



이중관 열교환기를 이용한 해수 슬러리 얼음 냉동시스템의 현장 제어 실증 시험

Field Control Test of Seawater Slush Ice Refrigeration System with Double-tube Evaporators

문춘근*†
 Choon-Geun Moon*†

(Received 16 April 2019, Revision received 23 April 2019, Accepted 23 April 2019)

Abstract: In this study, the basic field test of the ice-making machine and the cooling effect of the fish body were analyzed. The main results obtained in this study are summarized as follows. It was confirmed that the operation condition of the seawater slurry ice-maker was stable within the operation range. Evaporation pressure of ice machine was 2.1 kg/cm², inlet water temperature was 16.5°C, inlet water flow was 5 LPM, and seawater slurry ice of outlet IPF 20% was 7,200 kg/day. The ice-maker was able to obtain seawater slurry ice at a desired temperature within six minutes of operation. Seawater slurry ice was able to maintain the temperature of the fish body at the lowest temperature in the fish body cooling. Cooling speed of the fish body at the initial stage of cooling is expected to be effective in maintaining the fish body line by lowering the fish body temperature in the order of seawater slurry ice, freshwater ice, and cold water. The experimental results show that the operation characteristics of the ice-maker can be grasped by the demonstration test of the slurry type seawater ice-maker using the scraper type double-tube evaporator and the cooling effect of the seawater slurry ice can be confirmed.

Key Words : Refrigeration system, Field control test, Slurry ice, Ice Maker, Salinity, COP

— 기 호 설 명 —

IPF : ice packing factor [%]
m : mass [kg]
T : temperature [°C]
S : salinity [%]
P : pressure [desibar]
 \dot{m} : mass flow rate [kg/min]
Q : cooling capacity [kW]

C_p : specific heat [kJ/kg°C]
L : latent heat [kJ/kg]
W : compressor work [kW]

첨 자

ice : ice
sol : solution
i : initial

*† 문춘근(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-3183-6591>)
 : 이사, ㈜대일
 E-mail : drmchg@gmail.com, Tel : 051-730-8500

*† Choon-Geun Moon (ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-3183-6591>) : Director, Daeil Co., Ltd.
 E-mail : drmchg@gmail.com, Tel : 051-730-8500

f : final
free : freezing point
sea : seawater
eva : evaporator

1. 서 론

선박에서 어획물은 어획 이후 신선도가 급격하게 저하되기 때문에 저온 저장이 필수이다. 어획물의 선도 저하는 품질이 나빠질 뿐만 아니라 소비자의 건강에도 영향을 미치며, 어획물의 선도에 따라 상품 가치의 차이가 나타나게 된다.¹⁾ 최근에는 식품이 부패되지 않아야 할 뿐만 아니라 어획물이 살아 있는 상태나 이와 유사한 선도를 요구하고 있다.^{2,3)} 따라서 국민 의식 생활이 윤택해짐에 따라 앞으로 어획물의 유통은 품질을 고급화하여야 할 것이다.

우리나라의 어선은 소형 어선들이 대부분이며 어선 규모에 맞는 냉각 시스템을 선박에 장착하는 것이 힘들다.⁴⁾ 따라서 어선들은 육상에서 파쇄 각형 얼음을 어선에 적재하고 조업을 나간다. 조업시에 어획물은 미리 적재한 얼음과 해수를 함께 섞어서 어창에 보관하는 경우가 많다. 이 경우 파쇄된 담수 각형 얼음을 어획물의 냉각에 사용하기 때문에 보관과 이송시에 파쇄 각빙의 크고 날카로운 형상으로 인해 어획물의 표면이 손상되는 경우가 많이 발생한다. 또한 파쇄 담수 각빙을 해수와 섞어 어창에서 어획물을 냉각 보관할 경우에 해수와 얼음의 밀도차이가 발생하여 얼음이 어창의 상부로 쌓이게 되고 어창 내에서의 상하부의 온도구배가 발생하게 된다. 위와 같은 이유로 파쇄된 담수 각형 얼음 사용하는 냉각 방식은 어획물의 품질을 최상으로 유지하기 어려우며 어획시와 유통과정에 최상의 품질을 유지하기 위한 새로운 냉각 방식의 필요성이 요구되고 있다.

