

제빙환경 변화에 따른 아이스 온 코일의 제빙특성

정 은 호, 박 기 원*†

전남대학교 대학원, * 전남대학교 냉동공조공학과

Ice Making Characteristics at Ice-on-coil Type Following Change of Ice Making Environment

Eun-Ho Jung, Ki-Won Park*†

Graduate School, Chonnam University, Yeosu 550-749, Korea

*Dep. of Refrigeration & Air-conditioning Engineering, Chonnam Nat'l University, Yeosu, 550-749, Korea

ABSTRACT: The study experimented to understand the ice making characteristics on to kinds of round tube type and oval tube type using ice maker. The experiment were carried out under various conditions, that used brine temperature $-10\sim-6^{\circ}\text{C}$, brine flow rate $1.0\sim1.8$ m/s and inlet water temperature $6\sim12^{\circ}\text{C}$ etc. Mass of ice per making area increased according to the decrease of the brine temperature and inlet water temperature, but that was increased according to the increase of the brine flow rate.

Key words: Coil type ice maker(관형 제빙기), Oval tube(타원관), Mass of ice(제빙량)

기 호 설 명

- M_{ice} : 제빙표면적당 제빙량 [kg/m^2]
- t : 온도 [$^{\circ}\text{C}$]
- v : 유속 [m/s]

하첨자

- b : 브라인
- w : 물

1. 서 론

최근 산업의 발달과 소득증대에 따른 쾌적성 추구로 급격한 전력수요 증가를 초래하고 있으며, 특히 국민 생활의 향상에 따른 여름철 냉방 수요가 급증하고 있기 때문에, 거의 해마다 전력 예비율이 급격히 떨어지는 등 전력 수급 안정화 및 전력 피크 부하의 평준화를 위한 축냉 시스템의 도입 필요성이 크게 증대되고 있는 실정이다.

이와 같은 하절기 냉방에 따른 최대 전력부하 상태를 방지하기 위한 것으로서 빙축열 시스템이 개발되어 사용되고 있는데, 현재 가동 중이거나 계획중인 빙축열시스템을 제빙방법을 중심으로 나누면 열교환기 전열면에 얼음을 고착시켜 얼음을 고착시켜 얼음을 저장하는 정적(static)방식이 대부분을 차지하고 있다¹⁾.

이러한 정적방식의 최대 결점은 전열면에 형성된 얼음층의 두께가 증대하여, 냉동기의 성적계

† Corresponding author
Tel.: +82-61-659-3274; Fax: +82-61-659-3274
E-mail address: pkw@chonnam.ac.kr

수가 시간이 경과하면서 감소하는 것이었다.

이에 관한 기초연구로서 Min 등²⁾의 축냉코일의 배열에 따른 축냉모델에 관한 연구, Jang 등³⁾의 축냉운전시 냉매코일 주위의 제빙현상에 대한 연구가 있다. 또 관외착빙형 시스템에서의 운전 특성에 관한 연구⁴⁾도 있으며, 제빙물질에 관해 수용액에 계면활성제를 첨가한 제빙특성에 관한 연구⁵⁾나 기능성 물질의 첨가에 의한 제빙현상에 관한 연구⁶⁾ 등도 있고, 내부 과냉각액적으로부터의 빙-수 액막 성장에 대해 살펴본 연구⁷⁾도 있다.

본 연구에서는 관외착빙형에서 사용되는 제빙관의 능력을 향상시킬 수 있는 방안을 찾기 위한 방법의 일환으로 수행하였다. 즉, 제빙관의 제빙 능력에 영향을 미치는 것으로 파악되는 주요 파라미터인 냉각매체의 온도와 유량, 제빙대상인 축열조내 물의 온도 등에 따른 제빙능력을 파악하고자 한다. 그리고 동일한 관경 또는 전열면적을 가지면서 제빙관의 형태를 원형으로 한 경우와 타원형으로 한 경우의 제빙능력을 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용할 관외착빙형 제빙기 실험장치는 Fig. 1과 같으며, 장치는 크게 브라인(에틸렌글리콜 30% 수용액)의 온도를 조절하는 항온조와 브라인 순환계, 그리고 시험구간으로 동관

