

마이크로 터빈용 고온 포일 베어링 개발

김경수* · 김승우** · 이 인*

High Temperature Air Foil Bearings for Micro Turbine

Kyeong Su Kim*, Seung Woo Kim*, In Lee**

Key Words : micro turbine (마이크로 터빈), air foil bearing (공기 포일 베어링), oilless (무급유), non-contact (비접촉)

ABSTRACT

Micro turbine is an electric power generating system using a gas turbine whose rated power is under 300kW, and it is featured as a small, efficient, maintenance free and environment-friendly system. Air foil bearing has several advantages over conventional bearings for micro turbine because it is oilless and non-contact. Recently, air foil bearings for high temperature over 500°C has been developed for the application of 65kW micro turbine system. In this paper, the development and current status are summarized in detail.

1. 서론

가스터빈을 이용하는 발전시스템 중에서 발전용량이 300 kW 이하인 시스템을 마이크로 터빈 발전 시스템이라 하며, 가스터빈에서 배출되는 폐열을 활용하여 열효율을 극대화시킨 것이 열병합 발전 시스템이다. 마이크로 열병합 발전시스템은 Fig. 1과 같이 마이크로 코어 엔진, 저공해 연소기, 고효율 열교환기, 고속 발전기 및 관련 전기기기, 그리고 열병합 주변기기 등으로 구성되어 있어 있는데, 천연가스 및 액체연료 뿐만 아니라 유정이나 쓰레기 매립장 등에서 버려지는 낮은 품질의 가스도 연료로 사용할 수 있으므로 에너지 활용도를 높일 수 있다.

마이크로 터빈 열병합 발전시스템은 소형이고, 발전 및 열효율이 높으며, 환경친화적이면서도 유지보수 비용이 저렴해야 하는 제품 특성을 갖고 있다.

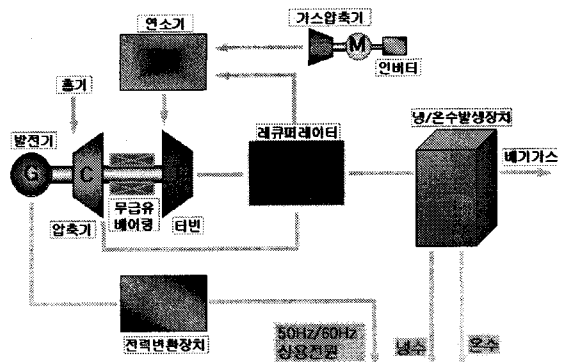


Fig. 1 Combined heat and power generating system using micro turbine

공기 포일 베어링은 고속으로 회전하는 회전체 주

* 한국과학기술원

** (주) 뉴로스

E-mail : mcpie@neuros.co.kr

위의 점성유체에 의해서 작동되는 비접촉 베어링으로서, 부가적인 장치가 필요 없으므로 구조가 간단하고, 오일이 전혀 사용되지 않기 때문에 환경 친화적인 사용이 가능하므로 마이크로 터빈에 가장 이상적인 베어링 형식이다.

포일베어링은 이러한 여러 가지 장점 때문에 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 현재까지 소형 고속 회전체가 사용되는 ACM(Air Cycle Machine), 터보차저, 터보압축기, 고속모터 등의 터보기기에 성공적으로 사용되어 왔으며⁽¹⁾, 최근에는 극저온 터보기기 및 소형 가스터빈 엔진 등과 같이 극한 온도 조건에서도 작동할 수 있는 포일 베어링에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁽²⁾⁽³⁾

국내에서도 중, 소형 터보기기에 공기 포일 베어링을 적용하고자 하는 노력들이 활발하게 진행되고 있으며, 일부 제품은 상품화 개발까지 완료되어 판매되고 있다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

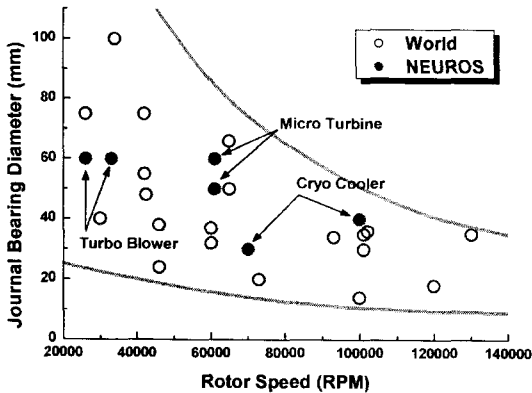


Fig. 2 Spectrum of foil bearing application

본 논문에서는 국내에서 개발 중인 65 kW급 소형 마이크로 터빈 발전시스템에 적용될 고온용 포일 베어링의 개발과정을 소개한다.

