

R-744/오일 혼합물의 상용성 및 증기압에 관한 실험적 연구

최희성, 강병하*, 박경근*, 김석현*

국민대학교 대학원, *국민대학교 기계·자동차공학부

An Experimental Study on Miscibility and Vapor Pressure of R-744/Oil Mixtures

Hee Sung Choi, Byung Ha Kang*, Kyoung Kuhn Park*, Sukhyun Kim*

Graduate School, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

*Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received September 24, 2003; revision received December 23, 2003)

ABSTRACT: Carbon dioxide (CO₂, R-744) has become a very popular issue in application to refrigeration and air conditioning systems as a natural refrigerant. An experimental study has been carried out to investigate miscibility and the vapor pressure of refrigerant R-744 in the presence of lubricant oil. This is of particular interest in the selection of the lubricant oil for the compressor of a refrigeration system or an air conditioning system using the refrigerant R-744. The experimental set-up consists of the equilibrium cell, measuring devices, the vacuum pump, the constant temperature bath and relevant connecting pipes made of stainless steel. Five lubricant oils, such as mineral oil (Naphthenic), AB (Alkyl Benzene) oil, PAO (Poly Alpha Olefin) oil, PAG (Poly Alkylene Glycol) oil and POE (Polyol Ester) oil are considered in the present study. Test runs were conducted with the oil concentration range from 5 to 50 wt%, and the temperature range from -10 to 10°C with 2°C intervals. The miscibility results are visualized and correlated with the vapor pressure for the individual test components.

Key words: Miscibility(상용성), Vapor pressure(증기압), R-744(이산화탄소), Refrigerant oil(냉매오일)

1. 서론

산업이 발달하면서 인류문명도 발전하여 향상된 질의 삶을 추구할 수 있게 된 반면에 지구환경이 빠른 속도로 오염되어 큰 충격을 주고 있다. 이러한 지구환경 문제들 중 인류 생존에 지대한 영향을 미치는 대표적인 문제로서 오존층 파괴와 지구온난화를 들 수 있다. 지구의 환경 문제는 일부 지역 또는 국가에 국한된 문제가 아니

며, 국제적인 협조와 협력이 요구되는 사안이라는 인식이 확산되어 1987년의 몬트리얼의정서에 의한 CFC 계열과 HCFC 계열 물질의 규제에 이어 1999년의 교토의정서에 의한 지구온난화 물질에 대한 규제는 CFC 계열과 HCFC 계열 물질의 대체물질로 준비되어 온 HFC 계열 냉매사용에 제동을 걸게 되었다.⁽¹⁾

이러한 문제에 대한 근본적인 해결책은 자연에 존재하는 물질을 냉매로 사용하는 것이다. 이에 따라 대체냉매로서 자연냉매에 대한 관심이 높아지고 있다. 물, 암모니아, 질소, 이산화탄소, 프로판, 부탄 등은 인공화합물이 아니고 지구상에 자연적으로 존재하는 물질이므로 자연냉매라 하며,

† Corresponding author

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

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

지구환경에 추가적으로 악영향을 미치지 않기 때문에 냉매로서 적용하는 것이 적극적으로 검토되고 있다. 그중 이산화탄소는 안정성이 뛰어나고, 무취, 무독하고 부식성이 없고, 연소 및 폭발성이 없는 물질로서 냉매회수가 필요없으며, 일반 윤활유와 양호한 상용성을 가지고 있다.

새로운 대체냉매를 적용하기에는 여러 가지 문제점을 내포하고 있는데 그중 가장 심각한 문제가 대체냉매에 적합한 냉동기유를 개발하는 것이다. 냉동기유가 냉동시스템에 사용되는데 있어서 기본적으로 갖추어야 할 조건은 매우 많다. 특히 각각의 냉매와 오일이 혼합되었을 때, 그 혼합물의 증기압 특성과 상용성 그리고 점도는 오일을 선정하는 데 매우 중요한 요소이다.⁽²⁾ 냉동기유는 압축기의 접촉부위에 공급되는 윤활유이며 고압냉매가스 환경하의 접촉 표면에서 항상 고온의 금속에 노출되기 때문에 충분한 내열성과 냉매에 대한 안전성이 요구된다. 또한 압축기 내에서 냉동기유와 냉매의 분리는 접촉불량을 일으켜 압축기 고장의 원인이 될 수 있으므로 기본적으로 냉매와 냉동기유는 전 구간의 운전온도 및 압력에서 서로 상용성이 있어야 한다.⁽³⁾

