

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 19, No. 2, 1999

스파이럴형 냉동코일을 사용한 유하액막식 빙축열조에서 열전달현상에 관한 실험적연구

이채문*, 김동훈*, 조남철**, 김일겸***, 박상록***, 최국광****, 임장순*****

- * 유한대학 기계공학과
- ** 안산공대 기계공학과
- *** 인하대학교 대학원
- **** 인천대학교 기계공학과
- ***** 인하대학교 기계공학과

The Experimental Study of Ice Thermal Storage for Falling Film Type - Sprial Coil Type -

C. M. Lee*, D. H. Kim*, N. C. Cho**, I. G. Kim***, S. R. Park***, K. K. Choi****, C. S. Yim*****

- * *Dept. of Mechanical Eng., Yuhan College*
- ** *Dept. of Mechanical Eng., Ansan Technical College*
- *** *Graduate School, Inha University*
- **** *Dept. of Mechanical Eng., Incheon University*
- ***** *Dept. of Mechanical Eng., Inha University*

ABSTRACT

The heat transfer characteristics of ice storage system of falling film type using sprial coil is investigated. The experimental facilities consisted of a water tank, spiral coils located above the tank, an upper water distributor, and a circulating water pump. Water is distributed uniformly

over the spiral coils and it forms falling thin films. In the process of freezing, ice is formed on outside of the spiral coils through recirculation of tank water. In the process of melting, ice is melted with return water from the heat load, while the water is chilled again and drops into the tank. The results of falling film type of ice thermal storage system are as follows. The highly efficient shower flowrates for icing is near 3 l/min. Icing rates on spiral coils is rised while brine flowrates is increased. Lower brine temperature is not only increased freezing rates but also become higher total icing weight and overall heat transfer coefficient. Smaller shower flowrates is obtained lower water temperature on outlet for a long time. The amounts of quantity can be detected more accurately by measuring storage tank weight.

기 호 설 명

A	: Area	[m ²]
Q	: Heat transfer rate	[W]
T	: Temperature	[°C]
U	: Overall heat transfer coefficient	[W/m ² °C]
Δ	: Difference	

하 침 자

B	: Brine
i	: inlet
$LMTD$: Log Mean Temperature Difference
o	: outlet
S	: Shower

1. 서 론

최근 날로 심각해지고 있는 하계 냉방수요에 의한 주야간 전력사용의 불균형을 개선하기 위한 방안으로서 각광을 받고있는 빙축열 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다.

현재 사용되고 있는 빙축열시스템은 빙축열조

구조 및 성능에 관련되는 얼음의 생성과 사용하는 얼음의 상태에 따라 고체상태의 얼음을 비유동상태로 사용하는 정적제빙형과 유동성을 가지는 결정상의 얼음을 사용하는 동적제빙형으로 나눌 수 있다. 그리고 이들은 우수한 제빙특징으로 인하여 채용되어 설치되는 예는 많지만, 해빙특성이 낮아 해빙속도의 향상을 위해서는 빙축열조 내에 여러장치를 달아 강제적으로 조내수를 교란시키는 방식을 사용함으로 인해 공조부하측의 배관계통의 기기의 개량, 시스템 운전관리의 간편화 등이 요구되고 있다.

본 연구에서는 빙축열 시스템의 해빙특성을 향상시키는 방법으로 제안된 제빙코일을 빙축열조 수면 상부에 설치하고 코일의 상부로부터 산포수를 살포하여 제빙, 해빙을 행하는 유하액막식 관외착빙형 빙축열시스템에서 제빙능력의 향상시키는 방법으로 제빙코일을 스파이럴형으로 할 것을 제안하고 이때 산포수의 수온, 유량의 변화시키고 냉동코일 내 브라인의 온도, 유량의 변화에 대한 제빙 및 해빙 특성을 실험적으로 규명하였다.

2. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도로서 실험장치의 주요부는 제빙코일, 산포관, 축

