발생하였으며 마모상태는 오일윤활보다 연료윤활시 마모가 더 많이 발생하였고 본 베어링의 속도한계인 59,000 rpm까지는 연료윤활로 운용이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 연료윤활의 경우가 오일윤활의 경우보다 베어링 온도가 더 낮은 것을 알 수 있었는데 이는 베어링의 냉각특성이 연료윤활인 경우가 오일윤활의 경우보다 더 좋기 때문이라 판단된다. 본 실험을 통하여 소형 항공용 가스터빈의 주축 베어링 윤활방식으로 연료윤활 방식이 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

Key Words:Fuel Lubrication(연료윤활),Rolling Element Bearing(구름베어링),Bearing Test(베어링시험)

1. 서 론

항공용 가스터빈엔진의 주축은 베어링에 의해 지지되어 회전하며 마찰에 의한 마모 및 발열을 감소시키기 위해 윤활유로 오일을 공급하여 베어링 파손을 방지한다. 이렇듯 가스터빈 엔진에서는 윤활유 공급을 위한 오일공급계통이 필수적인 반면 가스터빈 엔진의 무게, 크기 및 비용 증가의 한 단점 요인으로도 작용한다. 베어링 윤활을 위한 오일공급계통은 일반적으로 오일을 저장하기 위한 오일탱크, 오일 공급 및 탱크로의 회수를 위한 펌프, 불순물을 제거하기 위한 여과기, 압력을 조절하기 위한 밸브 및 과열된 오일을 냉각시키기 위한 열교환기 등으로 구성되며, 한정된 오일의 손실을 최소화하기 위한 실링장치나 공기-오일 분리기 등 오일계통에 의한 부수장치들로 복잡하게 되어 있다. 이러한 복잡성을 단순화하기 위한 방법으로 그리스 윤활, 고체 윤활 방법 등이 사용될 수 있으나 고고도(30,000ft), 고속(75,000rpm)의 극한 환경 조건에서 운용하기에는 한계를 가질 수밖에 없다. 이를 극복하기 위한 방안으로 연료를 윤활유로 사용할 수 있다면 오일공급계통이 제거되어 무게나 비용 등의 불필요한 증가를 없앨 수 있게 된다. 본 연구에서는 가스터빈엔진에 윤활유로 연료를 적용하기 위한 기초연구로 베어링 시험을 통해 연료윤활의 운용성을 시험적으로 조사하였다.

2. 베어링 시험리그 개발

베어링 시험리그(Fig. 1)는 가스터빈 엔진에서 하중, 냉각공기 온도, 회전속도 및 윤활유량 등의 운용환경을 모사하기 위해 개발되었으며 연료 윤활에 대한 베어링 운용특성을 오일 윤활의 경우와 비교 평가하여 운용 안정성을 확인하기 위함이다. Figure 1에서 보듯이 시험리그는 고속 스핀들 모터, 축/횡하중 인가장치, 냉각공기 공급장치, 히터, 베어링 하우징, 윤활 공급장치

* 삼성테크윈 파워시스템연구소

및 측정장치 등으로 구성되어 있다.

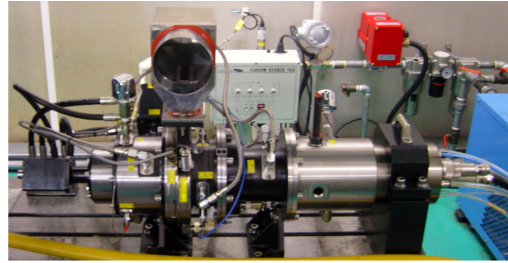


Fig. 1 Bearing Test Rig

3. 베어링 시험

시험에 사용된 베어링은 내경 17mm의 깊은 홈 볼베어링(deep groove ball bearing) 과 내경 20mm의 원통형 롤러베어링(cylindrical roller bearing)을 사용하였고, 윤활유는 항공용 가스터빈에서 사용되는 MIL-PRF-7808 터빈오일과 항공용 가스터빈의 추진연료로 사용되는 JP-8 연료를 사용하였다. 평가는 윤활유 및 시험조건에 따라 베어링 온도가 포화(안정화)되는 온도로 운용특성을 비교하였으며 시험 후 베어링 육안검사를 통해 마모상태를 확인하였다.

