



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

해수냉각시스템용 만액식 증발기의
열전달 특성에 관한 실험적 연구



2017년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

냉동공조공학과

강 인 호

공 학 석 사 학 위 논 문

해수냉각시스템용 만액식 증발기의
열전달 특성에 관한 실험적 연구

지도교수 윤 정 인

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2017년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

냉동공조공학과

강 인 호

강인호의 공학석사 학위논문을 인준함.

2017년 2월



위 원 장 공학박사 김 은 필 (인)

위 원 공학박사 손 창 효 (인)

위 원 공학박사 윤 정 인 (인)

목 차

Abstract	iii
List of figures	v
List of tables	ix
Nomenclature	xi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 종래연구	4
1.3 연구목적	6
제 2 장 실험장치 및 방법	7
2.1 실험장치	7
2.1.1 전열관 선정	7
2.1.2 만액식 증발기	10
2.1.3 실험장치 구성	12
2.1.4 냉매 순환부	14
2.1.5 물 순환부 및 브라인 순환부	15
2.1.6 데이터 획득	16

2.2 주요구성기기 및 계측장치	17
2.2.1 주요구성기기	18
2.2.2 계측장치	26
2.3 실험 방법	30
2.4 데이터 처리	31
제 3 장 결과 및 고찰	33
3.1 실험 조건	33
3.2 실험 결과 분석 및 비교	34
3.2.1 상관식 비교	34
3.2.2 열유속에 따른 다양한 관 실험	36
3.2.3 냉수 유속에 따른 실험	38
3.2.4 증발온도에 따른 실험	40
3.2.5 냉수 입구온도에 따른 실험	42
3.2.6 일정 온도차에 따른 실험	44
제 4 장 결 론	46
참고문헌	48

Experimental study on Heat Transfer Characteristics of Flooded Type Evaporator for Seawater Cooling System

In Ho Kang

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

Abstract

Due to the water temperature rising, change in an ecosystem of the ocean, reckless catch of fishing, a catch of fishes has gradually declined as compared to its past. In cases of purse seine, extreme change in oil price, lack of skilled labors, and inflation have weaken their competitive position in the fish market. Most of fishermen just use ice cooling system to manage and store fishes captured on the fleet. However, the ice cooling system caused difficulty in maintaining proper temperature in the storage of fleet and salt density in addition to limitation on operating hours. The purpose of this research is to supplement those problems mentioned above and to improve profitability of fish industry. We processed an experiment on characteristics of heat transfer with boiling flooded type evaporator before we plan and manufacture seawater cooling system that can directly cool seawater in the storage of the fleet. The

experiment of this paper confirms the change of seawater temperature, flow rate and saturation temperature of refrigerant. By boiling experiment of flooded type evaporator, we found out that all the data from experiments can be useful for planning actual flooded type evaporator. The objective of this research is to design and manufacture seawater cooling system that can be installed and loaded in the storage of fish carrier which is in the 200-ton class.



List of figures

Fig 1.1 Increase of seawater temperature

Fig 2.1 Tubes with various shape for heat transfer experiment

Fig 2.2 Tubes with various material shape for heat transfer experiment

Fig 2.3 Low fin tube heat transfer area with calculation of workbench
[21]

Fig 2.4 Flooded type evaporator design

Fig 2.5 Flooded type evaporator of production

Fig 2.6 Schematics of experimental equipment

Fig 2.7 Experimental apparatus of flooded type evaporator

Fig 2.8 Flooded evaporator

Fig 2.9 Double-pipe type condenser

Fig 2.10 Receiver

Fig 2.11 Gear pump

Fig 2.12 Seawater pump

Fig 2.13 Heater

Fig 2.14 Constant temperature bath

Fig 2.15 Flowmeter for seawater

Fig 2.16 Pressure sensor

Fig 2.17 PT-100Ω

Fig 2.18 Data logger

Fig 3.1 Heat transfer of copper plain with heat flux increase

Fig 3.2 Heat transfer of various tube with heat flux increase

Fig 3.3 Heat transfer of al-brass low-fin with velocity increase of chilled water

Fig 3.4 Heat transfer of al-brass low-fin with temperature increase of evaporating

Fig 3.5 Heat transfer of al-brass low-fin with temperature increase of chilled water

Fig 3.6 Heat transfer of al-brass low-fin with constant temperature difference

Fig 2.10 PT-100Ω

Fig 2.11 Flowmeter for water

Fig 2.12 Flowmeter for refrigerant

Fig 2.13 Power meter

Fig 2.14 Data logger

Fig 3.1 Heat balance in heat exchangers

Fig 3.2 Pressure of compressor inlet and outlet with temperature increase of cooling water

Fig 3.3 Flow rate of working fluid with temperature increase of cooling water

Fig 3.4 P-h diagram with temperature increase of cooling water

Fig 3.5 Condenser capacity with temperature increase of cooling water

Fig 3.6 Evaporator capacity and compressor work with temperature increase of cooling water



List of tables

Table 1.1 Freshness indicator of mackerel according to various storage temperature[3]

Table 2.1 Specs of the flooded evaporator

Table 2.2 Specs of the condenser

Table 2.3 Specs of the receiver

Table 2.4 Specs of the gear pump

Table 2.5 Specs of the water pump

Table 2.6 Specs of the heater

Table 2.7 Specs of the constant temperature bath

Table 2.8 Specs of the flowmeter for seawater

Table 2.9 Specs of the pressure sensor

Table 2.10 Specs of the PT-100 Ω

Table 2.11 Specs of the data logger

Table 3.1 Experimental analysis conditions



NOMENCLATURE

SYMBOLS

A	Area	[m ²]
d	Pipe size	[m]
G	Flow rate	[kg/h]
h	Heat transfer coefficient	[kW/m ² ·K]
k	Thermal conductivity	[kW/m·K]
L	Characteristic length	[m]
q	Heat flux	[kW/m ²]
Q	Heat capacity	[kW]
T	Temperature	[K]
U	Overall heat transfer coefficient	[kW/m ² ·K]

DIMENSIONLESS NUMBERS

Re	Reynolds number
Nu	Nusselt number
Pr	Prandtl number

GREEK SYMBOLS

Δ	Difference	
ρ	Density	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
μ	Dynamic viscosity	$[\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}]$
v	Velocity	$[\text{m}/\text{s}]$

SUBSCRIPTS

cw	Chilled water
e	Evaporating
i	In
LMTD	Logarithmic mean temperature difference
o	Outer
w	Wall

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

현재 극심한 환경변화와 세계적인 수온상승, 해양 생태계 변화, 무분별한 어류의 포획 등으로 어획량이 과거에 미치지 못하는 것이 현실이다. 이 때문에 국내의 경우도 해양산업과 수산업 등에 미치는 영향 또한 크다. 한국의 어업형태 중 하나인 규모가 가장 큰 대형 선망어업은 기업적 어업이라고도 불린다. 선망어업은 강한 밀집성을 가지고 있는 고등어, 전갱이, 정어리 등을 포획하며, 조업은 본선과 등선, 운반선 등으로 총 6척으로 구성되어 1선단을 이루어 진행한다. 선단에서 포획한 어획물을 운반선에 보관 및 운반하여 상품화된다. 포획되는 어류 중 주요 대상 어류인 고등어의 조업은 제주도 근해와 남해 및 서해 남부부근에서 조업된다. 국내 어업은 인접한 중국과 일본 등의 이웃나라와의 해역 분쟁과 불법 조업으로 어장이 황폐해지고 있으며, 환경적 문제로 인해 해수온도 상승과 어해황의 변화로 조업의 어려워지고 있다. 선망어업은 1997년 이전에 비해 어획량은 급격히 감소하여 어업이 축소되고 있다[1].

선망어업은 고비용의 구조로 이루어져 있기 때문에 수익성이 저하하는 곧 경영의 문제로 이어진다. 선망어업은 조업을 위해 출항 시 1선단의 원거리 이동으로 많은 양의 유류가 필요하며, 국제유가 급등으로 인해 유류비 비중이 크게 증가하였다. 물가와 임금 역시 유류비와 함께 꾸준히

상승하고 있다. 선망어업의 조업을 위해 필요한 선원 수는 60명에서 70명 수준이며, 어업의 특성상 작업 환경이 열악하여 승선 기피화 때문에 고령 선원 및 외국인 노동자 선원들이 대부분으로, 노동력의 질 또한 저하되어 생산성이 낮아지고 있다. 이처럼 극심한 유가변동, 노동력의 질적 저하, 숙련된 인력의 부족, 물가 상승으로 경영의 경쟁력이 약해지고 있다 [2].

