

수윤활 스테인레스강 볼베어링의 고온 마찰 특성

이 재 선 · 김 종 인 · 김 지 호 · 박 홍 윤 · 지 성 균
한국원자력연구소

Frictional Characteristics at High Temperature of Water-lubricated Stainless Steel Ball Bearing

Jae-Seon Lee, Jong-In Kim, Ji-Ho Kim, Hong-Yune Park and Sung-Qunn Zee
Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract - Water-lubricated frictional characteristics of stainless steel ball bearing is not well known compared to oil-lubricated frictional characteristics. Furthermore study on friction at high temperature is rare because bearing maintenance strategy for water-lubricated or chemicals-lubricated bearings of equipment is mostly based on change of failed bearings and parts. Ball bearings and ball screw are installed on the power transmission for a developing integral reactor and these are lubricated with high temperature and high pressure chemically-controlled pure water. Bearings and power transmitting mechanical elements for an atomic reactor needs high reliability* and high performance during estimated lifetime, and it should be verified. In this paper, experimental research results of frictional characteristics of water-lubricated ball bearing as a preliminary investigation.

Key words - Stainless steel ball bearing, Rotational tribometer, Friction torque, High temperature, Water lubrication

1. 서 론

스테인레스강은 수분, 증기, 알칼리 용액, 현상액, 또는 산에 대해 내구성을 지니고 있어 수윤활 또는 화학분위기에서의 베어링 소재로 사용되고 있다. 특히 STS440C 강은 방출가스가 적고, 경하중 하에서 약 400℃까지 운전이 가능하므로 방사선 분위기 또는 진공 하에서도 사용되어지고 있다. 이와 같은 소재 특성을 고려하여 STS440C는 현재 개발 중인 일체형 원자로에서 동력전달부 지지용 베어링으로 사용이 검토되고 있다. 원자로 내에서 운전되는 베어링은 고온, 고압 하에서 화학조성이 제어된 물(순수)로 윤활되는데 이 경우에 물의 점

도는 공기 점도의 약 10배 정도에 불과한 수준으로 감소되기도 한다[1]. 따라서 베어링은 지극히 낮은 점도의 물만으로 윤활되어야 하기 때문에 윤활 상태는 매우 열악하며, 이로 인해 베어링의 하중 지지용량이 급격히 감소하고 마찰력은 급격히 증가될 것으로 예측된다. 이와 같은 극한의 윤활 조건에서의 스테인레스 강 베어링의 마찰 특성과 특히 온도 증가에 따른 마찰력 또는 토크의 변화를 연구한 실적은 미미한 실정이다. 현재까지의 많은 연구는 표면처리 효과 또는 물에 비해 상대적으로 고점도인 고온 오일의 영향, 또는 고온에서의 고체 윤활제를 이용한 세라믹 재질의 마찰, 마모 특성의 연구에 치중하고 있다[2-5].

또는 스테인레스 강 이외 소재의 물 윤활 영향을 고려한 연구가 일부 알려져 있다[6].

이와 같이 수윤활에 관한 연구가 미진한 원인으로 산업계에서 수윤활 볼베어링의 마찰 및 윤활 특성을 고려한 베어링의 적용을 검토하기보다는 손상된 베어링의 교체를 통한 기기 운전 전략에 의존하고 있다는 것을 들 수 있다. 그러나 일체형원자로에 적용되는 볼베어링은 그 내구 신뢰도가 매우 중요하며, 따라서 볼베어링 자체의 수윤활 특성의 검증이 중요한 설계인자가 되고 있다. 특히 일체형원자로의 운전 압력인 14.7MPa 하에서 상온 20°C에서 120°C까지 물의 점도는 $0.997 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ 에서 $0.236 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ 로 감소한다 (Figure 1 참조). 이와 같이 약 73% 정도 감소되는 물의 점성으로 인해 베어링에서 발생하는 마찰력은 온도 변화에 영향을 받을 것으로 예측되며, 이의 검증이 필요하게 되었다.

