

R-404A/POE 오일 혼합물의 증기압과 혼화성

이 정 훈, 박 영 무*

아주대학교 대학원 기계공학과, *아주대학교 기계 및 산업공학부

Vapor Pressure and Miscibility for R404A/POE Oil Mixtures

Jung Hoon Lee, Young Moo Park*

Graduate School, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

*School of Mechanical and Industrial Engineering, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

(Received August 30, 2001; revision received March 2, 2002)

ABSTRACT: The vapor pressure and miscibility measurement apparatus was developed and used to obtain data for refrigerant/oil mixture. The vapor pressure and miscibility data for R-404A/32 ISO VG polyol ester (POE) oil mixture and R-404A/46 ISO VG polyol ester oil mixture are obtained over the temperature range from -20 to 60°C with at 10°C intervals and the oil concentration range from 0 to 70 wt%. Using the experimental data, an empirical model was developed to predict the temperature vapor pressure-concentration relations for R-404A/46 ISO VG polyol ester oil mixtures at equilibrium. In the R-404A/32 ISO VG polyol ester oil mixture, the average root-mean-square deviation between measured data and calculated results from the empirical model is 1.24% and in the R-404A/46 ISO VG polyol ester oil mixture, that is 1.37%. Miscibility for R-404A/32 ISO VG polyol ester oil mixture was observed all over the experimental conditions. Immiscibility for R-404A/Solest 46 oil mixture was observed at the low oil concentrations (20~30 wt%) over the high experimental temperature range ($50\sim 60^{\circ}\text{C}$).

Key words: Concentration(농도), Vapor pressure(증기압), Miscibility(혼화성), POE(폴리올에스테르), R-404A, Refrigerant oil(냉동기유)

기 호 설 명

a : 계수
 P : 압력 [kPa]
 RMS : 대수평균오차 [%]
 T : 온도 [$^{\circ}\text{C}$]
 w : 냉매농도 [wt%]

1. 서 론

냉매 R-502는 오존층을 파괴하고 지구 온난화에 영향을 미치는 환경오염물질로 인식되어 생산과 사용이 규제됨에 따라 대체냉매로 삼중 혼합물인 R-404A가 개발되었다. 대체냉매가 개발되면 그에 따라 수행해야 할 여러 가지 중요한 일 중의 하나가 대체냉매에 적합한 냉동기유를 개발하는 것이다.

냉동장치에서 압축기를 구동시키기 위해서는 반드시 냉동기유가 필요하다. 냉동기유는 윤활, 냉각, 실링, 세정, 부식방지, 소요동력 최소화 등의 기능을 수행한다.⁽¹⁾ 오일이 냉동시스템에 사용되

† Corresponding author

Tel.: +82-31-219-2344; fax: +82-31-213-7108

E-mail address: youngmoo@madang.ajou.ac.kr

는 데 있어 기본적으로 갖추어야 할 조건은 매우 많다.⁽¹⁾ 특히 각각의 냉매와 오일이 혼합되었을 때, 그 혼합물의 증기압 자료와 혼화성, 그리고 점도는 오일을 선정하는 데 있어서 매우 중요한 요소이다.

대부분의 오일은 압축기 내에 존재하나 일부 오일이 냉매의 유동에 의해 냉동시스템 내부를 순환하여 다시 압축기로 되돌아온다. 오일이 다시 압축기로 되돌아오는 과정은 매우 복잡하다. 이것은 냉동시스템의 배관과 각 부품의 형태에도 영향을 받을 뿐만 아니라 냉매/오일 혼합물의 물성, 즉 용해도, 혼화성, 그리고 점성 등에 영향을 받는다. 그래서 압축기를 떠난 오일이 전부 압축기로 다시 되돌아오는 것은 아니다. 압축기를 떠난 오일의 양보다 다시 되돌아오는 오일의 양이 적어지면 압축기 내부에 있는 오일의 양은 줄어들어 압축기를 윤활시키는 데 문제가 발생하여 압축기의 파손을 가져올 수 있으며 압축기를 제외한 다른 부품에 누적된 오일은 각 부품의 성능에 영향을 끼쳐 결국 전체 시스템의 성능을 변화시킨다.⁽²⁾ 반면에 냉동기유는 냉매에 용해되어 냉동 시스템을 순환하면서 열교환기에서의 포화온도변화에 의해 열전달률을 변화시킬 수 있다. 열교환기의 높은 건도 영역에서 액상으로 존재하는 오일의 양은 냉매/오일 혼합물의 포화온도를 변환시킬 만큼 중요할 수가 있다.⁽³⁾ 따라서 오일은 냉매에 적절히 용해되어야 하며 또한 냉매와 오일은 전체 운전온도 및 압력에서 서로 혼화(miscible)되어야 한다. 그리고 윤활과 유동이라는 두 가지 조건을 만족하는 점성을 가져야 한다.⁽⁴⁾