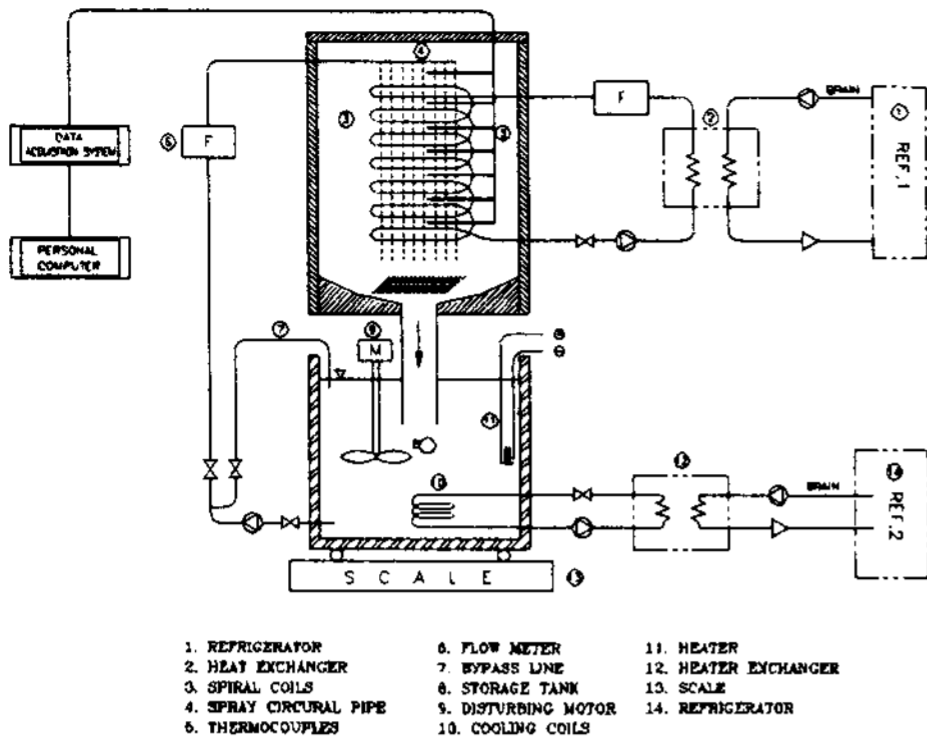


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

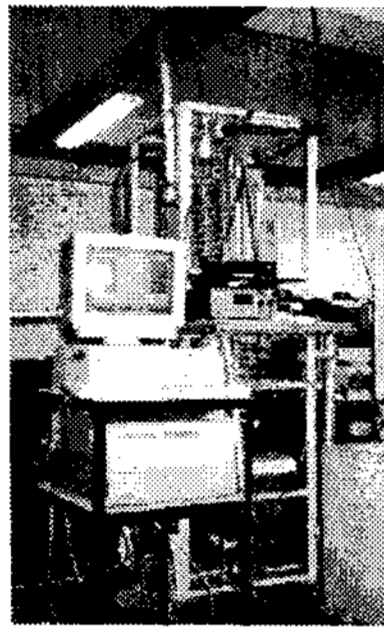


Photo. 1. Photograph of experimental apparatus

열조, 기타부품 등으로 구성되었다. 그리고 Photo. 1은 실험장치를 촬영한 것이다.

2.1 산포관 및 제빙코일

상부의 산포관은 직경 10mm의 동관을 사용하였고 분산노즐은 직경 0.8mm, 피치 25mm로 하여 16개를 천공하였고 제빙코일은 동관 M형(외경 12.7mm, 내경 11.42mm, 단피치 35mm, 11단)을 이용하여 스파이럴 형식으로 제작하였다. 산포수는 16개의 산포노즐을 통하여 제빙코일에 산포되고, 이 때 총 20개의 T-타입 열전대($\phi 0.3$ mm)을 제빙코일표면과 산포관 주위에 설치하였다. 이 중 15개의 열전대는 Fig. 2와 같이 하였고 나머지 3점은 산포수 출구 2점, 저장조 2점, 대기 온도 1점 장착하였다.

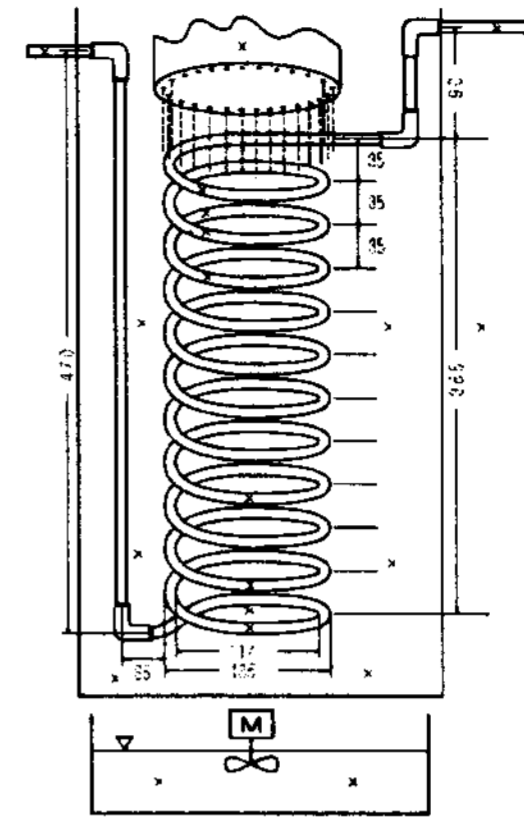


Fig. 3. The shape of spiral coils and shower nozzles

2.2 저장조

저장조는 산포수를 60 l의 상용 아크릴통을 사용하였으며 저장조 표면은 아티논으로 단열하였다. 그리고 저장부 상부에는 교반기를 달아 저장조 내부의 온도 성층화가 일어나지 않도록 하였으며 실험초기 저장조 내의 산포수온을 일정하게 유지하기 위해 2RT 용량의 냉동기를 이용하였다. 제빙 시 산포수는 산포설정온도까지 가열하기 위해 12kW 용량의 가열히터로 가열하여 산포하였다. 산포수의 제빙량을 측정을 위해 저장조를 저울 위에 설치하고 저장조의 무게를 1분 단위로 측정하여 제빙량을 산출하였다.

