

유동중인 CO₂냉매와 오일 혼합물의 농도 예측을 위한 상관식

박 근 서, 강 병 하^{**}, 박 경 근^{*}, 김 석 현^{*}
국민대학교 대학원, ^{*}국민대학교 기계·자동차공학부

Correlations of Oil Concentration Prediction during In-line Flow of CO₂/Oil Mixtures

Keun Seo Park, Byung Ha Kang^{**}, Kyoung Kuhn Park^{*}, Sukhyun Kim^{*}
Graduate school, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea
^{*}School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea
(Received July 3, 2007; revision received October 2, 2007)

ABSTRACT: In the general vapor-compression refrigeration system, refrigeration lubricant circulates in refrigeration system with refrigerant. Knowledge of the amount of circulating lubricant is very important to exactly calculate capacity of the refrigeration system. An experimental study was conducted to estimate the oil concentration of a flowing CO₂/Oil mixtures. POE and PAG oil are considered as test lubricants in this study. Performance tests were conducted under simulated liquid conditions for CO₂/POE oil mixture in oil concentration of 0 to 10 weight-percent and CO₂/PAG oil mixture in oil concentration of 0 to 6 weight-percent in the temperature ranges of -5 °C to 15 °C. The results obtained indicate specific gravity of CO₂/oil mixture is increased as oil concentration is increased and as temperature of mixture is decreased. Oil concentration correlation of CO₂/POE oil mixture and CO₂/PAG oil mixture is suggested, based on the measurement of specific gravity and temperature. This correlation enable to predict the oil concentration without extraction of the mixture and can be applied for CO₂/POE mixtures and CO₂/PAG mixtures.

Key words: Concentration(농도), Oil(오일), POE(Polyol ester), PAG(Poly akylene glycol), Specific gravity(비중), Carbon dioxide(이산화탄소)

기 호 설 명

a_i ($i = 0, 1, \dots, 7$) : 계수

C : 오일의 농도 [wt%]

SG : 비중

T : 온도 [°C]

W_1 : 샘플 실린더 질량 [kg]

W_2 : CO₂ + 오일 + 샘플 실린더 질량 [kg]

W_3 : 오일 + 샘플 실린더 질량 [kg]

W : 냉매 질량 분율

Y : 오일 질량 분율

그리스 문자

ρ : 밀도 [kg/m³]

† Corresponding author

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

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

하첨자

- id* : 이상(ideal)
o : 오일(oil)
m : 냉매/오일 혼합물(mixture)
R : 냉매(refrigerant)
avg : 평균(average)

1. 서 론

최근에 지구환경문제의 하나로 지구 온난화와 오존층 파괴문제가 관심의 대상이 되고 있다. CFC, HCFC 및 HFC 계열 냉매는 지구 온난화와 오존층 파괴의 주범이 되고 있어, 몬트리얼 및 교토의정서에 의해서 사용에 제한을 받고 있다. 이러한 문제에 근본적으로 대처하기 위한 방법으로 환경론자들은 자연에 존재하는 물질을 냉매로 사용하는 자연냉매의 도입을 요구하고 있다. 자연 냉매중 CO₂는 무독, 무취하며 안정성이 뛰어나고 연소 및 폭발성이 없어 대체냉매로서 CO₂에 대한 관심이 높아지고 있다.⁽¹⁾

대체냉매의 개발과 병행하여 필수적으로 수행해야 할 연구 과제는 대체냉매에 적용할 수 있는 적합한 오일을 개발하는 것이다. 일반적으로 증기 압축식 냉동장치에서는 압축기를 구동시키기 위해서 적당량의 오일이 필요하다. 오일은 압축기 작동범위의 마모를 방지하고 수명을 연장하며, 마찰을 줄여서 소요동력을 최소화한다. 또한 냉동기유는 압축기의 접촉부위에 공급되는 윤활유 역할을 하며 대부분 압축기 내에 존재하나, 오일이 냉매의 유동에 의해 냉동시스템 내부를 순환하여 다시 압축기로 돌아오게 된다. 그러나 냉동시스템의 구성 형태나 냉매/오일 혼합물의 용해도 및 상용성 등에 영향을 받아 압축기를 떠난 오일의 양보다 회수되는 오일의 양이 적을 경우, 압축기내에 오일의 양이 줄어들게 되어 최종적으로 윤활에 문제가 발생하여 압축기의 파손을 가져올 수 있다. 그리고 오일이 냉매와 함께 혼합되어 냉동시스템을 순환하게 되면 열교환기나 팽창장치의 성능에 영향을 끼친다. 특히, 오일이 증발기에 유입되면 증발기의 열전달률이 변화되어 냉동장치 전체의 성능이 변화된다.⁽²⁾