기존에 이산화탄소를 냉매로 사용하는 실험에서 사용되는 오일을 살펴보면 다음과 같다. Zingerli and Groll⁽⁴⁾은 POE 오일을 사용해서 이산화탄소와 오일 혼합물에 열전달과 압력강하특성을 연구하였고, Hirao et al.⁽⁵⁾은 이산화탄소를 냉매로 사용하는 자동차 에어컨시스템에서 PAG 오일을 사용하였다. 또한 Kohler and Sonnekalb⁽⁶⁾은 버스에 이산화탄소를 냉매로 사용하여 에스테르와 알킬벤젠(AB) 오일을 냉동기유로 사용하였다. 냉매/오일 혼합물의 증기압 및 상용성 실험을 살펴보면 Lavelle⁽⁷⁾은 R-134a, R-401A, R-406A, R-409A, R-416A 냉매들을 광유와 AB, POE 오일들과 혼합해서 혼합물의 상용성을 측정하였고, Jeng et al.⁽⁸⁾은 R-410A와 R-407C 냉매를 합성유인 에스테르 오일과 혼합하여 혼합물의 증기압을 측정하였다. Song et al.⁽⁹⁾은 R-410A 냉매를 POE 오일과 혼합하여 용해도 및 상용성을 측정하였다.

냉매/오일 혼합물의 증기압 곡선과 상용성 자료는 오일을 선정하는 기준이 된다. 아직까지는 대체냉매인 이산화탄소에 대하여 냉동기유의 증기압 특성 및 상용성에 관한 구체적인 규명 없이

여러 가지 오일을 시스템에 적용해 오고 있다. 따라서 본 연구에서는 이산화탄소/오일 혼합물의 상용성 자료와 증기압 특성을 제시하고자 한다.

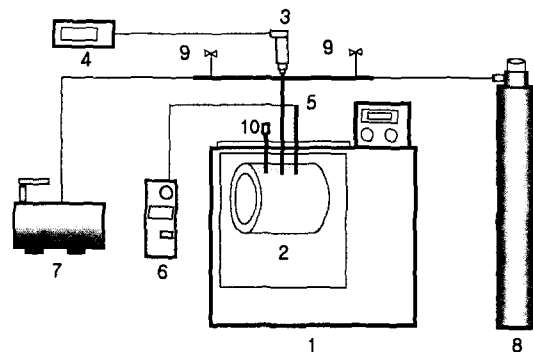
2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

냉매/오일 혼합물의 증기압 및 상용성 측정 실험을 수행하기 위해서 Fig.1과 같은 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 평형셀, 온도제어장치, 진공펌프, 저울, 온도계, 압력계, 그리고 액체 이산화탄소 용기로 구성되어 있다.

평형셀은 냉매/오일 혼합물의 평형이 이루어지는 곳으로서 부식과 냉매와의 화학적 반응을 방지하기 위하여 SUS 316을 사용하여 제작하였다. 평형셀의 내부 크기는 직경 34.9 mm, 길이 100.3 mm로 체적은 약 96 ml이다. 평형셀 내부를 관찰하기 위하여 평형셀 전면에 두께 10 mm 강화유리를 설치하였다. 평형셀은 항온조에 완전히 잠겨져 있으며, 온도제어장치에 의하여 0.1℃ 이내에서 온도가 유지된다. 온도제어장치는 RBC-31 냉동 항온 순환수조를 사용하였다.

