

## CO<sub>2</sub> 냉동시스템용 PAG오일과 POE오일의 항흡습성에 관한 실험적 연구

이 성 광, 강 병 하<sup>\*†</sup>

국민대학교 대학원, \*국민대학교 기계자동차공학부

### An Experimental Study on Non-hygroscopic Property of PAG and POE Oils for a CO<sub>2</sub> Refrigeration System

Sung Kwang Lee, Byung Ha Kang<sup>\*†</sup>

Graduate School, Kookmin University

<sup>\*</sup>School of Mechanical and Automotive Eng., Kookmin University

(Received October 3, 2007; revision received May 14, 2008)

**ABSTRACT:** This study has been conducted to select the suitable refrigeration oil for a CO<sub>2</sub> refrigeration system. Non-hygroscopic property of refrigeration oils is one of the most important properties for refrigeration oils. PAG and POE oils are considered as test oils in this study. Transient variation of water content of PAG and POE oils was measured for 3 different vessels in the environmental conditions, such as in the range of temperature 25°C to 40°C and relative humidity 40% to 85%. The results obtained that water content of both POE and PAG is increased with an increase in the contact area with ambient for 3 different vessels. It is also found that water content of both POE and PAG is increased as the ambient temperature and relative humidity is increased. Non-hygroscopic property of POE oil is found to be much superior than that of PAG oil.

**Key words:** Refrigeration oil(냉동기유), PAG(Poly Alkylene Glycol), POE(Polyol Ester)  
Non-hygroscopic property(항흡습성), Relative humidity(상대습도)

#### 1. 서 론

냉동기유는 압축기의 접촉부위에 공급되는 윤활유이다. 냉동기유는 압축기의 베어링이나 실린더와 피스톤 사이에서의 마모를 감소시키는 윤활작용을 하는 역할 외에 마찰에 의해서 발생하는 열을 흡수하는 냉각작용, 축봉장치나 피스톤링 등의 밀봉작용, 녹의 발생을 막는 방청작용 등을 함으로

서 압축기가 원활히 작동하게 하는 역할을 한다. 냉동기유는 냉매에 용해된 체로 전 사이클을 냉매와 함께 순환하기 때문에 냉동기유의 경우는 냉매의 상태 변화에 따라 그 온도가 크게 변하게 되는데, 이 때 화학적으로 분해되지 않아야 된다. 특히 밀폐형 압축기에 사용하는 냉동기유는 전기가 전도되지 않아야 되는 등 특별한 성질이 요구된다. 또 저온으로 운전되는 증발기내에서는 냉동기유도 저온이 되므로, 이 때 냉동기유 속에 포함되어 있던 왁스가 석출되어 증발기내에서 유동하기 어렵게 될 수도 있으므로, 사용하는 냉매나 장치 등에 따라 적절한 냉동기유를 선정하여야 한다.<sup>(1)</sup>

† Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4681; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: bhkang@kookmin.ac.kr

Table 1 Types of the lubricant oil

Mineral oil	Naphthenic
	Paraffinic
Synthetic oil	Alkyl Benzene (AB)
	Poly Alpha Olefin (PAO)
	Poly Alkylene Glycol (PAG)
	Polyol Ester (POE)
	Poly Vinyl Ether (PVE)

냉동기유 선정 기준은 오일이 냉매에 적절히 용해되어야 하며 냉매와 오일은 전체 운전온도 및 압력에서 서로 상용성을 가져야 한다. 상용성이란 냉매와 오일이 용화하는 성질이다. 또한 윤활과 유동이라는 두 가지 조건을 만족하는 점성을 가져야 하며 압축기의 특성 및 오일이 노출되는 환경을 고려해야 한다.<sup>(2)</sup>

냉동 시스템에서 오일은 항상 냉매와 접촉하여 혼합된다. 따라서 오일의 비중, 점도, 인화점, 유동점, 항흡습성 및 절연성 등 물리적 특성들에 대한 파악이 필요하다. 냉매용 오일의 종류는 광유와 합성유로 나누며 그 종류는 Table 1과 같다. 기존 냉매인 CFC 계열과 HCFC 계열 냉매에는 일반적으로 광유를 사용하며, HFC 계열과 혼합냉매에는 합성유가 사용된다.<sup>(3)</sup>

최근에 환경문제가 대두되면서 냉동 산업에서는 HFC냉매를 대체할 CO<sub>2</sub> 냉매에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다. CO<sub>2</sub> 냉매에 대한 냉동기유로서 POE오일, PAG오일 같은 합성유 오일이 거론되고 있다.<sup>(4)</sup>

POE오일의 일반적인 타입은 Neopentyl Alcohols와 Carboxylic Acid에 의해서 제조된다. POE오일은 CO<sub>2</sub>와의 상용성이 좋으나, 용해성과 불안정성이 높아 점성이 낮아지는 단점을 가지고 있다. PAG오일은 Ethylene Oxide 또는 Propylene Oxide로부터 얻는다. PAG오일은 윤활성이 좋고 낮은 온도에서 유동성이 좋으며, 대부분의 합성고무와 친화성이 좋다.