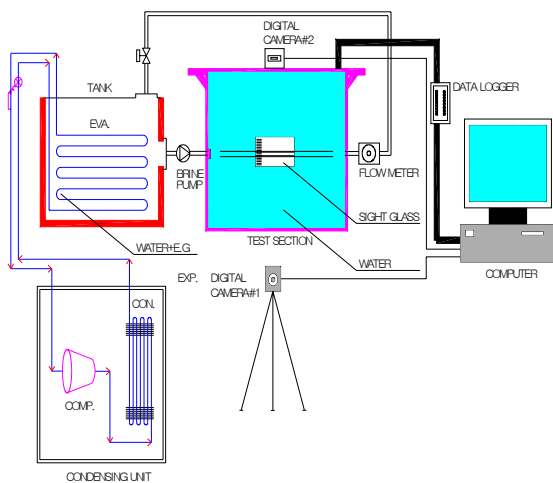


Fig. 1 Schematic diagram of ice making experimental apparatus.

이 삽입된 아크릴 수조로 구성되어 있다.

아크릴 수조 내로는 일정한 온도의 물이 공급된다. 실험에 사용할 제빙관이 삽입되는 탱크(축열조)의 한 면은 투명 아크릴판으로 마감하여 제빙기에서의 얼음형성과정을 확인할 수 있도록 하며, 생성되는 얼음의 두께를 알 수 있도록 아크릴판 외면 전면과, 탱크 상부에서 비디오 카메라를 설치하여 일정한 시간간격을 두고 얼음의 제빙량을 상부와 전면에서 스틸화면을 촬영하였다. 또 제빙관 출구측에 유량계를 설치하여 순환되는 냉각브라인의 유량을 측정하고, 제빙관 입구와 출구, 탱크 입구와 출구, 동관외표면의 원주방향으로 상,중,하 3개씩 길이방향 3곳에 T형 열전대를 설치하여 온도를 측정하며, 브라인의 유량은 밸브를 이용해 조절하였다. 브라인 냉각탱크에서는 일정한 온도로 유지되는 브라인을 생성시켜 제빙관 내로 유동시켜 제빙관 표면의 온도를 거의 일정하게 유지함으로써 제빙관 표면에서의 얼음생성특성을 파악할 수 있도록 하였다.

시험부는 유효열교환 길이가 0.4m인 구리관으로, 9 mm 원형관 및 9 mm 원형관과 동일한 원주길이를 갖는 타원관의 순서로 실험을 진행하였다. 타원관은 미세관을 이용하여 축비가 1.5(장축 10.5 mm, 단축 7 mm)가 되도록 제작하였고, 장축이 중력방향과 수직이 되도록 설치하였다.

관외착빙형 제빙 실험장치는 먼저 항온조를 이용해 브라인을 일정한 온도로 냉각시킨 뒤 수조 내에 소정의 온도로 유지되는 물을 넣은 후 브라인을 펌프 및 밸브를 이용해 유량을 조절하면서 수조 내의 물을 냉각시켜 얼음을 동관 외표면에서 생성시킨다.

이 때 시간에 따른 제빙량을 측정하였는데, 얼음의 성장이 상부와 하부가 다르기 때문에 접사촬영기를 시험부 전면과 상부에 설치하여 얼음의 두께를 촬영하여 타원형의 면적을 구하는 식으로 얼음량을 계산하였다. 주요 파라미터인 브라인의 온도와 유량, 축열조내 물의 온도변화 등을 측정하였다. 본 연구에서 사용된 실험인자 및 범위를 Table 1에 정리하였다.