해수 슬러리 얼음은 Fig. 1과 같이 입자 크기가 수 μm 인 얼음 입자가 해수와 함께 섞여 있는 고액 이상 유체이다. 얼음 입자의 크기가 매우 작기 때문에 어획물과 얼음 입자의 접촉면적이 커지게 되어 어획물의 냉각속도가 빠르다. 또한 해수 슬

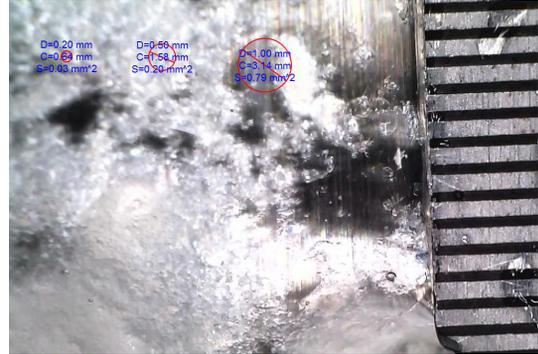


Fig. 1 Photograph of Slurry ice

러리 얼음의 경우는 미세한 입자가 액체와 섞여 있기 때문에 유동성을 가지기 때문에 펌프로 이송이 가능하다. 해수 슬러리 얼음의 온도는 해수의 동결점과 같다. 따라서 해수의 염분 농도를 조절하여 낮은 온도를 만들 수 있으며, 어획물을 냉각 저장할 경우에 어획물을 동결시키지 않는 가장 저온으로 보관할 수 있는 방법을 제공한다.

이와 같은 슬러리 얼음이 가지는 장점으로 인하여 슬러리형 제빙 시스템에 관한 연구가 진행되고 있으며 슬러리형 얼음을 이용한 빙축열 시스템의 열전달 특성이나 슬러리형 얼음의 빙충전율(IPF : Ice packing factor)에 관한 연구가 이루어지고 있다.⁵⁻⁸⁾

Lakhdar 등⁹⁾은 수성자당용액의 동결이 일어나는 표면 스크레이퍼 열교환기를 대상으로 열전달 특성을 실험적으로 연구하여 내부 열전달 계수는 스크레이퍼 내부에 포함된 회전 날개의 회전속도가 가장 큰 영향을 미친다는 것을 발견하였다. Stamatiou 등¹⁰⁾은 슬러리 얼음 제빙기에 대한 리뷰를 통하여 슬러리 얼음 생성의 기본 이론을 제시하고 표면 스크레이퍼 방식(Scraped surface type)과 선회 막대 방식(Orbital rod 타입)의 제빙기에 관한하여 고찰하였다. 표면 스크레이퍼 방식이나 선회 막대 방식에 의한 슬러리 얼음의 제빙에 관한 일반적인 열 및 물질 전달 상관식은 제시되지 않고 있으며, 보다 상세한 열 및 물질전달 메커니즘이 제시되어야 효율적인 슬러리 제빙기가 개발 가능하다고 보고하였다. Qin 등¹¹⁾은 표면 스크레이퍼 열교환기의 실험을 통해서 열전달계수를 계

산하고 제빙과정에 따른 스크레이퍼의 운전 전력량을 측정하였다. 얼음 형성이 초기의 열전달 계수가 얼음이 형성되기 전보다 3~5배 크며, 얼음이 형성되어 성장이 시작되면 스크레이퍼의 구동 계속 증가한다고 보고하였다. Martı́nez 등¹²⁾은 판형의 표면 스크레이퍼 열교환기를 이용하여 제빙중의 열전달 현상에 대하여 연구하였다. 온도차가 증가하면 열전달 계수는 감소하는 결과를 제시하였다. Park 등¹³⁾은 나선형 스크레이퍼를 동관 내부에 삽입하여 얼음을 긁어내는 제빙기에 관한 연구를 수행하였다. 슬러리 얼음을 연속적으로 제빙할 수 있는 조건과 연속 제빙을 위한 임계 열유속 및 임계온도를 제시하였다. Pamitran 등¹⁴⁾은 회전 칼날형 스크레이퍼와 선회 오비탈 로드(Orbital rod) 증발기를 이용하여 해수 슬러리 얼음의 생성 특성을 보고하였다. Jeong 등¹⁵⁾은 해수 제빙장치를 위하여 드럼형 증발기를 제시하였다. 해수 제빙장치의 고효율 운전을 위한 자동화 시스템 개발을 위하여 전자식 팽창밸브를 이용하여 팽창밸브의 개도와 증발기 드럼 회전수에 대한 연구를 수행하였다. 다양한 형태의 제빙기에 대한 기초 연구결과가 보고되었지만^{16,17)}, 해수 슬러리 얼음을 적용한 제빙기 시스템의 실제 운전 특성에 대한 데이터는 매우 부족하다. 본 논문에서는 국내에서 개발된 이중관 스크레이퍼형 해수 슬러리 제빙기를 소개하고 제빙기의 현장 시운전시의 운전 특성과 해수 슬러리아이스의 냉각 성능을 기존 수산물의 냉각 방식과 비교하여 해수 슬러리 아이스를 이용한 수산물의 선도 유지를 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 해수 슬러리 제빙 냉동시스템

