

나노 윤활유를 이용한 스크롤 압축기 저널 베어링의 윤활특성 평가

김 경 민, 황 유 진, 이 광 호, 성 치 언, 이 재 근[†], 정 원 현*, 김 성 춘*, 진 홍 균*
부산대학교 기계공학과[†], LG 전자(주)*

Performance Evaluation of Nano-Lubricants at Journal Bearing of Scroll Compressors

Kyongmin Kim, Yujin Hwang, Kwangho Lee, Chiun Sung, Jaekeun Lee[†],
Wonhyun Jung*, Sungchoon Kim*, Hongkyun Jin*

[†] Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea
*Digital Appliance Research Laboratory, LG Electronics Inc., Seoul, 153-802, Korea

ABSTRACT: Performance of refrigerant oil at the thrust-bearing and at the journal-bearing of a scroll compressor is a significant factor. This paper presents the friction and anti-wear characteristics of nano oil with a mixture of a refrigerant oil and carbon nano particles in the journal bearing of scroll compressors. The characteristics of friction and anti-wear using nano-oil is evaluated using the disk on disk tester and the journal bearing tester for measuring friction surface temperature and the coefficient of friction at the journal bearing tester. In journal bearing test, the average friction coefficient of high concentration nano-oil was decreased down to 18% compared to raw oil under 4,500 N and 3,600 rpm. It is believed that nano particles can be coated on the wear surfaces and the interaction of nano particles between surfaces can be improved the lubrication in the friction surfaces. Worn surfaces of frictional specimen were measured with straightness. carbon nano oil enhances the characteristics of the anti-wear and friction at the journal bearing of scroll compressors.

Key words: Scroll Compressor(스크롤 압축기), Journal Bearing(저널 베어링),
Nano oil(나노오일), Carbon nano particle(카본 나노입자)

1. 서론

스크롤 압축기는 에어컨용으로 많이 사용되는 압축기다. 스크롤 압축기는 로터리식 압축기나 왕복동식 압축기에 비해 소음이나 진동, 효율 면에서 우수한 성능을 나타내지만, 스크롤 압축기 저널 베어링에서의 마모 문제가 중요한 해결과제

로 남아있다. 저널 베어링에서의 마찰 손실은 스크롤 압축기 내부의 여러 다른 마찰부의 손실에 비하여 큰 비율을 차지하고, 전체적인 에어컨 사이클의 성능 및 효율을 악화시키는 요인이 되기도 한다⁽¹⁾. 그러나 현재까지 저널 베어링에서의 마찰 손실 및 마찰 특성에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않았다. 따라서 많은 연구자들이 저널 베어링에서의 적용되는 여러 오일들의 마찰 및 마모 특성을 분석하여 마찰손실을 줄이기 위해 연구를 진행하고 있다.⁽²⁾ 그 결과 여러 종류

[†] Corresponding author
Tel.: +82-51-510-2455; fax: +82-51-582-6368
E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

의 오일에 나노 입자를 첨가하여 윤활 특성을 향상시킨다는 내용의 연구결과가 발표되고 있다⁽³⁾. 본 연구에서는 R-410a 냉매용 냉동기유인 PVE (Polyvinylester)와 (이하 기존오일) 카본 입자를 첨가한 냉동기유(이하 나노오일)를 사용하여 저널 베어링의 마찰 및 마모 특성 결과를 비교하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

나노오일의 윤활특성을 평가하고, 최적 농도의 나노오일을 선정하기 위하여 예비실험을 수행하였다. 실험 장치는 Disk-on-disk Tester로 상하 두 개의 시편은 면 대 면 접촉을 하며, 회전운동을 통해 마찰을 유발시킨다. 장치 측면에 부착된 로드셀로 마찰력을 측정하고, 시편 접촉부에 열전대를 부착하여 마찰부의 온도를 측정하였다. 예비실험을 통해 나노오일의 윤활 특성을 평가한 후 실제 스크롤 압축기 부품을 적용한 실험을 수행하였다.

