

수중 빙제조형 빙축열시스템의 성능특성 특성

장용식* · 이호생* · 최인수* · 김재돌** · 김은필*** · 윤정인***

Experimental Study on the Performance Characteristic in Underwater Harvest-Type Ice Storage System

Yong Sik Jang*, Ho Saeng Lee*, In Su Choi*, Jae Dol Kim**,
Eun Pil Kim***, Jung In Yoon***

Key Words: Ice storage system(빙축열 시스템), Harvest type(하베스트형), Plat type evaporator(판형 증발기), Accumulation of cold(축냉), Discharge of cold(방냉)

Abstract

A fundamental study on the under water harvest-type ice storage system and its temperature characteristics in ice storage system was performed experimentally. The experiments were conducted by changing the inlet refrigerant temperature of an evaporator to analyzing the thermal fluid motion inside the ice storage tank. From the experimental results, the cold storage characteristics were investigated by measuring the axial and radial temperature variations inside the ice storage tank with respect to the inlet and outlet refrigerant temperatures of an evaporator. In case of the under water harvest-type ice storage system, thermal fluid motion inside the ice storage tank was shown differently in comparison with that of other ice storage systems. During the cooling storage process, there was no supercooling phenomenon in the ice storage tank. These results show the characteristic of this system and the possibility of application to other fields.

1. 서 론

최근 새로운 공조 열원방식으로 현열과 잠열을 이용한 빙축열 시스템이 관심을 모으고 있다. 빙축열 시스템은 제빙방식에 따라 크게 정적형(static type)과 동적형(dynamic type)으로 분류할 수 있으며, 정적형에는 관외 착빙형, 관내 착빙형, 캡슐형 등이 있고 동적형에는 하베스트형(harvest type), 아이스 슬러리형(ice slurry type)

등으로 나눌 수 있다. 동적형에 있어 하베스트형은 증발기인 전열판에서 생성된 얼음을 주기적으로 분리, 이탈시켜 전열판 하부에 설치된 축열조에 저장하였다가 냉방시 부하측으로 순환시켜 부하에 대응하는 방식으로 최근 활발히 연구개발이 이루어지고 있다. 이 방식은 장치의 효율이 높고, 해빙효율이 우수하며, 장비의 보수, 관리가 쉽고, 수명이 긴 등 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그러나 축열조 상부에 설치된 증발판에 계속적으로 축열조 내의 물을 순환시켜야 하고, 순환에 필요한 순환수 펌프 등 각종 수배관 시설이 필요하다. 또한, 순환수 펌프에도 별도의 동력이 필요하고, 장치의 콤팩트화에 한계가 있다. 그리고 얼음이 축열조 상부의 공기 중에 설치된 증발판에서 생성됨으로서 열전달률도 좋지 못하는 등의 단점을 가지고 있다.¹⁻³⁾

* 회원, 부경대학교 대학원 냉동공조공학과

** 회원, 동명대학교 건축설비시스템과

*** 회원, 부경대학교 기계공학부(냉동공조전공)

E-mail : kjd@yongma.tmc.ac.kr

TEL : (051)620-3537 FAX : (051)620-3537

이와 같은 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 얼음을 만드는 증발판을 축열조 상부에 설치하지 않고, 축열조 내에 설치하여 수중에서 얼음이 만들어지는 새로운 빙 제조 방식^{4, 5)}을 적용한 연구이다.

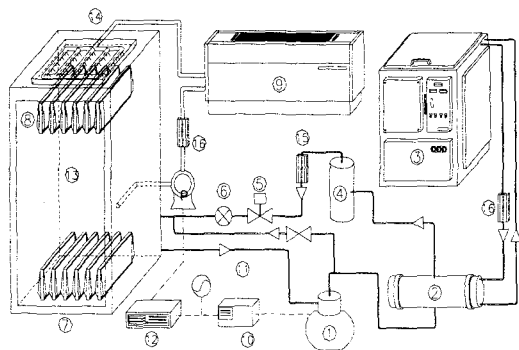
본 방식은 축열조의 수중에서 일정 크기의 얼음을 만든 후 고온의 가스를 순환시켜 탈빙하고, 탈빙된 얼음은 비중 차에 의해 부력으로 띄워져 상부부터 순차적으로 쌓여 저장되게 된다.

따라서 본 연구에서는 기존의 하베스트 방식과 상기의 수중 빙 제조방식을 동일 장치에 적용하여 축·방냉시 축열조 내의 열특성과 성능특성을 실험적으로 밝혀 새로운 빙 제조방식 적용 시스템의 최적화 및 성능향상에 대한 자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 기존 및 새로운 방식을 비교 실험하기 위한 실험장치의 개략도이다. 장치는 크게 냉동사이클로 구성되는 시스템 부분과 수중 및 상부의 증발판에서 제조된 얼음을 저장할 수 있는 축열조 부분으로 구성되어 있다.



- | | | |
|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| ① Compressor | ② Condenser | ③ Thermostatic oven |
| ④ Receiver | ⑤ Solenoid valve | ⑥ Expansion valve |
| ⑦ Plate type evaporator | ⑧ Water jet nozzle | ⑨ FCU |
| ⑩ Power meter | ⑪ Power supply | ⑫ Data logger |
| ⑬ Storage tank | ⑭ Return water nozzle | ⑮ Refrigerant flow meter |
| ⑯ Water flow meter | | |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

시스템 부분은 압축기, 응축기, 팽창밸브, 건조여과기(filter-drier), 전자밸브, 유량계 등의 부속기기와 온도 및 압력 측정부로 구성되어 있다.

