



저작자표시 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.

- 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](#)

공학석사 학위논문

버블젯 루프 히트파이프를 이용한
증발기 제상에 관한 연구



2011년 2월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

황 종 호

공학석사 학위논문

버블젯 루프 히트파이프를 이용한
증발기 제상에 관한 연구

지도교수 : 김 종 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2011년 2월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

황 종 호

황종호의 공학 석사학위 논문을 인준함

2011年 2月



주 심 공학박사 오 후 규 (인)

위 원 공학박사 금 종 수 (인)

위 원 공학박사 김 종 수 (인)

목 차

ABSTRACT	iii
Nomenclature	v
1. 서론	1
1.1 연구목적 및 배경	1
1.2 관련 연구 및 종래 연구	4
2. BJLHP의 개요 및 특성	6
2.1 BJLHP의 원리	6
2.2 작동 유체의 선정	8
3. 실험장치 및 방법	15
3.1 실험 장치	15
3.2 실험 방법 및 조건	25
4. 실험 결과 및 고찰	27
4.1 제상시 히터의 온도 변화	27
4.2 증발기의 온도 변화.	30
4.3 챔버 내의 온도 변화	36

4.4 전력 소모량은 비교.	39
4.5 제상량 비교	40
5. 결론	41
참고 문헌	42
謝 辭	44



Study for defrost of evaporator using
Bubble Jet Loop Heat Pipe as a defrost device.

Jong-Ho Hwang

Department of Refrigeration Engineering,

Graduate school,

Pukyong National University



Abstract

One of the problems in a refrigerator operation is the frost formation on a cold surface of the heat exchanger. The frost layer is formed when the water vapor meet cold fin & tube which lower than freezing point. This frost layer is usually formed in evaporators and the frost layer on the surface of a heat exchanger

will make side effect such as thermal resistance, air volume, fan motor performance and so on. However, This important factor needs to be studied and improved.

This study shows a comparison between conventional electric heater and Bubble Jet Loop Heat Pipe as a defrost device in evaporator. They are compared in 4 factors of Evaporator temperature, Air temperature in the chamber, Heater temperature, Electricity consumption. The evaporator applied Bubble Jet Loop Heat Pipe shows low temperature variations in evaporator and air temperature in the chamber and low electricity consumption.



NOMENCLATURE

Symbols

A	Evaporator surface area	$[m^2]$
P	Electric power output	$[kW]$
T_a	Ambient-air temperature	$[^{\circ}C]$
T_f	Fin temperature in evaporator	$[^{\circ}C]$
T_t	Tube temperature in evaporator	$[^{\circ}C]$
q_L	Heat Flux	$[W/m^2]$

Greek symbol

α	Charging rate of working fluid	$[Vol.\%]$
----------	--------------------------------	------------

Subscripts

BJLHP Bubble Jet Loop Heat Pipe

제 1 장 서론

1.1 연구목적 및 배경

냉동냉장 및 저온창고에서는 일반적으로 천정에 설치되어 있는 천정 코일형 냉각기에 냉매를 공급하여 냉매 증발 시 발생하는 냉열로 주위공기를 냉각한다. 그리고 냉각된 공기가 다시 보관물품을 냉각하여 냉장 또는 동결이 이루어지고 있다. 이 과정에서 냉각기 전열관 표면에는 공기나 보관 물품 중에 포함되어 있는 수분이 응축, 동결되어 서리(frost)가 생성되며, 처음에는 눈과 같이 되었다가 시간이 경과되면 계속 동결되어 두꺼운 얼음으로 변하고 그 두께는 계속 증가한다.

이러한 착상은 냉동 시스템의 능력에 좋지 못한 여러 가지 영향을 미친다. 즉, 증발기 표면에 착상이 되면 핀과 순환 공기 사이의 열저항 증가로 증발기에서 열전달이 감소하고, 다음은 핀과 핀 사이에 착상된 얼음으로 순환공기의 압력강하가 증가하기 때문에 결국 냉동능력이 감소하고 압축기의 소요동력이 증가한다. 착상으로 인한 냉각성능 및 시스템의 성능계수가 20 ~ 30% 감소하는 것으로 알려져 있다.

그리고 냉각기의 열전달이 나빠지면 냉각하고자 하는 물품을 소정의 온도까지 낮출 수 없다. 그리고 일정온도에 도달하기까지 시간도 많이 소요되어 냉동기의 운전시간이 길어지고, 냉각물품의 품질저하 및 생산 속도도 늦어지게 된다. 또한, 냉각관 내부에서 액냉매가 증발하지 못하고 압축기로 유입되는 소위 액백(liquid back)현상이 발생되어 장치의 고장을 초래할 수 있다. 이러한 문제점들을 방지하기 위하여 이것을 적당한

시기에 상을 제거함으로 장치의 안정성을 피하며, 증발기의 효율을 높이고, 냉동능력을 증대시킬 수 있다. 이것을 제상(Defrost)이라고 한다.

현행 냉동냉장 및 저온 창고들에서 이루어지는 제상의 방법들에는 냉동기의 운전을 일정시간 동안 정지시켜 서리를 제거하는 자연 제상법, 냉매 핫가스(Hot Gas)를 유입시켜 녹이는 핫가스 제상법, 증발기에 전기 히터(Heater)를 설치하여 일정시간 간격으로 전기를 공급하는 전열 제상법, 물이나 브라인 등을 분무하여 서리를 제거하는 증기분사법 등이 있다.

이 많은 제상 방법 중에 주로 소형용으로 가장 널리 사용되고 있는 전열 제상을 기존의 전기 히터 사용시의 단점을 보완하고 장점을 그대로 살릴 수 있는 방법 중 하나인 버블젯 히트파이프를 적용한 방법을 제시하였다. 전열 제상법은 전기 히터를 사용하므로 조작 및 제어가 간단하며 히터 설치방법을 적절히 하면 가열 불균일을 적게 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 히터와 핀과의 밀착이 잘 되어 있지 않아 접촉 저항이 커 보다 큰 열량이 필요하며 그 열량은 챔버 내의 온도를 상승시키는 악영향을 미칠 뿐만 아니라 누전 등의 고장이 잦고, 노후로 인한 교체가 필요하며, 소모 전력이 크다는 단점이 있다.

이에 위와 같은 단점들을 개선한 새로운 전열 제상법에 대한 개발이 필요하며, 그 중 하나인 본 실험실에서 개발 중인 버블젯 히트 파이프를 적용함으로써 그 효과와 미치는 영향을 분석한다.

따라서 본 연구는 전기 히터를 제상 장치로 사용하는 증발기와 전기 히터 대신 버블젯 히트 파이프를 적용한 증발기를 하여 핀과의 밀착을 높여 접촉 저항을 줄여 열전달을 원활히 하여 그 효율을 높여 챔버 내

온도 상승에 대한 효과, 소모 전력량, 그리고 제상 속도에 미치는 영향
들을 비교 분석하였다.



1.2 관련 연구 및 종래 연구

1.2.1 제상

현재까지 히트파이프를 이용한 제상 관련 연구는 몇몇 개념적인 특허의 형태로 발표되었으나 실제 냉동기에 적용된 사례는 없는 것으로 보인다. 또한 공개된 몇몇 특허도 기존의 전열식 제상시스템과 병용하거나 보완하는 형태이며 완전히 기존의 제상시스템을 대체하지 못하고 있는 실정이다.

제상 메카니즘에 관한 연구로 Aoki et al. 은 테스트 상자 내부에 눈을 채워두고 하부에서 가열하는 방식을 통하여 눈이 녹는 과정을 the water layer, the water permeation layer, the porous layer, the ice layer 로 4개의 층으로 나누어 1차원적으로 해석하였다. 이러한 해석적 모델을 통한 결과와 실험결과는 서로 잘 일치하며 융해수의 침투와 침투한 물의 결빙은 융해시간의 과다와 융해효율의 저감을 발생시키는 요인으로 작용하는 것으로 보고하였다.

Ishihara et al은 수평관에서의 고온가스 제상방식을 이용한 제상 실험을 통하여 착상된 서리가 완전히 녹지 않더라도 관에서 이탈되는 현상을 발견하였으며 서리층 내에 융해수의 분포가 균일하다는 가정 하에 열전도를 고려한 해석적 모델링을 제시하였다.

고전적인 제상방식 외 최근 새롭게 제시되는 제상방식에 대한 연구로는 Inaba et al이 적외선 램프를 이용하여 복사열을 이용한 제상방식을 제시하였다. 여러 외기조건에서 착상된 서리층의 복사열을 이용한 제상

실험을 통하여 제상에 소요되는 시간을 예측하는 상관식을 제시하기도 하였다.

또한 이관수 등은 단일 온도 대 저항특성을 가지며 설정된 온도에서 전기저항이 급격히 상승하는 PTC (Positive Temperature Coefficient) 전열시트를 증발기 전면에 부착한 제상장치를 제시하였다. 기존의 전열식 제상시스템과의 비교실험을 통해 제상효율이 약 25% 증가함을 보였으나 반복 사용에 따른 성능 저하를 초래하는 것으로 발표하였다.

한인근 등은 착상이 발생한 증발기 표면에 공기를 분사하여 서리를 제거하는 분사식 제상장치에 대해 발표한 예가 있다.

또한 최봉준과 신종민은 핀-튜브 열교환기의 표면에 친수성 처리를 통해 착·제상실험을 수행한 결과 착상량에 있어서는 큰 변화가 없으나 제상 후 잔류 용해수의 양이 줄어들었으며 또한 제상효율도 향상된 것으로 나타났다.

제상시스템의 제어방식에 관한 연구로서 Allard and Heinzen는 제상이 필요한 시기에만 제상을 수행하여 불필요한 제상을 피하고 냉동시스템의 효율을 계속 유지하여 에너지를 절약하는 Adaptive Defrost 개념을 소개하였다. 이 제상 제어방식은 최근의 착상기간과 이에 따른 제상시간을 이용하여 다음 착상기간을 예측하는 방식으로 자동적으로 다음 착상기간을 예측하고 최적의 제상시간을 예측할 수 있는 특징이 있다.

