

## R-410A/POE 오일 혼합물의 용해도 및 상용성 측정

송 준 석\*, 김 창 년\*\*, 박 영 무\*\*\*

Measurement of solubility and miscibility of R-410A/POE oil mixture

J. S. Song, C. N. Kim, Y. M. Park

(Received July 29, 1999; revision received August 30, 1999)

### ABSTRACT

The solubility and miscibility measurement apparatus was developed and used to obtain data for refrigerant/oil mixture. The solubility and miscibility data for R-410A/68 ISO VG polyol ester (POE) oil mixture are obtained over the temperature range from -20 to 60°C with 10°C intervals and the oil concentration range from 0 to 90 wt%. Using the experimental data, an empirical model was developed to predict the solubility relations for R-410A/POE oil mixture at equilibrium. In the R-410A/Solest 68 oil mixture, the average root-mean-square deviation between measured data and calculated results from the empirical model is 3.4% and in the R-410A/EMKARATE RL 68H oil mixture, that is 2.86%. For R-410A/68 ISO VG POE oil mixture immiscibility was usually observed at the low oil concentrations(5~30 wt%) over the all experimental temperature range(-20~60°C) and at the high oil concentrations(50~90 wt%) over the low experimental temperature range(-20~0°C).

**Key words:** Concentration(농도), Equilibrium(평형), Miscibility(상용성), POE(폴리올에스테르), R-410A, Refrigerant oil(냉동기유), Solubility(용해도)

### 기 호 설 명

$a$  : 계수  
 $P$  : 압력 [kPa]  
 $RMS$  : 제곱근평균오차 [%]  
 $T$  : 온도 [°C]  
 $w$  : 냉매농도 [wt%]

### 1. 서 론

기존 가정용 에어컨에 사용해오던 R-22의 냉매가 오존층을 파괴하고 지구 온난화에 영향을 미치는 환경오염물질로 인식되면서 이들 냉매들에 대한 생산과 사용이 규제됨에 따라 대체냉매로 이중 혼합물인 R-410A가 개발되었다. 대체냉매가 개발되면 그에 따라 수행해야 할 여러 가지 중요한 일종의 하나가 대체냉매에 적합한 냉동기유를 개발하는 것이다.

냉동장치에서 압축기를 구동시키기 위해서는 반드시 냉동기유가 필요하다. 냉동기유는 압축기 작동부위의 마모를 방지하고 수명을 연장하며

\* 아주대학교 대학원  
 \*\* 정회원, 아주대학교 대학원  
 \*\*\* 정회원, 아주대학교 기계 및 산업공학부  
 (E-mail address: youngmoo@madang.ajou.ac.kr)

마찰을 줄여서 소요동력을 최소화한다. 이러한 윤활 목적 이외에 압축기 흡입과 토출측 사이에 압축된 가스를 봉입하고 냉각제로서 베어링으로부터 열을 제거하며 크랭크 케이스로부터 압축기 셀 밖으로 열을 전달하는 역할을 수행한다.<sup>(1)</sup>

반면에 냉동기유는 냉매에 용해되어 냉동 시스템을 순환하면서 용해도에 따라 열교환기 내에서의 열전달률을 변화시킬 수 있다. 뿐만 아니라, 냉동기의 장시간 정지시 비상용성에 의해 압축기 내에서 냉매와 오일이 이층으로 분리될 경우 초기 압축기 구동시 원활한 윤활이 되지 않아 압축기 파손의 원인이 되기도 한다.<sup>(2)</sup> 따라서 냉매/오일 혼합물의 용해도 및 상용성은 냉매에 적합한 냉동기유를 선정하는 데 있어 기준이 되는 중요한 요소 중의 하나이다.

기존 R-22의 냉동기유로는 광유인 미네랄오일이 사용되었으나 HFC성분의 대체냉매들은 미네랄오일에 용해되거나 혼화되지 않는다. 따라서 대체냉매에 적합한 새로운 냉동기유가 필요하게 되었으며 현재 합성오일인 PAG와 POE 오일이 사용되고 있다.

