



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](#)

공학 석사 학위 논문

# 200ton 급 선망운반선의 해수냉각시스템 성능분석



부경대학교 대학원

냉동공조공학과

곽두영

공학석사학위논문

# 200ton 급 선망운반선의 해수냉각시스템 성능분석

지도교수 윤 정 인

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2020년 2월

부경대학교 대학원

냉동공조공학과

곽 두 영

곽두영의 공학석사 학위논문을 인준함.

2020년 2월 22일



위원장 공학박사 최광환 (인)

위원 공학박사 손창효 (인)

위원 공학박사 윤정인 (인)



# Contents

LIST OF FIGURES .....	III
LIST OF TABLES.....	V
ABSTRACT .....	VI
NOMENCLATURES .....	VIII
제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구배경 및 목적 .....	1
1.2 종래 연구 .....	3
1.3 선행 연구 .....	6
제 2 장 해수냉각시스템 육상성능실험.....	10
2.1 실험장치 및 구성기기 .....	10
2.2 실험 방법 및 조건 .....	12
2.2.1 실험 방법.....	12
2.2.2 실험 조건 .....	13
2.3 실험 결과 .....	14

제 3 장 해수냉각시스템 현장 성능분석.....	13
3.1 해수냉각시스템 운반선 설치.....	17
3.2 성능분석 방법.....	22
3.3 성능분석 결과 및 고찰.....	23
3.3.1 현장 조업 성능분석 결과.....	23
3.3.2 육상실험 결과와 비교 및 고찰.....	28
제 4 장 해수냉각시스템 경제성 분석.....	30
4.1 경제성 분석 방법.....	30
4.1.1 투자회수기간(Payback period) 법.....	30
4.1.2 순현재가치(Net present value) 법.....	31
4.1.3 내부수익률(Internal rate of return) 법.....	32
4.1.4 편익비용비율(Benefit-Cost ratio) 법.....	32
4.2 경제성 분석 조건.....	33
4.3 경제성 분석 결과.....	35
제 5 장 결 론.....	39
참고문헌.....	41

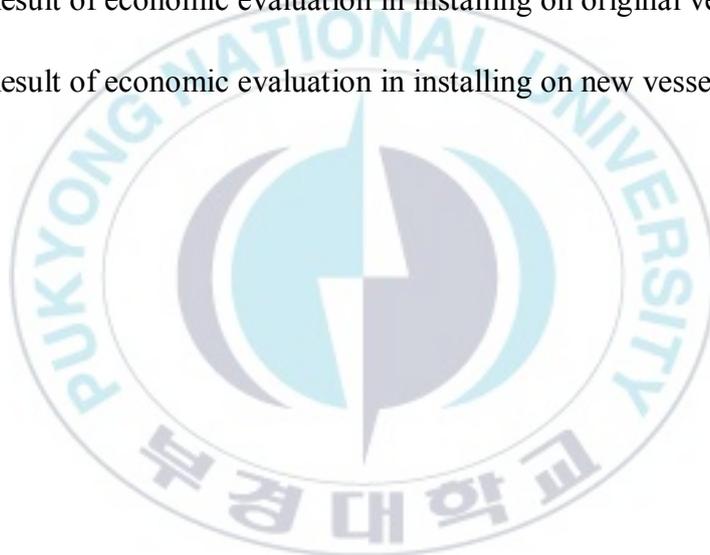
# List of figures

Figure 1 Cooling method using crushed ice .....	2
Figure 2 Experimental apparatus of prior study .....	7
Figure 3 Schematic diagram of experimental apparatus .....	7
Figure 4 Heat transfer coefficient based on evaporating temperature .....	8
Figure 5 Heat transfer coefficient based on inlet seawater temperature.....	9
Figure 6 Schematic diagram of the seawater cooling system .....	10
Figure 7 Experimental apparatus of seawater cooling system.....	11
Figure 8 Cooling capacity based on inlet seawater temperature .....	15
Figure 9 COP based on inlet seawater temperature .....	16
Figure 10 Fishing vessel Dongnam 707 .....	17
Figure 11 Manufacturing of seawater cooling system.....	18
Figure 12 Secure installation space .....	19
Figure 13 Install seawater cooling system on fishing vessel .....	19
Figure 14 Compressor installed in the fishing vessel .....	20
Figure 15 Condenser installed in the fishing vessel .....	20
Figure 16 Condenser installed in the fishing vessel .....	21
Figure 17 Install compressor control panel .....	21

Figure 18 Install measuring instrument on seawater cooling system	22
Figure 19 Route of first performance evaluation on field operation	24
Figure 20 Route of second performance evaluation on field operation	24
Figure 21 Inlet and outlet temperature based on operate time (first)	25
Figure 22 Inlet and outlet temperature based on operate time (second)	25
Figure 23 Cooling capacity based on operate time	26
Figure 24 Compressor power based on operate time	26
Figure 25 Seawater flowrate based on operate time	27
Figure 26 COP based on operate time	27
Figure 27 COP compare based on inlet seawater temperature	29
Figure 28 Compare LCC in installing on original vessel	36
Figure 29 NPV in installing on original vessel	36
Figure 30 Compare LCC in installing on new vessel	37
Figure 31 NPV in installing on new vessel	37

# List of tables

Table 1 Specification of the seawater cooling system	11
Table 2 Conditions of experiments on land	13
Table 3 Ice consumption (2018. 06 ~ 2019. 03)	34
Table 4 Conditions of economic evaluation	34
Table 5 Result of economic evaluation in installing on original vessel	38
Table 6 Result of economic evaluation in installing on new vessel	38



# **Performance Evaluation of Seawater Cooling System for 200ton class Fishing Carrier**

Doo Yeong Kwak

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

## **Abstract.**

The purse seine is a way of catching the catches with net at night. However, in Korea most of these offshore fishing boats are aging. The transport vessels of these purse seine serve to transport catches. Crushed ice is mostly used for cooling the fish hold tank of Korean carriers. Conventional crushed ice causes problems such as sharp crystals, poor catch quality due to salinity and temperature changes, and high purchase cost and weight. The seawater cooling system proposed in this paper supplies the cooled seawater to the fish hold tank through the direct cooling of the seawater. Therefore, by introducing a seawater cooling system that directly cools seawater, it is possible to improve the problem of the ice-cold cooling method using crushed ice and to expect catches of high value-added.

In this paper, performance of seawater cooling system was analyzed by installing an experimental device on the land before installing the seawater cooling system on the ship. Based on the above performance analysis on land, the seawater cooling system was designed and manufactured, and the performance was analyzed after installation on the 200ton class fishing carrier. In addition, the results were compared with the results of the performance analysis on land and the field operation performance analysis. Through the results, the economic feasibility of the system was analyzed and the applicability, technical feasibility, and economic feasibility of the seawater cooling system were examined.

In order to select material of the heat transfer tube of the flooded-type evaporator, the experimental apparatus was manufactured prior to the manufacture of the experimental apparatus on land. Experimental results confirmed the heat transfer performance according

to the material of the heat transfer tube. The experiment was carried out with the evaporation temperature and the incoming seawater temperature as variables. As a result, Al-brass was higher heat transfer efficient than titanium, Co-nickel, and 26 fpi fin was higher heat transfer efficient than 19 fpi fin. The performance of the seawater cooling system manufactured based on above result was measured at 1 °C intervals from 27 ~ 32 °C at the seawater inlet temperature in condenser. As the seawater inlet temperature increases, the performance decrease was confirmed, and COP 3.58 ~ 3.34 was confirmed. After the installation of the seawater cooling system with the same specifications as the seawater cooling system used in the experiment, the system performance was confirmed to be reduced by about 23% compared to the land experiment. The reason for the decrease in performance is due to the low specific heat from seawater, the pressure loss due to the longer piping, the difference in operating methods in the field operation, the increase in the flow rate and the size of the fish hold tank. As a result of economic analysis based on these results, payback period was 6.7 years, social discount rate 4.5%, net present value of about 300 million KRW, internal rate of return 14.6%, and benefit cost ratio 1.46 in installing in the original fishing carrier. When installing in the new fishing carrier, the payback period is 4 years and the social discount rate is 4.5%, with net present value of KRW 430 million, internal rate of return of 25.6%, and benefit cost ratio of 1.46. In both cases, therefore, the internal rate of return was higher than the social discount rate of 4.5% and the benefit cost ratio was higher than 1, indicating that the system was economic.

# Nomenclatures

## Symbols

$Q_e$	: Cooling capacity	[W, kW]
$m$	: Mass flow rate	[kg/s]
$c_p$	: Specific heat	[J/kgK]
COP	: Coefficient of performance	[ - ]
$\Delta T$	: Temperature difference	[°C]
LCC	: Life cycle cost	[KRW]
PWAF	: Present worth of annuity factor	[KRW]
PV	: Present value	[KRW]
$i$	: Discount rate	[%]
NPV	: Net present value	[KRW]
IRR	: Internal ratio of return	[%]
B	: Benefit	[KRW]
C	: Cost	[KRW]
I	: Initial investment cost	[KRW]

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경 및 목적

국내 연근해어업 중 대형선망어업은 고등어 어획량의 약 90%를 공급하는 업종이다. 이때 선망어업이란 등선이 야간에 불을 밝혀 어획물을 한 곳으로 유인한 뒤 본선이 그물을 둘러쳐 잡는 방식이며, 대형선망어선의 선단은 본선 1 척, 등선 2 척, 운반선 3 척으로 이루어져 있다. 그러나 이러한 연근해 선망 어선은 대부분 노후화되어 있는 실정이다[1].

이러한 대형선망어선의 선단 중 운반선은 어획물을 운반하는 역할을 한다. 국내 운반선의 어창 냉각방식으로는 **Figure 1** 과 같이 대부분 파쇄빙을 이용하는 빙장을 사용한다. 기존에 사용되는 빙장은 파쇄빙의 날카로운 결정과 염도 및 온도 변화로 인한 어획물 품질 저하, 그리고 높은 구매 비용과 무게 등의 문제점이 발생한다. 본 논문에서 제안하는 해수냉각시스템은 해수의 직접 냉각을 통해 냉각된 해수를 어창에 공급한다. 따라서, 해수를 직접 냉각하는 해수냉각시스템을 도입함으로써 파쇄빙을 이용한 빙장 냉각방식의 문제점을 개선하여 어획물의 고부가가치화를 기대할 수 있다.