슬러리 얼음(Slurry Ice)란 물과 미세한 얼음 입자가 섞여 있는 형태의 유체이다. 얼음 입자로 인하여 냉열량이 많으며 펌프로 직접 이송이 가능하다는 특징이 있다. 액체 중에 포함되는 얼음의 비율은 사용 목적에 따라 조정 가능하며 제조 장치 출구에서 0~30% 정도의 범위에서 조정하여 어창이나 탱크에 축적하여 사용하며, 용도에 따라서

최대 약 40%, 얼음과 해수를 분리하여 최고 80%의 비율로 사용할 수 있다. 이러한 해수 슬러리 얼음을 수산물에 사용할 경우 아래와 같은 장점을 가진다.

- 얼음을 포함한 액체이므로 어획물 온도 상승을 억제 할 수 있다.
- 미세한 얼음 때문에 어획물의 표면을 손상하지 않으면서 어획물을 빠르게 냉각할 수 있어 어획물의 고품질화가 가능하다.
- 해수에서 얼음을 만들기 때문에 얼음 값이 필요 없고, 삼투압에 의한 어획물의 품질 손상이 없다.
- 제빙 냉동기의 냉매의 증발 온도가 높기 때문에 기존 제빙기보다 소비 전력이 적고 효율이 높다.
- 유동성이 있는 얼음이기 때문에 펌프 이송이 가능하고 이송이 편리하며 저비용, 노동력 절약, 에너지지가 절약된다.

본 연구에서는 이러한 목적으로 국내에서 개발된 이중관 스크레이퍼식 해수 슬러리 제빙기를 사용하였다.

2.1 해수 슬러리 얼음의 빙층전율(IPF)

빙층전율(IPF)은 수용액에 얼음이 포함된 경우, 수용액 질량과 얼음 질량의 비율로 식 (1)과 같이 표현 된다.

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

슬러리 얼음은 물과 얼음의 입자가 혼합되어 있는 것이기 때문에 얼음의 비율에 따라 슬러리 얼음의 특성이 달라지기 때문에 해수 슬러리 얼음은 IPF가 매우 중요한 요소이다.

2.2 이중관 스크레이퍼식 증발기의 구조

본 연구에서 증발기는 이중관 열교환기 내관 내부에 스크류형 스크레이퍼가 삽입된 이중관 스크레이퍼식 증발기를 사용하였다. 이중관 스크레이퍼식

증발기는 크게 이중관 열교환기, 스크레이퍼, 스크레이퍼회전을 위한 모터와 감속기로 구성된다. 먼저 이중관 열교환기 단관의 구조는 Fig. 2와 같다. 해수가 흐르는 내관은 티타늄 재질을 사용하여 해수에 대한 부식성이 없도록 하였으며, 외관은 동관으로 제작하였으며 내관과 외관 사이로 냉매가 흐른다. 알루미늄 전열 핀을 외관과 내관 사이 삽입하여 외관을 지지하면서 전열 면적을 확대할 수 있도록 하였다. 티타늄관의 직경은 31.75 mm이며, 동관은 47.8 mm이고 이중관 열교환기의 총 길이는 1,000 mm이다. 티타늄관 내부에 삽입되는 스크류형 스크레이퍼는 엔지니어링 플라스틱(POM)을 사용하였다. 스크류는 외경은 29 mm, 길이는 1,200 mm로 0.5 mm 정도의 간격이 있다.

