creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

공학석사 학위논문

냉동컨테이너용 냉동장치의 성능 비교에 관한 실험적 연구

2015년 8월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

이 재 진

공학석사 학위논문

냉동컨테이너용 냉동장치의 성능 비교에 관한 실험적 연구

지도교수 손 창 효

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2015년 8월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

이 재 진

이재진의 공학석사 학위논문을 인준함

2015년 8월

주 심 공 학 박 사 윤 정 인 ㊞

위 원 공 학 박 사 최 광 환 ㊞

위 원 공 학 박 사 손 창 효 ㊞

목 차

Abstract ····· ii
Nomenclature ····· iv

제 1 장 서 론 ····· 1
1.1 연구배경 및 목적 ····· 1
1.2 종래 연구 ····· 6
1.3 냉동컨테이너 현황 및 동향 ····· 7

제 2 장 실험장치 및 방법 ····· 13
2.1 실험 장치 ····· 13
2.2 냉동기 운전 ····· 22
2.3 실험방법 및 조건 ····· 32
2.4 데이터 정리 ····· 39

제 3 장 결과 및 고찰 ····· 41
3.1 냉매 온도 분포 ····· 41
3.2 R134a 기종별 성능 분석 및 비교 ····· 50
3.3 Thermoking 기종의 냉매별 성능 분석 및 비교 ····· 54

제 4 장 결 론 ····· 56
참고 문헌 ····· 59
감사의 글 ····· 61

Experimental Study on Performance Comparison of Refrigerated Container System

Abstract

Refrigerated container sea since countries will be introduced to the transport of refrigerated, frozen in accordance with population growth, improved income levels, adding to rising demand for freight. The development of the container transport technologies recently, refrigerated, frozen, boats speed symbol of the changes in consumer spending patterns and the improvement of technical progress and more diversified Gentrified, transport refrigeration, who as the result of relatively previously frozen in accordance with the cargo container traffic has increased. We are also the improved quality of income and consumption patterns over the past century because of variations in a constantly refrigerated, frozen cargo demand for the escalating trend.

Freezer production company five existing freezer, and reefer container for basic data simply don't exist in this situation. Accordingly, each frozen through performance analysis and the introduction of plans to provide a basic data.

As a result, five of the reefer container of star cool fighters to the most brilliant and use another refrigerant, with each other to Thermoking of its class R404A compared to use a refrigerant a the emphysema Brilliant. If you look at the future trend based on such a conclusion, Thermoking(R404A) prototypes of increased demand is expected to be.

원 문

냉동컨테이너가 해상수송에 도입된 이후 각국의 인구증가, 소득수준향상에 따라 냉장, 냉동화물의 수요는 증대되고 있다. 최근 들어서는 컨테이너 수송기술의 발달, 냉장, 냉동기술의 진보, 선박 속도의 향상 그리고 소비자들의 소비패턴 변화로 기호가 더욱 다양해지고 고급화됨에 따라서 이전에는 비교적 운송이 까다로웠던 냉장, 냉동화물의 컨테이너 수송이 현저히 증가하고 있다. 우리나라도 소득수준의 향상과 소비패턴의 변화로 과거에 비해 지속적으로 냉장, 냉동화물의 수요가 증가되고 있는 추세이다.

현존하는 냉동컨테이너 냉동기 제작회사는 5개이며, 냉동컨테이너에 대한 기초 자료가 전무한 상황이다. 따라서, 각 냉동기의 소개 및 성능 비교분석을 통해서 기초 자료를 제공하고자 한다.

그 결과 5개의 냉동컨테이너 중 Star Cool 기종이 가장 우수했으며, 서로 다른 냉매를 사용하는 Thermoking 기종 비교에서는 R404A 냉매를 사용하는 기종이 우수했다. 이러한 결론을 바탕으로 앞으로의 경향을 살펴보면, Thermoking(R404A) 기종의 수요가 증가될 것으로 예상된다.

NOMENCLATURE

SYMBOLS

BSV	Bypass Solenoid Valve	[-]
COP	Coefficients of performance	[-]
CFM	Condenser Fan Motor	[-]
DPR	Discharge Pressure Regulator	[-]
DRS	Return Air Temperature Sensor For Data corder	[-]
DSS	Supply Air Temperature Sensor For Data corder	[-]
DSV	Defrost Solenoid Valve	[-]
EFM	Evaporator Fan Motor	[-]
EIS	Evaporator Inlet Pipe Temperature Sensor	[-]
EOS	Evaporator Outlet Pipe Temperature Sensor	[-]
ESV	Economizer Solenoid Valve	[-]
EV	Expansion Valve	[-]
G	Mass flowrate of refrigerant	[kg/h]
h	Enthalpy	[kJ/kg]
HPS	High Pressure Switch	[-]
HPT	High Pressure Transducer	[-]
HSV	Hot Solenoid Valve	[-]
HuS	Humidity Sensor	[-]
ISV	Injection Solenoid Valve	[-]
LPT	Low Pressure Transducer	[-]

LSV	Liquid Solenoid Valve	[-]
P	Pressure	[Pa]
q	Refrigerating effect	[kJ/kg]
Q	Heat capacity	[kJ/h, kW]
RRS	Return Air Temperature Sensor For Recorder	[-]
RS	Return Air Temperature Sensor	[-]
RSS	ISupply Air Temperature Sensor For Recorder	[-]
SMV	Suction Modulation Valve	[-]
SS	Supply Air Temperature Sensor	[-]
T	Temperature	[℃]
w	Compressor work	[kJ/h, kW]

SUBSCRIPTS

comp	compressor
eva	evaporation
inlet	inlet
outlet	outlet
ref	refrigeration, refrigerant

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

증기압축식 냉동장치가 1870년대에 최초로 개발된 이래로, 1920년 후반에는 최초로 해상운송이 가능한 냉동선이 취항하게 되었으며, 1960년대 말경에는 별치식(porthole reefer box) 냉동컨테이너가 개발되면서 냉동컨테이너를 이용한 대량운송이 가능하게 되었다.(1)

냉동컨테이너의 해상운송이 도입된 이후, 각국의 인구증가 및 소득수준 향상으로 냉동 및 냉장화물의 수요는 증대되었다. 또한 컨테이너 수송기술의 발달, 냉장 및 냉동기술의 진보, 소비자들의 소비패턴 변화로 기호가 더욱 다양해지고 고급화되었다. 따라서 오늘날에는 과거 운송이 힘들었던 육류, 수산물, 과일, 채소류, 화훼류, 낙농제품, 의약품 등의 냉장 및 냉동화물 컨테이너 수송이 현저히 증가하고 있다.

이러한 냉동컨테이너는 별치식(porthole reefer box)과 내장식(integral reefer box)로 구분된다. 내장식 냉동컨테이너는 컨테이너 용기 자체에 냉장 및 냉동설비가 갖추어져 있어 해상 또는 육상에서 외부의 전기공급만 있으면 아무런 문제없이 가동되며, 별치식에 비해 건조 및 수리비용은 비싸나 운영상에 신축성이 있다. 반면에, 별치식 냉동컨테이너는 컨테이너 용기 자체에 단열장치만 되어 있고, 냉장 및 냉동설비는 갖추어져 있지 않으므로 이들 컨테이너를 수송하기 위해서는 냉동설비를 갖춘 특수한 선박과 항만시설이 필요하다. 따라서 대량 수송하는데 있어서는 내장식에 비해 매우 경제성이 높다.(2)

Table 1.1. Specifications of refrigerated container

Sort		20FT	40FT	40FT(High)
Size	Outside	6,096×2,438×2,590	12,190×2,438×2,590	12,190×2,438×2,897
	Inside	5,449×2,268×2,270	11,579×2,270×2,197	11,579×2,270×2,530
Weight	Tare	2,950 kg	4,350 kg	4,420 kg
	Payload	21,050 kg	26,060 kg	27,650 kg
	Total	24,000 kg	30,480 kg	32,000 kg
Volume	Normal	28.4 cbm	58.1 cbm	67.4 cbm
	Usable	27.4 cbm	55.5 cbm	64.8 cbm
Compressor		7.5 HP (5.2 kW)	10 HP (7 kW)	10 HP (7 kW)
Temperature range		-25℃ ~ +25℃	-25℃ ~ +25℃	-25℃ ~ +25℃
Usable power		3상 380V	3상 380V	3상 380V

냉동컨테이너의 적재 가능 최대 중량은 컨테이너 총중량(total weight)에서 컨테이너의 자중(tare)을 뺀 중량으로 정의되며, 이는 컨테이너 높이, 폭, 길이에 따라 조금씩 다르다. 화물을 적입하여 운송하는 모든 냉동컨테이너에는 최대 총중량 등을 기록한 제원의 표찰이 부착되어 있으며, 어떤 경우에라도 표시된 최대 총중량을 초과해서는 안된다. 냉동컨테이너에 적재 가능한 최대 부피는 **Table 1.1**에서 알 수 있듯이 20FT, 40FT, 40FT(High)의 3가지로 나눠지며, ISO-1894에서 컨테이너의 최소 내부 치수를 규정하고 있다.

화물 밀도(cargo density)는 화물의 단위 용적에 대한 중량으로서 용적($1ft^3$)당 중량(1파운드)을 단위로 사용되고 있다. 실제 화물을 컨테이너에

실을 때에 화물과 컨테이너 내벽과의 사이, 컨테이너 천장으로부터 공간을 두어야 한다. 컨테이너 적입에는 중량 배분이 중요하다. 그 방법은 화물의 용적 중량, 화물의 성질에 따라 화물을 분류하여 튼튼한 외장화물이나 중량물은 밑에 싣고 허약한 외장화물이나 경량화물은 그 위에 실어 화물의 중량 분포가 바닥 전면에 골고루 가게 적입 한다. 위험물을 컨테이너에 적입할 때에는 세심한주의가 필요하다. 물론 국제 규정에 따라야 하나 CFR(Code of Federal Regulation, 미국), Blue Book(영국), IMO규칙 등 관계 각국의 규칙을 목적지에 따라 참조해야 한다. 또한 냉동컨테이너 경우에는 적재시 찬 공기가 순환할 수 있도록 반드시 컨테이너 내부표시선 까지만 화물을 적재하여야 한다. 냉동컨테이너는 전력의 공급이 있어야만 냉각, 가열, 통풍이 가능하므로 육상 수송 도중에 항상 전력이 공급 가능하도록 특수 발전기(Motor Generator Set : MG Set)를 전용 샤시에 싣거나 냉동컨테이너의 자체에 부착하여 전원을 공급하며 컨테이너 터미널에서는 육상 전원에 의하여, 컨테이너 전용선에서 선내부의 전원에 의해 전력을 공급한다.

냉동 컨테이너는 모든 벽이 단열벽으로 구성되어 있으며, 내벽은 공기의 순환을 고려하여 Corrugation Type으로 설계 및 제작되어 있으며 Corrugation이 밖으로 돌출된 것과 안으로 들어간 것이 있다. 오늘날 가장 많이 보급된 형태는 내장식이며, 냉동 유니트와 냉동 컨테이너 밴이 일체형으로 되어 규격화된 치수의 냉동 컨테이너를 형성하고 있으며 해상 및 육상을 아무런 문제없이 항상 일체로 하여 운송되어진다.(3)

Fig. 1.1 Photograph of air circulation in reefer Container

Fig. 1.1은 냉동컨테이너의 내부 공기 순환도를 나타낸 것으로, 냉동 컨테이너 강제 냉풍 순환방식에 대해 살펴보면, 상류 공급방식(top discharge)과 하류 공급방식(bottom discharge)이 있다. 현재 대부분의 냉동 컨테이너는 증발기 상부에 모터와 팬을 설치하여 아래로 증발기 코일을 통과시켜 찬 공기를 화물 아래쪽 T-Floor 사이로 통과시키고, 다시 화물 적재 끝부분에서 화물을 냉각시킨 찬공기가 천장을 타고 증발기 코일을 통과하는 하류 공급방식이다.[4]

지난 40여 년간 냉동컨테이너는 지속적으로 발전해오고 있으며, 대표적 생산업체로는 Mitsubishi, Thermoking, Carrier, Daikin 사 등이 있다. 그러나, 현재 Mistubishi 사는 더 이상 생산을 하지 않으며, 2000년 후반부터 덴마크 MCIQ 사의 Star Cool 기종이 생산되고 있다. 우리나라에서는 컨테

이너선의 건조는 이루어지고 있으나, 냉동 컨테이너는 생산하지 않고 있다. 뿐만 아니라, 아직까지도 냉동컨테이너의 성능 및 특성 등을 알 수 있는 데이터가 부족한 실정이다. 그러므로 보다 많은 관련 연구를 통해 냉동 컨테이너 냉동장치에 대한 데이터베이스 구축이 요망된다.[5]

본 논문에서는 R134a와 R404A 냉매를 사용하는 냉동컨테이너용 냉동장치의 각 기종별 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기 입, 출구 냉매온도와 컨테이너 내부 공기온도를 측정하여 냉동장치의 성능 및 특성을 비교 및 분석하여 이를 통해 현존하는 냉동컨테이너 기종 중 가장 우수한 기종을 알아보는 것과 동시에 냉동컨테이너 시장에 좀 더 관심을 가질 수 있는 계기를 마련하고자 한다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

1.2 종래 연구

전술한 바와 같이, 냉동컨테이너용 냉동장치의 성능 특성 및 비교에 대한 연구는 거의 전문한 실정이다. 때문에, 냉동컨테이너용 냉동장치에 대한 확실한 이론이 확립되어 있지 않는 상태이며, 본 연구와 관련된 대표적인 종래 연구를 살펴보면, 다음과 같다.

Jolly 등[6]은 외기온도 37.8℃, 컨테이너 실내온도 -29~21℃의 조건에서 냉동컨테이너의 성능을 상세히 분석하였다. 그 결과, 냉동컨테이너용 냉동장치의 성능은 외기온도 등에 영향을 많이 받는다고 하였다.

Wild 등[7~9]은 컨테이너 실내온도 -18~13.4℃의 조건에서 냉동컨테이너의 성능을 분석한 결과, 압축기 소비동력은 4.42~8.63 kW이고, 성능계수는 실내온도와 외기온도에 따라 달라진다고 하였다.

지금까지 발표된 논문 중에서 냉동컨테이너용 냉동장치의 성능 특성 및 비교에 대한 연구는 거의 없는 것으로 판단되어지며, 본 실험에서는 6기종의 냉동컨테이너 냉동장치의 온도분포, 성능 특성 및 비교를 통해 이에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

1.3 냉동컨테이너 현황 및 동향

2000년 들어 수익성 악화로 고전하고 있는 글로벌 컨테이너 선사들은 통상 화물에서 손실을 상쇄하기 위해 냉동컨테이너의 물량수송에 새로운 관심을 보이고 있다.