위와 같은 다양한 문제점을 해소하고 어업에 종사하는 어민들의 소득 증대를 위해서는 조업시간 연장 및 어획물 선도를 높여 상품의 고품질화가 필요하다. 현재 선망어업의 포획된 어류는 운반선을 통해 보관 또는 운반된다. 이때 어획물의 선도 유지와 보관을 위해 운반선의 어창 내 육상빙과 바닷물을 50:50으로 혼합하여 사용하고 있다. 육상빙 사용으로 인해 발생하는 문제점은 다양하다. 담수를 사용한 육상빙은 해수와 혼합되어 불균일한 온도와 염도로 인해 어획물의 선도 유지에 어려움이 있다. 육상빙의 용해열에 의존하는 재래식 냉각방식은 어창 내 온도조절이 불가능할 뿐 아니라 국부적인 냉각으로 어창 내 온도의 불균일로 이어진다. 결국 어류의 선도는 어창의 온도가 결정하게 되며, 이를 Table 1.1에서 확인 할 수 있다[3]. 어창 내의 보관 온도가 낮을수록 어획물의 선도를 나타내는 K값이 낮아지고 보관기간이 길어짐을 확인할 수 있었다. 또, 육상빙의 용해로 인해 어창 내 해수와 혼합되면서 염도가 감소하게 된다. 따라서 어창 내 포획된 어류는 삼투압에 의해 어획물의 선도에 직접적인 영향을 준다[4]. 또 육상빙은 각진 형태로 파쇄되어 어창에 보관되는데, 이로 인한 어획물들의 손상으로 상품으로서 가치 하락으로 이어진다. 조업시간 또한 제한적이다. 이는 육상빙의 적재량과 소모량에 의해 결정되기 때문이다.

이와 같은 다양한 이유로 육상빙의 사용에 따른 많은 문제점을 확인 할

수 있었다.



Fig 1.1 Increase of seawater temperature

Table 1.1 Freshness indicator of mackerel according to various storage temperature[3]

보관 온도 [°C]	K값 5% 도달 시간 [day]	K값 10% 도달 시간 [day]	K값 20% 도달 시간 [day]
5	0.5	0.9	1.9
4	0.5	1.1	2.1
3	0.6	1.2	2.4
2	0.7	1.4	2.8
1	0.8	1.6	3.2
0	0.9	1.8	3.6

1.2 종래연구

1.1절 연구배경에서 언급한 바와 같이 어업의 축소화와 선망어업의 생산성 감소, 육상빙 사용으로 발생하는 많은 문제점들을 살펴보았다. 이러한 문제점들을 일괄 해소하고 어획물의 가치를 높일 수 있는 방법으로 운반선 탑재용 해수냉각시스템 연구의 필요성을 확인하였다. 본 논문은 운반선 탑재용 해수냉각시스템의 연구와 설계의 기반을 목적으로, 연구에 앞서 육상빙과 해수냉각시스템에 대한 종래연구 및 해수냉각시스템에 대한 종래연구 등을 조사하였다.

먼저 선망어업 시 운반선 어창 내 어획물의 선도 유지를 위해 기존 방식인 육상빙을 사용하는 것 보다 해수냉각시스템의 탑재를 통해 어창 내 해수를 직접 냉각하는 방식이 유리하며, 비용절감에 효과적이라는 것을 Kolbe와 Govindan 등에 의해 확인 할 수 있었다[5],[6]. 이에 Yoon 등은 R22 소형 해수냉각시스템을 제작하여 압축기 회전수와 냉매순환량 등의 변화를 통해 시스템 성능에 관하여 실험적으로 확인하였으며, 어창의 냉수 투입구 위치에 따라 어창 내 해수 온도 분포에 대하여 연구하였다[7]. 또한 Kim은 우리나라의 계절에 따른 해수온도 변화가 운반선 어창용 해수냉각시스템에 미치는 영향에 대하여 시뮬레이션을 통한 성능 특성을 확인 하였으며, 실제 선망어업 조업이 일어나는 해수면의 온도 범위에서의 실증 실험으로 전열 능력이 뛰어난 만액식 타입의 해수냉각시스템의 냉동능력, 압축일량, 성능계수(COP) 등을 분석하여 설계기초자료를 제시하였다[8]. 또한 만액식 증발기의 장점으로 인해 관련 종래연구가 활발히 진행 되고 있다. Cha는 대형 빌딩의 공조기에 많이 적용되어 있는 쉘-튜브 만액식 증발기의 비등 성능이 우수한 가공관을 적용하기 위해 서로 다른 4가지의 전열관에서 비등열전달 계수를 Wilson Plot을

이용하여 측정하였고, 가장 효율적인 전열관 및 설계 자료를 얻고자 실험적 연구를 진행 하였다[9]. 또 Jung 등은 Plain관과 26fpi 로핀, Turbo-B, Thermoexcel-E 관의 비교를 위해 전기히터를 이용한 열유속 변화에 따라 냉매 별 열전달계수 실험을 실시하였다[10]. Kim은 고효율 냉동시스템에 적용되는 만액식 증발기 내의 오일 함유량이 비등에 미치는 영향에 대하여 실험적으로 확인하였고, 그 결과 오일 1% 주입 시 총괄 열전달 계수의 감소가 급격하게 변화하지만 그 이상의 오일 주입 시 감소 폭은 점차 줄어든다는 것을 확인하였다[11].



1.3 연구목적

선망어업 운반선용 해수냉각시스템은 조업시간의 연장과 생산성의 증가, 어획물의 품질향상 및 조업 비용감소, 효율증가 등 육상빙 사용으로 인한 문제점을 보완할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 일반 증발기보다 비등 이력현상으로 뛰어난 전열 능력을 가지는 만액식 증발기에 대한 종래연구를 확인 하였으며, 해수냉각시스템에 만액식 증발기를 적용한 연구 또한 진행되고 있었다.

이상의 종래연구에서 확인 하였듯이, 만액식 증발기를 적용한 해수냉각시스템에 대한 연구가 부족하고 그에 따라 관 내 해수의 유동에 따른 만액식 증발기의 비등특성 특성에 대한 연구는 또한 대단히 부족한 실정이다.

따라서, 본 논문의 목적은 선망어업 운반선에 적용되는 해수냉각시스템의 조건에서 만액식 증발기 열전달 특성과 함께 설계의 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해서 실제 해수 열교환기에 사용되는 전열관 선정과 만액식 타입의 증발기 테스트 섹션 제작하여 실험적으로 연구를 진행하고자 한다.

제 2 장 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 전열관 선정

앞서 서술한 만액식 증발기의 다양한 관에서의 실험을 위해 전열관을 선정하였다. Fig. 2.1은 실험을 위한 만액식 증발기 제작에 사용된 6가지 관의 실제 근접 정밀 촬영 장치를 통해 찍은 사진이다. Fig. 2.1과 Fig 2.2에서 확인 할 수 있듯이, 전열관은 Plain, Low-fin 2가지 형상과 일반적인 열교환기에 가장 많이 쓰이는 재질인 Copper와 실무에서 해수용으로 많이 쓰이는 Al-brass, Cupronickel 3가지의 재질 총 6가지의 관을 선정하여 제작하였다. 관 구경은 15.88mm이며, 쉘 내 냉매와 직접 열교환하는 관 길이를 1000mm가 되도록 제작하였다.

Plain관의 전열면적은 외측 구경과 내측 구경을 통해 쉽게 산출할 수 있었지만, Low-fin관의 외측 전열면적은 촬영된 외측 형상의 수치를 ANSYS 15.0의 Workbench Geometry 프로그램을 통해 Fin 1개의 외측 전열면적의 디자인을 통해 관의 전체 외측면적을 계산하였다. Fig 2.3는 디자인한 Fin 1개의 형상을 확인할 수 있다.