제 2 장 BJLHP의 개요 및 특성

2.1 BJLHP의 작동원리

썬모사이폰은 응축된 액을 중력에 의해 증발부로 환원시켜야 하기 때문에 증발부(가열부)가 항상 응축부(냉각부) 아래에 있어야 하는 사용 조건에 제한이 있으며, 썬모사이폰 및 워형 히트파이프 모두, 앞서 언급한 기존의 히트파이프 방식은 히트파이프의 경사각도(기울기)에 의해 성능이 좌우되며 경사각 0° (수평상태)에서는 거의 동작이 되지 않고 있어 히트파이프의 응용 범위가 한정되어 있다. 이러한 기존의 단점을 극복하는 열 수송 기구로서 BJLHP의 작동원리를 Fig. 1 나타내었다.

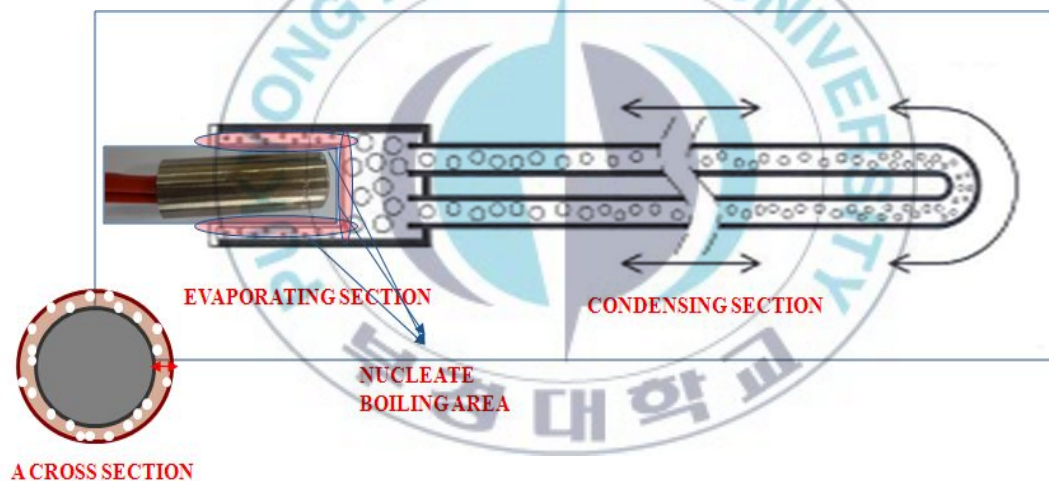


Fig. 1 Basic Operating Principle of BJLHP

BJLHP의 기포 발생부는 동심 2중 원형 튜브로 되어 있으며, 구경이 작은 내부 원통에는 카트리지 형태의 가열 히터가 삽입되고, 내부원통과 외부원통 사이에는 좁은 환형(narrow circular shape)의 틈이 생기게 된다. 이 환형의 좁은 틈 사이에서 작동액을 핵비등(nucleate boiling)시켜 기포를 분출시킴으로써 가열부와 방열부 사이에 압력차를 형성시켜 작동액을 펌핑하고, 기포의 불안정 진동(unstable oscillating)에 의하여 작동액을 진동시켜 루프 히트파이프내의 작동액을 순환 및 진동시켜 열을 잠열 형태로 대량 수송하게 된다.



2.2 작동유체의 선정

히트파이프의 근본적인 작동 요소가 작동유체의 증발과 응축이기 때문에 적절한 작동유체의 선정은 히트파이프의 설계 및 제조에 있어 가장 중요한 요소이다. 작동유체의 선정시 고려해야 될 사항에는 작동온도 범위, 증기압, 증발 잠열 및 점성 계수 등과 같은 작동유체의 열·물리적 물성과 관 재료와의 친화성, 안정성 및 독성 등이 있다. 또한 작동 유체의 온도 범위는 고체와 액체 그리고 기체가 공존하는 삼중점(triple point)과 임계점(critical point)사이이며, 기-액 상변화 선도의 포화곡선을 따라서 증발과 응축을 반복하므로 작동유체의 작동 온도에 따라 내부의 압력이 결정된다.

Table 2는 작동 온도에 따른 대표적인 작동 유체의 종류를 극저온용(0 ~ 200 K), 저온용(200 ~ 550 K), 중온용(550 ~ 750 K), 고온용(750 ~ 3000 K)으로 분류하였고, 임계점의 온도와 압력을 나타내었다. 극저온용으로는 헬륨, 아르곤등이 대표적인 작동유체이며, 저온용으로는 물과 프레온계 냉매를 비롯한 많은 종류의 작동유체가 있다. 또한, 고온용으로는 나트륨, 칼륨, 리튬 등과 같은 액체금속이 사용된다[5]. 하지만 이러한 온도 범위는 매우 넓기 때문에 효과적인 히트파이프 성능을 얻기 위해서 이러한 작동 온도에 따른 열수송 성능에 미치는 작동유체 열물성의 영향을 알 필요가 있다. 그러므로 히트파이프의 정확한 설계를 위해, 작동 유체의 열물성을 통해서 열수송 성능을 예측할 수 있는 평가지수인 Merit number[6]를 이용하며, 일반적으로 Merit number의 값이 클수록 열수송 성능이 우수하다고 알려져 있다. 히트 파이프의 경우는 식 (1)과 같으며,

$$M_h = \frac{\rho_f \sigma h_{fg}}{\mu_f} \quad (1)$$

썬모사이폰의 경우는 식 (2)와 같다.

$$M_t = \left[\frac{(k_f)^3 (\rho_f)^3 h_{fg}}{\mu_f} \right]^{0.25} \quad (2)$$

여기서, ρ_f , σ , μ_f , k_f 및 h_{fg} 는 각각 작동유체의 밀도, 표면장력, 점성계수, 열전도율 및 증발잠열이다. 상관식에 나타난 바와 같이 작동유체의 밀도, 표면장력, 열전도율 및 증발잠열이 클수록, 점성계수가 작을수록 열역학적 특성이 우수하다. Fig. 6 ~ 7은 작동온도(240 ~ 360 K)에서 워형 히트 파이프와 썬모사이폰에 사용되는 대표적인 작동 유체의 평가 지수를 나타낸 것이다.

기존의 Merit number는 워형 히트 파이프나 썬모사이폰의 경우에 적용이 가능하도록 각각 제시되어 있으며 BJLHP에 적용할 수 있는 기준이 아직까지는 명확하게 정립되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 고온에서도 포화 압력이 낮고 동 재질로 제작된 열교환기와 화학적 반응을 보이지 않도록 선정 하였다. 그리하여 M_h 가 비교적 높은 R-141b를 선정하였다.

Nishio(西尾)[7-8] 등은 증류수-유리관 PHP에 대해 실험한 결과 충전율(ϕ : 내부체적)30 ~ 50%에서 가장 우수하다고 보고하였으며, Kim[9-10] 등은 작동유체 R-141b, 알루미늄 편평 압출관(A_i : 1.75 mm $\times$ 0.8 mm)

PHP를 제작하여 열전달 성능을 분석한 결과 충진율 ϕ : 40% 내외에서 가장 우수하다고 보고하였으므로, 본 실험에서는 ϕ : 30%, 40% 50% 세가지 충진률에 대하여 직접 실험 후 열전달률이 가장 우수한 충진률을 적용한다.

냉매 충진률에 대한 실험은 실제 실험에 사용된 BJLHP를 적용한 증발기에서 진행하였다.

실험의 결과는 30%, 40%, 50%의 충진률 모두에서 양호한 열전달 성능을 보였지만, 그 중 40%의 충진률이 가장 양호하여 냉매 충진률은 40%로 선정하였다.



