

## 스크래퍼식 샤베트 해수 제빙장치의 제빙 특성

윤정인<sup>1</sup> · 이현경<sup>2</sup> · 전민주<sup>3</sup> · 문춘근<sup>4</sup> · 최광환<sup>5</sup> · 손창효<sup>†</sup>

(Received September 11, 2017 ; Revised November 16, 2017 ; Accepted December 4, 2017)

### Experimental study on the characteristics of a sherbet type seawater ice maker using scraper

Jung-In Yoon<sup>1</sup> · Hyun-Kyung Lee<sup>2</sup> · Min-Ju Jeon<sup>3</sup> · Choon-Geun Moon<sup>4</sup> · Kwang-Hwan Choi<sup>5</sup> · Chang-Hyo Son<sup>†</sup>

**요약:** 어획물의 보관, 유통 과정에서 해수를 원수로 하는 샤베트형 얼음의 이용은 어획물의 선도 유지와 품질 면에서 좋은 방식으로 평가되고 있다. 하지만, 국내의 보관 및 유통 과정에서는 90% 이상이 담수 각 빙을 사용하며 이에 따라 품질과 신선도 측면에서 마이너스 효과를 보이고 있다. 본 연구에서는 소용량(0.55 Ton/day) 스크래퍼식 제빙기를 대상으로 해수의 입구 온도와 유량, 스크래퍼 회전수, 냉매의 증발온도, 염분 농도를 변화시키며 실험을 실시하여 샤베트형 해수빙의 형태와 제빙량, 빙충전율(IPF)을 알아보았으며, 그 결과는 다음과 같다. (1) 생성된 샤베트형 해수빙은 흰 색의 유동성을 가진 유체로, 얼음 입자의 크기는 직경 0.2 mm ~ 0.3 mm로 측정되었다. (2) 해수의 입구 온도가 낮을수록, 유량이 적을수록 IPF는 증가하며, 표준 조건에서 제빙량은 0.55 Ton/day를 보였다. (3) 스크래퍼 회전수가 증가할수록 IPF는 증가하며 해수의 염분 농도에 따른 IPF 변화는 미미하다. (4) 냉매의 증발온도가 낮아질수록 IPF는 증가하는 경향을 보인다. 이러한 결과는 샤베트형 해수 제빙장치 설계를 위한 중요한 자료가 되리라 판단된다.

**주제어:** 해수, 제빙기, 스크래퍼, 샤베트형 얼음, 빙충전율

**Abstract:** In the fishing industry, seawater sherbet ice has been evaluated as an effective means of maintaining the freshness and quality of a catch. However, in Korea, fresh water flake ice has been used in more than 90% of the instances wherein results show negative effect on quality and freshness. In the present study, a small-capacity (0.55 ton/day) scraper ice maker was tested under various operating conditions to evaluate its influence on the ice making amount and the ice packing factor. The experiment results are summarized as follow: (1) the produced sherbet ice is white, fluidity with the liquid form and the diameter of ice particle ranging from 0.2 mm to 0.3 mm; (2) the ice packing factor grows with the decrement of the seawater inlet temperature and flow rate, with the ice making amount at 0.55 ton/day under standard conditions; (3) the ice packing factor increases as a result of speeding up the scraper, but a change in salinity shows a small impact on the ice packing factor; (4) as the evaporating temperature decreases, the ice packing factor increases. These results are considered important in designing a sherbet-type ice maker.

**Keywords:** Seawater, Ice maker, Scraper, Sherbet ice, Ice packing factor

## 1. 서론

샤베트형 얼음은 슬러리 아이스라고도 불리며, 미세한 크기의 얼음을 포함한 액체를 뜻한다. 샤베트형 얼음은 일반 얼음과 달리 유동성을 가지고 있어 펌프로 쉽게 이송이 가능하고 피냉각 물체와의 접촉 면적을 넓힐 수 있으며, 동일한 부피의 차가운 액체와 비교하여 얼음의 잠열을 포함하고 있으므로 큰 냉열을 가진다는 장점이 있다. 이러한 장

점을 바탕으로 샤베트형 얼음은 사무용 빌딩과 채광 구역의 냉방, 식품의 공정과정 및 보관 등 널리 응용되고 있다 [1]. 특히 수산업과 관련하여 어획물의 보관, 유통 과정에서 해수를 원수로 하는 샤베트형 얼음의 이용은 기존 담수 각 빙 냉각 방식과 비교하여 어획물의 선도 유지와 품질 면에서 좋은 방식으로 평가되고 있다 [2][3].