컨테이너 선사들은 매일 냉동컨테이너로 60억 달러 상당을 운송하고 있다. 이 가운데 바나나가 최대의 냉장 화물이다. 이어 닭과 감귤, 생선 그리고 유제품 순으로 냉장 컨테이너 이용도가 높다. 여기에 모바일폰과 디스플레이 제품도 냉동컨테이너로 수송되고 있다.

Drewry에 따르면 냉동컨테이너 운송은 2011년 1억7천2백만 톤에서 2016년에 2억1천2백만 톤으로 증가할 것으로 예상하였다. 이는 그때까지 전 세계 인구가 74억5천만 명이 될 것으로 예상하기 때문이라는 것이다. 이 같은 인구증가 전망은 바로 냉동수요에 직접적인 영향을 미칠 것이고, 특히 수입물량이 많은 서유럽에서 수요가 많을 것으로 전망하였다.

브라질 산토스항에서 북유럽까지 일반컨테이너 수송료가 1,700달러인데 반해 냉동컨테이너로 운반해야 하는 냉동육류는 동일한 코스에 5,000달러, 러시아까지는 6,000달러로 요금이 3배 이상 비싸다. 이 같이 수익성 좋은 냉동컨테이너 수송에 가장 적극적인 선사가 덴마크의 Maersk 사이다.

Maersk 사는 2008년 이후 냉동 사업부문에 19억 달러를 투자해 지난해 냉동카고(refrigerated cargo)를 1천1백6십만 톤 수송했으며, 이 가운데 닭은 23만 톤 수송했다. 또한 매달 필리핀에서 최소 1천 박스 이상 바나나를 운반하고 있다. 이처럼, Maersk 사는 냉동컨테이너 부문에서 작년에 12%의 이익을 봤다.

세계 냉동컨테이너 운송은 1989년 기준으로 약 3000만 톤 정도인 것으로 추정된다. 바나나가 약 760만 톤, 육류가 약 600만 톤, 감귤류가 약 460만 톤으로 이들 3개화물이 전체의 60%이상을 차지했다.

컨테이너 운송은 일반 수송에 비하여 화물포장비, 해상운임, 육상수송비, 창고비, 하역비, 인건비, 사무비 등을 절감시키고, 안전도가 높기 때문에 보험요건이 완화되어 보험료가 절약되는 경제성이 있다. 앞으로도 소득수준 향상으로 점차 고급화 및 다양화되는 추세로 냉동컨테이너의 증가는 지속될 것으로 전망된다. 2008년부터 2010년까지 3년간 수, 출입 컨테이너 자료를 바탕으로 컨테이너의 종류 및 타입별로 구분하여 냉동컨테이너 화물에 대한 수출입 물동량을 살펴보았다.

다음 Table 1.2에서 보듯이, 최근 글로벌 경제위기로 인하여 2009년도 냉동컨테이너 화물의 수입 물동량은 2008년에 비해 조금 감소하였다. 또한 수입되는 냉동컨테이너 화물의 경우, 20FT에 비해 40FT가 3배가량 많은 것으로 나타났다. Table 1.3을 살펴보면 컨테이너 국내 냉동컨테이너 화물의 수출 물동량은 수입 물동량과 달리 글로벌 경제위기의 영향을 거의 받지 않고 3년간 꾸준히 증가하였다. 또한 수송기술의 발달, 냉동 기술의 발전 소비자들의 소비성향에 힘입어 냉동화물의 컨테이너 수송이 지속적으로 증가할 것으로 예상하고 있다. 이러한 현상은 2000년대 이후부터 급격히 증가하고 있는 추세이며 앞으로도 계속될 것으로 전망된다.[10]

다음 Fig 1.2는 냉동화물 운송수단의 변화를 보여준다. 유제품의 경우 90%가 컨테이너에 의하여 운송되고 있다. 또한 Fig 1.3은 냉동화물의 컨테이너 운송비율을 나타내고 있으며 점차 컨테이너에 의한 운송이 증가할 것으로 예측하고 있다. 또한 세계 주요선사들의 컨테이너선 발주량이 늘어나면서 냉동컨테이너 생산량도 증대되고 있다. 세계적으로 유통되고 있는 냉

동컨테이너는 2013년 기준으로 약 347,000 TEU이다. 이중 별치식 냉동컨테이너가 약 69,000 TEU, 내장식 냉동컨테이너가 약 278,000 TEU로 내장식 냉동컨테이너가 80%를 차지한다.

수송에 있어서도 190,000 TEU로 56%를 차지하여 일반컨테이너와 마찬가지로 냉동컨테이너 수송에 있어서도 40FT가 선호됨을 알 수 있다. 그러나 종류별로는 다소 상이한 현상을 보여 별치식 냉동컨테이너는 20FT의 비중이 압도적으로 높고 내장식 냉동컨테이너는 40FT 비중이 높은 편이다.

보유 유형별로는 선사가 약 250,000 TEU, 리스회사가 약 92,000 TEU를 보유한 것으로 나타났다. 미국이 117,000 TEU를 보유하여 1위를 차지했으며 영국, 일본, 독일 순으로 나타났으며, 우리나라는 5,800 TEU를 보유하여 9위를 기록했다. **Table 1.4**에서 나타나듯이 2001년도부터 현재까지 냉동컨테이너 생산량을 보듯이, 현재까지 생산량이 꾸준히 늘어난 것을 알 수 있다. 또한 냉동컨테이너 수송 중에 상당량이 상하거나 선도가 떨어져 선도를 오래 유지할 수 있는 냉장 컨테이너 기술 개발에 각 제조사들이 박차를 가하고 있다.

Table 1.2. Imported refer container cargo quantity

Year	20FT	40FT
2008	26,029	79,805
2009	23,175	75,686
2010	26,543	92,292

자료: 한국무역정보통신(KT-NET : Korea Trade Network)

Table 1.3. Exported refer container cargo quantity

Year	20FT	40FT
2008	15,948	22,157
2009	17,030	22,549
2010	21,044	26,425

자료: 한국무역정보통신(KT-NET : Korea Trade Network)

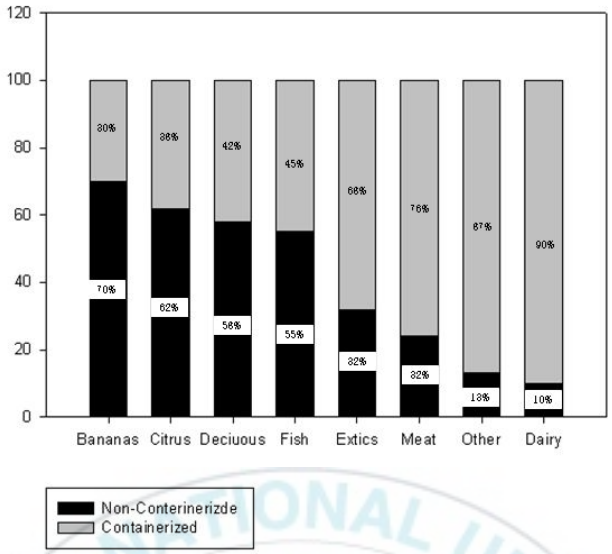


Fig. 1.2 Change of transport mode for refer container cargo

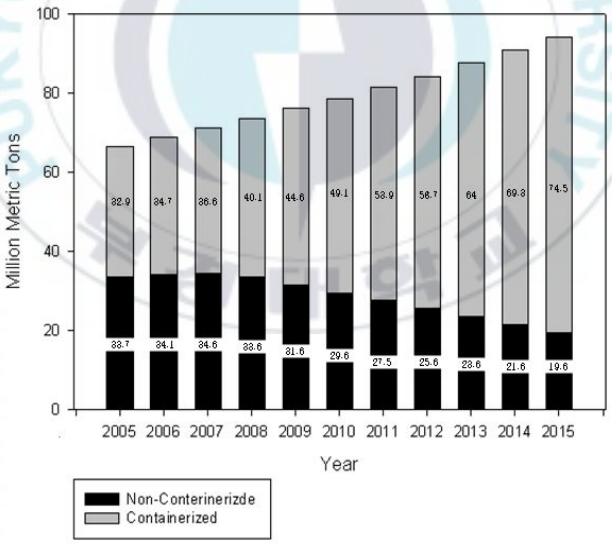


Fig. 1.3 Container transport ratio for refer container cargo

Table 1.4 Refrigerated container production per year Unit : TEU

Year	20FT	40FT	40FT(High)	Porthole	Total
2001	11,500	17,000	14,500	4,000	47,000
2002	5,000	8,500	16,000	4,000	33,500
2003	10,000	17,500	24,000	10,500	62,000
2004	12,000	13,000	28,500	4,500	58,000
2005	10,500	13,000	40,000	2,500	66,000
2006	12,500	17,000	50,500	1,000	81,000
2007	11,000	6,500	61,000	500	79,000
2008	11,000	6,500	73,000	500	91,000
2009	10,000	7,000	76,500	500	94,000
2010	11,000	4,500	74,000	500	90,000
2011	9,5000	3,000	88,000	500	101,000
2012	10,000	2,000	83,000	500	95,500
2013	16,440	15,000	96,000	10,500	137,940

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

제 2 장　실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig. 2.1 (a)～(f)는 실험에 사용된 냉동컨테이너 사진이다. **Fig. 2.1 (a)～(e)는** R134a 냉매를, **Fig. 2.1 (f)**은 R404A 냉매를 사용하는 전기 구동식 냉동장치이다. 이 장치들은 화물온도 -40℃(-40°F)～+30℃(86°F)로 유지할 수 있도록 설계되었다. 또한 -30℃(-22°F)～+50℃(122°F)의 외기 온도에서 작동할 수 있도록 설계되었다. 외부 전면 프레임은 컨테이너 끝벽으로 사용할 수 있도록 설계된 해상 사용 등급의 알루미늄 및 강철로 제작되었다.

후면 격벽은 식품 안전 규격 소재로 만들어져 있다. 이 기기들은 염분함유 공기, 바다 물보라 및 높은 습도, 좌우 요동(양쪽 진폭 30°, 13초간 지속), 상하 요동(양쪽 진폭 6°, 8초간 지속), 불변 기울기(양쪽 15°), 선박, 트럭 및 철도에서 발생할 수 있는 유형의 진동, 충격에 안정적으로 작동하도록 설계되었다.

Fig. 2.2는 냉동컨테이너 전면에서 본 각종 구성기기에 대한 상세도를 나타낸 것으로, 요소기기를 액세스 가능하도록 설계되었다. 상부의 엑세스 판넬을 통해서 증발기 부분에 접근이 가능하며, 온도 기록 상자 뒤쪽으로 각종 전자코일 및 밸브가 장치되었으며, 냉동기 아래쪽으로 압축기 및 각종 센서, 배관이 장착되어 있다. 또한 상단 또는 하단에 환기 장치의 기능은 신선한 공기의 순환이 요구되는 상품을 위해 통풍을 제공하는 것이다. 또한, 공랭식 응축기 부분은 응축기 팬, 응축기 코일, 사이트 글라스, 수액기(receiving tank), 필터-드라이어, 응축기 압력 변환기 및 가용전으로 구성

된다. 응축기 팬은 코일 아래쪽으로 공기를 빨아들인 다음 응축기 팬 그릴을 통해 수평으로 토출한다.

컨트롤 박스에는 수동 스위치, 회로차단기, 압축기, 팬 및 각종 컨텍터, 제어 변압기, 퓨즈, 키패드, 디스플레이 모듈, 전류 센서 모듈, 컨트롤러 모듈, 통신 인터페이스 모듈이 포함된다.

Fig. 2.3은 전자밸브의 상세사진, **Fig. 2.4**는 냉매 제어기기와 압축기의 상세 사진을 나타낸 것이다. **Fig. 2.4**에서 알 수 있듯이 압축기 부분에는 압축기(고압 차단 스위치 포함), 전원 케이블 보관 상자 및 자동변압기가 장치되어 있다. 또한 이 부분에는 흡입 모듈레이션 밸브(SMV), 토출 압력 조절기(DPR), 흡입관 온도 센서(SGS), 토출관 온도 센서(DCHS), 대기온도 센서(AMBS) 등이 장치되어 있다.

Fig. 2.5는 냉동컨테이너 내부에서 본 각종 구성기기를 나타낸 것이고, **Fig. 2.6**은 상세 사진을 나타낸 것이다. **Fig. 2.5**에서 알 수 있듯이 증발기 부분에는 증발기 팬(EM1 및 EM2), 증발기 코일, 그리고, 각종 센서가 부착되어 있다. 증발기 팬은 컨테이너 유닛 상부의 공기를 뽑아서 냉각된 증발기 코일을 통과하도록 보낸다. 그리고 냉동기 유닛 하부를 통해 토출하도록 하여 컨테이너 전체의 공기를 순환시킨다. 증발기 구성요소는 컨테이너 상단 후면 패널을 떼어내면 접근할 수 있다.

Fig. 2.2에서 냉동기 내 냉매 흐름을 살펴보면 ㉑번의 압축기(compressor)로 흡입된 가스는 고온, 고압으로 압축된다. 가스는 토출 서비스 밸브를 통해 압력 조절 밸브로 들어간다. 이때, 대기온도가 낮은 작동기간 중에 압력 조절 밸브는 냉매의 유량을 제한하여 토출 압력을 최저로 유지한다. 그런 다음 냉매 가스는 ⑪번의 공랭응축기(condenser)로 유입되어 코일 핀과 튜브 주위를 흐르는 공기에 의해 가스를 포화 온도로 냉각시

킨다. 가스 잠열이 제거됨으로써 고온, 고압 액체로 응축되어 ⑬번 수액기(receiving tank)로 흘러 들어가게 되며, 다음 사이클의 저온 작동에 사용될 때까지 저장된다.

액체 냉매는 액관 서비스 밸브를 통과해 ⑭번 드라이어(drier)를 거치면서 냉매 속의 수분을 분리시키며, 여과기(strainer)를 거치면서 고형의 이물질을 제거한다. 액상 냉매는 ⑧번 전자팽창밸브(electronic expansion valve)에 의해 감속되고, 그 압력도 증발압력에 의해 감압된다. 저온저압의 냉매는 **Fig. 2.5**에서 ②번 증발기(evaporator) 코일을 지나면서 기화되고, 이때 컨테이너 내부의 공기로부터 열을 흡수하여서 그 공기의 온도를 낮춘다. 그 냉매는 증발기 코일에서 완전히 기화되고 증발기를 떠날 때 과열상태가 된다.

