

나노 오일을 이용한 압축기 습동부 재질의 윤활 특성 향상에 관한 연구

김 성 춘, 김 경 민*, 황 유 진*, 박 영 도*, 이 재 근†
LG 전자(주), *부산대학교 대학원 기계공학부

Study on Improvement of Lubrication Characteristics for the Material of Compressor Friction Parts with Nano-oil

Sungchoon Kim, Kyongmin Kim*, Yujin Hwang*, Youngdo Park*, Jaekeun Lee*†
Aircon Compressor Division, LG Electronics Inc., Changwon, 641-711, Korea
*Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

(Received July 11, 2009; revision received September 15, 2009)

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. The characteristics of friction and anti-wear using nano-oil is evaluated using the disk on disk tester for measuring friction surface temperature and the coefficient of friction. The average friction coefficient of nano-oil was reduced by 60% compared to raw oil under 600 N and 1,000 rpm. It is believed that the interaction of nano particles between surfaces can be improved the lubrication in the friction surfaces. Worn surfaces of frictional specimen were also investigated by the optical and atomic force microscopy. Conclusively, it is expected that wear and friction coefficient of compressor can be reduced by alignment applying nano-oil as refrigerant oil.

Key words: Compressor(압축기), Lubrication(윤활), Nano oil(나노오일), Fullerene(풀러렌)
Friction coefficient(마찰 계수)

1. 서 론

압축기는 에어컨, 냉장고 등의 냉동 사이클을 구성하는 핵심 요소로써, 냉동사이클의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 따라서 시스템의 성능과 장기적인 신뢰성을 향상시키기 위해서는 압축기 습동부의 마찰손실을 저감하고, 내마모 특성을 향상시켜 부품의 내구성 및 수명을 향상시키는 것이 매우 중요하다.

그러나 종래의 대부분의 연구는 습동부의 재질을 변경하거나 습동부 표면에 내구성을 향상시킬 수 있는 다양한 재질의 코팅을 하는 등 습동부의 재질에 치중한 연구가 수행되어 왔으며, 또한 압축기에 적용되는 여러 오일들의 마찰 및 마모 특성을 분석하여 마찰손실을 줄이기 위해 연구를 진행하고 있다.⁽¹⁾ 특히 최근에는 나노입자의 대량 합성이 가능해지면서 그 응용분야의 하나로 여러 종류의 오일에 나노 입자를 첨가하게 되면 극압이 향상되고, 마찰계수를 저감할 수 있다는 내용의 연구결과가 발표되고 있다.^(2~4) 그러나 이러한 연구들은 아직 압축기 적용을 위해 냉동기유체에 적

† Corresponding author

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

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

용한 사례가 없다. 따라서, 본 연구에서는 에어컨 압축기에 주로 사용되는 R410A 냉매용 냉동기유인 PVE(Polyvinylester)와 (이하 기준오일)Fullerene 입자를 첨가한 냉동기유(이하 나노오일)를 사용하여 압축기 습동부에 많이 사용되는 재질(GC200)로 제작된 시편을 제작하고 이를 시험하기 위한 별도의 실험장치를 활용하여 오일에 나노입자의 첨가에 따른 습동부의 마모특성을 살펴보았다.

2. 실험장치 및 실험방법

윤활유의 점도는 윤활특성을 나타내는 주요한 인자 중의 하나로 본 연구에서 사용된 입자의 첨가에 따른 나노오일의 점도 특성을 분석하는 것이 선행되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 Fig. 1의 모세관 동점도계와 항온조를 이용하여 나노오일의 입자 첨가 농도와 온도에 따른 점도의 특성을 분석하였다. 이 때 동점도의 실험오차는 1% 이내로 나타났다.

Fig. 2는 나노오일의 윤활특성을 평가하기 위하여 사용된 Disk-on-disk Tester의 개략도를 나타낸다. 상하 두 개의 시편은 면 대 면 접촉을 하며, 회전운동을 통해 마찰을 유발시킨다. 장치 측면에 부착된 로드셀로 마찰에 의해 발생하는 마찰력을 측정하고, 시편 접촉부에 열전대를 부착하여 마찰부의 온도를 측정하였다. 시험 시작 시 오일의 온도는 항온조에 의해 40 °C가 되도록 설정하였다. 하부의 서보 모터와 상부의 공압 실린더에 의해 각각 회전수와 하중을 조절할 수 있다. 또한 본 연

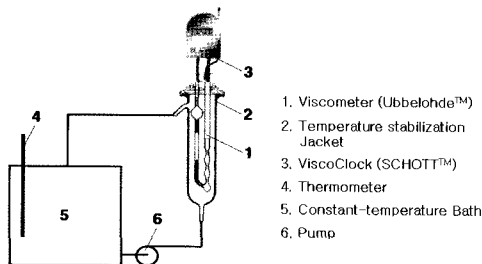


Fig. 1 Schematics of the capillary viscometer for measuring the kinematic viscosity of oil.