기존 R-502의 냉동기유로는 광유인 미네랄오일이 사용되었으나 HFC 성분의 대체냉매들은 미네랄오일에 용해되거나 혼화되지 않는다. 따라서 대체냉매에 적합한 새로운 냉동기유가 필요하게 되었으며 현재 합성오일인 PAG와 POE 오일이 사용되고 있다.

냉매/오일 혼합물에 대한 연구는 오래 전부터 이루어졌으며 최근의 연구결과를 살펴보면 다음과 같다. Thomas and Pham⁽⁵⁾은 R-134a와 PAG 및 수정된 PAG 오일 혼합물에 대한 용해도와 상용성 자료를 제시하였다. Grebner and Crawford⁽⁶⁾는 R-12/naphthenic, R-12/paraffinic, R-134a/PAG, R-134a/POE 혼합물에 대하여 압력과 액체 밀도를 측정하였다. Eckels et al.⁽⁷⁾은 R-134a/169

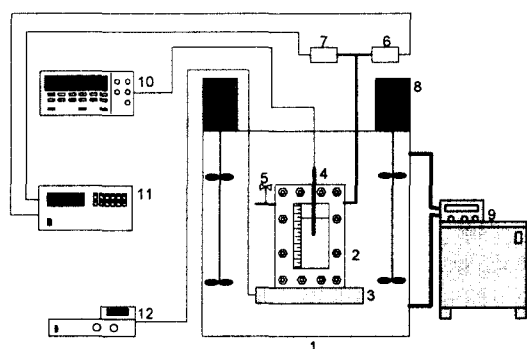
SUS와 369 SUS 에스테르 혼합물에 대한 용해도 자료를 0~45%의 오일농도범위와 -10~50°C의 온도범위에서 얻었다. 또한 이들은 열전달 실험을 통하여 냉매/오일 혼합물의 용해도 자료가 열교환기 내를 유동하는 냉매/오일 혼합물을 모델화하는 데 사용된다는 것을 밝혀내었다. Henderson⁽⁸⁾은 CFC, HCFC, HFC계의 10종류의 단일냉매와 미네랄, alkylbenzene, polyalkylene glycol, polyolester계 오일을 조합하는 총 35종류의 냉매/오일 혼합물에 대하여 점도, 용해도, 밀도를 측정하였으며 Daniel 선도를 제시하였다. Martz et al.⁽⁹⁾은 R-22, R-125, R-134a, R-32/R-125(50%/50%) 각각의 냉매와 68 ISO VG POE 오일 혼합물에 대한 VLE 자료를 제시하였으며 이상기동으로부터의 이탈도를 계산하였다. Yeau-Ren Jeng⁽¹⁰⁾ 등은 R-410A, R-407C의 냉매와 Polyol ester(POE) 합성오일을 혼합시켜 상평형을 수행하였다. 사용된 오일의 점도는 40°C에서 각각 32 cSt와 100 cSt이다. 0~50°C의 온도범위와 0~50% 오일농도 범위 내에서 증기압 측정을 수행하였다.

냉매/오일 혼합물의 증기압 자료와 혼화성 자료는 오일을 선정하는 기준이 되며, 열교환기의 정확한 해석 및 압축기의 파손을 예방할 수 있는 중요한 자료이다. 따라서 사용되는 냉매/오일 혼합물의 증기압 자료와 혼화성 자료를 갖는 것은 냉동시스템을 설계하는 설계자 입장에서는 매우 중요한 일이다. 따라서 본 연구에서는 R-502의 대체 냉매인 R-404A와 32 ISO VG POE 오일 혼합물과 및 46 ISO VG POE 오일 혼합물에 대하여 증기압 자료와 혼화성 자료를 제시하려고 한다.

