

나노 윤활유를 이용한 스크롤 압축기 스러스트 베어링의 윤활특성 평가

조 상 원, 김 홍 석, 안 영 철, 이 정 언, 이 재 근[†], 이 형 국*, 이 병 철*, 김 동 한*, 박 진 성*
부산대학교 기계공학과, *LG 전자(주)

Performance Evaluation of Nano-Lubricants at Thrust Slide-Bearing of Scroll Compressors

Sang Won Cho*, Hong Seok Kim*, Young Chull Ahn*, Jung Eun Lee*, Jae Keun Lee*[†],
Hyeong Kook Lee, Byeong Chul Lee, Dong Han Kim, Jin Sung Park

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

ABSTRACT: 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 thrust slide-bearing of scroll compressors. Frictional loss in the thrust slide-bearing occupies a large part of total mechanical loss in scroll compressors. The characteristics of friction and anti-wear using nano-oil is evaluated using the thrust bearing tester for measuring friction surface temperature and the coefficient of friction at the thrust slide-bearing as a function of normal loads up to 4,000 N and orbiting speed up to 3,200 rpm. It is found that the coefficient of friction increases with decreasing orbiting speed and normal force. The friction coefficient of carbon nano-oil is 0.015, while that of pure oil is 0.023 under the conditions of refrigerant gas R-22 at the pressure of 5 bars. It is believed that carbon nano-particles can be coated on the friction surfaces and the interaction of nano-particles between surfaces can be improved the lubrication in the friction surfaces. Carbon nano-oil enhances the characteristics of the anti-wear and friction at the thrust slide-bearing of scroll compressors.

Key words: Scroll Compressor(스크롤 압축기), Thrust Bearing(스러스트 베어링), Nano-Lubricant(나노 윤활제), Nano Carbon(나노 탄소)

1. 서론

스크롤 압축기는 중, 소형 에어컨용으로 많이 사용되는 압축기다. 스크롤 압축기는 로터리식 압축기나 왕복동식 압축기에 비해 소음이나 진동, 효율 면에서 우수한 성능을 나타내지만, 스크롤 압축기의 스러스트 베어링이 파손되는 문제

가 많이 보고되고 있다. 스러스트 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 스러스트 베어링에서의 마찰 손실 및 마찰 특성에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않았다. 따라서 많은 연구자들이 스러스트 베어링에서의 적용되는 여러 오일들의 마찰 및 마모 특성을 분석하여

[†]Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2455; fax: +82-51-582-6368

E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

Table 1 Results of extreme-pressure test of pure oil and nano-oil

Type	Pure oil	Nano-particles	Breaking pressure of the oil film
Pure oil	Mineral oil	None	below 120 kgf/cm ²
Nano-oil I	Mineral oil	0.1 wt% carbon nano-particles	270 kgf/cm ²
Nano-oil II	Mineral oil	0.3 wt% carbon nano-particles	270 kgf/cm ²

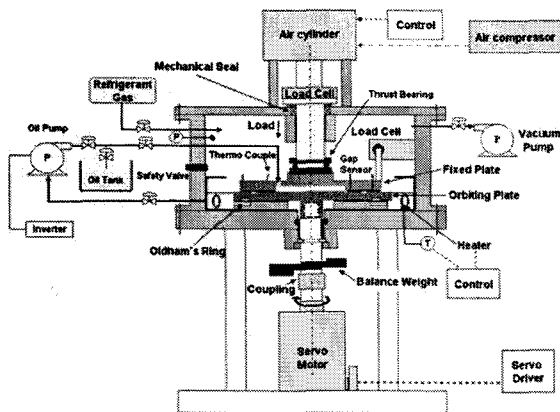


Fig. 1 Schematics of a thrust slide-bearing tester for evaluating the characteristics of friction of pure oil and nano-oil

마찰손실을 줄이기 위해 연구를 진행하고 있다.⁽²⁾ 그 결과 여러 종류의 오일에 나노 입자를 첨가하여 윤활 특성을 향상시킨다는 내용의 연구결과가 발표되고 있다⁽³⁾. 본 연구에서는 나노입자를 첨가한 냉동기유(이하 나노오일)와 입자를 첨가하지 않은 기존의 냉동기유(이하 기존오일)를 사용하여 스러스트 베어링의 마찰 및 마모 특성 결과를 비교하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

냉동기유는 일반적인 윤활과 달리 냉매와 혼합하여 작동하는 운전조건하에서 사용된다. 냉동기유의 윤활성을 측정하기 위하여, 본 연구에서는 냉매와 냉동기유가 공존하도록 하기 위하여 밀폐식 스러스트 슬라이딩 베어링 테스터 (thrust slide-bearing tester)를 제작하였다. Thrust slide-bearing tester는 Fig. 1과 같은 밀폐형 공간을 가지고 있다. 스러스트 슬라이딩 베어링 테스터는 선회 운동을 유발시키는 모터, 접촉부인

고정 시편과 선회 시편, 냉동기유와 냉매의 혼합을 유지하는 밀폐형 챔버, 마찰력과 마찰 표면 온도를 측정하는 측정 장치, 오일의 순환과 예열시키는 펌프 및 히터로 구성되어 있다.

