

# 온도 감지식 팽창밸브 감온통 질소가스 혼합냉매의 동특성 연구

## A Study on the Dynamic Characteristics of Nitrogen Mixed Gas for Thermostatic Expansion Valve Sensing Blub

김시영\*† · 구수진\*\* · 주창식\*\*\*

Si-Young Kim\*† , Su-Jin Koo\*\* and Chang-Sik Ju\*\*\*

(접수일 : 2013년 12월 12일, 수정일 : 2014년 01월 13일, 채택확정 : 2014년 01월 13일)

**Abstract:** The pressure and temperature characteristics of mixed refrigerant gases in bulb for thermostatic expansion valve were studied using R22 refrigerant and N<sub>2</sub> gases. The characteristics of mixed refrigerant gases were investigated according to pressure variation and the variation of composition ratio of R22 refrigerant and N<sub>2</sub> gases in the temperature range of -15°C ~ 15°C. The Maximum operating pressure(MOP) of mixed refrigerant gases were showed a tendency to decrease with decreasing the mixing ratio of N<sub>2</sub> gas. The characteristics in the case of the mixing ratio of 90:1 for R22 refrigerant and N<sub>2</sub> gases were the same result as Reference refrigerant. In addition, the characteristics of the mixed refrigerant gases in the mixing ratio of 90:1 for R22 refrigerant and N<sub>2</sub> gases were showed almost linear in the measurement range of pressure-temperature, and the physical properties also were showed similar results with Reference refrigerant. It was able to confirm that a MOP on the thermostatic expansion valve for sensing bulb can be maintained by adjusting the mixing ratio of R22 refrigerant and N<sub>2</sub> gases.

**Key Words :** Thermostatic Expansion Valve(TXV), Maximum Operating Pressure(MOP), P-T diagram, R22 refrigerant, N<sub>2</sub> gas.

## 1. 서 론

냉동과 공기조화 장치를 구성하는 부품의 하나인 팽창밸브(expansion valve)는 냉동사이클에서 부하를 조정하는 제어기 이다. 이 장치에는 온도 감지식 팽창밸브(TXV, Thermostatic Expansion Valve)와 전자식 팽창밸브(EXP, Electronic Expansion

Valve)가 있으며 이 장치의 역할은 증발기로부터 압축기에 흡입되는 증발 냉매가스의 과열도에 적응하는 냉매의 흐름을 조정하는 역할을 한다. 그리고 온도 감지식 팽창밸브(TXP)는 증발기 출구의 온도를 감지하여 과열도를 맞추기 위하여 냉매가스 유량을 조절하도록 하는 밸브이다.<sup>1,2)</sup> 온도 감지식 팽창밸브는 Fig. 1과 같이 감온통, 다이어

\*† 김시영(교신저자) : 부경대학교 기계시스템공학과

E-mail : kimsy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6191

\*\*구수진 : 부경대학교 방위과학기술연구소

\*\*\*주창식 : 부경대학교 화학공학과

\*† Si-Young Kim(corresponding author) : Dept. of Mechanical System Engineering, Pukyong National University.

E-mail : kimsy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6191

\*\*Su-Jin Koo : Institute of Defense Science & Technology, Pukyong National University.

\*\*\*Chang-Sik Ju : Dept. of Chemical Engineering, Pukyong National University.

프램, 모세관 및 압력 스프링 등으로 구성 되어 있으며, 밸브의 열림은 Fig. 2에서와 같이 3가지 힘의 크기, 즉 감온통내의 가스압력이 다이아프램 상부에 작용하는 힘( $P_1$ ), 증발기에서의 냉매 증발 압력( $P_2$ ) 그리고 압력스프링의 힘( $P_3$ )에 의하여 결정된다.