2. 실험

2.1 실험장치

냉매/오일 혼합물의 증기압 및 혼화성 측정 실험을 수행하기 위하여 Fig. 1과 같은 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 평형장치, 온도제어장치, 그리고 자료측정장치로 구성되어 있다. 평형장치는 평형셀과 마그네틱 교반기, 그리고 항온조로 구성되어 있다. 평형셀은 냉매/오일 혼합물의 평형이 이루어지는 곳으로서 주어진 온도에 대하여 압력과 액의 높이를 측정하게 된다. 평형셀은 부식과 냉매와의 화학적 반응을 방지하기 위하여



- | | |
|--|---|
| 1. Constant temperature bath | 7. Digital pressure transducer(60bar) |
| 2. Equilibrium cell | 8. DC motor and stirrer |
| 3. Magnetic stirrer | 9. Constant temperature bath(control) |
| 4. RTD | 10. Digital thermometer |
| 5. Charging valve | 11. Digital pressure indicator transducer(20 bar) |
| 6. Digital pressure transducer(20 bar) | 12. Magnetic stirrer controller |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

SUS 316을 사용하여 제작하였으며 평형셀의 내부 크기는 $3 \times 3 \times 8$ cm로 체적은 약 72 mL이다. 평형셀 내부를 관찰하기 위하여 평형셀 전, 후면에 두께 1 cm의 강화유리를 설치하였고 실링재로는 실험물질들과의 화학적 안정성을 고려하여 테프론을 사용하였다. 그리고 셀 상부에 구멍을 뚫어 RTD를 삽입하였으며 양 측면에는 압력을 측정할 수 있고 셀 내부의 진공과 냉매를 주입할 수 있는 구멍을 뚫었다. 셀 전면에는 액주의 높이를 측정하기 위해 0.5 mm 정밀도를 가지는 자를 부착하였다. 마그네틱 교반기는 셀 내부에 있는 냉매/오일 혼합물을 잘 섞어 주기 위하여 사용되었다.

온도제어장치는 평형셀 내의 냉매/오일 혼합물의 온도가 일정하게 유지되도록 제어하는 역할을 수행하며 제어 가능한 외부항온조와 실험항온조로 구성되어 있다. 실험항온조의 교반기에는 DC 모터가 연결되어 속도를 제어할 수 있다.

자료측정장치에는 온도측정장치와 압력측정장치가 있다. 온도는 백금 저항온도센서(RTD, Pt-100 Ω)를 정밀 디지털 온도지시계(7563, YOKOGAWA)에 연결하여 측정하였다. 정밀 디지털 온도지시계의 정밀도는 0.01 $^{\circ}$ C이다. 오차해석에 의하면 온도측정의 오차는 0.02 $^{\circ}$ C로 예측되었다.⁽¹¹⁾

압력은 압력오차를 줄이기 위해 저압에서는 0~20 bar, 고압에서는 0~60 bar 압력범위를 가지는 압력변환기(PDCR 922)를 디지털 압력지시계(DPI 420)에 연결하여 측정하였다. 디지털 압력지시계의 정밀도는 0.1 kPa이다. 압력측정장치는 분동식 압력보정기(RUSKA, BUDENBERG)로 보정하였으며 압력의 정확도는 분동식 압력계의 정확도 0.1%와 보정식 자체의 정확도 0.004%(0~20 bar 압력변환기), 0.009%(0~60 bar 압력변환기)에 의해 0.1%로 평가된다. 따라서 압력측정의 오차는 2 kPa로 평가된다. 액체냉매 혹은 오일의 농도는 주입한 냉매와 오일의 질량으로부터 계산하였다. 액체냉매의 질량은 혼합물의 액상 높이를 측정하여 정확하게 계산하였다.⁽¹¹⁾ 농도측정의 오차는 0.5%로 예측되었다.

2.2 실험방법

냉매/오일 혼합물의 증기압과 혼화성 측정실험은 다음과 같은 방법으로 수행한다. 먼저, 세척제를 이용하여 평형셀 전체를 세척한 후 평형셀을 조립한다. 조립한 평형셀 내부를 원하는 진공도가 얻어질 때까지 진공한다. 정밀도 0.1 g의 저울(Sartorius Factory F3200)을 사용하여 평형셀의 질량을 측정한다. 주사기를 이용하여 평형셀에 실험대상 오일을 원하는 양만큼 주입한 후 다시 평형셀을 진공한다. 진공 후 평형셀 질량(평형셀 질량+오일의 질량)을 다시 잰다. 다음 실험대상 냉매를 평형셀에 원하는 양을 주입한 후 평형셀의 질량(평형셀 질량+오일의 질량+냉매의 질량)을 잰다. 이때 포화상태에서 포화액이 차지하는 체적이 전체 셀 체적의 70% 이상이 되도록 냉매와 오일을 주입한다.