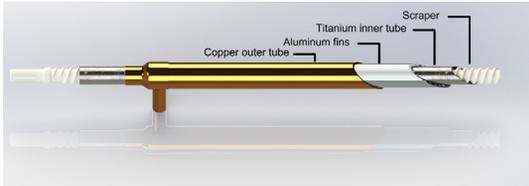


Fig. 2 Schematic diagram of the double tube evaporator

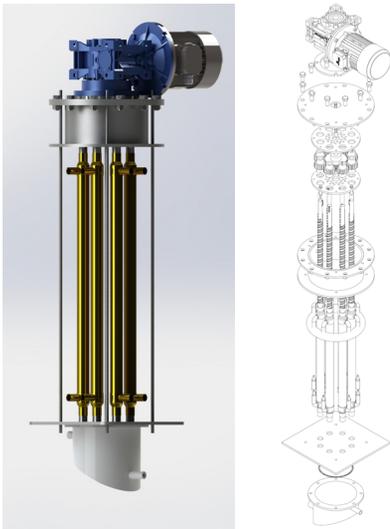


Fig. 3 Assembly drawing of the double tube evaporator using screw scraper



Fig. 4 Photographic of sea water slurry ice maker

이러한 구조의 이중관 열교환기 단관을 8개 조합하여 해수 슬러리 제빙기의 증발기 관군을 Fig. 3과 같이 형성하였다. 증발기 상부에는 개개의 이중관 증발기 내부의 스크류를 회전시키기 위해 기어박스가 장착되어 있고 기어박스는 상부에 장착된 감속기를 통하여 회전속도를 제어한다. Fig. 4는 이중관 열교환기를 이용한 제빙기 시스템의 제품으로 선박에 탑재하거나 육상에서 쉽게 이동 설치할 수 있도록 외형을 콤팩트하게 구성하였다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Fig. 5는 본 논문의 해수 슬러리 제빙기에 대한 성능 실험 장치도이며, Fig. 6은 실제 제작 완료된 실험 장치를 나타낸다. Fig. 5에서와 같이 시스템은 크게 냉매 라인과 해수 라인으로 나누어진다. 냉매측은 압축기, 응축기, 수액기, 팽창밸브, 이중관 스크레이퍼 증발기, 팽창밸브, 기액분리기 등으로 구성되어 있다.

냉매는 압축기에서 압축되어 고온 고압의 가스로 되고 유분리기에서 냉매와 냉동유가 분리된다. 응축기에서 외부의 공기와 열교환하여 응축된 후 액상으로 수액기로 흐르게 된다. 액냉매는 팽창밸브를 통과하고 저온 저압으로 교축되어 이중관 스크레이퍼 증발기의 하부로 유입되어 내관에 흐

이중관 열교환기를 이용한 해수 슬러리 얼음 냉동시스템의 현장 제어 실증 시험

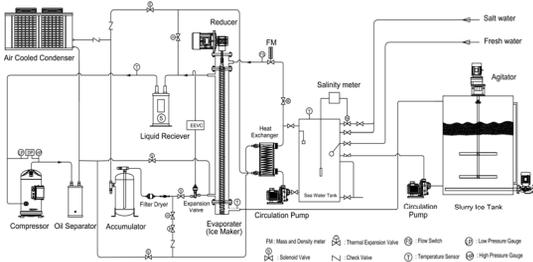


Fig. 5 Schematic diagram of an experimental apparatus.



Fig. 6 Photograph of an experimental apparatus.

르는 해수를 냉각시킨 후 증발하여 가스가 되어 증발기 상부로 나와 압축기로 들어가 재순환하게 된다. 압축기 전단에 기액분리기를 설치하여 압축기가 액압축을 방지하도록 하였다.

제빙기로 유입되는 해수 원수는 출구의 해수 슬러리 얼음의 빙층전율과 온도로 만들기 위해서 적절한 온도와 농도 해수 원수 탱크에서 만들어 이송펌프로 공급된다. 해수의 온도는 해수 원수 탱크에 설치된 열교환기에 냉매의 핫가스와 냉매액을 이용하여 설정 온도로 유지되도록 전자변으로 제어하였으며, 염분의 농도는 해수와 담수의 양을 제어하여 원하는 염분농도를 만든다. 증발기 입구에 질량 유량계와 밀도계(Oval / CA015)를 설치하여 입구의 온도와 밀도로 증발기에 공급되는 염분 농도를 계산하였다.

이중관 증발기 내부의 스크류 스크레이퍼는 슬러리 얼음의 생성시에 고착이 되는 것이 가장

큰 문제점으로 이 경우가 많으며, 이 경우 감속기 모터가 과부하가 발생하여 과전류가 흐르게 된다. 본 장치에서는 감속기 모터의 전류 값을 측정하여 정격 부하 이상으로 모터의 전류 값이 상승하게 되면 스크류가 고착된 것으로 판단하여 스크류의 고착을 해소하기 위해서 팽창밸브의 후단에 전자변을 통하여 핫가스를 공급한다. 핫가스가 팽창밸브 후단에 공급되면 압축기의 용량을 제어하여 증발압력과 온도를 상승시켜 이중관 증발기 내의 스크류의 고착을 해소시켜 제빙기 시스템이 연속적으로 안정적으로 운전이 가능하도록 하였다.

Fig. 5에 표시한 것과 같이 냉동기의 열교환기 입출구에 압력 센서와 열전대를 부착하여 온도와 압력을 측정하였다. 특히 슬러리 얼음의 출구 온도는 고정밀도 온도센서(Omega / P-M-1/10)를 배관 내에 삽입하여 온도를 소수점 두 자리까지 정밀하게 측정하였다. 압축기에서 소비되는 전력은 파워메타(YOKOGAWA / CW500)를 이용하였으며, 데이터는 데이터로거(YOKOGAWA / GP10)를 이용하여 기록하였다.

