



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

듀얼 응축기 적용에 의한 전차용
냉방시스템 성능 특성 연구



2019년 8월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

냉동공조공학과

권 영 빈

공 학 석 사 학 위 논 문

듀얼 응축기 적용에 의한 전차용 냉방시스템 성능 특성 연구

지도교수 윤 정 인

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2019년 8월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

냉동공조공학과

권 영 빈

권영빈의 공학석사 학위논문을 인준함.

2019년 7월 19일



위 원 장 공학박사 최 광 환 (인)

위 원 공학박사 손 창 효 (인)

위 원 공학박사 윤 정 인 (인)

Contents

LIST OF FIGURES	II
LIST OF TABLES.....	III
ABSTRACT.....	IV
NOMENCLATURES	VI
제1장 서 론.....	1
1.1 연구 배경 및 목적.....	1
1.2 종래 연구.....	3
제2장 연구 이론.....	6
제3장 실험장치 및 실험방법.....	9
3.1 실험장치.....	9
3.2 실험 조건 및 방법.....	20
3.2.1 실험 조건.....	20
3.2.2 실험 방법.....	21
제4장 실험 결과 및 고찰.....	24
4.1 냉방 성능 특성 비교.....	24
4.2 증발기 토출 공기 온도 특성 비교.....	29
4.3 과냉각도 특성 비교.....	33
제5장 결 론.....	37
참고문헌.....	39

List of figures

Figure 1 Process flow diagram.....	8
Figure 2 Single condenser cooling cycle	10
Figure 3 Dual condenser cooling cycle	11
Figure 4 Picture of the condenser used in experiment	14
Figure 5 KS C 9306, Calorimeter type air enthalpy calorimetry.....	17
Figure 6 Picture of installed in calorimeter.....	18
Figure 7 Comparison of cooling performance	26
Figure 8 Comparison of Eva outlet temperature	30
Figure 9 Comparison of degree of sub cooling	34

List of tables

Table 1 Geometric details of the condensers in experiments	13
Table 2 Commonly used components	15
Table 3 KS C 9306, Standard temperature condition	20
Table 4 Refrigerant charging amount and compressor RPM	22



Performance Characteristics of a tank cooling system using dual condenser.

Yeong Bin Kwon

Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering,
The Graduate School of Industry,
Pukyong National University

Abstract

In the past, there was a lack of interest in the operating environment due to problems of technology and cost in the military vehicles, and many military vehicles with no air conditioner were developed.

In the recently developed military vehicles, the internal temperature of the vehicle has risen more than in the past due to internal heat load due to the mounting of control devices and advanced parts, and external heat load due to global warming caused by overuse of fossil fuel. In order to minimize the thermal stress of the crew by providing comfortable air to the crew, it is necessary to improve the operation performance of the crew and to perform the role to maintain the optimum operating environment of the onboard equipment. And for the above reasons, a retrofit project is underway to install a cooling system in past military vehicles.

However, adding air-conditioning devices to already-completed vehicles has many difficulties for the following reasons.

(1) Considering the operator's activity space, installation space due to various control

devices is limited.

(2) Depending on the vehicle, various components such as a condenser, an evaporator, and a compressor, which are components of a cooling system, should be arranged in various forms.

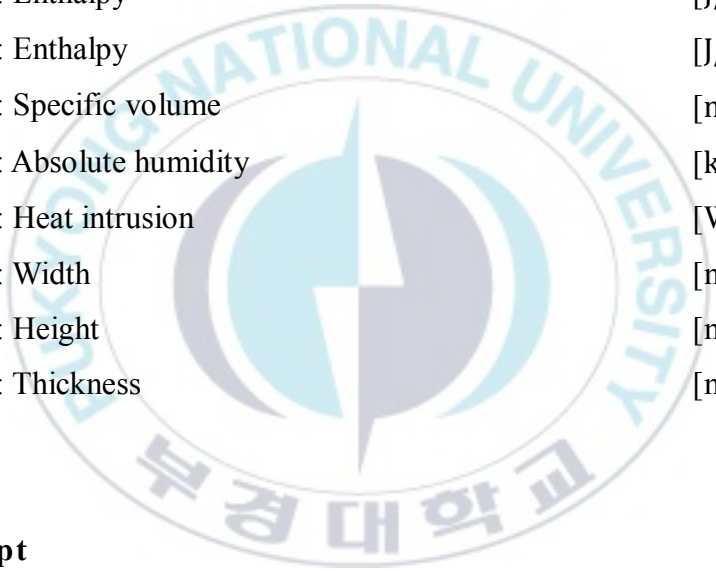
(3) The cooling performance is required to be higher than the commercial air-conditioning system considering not only the heat load due to the outside air but also the heat load generated during the operation of the mounting equipment and the air flow failure due to various auxiliary equipment and blind spot.

(4) Unlike commercial vehicles, it is not possible to develop and standardize compressor, condenser, and evaporator for military water vehicles due to limited production volume (small quantity production of multiple items).

In order to satisfy the limited space and the maximum performance as described above, a dual condenser is being sought for arranging the condenser. However, research on the cooling system using dual condenser is insufficient. Most of studies on condenser material, type, number of path, shape of fin, etc. have been actively studied.

In this study, the performance characteristics of the cooling system by applying the dual condenser were analyzed. The cooling system of the dual condenser and the single condenser with the same area was constructed and analyzed by experiments on the cooling performance of each system, the temperature of the evaporator discharge air, and the sub-cooling degree according to the compressor RPM, the refrigerant charge amount. The purpose of this study is to provide experimental results on the application of dual condenser in limited space.

Nomenclatures



ΔP	: Pressure difference	[bar]
H	: Condenser thickness	[mm]
RT	: Refrigeration ton	[RT]
W	: Cooling capacity	[W]
Q	: Air volume	[m ³ /s]
h_1	: Enthalpy	[J/kg]
h_2	: Enthalpy	[J/kg]
v_n	: Specific volume	[m ³ /kg]
X_n	: Absolute humidity	[kg/kg]
w	: Heat intrusion	[W]
W	: Width	[mm]
H	: Height	[mm]
T	: Thickness	[mm]

Subscript

Eva : Evaporator

제1장 서론

1.1 연구 배경 및 목적

과거의 군수용 차량에는 기술력과 비용 등의 문제로 운용 환경에 대한 관심이 부족하여 냉방장치가 미 탑재된 군수용 차량이 많이 개발되었다.

근래 개발되는 군수용 차량에는 제어장치, 첨단 부품 등의 탑재로 인한 내부 열 부하와 화석 연료의 과다 사용에 따른 지구 온난화 현상으로 인한 외부 열 부하로 인해 과거보다 차량 내부의 온도가 상승되었다. 승무원에게 쾌적한 공기를 제공함으로써 승무원의 열적 스트레스를 최소화하여 승무원의 작전수행 향상 및 내부 탑재 장비가 최적의 작동 환경을 유지시키기 위한 역할을 수행할 수 있도록 근래의 군수용 차량에는 냉방장치가 탑재되어 개발을 하고 있으며, 위와 같은 이유로 과거의 군수용 차량에도 냉방장치를 탑재하는 개조 사업이 진행중에 있다.

하지만 이미 완성된 차량에 냉방장치를 추가하는 것에는 아래와 같은 이유로 많은 어려움이 따른다.

(1) 운용자의 활동 공간 고려, 각종 제어장치로 인한 설치공간이 제한적임.

(2) 차량에 따라 냉방시스템의 구성품인 응축기, 증발기, 압축기등을 다양하게 배치해야 하며, 그 형상 또한 다양한 형태로 설계되어야

(3) 냉방성능은 외기로 인한 열 부하와 아니라 탑재 장비 가동 중 발생하는 열 부하 및 각종 부수장비로 인한 공기 유동 장애 및 사각지대를 고려하여 상용차량용 냉방장치에 비하여 고성능으로 설계 필요.

(4) 상용차량과 달리 제작 수량이 제한적인 관계(다품종 소량생산)로 군수차량 전용 압축기 및 응축기, 증발기에 대한 개발 및 표준화가 불가함.

위와 같은 문제점인 제한적인 공간 및 최대의 성능을 만족시키기위해 응축기의 배치를 듀얼 응축기로 적용하는 방안을 모색하고 있다. 하지만 듀얼 응축기를 적용한 냉방시스템의 연구는 미흡하며, 대부분 응축기의 재질, 타입, 패스 수, 핀의 형상 등의 연구가 활발한 상황으로 응축기를 2개이상 사용하여 전열 면적을 대폭 향상시켜 특성을 비교한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 듀얼 응축기 적용에 의한 냉방시스템의 성능 특성을 분석하였다. 동일한 면적을 가지는 듀얼 응축기와 싱글 응축기의 냉방시스템을 구성하여 압축기 회전수, 냉매 봉입량에 따른 각 시스템의 냉방성능, 증발기 토출 공기온도, 과냉각도의 변화 실험을 통해 분석하였다. 이를 통해 제한적인 공간에서 듀얼 응축기의 적용에 따른 실험적 연구 결과를 제공하는 것이 본 연구의 목적이다.

1.2 종래 연구

1.1절에서 언급한 바와 같이 응축기의 재질, 타입, 핀의 형상 등의 연구가 활발한 상황으로 응축기를 2개이상 사용하여 전열면적을 대폭 향상시켜 특성을 비교한 연구는 미흡한 실정이다.