평형셀의 온도는 셀 상부에 구멍을 뚫어 K-형 열전대를 삽입하여 측정하였다. 또한 셀 내부의 압력을 측정하고 진공과 냉매와 오일을 주입할 수



- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1. Constant temperature bath | 6. Thermometer |
| 2. Equilibrium cell | 7. Vacuum pump |
| 3. Pressure transmitter | 8. CO ₂ vessel |
| 4. Indicator | 9. Ball valve |
| 5. Thermocouple | 10. Relief valve |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

있는 구멍을 뚫었다. 온도측정장치는 정밀도 0.1 °C의 수은온도계를 이용하여 보정하였으며 오차범위는 ±0.1°C 이내였다. 압력측정장치는 자중검사기(Pressurements Ltd, Hydraulic Deadweight tester)로 보정하였으며 오차범위는 ±0.09% 이내였다. 또한 이산화탄소와 오일의 질량을 측정하기 위해 저울은 분동을 사용하여 보정하였으며 오차범위는 0.2g 이내였다.

2.2 실험방법 및 조건

이산화탄소/오일 혼합물의 증기압 및 상용성 측정실험은 다음과 같은 방법으로 수행한다. 먼저, 세척제를 이용하여 평형셀 내부를 세척한다. 오일의 질량을 측정 후 주사기를 사용하여 평형셀 내부로 주입한다. 평형셀 내부를 진공 펌프로 진공시킨다. 평형셀에 원하는 이산화탄소량을 측정 후 평형셀의 질량(평형셀 질량+오일의 질량+이산화탄소의 질량)을 측정한다. 이때 셀 체적을 고려하여 이산화탄소를 주입한다.

이산화탄소와 오일의 주입과 질량 측정이 끝나면 평형셀을 항온조 속에 넣는다. 항온조 속에는 브라인(2차 냉매)을 넣어 원하는 온도에 설정한 후 평형셀 내부온도가 원하는 온도에 유지될 때 온도와 압력을 측정한다. 이산화탄소와 오일의 상용성 측정을 위하여 그때의 이산화탄소와 오일 혼합물의 변화를 관찰하고 디지털카메라로 촬영한다. 설정온도를 변화시켜 가면서 각 설정온도에서 온도, 압력을 측정하고 이산화탄소와 오일 혼합물의 상태변화를 관찰한다. 한 농도에 대한 실험이 끝나면 냉매와 오일을 버리고 평형셀을 분해하여 세척제를 이용 세척한 후 다시 처음부터 다음 농도에 대하여 실험을 반복 수행한다. 실험조

건은 온도가 -10°C부터 10°C까지 2°C씩 증가하며 냉매에 대한 오일의 농도는 질량비로 5, 20, 30, 50 wt%일 때 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 냉매와 오일

냉매/오일 혼합물의 증기압 및 상용성 측정 실험에 사용된 냉매는 이산화탄소를 사용하였으며, 오일은 ISO 점도등급 68인 동일한 점도를 가지는 광유, AB, PAO, POE 오일과 ISO 점도등급 100인 다른 점도를 가지는 PAG 오일 모두 다섯 종류를 사용하였다. Table 1은 사용한 오일의 물성값을 나타내고 있다.

실험에 앞서 순도 99.99%인 이산화탄소의 증기압을 측정하여 NIST Web-Book에 있는 자료와

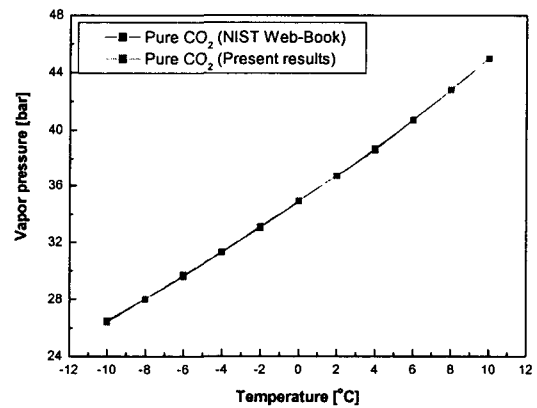


Fig. 2 Comparison of the measured vapor pressures of the CO₂ with those in NIST Web-Book.