윤활유는 오일펌프에 의해 마찰면에 공급되는데, 마찰면의 반경방향 안쪽으로 공급되어 바깥쪽으로 빠져 나가도록 장치가 설계되었다. 선회 시편과 고정 시편은 밀폐된 챔버 내부에 위치하고, 밀폐된 공간은 5 bar의 R-22 냉매로 채워진다. 실험을 시작하기 전에 오일의 온도는 80℃로 PID 온도 제어 장치를 이용하여 유지되도록 하는데, 이는 실제 스크롤 압축기에서 스러스트 베어링으로 유입되는 윤활유의 온도와 동일하다.⁽⁴⁾

선회 시편은 모터에 의해 구동되어 선회 회전을 하게 되고, 마찰 면을 통하여 마찰력이 상부의 고정 시편에 작용한다. 고정 시편은 마찰력에 의해서 회전력이 발생하고, 챔버 측면에 고정된 로드셀에 전달되어 마찰력을 측정한다. 이 때 로드셀에 작용하는 힘을 측정하여 마찰면에 작용하는 마찰력을 측정 할 수 있다. 마찰 표면 온도는 두 개의 열전대를 고정 시편 안쪽과 바깥쪽에 장착하여 측정한다. 마찰력과 마찰 표면 온도는 고정 시편에 작용하는 수직하중과 선회 운동의 회전수를 변화시켜 가며 측정한다. 마모는 실험 후 표면 거칠기 변화와 오일 탄화 깊이를 Glow discharge spectrometer(GDS) 방법으로 분석 수행하여 결과를 비교 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Table 1은 기존오일과 나노오일을 ASTM D 3233에 의거하여 측정된 극압 성능 실험결과를 나타내었다.⁽⁵⁾ 극압 성능은 윤활과 마모의 특성을 평가하는 중요한 기준이다. 탄소 나노 입자를 0.1 wt%, 0.3 wt%를 첨가한 나노오일의 극압 성능이 기존오일보다 225% 향상되었다. 나노오일의

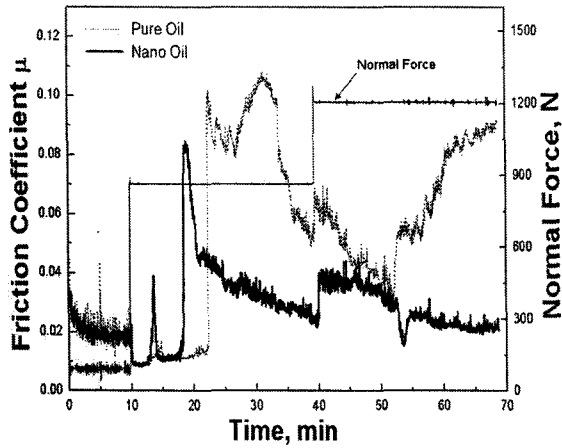
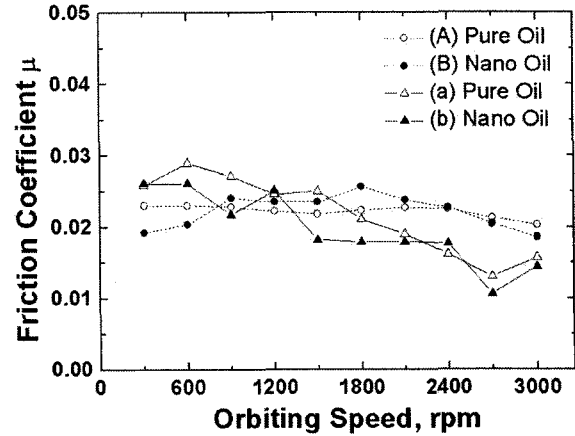


Fig. 2 Results of friction coefficient of pure oil and nano-oil using disk on disk type tester under the condition of R22 refrigerant