냉매/오일 혼합물에 대한 연구는 오래전부터 이루어졌으며 최근의 연구결과를 살펴보면 다음과 같다. Van Gaalen 등<sup>(3-4)</sup>은 R-22/나프텐(naphthenic)오일 혼합물의 압력, 온도 그리고 점도를 21~149°C 온도범위와 10~40%의 R-22 농도범위에서 측정하였으며 실험장치에 대하여 자세하게 기술하였다. 이들은 또한 38~149°C 온도범위에서 R-22/알킬벤젠(alkylbenzene)오일 혼합물의 용해도와 점도를 측정하였으며 혼합물의 점도, 액체밀도 그리고 증기압에 대한 실험식을 제시하였다. Thomas와 Pham<sup>(5)</sup>은 R-134a와 PAG 및 수정된 PAG 오일 혼합물에 대한 용해도와 상용성 자료를 제시하였다. 냉매/오일 혼합물의 증기압은 오일농도 10~90 wt%, 온도 10~70°C 범위에서 측정하였으며 R-134a와 오일의 상용성은 -60~70°C 범위에서 판단하였다. 이들은 측정된 용해도 자료를 Flory-Huggins 이론으로 해석하였으며 Flory 변수는 온도에 무관하나 오일의 분자량에 따라 변화한다고 하였다. Grebner와 Crawford<sup>(6)</sup>은 R-12/나프텐, R-12/파라핀(paraffinic), R-134a/PAG, R-134a/POE 혼합물에 대하여 압력과 액체밀도를 3.45 MPa까지 넓은 물분율에서 측정하였다. 이들은 측정된 자료를

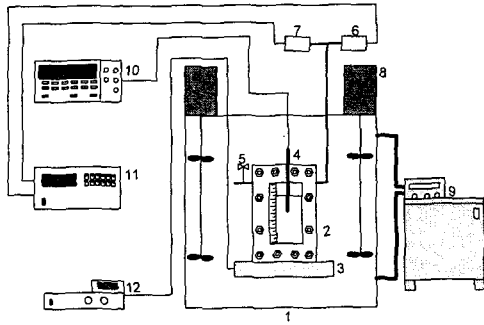
이용하여 실험모델을 개발하였으며 이론적 모델로 Raoult의 법칙과 Flory-Huggins 이론을 적용하여 혼합물의 거동을 예측하였다. Eckels 등<sup>(7)</sup>은 R-134a/169 SUS와 369 SUS 에스테르 혼합물에 대한 용해도 자료를 0~45%의 오일농도범위와 -10~50°C의 온도범위에서 얻었다. 또한 이들은 열전달 실험을 통하여 냉매/오일 혼합물의 용해도 자료가 열교환기 내를 유동하는 냉매/오일 혼합물을 모델화하는데 사용된다는 것을 밝혀내었다. Henderson<sup>(8)</sup>은 CFC, HCFC, HFC계의 10종류의 단일냉매와 미네랄, 알킬벤젠, 폴리알킬렌 글리콜(polyalkylene glycol), 폴리에스테르(polyolester)계 오일을 조합하는 총 35종류의 냉매/오일 혼합물에 대하여 저 냉매농도(0, 10, 20, 30 wt%)와 고 냉매농도(80, 90, 100 wt%)로 농도영역을 나누어 점도, 용해도, 밀도를 측정하였다. 그는 이들 자료를 이용하여 Daniel선도 및 온도와 조성에 따른 밀도선도를 제시하였다. Martz 등<sup>(9)</sup>은 R-22, R-125, R-134a, R-410A 각각의 냉매와 68 ISO VG POE 오일 혼합물에 대한 VLE 자료를 제시하였으며 이상거동으로부터의 이탈도를 계산하였다.