Table 1 Typical properties of oils

| Items | Property | | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|--------------|-----------|---------------|
| | Mineral oil | AB oil | PAO oil | PAG oil | POE oil |
| Type | | | | | |
| Company | ESSO | ESSO | Japan Energy | Laporte | MOBIL |
| Model | ZERICE 68 | ZERICE S 68 | FREOL C68NL | RFL 100-X | EAL Arctic 68 |
| Specific gravity at 15°C | 0.8939 | 0.865 | 0.836 | - | 0.971 |
| Pour point (°C) | -37 | -33 | -50 | -43 | -43 |
| Flash point (°C) | 224 | - | - | 200 | 254 |
| Viscosity at 40°C (cSt) | 65 | 64 | 69.37 | 107.3 | 63 |
| Viscosity at 100°C (cSt) | 7 | 6.5 | 10.61 | 20.0 | 8.3 |

비교하였다. Fig. 2는 NIST Web-Book⁽¹⁰⁾에 나와 있는 증기압과 측정 증기압을 비교한 그래프로서 측정값의 평균 오차값은 0.13%이고 최대오차값은 0.33%였다.

3.2 혼합물의 상용성에 대한 가시화

이산화탄소와 오일 혼합물에 대하여 오일의 농도와 온도를 변화시켜 가면서 상용성에 대한 가시화를 살펴보았다. Table 2~6은 각각 이산화탄소 냉매와 팽유, AB, PAO, PAG, POE 오일 혼합물의 상용성 결과를 보여주고 있다. 결과에서 보여주듯이 혼합물의 상용성 상태를 크게 투명한 상태(Clear)와 이중상태(2-Phase)로 구분하였다. 여

Table 2 Miscibility data of the R-744/mineral oil

| Temp. [°C] | Oil concentration [%] (Mass fraction) | | | |
|---------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 5% | 20% | 30% | 50% |
| -10 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -8 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -6 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -4 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -2 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 0 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | Clear | Clear |
| 2 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | Clear | Clear |
| 4 | 2-Phase-2 | 2-Phase-1 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 6 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 8 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 10 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |

Table 3 Miscibility data of the R-744/AB oil

| Temp. [°C] | Oil concentration [%] (Mass fraction) | | | |
|---------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 5% | 20% | 30% | 50% |
| -10 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -8 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -6 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -4 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -2 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 0 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 2 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 4 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 6 | 2-Phase-1 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 8 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 10 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |

Table 4 Miscibility data of the R-744/PAO oil

| Temp. [°C] | Oil concentration [%] (Mass fraction) | | | |
|---------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 5% | 20% | 30% | 50% |
| -10 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -8 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -6 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -4 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| -2 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 0 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 2 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 4 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 6 | 2-Phase-1 | 2-Phase-3 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 8 | 2-Phase-1 | 2-Phase-3 | 2-Phase-1 | 2-Phase-1 |
| 10 | 2-Phase-1 | 2-Phase-3 | 2-Phase-3 | 2-Phase-3 |

Table 5 Miscibility data of the R-744/PAG oil

| Temp. [°C] | Oil concentration [%] (Mass fraction) | | | |
|---------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 5% | 20% | 30% | 50% |
| -10 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| -8 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| -6 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| -4 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| -2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 0 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 4 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 6 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 8 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |
| 10 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 | 2-Phase-2 |

Table 6 Miscibility data of the R-744/POE oil

| Temp. [°C] | Oil concentration [%] (Mass fraction) | | | |
|---------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 5% | 20% | 30% | 50% |
| -10 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| -8 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| -6 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| -4 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| -2 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| 0 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| 2 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| 4 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| 6 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| 8 | Clear | Clear | Clear | Clear |
| 10 | Clear | Clear | Clear | Clear |

기서 이층상태는 다시 이층상태1(2-Phase-1), 이층상태2(2-Phase-2), 이층상태3(2-Phase-3)으로 구분하였다. Fig. 3은 각 상태에 대한 사진을 나타내었다. Fig. 3(a)는 투명한 상태로 냉매와 오일이 잘 혼합되어 혼합물의 포화액 영역이 한 개의 층으로 이루어져 냉매와 오일이 완전히 섞이는 상태를 말한다. Fig. 3의 (b), (c), (d)는 이층상태 1, 2, 3으로서 혼합물의 포화액 영역이 층분리가 일어난 상태이다. 액체냉매와 오일이 잘 혼합되지 않고 액체냉매에 오일이 용해된 층과 오일에 일부의 냉매가 용해된 층으로 분리된 경우이다. 이 중 이층상태1에 경우는 액체냉매 층위에 오일의 층을 이룬 상태이고, 이층상태2에 경우는 오일의 층위에 액체냉매의 층이 이루고 있는 상태이다.