Fig. 2.7은 냉동컨테이너 내 냉매 흐름에 상세도를 나타낸 것으로, 이를 참고하면 냉동기내의 냉매 흐름을 알 수 있다. 그 외 냉동기에는 각종 센서 및 모터, 팬, controller로 구성되며 증발기 출구 배관에서 냉매의 온도와 압력을 감지하여 냉매의 과열도를 계산한다. 이때 얻어진 정보에 따라 전자식 팽창밸브의 개도가 조절되고, 증발기에 흐르는 냉매의 양을 최적의 상태로 항상 유지한다.

(a) Thermoking(R134a)

(b) Carrier

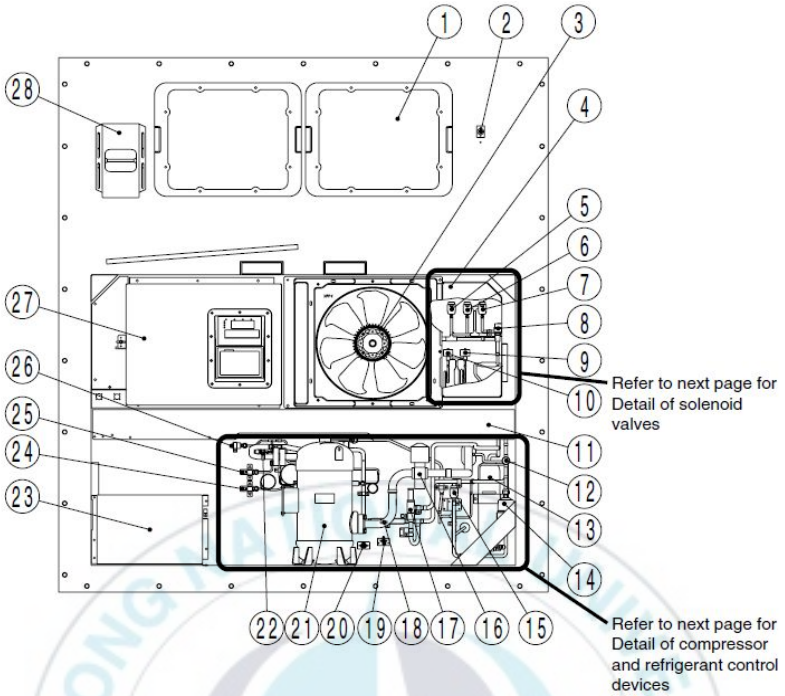
(c) Daikin

(d) Star Cool

(e) Mitsubishi

(f) Thermoking(R404A)

Fig. 2.1 Refrigerated containers of various cooperations used in this study.



① Access panel	⑯ Suction modulating valve(SMV)
② Thermometer check port(Return air)	⑰ Discharge pressure regulating valve(DPR)
③ Condenser fan motor(CFM)	⑱ Compressor suction pope temperatrue sensor(SGS)
④ Temperature recorder box	⑲ Amient temperature sensor(AMBS)
⑤ Hot_gas solenoid valve(HSV)	⑳ Thermometer check port(Supply air)
⑥ Defrost solenoid valve(DSV)	㉑ Compressor(MC)
⑦ Discharge gas by-pass solenoid valve(BSV)	㉒ Discharge pipe temperature sensor (DCHS)
⑧ Electronic expansion valve(EV)	㉓ Storage space for power cable
⑨ Econornizer solenoid valve(ESV)	㉔ Low pressure transducer(LPT)
⑩ Injection solenoid valve(ISV)	㉕ High pressure transducer(HPT)
⑪ Air-cooled condenser	㉖ High pressure switch(HPS)
⑫ Liquid moisture indicator	㉗ Control box
⑬ Liquid receiver	㉘ Ventilator.
⑭ Dryer	
⑮ Liquid solenoid valve(LSV)	

Fig. 2.2 Schematic of Refrigerated container

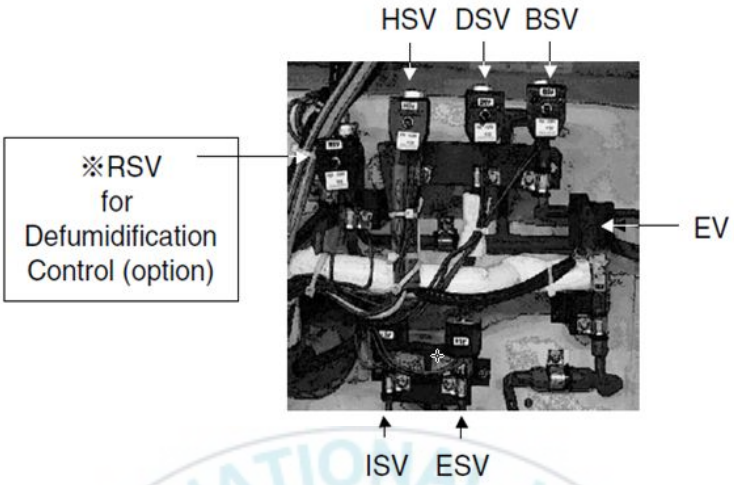


Fig. 2.3 Detail of solenoid valves

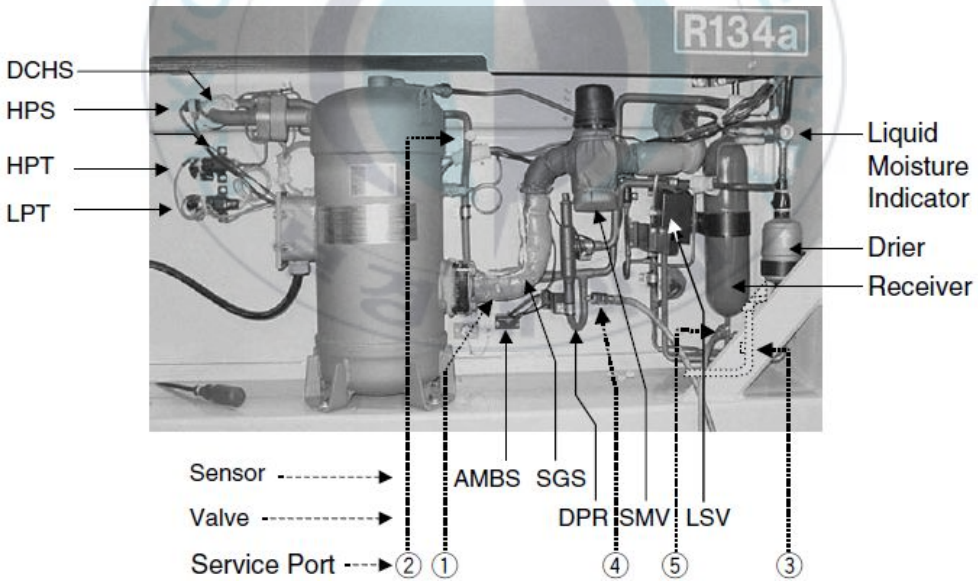
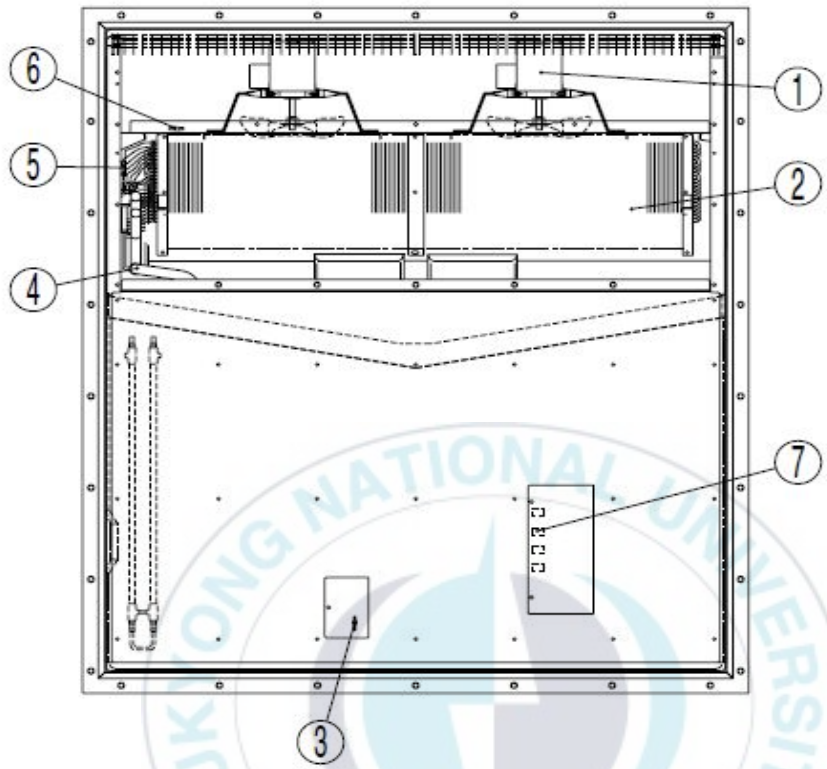


Fig. 2.4 Detail of compressor and refrigerant control devices



① Evaporator fan motor(EFM)

② Evaporator

③ Supply air temperature sensor(SS)

Data recorder supply air temperature sensor(DSS)

Recorder supply air temperature sensor(RSS, optional)

④ Evaporator outlet pipe temperature sensor(EOS)

⑤ Evaporator inlet pipe temperature sensor(EIS)

⑥ Return air temperature sensor(RS)

Data recorder return air temperature sensor(DRS, optional)

Recorder return air temperature sensor(DRS, optional)

⑦ USDA receptacle(optional)

Fig. 2.5 Schematic of refrigerated container inside

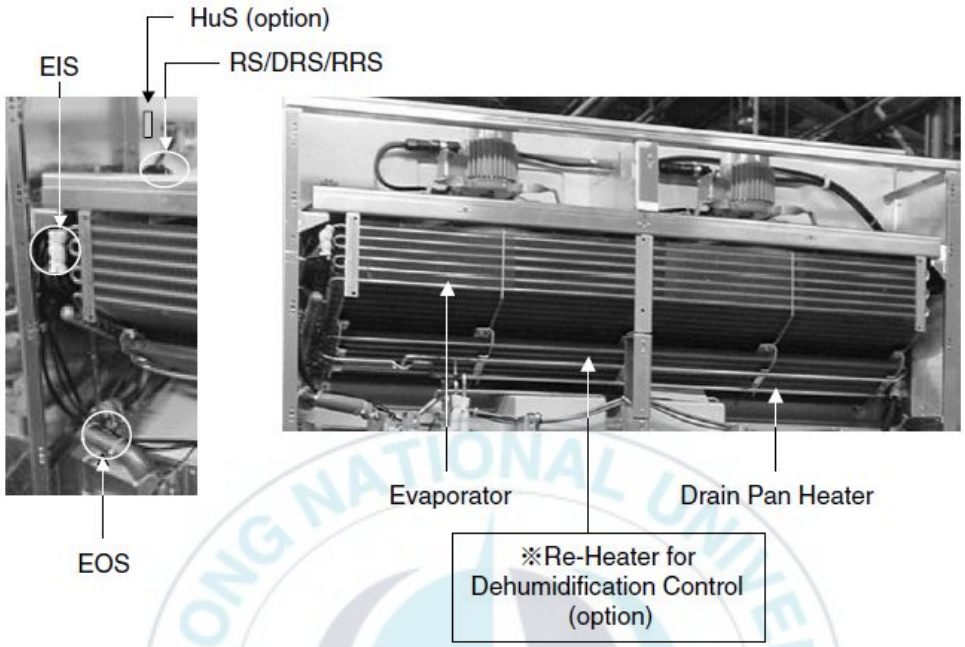


Fig. 2.6 Photograph of evaporator inside refrigerated container

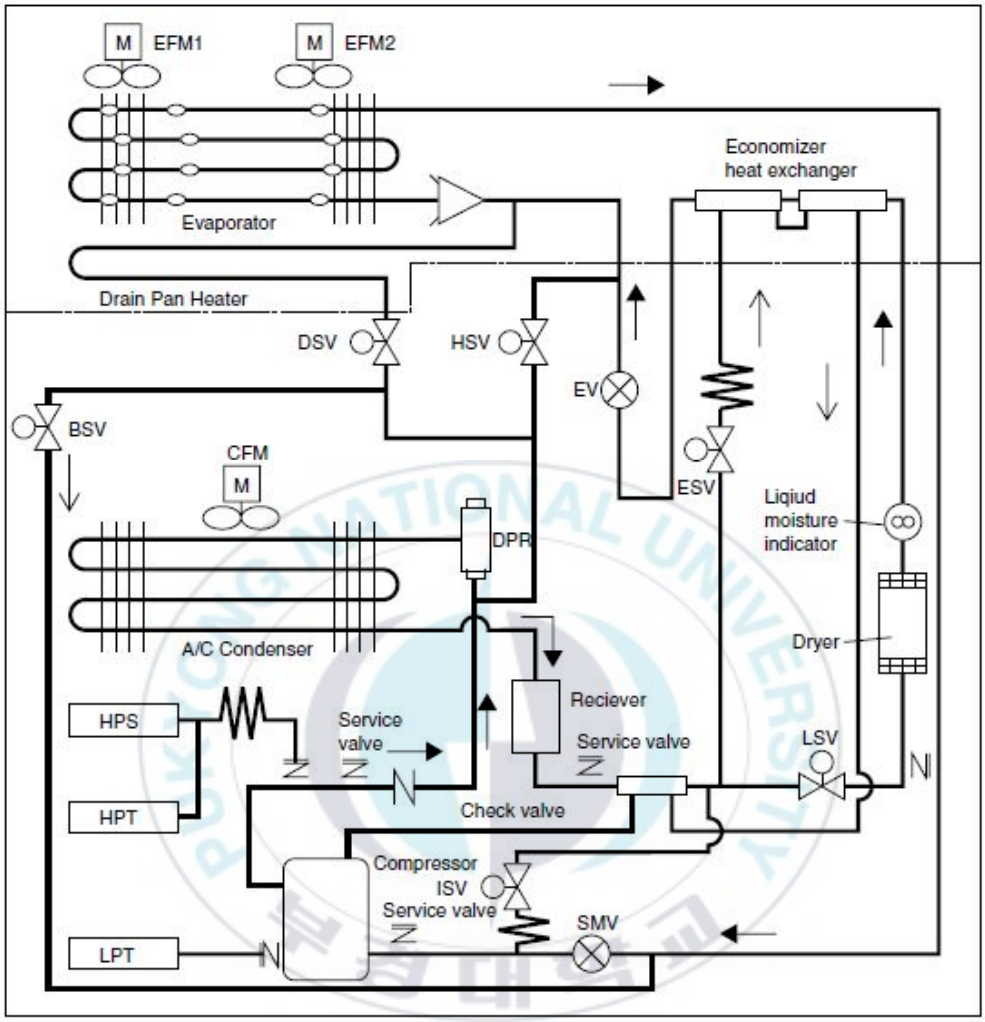


Fig. 2.7 Flow chart of refrigerant in refrigerated container

2.2 냉동기 운전

냉동컨테이너 운전은 실내 온도에 따라 Table 2.1에서와 같이 4가지 모드로 나누어진다. 기종에 따라 그 기준 온도에는 차이가 있으나, Daikin 기종을 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

Table 2.1 Relationship between the operation mode and setting temperature

Operation mode	Setting temperature	Control sensor	Operation description
Frozen mode	-10.1℃ ~ -30℃	Return air temperature sensor	Compressor ON/OFF control
Partial frozen mode	-3℃ ~ -10℃	Return air temperature sensor	Capacity control operation with suction modulating valve and hot-gas bypass control
Chilled mode	+25℃ ~ -2.9℃	Supply air temperature sensor	Capacity control operation with suction modulating valve and hot-gas bypass control
Defrosting mode	-	-	Hot-gas defrosting with refrigerant metering control

(1) 동결운전

1) 설정온도와 제어 센서 : 설정온도(이하 SP)가, -10.1℃ 또는 그 이하의 경우, 흡입공기온도에 의해, 압축기의 ON/OFF 운전을 실시한다.