냉매/오일 혼합물의 용해도 및 상용성 자료는 냉동기유를 선정하는 기준이 되며, 열교환기의 정확한 해석 및 압축기의 파손을 예방할 수 있는 중요한 자료이다. 따라서 사용되는 냉매/오일 혼합물의 용해도 및 상용성 자료를 갖는 것은 냉동 시스템을 설계하는 설계자 입장에서는 매우 중요한 일이다. 그러나 현재 사용되고 있는 POE계 오일의 종류는 구조와 점도 및 제조회사에 따라 매우 다양하다. 따라서 본 연구에서는 R-22의 대체냉매중 비교적 냉동성능이 우수한 것으로 알려진 R-410A와 제조회사가 다른 두가지 68 ISO VG POE 오일 혼합물에 대하여 자세한 용해도와 상용성 자료를 제시하려 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

냉매/오일 혼합물의 용해도 및 상용성 측정 실험을 수행하기 위하여 Fig. 1과 같은 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 평형장치, 온도제어장치, 그리고 자료측정장치로 구성되어 있다. 평형장치



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

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

는 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 SUS 316을 사용하여 제작하였으며 평형셀의 내부크기는  $3 \times 3 \times 8$  cm로 체적은 약 72 ml이다. 평형셀 내부를 관찰하기 위하여 평형셀 전, 후면에 두께 1 cm의 강화유리를 설치하였고 실링재료는 실험물질들과의 화학적 안정성을 고려하여 테프론을 사용하였다. 그리고 셀 상부에 구멍을 뚫어 RTD를 삽입하였으며 양 측면에는 압력을 측정할 수 있고 셀내부의 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 섞어주기 위하여 사용되었다.

온도제어장치는 평형셀 내의 냉매/오일 혼합물의 온도가 일정하게 유지되도록 제어하는 역할을 수행하며 제어가능한 외부항온조와 실험항온조로

구성되어 있다. 실험 항온조의 교반기에는 DC 모터가 연결되어 속도를 제어할 수 있다.

자료측정장치에는 온도측정장치와 압력측정장치가 있다. 온도는 백금 저항온도센서(RTD, Pt-100)를 정밀 디지털 온도지시계(7563, YOKOGAWA)에 연결하여 측정하였다. 정밀 디지털 온도지시계의 정밀도는 RTD의 경우  $0.01^\circ\text{C}$ 이다. 온도측정장치(백금 저항온도센서와 디지털 온도지시계)는 정밀도  $0.1^\circ\text{C}$ 의 수은 온도계를 이용하여 보정하였으며 오차범위는  $\pm 0.36\%$ 이내였다. 압력은 압력오차를 줄이기 위해 저압에서는 0~20 bar, 고압에서는 0~60 bar의 압력범위를 가지는 압력 변환기(PDCR 922, Druck)를 디지털 압력 지시계(DPI 420)에 연결하여 측정하였다. 디지털 압력 지시계의 정밀도는 0.1 kPa이다. 압력측정장치는 분동식 압력보정기(RUSKA, BUDENBERG)로 보정하였으며 오차범위는 0~20 bar 압력 변환기의 경우  $\pm 0.07\%$ , 0~60 bar 압력 변환기의 경우  $\pm 0.13\%$  이내였다.

## 2.2 실험방법

냉매/오일 혼합물의 용해도와 상용성 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. 이 때 포화상태에서 포화액이 차지하는 체적이 전체 셀 체적의 70% 이상이 되도록 냉매와 오일을 주입한다.