냉동기유의 공업규격은 1종(개방용형)과 2종(밀폐형 및 반밀폐형)으로 구분되어 있으며, 각각의 ISO점도 등급을 8종류씩 규격화하고 있다. 냉동기유의 등급에 따라 동점도, 색, 인화점, 유동점의 규격은 다르나 수분 함유량은 50 ppm 이하여야 한다.<sup>(5)</sup>

냉동 시스템 내에 수분이 많이 혼입하면 냉동기유나 압축기 모터 등에 사용되고 있는 유기재료가 가수분해하고, 캐필러리가 막히거나 압축기 등이 절연 불량 되는 원인이 된다. 따라서 가능한 한 수분량을 적게 하는 것이 좋고, 분자체등의 건조제로 탈수할 필요가 있다.

냉매계통에 수분이 들어가는 원인 중에는 충전한 오일에 수분이 함유되어 있는 경우가 있다. 개봉을 한 직후의 새 냉동기유는 수분이 거의 함유되어 있지 않지만 개봉 후 그대로 방치해 두면 공기중의 습기를 흡수하여 냉동기유의 함유량이 점점 증가하므로 주의해야 한다. 특히 합성유에는 이 성향이 강한 것이 있으므로 오일 관리에 세심한 주의를 기울여야 한다.

오일의 수분 흡습량을 측정하는 방법에는 Karl-Fischer법이 주로 사용된다.<sup>(6)</sup> Karl-Fischer법의 원리는 시료에 존재하는 수분은 건조된 메탄올에 흡수되고, 그 흡수량을 Karl-Fischer기기를 통해서 측정한다. Fukui et. al.<sup>(7)</sup>은 냉동기유로 사용되는 PAG오일과 POE오일의 상대습도 70%, 온도 25℃에서의 수분 흡습량을 Karl-Fischer법을 사용하여 측정하였다. PAG오일과 POE오일 모두 실험 초기에는 급격하게 수분을 흡습함을 보였고, POE오일은 30분후 200 ppm, 1시간 후 300 ppm의 수분 흡습량을 보였다. 선행연구는 상대습도 70%, 온도 25℃에서 실험이 수행되었다. 하지만 실제로 냉동기유를 사용할 때는 공기와의 접촉면적과 외기의

Table 2 Typical properties of PAG oil and POE oil

Items	PAG oil	POE oil
Company	CPI engineering	MOBIL
Model	RPAG-00	EAL Arctic 100
Specific gravity at 15℃ (kg/l)	1.039	0.96
Pour point (℃)	-30	-30
Flash point (℃)	190	254
Viscosity at 40℃ (cSt)	101.68	105.0

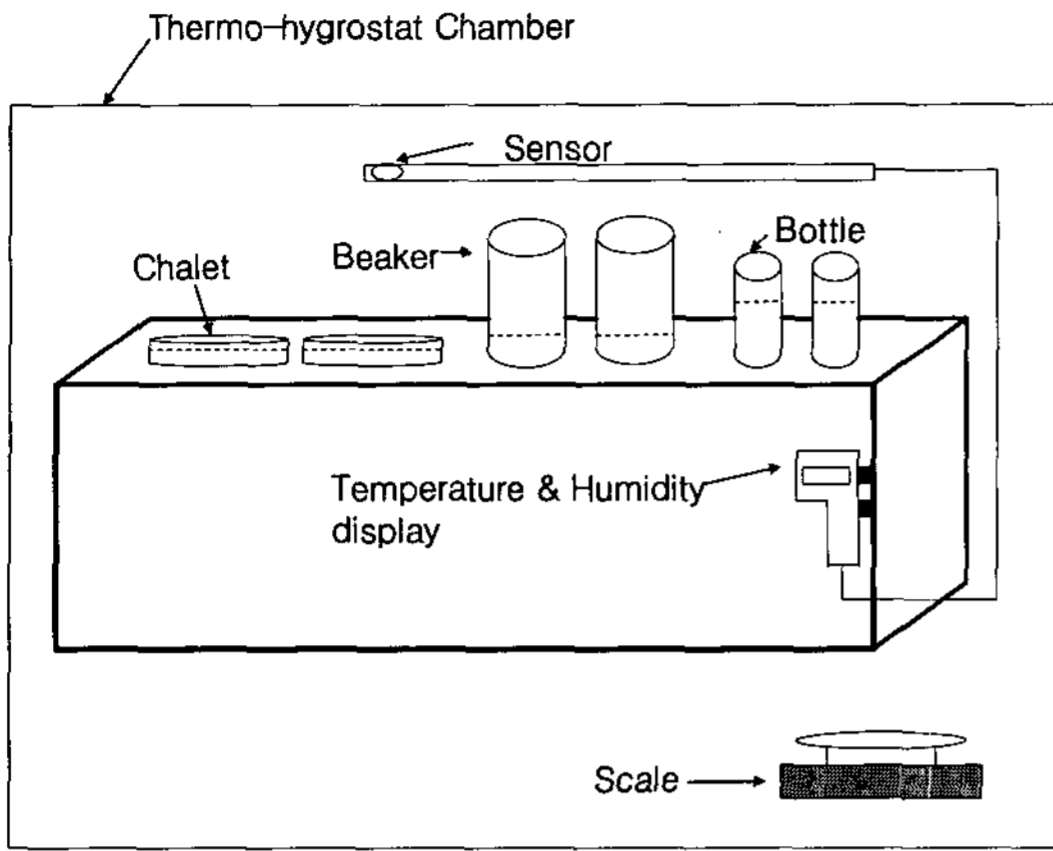


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus of non-hygroscopic property of POE & PAG oils.

