creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000237378

*2009*年 *2*月
工學博士學位論文

*HCFC*계 대체냉매에 대한 과열도 변화에 따른 성능 특성 연구

朝鮮大學校 大學院
機 械 工 學 科
金 聖 培

*2009*年 *2*月

工學博士學位論文

*HCFC*계 대체냉매에 대한 과열도 변화에 따른 성능 특성 연구

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

金 聖 培

*HCFC*계 대체냉매에 대한 과열도 변화에 따른 성능 특성 연구

A Study on the Performance of HCFC Alternative Refrigerants based on the variation Degree of Superheating

*2009*年 *2*月

朝鮮大學校 大學院
機 械 工 學 科
金 聖 培

*HCFC*계 대체냉매에 대한 과열도 변화에 따른 성능 특성 연구

指 導 敎 授 洪 錫 柱

이 論文을 工學博士學位申請 論文으로 提出함.

*2008*年 *10*月

朝鮮大學校 大學院

機 械 工 學 科

金 聖 培

金聖培의 工學博士學位論文을 認准함

委員長　朝鮮大學校 敎授　　金 炳 哲

委　員　朝鮮大學校 敎授　　河 鈺 男

委　員　朝鮮大學校 敎授　　洪 錫 柱

委　員　朝鮮大學校 敎授　　李 圭 泰

委　員　大 元 熱 板(株)　副社長　權 逸 旭

*2008*年　*12*月

朝鮮大學校 大學院

목 차

Nomenclatures ····· iii
List of Tables ····· iv
List of Figures ····· v
Abstract ····· viii

제 *1* 장 서 론 ····· 1
1.1 연구배경 ····· 1
1.2 연구 목적 및 방법 ····· 4
1.3 기대효과 ····· 5

제 *2* 장 관련이론 ····· 6
2.1 냉매의 특성 ····· 6
2.2 R717(Ammonia) 냉매의 특성 ····· 10
2.3 HFC계 R134a 냉매의 특성 ····· 13
2.4 HCFC계 R22 냉매의 특성 ····· 14
2.5 냉동사이클 해석 ····· 15
2.5.1 이론 냉동사이클 ····· 15
2.5.2 실제 냉동사이클 ····· 17

제 *3* 장 실험장치 ····· 20
3.1 실험개요 ····· 20
3.2 실험장치의 구성 ····· 20

제 *4* 장 실험방법 ····· 24
4.1 응축기 냉각수 온도와 응축압력 ····· 24
4.2 증발기 냉수 유량조절 ····· 24
4.3 과열도 제어 ····· 25
4.4 소요동력 ····· 25

4.5 냉동 압축기 운전 ····· 25
4.6 계측기 및 데이터 정리 ····· 26

제 *5* 장 실험결과 및 고찰 ····· 28
5.1 냉매질량유량과 증발압력 ····· 28
5.2 응축기 냉각수 질량유량과 출구온도 ····· 38
5.3 응축기 방열량과 소요동력 ····· 48
5.4 증발기 냉수 출구온도와 흡열량 ····· 58
5.5 성적계수(COP) ····· 68

제 *6* 장 결 론 ····· 75

References ····· 77
Appendix ····· 84

Nomenclatures

h	: enthalpy [kcal/kg]
$\dot{m}_r$	: mass flow rate of Refrigerant [kg/h]
$\dot{m}_{cw}$	: mass flow rate of cooling water at the condenser outlet [kg/h]
P	: pressure [bar]
P_{sat}	: saturated pressure [bar]
Q	: heat capacity or heat loss [kW]
T_{cw}	: cooling water temperature at the condenser outlet [°C]
T_{ch}	: chilled water temperature at the evaporator outlet [°C]
T	: temperature [°C]
v	: specific volume [m^3/kg]
W	: compressor work [kW]

Greek Symbols

η_v	: volumetric efficiency

Subscripts

c,e	: condenser and evaporator
cw	: cooling water
ch	: chilled water
sat	: saturated
r	: refrigerant

Abbreviations

COP	: Coefficient of Performance
GWP	: Global Warming Potential
ODP	: Ozone Depletion Potential

List of Tables

Table 1.1 Characteristics of refrigerant ····· 3
Table 2.1 Recommended properties of a refrigerant ····· 8
Table 2.2 The effect of the refrigerants on the environment ····· 9
Table 2.3 General data of R717 compared with R134a, R22 ····· 12
Table 3.1 Equipment specification of R717 refrigeration system for experiment ····· 21
Table 4.1 Experimental condition ····· 26

List of Figures

Fig. 2.1 P-h Diagrams of the theoretical and actual refrigeration cycles ····· 18

Fig. 3.1 Schematic diagrams of the experimental apparatus ····· 22

Fig. 5.1 The relations of $\dot{m}_r$ and Degree of Superheat at each Condenser Pressure ····· 29

Fig. 5.2 The relations of Pe and Degree of Superheat at each Condenser Pressure ····· 30

Fig. 5.3 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 0℃ ····· 31

Fig. 5.4 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 1℃ ····· 32

Fig. 5.5 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 2℃ ····· 33

Fig. 5.6 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 3℃ ····· 34

Fig. 5.7 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 4℃ ····· 35

Fig. 5.8 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 5℃ ····· 36

Fig. 5.9 The relations of $\dot{m}_{cw}$ and Degree of Superheat at each Condenser Pressure ····· 39

Fig. 5.10 The relations of Tcw and Degree of Superheat at each Condenser Pressure ····· 40

Fig. 5.11 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 0℃ ····· 41

Fig. 5.12 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 1℃ ····· 42

Fig. 5.13 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 2℃ ····· 43
Fig. 5.14 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 3℃ ····· 44
Fig. 5.15 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 4℃ ····· 45
Fig. 5.16 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 5℃ ····· 46
Fig. 5.17 The relations of Qc, and Degree of Superheat at each Condenser Pressure ····· 49
Fig. 5.18 The relations of Power and Degree of Superheat at each Condenser Pressure ····· 50
Fig. 5.19 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 0℃ ····· 51
Fig. 5.20 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 1℃ ····· 52
Fig. 5.21 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 2℃ ····· 53
Fig. 5.22 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 3℃ ····· 54
Fig. 5.23 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 4℃ ····· 55
Fig. 5.24 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 5℃ ····· 56
Fig. 5.25 The relations of Tch and Degree of Superheat at each Condenser Pressure ····· 59
Fig. 5.26 The relations of Qe and Degree of Superheat at each Condenser Pressure ····· 60
Fig. 5.27 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of

Superheat 0℃ ····· 61
Fig. 5.28 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 1℃ ····· 62
Fig. 5.29 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 2℃ ····· 63
Fig. 5.30 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 3℃ ····· 64
Fig. 5.31 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 4℃ ····· 65
Fig. 5.32 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 5℃ ····· 66
Fig. 5.33 The relations of COP and Degree of Superheat at each Condenser Pressure ····· 68
Fig. 5.34 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 0℃ ····· 69
Fig. 5.35 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 1℃ ····· 70
Fig. 5.36 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 2℃ ····· 71
Fig. 5.37 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 3℃ ····· 72
Fig. 5.38 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 4℃ ····· 73
Fig. 5.39 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 5℃ ····· 74

ABSTRACT

A Study on the Performance of HCFC Alternative Refrigerants based on the variation Degree of Superheating

Kim, Sung-Bae
Advisor : Prof. Hong, Suk-Joo, Ph.D.
Department of Mechanical Engineering,
Graduate School Chosun University

As HCFC alternative refrigerants that have been used for half a century, it considered a main factor of destructed ozone layer and global warming, and they have been replaced by HFC refrigerants. However, as there have been serious debates on global warming, for R134a, a HFC refrigerant, its ODP (Ozone Depletion Potential) is “0”, but as it was categorized as a refrigerant that causes global warming, its GWP (Global Warming Potential) is considered a problem.

Therefore, this study was compared the performances of each refrigerant, and identified optimal operating conditions of the refrigerating system and conditions that can be maximized energy efficiency using R22, HCFC refrigerant, R134a, a HFC refrigerant, and R717 (Ammonia), an environmentally-friendly working fluid. We carried a performance test of each refrigerant according to the condensation pressure and superheat change and obtained the following results:

1) We found that as superheating increased at the same condensation pressure, evaporation pressure decreased, parallel temperature became lower, specific volume of refrigerant vapor increased, and mass flow of the refrigerant

decreased significantly. As condensation pressure being increased, the ratio of pressure being increased, volume efficiency decreased and mass flow decreased.

2) The mass flow of the refrigerant is involved in density of refrigerant when the refrigerant of R22 is replaced by R134a for the refrigerating system, and a bigger compressor is needed, it can not be used as an alternative refrigerant. However, R717 has no problem with the size of the compressor.

3) Being increased the R134a, R717, and R22 flowed in the evaporator as superheating the mass flow of the refrigerant was decreased, and the compression ratio power was increased, and performance coefficient decreases and significant energy loss is found. At the same condensation pressure and superheating, R717 refrigerant required the higher power than that of R22.

4) Comparing, with the absorbing calories of each refrigerant at the same condensation pressure and same temperature, R717 was 10-11% larger than that of R22, and was 30-32% smaller than R134a.

5) There was a significant difference in performance coefficient between R22 and R717, but R134a showed a significant difference. R134a had a lower performance coefficient by about 25% in comparison with R22 and R717 .

6) For drop-in alternative refrigerants applied for R22 refrigerating system through only alternation of a refrigerant, R717 had superior in refrigerating and power requirements and refrigerating capability was the most outstanding at low condensation pressure and within 3℃ of superheat.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

지난 반세기동안 R22는 냉매로서 우수한 열역학적 화학적 성질들과 높은 안정성 때문에 냉동공조 분야에서 널리 사용되어 왔다. 그러나 1970년대 중반에 CFC(Chloro Fluor Carbon) 들이 대기권에서 분해되지 않고 성층권의 오존층을 파괴한다는 사실이 알려지면서 미국을 비롯한 여러 선진국들은 CFC 및 HCFC(Hydro Chloro Fluor Carbon)계열의 냉매들을 대체하기 위한 노력을 하기 시작했다. 이에 선진국들은 몬트리올 의정서에 의거하여 1996년 1월1일부터 HCFC사용량을 동결하게 되었고 2019년 말까지는 전폐시키기로 합의하였다.[(4)]

또한 R22는 지구온난화의 원인이 되는 물질 중 하나이기 때문에 최근 심각하게 문제가 되고 있는 환경문제를 해결하기 위해서는 R22의 대체 냉매 개발이 시급하다.

이에 따라 R22를 대체할 가능성이 있는 물질들에 대한 여러 연구가 이미 발표되었다.[(3,43)]

현재 대부분의 냉동·공조기기는 R22의 대체냉매로 불화탄화수소(HFC, hydrofluorocarbon)계열의 순수냉매 R134a, 혼합냉매 R407C와 R410a를 적용하고 있으며 자연냉매로는 탄화수소계 냉매인 R290(Propane)과 R1270(Propylene), R600a(Isobutane)등과 무기화합물질인 R717(Ammonia)냉매를 대체 냉매로 사용 되여 지고 있다.

R134a는 오존층을 파괴하는 염소 대신 수소가 결합되어 오존층 파괴지수 ODP(Ozone Depletion Potential)가 0이다. 따라서 자동차용 공조기기와 중.대형 냉동공조기기인 터보냉동기 산업분야 에서는 HCFC 냉매인 R134a로 전환하여 사용 되어지고 있다.

그러나 지구온난화를 유발한다는 사실이 밝혀짐에 따라 교토의정서에 의거하여 HFC계 냉매 사용 도는 규제토록 제안되었다.[(7)]

HFC사용규제로 인한 문제들을 해결하기 위한 방법 중의 하나는 탄화수소와 같은 자연냉매와 무기화합물질인 암모니아 냉매를 이용하는 것이 지구환경 문제를 해결하

는 최선의 냉매로 거론되어지고 있다. 하지만 탄화수소 냉매는 여러 가지 장점들을 갖고 있음에도 불구하고 가연성 폭발성 문제 때문에 유럽을 제외한 미국 등 다른 선진국에서는 사용이 거의 무시되어 왔으나 최근에는 지구 환경보호에 대한 관심이 증대되면서 친환경적인 냉매로 적극 검토되어지고 있으며 암모니아 냉매는 Table 1.1에서와 같이 오래 전부터 폭넓은 온도범위에서 많이 사용되고 있으며 COP 및 열전달이 우수하여 임계온도 및 임계압력이 높아 냉매로서는 우수한 특성을 가지고 있지만 독성과 가연성, 폭발성을 갖고 있다는 단점이 있으나 가연성과 폭발성은 탄화수소계 냉매보다 훨씬 낮아 우수한 냉매로 인정받고 있다. 따라서 본 연구에서는 HCFC계 냉매인 R22와 대체냉매로 사용 되여온 HFC계 R134a 냉매, 친환경 물질인 R717(Ammonia) 냉매를 작동유체로 하여 응축압력과 과열도 변화에 따른 각각의 냉매에 대한 성능특성을 비교하는 실험을 통하여 각 냉매에 대한 성능비교와 냉동장치의 최적운전조건을 알아내고 에너지 효율을 극대화 할 수 있는 조건을 밝히고자 함에 있다.

Table 1.1 Characteristics of refrigerant

Refrigerant		Natural Refrigerant	HFC Refrigerant	HCFC Refrigerant
		R717	R134a	R22
ODP		0	0	0.055
GWP		0	1300	1700
ASHRAE SAFTY GROUP		B2	A1	A1
TC/TE 40/0℃	q_e(㎉/㎥)	884	495	795
	Power(㎉/㎥)	153	90	143
	COP	5.78	5.51	5.55
TC/TE 40/-20℃	q_e(㎉/㎥)	401	213	383
	Power(㎉/㎥)	122	69	121
	COP	3.28	3.09	3.17
P_{sat}(bar)	-40	0.72	0.51	1.05
	-20	1.90	1.32	2.45
	0	4.29	2.92	4.98
	20	8.57	5.71	9.10
	40	15.54	10.17	15.37

The theoretical refrigeration cycle and saturated properties are based on the NIST REFPROP ver. 6.0.

1.2 연구목적 및 방법

본 연구에서는 지난 반세기 동안 사용되어온 HCFC계 냉매인 R22와 HFC계 R134a 냉매와 무기화합물질인 자연냉매 R717(Ammonia)를 작동유체로 사용하여 실제 산업현장에서 적용되고 있는 냉동시스템을 이용하여 각 냉매에 대한 성능특성 비교와 함께 최적운전조건을 제시함으로써 냉동공조 분야에 기존의 시스템을 크게 수정하지 않고도 냉매만을 교체하여 적용할 수 있는 Drop-In 대체냉매의 성능을 측정하고 에너지 절감효과를 기대하는데 목적이 있다.

1. 성능특성연구를 위해 외부조건을 일정하게 유지시키고 성능에 영향을 주는 요소인 응축압력과 과열도를 변화하였다.

2. 각 냉매별로 응축압력을 15.0 bar, 15.5 bar, 16.0 bar 3단계와 과열도는 각각의 응축압력에 따라 0~5℃ 범위(6단계)에서 수행하였다.

3. 결과 값의 도출은 응축압력과 과열도를 변화하였을 때의 데이터 값인 증발기 측의 냉각수 질량유량, 냉수 입·출구온도, 응축기 측의 냉각수 질량유량, 냉각수 입·출구온도, 소요동력 등에 관한 데이터의 계산에 의해 증발기의 흡열량, 응축기의 발열량을 구하여 성능계수를 얻었다.

1.3 기대효과

오존층파괴 및 지구온난화 등의 환경문제가 거론되면서 사용이 제한되거나 규제되는 CFC 및 HCFC계열의 냉매가 아닌 HFC계 냉매인 R134a와 무기화합물질인 R717 냉매를 이용한 냉동시스템의 성능특성을 알아보기 위하여 HCFC계 냉매인 R22를 기준으로 한 R134a, R717냉매를 비교 대상냉매로 하여 연구를 수행하였다.

기존의 시스템을 크게 수정하지 않고도 냉매만을 교체하여 적용할 수 있는 Drop-In 대체냉매의 성능특성을 비교하여 냉동·공조 분야의 산업현장에서 설비의 개조와 설비투자에 대한 경제적 가치를 기대할 수 있다.

산업혁명이후 인류의 무분별한 에너지 사용으로 인한 에너지원의 고갈 문제와 최근 고유가 시대의 에너지 사용량의 제한 등 에너지에 대한 관심은 세계 어느 곳에서나 크나큰 관심사가 되었다. 지구환경보호를 위한 대체냉매를 이용하여 과열도 변화와 응축온도의 변화에 따른 냉동시스템의 성능특성 비교 후 최적운전 조건을 제시함으로써 효율적이고 에너지 절감 효과를 기대할 수 있다.

제 2 장 관련이론

2.1 냉매의 특성

냉동기에서 저열원으로부터 열을 흡수하여 고열원으로 운반 및 방출하는 작동유체를 냉매라 하며, 냉매는 열을 흡수하기 위해 증발하고 열을 방출하기 위해서는 응축하는 상변화 과정을 갖으며, 액체와 기체 상태에서 상변화를 반복적으로 행함으로써 그 목적을 수행할 수 있다.

냉매는 종류에 따라 임계온도, 응고점 및 증발열 등 물리적 특성이 다르지만 냉동기의 성적계수를 높일 수 있는 냉매가 좋은 냉매이며, 성적계수가 높아도 인체나 다른 물질에 해를 끼친다면 좋은 냉매라 할 수 없으므로 냉동기의 냉매는 효율적이고 경제적이며 신뢰할만한 작동조건을 유지하기 위하여 여러가지 요구조건들을 만족해야 하며 냉매로서 갖추어야 할 가장 중요한 특성은 냉동시스템 내에서의 화학적 안정성이다. 만일 냉매가 분해되거나 다른 물질과 반응해서 서로 다른 특성을 갖는 화학물질을 형성한다면 냉매의 본래 특성을 사용할 수가 없게 된다.

따라서 Table 2.1과 같은 조건들이 충족되어야 하는데 실제 사용되는 냉매는 이와 같은 조건을 모두 만족시키지는 못하며, 현재까지 사용해온 CFC계열의 냉매가 많은 조건을 충족시킨다고 할 수 있었다. 하지만 CFC는 너무 높은 화학적 안정성으로 인해 대기 중에 유출되면 쉽게 분해되지 않고 오존과 반응하여 오존층을 파괴하는 물질로 오히려 규제대상이 되었다.[21~24]

CFC 및 HCFC 대체로 인해 전 세계의 GHG방출에 어떤 영향이 생기는가를 조사하게 했다.

1. 온실효과

우주공간을 향해 나가는 열을 대기 중의 물질이 흡수한 후 다시 그 열을 지표에 향하여 발산한 지구를 따뜻하게 하는 효과로서 적절한 온실효과는 지표의 보온에 매우 중요하다.

온실효과가 떨어지면 지구는 과냉 상태이고 온실효과가 커지면 지구는 과온 상태

가 되어 생태계에 악영향을 미친다.

2. 지구온난화의 요인

석탄, 석유, 천연가스 등의 연소에 의해 방출되는 이산화탄소 및 메탄, 산화질소(아산화질소), 프레온 등으로서 특히 프레온은 이산화탄소와 비교해서 수천 수 만배 적외선 흡수 능력을 갖고 있다.

3. 지구온난화의 악영향

남극 및 북극의 해빙과 해수의 팽창에 의한 해면의 상승과 홍수, 침수피해, 강력한 폭풍우의 다발, 습지대와 건조지대의 교체, 발라리아 및 콜레라 등의 전염병 유행 그리고 이와 관련된 농약오염 열파에 의한 죽음의 증가 및 에너지 산업에의 악영향 등의 피해가 예상되며 그 결과 수 천 만명의 환경난민이 발생될 수 있다.

따라서 이를 개선하기 위해 CFC의 염소원자를 수소원자로 치환시켜 오존층파괴를 감소시키는 CFC와 유사한 물성을 가진 HCFC 및 HFC계열의 냉매로 대체하였다. HCFC 물질은 냉동시스템 내에서 안정된 상태를 유지하며 그 안에 포함된 수소원자에 의해 대기 중에서의 수명이 짧아 오존층 붕괴 정도는 CFC에 비하면 매우 작다. 하지만, 환경문제를 염두에 두고 열역학적 관점에서 가장 중요하게 다루어야할 인자는 냉동효율인 냉동기의 성능계수이며, 환경문제가 대두되면서 냉매가 반드시 갖추어야할 조건이 추가되었는데, 오존파괴지수는 0이어야하며, 지구온난화지수는 가능한 작아야 한다는 것이다. Table 2.2[25]는 각 대표적인 냉매에 대한 ODP 및 GWP를 나타낸 것이다.

Table 2.1 Recommended properties of a refrigerant

Necessary	- stability - safety (non-flammable non-toxic, environmentally benign) - excellent thermodynamic properties
Desirable for machinery reliability	- lubricant solubility - low moisture solubility - material compatibility - good transport properties - high dielectric strength
Desirable to facilitate application	- amenable to recycling - ease of leak detection - easy recharging - low cost

Table 2.2 The effect of Refrigerant on the environment

Chemical	ODP	GWP	EAL(years)
Chlorofluorocarbons			
CFC-11	1.00	1.0	59
CFC-12	0.93	2.9	122
CFC-113	0.83	1.5	98
CFC-114	0.71	5.0	244
CFC-115	0.38	10.6	539
HCFC Refrigerants			
HCFC-22	0.05	0.4	18
HCFC-123	0.02	0.02	2
HFC Refrigerants			
R-R134a	0	0.3	18
HFC-152a	0	0.04	2
Natural Refrigerants			
Ammonia	0	0	1
Propane	0	0	2

* ODP :Ozone Depletion Potential - CFC-11의 값을 1.0으로 한 상대치

** GWP :Global Warming Potential - CFC-11의 값을 1.0으로 한 상대치

*** EAL :Estimated Atmospheric Life

2.2 R717(Ammonia) 냉매의 특성

암모니아는 우수한 열역학적 특성 및 높은 효율을 지닌 냉매로서 제빙, 냉동, 냉장 등 산업용의 증기압축식 및 흡수식 냉동기 작동유체로 널리 사용되어 왔다. 작동압력이 다소 높고 인체에 해로운 특성 및 높은 효율을 지닌 냉매로서 제빙, 냉동, 냉장 등 산업용의 증기압축식 및 흡수식 냉동기 작동유체로 널리 사용되어 왔다. 작동압력이 높고 인체에 해로운 특성을 지니고 있으므로 관리 인력이 상주하는 산업용 대용량 시스템에 주로 사용되어 왔으며, 소형에는 특수목적에만 이용되었다. 암모니아를 소형 시스템에 적용하기 위해서는 수냉식이나 공냉식 시스템을 개발해야 하는데, 최근들어 CFC, HCFC냉매의 규제로 인하여 암모니아에 대한 대체냉매 연구가 많이 수행되고 있으며 철을 침식하지 않지만 아연, 동, 동합금등을 심하게 침식하고 공기와 혼합하면 폭발의 위험이 있으며 응고점이 비교적 높으므로 초저온용 냉동에는 부적당하다.

어떠한 휘발성 물질이라도 원하는 증발온도에서 액체로 존재하면 냉매로 사용이 가능하나 실제로는 독성, 가연성, 화학적 안정성, 가격 등에 의하여 제약을 받는다. 인체에 영향을 미치는 독성 정도를 TWA(Time weight average concentration)와 STEL(Short term exposure limit)로 나타내는데, TWA는 매일 8시간, STEL은 한번에 15분 동안의 노출 허용 농도를 나타낸다. 암모니아는 TWA와 STEL의 값이 커서 인체에는 위험한 물질이다.[26~30]

암모니아는 표준 대기압과 기온에서 무색의 가스로 존재하며 화학적으로 한 개의 질소와 세 개의 수소로 구성되어 공기보다 가볍다. 물에 쉽게 용해되는 성질을 갖고 있어 암모니아는 1:1의 비율로 물에 용해될 수 있다. Table 2.3[31,32]은 R134a와 R22를 비교한 암모니아의 물성치이다. 이 표에 따르면 암모니아는 인체에 대한 독성이 있지만 환경에는 무해하고 냉매로서 우수한 성질을 갖고 있음을 알 수 있다. 암모니아의 냉매로서의 장단점은 아래와 같다.

장점

· 임계압이 높아 넓은 온도범위에서 사용 가능하다.

· 증발 잠열이 크고 열전달 성능이 우수하다.

· 분자량이 작아 교축 손실이 작다.

· 냉동유로 광유를 사용할 수 있다.

· 물이 침투해도 큰 문제를 일으키지 않는다.

· 값이 저렴하다.

단점

· 작동 압력이 높다.

· 동 또는 동합금 재질을 사용할 수 없다.

· 비열비가 커서 토출온도가 높다.

· 독성과 가연성이 있다.

Table 2.3 General data of R717 compared with R134a, R22

Characteristics	R717	R134a	R22
Chemical composition	NH_3	$CH_2F.CF_3$	$CHCIF_2$
Molecular Weight (kg/kmol)	17.03	102.031	86.48
Ozone depletion potential	0	0	0
Global warming potential(100 years)	0	1300	1700
Normal boiling point at 1.013 bar (℃)	-33.3	-26.06	-40.8
Critical pressure (bar)	113.3	40.65	49.9
Critical temperature (℃)	132.3	101.08	96.2
Enthalpy of evaporation at 0℃ (kJ/kg)	1261.7	198.6	204.9
Specific heat of sat. liq. at 0℃ (kJ/kgK)	4.62	0.98	1.17
Specific heat of sat. vap. at 0℃ (kJ/kgK)	2.66	0.8518	0.74
Thermal conductivity of sat. liq. at 0℃ (W/m K)	0.520	0.0796	0.096
Thermal conductivity of sat. vap. at 0℃ (W/m K)	0.022	0.0134	0.010
Dynamic viscosity of sat. liq. at 0℃ (10-6Pa・s)	175.8	201.9	210.1
Dynamic viscosity of sat. vap. at 0℃ (10-6Pa・s)	9.09	12.41	11.8
Density of sat. liq. at 0℃ (kg/m^3)	638.6	1206.0	1281.8
Volume of sat. vap. at 0℃ (m^3/kg)	0.289	32.249	0.047
Flammable or explosive?	Yes	No	No
Toxic/irritating decomposition	No	No	Yes
Approximate relative price	0.2	-	-

2.3 HFC계 R134a 냉매의 특성

R134a는 염소(Cl), 불소(F) 및 탄소(C)로 구성되어 있는 CFC 화합물에 반하여 수소, 불소, 탄소로만 구성되어 있어서 오존층에 대한 피해는 전혀 없다. 오존파괴지수는 0이나 다른 냉매에 비해 온난화 지수가 약간 높다. 그러나 R22의 온난화 지수보다는 낮으며 이는 지구 온난화에 큰 영향을 주는 수치는 아닌 것으로 알려져 있다.

냉매는 여러 냉동기기 속에서 금속과 윤활유와 공존하여 사용되어진다. 이 상황속에서 냉매는 금속과 윤활유와 작용하여 유독물질을 배출한다거나 특성이 변질되어서는 안된다. R134a는 금속과 윤활유와 공존시 분해가 나타나지 않아 안정하며, R22의 안정성과 거의 동일하거나 R134a가 보다 좋은 것으로 보고되었다. 알칼리 용액상에서도 분해가 거의 발생하지 않아 안정한 것으로 발표되었다.

공기중의 인화성에 대한 Kubta의 실험 결과에서 313K 1~5 bar 범위에서 R134a의 인화성은 없고, Urano는 대기중에도 인화성이 없는 것으로 발표되었다. 공기와 혼합되어도 인화폭발의 위험이 없는 불연성 가스이다. 또한 FAFT 보고에 의하면 흡입시 인체에 유해한 독성도 없는 것으로 보고 되었다.