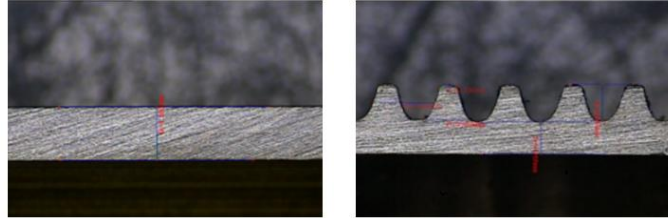


Fig 2.1 Tubes with various shape
for heat transfer experiment

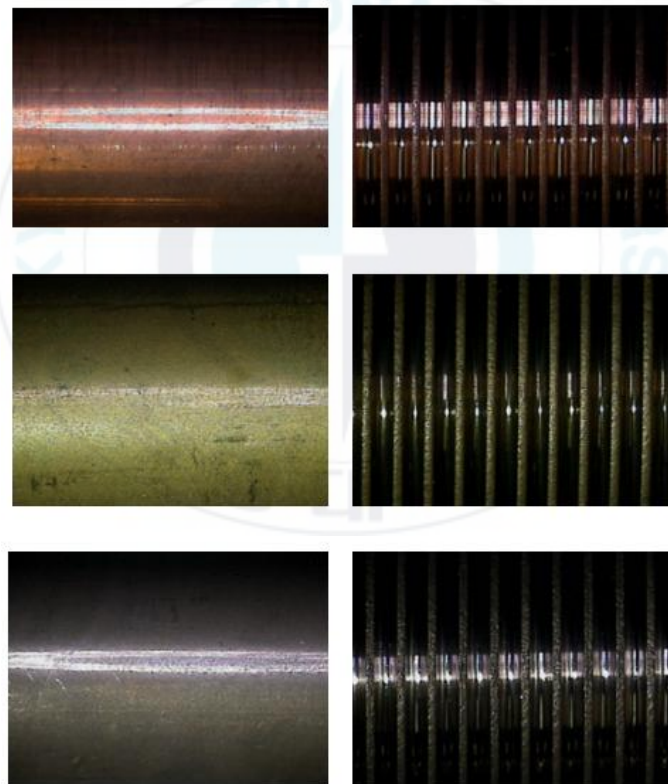


Fig 2.2 Tubes with various material shape
for heat transfer experiment

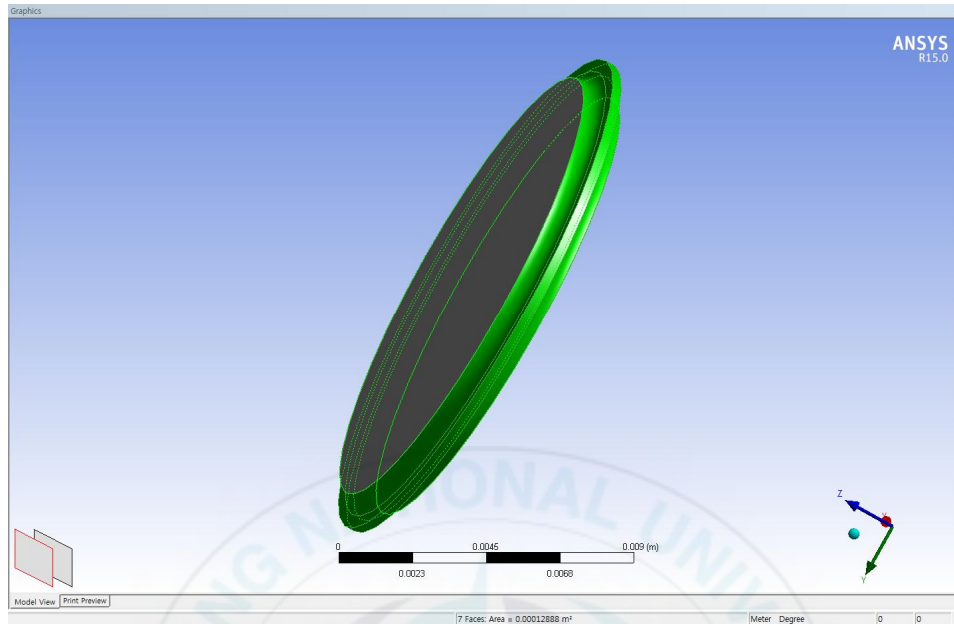


Fig 2.3 Low fin tube heat transfer area with calculation of workbench [21]

2.1.2 만액식 증발기

본 연구의 실험장치 제작과 다양한 실험을 위해 만액식 타입의 증발기의 특수 제작을 위해 설계한 도면으로 Fig. 2.4와 같이 나타내었다. 쉘의 내부 길이는 1000mm에 직경은 200.3mm 인 원통 모양의 쉘 앤 튜브형이며, 6 가지 전열관을 쉘 중앙부에 같은 높이에 위치되어 있다. 전열관 내측으로는 물이 흐르며, 각각 관에 연결할 수 있는 유연한 주름 관을 이용하여 관별 실험이 가능하게 제작하였다. 관 외측에는 냉매가 채워질 수 있도록 쉘 중간 하단에 냉매 입구 배관과 상단에는 출구 배관이 위치해 있다. 만액식 증발기의 냉매 수면의 일정 수위를 확인하기 위해서 쉘의 중간부와 상단부에 사이트 글라스를 부착하여 확인할 수 있도록 제작하였다. 또 쉘의 압력과 온도를 측정할 수 있도록 측면 상·하단에 압력센서와 온도센서를 삽입하여 냉매의 온도를 직접적으로 측정 할 수 있도록 하였으며, 저온으로 운전되는 열교환기의 열손실을 최소화하기 위하여 20T 두께의 단열재를 통해 단열을 실시하였다. Fig. 2.5는 제작중인 만액식 증발기의 사진이다.

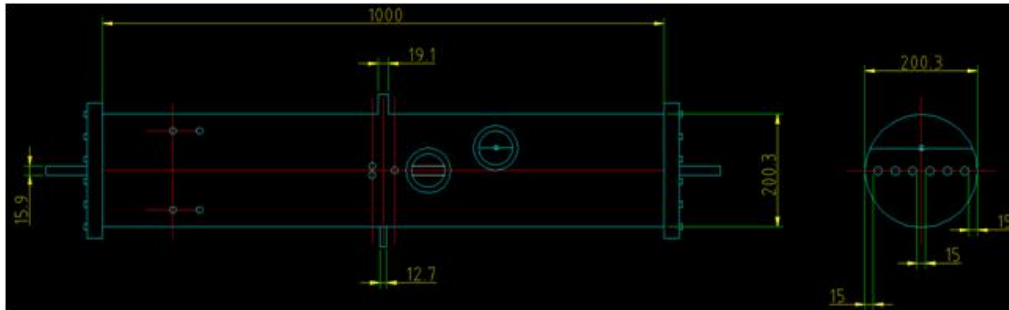


Fig 2.4 Flooded type evaporator design



Fig 2.5 Flooded type evaporator of production

2.1.3 실험장치 구성

만액식 타입의 증발기의 열전달 특성을 확인하기 위한 종래의 실험적 연구에서 대부분 전기 히터를 사용한 열원 공급을 통한 일정한 열 유속을 공급하도록 장치를 제작하여 실험하였다. 하지만 본 실험 논문에서는 해수 냉각시스템에서의 열원 공급과 동일하게 전열관을 내 냉수를 투입을 통해 관 표면에서의 열전달 특성을 확인할 수 있게 설계하였다.

2.1.2절에서의 제작과정을 통하여 해수냉각시스템용 만액식 증발기의 열전달특성을 실험적으로 분석하기 위하여 완성된 실험장치 Fig 3.3에서 볼 수 있었으며, Fig 2.6는 실험장치를 간략하게 장치도화 하였다. 테스트 섹션인 증발기는 쉘 앤 튜브 형으로 튜브 내에 냉수가 흐르고 쉘 내 냉매가 비등한다. 실험 장치는 냉매 순환부와 물 순환2부, 브라인 순환부로 구성된 시스템이다.

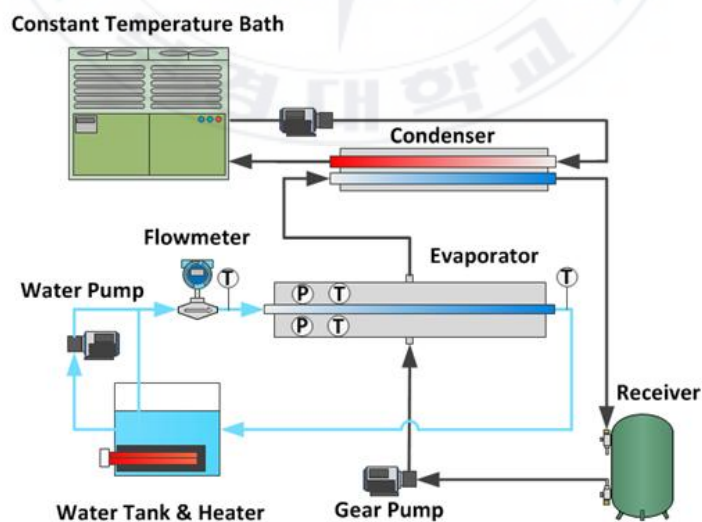


Fig 2.6 Schematics of experimental equipment



Fig 2.7 Experimental apparatus of flooded type evaporator

2.1.4 냉매 순환부

테스트섹션인 만액식 타입의 증발기의 다양한 실험조건에서 실험을 진행하기 위하여 냉매 순환부에 다양한 장치들로 구성되어 있다. 먼저 압력차에 의해 증발기에서 증발된 냉매증기가 상부에 위치한 응축기로 이동하게 되는데, 이는 저온 브라인의 열교환으로 상대적으로 저압이 형성되기 때문이다. 응축기에서 응축된 냉매증기는 수두에 의해 장치 가장 하단부의 수액기로 흘러내려가게 된다. 수액기는 증발기로 항상 액을 보내주기 위해 사용되었으며, 수액기 후단부에 설치된 기어펌프를 통해 증발기 하단부로 냉매를 이송시킨다. 이때 냉매의 상태를 확인하기 위해 사이트글라스를 사용하였다. 또한 만액식 증발기 내의 냉매액 수위를 일정하게 유지하기 위해 유량 조절을 위한 바이패스 밸브와 기어펌프에 인버터를 적용하였다.

2.1.5 물 순환부 및 브라인 순환부

만액식 증발기 튜브 내측으로 열원이 일정하게 공급하기 위해서 5kW 히터를 물탱크에 설치하여 입구온도를 조절할 수 있도록 하였다. 또한 유량 조절을 위해 물 펌프 후단부에 바이패스 밸브를 설치하였다. 조절된 유량은 유량계를 통해 확인하였다.