실험 장치는 Fig. 1과 같은 Journal bearing Tester로 스크롤 압축기의 크랭크 샤프트와 메인 프레임 부시(이하 부시) 간의 마찰 및 마모특성을 평가하였다. 장치는 축을 회전시키는 모터, 접촉부인 회전 시편(크랭크 샤프트)과 고정시편(부

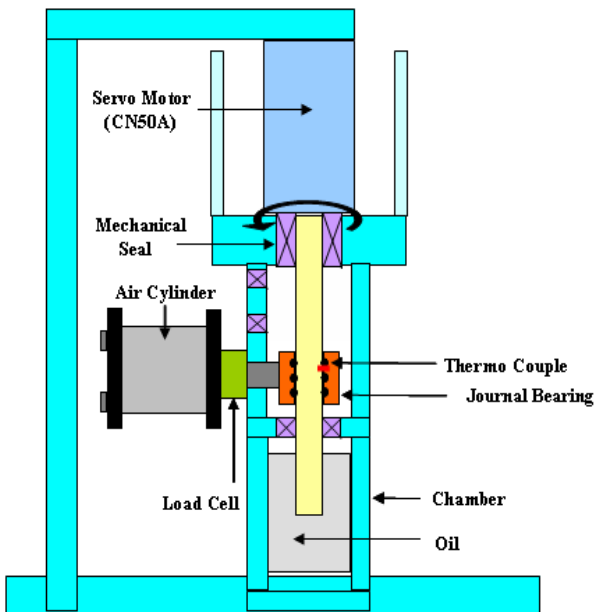


Fig. 1 Schematic of a journal-bearing tester for evaluating the characteristics of friction of raw oil and nano oil

시), 냉동기유를 저장하는 밀폐형 하부 챔버, 마찰력과 마찰 표면 온도를 측정하는 측정 장치, 오일을 예열시키는 히터로 구성되어 있다. 윤활유는 하부 챔버로부터 크랭크 샤프트 축 회전에 의한 원심급유방식에 의해 마찰면에 일정량 공급되게 된다. 마찰 표면 온도는 실제 스크롤 압축기의 과부하 조건에서의 냉매 토출온도인 100℃ 이상을 유지하기 위하여 실험을 시작하기 전에 히터를 사용하여 80℃로 설정한다.

회전 시편은 모터에 의해 구동되어 회전을 하게 되고, 고정 시편에 발생하는 마찰력은 챔버 측면에 고정된 로드셀에 전달된다. 이 때 로드셀에 작용하는 힘을 측정하여 마찰면에 작용하는 마찰력을 측정할 수 있다. 마찰 표면 온도는 고정 시편에 구멍을 뚫고 열전대를 삽입하여 측정한다. 마모는 실험 후 진직도 측정 방법으로 분석수행하여 결과를 비교 분석하였다. 실험 후 시편의 마모를 평가하기 위해 진직도 측정을 수행하여 결과를 비교 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 Disk-on-disk Tester를 이용한 기존오일과 나노오일의 마찰계수 측정 결과를 나타내었다. 회전수는 1,000 rpm으로 유지하고, 수직하중은 600 N부터 3,000 N까지 600 N단위로 증가하는 조건이다. 기존오일과 저농도 나노오일 (이하 나노오일 1), 중농도 나노오일(이하 나노오일 2)의 마찰계수보다 고농도 나노오일(이하 나노오일 3)의 마찰계수가 크게 저감되는 결과를 나타내었다.

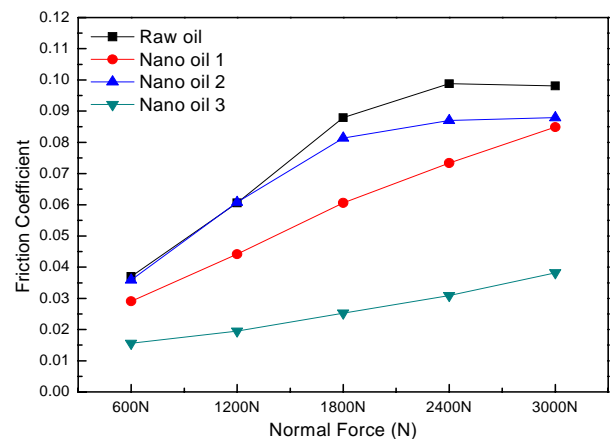


Fig. 2 Results of the friction coefficient as a function of the normal force using the disk on disk type tester