3. 실험방법

우선 저장조에 설치된 펌프를 가동시키고 산포노즐을 통해 산포수를 제빙코일에 산포시키면서 저장조의 물을 실험 설정온도 5°C, 7°C로 만든다. 실험설정온도에 달하면 브라인 펌프를 설정유량으로 가동시켜 제빙코일의 입구표면온도를 실험 설정온도로 유지하면서 실험설정시간에 걸쳐 실험을 수행한다. 실험 중 제빙코일 주위 제빙량은 저장조의 순환수가 제빙코일 주위에 제빙되므로

저울 위에 위치한 저장조 무게의 감소량을 측정하면 제빙량을 구할 수 있다. 또한 실험조건은 산포수온 5°C, 7°C에 대해 산포유량 2 l/min, 2.5 l/min, 3 l/min, 4.5 l/min로 변화시키고 브라인 온도 -4°C, -6°C, -8°C, -12°C에서 브라인유량 12 l/min, 24 l/min, 36 l/min, 46 l/min로 변화시켜 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 열관류계수

상변화물질의 응고 및 용융과정 시 빙축열조 내의 제빙코일, 즉 열교환기의 열관류계수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$U = \frac{Q}{A \Delta T_{LMTD}} \quad (1)$$

여기서,

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

$$\Delta T_1 = T_{B_i} - T_{S_i} \quad (3)$$

$$\Delta T_2 = T_{B_o} - T_{S_o} \quad (4)$$

이다.

Fig. 3은 산포수온 7°C, 산포유량 1.8 l/min, 브라인 온도 -10°C, 브라인 유량 12 l/min, 24 l/min인 경우에 열관류계수를 나타낸 것으로 제빙 초기에는 열관류계수가 크게 나타났고 시간이 경과할수록 감소하는 경향을 나타내다가 일정한 값을 유지하였다. 이는 제빙초기에는 얼음의 두께가 얇아 열전달이 활발함을 의미하고 제빙두께가 증

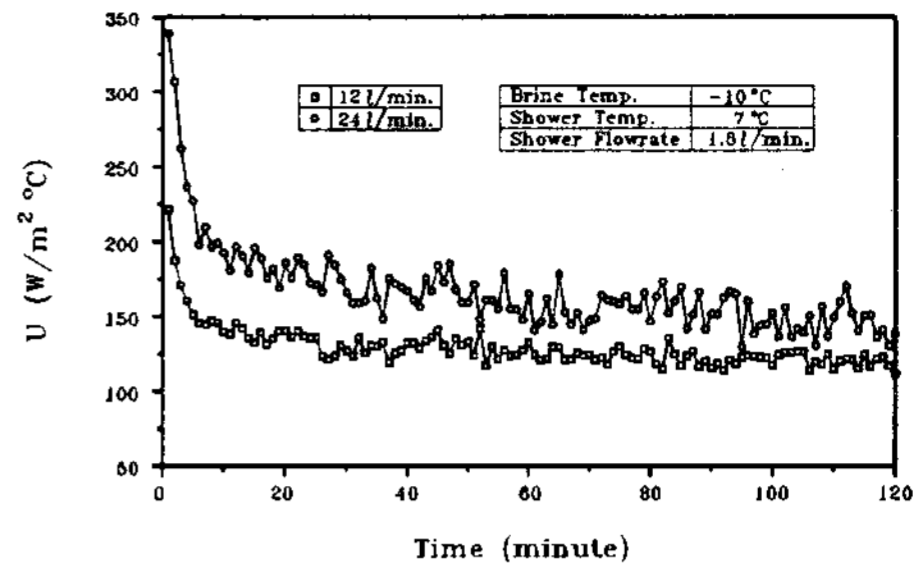


Fig. 3. Timewise variation of overall heat transfer coefficient for brine flowrate.

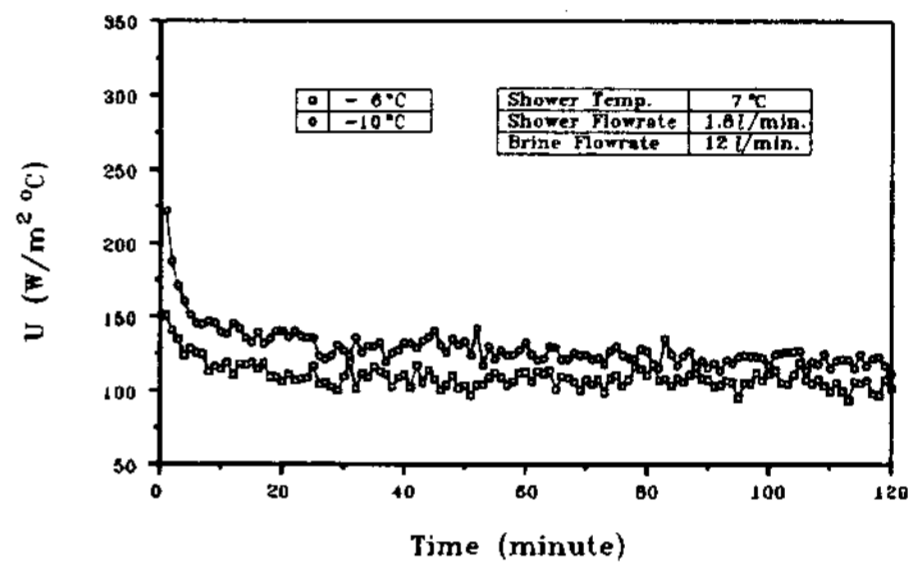


Fig. 4. Timewise variation of overall heat transfer coefficient for brine temperature.

가함에 따라 열저항이 증가함에 의한 것으로 사료된다. 또한 브라인 유량이 많은 경우가 열관류계수가 크게 나타난 것은 관내유속이 빨라짐으로 인하여 열전달이 활발한 결과인 것으로 보인다. Fig. 4는 산포수온 7°C, 산포유량 1.8 l/min, 브라인유량 12 l/min, 브라인 온도가 -6°C, -10°C 일 때 브라인 온도의 영향을 비교한 것으로 브라인 온도가 낮을수록 열관류계수가 높게 나타났고 시간의 경과에 따라 그 폭은 줄어들었다.