또한 이층상태3은 오일의 층위에 액체냉매의 층을 이루고 있는 상태에서 액체냉매 위로 오일의 기포가 형성된 상태이다.

Table 2에서 나타난 바와 같이 이산화탄소와 광유 혼합물의 경우, 오일농도 5 wt%일 때는 -10°C 에서 2°C 까지는 이층상태1이 나타났지만 4°C 에서 10°C 까지는 이층상태2가 나타났다. 반면에 20 wt%일 때는 -10°C 에서 4°C 까지 이층상태1이 6°C 에서 10°C 까지 이층상태2가 관찰되었다. 30 wt%와 50 wt%일 때는 0°C 에서 2°C 까지는 온도에 따라서 오일과 이산화탄소의 밀도가 변하면서 투명한 상태가 나타났고 투명한 상태의 아래 온도범위인 -10°C 에서 -2°C 까지는 이층상태1, 투명한 상태의 위 온도범위인 4°C 에서 10°C 까지는 이층

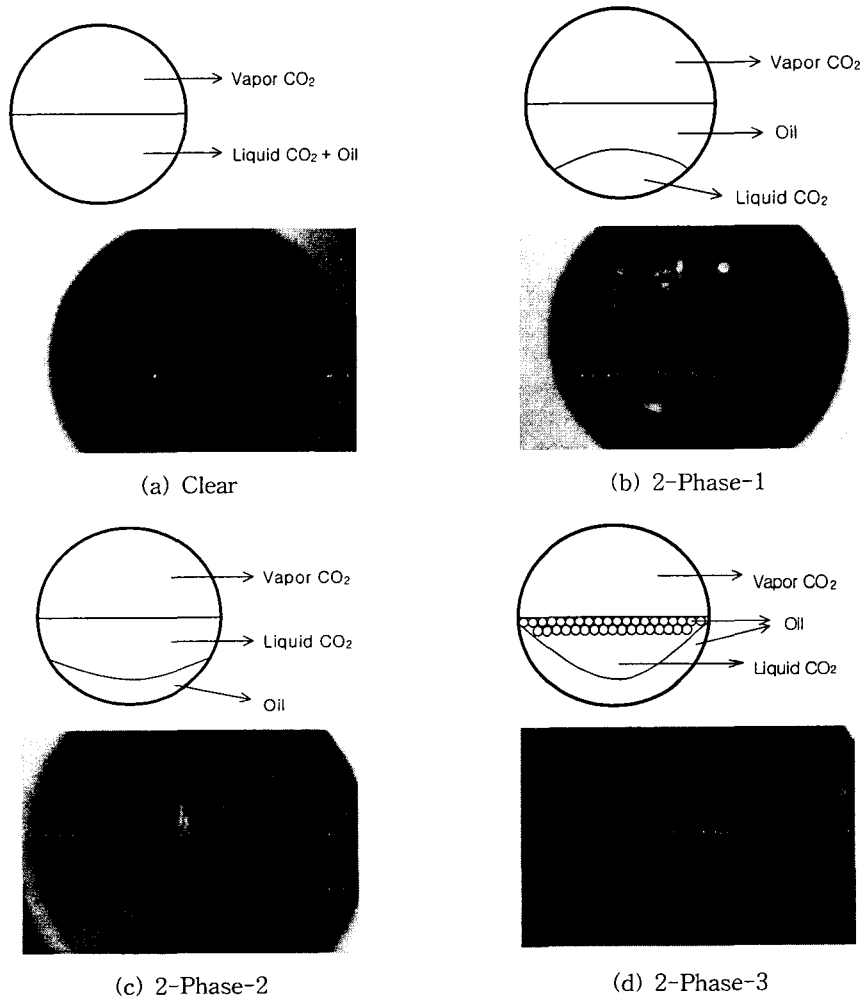


Fig. 3 Visualization of miscibility for R-744/oil mixture.