2. 본 론

2.1. 마이크로 터빈 발전 시스템

2002년에 산자부 산하의 에너지 관리공단의 지원으로 시작된 마이크로터빈 시스템 개발은 시제품 개발 및 상품화 개발을 포함하여 6년 동안 2단계로 나누어 진행되고 있으며, 아래와 같은 제품성능 목표를 갖고

있다.

- 발전 출력 : 65 kW
- 주요 기능 : 단독/병렬(계통연계) 운전, 열병합 이용 냉/난방 공급
- 발전 효율 : 28.5% (레규레이터 장착시)
- 열병합 효율 : 75% 이상
- 사용 연료 : 가스 및 액체 연료
- 베어링형식 : 공기 베어링
- Emission : 10 ppm NOx 이하 (가스연료 @ 15% O2)
- 수명 : 30,000 시간 이상 (Overhaul 기준)
- 소음 : 65 db @ 10 m

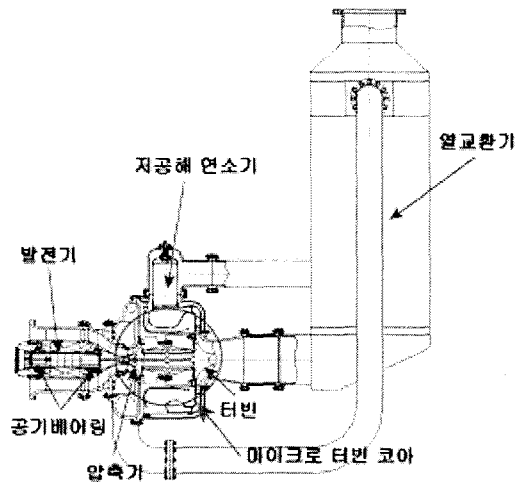


Fig. 3 Layout of micro turbine system

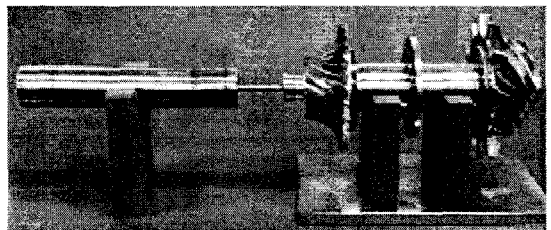


Fig. 4 Rotor assembly of micro turbine system

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 마이크로 터빈 발전시스템의 구성도와 로터 조립체를 보이고 있다. 로터 조립체는 엔진부와 발전기부가 유연한 커플링으로 연결되어 있는 일체형이며, 4개의 저널형 포일 베어링과 2개의

축하중형 포일 베어링으로 지지된다. 엔진부의 포일 베어링은 마이크로 터빈의 정격 운전조건인 61,000 RPM에서 최대 500 ℃까지 온도가 상승하게 되므로, 이에 적당한 고온용 포일 베어링의 개발이 요구된다.

2.2. 고온용 포일 베어링 개발

마이크로 터빈에 사용되는 포일 베어링은 범프 형식이며, 터빈으로부터 전달되어오는 높은 온도에서 작동이 되기 때문에 고온에서 윤활특성 및 내구성이 좋은 세라믹 코팅(PS304)을 적용하였다. 또한, 고온 환경에서 포일 베어링의 성능 및 내구성을 시험평가하는 것이 필수적이므로 이를 위하여 고온 포일 베어링 시험기를 개발하였다.