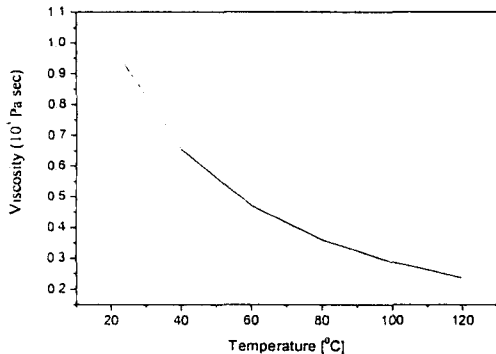


Fig.1 Viscosity drop according to temperature

본 논문에서는 원자로 환경을 모사한 실험 조건에서 볼베어링의 마찰 특성을 고찰하기 위한 일차적 실험 결과를 정리하였다.

2. 시험 방법

본 논문에서는 고온에서 운전되는 STS440C 스테인레스 강의 마찰 특성을 특수한 마찰, 마모시험기를 이용한 실험 결과를 보고하였

다. 본 시험에 이용한 마찰, 마모시험기의 형상은 Figure 2와 같다. 마찰, 마모시험기는 수화학 및 전기제어부(A), 가열기(B)와 회전형 시험기(C)로 구성된다. 가열기 내부의 물은 최대 350°C까지 가열 가능하며, 압력은 최대 17MPa 까지 조절할 수 있다.

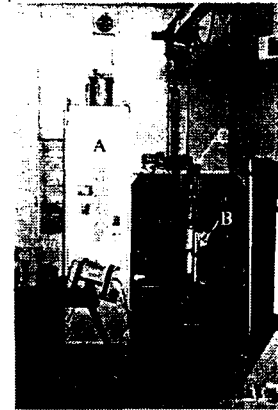


Fig.2 Photograph of the tribometer system

본 시험기는 볼베어링 시험을 위한 회전형 시험기(Figure 3)와 소재의 마찰특성 연구용인 왕복동 시험기로 구성이 되는데, 본 시험에서는 회전형 시험기를 이용한 시험 결과를 정리하였다.

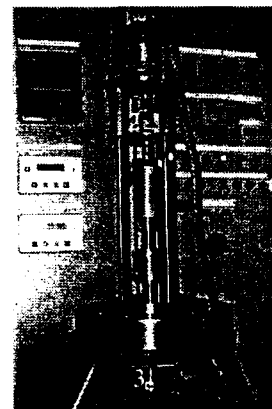


Fig.3 Photograph of the rotational tribometer

시험에 사용한 물의 화학성분 조성은 원자로의 분위기를 모사하기 위하여 Table 1과 같이 제어하였다. 시험에 사용한 볼베어링은 베어링의 내륜, 외륜 및 강구는 FAG사의 보통급

의 6208 형번을 그대로 적용하였으며, 플라스틱 리테이너를 사용하였다. 시험 베어링은 Figure 3의 3번에 장착되어 autoclave내에서 운전된다. 베어링의 조립 상태는 Figure 4에 보이는 바와 같이 두 베어링 사이에 있는 스프링에 의해 축방향 하중이 작용되는 구조를 갖는다.

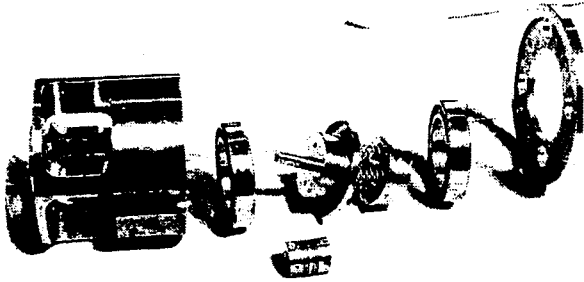


Fig.4 Test ball bearing Assembly

Chemical Composition	Value
Ph	9.5 ~ 10.6 (25℃)
Ammonia	10 ppm
Dissolved Hydrogen	≤0.5 ppb
Dissolved Oxygen	≤5 ppb
Conductivity	35 microsiemens/cm

Table 1 Water chemical composition

시험하중은 베어링 자체의 마찰 특성을 고찰하기 위해 10N을 적용하였으며, 회전속도는 300rpm 정속운전을 하였다.