따라서 이러한 현상을 정확히 이해하기 위해서는 냉동장치내로 순환하는 오일의 양을 알아야

한다. 이 오일의 양을 측정할 수 있는 방법에는 크게 추출식 방법과 비 추출식 방법이 있는데 추출식 방법 중 가장 대표적인 방법은 ASHRAE standard⁽³⁾에 기술되어 있으며 오일의 양을 측정하기 위해서 냉매/오일 혼합물을 직접 추출하여야 하며 소량의 냉매를 추출하여도 냉동시스템의 운전에 큰 영향을 미치지 않는 대규모 시설에 적합하다. 따라서 사용 중인 소형 냉동장치에 적용하기에는 비현실적이다. 이런 결점을 보완한 방법으로 비추출식 방법이 대두되었으며, 열 및 물리적 성질을 이용한 방법⁽⁴⁾과 전기 및 광학적 성질을 이용한 방법⁽⁵⁾등 여러 방법이 제시되었다. 비추출식 방법의 대표적인 연구사례는 Baustian and Pate⁽⁶⁾의 연구 결과이다. 이들은 오일의 양을 예측하기 위하여 U관 밀도계를 사용하여 비중을 측정하였다. 냉매액이 구현되는 폐회로 실험 장치를 제작하여 일정량의 R-12/Naphthenic 혼합물과 R-22/Naphthenic 그리고 R-502/AB 오일 혼합물을 실험장치에 주입한 후 온도변화에 따른 밀도를 측정하여 혼합물의 밀도를 온도와 주입한 오일 농도의 함수로 표현되는 상관관계식을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 U관 밀도계를 이용한 비추출식 방법과 추출식 방법을 병행하여 CO₂를 냉매로 사용하는 냉동시스템에서 유동중인 CO₂/오일 혼합물에서 오일의 양을 예측할 수 있는 상관관계식을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

냉매/오일 혼합물이 항상 액체 상태로 혼합되어 유동할 수 있는 폐회로 시스템을 설계, 제작 하였다. 본 연구의 실험장치는 CO₂ 냉매의 특성상 고압으로 운전되므로 실험장치의 각 부분은 고압피팅으로 연결하였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸다. 실험장치는 크게 CO₂ 냉매 순환부와 냉매의 설정온도를 유지시키기 위해 에틸렌글리콜/물을 사용한 냉향온조 순환부, 혼합물 추출장치 등으로 구성되어 있다.

에틸렌글리콜/물 순환부에 의해 설정온도로 유지되어 수액기내에 저장되어 있는 CO₂ 냉매는 마그네틱 기어펌프에 의해서 순환을 하게 되며, 펌

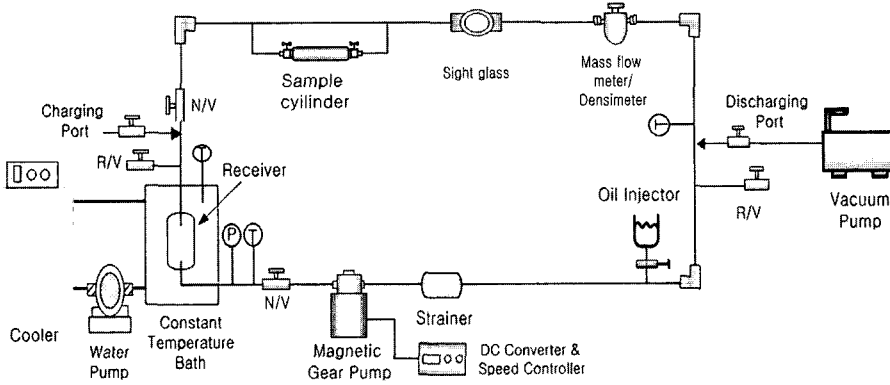


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system.