이러한 이유로 국외에서는 이미 샤베트형 해수 제빙장치

† Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2143-0515>): Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University, 365, Sinseon-ro, Nam-Gu, Busan 48547, Korea, E-mail: sonch@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6183

1 Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University, E-mail: yoonji@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6180

2 Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Graduate School, Pukyong National University, E-mail: d0015825@naver.com, Tel: 051-629-6173

3 Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University, E-mail: mini7970@nate.com, Tel: 051-629-6173

4 Institute of Technology, Daeil cooler Co., Ltd., E-mail: drmcg@gmail.com, Tel: 051-731-0003

5 Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University, E-mail: choikh@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6179

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

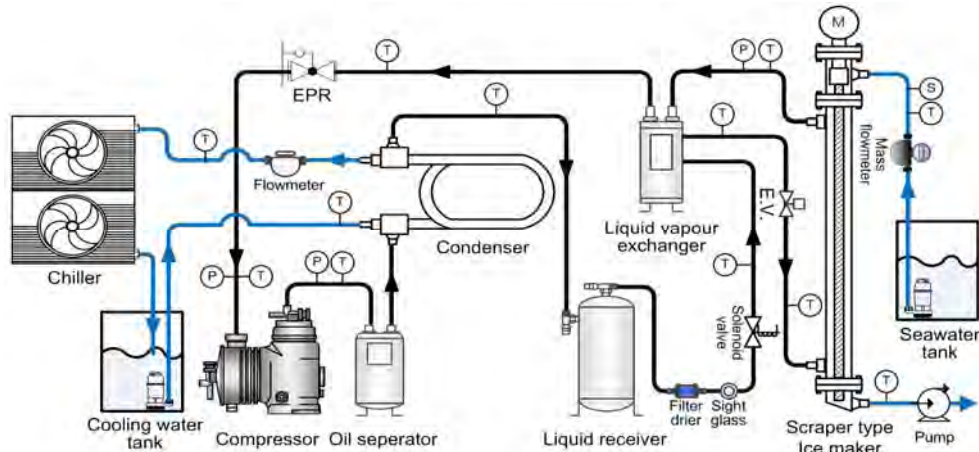


Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus

에 대한 연구가 진행되었으며 상용화 되어(DOIGEKEN사, SUNWELL사, AXIMA사 등) 수산물의 고품질화를 선도하고 있다. 그러나, 국내에서는 현행 연근해 조업 및 운반 어선의 90%이상이 담수 각 빙을 사용하며 이에 따라 어획물의 손상과 느린 냉각속도, 삼투압에 의한 어획물의 품질변화와 같이 품질과 신선도 측면에서 마이너스 효과를 보이고 있다[4].

2000년대 후반부터 국내에서도 사베트형 해수 제빙장치에 대한 연구가 수행되어 왔다. S. K. Jeong *et al.* [5][6]은 해수 제빙장치의 자동화시스템 개발을 위해 드럼형 제빙기를 적용한 시스템에서 팽창밸브 개도와 드럼 회전속도에 따른 최적 운전 조건을 실험적으로 알아보았으며, S. K. Heo *et al.* [7]은 드럼형 제빙장치를 대상으로 냉매(R22, R404A, R507A)와 증발온도, 드럼 회전속도에 따른 성능계수와 제빙량을 실험을 통해 제시하였다. 하지만, 사베트형 해수 제빙장치에 대한 국내의 연구는 매우 부족하며, 드럼형 제빙기에 국한되어 있다.

이에 따라 본 논문에서는 증발온도  $-15^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ 에서도 제빙이 가능하며, 증발기 내에서 물과 얼음이 섞인 사베트형 해수빙의 제조가 가능하도록 이중관 열교환기 내관에 스크래퍼를 삽입한 스크래퍼식 제빙 장치를 대상으로 다양한 작동 조건에 따른 제빙 특성 분석을 통해 스크래퍼식 사베트형 해수 제빙장치의 기초 설계 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 실험 방법

### 2.1 실험 장치

Figure 1은 본 연구에서 사용된 소용량(0.55 Ton/day) 스크래퍼식 사베트형 해수 제빙 성능 실험 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험 장치는 압축기, 응축기, 팽창밸브, 스크래퍼가 삽입된 이중관 증발기, 증발압력 조정 밸브(EPR)와 스크래퍼를 회전시키기 위한 모터 등으로 구성된다. 설정 증발압력에 맞추어 주파수 변환을 통해 압축기의 회전수가 제어되는 BLDC 인버터 압축기와 전자식 팽창밸브를 사용하여 증발압력과 과열도를 일정하게 유지하도록 구성

하였다. 증발기 출구측에 부착된 증발압력 조정밸브는 구조내의 스프링을 통하여 냉매액이 넘어 오지 않도록 막아 줄 뿐만 아니라 증발압력을 일정 압력 이하로 내려가지 않도록 제어해주는 역할을 한다.