$$P_1 = P_2 + P_3 \text{ (개도평형유지)} \quad (1)$$

$$P_1 > P_2 + P_3 \text{ (개도 감소, 밸브 열림)} \quad (2)$$

$$P_1 < P_2 + P_3 \text{ (개도 증가, 밸브 닫힘)} \quad (3)$$

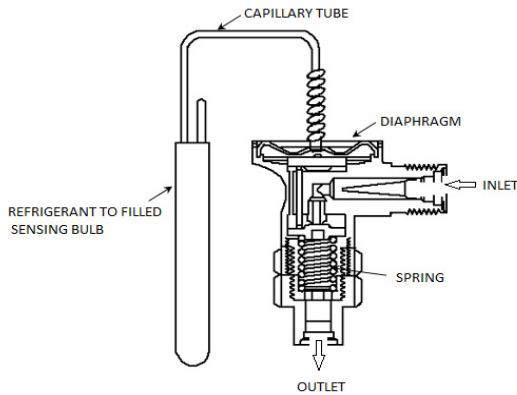


Fig. 1 Schematic of Thermostatic Expansion Valve

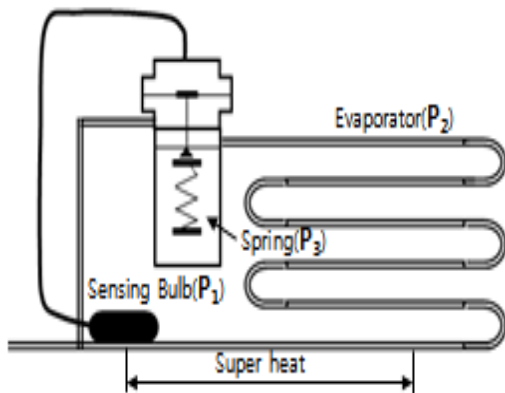


Fig. 2 Schematic diagram for actuating mechanism of Thermostatic Expansion Valve

여기서 최대조작압력(MOP, Maximum Operating

Pressure))이란 감온통 내에 봉입된 혼합가스의 최대 동작 압력을 말한다.<sup>3)</sup> 혼합가스 온도의 상승(Rising bulb temp.)에 의하여 최대조작압력에 도달하면 팽창밸브는 닫힌다. 팽창밸브의 과열도 설정이 변경되면 MOP점(point)이 변한다. 과열도 설정이 증가하면, MOP점이 감소하고 MOP점이 증가하면 과열도는 감소한다. 감온통에 충전되는 혼합 가스는 냉동기의 냉매와 동일한 냉매가 사용되고 온도와 압력의 민감도(Sensitivity)가 적고 최대조작 압력을 유지하기 위하여 첨가제를 투입하는 것으로 알려져 있다.<sup>4)</sup>

본 연구에서는 감온통내 혼입 가스를 제조하기 위하여 냉매 R22(Chlorodifluoromethane<sup>5)</sup>)에 새로운 가스를 혼합하여 그 혼합비(R22/혼합가스)비 비율을 변화시키면서 감온통 온도 감지 변화에 따른 압력변화를 측정하여, 그 동특성을 분석 조사 하였다.

## 2. 감온통 가스 봉입 방식

온도 감지식 팽창밸브(TXV)에 사용되는 냉매는 현재 가장 많이 사용되고 있는 R22를 대체할 냉매가 개발되지 않아 기존의 순수냉매를 2종이상 혼합한 혼합냉매의 열역학적 특성에 대한 연구는 많이 이루어지고 있다.<sup>6-10)</sup> 그러나 감온통에 봉입되는 냉매의 첨가제에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 감온통은 충전방식에 따라 가스충전식(동일 냉매가스), 액충전식(동일 냉매액) 및 액교차 충전식(냉매와 다른 액체 또는 가스)이 있다.<sup>11)</sup> Fig. 3에 감온통의 냉매 충전방식에 따른 온도와 압력의 관계를 나타내었다. Fig. 3을 보면 가스충전방식은 증발기에서 부하(Heat Load)가 증가하면 증발기 출구에서 과열도가 증가하여 팽창밸브가 열림으로 냉매흐름을 증가 시키고 반대로 증발기에서 부하가 감소하는 경우는 과열도가 감소하여 밸브가 닫힘으로 냉매의 흐름을 줄이게 된다. 이러한 방식은 냉동기 시동 시 증발기에도 액냉매 혼입을 방지하고, 압축기의 과부하를 방지 할 수 있다.