3.2 실험 조건

스크레이퍼식 슬러리 해수 제빙장치의 성능 특성 실험은 Table 1과 같이 기준조건을 설정하였다.

냉매는 R22를 사용하였으며, 압축기에서의 액압축을 방지하기 위하여 설정 과열도는 6℃를 유지 하였다. 증발기로 유입되는 해수는 해수 원수 수조에서 약 16.0℃ 정도로 유지되도록 하여 증발기로 공급하였다.

Table 1 Experimental conditions

Parameters	Value	Unit
Refrigerant	R22	-
Super heating degree	6.0	℃
Salinity of seawater	3.0	%
Scraper rotation speed	350	rpm
Inlet temperature of seawater	16.0	℃

3.3 데이터 처리

본 연구에서 사용한 해수의 열물성값 계산은 K. G. Nayar 등¹⁸⁾의 자료를 사용하였다. IPF 산출 방식은 해수 슬러리 얼음의 온도를 측정하여 IPF를 산출하였다.

$$IPF = \frac{S_f - S_i}{S_f} \times 100[\%] \quad (2)$$

S_f 는 제빙 후 해수의 염분 농도, S_i 는 제빙 전 해수의 염분 농도이다.

식 (2)는 M'elinder등¹⁹⁾이 제시한 제빙 염분 농도를 이용한 IPF 관계식이다. 해수 슬러리 얼음의 온도는 해수 염분 농도에 해당하는 동결점과 동일하다고 가정할 수 있으므로 식 (3)과 같은 염분 농도에 따른 동결점 관계식²⁰⁾을 이용하여 측정된 온도를 이용하여 제빙 후의 해수 슬러리 얼음의 염분 농도를 구하면 IPF를 산출할 수 있다.

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

해수 슬러리 얼음은 냉각된 해수와 얼음이 섞여있기 때문에 순수 얼음의 양 만으로는 해수 슬러리 얼음의 제빙량을 평가할 수 없다. 통상적으로 슬러리 얼음의 유동성이 없어지는 IPF 30%를 기준으로 하여 식 (4)와 같이 IPF 30% 기준으로 하여 제빙기의 1일 제빙량(Ton/day)을 환산하였다.

$$ICE = \dot{m}_{sea} \times \frac{IPF}{0.3} \quad (4)$$

여기서, \dot{m}_{sea} 는 해수의 유량, ICE는 IPF 30%기준에서의 슬러리 얼음 제빙량, T_{free} 는 해수의 동결점(°C), S 는 해수의 염분 농도(%), P 는 압력(desibar)이다.

증발기에서의 냉각 열량은 식 (5)와 같이 IPF를 이용하여 잠열부하와 현열부하의 합으로 계산 가능하다.

$$Q_{eva} = \dot{m}_{sea} (C_{p,sea} (T_i - T_{free}) + IPF \times L + C_{p,ice} \times (T_{free} - T_f)) \quad (5)$$

여기서, Q_{eva} 는 증발기로부터의 냉각 열량, T_i , T_f , T_{free} 는 각각 해수의 입구온도, 출구온도, 동결점, $C_{p,sea}$ 와 $C_{p,ice}$ 는 해수와 얼음의 비열, L 은 얼음의 잠열이다.

위에서 구한 증발기에서의 냉각부하와 압축기의 소비전력(kW)을 이용하여 식 (6)과 같이 제빙기의 성능계수를 계산하였다.

$$COP = \frac{Q_{eva}}{W} \quad (6)$$

4. 결과 및 고찰

본 논문은 연근해 어선용 및 수산물의 선도 유지를 위해 개발한 이중관형 해수 슬러리 제빙 시스템의 현장 운전 자료를 제공하고 해수 슬러리 얼음의 수산물의 냉각 효율을 검증하고자 한다.