응축기의 성능향상에 관련된 종래 연구는 다음과 같다.

Cho et al. [1]은 다양한 핀과 관의 형상이 응축기의 성능에 미치는 영향을 수치적으로 연구한 바 있다. 핀-관 응축기의 용량, 압력강하, 온도에 대한 예측을 위해 유한 체적법을 사용하였고, 모델에 입력되는 정보는 응축기의 크기, 냉매의 유량, 입구온도, 입구압력과 공기의 유량이며, 응축기 전면의 풍속은 균일하다고 가정하였다. 공기측 핀은 plate fin, slit fin, louvered fin, wavy fin을 적용하고, 냉매측 관에 smooth tube, helical micro fin tube, herringbone tube를 적용하여 동일한 크기의 관, 핀 및 형상을 갖는 응축기의 성능을 분석하였고 그 결과는 다음과 같다. Plate fin을 적용한 응축기는 관의 형상에 상관없이 응축이 진행되지 않았으며 wavy fin과 herringbone tube를 적용한 응축기가 가장 용량이 높았으나 다른 핀과 관의 조합과 비교하여 그 차이는 크지 않았다. 핀과 관의 종류가 다른 응축기들의 열 저항비를 각각 계산했을 때 상대적으로 관측에 비해 핀 측이 더 컸으며 관 측의 형상은 용량에 거의 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 응축기의 용량은 공기측 핀의 형상에 대해 큰 영향을 받으며 관의 형상은 성능에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

Kim et al. [2]은 자동차용 응축기로 사용되고 있는 알루미늄 열교환기를 가정용 공조기의 응축기로의 적용 가능성을 평가 하였으며 먼저 열교환기의 성능을 측정한 후 이를 실제 창문형 공조기에 장착하여 제품의 성능에 미치는 영향을 평가하고 기존의 핀-관 열교환기와 비교 분석하였고 그 결과는 다음과 같다. 알루미늄 열교환기의 전열능력은 동일체적의 핀-관 열교환기에 비해 48 ~ 78% 높게 나타났다. 알루미늄 열교환기를 공조기의 응축기로 사용할 때 냉매 봉입량에 따른 성능변화가 기존의 경우 보다 급격하여 냉매 봉입시에 보다 정확한 관리가 필요하다.

Sa et al.[3]은 알루미늄 마이크로 채널 열교환기를 가정용 공조기의 응축기로 적용하기 위하여 열교환기 성능에 가장 큰 영향을 미치는 냉매 패스 및 크기를 설계하는 해석적 연구를 진행하였다. 사용된 응축기는 Type 1(폭 500, 높이 500), Type 2(폭 800, 높이 600)의 크기를 가지며 냉매관으로 사용된 튜브는 폭 20 mm, 높이 2 mm, 홀 10개를 가지며 두 개의 사양에 사용된 튜브 수는 각각 41, 49개를 가진다. 열교환기의 패스수의 변화를 고찰하기 위하여 냉매가 흐르는 튜브 단수에 대한 변화를 4, 6, 8, 10단으로 하였다. 유량은 각 조건에서의 응축기 출구의 응축온도와 냉매온도의 차가 5 ℃가 되는 유량으로 계산을 하였으며 그 결과는 다음과 같다. 응축기의 평행한 냉매 유로인 단수 증가에 따라서 냉매측 압력강하는 증가하며 열전달량이 최대가 되는 단수가 존재하며 본 연구에서는 Type 1, Type 2에서 각각 8단과 6단에서 성능이 가장 크게 나타났다. 응축기의 폭이

증가함에 따라서 열전달 성능은 증가하며 냉매측 압력강하는 감소하고 공기측 속도가 높을수록 열교환기 폭이 증가함에 따라서 열전달 성능이 크게 증가하였다.

Chang et al.[4]은 응축기의 크기와 무게를 줄이면서 열전달 성능을 증가시킬 수 있는 새로운 형상의 루버핀을 설계하여 열전달 및 압력강하 특성인 j -factor 및 f -factor를 구하였고 구한 j -factor 및 f -factor 상관식으로부터 실제 자동차 에어컨용 응축기를 설계, 제작하여, 공기입구속도에 따른 평행류 응축기의 열전달 및 압력강하 특성을 규명하였으며, 결과를 기존 자동차 에어컨 응축기로 사용되고 있는 평행류 응축기와 비교평가 하였다. 그 결과는 다음과 같다. 새로 개발한 평행류 응축기는 기존의 자동차용 응축기보다 단위 두께당 압력강하량($\Delta P/H$)은 입구풍속에 따라 최대 20% 증가하였으며, 응축기 단위 두께당 열전달량(Q/H)은 입구풍속에 따라 최대 24% 증가하였다. 그리고 단위압력강하당 열전달량($Q/\Delta P$)는 저속(1m/s)에서는 15% 더 크나 속도가 증가함에 따라 두 응축기의 압력강하당 열전달량의 차이가 감소하다가 4m/s 이상이 되면 두 열교환기의 단위압력강하당 열전달량의 차이가 없어지는 것을 확인할 수 있다.

위의 결과로 새로운 형상의 루버핀을 적용한 응축기는 고속에서는 기존 자동차용 응축기보다 압력강하 및 열전달량은 거의 변화가 없으나 응축기의 크기를 약 20% 줄일 수 있으며, 저속에서는 부피감소 이외에 기존 평행류 응축기 보다 최대 15% 열전달 향상을 얻을 수 있었다.

제2장 연구 이론

군수용 차량의 에어컨의 작동 원리는 액체가 기체로 기화하는 증발현상을 이용하여 주변의 공기온도를 차갑게 하는 것이 핵심 원리이다. 이와 같은 원리를 이용하여 물보다 증발하기 쉬운 프레온가스 등 냉매를 열교환기를 통해 차가워진 공기에 팬을 이용하여 바람을 부는 장치를 에어컨이라 한다.

군수용 차량의 에어컨의 주요부품인 압축기(Compressor), 응축기(Condenser), 팽창밸브(Expansion valve), 증발기(Evaporator) 4가지 기기를 배관으로 연결하고 그 내부에 냉매를 흐르도록 하고 그 흐름을 원활히 통제하는 전자제어기로 볼 수 있다.

Fig. 1 은 냉동사이클의 개략도를 나타낸다. 작동과정을 보면 압축기는 저온/저압의 프레온가스(냉매)를 압축하여 고온/고압의 상태로 만들고, 이 증기는 응축기로 들어가서 팬을 통하여 외부로 열을 방출하여 냉각되어 기체에서 액체로 액화된다. 수액기(Receiver)는 응축기와 팽창밸브 사이에 설치되며 팽창밸브로 냉매액이 보내지기 전에 일시 저장하는 고압용기로 장치 수리 및 장기간 미 사용시 펌프다운으로 장치 내에 있는 냉매를 회수하는 역할을 한다. 팽창밸브는 냉매액의 증발에 의한 열 흡수작용이 용이하게 일어나도록, 냉매의 압력과 온도를 강하시키며, (압력강하 → 압력손실에 의함, 온도강하 → 플래쉬 가스에 의함) 냉동부하의 변동에 대응할 수 있도록 냉매유량을 조절하는 역할

을 한다. 원리는 냉매액이 노즐이나 오리피스와 같이 유로가 좁은 곳을 통과하게 되면, 외부와 열량이나 일량의 교환 없이도 압력이 감소하는데, 이와 같은 현상을 교축이라 하고, 냉매액이 유동 중에 교축되면 유체의 마찰과 와류의 증가로 증가로 압력손실이 발생하여 압력이 감소한다. 압력이 감소하여 액체의 포화압력보다 낮아지면 액체의 일부가 증발하여(플래쉬 가스 발생) 증발에 필요한 열을 액체 자신으로부터 흡수하므로 액체의 온도는 감소하게된다.

팽창밸브 이후 증발기(Evaporator)에서 냉매액이 피 냉각체인 공기에서 증발잠열을 흡수하여 액체가 가스로 변화되는 곳으로서 냉방효과가 일어나는 곳이다. 이와 같은 사이클을 반복수행도록 만들어진 기기를 에어컨이라 한다.

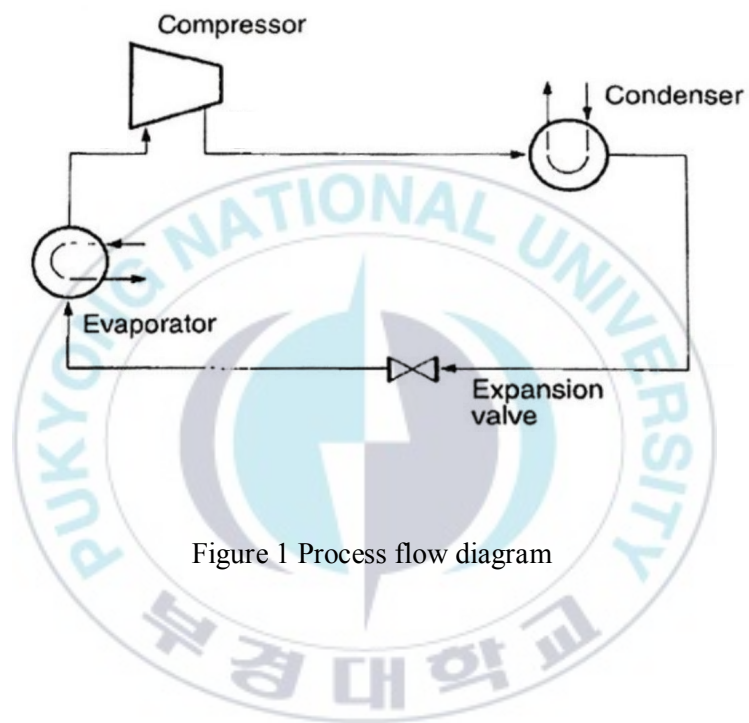


Figure 1 Process flow diagram

제3장 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 냉방시스템의 냉방성능을 분석하기 위해 실외 및 실내공간을 모사할 수 있는 열량계에 Single condenser를 사용한 냉방시스템과 Dual condenser를 병렬로 연결한 냉방시스템에 대한 성능 특성을 비교하기 위하여 Fig. 2 와 Fig. 3과 같이 배치하였다.