냉매와 오일의 주입과 질량 측정이 끝나면 평형셀을 항온조속에 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 변화

를 관찰기록 한다. 온도와 압력은 대략 2~3시간 동안 온도변화가 설정값으로부터  $\pm 0.03^\circ\text{C}$  내에서 유지될 때, 수 차례 측정하며 측정에서 얻은 값의 평균값을 온도와 압력값으로 취한다. 설정 온도를 변화시켜가면서 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 용해도 및 상용성 측정실험에 사용된 냉매는 R-410A이며, 오일은 68 ISO VG POE계 오일로서 점도는 동일하지만 제조사가 각각 다른 두 종류의 오일을 사용하였다. 각 오일의 물성값은 Table 1과 같다. 현 R-410A 냉매에 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 저온상태에서 액체 혼합물이 오일과 냉매로 층 분리되기 쉬운 특성이 있다.

실험에 앞서 순수냉매 R-410A의 증기압을 측정하여 ASHRAE 핸드북<sup>(10)</sup>에 있는 자료와 비교하였다. Fig. 2는 ASHRAE 핸드북의 증기압과 측정 증기압을 비교한 그래프로서 측정자료의 제공근평균오차(RMS)는 0.37%, 제공근평균압력차는 32 kPa 이었다.

#### 3.2 온도-압력-농도 관계

R-410A/POE 오일 혼합물에 대하여 오일의 농도를 변화시켜 가면서  $-20\sim 60^\circ\text{C}$ 의 온도범위에서  $10^\circ\text{C}$  간격으로 혼합물의 온도, 압력 그리고 액상의 높이를 측정하였다. 오일농도는 Solest 68의 경우 5.216, 10.226, 21.082, 31.395, 52.318, 70.389, 92.568 wt%로, EMKARATE RL 68H의 경우 5.221, 10.487, 20.726, 30.972, 51.626, 71.886, 92.616 wt%로 변화시켰다.

Table 1 Typical properties of oil

Items	Property	
	ICI Eng.	CPI. Eng.
Company	ICI Eng.	CPI. Eng.
Model	EMKARATE RL 68H	Solest 68
Molecular weight, g/mol	-	-
Viscosity, cSt @40°C	72.3	64
Viscosity, cSt @100°C	9.8	8.9
Density, g/ml @15°C	0.977	7.88
Pour Point °C	-39	-43
Flash Point, C.O.C., °C	270	266
Fire Point, C.O.C., °C	-	296
Specific Gravity @20°C	-	0.945

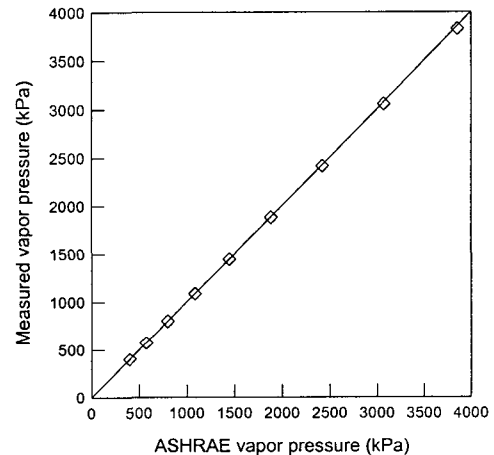
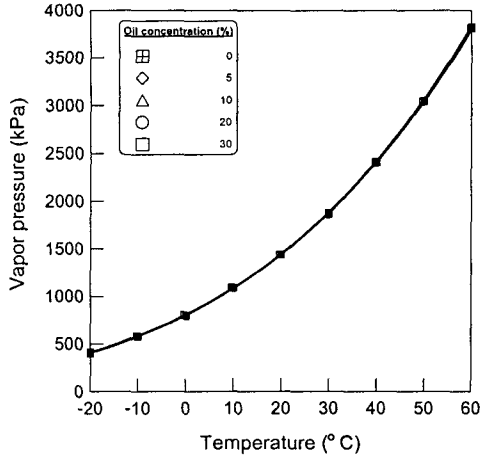