4.2 제빙

4.2.1 산포수온

Fig. 5은 산포수온 5°C, 산포유량 4.5 l/min 브라인 온도 -8°C, 브라인 유량 46 l/min이고 Fig. 6은 산포수온 7°C, 산포유량 4.5 l/min, 브라인 온도 -8°C, 브라인유량 46 l/min일 때 스파이럴 코일 표면과 코일 주변의 온도분포를 나타 내었

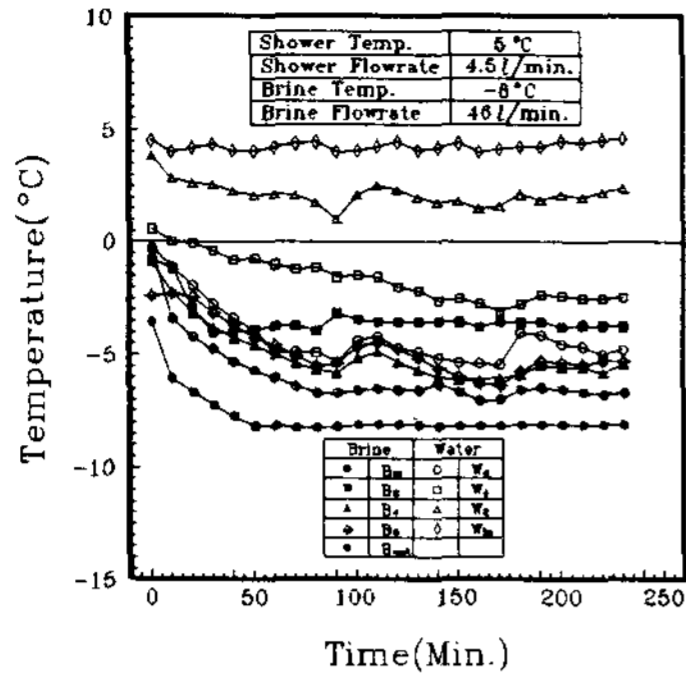


Fig. 5. Temperature distributions on and around spiral coils.

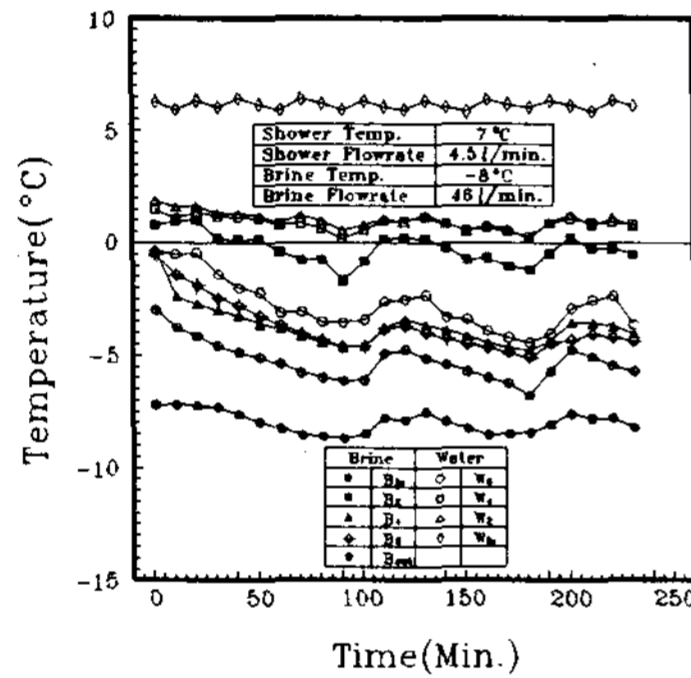


Fig. 6. Temperature distributions on and around spiral coils.

다. 산포수온이 7°C일 때가 5°C일 때 보다 브라인 입출구에서의 온도차이가 크게 나타났으며 이는 산포수온이 높을수록 제빙코일 부분에서 많은 열량을 흡수함에 기인하는 것으로 추정된다. 그리고 제빙부분의 온도는 산포수온이 낮은 쪽이 많은 부분에 걸쳐 0°C 이하의 온도를 보였고 각 단의 온도차는 적게 나타났다. 이로 인해 산포수온이 낮을수록 제빙량이 많고 제빙부의 온도도 낮게 유지한다는 것을 알 수 있다.

4.2.2 산포수량

Fig. 7은 산포수온 5°C, 브라인온도 -12°C, 브라인유량 24 l/min에서 산포유량 2 l/min, 2.5 l/min, 3 l/min, 4.5 l/min으로 변화 시켰을 때의