Fig. 2는 압축기(엔진 폴리형), Single condenser(AI type), 증발기 2개(laminate type), 수액기, 팽창밸브 2개(블록형 온도감온식)를 갖는 냉방시스템의 개념도이고, Fig. 3 Dual condenser를 사용하고 나머지 구성품은 Single condenser와 같은 부품을 사용한 냉방시스템의 개념도이다.

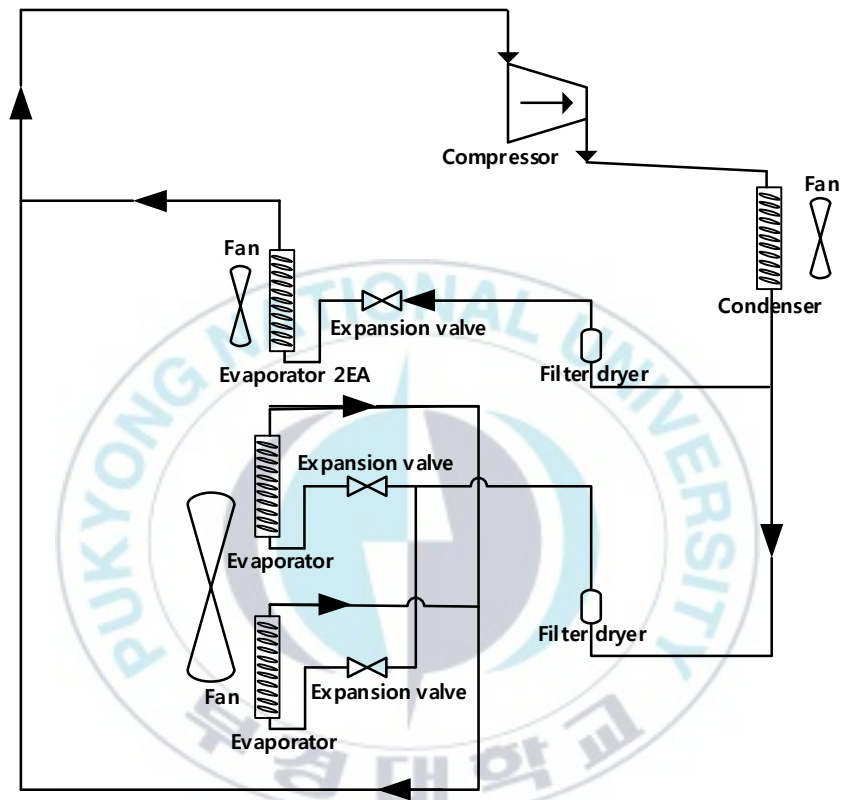


Figure 2 Single condenser cooling cycle

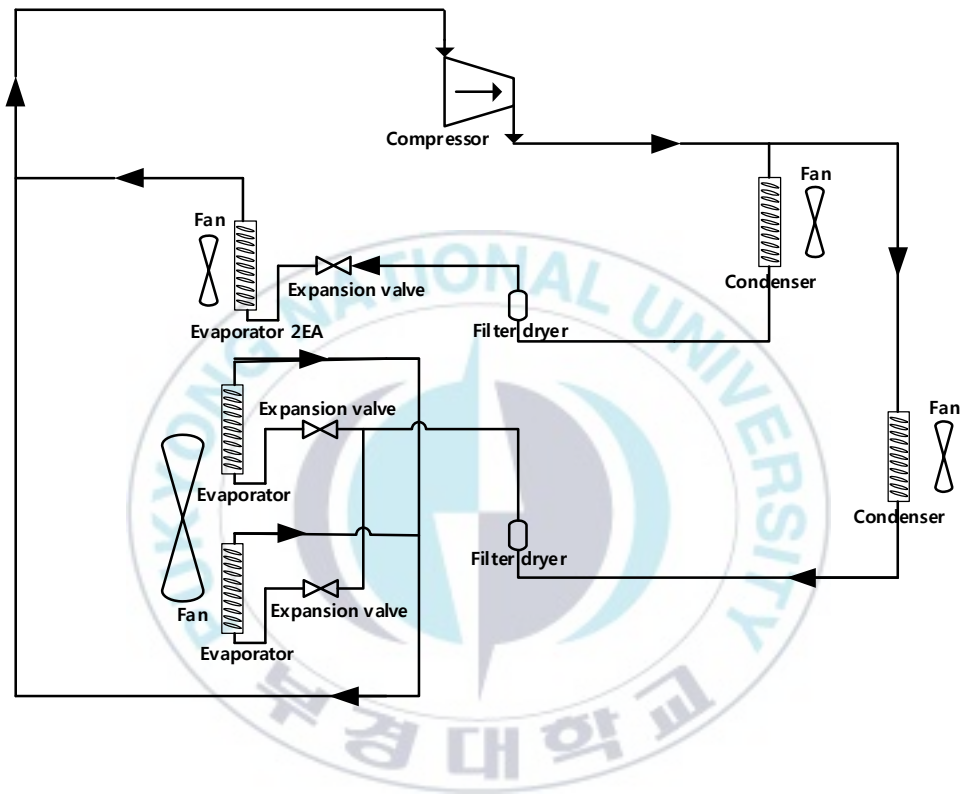


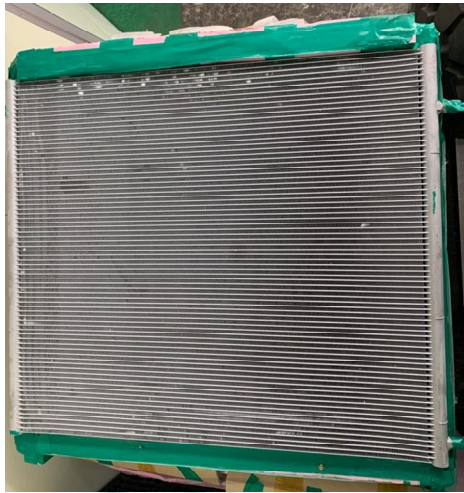
Figure 3 Dual condenser cooling cycle

Single condenser의 크기는 800W x 900H x 32T, 전열면적 720,000 mm²이며 6패스로 구성되어 있고, 듀얼 응축기는 크기 700W x 510H x 32T, 전열면적 357,000 mm² 이고 6패스로 구성되어 있다.

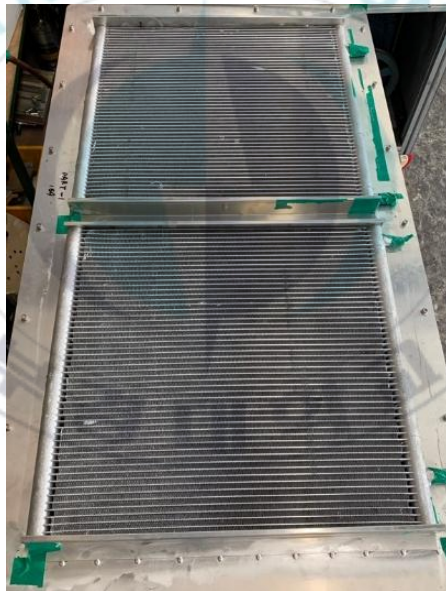
공통으로 사용된 냉매는 R-134a를 사용하였으며 응축기의 재질은 알루미늄이고 그루브핀을 사용하고 있으며 장착된 팬 속도를 면풍속 3 m/s로 제어하였다. 압축기는 왕복동식 엔진폴리형으로 엔진에 연결되어 작동되기 때문에 이를 모사하기 위한 20 kW의 구동모터를 사용하여 압축기를 구동하였으며, 여러가지 상황을 모사하기 위해 압축기 회전수(RPM)를 1,500, 2,000, 2,500으로 구동 할 수 있도록 제어장치가 마련되어 있다. 팽창 밸브는 블록형 온도감온식을 사용하여 증발기 출구 온도에 따라 능동적으로 증발기로 전달되는 냉매유량을 제어하며, 증발기의 재질은 알루미늄이고, Laminate타입을 사용하였으며 크기는 260W x 235H x 60T이고 전열면적은 61,100 mm² 이다. 증발기에 장착된 팬의 속도를 면풍속 5 m/s로 제어하였다. Table. 1 본 연구에서 사용된 Single condenser와 Dual condenser의 재원을 Fig. 4에 실 사진을 나타내었으며 Table. 2에 공통으로 사용된 부품들의 재원을 나타내었다.