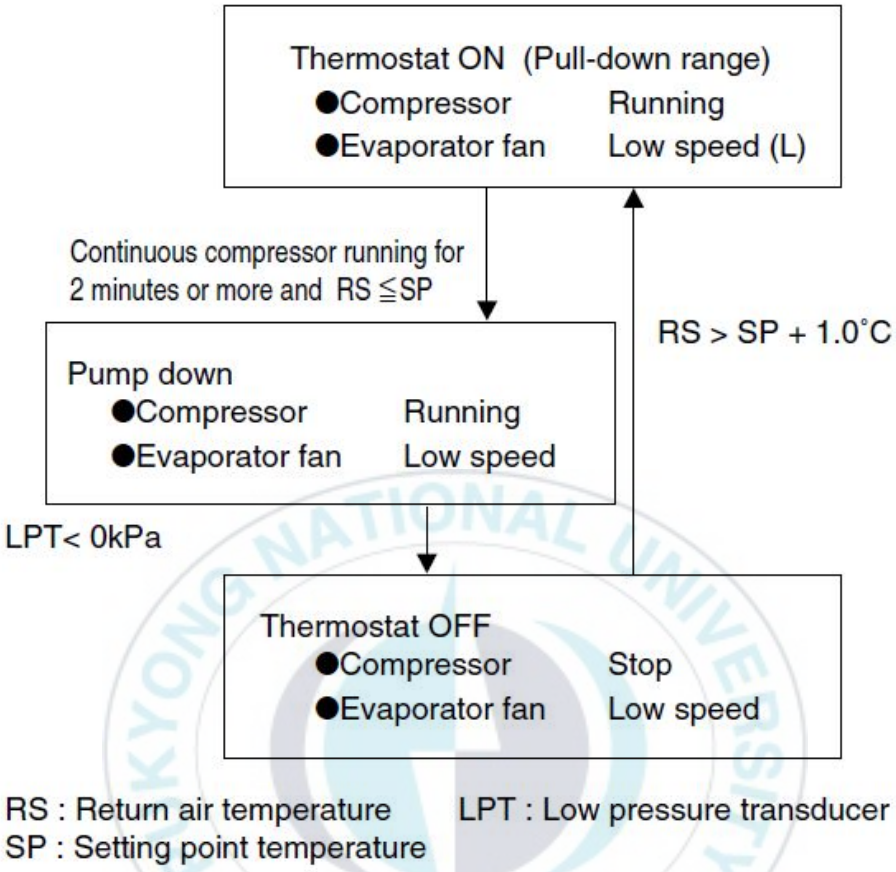


Fig. 2.8 Operation procedure for frozen mode of refrigerated container

2) 제어 : 제어온도가 SP(A점)이 되면 Liquid solenoid 밸브를 OFF로하고, 펌프다운 운전 후, 압축기 및 응축기 팬은 OFF로 된다.

제어온도가 SP+1℃보다 올라가면 압축기, Liquid solenoid 밸브, 응축기 팬이 ON으로 된다. 일단 압축기 ON이 되면, 2분간 운전을 한다. 압축기 ON에서 2분 이내에 제어온도가 SP이하(C점)가 되어도, 압축기, 응축기 팬, Liquid solenoid 밸브는 OFF되지 않는다. (압축기 2분 강제운전)

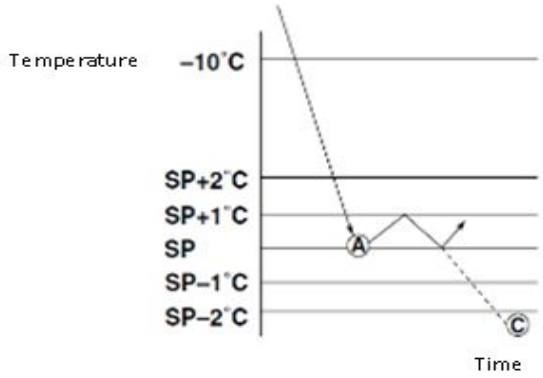


Fig. 2.9 Relationship of set point temperature and control sensor

Table 2.2 Operation of magnetic contactor and solenoid valve

Component name			Thermostat ON	Pump down	Thermostat OFF
Magnetic contactor	Compressor	CC	ON	ON	OFF
	Evaporator fan(High)	EFH	OFF	OFF	OFF
	Evaporator fan(Low)	EFL	ON	ON	ON
	Condenser fan	CF	ON/OFF	ON/OFF	OFF
Solenoid valve	Liquid solenoid valve	LSV	ON	OFF	OFF
	Economizer solenoid valve	ESV	ON(OFF)	ON(OFF)	OFF
	Injection solenoid valve	ISV	OFF(ON)	OFF(ON)	OFF
	Hot-gas solenoid valve	HSV	OFF	OFF	OFF
	Defrost solenoid valve	DSV	OFF	OFF	OFF
	Discharge gas by-pass solenoid valve	BSV	OFF	OFF	OFF
Suction modulating valve		SMV	100%		
Electronic expansion valve		EV	10~100%		

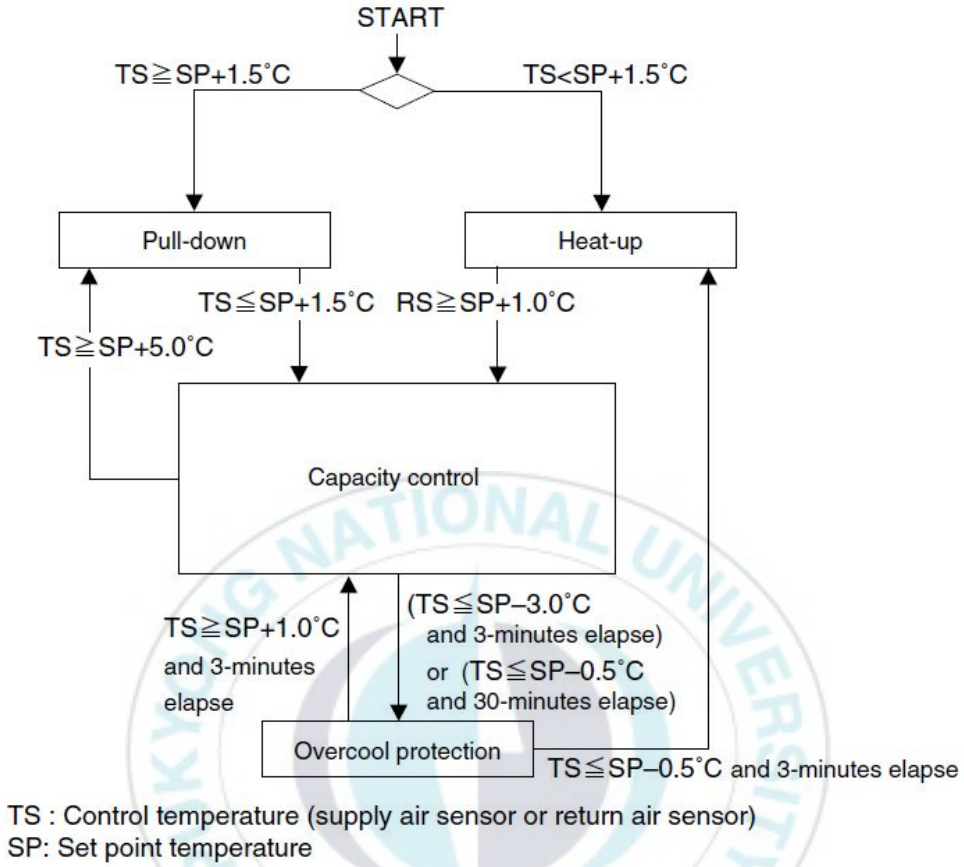


Fig 2.10 Operation procedure for chilled and partial frozen mode of refrigerated container

(2) 냉장운전, 부분 동결운전

1) 설정온도와 제어 센서

① 냉장운전 : 설정온도가 -2.9℃이거나 그 이상의 경우, 토출된 공기 온도에 따라 흡입 모듈레이팅 밸브를 제어하는데 이는 냉동 능력을 조정하기 위함이다.

② 부분 동결 운전 : 설정온도가 -3℃～-10℃의 경우, 흡입 공기온도에 따라 흡입 모듈레이팅 밸브를 제어하는데 이는 냉동능력을 조정하기 위함이다.

③ 운전 모드의 변경 : 운전 모드의 변경은 전자 컨트롤러의 설정수치에 의하여 자동적으로 실시된다. 냉장운전과 부분 동결 운전은 온도 제어 센서 이외는 완전히 같은 제어를 실시한다.

2) 제어상태의 설명

① 풀다운(full down) 운전 : 고내온도가 설정온도보다 +1.5℃이상 높을 경우(①점) 에는 흡입 모듈레이팅 밸브를 완전개방으로 풀다운 운전을 실시한다.

② 능력제어 운전 : 제어온도가 ②점이 되면 인레인지(in range) 램프가 ON으로 되고, 동시에 흡입 모듈레이팅 밸브 동작을 하여 능력 제어 운전을 실시한다. 제어온도는 상승, 하강을 반복하면서 설정온도 ③점에서 안정된다. 능력제어 중 냉매계통의 운전 상태를 적절하게 지키기 위해서 각종 옵션 밸브들이 작동한다.

③ 히트 업(heat up) 운전 : 제어온도가(설정온도 +1.5℃)보다 낮은 경우(④점)에 핫 가스에 의한 히트 업 운전을 실시하고, 흡입온도가 설정온도 +1.5℃이상(⑤점)까지 올린다.

④ 과냉각방지 운전 : 안정된 상태라도 외기온도 등에 따라 제어온도가 설정온도 -3℃보다 낮아진 경우(⑥점) 압축기를 정지하고, 증발기 팬만 운전을 한다.

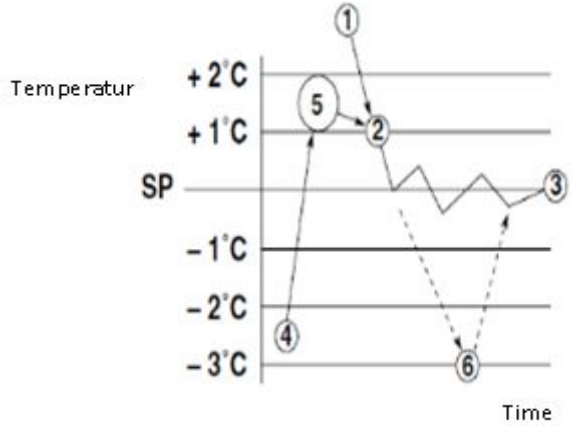


Fig. 2.11 Relationship of set point temperature and control sensor

Table 2.3 Operation of magnetic contactor and solenoid valve

Component name			Pull-down	Capacity control	Heat-up	Overcool protction
Magnetic contactor	Compressor	CC	ON	ON	ON	OFF
	Evaporator fan(High)	EFH	ON	ON	ON	ON
	Evaporator fan(Low)	EFL	OFF	OFF	OFF	OFF
	Condenser fan	CF	ON/OFF	ON/OFF	ON/OFF	OFF
Solenoid valve	Liquid solenoid valve	LSV	ON	ON	OFF	OFF
	Economizer solenoid valve	ESV	OFF	OFF	OFF	OFF
	Injection solenoid valve	ISV	ON(OFF)	ON/OFF	ON/OFF	OFF
	Hot-gas solenoid valve	HSV	OFF	ON/OFF	ON	OFF
	Defrost solenoid valve	DSV	OFF	ON/OFF	ON	OFF
	Discharge gas by-pass solenoic valve	BSV	OFF	ON/OFF	OFF	OFF
Suction modulating valve		SMV	100%	3~100%	100%	100%
Electronic expansion valve		EV	10~100%	10~100%	0%	50%

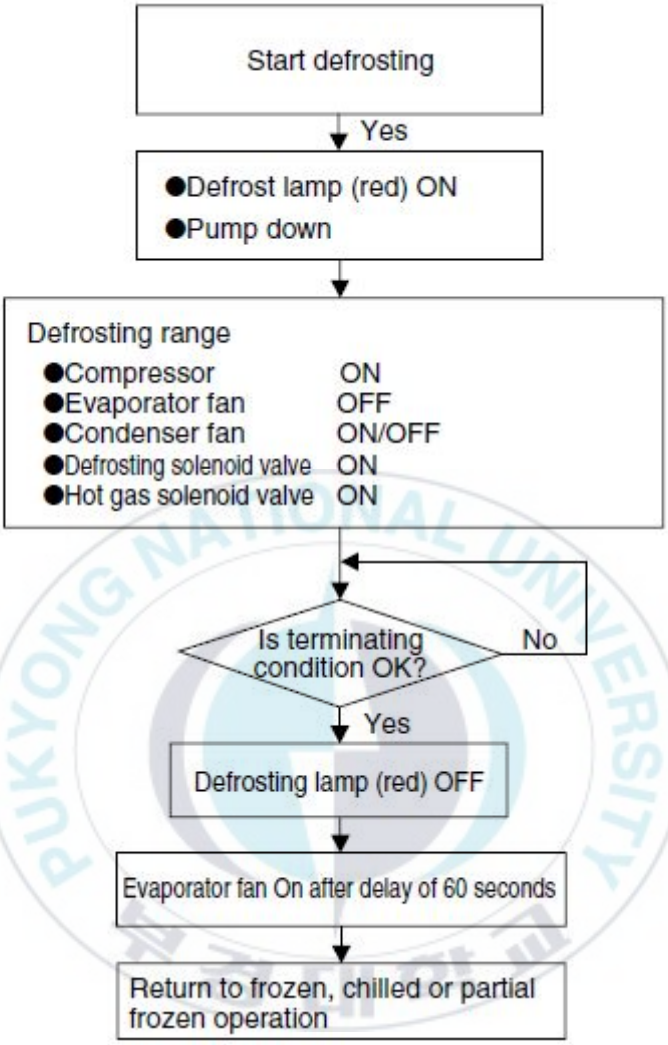


Fig. 2.12 Operation procedure for defrosting mode of refrigerated container

(3) 제상운전

1) 제상 시스템 : 냉동기의 종류에 따라 핫 가스 제상 시스템, 히터에 의한

Table 2.4 Operation of magnetic contactor and solenoid valve

Component name			Pump down	Defrosting
Magnetic contactor	Compressor	CC	ON	ON
	Evaporator fan(High)	EFH	ON/OFF	OFF
	Evaporator fan(Low)	EFL		
	Condenser fan	CF	ON/OFF	ON/OFF
Solenoid valve	Liquid solenoid valve	LSV	OFF	OFF
	Economizer solenoid valve	ESV	ON/OFF	OFF
	Injection solenoid valve	ISV	OFF(ON)	ON/OFF
	Hot-gas solenoid valve	HSV	OFF	ON
	Defrost solenoid valve	DSV	OFF	ON
	Discharge gas by-pass solenoid valve	BSV	OFF	OFF
Suction modulating valve		SMV	100%	100%
Electronic expansion valve		EV	10~100%	0%

제상 시스템으로 나누어진다. 우선, 핫 가스 제상은 압축기에서 압축된 고온의 냉매를 증발기 및 드레인 팬으로 보내어 제상을 실시한다. 반면에, 히터에 의한 제상 시스템은 증발코일 아래 부분에 설치된 히터에 의해 제상이 이루어진다.