시험온도는 6208 내륜, 외륜 및 강구의 뜨임 온도 이하인 120℃까지 시험하였다.

본 시험에 앞서 스테인레스 강 소재 자체의 고온 수윤활 마찰 특성을 고찰한 시험 결과에서 상온에서 160℃까지 마찰계수는 약 0.5를 기준으로 5% 이내로 크게 변동되지 않는 것을 확인하였다. STS440C 소재의 온도 변화에 따른 마찰계수 변화를 측정된 시험 결과에서

보이는 바와 같이 (Figure 5 참조) 상온에서 120℃까지는 거의 변화하지 않음을 알 수 있었다[7]. 베어링 소재의 마찰특성 연구결과를 바탕으로 구름베어링의 마찰특성도 시험온도 범위인 상온 ~ 120℃에서는 크게 변화되지 않을 것으로 기대되나 이를 시험적으로 검증하고자 하였다.

회전형시험기가 갖고있는 자체 시스템토크는 0.07Nm로 측정되었으며 (Figure 6), 베어링 시험 결과에서 감산, 정리하였다. 시스템 토크는 속도, 온도 변화에 대해 영향을 받지 않음도 확인하였다.

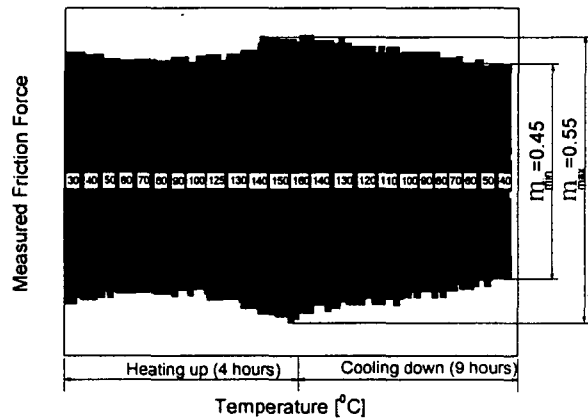


Fig.5 Thermal friction of STS440C

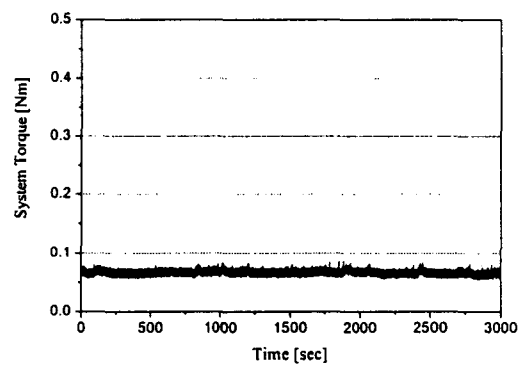


Fig.6 System friction torque

3. 시험 결과

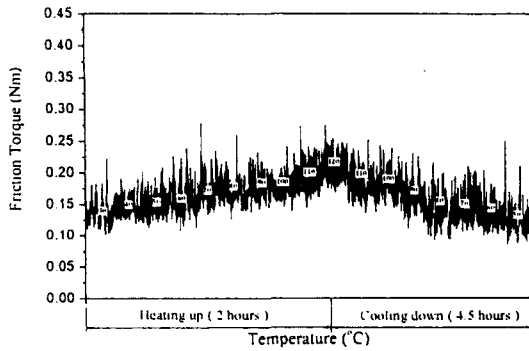


Fig.7 First test result

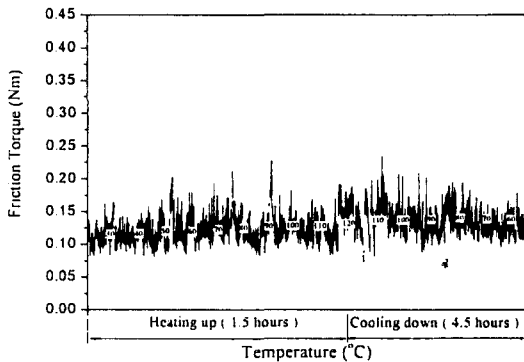


Fig.8 Second test result

Figure 7과 8은 2차에 걸쳐 베어링의 회전토크를 상온에서부터 120℃까지 가열하며 측정된 결과를 보인다. 1차 실험 결과에서는 30℃에서의 회전토크에 비해 120℃에서 약 0.07Nm의 회전토크가 증가된 것으로 측정되었으며, 2차 실험 결과에서는 매우 미세한 회전토크의 증가가 측정되었다. 1차 시험에서 관측된 회전토크의 증가는 2차 시험에서 관측된 변화에 비해서는 현저하지만 토크 증가량의 절대값은 매우 적으므로 STS440C 소재의 온도-마찰계수 변화의 연구 결과[7]에 비추어 120℃ 고온까지의 회전토크의 변화는 크지 않은 것으로 판단할 수 있다.

Figure 1에서 살펴본 바와 같은 윤활제의 점도 변화에 불구하고 온도 증가에 따른 베어링 회전토크 변화가 관측되지 않는 것은 베어

링 접촉점에서의 윤활 상태가 온도 변화에 관계없이 동일한 상태를 유지하는 데 기인하는 것으로 판단되며, 상온에서도 금속윤활 상태로 운전되는 것으로 예측된다.

결 론

1. 고온 수윤활되는 스테인레스 강 구름베어링의 마찰토크는 베어링 소재의 특성과 동일하게 상온에서 120℃까지는 온도 증가에 따라 다소의 증가를 보이기는 하지만 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인하였다.
