

## 압축기 습동부 윤활 특성 향상을 위한 나노유체 특성 (열전도도, 분산성, 점도변화, 마찰거동)

김재욱\*, 박철민\*, 박중학\*\*, 박상하\*\*\*,#

\*금오공과대학교, \*\* (주)나노기술, \*\*\*대구기계부품연구원

### Characteristics of Nano-Fluid Improvement of Lubrication for Compressor Friction Parts

Jae-uk Kim\*, Cheol-min Park\*, Jung-hack Park\*\*, Sang-ha Park\*\*\*,#

\*Kumoh National Institute of Technology Mechanical Design Engineering, \*Kumoh National Institute of Technology Advanced Materials Engineering, \*\*Nano Technology Inc.

\*\*\*Daegu Mechatronics & Materials Institute

(Received 24 February 2017; received in revised form 16 March 2017; accepted 5 April 2017)

#### ABSTRACT

The 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-fluid with a mixture of a refrigerant oil and nano powders. The particle size distribution and oxidation stability of nano powders prepared by the electrical explosion method were analyzed by TEM and BET. It was found that the nanoparticles showed a spherical morphology with sizes ranging of 40–60 nm and were covered with graphite layers of 2–4 nm. The thermal conductivity of POE oil was 0.1–0.5W/mk higher than that of POE oil. The coefficient of friction of Cu-POE was found to be 0.1 higher than that of Al2O3. The cooling capacity of the heat pump with nanofluid increased to 3.67%, and the performance was improved by 5.83%.

**Key Words :** Lubrication Characteristics(윤활특성), Nano-Fluid(나노분말), Wear characteristic(마모특성), Lubricating Additives(윤활첨가제), Refrigeration Oil(냉동유)

#### 1. 서론

압축기는 에어컨, 냉장고 등의 냉·난방 사이클을 구성하는 핵심 요소로써, 냉·난방 사이클의 성능을 결정하는 매우 요한 요소이다. 따라서 시스템의 성능과 장기적인 신뢰성을 향상시키기 위해

서는 압축기 습동부의 마찰손실을 저감하고, 내마모 특성을 향상시켜 부품의 내구성 및 수명을 향상시키는 것이 매우 중요하다.<sup>[1,2]</sup>

따라서 압축기의 내구성 및 수명을 향상시키기 위해 윤활에 대한 관심이 커지고 있다. 이에 따라 여러 오일들의 마찰 및 마모 특성을 분석하여 마찰손실을 줄이기 위해 연구를 진행하고 있다.<sup>[3,4]</sup> 그 결과 여러 종류의 오일에 나노 입자를 첨가하여 윤활 특성을 향상시킨다는 내용의 연구결과가 발표되고 있다.<sup>[5,6]</sup>

# Corresponding Author : [shpark@dmi.re.kr](mailto:shpark@dmi.re.kr)

Tel: +82-53-608-2131, Fax: +82-53-608-2119

그러나 나노유체 의 분산안정성이 나쁠 경우 입자가 침전되고 내벽에 침착되는 상이 발생한다. 분산안정성은 입자와 유체의 계와 나노 유체의 제조 방법에 따라 상이하게 달라지므로 적용하는 나노유체활유의 분산안정성을 확보하는 것도 중요하다. 그래서 많은 나노유체 관련 연구들이 나노유체의 분산 안정성을 향상시키는데 초점을 두고 있으며, 특히 분산 안정성을 향상시킴으로써 나노유체의 열전도도를 향상시키는 연구들이 이루어지고 있다.<sup>[7]</sup>

따라서 본 연구에서는 전기폭발법을 이용해 제조된 구리기반의 나노입자의 물성평가, 구리입자를 첨가한 오일의 분산안정성 평가 및 기존오일에 나노입자 첨가에 따른 냉·난방 시스템의 성능의 변화를 살펴보았다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 나노분말 물성측정 방법

질산가스, 1.5atm 분위기 하에 와이어드iameter 0.4 mm 와이어드iameter 100~140mm 인가전압 24~27kV에서 전기폭발법(PWE)으로 제조된 나노분말을 투과전자현미경(TEM)관찰 및 BET SSA 측정으로부터 평균입도를 측정하였다. 이후 고농도 측정이 가능하고 기존의 DLS 방식보다 신뢰성이 높은 음파감쇠분광법(0~100db/cm in 1-100MHz)하여 입도분포를 관찰하였다 (Zeta-APS Matec Applied Sciences USA). 나노분말 크기 및 분포도를 관찰하기 위해 투과전자현미경(FE-TEM Tecnai G<sup>2</sup> F30 S-TWIN FEI) 장비를 사용하였으며, SmartLab Rigaku Japan 장비를 이용하여 산화안정도를 평가하였다.