R134a의 비등점과 빙점이 R22, R12 대비 높아 초저온용으로는 사용하기 어려우나 일반 냉동, 냉방용으로는 충분히 사용 할 수 있다. 또한 R22와 R12 냉매의 물성치가 비슷해 기존 R12 냉동기에 사용이 가능하지만, R22 냉동기에 사용할 경우에는 R22 냉동기 대비 성능저하 현상이 일어나는데 이는 R134a 냉동기로 절환작업을 하려면 기본적으로 압축기, 증발기 및 응축기의 고효율을 위해 재설계가 요구되어진다.

2.4 HCFC계 R22 냉매의 특성

HCFC는 구성 원자 중에 최소한 수소가 한 개 이상 포함되어 있는 '수소염화불화탄소'로서 R22, R123, R124, R141b 및 R142b 등이 여기에 포함된다. 성층권의 오존을 파괴하는 주요 인자가 염소임을 감안하면 CFC의 오존층 붕괴지수가 이들 중에서 가장 높음을 쉽게 알 수 있다. 염소의 일부를 수소로 대체한 HCFC의 경우에는 CFC에 비해 오존층붕괴지수는 작지만 여전히 염소가 존재하므로 성층권 오존을 파괴 시키지 않는 것은 아니다. 할로카본은 개발되자마자 냉동/공조기의 냉매로 거의 독점적으로 사용되어 왔으며, 특히 미국의 듀퐁사에서 자체적으로 '프레온'이라는 이름을 붙여 '프레온 가스'로 널리 알려져 왔지만 현재에는 여러 회사가 동일한 냉매들을 제조하여 다양한 상품명으로 시장에 내고 있다.[12]

비등점이 -40.8℃이고 응고점(-160℃)이 매우 낮으므로 R12보다도 저온용 냉동장치에 사용된다. 제 2차 대전 중 한냉 지역이나 고압의 초저온힘에서 사용한 병기의 기능이 정지된 일이 있었는데 이 해결을 위한 연구과정에서 시험용 냉매로 발명된 것이 곧 이 냉매이다. 따라서 현재는 저온장치의 냉매로서 널리 사용되고 있다. 압축기의 흡입증기의 $1m^3$당 냉동효과가 R12보다 크므로 압축기는 소형이 되며 룸에어컨 등에 널리 사용된다. 비등점이 낮아서 압축할 때에 온도상승이 커지므로 압축기 내에 전동기를 내장하는 전밀폐형 압축기에서는 -10℃ 반밀폐형에서는 -20℃상에서 사용하고 있다.

CFC, HCFC 화합물은 우수한 열역학적, 화학적 성질과 높은 안정성 등으로 인해 지난 반세기 동안 여러 분야에서 다양하게 사용되었다. 그런데 1974년 Rowland 및 Molina가 CFC계 화합물이 성층권의 오존층을 붕괴한다는 이론을 발표한 이래, 이러한 가설을 증명하는 항공관측이 이루어 졌으며 국제환경기구인 UNEP를 중심으로 1987년에 몬트리얼 의정서를 제정하여 전세계적으로 CFC의 사용 및 생산의 규제에 대한 법적인 기준의 틀을 마련하였다있다.[13] 1992년 11월 코펜하겐에서 열린 제 4차 몬트리얼 의정서 가입국 회의에서 CFC의 소비 및 생산규제의 일정을 앞당겼고, 경과물질로 규정한 HCFC도 규제대상에 포함시켰다. 그결과 선진국의 경우에는 1996년 1월 1일 이후로 CFC의 생산이 중단되었고, 개발도상국은 10년간의 유예기간을 갖고 CFC를 전폐하게 되었다.

2.5 냉동사이클 해석

2.5.1 이론 냉동사이클

암모니아 냉동장치의 작동상황을 묘사하는 사이클은 증기압축 냉동사이클로서, 증기압축 냉동사이클의 이론 냉동사이클은 다음의 가정을 포함한다. (1)압축기 및 팽창밸브를 지날 때 이외에는 압력 변화가 없다. (2)응축기, 중간냉각기 및 증발기 이외의 장소에서 열의 교환은 없다. (3)압축 및 팽창과정은 각각 등엔트로피 변화 및 등엔탈피 변화이다.

이론 냉동사이클의 P-h선도는 Fig. 2.1에 나타내었으며, 사이클의 각 과정은 다음과 같다.

1→2 과정 : 압축기에서의 단열압축과정이다

(이론 소요동력 W_c)

$$W_c = \dot{m}_r(h_2 - h_1) \tag{1}$$

(순환냉매질량유량 $\dot{m}_r$)

$$\dot{m}_r = (\eta_v D)/v_1 \tag{2}$$

여기서, D는 압축기이론압축체적, v_1은 압축기입구 비체적, η_v는 체적효율을 나타낸다.

2→3 과정 : 응축기에서의 정압열방출 과정이다

(발열량 Q_c)

$$Q_c = Q_e + W_c \tag{3a}$$

$$\fallingdotseq \dot{m}_r(h_2 - h_3) \tag{3b}$$

$$\fallingdotseq C_p \dot{m}_{cw}(\Theta_2 - \Theta_1) \tag{3c}$$

$$\fallingdotseq KF\Delta t_m \tag{3d}$$

여기서, C_p는 냉각수의 정압비열, $\dot{m}_{cw}$는 냉각수 질량유량, Θ_1, Θ_2는 냉각수 입·출구 온도, K는 열관류율, F는 전열면적, Δt_m은 냉매와 냉각수와의 평균온도차이다.

3→4 과정 : 팽창밸브에서의 교축팽창과정으로 $h_3 = h_4$, $s_3 < s_4$이 성립하며 단열비가역 과정이다.

4→1 과정 : 증발기에서의 정압열흡수 과정이다.

(흡열량 Q_e)

$$Q_e = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \tag{4a}$$

$$\fallingdotseq C_p \dot{m}_{ew}(\Theta_4 - \Theta_3) \tag{4b}$$

$$\fallingdotseq KF\Delta t_m \tag{4c}$$

여기서 C_p는 냉수의 정압비열, $\dot{m}_{ew}$는 냉수 질량유량, Θ_3, Θ_4는 냉수 입·출구 온도, K는 열관류율, F는 전열면적, Δt_m은 냉매와 냉수와의 평균온도차이다.

$h_1 - h_4$는 냉동효과 (RE : Refrigerating Effect)라 하고, 시스템의 성능을 나타내는 성능계수(Coefficient of Performance)는 다음과 같이 정의한다.

$$COP = \frac{Q_e}{W_c} \tag{5}$$

여기서, W_c는 압축기의 소요동력이며, Q_e는 증발기 흡열량이다.

2.5.2 실제 냉동사이클

실제 냉동기에 있어서는 냉매가 배관계통이나 각 장치 내를 흐를 때의 유동저항에 의하여 압력이 강하하며 외계로부터의 열침입이나 압축기에서의 마찰손실 등으로 실제 냉동사이클과 다소 다르다. Fig. 2.1에 P-h선도를 나타내었으며, 사이클의 각 과정은 다음과 같다.

A → B 과정 : 압축기가 냉매를 흡입하는 과정으로서 냉매는 고온실린더로부터 열을 받아 엔탈피가 증가한다.

B → D 과정 : 압축과정으로서 이론적으로는 등엔트로피 압축으로 취급되는 과정이나 실제 과정에 있어서는 실린더 벽과 냉매와의 사이에 열의 교환이 있으며 또, 마찰에 의해 발생한 열도 가해지므로 등엔트로피 변화와 다소 다른 상태가 된다.

D → E 과정 : 냉매가 압축기의 토출밸브를 통과하는 과정으로서 토출밸브의 저항에 의해서 냉매의 압력이 강하한다.

E → F 과정 : 압축기에서 응축기까지의 냉매 수송 과정으로서 관내의 저항에 의해 냉매의 압력은 약간 강하하며 또, 관벽을 통해서 외기 중으로 발열함으로서 온도도 강하한다.

G → H 과정 : 응축기에서 냉동실까지의 냉매 수송 과정으로서 냉각수의 온도가 낮고 응축기 출구에서의 냉매액의 온도가 대기온도보다 낮을 때는 수송 중에 냉매는 흡열해서 엔탈피가 증가한다. 또한, 수송관의 저항에 의해 냉매의 압력은 강하한다.

H → I 과정 : 냉동실 내의 냉매 수송 과정으로서 일반적으로 냉매의 온도보다 냉동실의 온도 쪽이 낮으므로 냉매는 냉각되어 엔탈피가 감소한다. 또한, 수송관의 저항에 의해서 압력도 강하한다.

I → J 과정 : 고압 냉매액이 팽창밸브에서 저압의 증발기로 유출해서 팽창하는 과정이다. 이론상으로는 $hJ = hI$ 로 취급되지만 실제 과정에 있어서는 냉매는 발열하므로 $hJ > hI$ 가 된다.

J → K 과정 : 냉매가 증발기 내에서 증발하는 과정으로서 흡열작용을 한다.

K → L 과정 : 증발기 출구에서 냉동실 벽까지의 냉매가스 수송 과정으로서 냉매는

냉동실에서 흡열하고 관의 저항에 의해서 압력은 강하한다.

L → M 과정 : 냉동실 벽에서 압축기 입구까지의 냉매 수송 과정으로서 냉매는 대기에서 흡열함과 동시에 압력은 강하한다.

M → A 과정 : 냉매가 압축기의 흡입밸브를 통과하는 과정으로서 흡입밸브의 저항에 의해서 압력이 강하한다.

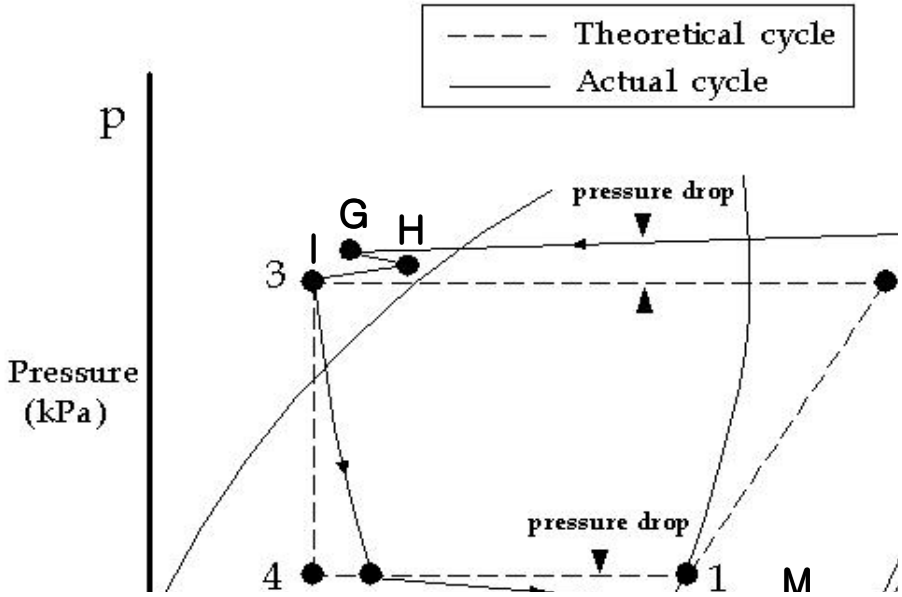


Fig. 2.1 P- h Diagrams of the theoretical and actual refrigeration cycles

제 3 장 실험장치

3.1 실험개요

본장에서는 실험실 규모의 실제 산업용에 적용 되여지고 있는 냉동장치를 구성하여 실제로 규제대상 냉매와 대체냉매를 적용한 성능 특성 비교실험을 하고자 한다. 또한 냉동사이클의 각 상태점에서의 압력, 온도 등에 대하여 고찰하고자 한다.

냉매의 성능특성 비교는 응축온도와 증발온도가 같은 경우 또는 외기조건이 같은 경우에 대하여 할 수 있다. 동일한 냉매온도에 의한 비교는 각각의 냉매의 기준온도의 선택에 따라 성능의 변화가 크므로 HCFC계 R22냉매를 기준으로 합리적인 기준온도 선택이 필요하다.

또한 실제 냉동시스템은 외기조건과 냉매의 물성에 의해 냉매의 온도가 정해지는 것이므로 동일한 외기조건에서 성능비교를 하기 위하여 각각의 설정된 응축압축에서 과열도 변화를 주었을때 냉매별 성능특성 비교를 하였다.

3.2 실험장치의 구성

Fig. 3.1은 응축압력에 따른 과열도 변화에 대한 냉동장치의 성능 특성 연구를 위한 실험장치의 개략도를 나타내고 있다.

본 실험장치의 작동유체 HCFC계 R22, HFC계 R134a, 천연냉매 R717을 사용하였으며 장치는 Table 3.1에서와 같이 압축기, 응축기, 수액기, 항온조, 팽창장치 및 기타 부속기기로 구성하였다. 시스템의 흐름은 작동유체인 액체 냉매를 증발기에서 증발시켜 피 냉각체인 냉수를 냉각시키고, 기화된 냉매 가스는 압축기에서 고온, 고압의 냉매가스로 압축되며, 압축된 냉매 가스는 유 분리기에서 오일과 분리된다. 분리된 고온, 고압의 냉매가스 기체는 응축기에서 냉각수와 열교환 되어 고온, 고압의 액체 암모니아로 상변화 된다. 응축기에서 상변화 된 고온, 고압의 액체 냉매는 팽창밸브를 통과하면서 저온, 저압의 액체 냉매와 일부 냉매가스를 증발기로 보내는 사이클로 구성되어져 있다.[33]

장치계 내의 배관의 압력손실을 최소화할 수 있도록 충분히 고려하여 실험 장치를 제작하였고, 장치의 저압부는 외부온도에 의한 영향을 받지 않도록 KS규격에 의하여 단열 시공을 하였다. 시스템 내의 작동유체의 상태변화를 측정하기 위해 시스템 내에 압력계, 온도계, 질량유량계, 과열도 제어기, 압력조정밸브, 파워메터를 설치하였으며, 계측기의 오차범위(온도 ±0.1℃, 압력 ±0.1 bar, 질량유량 ±0.1%, 소요동력 ±0.1%)이내에서 관리할 수 있도록 실험실내에 항온 항습기를 설치하였다. 압축기는 일정한 부하에서 실험할 수 있도록 스크류 개방형 압축기를 사용하였으며, 부하를 일정하게 유지시키기 위해 슬라이드밸브를 고정하였다.

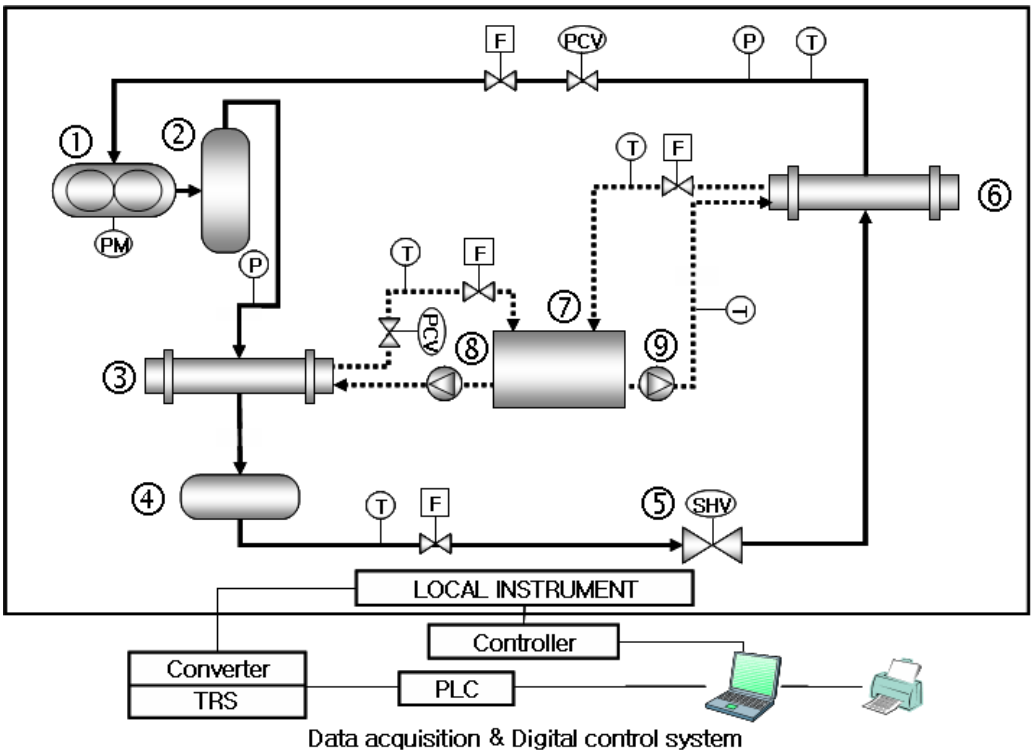
응축기와 증발기는 원통-관형(Shell & Tube Type) 열교환기를 사용하였으며, 상변화용 유체(냉각수, 냉수)는 물을 사용하였다. 상변화용 유체 온도를 일정하게 유지시키기 위해 1 kW의 히터와 3-way 유량조절밸브를 설치하여 온도 제어기에 의해 자동 제어할 수 있도록 항온조를 설치하였다.

증발기 측의 냉수 질량유량을 일정하게 유지시키기 위해 인버터 순환펌프와 유량조절 제어밸브를 설치하였다.

과열도 제어는 수동식 팽창밸브와 증발기 출구에 부착된 각각의 센서로부터 흡입온도와 흡입압력에 따라 과열도를 계산하여 설정값이 되도록 밸브 개도를 PID 제어에 의해 자동 조절하는 전자식 팽창밸브를 사용하였다.[34,35] 응축압력 제어는 응축기 상부의 압력센서의 입력값을 받아 설정압력에 따른 응축기 냉각수 유량을 자동으로 조절할 수 있도록 유량조정밸브를 설치하였고, 응축기 측의 냉각수 질량유량을 측정할 수 있도록 질량유량계를 설치하였다. 냉매 측의 질량유량을 측정하기 위하여 수액기와 증발기 출구 측에 각각 질량유량계를 설치하였다.[36]

Table 3.1 Equipment specification of refrigeration system for experiment

EQUIPMENT	MODEL & TYPE	SPECIFICATION
Compressor	Screw / Open	118 m^3/h
Main moter	TEFC	15 kW
Oil cooler	Shell & Tube	7.0 m^2
Condenser	Shell & Tube	7.6 m^2
Evaporator with knock out drum	Shell & Tube	4.0 m^2
Bath tank	Rectangle	1 m^3



① : Compressor ② : Oil separator ③ : Shell & Tube Type Condenser

④ : Receiver ⑤ : Expansion valve ⑥ : Shell & Tube Type Evaporator

⑦ : Constant temperature bath ⑧,⑨ : Circulation pump

P : Pressure sensor T : Temperature sensor

PCV : Pressure control valve SHV : Superheat controller

F : Mass flow meter PM : Power meter

——— : Refrigerant ------ : Cooling & Chilled water

Fig. 3.1 Schematic diagrams of the experimental apparatus

제 4 장 실험방법

본 실험에 사용된 냉동시스템은 실제 산업현장에서 상용화되고 있는 시스템을 적용하여 설계, 제작하였으며, 냉동 시스템을 설치한 후 장치계 내의 누설 여부를 확인하기 위하여 질소가스를 장치 내에 18 kg/cm^2 압력으로 충진한 후 장치의 연결 접합부에 비눗물을 뿌려 누설여부를 확인하였고 또한, 24시간 방치하여 압력변화가 없는 것을 확인한 후 누설시험을 완료하였다. 압력시험 후 장치 내의 질소 가스는 대기 중으로 퍼지하고 장치 내의 압력이 대기압 상태일 때 진공 펌프를 이용하여 장치 내의 불활성 가스를 제거하였다. 다음으로 장치 내의 압력을 진공 400 mmHg 상태에서 10시간 방치한 후 압력의 변화가 없는 것을 확인한 후 냉동유와 냉매를 충진하였다. 실험에 사용된 작동유체인 R22, R134a, R717냉매의 순도는 99.5% 이상이며 냉동유는 미네럴 광유계 ISO VG 46을 사용하였다. 실험 데이터 값은 외부 환경 조건의 영향을 받지 않도록 실험실 내에 항온항습기를 가동하였다. 실험장치의 가동 전 냉매가스의 누설이 없는지를 확인한 후, Table 4.1과 같은 조건으로 각 냉매별로 분류하여 실험하였다.

4.1 응축기 냉각수 온도와 응축압력

응축기 냉각수 온도를 일정하게 유지하기 위하여 장치의 실험가동 전 상시 항온조 내의 냉각수 온도를 온도조절계에 의하여 일정하게 유지시켰으며 응축기의 압력은 응축기 상부측 압력 센서로부터 자동 압력 조절기에 의해 응축기 냉각수 출구측 유량을 조절한 후 정상적 실험조건에 도달하면 수동으로 유량개도를 일정하게 유지시켰다. 응축압력은 15.0 bar에서 16.0 bar까지 0.5 bar 씩 단계별로 실시하였다.

4.2 증발기 냉수 유량조절

증발기 내에 흐르는 냉수 질량유량을 일정하게 유지시키기 위하여 냉동 압축기 가동 전 증발기측 냉수 순환펌프를 가동하여 증발기 냉수 출구측 질량유량계에 지시되고 있는 질량유량값을 보면서 설정 냉수 질량유량에 근접될 수 있도록 증발기 냉수 출구측 밸브의 유량 개도를 조절하여 냉각수 질량유량을 일정하게 유지시켰다.

4.3 과열도 제어

응축기 출구 측으로부터 수액기에 저장된 각 냉매의 온도는 과냉각도 5℃를 일정하게 유지하여 팽창밸브를 통하여 증발기에 보내진다. 증발기 출구 상부측의 냉매 증기의 온도와 압력을 검지하여 실험 냉매의 포화압력에 따른 포화 증기 온도차를 과열도로 측정하였다. 과열도는 각각의 설정 응축압력에 따라 0~5℃까지 1℃ 간격으로 단계적으로 실시하였으며 냉매 증기의 온도와 압력차를 줄이기 위하여 과열도 변화시 30분간 예비 운전으로 동일 과열도를 유지시켰다. 과열도 제어는 초기 운전시 전자식 자동 냉매 유량조절밸브를 사용하여 설정값에 도달시킨 후, 수동식 유량조절밸브를 사용하여 일정한 과열도를 유지시켰다.

4.4 소요동력

소요동력 데이터 값의 정확성을 확인하기 위하여 System의 예비 운전 중에 Computer 상의 Digital 값과 실제 모터 부하에 따른 전류와 전압의 측정치에 따른 계산값이 일치하는지 여부를 측정 장비와 디지털 계기를 이용하여 확인하였다.

측정 장비에 의한 확인 방법은 전류측정장비(Hook meter)로 각 상(R,S,T)의 전류를 측정하여 평균값을 계산하고, 각 상의 전압은 Tester기로 측정한 후 평균값을 계산하여 전력 값을 산출하였다. 디지털 계기에 의한 방법은 계기로 인입되는 Analog 신호를 전류 Tester기로 측정한 후 Analog 값과 Digital 수치가 일치하는지를 확인하였다.

4.5 냉동 압축기 운전

응축압력, 증발기 냉수 질량유량, 냉각수 온도, 냉수 온도를 Table 4.1 실험조건과 같이 일정하게 유지시키기 위하여 압축기를 가동하여 서서히 단계적으로 압축기 부하량을 수동 조절하였으며, 설정 부하량에 도달하면 1시간 예비운전을 실시한 후 본 실험을 수행하였다.

4.6 계측기 및 데이터 정리

장치의 운전에 앞서 장치에 부착된 각각의 계측기의 값과 통신으로 송신된 계측값의 오차 여부를 확인하기 위하여 표준 계측 장비에 의하여 오차를 교정한 후 실험을 실시하였다. 냉매의 질량유량측정은 수액기 출구측과 증발기 출구측 두 곳에 Oval제 볼텍스 Type 유량계를 설치하였으며 이상기체 방정식에 의한 연산식으로 유량을 측정하였다. 냉각수와 냉수의 질량유량 측정은 응축기 냉각수 출구측과 증발기 냉수 출구측에 보정된 체적 유량계를 사용하여 측정하였다. 냉매의 압력은 증발기 출구측과 응축기 상부측에 고정도 스마트 타입 하니웰 제품을 사용하여 응축압력과 증발압력을 측정하고, 냉매의 온도와 냉각수, 냉수 온도 측정은 T-Type 열전대 및 Thermo Couple을 사용하였다. 장치 내의 모든 계측신호는 데이터분석시스템(Data Acquisition System)에 의해 2초 간격으로 측정되어 컴퓨터 화면에 표시 및 열정산 프로그램에 의해 계산 저장되었다. 실험의 정확성을 도모하기 위하여 모든 작업은 컴퓨터를 이용하여 분석하였고 실험은 3회 반복하였다.

Table 4.1 Experimental condition

Parameter		Experimental condition
Refrigerant	Working fluid	R717, R22, R134a
	Charge Rate(kg)	85 / 35
	Condensing press.(bar)	15.0 ~ 16.0
	Superheating(℃)	0 ~ 5
Bath temp.(℃)		28
Ambient temp.(℃)		24
Chilled water flow rate(kg/h)		6800
Cooling & Chilled water		Demineralized

제 5 장 실험결과 및 고찰

R22, R134a, R717 각각의 냉매에 대하여 응축압력의 변화와 과열도 변화에 따른 냉매질량유량, 증발압력, 응축기 냉각수 질량유량과 출구온도, 응축기 방열량, 소요동력, 증발기 냉수출구온도와 흡열량, 성적계수에 대한 실험결과를 고찰하고자 한다.

5.1 냉매 질량유량과 증발압력

Fig. 5.1~5.2는 R22, R134a, R717 냉매에 대하여 응축압력이 15.0bar, 15.5bar, 16.0bar 일 때 각각의 응축압력에 따라 과열도를 0~5℃까지 변화시켜 보았을 때 냉매 각각의 질량유량과 증발압력에 대한 실험 결과 선도이며 Fig. 5.3~5.8은 과열도를 0~5℃까지를 1℃간격으로 변화시켜 보았을 때 각각의 응축압력에 대한 R22, R134a, R717 냉매의 질량유량과 증발압력에 대한 실험결과 선도이다.

Fig. 5.1은 냉매의 질량유량에 대한 실험결과선도로 응축압력과 과열도가 높아짐에 따라 질량유량은 전체적으로 감소하는 결과를 보여주고 있으며 R717 냉매는 가장 적은 질량유량을 나타내고 있다. 동일한 응축압력에서 과열도가 증가함에 따라 질량유량이 감소하고 있는 결과는 증발기에서 증발되는 냉매증기의 비체적이 증가함에 따라 밀도는 감소하게 되어 압축기 흡입측에 유입되는 냉매의 체적유량이 저하하므로 과열도가 높아질수록 냉매의 질량유량은 감소하게 되는 원인이다. 또한 동일한 과열도에서 응축압력이 증가하였을 때는 응축압력이 증가함에 따라서 압축기의 압축비가 증대하게 되고 단위시간당 압축기에서 배출되는 냉매증기의 체적이 감소하게 된다. 그러므로 응축압력이 높아지면 체적유량이 감소함으로서 냉매질량유량은 당연히 감소하게 되는 이유이다. 각각의 냉매에 대한 질량유량은 R717 냉매가 R22, R134a보다 현저한 차이를 보이고 있는 것은 각 냉매에 대한 열역학적 특성으로 압축기 흡입측의 냉매증기의 온도와 증기의 밀도차에 의한 압축기의 체적유량의 차이로 인하여 질량유량의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5.2는 증발압력에 대한 실험결과 선도이다. 동일 과열도에서 응축압력이 높아짐에 따라 R22, R717 냉매는 증발압력의 변화폭이 아주 적었지만 R134a는 R22와 R717 냉매에 비하여 증발압력의 상승폭이 커졌음을 보여주고 있다. 이것은 응축압력

이 높아질수록 압축기의 체적효율이 저하함으로써 압축기의 흡입량이 저하하므로 증발압력은 상승하는 결과로 나타났다. 동일응축압력에서 과열도가 높아짐에 따라 증발압력이 감소하는 실험결과는 증발기측에 공급 되여지는 냉매의 순환량이 감소함에 따라 증발기측의 평형온도가 낮아졌기 때문이다. 따라서 냉매의 질량유량의 변화는 응축압력과 과열도의 변화에 따라 압축기 흡입측에 유입되는 냉매증기의 밀도와 압축기의 고압과 저압의 차이에 의한 압축비에 따른 압축기의 효율에 영향이 있음을 알 수 있었다. 과열도 1℃일 때 R22, R134a, R717 냉매모두가 질량유량이 높게 나타났으며 과열도 3℃이상에서는 질량유량의 감소폭이 크게 나타났으며 증발압력변화는 R22, R134a, R717 냉매 모두 과열도가 높아질수록 점차적으로 감소함을 나타내었으나 R717냉매는 R22, R134a 냉매에 보다 감소폭은 매우 적었다. 과열도 1℃일 때 냉매 질량유량이 가장 높고 증발압력변화가 과열도가 없는 0℃와 큰 차이가 없는 것은 증발기튜브 외측과 냉매액이 접하는 부분에서 비등이 일어나기 때문에 기포는 열교환튜브 외측의 좁은 구역내에 한정되고 이들 기포는 주위의 차가운 냉매의 열전달에 의한 열교환이 이루어지므로 열교환기 튜브외측으로부터 기포가 멀어진 후 사라지는 서브쿨드 비등[50~55]이 발생했기 때문으로 판단된다.