냉매 순환부는 진공 후 냉매를 주입한 밀폐 사이클이기 때문에 전체 시스템에 압력은 외부의 온도가 결정하게 된다. 시스템의 전체 온도와 압력을 제어하고 증발된 냉매를 응축시키기 위해 응축기에 저온 항온조의 브라인을 순환시켜 제어하였으며, 브라인 또한 바이패스 밸브를 통해 유량 조절을 할 수 있다. 저온 항온조는 -50도의 온도범위를 제어가 가능하다.

2.1.6 데이터 획득

위와 같은 실험을 통해 획득한 데이터들은 YOKOGAWA MX-1000을 사용하여 온도센서와 압력센서, 유량계에서 나오는 전기적 신호를 받아 컴퓨터로 전달하여 저장하게 된다. 데이터는 2초에 한번 씩 저장되며, 실험 중 정상상태에 도달 시 얻은 데이터들을 산출하여 결과로 사용한다.



2.2 주요구성기기 및 계측장치

실험장치의 실제 사진과 장치도를 Fig 2.6과 Fig 2.7에서 확인할 수 있었으며, 다음으로 장치 각 기기들에 대하여 설명하고자 한다. 제작된 실험장치는 주요구성기기와 계측장치들로 분류할 수 있다.

본 연구에 사용된 실험장치의 경우, 전열관 외측 냉매 순환부의 주요기기인 증발기, 응축기, 수액기 기어펌프 등과 저온 항온조 등의 시스템의 냉매 온도 제어가 가능하도록 추가적인 기기들로 구성되어 있다. 또한 전열관 내측 물 순환부의 기기로는 물 펌프, 히터, 물탱크 등이 있다.

데이터 산출을 위한 계측장치로는 압력센서, K-type 열전대, PT-100Ω 온도센서, 물 유량계, Data logger 등이 있으며, 획득한 데이터의 수치들은 Data logger를 통해 컴퓨터에 저장되어 기록된다.

2.2.1 주요구성기기

- 만액식 증발기

앞서 2.1절에서 언급한 것과 같이 실제 만액식 증발기와 유사하게 제작된 증발기 테스트 섹션이다. 만액식 증발기는 대형 건물이나 부하가 많이 발생하는 장소나 부하의 변동이 심한 곳에서 적합하다. 튜브 외측은 항상 냉매 액으로 접해 있기 때문에, 건식 증발기에 비해 높은 전열능력을 보인다[16].

증발기는 쉘 외측 사이트 글라스를 통해 냉매 액을 70%이상 차있도록 하여 실험을 진행하였으며, 튜브 측 냉수의 유량과 온도 조절을 통해 다양한 실험을 실시하였다. 또한 충분한 단열을 통해 열손실을 최소화 하였다.

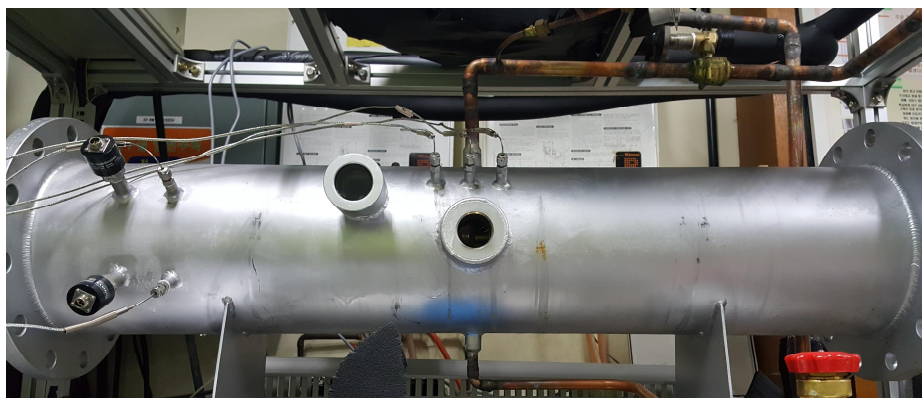


Fig 2.8 Flooded evaporator

Table 2.1 Specs of the flooded evaporator

Parameter		Unit	Value
Shell	Size	mm	$\Phi 200.3 \times 1054L$
	Working fluid	-	R-134a
Tube	Size	mm	$\Phi 15.88 \times 1000L$
	Material	-	Copper, Al-Brass, Cupronickel
	Number of tubes	EA	6
	Shape	-	Plain, Low-fin
	Working fluid	-	Water

- 응축기

응축기는 이중관식 열교환기 응축기를 사용하였다. 증발기에서 증발된 기체 냉매와 저온 브라인과 이중관에서의 열교환을 통해 저온 냉매액으로 응축시켜 줄 수 있도록 하였다. 증발기의 용량보다 1.5배 이상 큰 사이즈로 선정하여 실험에 문제가 없도록 하였다.



Fig 2.9 Double-pipe type condenser

Table 2.2 Specs of the condenser

Parameter	Unit	Value
Material	-	Titanium
Resist test pressure	kg/cm ²	33(R), 10(W)
Design pressure	kg/cm ²	22

- 수액기

수액기는 입형 수액기를 사용하였으며, 응축기에서 응축된 냉매 액을 보관 및 저장을 위해 설치하였다. 냉매 액의 유입을 위해 실험장치의 하단부에 설치되어졌다.



Fig 2.10 Receiver

Table 2.3 Specs of the receiver

Parameter	Unit	Value
Model number	-	Busung BRV-150
Volume	L	14
Material	-	SPFS370
Fusible plug	℃	72
Resist test pressure	MPa	2.42

- 기어펌프

증발기 셀 내의 냉매 수위를 일정하게 채워주기 위해 실험장치의 하부에 기어펌프를 설치하였으며, 기어펌프에 인버터를 적용하여 펌프의 회전수를 제어하여 냉매 유량을 조절 가능하도록 하였다.



Fig 2.11 Gear pump

Table 2.4 Specs of the gear pump

Parameter	Unit	Value
Model number	-	Tuthill DDS1.2
Differential pressure	bar	9.7 (3500RPM)
System pressures	bar	34.5
Material	-	SUS316
Temperatures	℃	-46 ~ 176
Speed	RPM	5,000 (Max)
Viscosity	cps	0.3 ~ 2000

- 해수펌프

증발기 전열관 내 냉수 투입을 위해 펌프를 적용하였으며, 유량 조절을 위해 바이패스 밸브 설치하였다. 해수에서의 실험을 위해 펌프는 40A Wilo 해수용 펌프를 선정하였다.



Fig 2.12 Seawater pump

Table 2.5 Specs of the water pump

Parameter	Unit	Value
Model number	-	Wilo PU-S600M
Pump power	W	600
Tatal head	m	15
Maximum suction lift	m	8
Maximum pump capacity	l/m	17,000

- 전기히터

냉수 입구온도를 가열하기 위해 물탱크 내에 전기히터를 설치하였다. 증발기를 지난 냉수를 가열함으로써 실험조건에 맞는 온도를 유지하기 위해 설치하였다.



Fig 2.13 Heater

Table 2.6 Specs of the heater

Parameter	Unit	Value
Type	-	Flange
Heating capacity	kW	5
Material	-	SUS316

- 항온조

응축기 출구의 냉매를 응축 시키기 위한 저온 항온조를 설치하여 실험을 진행하였다. -50°C 까지 온도가 내려가는 브라인을 통해 증발기의 증발온도를 결정하는 냉매 온도와 시스템의 압력과 온도를 결정하는 역할을 한다.



Fig 2.14 Constant temperature bath

Table 2.7 Specs of the constant temperature bath

Parameter	Unit	Value
Cooling capacity	kW	8
Temperatures	$^{\circ}\text{C}$	$-50 \sim 0$

2.2.2 계측장치

- 유량계

냉수의 해수 실험을 위해 해수용 유량계 제품을 선정하였으며, 증발기 입구 측에 설치하여 유량을 측정하였다.



Fig 2.15 Flowmeter for seawater

Table 2.8 Specs of the flowmeter for seawater

Parameter	Unit	Value
Model number	-	TBF-III-AD
Fluid	-	Sea water
Material	-	SUS316
Flow range	LPM	2.84 ~ 28.39

- 압력 센서

사용된 압력센서는 SENSYS社의 PSC식 전류출력형이며, 4~20mA DC의 전류가 측정된다. 하지만 본 실험에서 사용된 Data logger에서 전압신호로 수치를 기록하기 위하여, 250Ω 저항을 접속시켜 연결하였으며, 1~5V의 전압신호 범위에서 압력을 나타낸다.



Fig 2.16 Pressure sensor

Table 2.9 Specs of the pressure sensor

Parameter	Unit	Value
Model number	-	PSCE0030KCPJ-CR
Output	VDC	1~5
Pressure range	kgf/cm ² abs	30

- 온도센서

온도센서로는 PT-100Ω을 사용하였으며, 셀 측 온도센서는 셀에 삽입하기 위해 산을 제작하여 셀에 체결하였다. 물 측 입·출구 또한 배관 중심부에 온도센서가 위치 할 수 있도록 제작하였습니다.