### 2.2 나노유체 분산성, 점도 및 열전도도 측정 방법

새로 개발한 분산기술 Zet Mixer법은 기존의 방법인 4Piched paddle법 보다 높은 토출 압력과, 분쇄 분산에서 강한 전단력 가진다 Fig. 2. Zet Mixer법을 이용해 0.2wt% 나노분말을 분산시킨 증류수를 5분간 초음파 처리한 후 근적외선(800nm)투과 및 회절에 의한 분산성측정(Turbiscan AGS France)을 하였다. 분산상태를 정의하기 위해서 두 가지 변수를 고려하여 (식. 1)과 같이 나타내었다.



Fig. 1 Equipment of dispersion(Zet Mixer)

$$BS = \frac{1}{\sqrt{l^*}}, \quad l^* = \left[ \frac{2d}{3\Phi(1-g)Q_s} \right] \quad (\text{식. 1})$$

BS=Backscattering

g= asymmetry factor

Qs=scattering efficiency factor

d=diameter

Φ=concentration

l\*=Photon transport mean free path

나노유체(Cu-POE, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fiber-POE, POE Oil, Cu-광유, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-POE)를 점도계를 이용해 점도측정 (AST-M D1243)으로 측정하고, Cu-POE, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fiber-POE 나노유체의 열전도측정(ASM E1461)을 수행하였다.

### 2.3 나노유체 마찰거동 및 표면 거칠기와 냉난방 효율 평가

Fig. 2.과 같이 마찰거동 및 표면 거칠기 실험은 마찰마모 시험기(TE 77 AUTO Plint&partners)를 사용하여 100N하에 하중에 주파수 1Hz, 650분간 실험을 하였다. 냉난방효율 평가는 냉난방기 LPNZ1452 Whisen(정격 냉/난방 : 14.5kW / 15.7kW, 소비전력 : 6.0kW / 13.5kW)와 CP-405HX Carrier(정격 냉난방 능력 : 13kW / 15kW, 소비전력 : 4.3kW / 15kW)를 지속적으로 LPNZ1452(난방), CP-405HX(냉방) 가동한 후 전류측정기를 이용, 평균 전류값을 측정하고,



Fig. 2 Equipment of friction tester(TE 77 AUTO)

일정시간 가동 후 나노오일을 첨가하고 전류값을 재측정 해서 두 값을 비교하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 나노분말 물성측정 결과

Fig. 3은 구리분말의 TEM사진과 BET측정 결과를 보여준다. 전기폭발법을 이용해 제조된 구리입자의 평균입도가 58.4nm임을 알 수 있다. 또한 분말의 크기에 있어서 5~150nm사이에서 조절이 가능하다는 장점이 있어서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

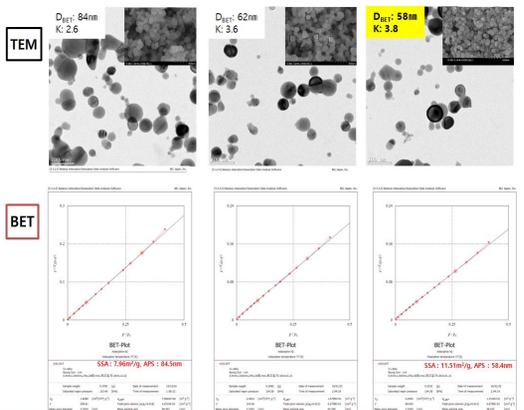
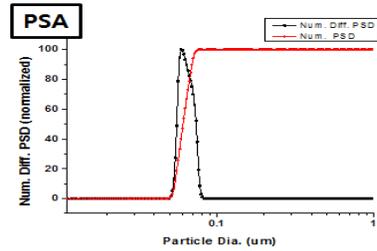


Fig. 3 Image of TEM & BET analysis



	25.00 %	50.00 %	75.00 %	85.00 %	95.00 %	FWHH
Dia	0.05392	0.0609	0.0662	0.0682	0.0715	0.0184

D25 : 53.9nm  
D50 : 60.1nm  
D95 : 71.5nm

Fig. 4 Result of powder size analysis

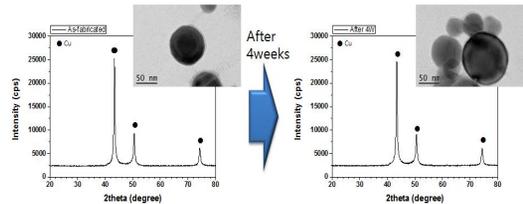
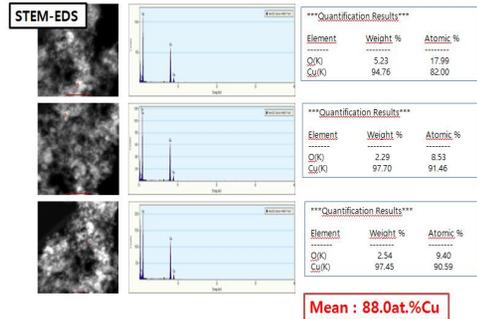