구에서 사용된 시편은 압축기 습동부의 주요 재질 중의 하나인 GC200으로 제작되었다.

Table 1은 나노오일의 윤활 특성 평가를 위한 실험 조건을 나타낸다. 본 연구에 사용된 오일은 R410A 용 냉동기유로 사용되는 PVE를 사용하였으며, 분산된 입자는 C60을 사용하였다. 마찰 시험 시 하중은 300~1,500 N/cm²으로 각각 300 N/cm² 단위로 증가시키면서 시험을 수행하였고 이때, 회전수는 1,000 RPM으로 고정하여 시험을 수행하였다. 각 하중별 마찰계수를 평균하여 마찰계수를 구하였으며, 이 때 마찰계수의 표준 편차는 5% 이내로 나타났다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 입자의 첨가 농도에 따른 나노오일의 동점도를 모세관 동점도계를 이용하여 온도별로 측정된 결과를 나타낸다. 본 연구에서 적용하고자 하는 농도는 최대 체적 분율이 0.1 vol% 이내로 입자의 농도가 매우 낮아 결과에서도 나타나듯이 점도의 변화가 2% 이내에서 미미하게 증가하는 것을 보이고 있다. 이는 온도의 변화에 매우 민감한 오일의 점도 특성을 볼 때, 입자 첨가에 따른 점도

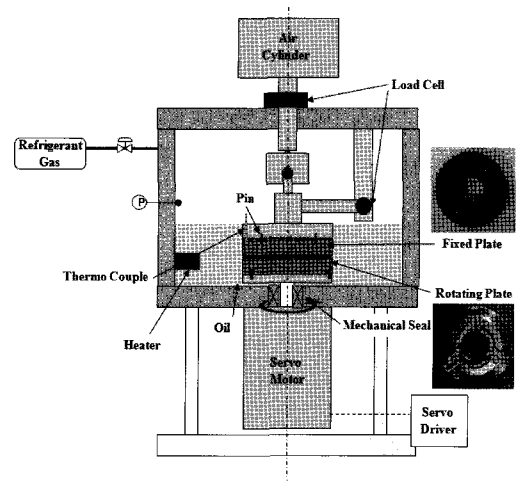


Fig. 2 Schematic apparatus of disk-on-disk tester for investigating the lubrication characteristics of oil.

Table 1. Test condition for disk-on-disk test

Base oil	Particle	Particle Fraction	Normal Load(N/cm ²)	Rotation Speed
PVE	C60	0.003, 0.037, 0.1 vol%	300~1500	1000 RPM

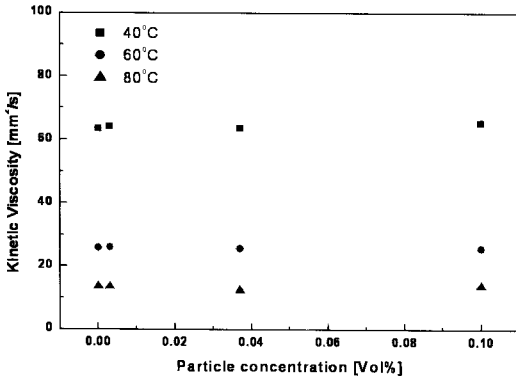


Fig. 3 Kinematic viscosity of raw oil and nano oil as a function of particle volume fraction.

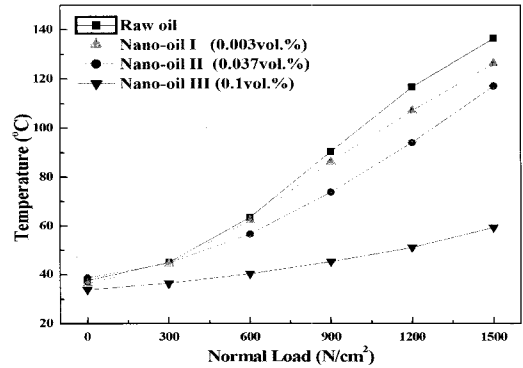


Fig. 5 Result of temperature as a function of the normal force using the disk on disk type tester.