프에서 배출된 냉매는 밀도 측정을 위해 밀도계를 통과한다. 밀도가 측정되는 혼합물의 상태를 확인하기 위해 밀도계 출구에 설치된 가시화부(sight glass)를 통과한 후 최종적으로 수액기로 모아지는 순환과정을 거치게 된다. 가시화부는 외경 20 mm, 두께 10 mm의 강화유리가 전·후면에 설치된 형상이며 최대 내압은 200 bar이다.

유동 라인중 직관부 부분에 혼합물의 샘플을 취득할 수 있는 혼합물 추출 장치를 설치하였다. 혼합물 추출장치는 Fig 2와 같이 유동라인에 바이패스(by-pass) 라인을 구성하여 설치하였고 샘플 실린더를 사용하였다. 샘플링 하는 부분인 바이패스 라인과 샘플실린더 양단은 탈·부착을 용이하게 한 연결관(Swagelok사, quick-connect)을 이용하였다.

냉매/오일 혼합물의 밀도는 U관 밀도계(Oval 사, CN003C-SS-200R)를 사용하여 측정하였고 온도는 T-type 열전대를 관내에 삽입하여 측정하였다. 밀도측정의 정밀도는 $\pm 0.002 \text{ g/ml}$ 이며 온도측정의 정밀도는 $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 이다. 압력측정은 절대압력변환기(absolute pressure transducer)를 사용하였다. 절대압력변환기와 유량계는 정밀보정(calibration)을 수행하여 압력측정의 정밀도는 $\pm 0.014 \text{ MPa}$ 이며 유량측정의 정밀도는 $\pm 0.002 \text{ kg/min}$ 이다. 오일 혼합을 위한 오일의 주입은 오일주입기(oil injector)를 이용하였고 모든 데이터는 데이터 취득 시스템(data acquisition system)과 PC 사이에 RS-232C통신을 이용하여 실시간 측정하였다.

2.2 실험조건 및 방법

실험에 사용된 오일은 CO₂냉매와 같이 상용되며 극성 냉동기유인 PAG와 POE오일을 사용하였다. 이 오일들은 화학적 안정성, 윤활성, 혼합성이 우수한 합성오일이다. 오일의 물성은 Table 1과 같다.

실험 온도 조건은 냉매/오일 혼합물이 액상 상태로 존재할 수 있는 $-5 \sim -15 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 정하였고 $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 간격으로 실험을 수행하였다. 또한 혼합된 오일의 농도는 POE 오일 혼합물인 경우 질량 분율로 0~10 wt % 범위로 설정하였고 PAG 오일 혼합물의 경우에는 0~6 wt % 범위에서 수행하였다. PAG 오일의 경우 POE 오일보다 비중이 커서 설정온

Table 1 Typical properties of oil^(7,8)

Items	Property	Property
Type	PAG oil	POE oil
Company	CPI	MOBIL
Model	RPAG-100	EAL Arctic 100
Specific gravity at 15 °C	1.007	0.962
Pour point (°C)	-40	-30
Flash point (°C)	168	254
Viscosity at 40°C(cSt)	100	100

Table 2 Test conditions

Parameter	Value	
	Refrigerant	CO ₂ /POE
Inner diameter (mm)	1.74 (SUS-316)	
Inlet temperature of mixture (°C)	-5~15°C (5°C interval)	
Oil concentration	0~10%	0~6%
Mass flow rate of refrigerant (kg/min)	1.0	

도 내에서 혼합물이 액상으로 존재할 수 있는 오일의 농도가 더 작았다.

시스템 전체의 온도분포를 1°C 이내로 고르게 분포할 수 있도록 질량유량을 1 kg/min으로 고정하고 실험을 수행하였다. 본 연구에 수행된 실험 조건을 Table 2에 나타내었다.