Fig. 5 Result of by STEM-EDS & XRD analysis

Fig. 4는 제조된 나노 분말의 입도분포를 나타낸다. 분포는 60.1nm의 입자가 분포의 50%를 차지하고 그래프에서 비교적 고른 입자분포를 가지는 것으로 보여진다.

Fig. 5는 나노분말의 순도와 산화안정성 평가를 수행하였으며, 분말제조 4주후에도 산화안정성을 유지하고 있는 것을 확인하였다. 나노유체 활용을 위해 고순도의 나노분말을 획득할 수 있었다.

### 3.2 분산성, 점도 및 열전도도 측정 결과

Fig. 6은 Zet Mixer법으로 제조된 나노유체의 분산안정성이 우수한 결과를 보여준다. 높은 토출압력과 강한 전단력으로 인해 분산효과가 있는 것으로 확인되었다. Table 1은 나노분말 종류에 따른 제타전위를 보여주고 있다. Cu분말의 경우, 제타전위(Zeta-Potential)의 절대값이 29.2mV 측정되었으며, 이는 다른 나노분말 보다 분산안정성이 우수한 결과를 보여준다.

Fig. 7은 나노유체의 열전도도와 온도에 따른 점도를 그래프로 보여주고 있다. 열전도도는 기존의 POE Oil(기존유체) 보다 나노유체가 0.1~0.5W/mk 정도 더 높은 것을 볼 수 있다. 열전도도 측정결과는 Cu-POE Oil이 다른 나노유체보다 우수한 결과를 확인하였다.

### 3.3 마찰거동 및 표면 거칠기 측정 결과

Fig. 10은 각각의 오일 (a)POE Oil, (b)Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c)Cu의 마모시험 결과를 나타낸다. 구리+POE 나노유체의 경우 낮은 마찰계수와 오일탄화면의 Ra조도가 0.08um이며, 구리나노분말의 마찰계면 흡착으로

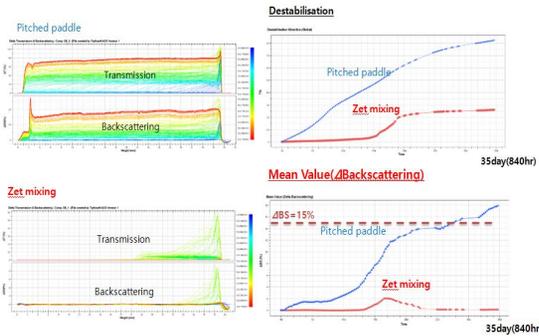


Fig. 6 Result of dispersion stability

Table 1 Zeta potential analysis of nano-fluid

	Cu	Cu-Ni	C-Cu-Ni	TiO <sub>2</sub>
1	28.2	20.8	19.9	2.56
2	30.3	21.0	20.3	3.26
3	29.0	21.4	21.2	3.43
mean	29.2	21.0	20.5	3.08

(mV)

상대적인 결과를 획득하였다.<sup>[8]</sup> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-POE의 경우 마찰계수가 0.1정도 감소한 것을 볼 수 있으나 Cu-POE의 경우 오히려 마찰계수가 0.1상승한 것을 볼 수 있다.

### 3.4 냉방효율 측정

Table 2의 냉난방 표준시험은 CP-503AXbKP, 냉매 R22 4.2kg, 오일 1.5L 실험조건으로 KRAAC(냉동공조인증센터) 시험분석 결과입니다. 나노오일 첨가된 컴프레사의 평균 전류량 4.6% 감소하였으며, 냉방능력의 경우 10,885W에서 11,285W로 3.67%의 증가를 보였다. 성능은 5.83%의 향상된 것으로 측정되었다.