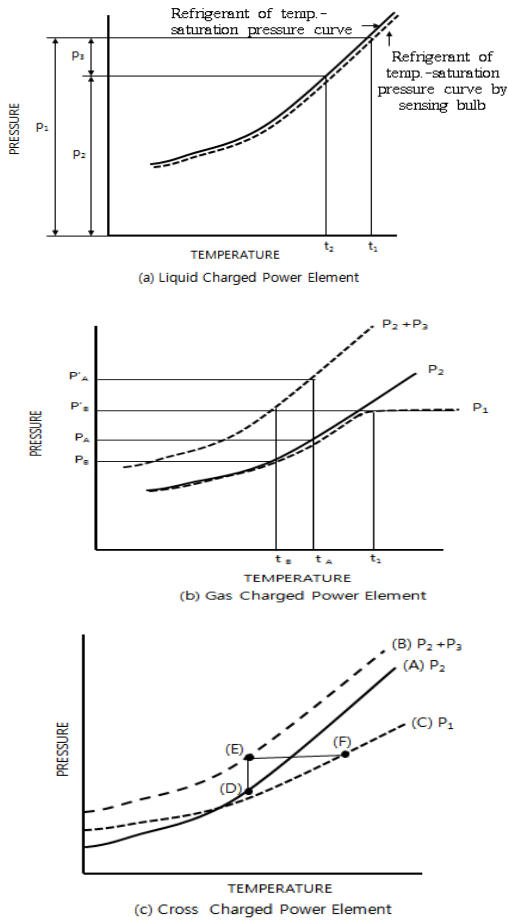


Fig. 3. Relationship of temperature and pressure by the system refrigerant charge.

### 3. 감온통 봉입 혼합가스의 설계

감온통에 봉입되는 냉매가스를 최대조작압력(MOP)으로 증가시키기 위하여 첨가되는 첨가제는 온도와 압력의 민감도(Sensitivity)이 낮고 과열도 구간(-15°C~15°C)에서 압력이 비례적으로 증가하여야 한다. 봉입되는 가스의 증기압(P)과 온도(T)의 관계식은 식(4)의 Clausius-Clapeyron 식을 이용할 수 있다.<sup>12)</sup>

$$\ln p = -\frac{\Delta H}{RT} + \ln A \quad (4)$$

식(4)의 압력 기울기는  $-\frac{\Delta H}{R}$  이다.

여기서 새로이 첨가되는 가스 물성값의 조건은 다음과 같이 선정한다.

- 기울기 값을 Spolan 사<sup>13)</sup>의 물성값과 같게 한다.
- $\Delta H$ 의 값은 R22의 범위내에 있어야 한다.
- 기존냉매(R22)와 화학적으로 반응하지 않는다.
- 감온통(SUS304)을 부식 시키지 않는다.

이상의 조건을 만족하고 새로운 첨가 가스로서 상용 제품(Sporlan 사)의 최대조작압력(MOP)을 기준을 고려하여 불활성가스(Inert gas) 중 상업적으로 가장 많이 사용되고 있는 질소가스(N<sub>2</sub>)<sup>14)</sup>를 혼합 첨가제 가스로 선정 하였다.

### 4. 실험장치 및 방법

본 장치의 사용냉매(R22)에 새로운 가스(N<sub>2</sub>)를 첨가한 혼합가스의 온도-압력 특성치 조사를 위한 실험장치를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에 제시된 장치는 압력게이지가 장착된 고압 반응조와 냉각장치(Chiller, 50 vol% ethylene glycol)로 구성되어 있다. 고압반응기는 SUS 304 재질로 직경 65mm, 높이 120mm로 부피가 680cm<sup>3</sup>이며, 최대허용압력은 30kgf/cm<sup>2</sup>이다. 온도를 낮추기 위해 사용한 냉매는 50 vol% ethylene glycol 을 사용하여, 혼합냉매 가스 온도를 -15°C ~ 15°C로 유지 하였다.

기존냉매(R22)를 고압반응기 부피의 80% 정도 충전 한 후 불활성 가스를 주입하고 서로 잘 혼합이 될 수 있도록 상온에서 2시간 정도 방치 후 -15°C ~ 15°C 범위에서 압력변화를 측정하여 표준물(Sporlan, MOP)과 비교하였다. 그리고 연구에 사용된 냉매는 R22(purity 99.5%, HUSUNG, Korea), 첨가제는 질소(purity 99.999%, Praxair, Korea)를 사용 하였다.