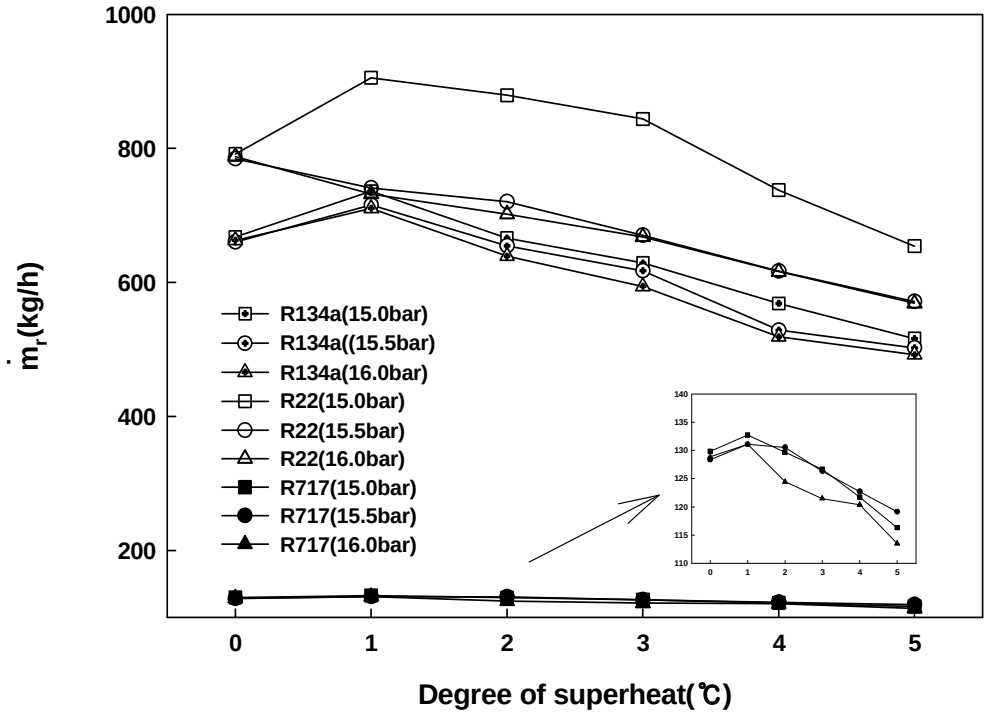


Fig. 5.1 The relations of $\dot{m}_r$ and Degree of Superheat at each Condenser Pressure

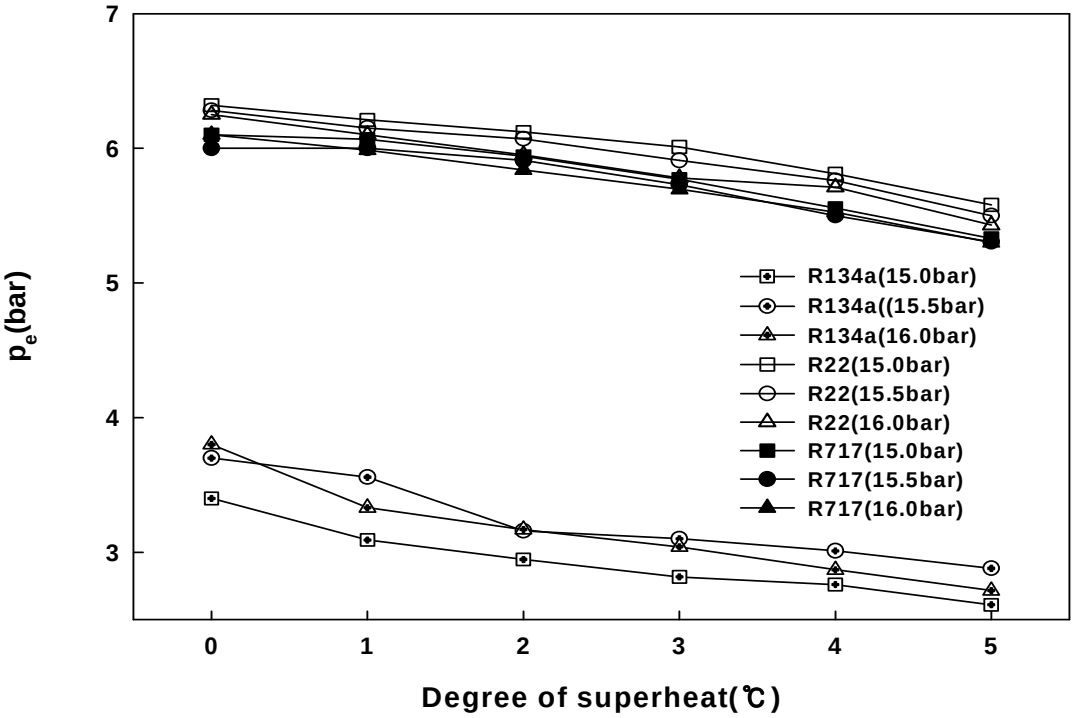


Fig. 5.2 The relations of Pe and Degree of Superheat at each Condenser Pressure

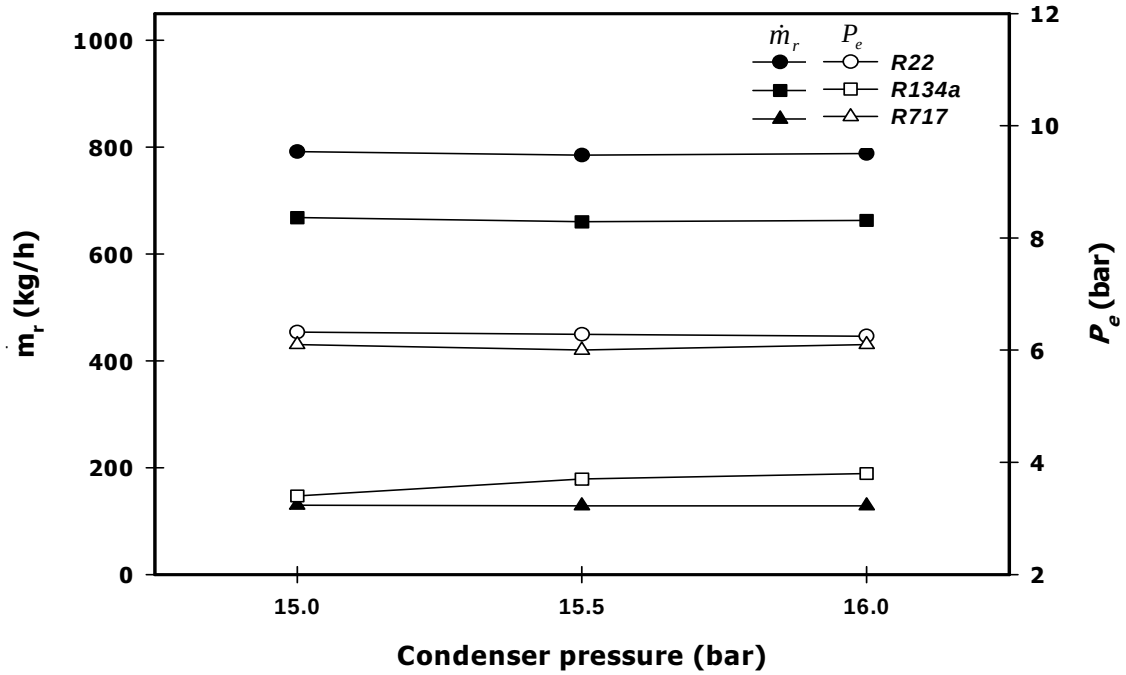


Fig. 5.3 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 0℃

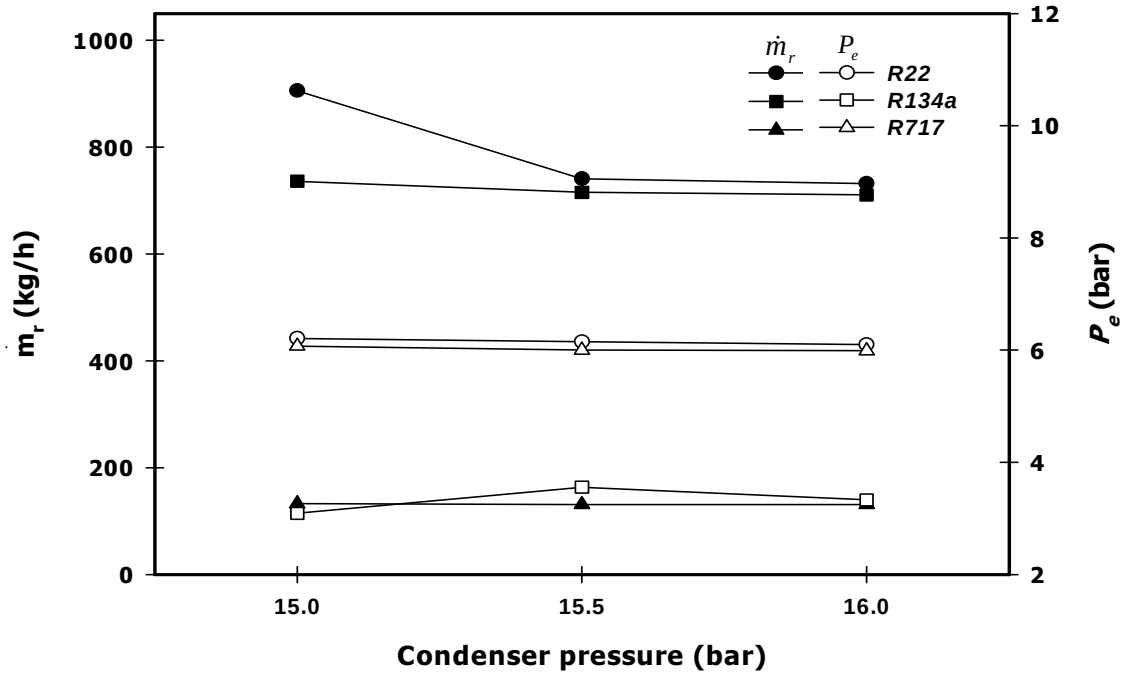


Fig. 5.4 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 1℃

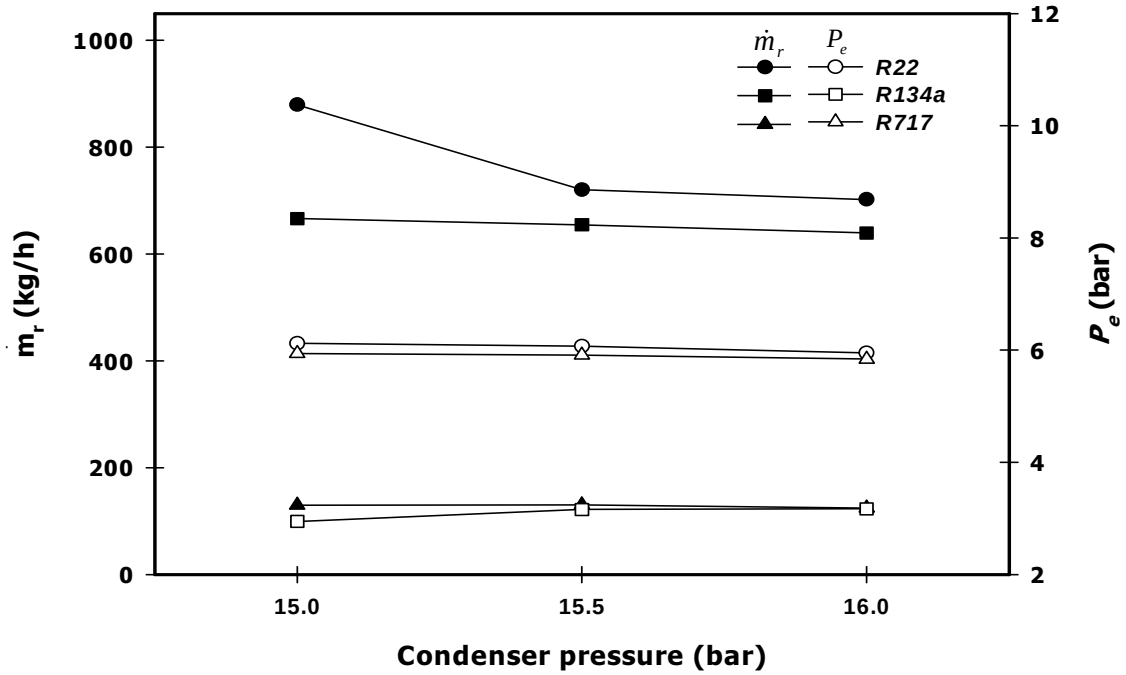


Fig. 5.5 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 2℃

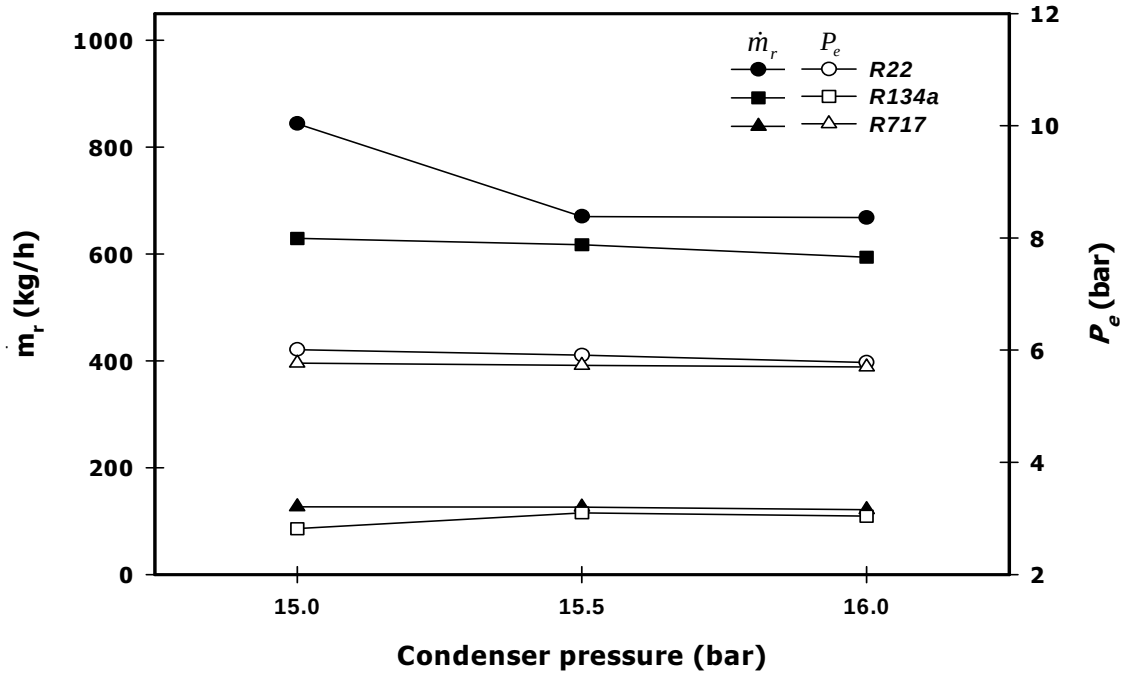


Fig. 5.6 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 3℃

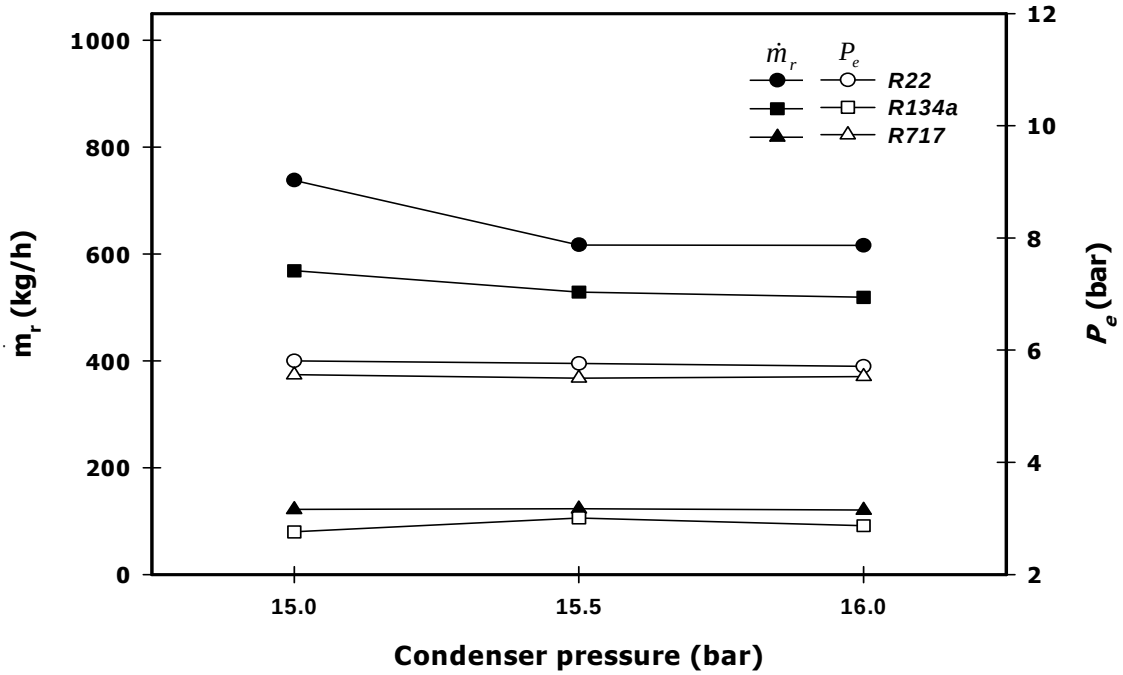


Fig. 5.7 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 4℃

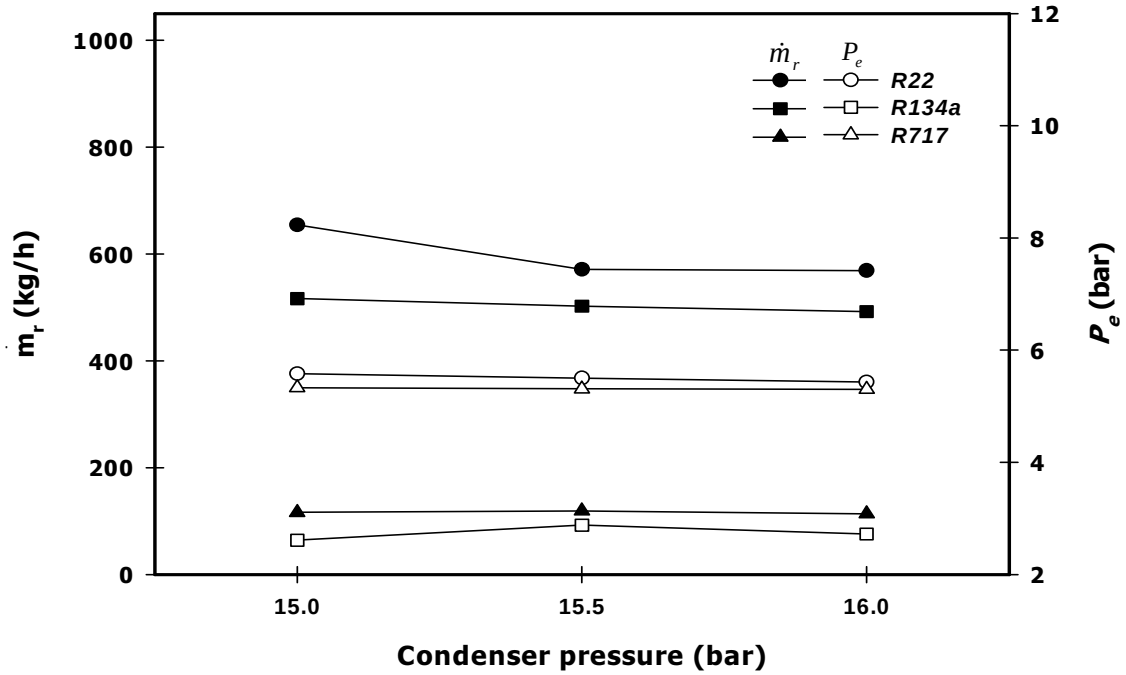


Fig. 5.8 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_r$, Pe at Degree of Superheat 5℃

5.2 응축기 냉각수 질량유량과 출구온도

Fig. 5.9~5.10은 R22, R134a, R717 냉매에 대하여 응축압력이 15.0bar, 15.5bar, 16.0bar 일 때 각각의 응축압력에 따라 과열도를 0~5℃까지 변화시켜 보았을 때 각각의 냉매에 대한 응축기 냉각수 질량유량과 출구온도에 대한 실험 결과 선도이며 Fig. 5.11~5.16은 과열도를 0~5℃까지를 1℃간격으로 변화시켜 보았을 때 각각의 응축압력에 대한 R22, R134a, R717 냉매의 응축기 냉각수 질량유량과 출구온도에 대한 실험결과 선도이다.

Fig. 5.9는 냉매 각각의 응축기 냉각수 질량유량에 대한 실험결과 선도이다. 응축압력과 과열도가 높아짐에 따라 응축기 냉각수 질량유량은 전체적으로 감소하는 것으로 보여주고 있다.

그러나 R717 냉매는 응축압력이 15.0bar 일 때 과열도는 1℃일 때 냉각수 질량유량이 가장 높게 나타났으며 R22, R134a냉매는 응축압력이 15.0bar 일 때 과열도는 0℃일 때 냉각수 질량유량이 가장 높게 나타났다.

각각의 냉매에 따라 비교해 보았을 때 R717냉매는 R22, R134a 냉매 보다 상대적으로 냉각수 질량유량이 크게 높았으며 또한 응축압력이 상승할수록 냉각수 질량 유량의 차이가 커졌음을 나타내었다.

이것은 냉매의 질량유량이 증가함에 따라 응축기 냉각수 질량유량도 비례하여 증가하였고 과열도 1℃에서 질량유량이 가장 높게 나타내었다. 그러나 R134a는 응축압력이 상승할수록 응축기 냉각수 질량유량이 감소함을 나타내었지만 R22, R717냉매와 비교해 보았을 때 큰 차이가 없었다.

응축기 냉각수 질량유량의 변화는 각각의 냉매에 대하여 서로 다른 차이를 보이고 있는 것은 동일한 크기의 응축기에 냉매만을 변경하여 실험하기 때문에 냉매의 질량유량에 따른 응축기의 열교환기 성능에 영향을 미치는 여러 가지의 조건의 영향으로 판단된다.

Fig. 5.10은 응축기 냉각수 출구 온도에 대한 실험결과선도이다. R22, R134a, R717 냉매 모두 응축압력이 상승함에 따라 응축기 냉각수 출구온도는 전체적으로 높아졌으며 과열도가 높아질수록 전체적으로 낮아졌다.

동일 응축압력에서 R22, R717 냉매는 과열도 0~3℃ 범위에서는 과열도 변화에 따른 냉각수 출구온도 변화가 거의 없었으나 과열도가 상승함에 따라 냉각수 출구온도도 높아졌다. 응축기 냉각수 출구 온도는 과열도가 높고 응축 압력이 높을수록 증가하였지만 큰 차이는 없었다. 이는 냉매의 질량유량이 증가함에 따라 냉각수 질량 유량도 따라서 증가하기 때문이다. 응축기 냉각수 질량유량과 출구온도의 관계는 냉각수량이 증가하면 냉각수 출구온도가 낮아지며 반대로 냉각수 유량이 감소하면 냉각수 출구온도는 높아지는 서로 상반관계였으며 과열도는 변화하여도 냉각수 질량유량과 출구온도의 변화는 큰 차이는 없었고 과열도 0~3℃ 범위에서는 응축압력이 낮을수록 응축기 냉각수 질량유량 증가폭이 컸지만 4~5℃ 범위에서는 응축압력이 낮아져도 응축기 냉각수 질량유량 증가 폭은 적음을 알았다.

이는 동일 응축압력에서 과열도가 높아짐에 따라 압축기에서 배출된 냉매 증기의 엔탈피가 증가하기 때문에 냉각수 질량유량 증가폭이 커져야 하지만 적은 것은 과열도가 높아짐에 따라 냉매의 질량유량이 감소하고 응축기의 냉각면적이 넓기 때문에 냉매의 엔탈피 증가에 대한 충분한 냉각이 이루어지기 때문으로 판단한다.