2) 제상의 개시

Table 2.5 Initiation by timer

Type of timer	Defrosting interval set	Function
Long timer	3, 6, 9, 12, 24, 99※1 hours are selectable	Regardless of the control temperature. defrosting is initiated according to the selected interval
Short timer	4※2 hours	Defrosting is initiated every 4 hours until the control temperature comes within the in-range after pull-down.. When the temperature in in-range, defrosting timer will change into the selected long timer
Out-range timer	30 minutes	After the control temperature comes within in-range once, defrosting will be started 30 minutes later if the control temperature rises out of the in-range.

※1: On-demand defrost 제상 선택 (냉동 모드에서 12시간, 냉장 모드에서 6시간 자동으로 설정된다.)
※2: 제어온도가 -20℃이하가 되면 6시간이 된다.

제상의 개시는 타이머 또는 수동 실시한다. 단, 증발기 착상상태를 확인하여, 착상이 없는 경우는 제상을 개시하지 않는다.

★ 증발기 입구온도 : 5℃이상 (냉장운전 중)

★ 증발기 출구온도 : 20℃이상

① 타이머에 의한 개시(컨트롤러에 의한 설정)

② 수동제상 키에 의한 개시 (패널 조작 시트 키) : 수동 제상키를 누르고 LED화면에 “ON″ 을 표시하고 Enter/ESC 키를 누르면 제상을 개시한다.

③ 착상 확인에 의한 개시 : 풀다운 동결운전 중, 흡입공기온도가 0.2℃/hr 이상 내려가지 않으면 증발기는 착상하고 있다고 판단하여 제상을 개시한다. 단 흡입공기온도가 -20℃이하의 경우는 제상을 개시하지 않는다.

(3) 제상의 종료

Table 2.6 Defrosting termination

Status before defrost	Termination
INRANGE	EOS≧30℃
OUTRANGE	EOS≧30℃+RS/DRS≧15℃

제상은 다음 3개의 조건 중의 하나가 성립한 경우는 종료한다.

1) 제상 중에 Table 2.6의 조건을 만족하는 경우

2) 90분경과 한 경우

3) 보호 장치가 작동한 경우

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

2.3 실험 방법 및 조건

실험장치 준비가 되었으면, 냉매를 회수하고, 6기종 모두 4 kg 냉매를 충전시킨다.

(1) 매니폴드게이지의 설치 및 제거

1) 매니폴드게이지 설치

Fig. 2.13에서와 같이 퀵 조인트를 서비스포트에 장착하고 “찰칵” 하고 소리가 날 때까지 확실히 A부를 누른다.

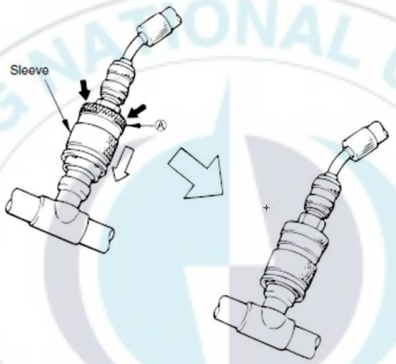
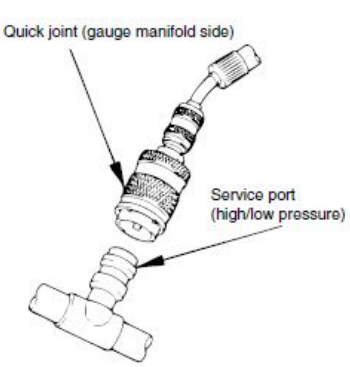


Fig. 2.13 Attaching the gauge manifold

※ 주의사항

- 이물질, 수분의 침입을 방지하기 위해 일상 점검시는 매니폴드게이지의 사용을 가능한 한 피하고 컨트롤러의 기능에 포함된 압력표시기능을 사용한다.
- 이상냉매, 냉동기유 혼합방지를 위해, 지금까지 사용하고 있는 CFC12용의 압력계, 매니폴드게이지, 충전호스, 충전실린더를 사용해선 안된다.
- **Fig. 2.14**에서와 같이 퀵 조인트 방식을 사용하여 서어비스성을 향상시



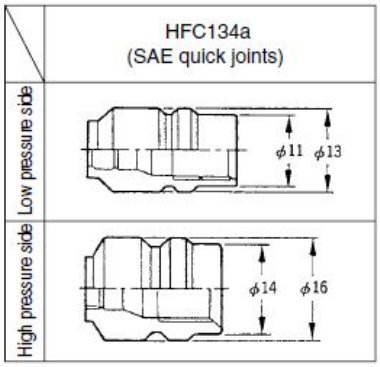


Fig. 2.14 Quick joint system

킨다.

- 접속할 때, 배관이 굽어지지 않도록 주의한다.
- 접속시 서비스포트에 결합되지 않고 슬리브가 이동한 경우는, 슬리브를 원래의 위치에 되돌려 재접속한다.
- 접속시 충전호스 안의 냉매가 남아있으면 결합하기 어려운 경우도 있다. 이런 경우 호스 안의 남은 압력을 제거하고 접속한다.

2) 매니폴드게이지를 떼어내는 경우

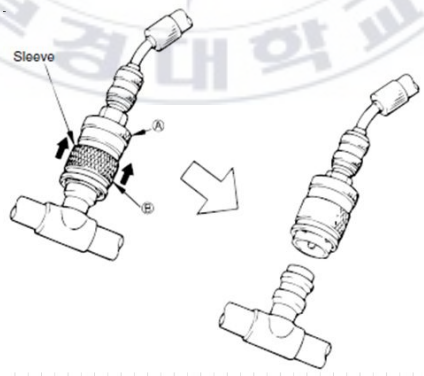


Fig. 2.15 Removal of gauge manifold

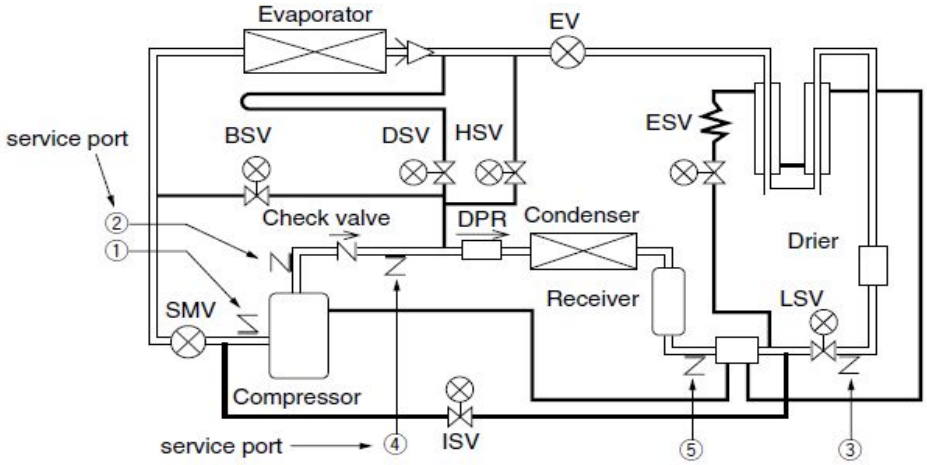


Fig. 2.16 Schematic diagram

Table 2.7 Refrigerant recovery and charge

Item		Service port	Content
Operation pressure check	high pressure	②	
	low pressure	①	
Refrigerant charge (R134a : 4 kg)	Refrigerant recovery	⑤	Recover refrigerant from port ⑤ after operating. Automatic Pump-Down first
		④, ⑤	Recover completely the refrigerant left in the unit port④ & ⑤.
	Vacuum	④, ⑤	After recovering, vacuum from port ④ & ⑤
	Refrigerant charge	⑤ → ③	After vacuuming, charge liquid refrigerant from ⑤ first and them from ③
		①	If not reached to the specified amount 4kg, go to next below
			1. Operate Automatic Pump-Down first and stop it using ON/OFF switch after the compressor stops during the Auto pump down operation 2. Charge liquid refrigerant from port③

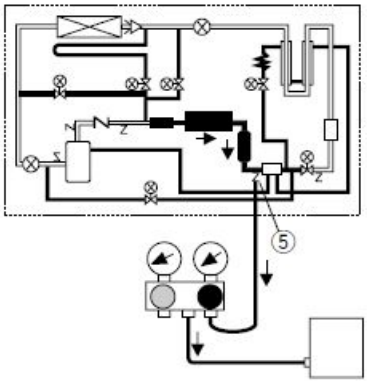


Fig. 2.17 Refrigerant recovery

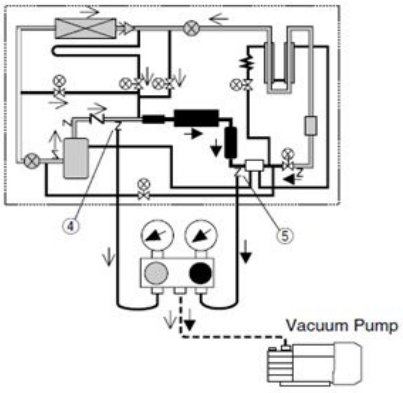


Fig. 2.18 Vacuum drying refrigeration unit.

퀵 조인트의 A부를 고정시키며, B부(슬리브)를 위로 슬라이드 시킨다.

(2) 냉매의 회수 및 충전

1) 냉매의 회수

① 자동 펌프다운 및 수동 펌프다운을 행한다.

② 서비스포트 ⑤부터 냉매를 회수한다.

③ 서비스포트 ④, ⑤를 사용하여 완전히 냉매를 회수한다.

2) 진공건조 또는 냉매충전

냉동기의 냉매는 없고 공기가 유입된 경우는 원인을 제거한 후 진공건조를 실시하여 냉매를 규정량만큼 다시 충전할 필요가 있다.

① 진공건조 : 진공 펌프를 수액기 출구배관의 서비스포트 ④와 토출압력 조정밸브 입구의 서비스포트 ⑤에 연결하면 진공 76 cmHg 이상의 진공이 된다. 냉매계통을 진공으로 한 그대로 진공 펌프를 뺀다. 단, 냉매계통

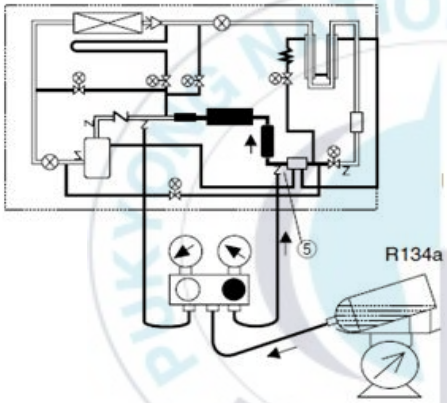
내의 공기가 들어온 경우는 76 cmHg 까지 도달한 후, 2시간이상 진공상태로 둔다.

② 공병중량의 기록 : 펌프를 저울 위에 신고 공병의 중량을 기록한다.

③ 액냉매의 충전

ⓐ 진공건조 후, 서비스 포트 ⑤부터 액냉매를 충전한다. (규정량의 약 50%까지 충전한다.)

ⓑ 매니폴드게이지 호스를 포트 ⑤에서 ③으로 변경하여 액냉매를 추가 충전한다. 규정량 냉매가 충전되면 공병의 코크를 박는다.



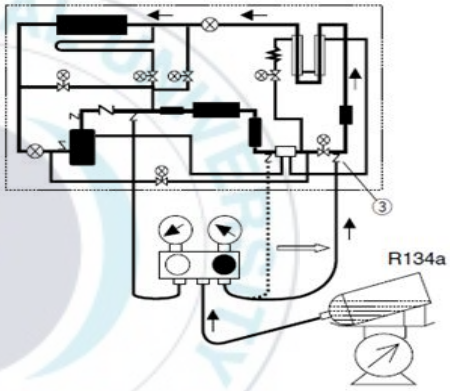
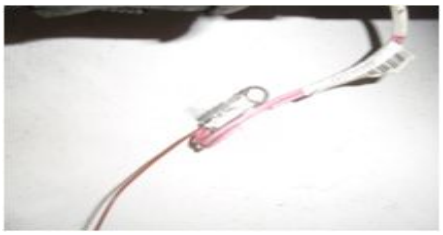


Fig. 2.19 Liquid refrigerant charge (Ⅰ) Fig. 2.20 Liquid refrigerant charge (Ⅱ)

(3) 열전대 설치

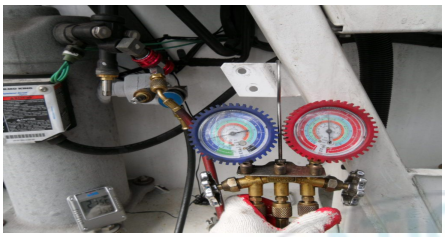
Fig. 2.21은 각 부위에 열전대 센서를 설치한 실제 사진이다. 측정부에 열전대 센서를 모두 부착한 후, 냉동기 SP(Setting Point) -25℃를 설정한다.