3.1 깊은 홈 볼베어링 시험

볼베어링에 대한 시험조건은 Table 1에서 보이는 바와 같으며 각 운용조건을 변화시키면서 베어링의 안정화 온도를 측정하였다.

Table 1. Test Condition of Ball Bearing

Lubricant		Oil(MIL-PRF-7808), Fuel(JP-8)
RPM		~Max. 70,000
Flowrate(cc/min)		60,100 (@Room Temp.)
Cooling	Temp.(℃)	Room temp.
Air	Flowrate(g/s)	1.1
Axial Load(kgf)		10 ~ 187

시험결과는 Fig. 2에 나타내었는데 베어링 온도는 연료윤활의 경우가 오일윤활보다 낮음을 알

수 있었다. 이는 연료의 열전도 특성이 오일보다 좋기 때문인 것으로 판단된다.

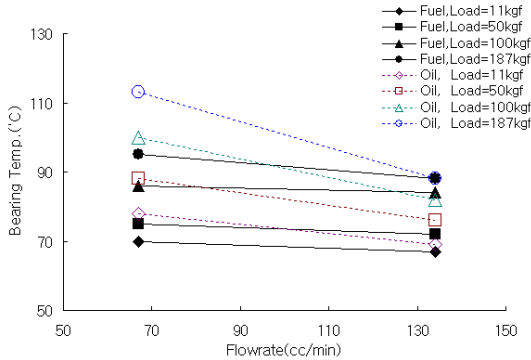


Fig. 2 Effect of axial load and flow rate on bearing temperature for lubricants

그러나 축 하중이 증가할수록 베어링 케이지에 마모가 발생하였는데 마모상태(Fig. 3)는 오일 윤활보다 연료윤활시 마모가 더 많이 발생하였고 본 베어링의 속도한계인 59,000 rpm까지는 연료 윤활로도 운용이 가능함을 확인할 수 있었다.



Fig. 3 Bearing cage wear in case of oil(left) and fuel(right) lubrication.

3.2 원통형 롤러베어링 시험

롤러베어링은 축하중 성분이 없고 횡하중만 작용하므로 동일한 횡하중 조건을 정해 베어링 시험을 수행하였다. 시험조건은 하중(횡) 26kgf 과 윤활유량 70, 120, 235cc/min인 조건을 제외 하면 Table 1과 동일하다. 시험결과(Fig. 4) 롤러베어링은 70,000rpm까지 안정적으로 운용되었으며 베어링 분해검사결과(Fig. 5) 이상 마모 등의 특이사항은 없었다.

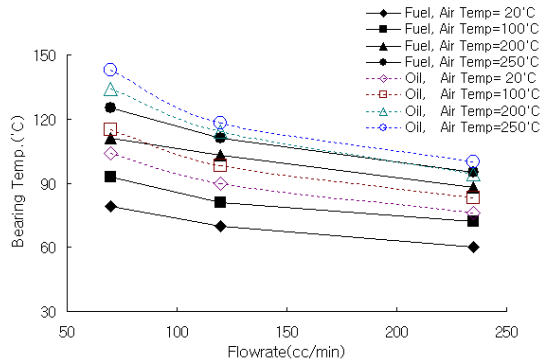


Fig. 4 Effect of Cooling air temperature and flow rate on bearing temperature for lubricants

볼베어링의 경우와 마찬가지로 연료윤활의 경우가 오일윤활 보다 베어링 온도가 낮았으며, 이로보아 윤활유로서 연료는 냉각성능은 오일보다 우수하나 윤활성은 제한적임을 알 수 있었다.



Fig. 5 Roller bearing after rig test

4. 결 론

소형 가스터빈 엔진에서 주축 베어링 윤활을 위해 연료를 윤활유로서 사용 가능함을 실험적 조사를 통해 확인하였다. 볼베어링에서는 축하중 및 회전속도가 증가함에 따라 베어링 케이지 마모가 오일윤활보다 연료윤활에서 더 심하게 발생되어 윤활성이 떨어짐을 알 수 있었다. 그러나 베어링 온도의 변화는 연료윤활이 보다 낮게 측정되어 냉각성능이 좋음을 알 수 있었다.

본 실험을 통해 얻은 기초연구 시험결과는 연료윤활이 적용되는 단수명용 가스터빈 엔진 개발을 수행하는데 있어 기초 자료로서 활용될 수 있을 것이다.