온도센서의 삽입, 제작 전 온도센서의 보정을 통해 정밀도를 높일 수 있었다.



Fig 2.17 PT-100Ω

Table 2.10 Specs of the PT-100Ω

Parameter	Unit	Value
Model number	-	SS-3105/SS3109 R/B 3P PT-100Ω
Temperature range	℃	-200 ~ 600

- 데이터로그

실험에서 압력센서, 온도센서, 유량계 등을 통해 계측된 수치들을 입력받아 소프트웨어에서 설정한 시간 간격으로 기록 및 저장한다.



Fig 2.18 Data logger

Table 2.11 Specs of the data logger

Parameter	Unit	Value
Model number	-	YOKOGAWA MX-100
Number of channels	EA	20

2.3 실험 방법

실험장치 제작 완료 후 운전에 앞서, 장치의 냉매순환부의 내압 테스트를 위해 충분한 질소 투입을 하였다. 이후 진공펌프를 통해 관 내 공기 혹은 수분을 제거하고 누설 여부 확인을 위해 장치의 진공테스트를 진행하였다. 내압과 진공테스트를 확인 후 냉매 충전을 진행하였다. 냉매는 수액기와 증발기 셀 측으로 액상의 냉매를 충분히 봉입해주었다.

실험은 입구 유속 변화에 따른 실험과 입구 온도 변화에 따른 실험, 증발온도 변화에 따른 실험을 실시하였다.

입구 유속 변화에 따른 실험은 증발온도 0℃를 유지 시켜주었고, 냉수의 입구온도를 10℃로 하여 전열관 내 유속을 변화시켜 가며 실험을 실시하였다. 증발온도는 응축기에 연결된 브라인 온도와 유량을 통해 응축된 냉매 온도가 증발온도를 결정하게 되며, 냉수 온도는 물탱크의 히터의 제어를 통해 일정하게 유지 하였으며, 유속의 변화는 펌프에서 토출되는 유량을 바이패스 밸브를 통해 조절하여 0.6 ~ 2.1m/s에서 실험하였다. 냉매는 셀 내 수위를 항상 유지하면서 반복 실험을 진행하였다.

입구온도 변화에 따른 실험은 증발온도 0℃와 유속 1.2m/s에서 증발온도의 변화에 따른 실험을 실시하였으며, 증발온도 변화에 따른 실험은 입구 온도 10℃, 유속 1.2m/s에서의 증발온도 변화에 따라 실험을 실시하였다.

다음과 같은 조건에서의 실험데이터는 30분 이상의 충분한 시간에서 정상상태가 유지 되었을 때 수집된 데이터를 분석하여 각 실험에서 이상적인 데이터를 선별하여 사용하였다.

2.4 데이터 해석

실험에서 획득한 데이터를 통해 증발열량, 대수평균온도차, 내측열전달 계수, 총괄열전달계수, 등을 확인할 수 있었으며, 아래와 같은 식을 통해 해석하였다.

식 (2-1)은 만약식 증발기에서의 증발열량을 구하는 식이다. 전열관을 통해 투입된 냉수의 입구온도와 출구온도의 차와 냉수유량을 통해 확인할 수 있다.

$$Q_e = G_{cw} C_{p,cw} (T_{cw,i} - T_{cw,o}) \quad (2-1)$$

식 (2-2)는 총괄열전달계수를 구하는 식이다. 열량은 식 (2-1)에서 확인할 수 있으며, 외측면적 또한 전열관의 재원을 통해 알 수 있다.

$$U_o = \frac{Q_e}{A_o \cdot \Delta T_{LMTD}} \quad (2-2)$$

이때, 대수평균온도차를 구하는 식은 식 (2-3)와 같다.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2-3)$$

$$\Delta T_1 = T_{cw,i} - T_{e,o} \quad (2-4)$$

$$\Delta T_2 = T_{cw,o} - T_{e,i} \quad (2-5)$$

열교환기에서 총괄 열 저항 식은 아래 식 (2-6)과 같으며, 전열관 벽의 열전도 저항은 (2-7)을 통해 확인 할 수 있다.

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_i A_i} + R_w + \frac{1}{h_o A_o} \quad (2-6)$$

$$R_w = \frac{\ln(d_o/d_i)}{2\pi Lk} \quad (2-7)$$

여기서 Re 수와 Nu수를 통해 냉수 측 대류열전달 계수 아래 식 (2-8), (2-9), (2-10)를 통해 확인할 수 있으며, 이를 통해 식 (2-6)에서 외측 열전달계수를 확인 할 수 있다.

$$Re_i = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (2-8)$$

$$Nu_i = 0.023 Re^{4/5} Pr^{0.3} \quad (2-9)$$

$$Nu_i = \frac{h_i L}{k} \quad (2-10)$$

위와 같은 식을 사용하여 해수냉각시스템용 만액식 증발기의 열전달 특성 실험의 결과 분석 및 확인하였다.

제 3 장 결과 및 고찰

3.1 실험조건

Table 3.1은 만액식 증발기의 열전달 특성 실험의 다양한 조건을 나타낸 표이다. 냉매는 R-134a를 사용하였으며, 실험 조건은 냉수 입구유속, 증발온도, 입구온도 변화 실험에서 열전달 특성을 분석하였다.

Table 3.1 Experimental analysis conditions

Parameter	Unit	Value
Refrigerant	-	R-134a
Chilled water inlet temperature	℃	10 (5~15)
Evaporating temperature	℃	0 (-5~5)
Velocity of chilled water	m/s	1.2 (0.6~2.1)

3.2 실험 결과 분석 및 비교

위 언급된 실험장치와 실험을 통해 온도와 압력, 유량 등을 측정하였고, 측정된 데이터를 계산하여 결과를 그래프에 나타내었다. 결과 그래프의 분석을 통해 다음과 같은 결과들을 얻을 수 있었다.

3.2.1 상관식 비교

본 실험장치를 통해 다양한 실험에 데이터의 신뢰성을 확인하기 위해 앞서 상관식과 비교를 실시하였다. 다양한 관에서의 실험 전에 Copper Plain Tube의 열유속 변화에 따른 실험을 통해 실험과 상관식을 비교하였다. 상관식은 구리 평활관에서 비등열전달계수의 잘 예측해준다고 알려진 Cooper 상관식과 비교하였다[17]. 실험은 물측 입구온도를 10℃로 유지하고, 증발온도를 0℃로 고정 한 후 냉수 측 유량의 증가시켜 전열관의 열유속의 증가에 따라 외측 열전달계수를 확인하였다.

그 결과, 실험을 통한 열유속 구간 조건에서 10% 내외의 오차범위를 만족함에 따라, Copper 상관식이 실험결과를 적절히 예측하는 것을 확인할 수 있었으며, 실험 데이터의 신뢰성을 보여주는 것으로 판단된다.

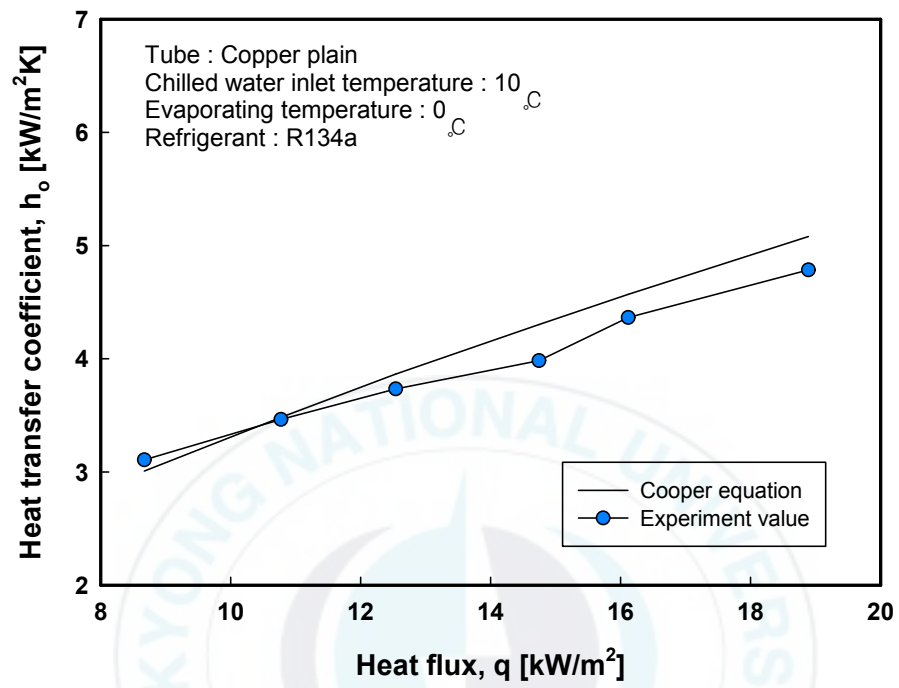


Fig 3.1 Heat transfer of copper plain with heat flux increase

3.2.2 열유속에 따른 다양한 관 실험

Fig 3.2은 전열관의 열유속에 따른 다양한 관에서의 실험의 결과이다. 관은 실무에서 해수용으로 많이 쓰이는 재질인 Al-brass와 Cupro-nickel을 비교하였다. 결과 그래프에서 확인 할 수 있듯이, 열유속 증가에 따라 외측 열전달계수가 증가하였다. 또 Plain관에서 보다 Low-fin관에서의 열유속 구간이 낮은 것을 확인 할 수 있는데, 6이는 Low-fin관의 외측 전열면적의 차이로 인한 것을 알 수 있다. 동일 열유속 구간에서 비교를 통해 재질은 Al-brass 형상은 Low-fin에서 열전달 계수가 좋은 것을 확인하였다. 이는 Al-brass의 열전도가 Cupro-nickel 보다 좋으며, Low-fin관의 가공 시 보다 거친 표면과 핀 부분 형상의 변화로 인해 비등의 증가 때문으로 판단된다.