실험 순서는 다음과 같다. 시스템 내부를 진공 펌프로 진공상태로 만든 후 오일 주입기와 정밀 저울을 사용하여 차압을 이용하여 시스템 내에 오일을 주입한다. 그리고 실험장치에 3 kg 정도의 CO₂ 냉매를 충전한다. 기어펌프와 항온조를 가동시키고 가시화부를 통해 액상태가 구형되었는지 확인하고 시스템 내부가 설정 온도로 균일하게 분포되었는지 확인한다. 시스템이 정상상태가 되었을 때 혼합물의 온도, 압력, 밀도 그리고 오일의 농도를 측정한다.

POE 오일의 농도는 ASHRAE standard⁽³⁾에 명시되어 있는 방법으로 샘플실린더를 이용하여 측정한다. 실험조건에서 정상상태가 되었을 때 바이패스 부분의 양단의 밸브를 잠그고 혼합물이 들어있는 샘플실린더에 시스템에서 분리한다. 오일과 CO₂가 들어있는 샘플실린더의 질량을 측정하고 CO₂만의 방출을 위해 CO₂ 방출용 샘플실린더를 부착하여 압력차를 줄인 후 실린더 내의 CO₂ 냉매를 서서히 완전히 방출한다. CO₂가 방출된 샘플실린더의 질량을 측정하여 오일과 CO₂ 냉매의 질량을 계산하여 혼합물 중 오일의 농도를 계산한다. 하지만 PAG 오일 혼합물의 경우 CO₂와 PAG 오일의 비혼화성에 의한 냉매와 오일의 분리현상으로 샘플실린더를 이용한 농도 분석은 이루어지지 않았다. 따라서 CO₂/PAG 혼합물의 오일 농도는 주입한 CO₂와 오일의 비율에 따라 일

정하게 유동한다는 가정 하에 실험을 수행하였다.

한 경우의 실험이 끝나면 시스템 내에 있는 혼합물을 방출시키고 관을 분해하여 아세톤으로 세척하고 질소를 이용하여 시스템 내의 잔류 오일을 고압으로 밀어내어 완전히 세척한 후 다음 실험을 수행하였다.

3. 실험데이터의 처리

3.1 추출 오일 질량 비율

CO₂/POE 혼합물 중 오일의 질량 비율을 계산하였다. 오일 질량 비율 계산식은 다음과 같다.

$$Y = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1} = \frac{X_0}{X_m} \quad (1)$$

여기서 X₀은 혼합물 중 오일 질량, X_m는 추출 혼합물의 질량, Y는 오일 질량 비율을 나타낸다.

3.2 CO₂/오일 혼합물의 오일 농도 상관관계식

오일의 농도와 혼합물의 비중은 각 온도에서 대체로 선형적인 변화를 하는 경우 다음과 같은 1차 다항식으로 나타낼 수 있다.

$$SG = A + B \times C \quad (2)$$

온도의 영향을 고려한 최종적인 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SG = a_0 + a_1 C + a_2 T + a_3 CT \quad (3)$$

또한 오일의 농도와 혼합물의 비중이 각 온도에서 비선형적인 변화를 하는 경우 실험 데이터를 근거로 다음과 같은 2차 다항식으로 나타내었다.

$$SG = A + B_1 C + B_2 C^2 \quad (4)$$

따라서 온도의 영향을 고려한 최종적인 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SG = a_0 + a_1C + a_2T + a_cC^2 + a_4CT \quad (5)$$

$$+ a_5C^2T + a_6CT^2 + a_7C^2T^2$$

여기서 C 는 오일의 농도이고 SG 는 혼합물의 비중이며 $A, B, B_1, B_2, a_i(i=0, 1, \dots, 7)$ 는 계수이며 T 는 혼합물의 온도이다.