Table. 1 Geometric details of the condensers in experiments

	Single condenser	Dual condenser
Size (WxHxT, mm)	800 x 900 x 32	700 x 510 x 32
Heat transfer area (mm ²)	720,000	357,000
Material	Aluminum	Aluminum
Tube number	70	35
Pass number	18-16-13-10-9-4	9-8-6-5-4-3
Fin type	Groove	Groove



(a) Single condenser



(b) Dual condenser

Figure 4 Picture of the Condenser used in experiment

Table. 2 Commonly used components

Compressor	Displacement	425 cm ³ /rev
	Number of cylinders	10
	Revolution range	600 ~ 5000 RPM
	Oil	PAG or POE
Evaporator	Type	Laminate,
	Size (mm)	260W x 235H x 60T
	Heat transfer area (mm ²)	61,100
Expansion valve	Type	Temperature sensing
	Cooling capacity	2.5 RT
Receiver tank	Volume (L)	0.7
Refrigerants	Weight (kg)	3.5
		4.0
		4.5

본 연구에서는 KS 규격인 [5]KS C 9306 에어컨디셔너의 표준온도조건으로 실험을 하였으며 실험환경을 조성하기 위한 여러가지 제반 설비(Utility), 실험조건, 및 데이터등을 수집하기위한 제어판(Controller) 및 중앙연산장치(Computer)들로 구성되어 있는 열량계(Calorimeter)를 사용하였다. 사용된 열량계의 냉방능력 측정 방법은 간접법의 공기엔탈피법으로 실내측 및 실외측에 흡입되는 공기의 온도·습도와 토출되는 공기의 온도·습도를 측정하고, 그때의 공기 유량을 측정함으로써 냉방능력을 구하는 방법이다. 칼로리미터형 공기 엔탈피법 열량 측정 장치를 사용하였고 장치의 개략도는 Fig .5에 열량계 설치 사진은 Fig. 6에 나타내었다.

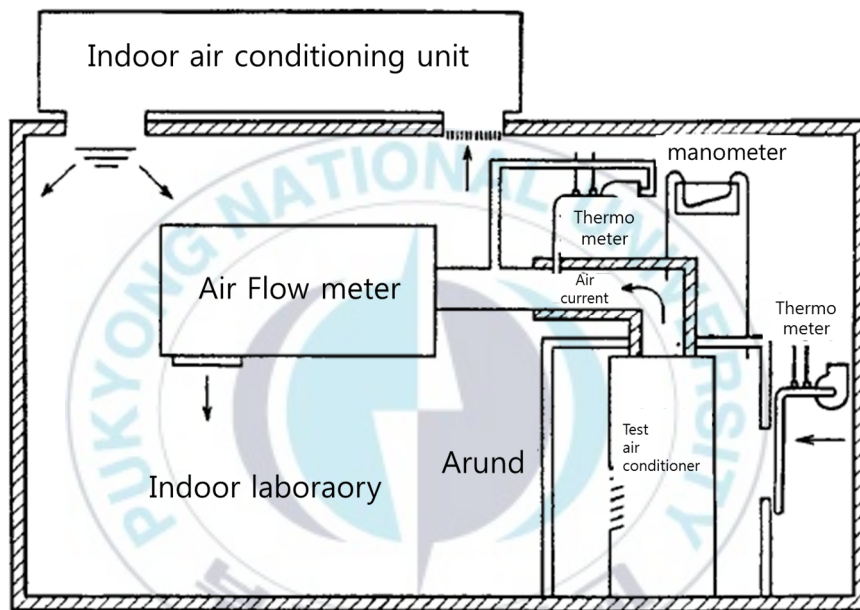
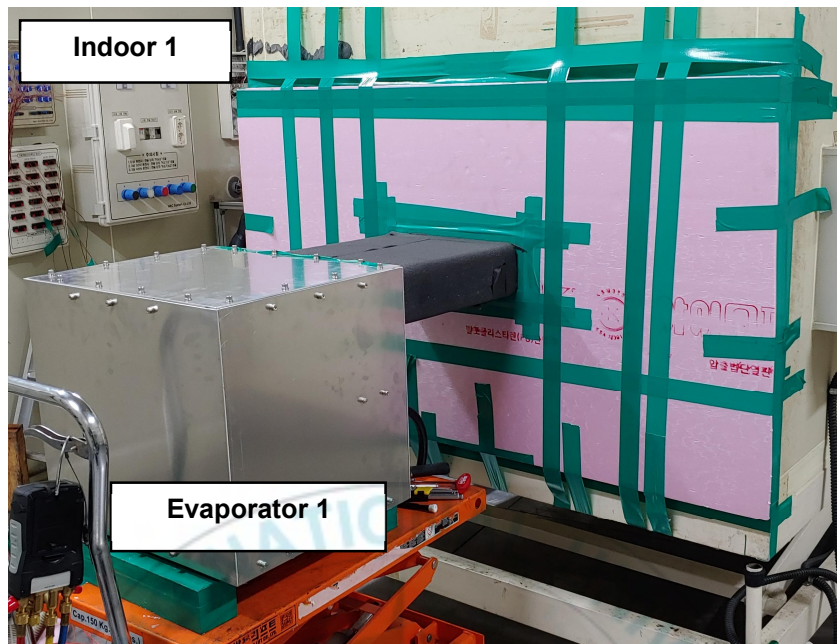
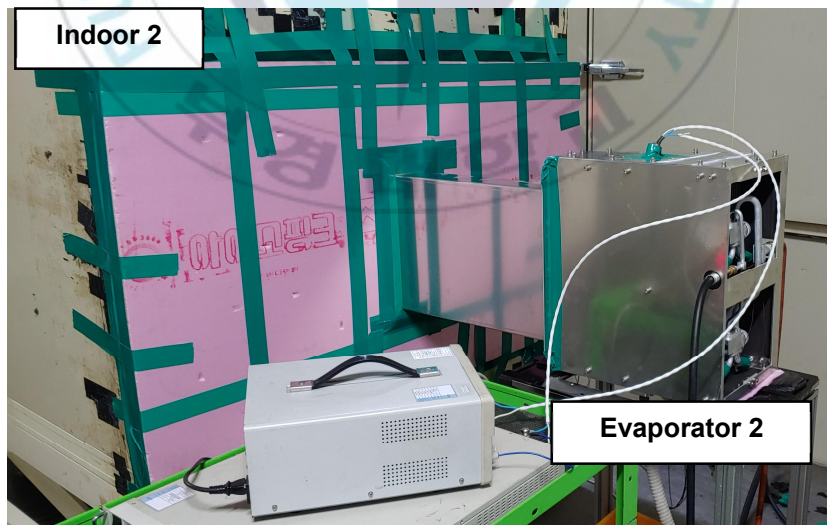


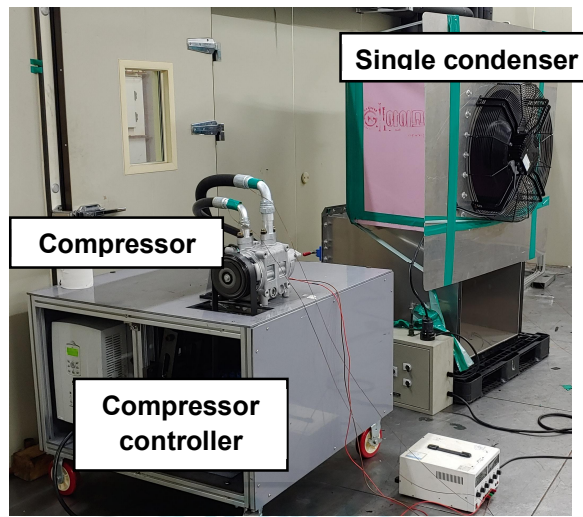
Figure 5 KS C 9306, Calorimeter type air enthalpy calorimetry



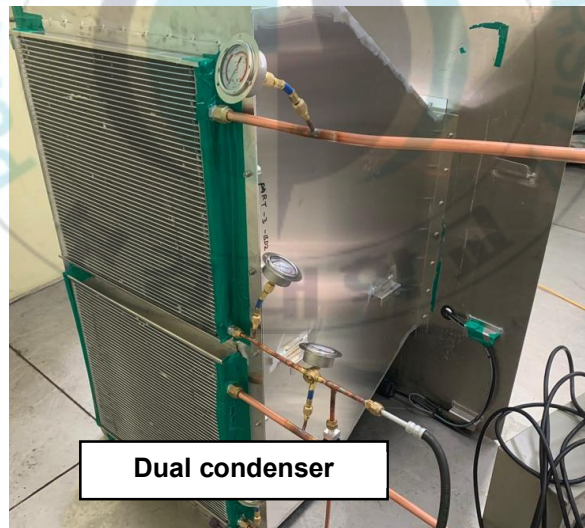
(a) Indoor1 in calorimeter



(b) Indoor2 in calorimeter



(c) Outdoor in calorimeter (Single condenser)



(d) Outdoor in calorimeter (Dual condenser)

Figure 6 Picture of installed in calorimeter

3.2 실험 조건 및 방법

3.2.1 실험 조건

본 연구에서는 Single condenser와 Dual condenser 냉방시스템의 성능 특성을 파악하고자 아래의 Table. 3의 온도 조건에서 실험을 진행하였다. 냉매 봉입량 (kg)을 3.5, 4.0, 4.5 주입시마다 압축기 회전수(RPM)를 1,500, 2,000, 2,500으로 변화시키며 실험을 하였다. Condenser를 통과하는 공기의 면풍속은 3 m/s, 증발기를 통과하는 공기의 면풍속은 5 m/s로 공급되도록 팬을 제어하였다. 압축기의 토출온도가 100 ℃가 넘지 않도록 유지되어야 한다. 토출온도가 100 ℃ 이상이 될 경우 압축기 내부의 오일이 탄화되어 압축기의 손상을 방지하고자 하였다. 이러한 조건에서 두 시스템의 냉방성능, 증발기 토출 공기온도, 과냉각도를 측정하여 비교하였다.