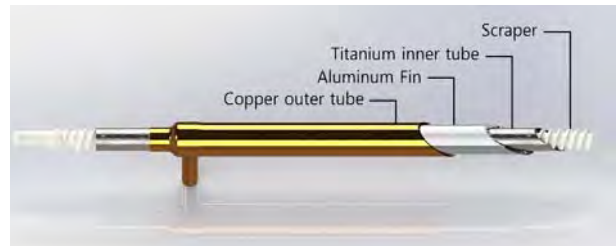


Figure 2: 3D drawing of double tube heat exchanger

Figure 2에 제빙이 일어나는 스크래퍼식 증발기를 나타내었다. 스크래퍼식 증발기는 이중관 열교환기의 형태로 총 길이는 1100 mm이며, 전열 유효 길이는 800 mm이다. 해수와 접촉하는 내관은 부식에 강한 티타늄으로 제작하였으며, 외부에 전열 면적을 넓혀 전열을 촉진하며, 외부 동관을 지지할 수 있는 알루미늄핀 핀을 티타늄 외부에 삽입하였다. 이중관 열교환기는 수직으로 배치되고, 이중관 내관 안에 스크래퍼를 삽입한 후 상부에 모터를 설치하여 스크래퍼를 회전시킨다. 저온의 냉매는 이중관 열교환기 외관의 하부로 부터 유입되어 상부로 흘러 나오는 반만액식 타입을 적용하여 관 내부가 최대한 냉매 액과 열교환 할 수 있게 하여 열교환기의 효율을 증대 시켰다. 해수는 열교환기의 상부로 유입되어 티타늄 내부로 흘러내리고, 외부의 저온의 냉매와 열교환하여 과냉각 발생 후 얼음이 생성되도록 하였다. 내관 표면에 생성된 얼음은 회전하는 스크류형 스크래퍼에 의해 긁어져 사베트형 해수빙의 형태로 열교환기 외부로 배출된다

냉매가 흐르는 냉동 사이클 주요기기의 입·출구에 T-Type 열전대를 설치하여 냉매의 온도를 측정하였으며, 해수측은 정밀도가 높은 백금 측온 저항체를 이용하여 온도를 측정하였다. 그리고 응축압력과 증발압력을 측정하기

위하여 증발기 출구, 압축기의 입·출구에 절대 압력계를 장착하였다. 냉매의 유량은 수액기 출구에 질량유량계, 냉각수의 유량은 수유량계를 부착하여 측정하였다. 또한 실험 조건을 일정하게 유지하기 위하여 냉각수 수조와 해수 수조에 항온조를 설치하였다. 데이터의 기록은 데이터 로거와 소프트웨어(YOKOGAWA/GM90PS)를 사용하였다.

## 2.2 실험 조건 및 방법

다양한 작동 조건에 따른 샤베트형 해수 제빙장치의 제빙 특성에 대한 연구를 위하여 위에 기술한 실험 장치를 구성하였으며, 실험 조건은 **Table 1** 과 같다. 냉매의 응축에 사용된 냉각수는 항온조를 통해 항상 일정한 입구 온도를 유지하게 되며, 증발기로 유입되는 해수는 마이크로 모션 기어펌프를 통해 0.1 LPM까지 유량이 정밀하게 조정되어 증발기로 공급된다. 이때, 증발기측에 사용되는 해수 탱크에도 항온조를 연결하여 원하는 입구 온도를 유지하도록 하였다. 해수의 초기 염분 농도는 해수의 유동이 없는 상태의 해수 탱크에서 해수용 염분계(LT Lutron/YK-31SA)를 이용하여 측정하였다. 스크래퍼와 연결된 모터에 인버터를 부착하여, 주파수의 변화를 통해 스크래퍼 회전속도를 변경하였다. 냉매는 R22를 사용하였으며, 전자식 팽창밸브를 이용하여 과열도를 6℃로 고정한 후 실험을 진행하였다.

시스템이 정상상태 (30분 동안의 온도측정 변화가 ±0.5℃ 이내, 압력 측정 변화가 ±5 kPa, 질량유량의 변화가 0.05 kg/min 이내이면 시스템은 정상상태라고 간주한다.)에 도달한 후 냉매의 온도와 압력, 질량유량, 냉각수와 해수의 입출구 온도 등을 20분 동안 측정하였다.