상태2가 나타났다.

이산화탄소 냉매와 AB 오일 혼합물인 경우 Table 3에 상용성 결과를 나타내었다. 오일농도 5 wt%일 때는 -10℃에서 6℃까지 이층상태1이 나타났지만 8℃와 10℃에서는 이층상태2로 나타났다. 20 wt%에서 50 wt%의 범위에서는 -10℃에서 4℃까지 이층상태1이 6℃에서 10℃까지 이층상태2를 보였다.

Table 4에서 이산화탄소 냉매와 PAO 오일 혼합인 경우, 오일농도 5 wt%일 때는 -10℃에서 10℃까지 모두 이층상태1이 나타났으나 20 wt%일 때는 -10℃와 4℃까지는 이층상태1이 나타났고 6℃에서 10℃까지는 이층상태3이 나타났다. 30와 50 wt%일 때는 -10℃에서 8℃까지 이층상태1이 10℃에서는 이층상태3으로 관찰되었다.

Table 5는 이산화탄소 냉매와 PAG 오일 혼합물의 결과를 나타내었다. 모든 실험 온도범위와 오일농도에서 모두 이층상태2로 나타났다.

Table 6은 이산화탄소 냉매와 POE 오일 혼합물인 경우를 나타내었으며, 모든 실험 온도범위와 오일농도에서 모두 투명한 상태를 보였다.

3.3 증기압 측정

이산화탄소와 오일 혼합물에 대하여 오일의 농도를 변화시켜 가면서 -10℃부터 10℃까지의 온도범위에서 2℃ 간격으로 혼합물의 온도와 압력을 측정하였다. 오일농도는 광유인 경우 4.89, 19.55, 29.75, 49.74 wt%로, AB 오일인 경우 5.01, 19.91, 29.68, 50.17 wt%로, PAO 오일인 경우 5.03, 20.47,

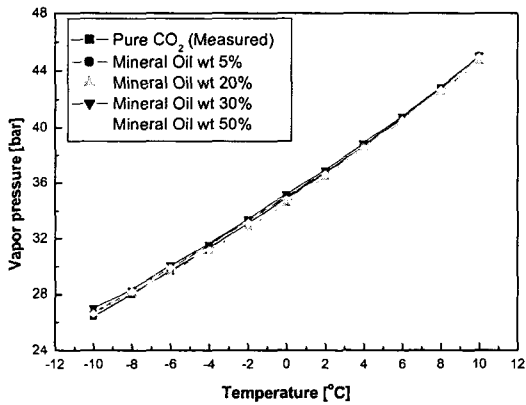


Fig. 4 Vapor pressure for the R-744/Mineral oil mixture.

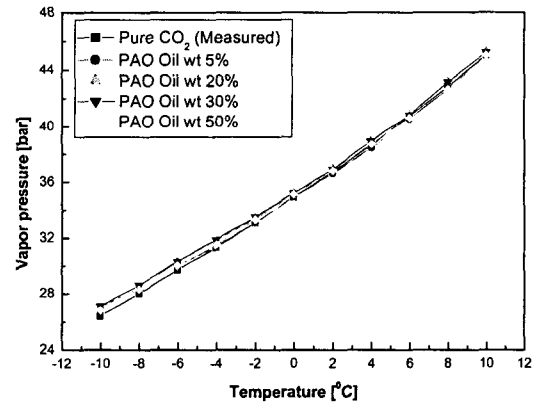


Fig. 6 Vapor pressure for the R-744/PAO oil mixture.

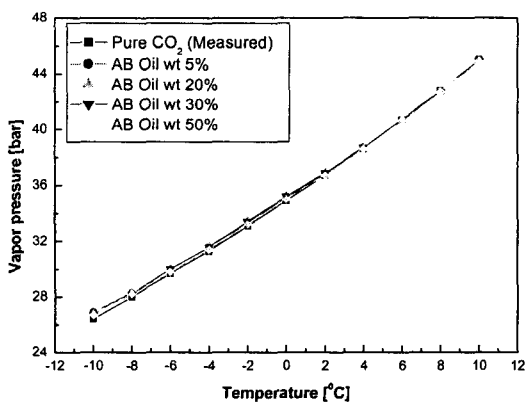


Fig. 5 Vapor pressure for the R-744/AB oil mixture.