Table 3 KS C 9306, Standard temperature condition

	Dry-bulb temperature (℃)	Wet-bulb temperature (℃)
Indoor	27.0 ± 0.3	19.0 ± 0.2
Outdoor (air-cooled type)	35.0 ± 0.3	24.0 ± 0.2

3.2.2 실험 방법

본 실험은 2.2절에서 언급한 바와 같이 Single condenser와 Dual condenser 냉방시스템의 성능특성을 비교 분석하는 것이다.

KS 규격인 KS C 9306 에어컨디셔너의 표준온도조건인 실내측 건구온도 27.0 ± 0.3 °C, 습구온도 19.0 ± 0.2 °C, 실외측(공랭식) 건구온도 35.0 ± 0.3 °C, 습구온도 24.0 ± 0.2 °C로 설정하여 실험을 진행하고 진공펌프를 이용하여 진공작업을 실시한다.

배관 내부에 존재하는 공기(Flash gas)가 냉매의 흐름을 방해하여 냉방성능을 저하시키고, 압축기 오일의 흐름을 방해하여 압축기 손상을 초래하기 때문에 진공작업을 하여야 하며, 시스템의 누설부위가 있을 경우 진공이 되지 않기 때문에 기밀도 확인할 수 있다.

냉방시스템 운전 시 각 Condenser 출구에 설치된 사이트 글라스를 확인하여 액냉매로 상이 변화하는지 확인하였다.

Table. 4에 냉매 주입량과 압축기 회전수를 나타내었다. 냉매는 상용 자동차에서 많이 사용되는 R-134a를 사용하였으며 냉매 주입량 (kg) 3.0, 3.5, 4.0를 주입하였고 각 주입량에서 시스템 안정화 단계를 거치면서 실험을 진행하였다.

각 주입량에서 압축기 회전수(RPM)를 1,500, 2,000, 2,500으로 변화시키면서 데이터를 수집하였다.

Table 4 Refrigerant charging amount and compressor RPM

Refrigerant charging amount (kg)	Compressor RPM (RPM)
3.5	1,500 ~ 2,000 (step 500)
4.0	
4.5	

냉방능력은 열량계 (Calorimeter) 의 중앙연산장치 (Computer) 에서 계산을 진행하였으며 KS C 9306에 기술되어 있는 산출식 (1)은 아래와 같다.

$$W = \frac{Q(h_1 - h_2)}{v_n(1 + x_n)} + w \quad (1)$$

여기에서,

W : 실내측에서 결정한 전 냉방능력 (W)

Q : 에어컨의 실내측 풍량 측정값 (m^3/s)

h_1 : 실내측 흡입공기의 엔탈피 (J/kg)

h_2 : 실내측 토출공기의 엔탈피 (J/kg)

v_n : 풍량 측정 위치에서의 공기의 비체적 (m^3/kg)

x_n : 풍량 측정 위치에서의 공기의 절대 습도 (kg/kg)

w : 측정 장치에서의 열 침입 (W)

증발기 토출 온도는 열량계에서 측정을 하였으며, 응축기 출구의 압력에 의한 포화온도와 팽창밸브 입구 액관 온도를 측정하여 두 값의 차인 과냉각도를 구하였다. 과냉각도(Degree of sub cooling)란 응축기 이후 기체상태가 없도록 정적하게 과냉각 시켜주는 것을 말한다. 과냉각도가 낮아 기체/액 냉매가 팽창밸브로 혼입되면 팽창밸브의 손상과 제어의 어려움을 주며 배관내의 마찰손실 증가와 Flash gas 발생량의 증가로 냉방성능이 저하된다.



제4장 실험 결과 및 고찰

3.2.2절에서의 실험 방법으로 Single condenser와 Dual condenser 냉방시스템의 성능 특성을 비교하였으며 실험 결과는 냉매 주입량과 압축기 회전수 변화를 주었을 때 냉방 성능이 $\pm 200 \text{ W}$ 이내로 20분 지속될 시 안정화상태로 판단 후 실험 데이터를 획득하였으며, 실험 결과는 다음과 같다.

4.1 냉방 성능 특성 비교

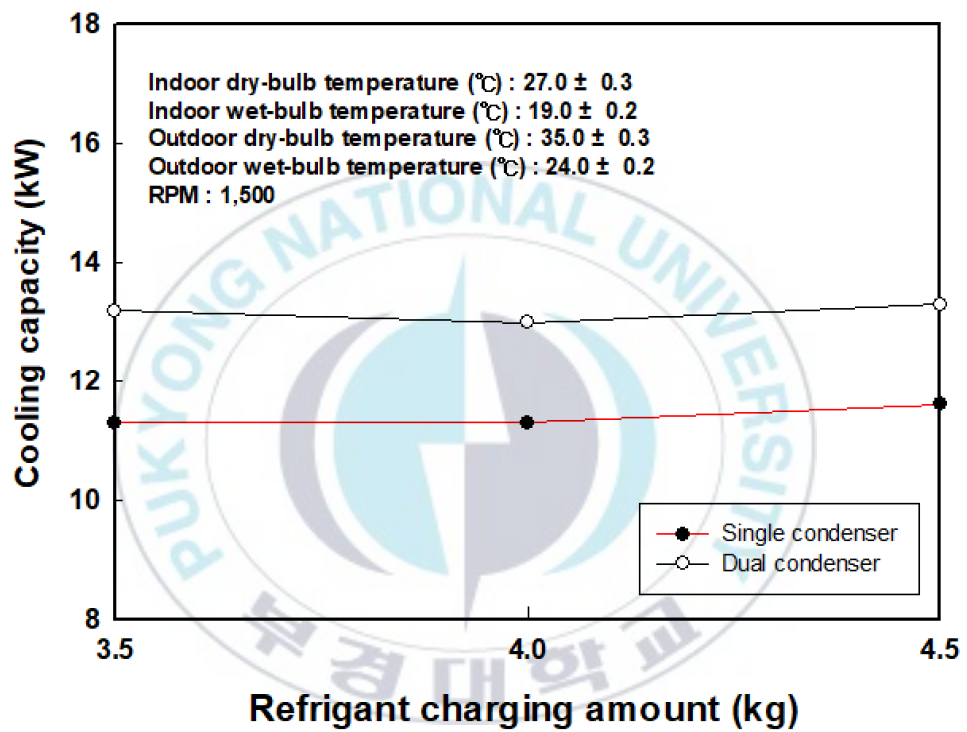
Fig. 7은 Single condenser와 Dual condenser를 냉매 봉입량에 따른 냉방 성능 실험 결과를 압축기 회전수별로 정리한 그래프이다. 목표 냉방성능은 $12 \text{ kW} \pm 0.5 \%$ 로 Single condenser에서 2,000 RPM 이상 운전시 만족함을 보였다.

Single condenser보다 Dual condenser의 냉방 성능이 최대 12.9 % 향상됨을 알 수 있었다. 하지만 냉매 주입량 증가에 따른 냉방 성능 향상 폭은 미미하였는데 냉매 주입량이 3.5 kg에서 4.0 kg으로 변화 시 최대 최대 0.8 % 향상이 되었으며, 4.0 kg에서 4.5 kg으로 변화시는 최대 2.6 % 향상이 되었음을 알 수 있었다. 그리고 압축기 회전수 변화에 따른 냉방 성능은 1,500 RPM에서 2,000 RPM으로 변화 시 최대 6.7 %, 2,00 RPM에서 2,500 RPM으로 변화 시 최대 5.7 % 향상됨을 보였다. 냉매 주입량을 5 kg까지 주입 후 실험을 진행하였으나 압축기 출구 온도가 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상 측정됨에 따라 압축기 손상을 방지하고자 실