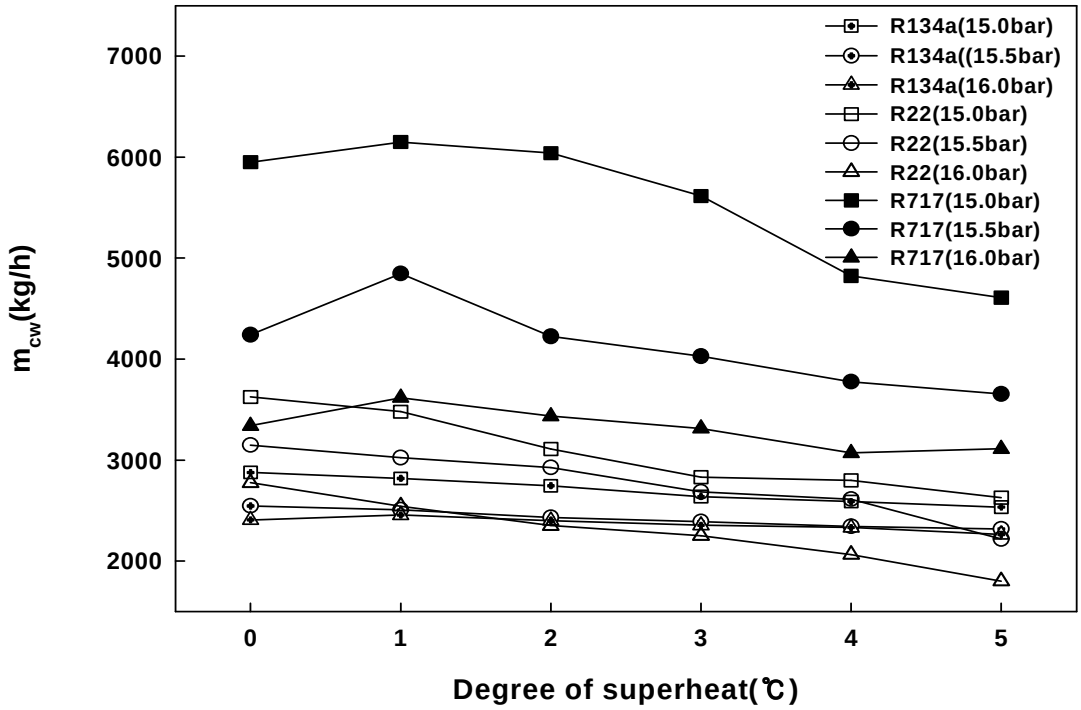


Fig. 5.9 The relations of $\dot{m}_{cw}$ and Degree of Superheat at each Condenser Pressure

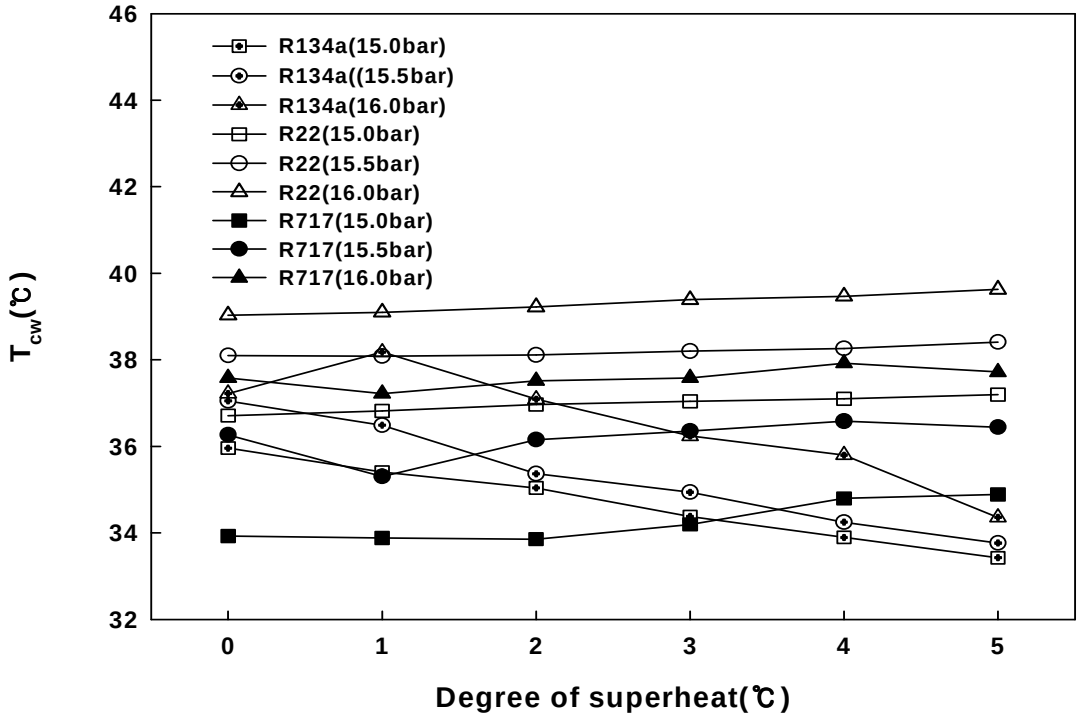


Fig. 5.10 The relations of Tcw and Degree of Superheat at each Condenser Pressure

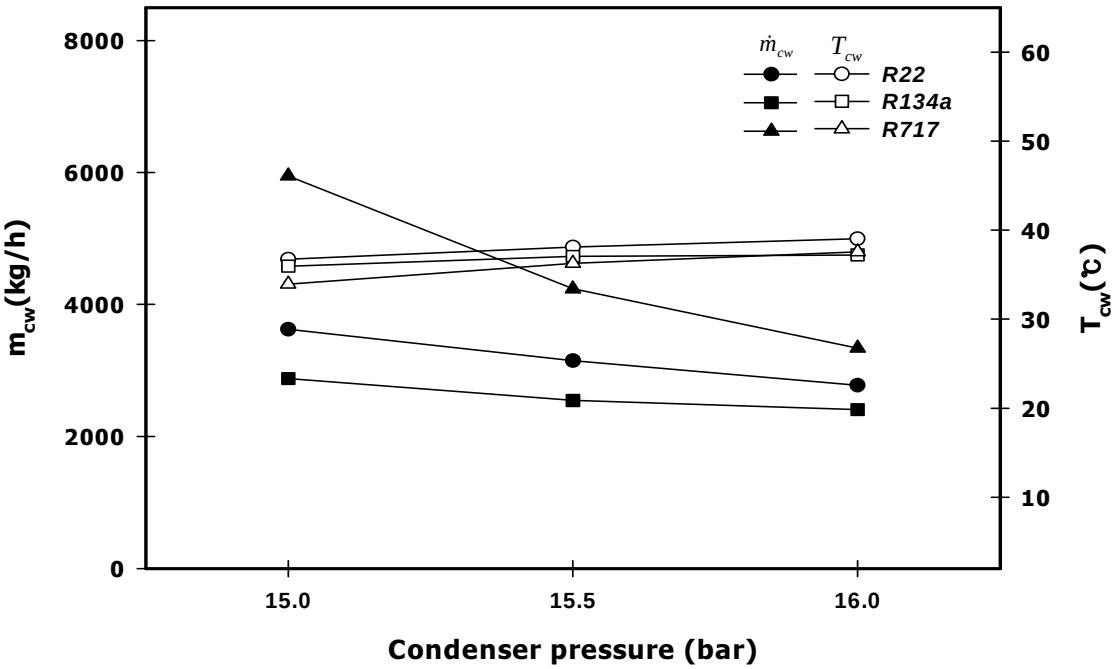


Fig. 5.11 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 0℃

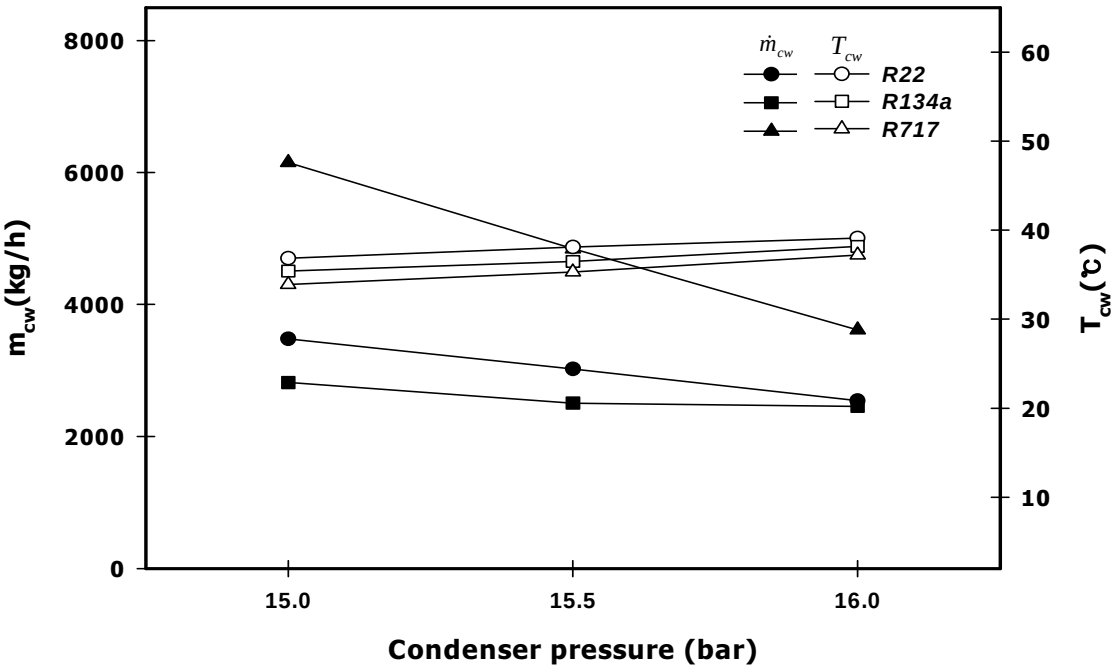


Fig. 5.12 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 1℃

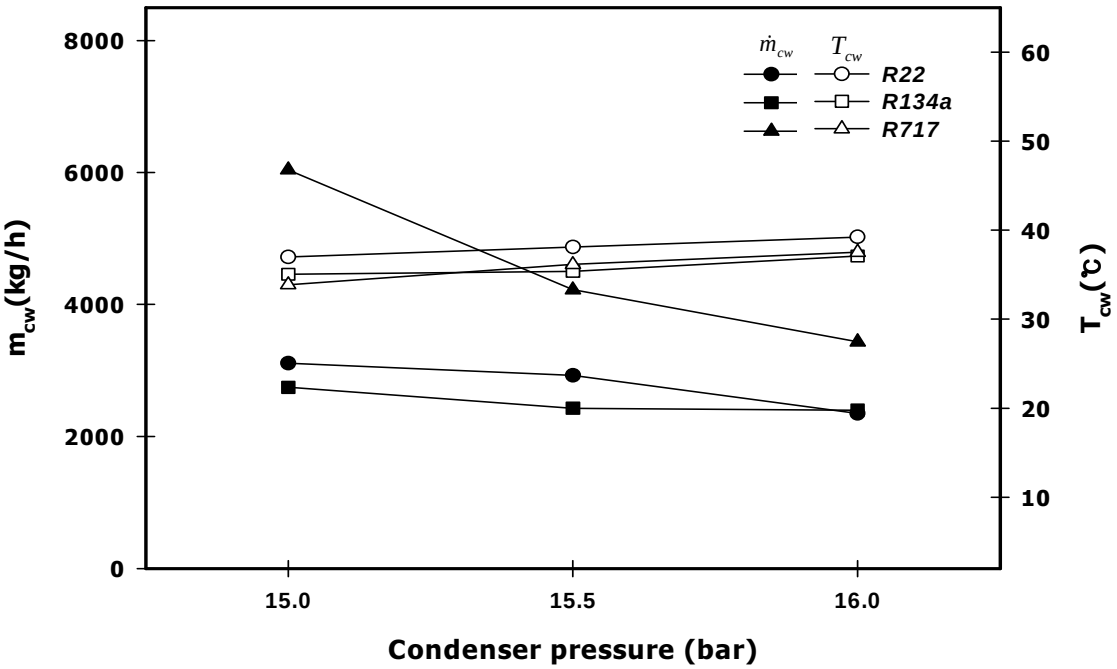


Fig. 5.13 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 2℃

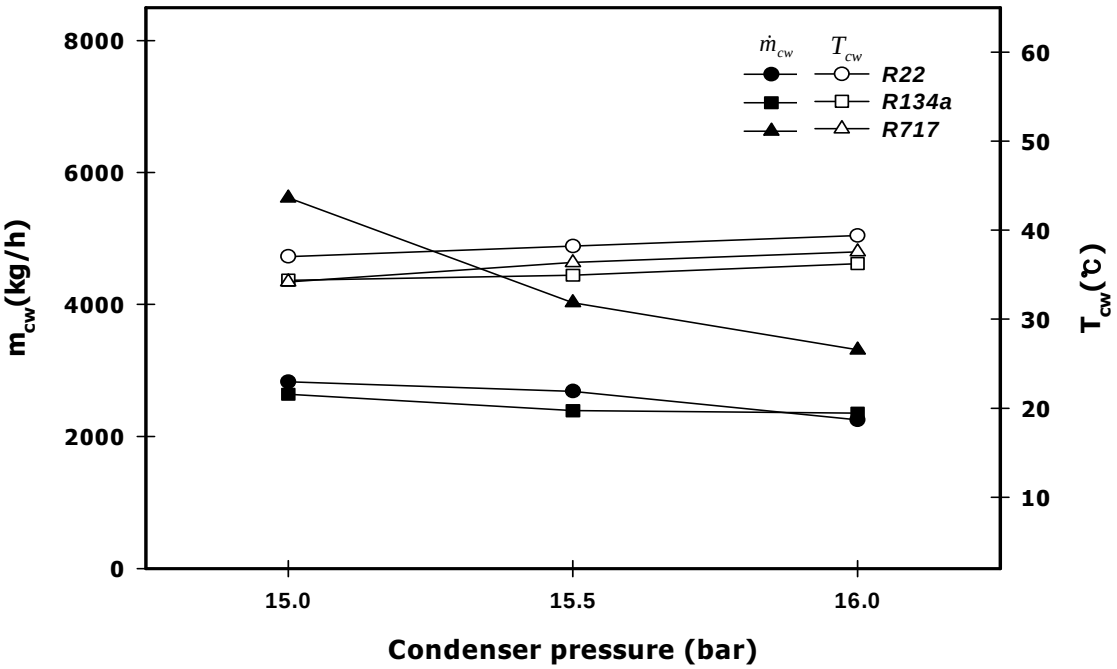


Fig. 5.14 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 3℃

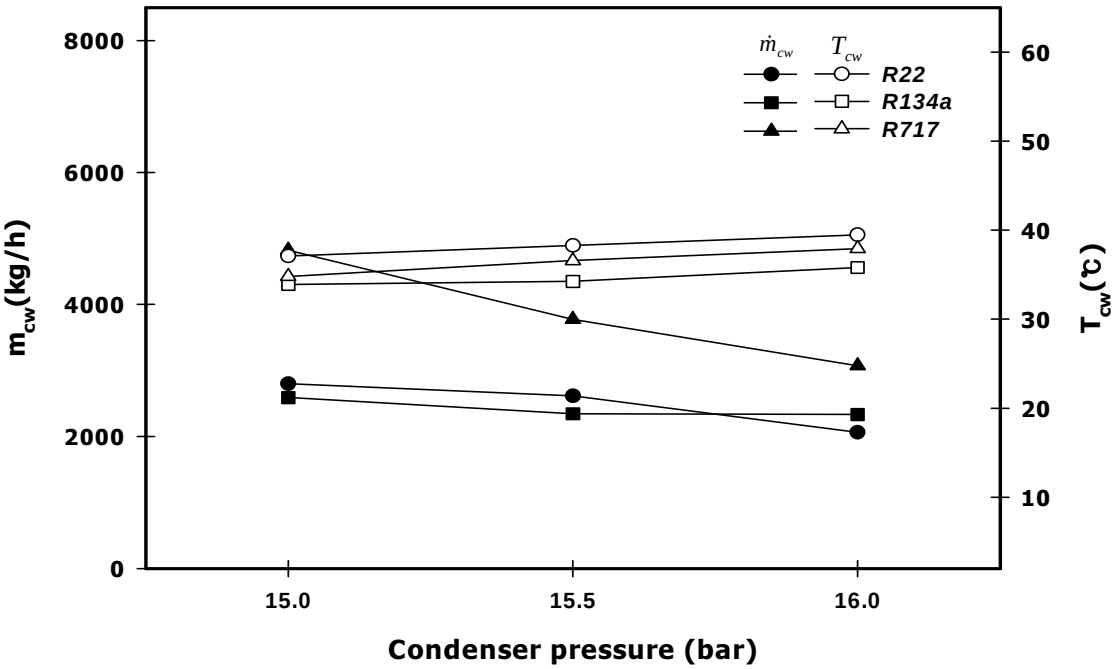


Fig. 5.15 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 4℃

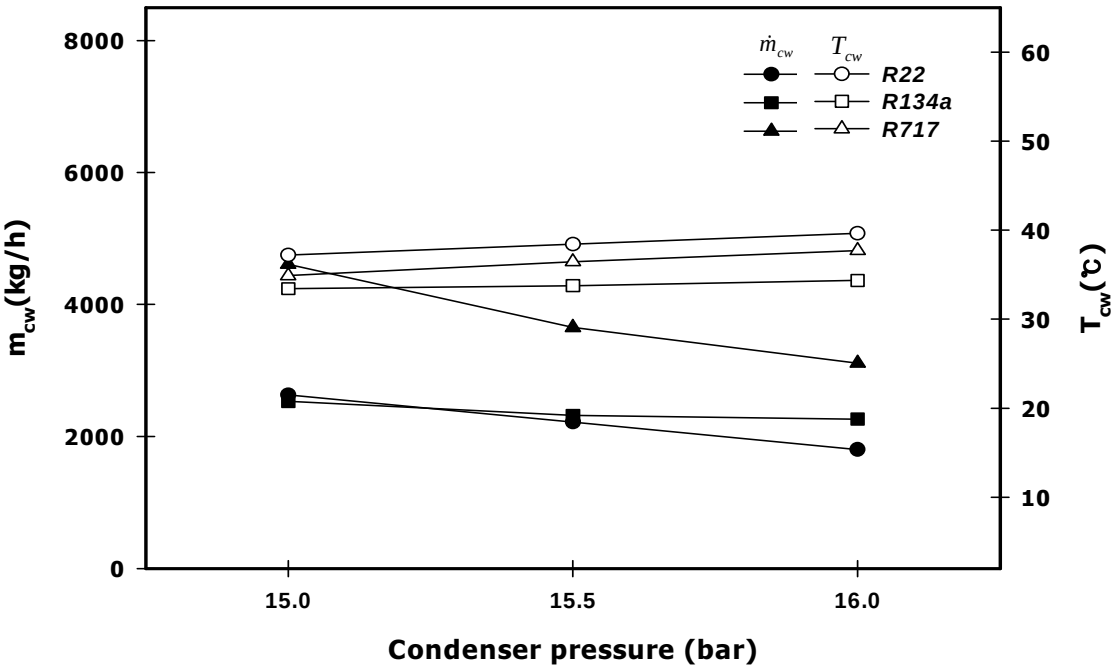


Fig. 5.16 The relations of Condenser Pressure and $\dot{m}_{cw}$, Tcw at Degree of Superheat 5℃

5.3 응축기 방열량과 소요동력

Fig. 5.17~5.18은 R22, R134a, R717 냉매에 대하여 응축압력이 15.0bar, 15.5bar, 16.0bar 일 때 각각의 응축압력에 따라 과열도를 0~5℃까지 변화시켜 보았을 때 각각의 냉매에 대한 응축기 방열량과 소요동력에 대한 실험 결과 선도이며 Fig. 5.19~5.24는 과열도를 0~5℃까지를 1℃간격으로 변화시켜 보았을 때 각각의 응축압력에 대한 R22, R134a, R717 냉매의 응축기 방열량과 소요동력에 대한 실험결과 선도이다.

Fig. 5.17은 응축기 방열량에 대한 실험결과 선도이다. 응축기 방열량은 응축기 냉각수 질량 유량과 출구온도의 의해 측정한 값으로서 응축기에서 방출한 방열량으로 응축기 냉각수 출구온도와 냉각수 질량유량과의 관계함을 나타내고 있다.

각각의 냉매는 응축압력과 과열도가 높아짐에 따라 응축기 방열량은 감소하였으나 동일 응축압력과 동일 과열도에서는 R717 냉매는 R22, R134a냉매에 비하여 방열량이 많은 차이를 나타내고 있으며 R22에 비하여 10~26%, R134a에 비하여 34~57%의 큰 차이를 나타내고 있다. 또한 응축압력이 상승하여도 방열량의 증가의 폭은 큰 차이가 없었으며 과열도 변화에 대해서는 R22, R134a, R717 냉매 모두 과열도 1℃일 때 가장 높은 방열량을 보였으며 과열도가 높을수록 방열량은 전체적으로 감소하는 결과를 나타내었다.

따라서 응축기 방열량은 냉매 질량유량과 흡입압력은 비례하므로 냉매질량유량과 흡입압력이 높을수록 응축기 방열량은 비례하여 증가하였으며 이는 냉매 질량 유량과 흡입압력이 응축기 방열량 변화에 영향을 주는 요소임을 나타내고 있으며 과열도가 높아짐에 따라 냉매 증기의 엔탈피는 증가하지만 질량 유량이 감소하기 때문에 응축기 방열량은 감소함을 나타내었다.

Fig. 5.18은 소요동력에 대한 실험결과 선도이다. R22, R134a, R717 냉매 모두 응축압력과 과열도가 높아짐에 따라 소요동력은 증가하였으며 동일 응축압력과 동일 과열도에서는R717냉매가 가장 높은 소요동력을 나타냈으며 R22에 비하여 11~13%높았으며 R134a와는 21~25 %높았다.

소요동력은 냉매 질량유량, 증발 압력 ,응축기 냉각수 질량유량, 응축기 발열량보다도 변화의 폭이 적었음을 나타내었다. 이것은 동일 응축압력에서 과열도가 높을수록 증발기에서 증발하는 냉매 질량 유량이 감소하게 되어 증발 압력이 감소하기 때문

에 평행온도가 낮아져 비체적은 커지게 되며 압축기에 유입되는 냉매 증기의 체적유량은 저하되어 소요 동력은 증가하게 되지만 소요동력 증가 폭은 냉매 질량유량 감소폭에 비하여 적음을 나타냈다. 이는 과열도가 높을수록 압축기에서 방출하는 냉매증기의 엔탈피가 증가되고 압축기의 소요 동력이 증가 하므로 소요 동력의 증가는 냉매 질량유량 증가에 비해 적음을 알 수 있다.

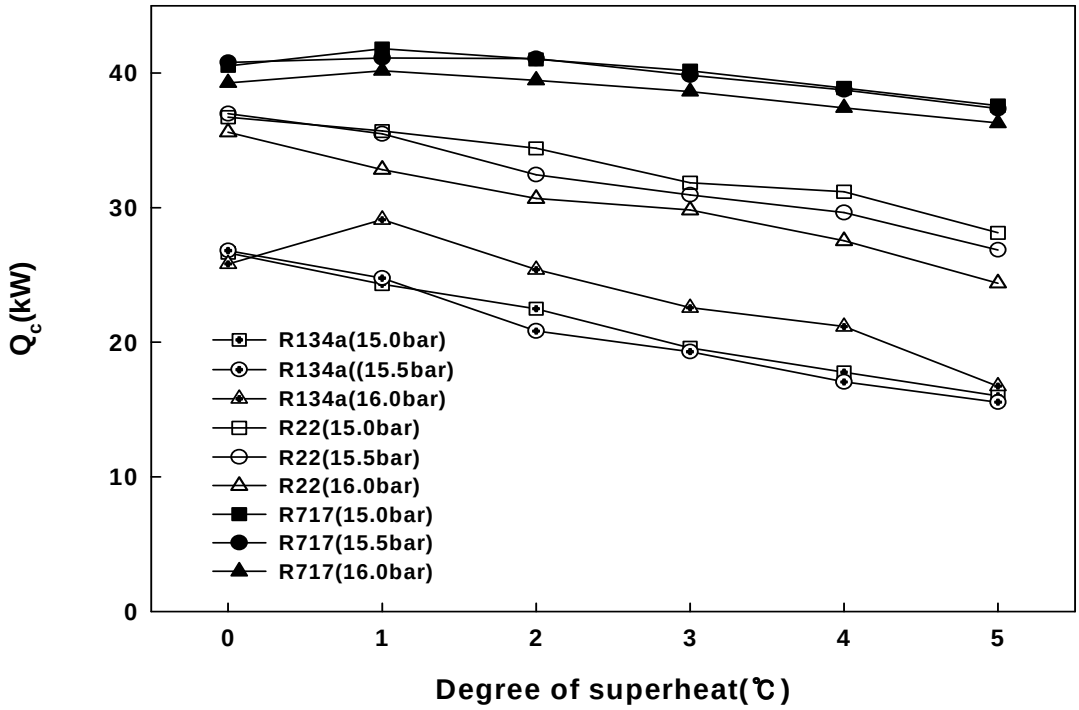


Fig. 5.17 The relations of Qc, and Degree of Superheat at each Condenser Pressure

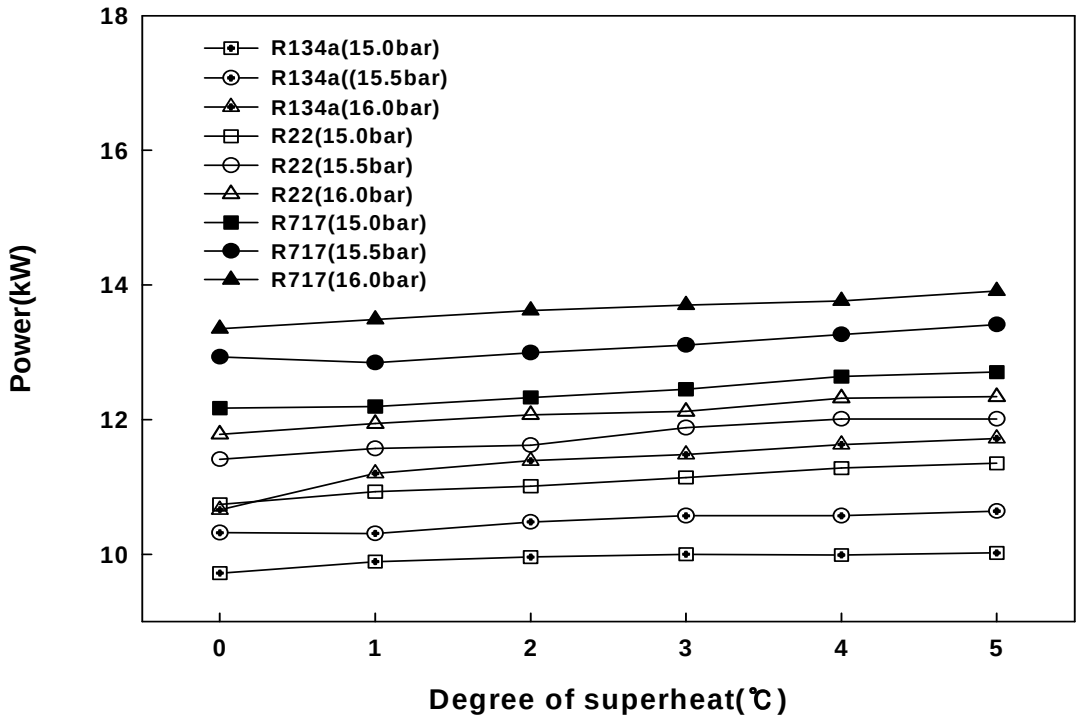


Fig. 5.18 The relations of Power and Degree of Superheat at each Condenser Pressure