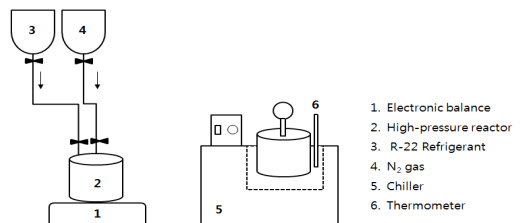


Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Physical properties of the R22/N<sub>2</sub> used in the experiment.

Type		Refrigerant	
Item	Unit	R22	N <sub>2</sub>
Chemical Formula		CHClF <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Refrigerant type		HCFC	-
Molecular Weight	kg/kmol	86.46	28.01
Density, sat. vapor	kg/m <sup>3</sup>	4.7	1.25
Spec. Gravity	-	-	0.967
Critical point temp.	°C	96.1	-
Critical point pressure	psia	723.7	429.9
Heat of fusion	kJ/mol	-	0.72
Heat of vaporization	kJ/mol	-	5.57
Heat capacity	J/mol·K	-	29.124
Charging Pressure	psig	-	1984.5
Latent heat of vaporization(7°C)	kJ/kg	199.2	-
Specific heat (vapor, 7°C)	kJ/kg · k	0.771	-
Thermal Conductivity (vapor, 7°C)	W/ · k	0.0099	-

Table 2 Mixing ratio of R22 refrigerant vs. N<sub>2</sub> (wt.%)

Type	Refri.	1	2	3	4	5	6
Mixing ratio (wt.%)	R-22	70	70	70	70	80	90
	N <sub>2</sub>	7	5	3	1	1	1

## 5. 실험결과

### 5.1. 혼합비(R22/N<sub>2</sub>)변화에 따른 P-T 특성

Sporlan 사의 R22 냉매의 최대조작압력(MOP)을 기준(Fig. 5)으로 정하고 동일한 결과를 얻기 위하여 R22 냉매에 가격이 저렴하고 가장 많이 사용되고 있는 불활성 기체인 질소(N<sub>2</sub>)가스를 첨가하여 R22냉매/N<sub>2</sub> 혼합비율을 Tab. 2에서 제시한 혼합비율로 완전히 혼합 후 온도변화에 따른 압력변화를

측정한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에 의하면 R22 냉매를 70wt%로 고정하고 질소가스의 투입량을 7~1wt%로 감소시키면 측정온도 구간에서 기준물질(R22 MOP, 1.99kg/cm<sup>2</sup> ~ 7.02kg/cm<sup>2</sup>)과 유사한 경향을 보이나 압력은 최소 2.60kg/cm<sup>2</sup>에서 최대 7.60kg/cm<sup>2</sup>로 기준물질과 비교 하면 평균 1.0 ~ 1.3배 정도 높게 측정 되었다. 이와 같은 결과는 질소의 충전 압력(135kg/cm<sup>2</sup>)이 매우 높아 R22냉매와 반응 하지 않고 압력만 증가시킨 결과라고 추측이 된다.

상기 실험 자료를 바탕으로 질소 투입량을 1wt%로 고정하고 R22냉매 투입량을 70wt%에서 80wt% 및 90wt%로 증가시켜 온도변화에 따른 압력변화를 측정한 결과는 80wt%의 경우 70wt%와 동일한 결과를 나타내었으나, 90wt%의 경우는 기준물질과 동일한 압력 분포를 나타내었다. 이상의 실험결과를 종합하면 온도변화에 따른 압력변화량은 질소의 함량에 의해 의존하는 하는 것으로 판단이 된다.

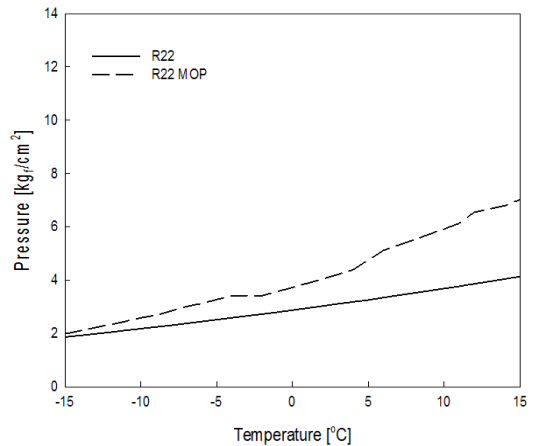
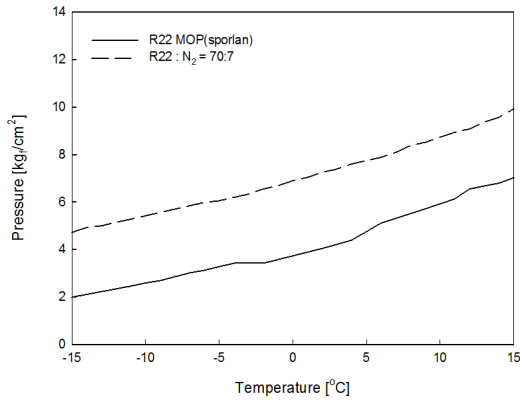