본 논문에서는 운반선에 해수냉각시스템을 설치하기에 앞서 육상에 실험장치를 설치하여 해수냉각시스템의 성능을 분석하였다. 이러한 육상 성능분석을 바탕으로 해수냉각시스템을 설계하여

제작하고 선망어선단의 200ton 급 운반선에 설치 후 성능분석을 진행하였다. 또한, 육상 성능분석 결과와 현장 조업 성능분석 결과와 비교하여 어떠한 차이를 보이는지 확인하였다. 그 결과를 통해 시스템의 경제성을 분석하여 해수냉각시스템의 적용성 및 기술적 타당성과 경제적 타당성을 검토하였다.



Figure 1 Cooling method using crushed ice

## 1.2 종래 연구

본 논문의 해수냉각시스템을 어선에 도입하기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 육상빙, 파쇄빙과 같은 담수빙을 이용하여 어창을 냉각하는 방식과 해수냉각시스템을 이용하여 냉각된 해수를 공급할 때의 어획물 품질, 성능, 경제성 등을 비교한 국내외 연구가 다양하게 진행되었다.

T.K. Govin dan et al. [2]은 육상빙을 사용한 냉각 방식과 냉각된 해수를 이용한 방식을 비교하고 냉각된 해수를 사용했을 경우 어획물의 품질이 약 8% 나아진다는 것을 확인하였다.

E.Kolbe [3]는 해수냉각시스템의 소비에너지에 영향을 주는 요인을 분석하고 육상빙 냉각에 비해 해수냉각시스템을 사용했을 경우 약 50%의 에너지 절약이 가능함을 확인하였다.

Han et al. [4]은 압축기 회전수 증가에 따른 냉매의 증발온도 감소, 냉매 유량의 증가에 따른 어창 내 해수온도 감소, 어창 내 투입 열부하 증가에 따른 순환하는 냉매의 상태 변화로 인한 압축기 흡입 냉매 온도 감소, 어창 깊이가 깊어짐에 따른 어창 내 해수온도 증가를 확인하였다. 이를 통해 해수냉각시스템 설계 시 중요한 인자를 확인하여 기초자료를 확보하였다.

Yoon et al. [5]은 상용프로그램 HYSYS 를 사용하여 열원수의 온도를 11~28℃로 변화시켜 분석한 결과 열원수 온도의 증가에 따라 시스템의 냉매 유량이 16.7% 증가하였고 응축열량과 소비전력이 9.8%, 91.2% 증가를 확인하였다.

Kang et al [6]은 동일 열유속에서 Aluminum-brass tube 가 Copper-nickel tube 보다 외측 열전달계수가 약 10% 큰 것으로 확인하였고 단관 열전달계수와 18 kW 급 만액식 해수냉각시스템의 총괄열전달계수의 비교를 통해 동일 조건에서는 25% 정도 단관의 열전달계수가 큰 값을 나타냄을 확인하였다.

Yoon et al [7]은 해수냉각시스템에 사용된 만액식증발기의 전열관의 재질, 냉매에 따른 총괄열전달계수를 확인하였다. 프레온 냉매 R22 를 사용하였을 때 총괄열전달계수가 Aluminum-brass low-fin tube 가 Copper-nickel low-fin tube 에 비해 4.5%, R134a 를 사용할 경우엔 5.3%의 큰 값을 확인하였다. 또한, R22 를 사용하였을 때 R134a 에 비해 6.9% 큰 총괄열전달계수를 확인하였다.

Hong et al [8]은 제주지역 갈치 끝납시 조업 자동화 시스템 개발의 경제성을 분석하기 위해 사회적 할인율을 적용하여 순현재가치(NPV) 4 억 원, 내부수익률(IRR) 66.9%, 편익비용비율(B/C Ratio) 1.53 을 계산하였다. 이를 통해 경제성을 확보할 수 있다고 추정하였다.

Lee et al [9]은 LCC(Life Cycle Cost)를 계산하기 위해 실질할인율을 적용하여 연등가액 현재가치환산계수를 이용하여 경제성 분석을 진행하였다.

Park et al [10]은 마이크로펌프 생산 초소형공장의 경제성을 분석하기 위해 회수기간법을 사용하였다. 그 결과로 공장의 회수기간을 약 4 년으로 확인하였다.

Yoon et al [1]은 해수냉각시스템을 운반선에 설치하기에 앞서 육상용 실험 장치의 성능 분석의 결과를 통해 해수냉각시스템의 예비타당성조사를 진행하였다. 결과적으로 사회적 할인율 4.5%일 경우 순현재가치 154,000 dollars 를 확인할 수 있었고 내부수익률 21.4%를 확인할 수 있었다.

Yoon et al [11]은 해수냉각시스템의 운반선 설치가 완료된 상태로 초기투자비용을 실제 설치비용 3 억원을 적용하고 해수 환경에 따른 성능 감소를 고려하여 경제성을 분석하였다. 경제성 분석은 투자회수기간법, 순현재가치법, 내부수익률법, 편익비용비율법을 이용하여 진행하였다. 결과적으로 사회적 할인율 4.5%일 경우 투자회수기간 약 8.2 년, 순현재가치 약 2 억 8 천만 원, 내부수익률 13.7%, 편익비용비율 3.43 을 확인할 수 있었다.

이러한 국내외 다양하게 진행되고 있는 종래 연구를 바탕으로 본 연구에서는 고효율 해수냉각시스템의 설치에 앞서 육상 실험을 통해 성능을 확인하고 운반선에 설치하여 성능 분석을 진행하여 그 결과를 비교하였다. 또한, 해수냉각시스템의 경제성을 분석하여 기술적, 경제적 타당성을 분석하였다.

### 1.3 선행 연구

1.2 의 종래 연구와 같이 어선의 해수냉각시스템 관련하여 다양한 연구가 진행되어왔다. 특히, 본 연구의 해수냉각시스템에 사용되는 만액식증발기 전열관의 재질을 선정하기 위한 실험을 진행하였다. 재질의 선정을 위해 실험장치를 **Figure 2** 와 같이 제작하여 재질에 따라 증발 온도, 유입되는 해수 온도를 변수로 하여 실험을 진행하였다. 그 개략도는 **Figure 3** 과 같다[6].

이러한 실험 장치로 실험을 진행한 결과 모든 재질에서 증발 온도가 높아질수록 총괄열전달계수는 감소하는 경향을 보였고 유입되는 해수 온도가 높아질수록 총괄열전달계수가 증가하는 경향을 보였다. 그 결과는 **Figure 4, Figure 5** 와 같다[6].

**Figure 4** 의 결과를 보면 Aluminum-brass 19 low fin 기준으로 Titanium plain 은 약 10%, Copper-nickel 19 low fin 은 약 3%의 낮은 총괄열전달계수를 보였고 Aluminum-brass 26 low fin 은 약 3%, TC 26 low fin 은 5%, TCN 26 low fin 은 7%의 높은 총괄열전달계수를 확인할 수 있었다.

또한, **Figure 5** 의 결과를 보면 마찬가지로 Aluminum-brass 19 low fin 기준으로 Titanium plain 은 약 20% Copper-nickel 19 low fin 은 약 2.7%의 낮은 총괄열전달계수를 보였고 Aluminum-brass 26 low fin 은 1.5%, TC 26 low fin 은 약 2.8%, TCN 26 low fin 은 약 4.6%의 높은 총괄열전달계수를 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 통해 만액식증발기 전열관의 재질을 Aluminum-brass 26 low fin 으로 선정하였다.



Figure 2 Experimental apparatus of prior study [6]

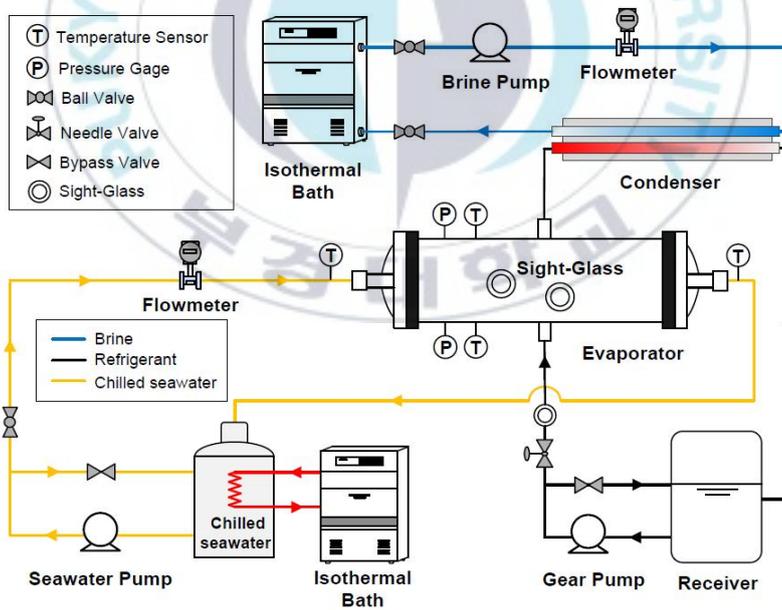


Figure 3 Schematic diagram of experimental apparatus [6]