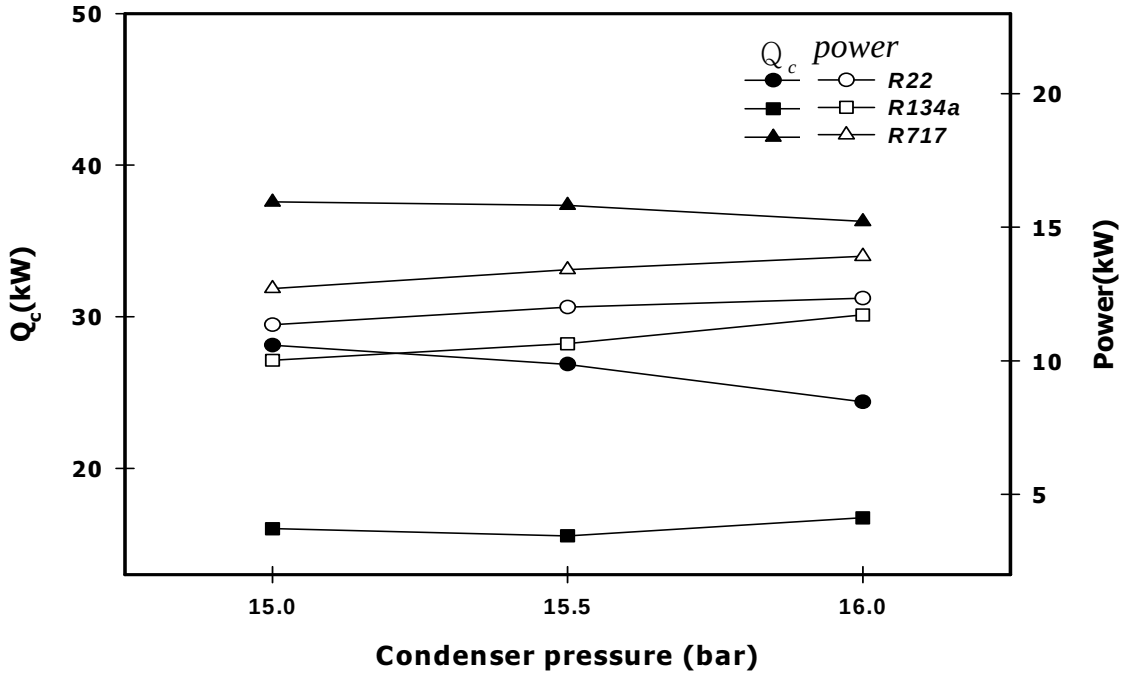


Fig. 5.19 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 0℃

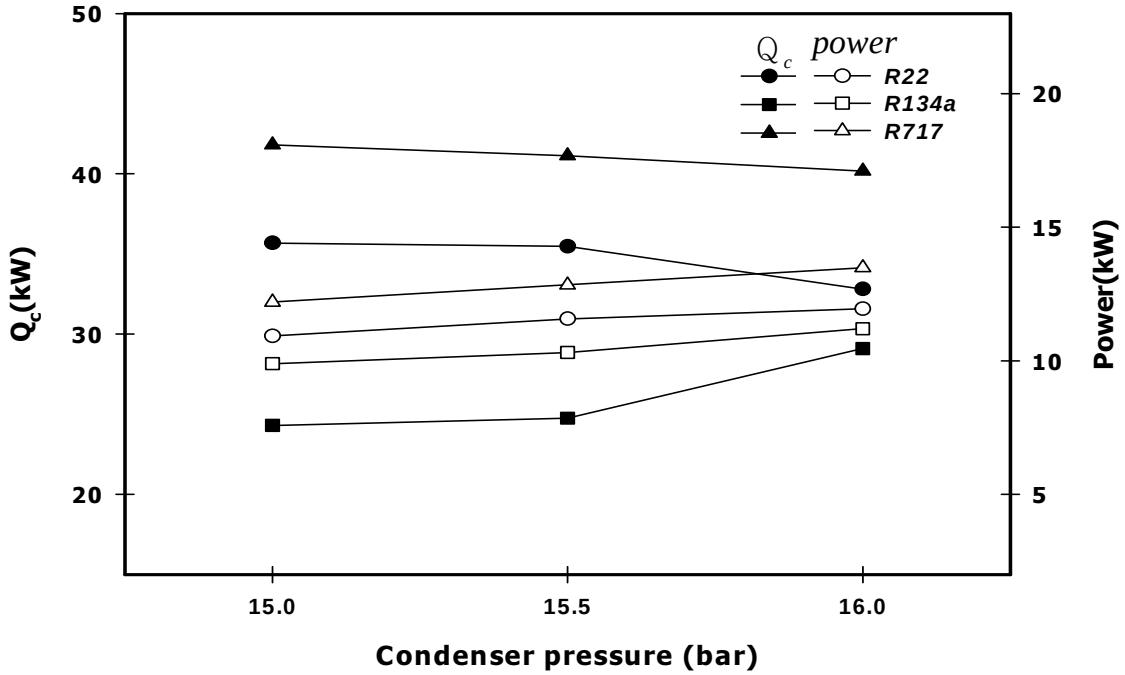


Fig. 5.20 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 1℃

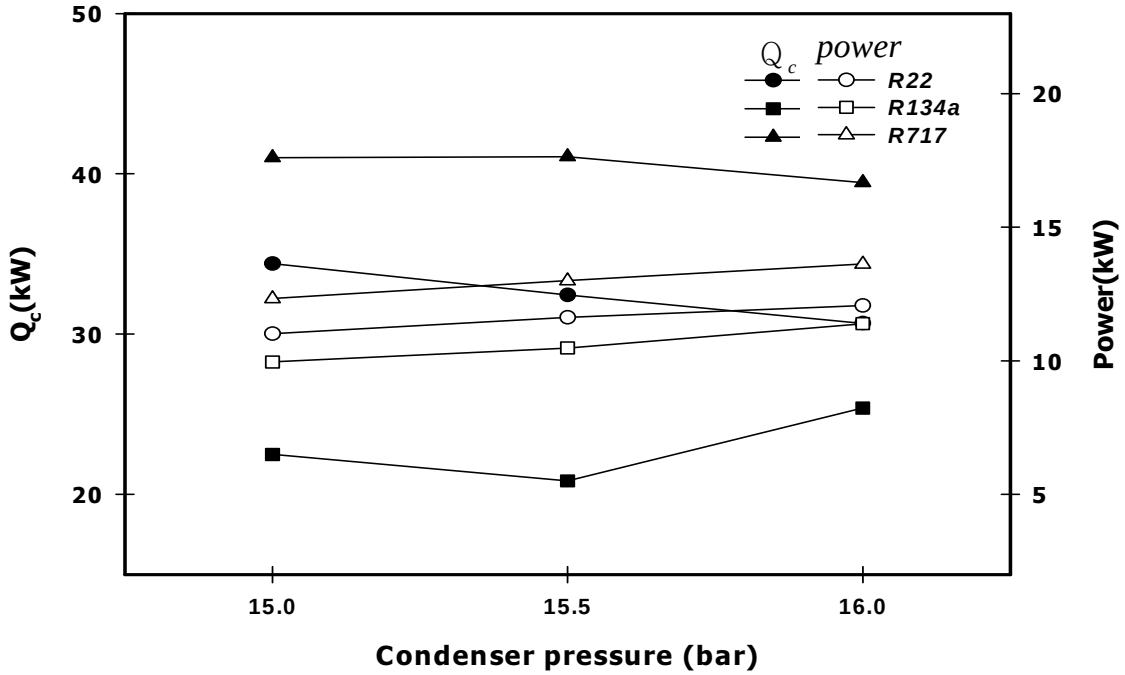


Fig. 5.21 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 2℃

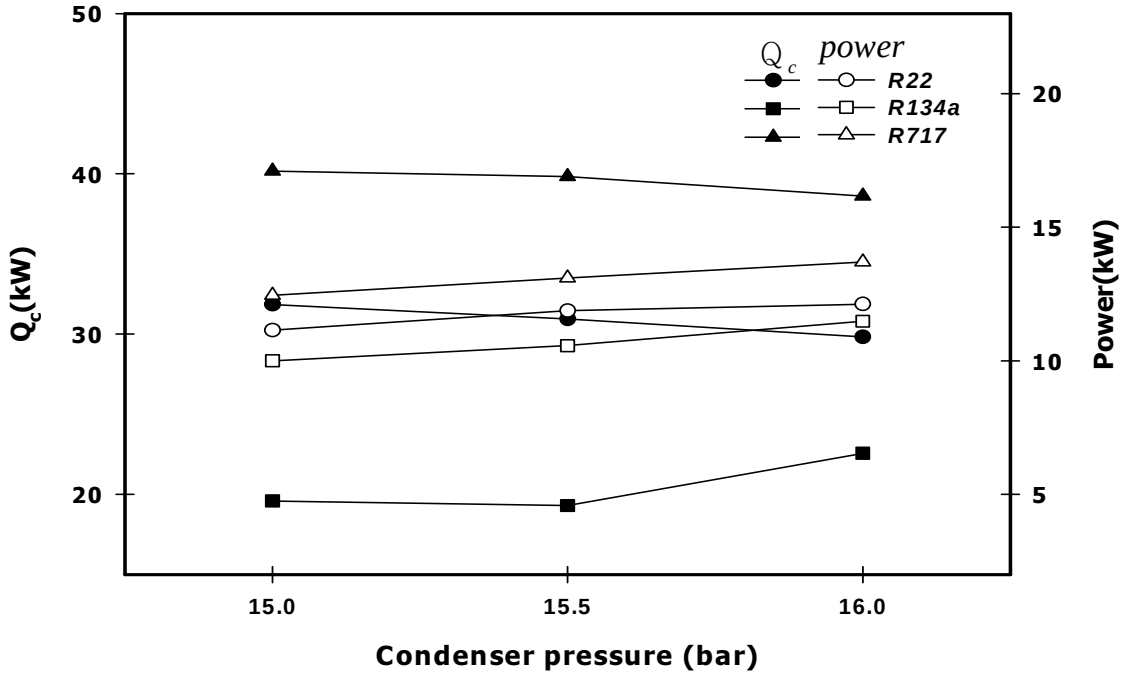


Fig. 5.22 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 3℃

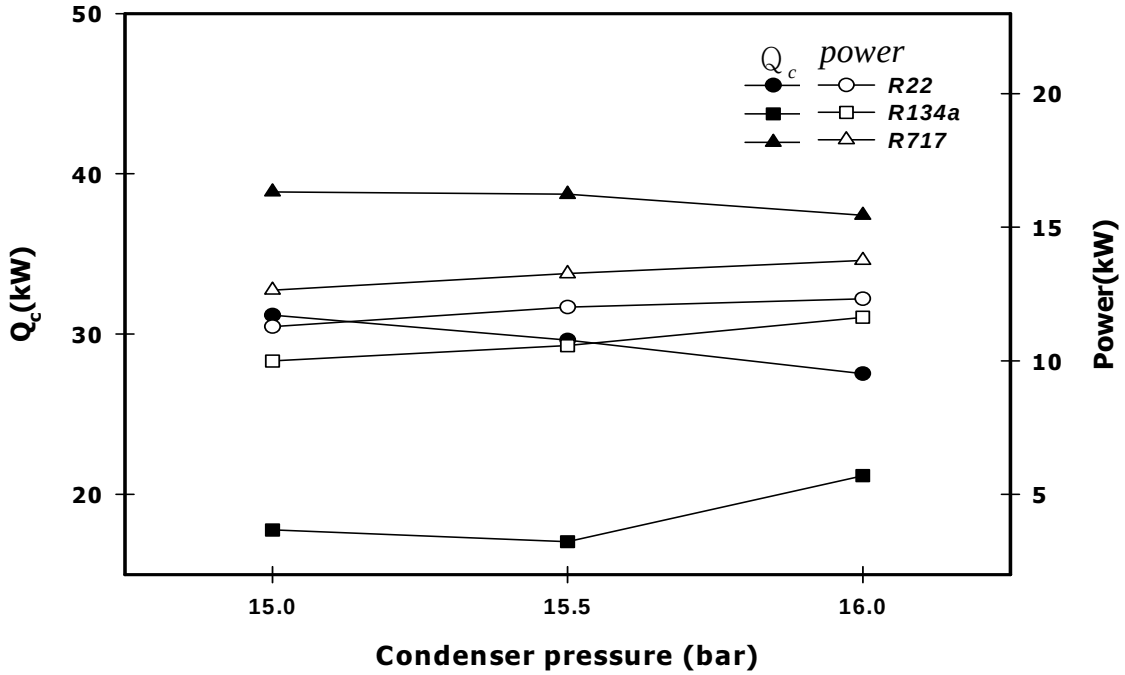


Fig. 5.23 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 4℃

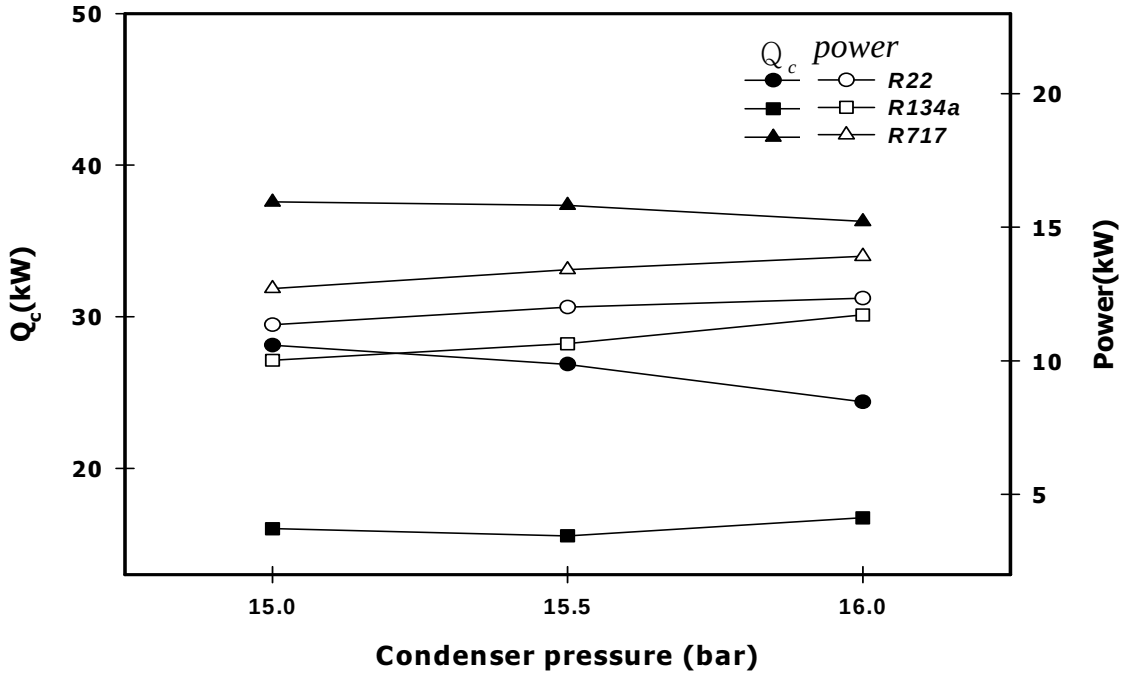


Fig. 5.24 The relations of Condenser Pressure and Qc, Power at Degree of Superheat 5℃

5.4 증발기 냉수 출구온도와 흡열량

Fig. 5.25~5.26은 R22, R134a, R717 냉매에 대하여 응축압력이 15.0bar, 15.5bar, 16.0bar 일 때 각각의 응축압력에 따라 과열도를 0~5℃까지 변화시켜 보았을 때 각각의 냉매에 대한 증발기 냉수 출구온도와 흡열량에 대한 실험 결과 선도이며 Fig. 5.27~5.32는 과열도를 0~5℃까지를 1℃간격으로 변화시켜 보았을 때 각각의 응축압력에 대한 R22, R134a, R717 냉매의 증발기 냉수 출구온도와 흡열량에 대한 실험결과 선도이다.

Fig. 5.25는 증발기 냉수 출구온도는 R22, R134a, R717 냉매 모두 응축압력과 과열도가 높을수록 높게 나타났으며 과열도 1℃와 응축압력이 15.0bar일 때 가장 낮은 결과를 나타내었다. 냉매별로 비교 해보면 냉수 출구온도는 R717 냉매가 가장 낮았으며 R134a냉매는 가장 높은 출구온도를 나타내었으며 R22와 R717 냉매는 큰 차이가 없었다.

증발기 냉수 출구온도는 냉동능력을 산출하기 위한 가장 중요한 인자로서 냉수 출구온도가 높은 것은 냉동능력이 적다는 것이다.

응축압력과 과열도 변화에 따라서 비교 해보면 응축압력 보다는 과열도의 변화에 따라서 출구온도의 상승폭이 커졌음을 나타내었다. 이러한 결과는 응축압력 변화에 따라 압축기의 압축비에 따른 압축기 성능과의 관계이며 과열도 변화는 냉매의 질량유량과의 관계가 있음으로 응축압력의 변화보다는 과열도의 변화가 냉동능력에 영향을 미치는 차이가 크므로 냉수 출구온도가 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5.26은 증발기 흡열량에 대한 실험결과 선도이다. R22, R134a, R717 냉매 모두 응축압력과 과열도가 높을수록 낮아 졌으며 증발기 출구온도와는 상반관계가 있음을 알 수 있었다. 증발기 흡열량은 냉수 출구온도에 의하여 흡열량이 결정되므로 냉수 출구온도와 직접적인 영향이 있기 때문이다.

따라서 냉각수 출구온도가 가장 낮은 R717 냉매가 흡열량이 가장 높았으며 R22와는 큰 차이가 없었으나 R134a와는 큰 차이가 있음을 나타내었다.

응축압력과 과열도 변화에 따라 비교 해보면 냉수 출구온도와 동일한 결과를 나타내었다. 이것은 결과적으로 증발기에서 흡열한 흡열량은 냉수 출구의 온도에 의해서 흡열량이 산출되기 때문에 냉수 출구 온도의 변화에 따라 흡열량은 결정되기 때문이

다.

흡열량에 대하여 동일 응축압력과 동일 과열도에 대한 각각의 냉매를 비교해 보았을 때 R22 냉매에 비하여 R717 냉매가 10～11% 높았으며 R134a 냉매는 30～32% 감소함을 나타내었다.

결과적으로 R134a 냉매는 R22 냉매에 비하여 냉동능력이 감소함으로 대체 냉매로서는 적합하지 않음을 알 수 있었다.

동일 과열도에서 응축압력이 증가할 때 흡열량은 전체적으로 감소하였지만 변화의 폭은 미소하였다. 이러한 원인으로는 응축압력이 높아짐에 따라 실제 냉동효과가 감소하므로 증발기 흡열량은 따라서 감소하게 되는데 감소 차가 아주 미소하고 응축 압력이 높을수록 응축기 출구측 냉매액 온도가 높아지지만 온도차가 아주 미소한 것으로 생각된다.

응축기 출구측 냉매액 엔탈피 차가 미소하여 냉수 출구온도와 증발기 흡입량의 변화가 미소함을 나타내었다. 응축기 출구 냉매액 온도차가 미소한 결과는 압축기에서 배출된 냉매증기가 응축기에서 상변화 후 열교환 길이가 길어짐에 따라 응축기 출구측 냉매액이 과냉각 되어 응축기 냉각수 입구온도와 근접되었기 때문이라 생각된다.

Fig. 5.28은 과열도 1℃일 때 R22, R134a, R717 냉매에 대한 증발기 냉수 출구온도와 흡열량에 대한 실험결과선도이다. 응축압력이 가장 낮은 15.0bar 일 때 냉수출구온도가 가장 낮고 흡열량은 가장 높았음을 보여주고 있다. 이것은 냉매의 질량유량이 가장 많을 때와 동일한 결과로 과열도가 없는 포화증기선상에서 운전하기란 현실적으로 대단히 어려우며 이론적 결과로 보여짐을 알 수 있었다. 또한 과열도가 증가 할수록 냉매의 질량유량이 감소함에 따라서 흡열량도 감소함을 알았다. 과열도 3℃이상에서는 흡열량의 감소폭이 커짐을 알 수 있었다.

냉매별로 비교해보면 동일응축압력에서 흡열량이 최대치인 과열도 1℃와 과열도 5℃를 비교해보면 R22 냉매는 16～20%,R134a 냉매는 10～17%,R717 냉매는 10～13% 감소함을 나타내었다.

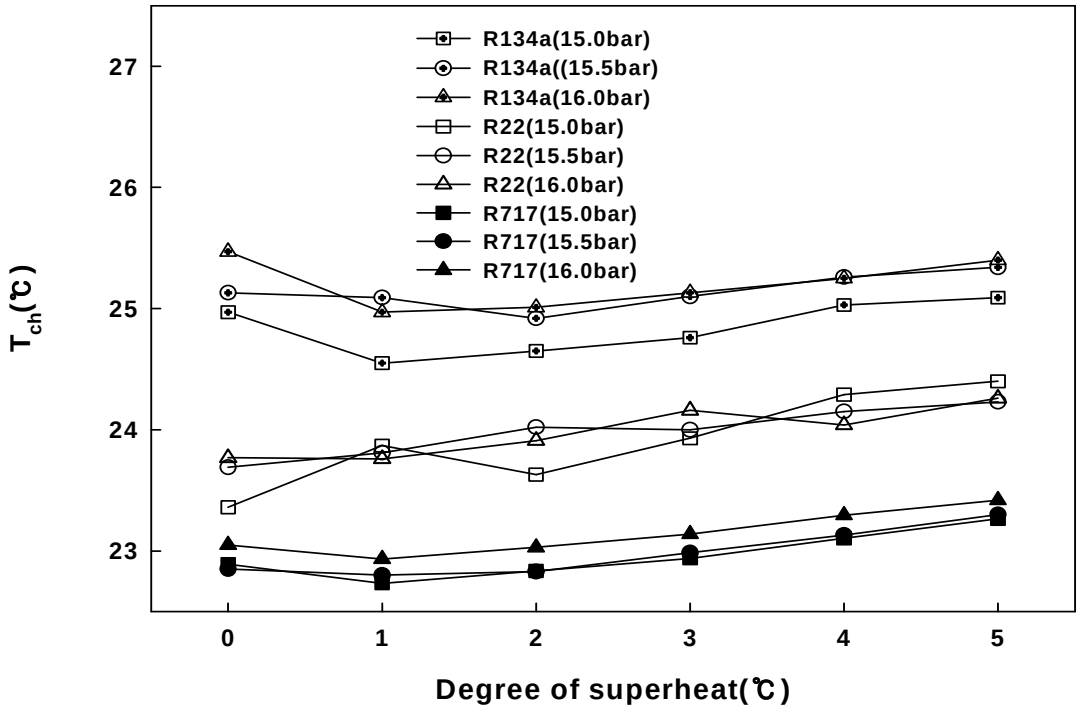


Fig. 5.25 The relations of Tch and Degree of Superheat at each Condenser Pressure