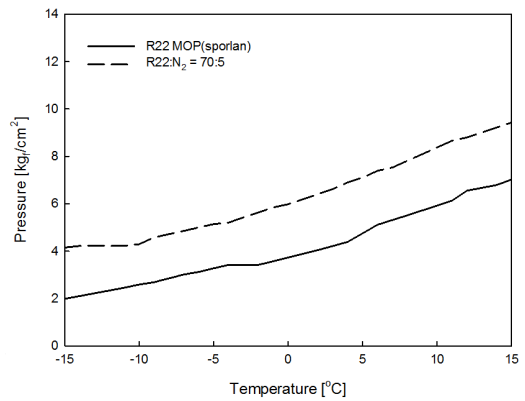
Fig. 5 P-T diagram of the Reference Refrigerant (R22 MOP) and R22 refrigerant at -15°C ~ 15°C.<sup>13)</sup>

### 5.2. 새로운 혼합가스(R22+N<sub>2</sub>)의 회귀분석

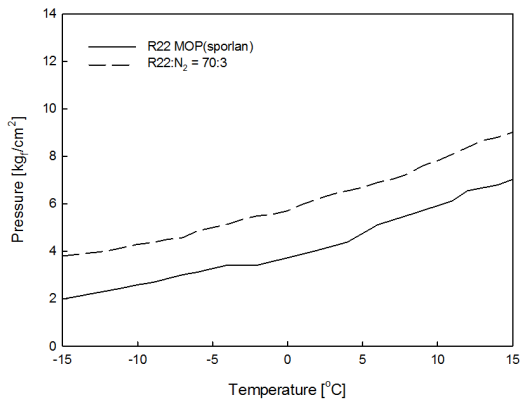
기준물질(R22, R22 MOP)과 혼합가스의 회귀분석 결과를 Tab. 3에 나타내었다. 온도 -15°C~15°C 구간에서 기준물질과 혼합가스 대부분은 직



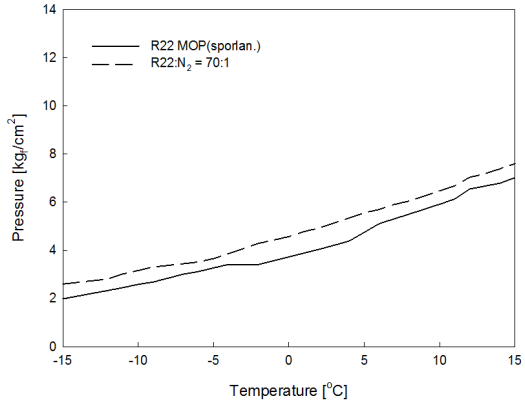
(a) Mixing ratio(R22:N<sub>2</sub> = 70:7wt%)



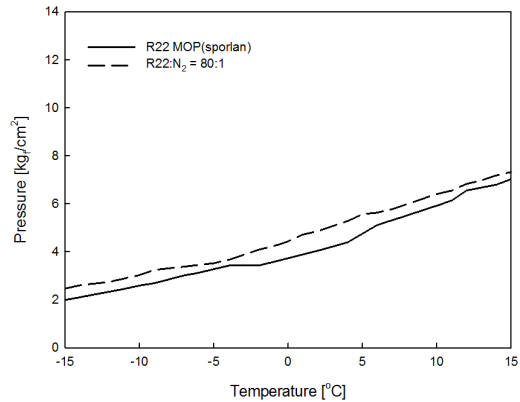
(b) Mixing ratio(R22:N<sub>2</sub> = 70:5wt%)