냉매와 오일의 주입과 질량측정이 끝나면 평형셀을 항온조 속에 넣는다. 항온조 온도를 원하는 온도에 설정한 후 냉매/오일 혼합물이 포화상태가 되어 온도가 원하는 온도로 유지될 때 온도와 압력을 측정하고 냉매/오일 혼합물의 액상의 높이를 측정한다. 또한 냉매/오일 혼합물의 상용성을 측정하기 위하여 냉매/오일 혼합물의 변화를 관찰 기록한다. 온도와 압력은 대략 1시간 동안 온도변화가 설정값으로부터 $\pm 0.02^{\circ}$ C 내에서 유지될 때, 수 차례 측정하며 측정에서 얻은 값의 평균값을 온도와 압력값으로 취한다. 설정온도를

변화시켜 가면서 각 설정온도에서 온도, 압력, 액상의 높이를 측정한다.

한 농도에 대한 실험이 끝나면 냉매와 오일을 버리고 평형셀을 분해하여 세척한 후 처음부터 다시 다음 농도에 대한 실험을 반복 수행한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 냉매와 오일

냉매/오일 혼합물의 증기압 및 혼화성 측정 실험에 사용된 냉매는 R-404A이며, 오일은 32 ISO VG POE 오일과 46 ISO VG POE 오일이다. 각 오일의 물성값은 Table 1과 같다. 현 R-404A 냉

Table 1 Typical properties of oil

Items	Property	
	CPI. Eng.	CPI. Eng.
Company	CPI. Eng.	CPI. Eng.
Model	Soleast LT 32	Soleast 46
Molecular weight, g/mol	520	550
Viscosity, cSt @40℃	30.7	50.5
Viscosity, cSt @100℃	5.4	7.0
Density, g/ml @20℃	0.965	0.918
Pour Point ℃	-48	-45
Flash Point, C.O.C., ℃	248	248
Fire Point, C.O.C., ℃	273	276
Specific Gravity @20℃	0.975	0.925

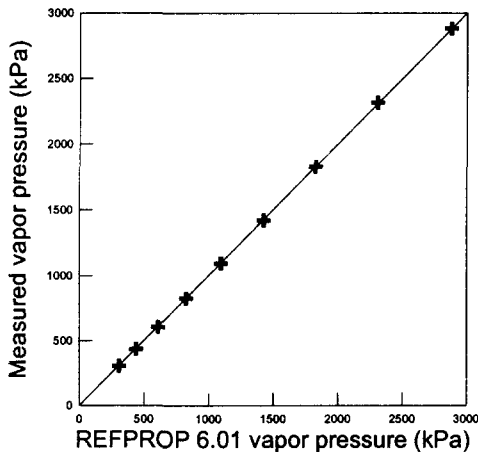


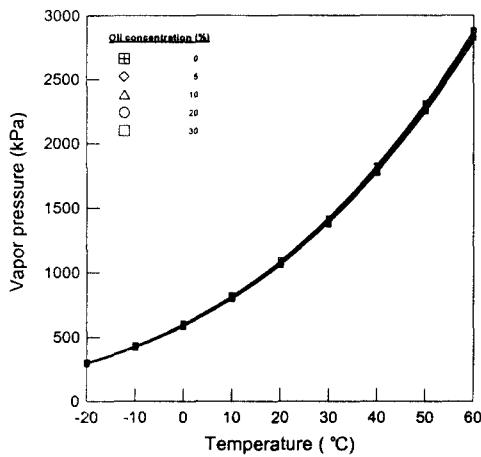
Fig. 2 Comparison of the measured vapor pressure of the R-404A with data in REFPROP 6.01 data.