**Table 1:** Experimental Conditions

Parameter	Value	Unit
Superheat degree	6.0*	℃
Initial salinity	2.9, 3.2*	%
Flow rate of seawater	0.75*, 1.0, 1.25, 1.50, 1.75	LPM
Evaporating temperature	-8, -10*, -15	℃
Inlet temperature of seawater	10*, 15, 20, 27	℃
Inlet temperature of cooling water	27*, 32	℃
Scraper rotation speed	260, 350*, 440	rpm

\* : Standard Conditions

## 2.3 빙충전율 산출

빙충전율(Ice Packing Factor : IPF)은 샤베트형 해수빙과 같은 얼음을 포함한 수용액에 대해서, 전체 수용액의 질량에 대한 얼음의 질량의 비이며 식 (1)과 같이 표현된다.

$$IPF = \frac{m_{ice}}{m_{solution}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

IPF에 따라 샤베트형 해수빙의 냉열량, 온도, 염분 농도,

이송성 등이 달라지기 때문에 어획물의 신선도 유지에 있어 IPF는 매우 중요한 인자이다. 하지만 미세한 얼음을 액체와 분리시키기는 매우 어려우며 이에 따라 IPF를 산출하기 위해서는 샤베트형 얼음의 성질을 이용해야 한다. 샤베트형 얼음의 온도는 기본적으로 얼음을 제외한 해수 부분의 염분 농도상의 동결점과 같다. 샤베트형 해수빙에서 고체로 상변화 하는 것은 염분이 거의 포함되지 않은 물이기 때문에 IPF가 증가할수록 남은 해수 부분의 염분 농도는 짙어지며, 샤베트형 얼음의 온도 역시 낮아지게 된다.

$$T_f = -0.0575 \times S + 1.710523^{-3} \times S^{3/2} - 2.154996^{-4} \times S^2 - 7.53^{-4} \times p \quad (2)$$

염분 농도에 따른 해수의 동결점은 식 (2)와 같다[8]. 여기서 S는 해수의 염분 농도(%)이며, p는 압력(decibar)이다. 샤베트형 얼음의 출구에서 온도를 측정 후 식 (2)를 통하여 제빙 후 해수의 염분 농도를 계산할 수 있다.

$$IPF = \frac{S_f - S_i}{S_f} \times 100 [\%] \quad (3)$$

식 (3)은 해수의 염분 농도와 IPF의 관계식이다[9]. S<sub>i</sub>는 제빙 전 해수의 염분 농도이며, S<sub>f</sub>는 제빙 후 해수의 염분 농도를 뜻한다. 제빙 전, 후의 해수의 염분 농도를 안다면 식 (3)을 통해 IPF 산출이 가능하다.

샤베트형 해수빙의 냉각된 해수와 얼음이 섞여있기 때문에 순수한 얼음의 양 만으로는 샤베트형 해수빙의 제빙량을 평가할 수 없다. 이에 본 논문에서는 통상적으로 샤베트형 해수빙의 유동성이 없어지는 IPF 30%를 기준으로 정하고 식 (4)와 같이 하루 제빙량(Ton/day)을 환산하였다.

$$ICE = m_{sea} \times \frac{IPF}{0.3} \quad (4)$$

m<sub>sea</sub>는 해수의 유량을 뜻하며 ICE는 IPF 30%기준에서의 샤베트형 해수빙의 제빙량이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 샤베트형 해수빙의 크기와 형태

**Table 1**의 표준 조건에서 스크래퍼식 샤베트형 해수 제빙 실험 장치를 통해 생산된 샤베트형 얼음은 **Figure 3**과 같다. 샤베트형 얼음은 흰 색의 유동성을 가진 미세한 얼음 입자와 해수의 혼합 형태로 스크래퍼를 통해 배출되었다.

배출 후 얼음과 해수의 밀도 차이에 의해 샤베트 아이스 수조에서 위, 아래로 상의 분리가 일어난다. 이 때, 분리된 미세한 얼음 입자들은 그 사이에 해수를 포함하고 있으며 이 해수가 접촉제 역할을 하게 되어 큰 덩어리의 얼음을 형성하는 것을 확인하였다.