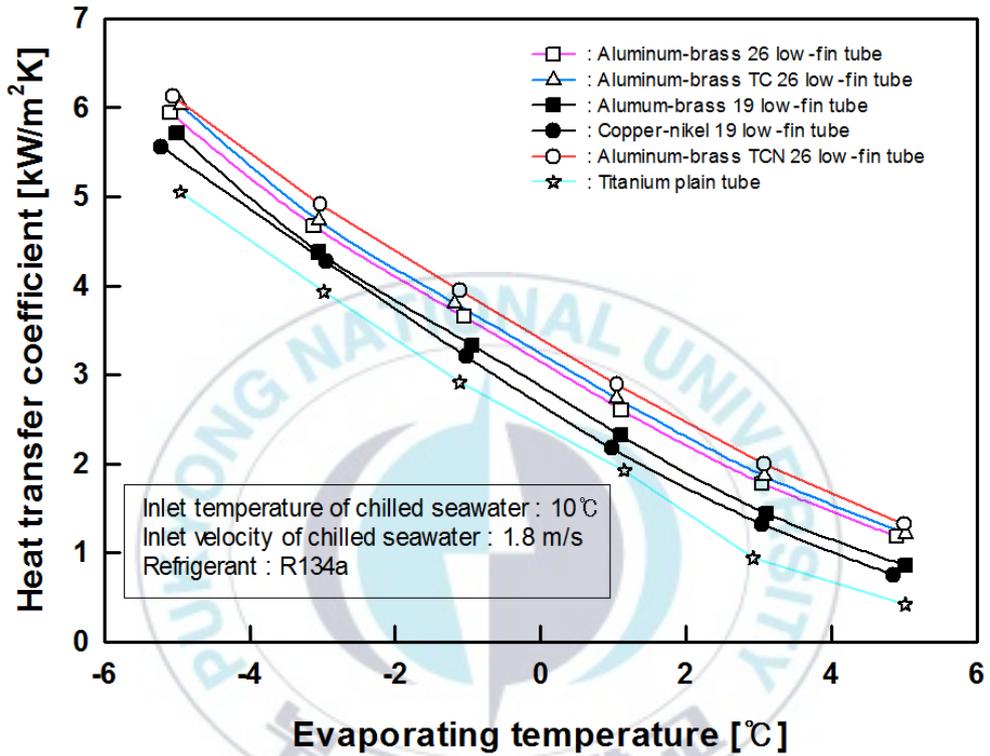


Figure 4 Heat transfer coefficient based on evaporating temperature [12]

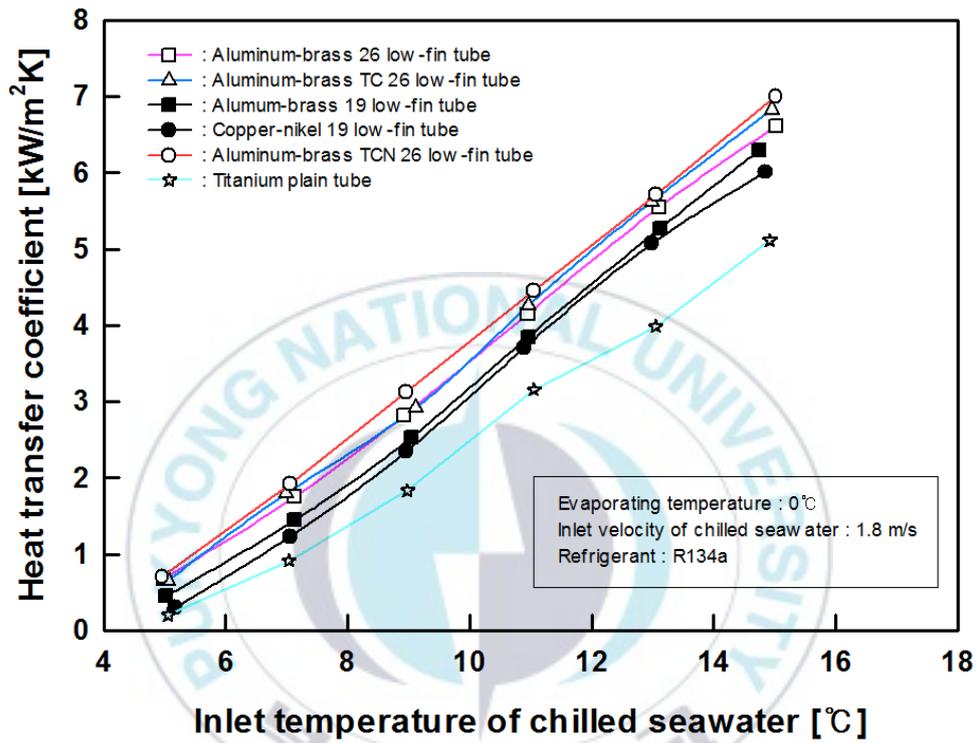


Figure 5 Heat transfer coefficient based on inlet seawater temperature [12]

## 제 2 장 해수냉각시스템 육상성능실험

### 2.1 실험장치 및 구성기기

앞의 선행연구를 바탕으로 제작된 해수냉각시스템의 설치에 앞서 육상에서 성능실험을 진행하였다. 성능실험을 진행하는데 있어 해수환경과 동일한 조건을 유지하기 위해 냉각탑과 보일러를 설치하였다. **Figure 6** 은 육상용 성능실험장치 개략도를 나타낸 것이다[12]. **Figure 7** 은 실험 장치의 사진이고 주요 장치의 사양은 **Table 1** 과 같다.

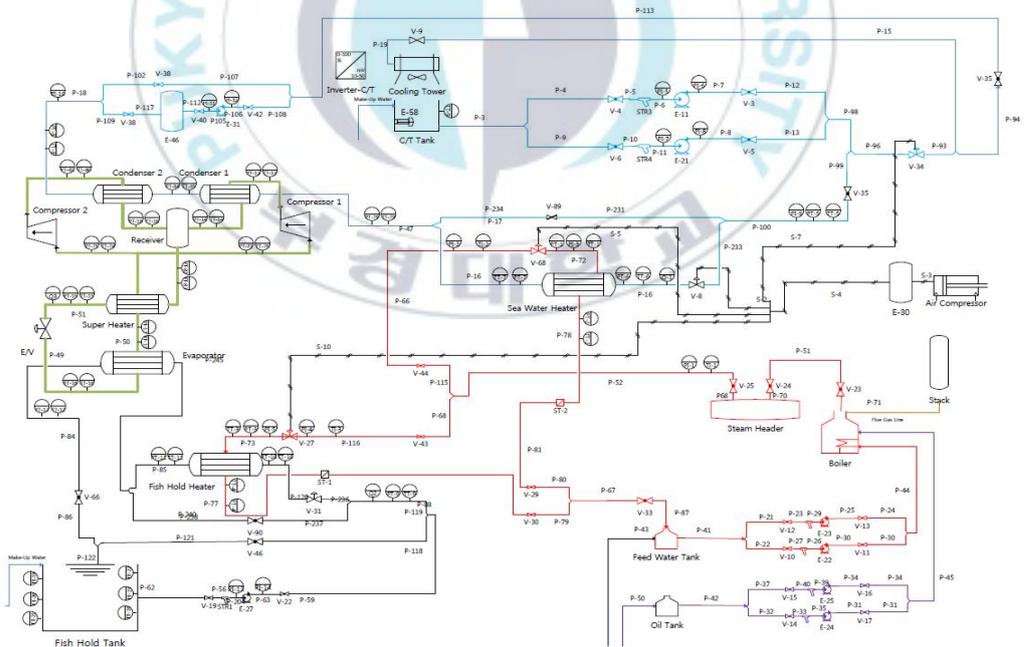


Figure 6 Schematic diagram of the seawater cooling system [12]



Figure 7 Experimental apparatus of seawater cooling system [12]

Table 1 Specification of the seawater cooling system [12]

Parameter	Specification
Compressor	HSK-8581-125
Condenser	$\Phi 610 \times 1800 \text{L}$ (tube OD15.88)
Evaporator	$\Phi 650 \times 1800 \text{L}$ (tube OD15.88)
Refrigerant	R-134a

## 2.2 실험 방법 및 조건

### 2.2.1 실험 방법

해수냉각시스템의 성능 특성을 파악하기 위하여 다음과 같은 시험 순서로 진행한다.

- (1) 측정 장치를 사전에 점검한 후 시스템 내부 진공 및 냉매 가압을 3 회 이상 실시하여 시스템 내부 불순물을 제거하고 냉매를 액상으로 충전한다.
- (2) 보일러를 구동하여 응축기 냉각수 온도를 시험 조건에 맞게 조절한다.
- (3) 증발기 어창 순환수 펌프와 응축기 냉각수 펌프를 구동하여 유량을 시험 조건에 맞게 조절한다.
- (4) 압축기의 전원을 켜서 압축기를 가동한 후 어창 공급 해수온도  $3\pm 1^{\circ}\text{C}$ 를 유지할 때를 장치의 정상상태라 판단하고 각 지점의 온도, 유량, 소비 전력 등을 20 분 정도 측정하여 평균값을 기록한다.

### 2.2.2 실험 조건

본 연구에서는 해수냉각시스템의 응축기측 해수 온도에 따른 성능 분석을 위해 **Table 2**의 조건에서 실험을 진행하였다. 어창 공급 해수 온도는 등푸른생선의 저장 온도인  $3\pm 1^\circ\text{C}$ 를 기준으로 실험을 진행하였다[12]. 또한, 어창은 lab-scale로 실제 선박 어창의 가로, 세로, 높이의 절반 크기로 제작하고 유량은  $90\text{m}^3/\text{h}$ 의 조건으로 실험을 진행하였다.

Table 2 Conditions of experiments on land [12]

Parameter	Value	Unit
Outlet seawater temperature (Fish hold tank)	$4\pm 1$	$^\circ\text{C}$
Inlet seawater temperature (Fish hold tank)	$3\pm 1$	$^\circ\text{C}$
Volume of fish hold tank	9.6	$\text{m}^3$
Flowrate of seawater	$90\pm 1$	$\text{m}^3/\text{h}$

## 2.3 실험 결과

2.2 의 실험 방법과 실험 조건으로 본 연구의 해수냉각시스템 성능 분석을 진행하였다. 성능분석은 응축기에 유입되는 해수 입구 온도를 변화시키며 그때의 소비전력, 각 지점의 온도, 유량 등을 측정하고 냉각능력, COP 를 계산하였다.

냉각능력은 식(1)과 같이 증발기 측 해수입출구온도차, 유량, 비열을 이용하여 계산하였다. COP 는 식(2) 와 같이 냉각능력을 냉동기의 소비전력으로 나누어 계산하였다.