4.1 해수 슬러리 제빙기의 운전 제어 특징

시운전 중에 제빙기에 공급하는 해수의 유량은 5LPM로 유지하였으며, Fig. 7과 같이 제빙기 입구의 염분 농도는 3%를 유지하였으며, 출구의 염분 농도는 제빙 상태에서 따라 변화지만 약 3.75% 부근이었다. 해수 원수의 온도는 16.5°C로 제빙기에 공급되고 제빙기 운전 후 약 6분 후에 제빙기 출구의 온도가 -2.0°C에 도달하여 슬러리 얼음의 상태로 공급되는 것을 Fig. 8에서 확인 할 수 있다. Fig. 9에서와 같이 제빙기 출구의 IPF는 약 20% 내외로 유지 되었다. 실제 현장에서는 순환 펌프에 의해 해수 슬러리 얼음을 쉽게 공급하고 있고 적정 온도 유지를 위해서 슬러리 얼음 농도를 15~20%에서 주로 사용한다. IPF 20%의 해수 슬러리 얼음은 1일 약 7,000 kg/day 생산되지만, Fig. 10과 같이 IPF 30%로 환산할 경우 1일 제빙량은 평균 5,170 kg/day 생산되는 것을 확인할 수 있으며, 운전 조건과 환경에 따라서 변동이 있을

것이다. Fig. 11에서와 같이 압축기 소비 전력은 평균 5.3 kW를 기록하였으며, 냉각 능력은 평균 10.3 kW이었으며, 제빙기의 냉동시스템 COP는 평균 2.0 이상인 것을 Fig. 12에서 확인할 수 있다.