주된 파라미터는 브라인의 온도, 브라인의 유속, 수조 내 물의 초기온도, 제빙관의 형태로 구성되어 있다. 모든 측정은 냉매의 온도, 압력 및 유량 등이 일정하게 유지되는 정상 상태 하에서 측정하였으며, 실험 과정 및 결과에 대한 정보를

Table 1 Experimental range.

brine temperature. [°C]	-10, -6
brine flow velocity [m/s]	1.0, 1.8
tube diameter [mm]	9 (Round tube)
	8.3 (Oval tube)
initial water temperature [°C]	6, 12

실시간 확인하면서 실험을 진행할 수 있도록 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 브라인 온도의 영향

Fig. 2는 제빙매체인 물의 초기온도가 6°C, 브라인유속 1.0 m/s의 조건에서 브라인의 온도가 -6°C와 -10°C에서의 단위표면적당 제빙량을 원관과 타원관을 비교하여 나타낸 것이다. 원관과 타원관을 비교해 보면 9 mm 원관의 단면적은 63.61 mm²이고 타원관의 단면적은 57.72 mm²으로 원관대비 타원관의 단면적은 약 9%가 작지만 동일 유속에서 단위 표면적당 제빙량은 타원관이 많이 생성됐다. 타원관이 단면적이 작기 때문에 브라인 유량이 원관에 비해 작음에도 불구하고 열전달계수가 증가하여 제빙량은 원관에 비하여 증가하였다. 타원관에서 운전시작 100분 후에는 브라인온도 -6°C에 비해 -10°C에서 열유속이 증가하여 단위표면적당 제빙량이 약 2.76배 많이

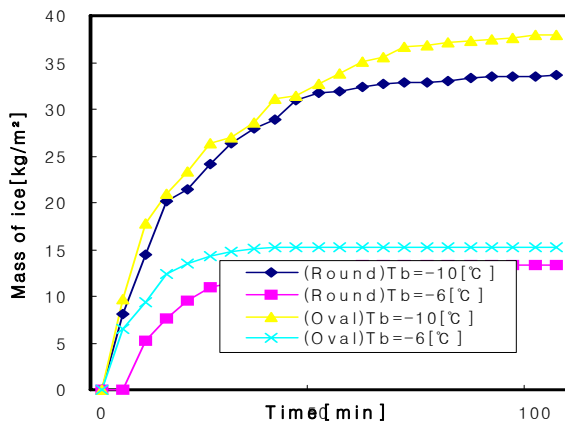


Fig. 2 Mass of ice following brine temperature. ($t_w=6^\circ\text{C}$, $v_b=1.0\text{m/s}$)

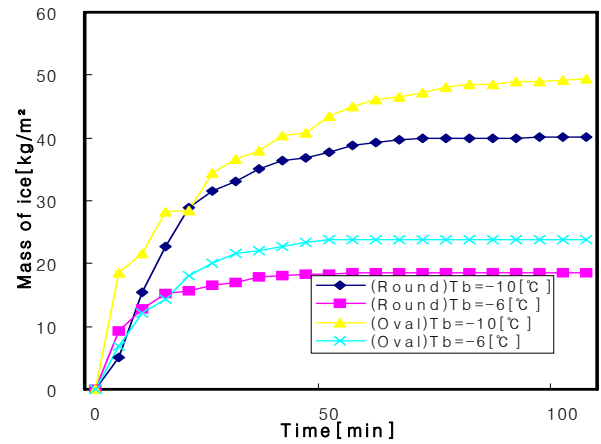


Fig. 3 Mass of ice following brine temperature. ($t_w=6^\circ\text{C}$, $v_b=1.8\text{m/s}$)

생성됐다. 운전시작 100분 후 브라인 온도가 -10°C일 때 타원관은 원관에 비해 약 1.11배 많은 단위표면적당 제빙량을 나타냈다.

Fig. 3은 제빙매체인 물의 초기온도가 6°C, 브라인의 유속 1.8m/s에서의 단위표면적당 제빙량을 원관과 타원관을 비교하여 나타낸 것이다.

운전시작후 100분에 브라인 온도 -6°C에 비해 -10°C에서 원관과 타원관에서 각각 2.22배 및 2.10배 많은 단위표면적당 제빙량을 나타냈다.

브라인 온도 -10°C의 경우 타원관이 원관에 비해 1.21배 많은 단위표면적당 제빙량을 나타냈다.

3.2 브라인 유속의 영향

Fig. 4는 제빙매체인 물의 초기온도가 6°C, 브라인온도가 -10°C일 때 브라인의 유속이 1.0 m/s일 때와 1.8 m/s일 때를 비교하여 나타낸 것이다.