3.3 다중 선형 회귀분석

식(3)과 식(5)에서 혼합물의 비중은 두 독립변수인 온도와 농도의 함수로 정의되어 있다. 상관 계수를 구하기 위해 다중 선형 회귀 분석을 하였다. 비선형 방정식을 선형화하기 위하여 다음과 같이 변수 치환한다.

$$Y = SG, \quad X_4 = CT \quad (6)$$

$$X_1 = C, \quad X_5 = C^2T$$

$$X_2 = T, \quad X_6 = CT^2$$

$$X_3 = C^2, \quad X_7 = C^2T^2$$

치환을 함으로써 회귀방정식이 7개의 변수로 이루어진 선형 방정식으로 표현된다.

$$SG = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \quad (7)$$

$$+ a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 + a_7X_7$$

다음과 같은 과정을 거쳐 결정계수(r^2)를 구한다.

$$S_r = (y_i - a_0 - a_1x_{1i} \dots - a_7x_{7i})^2 \quad (8)$$

$$S_t = \sum (y_i - y_{avg})^2 \quad (9)$$

$$r^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t} \quad (10)$$

3.4 혼합물의 밀도

냉매/오일 혼합물의 밀도를 계산할 때 혼합물은 구성물의 비체적이 증가하므로 혼합물은 이상 상태(ideal state)로 가정된다. 따라서 혼합물의 농도는 다음과 같이 구할 수 있다.⁽²⁾

$$\rho_{id} = \frac{\rho_0}{1 + W(\rho_0/\rho_R - 1)} \quad (11)$$

여기서 ρ_0 는 혼합물의 특정 온도에서의 순수 오일의 밀도이고 ρ_R 는 혼합물의 특정 온도에서 냉매액의 밀도를 나타내며 W 는 혼합물 중 냉매의 질량 분율이다.

4. 실험결과 및 고찰

시스템 내에 밀도계를 설치하여 유동중인 혼합물의 비중을 측정하였고 각 설정 온도에서 온도와 비중을 측정하고 각각의 경우 혼합물을 샘플실린더로 추출하여 오일 농도를 확인하였다. POE 오일은 CO₂ 냉매와 혼합성이 좋기 때문에 완전히 섞여서 유동하여 주입한 양과 추출했을 때 오일의 농도가 저울의 오차 범위 안에서 같았다. 반면 PAG 오일은 CO₂ 냉매와의 비혼화성 때문에 혼합물의 샘플링 도중 오일이 샘플실린더 내부에 점차 축적되기 때문에 유동하는 혼합물의 정확한 양을 샘플링하기가 어려웠다. 따라서 주입한 양의 비율로 일정하게 유동한다는 가정 하에 실험을 하였다. 또한 PAG 오일의 경우 오일 분율이 6 wt%인 경우 혼합물의 온도가 15℃일 때는 혼합물이 액화가 되지 않아 실험을 수행할 수 없었다.

항상 액체상태로 시스템을 순환하는 혼합물의 오일 농도는 각 온도와 압력에서 약간씩 차이가 있어 각각의 온도조건에서 대표값을 정하여 그래프에 나타내었다. 따라서 최종적으로 구하고자 하는 오일의 농도가 x 축에 그려졌다. 본 연구에서 사용된 CO₂ 냉매와 POE 및 PAG 오일, 그리고 기존의 냉매와의 비중을 차이를 Fig. 3에 나타내었다. 대체 냉매 CO₂는 다른 냉매들에 비해 비중이 낮은 영역에 존재함을 알 수 있다. 또한 본 실험에 사용된 PAG 및 POE 오일과 CO₂의 비중을 비교하여 Fig. 4에 나타내었고 CO₂의 비중이 PAG 및 POE 오일보다 낮음을 확인할 수 있었다. CO₂/POE 오일 혼합물 및 CO₂/PAG 오일 혼합물의 온도에 변화에 따른 비중 변화를 오일농도에 변화를 주면서 측정하고 Fig. 5와 Fig. 6에 각각 나타내었다. 두 혼합물의 경우 비슷한 경향을 나타내었는데 혼합물의 온도가 증가할수록 비중은 감소하였고 온도가 증가할수록 농도에

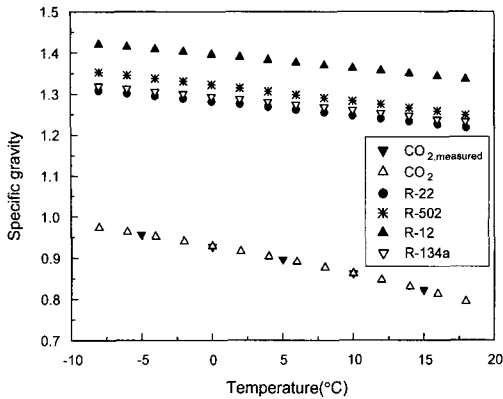


Fig. 3 Comparison of SG of liquid refrigerants with reference value.