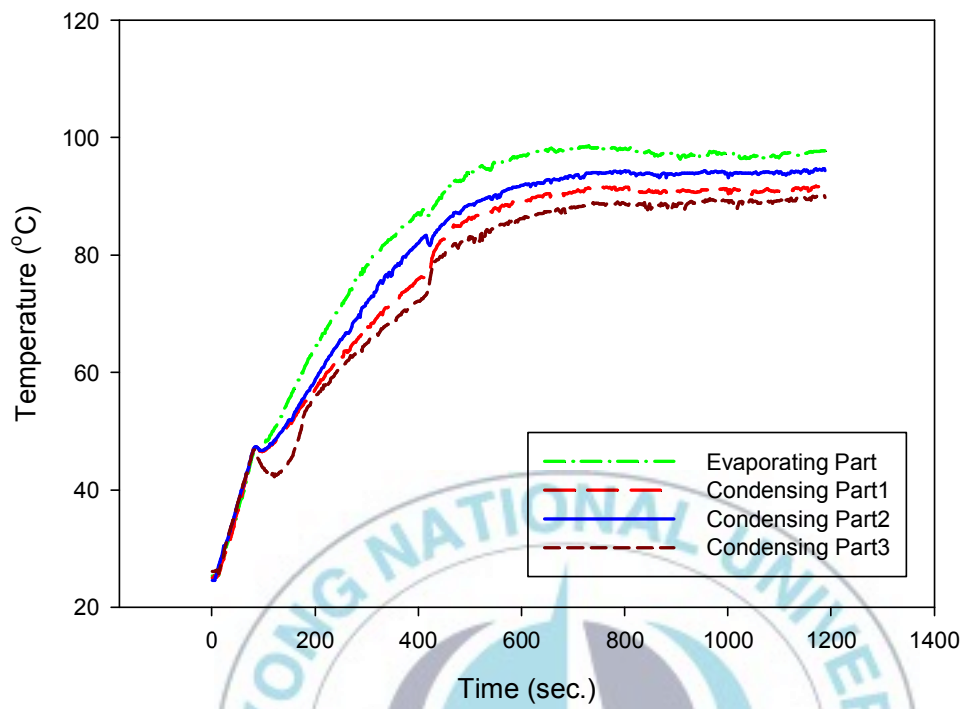


Fig.2 Temperature profile for 30% of refrigerant charging ratio

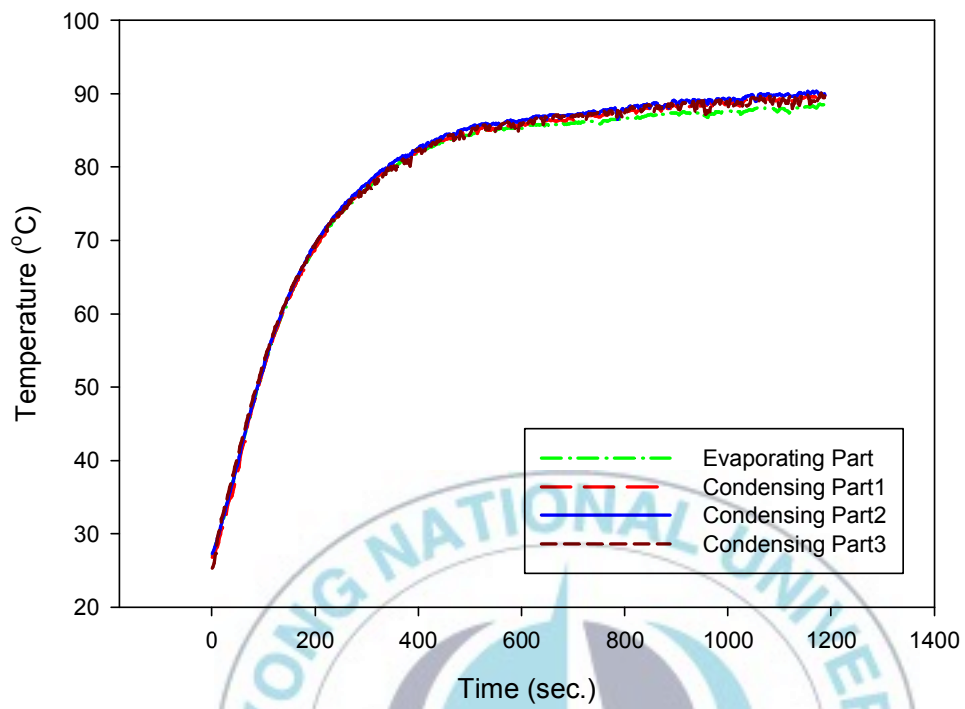


Fig.3 Temperature profile for 40% of refrigerant charging ratio

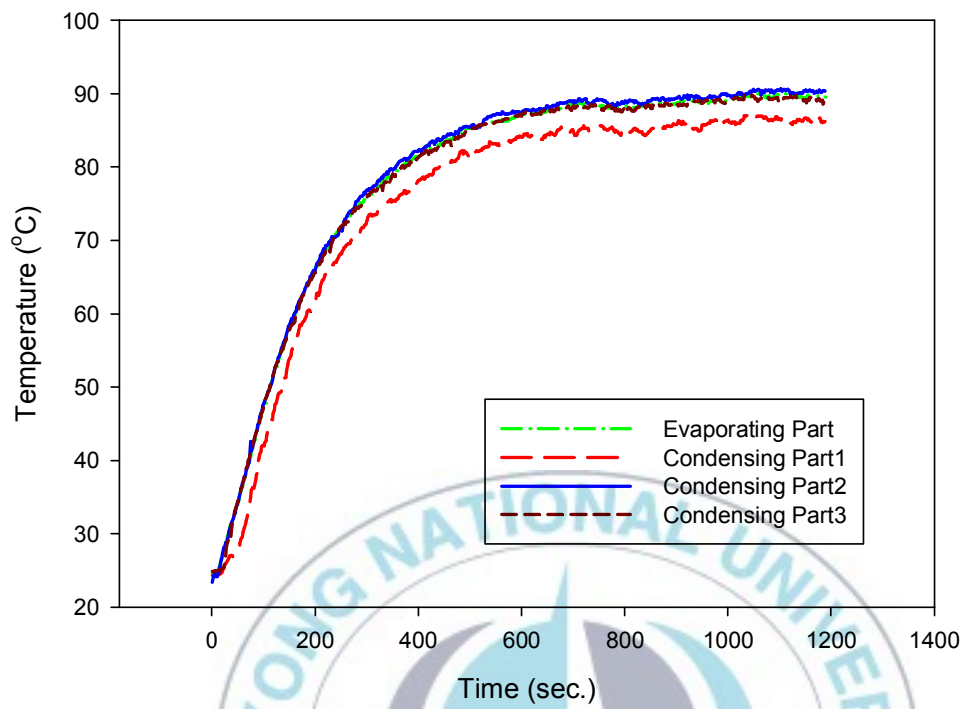


Fig.4 Temperature profile for 50% of refrigerant charging ratio

Table 1 Working fluids and temperature ranges

Logarithmic Temp. Scale	Working Fluids	Melting & Boiling Point, K at 1 atm	Critical Point, K & MPa(abs)	Useful Ranges, K
Cryogenic Temperature (0~200 K)	Helium	1.0 & 4.21	5.2 & 0.227	2 ~ 4
	Hydrogen	13.8 & 20.38	33.19 & 1.315	14 ~ 31
	Neon	24.4 & 27.09	44.5 & 0.018	27 ~ 37
	Nitrogen	63.1 & 77.35	126.19 & 3.397	73 ~ 103
	Argon	83.9 & 87.29	150.66 & 4.860	84 ~ 116
	Oxygen	54.7 & 90.18	154.58 & 5.043	73 ~ 119
	Methane	90.6 & 111.4	190.55 & 4.595	91 ~ 150
Low Temperature (200~550 K)	Ethane	89.9 & 184.6	305.53 & 4.871	150 ~ 240
	R-11	162 & 297	470.96 & 4.407	233 ~ 393
	R-22	113.1 & 232.2	369.17 & 4.990	193 ~ 297
	R-134a	169.70 & 246.3	374.03 & 4.056	213 ~ 300
	R-141b	253 ↓ & 302.0	423.0 ↑ & 1.81 ↑	253 ~ 420
	R-142b	223 ↓ & 263.3	398.0 ↑ & 3.37 ↑	223 ~ 373
	R-290	123 ↓ & 231.1	369.70 & 4.248	200 ~ 330
	Ammonia	195.5 & 239.9	402.22 & 11.333	213 ~ 373
	Ethanol	158.7 & 351.5	513.9 & 6.14	273 ~ 403
	Methanol	175.1 & 337.8	512.6 & 8.09	283 ~ 403
	Acetone	180.0 & 329.4	508.1 & 4.70	273 ~ 393
	Water	273.1 & 373.1	646.99 & 22.064	323 ~ 473
Medium Temperature (550~750 K)	Toluene	178.1 & 383.7	591.8 & 4.10	323 ~ 473
	Naphthalene	353.4 & 490	748.4 & 4.05	408 ~ 478
	Dowtherm	285.1 & 527.0	-	423 ~ 668
High Temperature (750~3000 K)	Mercury	234.2 & 630.1	-	523 ~ 923
	Sulphur	385.9 & 717.8	-	530 ~ 947
	Cesium	301.6 & 943.0	-	723 ~ 1173
	Sodium	371.0 & 1151	-	873 ~ 1473
	Lithium	453.7 & 1615	-	1273 ~ 2073
	Calcium	1112 & 1762	-	1400 ~ 2100
	Lead	600.6 & 2013	-	1670 ~ 2200
	Silver	1234 & 2485	-	2073 ~ 2573