냉동기를 작동시켜 흡입공기 온도 0℃가 될 때까지 기다린다. 이후 측정은 흡입공기 온도 0℃부터 5분 단위로 측정한다. 열전대 설치 후 실제



(a) Ambient sensor

(b) External air outside



(c) Compressor pressure

(d) Compressor

(e) Expansion sensor

(f) Discharge sensor

(g) Supply sensor

(h) Compressor Pressure

(i) Condenser sensor

(j) Sensors on a laptop connections

Fig. 2.21 Thermocouple location for each component

부착된 Sensor와 온도차가 없도록 설치한다.

본 실험은 다음과 같은 순서에 의해 진행하였다.

1) 진공펌프를 시스템의 충전포트에 연결하여 시스템 내부를 진공상태로 만든다.
2) 시스템 내부에 잔류공기 등 불순물을 제거하는 퍼지 과정을 2회 실시한다.
3) 각 기종별 냉매를 주입한다.
4) 냉동기 SP을 -25℃ 설정 후 냉동기를 가동시켜 Return sensor 온도가 0℃까지 가동시킨다.
5) 시스템이 정상상태에 도달하면, 계측기로부터 측정부의 온도, 압력, 유량 등의 데이터를 2시간 동안 5분 단위로 측정한다.
6) 상기의 순서대로 모든 기종별로 실험을 실시한다.

본 실험에 대한 운전 조건은 아래 Table 2.8과 같다.

Table 2.8 Experimental conditions

Parameter	Values
Ambient temperature	12°C ± 1°C
Refrigerants	R134a & R404A
Charged refrigerant amount	4 kg
Container inner setting temperature	-25°C
Container size	40FT
Power supply	AC3-Phase 38V/400V 50Hz, 440V/460V 60Hz
Compressor	17.6~21 Amps
Evaporator motor	High : 2850~3450 rpm, Low : 1425~1750 rpm
Condenser motor	0.43~0.75HP, 1425~1725 rpm

2.4 데이터 정리

냉매의 열물성값 계산은 NIST에서 개발한 냉매 물성계산 프로그램인 REFPROP[11]를 이용하였고, 냉동컨테이너 냉동 시스템의 성능 특성을 파악하기 위한 실험 데이터 분석은 아래의 식을 이용하여 계산하였다. 냉동시스템의 성능 계산에는 냉동능력(증발열량), 압축일량, 성능계수 등이 중요하다. 우선, 각 냉동기의 냉동능력($Q_{eva,ref}$)는 냉매순환량(G), 증발기 입구와 출구의 엔탈피차를 이용하여 계산한다.

$$Q_{eva,ref} = G \cdot (h_{eva,inlet} - h_{eva,outlet}) \quad (1)$$

압축일량($w_{comp,ref}$)은 냉매순환량과 압축기 입, 출구 엔탈피차로 아래와 같이 계산한다.

$$w_{comp,ref} = G \cdot (h_{comp,inlet} - h_{comp,outlet}) \quad (2)$$

응축열량($Q_{con,ref}$)는 냉동능력과 마찬가지로 다음의 식 (3)로 계산한다.

$$Q_{con,ref} = (w_{comp,ref} + Q_{eva.ref}) \quad (3)$$

따라서, 냉동컨테이너용 냉동시스템의 성능계수(COP)는 다음과 같이 계산한다.

$$COP = \frac{Q_{eva,ref}}{W_{comp,ref}} \quad (4)$$

여기서, 압축기 소요동력(w)는 냉매순환량과 압축기 입구와 출구 엔탈피 차를 이용하여 계산할 수 있으나, 보다 더 정확한 값을 위해서 압축기 입력 전력을 측정하여 구하였다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

제 3 장 결과 및 고찰

3.1 냉매 온도 분포

냉동컨테이너용 냉동기의 성능 특성을 분석을 위해, 우선 각 부분에서 측정한 냉매 온도를 이용하여 온도 분포를 살펴보았다. 즉, 서로 다른 압축기를 사용하는 6종류의 냉동컨테이너용 냉동사이클의 온도 분포를 얻기 위해서 **Table 2.8**의 운전조건에서 실험하였다.

Fig. 3.1은 6종류의 냉동컨테이너 냉동장치의 압축기 입구 온도 분포를 나타낸 것이다. 그 결과, **Fig. 3.1**에서 알 수 있듯이, 압축기 입구 최초 측정 온도에서 모든 기종이 -0.9℃~-5.1℃를 나타내었다. 그 중에서, Star Cool 기종이 -0.9℃ 가장 높은 온도를 나타내고, 약 10분경과 후는 Thermoking(R404A) 기종이 가장 낮은 -14.8℃을 나타내었으며, Daikin, Carrier 기종이 -11.2℃, -12℃를 나타났다. 30분경과 후 여전히 Daikin, Carrier 기종이 약 -18℃의 낮은 온도, Thermoking(R134a) 기종이 -11.7℃의 가장 높은 온도를 나타냈으며, 1시간 경과 후 Thermoking(R404A) 기종은 이미 목표온도에 도달해 작동을 멈추었으며, 나머지 기종들은 안정권에 접어들어 거의 일정한 수치를 나타냈다.

Fig. 3.2는 6종류의 냉동컨테이너 냉동장치의 압축기 출구 온도 분포를 나타낸 것이다. Thermoking(R404A) 기종이 가장 낮은 48.2℃, Mitsubishi 기종이 가장 높은 73.8℃, 그 외 나머지 기종들은 60℃중반 온도로 시작해서서히 증가하여 1시간 이후로는 거의 일정한 경향을 보였다. 목표 온도 도달시점 결과로는 Thermoking(R404A) 기종이 가장 낮은 54.6℃를 나타

내며, 그 외 기종들은 76.6℃~89℃의 온도를 나타냈다. Mitsubishi 기종이 89℃로 가장 높은 온도를 나타냈다.

Fig. 3.3은 냉동장치의 응축기 입구 온도 분포를 나타낸 것이다. 응축기 입구온도를 살펴보면, 압축기 출구 온도 결과와 비슷한 경향을 나타냈다. Thermoking(R404A) 기종이 가장 낮은 44℃, 그 밖의 기종들은 56.2℃~71.4℃ 온도를 시작으로 71.9℃~87.8℃를 나타냈으며, 그 중 Mitsubishi 기종이 87.8℃로 가장 높은 온도를 나타냈다.

Fig. 3.4는 응축기 출구 온도 분포를 나타낸 것이다. 측정시작 온도는 19.6℃~28.3℃의 온도였으며, 이후 23.8℃~41.2℃의 온도분포를 나타냈으며, 그 중 Carrier 기종이 41.2℃로 가장 높은 온도를 나타냈다.

입, 출구 온도차는 Mitsubishi 기종이 가장 큰 51.8℃의 온도를 나타냈으며, Thermoking(R404A) 기종이 28.9℃로 가장 적은 온도를 나타냈다..

Fig. 3.5는 6종류의 냉동컨테이너 냉동장치의 팽챙밸브 입구 온도 분포를 나타낸 것이다. Thermoking(R404A) 기종은 15℃~16℃로 비교적 일정한 온도분포를 나타냈으며, 나머지 기종들은 18℃~21℃를 사이의 온도분포를 나타냈다. 30분경과 후 22℃~27℃의 비슷한 온도분포를 나타냈으며, 목표온도 도달 시점에 Carrier 기종이 34.3℃로 가장 높은 온도, Thermoking(R404A) 기종이 가장 낮은 15℃를 나타냈다.

Fig. 3.6은 6종류의 냉동컨테이너 냉동장치의 팽챙밸브 출구 온도 분포를 나타낸 것이다. Star Cool 기종이 -4.8℃로 가장 높은 온도, Mitsubishi 기종이 가장 낮은 -14℃를 나타냈으며, 40분경과 후 R134a 냉매를 사용하는 5기종은 -22℃~-25℃로 비슷한 온도를 나타냈다. 최종 측정 시 온도는 Thermoking(R404A) 기종이 -37.5℃로 가장 낮은 온도를 나타냈으며, 그 외 나머지 5기종은 -29℃~-32.9로 거의 비슷한 온도 분포를 나타냈다.

Fig 3.7은 6종류의 냉동컨테이너 냉동장치의 증발기 입구 온도 분포를 나타낸 것이다. 증발기 입구온도의 경우는 Carrier, Thermoking(R134a), Star Cool 3기종이 최초 측정 온도가 -10℃이상 나머지 기종은 -10℃이하의 온도를 나타냈으며, 이후 Carrier, Thermokin(R134a) 약 25분, Star Cool 기종은 약 40분이 지난 후 -20℃이하의 온도를 나타냈다. Mitsubishi 기종은 -12.2℃로 가장 낮은 온도로 측정을 시작했으나, 30분 이후 -20℃ 이하의 온도를 나타냈으며, 최종온도는 -28.2℃～-35.1℃로 6기종 모두 비슷한 온도 분포를 나타냈다.

Fig. 3.8은 6종류의 냉동컨테이너 냉동장치의 증발기 출구 온도 분포를 나타낸 것이다. 증발기 출구 온도 변화는 높은 온도 -0.9℃로 측정이 시작된 Star Cool 기종은 40분 이후 -20℃이하의 온도를 나타냈으며, 나머지 5기종은 -4.2℃～-7.9℃ 사이의 온도를 시작으로 Mitsubishi 기종은 한 시간 이후 -20℃이하의 온도를 나타냈다. 최종 측정온도는 Thermoking(R404A) 기종이 가장 낮은 -32.3℃, Mitsubishi, Daikin 두기종이 가장 높은 -25℃를 나타냈다.

Fig. 3.9는 냉동컨테이너용 압축기 및 기계작동 유무를 결정하는 냉동기 내부 흡입 공기 온도(return sensor)의 변화를 나타낸 것이다. 실제 냉동컨테이너는 온도를 떨어뜨리는 기능보다는 유지시켜주는 기능이 중요하다. **2.2 냉동기 운전**에서 설명한 바와 같이, 냉동컨테이너의 콘트롤러에서 설정온도를 기준으로 적절한 시기에 냉동기를 작동 및 정지시키는 역할을 한다. SP(setting point) -25℃인 경우는 콘트롤러에서 냉동으로 인식하기 때문에 흡입 공기 온도가 기준이 된다. 또한 컨테이너 내부 온도가 SP 도달하기까지 냉동기가 작동되어 이에 따라 소비전력이 결정되는 만큼 본 실험에서는 가장 중요한 기준점이다. 본 실험의 결과로, R134a 냉매를 사용하

는 기종 중에서는 Thermoking 기종이 1시간 38분으로 가장 짧은 시간이 걸렸으며, 그 다음 순으로 Daikin 기종이 1시간 42분, Carrier, Mitsubishi 기종이 1시간 44분, Star Cool기종이 1시간 45분으로 가장 긴 시간이 소요되었으며, R404A 냉매를 사용하는 Thermoking 기종은 59분이 소요되었다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