600 N의 하중 조건에서 기존오일의 평균 마찰계수는 0.037인 반면에 Nano oil 3의 평균 마찰계수는 0.016으로 57% 가량 감소하였다. 그 이유는 나노오일 적용 시 유막이 유지되고 있는 마찰 표면에서 구형의 나노입자들이 롤링 역할을 하기 때문이다.⁽⁴⁾ 수직하중 3,000 N 조건에서 기존오일의 평균 마찰계수는 0.098인 반면에 나노오일 3의 평균 마찰계수는 0.038로 60% 가량 감소하였다. 하중이 증가함에 따라 나노오일속의 입자들이 응집되어 덩어리를 형성하게 되고, 시편의 마모된 틈속으로 침투하게 된다. 침투된 입자들로 인해 시편 표면의 돌기들이 다듬어 지기 때문에 나노오일의 윤활 특성이 향상된다.⁽⁴⁾

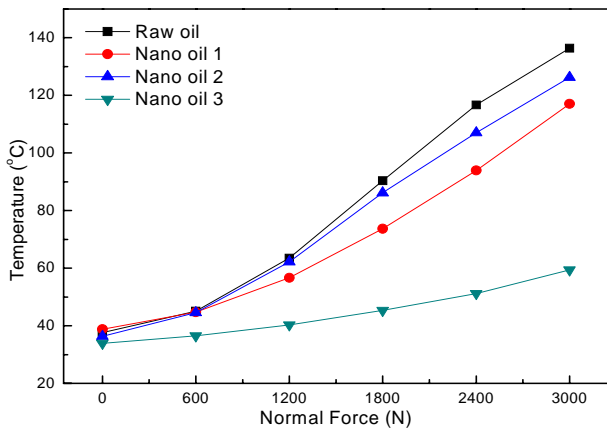


Fig. 3 Result of temperature as a function of the normal force using the disk on disk type tester

Fig. 3은 Fig. 2의 실험동안의 마찰 표면온도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 3,000N 조건에서 기존오일 시편의 평균 표면온도는 136°C까지 상승하였다. 반면, 같은 조건에서 나노오일 3의 표면온도는 59°C로 기존오일에 비해 57% 가량 낮게 유지되었다. 시간에 따른 온도 변화량은 Fig. 2의 마찰계수 값과 유사한 경향을 나타내고 있다. 같은 하중 조건에서 나노오일의 온도 상승폭이 작기 때문에 유체의 점도가 유지되면서 시편간의 마찰을 줄일 수 있다. 이런 이유로 나노오일을 적용하면 윤활 측면에서 유리한 특성을 보인다.

Fig. 4는 Journal bearing Tester를 이용한 기존오일과 나노오일의 마찰계수 측정 결과를 나타내었다. 실험 시작 시 고하중으로 인한 베어링의 파손을 방지하기 위하여 회전수는 3,600 rpm으로 고정하고 하중은 600 N부터 4,200 N까지 300 N 단위로 5분마다 증가시키며 에이징을 실시하였다. 에이징이 끝난 후 스크롤 압축기의 60 Hz 정격운전 조건인 3,600 rpm으로 회전수를 유지하고, 하중은 4,500 N으로 고정하고 3시간 30분 동안 실험을 수행하였다. 나노오일 3의 마찰계수가 기존오일의 마찰계수보다 평균 18% 가량 감소하였다. 기존오일의 경우 하중이 4,500 N으로 증가함과 동시에 불안정한 마찰계수 값을 나타내는 반면, 나노오일 3의 마찰계수는 안정된 형태로 일정한 값을 지속적으로 유지하는 것을 알 수 있다. Fig. 4의 마찰계수 결과로부터 기존오일을 적용한 시편에 더 많은 마모가 발생할 수 있음을 예측할 수 있다. 나노오일 3을 적용할 경우 시편의 마찰면에서 마모된 입자와 나노입자간의 상호작용으로 코팅막이 형성되어 윤활 특성이 향상되었다.^(5,6)