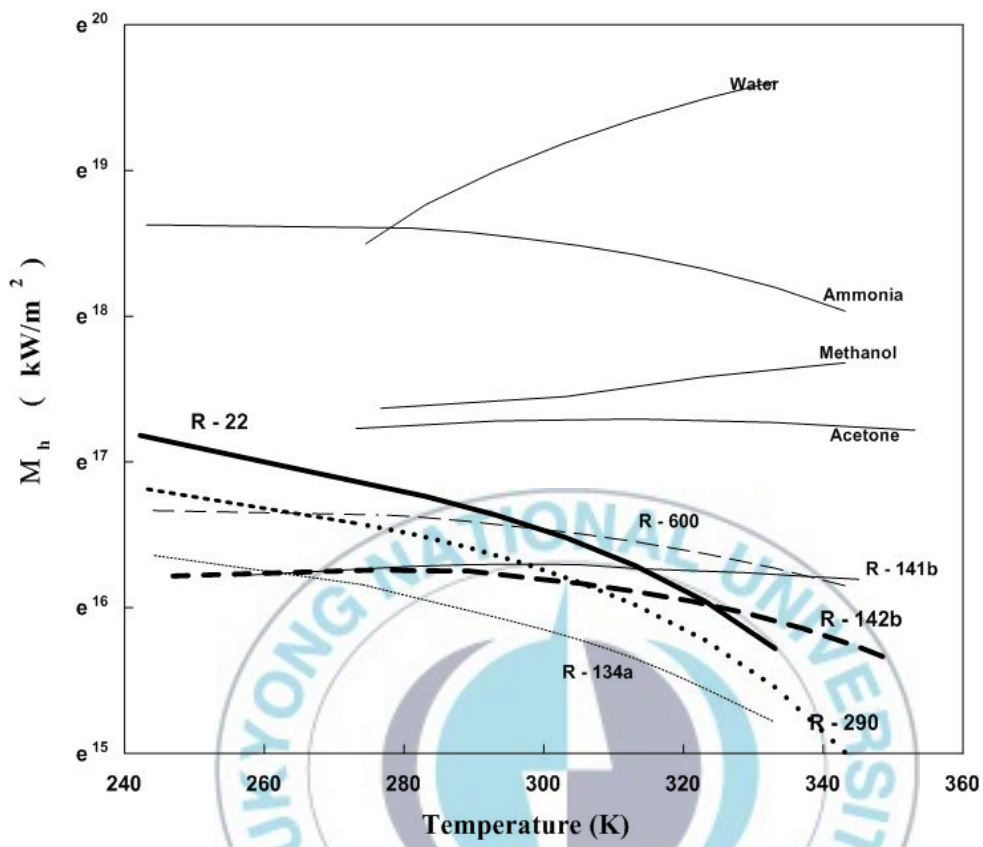


Fig. 5 Merit number of selected working fluids for heat pipe

Table 2 Generalized results of experimental compatibility tests

Working Fluids	Compatible Material	Incompatible Material
Water	Stainless steel, Copper, Monel, Silica, Nickel, Titanium,	Aluminum, Inconel
Ammonia	Aluminum, Carbon steel, Stainless steel, Iron, Nickel,	Copper
Methanol	Stainless steel, Iron, Copper, Silica, Nickel, Brass	Aluminum
Acetone	Stainless steel, Aluminum, Copper, Brass, Silica, Nickel	
R-11	Aluminum	
R-21	Aluminum, Iron	
R-22	Aluminum, Copper	
R-134a	Aluminum, Copper	
Heptane	Aluminum	
Dowtherm	Stainless steel, Copper, Silica	
Lithium	Tungsten, Tantalum, Molybdenum, Niobium	Stainless steel, Nickel, Inconel, Titanium
Sodium	Stainless steel, Nickel, Inconel, Niobium	Titanium
Cesium	Titanium, Niobium	
Mercury	Stainless steel	Molybdenum, Nickel, Inconel, Tantalum, Titanium, Niobium
Lead	Tantalum, Tungsten	Stainless steel, Nickel, Inconel, Titanium, Niobium
Silver	Tantalum, Tungsten	Rhenium

제 3 장 실험장치 및 방법

3.1 실험 장치

본 실험 장치는 기존의 전기 히터를 통한 전열식 제상 방법과 BJLHP를 이용한 제상을 비교 실험하였다. 제상시 챔버 내에 미치는 영향, 소모전력량, 핀 및 튜브의 온도변화, 히터 자체의 온도변화, 제상량에 대하여 비교 분석하였다.

3.1.1 실험장치의 구성도

BJLHP 의 성능을 비교 분석을 위한 실험의 구성도는 Fig.6과 같다. 실험용 냉동 유니트는 증기 압축식 냉동장치로 구성되어 있으며, 압축기, 유분리기, 응축기, 수액기, 전자밸브, 고저압 차단장치 등의 기본적 부품으로 구성되어 있고 챔버 외부에 설치되어 있다. 그리고 시험부인 증발기는 챔버 내에 설치하였다.

Photo.1 은 실제 실험실의 모습을 나타내었다.

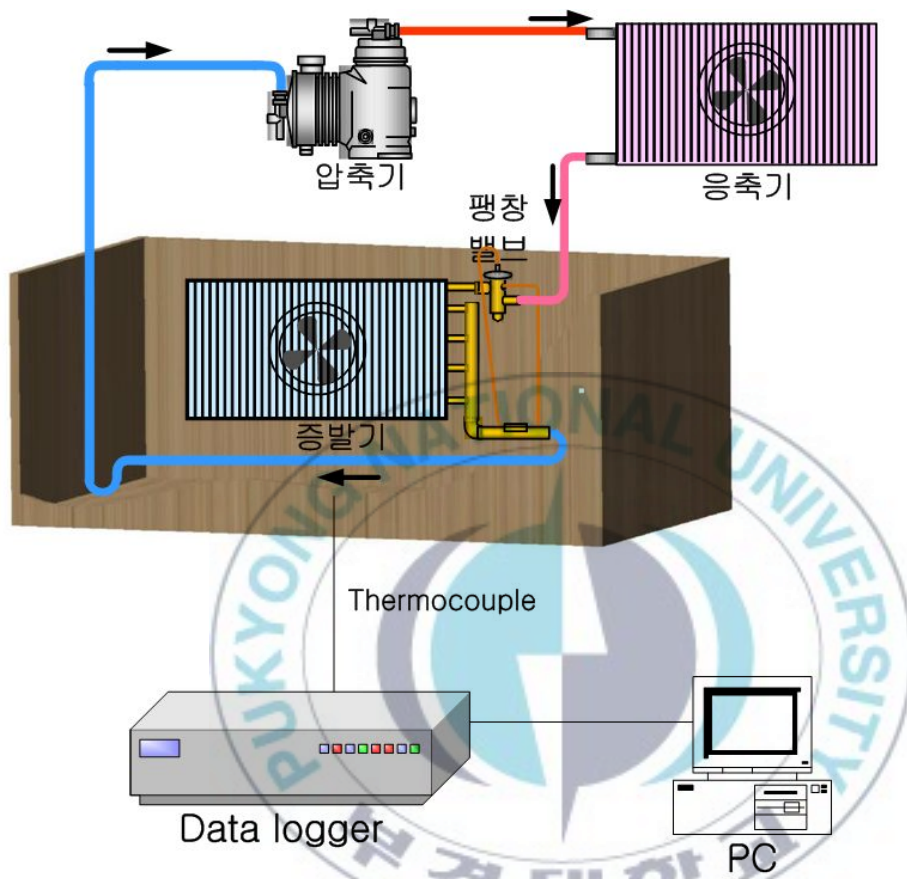


Fig. 6. Schematic diagram of experimental apparatus



Photo.1 Photograph of experimental apparatus.

3.1.2 실험 열교환기

실험에 사용된 열교환기는 공기와 냉매에 열교환에 널리 사용되는 Corrugated 핀-관 열교환기를 사용하였다. Fig.7,8 은 0.87 RT급 천정형 증발기의 설계 사양, Photo.2 는 실제 증발기의 모습을 나타낸다. 열교환기 코일은 4R * 13S * 800EL 로 구성되어 있으며, 피치 및 재질은 각각 파이프 피치 33 * 38mm, 핀 피치는 8.5mm이며, $\varnothing 15.88 * 0.45T$ 동관 (C1220T)이 사용되었다.. Fan Motor는 Propeller Fan $\varnothing 400$, 0.1kW * 6P * 1set로 구성되어 있음. 세부 제원은 Table 3 에 나타내었다.

Table. 3. Specification of Evaporator

품 명	규 격
Cooling Coil	$\varnothing 15.88$, 4R *13S * 800EL
Fin Pitch	8.5mm
Pipe Pitch	33 * 38mm
Fan Motor Set	Propeller Fan $\varnothing 400$, 0.1kW * 6P * 1set
Air Volume	60CMM
Transfer Area	14.48m ²

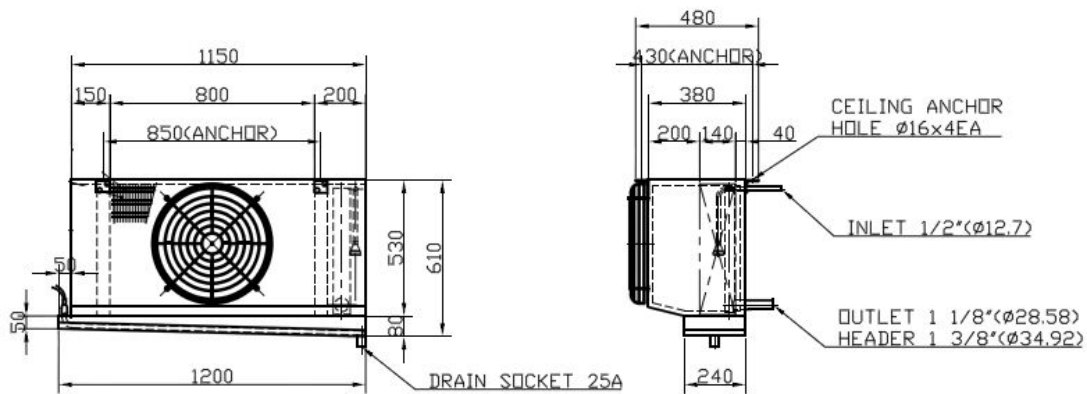


Fig.7 Design specification of Evaporator with electric heater

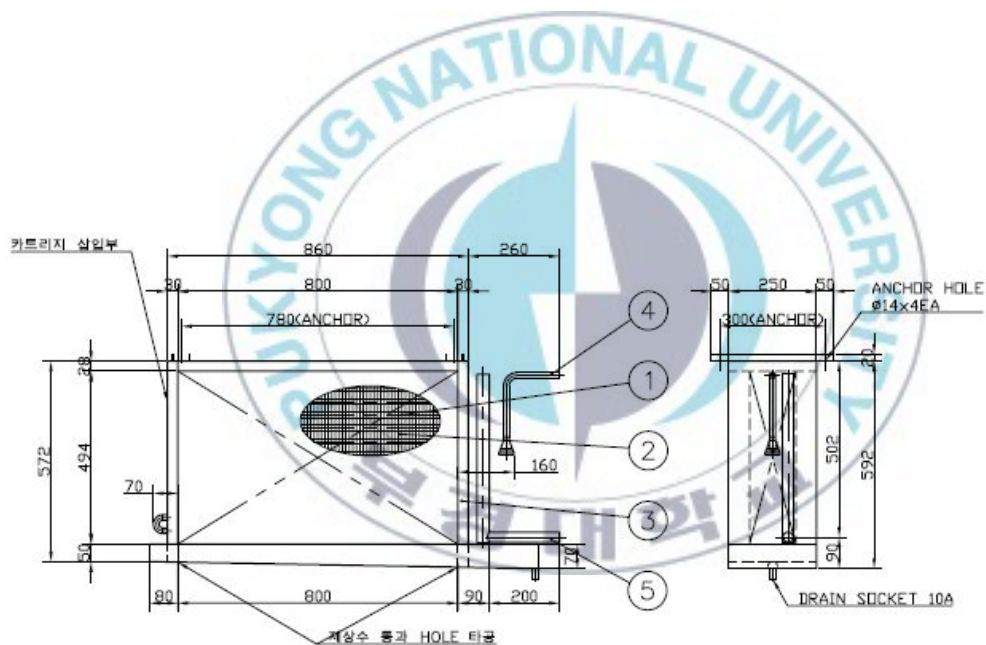


Fig.8 Design specification of Evaporator with BJLHP



Photo.2. Photograph of Evaporator



3.1.3 실험용 제상 히터

일반 전기 히터가 사용된 증발기의 경우 Heater 는 Body 0.7kW * 4EA 와 Drain 0.9kW * 1EA가 사용되었고, BJLHP가 적용된 증발기는 BJLHP 에 사용된 0.25kW * 2EA와 Drain Heater는 동일한 0.9kW가 사용되었다.