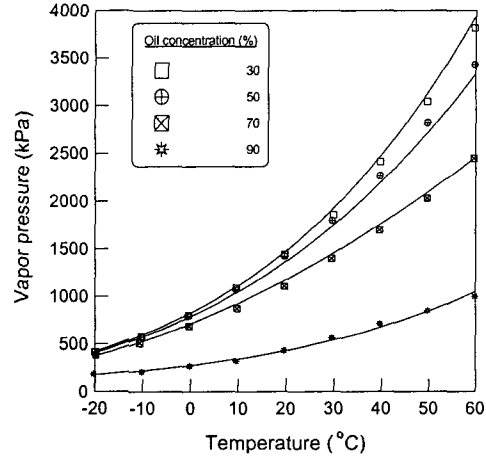
Fig. 2 Comparison of the measured vapor pressure of the R-410A with data in ASHRAE handbook.

Fig. 3과 4에서 (a)는 R-410A/Solest 68 오일 혼합물, (b)는 R-410A/EMKARATE RL 68H 오일 혼합물에 대하여 온도와 농도변화에 따른 압력의 변화를 보여주고 있다. 두가지 혼합물 모두 오일농도가 증가할 수록 혼합물의 증기압은 감소하였으며, 특히 오일농도가 0~30 wt% 영역에서는 혼합물 증기압의 감소량이 매우 작았으나 오일농도가 30~90 wt% 영역에서는 감소량이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 오일농도 0~30 wt% 영역에서는 오일에 따른 혼합물의 증기압 강하를 무시할 수 있을 것이다.

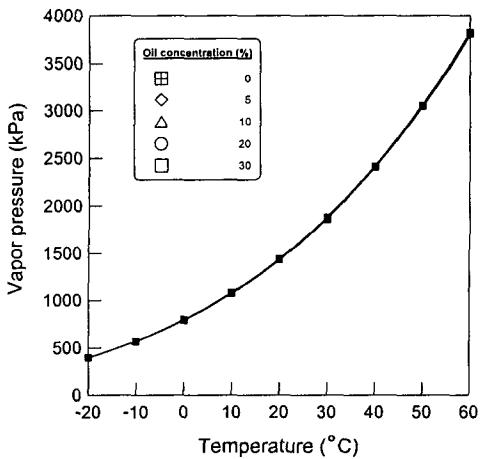
본 연구에서는 실험자료를 토대로 냉매/오일 혼합물의 평형조건에서 온도-압력-농도 관계를 가장 잘 표현하는 관계식을 다음과 같이 제시한



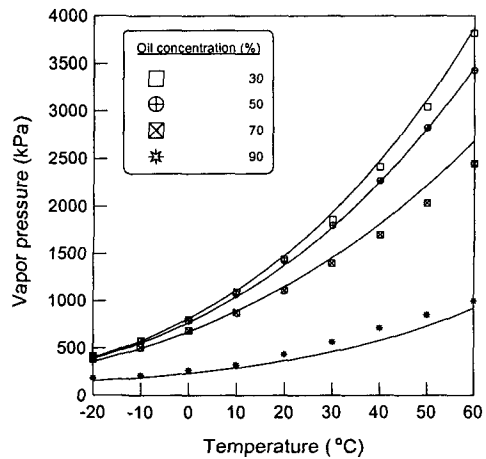
(a) R-410A/Solest 68 mixture



(a) R-410A/Solest 68 mixture



(b) R-410A/EMKARATE RL 68H mixture



(b) R-410A/EMKARATE RL 68 mixture

Fig. 3 Vapor pressure for the R-410A/POE oil mixture as a function of temperature and oil concentration (0~30 wt%).

Fig. 4 Vapor pressure for the R-410A/POE oil mixture as a function of temperature and oil concentration (30~90 wt%).

다.

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

여기서  $\omega$ 는 냉매농도이고,  $a_1 \sim a_9$ 는 계수로써 실험자료를 이용해 최소자승법으로 계산되며 값은 Table 2에 나타내었다.