열유속에 따른 외측 열전달계수의 비교 결과를 통해 해수냉각시스템에서 Al-brass Low-fin 전열관이 적합하다고 판단하였으며, 선정된 관에서의 추가적인 실험을 실시하였다.

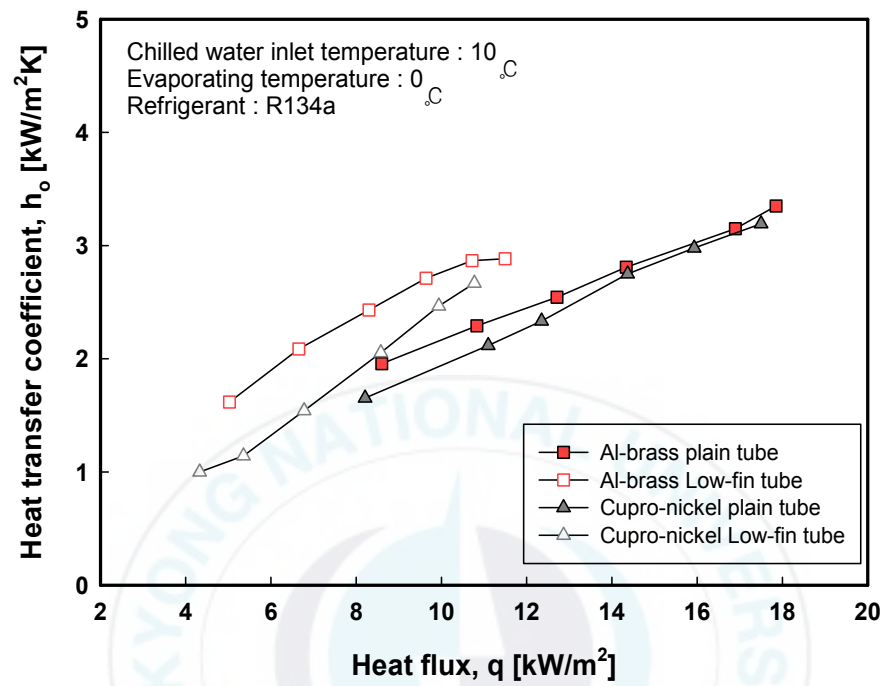


Fig 3.2 Heat transfer of various tube with heat flux increase

3.2.3 냉수 유속에 따른 실험

Fig 3.3는 선정된 Al-Brass관에서의 냉수 유속변화에 따른 열전달계수 실험결과를 나타내었다. 냉수 유속은 전열관 내측 냉수 유량 조절을 통해 유속을 0.6 ~ 2.1m/s 변화시켰다. 유속 증가에 따라 총괄열전달계수와 외측 열전달계수의 증가를 확인 할 수 있었다. 이는 냉수 유속증가로 인해 레이놀즈수의 증가로 내측 대류열전달계수의 증가가 지배적인 것으로 판단되며, 일정 유속 이상으로 증가 시 증가율의 변화가 감소하는 것을 볼 수 있으며, 유속 범위가 2.1m/s 이상으로 증가할 경우 총괄열전달계수 및 외측 열전달계수의 증가가 미미하거나 일정할 것으로 예상된다.

본 실험과의 결과와 15kW급 만액식 해수냉각시스템에서의 총괄열전달 계수를 동일 유속에서 비교 시 2배 이상 큰 것을 확인 할 수 있었다. 이는 동일 조건에서의 실험이 아니기 때문에 값의 차이가 큰 것으로 확인 할 수 있다.

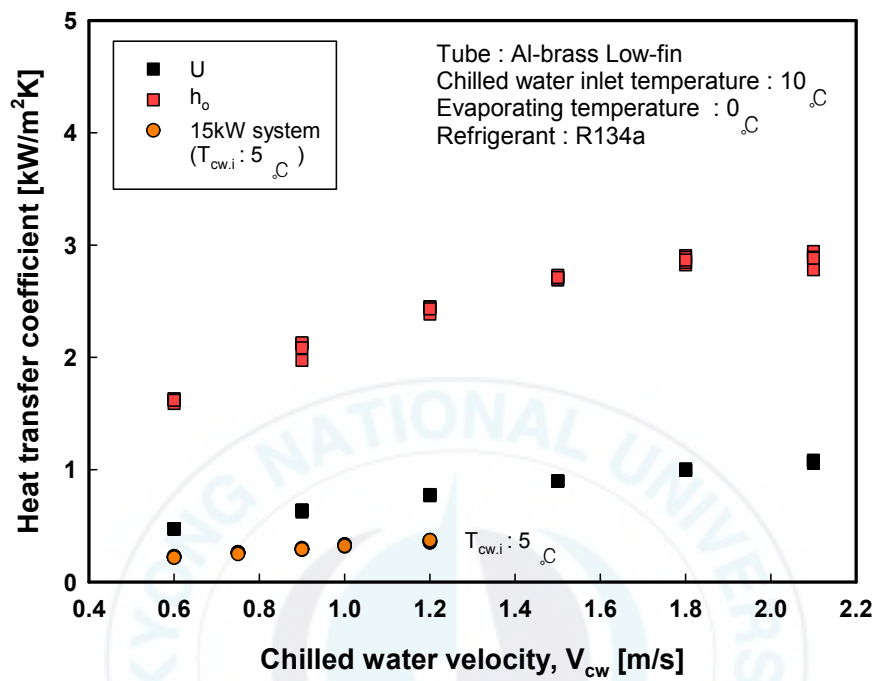
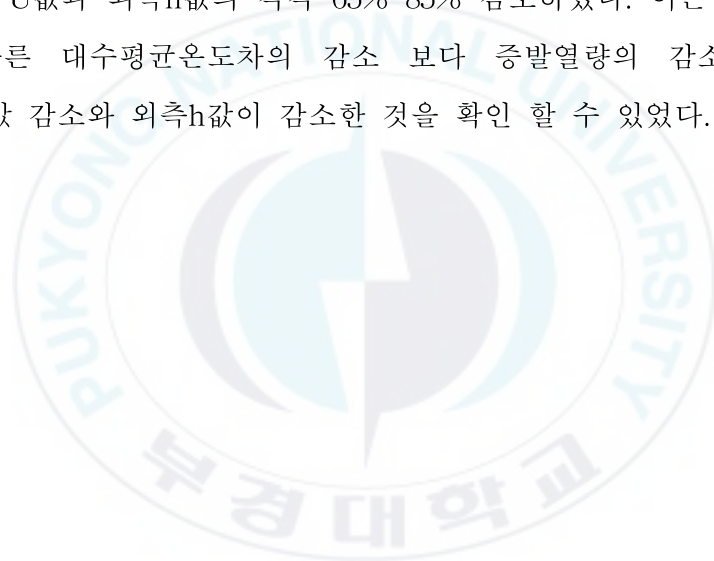


Fig 3.3 Heat transfer of al-brass low-fin with velocity increase of chilled water

3.2.4 증발온도에 따른 실험

증발온도에 변화에 따른 열전달계수를 Fig 3.4에 나타내었다. 실험은 냉수 입구온도를 10도, 냉수 유속을 1.2m/s로 하여 실험을 실시하였다. 그 결과 증발온도가 감소함에 따라 총괄열전달계수 및 열전달계수가 증가하는 경향을 그래프에서 확인 할 수 있다. 증발온도 -5℃에서 5℃로 증가함에 따라 U값과 외측h값의 각각 65% 85% 감소하였다. 이는 증발온도의 증가는 따른 대수평균온도차의 감소 보다 증발열량의 감소율이 크기 때문에 U값 감소와 외측h값이 감소한 것을 확인 할 수 있었다.