매에 상용하는 냉동기유는 POE계가 사용중이다. POE계 오일은 광유와 비교할 때 윤활성이 우수할 뿐 아니라 필요에 따라 자유로이 점성을 조절할 수 있다는 특성이 있다. 반면 흡습성이 극히 높을 뿐 아니라 POE계 냉동기유는 고온 및 저온 상태에서 액체 혼합물이 오일과 냉매로 층 분리되기 쉬운 특성이 있다. 실험에 사용된 오일은 POE계 오일로서 CPI Eng.에서 제조한 Solest LT 32 오일과 Solest 46 오일이다. 실험에 앞서 순수냉매 R-404A의 증기압을 측정하여 REFPROP 6.01⁽¹²⁾에 있는 자료와 비교하였다. Fig. 2는 REFPROP 6.01의 증기압과 측정 증기압을 비교한 그래프로서 측정자료의 제공된 평균오차는 ±0.41%이며 제공된 평균 압력차는 4.52 kPa이었다.

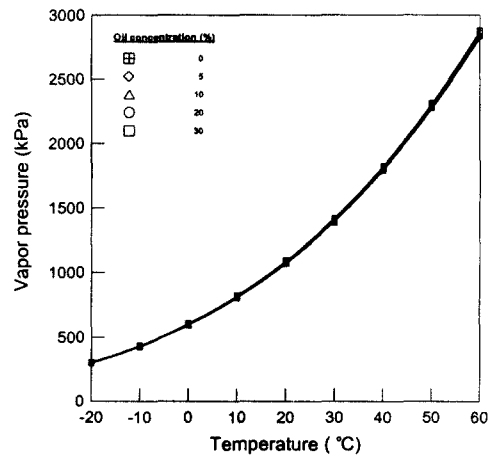
3.2 온도-압력-농도 관계

R-404A/POE 오일 혼합물에 대하여 오일의 농도를 변화시켜 가면서 -20~60℃의 온도범위에서 10℃ 간격으로 혼합물의 온도, 압력, 그리고 액상의 높이를 측정하였다. 오일농도는 Solest LT 32에 대해서는 5.151, 10.299, 20.636, 30.973, 51.650, 72.147 wt%로, Solest 46에 대해서는 5.154, 10.298, 20.598, 30.958, 51.570, 71.317 wt%로 변화시켰다. Fig. 3과 4에서 (a)는 R-404A/Solest LT 32 오일 혼합물, (b)는 R-404A/Solest 46 오일 혼합물에 대하여 측정한 자료를 이용하여 온도와 농도 변화에 따른 압력의 변화를 보여주고 있다. 두 가지 혼합물 모두 오일농도가 증가할수록 혼합물의 증기압은 감소하였으며, 특히 오일농도가 0~30 wt% 영역에서는 혼합물 증기압의 감소량이 매우 작았으나 오일농도가 30~70 wt% 영역에서는 감소량이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 오일농도 0~30 wt% 영역에서는 오일에 따른 혼합물의 증기압 강하를 무시할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 냉매/오일 혼합물의 평형조건에서 온도-압력-농도 관계를 나타내는 관계식 중 실험에서 얻은 자료를 가장 잘 표현하는 관계식을 다음과 같이 제시한다.

$$\ln P(\omega, T) = (a_1 + a_2/T + a_3/T^2) + (a_4 + a_5/T + a_6/T^2)/\omega + (a_7 + a_8/T + a_9/T^2)/\omega^2 \quad (1)$$

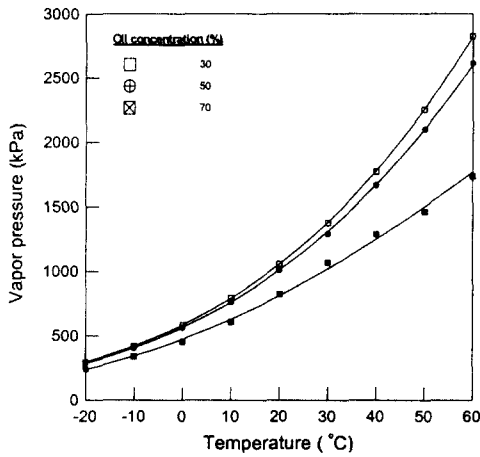


(a) R-404A/Solest LT 32 mixture

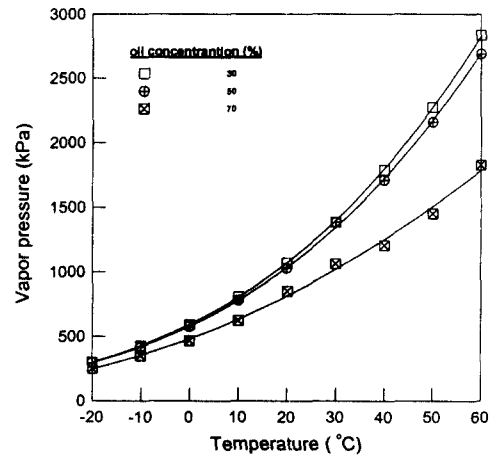


(b) R-404A/Solest 46 mixture

Fig. 3 Vapor pressure for the R-404A/POE oil mixture as a function of temperature and oil concentration (0~30 wt%).



