

나노입자를 적용한 냉장고 압축기용 오일의 윤활특성 평가

이 광 호, 황 유 진, 권 래 언, 이 재 근[†], 김 석 로*, 방 선 옥*
부산대학교 기계공학과, *LG 전자(주)

Performance Evaluation of Nano-Lubricants at Refrigeration Oil

Kwangho Lee, Yujin Hwang, Laeun Kwon, Jae Keun Lee[†] Seokro Kim*, Sunwook Kim*
Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea
**Digital Appliance Research Laboratory, LG Electronics Inc., Seoul, 153-802, Korea*

ABSTRACT: It has been recognized that friction coefficient decreased with decreasing viscosity of oil in lubrication. In general, the more viscosity decreases, the more wear rate increases due to decrease load carrying capacity. It has been proposed that nano particles in oil decrease friction coefficient and wear rate. The purpose of this study is to apply oil of lower viscosity that mix with nano particles at the compressor used in a refrigerator to decrease friction coefficient keeping Load carrying capacity. Mineral oil of 8 cSt were used and mixed with nano particle. Friction coefficient was evaluated by a disk-on-disk tester. As a result, friction coefficient of nano oil decreased by 90% in comparison with raw oil. These results lead us to the conclusion that nano oil is new plan to raise efficiency of the compressor.

Key words: Thrust Bearing(스러스트 베어링), Nano-Lubricant(나노 윤활제), Nano Carbon(나노 탄소), Refrigeration Oil(냉동기유)

1. 서론

유체윤활 영역에서는 점도가 낮을 수 록 마찰계수가 감소하므로 적용오일의 점도를 낮출수록 마찰로 인한 효율 손실이 감소된다. 그러나 낮은 점도의 오일은 유체 윤활영역에서 낮은 마찰계수를 가지는 특성을 가지지만 극압이 상대적으로 낮아져 순간적인 높은 하중으로 인해 유막파괴가 이루어져 금속과 금속의 접촉이 발생할 확률이

커져 대상의 수명이 떨어지는 약점을 가진다. 최근 이러한 저점도 오일의 낮은 극압을 보완하기 위하여 나노 입자를 윤활유에 적용하여 윤활 특성을 향상시키는 연구가 진행되고 있다. 산업유에 나노 입자를 첨가하여 나노윤활유를 제조하고 적용한 결과 내마모성 향상되고 안정된 마찰계수를 확보하여 베어링의 강도가 향상되는 연구 결과가 이미 발표된바가 있다.⁽¹⁾ 그러나 나노유체의 분산안정성이 나쁠 경우 입자가 침전되고 내벽에 침착되는 현상이 발생한다. 분산안정성은 입자와 유체의 관계와 나노 유체의 제조 방법에 따라 상이하게 달라지므로 적용하는 나노윤활유의 분산안정성을 확보하는것이 우선적으로 진행

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

되어야 한다. 또한 입자의 농도가 증가 함에 따라 윤활 특성이 향상되지만 농도가 너무 과할 경우 오히려 윤활특성이 저감된다.⁽²⁾ 그러므로 윤활 특성을 향상 시킬 수 있는 최적의 입자 농도의 결정이 중요하다. 본 연구에서는 대상 나노윤활유의 분산 안정성을 확보한 후 다양한 농도의 나노윤활유의 윤활특성 평가를 통해 최적의 농도 조건을 결정하였다.

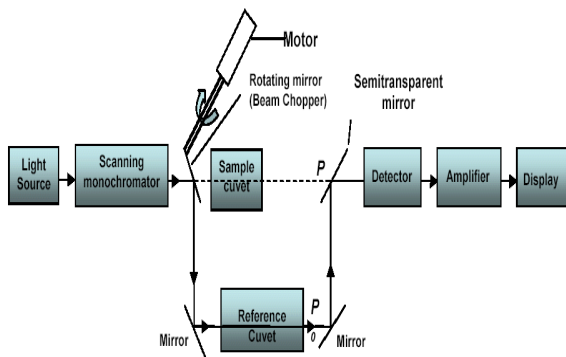


Fig. 1 Schematic diagram of UV-vis spectrophotometer.