BJLHP 는 총 2개로 구성되며 전기히터의 위치와 같은 곳에 위치한다. BJLHP는 외경 15.88mm, 두께 0.45mm의 동관으로 제작되었으며, 그 길이는 2600mm, Heat Flux는 51.08.kW/m² 이다. 자세한 Specification은 Table 4 에, Photo.3.은 BJLHP의 실제 모습을 각각 나타내었으며, Photo.4 는 증발기에 설치되어 있는 전기 히터와 BJLHP의 모습이다.

Table 4. Specification of BJLHP

	Heat Pipe	Heater
Type	Loop	Cartridge
Length (mm)	2300	76
O.D (mm)	15.88	20.5
Material	Copper	SUS304
Capacity		380V , 0.25kW
Heat Flux (kW/m ²)		51.08



Photo.3. Photograph of BJLHP applied to Evaporator

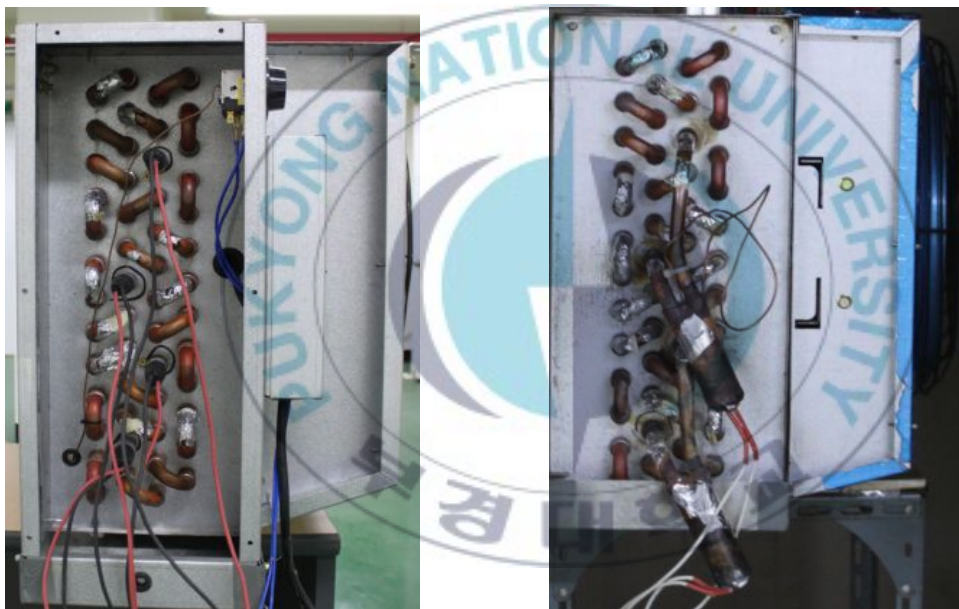


Photo.4 .Photograph of Evaporator applied Electric heater and BJLHP.

3.2 실험방법 및 조건

3.2.1 냉매 충전 및 실험 조건

실제 현장에서는 증발기를 4시간 가동 후 20분을 제상하고 있으며, 이 실험에서도 동일한 4시간 동안 적상을 한 후 20분 동안 제상을 하는 것을 기준으로 하였다. 증발기의 적상을 위하여 매 실험 시 4 liters의 물을 가습하였다. 챔버 내의 온도는 -29°C , 실험실 실내온도는 23°C 로 하였다. 냉매 충전은 앞에서 실험에 의해 구한 40%로 충전률로 하여 실험하였다.

2.3.2 온도 측정

챔버 내의 온도를 측정하기 위하여 상부에 4개, 중부에 4개, 하부에 4개 총 12개의 열전대를 설치하였으며, 증발기 및 제상 히터의 온도를 측정하기 위하여 기존의 전기 히터의 경우, 핀에 6개, 히터에 4개, 튜브에 6개 총 16개의 열전대를 설치하였고, BJLHP의 경우에는 핀에 6개, BJLHP에 6개, 튜브에 6개 총 18개의 열전대가 설치되었다. 열전대로부터 얻어진 데이터의 처리는 YOKOGAWA사의 Data logger와 컴퓨터를 이용하여, 매 2초 간격으로 측정하였다.

2.3.2 전력 소모량 측정

제상시 소모되는 전력소모량을 측정하기 위하여 제상 작동 시 히터로 들어가는 전기만 따로 전력계에 연결하여 소모 전력을 측정하였다.

단, 동일한 드레인 히터가 전기히터와 BJLHP에 적용되었다.

2.3.3 제상량 측정.

제상량은 제상 시간 20분이 지난 후 편이나 드레인 판에 있는 용해수가 충분히 흘러 내릴 수 있게 5분 후에 드레인 관으로 나온 물을 모아서 저울(Balance)에서 측정한다.



제 4 장 실험결과

실험 결과는 기존의 전기 히터와 BJLHP가 적용된 증발기에 대하여 그 영향을 비교 분석하였다. 그 Factor는 다음과 같다

히터 자체의 온도변화, 증발기의 온도변화, 제상시 챔버 내 온도변화, 소모전력량 및 제상량에 대하여 측정하였다.

4.1 제상 시 히터의 온도 변화.

전기 히터의 경우는 히터 자체의 온도가 평균 200℃ 이상 올라가는 것을 확인할 수 있으며, BJLHP의 경우에는 40℃ 전후의 온도까지 올라간다. 평균 160℃ 정도 차이를 나타낸다.

전기히터는 500초정도까지 -30℃에서 급속하게 온도가 올라가다가 그 이후 그 경사가 약간 완만해진 후 1200초쯤엔 200℃이상 상승하는 것으로 약 170℃정도의 차이를 보인다.

BJLHP의 경우에는 100초까지는 -30℃ 급속하게 상승하다가 그 이후로도 지속적으로 온도가 상승 1200초까지 40℃까지 상승. 그 상승 정도는 70℃ 정도이다.

Fig. 9는 전기 히터의 온도변화를 나타낸 것이고, Fig.10은 BJLHP의 온도 변화를 나타낸 것이다.