온도 및 습도에 따라서 수분 흡습량은 달라진다.

따라서 본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 냉동시스템의 냉동기유로 사용되고 있는 오일 중 PAG오일과 POE오일에 대하여 다양한 조건에서의 항흡습성 실험을 수행하고 각 오일의 특성을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

오일의 접촉면적에 따른 수분 흡습량을 측정하기 위해 용기는 직경이 117.8 mm 샬레, 68.5 mm 비커, 20.9 mm 병을 사용하였다. 냉동기유로는 PAG 오일과 POE오일을 선택하였고, 질량은 정확도가 ±1 mg인 저울(Precisa사 XB920 모델)을 이용하여 측정하였다. 흡습성 실험은 온도와 상대습도를 조절할 수 있는 항온항습 챔버 안에서 실험을 수행하였다. Table 2는 본 연구에서 사용한 PAG오일과 POE오일의 물성치를 나타내었다.

PAG오일과 POE오일의 수분 흡습량을 측정하기 위하여 시간의 변화에 따른 오일의 수분 흡습량을 측정하였다. Fig. 1은 항흡습성 실험장치의 개략도이다. 항온항습 챔버의 온도를 25 °C±1, 상대습도를 70%±2로 유지시키고 PAG오일과 POE오일을 각각의 용기에 50 g씩 주입시킨 다음 항온항습 챔버에 넣고 시간의 변화에 따른 오일의 수분 흡습량을 저울을 이용해서 측정하였다. 또한 항온항습 챔버의 온도를 25 °C±1로 유지시키고 상대

습도를 40%~85%±2로 증가시키면서, 상대습도를 70%±2로 유지시키고 온도를 25 °C~40 °C±1로 증가시키면서 PAG오일과 POE오일을 비커에 50 g씩 주입시킨 다음 항온항습 챔버에 넣고 시간의 변화에 따른 오일의 수분 흡습량을 저울을 이용해서 측정하였다. 측정은 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 4시간, 5시간 후 총 6회 측정하였다. 항온항습 챔버 내의 온도 및 상대습도를 측정하기 위해서 온도 및 습도센서를 설치하였다.

3. 실험결과 및 고찰

POE오일의 각각의 용기에서 온도가 25 °C±1, 상대습도가 70%일 때 시간 경과에 따른 수분 흡습량을 Fig. 2에 나타내었다. 실험이 시작된 후 5시

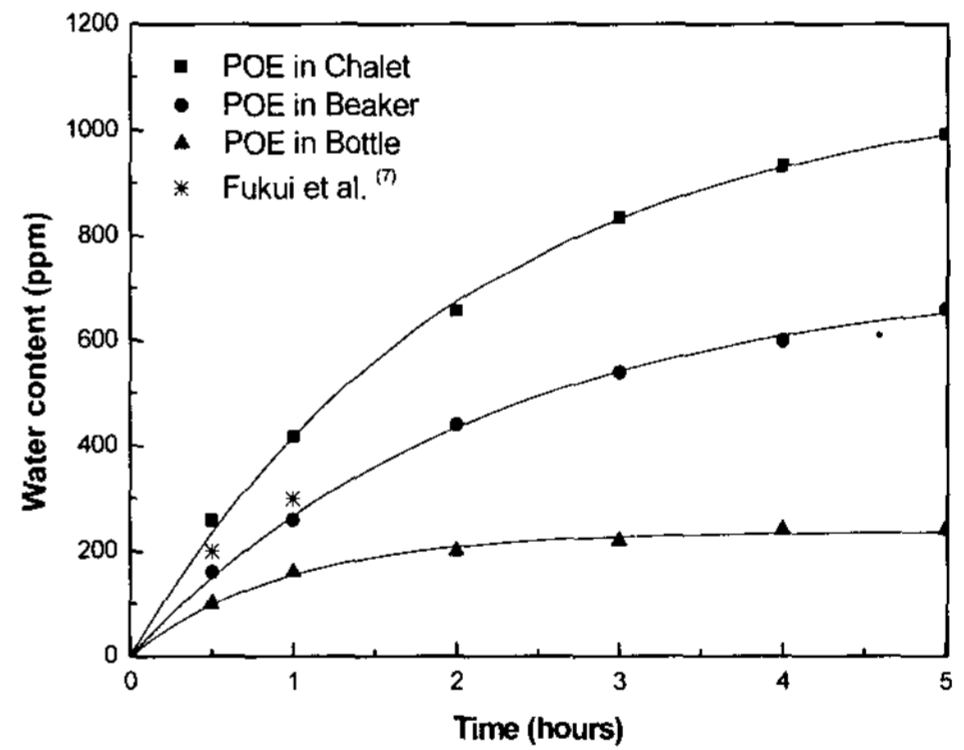


Fig. 2 Transient variation of water content of POE oil for vessels at 25 °C and RH 70%.