Figure 3: Photograph of slurry ice

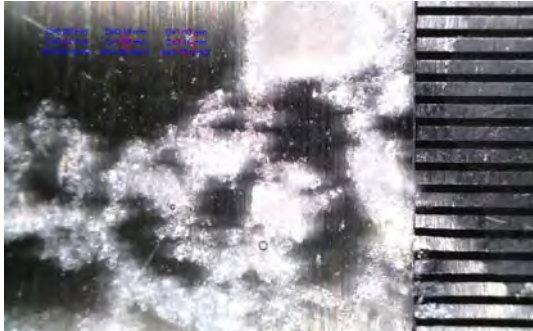


Figure 4: Enlargement print of slurry ice crystal

Figure 4는 생성된 사베트형 해수빙을 현미경을 사용하여 촬영한 사진이다. 현미경으로 측정된 얼음 입자의 크기는 직경 0.2 mm ~ 0.3 mm로 측정되었다.

### 3.2 해수 입구 온도와 유량의 영향

Figure 5는 표준 조건에서 해수 입구 온도( $T_{sea,in} = 10, 15, 20, 27^\circ\text{C}$ ) 변화에 따라 유량의 증가가 IPF에 미치는 영향을 나타낸 것이며, Figure 6은 같은 조건에서의 제빙량을 IPF 30% 기준에서의 하루 생산량을 나타낸 것이다. 해수의 입구 온도와 유량에 따라 얼음이 제빙되지 않거나, 관 내 얼음의 고착으로 인해 시스템이 안정적으로 작동되지 않는 경우가 생기며 이는 그래프에서 제외하였다.

증발기 출구에서 사베트형 해수빙의 온도 측정을 통해 산출한 IPF는 해수 입구 온도가 낮고 유량이 적을수록 큰 수치를 보였으며, 해수 입구 온도  $10^\circ\text{C}$  조건에서 해수 유량이 0.75 LPM부터 0.25 LPM씩 증가함에 따라 14.7 ~ 0.3%로 감소하였다. 또한, 입구 온도가 높을수록 유량 증가에 따른 IPF 감소량이 큰 것을 볼 수 있다. 해수의 입구 온도와 유량이 증가할수록 증발기에 흐르는 두 유체사이의 온도차가 증가하고, 유속 증가로 인해 증발기 내에서 열전달이 활발하게 일어나게 된다. 하지만, 열전달량의 증가량보다 해수의 높은 온도와 많은 유량으로 인하여 제빙에 필요한 온도까지 냉각시키기 위한 열량이 더 큰 폭으로 증가하기 때문에 이에 기인하여 IPF가 감소하는 것으로 판단된다.

Figure 6은 IPF 30%기준으로 환산한 하루 제빙량 (Ton/day)의 변화 그래프를 나타낸다. Figure 6을 보면 IPF와 제빙량의 그래프 기울기의 변화 형태가 다른 것을 알 수 있다. 이는 IPF는 그 정의처럼 전체 수용액에서 얼음의

비율을 뜻하지만, 제빙량은 IPF와 유량의 곱으로 나타내어지기 때문에 유량 증가에 대한 영향이 포함됨에 따른 결과이다. IPF 30%기준으로 환산한 하루 제빙량은 표준 조건에서 0.55 Ton/day의 제빙량을 가짐을 확인하였다.

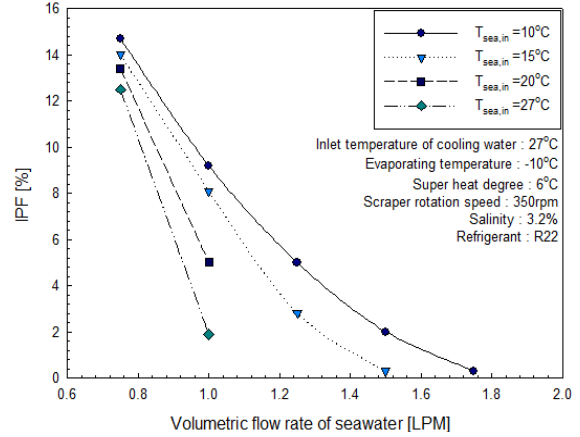


Figure 5: Influence of seawater flow rate on IPF for inlet temperature of seawater