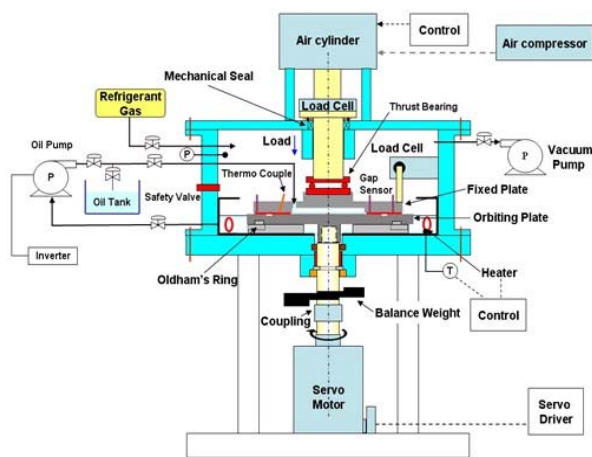


Fig. 2 Schematics of a thrust slide-bearing tester for evaluating the characteristics of friction of pure oil and nano-oil

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 적용 입자 및 오일

입자는 윤활특성이 우수하다고 알려진 나노입자 I 을 사용하였다. 오일은 현재 사용되는 냉장고용 압축기의 냉동기유보다 점도가 낮은 8cSt 급의 광유를 적용하였다.

2.2 분광광도계를 이용한 분산안정성 측정

분광광도계는 빛이 시료 용액을 통과할 때 흡수나 산란 등에 의하여 광강도가 변화하는 원리를 이용한다. 주로 200~900nm인 빛의 파장영역에 액체의 흡광도(Absorption)를 측정하여 수중의 각종 오염물질 등의 정량화 분석에 적용된다. 본 연구에서는 분광광도계(UV-3101PC, Shimadzu Corp.)를 이용하여 분산안정성을 평가하였다. Fig. 1은 본 실험에서 사용된 Double beam spectrophotometer의 개략도이다. 광원으로부터 나온 빛의 파장은 일반적으로 200~900 nm 범위로 회절격자와 같은 단색화 장치를 통과하여 원하는 단색광을 얻는다. 단색화 된 빛은 두 부분으로 나뉘지고 각각 Sample cell과 Reference cell을 통과하게 된다. 검출기에서는 두 cell을 통과한 빛을 검출하여 증폭기와 A/D converter를 거쳐 최종적으로 원하는 흡광도를 얻게 된다. 측정된 Reference cell과 Sample cell의 흡광도를 비교함으로써 상대적인 농도 값을 구할 수 있고, 시간의 경과에 따라 시료의 흡광도를 측정하면 부유하고 있는 입자의 농도 변화량을 얻을 수 있다.

3.3 Disk-on-disk type tester

본 연구에서는 나노입자 농도에 따른 나노 윤활유의 마찰특성을 파악하였다. Fig. 2 는 나노윤활유의 마찰특성을 측정할 수 있는 장치이다. Disk-on-disk type tester는 범용적인 적용되는 면 대 면 마찰방법을 택하였고, 회전운동을 통해 마찰을 유발시킨다. 하중, 속도 그리고 윤활유의 온도 제어를 통해 점도를 제어 할 수 있다. 수직 하중은 에어실린더를 사용하여 작용하게 하였고, 오일의 급유는 Fixed Plate와 rotating Plate의

마찰면이 오일에 잠겨 있는 방법을 택하여 자연 순환이 되도록 하였다. Disk-on-disk type tester 장치는 크게 하중부, 마찰부, 구동부, 제어부로 나눌 수 있다. 그 외에 오일과 냉매를 공급하는 장치도 추가 되었다. Table 1은 위 장치의 설계를 구성하는 각 장치들을 표로 정리한 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

Table 1 The equipments of disk-on-disk type tester.

Equipment	Function	Evaluation
Air compressor	Operating air cylinder	Load
Air cylinder	Loading	
Regular	Controlling air cylinder	
Axial shaft	Conveying load	
Heater	Heating oil	Oil temperature
PID control	Controlling oil temperature	
Refrigerant Tank	Saving and conveying refrigerant	Supply refrigerant
Fixed plate	Conveying load, friction surface	Friction force and temperature, surface roughness
Rotating plate	Conveying rotation, friction surface	
Oil vessel	Saving and heating oil	
Servo motor	Generating driving power	Rotating speed
Inverter	Controlling motor	
Shaft coupling	Shaft alignment	
Snap ring	Prevention vibration	
Roller bearing	Friction loss	
Shaft	Conveying driving power	
Data processing	Controlling data	Processing data