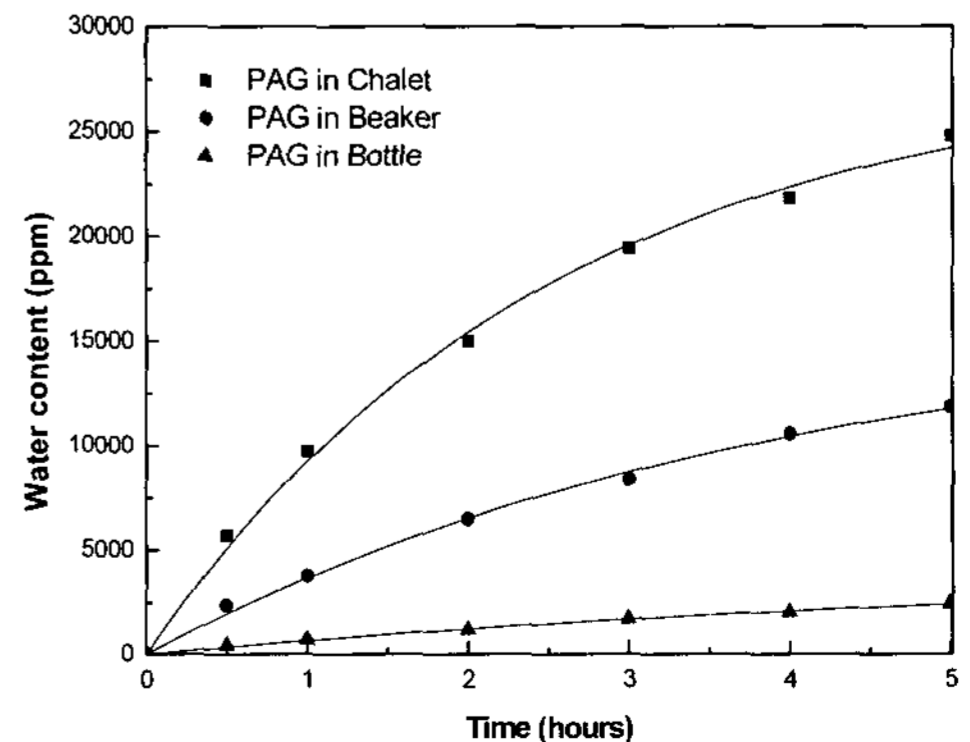


Fig. 3 Transient variation of water content of PAG oil for vessels at 25 °C and RH 70%.

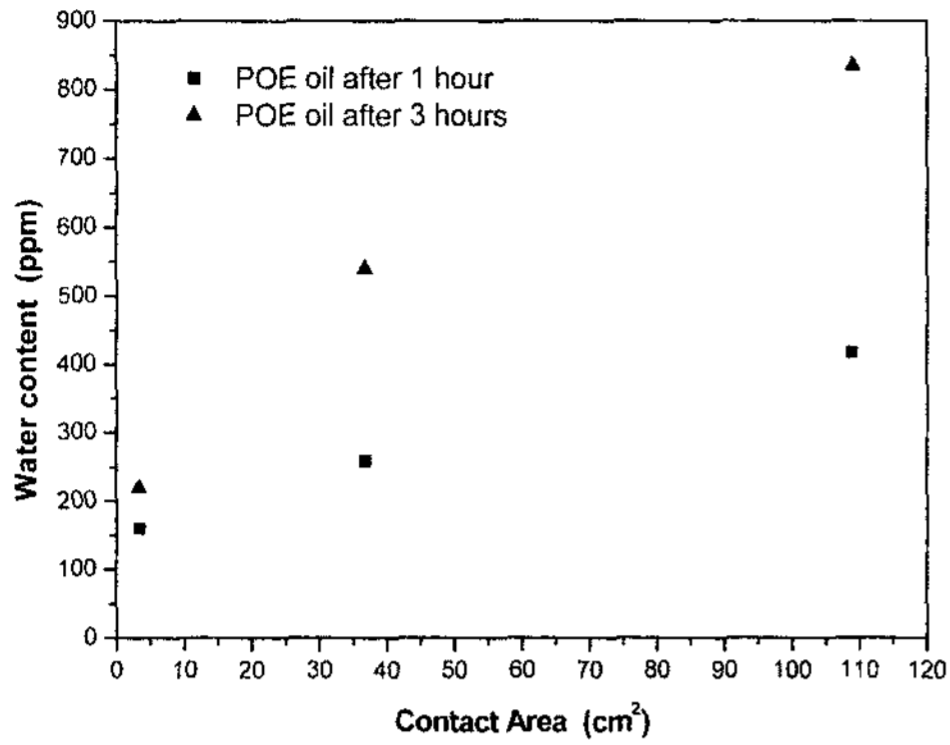


Fig. 4 Effect of contact area on water content of POE oil at 25 °C and RH 70 %.