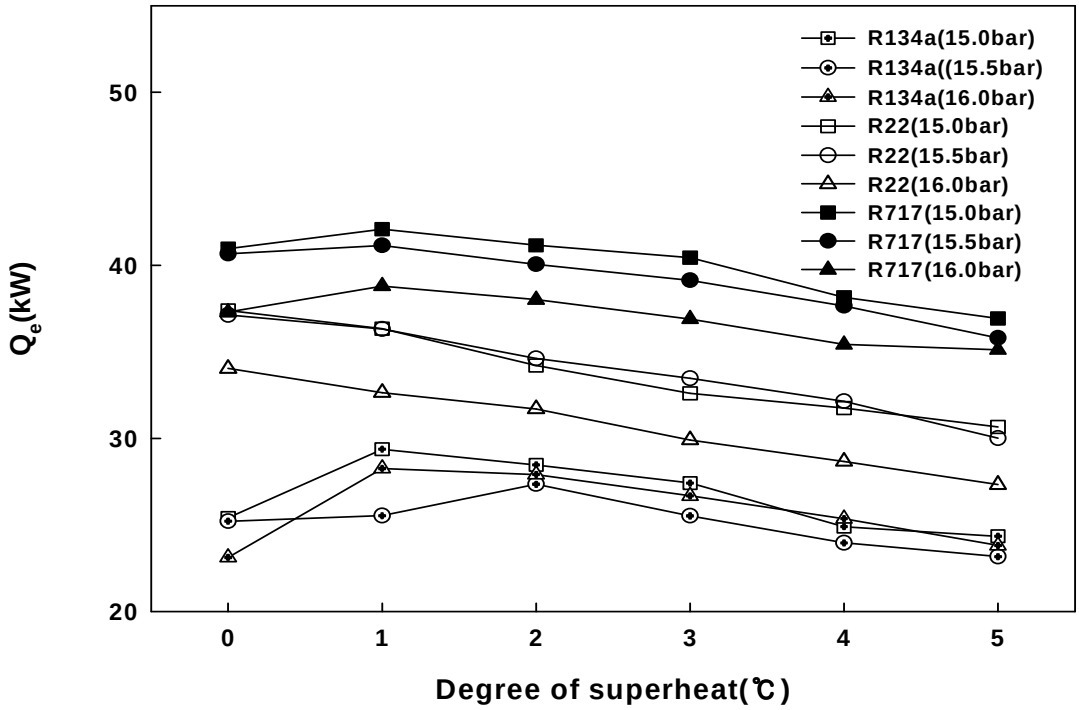


Fig. 5.26 The relations of Qe and Degree of Superheat at each Condenser Pressure

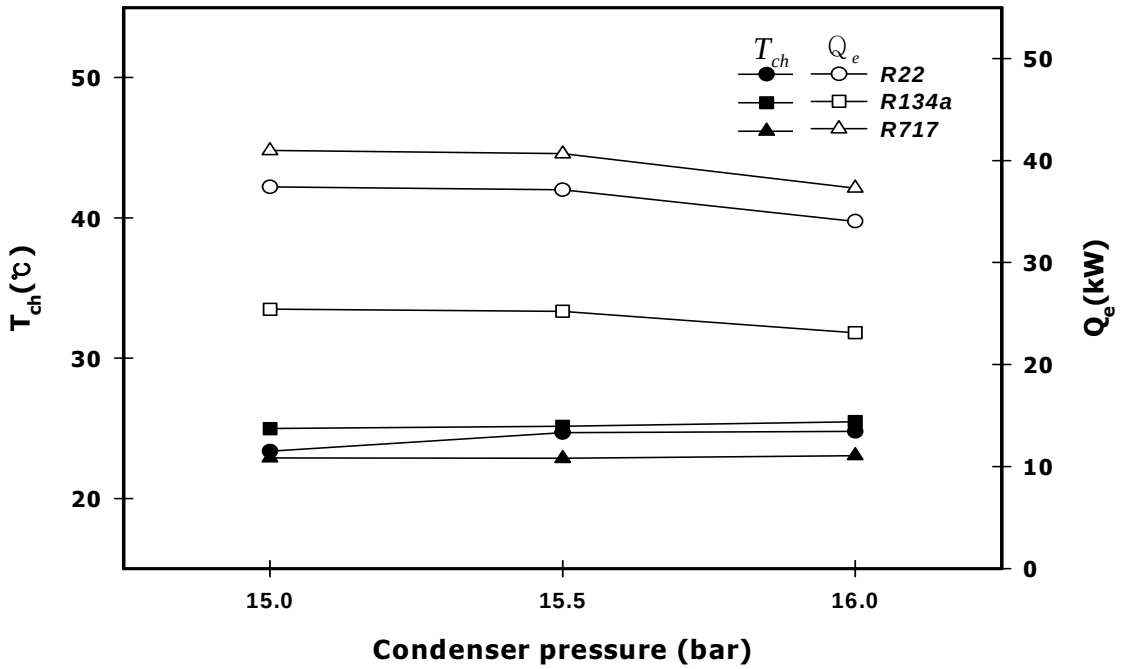


Fig. 5.27 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 0℃

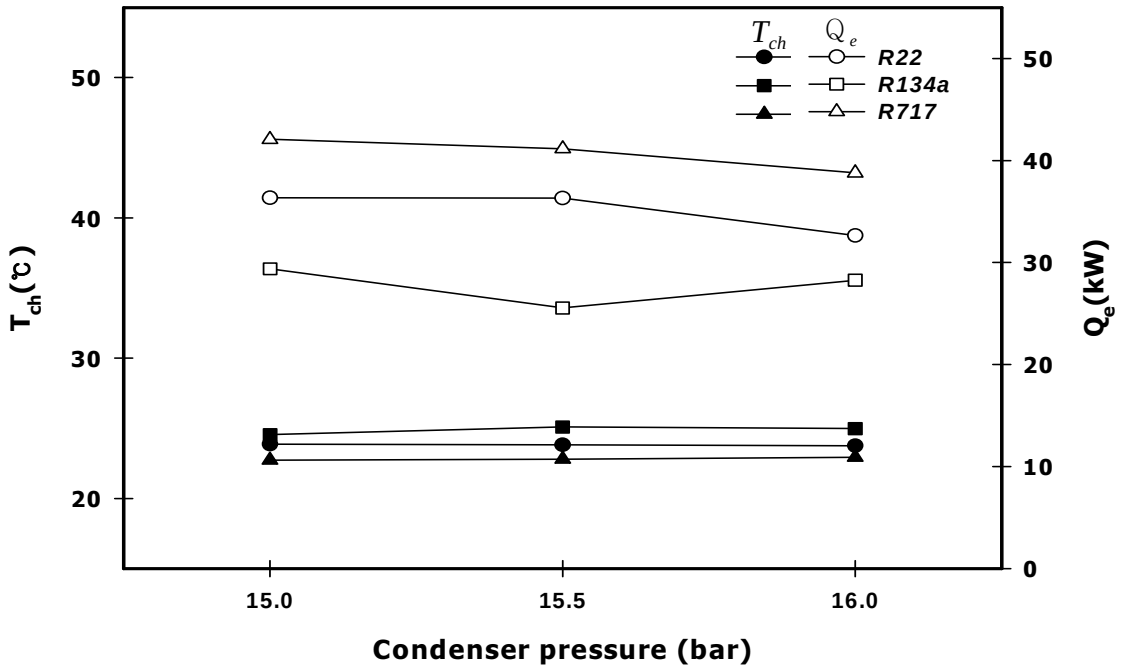


Fig. 5.28 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 1℃

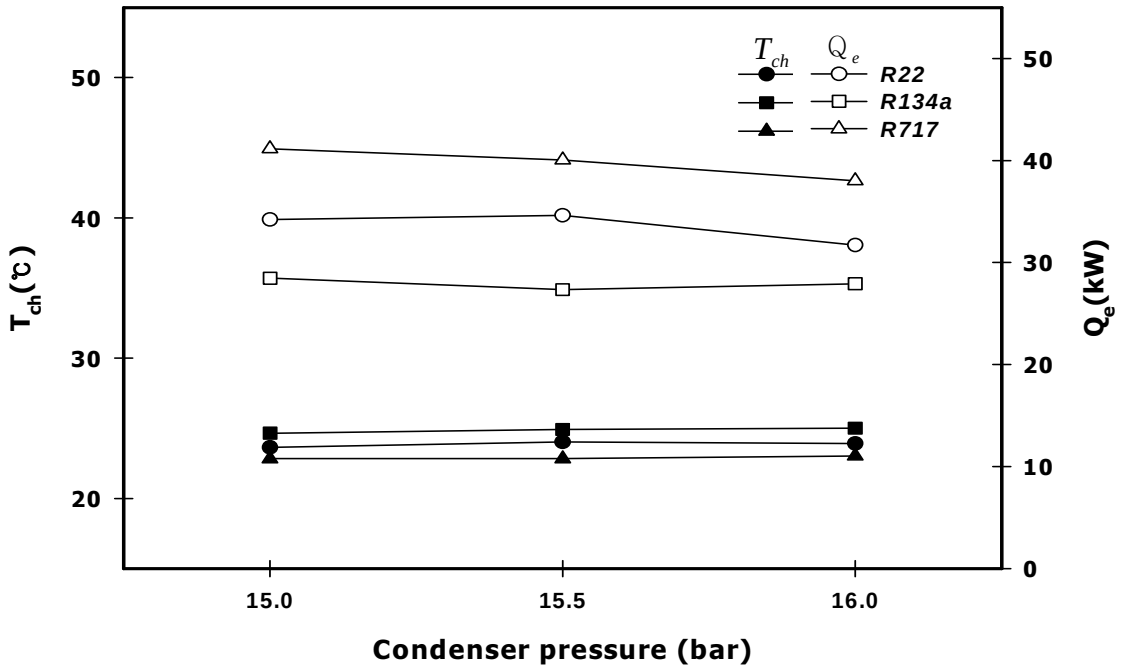


Fig. 5.29 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 2℃

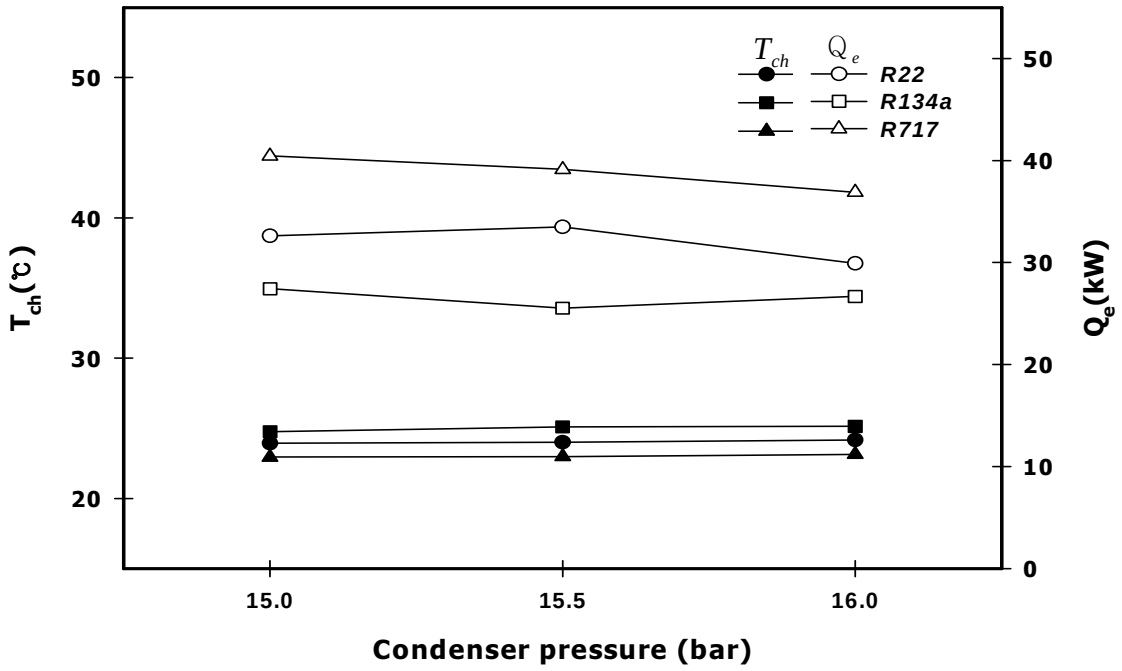


Fig. 5.30 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 3℃

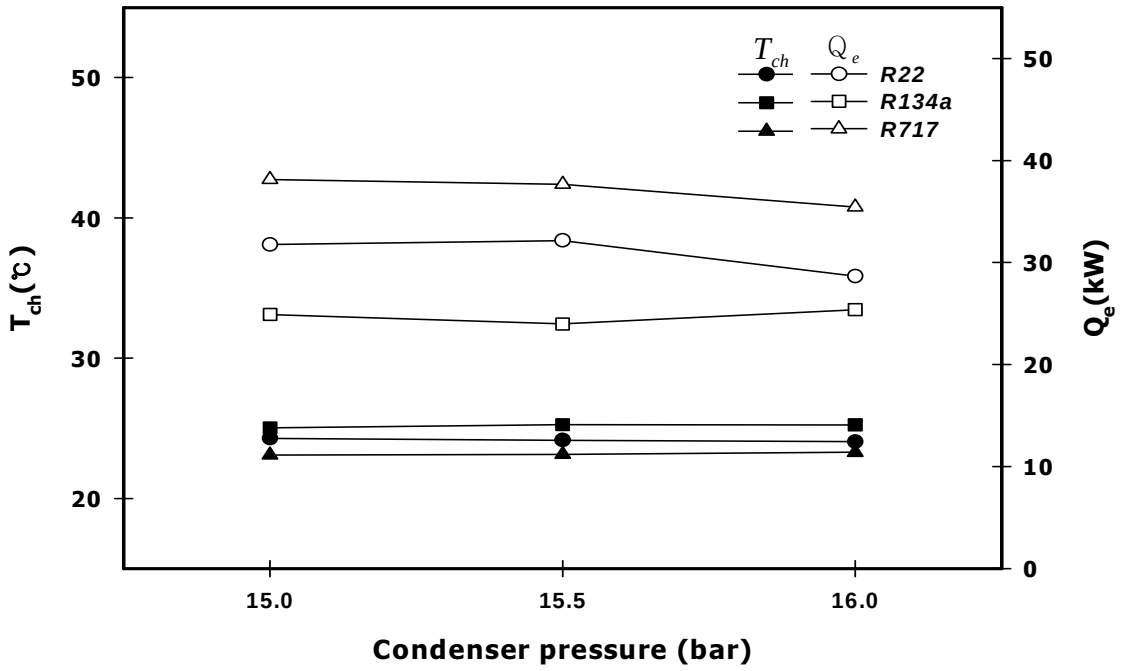


Fig. 5.31 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 4℃

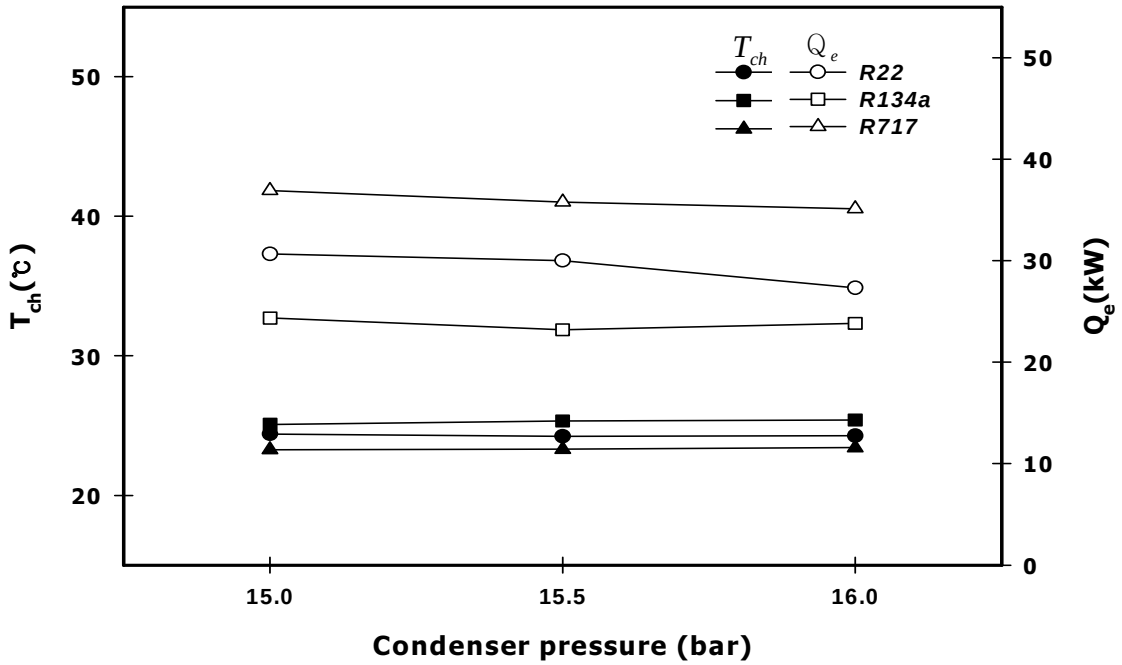


Fig. 5.32 The relations of Condenser Pressure and Tch, Qe at Degree of Superheat 5℃

5.5 성적계수(COP)

Fig. 5.33은 R22, R134a, R717 냉매에 대하여 응축압력이 15.0bar, 15.5bar, 16.0bar 일 때 각각의 응축압력에 따라 과열도를 0~5℃까지 변화시켜 보았을 때 각각의 냉매에 대한 성적계수를 나타낸 실험 결과 선도이다.

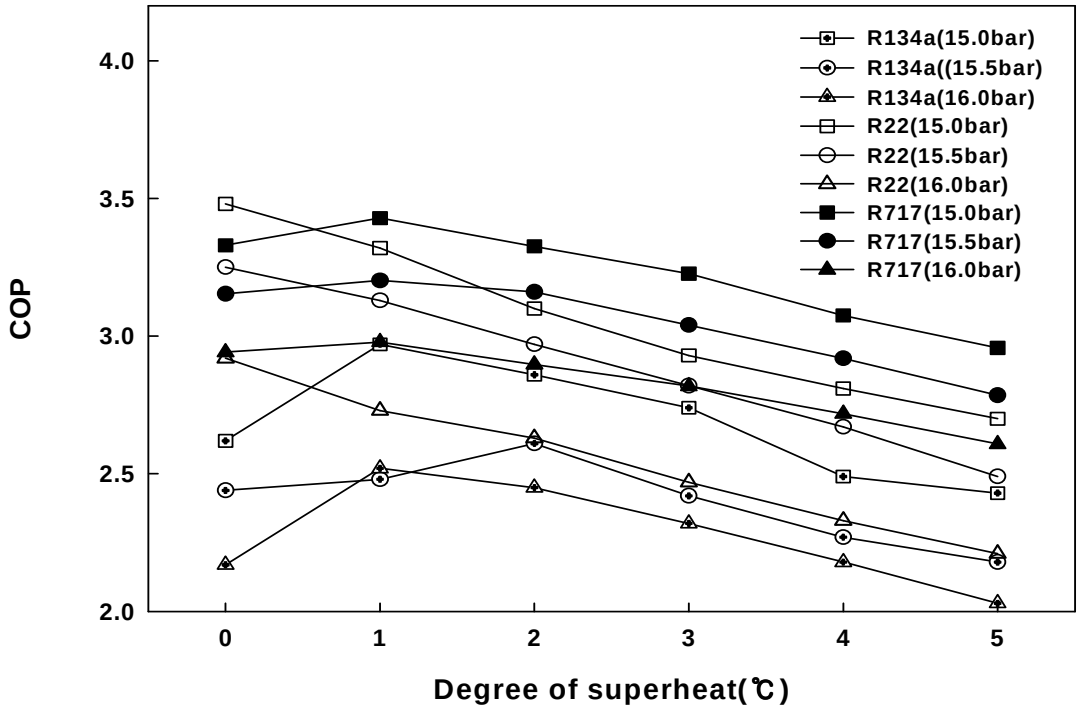


Fig. 5.33 The relations of COP and Degree of Superheat at each Condenser Pressure

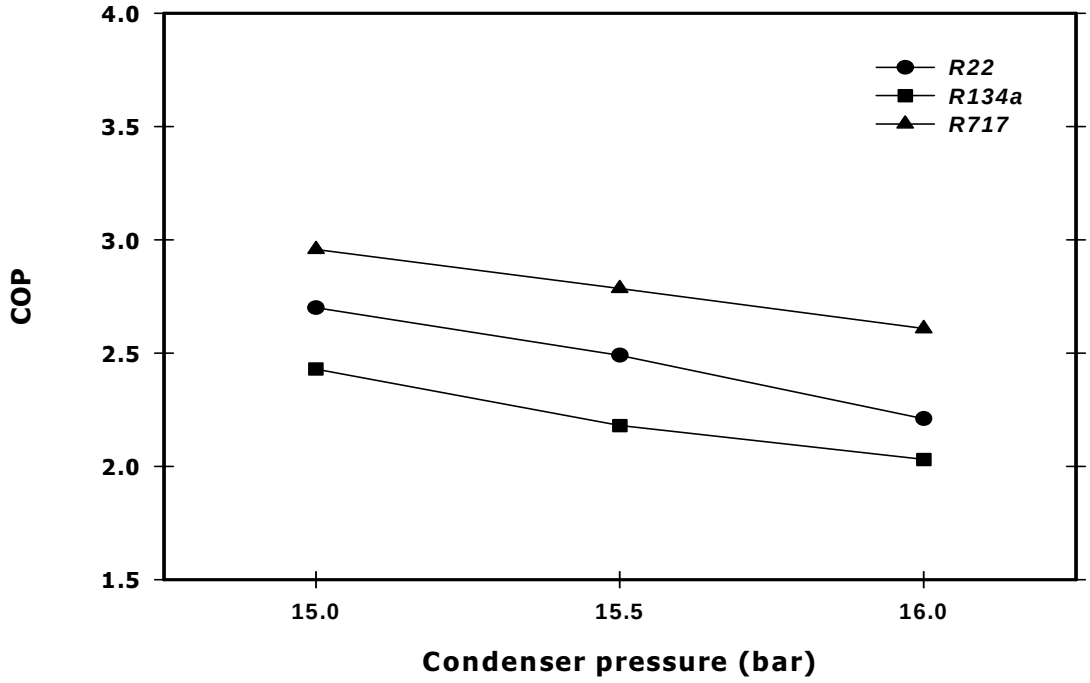


Fig. 5.34 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 0℃

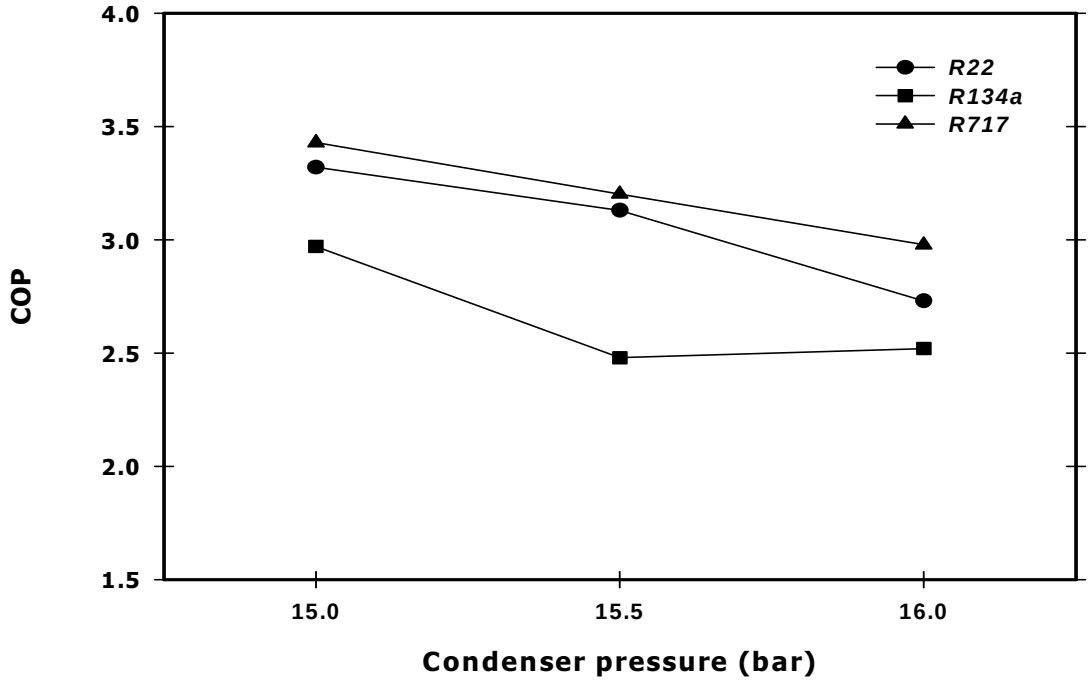


Fig. 5.35 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 1℃

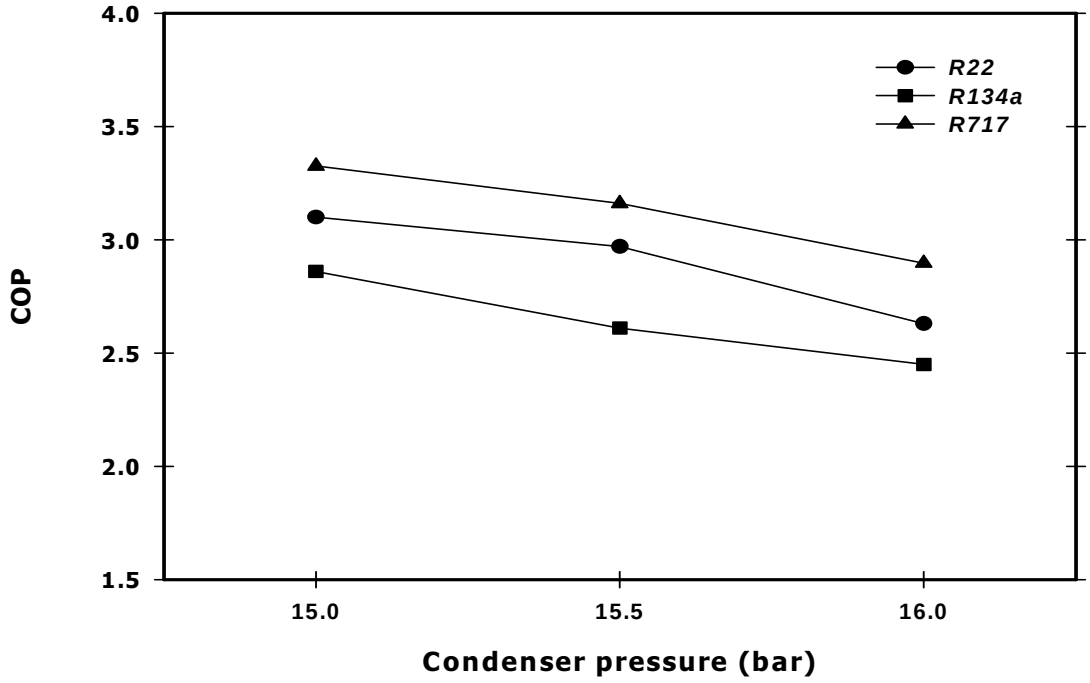


Fig. 5.36 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 2℃

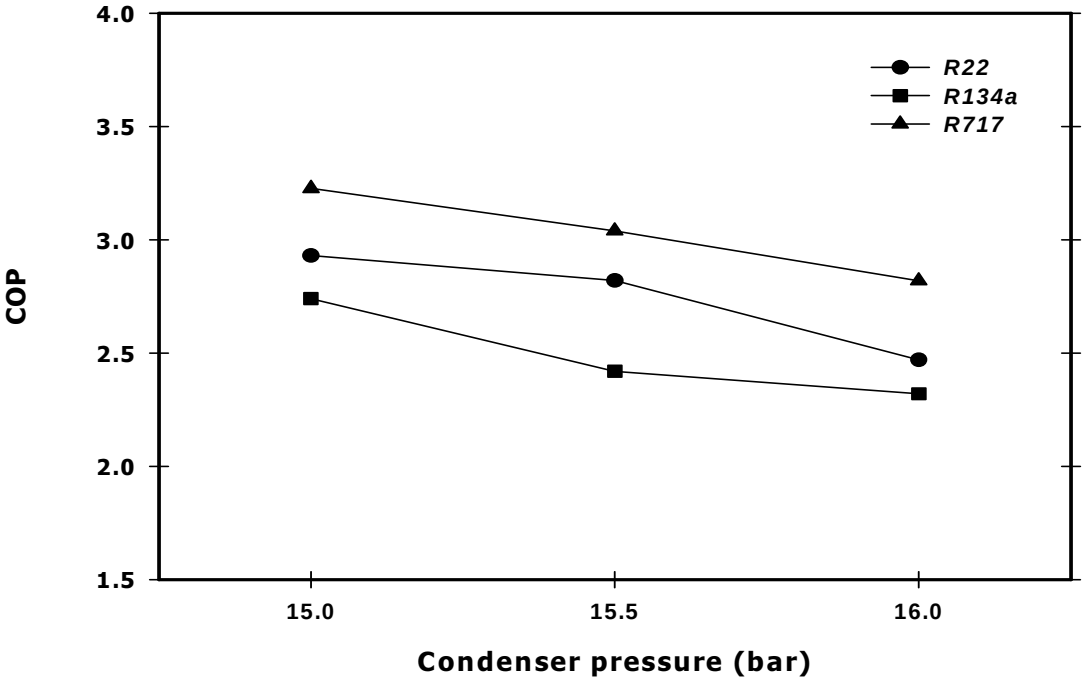


Fig. 5.37 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 3℃

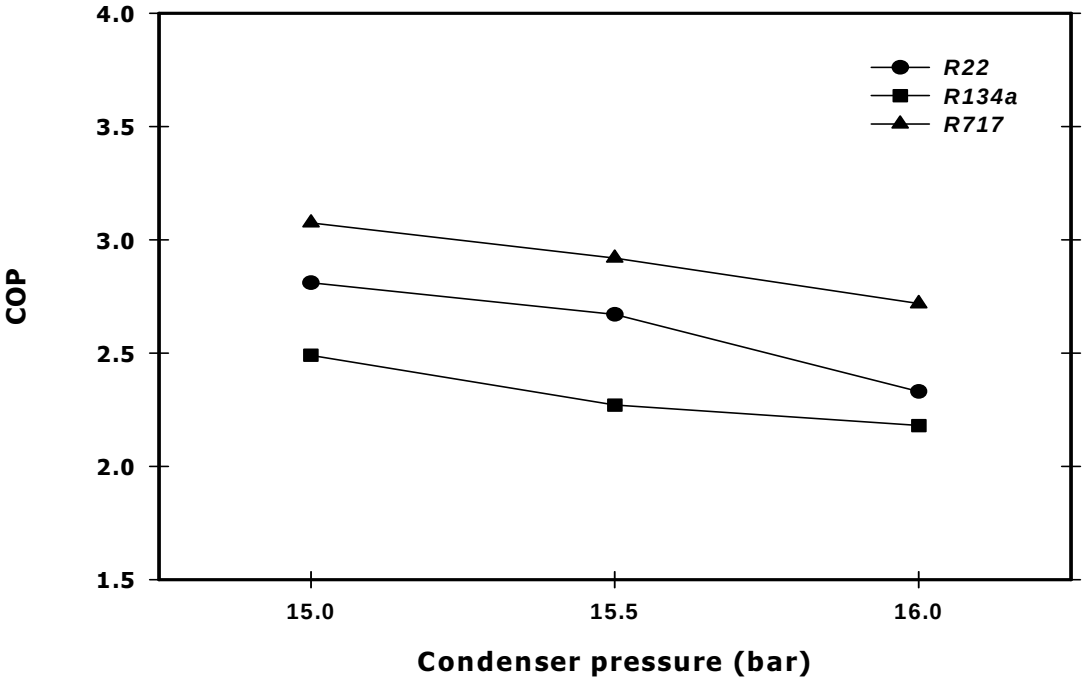


Fig. 5.38 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 4℃

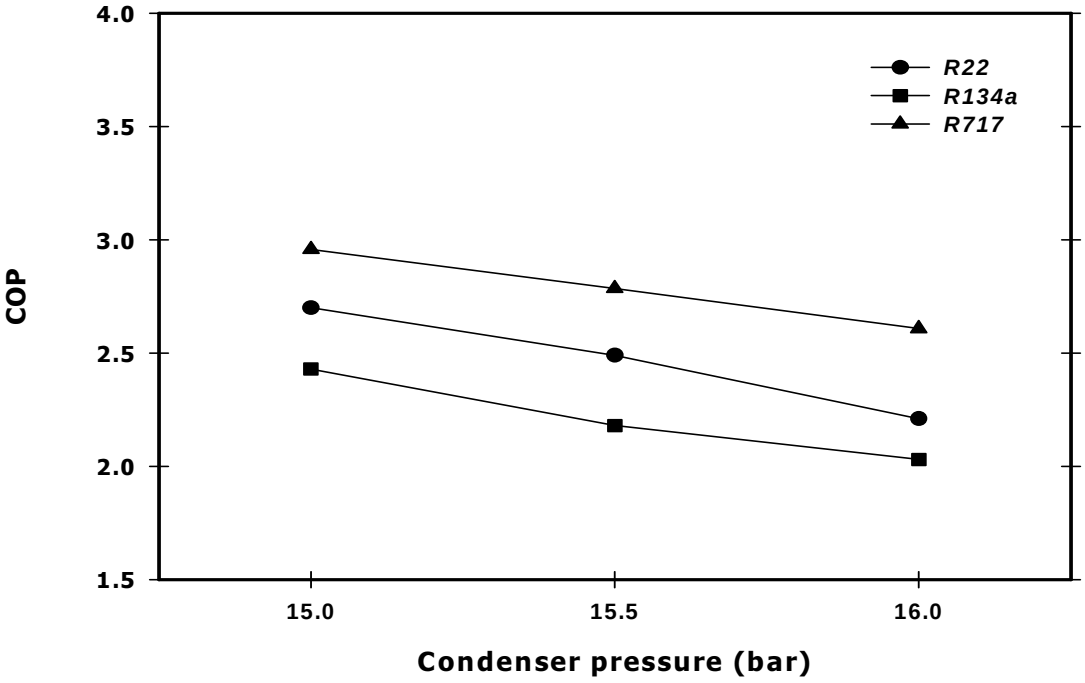


Fig. 5.39 The relations of Condenser Pressure and COP at Degree of Superheat 5℃

Fig. 5.34~5.39는 과열도를 0~5℃까지를 1℃간격으로 변화시켜 보았을때 각각의 응축압력에 대한 R22, R134a, R717 냉매에 대한 성적계수 실험결과 선도이다.