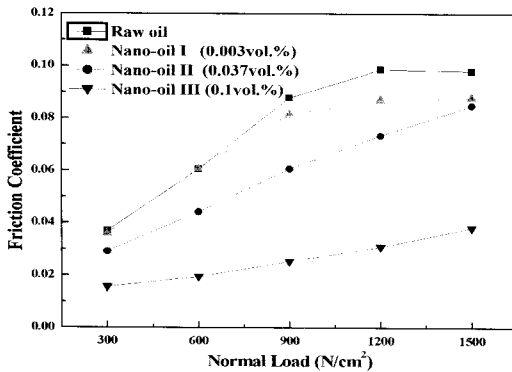


Fig. 4 Results of the friction coefficient as a function of the normal force using the disk on disk type tester.

영향은 미미할 것으로 판단된다.

Fig. 4는 Disk-on-disk Tester를 이용한 기존오일과 나노오일의 마찰계수 측정 결과를 나타내었다. 하중 300 N/cm²에서 기존오일의 평균 마찰계수는 0.037인 반면에 0.1 vol% 나노오일의 평균 마찰계수는 0.016으로 57% 가량 감소하였다. 그 이유는 나노오일 적용 시 유막이 유지되고 있는 마찰 표면에서 구형의 나노입자들이 롤링 역할을 하기 때문이다.⁽⁵⁾ 수직하중 1,500 N/cm² 조건에서 기존오일의 평균 마찰계수는 0.098인 반면에 입자분율 0.1 vol%인 나노오일의 평균 마찰계수는 0.038로 60% 가량 감소하였다.

하중이 증가함에 따라 마찰표면의 국부적인 재료간 마찰이 증가하게 되며, 나노오일의 경우 입자의 첨가에 의해 오일이 하중을 견디는 능력이 증가하여 이러한 재료간의 마찰현상을 저감함으로

써 마찰계수 저감효과가 나타나게 된다. 입자의 첨가에 따라 오일이 하중을 견디는 능력인 극압이 증가하는 것은 선행연구의 결과에도 잘 나타나 있다.⁽⁶⁾

Fig. 5는 Fig. 4의 실험동안의 마찰 표면 온도 변화를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 3,000N 조건에서 기존오일 시편의 평균 표면온도는 136 °C까지 상승하였다. 반면, 같은 조건에서 나노오일의 표면온도는 59 °C로 기존오일에 비해 57% 가량 낮게 유지되었다. 시간에 따른 온도 변화량은 Fig. 4의 마찰계수 값과 유사한 경향을 나타내고 있다. 같은 하중 조건에서 나노오일의 온도 상승폭이 작기 때문에 유체의 점도가 유지되면서 시편간의 마모를 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 이런 이유로 나노오일을 적용하면 윤활 측면에서 유리한 특성을 보일 것으로 예상된다.

Fig. 6은 마찰 시험 수행 후 시편의 표면을 각각 광학 현미경과 Atomic Force Microscope(AFM)를 이용하여 분석한 것을 나타낸다. 입자의 첨가에 따른 마찰/마모 특성을 명확하게 나타내기 위해 기존 오일과 입자 농도가 0.1 vol%인 나노오일을 적용했을 때 시편의 표면 특성을 분석하였다. Fig. 6(a)의 현미경 사진에서 좌우방향으로 난 흔적은 시편의 가공시 선삭에 의해 형성된 가공 흔적이며, 대각선 방향으로 형성된 것이 마모흔이다. 기존 오일을 적용했을때의 마모흔이 나노오일 적용 시 보다 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 6(b)의 AFM 분석에도 나타나듯이 기존 오일을 적용하여 마찰 시험을 수행한 시편에서 보다 깊고 뚜렷한 마모흔이 나타나는 것을 알 수 있다.

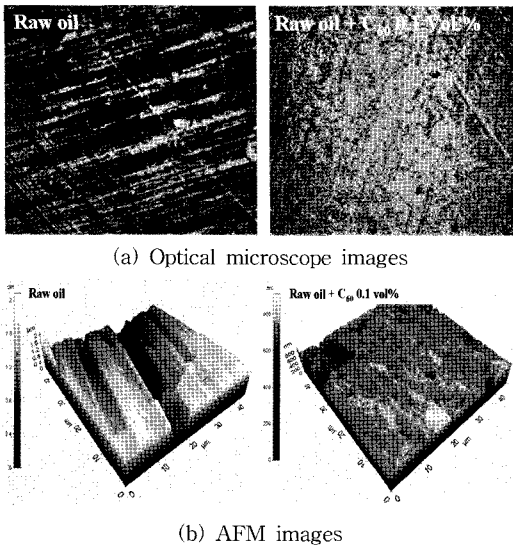


Fig. 6 Microscopic analysis of the specimen surface after the friction test.