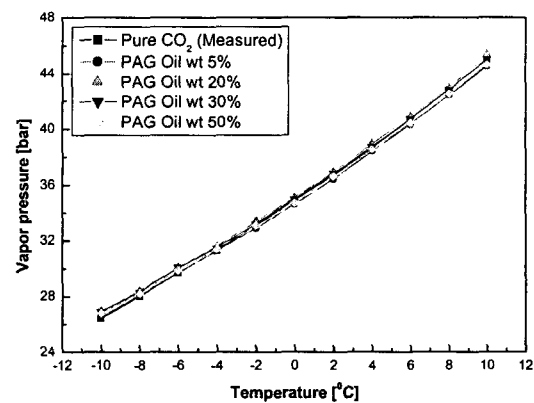


Fig. 7 Vapor pressure for the R-744/PAG oil mixture.

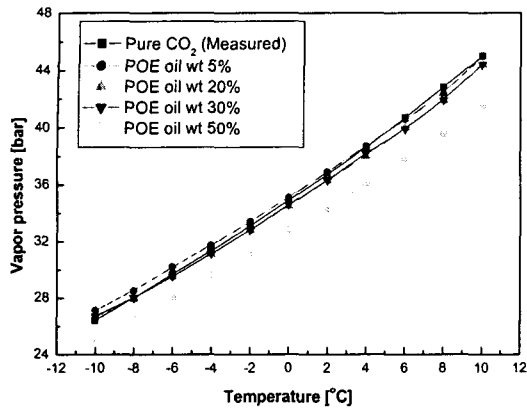


Fig. 8 Vapor pressure for the R-744/POE oil mixture.

29.81, 49.75 wt%로, PAG 오일인 경우 4.96, 20.14, 29.78, 50.34 wt%로, POE 오일인 경우 4.85, 20.23, 29.7, 49.83 wt%로 이산화탄소에 대하여 질량비로 변화시켰다.

Fig. 4는 이산화탄소와 광유 혼합물, Fig. 5는 AB 오일 혼합물, Fig. 6은 PAO 오일 혼합물, Fig. 7은 PAG 오일 혼합물, Fig. 8은 POE 오일 혼합물에 대하여 온도와 농도변화에 따른 압력의 변화를 보여주고 있다.

Fig. 4~7에서 나타나는 바와 같이 이산화탄소 냉매와 광유, AB, PAO, PAG 오일 혼합물의 경우 증기압 특성은 -10°C 부터 10°C 까지 온도범위에서 오일농도에 따른 순수 이산화탄소와 차이가 거의 없는 것으로 측정되었다. 이는 상용성 가시화 결과에서 나타난 바와 같이 오일과 이산화탄소가 서로 혼합이 이루어지지 않은 2층 상태에서의 증기압이 측정된 것으로 오일보다는 대부분 이산화탄소 증기상태의 증기압이 측정되었기 때문이다.

이산화탄소 냉매와 POE 오일 혼합물의 증기압 특성은 실험 온도범위에서 농도가 증가함에 따라서 증기압이 감소함을 보였다. 혼합물의 오일농도가 20 wt%와 30 wt%일 때는 비슷한 증기압 특성을 보였으며, 특히 50 wt%일 때는 증기압이 현저히 떨어지는 특성을 보였다.