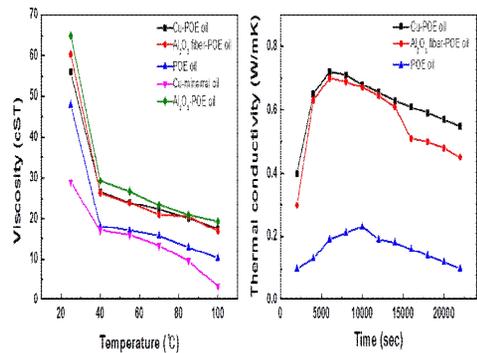


Fig. 7 Thermal conductivity and viscosity of nano-fluid

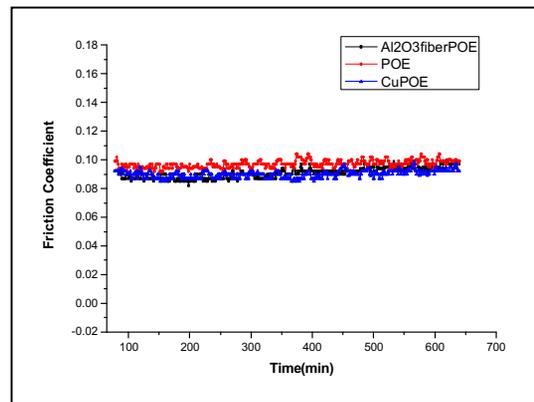


Fig. 8 Coefficient of friction of nano-fluid

**Table 2 Result of energy efficiency measurement**

		POE Oil	Nano Oil	rate
power consum ption	total	4,736W	4,641W	2.01%
	other	480W	480W	0
	compre- ssor	4,256W	4,161W	2.23%
Cooling capacity		10,885W	11,285W	3.67%
EER		2.298	2.432	5.83%

#### 4. 결 론

본 연구에서는 압축기의 수명 및 효율을 향상시키기 위해 사용되는 나노분말이 첨가된 오일을 개발을 목적으로 전기폭발법으로 제조된 나노분말의 물성 평가 및 기존오일에 나노분말을 분산시킨 나노유체의 물성을 평가하였다. 그리고 직접 냉난방기에 기존오일과 나노오일을 사용하여 효율을 비교해보았다. 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 전기폭발법으로 제조된 나노분말을 물성은 평균입도 58.4nm의 크기를 얻었으며 산화안정성이 4주 이상 유지되는 것을 확인 하였으며 분산성이 우수한 나노유체를 제조하였다.

(2) Cu-광유 나노유체의 열전도도는 기존의 POE Oil보다 0.1~0.5W/mk 정도 우수한 결과를 확인하였으며, 마찰계수의 경우는 Cu-POE보다  $Al_2O_3$ -POE가 약 0.2 더 낮은 것을 볼 수 있었다.

(3) 에너지효율 측정결과 기존오일(POE) 보다 나노분말이 분산된 유체가 사용된 경우 소비전력 2.23% 감소, 냉방능력 3.67%증가, 성능 5.83%의 증가를 보여 주었다. 나노유체의 시스템적용과 상품 다각화 추진이 가능할 것으로 사료된다.

#### 후 기

“이 논문은 2015년도 경제협력개발기구 산하 산업융성사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

#### REFERENCES

1. Kim, S. C., Kim, K. M., Hwang, Y. J., Park, Y., D., Lee, J., K., "Study on Improvement of Lubrication Characteristics for the Material of Compressor Friction Parts with Nano-oil," J. Korean Soc. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 10, pp. 559-563, 2009.
2. Kim, S. H., Jang, G., C., Lee, C., W., "Development and Evaluation of Dry Lubricant Recycle Technologies for Wire Drawing Process," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 2, pp. 35-40, 2014.
3. Drost, R. T., Quesada, J. F., "Analytical and Experimental Investigation of a Scroll Compressor Lubrication System," Proc. of International Compressor Engineering Conference, Paper 846, 1992.
4. Park, T. J. and Jo, J. C., "Lubrication Characteristics of Surface Textured Parallel Thrust Bearing-Effect of Bearing Speed," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 597-598, 2010.
5. Ku, B. C., Han, Y. C., Lee, J. E., Lee, J. K., Park, S. H. and Hwang, Y. J., "Tribological Effects of Fullerene Nanoparticles Added in Mineral Lubricants According to its Viscosity," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 11, No. 4, pp. 607-611, 2010.
6. Liu, G., Li, X., Lu, N. and Fan, R., "Enhancing AW/EP Property of Lubricant Oil by Adding Nano Al/Sn Particles," Tribology Letters, Vol. 18, No. 1, pp. 85-90, 2004.
7. Yu-jin Hwang and Jae-hong Park and Hong-suk Kim "A Study on Thermal Conductivity Characteristics of Nanofluids," Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference of Society

of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea, pp.162~167, 2015.

8. Cho, H., J., Cho, Y., I., Cho, S., W., Lee, J., K., Park, M., C., Kim, D., J., Lee, K., H., "Performance Evaluation of Nano-Lubricants at Thrust Slide-Bearing of Scroll Compressor," Journal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 29, No. 1, pp. 121-125, 2012.