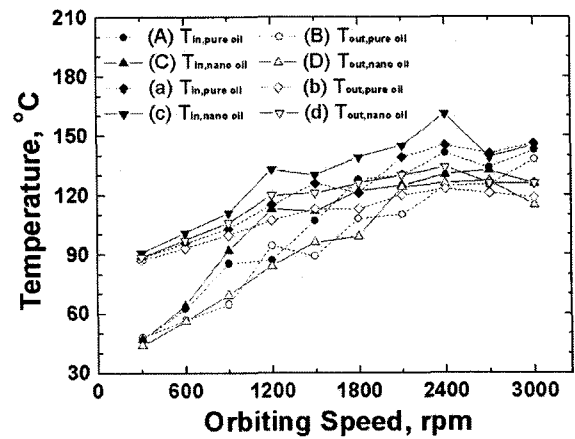
극압 성능 향상으로 나노오일의 유막이 기존오일보다 파괴되기 어렵고, 시편사이의 고체 접촉을 발생하는 기회를 적게 만든다. 기존오일의 물성치는 밀도는 15 °C에서 0.915 g/cm³, 점도는 40 °C에서 54.6 mm²/s, 100 °C에서 6.06이다.

Fig. 2는 R-22 냉매 분위기에서 기존오일과 나노오일의 마찰계수 측정 결과를 나타내었다. 나노오일의 최대 마찰계수는 0.085이다. 반면에 기존오일의 최대 마찰계수는 0.11이다 최대 마찰계수가 이후 두 오일의 마찰계수는 감소한다. 이것은 두 오일로 인해 두 시편 사이에 길들임 현상이 발생되었기 때문이다. 그러나 나노오일의 길들임 현상이 기존오일보다 길들임 현상이 우수하여 마찰계수의 감소폭이 크게 나타난다. 이것은 나노오일에 포함된 탄소 나노 입자들과 시편 표면 돌기 사이의 상호작용으로 인한 것이다.^(7,8)

Fig. 3은 Thrust slide-bearing Tester를 이용하여 고정하중 3,200 N에서 회전수 변화에 따라 측정된 마찰계수와 마찰 표면온도의 측정 결과를 나타내었다. 대문자 (A), (B), (C), (D)는 회전 속도가 300 rpm에서 3,000 rpm으로 증가하는 조건이고, 소문자 (a), (b), (c), (d)는 회전 속도가 3,000 rpm에서 300rpm으로 감소하는 조건에서 실험된 결과이다. 고정 하중 3,200 N에서 회전 속도가 증가함에 따라 나노오일과 기존오일 모두 마찰계수는 초기에 약간 높으나 다시 감소하면서 일정한 값을 갖는다. 이것은 시편의 표면



(a) Friction coefficient



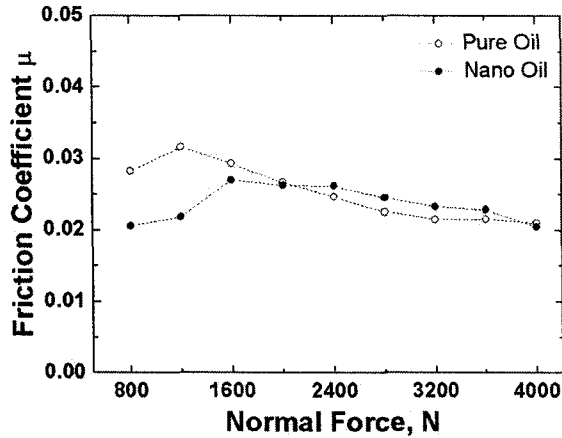
(b) Friction surface temperature

Fig. 3 Lubrication results of friction coefficient and friction surface temperature as a function of the orbiting speed using the thrust slide-bearing tester at the normal force of 3200 N

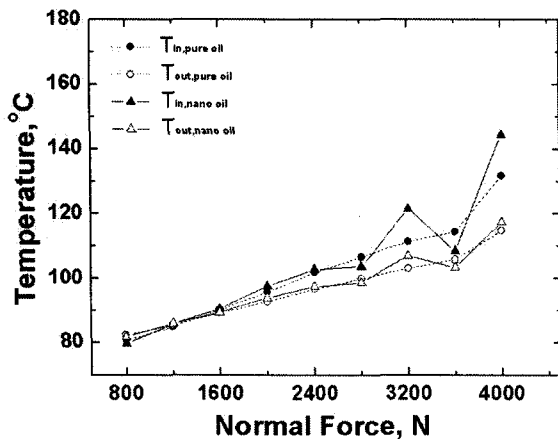
돌기들이 면 접촉 운동에 의하여 융착 되어 표면이 다듬어 졌기 때문이다.