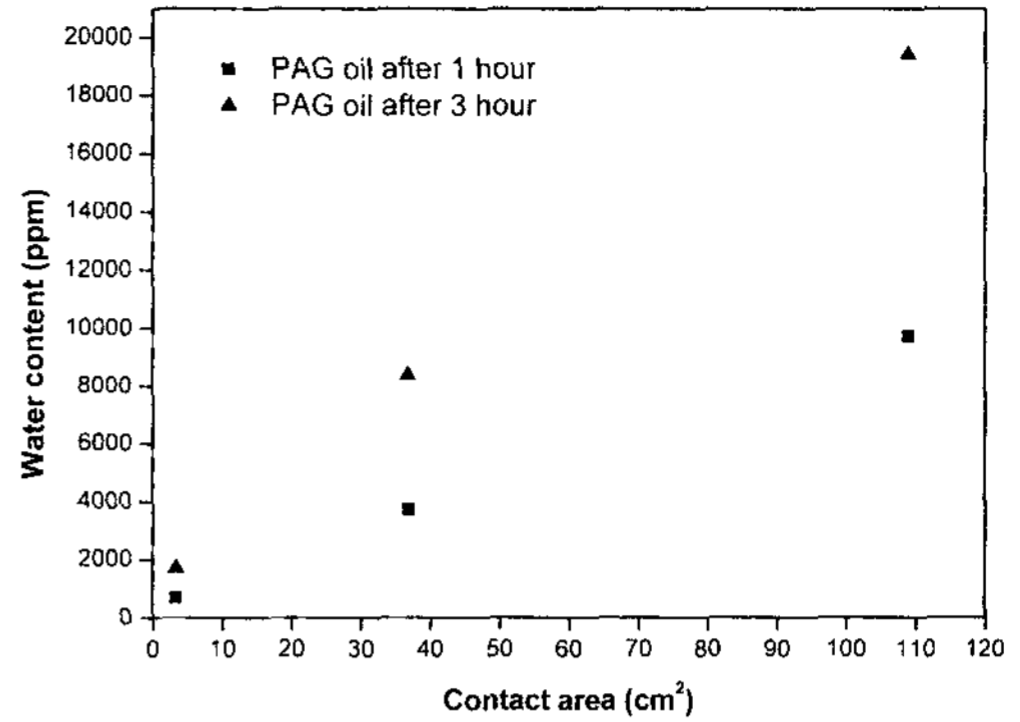


Fig. 5 Effect of contact area on water content of PAG oil at 25 °C and RH 70 %.

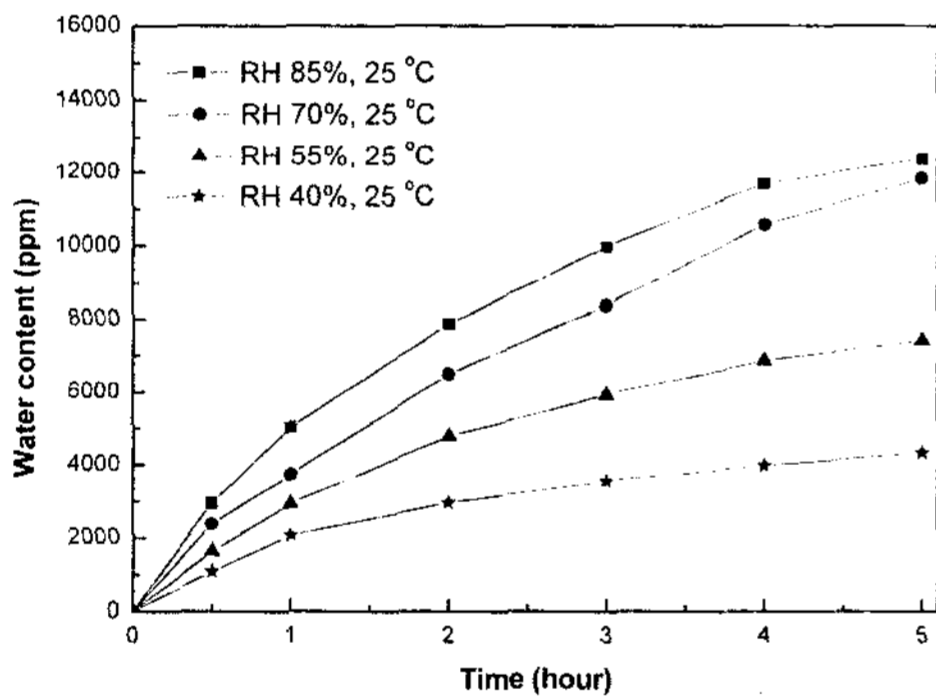


Fig. 6 Transient variation of water content of PAG oil for various relative humidities at ambient temperature 25 °C.