성적계수는 증발기 흡열량과 소요 동력과의 관계이다. 각각의 냉매는 전체적으로 응축압력과 과열도가 높아짐에 따라 증발기 흡열량은 감소하고 소요동력은 증가하였으며 성적계수는 점차적으로 감소하였다. R717 냉매는 과열도 1℃일 때와 R22, R134a 냉매는 과열도 2~3℃일 때 성적계수가 가장 높았다.

이것은 냉매의 질량유량과의 관계로 질량유량이 증가함에 따라 증발기 흡열량이 증가함으로 성적계수도 같이 높아졌으며 과열도 0℃일 때는 증발기로부터 저압의 증기냉매가 압축기로 흡입되는 과정에 과열도가 없는 것으로 실제 냉동사이클에서는 이루어지지 않기 때문에 증기압축 냉동 사이클에서는 현실적 불가능한 것으로 과열도가 없이 운전하기 위해서는 응축기에서 액화된 냉매를 증발기로 보내는 과정 중에 습·압축 조건이 되기 때문에 압축기의 소손의 원인이 될 것이다.

따라서 응축압력과 과열도 변화는 압축기의 소요동력과 증발기의 흡열량과의 관계가 있음을 알 수 있으며 응축압력은 압축기의 흡입압력과 토출압력의 비인 압축비가 크고 작음에 따라서 소요동력이 증가 감소의 원인이 되고 과열도는 냉매질량유량과의 관계로 과열도가 높을수록 냉매의 질량유량이 감소하므로 증발기 흡열량이 감소하는 원인이다.

R22, R134a, R717 냉매에 대하여 비교해보면 응축압력이 15.0bar 일 때 과열도가 0~3℃사이에서 가장 높은 성적계수를 나타내었으며 R22, R717 냉매는 거의 동일하였으나 R134a는 R22, R717 냉매에 비하여 25%정도 성적계수가 낮음을 알았다.

제 6 장 결 론

응축압력과 과열도 변화에 따른 R22, R717, R134a 냉매를 작동 유체로 한 냉동장치의 성능특성 비교를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동일 응축압력에서 과열도가 높아짐에 따라 증발압력이 저하하여 평행온도가 낮아지고 냉매 증기의 비체적이 커지게 되어 냉매 질량유량이 감소함이 많았으며 응축압력이 높아짐에 따라 압축비가 증가하여 체적효율의 저하로 질량유량이 감소함을 알았다.

2) 냉매의 질량유량은 냉매증기의 밀도와 압축비에 의한 압축기의 성능과의 관계가 있음을 알았으며 R22 냉매를 사용한 냉동시스템을 R134a 냉매로 냉매만을 교체하였을 때 압축기가 커져야 하므로 대체냉매로서 사용이 불가능하고 R717 냉매는 압축기 크기와는 문제가 없음을 알았다.

3) R134a, R717, R22 냉매 모두 과열도가 높아질수록 증발기에 유입되는 냉매 질량유량이 감소하여 압축비가 커지고 동력이 증가하여 성적계수가 감소하므로 에너지 손실이 많아짐을 알았다. 동일 응축압력과 동일 과열도 에서는 R717 냉매가 가장 높은 소요동력을 나타냈으며 R22 냉매에 비하여 11～13%높고 R134a 냉매와는 21～25%높았다.

4) 흡열량에 대하여 동일 응축압력과 동일 과열도로 각각의 냉매를 비교해 보았을 때 R22 냉매에 비하여 R717 냉매가 10～11%높았으며 R134a 냉매는 30～32% 감소함을 나타내었다.

5) 성적계수는 R22 냉매와 R717 냉매와 큰 차이가 없었으나 R134a 냉매는 큰 차이를 보였다. R134a 냉매는 R22, R717 냉매에 비하여 25%정도 성적계수가 낮음을 알

았다.

6) R22 냉동시스템에 냉매만을 교체하여 적용할 수 있는 Drop-In 대체냉매는 R717 냉매가 냉동능력, 소요동력이 우수하다는 것을 알았으며 응축압력은 낮고 과열도는 3℃이내 운전이 가장 냉동능력이 좋았음을 알았다.

REFERENCES

1) E. I. du Pont de Nemours & Co. Ltd.. Du Pont Alternative Refrigerants, Applications Testing of HCFC-123 and R134a, Technical Report, 1989.

2) Han, J. S. Youn, J. G. and Won, S. P.. "A study on performance characteristic of new alternative refrigerant replacing R134a". The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea. Proceedings of the SAREK ´99 Summer Annual Conference(I):219～224, 1999.

3) Soloman, S. Wuebbles, D.. ODPs, GWPs, and Future Chlorine/Bromine Loading, Scientific Assessment of Ozone Depletion, 1994, pp.131～136.

4) Montreal Protocol on substances that Deplete the Ozone Layer, 1989, Final Act, united Nations Enviroment Programne

5) Fischer, S. et al.. "Energy and Global Warming Impact of CFC Alternative Technologies." AFEAS and DOE, 1991.

6) Fischer, S. J. Tomlinson and P. Hughes.. "Energy and Gloval Warming Impacts of Not-in kind and next Generation CFC and HCFC Alternatives" AREAS and DOE, December 1994.

7) Global Environmental change Report, 1997, A brief analysis of the Kyoto protocol, Vol. Ⅸ, No. 24, December.

8) Kamimura, T., N. Watanabe and M. Fukushima. Preprint of the 29th High Pressure Conference of Japan. p.112, 1989.

9) Shankland, I. R., R. G. Basu and D. P. Wilson. Proc. of Meetings of Commissions B1, B2, E1, E2 of the IIR, Purdue University, 1988, p.305.

10) Gross, U., Y. et al.. Proc. of the Meeting of Commission B1 of the IIR, Herzlia, Israel, 1990, P.103.

11) Mclinden, M.. Klein, S.. lemmin, E.. and Peskin, A.. NIST Thermodynamic and Transport Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures(REFP.)

Version 6.0: National Institute of Standards and Technology, 1998.

12) Effect of Ammonia Refrig., Res. Found. Inform. Bull., Washington D.C. 1979, p.4.

13) Thermal and hydraulic design of heat exchangers. In: Heat Exchanger Design Handbook vol. 3, Hemisphere Publishing Corporation, 1983, Chapters 3.3.5～3.3.11.

14) Chae, H. B., J. W. Schmidt and M. R. Moldover. Chem. Eng. Data, 35 (1), 1990, p.6.

15) Chen, S. S. et al.. Phys. Chem. Ref. data, 4 (2), 1975, p.441.

16) Chavez, M. et al.. Chem. Eng. Data, 31 (2), 1986, p.218.

17) Sukornick, B., Int. J. of Thermophysics, 10 (3), p.553.

18) Kern, J. and R. Wallner. Int. J. of Refrigeration, 11 (4), 1989, p.224.

19) Kays, W. M. and London, A. L.. Compact Heat Exchanger, 3rd edition.: McGraw-Hill., 1984.

20) Hiroki, K. et al.. "High Efficiency Heat Exchanger", National Tsehnical Report, Vol. 35., No. 6:71～79, 1989.

21) Altunin, V. V. et al.. Thermophysical Properties of Freons, Methane Series, Part 2, National Standard Reference Data Service of the USSR : A Series of Property Tables., Vol. 9: Hemisphere Pub. Corp., 1987, pp.70.

22) Thermophysical Properties of Refrigerant New York: ASHRAE, 1976.

23) Bullard, C.W. and Radermacher, R.. "New Technologies for Air-Conditioning and Refrigeration" Annu. Rev. Energy Environ. 19: 113～152, 1994.

24) Richard, R. G. and I. R. Shankland.. Int. J. Thermophysics, 10 (3), 1989, p.673.

25) Basu, R. S. and D. P. Wilson.. Int, J. Thermophys., 10 (3), p.591. 1989.

26) FuKushima, M., T. Kaminura and N. Watanabe. Preprint of the 30th High

Pressure Conference of Japan, 1989, p.350.

27) FuKushima, M. and N. Watanabe. Preprint of the 54th Annual Meeting of Japan Society of Chemical Engineers, 1989, p.210.

28) Saitoh, A., H. Sato and K. Watanabe and T. Kamimura. Preprint of the 29th High Pressure Conference of Japan, 1988, p.110.

29) Saitoh, A., H. Sato and K. Watanabe., J. Chem. Eng. Data, 35 (2), 1990, p.107.

30) JSME. "Thermophysical Properties of Fluids, Japan Soc. of Mech. Engrs." JSME Data Book:326, 1982.

31) Spaushus, H. O., Int. J. of Refrigeration. 11 (6), 1988, p.123.

32) Kabata, Y., et al.. Int. J. Thermophys., 10 (3), 1989, p.605.

33) Yun, J. I.. Refrigerating Engineering, Seoul: Munundang, 1998, pp.29～30.

34) Higuchi, K.. Electronic expansion valve and control, Refrigeration, Vol. 61, 1986, pp.45～52.

35) P.K. Chia, et al.. "Fuzzy control of superheat in container refrigeration using an electronic expansion valve." HVAC and R Research Journal 31:8 1～98, 1997.

36) ASHRAE, "Refrigeration systems and application." ASHRAE handbook, 1994.

37) Sekhar, M. V. C., G. E. Millward and E. Tschikow-Roux., Int. J. Chemical Kinetics, 1973, p.363.

38) Hileman, B., Chem. & Eng. News., March 1989, p.25.

39) E. I. du Pont de Nemours & Co. Ltd., Private Communication, 1976.

40) Mirmov, N. I. and Yemel'Yanov, Yu. V.. "Coefficient of heat transfer for ammonia condensers", Heat transfer Sov. Res., Vol. 8, No. 1:51～55, 1976.

41) Chepurnenko, V. P., Lagutin, A. E. and Gogol, N. I.. An investigation of heat exchange during condensation of ammonia inside a pipe at low heat flow

densities, Energy efficiency in refrigeration and global warming impact, Proceedings of refrigeration science and technology Belgium, International Institute of Refrigeration, Commissions B1/2:243～249, May 1993.

42) W.D. Gruhle and R. Isermann. Modeling and control of a refrigerant evaporator: ASME J. Dynamic Systems, Measurement and Control 107 1985, pp. 235～240

43) Jung, D, Song, Y. and Park, B, 2000, Performance of alternative refrigerant mixtures, Int. J. Refrigeration, Vol. 23, No. 6, pp. 466-474.

44) H. S. Ryu., and J. S. Yun. "Application of plate heat exchangers in HVAC system and air-conditioning system." 『공기조화・냉동공학회지』27: 218～231, 1988.

45) Kobayashi, Y., et al.. Proc. of 26th National Heat Transfer Symp. of Japan, 1989, p.61.

46) Kobayashi, Y., et al.. Proc. of 27th National Heat Transfer Symp. of Japan, 1990, p.412.

47) Ohadi, M. M., et al.. "Critical Review of Available Correlations for Two-Phase Flow Heat Transfer of Ammonia", Int. J. Refrigeration, Vol. 19, No. 4:279～284, 1996.

48) Cengel, Y. A. Heat Transfer, New York: McGraw-Hill, 2002, pp.461～505.

49) W., Frost. G., S. Dzakowic. An extension of the method of predicting incipient boiling on commercially finished surfaces: ASME/AIChe Heat Transfer Conference, paper 67-ht-61, 1967, pp.1～8.

50) A.E. Bergles and W.M. Rohsenow. "The determination of forced-convection surface-boiling heat tranfer." Journal of Heat Transfer 86C: 365～372, 1964.

51) H.K. Forster and N. Zuber. "Dynamics of vapour bubble growth and boiling heat transfer." AIChe Journal 1: 531 - 535, 1955.

52) Barthau, G.. Experimental investigation of convective boiling of ammonia at high pressure, Minsk: Heat and mass transfer source book, 5th All-union

conference, Scripta publishing, 1976, pp.106～110.

53) H. Takamatsu, S. Momoki and T. A. Fujii. “Correlation for forced convective boiling heat transfer of pure refrigerants in a horizontal smooth tubes.” International Journal of Heat and Mass Transfer 36:3351～3360, 1993

54) Klein, S.A. and Alvarado, F. L., 2001, EES(engineering equation solver) Ver.6.646, F-Chart Sofrware, USA.

55) Y. J. Baik, S. R. Park, K. C. Chang and H. S. Ra, Simulation of Compression/Absorption Hybrid Heat Pump System using Industrial Wastewater Heat Source, J. Air-Cond. Refrig. Eng. Vol. 16 No. 12, 2004.

56) Nordtvedt, S. R., Experimental and theoretical study of a compression /absorption heat pump with ammonia/water as working fluid, Ph. D. dissertation, Norwegian University of Science and Technology, Kjeller, Norway, 2005.

57) Han, H, T, et al.. “Recent Progress in Air Conditioning and Refrigeration Research : A Review of Papers Published in the Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering in 2006 ” , J. Air-Cond. Refrig. Eng. Vol. 20, No. 6, 2008.

Appendix

Average value of refrigerant mass flow late and evaporative pressure

Superheat Temp. (℃)	*Con. press. (bar)*	*Ref. mass flow late (kg/h)*			*Evaporating press. (bar)*		
		R22	*R134a*	*R717*	*R22*	*R134a*	*R717*
0	*15.0*	791.48	667.84	129.84	6.32	3.40	6.10
	15.5	784.57	660.18	128.35	6.28	3.70	6.00
	16.0	787.81	662.90	128.88	6.25	3.80	6.10
1	*15.0*	905.42	735.94	132.74	6.21	3.09	6.07
	15.5	740.75	715.30	131.06	6.15	3.56	6.00
	16.0	731.95	710.42	131.07	6.10	3.33	5.99
2	*15.0*	879.15	666.03	129.66	6.12	2.95	5.94
	15.5	720.28	654.51	130.53	6.07	3.16	5.91
	16.0	701.86	639.15	124.43	5.95	3.17	5.84
3	*15.0*	843.82	628.90	126.65	6.01	2.82	5.77
	15.5	670.31	617.27	126.31	5.91	3.10	5.73
	16.0	667.85	593.82	121.48	5.78	3.04	5.70
4	*15.0*	737.84	568.63	121.70	5.81	2.76	5.56
	15.5	616.75	528.55	122.71	5.76	3.01	5.50
	16.0	615.92	518.84	120.39	5.71	2.87	5.53
5	*15.0*	654.20	516.27	116.32	5.58	2.61	5.33
	15.5	571.34	502.28	119.13	5.50	2.88	5.31
	16.0	568.74	492.20	113.51	5.43	2.72	5.30

Average value of cooling water mass flow late and outlet temperature

Superheat Temp. (℃)	*Con. press. (bar)*	*Cooling water mass flow late (kg/h)*			*Cooling water outlet temp. (℃)*		
		R22	*R134a*	*R717*	*R22*	*R134a*	*R717*
0	*15.0*	3624.63	2877.80	5949.00	36.71	35.96	33.93
	15.5	3147.94	2546.00	4238.64	38.10	37.05	36.27
	16.0	2776.48	2407.20	3340.68	39.03	37.22	37.58
1	*15.0*	3479.00	2817.70	6149.77	36.82	35.41	33.89
	15.5	3023.21	2506.31	4845.75	38.09	36.49	35.31
	16.0	2542.03	2456.57	3617.60	39.10	38.18	37.22
2	*15.0*	3110.18	2744.88	6039.54	36.97	35.04	33.86
	15.5	2926.21	2430.10	4224.36	38.11	35.37	36.16
	16.0	2350.82	2399.98	3435.00	39.22	37.09	37.52
3	*15.0*	2830.68	2639.33	5614.38	37.04	34.38	34.20
	15.5	2685.39	2390.45	4027.56	38.20	34.94	36.36
	16.0	2251.55	2355.20	3312.48	39.39	36.24	37.58
4	*15.0*	2800.11	2589.20	4823.88	37.10	33.90	34.80
	15.5	2613.52	2344.89	3774.84	38.26	34.25	36.58
	16.0	2064.15	2333.15	3071.12	39.47	35.80	37.93
5	*15.0*	2629.54	2533.22	4608.72	37.20	33.43	34.89
	15.5	2218.98	2317.72	3652.80	38.41	33.77	36.45
	16.0	1802.82	2262.94	3111.00	39.63	34.36	37.72

Average value of heat capacity of condenser and power

Superheat Temp. (℃)	*Con. press. (bar)*	*Heat capacity of condenser (kW)*			*Power (kW)*		
		R22	*R134a*	*R717*	*R22*	*R134a*	*R717*
0	*15.0*	36.71	26.64	40.52	10.74	9.72	12.17
	15.5	36.97	26.81	40.78	11.41	10.32	12.93
	16.0	35.61	25.82	39.27	11.78	10.66	13.35
1	*15.0*	35.68	24.30	41.81	10.93	9.89	12.20
	15.5	35.47	24.76	41.12	11.57	10.31	12.84
	16.0	32.81	29.10	40.16	11.94	11.20	13.49
2	*15.0*	34.40	22.49	41.00	11.01	9.96	12.33
	15.5	32.44	20.84	41.07	11.62	10.48	13.00
	16.0	30.67	25.39	39.45	12.07	11.39	13.62
3	*15.0*	31.85	19.59	40.17	11.14	10.00	12.45
	15.5	30.94	19.30	39.83	11.88	10.57	13.11
	16.0	29.82	22.56	38.62	12.12	11.48	13.70
4	*15.0*	31.18	17.78	38.87	11.28	9.99	12.64
	15.5	29.63	17.05	38.73	12.01	10.57	13.27
	16.0	27.53	21.17	37.41	12.32	11.63	13.76
5	*15.0*	28.13	16.02	37.57	11.35	10.02	12.71
	15.5	26.86	15.55	37.35	12.01	10.64	13.41
	16.0	24.38	16.74	36.28	12.34	11.72	13.91

Average value of chilled water outlet temperature and heat capacity of evaporator

Superheat Temp. (℃)	*Con. press. (bar)*	*Chilled water outlet temp. (℃)*			*Heat capacity of evaporator (kW)*		
		R22	*R134a*	*R717*	*R22*	*R134a*	*R717*
0	*15.0*	37.40	25.42	40.97	23.36	24.97	22.89
	15.5	37.12	25.22	40.66	24.69	25.13	22.85
	16.0	34.04	23.13	37.29	24.77	25.47	23.05
1	*15.0*	36.33	29.38	42.08	23.87	24.55	22.73
	15.5	36.31	25.54	41.15	23.81	25.09	22.80
	16.0	32.64	28.26	38.79	23.76	24.97	22.93
2	*15.0*	34.21	28.47	41.16	23.63	24.65	22.84
	15.5	34.62	27.35	40.06	24.02	24.92	22.83
	16.0	31.70	27.92	38.01	23.91	25.01	23.03
3	*15.0*	32.60	27.42	40.45	23.93	24.76	22.94
	15.5	33.47	25.53	39.13	24.00	25.10	22.99
	16.0	29.91	26.68	36.90	24.16	25.13	23.14
4	*15.0*	31.75	24.90	38.15	24.29	25.03	23.11
	15.5	32.15	23.97	37.66	24.15	25.26	23.13
	16.0	28.67	25.37	35.43	24.04	25.25	23.29
5	*15.0*	30.66	24.35	36.93	24.40	25.09	23.27
	15.5	30.01	23.18	35.80	24.23	25.34	23.30
	16.0	27.33	23.82	35.12	24.26	25.40	23.42

Average value of COP

Superheat Temp. (℃)	*Con. press. (bar)*	*COP*		
		R22	*R134a*	*R717*
0	*15.0*	3.48	2.62	3.33
	15.5	3.25	2.44	3.15
	16.0	2.92	2.17	2.94
1	*15.0*	3.32	2.97	3.43
	15.5	3.13	2.48	3.20
	16.0	2.73	2.52	2.98
2	*15.0*	3.10	2.86	3.33
	15.5	2.97	2.61	3.16
	16.0	2.63	2.45	2.90
3	*15.0*	2.93	2.74	3.23
	15.5	2.82	2.42	3.04
	16.0	2.47	2.32	2.82
4	*15.0*	2.81	2.49	3.08
	15.5	2.67	2.27	2.92
	16.0	2.33	2.18	2.72
5	*15.0*	2.70	2.43	2.96
	15.5	2.49	2.18	2.79
	16.0	2.21	2.03	2.61

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
3.00	-9.224	0.00154	0.4061	26.00	335.3	0.1030	1.275
3.01	-9.142	0.00154	0.4048	26.09	335.3	0.1033	1.275
3.02	-9.060	0.00154	0.4035	26.18	335.3	0.1037	1.274
3.03	-8.978	0.00154	0.4023	26.27	335.4	0.1040	1.274
3.04	-8.896	0.00154	0.4010	26.36	335.4	0.1044	1.274
3.05	-8.814	0.00154	0.3998	26.45	335.4	0.1047	1.274
3.06	-8.733	0.00154	0.3986	26.54	335.4	0.1050	1.273
3.07	-8.652	0.00154	0.3973	26.63	335.5	0.1054	1.273
3.08	-8.571	0.00154	0.3961	26.72	335.5	0.1057	1.273
3.09	-8.490	0.00154	0.3949	26.81	335.5	0.1060	1.272
3.10	-8.410	0.00154	0.3937	26.89	335.5	0.1064	1.272
3.11	-8.330	0.00154	0.3925	26.98	335.6	0.1067	1.272
3.12	-8.249	0.00154	0.3913	27.07	335.6	0.1070	1.272
3.13	-8.170	0.00154	0.3902	27.16	335.6	0.1074	1.271
3.14	-8.090	0.00154	0.3890	27.24	335.6	0.1077	1.271
3.15	-8.010	0.00154	0.3878	27.33	335.6	0.1080	1.271
3.16	-7.931	0.00154	0.3867	27.42	335.7	0.1083	1.271
3.17	-7.852	0.00154	0.3855	27.50	335.7	0.1087	1.270
3.18	-7.773	0.00154	0.3844	27.59	335.7	0.1090	1.270
3.19	-7.694	0.00154	0.3832	27.68	335.7	0.1093	1.270
3.20	-7.616	0.00154	0.3821	27.76	335.8	0.1096	1.270
3.21	-7.538	0.00154	0.3810	27.85	335.8	0.1100	1.269
3.22	-7.459	0.00154	0.3799	27.93	335.8	0.1103	1.269
3.23	-7.382	0.00154	0.3787	28.02	335.8	0.1106	1.269
3.24	-7.304	0.00154	0.3776	28.11	335.9	0.1109	1.269

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
3.25	-7.226	0.00154	0.3765	28.19	335.9	0.1112	1.268
3.26	-7.149	0.00154	0.3755	28.27	335.9	0.1116	1.268
3.27	-7.072	0.00154	0.3744	28.36	335.9	0.1119	1.268
3.28	-6.995	0.00154	0.3733	28.44	335.9	0.1122	1.268
3.29	-6.918	0.00154	0.3722	28.53	336.0	0.1125	1.267
3.30	-6.841	0.00154	0.3712	28.61	336.0	0.1128	1.267
3.31	-6.765	0.00154	0.3701	28.70	336.0	0.1131	1.267
3.32	-6.689	0.00154	0.3690	28.78	336.0	0.1134	1.266
3.33	-6.612	0.00154	0.3680	28.86	336.0	0.1138	1.266
3.34	-6.537	0.00154	0.3670	28.95	336.1	0.1141	1.266
3.35	-6.461	0.00154	0.3659	29.03	336.1	0.1144	1.266
3.36	-6.385	0.00155	0.3649	29.11	336.1	0.1147	1.266
3.37	-6.310	0.00155	0.3639	29.20	336.1	0.1150	1.265
3.38	-6.235	0.00155	0.3629	29.28	336.2	0.1153	1.265
3.39	-6.160	0.00155	0.3618	29.36	336.2	0.1156	1.265
3.40	-6.085	0.00155	0.3608	29.44	336.2	0.1159	1.265
3.41	-6.010	0.00155	0.3598	29.52	336.2	0.1162	1.264
3.42	-5.936	0.00155	0.3588	29.61	336.2	0.1165	1.264
3.43	-5.861	0.00155	0.3579	29.69	336.3	0.1168	1.264
3.44	-5.787	0.00155	0.3569	29.77	336.3	0.1171	1.264
3.45	-5.713	0.00155	0.3559	29.85	336.3	0.1174	1.263
3.46	-5.639	0.00155	0.3549	29.93	336.3	0.1177	1.263
3.47	-5.566	0.00155	0.3540	30.01	336.3	0.1180	1.263
3.48	-5.492	0.00155	0.3530	30.09	336.4	0.1183	1.263
3.49	-5.419	0.00155	0.3520	30.17	336.4	0.1186	1.262

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
3.50	-5.346	0.00155	0.3511	30.25	336.4	0.1189	1.262
3.51	-5.273	0.00155	0.3501	30.33	336.4	0.1192	1.262
3.52	-5.200	0.00155	0.3492	30.41	336.4	0.1195	1.262
3.53	-5.127	0.00155	0.3483	30.49	336.5	0.1198	1.261
3.54	-5.055	0.00155	0.3473	30.57	336.5	0.1201	1.261
3.55	-4.982	0.00155	0.3464	30.65	336.5	0.1204	1.261
3.56	-4.910	0.00155	0.3455	30.73	336.5	0.1207	1.261
3.57	-4.838	0.00155	0.3446	30.81	336.5	0.1210	1.260
3.58	-4.766	0.00155	0.3437	30.89	336.6	0.1213	1.260
3.59	-4.694	0.00155	0.3428	30.97	336.6	0.1216	1.260
3.60	-4.623	0.00155	0.3419	31.05	336.6	0.1219	1.260
3.61	-4.552	0.00155	0.3410	31.13	336.6	0.1222	1.260
3.62	-4.480	0.00155	0.3401	31.21	336.6	0.1225	1.259
3.63	-4.409	0.00155	0.3392	31.28	336.7	0.1228	1.259
3.64	-4.338	0.00155	0.3383	31.36	336.7	0.1230	1.259
3.65	-4.267	0.00155	0.3374	31.44	336.7	0.1233	1.259
3.66	-4.197	0.00155	0.3366	31.52	336.7	0.1236	1.258
3.67	-4.126	0.00155	0.3357	31.59	336.7	0.1239	1.258
3.68	-4.056	0.00155	0.3348	31.67	336.8	0.1242	1.258
3.69	-3.986	0.00155	0.3340	31.75	336.8	0.1245	1.258
3.70	-3.916	0.00155	0.3331	31.83	336.8	0.1248	1.257
3.71	-3.846	0.00155	0.3323	31.90	336.8	0.1250	1.257
3.72	-3.776	0.00155	0.3314	31.98	336.8	0.1253	1.257
3.73	-3.707	0.00155	0.3306	32.06	336.9	0.1256	1.257
3.74	-3.637	0.00155	0.3297	32.13	336.9	0.1259	1.257