고정 하중 3,200 N에서 회전 속도가 감소함에 따라 마찰계수는 증가하였다. 나노오일의 마찰계수가 0.015인 반면에 기존오일의 마찰계수는 0.023 되어 나노오일의 윤활성이 우수하다. 나노오일의 탄소 나노 입자가 마찰 표면에 코팅되어, 마찰 표면 사이에 탄소 나노입자의 상호작용으로 인해 나노오일의 윤활 특성이 향상되었다.^(7,8)

기존오일과 나노오일을 이용하여 측정된 마찰 표면 온도는 큰 차이가 없다. 기존오일과 나노오



(a) Friction coefficient

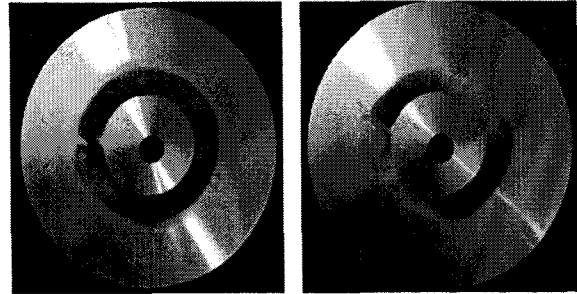


(b) Friction surface temperature

Fig. 4 Lubrication results of friction coefficient and friction surface temperature as a function of the normal force using the thrust slide-bearing tester at the orbiting speed of 1,800rpm and the normal force up to 4,000 N

일 모두 시편의 안쪽 마찰표면 온도가 바깥쪽 마찰 표면 온도 보다 높다. 이것은 고정 시편의 썩기 현상이 발생되었기 때문에 안쪽 영역이 바깥쪽 영역보다 급침 현상과 마모가 많이 발생기 때문이다.⁽⁶⁾

Fig. 4는 Thrust slide-bearing Tester를 이용하여 선회속도 1,800 rpm에서 수직하중 변화에 따라 마찰계수와 마찰 표면온도를 측정한 결과를 나타내었다. 선회시편의 선회속도를 1,800 rpm으로 고정하고, 고정시편에 수직하중을 800 ~



(a) Pure oil

(b) Nano-oil

Fig. 5 Image of wear and surface roughness of the orbiting plate at the orbiting speed of 1,800 rpm and the normal force up to 4,000 N after 90 minutes test period

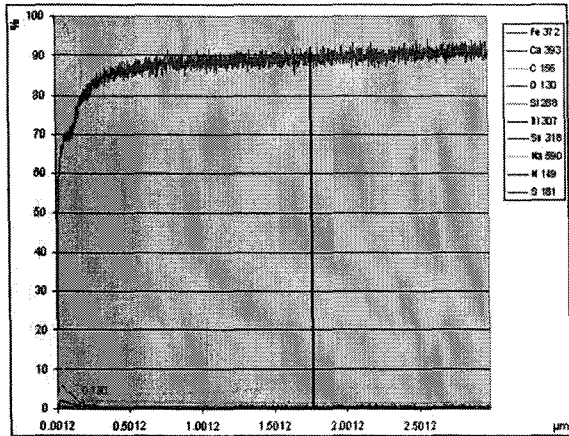
4000 N으로 증가시켜가며 실험을 수행하였다.

Fig. 4(a)에서 나노오일과 기존오일의 마찰계수의 범위가 0.02 ~ 0.03으로 나타났다. 특히 수직하중 800 N에서 1,600 N 영역 사이에서는 나노오일의 마찰계수가 약 0.023인 반면에 기존오일의 마찰계수는 약 0.03으로 나노오일의 윤활성이 저 하중 영역에서 향상되었음을 확인 할 수 있다.

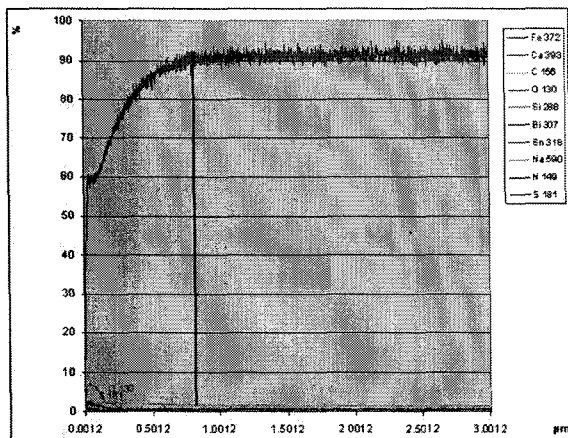
Fig. 4(b)는 마찰표면 온도를 나노오일과 기존오일사이에 큰 차이가 없으나 고 하중 영역 3,600 N 이상에서는 나노오일의 마찰 표면 온도가 높다. 또한 기존오일과 나노오일 모두 시편의 안쪽 마찰표면 온도가 바깥쪽 마찰 표면 온도 보다 높다. 이는 고정 시편의 썩기 현상이 발생되었기 때문이다.