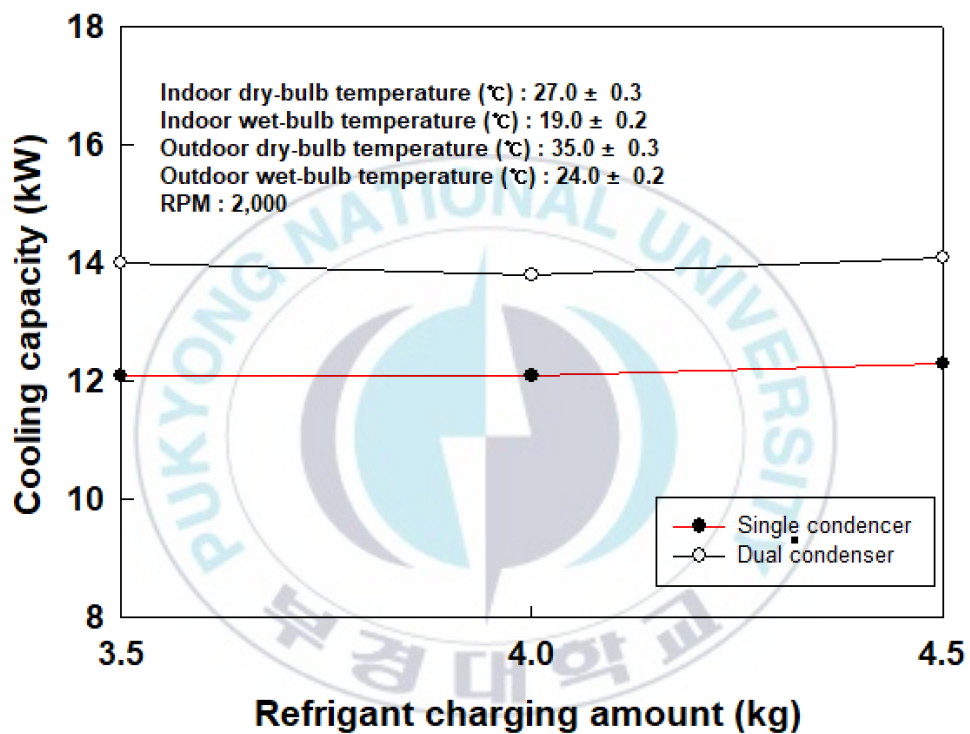
험을 중단하였다.

그리고 Single condenser와 Dual condenser 각각 출구에 사이트 글라스를 설치하여 냉매의 상이 기체에서 액체로 변화하는지 확인하였으며 그 결과 Single condenser의 경우는 액 냉매로 상이 변화하였지만 Dual condenser의 경우 1개의 Condenser가 기체 냉매로 상이 변화하지 않고 팽창밸브로 유입되는 현상을 관찰할 수 있었다. 이는 Dual condenser로 유입되는 냉매량이 일정하게 분배되지 않아 발생하는 현상으로 판단되며 이를 방지하기 위해서는 Dual condenser로 유입되는 냉매량분배를 제어하는 장치가 추가로 필요할 것으로 사료된다.

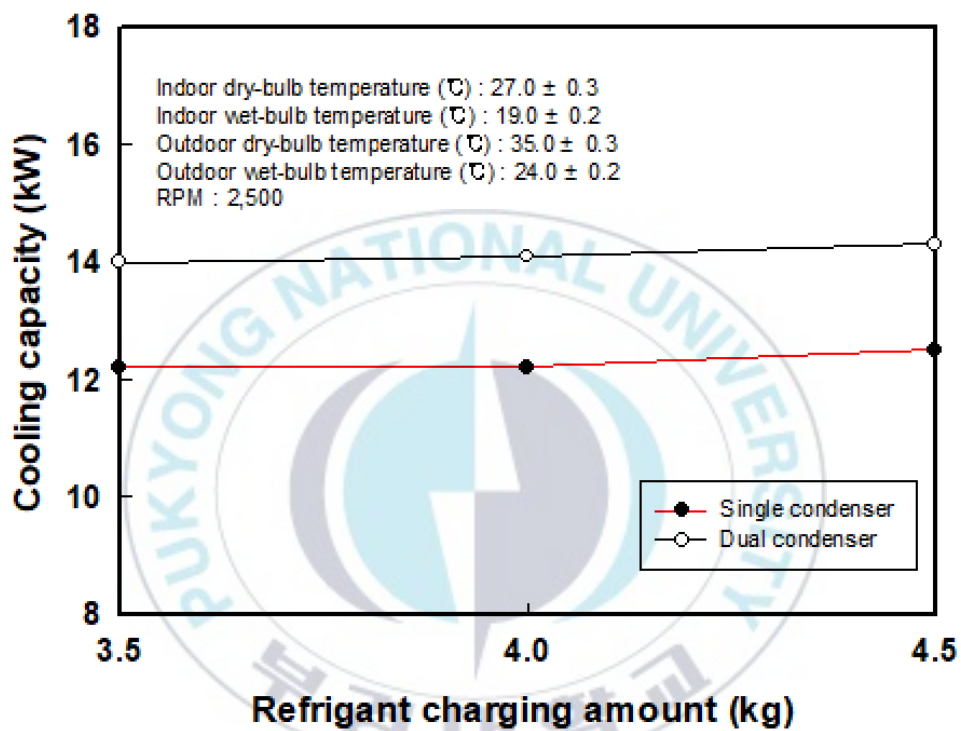
본 연구에서는 Condenser의 개수만 다르게하고 나머지 구성품을 동일하게 한 냉방시스템의 성능 특성을 비교하는 자료로서 Dual condenser로 유입되는 냉매량을 제어하는 장치를 추가로 설치하지 않고 실험을 진행하였다.



(a) Compressor speed 1,500



(b) Compressor speed 2,000



(c) Compressor speed 2,500

Figure 7 Comparison of cooling performance

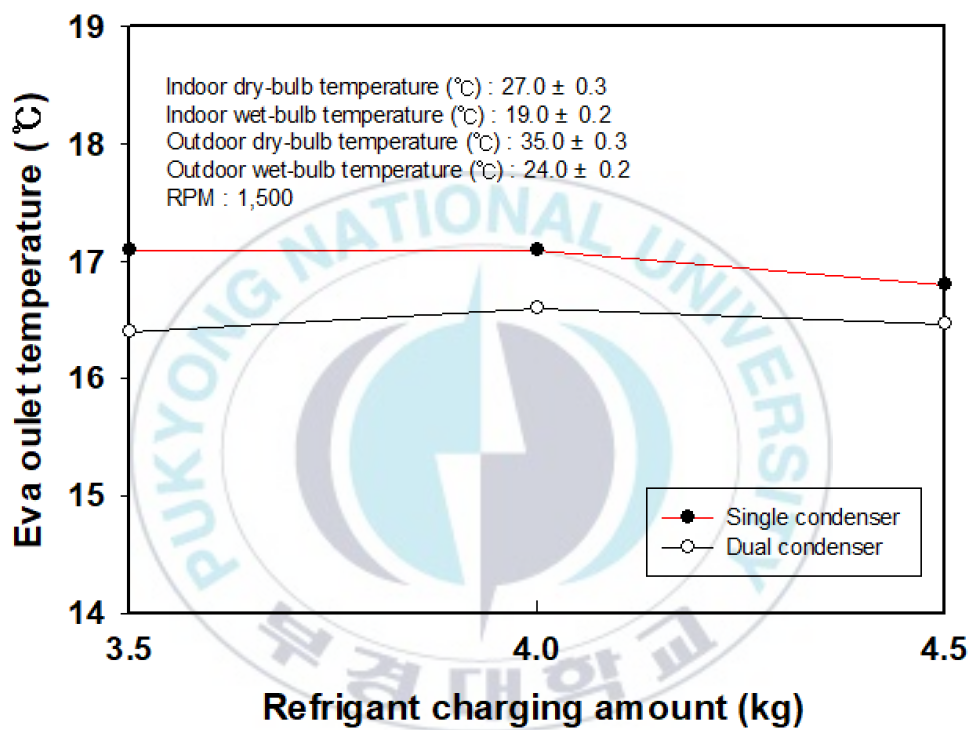
4.2 증발기 토출 공기 온도 특성 비교

Fig. 8은 증발기 토출 공기 온도 특성 비교를 냉매 주입량에 따라 압축기 회전수별로 실험 결과를 정리하여 그래프로 나타내었다.

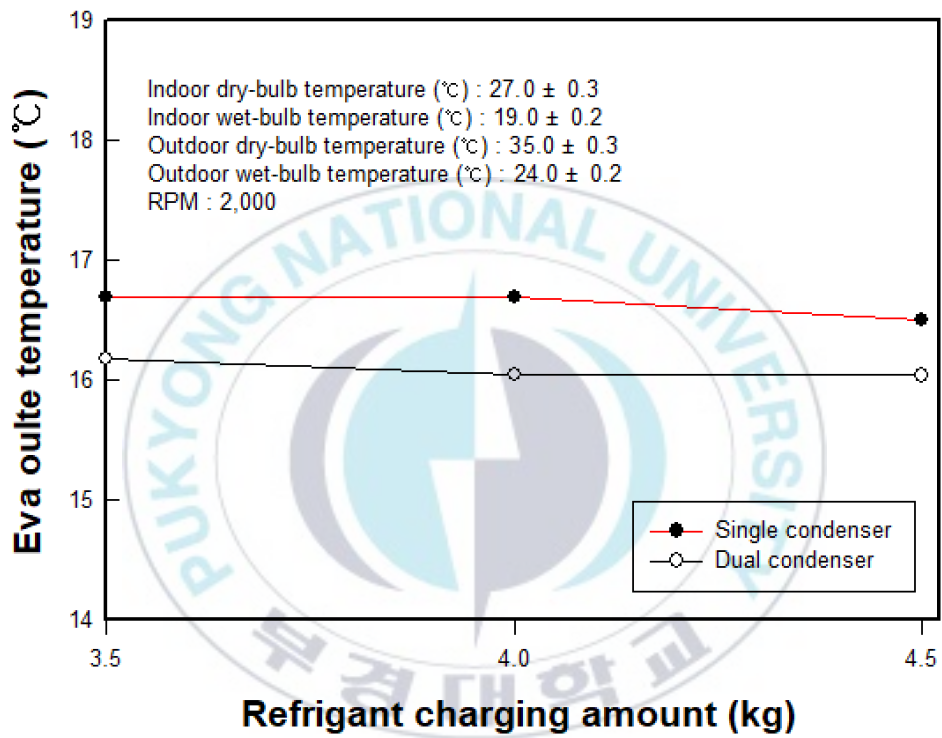
Single condenser보다 Dual condenser의 증발기 토출 공기 온도는 최대 0.7 °C 낮게 측정되었으며, 냉방 성능 특성 비교 실험에서 측정한 Dual condenser 냉방 성능 실험 결과와 유사한 결과로 판단된다.