결과적으로, 냉각능력은 온도에 따라 상이하지만 평균 약 239~249kW 의 값을 보였습니다. 하지만 COP 는 응축기에 유입되는 해수 입구 온도가 높아짐에 따라 소량 감소를 확인할 수 있었고 3.34~3.58 의 값을 보였다. 결과는 **Figure 8, Figure 9** 에서 확인할 수 있다.

$$Q_e = m \times c_p \times \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

$$COP = \frac{Q_e}{W} \dots\dots\dots (2)$$

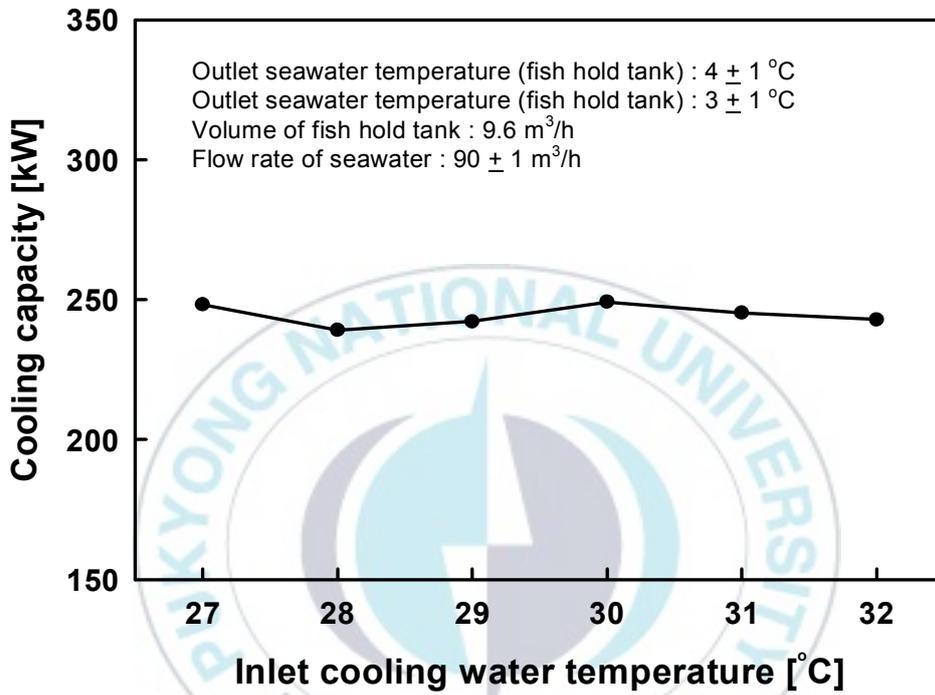


Figure 8 Cooling capacity based on inlet seawater temperature

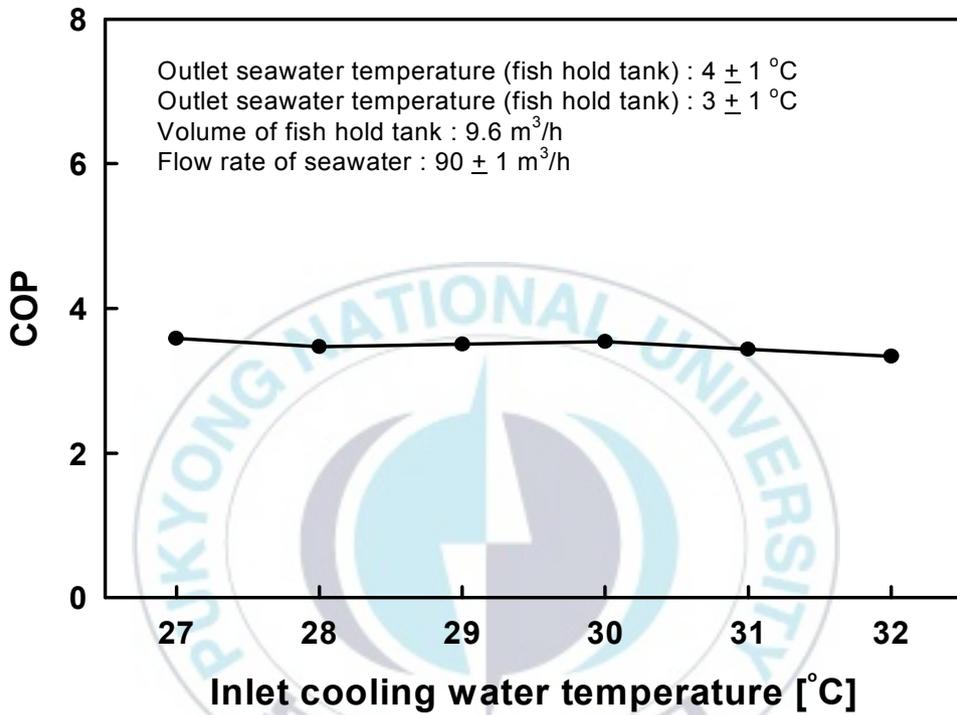


Figure 9 COP based on inlet seawater temperature

## 제 3 장 해수냉각시스템 현장 성능 분석

### 3.1 해수냉각시스템 운반선 설치

해수냉각시스템의 실제 조업 시 데이터를 분석하기 위해 실제 조업에 운행하는 200 톤급 운반선에 설치하였다. 해수냉각시스템을 설치한 운반선 동남 707 호의 어창의 부피는  $76.8\text{m}^3$  이었고 총 6 개 어창이 설치되어 있었다. 동남 707 호의 사진은 **Figure 10** 과 같다 [12].



Figure 10 Fishing vessel Dongnam 707 [12]

육상 성능실험을 바탕으로 운반선 동남 707 호의 발전량과 사양에 적합한 용량 238kW 급 해수냉각시스템을 **Figure 11** 과 같이 제작하였다. 제작된 해수냉각시스템을 기존의 선박에 설치하기 위해서 **Figure 12** 와 같이 설치 공간을 확보하였다. 설치 공간 확보 작업이 완료된 후 **Figure 13** 와 같이 해상크레인선을 이용해 제작된 해수냉각시스템을 200 톤급 운반선에 설치하였다. 위 방법으로 설치한 해수냉각 시스템의 구성 요소 및 각종 설비의 사진은 **Figure 14 ~ Figure16** 과 같다. 또한, **Figure 17** 과 같이 인버터를 적용하여 부분부하를 감당하기 위한 제어장치를 설치하였다 [12].



(a) Compressor



(b) Condenser



(c) Evaporator

Figure 11 Manufacturing of seawater cooling system [12]



Figure 12 Secure installation space [12]



Figure 13 Install seawater cooling system on fishing vessel [12]



Figure 14 Compressor installed in the fishing vessel [12]



Figure 15 Condenser installed in the fishing vessel [12]



Figure 16 Condenser installed in the fishing vessel [12]



(a) Screw compressor



(b) Reciprocating, screw compressor

Figure 17 Install compressor control panel [12]

## 3.2 성능분석 방법

동남 707 호에 설치한 해수냉각시스템의 성능분석은 다음과 같이 진행한다.

- (1) 해수냉각시스템을 설치한 선망 어선 운반선이 조업을 나가기 전, 증발기에 유입되는 해수입출구온도 및 유량, 압축기의 소비전력 그리고 응축기에 유입되는 해수입출구온도 등의 지점에 **Figure 18** 과 같이 센서를 부착하고 데이터 측정기로 수집을 시작한다.
- (2) 조업 중이나 완료 후 운반선이 육지에 정박하면 데이터를 수집하고 냉각능력, COP 등을 계산한다.



(a) Flow meter

(b) thermal couple

(c) Power meter

Figure 18 Install measuring instrument on seawater cooling system [12]

### 3.3 성능분석 결과 및 고찰

#### 3.3.1 현장 조업 성능분석 결과

3.2 의 분석 방법으로 본 연구의 해수냉각시스템 현장 조업 시 성능분석을 진행하였다. 성능 분석은 총 2 번에 걸쳐 진행하였다. 성능분석의 조업 경로는 **Figure 19, Figure 20** 과 같다[12].

**Figure 21** 은 1 차 조업 데이터 중 어창에 어획물이 유입될 때 어창의 해수입출구온도를 나타낸 그래프이다. 그 결과 20 분이 경과 되었을 때 어창에 어획물이 유입되면서 부하 변동이 일어났음을 확인할 수 있다. 해수냉각시스템이 계속 가동됨으로 2 시간이 지나고 어창 해수 온도를 등푸른생선 저장 온도인 3°C이하로 냉각시킴을 확인할 수 있었다[12].

**Figure 22 ~ Figure 26** 는 2 차 조업 데이터 중  $3\pm 1^{\circ}\text{C}$ 의 어창 온도일 때 성능을 나타내었다. 그 결과 평균 냉각능력은 192.56 kW, 평균 소비전력은 74.02kW, COP 는 2.60 으로 분석되었다 [12].