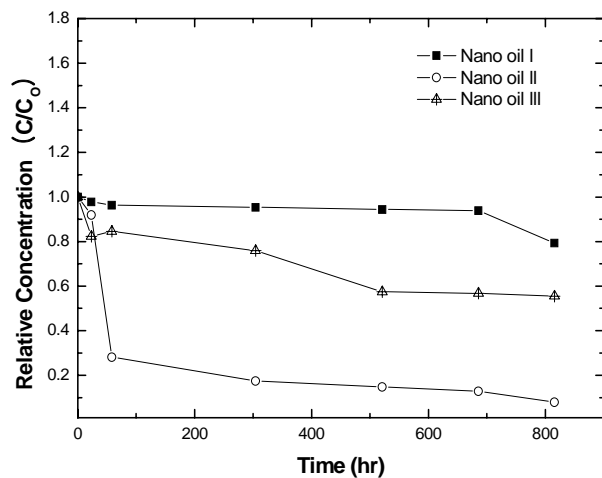


Fig. 3 Nanoparticle concentrations vs elapsed time for nanofluids.

3.1 분산안정성 평가

압축기 냉동기유로 사용되는 광유를 기본 유체로 하여 나노입자 I, II, III를 각각 분산시켜 제조하고 시간에 따른 부유 안정성을 평가하였다. 열전달 성능을 향상시키는 것으로 알려진 나노입자 II의 경우 제조 후 50시간 경과 후 70% 정도의 입자가 침전되었고, 나노입자 III의 경우 500시간 경과 후 40%가량의 입자가 침전 되었다. 반면 본 연구에서 적용된 나노입자 I의 경우 700시간 정도 경과 후에도 침전도가 10% 내외로 분산안정성이 뛰어난 것을 알 수 있다.

3.2 나노오일의 동점도

나노입자를 첨가함에 따라 기존 유체의 점도는 증가한다.⁽³⁾ 윤활에서는 오일의 점도가 중요한 인자임으로 입자 첨가로 인한 점도 변화를 모세관 동점도계를 이용하여 측정하였다. Fig. 4는 나노입자 I 과 냉동기유를 혼합한 나노유체의 입자 농도 및 온도에 따른 동점도 변화를 나타낸 것이다. 입자를 첨가 시 60°C 이상에서는 나노 오일의 점도 상승폭이 1% 이내이다. 실제 압축기 구동시의 온도영역에서는 나노 입자 첨가로 인한 점도 상승이 거의 일어나지 않는다고 볼 수 있다. 그러나 20°C, 40°C의 영역에서는 각각 7%, 2%가량의 점도 상승이 일어났다. 저온영역에서 점도 상승은 오일 급유 시 문제가 될 수도 있지만 그 상승값이 기존 사용중인 오일의 점도 보다 낮기 때문에 급유상의 문제는 없을 것으로 예상된다.

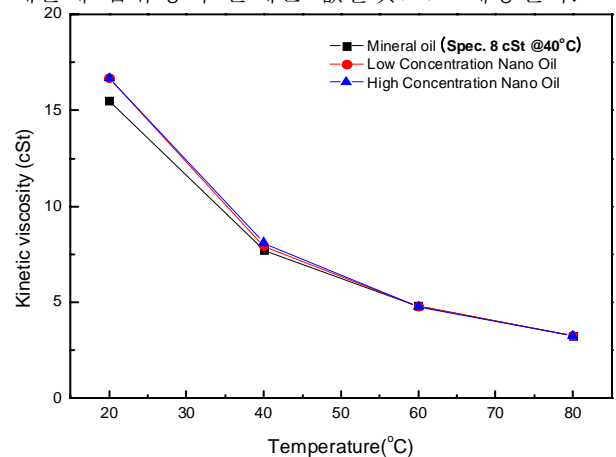


Fig. 4 Kinetic viscosity of Fullerene-in-Oil as a function of particle concentration and temperature.