(a) R-404A/Solest LT 32 mixture



(b) R-404A/Solest 46 mixture

Fig. 4 Vapor pressure for the R-404A/POE oil mixture as a function of temperature and oil concentration (30~70 wt%).

여기서 ω 는 냉매농도이고, $a_1 \sim a_9$ 는 계수로서 실험자료를 이용해 최소자승법으로 계산되며 그 값은 Table 2에 제시되었다. 위에 제시한 관계식은 전 오일농도영역에서 사용 가능한 식이다. 그러나 보다 정확한 예측을 위하여 실험자료를 두 개의 오일영역으로 나누어 실험자료로부터 상관관계식의 계수를 계산해 보았다. 따라서 오일농도 0~70 wt%, 0~30 wt%, 그리고 30~70 wt% 범위 각각에 대하여 계수를 제시하였다. Fig. 3과 4는

오일농도 0~30 wt%와 30~70 wt% 영역에서 예측된 증기압과 실험에서 측정된 증기압을 각각 나타낸 것이다. 여기서 실선은 예측된 증기압이며 기호는 실험에서 측정된 증기압이다.

오일농도가 0~70 wt%까지의 전 영역에 대해 식(1)로부터 예측된 증기압과 실험에서 측정된 증기압을 비교해 보면, 제품군 평균오차와 제품군 평균압력차는 Solest LT 32의 경우 각각 1.24%와 13.80 kPa이었으며, Solest 46의 경우 각각

Table 2 Constants in equation (1)

Oil concentration Coeff.	Solest LT 32 (wt%)			Solest 46 (wt%)		
	0~30	30~70	0~70	0~30	30~70	0~70
a_1	5.000	7.120	3.820	2.737	4.508	6.147
a_2	310.434	-1352.820	518.917	1353.004	81.898	-867.047
a_3	-245361.197	44775.178	-217795.145	-356797.959	-154105.399	-15977.618
a_4	2.262	0.211	3.430	6.945	2.465	0.770
a_5	-2051.374	-97.633	-1928.897	-4316.735	-1321.743	-339.858
a_6	384696.033	12094.764	269871.867	645583.579	180724.995	37884.126
a_7	-0.787	-0.306	-0.960	-3.079	-0.716	-0.358
a_8	757.795	155.104	528.214	1902.601	373.662	166.062
a_9	-146408.391	-20425.001	-73036.516	-284141.328	-50030.283	-19835.278

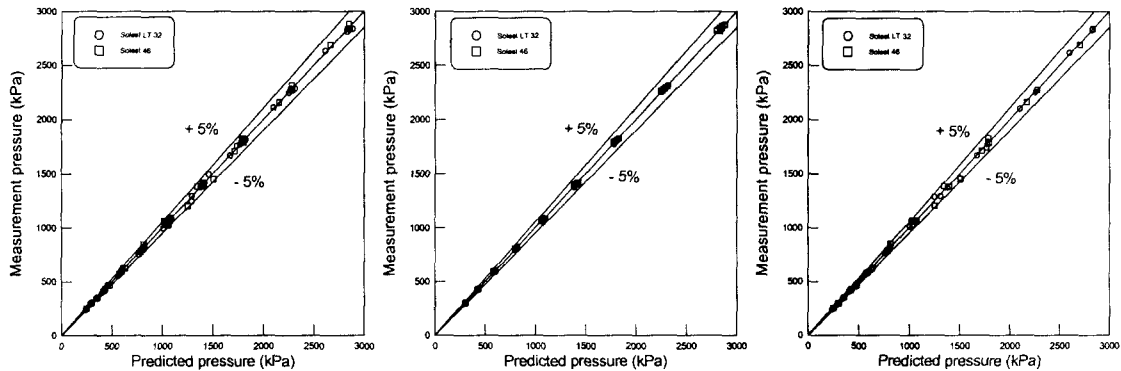
1.37%와 17.27 kPa이었다. 또한 오일농도가 0~30 wt%까지의 영역에 대해 해석한 경우, Solest LT 32는 각각 0.47%와 7.85 kPa이었으며, Solest 46은 각각 0.47%와 7.36 kPa이었다. 마지막으로 오일농도가 30~70 wt%까지의 영역에 대해 해석한 경우, Solest LT 32의 경우 각각 1.67%와 17.28 kPa이었으며, Solest 46의 경우 각각 1.60%와 18.81 kPa이었다.