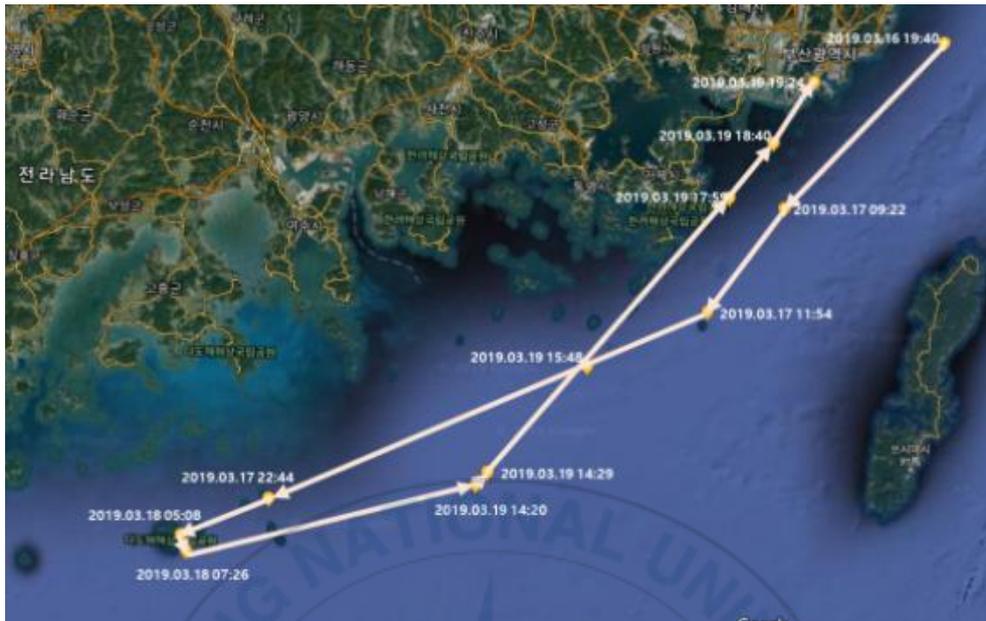


Figure 19 Route of first performance evaluation on field operation [12]

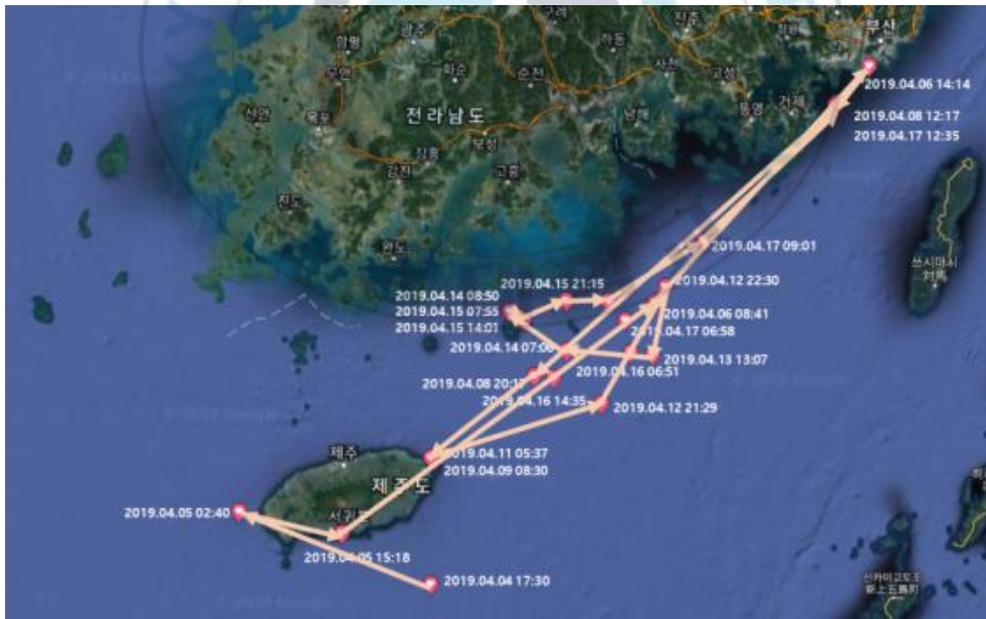


Figure 20 Route of second performance evaluation on field operation [12]

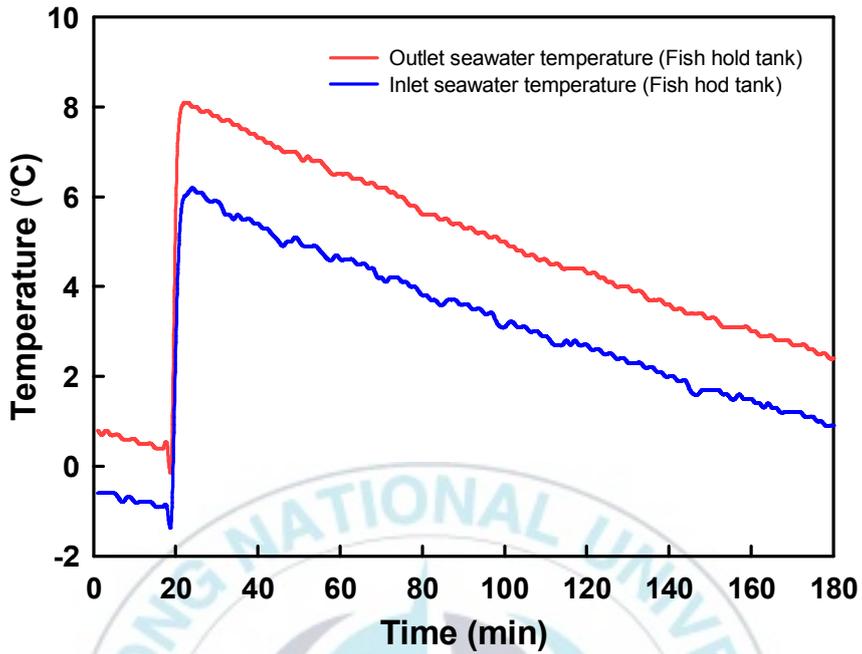


Figure 21 Inlet and outlet temperature based on operate time (first) [12]

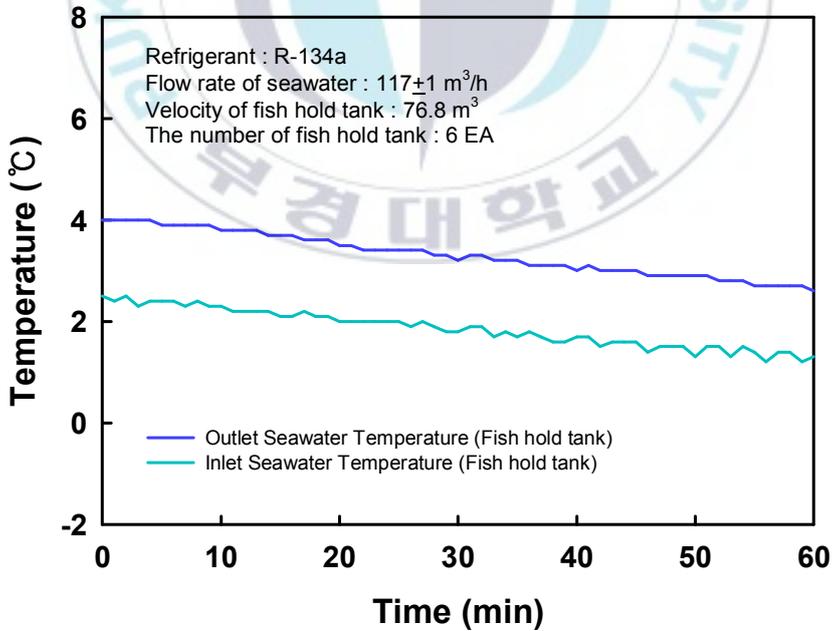


Figure 22 Inlet and outlet temperature based on operate time (second) [12]

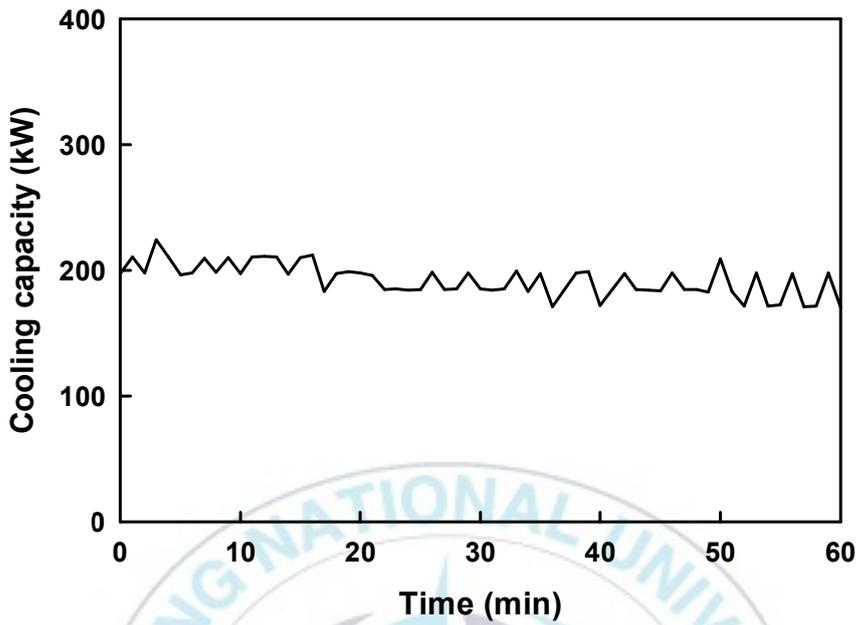


Figure 23 Cooling capacity based on operate time

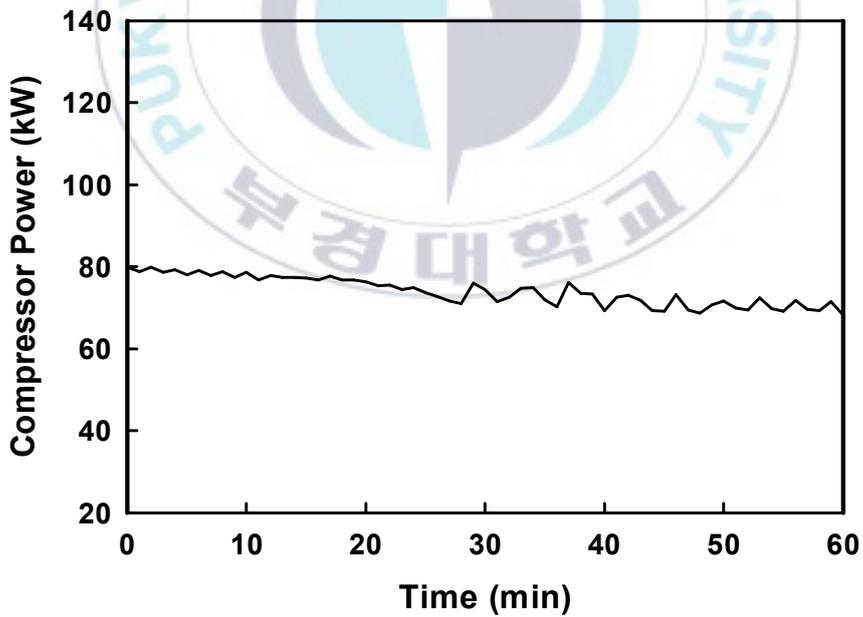


Figure 24 Compressor power based on operate time [12]