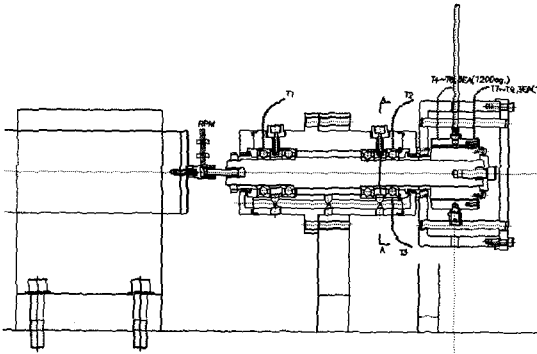


Fig. 5 Cross-sectional view of test rig for high temperature foil bearing



Fig.6 Testing of high temperature foil bearing

고온 시험기는 상온 시험기와 유사한 형상으로 구성되어 있지만, 포일 베어링 시험부의 온도가 500 ℃ 이상까지 가열할 수 있는 고온설비가 구축되어야 한

다. Fig. 5와 Fig. 6에는 고온 시험기의 단면도와 시험모습을 각각 보였다. 베어링의 성능시험은 50 ℃와 500 ℃에서 각각 수행되었으며, 하중은 최대 30 kgf까지 부가되었다.(Fig. 7, Fig. 8 참조) 여기서 Temp1과 Temp2는 시험기의 구름 베어링 온도이며, Temp3~Temp5는 포일 베어링에서 측정된 온도이다.

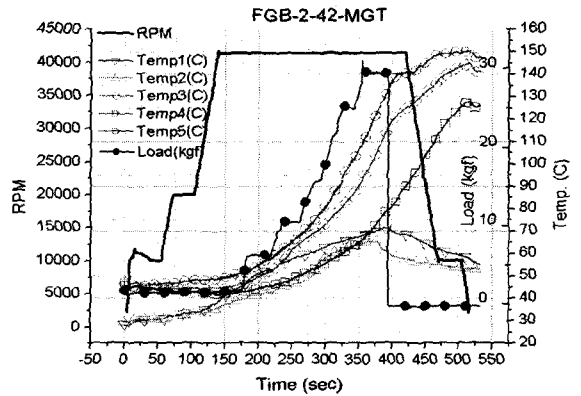


Fig. 7 Bearing test results (50 °C)

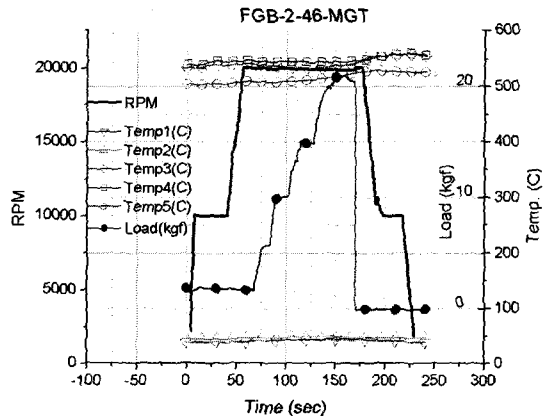


Fig. 8 Bearing test results (500 °C)

Fig. 9와 Fig. 10은 각각 50 ℃와 500 ℃에서 측정된 베어링의 손실 토크를 회전속도에 대해서 나타낸 것이다. 베어링의 예하중이 크기 때문에 초기 기동 토크가 약 1000 Nmm 정도로 높지만, 회전속도가 증가하면서 베어링의 마찰 손실은 급격히 감소한다. 상온 시험에서는 베어링이 Lift Off 되는 5,000 RPM 정도가 되면 손실 토크가 200 Nmm로 감소하고, 10,000 RPM이 되면 손실 토크는 약 100 Nmm 정도로 거의 일정한 값을 가진다. 상온시험에서는 하중이 증가하더라도 손실 토크에 거의 영향을 주지 않는다. 고온 시