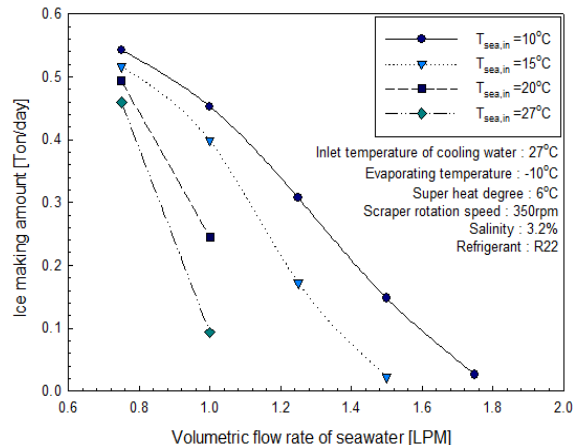


Figure 6: Ice making amount versus seawater flow rate

### 3.3 스크래퍼 회전 속도의 영향

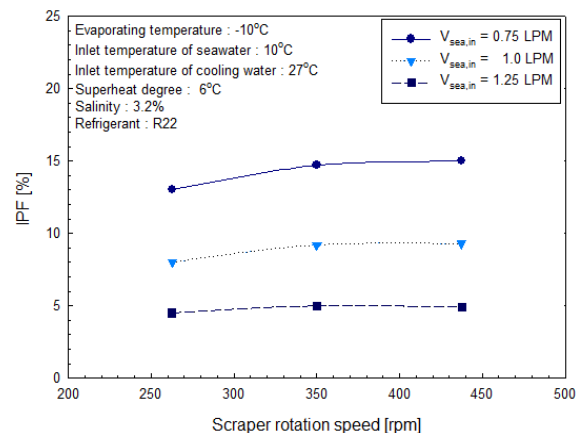


Figure 7: Influence of scraper rotation speed on IPF for seawater volumetric flow rate

스크래퍼의 회전은 난류 및 와류를 형성하며 얼음이 내측 관 벽면에 붙어 성장하는 시간을 결정하기 때문에, 이 회전수는 열전달량 및 IPF와 관계가 있다. Figure 7은 표준 조건에서 해수 유량( $V_{sea,in} = 0.75, 1.0, 1.25$  LPM)에 따라 스크래퍼의 회전수의 변화(260, 350, 450 rpm)가 IPF에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 스크래퍼 회전수가 증가함에 따라 IPF가 증가하는 것을 확인하였다. 이는 스크래퍼의 회전수가 증가할수록 회전 레이놀즈 수가 증가하며 난류가 촉진되어 열전달 계수가 커지며 또한, 튜브 내측벽면에 생성되는 얼음층의 두께가 얇아짐에 따라 전도 열저항이 감소하여 열전달이 향상됨에 따른 결과로 사료된다. 또한 해수 유량이 0.75 LPM의 경우 IPF가 13 ~ 15%로 2% 증가하는 반면에, 해수 유량 1.25 LPM의 경우 IPF가 4.5 ~ 5.0%로 즉 0.5% 증가로 해수 유량의 증가에 따라 스크래퍼의 회전수에 따른 영향이 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.4 염분 농도의 영향

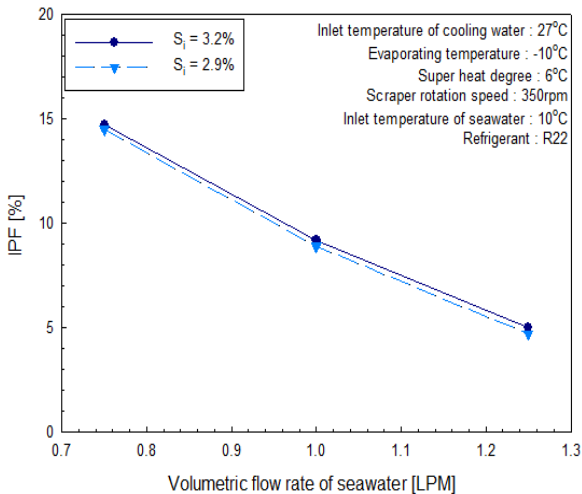


Figure 8: Ice making amount versus seawater initial salinity

Figure 8은 표준 조건에서 해수의 초기 염분 농도( $S_i = 2.9, 3.2\%$ )와 유량(0.75, 1.0, 1.25 LPM)에 따른 IPF의 변화를 나타낸 그래프이다. 염분 농도가 3.2%에서 2.9%로 감소함에 따라 IPF는 0.2 ~ 0.3%로 감소하였다. 해수 유량이 증가할수록 염분농도에 따른 IPF 차의 값이 소폭 증가하지만 미미한 수치임을 확인할 수 있다. 우리나라 연근해 표층수의 염분 농도는 계절, 지역에 따라 다르지만 3.0 ~ 3.5%이므로 이에 따른 제빙 성능의 차이는 무시 가능하다고 사료된다.