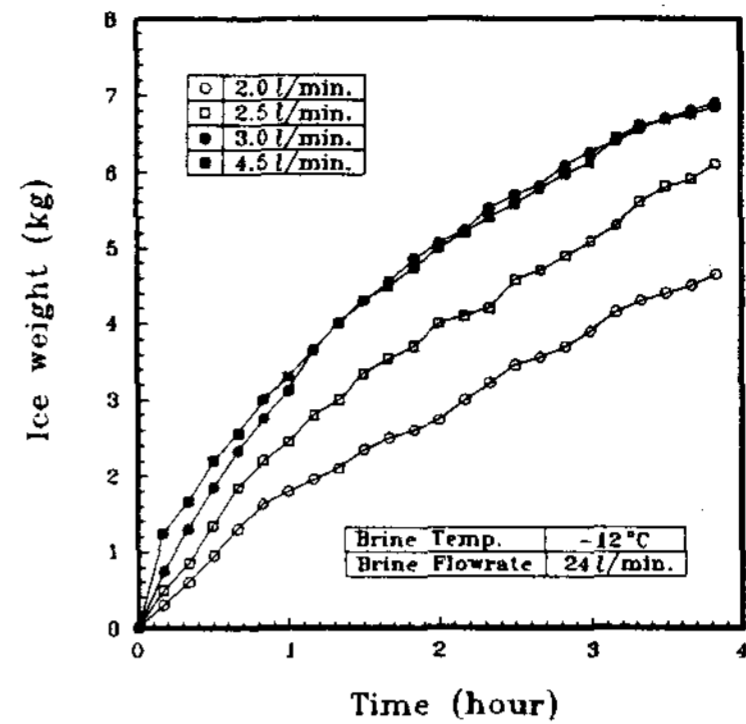


Fig. 7. Timewise variations of ice weight for shower flowrate.

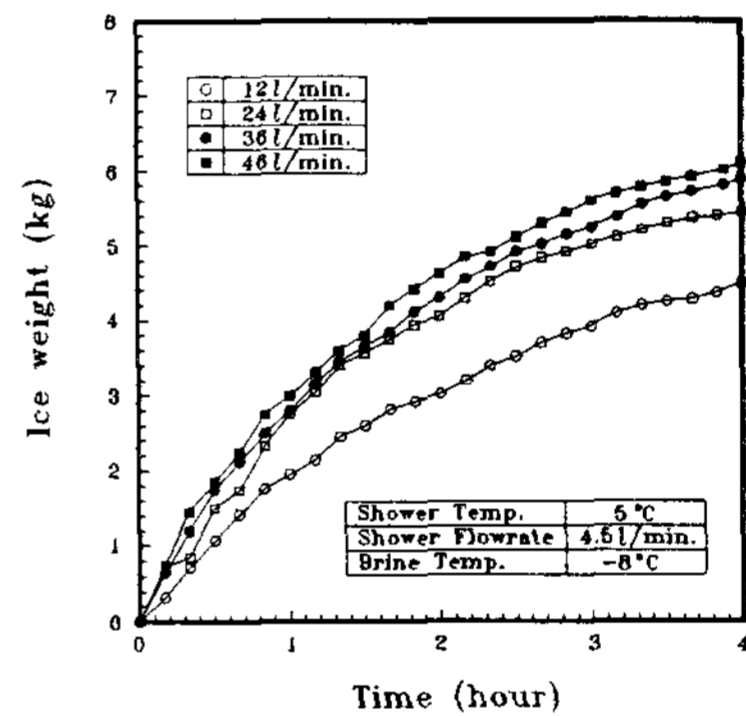


Fig. 8. Timewise variations of ice weight for brine flowrate.

결과를 나타내었다. 산포수량을 많아질수록 제빙량이 증가하였으나 본 실험조건에서는 산포수량이 3 l/min이상의 구간에서의 제빙량이 거의 같게 나타났다. 이것은 본 스파이럴형 제빙코일의 제빙능력의 한계치는 산포수량 3 l/min 부근으로 보아지며 이 값이 본 실험장치의 최적산포유량으로 추정된다.

4.2.3 브라인유량

Fig. 8에서는 산포수온 5°C, 산포유량 4.5 l/min, 브라인온도 -8°C, 브라인유량을 12 l/min, 24 l/min, 36 l/min, 46 l/min으로 변화시킨 결과를 나타낸 것으로 브라인유량이 많은 쪽이 제

빙량이 많이 나타났다. 이것은 브라인유량이 많으면 제빙코일 내 흐름이 난류 흐름이 되어 관내 열전달이 좋아지고 또한 스파이럴 제빙코일 표면의 입출구 온도차가 낮아지기 때문에 스파이럴 제빙코일 전반에 걸쳐 산포수와 스파이럴 제빙코일 표면온도의 차이가 크게 되기 때문이다.

Fig. 9와 Fig. 10은 산포수온 5°C, 산포유량 4.5 l/min이고 브라인온도 -12°C인 상태에서 브라인유량을 24 l/min, 46 l/min일 때의 스파이럴 제빙코일 표면온도 및 제빙부분의 온도분포를 나타낸 것으로 스파이럴 제빙코일 입출구 온도의 차이는 브라인유량이 적을수록 온도차가 크게 나타났다. 스파이럴코일 부분의 온도가 제빙부분의 온도보다 전반적으로 낮게 나타났으며 제빙부분

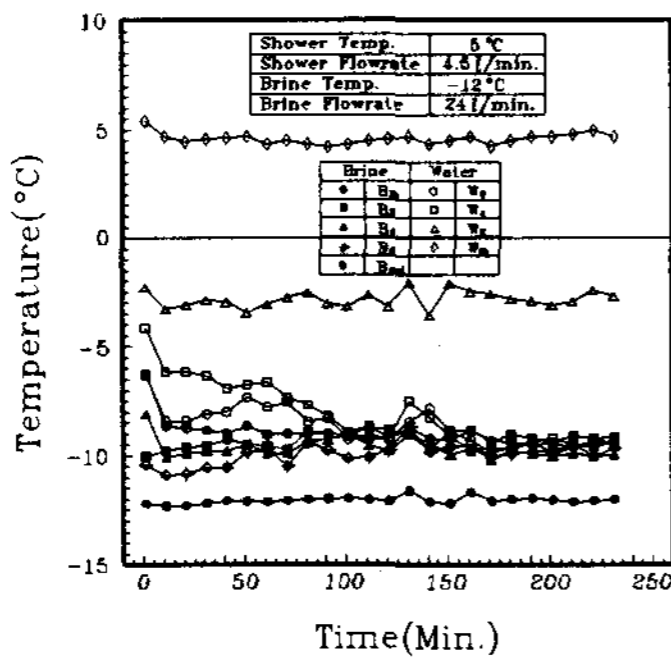


Fig. 9. Temperature distributions on and around spiral coils.