위에 제시한 관계식은 오일농도 100 wt%를 제외한 전 오일농도 영역에서 사용가능한 식이다. 그러나 보다 정확한 예측을 위하여 실험 자료를

Table 2 Constants in equation (1)

Oil concentration Coeff.	Solest 68 (wt%)			Emkarate RL 68H (wt%)		
	0~30	30~90	0~90	0~30	30~90	0~90
$a_1$	4.397	10.002	7.637	9.968	6.864	9.431
$a_2$	450.454	-2752.904	-1454.642	-2719.117	-983.477	-2540.193
$a_3$	-225282.875	226561.883	45667.949	211796.222	-22548.535	208026.198
$a_4$	2.850	-2.250	-0.975	-6.027	-0.537	-2.206
$a_5$	-1891.403	1151.746	445.361	3133.163	208.074	1205.083
$a_6$	287383.190	-148998.295	-50036.488	-399508.571	-19397.042	-165698.917
$a_7$	-0.744	0.158	0.075	2.704	0.051	0.162
$a_8$	515.728	-83.928	-38.231	-1422.075	-25.545	-91.970
$a_9$	-78108.610	11120.722	4712.014	183640.725	3145.524	12877.587

두 개의 오일 영역으로 나누어 실험 자료로부터 상관관계식의 계수를 계산해 보았다. 따라서 오일농도 0~90 wt%, 0~30 wt% 그리고 30~90 wt% 범위 각각에 대하여 계수를 제시하였다. Fig. 3과 4는 오일농도 0~30 wt%와 30~90 wt% 영역에서 예측된 증기압과 실험에서 측정된 증기압을 각각 나타낸 것이다. 여기서 실선은 예측된 증기압이며 기호는 실험에서 측정된 증기압이다.

오일농도가 0~90 wt%까지의 전 영역에 대해 식(1)로부터 예측된 증기압과 실험에서 측정된 증기압을 비교해 보면, 제품근평균오차와 제품근평균압력차는 Solest 68의 경우 각각 3.4%와 66.11 kPa이었으며, EMKARATE RL 68H의 경우 각각 2.86%와 68.01 kPa이었다. 또한 오일농도가 0~30 wt%까지의 영역에 대해 해석한 경우, Solest 68은 각각 0.54%와 10.81 kPa이었으며, EMKARATE RL 68H는 각각 0.34%와 8.31 kPa이었다. 마지막으로 오일농도가 30~90 wt%까지의 영역에 대해 해석한 경우, Solest 68의 경우 각각 3.53%와 51.08 kPa이었으며, EMKARATE RL 68H의 경우 각각 2.87%와 58.03 kPa이었다. 위의 세가지 경우에 대한 예측 증기압과 측정 증기압을 비교한 결과를 Fig. 5에 각각 나타내었다.

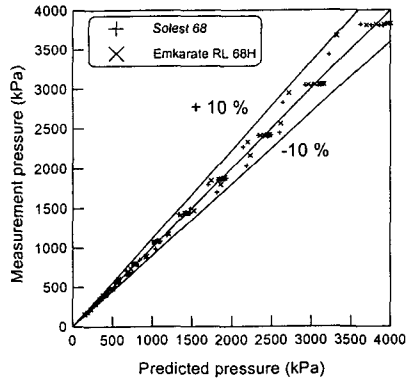
위의 결과에서 알 수 있듯이 앞에서 제시한 관계식을 전 오일농도 영역에 적용하였을 때보다 오일농도 영역을 0~30 wt%, 30~90 wt%와 같이 두 개의 영역으로 나누어 적용하였을 때 오차가

좀더 작게 나타나는 것을 알 수 있었다.