본 실험에서 제빙된 샤페트형 해수빙의 온도는 해수의 유량이 0.75 LPM에서  $S_i$ 가 2.9%, 3.2%일 때 각각  $-1.85^\circ\text{C}$ ,  $-2.07^\circ\text{C}$ 이다. 이처럼 거의 동일한 IPF임에도 불구하고 제빙 전 염분 농도에 따라 제빙 후 해수빙의 온도가 변하는 것을 확인하였다.

### 3.5 냉각수 온도 및 증발온도의 영향

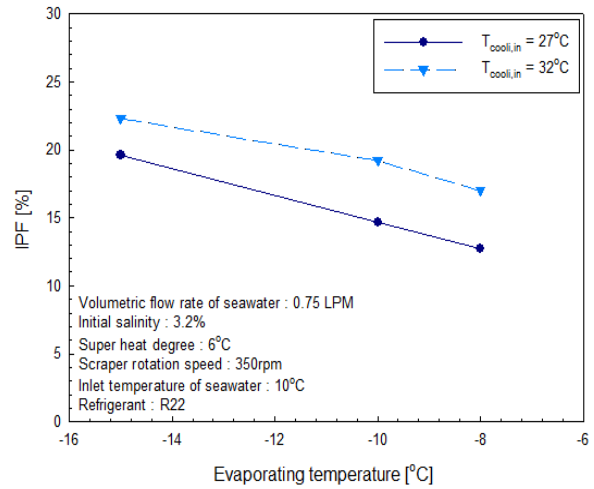


Figure 9: Influence of evaporating temperature on IPF for cooling water temperature

Figure 9는 표준 조건에서 냉각수의 입구 온도( $T_{cool,in} = 27, 32^\circ\text{C}$ )와 냉매 증발 온도(-15, -10,  $-8^\circ\text{C}$ )의 변화에 따른 IPF를 나타낸 것이다. 제빙기에서 증발온도는 얼음의 양 및 빙질, 제빙기의 성능에 많은 영향을 미친다. 또한, 해상용 선박 HVAC 설계 지침[10]에 따르면 선박 내 냉동장치의 냉각수로 이용되는 해수의 온도는 국내 항로 항해선의 경우  $27^\circ\text{C}$ , 일반 항해선 기준  $32^\circ\text{C}$ 로 설정한다. 이에 따라, 냉각수의 온도를  $27^\circ\text{C}$ ,  $32^\circ\text{C}$ 로 변화시키고, 3.2% 바닷물의 경우 제빙이 시작되는 가장 높은 증발온도인  $-8^\circ\text{C}$ 부터  $-15^\circ\text{C}$ 로 변화시켜 가며 실험을 하였다.  $T_{cool,in} = 27^\circ\text{C}$ 의 경우 증발온도에 감소에 따라 IPF는 12.7 ~ 19.6%로 6.9%증가,  $T_{cool,in} = 32^\circ\text{C}$ 의 경우 IPF는 17 ~ 22.3%로 5.3% 증가하였다. 여기서 IPF와 냉매의 증발온도는 밀접한 관계가 있으며, 냉매의 증발온도가 감소할수록 IPF는 선형적으로 증가하는 것을 확인하였다.

동일한 증발온도에서는 냉각수 온도가  $27^\circ\text{C}$ 보다  $32^\circ\text{C}$ 에서 IPF가 약 4%정도 높게 나타났다. 이는 M. J. Kim *et al.* [11]의 연구와 동일한 결과로 냉각수의 온도가 높아짐에 따라 응축압력이 상승하고, 일정한 증발압력을 유지하기 위해서 압축기의 회전수가 증가하게 된다. 이로 인해 냉매의 질량유량이 증가하고 증발기에서의 냉각능력이 증가함에 따른 것으로 판단된다.