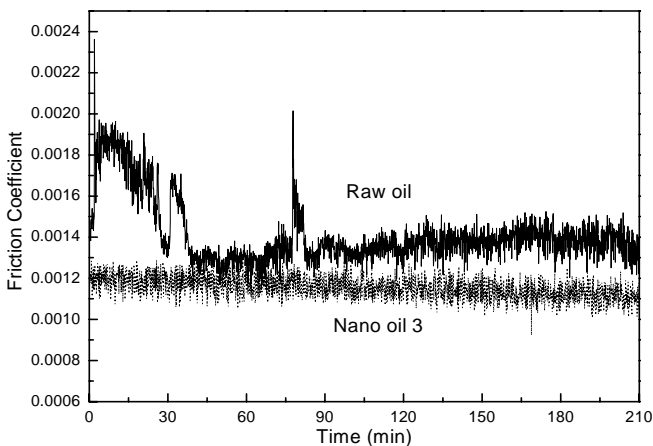


Fig. 4 Results of the friction coefficient as a function of the normal force using the journal bearing tester

Fig. 5은 Fig. 4의 실험동안의 마찰 표면온도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 기존오일 적용 시 하중이 증가하면서 표면온도가 100°C에서 109°C까지 상승하였다. 갑작스런 마찰이 발생하게 되면서 시편의 접촉부위에 열이 발생하게 된다. 접촉부에 과도한 열이 발생하게 되면 부품이 마모될 가능성이 커지게 된다. 나노오일 3을 적용한 경우 기존오일보다 평균 10°C 정도 낮은 수준으로 일정하게 유지되기 때문에 나노오일 적용 시 압축기 부품 내마모 신뢰성에 유리하다.

Fig. 6은 Journal bearing Test의 고정 시편인 부시를 나타낸 것이다. 저널 베어링에서의 마모는 하중이 가해지는 반대 방향에 발생한다. 그리고 상대적으로 크랭크 샤프트에 비해 부시에 마모가 많이 발생하고, 부시의 수직 방향을 기준으로 상부나 하부에 주로 마모가 발생하게 된다.

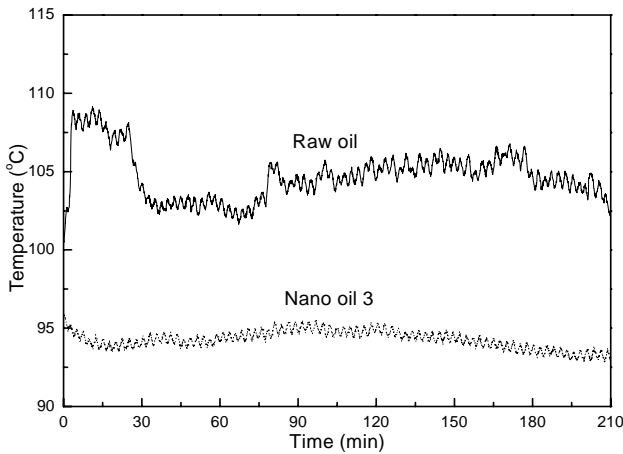


Fig. 5 Result of temperature as a function of the normal force using the journal bearing tester