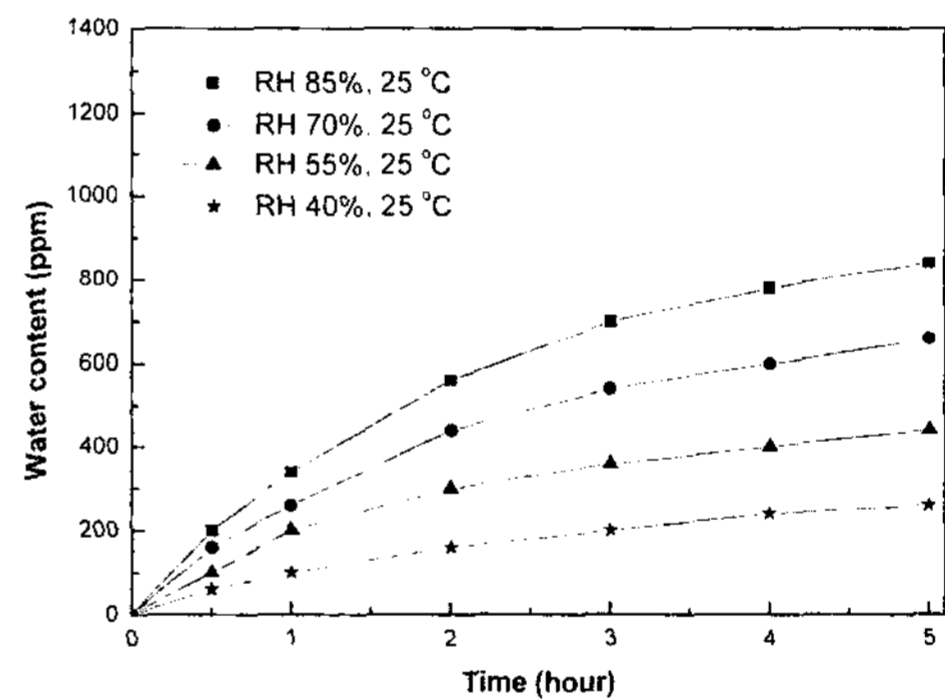


Fig. 7 Transient variation of water content of POE oil for various relative humidities at ambient temperature 25 °C.

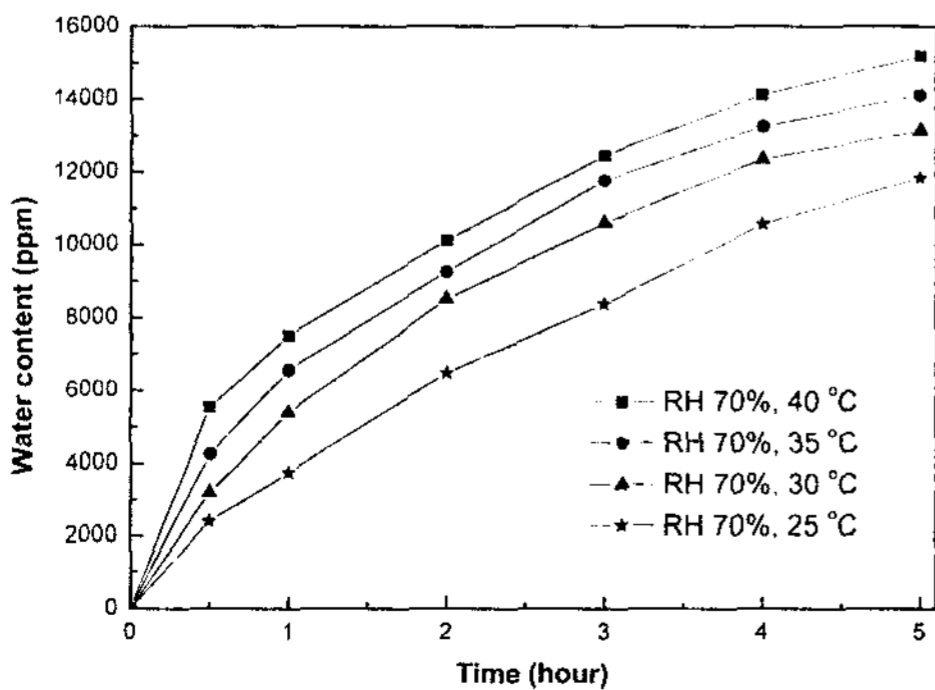


Fig. 8 Transient variation of water content of PAG oil for various temperatures at relative humidity 70 %.

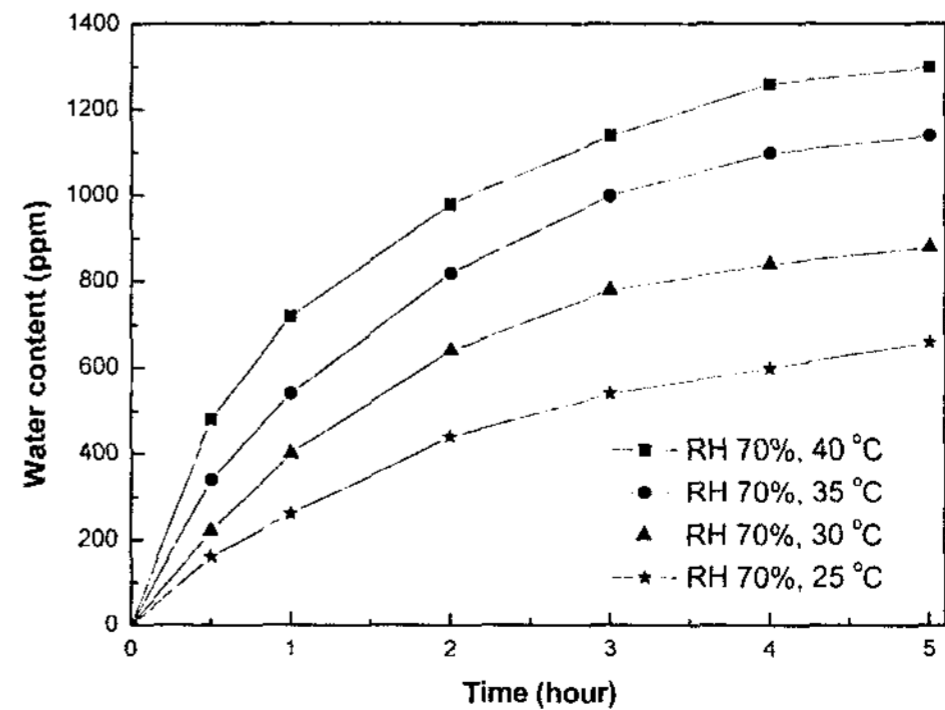


Fig. 9 Transient variation of water content of POE oil for various temperatures at relative humidity 70 %.