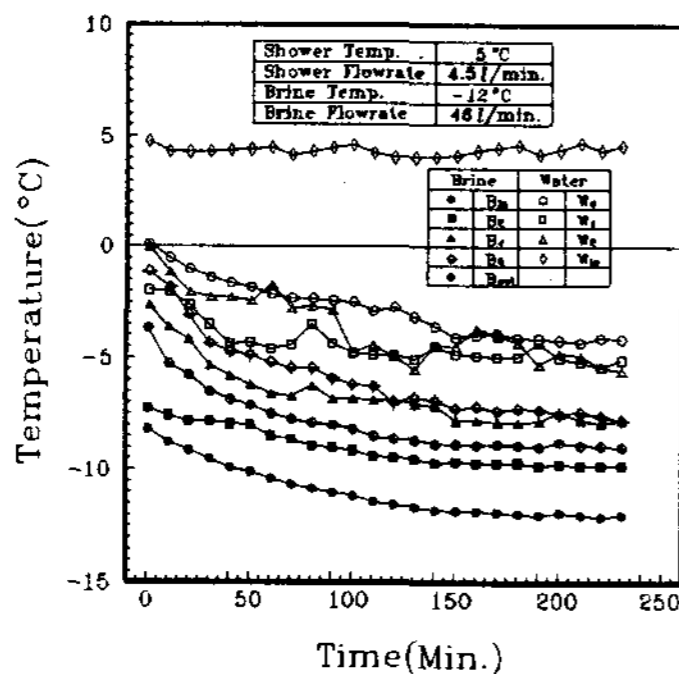


Fig. 10. Temperature distributions on and around spiral coils.

의 온도분포는 브라인유량이 많은 쪽이 각 부분의 온도차이가 적게 나타나 각 제빙부분에서 온도수렴이 크게 나타났고, 브라인 유량이 적은 쪽이 제빙부분의 온도차이가 크게 나타난 것은 브라인 유량이 많은 쪽이 브라인유량이 적은 쪽보다 스파이럴 제빙코일에서 제빙부분으로의 열전달이 더욱 활발하기 때문인 것으로 생각된다.

4.2.4 브라인온도

Fig. 11은 산포수온 5°C, 산포수량 3 l/min 브라인유량 46 l/min에서 브라인온도 -4°C, -6°C, -8°C, -12°C로 변화시켜 유하액막식 빙축열시스템에서 브라인온도 변화의 영향을 관찰하기 위한 것으로 브라인온도가 낮을수록 제빙량이 많았다. 이는 브라인온도가 낮은 쪽이 브라인온도가 높은 쪽보다 열유속이 빨라 단위시간에 많은 열량의 이동으로 인해 제빙량이 크게 나타난 것으로 사료된다.

Fig. 12과 Fig. 13은 산포수온 7°C, 산포수량 3 l/min 브라인유량 46 l/min이며 브라인온도가 -6°C, -12°C를 유지할 때 스파이럴 코일 제빙표면과 제빙부분의 온도분포를 나타낸 것으로 브라인 온도가 낮은 쪽이 브라인 입출구 온도차가 더 크게 나타나 이 때에 더 많은 열량이 이동됨을 알 수 있다. 그러나 브라인온도가 높을 경우에는 브라인의 동점도가 낮아짐에 따라 브라인과 스파

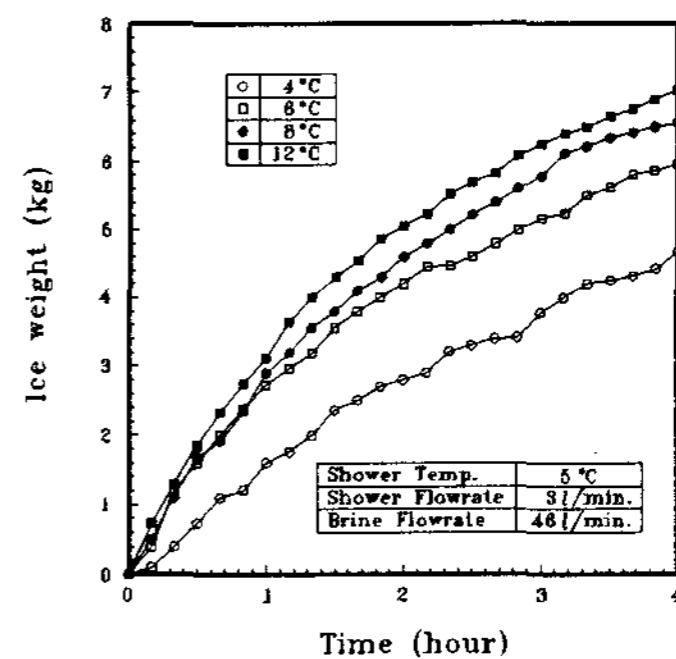


Fig. 11. Timewise variations of ice weight for brine temperatures.