위의 세 가지 경우에 대한 예측 증기압과 측정 증기압을 비교한 결과를 Fig. 5에 각각 나타내었다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 앞에서 제시한 관계식을 전 오일농도영역에 적용하였을 때보다 오일농도영역을 0~30 wt%, 30~70 wt%와 같이 두 개의 영역으로 나누어 적용하였을 때 오차가 좀 더 작게 나타나는 것을 알 수 있었다.

3.3 혼합물의 혼화성

R-404A/POE 오일 혼합물에 대하여 오일의 농도와 온도를 변화시켜 가면서 혼화성을 측정하였다. Table 3과 Table 4는 그 결과를 보여주고 있다. 여기서 냉매/오일 혼합물의 혼화성 상태를 크게 투명한 상태(clear), 이층상태(2-phase), 혼탁한 상태(hazy)로 구분하였으며 이층상태는 다시 이층상태1(2-phase-1)과 이층상태2(2-phase-2)로 구분하였다. 투명상태는 냉매와 오일이 잘 혼합되어 혼합물의 포화액 영역이 매우 투명한 상태이며 이층상태1과 이층상태2는 액체냉매와 오일이 잘 혼합되지 않고 액체냉매에 일부의 오일이 용해된 층(refrigerant-rich)과 오일에 일부의 냉매가 용해된 층(oil-rich)으로 분리된 경우로 이층상태1은 액체냉매가 많은 층위에 오일이 많은 층



(a) Oil concentration : 0~70 wt% (b) Oil concentration : 0~30 wt% (c) Oil concentration : 30~70 wt%

Fig. 5 Comparison of the measured vapor pressure for the R-404A/POE oil mixture with empirical model.

Table 3 Miscibility data of the R-404A/Solest LT 32 mixture at various oil concentration

Nominal temp. [°C]	Oil concentration [%](Mass fraction)					
	5%	10%	20%	30%	50%	70%
-20	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
-10	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
0	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
10	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
20	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
30	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
40	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
50	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
60	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear

이 층을 이룬 상태이며 이층상태2는 오일이 많은 층위에 액체냉매가 많은 층이 층을 이룬 상태로 LLV(liquid-liquid-vapor) 상태이다. 이층상태1과 이층상태2는 냉매와 오일의 밀도차가 온도변화에 따라 바뀌면서 생겨난 현상이다. 즉, 저온에서는 냉매의 밀도가 오일의 밀도보다 크나 고온에서는 냉매의 밀도가 오일의 밀도보다 작다. 따라서 저온에서는 냉매가 고온에서는 오일이 층분리된 밀부분에 존재한다. 마지막으로 혼탁한 상태는 혼합물의 포화액 영역이 투명하지 않고 우유빛을 내는 혼탁한 상태이다. R-404A/Solest LT 32 오일 혼합물의 경우, 실험 오일농도 전 구간과 실험온도 전 구간에 대하여 투명한 상태를 나타내었다. 반면 R-404A/Solest 46 오일 혼합물의 경우, 오일농도 20%, 30% 영역 고온에만 비혼화성이 나타났으며 그외의 실험온도 전 구간에 걸쳐 냉매와 오일이 잘 섞인 투명한 상태를 나타내고 있었다. 위의 결과를 보면 R-404A/Solest 46 오일 혼합물은 응축기의 냉매건도가 높은 범위에서 비혼화성에 의하여 응축기 내에 오일이 축적될 가능성이 높다.