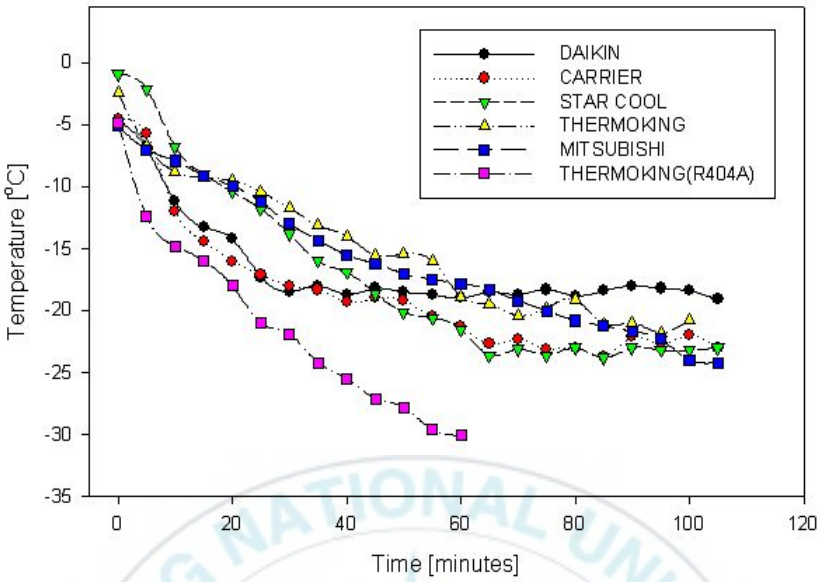


Fig. 3.1 Inlet temperature of compressor

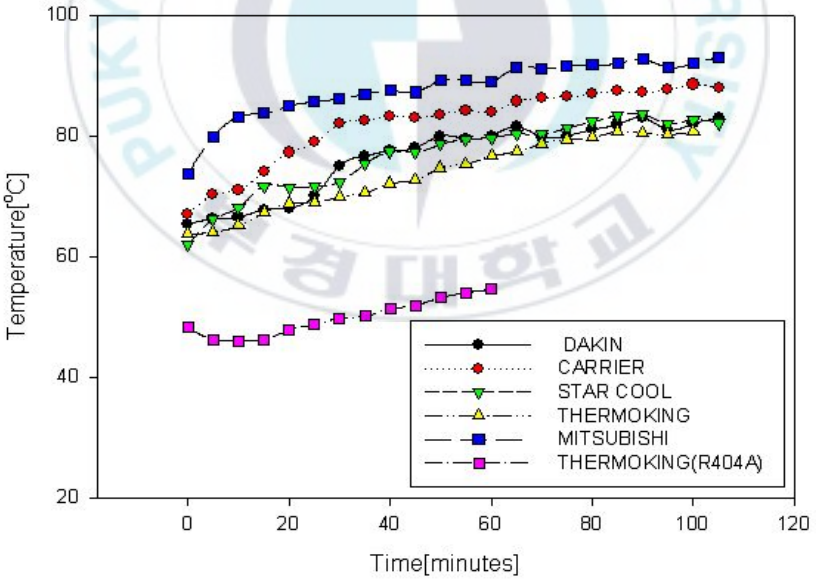


Fig. 3.2 Outlet temperature of compressor

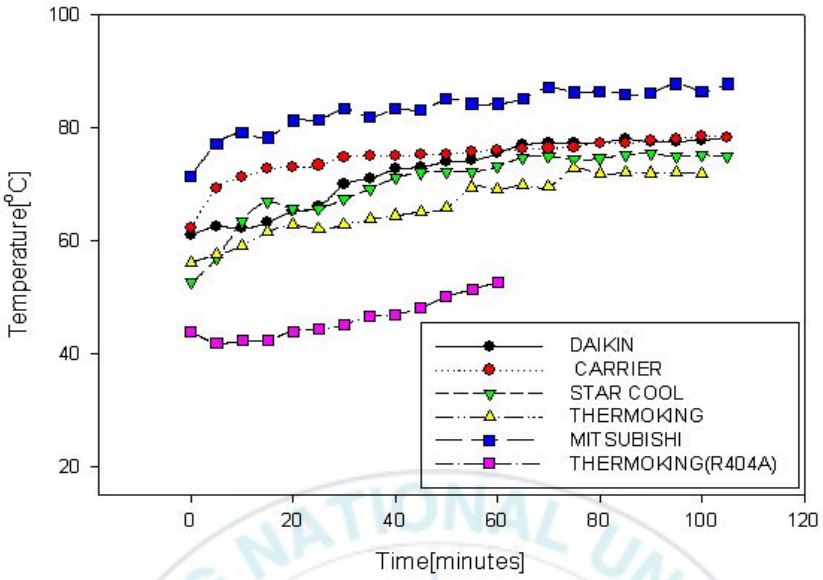


Fig. 3.3 Inlet temperature of condenser

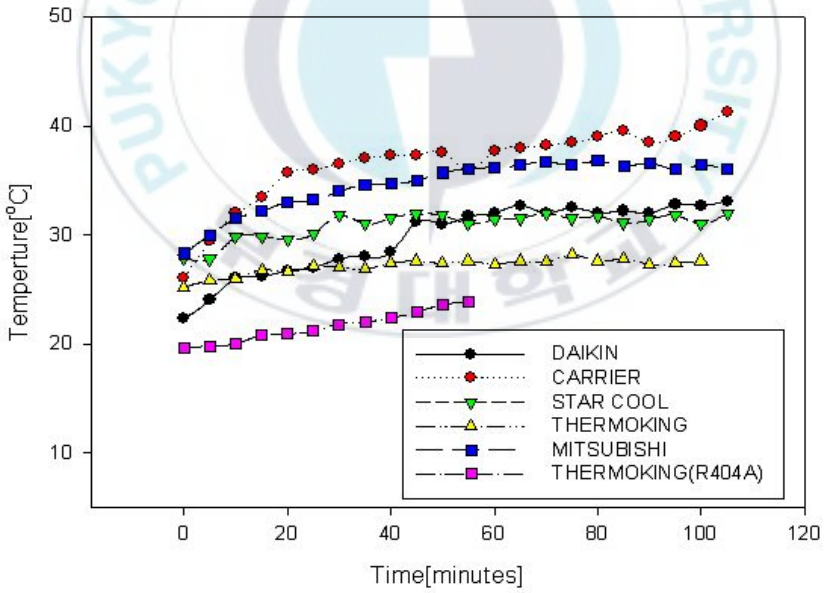


Fig. 3.4 Outlet temperature of condenser

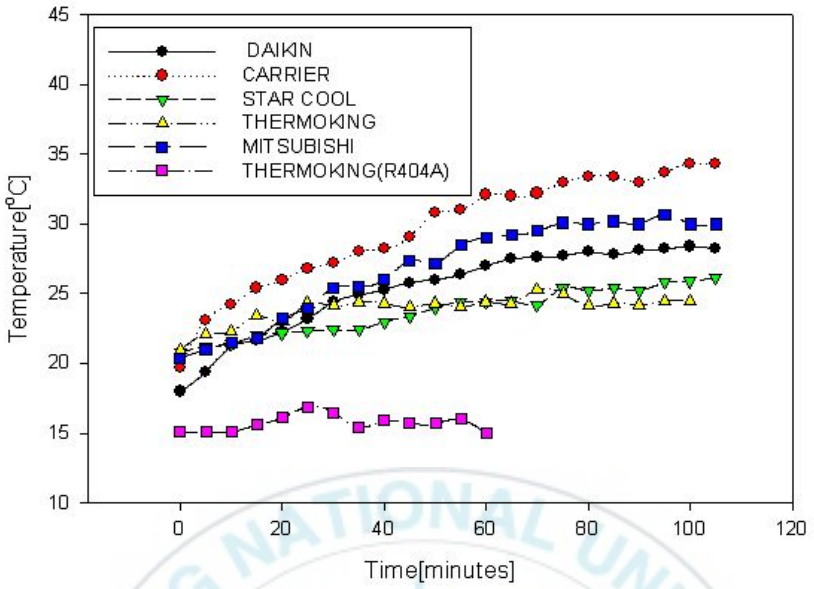


Fig. 3.5 Inlet temperature of expansion

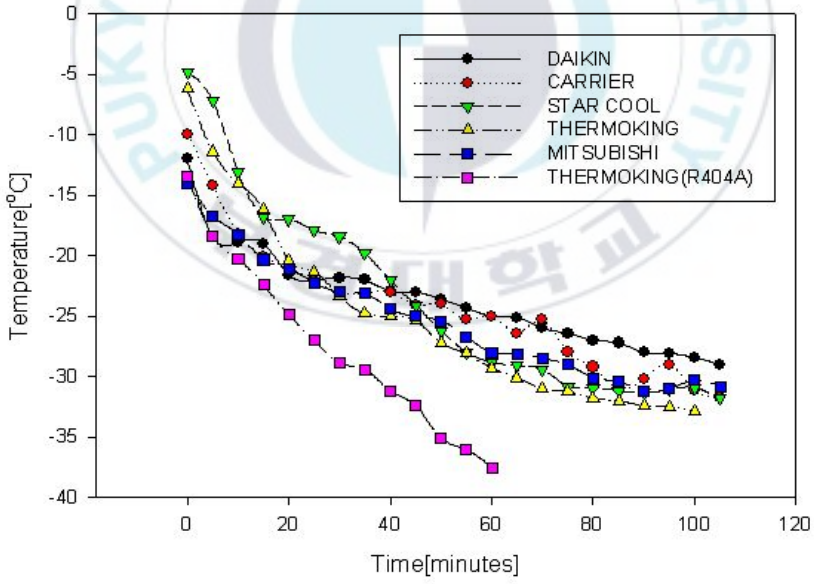


Fig. 3.6 Outlet temperature of expansion

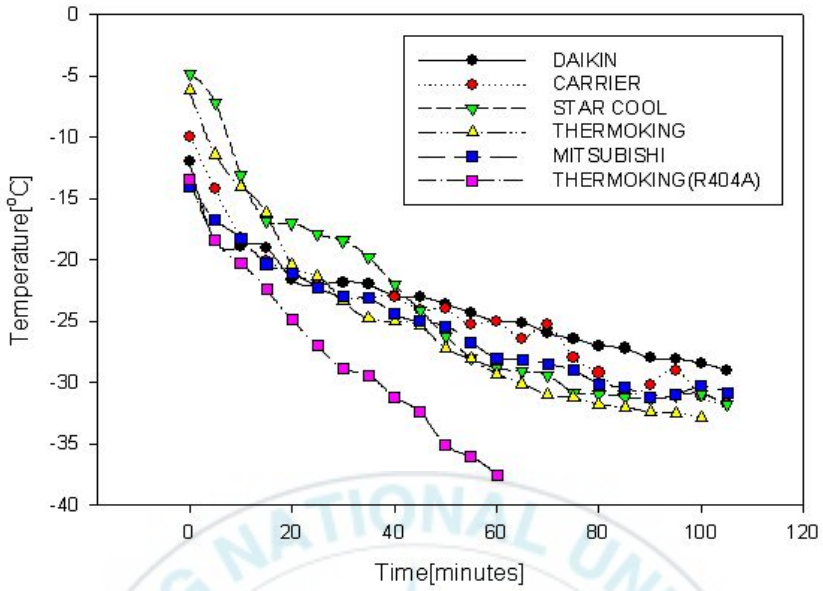


Fig. 3.7 Inlet temperature of evaporator

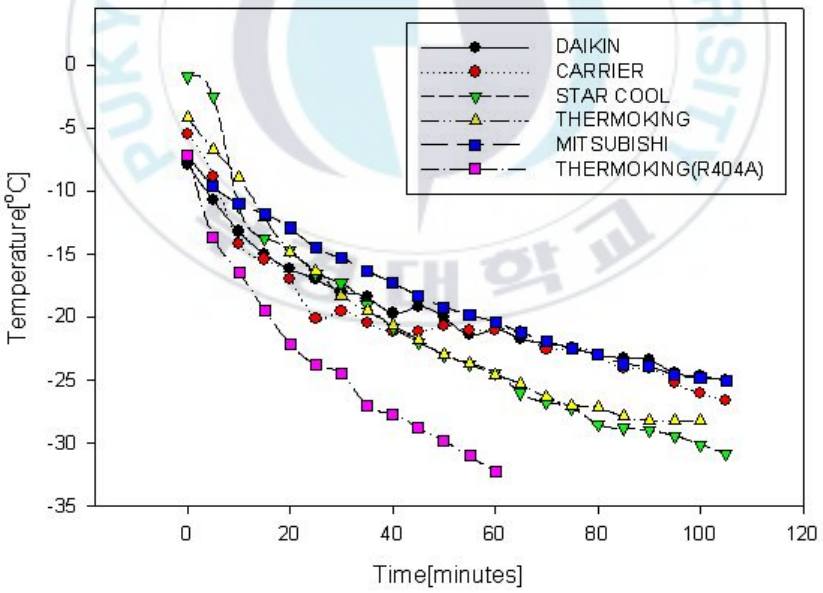


Fig. 3.8 Inlet temperature of evaporator

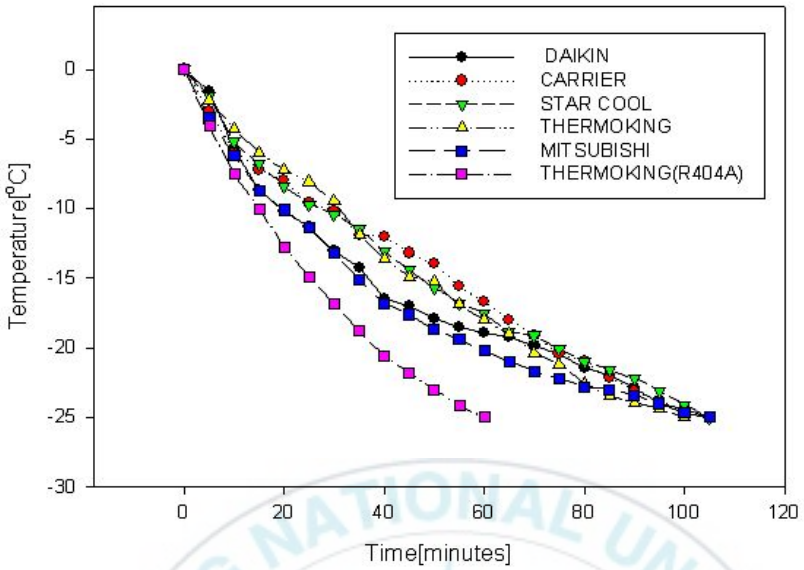


Fig. 3.9 Return temperature of each refrigerator

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

3.2 R134a 기종별 성능 분석 및 비교

Fig. 3.11은 Daikin, Carrier, Star Cool, Thermoking, Mitsubishi 5기종에 대해서 측정한 온도 및 압력을 바탕으로 냉동사이클을 P-h 선도에 나타낸 것이다. 앞서 전술 했듯이, 컨테이너 내부 흡입 공기온도 -25℃ 시점에서의 각 부위 기록을 바탕으로 냉매 사이클 선도를 그린 것이다.

냉매 순환량 결과는 Carrier 기종이 100 kg/h로 가장 큰 값을 나타냈으며, 그 다음으로는 Mitsubishi 기종이 96.69 kg/h, Star Cool 기종이 92.99 kg/h, Daikin 기종이 91.76 kg/h, 마지막으로 Thermoking 기종이 가장 적은 85.87 kg/h의 냉매 순환량의 결과를 나타냈다.

압축일량에선 Thermoking 기종이 가장 적은 4,749 kJ/h, Mitsubishi 기종이 가장 큰 7,193 kJ/h를 나타냈으며, Mitsubishi 기종이 Thermoking 기종과 비교해 약 1.51배를 더 필요로 했다. 그 밖의 Star Cool 기종이 4,947 kJ/h 두 번째 적은 결과를 나타냈으며, Daikin, Carrier 순서의 결과가 나왔다.

증발열량에서는 Carrier 기종이 22,530 kJ/h로 가장 큰 결과를 나타냈으며, 그 이후로는 Mitsubishi 21,531 kJ/h, Daikin 21,362 kJ/h, Star Cool 21,183 kJ/h, Thermoking 19,587 kJ/h로 5기종 모두 비슷한 수치를 나타냈다.

응축열량의 경우는 앞서 구한 두 값의 합으로 알 수 있으며, Carrier 28,950 kJ/h, Mitsubishi 28,724 kJ/h, Daikin 26,840 kJ/h, Star Cool 26,130, Thermoking 24,336kJ/h 순으로 열량을 발생했으며, Carrier 기종이 Thermoking 기종보다 약 1.18배 많은 열량을 발생했다.

압축비 결과로는 Star Cool 기종이 43.2로 가장 큰 결과를 나타냈으며,

그 뒤로 Daikin 34.5, Carrier 33.17, 마지막으로 Thermoking, Mitsubishi 두 기종이 28.28로 같은 결과를 나타냈다. 가장 큰 Star Cool 기종이 가장 낮은 Thermoking, Mitsubishi 기종보다 약 1.52배 더 큰 압축비 결과가 나왔다.

가장 중요한 COP 결과를 살펴보면 Star Cool 기종이 4.28로 가장 우수했으며, 이후 Thermoking 4.12, Daikin 3.89, Carrier 3.5, Mitsubishi 2.99의 결과로 Mitsubishi 기종이 가장 저조했다. 가장 우수한 Star Cool 기종은 Mitsubishi 기종보다 약 1.43배 우수한 COP 값을 나타냈다.

그 밖의 건조도 결과로는 5기종 모두 0.28~0.39로 비슷한 결과를 나타냈으며, 증기 비체적 결과로는 Star Cool 기종이 가장 큰 36.26 m^3/h 결과를 나타냈으며, 이후 Daikin, Carrier, Mitsubishi, Thermoking 순서였으며,

아래 **Table 3.2**는 이번 실험결과를 정리한 것이다. 이를 바탕으로 현존하는 R134a 냉매를 사용하는 Daikin, Carrier, Star Cool, Thermoking, Mitsubishi 5기종의 성능 비교가 가능하다.