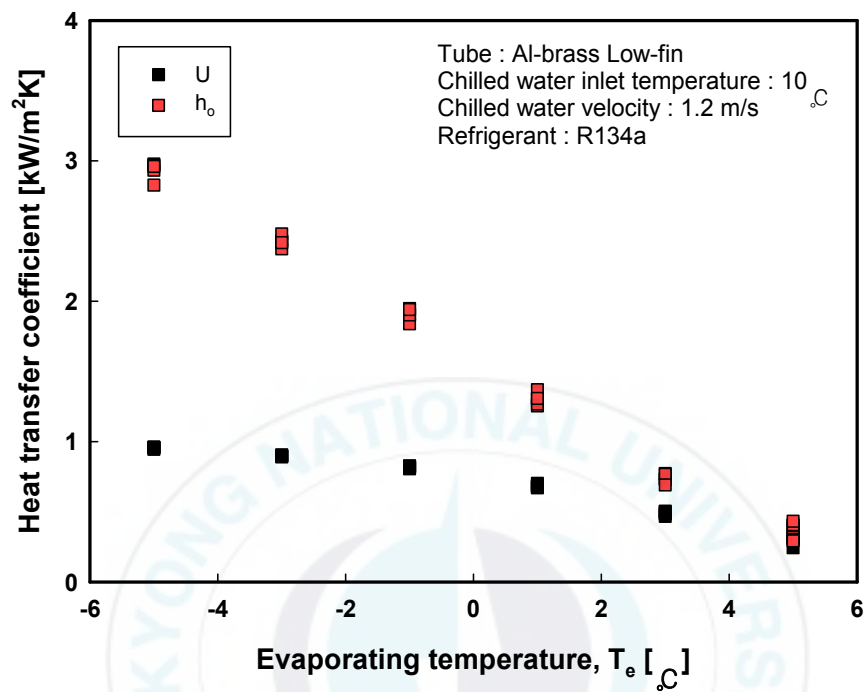


Fig 3.4 Heat transfer of al-brass low-fin with temperature increase of evaporating

3.2.5 냉수 입구온도에 따른 실험

Fig. 3.5은 냉수 입구온도의 증가에 따라 총괄열전달계수와 외측 열전달 계수를 나타낸 그래프이다. 증발온도 실험과 같이 대수평균온도차의 증가보다 증발열량의 증가가 지배적인 것을 알 수 있었다. 또한 냉수의 온도가 증가할수록 물의 열전도율의 증가로 인한 대류열전달계수의 증가 또한 추가적인 원인으로 판단된다. 15kW급 만액식 해수냉각시스템과의 동일 조건에서의 U 비교 시 본 실험의 U값이 약 25% 정도 높을 것으로 확인되었다. 이는 15kW급 만액식 증발기의 전열관 관군에 의한 냉매의 비등으로 열전달의 감소와 냉동시스템에서의 원활한 작동을 위한 냉동유의 함유로 비등이력의 감소로 판단된다.

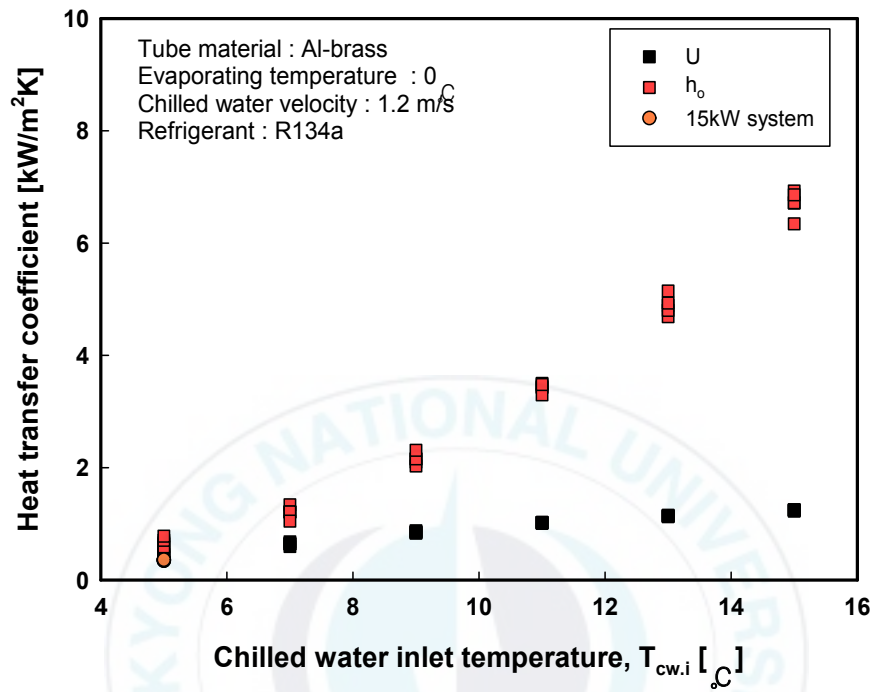


Fig 3.5 Heat transfer of al-brass low-fin with temperature increase of chilled water

3.2.6 일정 온도차에 따른 실험

일정 온도차에 따른 실험은 증발온도와 냉수 입구온도의 온도 차이를 10°C 로 유지하면서 열전달계수를 비교하였다. Fig 3.6에서 확인 할 수 있듯이 저온레벨보다 고온레벨에서의 총괄열전달계수와 외측 열전달계수가 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는 전열관 외벽에서의 비등이 저온레벨에 비해 고온레벨에서 비등이 상대적으로 활발히 발생한다고 볼 수 있으며, 저온에서의 물성치 변화로 인해 분자운동량이 감소, 표면장력의 증가 등의 이유로 열전달이 감소하였다고 판단된다. 실험조건에서 고온레벨에서 보다 저온레벨에서의 총괄열전달계수와 외측 열전달계수는 각각 67%, 157% 감소하였다.

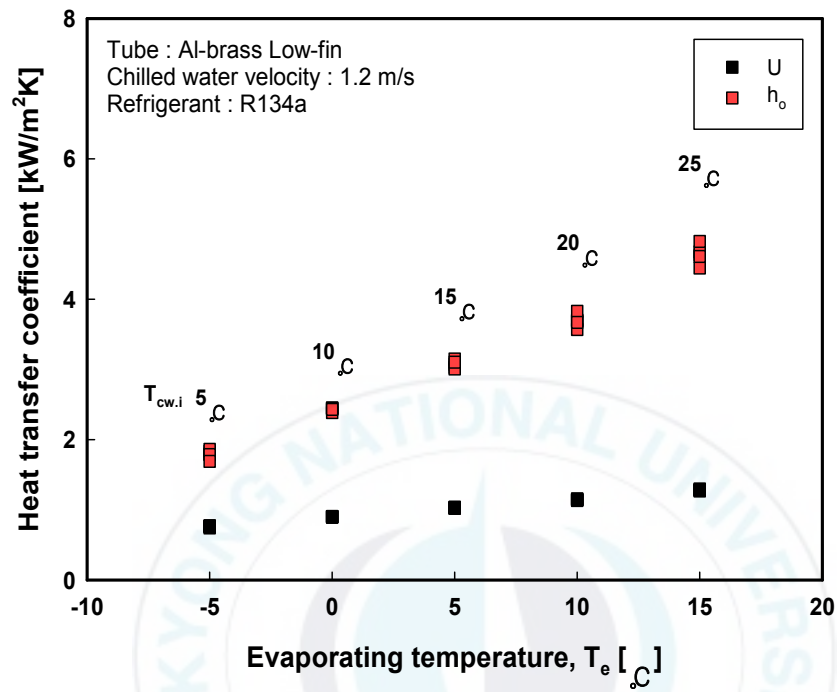


Fig 3.6 Heat transfer of al-brass low-fin with constant temperature difference

제 4 장 결 론

본 논문은 실험을 통해 해수냉각시스템용 만액식 증발기의 열전달 특성을 확인하였다. 냉수 유속을 $0.6 \sim 2.1 \text{ m/s}$ 로 범위에서의 실험과 입구온도 $5 \sim 15^\circ\text{C}$ 범위에서의 실험, 증발온도 $-5 \sim 5^\circ\text{C}$ 에서의 실험에서 총괄열전달계수와 외측열전달계수를 분석하였다. 위 실험의 결과를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 동일 열유속에서 Al-brass tube가 Cupro-nickel tube 보다 외측 열전달계수가 약 10% 큰 것으로 확인 할 수 있었으며, 이를 통해 해수용 열교환기의 전열관으로 Al-brass를 적용하는 것이 열전달 측면에서 효과적일 것을 확인할 수 있다.
- (2) 유속변화에 따른 실험에서 냉수의 유속은 1.8 m/s 이상에서 총괄 열전달계수 및 외측 열전달계수의 증가율이 급격히 감소하는 것을 확인하였다. 냉수 측의 유속 설계 시 1.8 m/s 이하의 유속 설계가 바람직하다고 판단된다.
- (3) 증발온도 변화와 냉수 입구온도 변화에 따른 실험은 대수평균온도차의 증감보다 냉수의 입·출구 온도차에 의한 열량증감이 지배적임을 확인 할 수 있었다.
- (4) 증발온도와 냉수 입구온도의 일정 온도차 실험을 통해 고온레벨보다 저온레벨에서 약 60% 총괄열전달계수의 감소를 확인 하였으며, 이는 만액식 열교환기 설계를 위한 주요 고려 사항이 되어야 할

것이다.