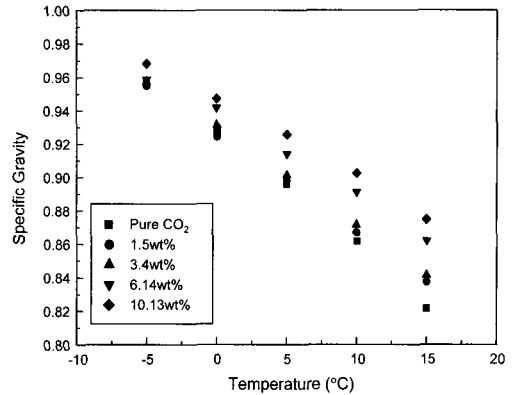


Fig. 5 Specific gravity of CO₂/POE mixtures.

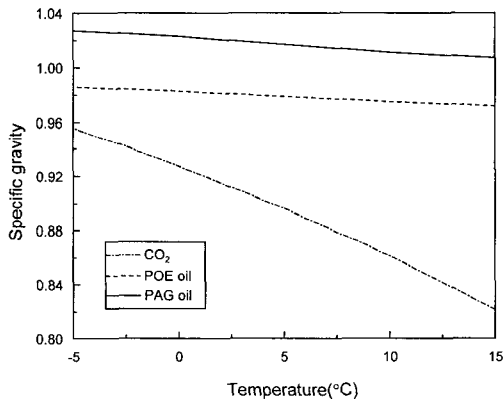


Fig. 4 Comparison of specific gravity for the CO₂ and oils.

따른 영향이 크게 나타났다. 또한 혼합물의 오일의 농도가 증가할수록 비중은 감소하였다.

CO₂/POE 오일 혼합물에 대해 측정된 비중, 농도 그리고 온도의 결과 데이터를 이용하여 1차와 2차식으로 곡선 맞춤한 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 나타내었다. CO₂/POE 혼합물의 온도가 낮아질수록, 혼합물 중 오일의 농도가 많아질수록 혼합물의 비중이 증가하는 경향을 보였다. 또한 Fig. 5에 나타난 것처럼 혼합물의 온도가 높아질수록 오일 농도에 따른 비중 변화가 크게 나타났다.

CO₂/PAG 오일 혼합물의 경우에도 CO₂/POE 혼합물의 경우와 같은 방법으로 측정된 비중, 농도 그리고 온도의 데이터를 이용하여 1차와 2차로 곡선 맞춤하여 Fig. 9, Fig. 10에 나타내었다. CO₂/PAG 혼합물도 혼합물의 온도가 낮아질수록,

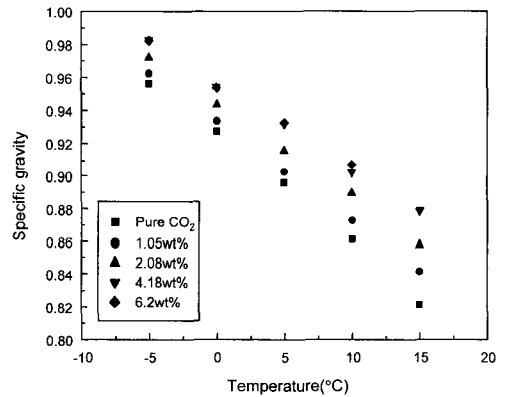


Fig. 6 Specific gravity of CO₂/PAG mixture.