전체적으로 큰 차이는 아니지만 관내를 유동하는 브라인의 유속이 빠를수록 열유속이 증가하여 제빙량이 증가하고 있음을 알 수 있다.

원형관의 경우 브라인 유속 1.8 m/s의 경우 1.0 m/s에 비해 1.18배 많은 단위표면적당 제빙량을 나타냈으며, 브라인유속 1.0 m/s일 때 타원관은 원관에 비해 1.2배 많은 단위표면적당 제빙량은 나타냈다. 브라인 온도변화에 따른 제빙량의 차이보다 원관과 타원관의 제빙량의 차이가 더 큼을 알 수 있다.

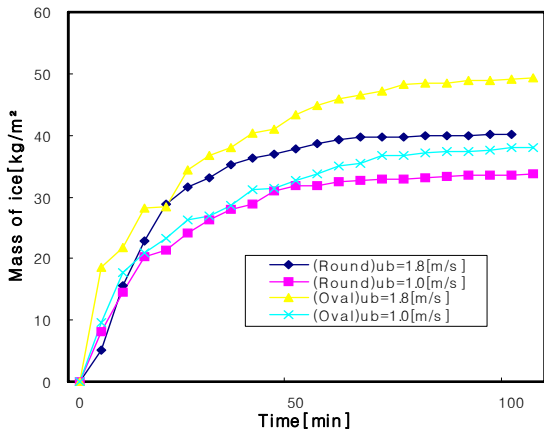


Fig. 4 Mass of ice following brine flow rate. ($t_w=6^{\circ}\text{C}$, $t_b=-10^{\circ}\text{C}$)

3.3 제빙매체 온도의 영향

Fig. 5는 브라인의 온도를 -10°C , 브라인 유속을 1.0 m/s 로 하였을 때 제빙매체인 물의 초기온도를 6°C 와 12°C 로 구분하여 원형관과 타원관을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 제빙매체 온도의 대한 영향은 브라인 온도에 의한 영향이나 유속에 의한 영향보다 더 큰 차이를 나타낸다. 동관과 수조사이에 존재하는 온도경계층은 수조 안의 온도가 낮을수록 얇아지기 때문에 물의 초기온도가 낮을수록 열전달이 향상되는데, 동관내 브라인의 온도변화나 유량증가에 의한 열유속 증가에 의한 영향보다 더 큰 영향을

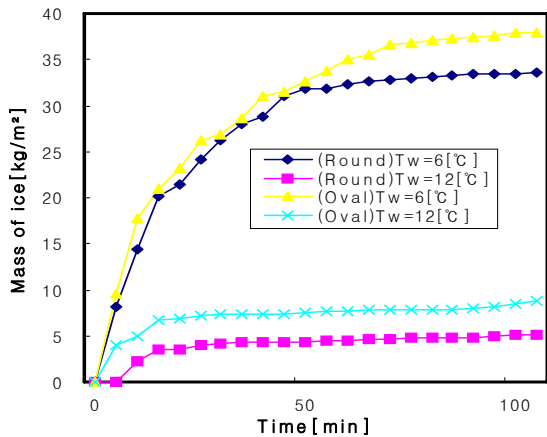


Fig. 5 Mass of ice following initial water temperature. ($t_b=-10^{\circ}\text{C}$ $v_b=1.0\text{m/s}$)

받음을 알 수 있다

타원관의 경우 축열매체인 물의 초기온도가 6°C 의 경우 12°C 에 비해 약 4.75배 이상 높은 단위면적당 제빙량을 나타내고 있다.

3.4 원관형과 타원관형 제빙기의 제빙량 비교

Fig. 6은 브라인 온도 -10°C , 브라인 유속 1.8 m/s 로 하였을 때 제빙매체인 물의 초기온도를 6°C 와 12°C 로 구분하여 원형관과 타원관을 비교하여 나타낸 것이다. 물이 온도가 6°C 인 경우는 12°C 에 비하여 온도경계층이 얇기 때문에 제빙이 빨리 진행되고 열전달이 커서 많은 제빙차이를 나타내고 있다.