험에서는 10,000 RPM 이하에서 손실 토크가 상대적으로 큰 값을 가지며, 10,000 RPM 이상에서는 상온 시험결과와 같이 100 Nmm 정도의 값이 그대로 유지된다. 고온시험에서는 하중이 증가함에 따라서 손실 토크도 따라서 증가하는 경향이 있다. 고온 작동에서 손실량이 더 크게 발생하는 것은 공기의 점성 증가로 인한 영향도 있지만, PS304 코팅이 고온 환경에서 분말 형태로 베어링 면에 존재하기 때문에 이로 인해서 낮은 회전속도에서는 손실 토크가 더 크게 발생하는 것으로 판단된다. 20,000 RPM을 기준으로 할 경우, 베어링에서 발생하는 손실량은 약 200 W가 되며, 회전속도가 증가하면 토크가 감소하지만 회전속도의 영향으로 손실량은 다소 증가할 것으로 예상된다.

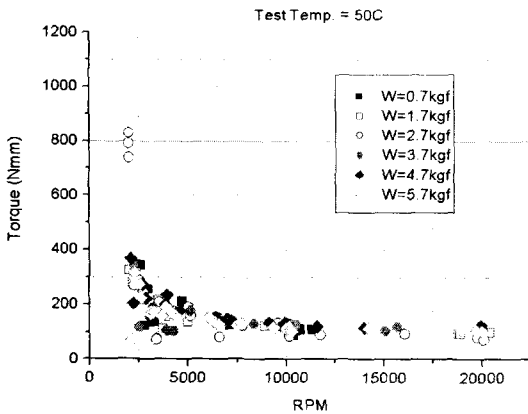


Fig. 9 Power loss vs. RPM with variable loads (50 °C)

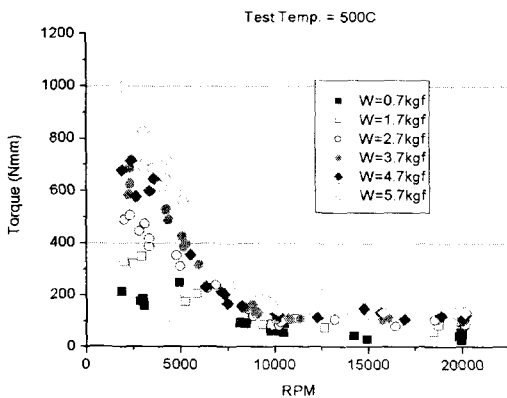


Fig. 10 Power loss vs. RPM with variable loads (500 °C)

PS304 코팅의 고온 내구성을 확인하기 위하여 로터의 회전속도를 2,000 RPM으로 낮게 하여 강제적으로 마찰을 일으키도록 하였다. 가해진 하중은 3.7

kgf, 작동 온도는 500 °C 이며 1시간 동안 시험을 수행하였다. Fig. 11 ~ Fig. 13에는 내구성 시험 수행 후의 코팅 면 및 베어링 면의 모습을 나타내었다. 본 시험에서 설정된 시험 조건은 엔진 운용에서 약 1,000 Cycle에 해당하는 것으로서, 코팅 면 및 베어링 면의 마모성과 작동성은 양호하였다.