- (5) 본 논문의 실험과 15kW급 만액식 해수냉각시스템의 총괄열전달계수의 비교를 통해 입구온도가 다른 조건에서는 U값이 2배 이상 차이를 확인 할 수 있었으며, 동일 조건에서는 25%정도의 차이를 확인하였다. 이는 단관인 본 실험에 비해 15kW급 만액식 증발기의 관군에 따른 비등 열전달의 저하와 시스템의 다량의 냉동유 함유가 그 원인으로 판단된다.

앞서 요약된 결과인 (1)~(5)을 바탕으로, 해수냉각시스템용 만액식 증발기의 열전달 특성에 대한 분석을 실시하였고, 그에 따라 결과를 확인하였다. 선망어업의 운반선 탑재용 해수냉각시스템의 필요성에 따라 실제 해수냉각시스템 조건에서의 만액식 증발기의 단관 열전달 특성 실험을 수행함으로써 만액식 증발기 설계를 위한 기본 자료가 될 것이라고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] H. N. Lee, 2009, “Catch and Oceanographic Characteristics for Large Purse Seine Fisheries”, MS thesis, Pukyong National University.
- [2] J. U. Yun, 2011, “A Study on the Improvement of the Purse Seine Fishery by Industrial Technology”, MS thesis, Pusan National University.
- [4] S. M. Yoon, C. B. Kim, Y. C. Cho and B. K. Hur, 1998, “Study of the Temperature Container System for a Live Fish Transportation”, The Society of Air Conditioning and Refrigerating Engineers, Vol. 10, No. 3, pp. 343-347.
- [4] K. S. Lee, 2014, “The Effects of Salinity Change Caused by Freshwater Discharge in Estuary on Coastal Marine Life”, The Korean Society Of Marine Environment & Safety, pp. 351-352.
- [5] P. A. Perigreen, S. A. Pillal, P. K. Surendran and T. K. Govindan, 1975, “Studies on Preservation of Fish in Refrigerated Sea-water”, Central Institute of Fisheries Technology, Vol. 12, No. 2, pp. 105-111.
- [6] E. Kolbe, 1990, Refrigeration Energy Prediction for Flooded Tanks on Fishing Vessels, American Society of Agricultural Engineers, Vol. 6, No. 5, pp. 624-628.
- [7] J. K. Lim, H. M. Jeong, J. D. Kim and J. I. Yoon, 1991, “Fluid and Thermal Characteristics of Fish Hold Storage for Sea Water Cooling

- System”, Proceedings of 1991 The Korean Society of Mechanical Engineers Meeting, pp. 885-890.
- [8] C. L. Kim, 2016, “Effects of Heat Source Temperature on Characteristics of Flooded Type Seawater Cooling System”, MS thesis, Pukyong National University.
- [9] I. H. Cha, 2005, “Experimental correlation of heat transfer for enhanced surface tubes used in flooded evaporating using Wilson plot method”, MS thesis, Kyunghee University, Seoul, Korea.
- [10] D. S. Jung, 2001, “Pool Boiling Heat Transfer Coefficients of New Refrigerants on Various Enhanced Tubes”, Korean Journal Of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 710-720.
- [11] S. G. Kim, 2011, “An Experimental Study of Heat Transfer Performance by oil concentration in a Flooded Evaporator”, MS thesis, Pusan University, Busan, Korea.
- [12] S. Minetto and E. Fornasieri, 2011, “An innovative system for feeding once-through evaporators in flooded conditions”, Applied Thermal Engineering, Vol. 31, pp. 370-375.
- [13] K. W. Park, 2005, “Design Basis of Marine Refrigeration system”, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 29, No. 8, pp. 14-19.
- [14] C. H. Son, I. H. Kang, J. N. Lee, C. L. Kim and J. I. Yoon, 2016, “Characteristics of Refrigeration System for Fishing-ships Applying Flooded Evaporator”, Proceedings of 2016 ICETA Spring Meeting, Taipei, Taiwan.
- [15] Refrigerants ASHRAE handbook-Fundamental, 가스플랜트 사업단.

- [16] 오후규, 오종택, 손창효, 2014, 실무자를 위한 완성 냉동공학, 부경대학교 출판부.
- [17] J. H. Heo, R. Y. Yun, Y. C. Kim, J. T. Chung and Y. J. Moon 2005, "Pool Boiling Heat Transfer Characteristics of R-134a in Titanium Horizontal Plain and Low Finned Tubes", The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 29, No. 7, pp. 854-860.
- [18] <http://www.segye.com/content/html/2012/02/16/20120216004953.html>, 세계일보
- [19] Aspen HYSYS, Version 8.6, Aspen Technology Inc, 2014.
- [20] REFPROP, Version 8.0, NIST Inc, 2007.
- [21] Ansys Workbench, Version 15.0, Inc, 2004

감사의 글

저의 석사 기간 동안 이렇게 졸업할 수 있도록, 어려움에 이겨낼 수 있도록, 응원해주시고 도움과 가르침을 주신 분들이 너무나도 많습니다. 표현을 잘하지 못하는 제가 이 졸업논문을 빌어 뜻을 전하고 싶습니다. 먼저 저를 연구실에 받아주시고 2년 동안 많은 지도 편달해주신 따뜻한 우리 윤정인 교수께 진심을 담아 감사드립니다. 또 작은 부분도 챙겨주시고 편하게 대해주신 손창효 교수님 역시 너무나 감사합니다. 최광환 교수님, 김은필 교수님, 정석권 교수님, 금종수 교수님, 김종수 교수님 모두 애정 어린 조언과 가르침에 감사드립니다. 그리고 부경대학교로 진학할 수 있도록 도움을 주신 김재돌 교수님에게도 항상 감사드립니다.

연구적으로 또 생활적으로 막힐 때면 엔시스 선배님들과 기업체 분들의 좋은 말씀들이 생각납니다. 설원실 선배님, 최인수 선배님, 문준근 선배님, 백승문 선배님, 이호생 선배님. 이동훈 선배님 감사합니다. 또 이정목 대표님, 이곤재 대표님, 강기철 상무님, 김영래 이사님, 주원규 상무님 등 많은 분들의 실무적인 도움이 너무나 큰 도움이 되었습니다. 감사합니다.

2년의 석사 생활을 추억으로 가득 메워준 우리 실험실 가족들. 많은 시간 함께 하진 못했지만 현욱, 정호, 동일, 병효 형님들이 잘 이끌어 주셨기에 저희가 있습니다. 할 말이 너무나 많지만 고맙고 미안한 우리 사랑하는 성훈, 헛소리 경쟁 상태 웃음꾼 정현 친구 같은 두 형님들도, 또 나의 동갑내기들 따뜻하게 받아주고 모난 구석 없이 너무 좋은 가동들 청래, 창민, 희민 모두 고맙다. 친구 같은 형들과 친구들이 있었기에

후회 없는 2년이 되었습니다. 나랑 비슷한 구석이 많아 좋아하지만 걱정스러운 동생 형민이, 짓궂은 장난에서 밝게 받아주고 성실한 준봉, 만능 지식인 우리 귀염둥이 병화, 오랜 시간같이 있지 못했지만 잘생긴 광석, 항상 허기진 승주 모두 고맙고 같이 멋진 어른이 되자. 평생 함께합시다. 에너지시스템 연구실 가족 여러분.

힘들 때 쉬어갈 수 있는 애정 하는 사람들이 많습니다. 말이 필요 없는 나의 대구 단짝들 그냥 옆에 있어줘서 너무 고맙다. 고향을 떠나 부산에서 많은 가족들이 생겼습니다. 우리 용마 식구들 고맙고, 텔레파시 식구들과 동명대 13,14학년도 함께 일하며 아직도 삼삼오오 모이는 나의 형제들도 감사합니다. 한해 같은 고민을 함께 나눈 부산시 친구·형님들 그리고 금곡 FC 또한 감사합니다. 나의 벗 나의 형제, 가족이 많이 생겼습니다. 진심을 다한 저의 절실한 사람들입니다. 사랑합니다.

마지막으로 사랑하는 우리 가족, 떨어져 지내고 표현도 잘못하고 연락도 자주 못 드렸던 아들이지만 묵묵히 뒤에서 서포터 해주시는 존경하는 아버지와 따뜻하고 이해심 많은 어머니 그리고 하나뿐인 동생에게도 고마움을 표현합니다. 바르게 키워주셔서 너무나 감사하고 앞으로는 제가 집안의 큰 기둥이 될 수 있도록 하겠습니다.

많은 분들의 감사함을 간직하고 살겠습니다. 혼자 사는 것이 아니라 더불어 산다는 것이 무엇인지 배웠습니다. 지지 않는 것보다 지치지 않는 것이 힘들다고 합니다. 지치지 않는 강인호가 되겠습니다. 감사합니다.

-2017년 에너지시스템 연구실 강인호