4. 결 론

본 연구에서는 냉매/오일 혼합물의 증기압과 혼화성을 측정할 수 있는 실험장치를 구성하여 R-404A/32 ISO VG POE 오일 혼합물과 R-404A/46 ISO VG POE 오일 혼합물에 대한 증기압 자료와 혼화성을 0~70 wt%의 오일농도영역

Table 4 Miscibility data of the R-404A/Solest 46 mixture at various oil concentration

Nominal temp. [°C]	Oil concentration [%](Mass fraction)					
	5%	10%	20%	30%	50%	70%
-20	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
-10	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
0	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
10	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
20	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
30	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
40	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
50	Clear	Clear	2-Phase-2	2-Phase-2	Clear	Clear
60	Clear	Clear	2-Phase-2	2-Phase-2	Clear	Clear

에 대해 -20~60°C의 온도범위에서 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 오일농도가 증가할수록 압력은 감소한다. 특히 오일농도가 50 wt% 이상에서는 그 감소량이 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다.

(2) 실험온도 전 구간에 대해 오일농도가 0 wt%에서 30 wt%까지 변화하는 동안 압력의 변화량이 매우 작아 이 영역에서는 오일에 따른 압력변화량을 무시할 수 있을 것이다.

(3) R-404A/POE 오일 혼합물의 증기압을 예측할 수 있는 온도-압력-농도 상관관계식을 제시하였다. 제시한 관계식을 사용할 경우, R-404A/32 ISO VG POE 오일 혼합물의 경우 실험자료와의 제공된 평균오차가 1.24%며 R-404A/46 ISO VG POE 오일 혼합물의 경우 1.37%였다.

(4) 혼화성 실험결과에 의하면 R-404A/32 ISO VG POE 오일 혼합물의 경우, 실험 오일농도 전 구간과 실험온도 전 구간에 대하여 잘 섞인 상태를 나타내었으나, R-404A/46 ISO VG POE 오일 혼합물의 경우 오일농도영역 20, 30 wt% 온도영역 50°C, 60°C에서 층분리 현상이 일어나 비혼화성을 보였다.

참고문헌

- ASHRAE, 1998, Lubricants in Refrigerant Systems, ASHRAE Handbook, Refrigeration, SI ed., Ch. 7.
- Hughes, D. W., McMullan, J. T., Mawhinney,

- K.A. and Morgan, R., 1982, Pressure-enthalpy charts for mixtures of oil and refrigerant R12, *Int. J. of Refrigeration*, Vol. 5, No. 4, pp. 199-202.
3. Thome, J.R., Comprehensive thermodynamic approach to modeling refrigerant-lubricating oil mixtures. *International Journal of Heating, Ventilating, Air-Conditioning and Refrigerating Research* 1995 ; 1(2) : 110-126.
 4. Sundresan, S.G. and Radermacher, R., 1996, Oil return characteristics of refrigerant oils in split heat pump system, *ASHRAE Journal*, Vol. 38, No. 8, pp. 57-61.
 5. Thomas, R.H.P. and Pham, H.T., 1992, Solubility and miscibility of environmentally safer refrigerant/lubricant mixtures, *ASHRAE Trans.*, Vol. 98, Part I, pp. 783-788.
 6. Grebner, J.J. and Crawford, R.R., 1992, The effect of oil on the thermodynamic properties of dichlorodifluoromethane (R-12) and tetrafluoroethane (R-134a), *ACRC TR-13*.
 7. Eckels, S.J., Zoz, S.C. and Pate, M.B., 1993, Using solubility data for HFC-134a and ester lubricant mixtures to model an in-tube evaporator or condenser, *ASHRAE Trans.*, Vol. 99, Part II, pp. 383-391.
 8. Henderson, D.R., 1994, Solubility, viscosity and density of refrigerant/lubricant mixtures, *DOE/CE/23810-34*.
 9. Martz, W.L., Burton, C.M. and Jacobi, A.M., 1996, Vapor-liquid equilibria for R-22, R-134a, R-125, and R-32/125 with a polyol ester lubricant: measurements and departure from ideality, *ASHRAE Trans.*, Vol. 102, Part I, pp. 367-374.
 10. Yeau-Ren Jeng, 2001, Vapor Pressure of R-410A/oil and R-407C/oil mixtures, *Applied Thermal Engineering*, 21, pp. 863-870.
 11. Lee, J.H., 2001, Vapor Liquid Equilibrium and Miscibility for HFC Refrigerant/POE Oil mixtures, MS thesis, Ajou University, Suwon, Korea.
 12. McLinden, M., Klein, S., Lemmon, E. and Peskin, A., 1998, Thermodynamic and transport properties of refrigerants and refrigerant mixtures database (REFPROP), Ver. 6.01, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.