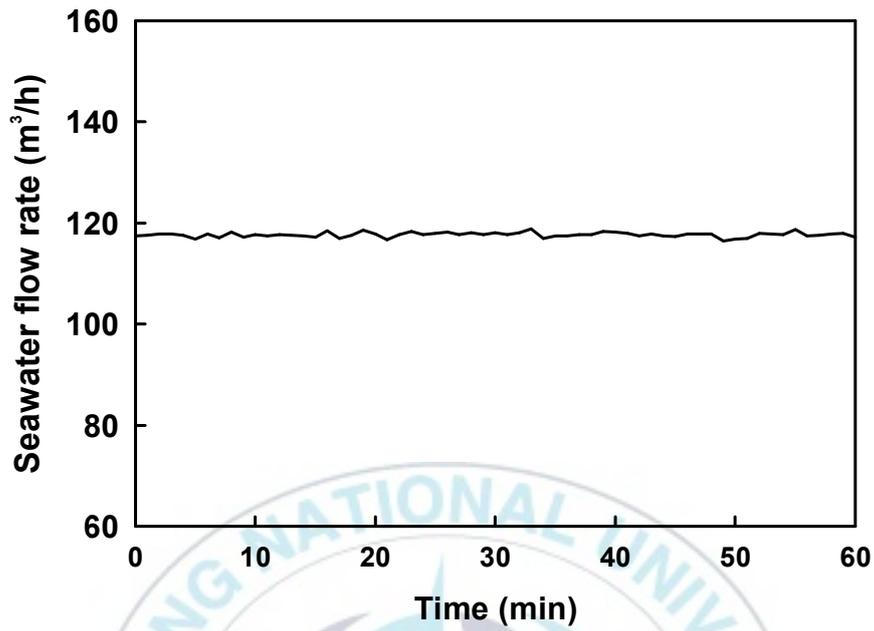


Figure 25 Seawater flowrate based on operate time [12]

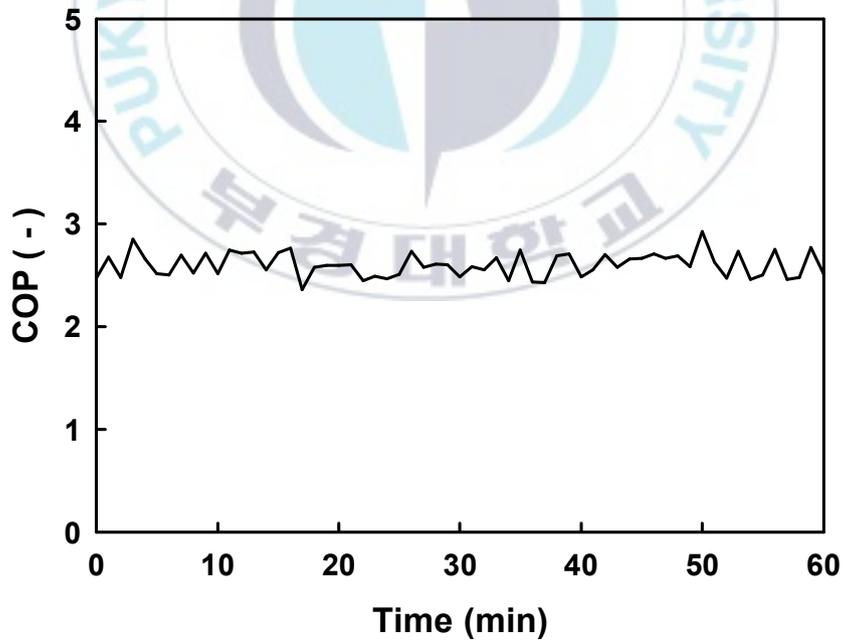


Figure 26 COP based on operate time [12]

### 3.3.2 육상 실험결과와 비교 및 고찰

본 연구에서는 해수냉각시스템을 냉각탑과 보일러를 이용해 해수 환경을 조성하는 육상 실험장치를 제작하여 성능을 분석하고 그 성능 실험을 바탕으로 연근해 선망어선단의 200 톤급 운반선에 설치하여 그 성능을 확인하였다. 해수 환경에 따라 성능이 감소할 것으로 사료되어 용량에 여유를 두었다.

육상 실험결과와 현장 조업 성능분석 결과를 비교하기 위하여 조업 성능분석 결과를 육상 실험결과와 같이 응축기에 유입되는 해수 온도에 따라 정리하였다. 비교한 결과는 Figure 20 과 같다. Figure 27 을 보면 현장 조업 성능분석 결과의 평균 COP 는 약 2.6 의 값을 보였고, 육상 실험결과의 평균 COP 는 약 3.3 의 값을 보였다. 또한, 평균 성능감소율은 약 23%를 확인할 수 있었다.

이러한 성능 감소를 보인 이유는 운반선의 특성상 어창과 기계실의 거리가 멀어 길어진 배관으로 인한 압력 손실, 육상 실험은 냉각탑과 보일러의 사용을 위해 담수를 사용했기 때문에 해수의 달라진 비열, 유량 및 어창의 크기 증대, 현장 조업 시 가동 방식의 차이 등으로 사료된다.

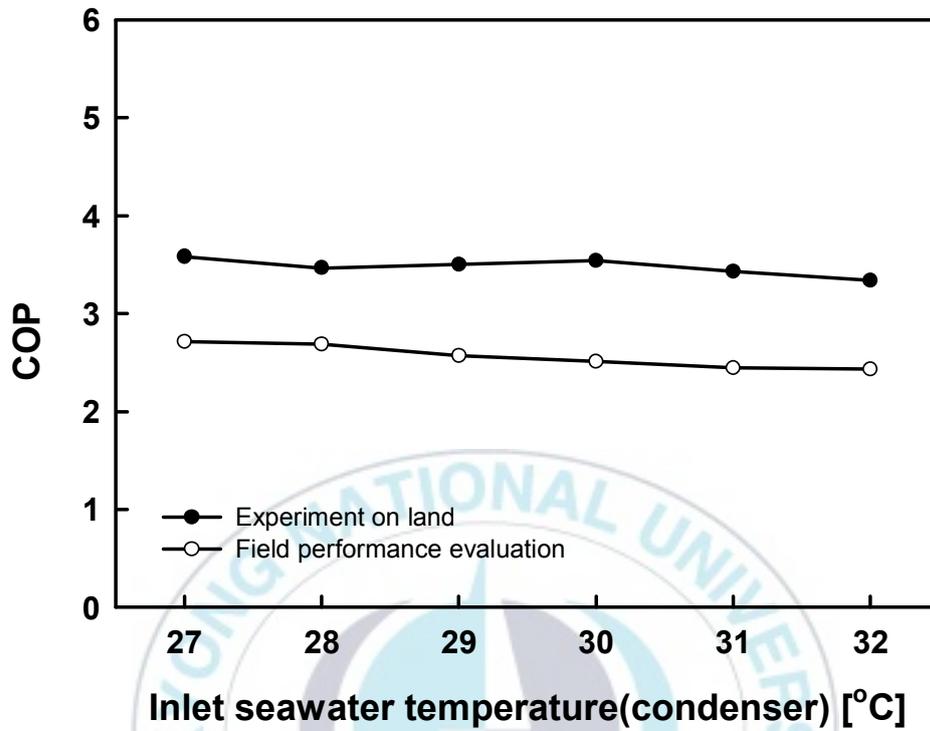


Figure 27 COP compare based on inlet seawater temperature

## 제 4 장 해수냉각시스템 경제성 분석

### 4.1 경제성 분석 방법

경제성 분석 방법으로 생애주기비용을 적용한 투자회수기간법, 순현재가치법, 내부수익률법, 비용편익비율법을 사용했다 [12].

#### 4.1.1 투자회수기간(Payback period) 법

투자회수기간법은 시스템의 초기 투자비용을 회수할 수 있는 기간을 확인하여 경제성을 분석한다. 투자회수기간을 분석하기 위해 본 연구에서는 생애주기비용을 적용하였다.

생애주기비용은 연등가액과 연등가액환산계수를 이용하였다. 연등가액환산계수를 계산하는 방법은 아래 식(3)과 같다. 또한 생애주기비용의 현재가치는 식(4)와 같이 계산하였다. 평가요인이 시간인 투자회수기간법은 평가자에게 시간이라는 필요한 판단 근거를 제공하기 때문에 경제성 분석에 있어 자주 사용되는 방법 중 하나이다[12].

$$PWF = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \dots \dots \dots (3)$$

$$PV = PWF \times A \dots \dots \dots (4)$$

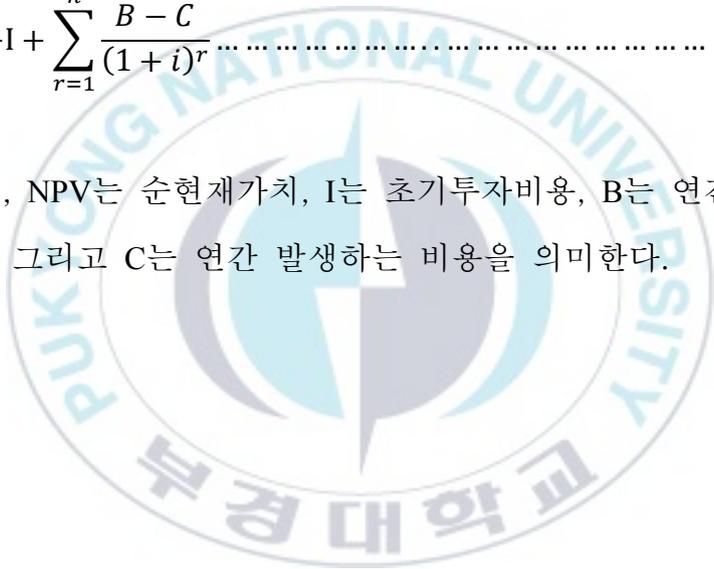
여기서  $i$ 는 할인율(%),  $PWF$ 는 연등가액현재가치환산계수,  $A$ 는 연등가액, 그리고  $PV$ 는 생애주기비용의 현재가치를 의미한다.