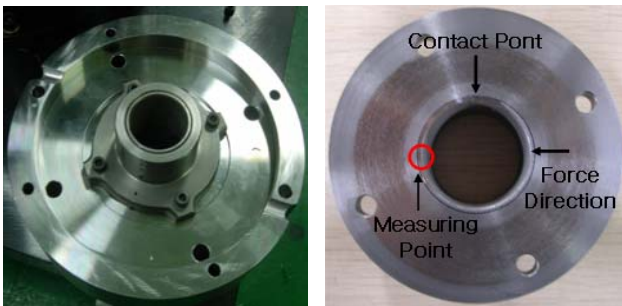


Fig. 6 Image of journal bearing test specimen and measuring point

Table 1
Wear depth of journal bearing specimen

Type	Wear depth (μm)	
	upside	downside
Raw oil	60	16
Nano oil 3	-	12

Table 1은 Journal bearing Test의 고정 시편인 부시의 진직도 측정 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 부품의 마모량을 평가하는 방법으로 진직도 측정이 사용된다. 기존오일을 적용한 시편의 상부측에 $60\mu\text{m}$ 깊이의 마모가 발생하였다. Fig. 4의 마찰계수 결과에서 하중이 증가하면서 기존오일의 마찰계수가 급격하게 증가하면서 깊은 마모가 발생한 것이다. 반면에 나노오일 적용 시편은 상부에는 마모가 발생하지 않았고, 하부측에 $12\mu\text{m}$ 깊이의 마모가 발생하였다. 그러므로 나노오일은 스크롤 압축기의 저널 베어링의 내마모성을 향상시킨다.

5. 결론

본 연구에서는 스크롤 압축기의 저널 베어링에서의 윤활 특성을 파악하기 위하여 기존오일과 나노오일을 이용하여 각각의 윤활 특성을 분석하였다. 나노오일의 특성 및 최적 나노오일 농도를 선정하기 위한 Disk on disk Test에서 하중 3,000 N에서 기존오일의 마찰계수는 0.098로 측정된 반면, 나노오일 3의 마찰계수는 0.038로 측정되었다. 이는 하중이 증가함에 따라 나노오일 속의 입자들이 응집되어 덩어리를 형성하게 되고, 시편의 마모된 틈속으로 침투된 입자들로 인해 시편 표면의 돌기들이 다듬어 지기 때문이다. 스크롤 압축기 단품 내에서 나노오일의 적용성을 평가하기 위하여 스크롤 압축기의 실제 저널 베어링 부품인 크랭크 샤프트와 메인 프레임 부시를 적용한 Journal bearing Test를 수행하였다. 하중 4,500 N, 회전수 3,600 rpm 조건에서 기존오일의 평균 마찰계수보다 나노오일 3의 평균 마찰계수가 18% 감소하였다. 나노오일 3을 적용할 경우 시편의 마찰면에서 마모된 입자와 나노입자간의 상호작용으로 코팅막이 형성되어 윤활 특성이 향상되었다. 또한, 기존오일의 마모량은 $60\mu\text{m}$ 인 반면, 나노오일 3은 $12\mu\text{m}$ 로써 스크롤 압축기 저널 베어링의 내마모성을 향상시키는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. Okaichi, A., Hasegawa, H., and Nishiwaki, F., 2004, A Study on Lubrication Characteristics of Journal and Thrust Bearings in Scroll Compressors, Proc. of International Compressor Engineering at Purdue, C116, pp.1-8.
2. Drost, R.T., and Quesada, J.F., 1992, Analytical and Experimental Investigation of a Scroll Compressor Lubrication System, Proc. of International Compressor Engineering at Purdue, C116, pp.551-560.
3. Liu, G., Li, X., Lu, N., and Fan, R., 2004, Enhancing AW/EP Property of Lubricant Oil by Adding Nano Al/Sn Particles, Tribology Letters, Vol.18, No.1, pp.85-90.
4. L. Rapoport, V. Leshchinsky, M. Lvovsky, O. Nepomnyashchy, Yu Volovik, R. Tenne, 2002, Mechanism of friction of fullerenes, Industrial Lubrication and Tribology, Vol.54, No. , pp.171-176.
5. Hsu, S. M., 2004, Nano-lubrication: concept and design, Tribology International, vol. 37: pp.537-545.
6. Ginzburg, B. M., Shibaev, L. A., Kireenko, O. F., Shepelevskii, A. A., Baidakova, M. V., and Sitnikova, A. A., 2002, Antiwear Effect of Fullerene C60 Additives to Lubricating Oils, Russian Journal of Applied Chemistry, Vol. 75, No. 8, pp.1330-1335.