오일의 농도가 많아질수록 혼합물의 비중이 증가하였다. 오일의 농도가 증가할수록 혼합물의 비중이 증가한 이유는 식(11)과 Fig. 4에서 보이는 것과 같이 본 실험에 사용된 PAG 및 POE 오일의 경우 CO₂보다 같은 온도조건에서의 밀도가 크기 때문에 오일의 분율이 증가할수록 혼합물의 밀도 또한 증가하기 때문이다. 또한 Fig. 6처럼 혼합물의 온도가 높아질수록 오일 농도에 따른 비중 변화가 크게 나타났다.

Fig. 7~Fig. 10의 데이터를 선형회귀분석을 하여 상관계수를 Table 3에 나타내었다. 표에서 볼

Table 3 Determination coefficients of correlation

	CO ₂ /POE	CO ₂ /PAG
1st order	0.994	0.981
2nd order	0.956	0.983

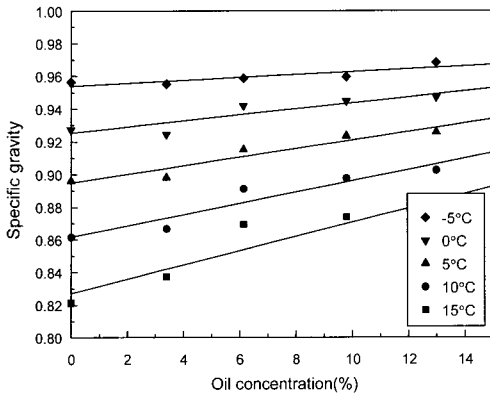


Fig. 7 Linear curve fit of specific gravity with oil concentration for CO₂/POE oil mixtures.

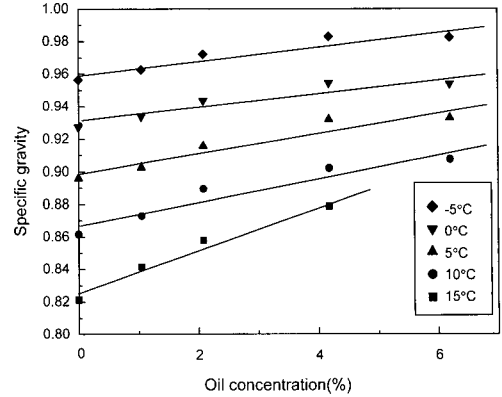


Fig. 9 Linear curve fit of specific gravity with oil concentration for CO₂/PAG oil mixtures.

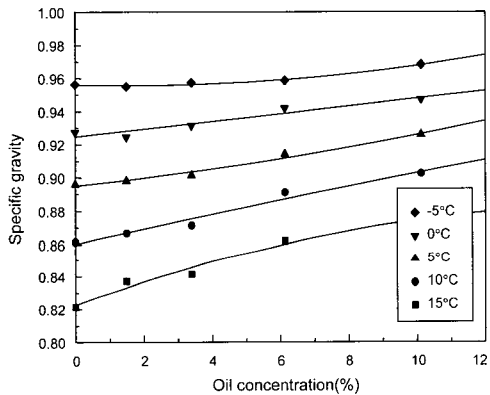


Fig. 8 2nd order curve fit of specific gravity with oil concentration for CO₂/POE oil mixtures.

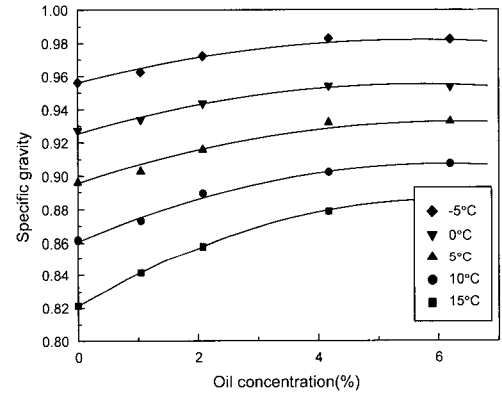


Fig. 10 2nd order curve fit of specific gravity with oil concentration for CO₂/PAG oil mixtures.