증발기 토출 공기 온도도 냉매 주입량에 따라 온도가 감소하였지만 경향이 매우 미미하였다. 3.5 kg에서 4.0kg으로 변화 시 최대 0.13 °C, 4.0 kg에서 4.5 kg으로 변화 시 최대 0.3 °C 감소를 알 수 있었으며 압축기 회전수 변화에 따라서는 1,500 RPM에서 2,000 RPM으로 변화 시 최대 0.4 °C, 2,000 RPM에서 2,500 RPM으로 변화 시 최대 0.5 °C 감소하였다.

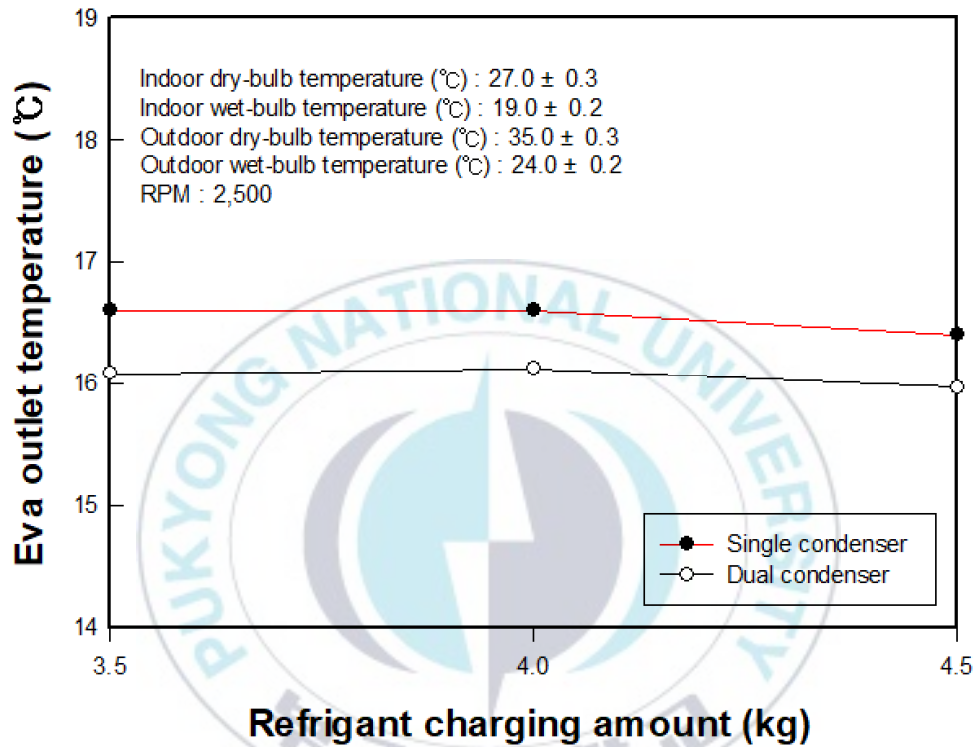
냉매 주입량과 압축기 RPM의 변화 시에도 변화량이 매우 미미한 것으로 보아 증발기의 성능이 최대 수준에 도달한 것으로 사료된다.



(a) Compressor speed 1,500



(b) Compressor speed 2,000



(c) Compressor speed 2,500

Figure 8 Comparison of Eva outlet temperature

4.3 과냉각도 특성 비교

Fig. 9는 과냉각도(Degree of sub cooling)에 대한 특성비교를 냉매 주입량에 따라 압축기 회전수별로 실험 결과를 정리하여 그래프로 나타내었다.

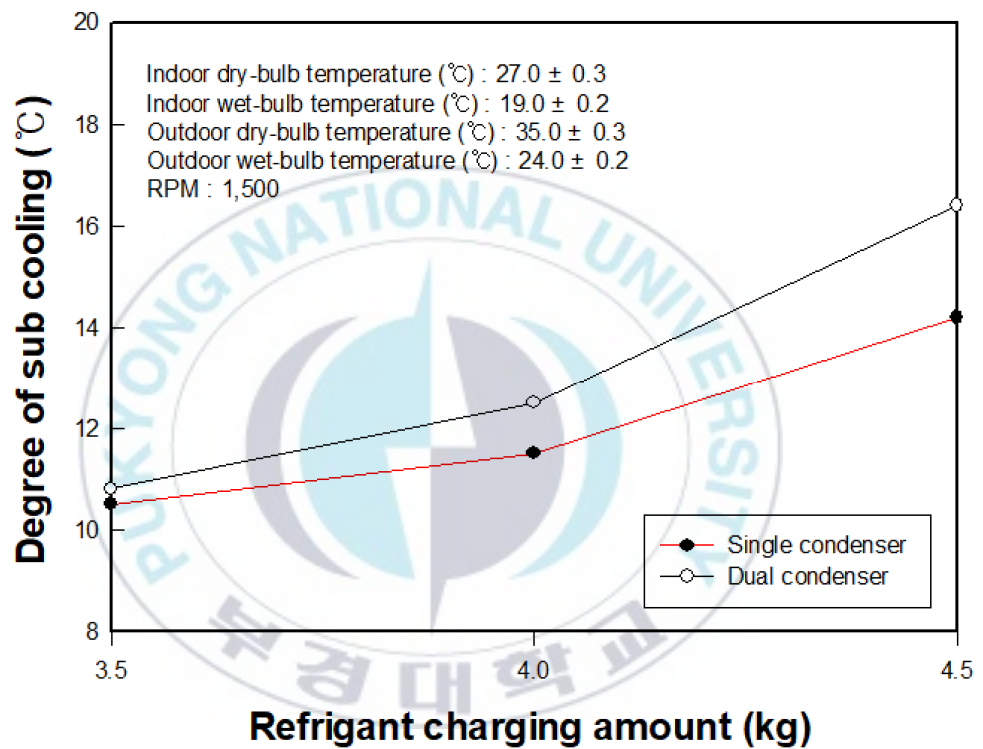
과냉각도가 클수록 배관 내부의 Flash gas의 감소로 냉방 성능이 향상됨으로 냉방 성능 특성 비교실험에서 측정한 Dual condenser 냉방 성능 결과가 더 높은 성능을 얻었으므로 과냉각도도 Dual condenser가 더 높게 측정될 것으로 사료된다.

과냉각도 특성 비교실험 결과 Single condenser보다 Dual condenser의 과냉각도가 최대 2.2 °C 높게 측정되었다.

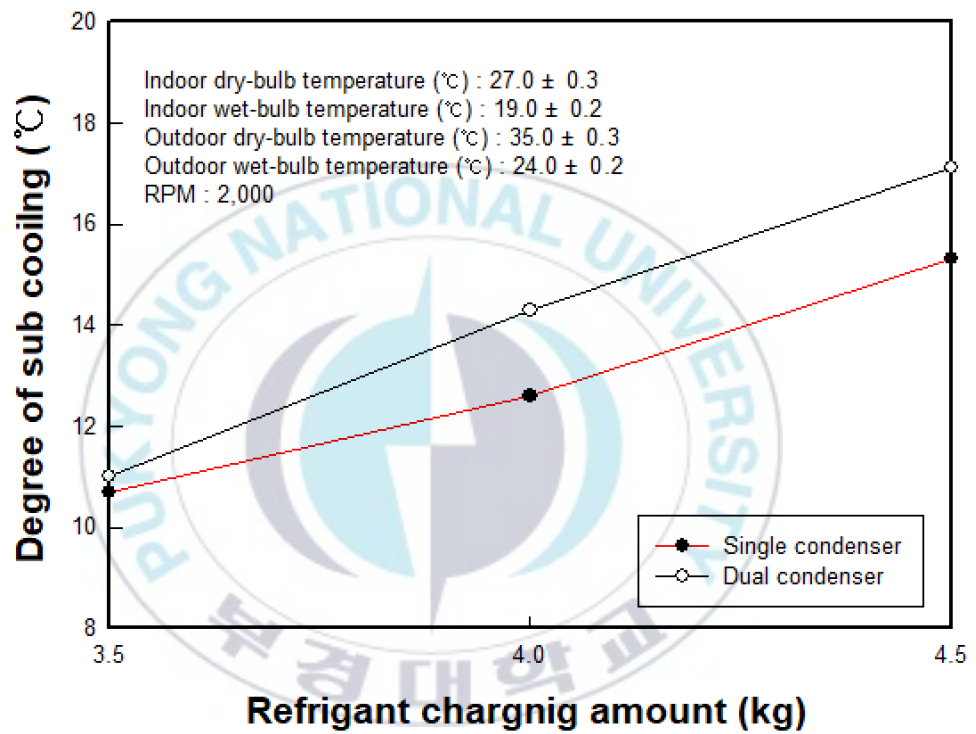
냉매 주입량을 3.5 kg에서 4.0kg으로 변화 시 최대 3.3 °C, 4.0 kg에서 4.5 kg으로 변화 시 최대 3.9 °C 증가함을 알 수 있었으며 압축기 회전수 변화에 따라서는 1,500 RPM에서 2,000 RPM으로 변화 시 최대 1.1 °C, 2,000 RPM에서 2,500 RPM으로 변화 시 최대 1.8 °C 증가하였다.