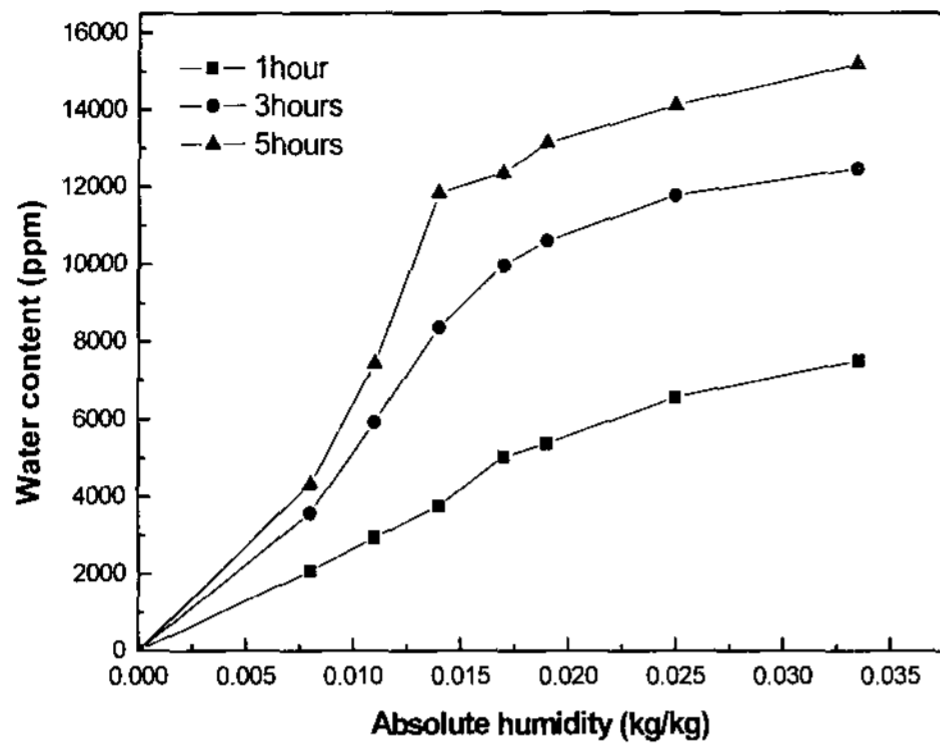


Fig. 10 Effect of absolute humidity on water content of PAG oil.

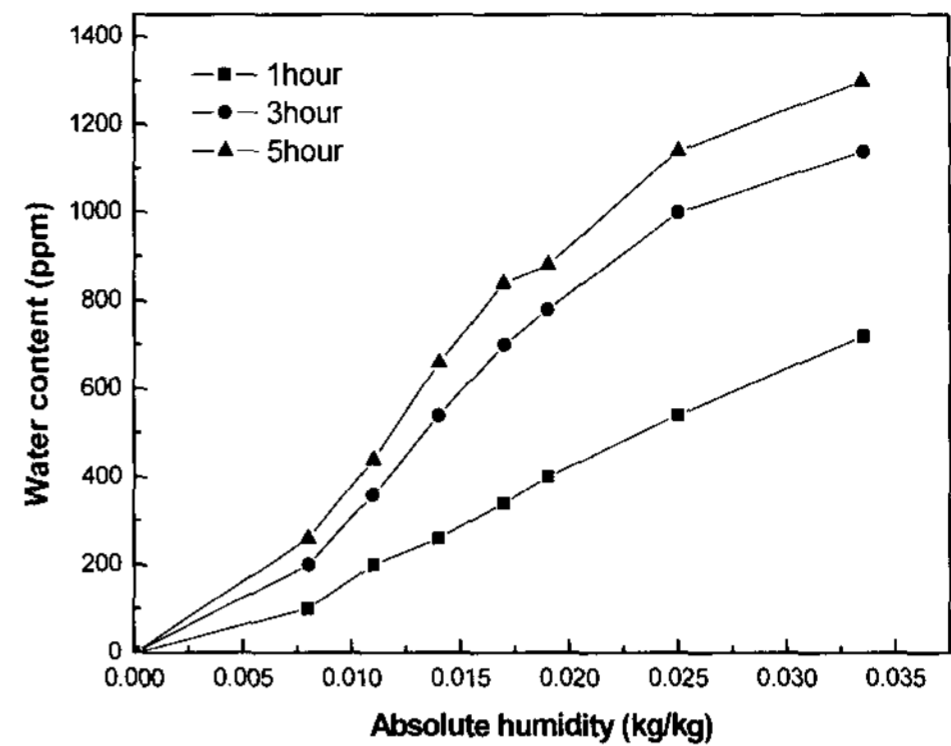


Fig. 11 Effect of absolute humidity on water content of POE oil.