2. 운전온도의 변화에 따라 윤활제의 점도는 약 73% 감소하지만 베어링의 마찰토크 변화가 크지 않은 것은 베어링 접촉점에서의 윤활 상태가 유체윤활이 아닌 경계윤활 또는 금속윤활 상태로 운전됨에 따른 것으로 예측된다.
3. 실제 베어링 운전 하중 및 운전 속도에서의 마찰특성 변화 연구는 계속 보완 연구되어야 한다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Daugherty R. L., Franzini J. B. and Finnemore E. J., "Fluid Mechanics with Engineering Applications," 8 ed., McGraw-Hill, 1985
- [2] Zhao Xingzhong, Liu Jiajun, Zhu Baoliang and Miao Hezhou, "Sliding wear of ceramic/metal pairs under boundary lubrication of water and oil," Journal of Materials Science and Technology, Vol. 13, No. 5, pp.409-415, 1997.

- [3] Vairis A., "Investigation of Friction Behaviour of Various materials under sliding conditions. European Journal of Mechanics," A/ Solid, Vol. 16, No. 6, pp.929-945, 1997.
- [4] Ovaert T. C., Cheng H. S. and Shen M. C., "Temperature effects on friction and elevated temperature behaviour of base oil-additive combinations under boundary lubricated conditions," SAE Transactions, Vol. 100, pp.1131-1160, 1991
- [5] Dumont B., Blau P. J. and Crosbie G. M., "Reciprocating friction and wear of two silicon nitride-based ceramics against type 316 stainless steel," Wear, vol. 238, No. 2, pp.93-109, 2000.
- [6] Ko Pak L. and Robertson M. F., "Friction and wear studies of nuclear power plant components in pressurized high temperature water-2," ASME Pressure Vessels and Piping Conference, Aug 1-5. 1999. Boston MA
- [7] 이재선, 김지호, 김종인, "고온 고압 하에서 물로 윤활되는 스테인레스 강의 마찰 특성," 한국윤활학회지, 제19권, 제1호, pp.21-25, 2003.