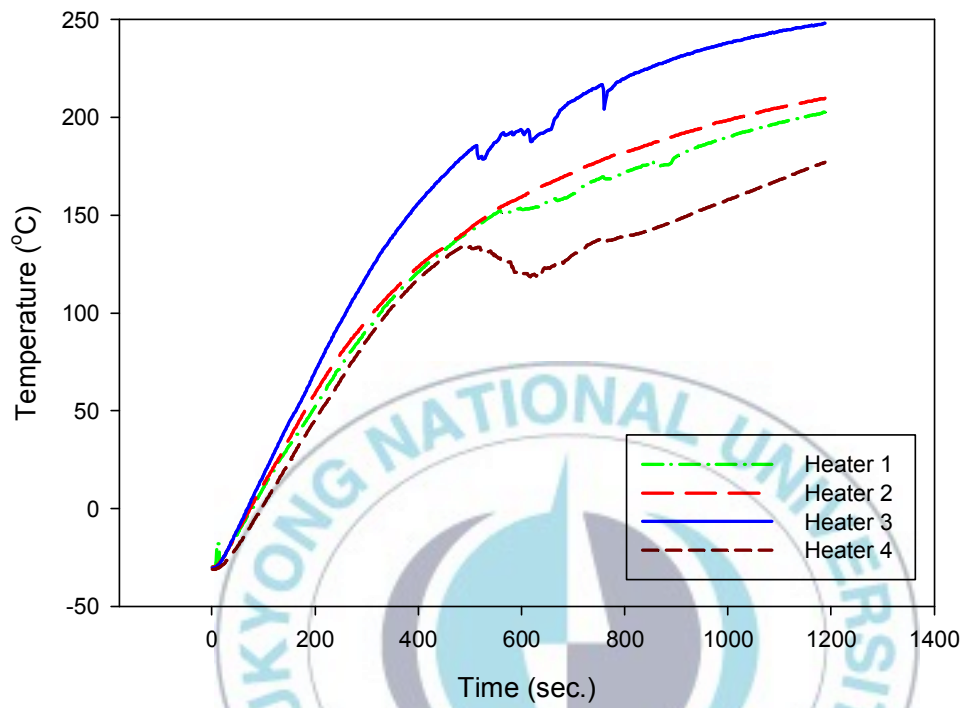


Fig.9 The change of Electric heater temperature

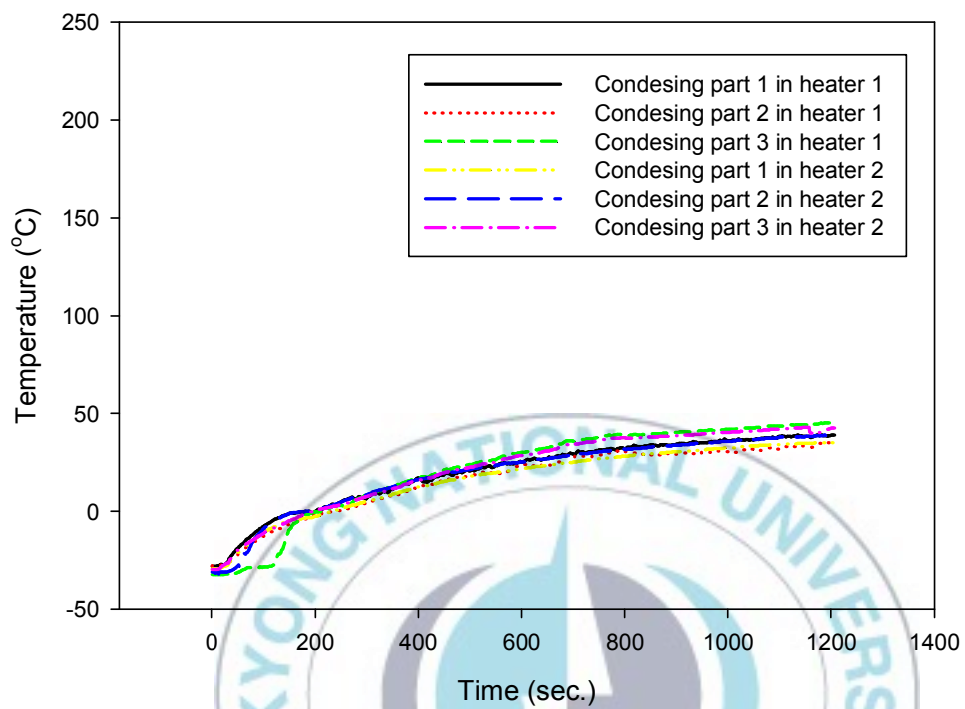


Fig.10 The change of Electric heater temperature

4.2 증발기의 온도 변화.

4.2.1 핀 의 온도변화

전기 히터의 경우 -30°C 부터 상승하여 0°C 부근에서 150초간 수평이동을 하다가 다시 상승하여 $20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 정도까지 상승한다.

BJLHP의 경우에는 -30°C 부터 지속적으로 상승하여 600초쯤에 0°C 에 다르며, 약 200초 동안 0°C 가 지속되다가 다시 상승하여 $1\sim 13^{\circ}\text{C}$ 정도까지 상승한다.

Fig. 11는 전기 히터의 사용 시 핀의 온도변화를 나타낸 것이고, Fig.12은 B JLHP 사용 시 핀의 온도 변화를 나타낸 것이다.



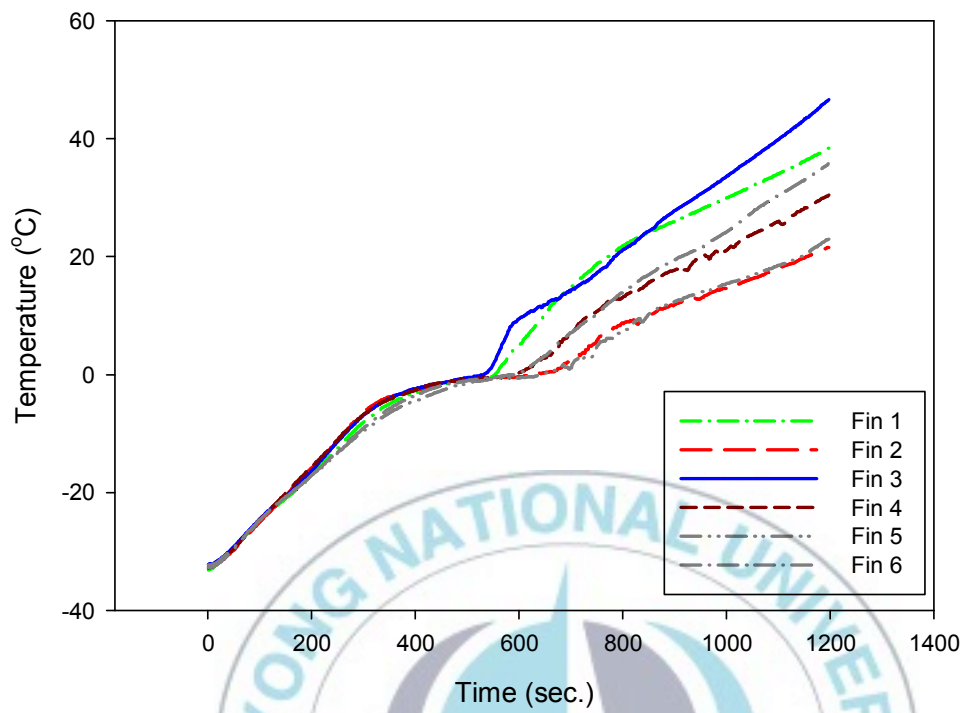


Fig.11 The change of Fin temperature by Electric heater

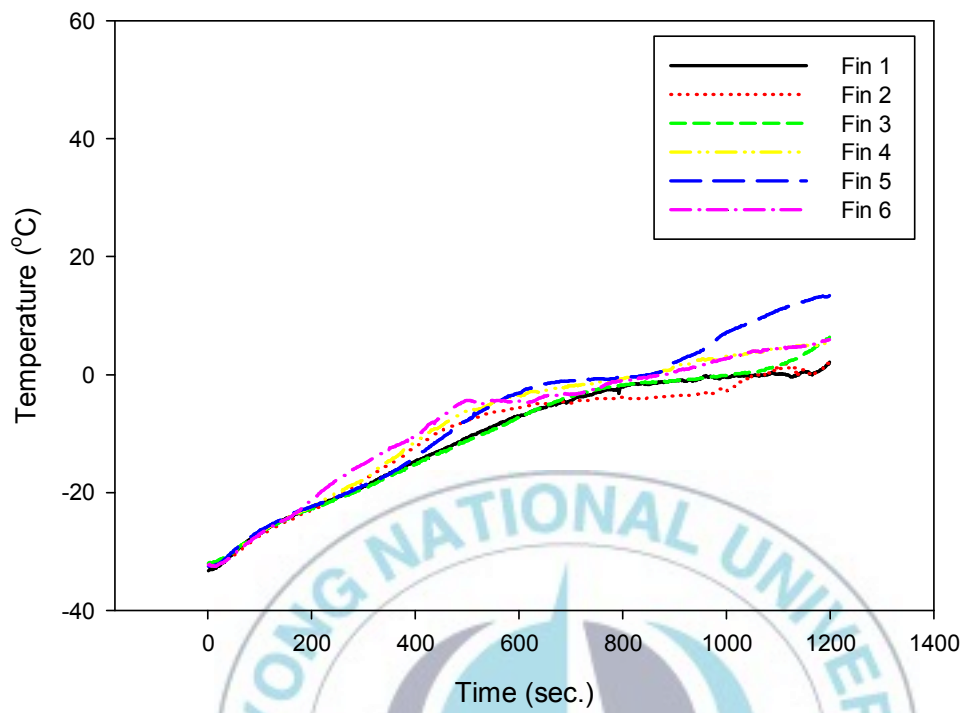


Fig.12 The change of Fin temperature by BJLHP

4.2.2. Tube의 온도 변화

전기 히터의 경우 -30°C 부터 상승하여 핀보다 조금 늦은 시간인 420초 정도에서 0°C 에 다다르며 100초간 수평이동을 하다가 다시 상승하여 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 정도까지 상승한다.

BJLHP의 경우에는 -30°C 부터 지속적으로 상승하여 800초쯤에 0°C 에 다다르며, 지속적으로 상승해 $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ 까지 상승한다.

Fig.13는 전기 히터의 사용 시 튜브의 온도변화를 나타낸 것이고, Fig.14은 B JLHP 사용 시 튜브의 온도 변화를 나타낸 것이다.