이는 나노입자의 첨가에 따라 나노오일의 하중을 견디는 능력이 향상되고 따라서, 모재간의 마찰이 줄어 들고 또한 이로 인해 오일의 온도 상승이 상대적으로 낮아지면서 오일으로써 보다 우수한 윤활 특성을 나타냄을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 압축기에 주로 사용된 재질을 이용하여 시편을 제작하고 기존 오일에 Fullerene 나노입자를 첨가하였을 때의 윤활특성을 기존 오일과 비교하였다. 비교를 위해 Disk on Disk 형태의 마찰 시험기를 이용하여 시험을 수행하였으며, 하중의 변화에 따른 마찰계수 및 마찰온도를 분석하고, 시험이 끝난 후 시편의 표면을 분석하여 주요 마모상태를 비교 분석하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) Fullerene 나노입자의 체적 분율이 0.1 vol% 일 때 기존 오일에 비해 마찰계수가 최대 60% 감소하는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서, 압축기의 구동 조건에서 나노오일을 적용하게 되면 마찰 손실을 줄여 동력의 손실을 저감할 수 있을 것으로 기대된다.
- (2) 하중이 증가함에 따라 유막의 두께가 점점 얇아지고 이로 인해 모재간의 국부적인 마찰이 발생하면서 표면의 온도는 증가하게

되는데, 나노오일을 적용했을 때 온도의 상승은 기존 오일을 적용했을 때에 비해 57%나 낮게 나타났다. 마찰 부위의 온도 상승은 오일의 점도 저하를 야기시키고 이로 인해 표면의 마모가 증가하게 된다. 따라서, 나노오일의 적용에 따른 표면온도 상승폭의 저감은 실제 압축기 적용 시 압축기 습동부의 장기 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

- (3) 마찰 시험 후 시편의 표면 형상 비교 분석 시 나노오일을 적용한 시편의 표면이 기존 오일을 적용한 시편에 비해 표면이 더 매끈한 것을 관찰할 수 있었으며, 이는 선행연구에서 알려진 바와 같이 입자에 의한 오일의 극압이 향상됨으로써, 마모를 저감시킨 결과로 볼 수 있다. 특히 본 연구에서 적용한 조건은 재질을 스크롤 압축기의 Shaft, Thrust면에 주로 사용하는 재질을 사용하였고, 하중 조건 또한 선행연구에서 수행한 영역보다 고하중 영역에서 실험을 수행하였다. 결론적으로 압축기의 운전 영역을 모사할 실험 조건에서도 나노오일은 마찰 및 마모의 저감 효과를 보임을 알 수 있으며, 이러한 결과는 압축기 나노오일 적용 시 압축기의 주요 마모 부품의 신뢰성 및 내구성 증대에 이바지할 수 있을 것이라 기대된다.

참고문헌

1. Din, M. D. and Kassfeldt, E. 1999, Wear characteristics with mixed lubrication condition in a full scale journal bearing, *Wear*, Vol. 232, pp. 192-198.
2. 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.
3. Rapoport, L., Leshchinsky, V., Lvovsky, M., Nepomnyashchy, O., Volovik, Y. and Tenne, R., 2002, Mechanism of friction of fullerenes, *Industrial Lubrication and Tribology*, Vol. 54, pp. 171-176.
4. Ginzburg, B. M., Shibaev, L. A., Kireenko, O. F., Shepelevskii, A. A., Baidakova, M. V. and Sitnikova, A. A., 2002, Antiwear effect of full-

- erene C60 additives to lubricating oils, russian journal of applied chemistry, Vol. 75, No. 8, pp. 1330-1335.
5. Hsu, S. M., 2004, Nano-lubrication : concept and design, Tribology International, Vol. 37, pp. 537-545.
 6. Hwang, Y., Park, H. S., Lee, J. K., and Jung, W. H., 2006, Thermal conductivity and lubrication characteristics of nanofluids, Current Applied Physics, Vol. 6S1, pp. 67-e71.