위의 결과를 보면 이산화탄소 냉매와 광유, AB, PAO, PAG 오일 혼합물은 실험조건에서 모두 비상용성을 보인다는 것을 알 수 있었다. 반면에 이산화탄소 냉매와 POE 오일 혼합물은 모든 실험온도와 오일농도에서 투명한 상태를 보임

으로써 상용성이 좋다는 것을 알 수 있었다. 이에 따라 증기압 특성은 이산화탄소와 광유, AB, PAO, PAG 오일 혼합물의 경우 오일농도에 따라서 크게 영향을 받지 않았다. 이런 특성은 이산화탄소와 오일이 서로 섞이지 않으므로 혼합물의 증기압이 측정된 것이 아니고 순수 이산화탄소에 증기압을 측정된 것으로 판단된다. 그러나 이산화탄소와 POE 오일의 혼합물의 경우는 오일농도가 증가함에 따라서 증기압이 감소하는 특성을 보였다. 이렇게 증기압이 현저히 감소하는 특성은 POE 오일이 이산화탄소와 완전히 섞이면서 오일의 영향을 많이 받는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 이산화탄소와 오일 혼합물의 증기압과 상용성을 측정할 수 있는 실험장치를 구성하여 이산화탄소와 광유, AB, PAO, PAG와 POE 오일 혼합물의 증기압과 상용성을 오일농도 5, 20, 30, 50 wt%에 대하여 -10°C 에서 10°C 까지의 온도범위에서 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 이산화탄소와 광유, AB, PAO, PAG 오일 혼합물의 상용성 특성은 농도에 따라서 이층상태로 분리되는 온도가 존재하였다.

(2) 이산화탄소와 광유, AB, PAO, PAG 오일 혼합물은 실험농도(5, 20, 30, 50 wt%)와 -10°C 에서 10°C 까지의 온도범위에서 모두 비상용성을 보임으로써 광유, AB, PAO, PAG 오일은 이산화탄소 냉매와 맞지 않는 냉동기유임을 알 수 있었다.

(3) 이산화탄소와 광유, AB, PAO, PAG 오일 혼합물의 증기압 특성은 오일농도에 따라서 크게 영향을 받지 않아서 무시할 수 있을 것이다.

(4) 이산화탄소와 POE 오일 혼합물의 상용성 특성은 실험농도(5, 20, 30, 50 wt%)와 -10°C 에서 10°C 까지의 온도범위에서 모두 투명한 상태가 되어서 상용성이 좋다는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대 신기술 개발사업 중 “환경친화적 자연냉매인 CO_2 를 적용한 고효율 냉난방시스템 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Park, H. J., Park, K. K. and Kang, B. H., 2002, Study on the procedures to calculate thermodynamic properties and transport properties of carbon dioxide, Proceedings of the SAREK 2002 Summer Annual Conference, Volume III, pp. 1436-1442.
2. ASHRAE, 1998, Lubricants in refrigerant systems, ASHRAE Handbook, Refrigeration, SI ed., Chapter 7, pp. 1-24.
3. Na, B. C., An, Y. J., Han, D. C. and Chun, K. J., 1994, A basic study on selection of refrigeration oils for R-134a refrigerant, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 6, No. 4, pp. 439-452.
4. Zingerli, A. and Groll, E. A., 2000, Influence of refrigeration oil on the heat transfer and pressure drop of supercritical CO₂ during in-tube cooling, IIF-IIR Commission B1, B2, E1 and E2, Purdue Univ., USA-2000, pp. 269-278.
5. Hirao, T., Mizukami, H., Takeuchi, M. and Taniguchi, M., 2000, Development of air conditioning system using CO₂ for automobile, IIF-IIR Commission B1, B2, E1 and E2, Purdue Univ., USA-2000, pp. 193-200.
6. Kohler, J. and Sonnekalb, M., 1998, A transcritical refrigeration cycle with carbon dioxide for bus air conditioning and transport refrigeration, Proc. of the 1998 International Refrigeration Conference at Purdue, pp. 121-126.
7. Lavelle, J. P., 1998, Oil miscibility and oil return characteristics of alternative refrigerants and blends, Proc. of the 1998 International Refrigeration Conference at Purdue, pp. 403-408.
8. Jeng, Y.-R., Chang, C.-S. and Wang, C.-C., 2001, Vapor pressure of R-410A/oil and R-407C/oil mixtures, Applied Thermal Engineering, Vol. 21, pp. 863-870.
9. Song, J. S., Kim, C. N. and Park, Y. M., 2000, Measurement of solubility and miscibility of R-401A/POE oil mixture, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 209-217.
10. <http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>