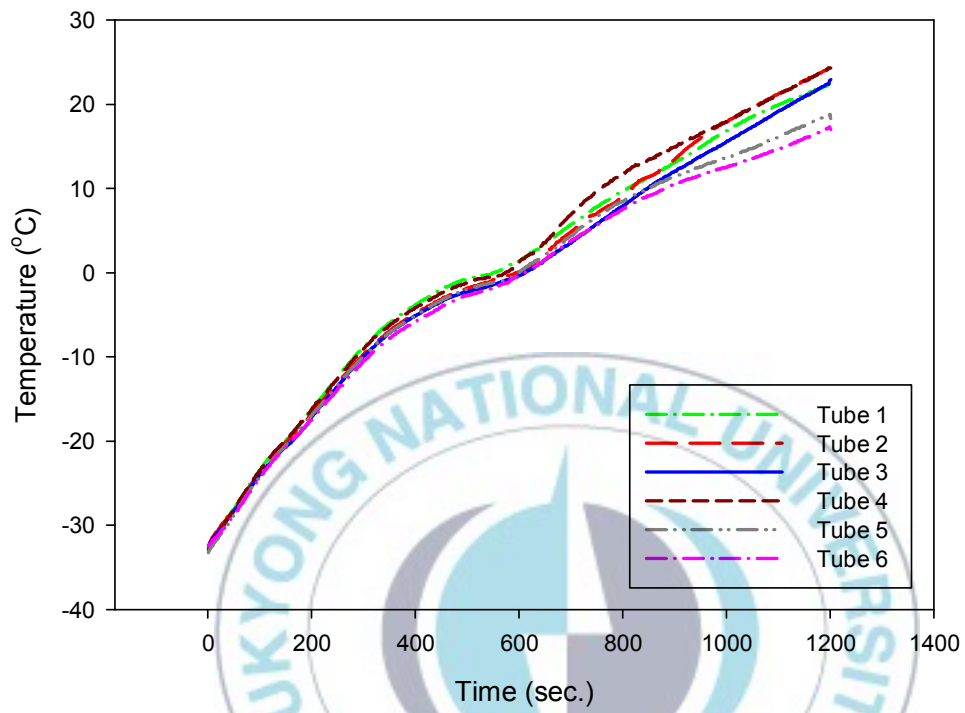


Fig.13 The change of Tube temperature by Electric heater

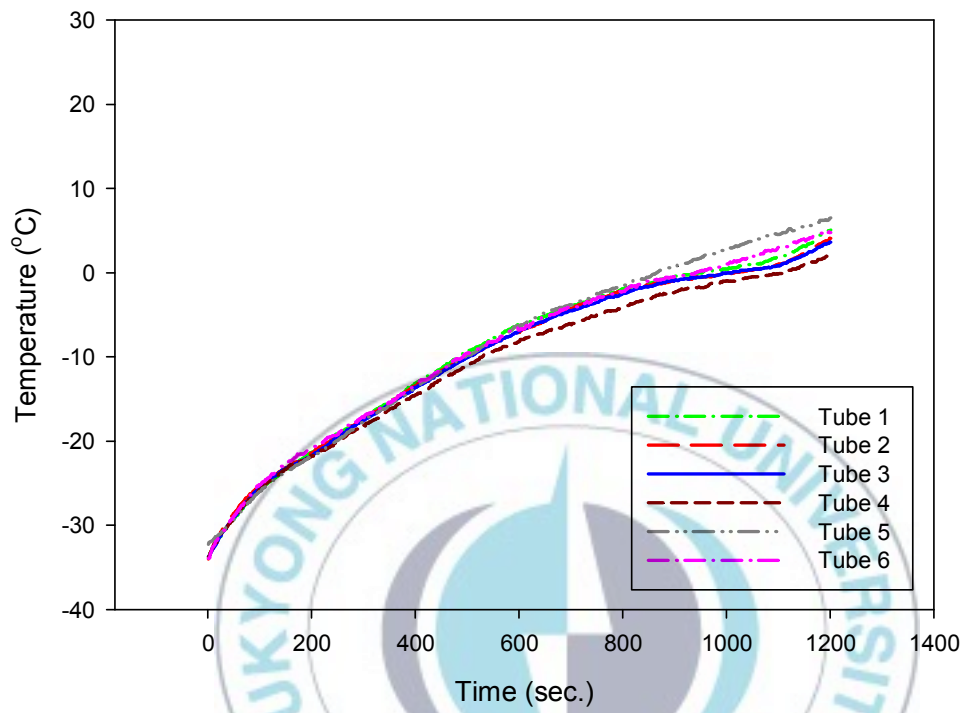


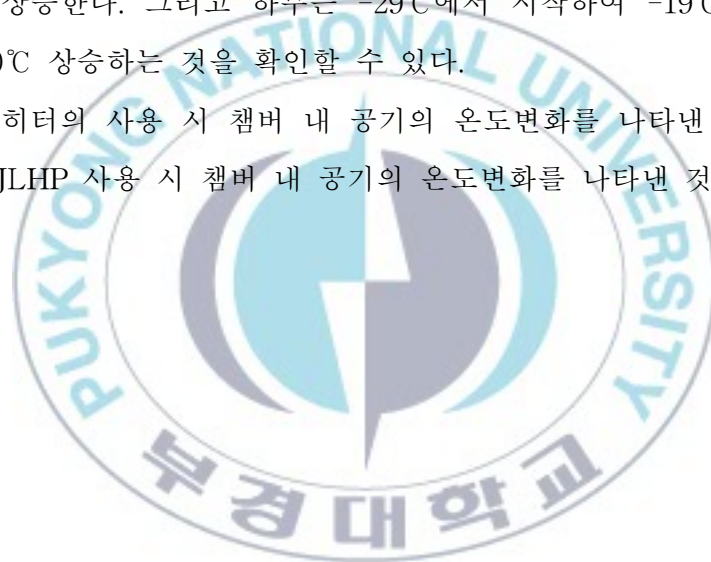
Fig.14 The change of Tube temperature by BJLHP

4.3 챔버 내의 온도 변화.

전기 히터를 사용하였을 경우 상부의 온도는 -28°C 부터 상승하여 6°C 까지 상승하여 약 34°C 가 상승하며, 중부는 -28°C 에서 상승하여 -2°C 까지 상승하여 약 26°C 가 상승한다. 그리고 하부는 -28°C 에서 시작하여 -15°C 까지 상승하여 약 13°C 상승하는 것을 확인할 수 있다.

BJLHP의 경우에는 상부의 온도가 -29°C 부터 상승하여 -7°C 까지 상승하여 약 22°C 가 상승하며, 중부는 -29°C 에서 상승하여 -11°C 까지 상승하여 약 18°C 가 상승한다. 그리고 하부는 -29°C 에서 시작하여 -19°C 까지 상승하여 약 10°C 상승하는 것을 확인할 수 있다.

Fig.15는 전기 히터의 사용 시 챔버 내 공기의 온도변화를 나타낸 것이고, Fig.16은 BJLHP 사용 시 챔버 내 공기의 온도변화를 나타낸 것이다.



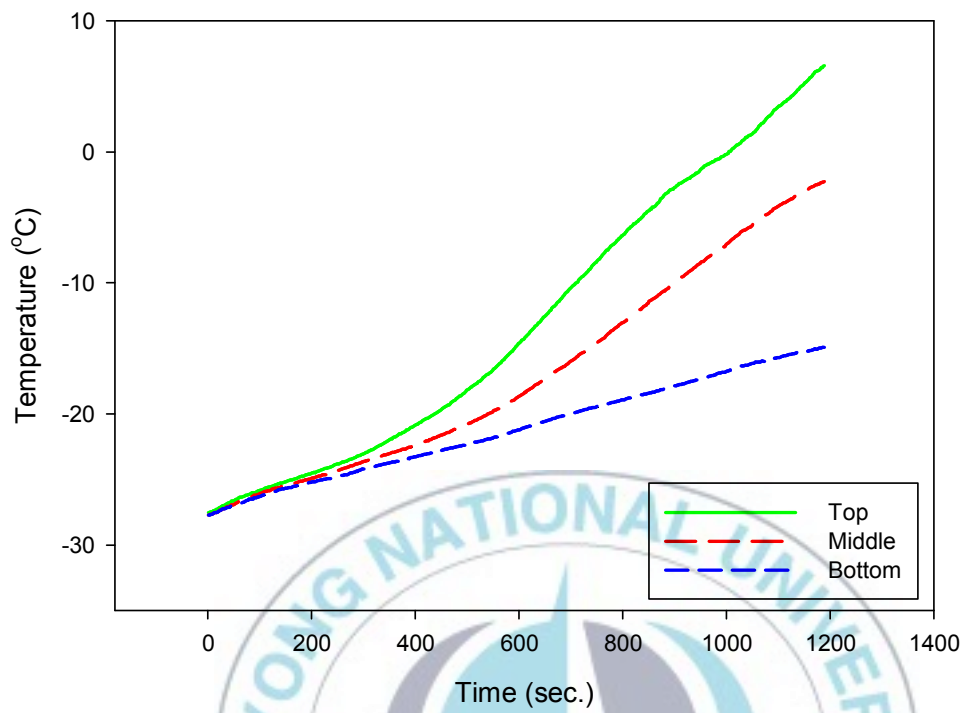


Fig.15 The change of Chamber air temperature by Electric heater

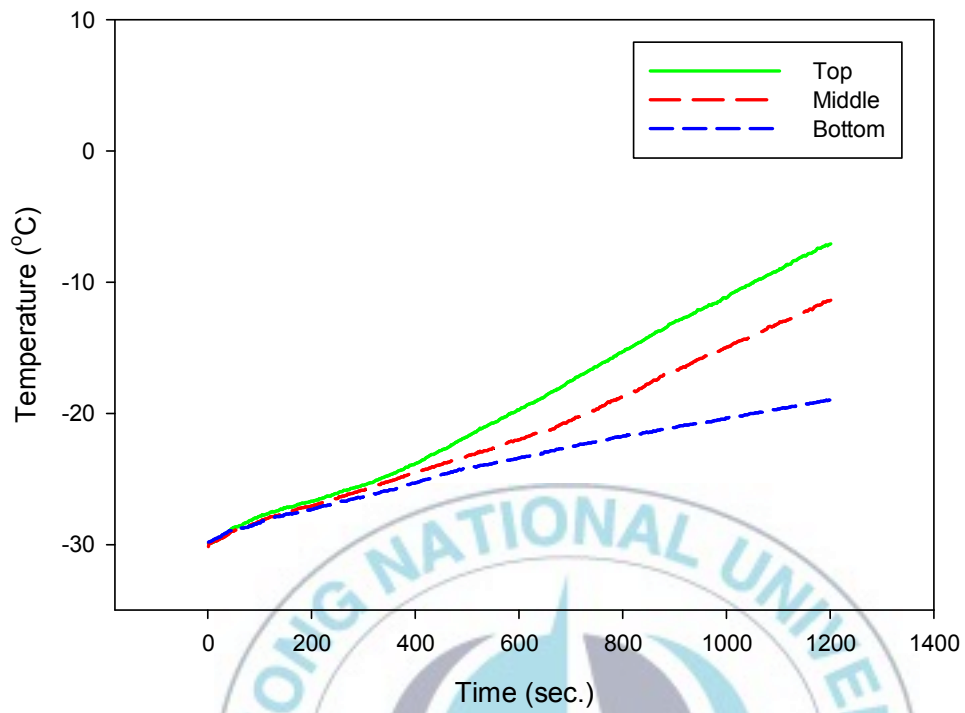


Fig.16 The change of Chamber air temperature by BJLHP

4.4 전력 소모량은 비교.

전력 소모량은 전기히터평균 1.15kW가 소모되었으나, BJLHP의 경우 평균 0.74kW로 35.6% 줄어들었습니다.

Fig.17는 전기 히터와 BJLHP의 소모 전력량을 비교한 것이다.