수 있듯이 POE 오일의 경우 1차식으로 곡선맞춤한 결과가 2차식 곡선 맞춤한 결과보다 높은 상관관계를 보였으며 PAG 오일의 경우는 2차식이 더 정확하지만 그 차이가 미미하였다. 따라서 본

실험에 사용된 CO₂/오일 혼합물의 상관식을 다음과 같이 하나의 식(12)로 표현할 수 있다.

$$SG = a_0 + a_1C + a_2T + a_3CT \quad (12)$$

Table 4 Coefficients for eqn

Coefficients	CO ₂ /POE	CO ₂ /PAG
a ₀	0.9238	0.9292
a ₁	0.0022	0.0051
a ₂	-0.0064	-0.0066
a ₃	0.0002	0.0004

Table 4는 본 연구에서 수행한 CO₂/POE 오일 혼합물과 CO₂/PAG 오일 혼합물의 온도, 오일의 농도, 그리고 비중의 자료로 계산한 오일 농도 상관식에 대한 계수값들이다.

4. 결 론

CO₂를 냉매로 사용하는 냉동시스템에서 유동 중인 냉매/오일 혼합물에서 오일의 양을 예측하

기 위한 실험을 수행하였다. 냉매/오일 혼합물이 항상 액체 상태로 혼합되어 유동할 수 있는 폐회로 시스템을 설계 제작하였다. 시스템 내에 밀도계를 설치하여 유동중인 혼합물의 비중을 측정하였고 각 설정 온도에서 온도와 비중을 측정하고 각각의 경우 혼합물을 샘플실린더로 추출하여 오일 농도를 확인하였다. 혼합물의 온도가 낮아질수록, 오일의 농도가 많아질수록 혼합물의 농도는 증가하였고 혼합물의 온도가 높아질수록 오일 농도에 따른 비중 변화가 크게 나타났다.

측정한 비중, 온도 그리고 오일 농도를 이용하여 냉동시스템을 유동하는 CO₂/POE 오일 혼합물과 CO₂/PAG 오일 혼합물의 오일 농도에 관한 상관관계식을 각각 제안하였다. CO₂/POE 혼합물과 CO₂/PAG 혼합물의 상관식에 대한 결정계수는 각각 0.99와 0.98이다. 이 상관관계식들을 이용해서 유동중인 CO₂/POE 및 CO₂/PAG 오일 혼합물에서 CO₂/오일 혼합물을 직접 추출하지 않고 혼합물의 온도와 비중을 측정함으로써 시스템 내를 유동중인 오일의 양을 예측할 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대 신기술 개발 사업 중 “환경친화적 자연냉매인 CO₂를 적용한 고효율 냉난방 시스템 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kim, Y. C. and Kim, M. S., 2002, Refrigeration cycles using CO₂ refrigerant, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 31, No. 7, pp. 4-9.
2. ASHRAE, 1994, Lubricants in refrigerant system, ASHRAE HANDBOOK, Refrigeration Systems and Applications, Chapter. 7.
3. ASHRAE, 1984, Standard Method for measurement of proportion of oil in liquid refrigerant, ASHRAE STANDARD, ANSI/ASHRAE 41.4.
4. Baustian, J. J., Pate, M. B. and Bergles, A. E., 1986, Properties of oil-refrigerant liquid mixtures with applications to oil concentration measurement: Part I - Thermophysical and Transport Properties, ASHRAE Trans., Vol. 92, pp. 55-73.
5. Baustian, J. J., Pate, M. B. and Bergles, A. E., 1986, Properties of oil-refrigerant liquid mixtures with applications to oil concentration measurement: Part II - Electrical and Optical Properties, ASHRAE Trans., Vol. 92, pp. 74-92.
6. Baustian, J. J. and Pate, M. B., 1988, Measuring the concentration of a flowing oil refrigerant mixture with a vibrating U-tube densimeter, ASHRAE Trans., Vol. 94, pp. 167-177.
7. ASHRAE, 1998, Lubricants in Refrigerant Systems, ASHRAE Handbook, Refrigeration, SI ed., Chapter 7, pp. 1-24.
8. Cavestri, R. C., 1993, Measuring of the solubility, viscosity and density of synthetic lubricants with HFC-134a, Final Report for ASHRAE 716-RP.