#### 4.1.2 순현재가치(Net present value)법

순현재가치법은 순현재가치가 0 보다 크면 기술개발에 있어 경제성이 있어 투자할 가치가 있다고 판단할 수 있는 방법이다. 이 방법은 평가 요인이 순현재가치(NPV)라는 한가지 요인을 명확히 보여주기 때문에 경제성 평가에 자주 사용되는 방법 중 하나이다. 순현재가치를 계산하는 방법은 아래 식(5)와 같다[12].

$$NPV = -I + \sum_{r=1}^n \frac{B - C}{(1 + i)^r} \dots \dots \dots (5)$$

여기서, NPV는 순현재가치, I는 초기투자비용, B는 연간 발생하는 이익, 그리고 C는 연간 발생하는 비용을 의미한다.



### 4.1.3 내부수익률(Internal rate of return)법

내부수익률은 순현재가치를 0 으로 만드는 할인율을 의미하며 내부수익률이 사회적 할인율보다 높으면 경제적이라고 판단하는 방법이다. 내부수익률은 아래 식(6)과 같이 계산할 수 있다[12].

$$0 = -1 + \sum_{r=1}^n \frac{B - C}{(1 + IRR)^r} \dots\dots\dots (6)$$

### 4.1.4 비용편익비율(Benefit-Cost ratio)법

편익비용비율이 1보다 클 경우 경제적이라고 판단하는 방법이다. 하지만 이 방법은 편익과 비용을 선정하는 것이 힘들다는 단점을 가지고 있다. 이를 위해 편익을 해수냉각장치를 사용함으로써 얻어든 얼음의 구매비용으로 선정하였고 비용은 해수냉각시스템의 유지관리비용으로 선정하였다. 계산식은 아래 식(7)과 같다[12].

$$B/C \text{ ratio} = \sum_{r=1}^n \frac{B}{(1 + i)^r} / \sum_{r=1}^n \frac{C}{(1 + i)^r} \dots\dots\dots (7)$$

## 4.2 경제성 분석 조건

경제성 분석에 앞서 필요한 자료들을 조사하고 자료를 바탕으로 경제성 분석을 진행하였다. 경제성 분석에 있어 필요한 자료는 할인율과 열음사용량, 해수냉각시스템 설치비용 및 유지비용이다.

할인율의 경우, 투자회수기간법은 물가상승률, 이자율이 포함된 실제할인율 1.15%를 적용하였고 순현재가치법과 내부수익률법, 편익비용비율법에는 기획재정부 ‘예비타당성조사 수행 총괄지침’을 참고하여 사회적할인율 4.5%를 적용하였다[12].

열음사용량의 경우, 2018년 6월부터 해수냉각시스템을 설치한 동남 707호의 열음사용량은 **Table 3**과 같다. 이때 4월과 5월은 금어기로 어획을 하지않으므로 제외하였다. 또한, 동남 707호의 열음 사용량은 빙장선 열음사용량의 약 60%이다[12].

해수냉각시스템의 설치비용 및 유지비용의 경우, 실제 설치비용과 압축기 소비전력 등을 이용해 계산한 결과를 이용하였으며 **Table 3**과 같다[12].

Table 3 Ice consumption (2018. 06 ~ 2019. 03) [12]

<b>Date</b>	<b>Ice consumption (ton)</b>
2018. 06	115
2018. 07	63
2018. 08	192
2018. 09	155
2018. 10	407
2018. 11	311
2018. 12	290
2019. 01	405
2019. 02	225
2019. 03	72
<b>Total</b>	<b>2,235</b>
<b>Original Ice consumption</b>	<b>3,725</b>

Table 4 Conditions of economic evaluation [12]

<b>Parameter</b>	<b>Value (KRW)</b>
Machine price	130,000,000
Installation cost	51,000,000
Secure installation space cost	119,000,000
Annual ice cost	149,000,000
Annual ice cost after installation of seawater cooling system	89,400,000
Annual maintenance cost of seawater cooling system	12,727,371

### 4.3 경제성 분석 결과

4.2의 분석 조건을 바탕으로 경제성 분석을 진행하였다. 경제성 분석은 4.1의 방법을 이용하여 진행하였고 기존에 사용 중인 선박의 설치할 경우와 신규 선박에 설치할 경우로 나누어 경제성 분석을 진행하였다[12].

기존에 사용 중인 선박에 해수냉각시스템을 설치할 경우의 경제성 분석 결과는 **Figure 28**, **Figure 29**와 같다. 또한, 신규 선박에 설치할 경우의 경제성 분석 결과는 **Figure 30**, **Figure 31**과 같다 [12].

따라서, 두 경우에 해수냉각시스템의 투자회수기간과 순현재가치, 내부수익률, 편익비용비율은 **Table 5**, **Table 6**과 같이 분석할 수 있다. 순현재가치의 경우 사회적 할인율 4.5%의 경우뿐만 아니라 3%와 6%의 경우까지 추가적으로 분석하였다[12].

결과적으로, 투자회수기간은 기존 선박에 설치할 경우 약 6.7년으로 계산되었고 신규 선박에 설치할 경우에는 4년으로 계산되었다. 사회적 할인율 4.5%일 때 순현재가치는 기존 선박에 설치할 경우 약 3억원, 신규 선박에 설치할 경우는 약 4억3천만 원으로 계산되었다. 또한 기존 선박 설치 시에는 내부수익률은 14.6%, 편익비용비율은 1.46으로 계산되었고 신규 선박 설치 시에는 25.6%, 1.46으로 계산되어 두 경우 모두 경제성이 있다고 판단할 수 있었다[12].

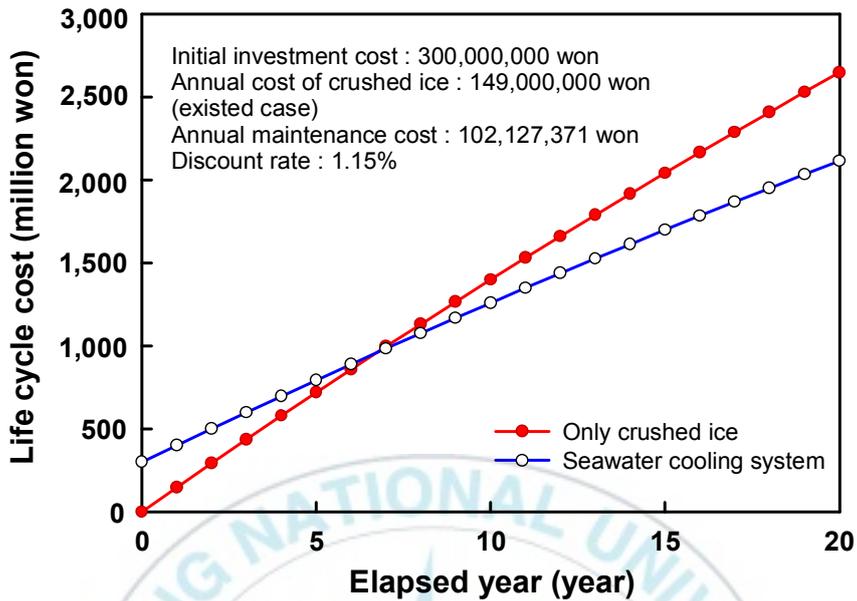


Figure 28 Compare LCC in installing on original vessel [12]

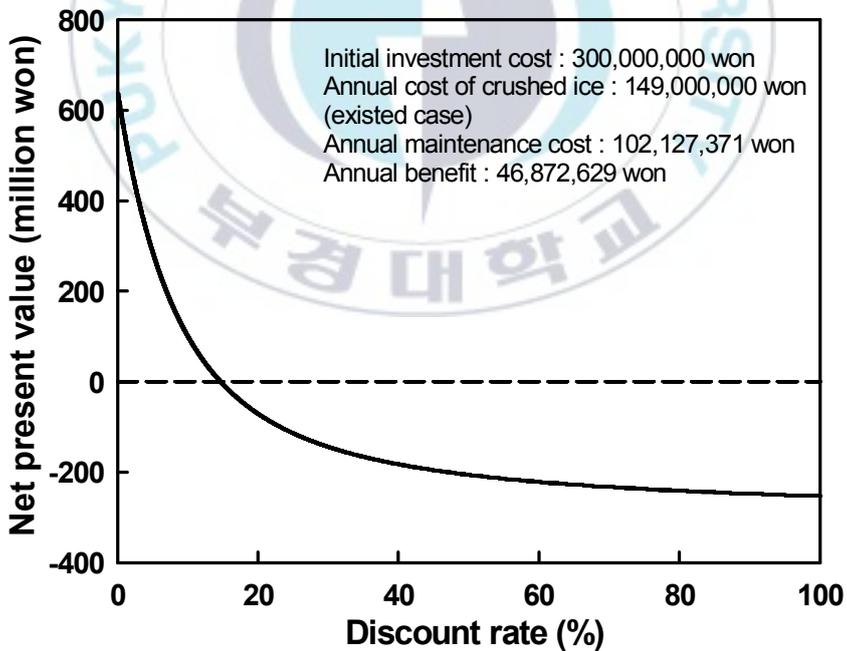


Figure 29 NPV in installing on original vessel [12]