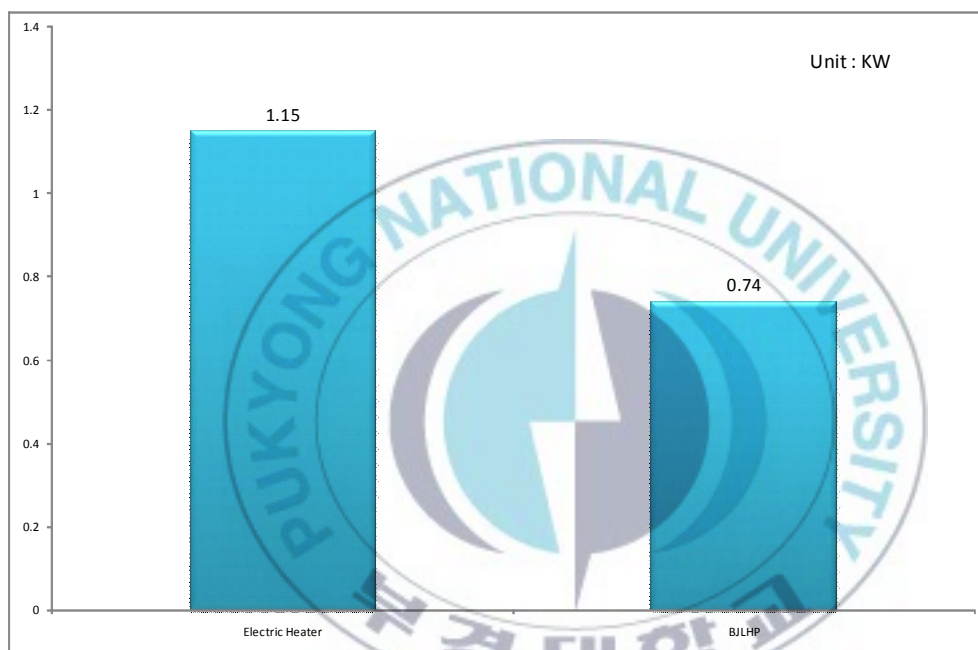


Fig.17 Comparison electricity consumption between Electric heater and BJLHP

4.5 단위 입열량당 제상량 비교.

전기히터의 단위 입열량당 제상량 754.58g/kW 이며, BJLHP의 경우 단위 입열량당 제상량은 901.67g/kW 으로 19.5% 증가하였다.

Fig.18는 전기 히터와 BJLHP의 단위 입열량당 제상량을 비교한 것이다.

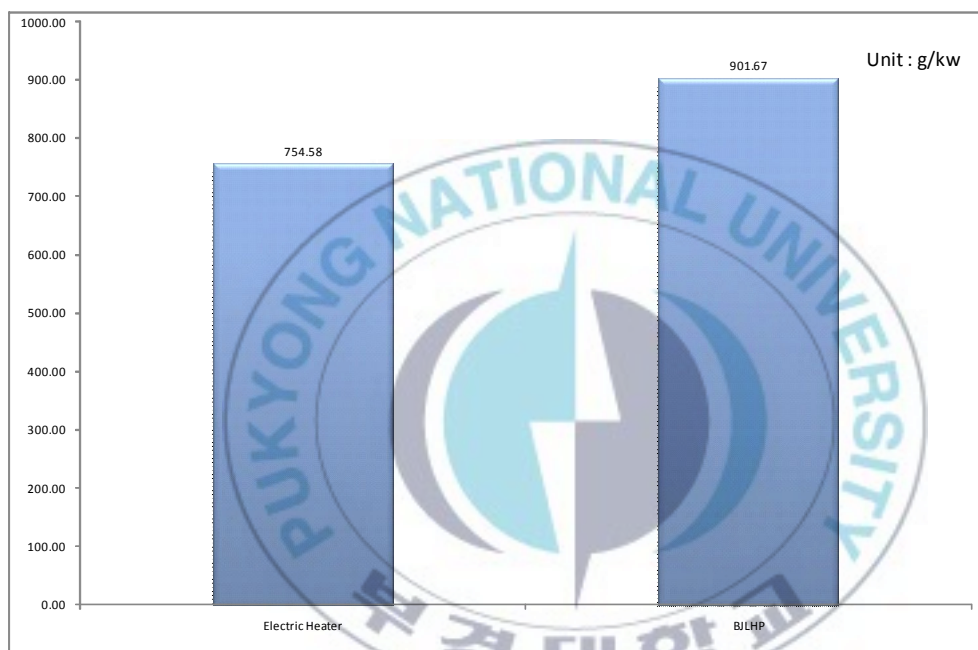


Fig.18 Comparison defrosted water quantity by input power between Electric heater and BJLHP

제 5 장 결 론

BJLHP를 제상장치로 사용한 증발기와 기존의 일반 제상용 전기히터를 사용한 증발기를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 실제 산업 현장에서는 제상용 전기히터 사용 시에는 후드나 댐퍼를 추가적으로 부착하여 제상 시 고내 온도 상승을 최소화하고 있으나 BJLHP를 사용하면 추가적인 부착이 없이도 고내 온도에 큰 영향을 미치지 않기 때문에 경제적이다.
- (2) 제상 장치의 자체 온도의 경우, 기존의 방식은 최고 온도가 평균 200℃ 이상 올라가 누전 및 화재의 위험이 큰 반면에, BJLHP의 경우는 평균 40℃ 전후의 저온으로 열전달 효율을 향상시켜 제상하였다.
- (3) 단위 입열량당 제상량은 BJLHP의 경우 901.67g/kW로, 전기 히터의 754.58g/kW 보다 147.09g/kW (19.5%) 만큼 증가하였다.
- (4) 소모 전력량은 전기히터 1.15kW, BJLHP 0.74kW 가 제상 시간 20분 동안 소모 되었다.

본 논문은 제상 장치로서의 BJLHP에 대한 연구의 일부 성과를 발표한 것으로 앞으로도 지속적인 연구가 필요하며, 진행될 것으로 생각된다.

참고문헌

- (1) Gaugler, R. S., 1944, " Heat transfer device", U.S. Patent 2,350,348.
- (2) Grover, G. M., 1963, "Evaporation-condensation heat transfer device", U. S. Patent 3,229,759.
- (3) 지성, 이관수.2000, 흰-관 열교환기의 착·제상 거동에 대한 표면처리의 영향에 관한 실험적 연구, 대한기계학회논문집 B권, 제24권 제8호.
- (4) 허정우, 고온냉매 우회 제상방법을 적용한 열펌프 성능 개선 연구, 2005 연세대학교 석사 논문.
- (5) 김종수, 2009, Bubble Jet Loop Heat Pipe의 유동 가시화, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집.
- (6) 김종수, 2009, 기포분출 진동형 루프 히트파이프에 관한 실험적 연구, 대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회 논문집. pp 263~267
- (7) YUNUSA. CENGEL, "Heat Transfer". McGrow-Hill, pp.570~620
- (8) Incropera & Dewitt, "Introduction to heat transfer", pp.727~738,1996
- (9) P. Charoensawan, " Effects of Evaporator Lengths, Number of Turns and Working Fluids on Internal Flow Patterns of a Vertical Closed-Loop Oscillating Heat Pipe", Proceeding of the 7th International Heat Pipe Symposium, Jeju, pp. 260~267, 2003

- (10) 김재돌(J. D. Kim), 착상과 제상이 냉동장치의 운전특성에 미치는 영향, 한국동력기계공학회, 한국동력기계공학회지, 제14권 제4호 2010.8, pp. 5~10(6pages)
- (11) H.Akachi, "Looped Capillary Tube Heat Pipe", Proceedings of 71th General Meeting Conference of JSME, Vol. 3, No. 940-10, pp. 606~611, 1994
- (12) 박용주, 냉장고 제상을 위한 히트파이프 이용 기술 연구, 성균관대 박사 논문, 2005.
- (13) 김창영, 유니트 쿨러용 제상장치 개발에 관한 연구, 공기조화 냉동공학회 98하계학술발표회 논문집 pp.15~20.
- (14) Heat Exchanger Design Handbook, Bell House Inc. (1998)
- (15) Owaga, K.N. Tanaka, and M, Takeshita, 1999, Performance improvement of plate fin-and-tube heat exchangers under frosting conditions, ASHRAE Transactions 99(1), pp 762~774

謝 辭

본 논문이 결실을 맺기까지 연구자로서의 자세와 연구에 대한 아낌없는 조언과 따뜻한 격려로 지도해 주신 김종수 교수님의 은혜에 깊은 감사를 드립니다. 그리고, 본 논문을 지도해 주시고 유익한 조언을 아낌없이 해주신 최광환 교수님, 김영수 교수님, 오후규 교수님, 김은필 교수님, 금종수 교수님, 윤정인 교수님, 정석권 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

그리고 본 논문이 완성되기까지 같이 고민하며 어려움을 해결해 주시고 격려의 말을 아끼지 않았던 공상운 박사님, 하수정 박사님 그리고 권용하 박사님, 항상 옆에서 묵묵히 도와준 길재, 현직이, 재호, 동광이, 지원이에게도 고맙다는 말 전하고 싶습니다. 대학원에 들어와서 학업에 집중과 열정을 쏟지 못한 것이 정말 아쉽고, 나 스스로에게 커다란 만족감을 주지 못하는 것이 너무 아쉽습니다.

그래도 그나마 실험실 중에 가장 사람이 많고 활발한 곳이라 재미있게 지낸 것 같고, 인간적이지고, 노래도 멋지게 잘 불러 주시던 멋쟁이 우리 교수님 밑에서 2년을 보냈다는 것이 저를 타일러 주는 듯 합니다.

암튼 제가 이 논문을 마무리하는데 있어 가장 많은 지원과 신뢰를 해주신 많은 분들께 감사의 말씀 드립니다.