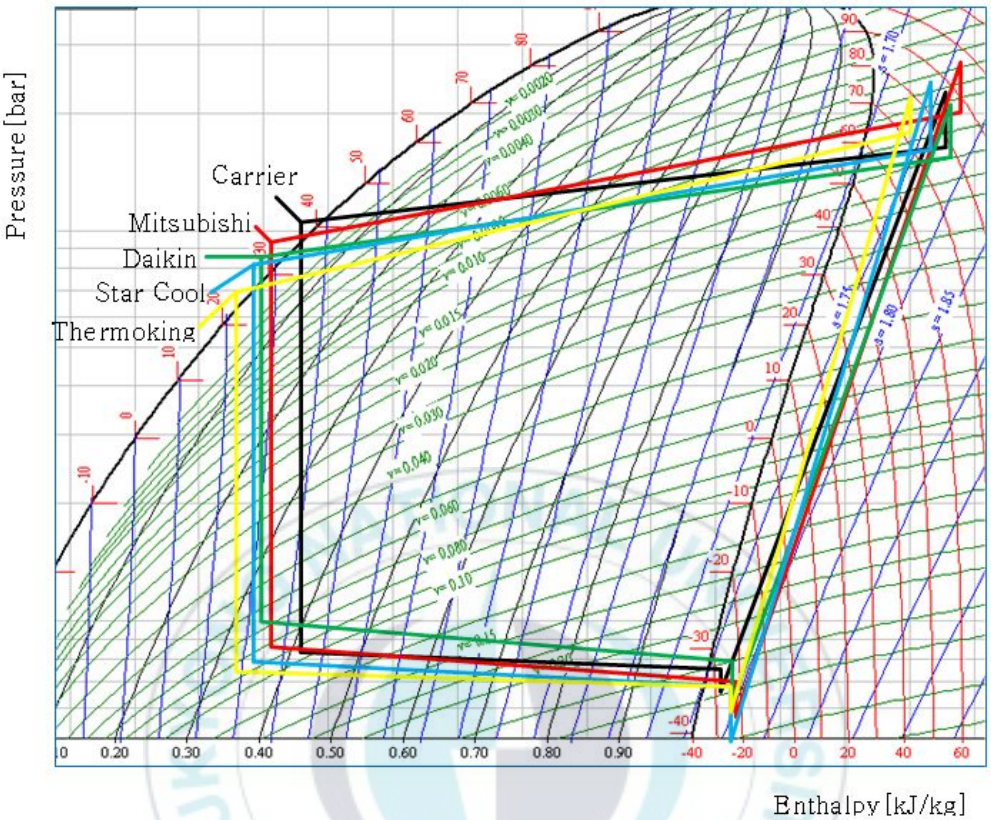


Fig. 3.11 P-h diagram for five species of refrigeration unit

Table 3.2 Performance results of refrigeration system using to refrigerated containers

	Daikin	Carrier	Star Cool	Thermoking	Mitsubishi
Compressor work (kJ/h)	5,478	6,420	4,947	4,749	7,193
Condensation heat capacity (kJ/h)	26,840	28,950	26,130	24,336	28,724
Evaporator work (kJ/h)	21,362	22,530	21,183	19,587	21,531
Vapor quality	0.37	0.39	0.28	0.36	0.36
Compressor ration	34.5	33.17	43.2	28.28	28.28
COP	3.89	3.5	4.28	4.12	2.99
Mass flowrate of refrigerant (kg/h)	91.76	100	92.99	85.87	96.68
Specific volume of vapor (m^3/h)	29.36	28.7	36.26	22.32	23.2

3.3 Thermoking 기종의 냉매별 성능 분석 및 비교

현존하는 냉동컨테이너는 기본온도(-30℃～+30℃)로 사용되며, 대부분 R134a 냉매를 사용한다. 하지만, 최근에 Thermoking 사에서 R404A 냉매를 사용하여 -40℃를 유지하는 기종을 생산하고 있다. 이에 따라 Thermoking 사에서 생산 중인 서로 다른 냉매를 사용하는 두 기종의 성능 비교가 가능하다. 실험 결과에서 냉동기 설정온도에 도달하는 시간은 R404A 기종이 약39분 정도 빨랐으나, 앞서 전술했듯이 냉동컨테이너의 주요기능은 온도유지이다. 따라서 최종온도에 도달 시점의 냉동기의 냉매의 온도분포 및 압력 측정값으로 두 기종 비교한 결과 Table 3.3에서와 같다

냉매 순환량은 R404A 기종 109.64 kg/h, R134a 기종 85.87 kg/h로 R404A 기종이 1.27배 많았으며, 압축일량 또한 R404A 기종 5,076 kJ/h, R134a 기종 4,749 kJ/h로 1.27배 더 많은 열량을 발생했다. 또한 증발열량 결과에서도 R404A 기종 21,753 kJ/h, R134a 기종 19,587 kJ/h로 이 역시 1.27배 더 많은 열량을 발생했다. 응축열량은 R404A 26,829 kJ/h, R134a 24,336 kJ/h의 열량을 발생했으며, 압축비의 결과는 R134a 기종이 28.28, R404A 기종이 15.68로 R134a 기종이 1.8배 더 큰 결과를 나타냈다. COP 결과로는 R134a 4.12, R404A 4.28로 R404A 기종이 1.03배 우수했으며, 그 밖의 건조도는 5기종과 비슷한 수치를 나타냈으며, 증기 비체적에선 R134a 기종 22.32 m^3/h, R404A 기종 19.18 m^3/h로 R134a 기종이 1.16배 더 큰 결과를 나타냈다.

Table 3.3 Performance results of thermoking refrigerated container

	Thermoking(R134a)	Thermoking(R404A)
Compressor work (kJ/h)	4,749	5,076
Condensation heat capacity (kJ/h)	24,336	26,829
Evaporator work (kJ/h)	19,587	21,753
Vapor quality	0.36	0.44
Compressor ration	28.28	15.68
COP	4.12	4.28
Mass flowrate of refrigerant (kg/h)	85.87	109.64
Specific volume of vapor (m^3/h)	22.32	19.18

제 4 장 결 론

본 연구에서는 업체별 냉동컨테이너용 냉동장치의 성능 분석 및 비교를 위해서, 냉동기가 연속 운전하여 정상상태에 도달하였을 때의 각 부분의 온도 및 압력값을 바탕으로 각 기종별 냉동 사이클 성능을 비교 및 분석하였다.

그 결과 R134a 냉매를 사용하는 기종을 살펴보면, Daikin 기종은 COP 부분에서 3번째, 가장 우수한 Star Cool 기종과 비교하면 90% 결과를 나타냈다. 압축기 소요동력 1.52 kW이며, 그 밖에 결과에서 중, 하위권의 성적을 나타냈다. 2000년 초기에 왕성하게 제품을 생산해서 여러 선사에 많은 냉동기가 보급되었으나, 최근에는 생산량이 많이 줄었다. 전자밸브 시스템으로 배관이 복잡하기 때문에 냉매 흐름이 원활치 못해 배관 막힘 현상이 잦다. 현재 출시되는 기종은 이 문제가 어느 정도 보완이 되기는 하였으나, 완벽하지는 않다.

Carrier 기종은 이번 실험에서 대체로 하위권의 성적이 나왔으며, COP 결과를 보면 5기종 중 4번째이다. 냉매 순환량은 100 kg/h로 가장 컸으며, 소요동력 1.78 kW로 2번째로 높은 값을 나타냈다. 현재 출시되는 기종 중 가장 가격이 고가이다. 그러나 구조가 간단해서 수리하기 용이하고, 잔고장이 없으며, 현재까지 출시된 제품의 구조변화가 거의 없다. Carrier 기종도 Daikin 기종처럼 2000년 초반에 가장 생산이 많았으나, 최근에는 선사들이 좀 기피하는 경향이 있다.

다음으로 Star Cool 기종이다. 이번 실험에선 COP 4.28로 5기종 중 가장 우수한 결과를 나타냈다. 증발열량에서는 4번째의 결과를 나타냈으나, 그

차이는 미미했으며, 소요동력 면에서도 1.37 kW로 Thermoking 다음으로 적은 값을 나타냈다. 냉동컨테이너 업계에선 가장 후미 주자이며, 일반 냉동컨테이너 제작시, 단열 효과를 높이기 위해 컨테이너의 외판과 내판 사이에 우레탄 폼(urethane Foam)과 발포제(blowing agent)를 사용하는 반면에. MCIQ사는 환경 보호를 위해 업계 최초로 HCFC-141b의 대체 물질인 사이클로펜테인(cyclopentane)을 가공한 발포제 SuPoTec (sustainable polyurethane technology)을 냉동컨테이너 제작시 발포제로 사용하고 있다. 제작업체는 덴마크의 MCIQ사로 세계 제1의 선사 Mearsk사, 국내 선사로는 한진해운에서 대량으로 구매해 사용 중이다.

그 다음으로 Thermoking 기종이다. 이번 실험에선 성적계수는 4.12로 Star Cool 다음이었으나, 소요 동력에서는 1.31 kW으로 가장 우수했고, 현재까지 다양한 종류로 출시되었으며, 제품가격은 저렴한 편이나, 부품단가가 고가여서, 차후 보급된 기종이 노후되는 시점에는 부품비용에 대한 부담이 클 것으로 예상된다.

5번째 Mitsubishi 기종으로 이번 실험에서 COP 2.99로 가장 낮은 결과를 나타냈으며, 압축일량, 증발열량, 응축열량의 결과 또한 가장 적은 수치를 나타냈다. 소요동력 면에선 1.99 kW로 가장 큰 값을 필요로 했으며, 실제 냉동기의 냉매량은 5.5 kg이나 실험의 조건을 맞추기 위해 1.5 kg이 적은 4 kg 주입한 것이 가장 큰 변수로 작용한 것 같다. 1990년 후반에는 생산이 많았으나, 현재는 더 이상 생산을 하지 않는다. 따라서 기존에 생산된 제품도 점점 사라져가고 있다. 하지만, Mitsubishi 기종은 내구성이 좋으며, 잔고장이 거의 없다. 특히 모터나, 압축기 부품이 우수해 현재도 임대사업을 하는 업체에서 구매해길 선호한다.

마지막으로 R404A 냉매를 사용하는 Thermoking 기종은 목표온도 도달

시간이 가장 짧았으며, R134a 냉매를 사용하는 Thremoking 기종보다 우수한 COP값을 나타냈다.

이번 냉동컨테이너 냉동기 성능 비교 결과에서 기종별 큰 차이는 없었지만, 의외의 결과를 나타냈다. 냉동컨테이너계의 후미주자인 MCIQ 사의 Star Cool, Thermoking(R404A) 두 기종이 가장 우수한 결과 값을 나타냈으며, 이와는 반대로 냉동컨테이너계의 강자인 Carrier, Daikin 기종이 저조한 성적을 나타냈다. 또한 현재는 생산이 없는 Mitsubishi 기종이 가장 하위의 결과를 나타냈으며, 최근에는 Thermoking, MCIQ 사에서 제품 개발에 대한 투자가 가장 활발하게 이뤄지고 있다. 특히 Thermoking 사의 경우는 R404A 냉매를 사용하는 제품을 위주로 생산중이며, 냉동컨테이너 생산 역사가 짧은 MCIQ 사의 Star Cool 기종 보다는 향후 몇 년간은 Thermoking(R404A)의 강세가 이어질 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. Drewry Shipping Consultant Ltd. "Reefer Container Market" May, 1990.
2. DRI/TBS, World Sea Trade Service, Winter 1991.
3. http://www.patentmap.or.kr/pw.inquiry 특허나라.
4. 冷凍컨테이너 貨物損傷의 改善方案에 관한 硏究 박상갑, 박용길, 신영란 한국항해항만학외지 제36권 제10호, pp. 803~810.
5. CSR 데일리 '냉동컨테이너가 돈 된다' 선사들 경재치열 류인선 기자 .
6. Jolly, P., Tso, C., Wong, Y. and Ng, S., 2000. Simulation and measurement on full-load performance of a refrigeration system in a shipping container. International Journal of Refrigeration 23, 112-126.
7. Wild, Y., 2008. Proceedings of the Carbon Footprint Workshop, Environmental Aspects of the Transport of Reefer Containers, 3rd Reefer Logistic Conference. Antwerp, 26 June.
8. Wild, Y., 2009. Refrigerated Containers and CA Technology. Container Handbook. The German Insurance Association, Berlin, Germany.
9. Wild, Y., Mechsner, A., Raschle, H. and Horn, R., 1999. Transport of refrigerated containers in cargo holds. In: Proceedings of the 20th International Congress of Refrigeration, Sydney, Australia. 2013.
10. Ha, O. N., 2004, The newest Air conditioning, Jinyoung publisher, Seoul, p. 3.

11. Lemmon E. W., Huber M. L. and McLinden M. O., NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties－REFPROP Version 9.1, 2013.

감사의 글

배움의 길은 항상 길고 어려움이 있지만 기대감과 열정으로 시작한 대학원 생활이 논문을 끝으로 마무리 하면서 지난 2년을 뒤돌아 봅니다. 그 시간들은 인생에서 가장 소중한 시간들이며, 많은 것을 깨닫고, 느낄 수 있었던 시간들 이었습니다. 현장에 근무하며 그동안 몰랐던 사실들, 아직까지 부족한 나를 다시 돌아보는 계기가 되었으며, 논문작성을 위해 봤던 수많은 자료들, 실험을 준비하는 과정, 수많은 일들이 머릿속을 스치고 지나갑니다.

석사과정을 무사히 마칠 수 있도록 아낌없이 지원을 해주신 황석정 회장님께 감사 말씀을 드립니다. 또한 정수영 이사님, 손진국 부장님, 김미정 실장님, 하기은 과장님, 김동우 대리님, 삼양냉열에 최창덕 부장님께도 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

본 논문이 완성되기까지 부족한 저에게 끊임없는 지도를 주신 손창효 교수님의 은혜에 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 본 논문을 심사하여 주시고, 학위과정 동안 여러 가지 조언과 애정 어린 질타를 보내주신 냉동공조공학과 윤정인 교수님, 최광환 교수님, 금종수 교수님, 김종수 교수님, 김은필 교수님, 정석권 교수님께도 깊은 감사를 드리며, 실험을 하면서 어려움에 봉착할 때마다 큰 힘이 되어주신 전민주 박사님, 실험실 대학원생들께도 감사 말씀드립니다.

아울러 과대표를 역임하면서 논문을 쓸 수 있도록 도움을 주신 대학원 동기인 박수봉님, 김민근님, 이태욱님, 차병건님, 1학년 학우님들께도 깊은 감사드립니다. 이 논문을 끝으로 저의 석사과정을 마무리하고자 합니다. 길

다면 길고 짧다면 짧은 2년이라는 시간 많은 정이 들었으며, 아쉬움 또한 큽니다.

마지막으로, 70년대 어려운 살림이지만 아들 둘을 장성하게 키우시고 늘 부족한 막내아들을 잘되라고 보살펴주신 아버지와 버팀목이 되어주신 어머니께 머리 숙여 감사의 말씀드리며, 항상 곁에서 든든한 후원자가 되어준 정미영 많이 사랑하고, 앞으로 더욱더 열심히 노력하는 모습을 보일 것을 약속드립니다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교