압축기 회전수 변화보다 냉매 주입량의 변화에 따라서 과냉각도가 변화량이 큰 것을 확인하였다.

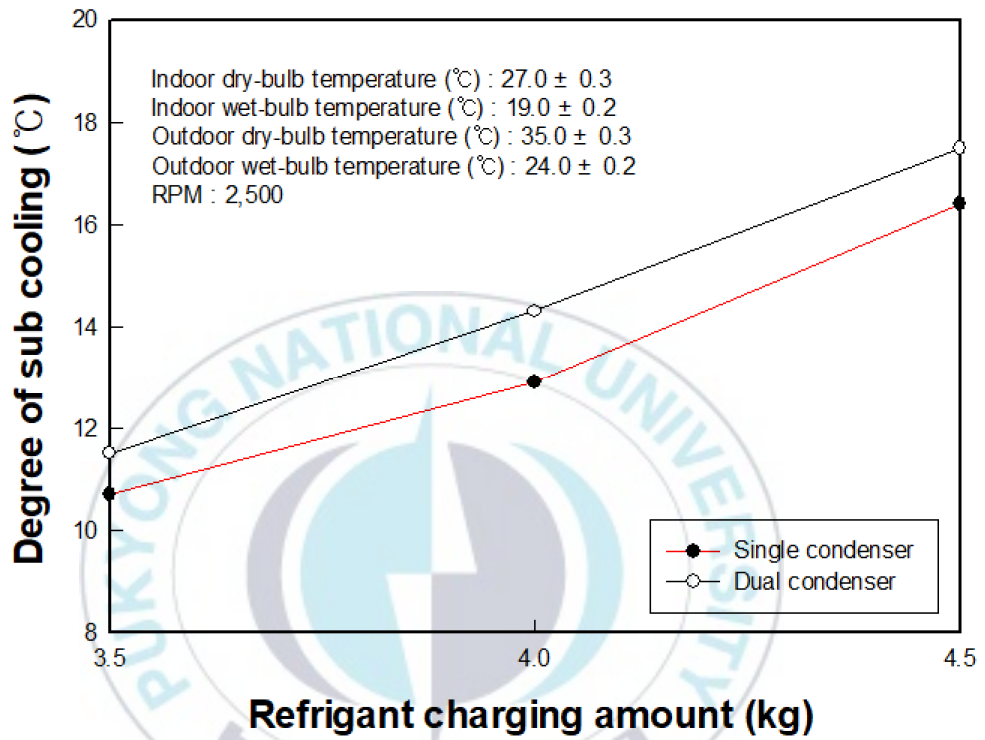
본 연구에서 구성한 냉방 시스템에는 Condenser의 용량이 커서 과냉각도와 냉매 주입량에 의한 과냉각도 변화량이 큰 것으로 사료된다. 다른 구성품들 보다 Condenser의 용량이 큰 경우 과냉각도가 증가하여 냉방 성능이 향상되지만 다른 구성품과의 균형이 맞지 않아 소음이 발생할 수 있으며 실내 부하에 따라 냉방 시스템의 정상 동작을 하지 못하고 압축기에 액체 냉매가 유입되어 고장의 원인이 될 수 있다.



(a) Compressor speed 1,500



(b) Compressor speed 2,000



(c) Compressor speed 2,500

Figure 9 Comparison of Degree of sub cooling

제5장 결 론

본 연구는 군수용 차량의 협소한 공간에 최적화 설계를 목적으로 Condenser를 분할하여 설치 하고자 시작하였다. Single condenser와 Dual condenser의 냉방 시스템을 구성하여 냉방 성능, 증발기 토출 공기온도, 과냉각도를 수집하여 비교분석 하였고 연구 결과를 종합하면 다음과 같다.

1) Single condenser보다 Dual condenser로 구성한 냉방 시스템의 냉방 성능이 최대 12.9 % 향상됨을 확인하였다. 이는 과냉각도 측정시 Dual condenser가 더 높은 과냉각도를 가지며, 과냉각도가 높으면 배관 내부의 flash gas의 감소로 냉방 성능이 향상 된 것으로 사료된다.

2) 본 연구에 적용한 냉방 시스템의 냉방 성능이 냉매 주입량 증가량보다 압축기 회전수 증가량에 의한 성능 증가가 더 큼을 확인하였다. 그리고 냉매량을 5kg까지 주입하여 실험 한 결과 압축기 출구 온도 100 ℃이상 되어 실험을 중지하였다. 이는 냉방 시스템의 냉매량이 과충전 되어 발생한 현상으로 사료된다.

3) Single condenser와 Dual condenser 출구에 설치한 사이트 글라스를 관찰하였고, 냉매 주입량이 증가함에 따라 Single condenser의 경우는 액 냉매로 상이 변화하였지만 Dual condenser의 경우 1개의 Condenser가 기체 냉매로 상이 변화 하지 않고 팽창밸브로 유입 되는 현상을 관찰 하였다. 이는 Dual condenser로 유입되는 냉매량이 일정하게 분배되지 않아

발생하는 현상으로 판단되며 이를 방지하기 위해서 냉매량 분배를 제어하는 장치가 추라고 필요할 것으로 사료된다.

4) 증발기 토출 공기 온도의 경우 냉매 주입량 증가와 압축기 회전수 증가에 따른 공기 온도 변화가 미미함을 확인하였다. 이는 증발기의 성능이 최대수준에 도달한 것으로 사료된다.

5) 과냉각도의 경우 압축기 회전수 증가량 보다 냉매 주입량 증가량에 의한 변화가 큼을 확인 하였다. 본 연구에서 구성한 냉방시스템에는 Condenser의 용량이 커서 냉매 주입량에 의한 과냉각도 변화량이 큰 것으로 사료된다. 과냉각도가 클수록 냉방 성능이 향상되나 다른 구성품과의 균형이 맞지 않아 소음이 발생할 수 있으며, 실내 부하에 따라 냉방 시스템의 정상 동작을 하지 못하고 압축기에 액 냉매가 유입되어 고장의 원인이 될 수 있다.

참고문헌

- [1] Da Young Cho, Hyoung Chang Ham, Chang Yong Park(2012), Numerical Study on the Effect of Tube and Fin Types on Fin-Tube Condenser performance, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea Academic Presentation, pp. 944-947.
- [2] M. H. Kim, K. J. Kim (1998), K. Lee, K. T. Jang and S. Jeong (2000), Performance evaluation of brazed aluminum heat exchangers for a condenser in residential air-conditioning applications, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 10(1), 1998.1, pp. 44-55
- [3] Yong Cheol Sa, Yoon-Jei Hwang, Se-Yoon Oh, Baik-Young Chung (2002), Development of Aluminum Micro-Channel Condenser for Air-Conditioners, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, pp. 1372-1377
- [4] H.J.Chang, B.H.Kang, H.K.kim, C.S.Han(2002), An Experimental Study on Performance Enhancement of a Parallel Flow for the Automotive Air-Conditioner, The society Of Air-Conditioning And Refrigerationg Engineers Of Korea, 2002.6, pp.1366-1371.
- [5] KS C 9306:2017, Airconditioner

감사의 글

어느새 2년의 석사과정을 마치고 학위 논문을 제출하게 되었습니다. 대학원 석사과정에서 논문이 나오기까지 많은 분들의 도움을 받았습니다. 그분들의 도움이 없었다면 논문도 나올 수 없었을 것이기에 감사의 인사를 전해 드리고자 합니다.

부족한 저에게 아낌없는 조언과 용기를 주시고 방향성을 잃어가지 않도록 지도해주신 윤정인 교수님께 진심을 담아 감사드립니다.

또한 대학원 과정동안 많은 가르침 주시고 바쁘신 와중에도 꼼꼼하게 심사를 맡아주신 최광환 교수님, 손창효 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

석사 학위 논문을 마무리하면서 직장생활과 대학원 수업, 논문 진행에 어렵고 힘든 일이 많았지만 이해해주시고 응원해주시며 학업을 할 수 있도록 도움을 준 (주)KSC 동료분들, 냉동공조공학과 에너지시스템연구실 분들에게도 감사의 말씀을 드립니다.

창원-부산을 2년동안 오가며 석사 과정을 함께한 친구 찬희에게 감사의 뜻을 전합니다.

대학원의 진학을 통해 넓은 식견과 전공 지식뿐만 아닌 그 이상의 것들을 배운 것 같습니다. 배운것이 헛되지 않도록 최선을 다하여 더 큰 곳으로 나아가겠습니다.

끝으로, 무사히 학위를 마칠 수 있도록 도움을 주신 분들에게 다시 한번 감사의 말씀을 드리며, 항상 응원해주시고 격려해주신 가족분들과 이 기쁨을 함께 하고 싶습니다.



2019년 7월
권 영 빈 올림