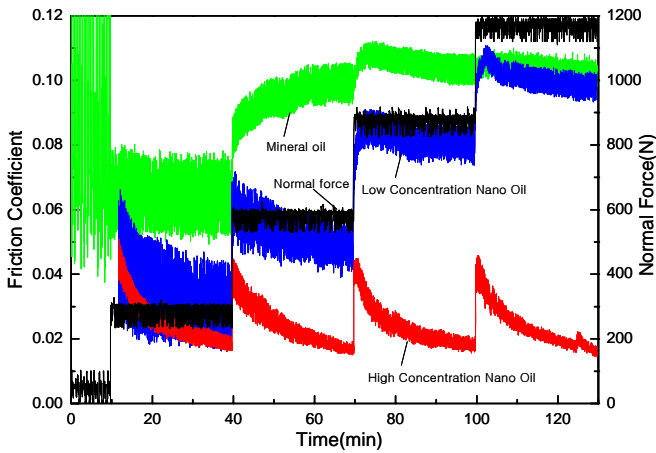


Fig. 5 Initial results of the friction coefficient as a function of the normal force using the disk-on-disk type tester

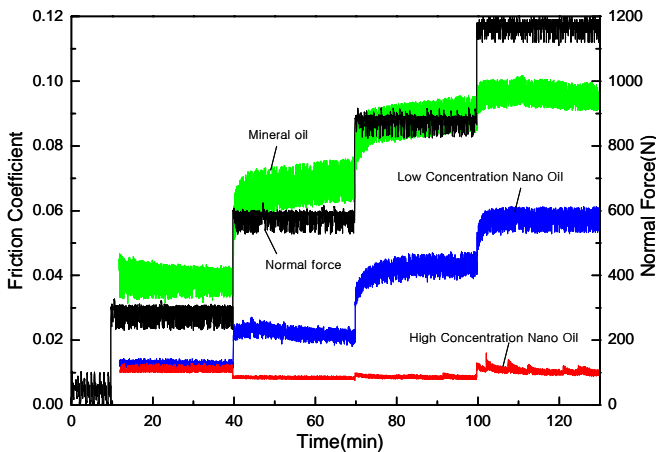


Fig. 6 Final results of the friction coefficient as a function of the normal force using the disk-on-disk type tester

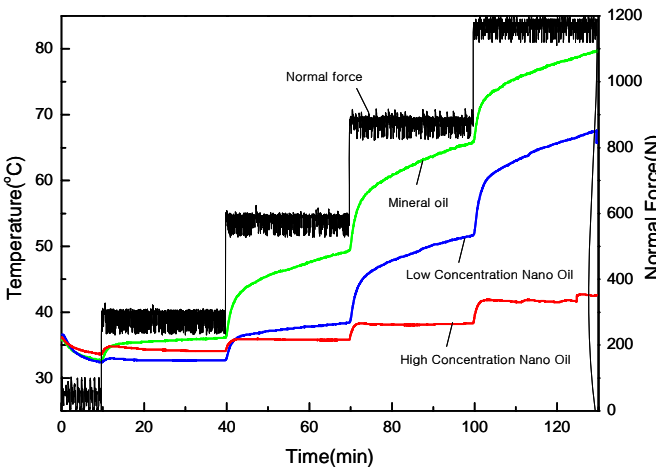


Fig. 7 Temperature as a function of the normal force

3.3 나노오일의 마찰특성분석

Disk-on-disk type tester를 이용하여 입자 농도 별 마찰특성을 분석하였다. 기존 오일과 기존 오일에 나노입자 I의 첨가량을 달리하여 제조한 2종의 나노오일에 대하여 측정하였다. 각 시편은 10분 동안의 저하중에서의 에이징을 거쳐 하중은 300 N부터 1200 N까지 300 N단위로 30분 마다 증가 시켰다.

Fig. 5는 새 시편으로 위와 같은 실험을 진행한 결과이다. 기존 오일은 300 N의 하중에서 거의 일정한 마찰계수를 나타내다가 하중이 600 N으로 접어들면서 마찰계수가 점점 상승한다. 하중이 900 N이 되면 마찰계수는 더 상승하여 경계 유효 영역에 가까워진다. 반면 고농도의 나노오일의 경우 각 하중영역에서 마찰계수가 점점 감소함을 나타낸다. 하중이 증가 할 때 마찰계수가 다시 상승하지만 동하중에서 마찰계수가 점점 감소하여 1200 N까지 비슷한 마찰계수를 나타낸다. 이는 나노 입자에 의한 길들임 현상으로 오일에 포함된 나노 입자와 시편 표면의 돌기 사이의 상호작용으로 인한 것이다.^(4,5) 저농도의 나노오일의 경우 저하중에서는 고농도의 오일과 비슷한 경향을 보이지만 고하중으로 갈수록 마찰계수는 상승한다. 이는 나노입자의 농도가 낮아 마찰 표면 전체에 대해 나노입자의 효과를 주지 못하였기 때문이다.