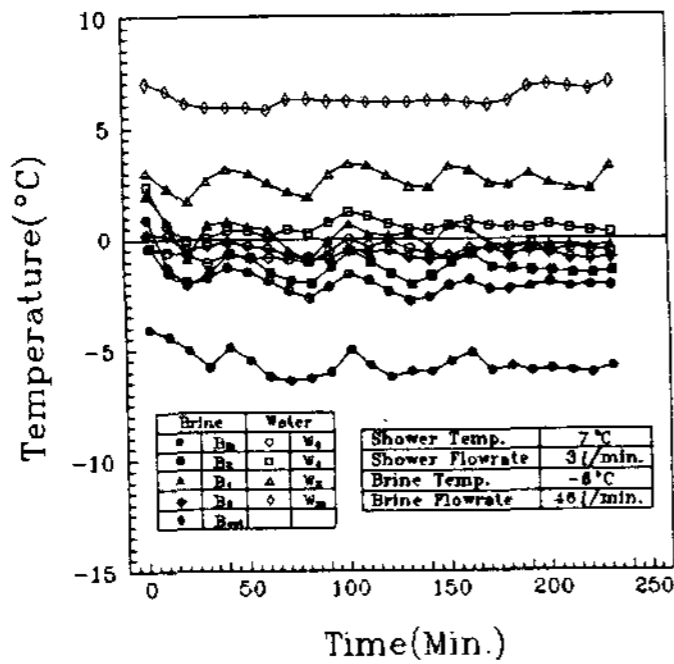


Fig. 12. Temperature distributions on and around spiral coils.

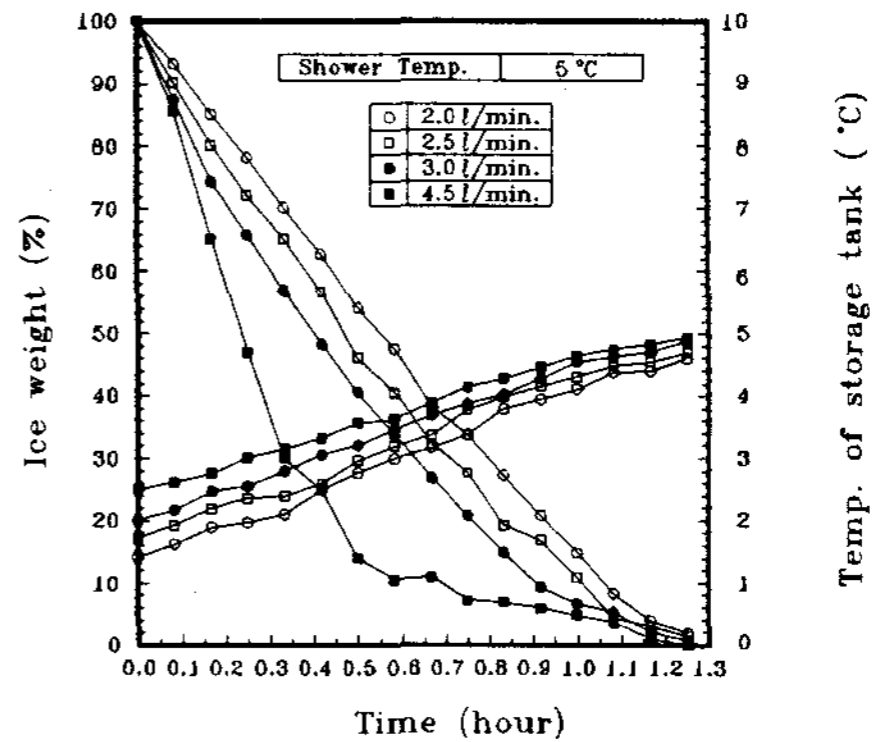


Fig. 14. Timewise variations of ice weight and temperature of storage tank at melting

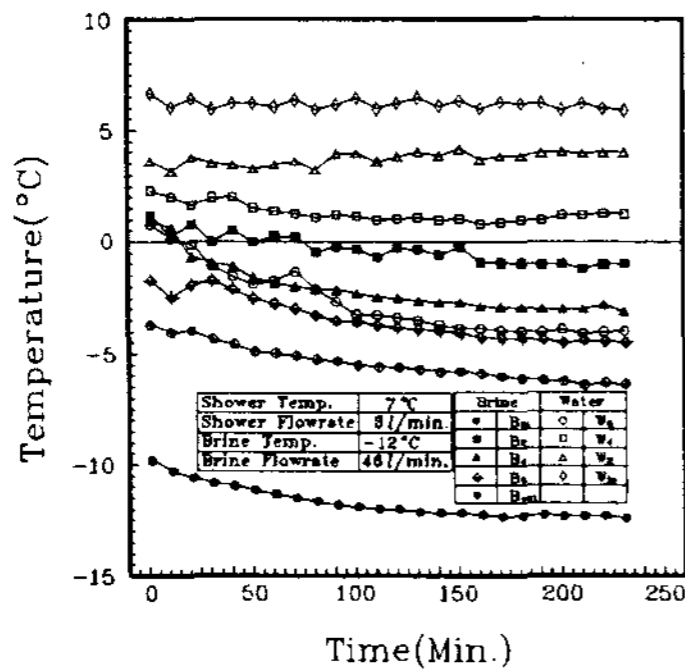


Fig. 13. Temperature distributions on and around spiral coils.