위와 같이 응축압력과 증발압력의 차이가 커짐에 따라 압축비가 증가되고, 압축기가 고 회전수에서 작동함에 따라 압축기 소비 동력은 증발온도  $-8^\circ\text{C}$ , 냉각수 온도  $27^\circ\text{C}$  0.365 kW, 증발온도  $-15^\circ\text{C}$  냉각수 온도  $27^\circ\text{C}$  0.602 kW, 증발온도  $-15^\circ\text{C}$  냉각수 온도  $32^\circ\text{C}$  0.707 kW로 증가하는 것을 확인하였다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 인버터 압축기를 적용한 스크래퍼식 사베트형 해수 제빙 장치의 기초 설계 자료를 제공하기 위하여 다양한 작동 조건(해수의 입구 온도와 유량, 스크래퍼 회전수, 증발온도, 염분 농도)에 따른 실험을 진행하여 사베트형 해수빙의 형태, IPF, 제빙량을 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 생성된 사베트형 해수빙은 흰 색의 유동성을 가진 미세한 얼음입자와 해수의 혼합 형태이며, 얼음 입자의 크기는 직경 0.2 mm ~ 0.3 mm로 측정되었다.
- (2) 해수의 입구 온도와 유량 범위에 따라 안정적으로 제빙이 가능한 영역이 결정된다. 입구 온도가 낮을수록, 유량이 적을수록 IPF가 크게 측정되었으며, 해수 유량 조절을 통해 출구에서의 IPF가 0.3 ~ 14.7%까지 조정 가능함을 확인하였다.
- (3) 스크래퍼 회전수 변화에 따른 IPF의 변화는 유량에 따라 0.5 ~ 2% 사이로 나타났으며, 유량이 적을수록 회전수에 따른 영향이 큰 것을 확인하였다.
- (4) 해수의 염분 농도에 따른 IPF 변화는 미미한 것을 확인하였다. 하지만, 동일한 IPF에도 제빙 전 염분 농도에 따라 제빙 후 해수빙의 온도가 변하므로 어획물에 필요한 빙장 온도에 맞추어 제빙 전의 염분 농도를 조정하는 것은, 신선도 유지에 긍정적인 역할을 할 것으로 판단된다.
- (5) 냉매의 증발온도가 낮고 냉각수의 온도가 높을 때 IPF가 큰 값을 보임을 확인하였다. 하지만, 이로 인해 압축기의 소비 동력이 증가하고, 냉동기의 성능계수가 변화하므로 이에 대한 고려가 필요하다.

## 후 기

이 논문은 2017년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(육해상용 사베트형 해수제빙장치 개발)

## References

[1] I. Bellas and S. A. Tassou, "Present and future applications of ice slurries," *International Journal of Refrigeration*, vol. 28, no. 1, pp. 115-121, 2005.

[2] B. Kılmc, S. Caklı, A. Cadun, T. Dincer, and S. Tolasa, "Comparison of effects of slurry ice and flake ice pretreatments on the quality of aquacultured sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored at 4 °C," *Food Chemistry*, vol. 104, no. 4, pp. 1611-1617, 2007.

[3] M. Kauffeld, M. Kawaji, and P. W. Egolf, *Handbook on Ice slurries - Fundamentals and Engineering*, Paris,

France: International Institute of Refrigeration, 2005.

[4] C. H. Son and M. J. Jeon, "Present status of ice-making equipment for marine transportation and storage of premium catch," *KOSME Webzine*, vol. 39 no. 5, pp. 4-9, 2015 (in Korean). [Online] Available : [http://www.kosme.or.kr/bbs/download.php?&bbs\\_id=se&page=&type=1&doc\\_num=11](http://www.kosme.or.kr/bbs/download.php?&bbs_id=se&page=&type=1&doc_num=11)

[5] W. J. Joo, J. Y. Byun, T. Y. Jeong, and S. K. Jeong, "Performance characteristics of a seawater ice machine according to opening angle variation of electronic expansion valve," *Proceedings of the Korean Society for Power System Engineering 2009 Conference*, pp. 337-342, 2009 (in Korean).

[6] H. Li, W. J. Joo, and S. K. Jeong, "Experimental study for investigating the optimum operating conditions of a seawater ice," *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, vol. 14, no. 5, pp. 76-82, 2010.

[7] C. H. Son, J. I. Yoon, M. J. Jeon, H. K. Lee, and S. K. Heo, "Performance characteristics of two-stage compression seawater ice machine applied drum type evaporator," *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 77-82, 2017.

[8] UNESCO, *Algorithms for computation of fundamental properties of seawater*. UNESCO technical papers in marine science 44, pp. 1-55, 1983. [Online] Available : <http://unesdoc.unesco.org/images/0005/000598/059832eb.pdf>

[9] A. Melinder and E. Granryd, "Using property values of aqueous solutions and ice to estimate ice concentrations and enthalpies of ice slurries," *International Journal of Refrigeration*, vol. 28, no. 2, pp. 13-19, 2005.

[10] J. I. Yoon, H. S. Lee, and J. H. Choi, "Basic planning of ship HVAC," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 32, no. 8, pp. 1110-1115, 2008.

[11] M. J. Kim, J. H. Kim, J. H. Yun, I. H. Park, H. S. Cho, and S. K. An, "A study on the heat transfer characteristics of ice slurry generator with scraper," *Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers Fall Conference*, pp. 1086-1091, 2007 (in Korean).