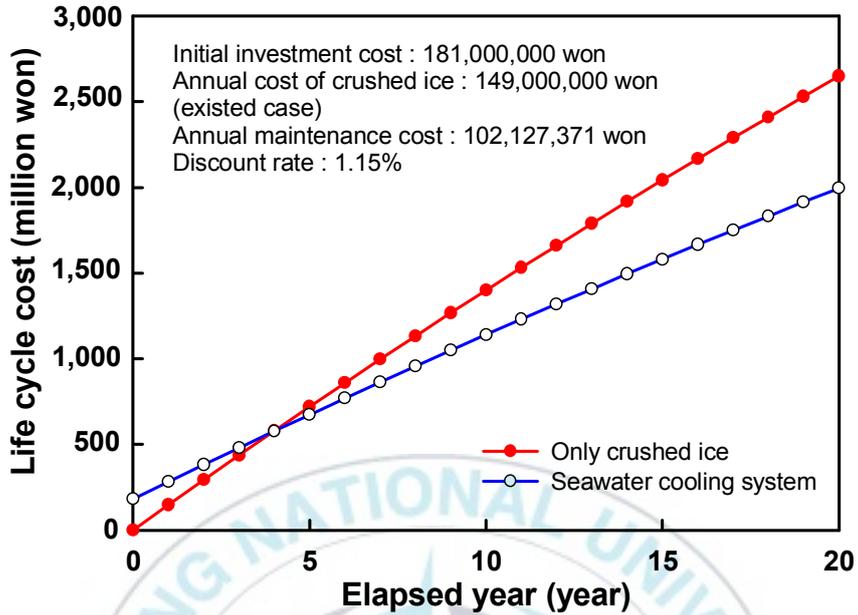


Figure 30 Compare LCC in installing on new vessel [12]

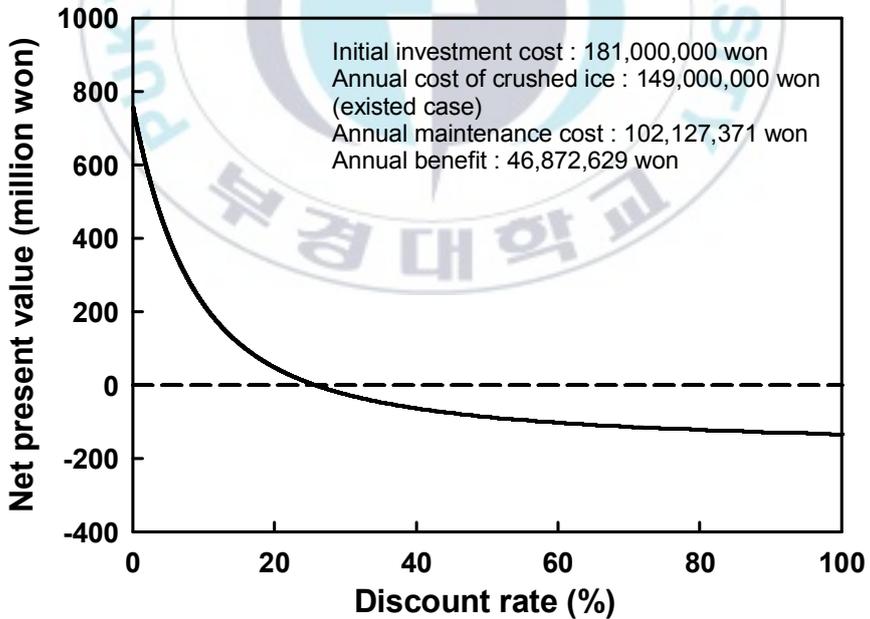


Figure 31 NPV in installing on new vessel [12]

Table 5 Result of economic evaluation in installing on original vessel [12]

<b>Payback period (year)</b>	<b>6.7</b>		
<b>Social rate of discount (%)</b>	3	4.5	6
<b>Net present value (KRW)</b>	397,346,359	309,716,179	237,625,361
<b>Internal rate of return (%)</b>	14.6		
<b>Benefit-Cost ratio (-)</b>	1.46		

Table 6 Result of economic evaluation in installing on new vessel [12]

<b>Payback period (year)</b>	<b>4</b>		
<b>Social rate of discount (%)</b>	3	4.5	6
<b>Net present value (KRW)</b>	516,346,359	428,716,179	356,625,361
<b>Internal rate of return (%)</b>	25.6		
<b>Benefit-Cost ratio (-)</b>	1.46		

## 제 5 장 결 론

연근해 선망어선단 운반선 어창 냉각을 위해 해수냉각시스템을 도입하여 기존에 사용하던 파쇄빙을 이용한 냉각방식으로 생기는 어획물의 선도 하락, 얼음의 무게와 비용 등의 문제를 해결하고자 하였다. 본 논문에서는 이러한 해수냉각시스템을 운반선에 설치하기 앞서 육상용 실험장치를 제작하여 성능을 분석하였다. 또한, 실제 운반선에 설치하여 해수냉각시스템의 현장 조업 실증 평가를 통해 현장 조업 시 해수냉각시스템의 어창 냉각 시간이나 냉각 능력, COP등을 확인하였고 육상 실험과의 비교를 통해 기초 설계 자료를 제공하고자 하였다, 이러한 결과를 통해 순현재가치, 내부수익률, 편익비용비율, 투자회수기간 등을 분석하여 시스템의 경제적 타당성을 분석하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 해수냉각시스템을 제작하기에 앞서 lab scale로 시스템을 제작하여 만액식증발기 전열관의 열전달 특성을 확인한 결과 열전달 성능은 아래와 같이 분석되었다.

$$Ti < C,N19 < Albrass \text{ low fin}(19) < 26 < TC < TCN$$

- 2) 위의 결과를 바탕으로 제작된 해수냉각시스템을 응축기 측 해수입구온도 27~32℃에서 1℃ 간격으로 성능을 분석한 결과 해수입구온도가 높아짐에 따라 성능 감소를 확인하였고 COP 3.58~3.34의 성능을 확인하였다.

- 3) 실험에 사용된 해수냉각시스템과 동일한 사양의 해수냉각시스템을 선박에 설치 후 현장 조업 시 시스템의 성능을 확인한 결과 육상실험대비 약 23% 감소함을 확인하였다. 성능 감소의 이유는 다음과 같이 사료된다.
- (1) 해수를 이용함으로 인한 낮은 비열
  - (2) 길어진 배관으로 인한 압력 손실
  - (3) 현장 조업 시 가동 방법의 차이
  - (4) 유량 및 어창 크기 증대
- 4) 경제성을 분석한 결과 기존 선박 설치 시 투자회수기간 6.7년, 사회적 할인율 4.5%의 경우 순현재가치 약 3억원, 내부수익률 14.6%, 편익비용비율 1.46으로 분석되었다.
- 5) 신규 선박 설치 시 투자회수기간 4년, 사회적 할인율 4.5%의 경우 순현재가치 약 4억 3천만 원, 내부수익률 25.6%, 편익비용비율 1.46으로 분석되었다.
- 6) 따라서 두 경우 모두 내부수익률이 사회적 할인율 4.5% 보다 큰 값을 보였고 편익비용비율이 1보다 큰 값을 보여 시스템이 경제적이라고 판단할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] D. Y. Kwak, K. S. Lee, C. G. Moon, J. M. Kee, I. D. You, C. H. Son, J. I. Yoon (2019) Economic analysis of seawater cooling system for fishing vessel (Journal of the Korean Society of Marine Engineering) Vol. 43, No. 3, pp. 151-156
- [2] P. A. Perigreen, S. A. Pillai and P. K. Surendran and T. K. Govindan (1975), Studies on Preservation of Fish in Refrigerated Sea-water (Fishery Technology), Vol. 12, No. 2 pp. 105-111.
- [3] E. Kolbe (1990), Refrigeration Energy Prediction for Flooded Tanks on Fishing Vessels (Applied Engineering In Agriculture), pp. 624-628.
- [4] I. K. Han, C. G. Moon, J. D. Kim and J. I. Yoon (2001), Heat Load Characteristics of Sea Water Cooling Apparatus on Inshore Fishing Boat (Journal of the Korean Society of Marine Engineering), Vol. 25, No. 6, pp. 139-145.
- [5] J. I. Yoon, K. H. Choi, C. H. Son, I. H. Kang, C. L. Kim and S. H. Seol (2016), Performance Comparison of Flooded Seawater Cooling System with respect to Heat Sink Temperature (Journal of the Korean Society for Power System Engineering) Vol. 20, No. 2, pp. 91-96
- [6] I. H. Kang, S. H. Seol, J. I. Yoon and C. H. Son (2017), Evaporating heat transfer characteristics of Aluminum-brass tube for seawater cooling system using R-134a (Journal of the Korean Society of Marine Engineering) Vol. 41, No. 3, pp. 197-201.
- [7] J. I. Yoon, C. H. Son, K. H. Choi, S. H. Jung, H. M. Han and S. H. Seol (2019), Heat Transfer Characteristics of Flood-type Evaporator Using R22 and R134a for Fishing Vessels (Heat Transfer Engineering) Vol. 40, No. 12, pp. 985-996
- [8] S. H. Hong, U. K. Yang, M. K Kim, Y. S. Park, K. I. Park and D. H. Kim (2018) An economic feasibility analysis of the automatic

operation system development for hairtail trolling line in Jeju region, Korea (Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology) Vol. 54, No. 2, pp. 164-172

- [9] J. B. Kee, S. H. Cho, B. C. Min, D. Y. Hong and W. J Lee ( 2011) A study on the reliability method development for the LCC analysis (Proceedings of Spring Conference of the Korean Reliability Society), pp. 319-328
- [10] S. H. Park, S. H. Jang, M. Subramaniam, S. I. Choi, J. Y. Song and C. W. Lee (2008) Economic analysis of micro factory for the production of micro pump using payback-period method (Proceedings of 2008 Society of CAD/CAM Engineers), pp. 814-818,
- [11] J, I. Yoon, C. H. Son, C. G. Moon, J. H. Lee, K. S. Lee, S. H. Jung and D. Y. Kwak (2019) Economic Evaluation of Seawater Cooling System Applying Flooded Type Evaporator (IOP Conference Series : Materials Science and Engineering) Vol. 520
- [12] J. M. Lee, J. I. Yoon (2019) Introduction study of seawater cooling system for fishing-ships, R&D/20150480, (Ministry of oceans and fisheries research report)