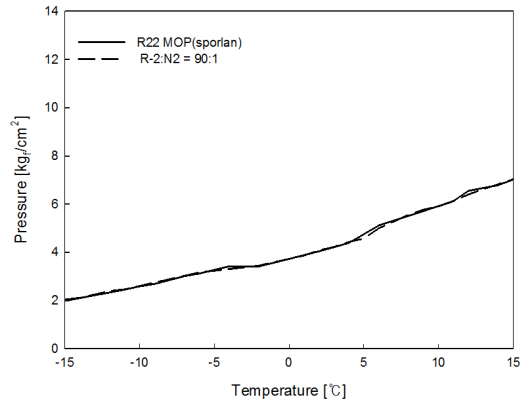
(c) Mixing ratio(R22:N<sub>2</sub> = 70:3wt%)



(d) Mixing ratio(R22:N<sub>2</sub> = 70:1wt%)



(e) Mixing ratio(R22:N<sub>2</sub> = 80:1wt%)



(f) Mixing ratio(R22:N<sub>2</sub> = 90:1wt%)

Fig. 6 P-T diagram of the Reference Refrigerant(R22 MOP) vs. R22 refrigerant plus N<sub>2</sub> gas at -15°C ~15°C

선성을 나타내었다. 회귀분석에서 결정계수( $R^2$ )는 상관계수의 제곱으로 표시하며 실험자료의 분산비를 의미한다. 즉 회귀식이 자료를 얼마나 잘 설명하고 있는가를 나타내는 계수이다. 일반적으로 클수록 좋다. 특히  $R^2 > 0.65$  이상인 경우는 실험자료의 신뢰성이 높다. 수정된 결정계수( $R^2$ )는 독립변수(인자)와 실험자료를 고려한 결정계수로서 수정된  $R^2$  보다 수정 전  $R^2$  가 커야 된다. 특히  $R^2$  와 수정 전  $R^2$  의 차가 적을수록 좋다. 본 연구에서의 실험자료는 단일냉매(R22)에 질소가스를 첨가한 경우  $R^2$  와 수정 전  $R^2$  의 차이가 0.0001 ~ 0.001 로서 아주 양호한 결과를 나타내었다.

(R22+N<sub>2</sub>)를 첨가한 경우 이다.

$$y = 1.073x + 41.62 \tag{5}$$

$$y = 2.380x + 59.16 \tag{6}$$

$$y = 2.338x + 63.00 \tag{7}$$

식(5), (6) 및 (7)을 비교해 보면 직선의 기울기는 첨가제 투입전에는 1.073에서 질소가스를 첨가한 경우는 2.338, 기준물질은 2.380으로 약 2.2배 정도 증가 되었다.

여기서 첨가제 투입에 의해서 동일온도에서 압력변화량이 증가되는 것을 알 수 있다. 또한 Tab. 3을 보면 결정계수의 값은 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합해 보면 첨가제로 투입된 질소가스는 기준냉매(R22)와 전혀 반응하지 않고 기준냉매의 투입량의 증감 또는 첨가제의 증감에 따라 압력이 증가 또는 감소된 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

R22냉매에 첨가제로 비활성기체인 질소가스를 투입하여 온도감응 팽창밸브의 최대조작압력(MOP)과 동일한 조건을 확인한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

(1) R22냉매를 70wt%로 고정하고 질소가스의 첨가량을 7, 5, 3, 1wt%로 감소시키면 온도변화에 따른 압력변화량은 감소하였다.

(2) 질소가스량을 1wt%로 고정하고 반대로 R22 냉매량을 80, 90wt%로 증가 시킨 결과 냉매량이 증가 할수록 압력변화량은 감소되었고, R22:N<sub>2</sub> = 90:1인 경우 기준물질(R22 MOP, Sporlan)<sup>14)</sup> 거의 일치하는 값을 보였다.

(3) 기준냉매(R22)에 새로운 첨가제 투입 전, 후의 실험결과를 회귀분석결과  $y = ax + b$  형태의 일차방정식이 구해지고 기울기가 약 2.3 인 Sporlan사의 값과 동일 과열도 온도 범위안 에서 압력변화가 잘 일치 하였다.