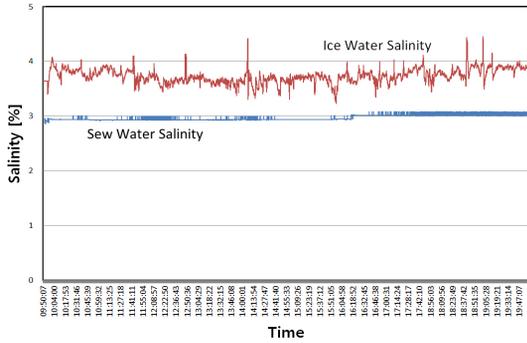


Fig. 7 Evaporator inlet and outlet water salinity of the ice maker system

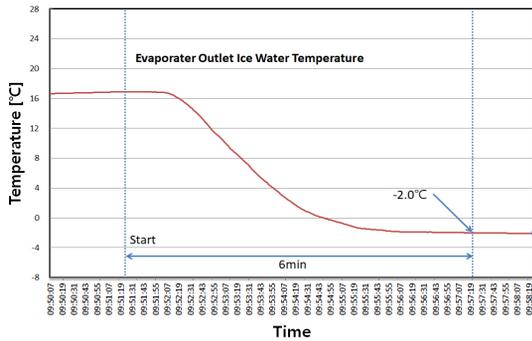


Fig. 8 Evaporator outlet ice temperature of the ice maker system

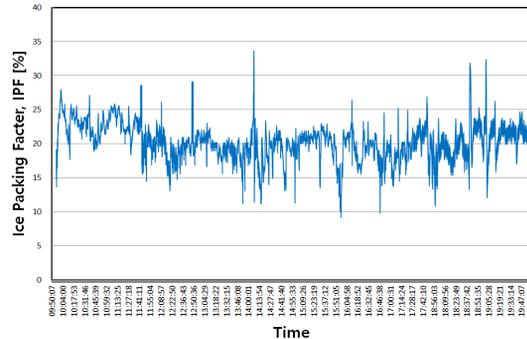


Fig. 9 IPF of the ice maker system

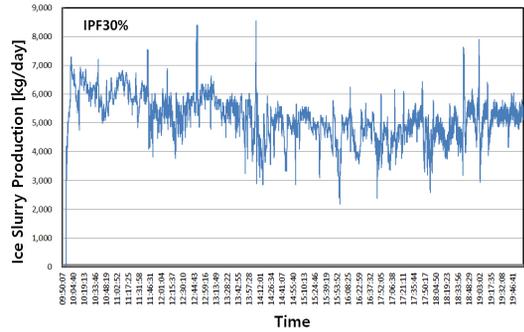


Fig. 10 Ice slurry production amount of the ice maker system

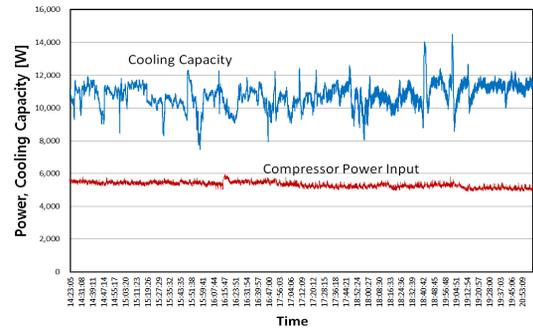


Fig. 11 Compressor power input and evaporating capacity of the ice maker system

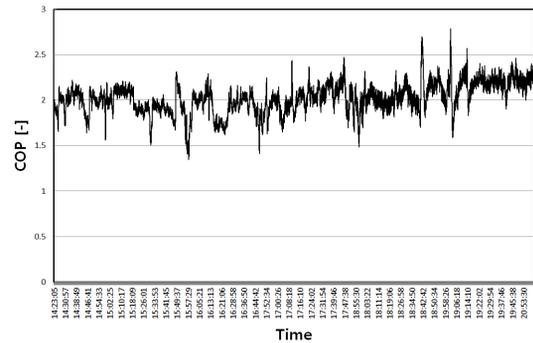


Fig. 12 COP of the ice maker system

4.2 해수 슬러리 얼음의 냉각성능

어획물의 냉각 효과를 분석하기 위해서 광어 선어를 스티로폼 내의 해수 슬러리 얼음, 담수 파쇄 얼음 및 냉해수에 보관 하여 광어의 중심부의 온도 변화를 측정하였다.

Fig. 13과 같이 해수 슬러리 얼음은 -2°C 의 해수 슬러리 얼음을 물기를 제거하고 스티로폼 박스에 광어와 함께 보관하였으며, 담수 파쇄 얼음은 건조한 얼음만을 광어와 함께 스티로폼 박스에 보관하였다. 냉해수는 4°C 의 해수를 스티로폼 박스에 광어와 함께 넣었다. 각각의 스티로폼 박스는 포장 후에 야외 노지에 방치하여 햇빛에 노출 되도록 하였다.



(a) Slurry ice (b) Crushed ice (c) Chilled water
Fig. 13 Cooling down test of fish

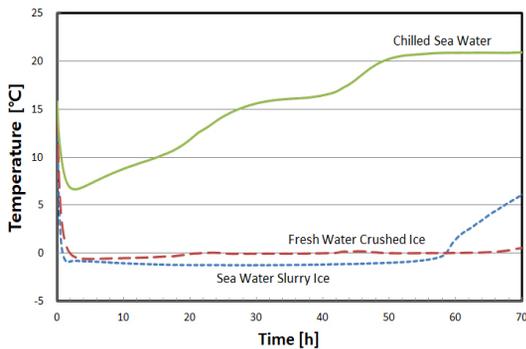


Fig. 14 Temperature change of the fish body by cooling method

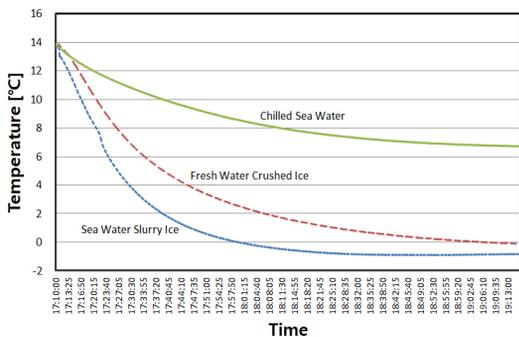


Fig. 15 Temperature change of the fish body by cooling method at the beginning

각 냉각 방식별 어체 중심부 온도 변화를 Fig. 14에 나타내었다. 해수 슬러리 얼음에 의한 어체의 냉각이 어체의 중심 온도를 가장 빨리 떨어트렸으며, 어체 중심 온도가 -1.2°C 로 58시간 유지되었고, 후에 어체 중심 온도가 상승하는 것을 보여 주었다. 담수 파쇄 얼음은 어체 온도를 초기에 -0.4°C 까지 냉각시켰으며, 일정 시간 이후에 0°C 로 유지되었고, 약 66시간 어체 온도를 유지시키는 것으로 관측되었다. 냉수를 이용한 냉각보관은 일부의 수산물에 이용되고 있는 방법으로 어체의 온도를 천천히 냉각시키며 일정시간 냉각 효과를 유지

면이 파쇄 얼음에 비해 많기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서는 수산물의 선도 유지를 위한 슬러리 해수 제빙 장치의 실용화를 위하여 제빙기의 현장 필드 테스트를 통한 제빙기의 기초운전 특성을 분석하고 및 어체의 냉각 효과를 분석하였다.

본 연구에서 얻은 주요 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 해수 슬러리 제빙기는 운전 상태들이 운전범위 내에서 안정적으로 운전되는 것이 확인되었다.
- 2) 제빙기의 증발 압력은 2.1 kg/cm²에서 입구 수온 16.5℃, 입구 유량 5 LPM에서 출구 IPF 20%의 해수 슬러리 얼음을 7,200 kg/day 생산하였다.
- 3) 제빙기는 운전 6분만에 원하는 온도의 해수 슬러리 얼음을 얻을 수 있었다.
- 4) 어체 냉각에 있어서 해수 슬러리 얼음이 가장 낮은 온도로 어체 중심부의 온도를 유지할 수 있었다.
- 5) 냉각 초기 어체의 냉각 속도 해수 슬러리 얼음, 담수 각얼음, 냉수의 순으로 어체의 온도를 떨어트려 어체의 선도 유지에 효과가 큰 것으로 기대된다.