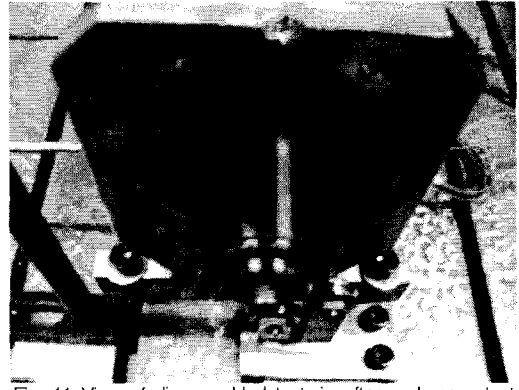


Fig. 11 View of disassembled test rig after endurance test

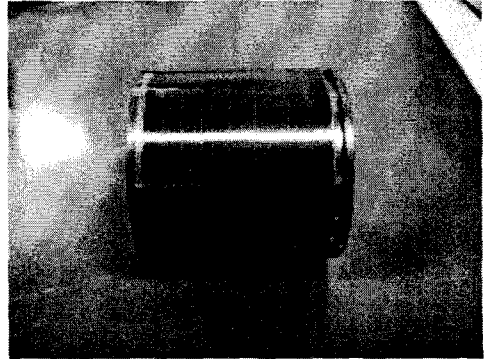


Fig. 12 View of bearing rotor after endurance test

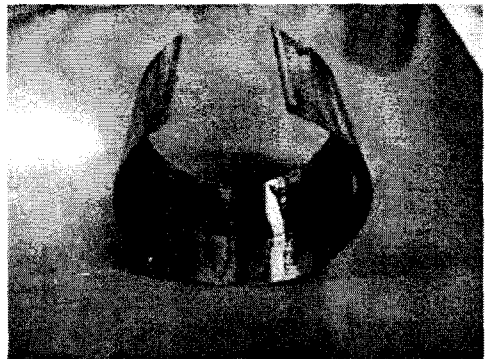


Fig. 13 View of journal bearing after endurance test

베어링 자체에 대한 시험평가 결과를 바탕으로 엔진의 진동 특성을 분석하기 위한 로터다이나믹스 시험이 61,000 RPM까지 수행되었으며, Fig. 14에서 볼 수 있듯이 마이크로 터빈 엔진에 장착되어 엔진 정격속도까지 성능시험에 성공적으로 사용되고 있다.

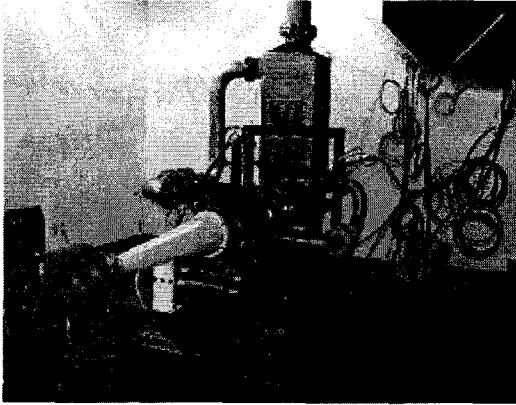


Fig. 14 Micro turbine on test

3. 결론

본 논문에서는 500 °C 이상에서 사용이 가능한 고온용 공기 포일 베어링의 개발과정을 소개하였다. 국내에서 개발중인 65kW급 마이크로 터빈 발전시스템에 적용될 고온용 공기 포일 베어링은 엔진의 작동조건과 유사한 온도상태에서 성능 및 내구성 시험이 수행되었으며, 이를 위하여 고온용 시험리그를 개발하였다.

시험평가 결과, 마이크로 터빈 발전 시스템에서 요구하는 베어링 성능 및 내구성을 만족하는 것으로 입증되었다. 현재, 마이크로 터빈에 장착되어 엔진시험에 안정적으로 적용되고 있으며, 엔진시험 결과를 통

하여 실제 엔진작동 환경에서의 성능 및 내구성을 확인할 예정이다.

후 기

본 연구는 에너지 관리공단의 에너지 절약 기술개발사업으로 진행되고 있습니다.

참고문헌

- (1) Giri L. Agrawal, "FoilAir/Gas Bearing Technology-An Overview", International Gas Turbine & Aeroengine Congress & Exhibition, 1997.
- (2) Hooshang Heshmat, James F. Walton II, "Oil-Free Turbocharger Demonstration Paves Way to Gas Turbine Engine", 2000-GT-620, 2000.
- (3) Luis San Andres, "Turbulent Flow Foil Bearings for Cryogenic Applications", Journal of Tribology, Vol. 117, 1995, pp 185 ~ 195.
- (4) 김경수, 이기호, 김승우, "터보기기용 포일 저널 베어링 개발", 유체기계 연구개발 발표회, KAIST, 2001, pp 475~ 481.
- (5) 김태호, 이용복, 김창호, 이남수, 김한길, "공기유향 다엽포일 저어널 베어링으로 지지된 이단 압축기의 설계," 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, 2001, pp. 936~941.
- (6) 김경수, 박기철, 김승우, 이 인, "38kW, 100000 RPM 고속모터에 대한 포일 가스 베어링 응용 개발", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, 2003, pp127~131.