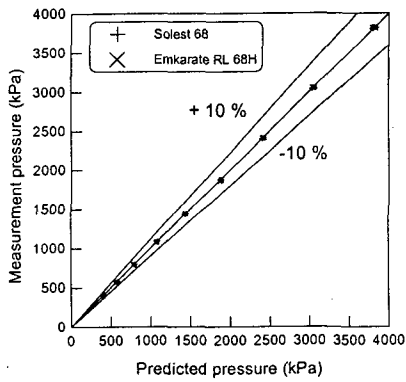
### 3.3 혼합물의 상용성

R-410A/POE 오일 혼합물에 대하여 오일의 농도와 온도를 변화시켜 가면서 상용성을 측정하였다. Table 3과 4는 그 결과를 보여주고 있다. 여기서 냉매/오일 혼합물의 상용성 상태를 크게 투명한 상태(clear), 이층상태(2-phase), 혼탁한 상태(hazy)로 구분하였으며 이층 상태는 다시 이층상태1(2-phase-1)과 이층상태2(2-phase-2)로 구분하였다. 각 상태의 대한 사진을 Fig. 6에 나타내었다. 투명한 상태는 냉매와 오일이 잘 혼합되어 혼합물의 포화액 영역이 한 개의 층으로 매우 투명한 상태이며 이층상태1과 이층상태2는 혼합물의 포화액 영역이 층분리가 일어난 상태이다. 즉, 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 층이 층을 이룬 상태이며 이층상태2는 오일이 많은 층위에 액체냉매가 많은 층이 층을 이룬 상태로서 LLV(liquid-liquid-vapor) 상태이다. 마지막으로 혼탁한 상태는 혼합물의 포화액 영역이 투명하지 않고 우유빛과 같이 뿌연 상태이다.

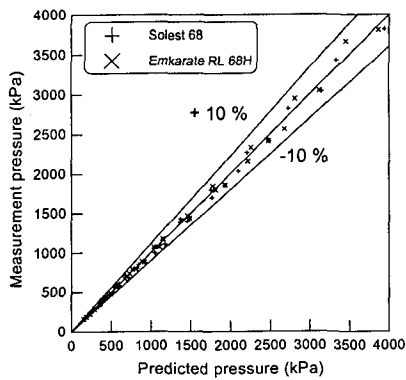
Solest 68의 경우, 오일농도 5 wt%일 때는 -20~-10°C, 40~60°C 범위에서 층분리가 발생하였으며, 오일농도 10~30 wt% 영역에서는 실험



(a) Oil concentration : 0~90 wt%



(b) Oil concentraion : 0~30 wt%



(c) Oil concentration : 30~90 wt%

Fig. 5 Comparison of the measured vapor pressure for the R-410a/POE oil mixture with empirical model.

Table 3 Miscibility data of the R-410A / Solest 68 mixture at various oil concentration

Nominal Temp. [°C]	Oil Concentration [%] (Mass fraction)						
	5 %	10 %	20 %	30 %	50 %	70 %	90 %
-20	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Hazy	Hazy
-10	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Hazy	Clear
0	Clear	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Hazy	Clear
10	Clear	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Clear	Clear	Clear
20	Clear	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Clear	Clear	Clear
30	Clear	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Clear	Clear	Clear
40	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	Clear	Clear	Clear
50	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	Clear	Clear	Clear
60	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	Clear	Clear	Clear

Table 4 Miscibility data of the R-410A / EMKARATE RL 68H mixture at various oil concentration

Nominal Temp. [°C]	Oil Concentration [%] (Mass fraction)						
	5 %	10 %	20 %	30 %	50 %	70 %	90 %
-20	Clear	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Clear	Clear	Clear
-10	Clear	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Clear	Clear	Clear
0	Clear	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Clear	Clear	Clear
10	Clear	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Clear	Clear	Clear
20	Clear	2-Phase-1	2-Phase-1	2-Phase-1	Clear	Clear	Clear
30	Clear	Clear	2-Phase-2	2-Phase-2	Clear	Clear	Clear
40	Clear	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	Clear	Clear	Clear
50	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	Clear	Clear	Clear
60	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	2-Phase-2	Clear	Clear	Clear