이상의 실험 결과를 통하여 스크레이퍼형 이중관식 증발기를 적용한 슬러리형 해수 제빙 장치의 실증 시험으로 제빙기의 운전 특성을 파악할 수 있었으며, 해수 슬러리 얼음의 어체 냉각 효과를 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2017년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(육해상용 샤페트형 해수 제빙장치 개발).

References

1. J. H. Kang and H. S. Jang, 2010, "A Study on the Current Status and Improvement of

Post-harvest Management in Fisheries", Research Report, Korean Maritime Institute.

2. S. K. Choi, J. H. Peck, H. K. Hong and C. D. Kang, 2004, "Ice Slurry Formation Using a Sea Water with Additives", Proceedings of the Society of Air-conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, Vol. 6, pp. 60-65.

3. M. B. Joo and H. D. Lee, 2008, "Problems with the current cold chain system and measures for improvement", Research Report, Korean Maritime Institute.

4. S. K. Kim et al., 2006, "Development of the Sea Water Freezer for Fishing Boat", Research Report, Ministry of Oceans and Fisheries of Korea.

5. M. Kauffeld, M. Kawaji and P. W. Egolf, 2005, Handbook on Ice slurries - Fundamentals and Engineering, Paris, France: International Institute of Refrigeration.

6. I. Bellas and S. A. Tassou, 2005, "Present and future applications of ice slurries", International Journal of Refrigeration, Vol. 28, No. 1, pp. 115-121.

7. S. Fukusako, Y. Kozawa and M. Yamada, 1999, "Research and development activities on ice slurries in japan", Second IIR Workshop on Ice Slurries, Switzerland, pp. 83-105.

8. A. B. Russell, P. E. Cheney and S. D. Wantling, 1999, "Influence of freezing conditions on ice crystallisation in ice cream", Journal of Food Engineering, Vol. 39, No. 2, pp. 179-191.

9. M. B. Lakhdar, R. Cerecero, G. Alvarez, J. Guilpart, D. Flick and A. Lallemand, 2005, "Heat transfer with freezing in a scraped surface heat exchanger", Applied Thermal Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 45-60.

10. E. Stamatiou, J. W. Meewisse and M. Kawaji, 2005, "Ice slurry generation involving moving parts, International Journal of Refrigeration",

- Vol. 28, No. 1, pp. 60-72.
11. F. Qin, X. D. Chen, S. Ramachandra and K. Free Christian, 2006, "Heat transfer and power consumption in a scraped-surface heat exchanger while freezing aqueous solutions", Separation and Purification Technology, Vol. 48, No. 7, pp. 150-158.
 12. D. S. Martínez, J. P. Solano, F. Illán and A. Viedma, 2014, "Analysis of heat transfer phenomena during ice slurry production in scraped surface plate heat exchangers", International Journal of Refrigeration, Vol. 48, pp. 221-231.
 13. G. W. Park, I. H. Moon, S. J. Cho and M. K. Min, 2000, "Study on the Ice Making Characteristics of Ice slurry maker using scraper", Proceedings of The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, pp. 1109-1114.
 14. A. S. Pamitran, H. D. Ardiansyah and M. Novvili, 2013, "Characteristics of sea-water ice slurry for cooling of fish", Applied Mechanics and Materials, Vol. 388, pp. 123-127.
 15. W. J. Joo, J. Y. Byun, T. Y. Jeong and S. K. Jeong, 2009, "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, pp. 337-342.
 16. C. H. Son, J. I. Yoon, M. J. Jeon, H. K. Lee and S. K. Heo, 2017, "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. (DOI:10.9726/kspse.2017.21.2.077)
 17. J. I. Yoon, C. H. Son, S. K. Heo, M. J. Jeon and T. Y. Jeon, 2016, "Performance Analysis of a Seawater Ice Machine Applied Two-stage vapor compression refrigeration system for Various Refrigerants", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 20, No. 2, pp. 85-90. (DOI:10.9726/kspse.2016.20.2.085)
 18. K. G. Nayar, M. H. Sharqawy, L. D. Banchik and J. H. Lienhard, 2016, "Thermophysical properties of seawater: A review and new correlations that include pressure dependence", Desalination, Vol. 390, pp. 1-24.
 19. A. Melinder and E. Granryd, 2005, "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.
 20. UNESCO, 1983, "Algorithms for computation of fundamental properties of seawater", UNESCO technical papers in marine science 44, pp. 1-55.