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
3.75	-3.568	0.00155	0.3289	32.21	336.9	0.1262	1.256
3.76	-3.499	0.00155	0.3281	32.29	336.9	0.1265	1.256
3.77	-3.430	0.00155	0.3273	32.36	336.9	0.1267	1.256
3.78	-3.361	0.00155	0.3264	32.44	336.9	0.1270	1.256
3.79	-3.292	0.00156	0.3256	32.51	337.0	0.1273	1.255
3.80	-3.224	0.00156	0.3248	32.59	337.0	0.1276	1.255
3.81	-3.155	0.00156	0.3240	32.66	337.0	0.1279	1.255
3.82	-3.087	0.00156	0.3232	32.74	337.0	0.1281	1.255
3.83	-3.019	0.00156	0.3224	32.81	337.0	0.1284	1.255
3.84	-2.951	0.00156	0.3216	32.89	337.1	0.1287	1.254
3.85	-2.883	0.00156	0.3208	32.96	337.1	0.1290	1.254
3.86	-2.815	0.00156	0.3200	33.04	337.1	0.1292	1.254
3.87	-2.747	0.00156	0.3192	33.11	337.1	0.1295	1.254
3.88	-2.680	0.00156	0.3185	33.19	337.1	0.1298	1.254
3.89	-2.613	0.00156	0.3177	33.26	337.1	0.1301	1.253
3.90	-2.545	0.00156	0.3169	33.34	337.2	0.1303	1.253
3.91	-2.478	0.00156	0.3162	33.41	337.2	0.1306	1.253
3.92	-2.411	0.00156	0.3154	33.48	337.2	0.1309	1.253
3.93	-2.345	0.00156	0.3146	33.56	337.2	0.1311	1.252
3.94	-2.278	0.00156	0.3139	33.63	337.2	0.1314	1.252
3.95	-2.211	0.00156	0.3131	33.70	337.3	0.1317	1.252
3.96	-2.145	0.00156	0.3124	33.78	337.3	0.1319	1.252
3.97	-2.079	0.00156	0.3116	33.85	337.3	0.1322	1.252
3.98	-2.013	0.00156	0.3109	33.92	337.3	0.1325	1.251
3.99	-1.947	0.00156	0.3101	34.00	337.3	0.1328	1.251

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
4.00	-1.881	0.00156	0.3094	34.07	337.3	0.1330	1.251
4.01	-1.815	0.00156	0.3087	34.14	337.4	0.1333	1.251
4.02	-1.749	0.00156	0.3080	34.21	337.4	0.1335	1.251
4.03	-1.684	0.00156	0.3072	34.29	337.4	0.1338	1.250
4.04	-1.618	0.00156	0.3065	34.36	337.4	0.1341	1.250
4.05	-1.553	0.00156	0.3058	34.43	337.4	0.1343	1.250
4.06	-1.488	0.00156	0.3051	34.50	337.4	0.1346	1.250
4.07	-1.423	0.00156	0.3044	34.57	337.5	0.1349	1.250
4.08	-1.358	0.00156	0.3037	34.65	337.5	0.1351	1.249
4.09	-1.293	0.00156	0.3030	34.72	337.5	0.1354	1.249
4.10	-1.229	0.00156	0.3023	34.79	337.5	0.1357	1.249
4.11	-1.164	0.00156	0.3016	34.86	337.5	0.1359	1.249
4.12	-1.100	0.00156	0.3009	34.93	337.5	0.1362	1.249
4.13	-1.036	0.00156	0.3002	35.00	337.6	0.1364	1.248
4.14	-0.972	0.00156	0.2995	35.07	337.6	0.1367	1.248
4.15	-0.908	0.00156	0.2988	35.14	337.6	0.1369	1.248
4.16	-0.844	0.00156	0.2981	35.21	337.6	0.1372	1.248
4.17	-0.780	0.00156	0.2974	35.28	337.6	0.1375	1.248
4.18	-0.716	0.00156	0.2968	35.35	337.6	0.1377	1.247
4.19	-0.653	0.00156	0.2961	35.42	337.7	0.1380	1.247
4.20	-0.589	0.00156	0.2954	35.49	337.7	0.1382	1.247
4.21	-0.526	0.00156	0.2948	35.56	337.7	0.1385	1.247
4.22	-0.463	0.00156	0.2941	35.63	337.7	0.1387	1.247
4.23	-0.400	0.00156	0.2934	35.70	337.7	0.1390	1.246
4.24	-0.337	0.00156	0.2928	35.77	337.7	0.1393	1.246

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
4.25	-0.274	0.00157	0.2921	35.84	337.8	0.1395	1.246
4.26	-0.211	0.00157	0.2915	35.91	337.8	0.1398	1.246
4.27	-0.149	0.00157	0.2908	35.98	337.8	0.1400	1.246
4.28	-0.086	0.00157	0.2902	36.05	337.8	0.1403	1.245
4.29	-0.024	0.00157	0.2895	36.12	337.8	0.1405	1.245
4.30	0.038	0.00157	0.2889	36.19	337.8	0.1408	1.245
4.31	0.100	0.00157	0.2883	36.26	337.9	0.1410	1.245
4.32	0.163	0.00157	0.2876	36.33	337.9	0.1413	1.245
4.33	0.224	0.00157	0.2870	36.39	337.9	0.1415	1.244
4.34	0.286	0.00157	0.2864	36.46	337.9	0.1418	1.244
4.35	0.348	0.00157	0.2858	36.53	337.9	0.1420	1.244
4.36	0.410	0.00157	0.2851	36.60	337.9	0.1423	1.244
4.37	0.471	0.00157	0.2845	36.67	337.9	0.1425	1.244
4.38	0.532	0.00157	0.2839	36.73	338.0	0.1427	1.243
4.39	0.594	0.00157	0.2833	36.80	338.0	0.1430	1.243
4.40	0.655	0.00157	0.2827	36.87	338.0	0.1432	1.243
4.41	0.716	0.00157	0.2821	36.94	338.0	0.1435	1.243
4.42	0.777	0.00157	0.2815	37.01	338.0	0.1437	1.243
4.43	0.838	0.00157	0.2809	37.07	338.0	0.1440	1.242
4.44	0.898	0.00157	0.2803	37.14	338.1	0.1442	1.242
4.45	0.959	0.00157	0.2797	37.21	338.1	0.1445	1.242
4.46	1.019	0.00157	0.2791	37.27	338.1	0.1447	1.242
4.47	1.080	0.00157	0.2785	37.34	338.1	0.1449	1.242
4.48	1.140	0.00157	0.2779	37.41	338.1	0.1452	1.242
4.49	1.200	0.00157	0.2773	37.47	338.1	0.1454	1.241

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
4.50	1.260	0.00157	0.2767	37.54	338.1	0.1457	1.241
4.51	1.320	0.00157	0.2761	37.61	338.2	0.1459	1.241
4.52	1.380	0.00157	0.2755	37.67	338.2	0.1462	1.241
4.53	1.440	0.00157	0.2750	37.74	338.2	0.1464	1.241
4.54	1.500	0.00157	0.2744	37.81	338.2	0.1466	1.240
4.55	1.559	0.00157	0.2738	37.87	338.2	0.1469	1.240
4.56	1.619	0.00157	0.2732	37.94	338.2	0.1471	1.240
4.57	1.678	0.00157	0.2727	38.00	338.3	0.1473	1.240
4.58	1.737	0.00157	0.2721	38.07	338.3	0.1476	1.240
4.59	1.796	0.00157	0.2715	38.13	338.3	0.1478	1.239
4.60	1.855	0.00157	0.2710	38.20	338.3	0.1481	1.239
4.61	1.914	0.00157	0.2704	38.27	338.3	0.1483	1.239
4.62	1.973	0.00157	0.2699	38.33	338.3	0.1485	1.239
4.63	2.032	0.00157	0.2693	38.40	338.3	0.1488	1.239
4.64	2.091	0.00157	0.2688	38.46	338.4	0.1490	1.239
4.65	2.149	0.00157	0.2682	38.53	338.4	0.1492	1.238
4.66	2.208	0.00157	0.2677	38.59	338.4	0.1495	1.238
4.67	2.266	0.00157	0.2671	38.66	338.4	0.1497	1.238
4.68	2.324	0.00157	0.2666	38.72	338.4	0.1499	1.238
4.69	2.382	0.00157	0.2660	38.78	338.4	0.1502	1.238
4.70	2.441	0.00157	0.2655	38.85	338.4	0.1504	1.237
4.71	2.498	0.00157	0.2650	38.91	338.5	0.1506	1.237
4.72	2.556	0.00157	0.2644	38.98	338.5	0.1509	1.237
4.73	2.614	0.00157	0.2639	39.04	338.5	0.1511	1.237
4.74	2.672	0.00158	0.2634	39.11	338.5	0.1513	1.237

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
4.75	2.729	0.00158	0.2628	39.17	338.5	0.1516	1.237
4.76	2.787	0.00158	0.2623	39.23	338.5	0.1518	1.236
4.77	2.844	0.00158	0.2618	39.30	338.5	0.1520	1.236
4.78	2.902	0.00158	0.2613	39.36	338.6	0.1522	1.236
4.79	2.959	0.00158	0.2608	39.42	338.6	0.1525	1.236
4.80	3.016	0.00158	0.2602	39.49	338.6	0.1527	1.236
4.81	3.073	0.00158	0.2597	39.55	338.6	0.1529	1.236
4.82	3.130	0.00158	0.2592	39.61	338.6	0.1532	1.235
4.83	3.187	0.00158	0.2587	39.68	338.6	0.1534	1.235
4.84	3.244	0.00158	0.2582	39.74	338.6	0.1536	1.235
4.85	3.300	0.00158	0.2577	39.80	338.7	0.1538	1.235
4.86	3.357	0.00158	0.2572	39.87	338.7	0.1541	1.235
4.87	3.413	0.00158	0.2567	39.93	338.7	0.1543	1.235
4.88	3.470	0.00158	0.2562	39.99	338.7	0.1545	1.234
4.89	3.526	0.00158	0.2557	40.05	338.7	0.1547	1.234
4.90	3.582	0.00158	0.2552	40.12	338.7	0.1550	1.234
4.91	3.638	0.00158	0.2547	40.18	338.7	0.1552	1.234
4.92	3.694	0.00158	0.2542	40.24	338.7	0.1554	1.234
4.93	3.750	0.00158	0.2537	40.30	338.8	0.1556	1.233
4.94	3.806	0.00158	0.2532	40.37	338.8	0.1559	1.233
4.95	3.862	0.00158	0.2527	40.43	338.8	0.1561	1.233
4.96	3.918	0.00158	0.2522	40.49	338.8	0.1563	1.233
4.97	3.973	0.00158	0.2518	40.55	338.8	0.1565	1.233
4.98	4.029	0.00158	0.2513	40.61	338.8	0.1567	1.233
4.99	4.084	0.00158	0.2508	40.67	338.8	0.1570	1.232

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
5.00	4.140	0.00158	0.2503	40.74	338.9	0.1572	1.232
5.01	4.195	0.00158	0.2498	40.80	338.9	0.1574	1.232
5.02	4.250	0.00158	0.2494	40.86	338.9	0.1576	1.232
5.03	4.305	0.00158	0.2489	40.92	338.9	0.1578	1.232
5.04	4.360	0.00158	0.2484	40.98	338.9	0.1581	1.232
5.05	4.415	0.00158	0.2480	41.04	338.9	0.1583	1.231
5.06	4.470	0.00158	0.2475	41.10	338.9	0.1585	1.231
5.07	4.525	0.00158	0.2470	41.16	338.9	0.1587	1.231
5.08	4.579	0.00158	0.2466	41.22	339.0	0.1589	1.231
5.09	4.634	0.00158	0.2461	41.29	339.0	0.1592	1.231
5.10	4.688	0.00158	0.2456	41.35	339.0	0.1594	1.231
5.11	4.743	0.00158	0.2452	41.41	339.0	0.1596	1.230
5.12	4.797	0.00158	0.2447	41.47	339.0	0.1598	1.230
5.13	4.851	0.00158	0.2443	41.53	339.0	0.1600	1.230
5.14	4.905	0.00158	0.2438	41.59	339.0	0.1602	1.230
5.15	4.960	0.00158	0.2434	41.65	339.1	0.1605	1.230
5.16	5.014	0.00158	0.2429	41.71	339.1	0.1607	1.230
5.17	5.067	0.00158	0.2425	41.77	339.1	0.1609	1.229
5.18	5.121	0.00158	0.2420	41.83	339.1	0.1611	1.229
5.19	5.175	0.00158	0.2416	41.89	339.1	0.1613	1.229
5.20	5.229	0.00158	0.2411	41.95	339.1	0.1615	1.229
5.21	5.282	0.00158	0.2407	42.01	339.1	0.1617	1.229
5.22	5.336	0.00158	0.2403	42.07	339.1	0.1619	1.229
5.23	5.389	0.00158	0.2398	42.13	339.2	0.1622	1.229
5.24	5.443	0.00158	0.2394	42.19	339.2	0.1624	1.228

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
5.25	5.496	0.00158	0.2390	42.24	339.2	0.1626	1.228
5.26	5.549	0.00159	0.2385	42.30	339.2	0.1628	1.228
5.27	5.602	0.00159	0.2381	42.36	339.2	0.1630	1.228
5.28	5.655	0.00159	0.2377	42.42	339.2	0.1632	1.228
5.29	5.708	0.00159	0.2372	42.48	339.2	0.1634	1.228
5.30	5.761	0.00159	0.2368	42.54	339.2	0.1636	1.227
5.31	5.814	0.00159	0.2364	42.60	339.3	0.1638	1.227
5.32	5.867	0.00159	0.2360	42.66	339.3	0.1641	1.227
5.33	5.919	0.00159	0.2355	42.72	339.3	0.1643	1.227
5.34	5.972	0.00159	0.2351	42.78	339.3	0.1645	1.227
5.35	6.024	0.00159	0.2347	42.83	339.3	0.1647	1.227
5.36	6.077	0.00159	0.2343	42.89	339.3	0.1649	1.226
5.37	6.129	0.00159	0.2339	42.95	339.3	0.1651	1.226
5.38	6.181	0.00159	0.2334	43.01	339.3	0.1653	1.226
5.39	6.234	0.00159	0.2330	43.07	339.3	0.1655	1.226
5.40	6.286	0.00159	0.2326	43.12	339.4	0.1657	1.226
5.41	6.338	0.00159	0.2322	43.18	339.4	0.1659	1.226
5.42	6.390	0.00159	0.2318	43.24	339.4	0.1661	1.226
5.43	6.442	0.00159	0.2314	43.30	339.4	0.1663	1.225
5.44	6.494	0.00159	0.2310	43.36	339.4	0.1665	1.225
5.45	6.545	0.00159	0.2306	43.41	339.4	0.1667	1.225
5.46	6.597	0.00159	0.2302	43.47	339.4	0.1669	1.225
5.47	6.649	0.00159	0.2298	43.53	339.4	0.1672	1.225
5.48	6.700	0.00159	0.2294	43.59	339.5	0.1674	1.225
5.49	6.752	0.00159	0.2290	43.64	339.5	0.1676	1.224

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
5.50	6.803	0.00159	0.2286	43.70	339.5	0.1678	1.224
5.51	6.854	0.00159	0.2282	43.76	339.5	0.1680	1.224
5.52	6.906	0.00159	0.2278	43.82	339.5	0.1682	1.224
5.53	6.957	0.00159	0.2274	43.87	339.5	0.1684	1.224
5.54	7.008	0.00159	0.2270	43.93	339.5	0.1686	1.224
5.55	7.059	0.00159	0.2266	43.99	339.5	0.1688	1.224
5.56	7.110	0.00159	0.2262	44.04	339.5	0.1690	1.223
5.57	7.161	0.00159	0.2258	44.10	339.6	0.1692	1.223
5.58	7.211	0.00159	0.2255	44.16	339.6	0.1694	1.223
5.60	7.313	0.00159	0.2247	44.27	339.6	0.1698	1.223
5.61	7.363	0.00159	0.2243	44.33	339.6	0.1700	1.223
5.62	7.414	0.00159	0.2239	44.38	339.6	0.1702	1.222
5.63	7.464	0.00159	0.2235	44.44	339.6	0.1704	1.222
5.64	7.515	0.00159	0.2232	44.50	339.6	0.1706	1.222
5.65	7.565	0.00159	0.2228	44.55	339.7	0.1708	1.222
5.66	7.615	0.00159	0.2224	44.61	339.7	0.1710	1.222
5.67	7.666	0.00159	0.2220	44.66	339.7	0.1712	1.222
5.68	7.716	0.00159	0.2217	44.72	339.7	0.1714	1.222
5.69	7.766	0.00159	0.2213	44.78	339.7	0.1716	1.221
5.70	7.816	0.00159	0.2209	44.83	339.7	0.1718	1.221
5.71	7.866	0.00159	0.2206	44.89	339.7	0.1720	1.221
5.72	7.916	0.00159	0.2202	44.94	339.7	0.1722	1.221
5.73	7.965	0.00159	0.2198	45.00	339.7	0.1724	1.221
5.74	8.015	0.00159	0.2195	45.05	339.8	0.1726	1.221
5.75	8.065	0.00159	0.2191	45.11	339.8	0.1728	1.221

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
5.76	8.114	0.00159	0.2187	45.17	339.8	0.1729	1.220
5.77	8.164	0.00159	0.2184	45.22	339.8	0.1731	1.220
5.78	8.213	0.00159	0.2180	45.28	339.8	0.1733	1.220
5.79	8.263	0.00159	0.2176	45.33	339.8	0.1735	1.220
5.80	8.312	0.00159	0.2173	45.39	339.8	0.1737	1.220
5.81	8.361	0.00160	0.2169	45.44	339.8	0.1739	1.220
5.82	8.410	0.00160	0.2166	45.50	339.8	0.1741	1.220
5.83	8.459	0.00160	0.2162	45.55	339.9	0.1743	1.219
5.84	8.509	0.00160	0.2159	45.61	339.9	0.1745	1.219
5.85	8.558	0.00160	0.2155	45.66	339.9	0.1747	1.219
5.86	8.606	0.00160	0.2152	45.72	339.9	0.1749	1.219
5.87	8.655	0.00160	0.2148	45.77	339.9	0.1751	1.219
5.88	8.704	0.00160	0.2145	45.83	339.9	0.1753	1.219
5.89	8.753	0.00160	0.2141	45.88	339.9	0.1755	1.219
5.90	8.801	0.00160	0.2138	45.93	339.9	0.1757	1.218
5.91	8.850	0.00160	0.2134	45.99	339.9	0.1758	1.218
5.92	8.899	0.00160	0.2131	46.04	339.9	0.1760	1.218
5.93	8.947	0.00160	0.2127	46.10	340.0	0.1762	1.218
5.94	8.995	0.00160	0.2124	46.15	340.0	0.1764	1.218
5.95	9.044	0.00160	0.2120	46.21	340.0	0.1766	1.218
5.96	9.092	0.00160	0.2117	46.26	340.0	0.1768	1.218
5.97	9.140	0.00160	0.2114	46.31	340.0	0.1770	1.217
5.98	9.188	0.00160	0.2110	46.37	340.0	0.1772	1.217
5.99	9.237	0.00160	0.2107	46.42	340.0	0.1774	1.217
6.00	9.285	0.00160	0.2104	46.47	340.0	0.1776	1.217

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
6.01	9.333	0.00160	0.2100	46.53	340.0	0.1777	1.217
6.02	9.381	0.00160	0.2097	46.58	340.1	0.1779	1.217
6.03	9.428	0.00160	0.2094	46.64	340.1	0.1781	1.217
6.04	9.476	0.00160	0.2090	46.69	340.1	0.1783	1.216
6.05	9.524	0.00160	0.2087	46.74	340.1	0.1785	1.216
6.06	9.572	0.00160	0.2084	46.80	340.1	0.1787	1.216
6.07	9.619	0.00160	0.2080	46.85	340.1	0.1789	1.216
6.08	9.667	0.00160	0.2077	46.90	340.1	0.1791	1.216
6.09	9.714	0.00160	0.2074	46.96	340.1	0.1792	1.216
6.10	9.762	0.00160	0.2071	47.01	340.1	0.1794	1.216
6.11	9.809	0.00160	0.2067	47.06	340.1	0.1796	1.215
6.12	9.856	0.00160	0.2064	47.11	340.2	0.1798	1.215
6.13	9.903	0.00160	0.2061	47.17	340.2	0.1800	1.215
6.14	9.951	0.00160	0.2058	47.22	340.2	0.1802	1.215
6.15	9.998	0.00160	0.2054	47.27	340.2	0.1804	1.215
6.16	10.040	0.00160	0.2051	47.33	340.2	0.1805	1.215
6.17	10.090	0.00160	0.2048	47.38	340.2	0.1807	1.215
6.18	10.140	0.00160	0.2045	47.43	340.2	0.1809	1.214
6.19	10.190	0.00160	0.2042	47.48	340.2	0.1811	1.214
6.20	10.230	0.00160	0.2039	47.54	340.2	0.1813	1.214
6.21	10.280	0.00160	0.2035	47.59	340.2	0.1815	1.214
6.22	10.330	0.00160	0.2032	47.64	340.3	0.1817	1.214
6.23	10.370	0.00160	0.2029	47.69	340.3	0.1818	1.214
6.24	10.420	0.00160	0.2026	47.75	340.3	0.1820	1.214
6.25	10.470	0.00160	0.2023	47.80	340.3	0.1822	1.213

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
6.26	10.510	0.00160	0.2020	47.85	340.3	0.1824	1.213
6.27	10.560	0.00160	0.2017	47.90	340.3	0.1826	1.213
6.28	10.610	0.00160	0.2014	47.95	340.3	0.1827	1.213
6.29	10.650	0.00160	0.2011	48.01	340.3	0.1829	1.213
6.30	10.700	0.00160	0.2008	48.06	340.3	0.1831	1.213
6.31	10.740	0.00160	0.2004	48.11	340.3	0.1833	1.213
6.32	10.790	0.00160	0.2001	48.16	340.4	0.1835	1.213
6.33	10.840	0.00160	0.1998	48.21	340.4	0.1837	1.212
6.34	10.880	0.00160	0.1995	48.26	340.4	0.1838	1.212
6.36	10.970	0.00160	0.1989	48.37	340.4	0.1842	1.212
6.37	11.020	0.00160	0.1986	48.42	340.4	0.1844	1.212
6.38	11.070	0.00160	0.1983	48.47	340.4	0.1846	1.212
6.39	11.110	0.00160	0.1980	48.52	340.4	0.1847	1.212
6.40	11.160	0.00161	0.1977	48.57	340.4	0.1849	1.211
6.41	11.200	0.00161	0.1975	48.62	340.4	0.1851	1.211
6.42	11.250	0.00161	0.1972	48.68	340.5	0.1853	1.211
6.43	11.290	0.00161	0.1969	48.73	340.5	0.1854	1.211
6.44	11.340	0.00161	0.1966	48.78	340.5	0.1856	1.211
6.45	11.380	0.00161	0.1963	48.83	340.5	0.1858	1.211
6.46	11.430	0.00161	0.1960	48.88	340.5	0.1860	1.211
6.47	11.480	0.00161	0.1957	48.93	340.5	0.1862	1.211
6.48	11.520	0.00161	0.1954	48.98	340.5	0.1863	1.210
6.49	11.570	0.00161	0.1951	49.03	340.5	0.1865	1.210
6.50	11.610	0.00161	0.1948	49.08	340.5	0.1867	1.210
6.51	11.660	0.00161	0.1945	49.13	340.5	0.1869	1.210

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
6.52	11.700	0.00161	0.1943	49.18	340.5	0.1870	1.210
6.53	11.750	0.00161	0.1940	49.23	340.6	0.1872	1.210
6.54	11.790	0.00161	0.1937	49.28	340.6	0.1874	1.210
6.55	11.840	0.00161	0.1934	49.34	340.6	0.1876	1.210
6.56	11.880	0.00161	0.1931	49.39	340.6	0.1877	1.209
6.57	11.930	0.00161	0.1928	49.44	340.6	0.1879	1.209
6.58	11.970	0.00161	0.1926	49.49	340.6	0.1881	1.209
6.59	12.010	0.00161	0.1923	49.54	340.6	0.1883	1.209
6.60	12.060	0.00161	0.1920	49.59	340.6	0.1884	1.209
6.61	12.100	0.00161	0.1917	49.64	340.6	0.1886	1.209
6.62	12.150	0.00161	0.1914	49.69	340.6	0.1888	1.209
6.63	12.190	0.00161	0.1912	49.74	340.6	0.1890	1.208
6.64	12.240	0.00161	0.1909	49.79	340.7	0.1891	1.208
6.65	12.280	0.00161	0.1906	49.84	340.7	0.1893	1.208
6.66	12.330	0.00161	0.1903	49.89	340.7	0.1895	1.208
6.67	12.370	0.00161	0.1901	49.94	340.7	0.1897	1.208
6.68	12.410	0.00161	0.1898	49.99	340.7	0.1898	1.208
6.69	12.460	0.00161	0.1895	50.04	340.7	0.1900	1.208
6.70	12.500	0.00161	0.1892	50.08	340.7	0.1902	1.208
6.71	12.550	0.00161	0.1890	50.13	340.7	0.1903	1.207
6.72	12.590	0.00161	0.1887	50.18	340.7	0.1905	1.207
6.73	12.630	0.00161	0.1884	50.23	340.7	0.1907	1.207
6.74	12.680	0.00161	0.1882	50.28	340.7	0.1909	1.207
6.75	12.720	0.00161	0.1879	50.33	340.8	0.1910	1.207
6.76	12.770	0.00161	0.1876	50.38	340.8	0.1912	1.207

Properties of Saturated Ammonia(Liquid-Vapor)

Press. (bar)	Temp. (℃)	Specific Volume		Enthalpy		Entropy	
		Sat. Liq. (m^3/kg)	Sat. Vap. (m^3/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg)	Sat. Vap. (kcal/kg)	Sat. Liq. (kcal/kg · K)	Sat. Vap. (kcal/kg · K)
6.77	12.810	0.00161	0.1874	50.43	340.8	0.1914	1.207
6.78	12.850	0.00161	0.1871	50.48	340.8	0.1915	1.207
6.79	12.900	0.00161	0.1868	50.53	340.8	0.1917	1.206
6.80	12.940	0.00161	0.1866	50.58	340.8	0.1919	1.206
6.81	12.980	0.00161	0.1863	50.63	340.8	0.1921	1.206
6.82	13.030	0.00161	0.1861	50.68	340.8	0.1922	1.206
6.83	13.070	0.00161	0.1858	50.72	340.8	0.1924	1.206
6.84	13.120	0.00161	0.1855	50.77	340.8	0.1926	1.206
6.85	13.160	0.00161	0.1853	50.82	340.8	0.1927	1.206
6.86	13.200	0.00161	0.1850	50.87	340.9	0.1929	1.206
6.87	13.250	0.00161	0.1848	50.92	340.9	0.1931	1.205
6.88	13.290	0.00161	0.1845	50.97	340.9	0.1932	1.205
6.89	13.330	0.00161	0.1842	51.02	340.9	0.1934	1.205
6.90	13.370	0.00161	0.1840	51.07	340.9	0.1936	1.205
6.91	13.420	0.00161	0.1837	51.11	340.9	0.1937	1.205
6.92	13.460	0.00161	0.1835	51.16	340.9	0.1939	1.205
6.93	13.500	0.00161	0.1832	51.21	340.9	0.1941	1.205
6.94	13.550	0.00161	0.1830	51.26	340.9	0.1942	1.205
6.95	13.590	0.00161	0.1827	51.31	340.9	0.1944	1.204
6.96	13.630	0.00161	0.1825	51.36	340.9	0.1946	1.204
6.97	13.680	0.00161	0.1822	51.40	340.9	0.1947	1.204
6.98	13.720	0.00161	0.1820	51.45	341.0	0.1949	1.204
6.99	13.760	0.00161	0.1817	51.50	341.0	0.1951	1.204
7.00	13.800	0.00161	0.1815	51.55	341.0	0.1952	1.204

저작물 이용 허락서

학 과	기계공학과	학 번	20077332	과 정	박사
성 명	한글 김 성 배	한문 金 聖 培		영문 Kim Sung-Bae	
주 소	105-1301, Coaru Apt., Geumho-dong, Seo-gu, Gwangju , Korea				
연락처	E-mail : ksb2836@hanmail.net				
논문제목	(한글) HCFC계 대체냉매에 대한 과열도 변화에 따른 성능특성연구				
	(영문) A Study on the Performance of HCFC Alternative Refrigerants based on the variation Degree of Superheating				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포・전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송・출력을 허락함.

동의 여부 : 동의 (○) 반대 ( )

2009년 2월 일

저작자: 김 성 배 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하