온도 전 범위에 걸쳐 층분리가 발생하였다. 오일 농도 50~90 wt% 영역에서는 -20~0°C 범위에서 층분리 및 혼탁한 상태가 발생하였다. 또한 EMKARATE RL 68H의 경우, 오일농도 5 wt%에서는 40~60°C 범위에서 층분리가 일어났으며, 오일농도 10~30 wt% 영역에서는 실험온도 전 범위에 걸쳐 층분리가 발생하였다. 오일농도 50~90 wt% 영역에서는 실험온도 전 범위에 걸쳐 투명한 상태가 발생하였다.

위의 결과를 보면 R-410A/68 ISO VG POE 오일 혼합물은 저 오일농도에서 비상용성 현상이 일어나는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 냉매/오일 혼합물의 용해도와 상용성을 측정할 수 있는 실험장치를 구성하여

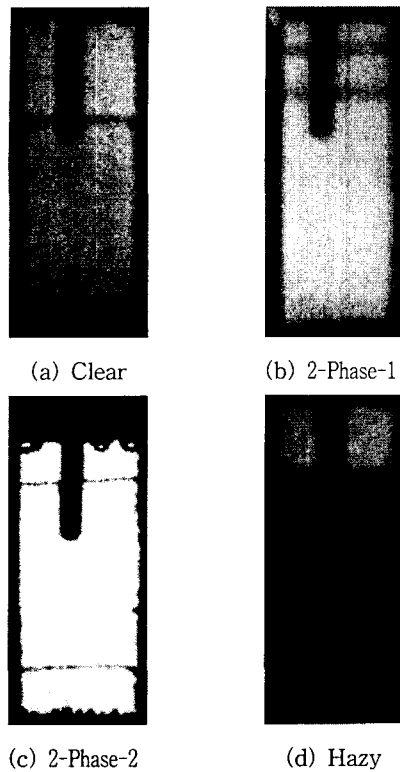


Fig. 6 Solubility of R-410A/POE oil mixture.

R-410A/68 ISO VG POE 오일 혼합물의 용해도와 상용성을 0~90 wt%의 오일농도 영역에 대해 -20~60℃의 온도범위에서 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

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

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

(3) R-410A/POE 혼합물의 증기압을 예측할 수 있는 온도-압력-농도 상관관계식을 제시하였다. 제시한 관계식은 제품근평균오차 3.53% 범위 내에서 냉매/오일 혼합물의 증기압을 예측할 수 있을 것이다.

(4) R-410A/68 ISO VG POE 오일 혼합물은 주로 저 오일농도 영역(5, 10, 20, 30 wt%)에서

비상용성을 보였다.

#### REFERENCE

- ASHRAE, 1998, Lubricants in Refrigerant Systems, ASHRAE Handbook, Refrigeration, SI ed., Ch. 7.
- Ahn, H. N., 1996, The use of HFC-134a in car air conditioning systems, Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 518-523.
- Van Gaalen, N. A., Pate, M. B., and Zoz, S.C., 1990, The measurement of solubility and viscosity of oil/refrigerant mixtures at high pressures and temperatures: test facility and initial results for R-22/naphthenic oil mixtures, ASHRAE Trans., Vol. 96, Part II, pp. 183-190.
- Van Gaalen, N. A., Pate, M. B., and Zoz, S. C., 1991, The solubility and viscosity of solutions of HCFC-22 in naphthenic and in alkylbenzene at high pressures and temperatures, ASHRAE Trans., Vol. 97, Part I, pp. 100-108.
- 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.
- 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.
- 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.
- Henderson, D. R., 1994, Solubility, viscosity and density of refrigerant/lubricant mixtures, DOE/CE/23810-34.
- 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. ASHRAE, 1997, Thermophysical Properties of Refrigerants, ASHRAE Handbook, Fundamentals, SI ed., Ch. 19.