Table 3 Results of regression analysis of the mixed gas

Item	Equation	Variables		Coefficient of determination		
		y <sub>0</sub>	a	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> - Adj. R <sup>2</sup>
R22	f = y <sub>0</sub> +ax	41.62	1.073	0.996	0.996	0.0001
R22 MOP	f = y <sub>0</sub> +ax	59.16	2.380	0.970	0.969	0.001
R22/N <sub>2</sub> (70:7)	f = y <sub>0</sub> +ax	99.80	2.376	0.990	0.991	0.0003
R22/N <sub>2</sub> (70:5)	f = y <sub>0</sub> +ax	89.48	2.678	0.975	0.974	0.0009
R22/N <sub>2</sub> (70:3)	f = y <sub>0</sub> +ax	85.22	2.515	0.982	0.982	0.0006
R22/N <sub>2</sub> (70:1)	f = y <sub>0</sub> +ax	67.67	2.413	0.987	0.986	0.0004
R22/N <sub>2</sub> (80:1)	f = y <sub>0</sub> +ax	65.93	2.382	0.987	0.986	0.0005
R22/N <sub>2</sub> (90:1)	f = y <sub>0</sub> +ax	63.00	2.338	0.990	0.990	0.0003

### 5.3. 혼합가스 및 첨가제와의 화학반응성 평가

기준냉매(R22)에 첨가제 투입전·후를 비교하면 온도변화에 따라 압력이 감소 또는 증가되는 현상만이 관찰 되었다. 또한, 회귀분석 결과를 종합해 보면 온도변화구간(-15℃ ~ 15℃)에서 모두 선형회귀방정식을 나타내었다. 선형 회귀방정식 (5)은 첨가제를 투입하기 전(R22 단독)<sup>13)</sup>이며, (6)는 기준물질(R22+α)<sup>13)</sup>의 경우이며, (7)은 새로운 첨가제

## 후 기

이 논문은 2013학년도 부경대학교의 자율창의 학술연구(2013년 : CD 2013-0423) 지원에 의하여 수행된 연구 결과입니다.

## Reference

1. C. Y. Park, 2009, "Electronic Expansion Valves VS. Thermal Expansion Valves", SAREK Journal, Vol. 38, No. 8, pp. 65-71.
2. S. P. Won, 2011, "Modelling of an Automotove Block Type Thermostatic Expansion Valve", SAREK Journal, Vol. 23, No. 4, pp. 251-258.
3. www.kvc.com, 1999, "Data sheet danfoss termo statiske ekspansjonsventiler".
4. D. Andrew et. al., 1968, "Modern Refrigeration and Air Conditioning", Goodheart Willcox. p. 343.
5. James M. Calm, 2008, "Properties and Efficiencies of R-410A, R-421A, R-422B and R-422D compared to R-22" JMC/RMS-0807a, pp. 1-10.
6. H. S. Chang, 2007, "Condensation Heat Transfer Characteristics of R-410A as an Alternative R-22 in the Condenser with Small Diameter Tubes", Clean Technology, Vol. 13, No. 2, pp. 151-158.
7. J. D. Kim, J. S. Lim and B. G. Lee, 2002, "CFC Alternative Refrigerants", Journal of the Korean Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 13, No. 6, pp. 491-501.
8. D. S. Jung and Y. J. Song, 2000, "Performance of Alternative Refrigerant Mixtures for HCFC22, Int J Refrigeration. Vol. 23, No. 6, pp. 466-474.
9. Domanski, P. A and Didion, D. A., 1993, "Thermodynamic evaluation of R22 alternative refrigerants and refrigerant mixtures", ASHRAE Trans. Vol. 99, Part2, pp. 636-648.
10. W. Keith snelson. and J . W. linton, 1995, System Drop- in Tests Refrigerant Blend R- 125/R143a/ R134a (44%52%4%) Compared to R-502, ASHRAE Trans, Vol. 101, pp. 17-24.
11. D. Andrew et. al., 1968, "Modern Refrigeration and Air Conditioning", Goodheart Willcox. pp. 170-178.
12. W. David et. al., 1992, "Chemistry Science of Change", Winston Inc., p. 419.
13. www.spolan.com, 2000, "Refrigerant Pressure Temperature Table"
14. J. I. Yoon, 2013, " Effects on Heat Exchangers Efficiency on Performance of Cryogenic Refrigeration Cycles," Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 58-63.