제빙매체인 물의 초기온도가 6°C 인 경우는 약 15분까지 제빙이 진행되다가 이 후부터 얼음생성이 늦고, 얼음의 열저항으로 인해 표면 경막상의 열전달이 상호 균형을 이뤄 해빙량과 제빙량이 거의 같아져 제빙량이 일정하게 유지되는 것으로 생각된다.

원형관의 경우 운전시작 후 100분 뒤에는 물의 초기온도가 12°C 에 비해 6°C 에서 약 4.44배 많은 단위 표면적당 제빙량을 나타냈다.

타원관의 경우 운전시작 후 100분 뒤에는 물의 초기온도가 12°C 에 비해 6°C 에서 약 4.8배 많은 단위 표면적당 제빙량을 나타냈다.

물의 초기온도가 6°C 일때 타원관은 원관에 비해 1.22배 많은 단위표면적당 제빙량을 나타냈다.

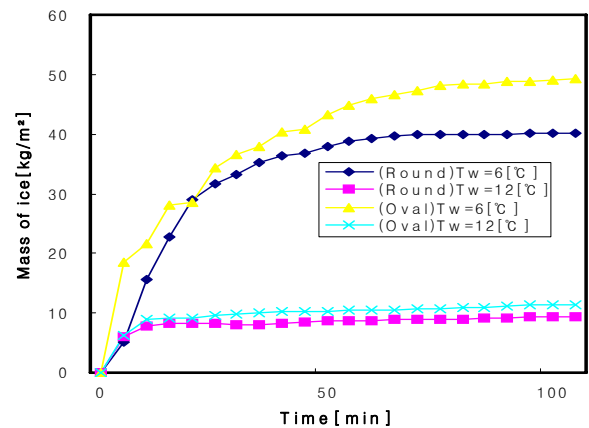


Fig. 6 Mass of ice following initial water temperature. ($t_b=-10^{\circ}\text{C}$ $v_b=1.8\text{m/s}$)

4. 결론

본 연구에서는 관형 제빙기와 타원형 제빙기를 사용하여 각종 인자들이 제빙량에 어떤 영향을 미치는지 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 관내를 유동하는 브라인의 온도가 낮을수록 열유속이 증가하여 제빙량도 증가하는데, 운전시작 후 약 40분부터는 얼음의 열저항으로 인한 영향을 받아 제빙량이 일정히 유지되었다..

(2) 관내를 유동하는 브라인의 유속이 빠를수록 열전달계수가 증가하여 제빙량도 증가하지만 상대적으로 큰 영향을 받지 않았다.

(3) 제빙매체인 물의 초기온도가 낮을수록 온도 경계층이 얇아져 제빙량이 증가하는데 높은 단위표면적당 제빙량을 나타냈다.

(4) 타원형 제빙기는 원형 제빙기에 비해 약 11~28% 제빙량이 증가하였다.

참고문헌

1. Park, K.W., Park, J.M., Jung, S.C., Lee, H., 2005, Recent Domestic Research Trend on Ice Thermal Storage and Various Thermal Storage, Proceedings of the SAREK summer annual conference, pp.303-208.
2. Min, J.K., Yoo, A.G., Kim, J.H. and Kim, S., 1993, A study on real time model of transfer process in an ice-on-coil tank, Proceedings of the SAREK winter annual conference, pp.40-46
3. Jang, Y.K., Heo, C.K and Kim, S., 2002, An experimental study on the ice making characteristics of an ice-on-coil type ice storage system, Proceedings of the SAREK summer annual conference, pp.84-88.
4. Ahn, Y.H., Kang, B.H., Kim, S. and Lee, D.Y., 2005, The operation characteristics and cost analysis of an ice thermal storage system, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.17, No.2, pp.156-164.
5. Park, K.W., Inaba, H. and Horibe, A., 2001, Study on ice making behavior of water solution with surfactant, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.13, No.12, pp.1175-1183.
6. Seung, H., Peck, J.H., Hong, H. and Kang, C., 2003, Effects of Functional Materials Adding on Adhesion of Ice Surry, Proceedings of the SAREK winter annual conference, pp.501-506.
7. Myers, T.G. and Hammond, D.W., 1999, Ice and water film growth from incoming supercooled droplets, Heat & Mass Transfer, Vol.42, pp.2233-2242.