간 동안 살레는 993 ppm  $\pm$ 2.0 %, 비커는 659 ppm  $\pm$ 3.0 %, 병은 240 ppm  $\pm$ 8.3 %의 수분을 흡수하였다. Fukui et al. 의 실험 결과와 본 실험을 비교해보면, 용기가 비커일 때 수분 흡습량이 Fukui et al.의 실험결과와 비슷함을 알 수 있다. PAG오일의 각각의 용기에서 온도가 25  $^{\circ}$ C  $\pm$ 1, 상대습도가 70 %일 때 시간 경과에 따른 수분 흡습량을 Fig. 3에 나타내었다. 실험이 시작된 후 5시간 동안 살레는 24780 ppm, 비커는 11835 ppm, 병은 2439 ppm의 수분을 흡수하였다. PAG오일의 흡습량은 POE오일의 흡습량과 비교해보면 살레 25배, 비커 18배, 병 10배로 큰 차이를 보였다. 이 결과로부터 POE오일이 PAG오일보다 항흡습성이 우수함을 확인할 수 있었다.

POE오일의 공기 접촉면적에 대한 수분 흡습량을 Fig. 4에 나타내었다. POE오일은 실험이 시작된 후 3시간 동안 접촉 면적이 3.43  $\text{cm}^2$ 에서 219 ppm  $\pm$ 9.1 %, 36.85  $\text{cm}^2$ 에서 539 ppm  $\pm$ 3.7 %, 108.95  $\text{cm}^2$ 에서 834 ppm  $\pm$ 2.4 %의 수분을 흡수하였다. PAG오일의 공기 접촉면적에 대한 수분 흡습량을 Fig. 5에 나타내었다. PAG오일은 실험이 시작된 후 3시간 동안 접촉 면적이 3.43  $\text{cm}^2$ 에서 1699 ppm, 36.85  $\text{cm}^2$ 에서 8368 ppm, 108.95  $\text{cm}^2$ 에서 19412 ppm의 수분을 흡수하였다. 이 결과로부터 공기와 접촉 면적이 작을수록 항흡습성이 우수함을 확인할 수 있었다. POE오일의 경우는 수분 흡습량이 적어 측정오차가 크게 나타났지만, PAG오일의 경우는 수분 흡습량이 많아 측정오차가 1 % 이내로 나타났다.

PAG오일과 POE오일의 상대습도에 대한 수분 흡습량을 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 온도는 25  $^{\circ}$ C로 일정하게 유지시키고 상대습도를 증가시키기에 따라, PAG오일과 POE오일 모두 수분 흡습량이 증가함을 보였다. PAG오일과 POE오일의 온도에 대한 수분 흡습량을 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 상대습도는 70 %로 일정하게 유지시키고 온도를 증가시키기에 따라, PAG오일과 POE오일의 수분 흡습량은 증가함을 보였다. 습공기 선도에서 실내온도와 상대습도를 이용하여 절대습도를 구하고 절대습도에 따른 PAG오일과 POE오일의 수분 흡습량을 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 10과 Fig. 11을 이용하여 외기의 절대습도를 알면, PAG오일과 POE오일의 수분 흡습량을 구할 수 있다.

#### 4. 결 론

CO<sub>2</sub> 냉동시스템에 사용되는 PAG 및 POE오일에 대하여 항흡습성 실험을 수행하였다. 항흡습성 실험이 실행된 후 5시간 동안 수분 흡습량은 두 오일 모두 증가하는 경향을 보였다. 동일시간에서는 두 오일 모두 공기와 접촉 면적이 증가하면 오일의 수분 흡습량이 증가하였다. 또한 PAG오일과 POE오일 모두 상대습도 또는 외기온도가 증가함에 따라 수분 흡습량이 증가하였다. 냉동기유에 사용될 경우 PAG오일보다 항흡습성 측면에서 POE오일이 더 우수함을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 차세대 신기술 개발 사업 중 '환경친화적 자연냉매인 CO<sub>2</sub>를 적용한 고효율 냉방시스템 개발' 과제의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. ASHRAE, 1998, Lubricants in refrigerant system, ASHRAE Handbook, Refrigeration, SI ed., Ch. 7, pp. 1-24.
2. Choi, H. S., 2004 An Experimental Study on Miscibility and Vapor Pressure of R-744/Oil Mixtures, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 2, pp. 150-157.
3. Song, J. S., Kim, C. N. and Park, Y. M., 2000, Measurement of solubility and miscibility of R-410A/POE oil mixture, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 209-217.
4. Sun, J. K., Chae, S. N. and Jung, D. S., 2002, Effects of Refrigerant and Oil Charges on the Performance of an Refrigeration System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 8, pp. 617-625.
5. Korean Industrial Standards, 2002, Refrigerating machine oils, Korean Standards Association, KS M2128.
6. Korean Industrial Standards, 2003, Essential oils-Determination of water content-Karl Fischer method, Korean Standards Association, KS H ISO 11021.
7. Fukui, H., Sanechika, K. I. and Ikeda, M., 2000, Novel refrigeration lubricants for use with HFC refrigerants, Tribology International, Vol. 33, No. 10, pp. 707-713.