Fig. 6은 위의 실험을 1회 실시한 후, 그 시편으로 동일한 실험을 실시하여 더 이상의 길들임이 일어나지 않을 때 까지 반복하여 얻은 최종 결과이다. 고농도의 나노오일의 경우 총 4회 반복 하였을 때 길들임 현상이 완료 되었고 기본 오일과 저농도의 나노오일의 경우에는 총 7회 반복하였을 때 길들임 현상이 완료되었다. 기본 오일의 경우 1200 N의 하중에서 경계 유효에 가까운 0.1의 높은 마찰계수를 가졌으나 고농도의 나노오일에서는 1200 N에서 마찰계수가 0.01내외로 유체 유효를 유지 하였다.

Fig. 7은 Fig. 6의 실험동안의 시편 표면온도 변화를 나타낸 그래프이다. 기본 오일에서는 1200 N의 하중에서 80°C 까지 온도가 상승하였지만 고농도의 나노오일에서는 1200 N의 하중에서 40°C 정도의 온도를 유지 하였다. 이는 나노오일에서는 입자에 의한 길들임 효과로 마찰계수가 점

점 감소하면서 온도 상승폭도 작은 반면 기본 오일에서는 마찰력이 계속적으로 증가 하여 온도도 크게 상승한 결과이다. 온도 결과를 Fig. 4의 동점도 결과에 대입해보면 고농도의 나노오일의 경우 실험 초기 10 cSt의 점도를 가지며 1200 N의 하중에서 점도가 8 cSt로 점도의 하락폭이 작다. 그러나 기본 오일의 경우 1200 N의 하중에서 점도가 3.2 cSt까지 떨어진다. 즉, 나노입자를 첨가한 오일에서는 표면의 길들임 현상이 활발하게 이루어져 마찰계수가 감소하여 온도상승을 감소시키고 결국 온도상승으로 인한 점도 하강효과를 막아 윤활특성이 향상 된다.

5. 결 론

본 연구에서는 압축기 냉동기유로 사용되는 오일에 나노입자를 분산 시켜 기존 오일과 나노 오일의 윤활 특성을 분석하였다. 먼저 대상오일인 광유와 나노입자 I 간의 분산안정성이 뛰어난을 확인하였다. 그리고 기존 오일과 기존 오일에 나노입자 I의 첨가량을 달리하여 제조한 2종의 나노오일에 대해서 Disk-on-disk type tester를 이용하여 윤활특성을 분석하였다. 회전 속도는 1000 rpm으로 고정하였으며 하중은 300 N 단위로 증가시켜 300 N에서 1200 N 까지 증가시켰다. 그 결과 고농도의 나노입자 I 이 첨가된 오일이 가장 좋은 윤활 특성을 나타내었다. 이는 나노 입자가 시편 표면 돌기와 상호 작용을 함으로써 표면의 길들임 효과가 활발하게 이루어졌기 때문이다. 길들임 효과가 활발하게 일어나면서 마찰계수는 감소하게 되고 온도 상승으로 인한 점도 저하를 막아주게 되어 고하중에서도 유체 윤활을 유지하게 해준다.

참고문헌

1. 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.
2. S. Tarasov, A. Kolubaev, S. Belyaev, M.

- Lerner, F. Tepper, 2002, Study of Friction Reduction by Nanocopper Additives to Motor Oil, WEAR, Vol. 252 pp.63-69
3. Li, Zeliang, Li, Junming, Wang, Buxuan, Hu, Haitao, 2003, Influence of sdbbs on viscosity of copper oxide nano-suspensions, Journal of engineering thermophysics, v.24 no.5, pp.849-851
4. Hsu, S. M., 2004, Nano-lubrication: concept and design, Tribology International, vol. 37: pp.537-545.
5. 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.
6. 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.
7. ASME Standard D 3233, 2003, Standard test methods for measurement of extreme pressure properties of fluid lubricants, American Society of Mechanical Engineers.