Fig. 5는 선회속도를 1,800 rpm으로 고정하고, 고정시편에 수직하중을 800 N ~ 4000 N으로 증가시켜가며 실험 후, 선회 시편의 마모상태를 나타내었다. 선회 시편의 검은색 원형 띠는 고정 시편의 안쪽 영역과 일치하는 영역이다. 검은색 원형 띠는 오일의 탄화 흔적으로 고정 시편의 썩기 현상에 의해서 국부적으로 마찰 표면 온도가 증가하여 나타난 결과이다.

마모 특성은 일반적으로 마모량으로 나타낸다. 본 실험에서는 낮은 마찰력과 함께 마모량이 매우 적어서 마모량 비교 분석은 수행 하지 않았다. 따라서 마모량보다는 표면의 손상을 나타내는 오일 탄화 흔적과 깊이를 측정함으로써 마모



(a) Pure oil



(b) Nano-oil

Fig. 6 GDS profiling for measuring the depth of oil carbonization of the orbiting plate at the orbiting speed of 1,800 rpm and the normal force up to 4,000 N after 90 minutes test period

상태를 비교하였다.

Fig. 6은 선회속도를 1,800 rpm으로 고정하고, 고정시편에 수직하중을 800 ~ 4,000 N으로 증가시켜가며 실험을 수행한 후 선회 시편의 오일 탄화 깊이를 Glow discharge spectrometer (GDS)로 분석한 결과이다. 오일의 탄화 깊이는 고정시편과 선회 시편의 굽힘 현상과 마모로 인해 발생하는 깊이이다. 이 깊이가 크면 물리적인 굽힘 현상과 마모가 많이 발생되었다는 것을 의미한다. 기존오일의 오일 탄화 깊이는 약 1.7 ~ 1.8 μm 인, 반면에 나노오일은 0.7 ~ 0.8 μm 로 분석되

었다. 그러므로 나노오일은 스크롤 압축기의 스러스트 베어링의 내마모성을 향상시킨다.

5. 결론

본 연구에서는 스크롤 압축기의 스러스트 베어링에서의 윤활 특성을 파악하기 위하여 기존오일과 나노오일을 이용하여 각각의 윤활 특성을 분석하였다. 실험은 5 bar의 냉매 분위기 하에서 고정 하중 3,200 N에서 선회 속도를 300 ~ 3,000 rpm으로 변화시키면서 분석하였으며, 운전 조건의 변화에 따르는 마찰 특성의 변화를 관찰하기 위하여 선회 속도 1,800 rpm에서 수직하중을 800 ~ 4,000 N으로 변화 하면서 분석을 수행하였다. 이 결과는 탄소나노 입자를 포함한 나노오일의 마찰계수는 0.015로 측정된 반면, 기존오일은 0.023으로 측정되었다. 이는 탄소 나노 입자가 마찰 표면에 코팅이 되어 마찰 표면 사이에 탄소 나노입자의 상호작용으로 인해 나노오일의 윤활 특성이 향상되었기 때문이다. 또한 기존오일의 오일 탄화 깊이는 약 1.7 ~ 1.8 μm 인, 반면 나노오일은 0.7 ~ 0.8 μm 로서 압축기 스러스트 베어링의 내마모성을 향상시키는 것으로 분석되었다.

후 기

본 연구는 LG전자(주)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

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. Sato, H., Itho, T., and Kobayashi, H., 2004, Frictional Characteristics of Thrust Bearing in Scroll Compressor, *Proc. of International Compressor Engineering at Purdue*, C027, pp.1-8.
 5. ASME Standard D 3233, 2003, Standard test methods for measurement of extreme pressure properties of fluid lubricants, American Society of Mechanical Engineers.
 6. Ishii, N., Oku, T., Anami, K., and Fukuda, A., 2004, Lubrication Mechanism at Thrust Slide-bearing of Scroll Compressor (Experimental study), *Proc. of International Compressor Engineering at Purdue*, C103, pp.1-8.
 7. Hsu, S. M., 2004, Nano-lubrication: concept and design, *Tribology International*, vol. 37: pp.537-545.
 8. 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.