이럴코일 내부면과 열전달은 더욱 활발할 것으로 추정되나 총열전달량은 브라인 온도가 낮은 쪽이 더 많은 빙이 형성 되었음을 스파이럴코일 주변의 온도분포에서 추정해 볼 수 있다.

4.3 해빙

Fig. 14은 브라인온도 -12°C , 브라인유량 46 l/min 로 제빙한 것을 산포수온 5°C 로 하고 산포수량을 2 l/min , 2.5 l/min , 3 l/min , 4.5 l/min 으로 해빙한 것을 초기빙량을 100%로 하였을 때 스파이럴코일 주위의 제빙량의 변화와 산포수의 출구온도의 변화를 나타낸 것으로 해빙속도는 산포수량이 많은 쪽이 실험초기 해빙속도가 빨랐으며 해빙곡선의 형태는 산포수량이 2 l/min , 2.5 l/min

3 l/min , 4.5 l/min 가 유사한 형태를 보였으나 산포수량 4.5 l/min 일 때가 실험초기에 많은 해빙량을 보였다. 해빙 시 스파이럴 제빙코일의 출구 부분의 온도변화는 산포수량이 적은 쪽이 오랜시간에 걸쳐 저온을 유지하였으며 이것은 산포수량이 많으면 해빙량은 많으나 비산되는 수량이 커지므로 인해 출구온도를 상승시킨 결과를 가져온 것으로 추정된다. Fig. 13은 브라인온도 -12°C , 브라인유량 46 l/min 로 제빙한 것을 산포수온 7°C 로 하고 산포수량을 2 l/min , 2.5 l/min , 3 l/min , 4.5 l/min 으로 해빙한 것으로 전체적인 경향은 산포수온 5°C 인 Fig. 14와 유사하였으나 산포수온이 높은 쪽이 해빙시간이 단축되었다.

5. 결 론

유하액막식 스파이럴관외착빙식 빙축열시스템에서 산포수온 5°C , 7°C 일 때 산포수량 2 l/min , 2.5 l/min , 3 l/min , 4.5 l/min 변화시킨 상태에서 브라인의 온도 -4°C , -6°C , -8°C , -12°C 로 하고 브라인유량을 12 l/min , 24 l/min , 36 l/min , 46 l/min 으로 변화시켜 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 실험에서 효율이 높은 제빙을 위한 산포수

량은 3 l/min 부근에서 나타났다.

- 2) 브라인유량을 많이하면 스파이럴 제빙코일 내의 열전달이 향상되어 제빙속도가 빨라진다.
- 3) 브라인온도가 낮은 쪽이 제빙속도가 빠르고 열관류계수가 커서 총제빙양이 많게 된다.
- 4) 산포수온이 낮을수록 산포수량이 많을수록 제빙량은 많았다.
- 5) 해빙시 산포수량이 많은 쪽이 해빙속도가 빨랐으나 산포수량이 적은 쪽이 산포수 출구온도를 장시간에 걸쳐 낮은 온도를 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

1. 藤田捻彦, 千葉孝男, 高橋勉, 流下液膜式 氷蓄熱ツヌテム, 空氣調和-衛生工學論文集, No.53, (1993-10) pp. 47~55.
2. 井口 泰男, 黒田尚紀, 1995,, "流下液膜式 氷蓄熱槽の 傳熱性能", 空氣調和-衛生工學會 學術講演會論文集, 10,2-10,4(廣島), pp. 457~460.
3. 김영기, 1998, "관외 착빙형 저온잠열시스템에서의 열전달 특성에 관한 연구", 인하대학원 박사학위논문
4. 김운동, 1991, "심야전력을 이용한 빙축열 기술 개발", 한국전력공사 기술연구원 보고서
5. 이채문, 박정원, 조남철, 박상록, 김일겸, 김동춘, 김영기, 임장순, 1997, "직접접촉식 빙축열조의 열특성에 관한 연구", 한국태양에너지 학회지, Vol. 17, No. 2, pp. 75~89.
6. 노승탁, 1991, "저온축열에 의한 에너지의 합리적인 이용", 공기조화·냉동공학회지, Vol. 20, No. 2, pp. 98~103
7. S. Fukusako, M. Yamada, 1993, "Some Topics on Melting Heat Transfer Problem", 4th Int. Symposium on Thermal Engineering & Science for Cold Regions, New Hampshire, pp. 3~16
8. S. T. RO, 1993, "Two-Dimensional Freezing of Water Filled Between Vertical Concentric Tubes involving Density Anomaly and Volume Expansion", Int., J. Heat Mass Transfer, Vol. 36, No. 10, pp. 2647~2656
9. K. Yoshiyuki, 1994, "球力ガセル潛熱蓄熱槽の蓄放熱特性(その1 : 凝固,熔融過程の可視化)", 空氣調和・衛生工學會技術講演會講演論文集, F-30, pp. 941~944
10. K. Yoshiyuki, 1994, "球力ガセル潛熱蓄熱槽の蓄放熱特性(その2 : 相變化速度)", 空氣調和・衛生工學會 技術講演會講演論文集, F-31, pp. 945~948
11. S. L. Braga, R. Viskanta, 1992, "Transient Natural Convection of Water near its Density Extremum in a Rectangular Cavity", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 35, No. 4, pp. 861~875
12. S. L. Chen, J. S. Yue, 1991, "A Simplified Analysis for Cold Storage in Porous Capsules with Solidification", ASME J. of Heat Trasfer, Vol. 113, pp. 108~116