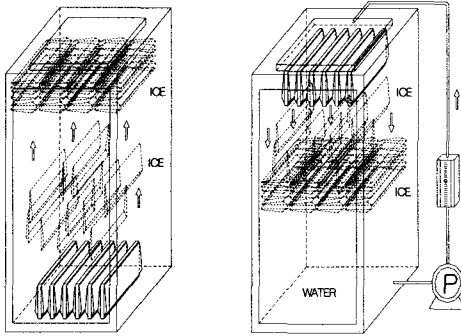
축열조 부분은 새로운 방식의 경우 하부에 6개의 수직 평판형 증발판과 탈빙시 탈빙을 원활하게 하기 위한 탈빙촉진 장치로 구성되어 있다. 그리고 기존방식의 경우에는 상부에 동일 개수의 수직 평판형 증발판과 수분배기, 순환수 펌프 및 순환수 배관으로 구성되어 있다. 압축기는 소형스크롤형을 사용하였으며, 응축기는 실험의 편의상 수냉식을 사용하였다. 그리고 냉각수 입·출구에 열전대와 입구측에 수유량계[2~40 l/min]를 설치하여 냉각수 온도 및 수량을 측정하여 응축열량을 계산할 수 있도록 하였으며, 냉각수의 온도는 항온조에서 일정온도로 공급할 수 있도록 하였다. 그리고 제빙 및 탈빙모드를 제어하기 위해 온-오프 스위치와 5개의 전자밸브를 설치하였고, 장치 각 부분의 압력과 온도를 측정하기 위해 고·저압압력계와 C-C열전대를 설치하였으며, 측정된 온도는 다채널 온도기록장치(HR-2500E 60CH)와 RS-232C 케이블을 통해 PC로 전송하여 처리하였다. 또한, 압축기의 소요동력은 파워메타를 설치하여 운전조건에 따른 압축기의 소요동력을 측정하였다.

Fig. 2는 축열조 부분에 있어 새로운 수중 빙 제조 방식을 적용한 경우(a)와 기존의 빙 제조 방식을 적용한 경우(b)의 빙 제조과정을 각각 나타낸다. 그리고 Fig. 3은 축열조 내의 센서 위치(a)와 축냉시 빙 제조 사진(b)을 나타낸다.

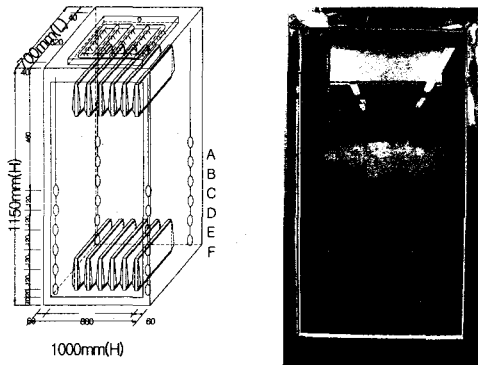
축열조는 1000(W)×700(L)×1150(H)의 크기로 제작되어 있으며, 외부로의 열손실을 방지하기 위하여 35mm두께의 우레탄폼으로 단열하였다. 조 내에는 재질이 알루미늄인 200×190×20mm인 6개의 수직 평판형 증발판이 설치되어 있다. 그리고 축방냉시 축열조 내 온도분포를 파악하기 위하여 Fig. 3에서와 같이 중앙부분과 모서리 부분 4개소에 열전대를 설치하였으며, 높이별로는 20mm, 140mm, 260mm, 380mm, 500mm, 620mm의 위치에 모두 24개의 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다.

2.2 실험방법

실험은 새로운 방식을 먼저 수행한 후, 동일조



(a) New method (b) Conventional method
Fig. 2 Schematic diagram of ice making type.



(a) Detail of storage tank (b) View of ice storage tank
Fig. 3 Schematic diagram of ice storage tank.

건에서 기존방식에 대하여 실시하였으며, 장치의 안정화를 위해 축냉모드로 전환한 후 축열조 내의 온도 및 각종 실험조건을 모니터링하여 일정하게 만든 후 실시하였다. 그리고 시스템 운전 후 증발기 입구측의 냉매온도가 설정온도에 도달하여 일정하게 된 시점을 기준으로 하여 축열조 내 각 부분의 온도를 측정하였다.

실험은 축냉실험을 먼저 실시한 후 방냉실험을 하였으며, 축냉과정 중 탈빙은 증발기 출구측 냉매온도가 일정 설정온도에 이르면 장치가 제상운전 모드로 전환되어 탈빙이 이루어지도록 하였다. 그리고 탈빙을 위한 증발기 출구측 제상 설정온도는 -2°C 에서 실시하였다.

방냉실험은 축냉실험 후 일정 냉수량을 부하측과 축열조로 순환시킴에 따라 축열조 내의 온도

분포와 부하측 팬코일 유닛(FCU)의 입출구 온도변화 등을 파악하였다.

방냉시 부하측은 FCU를 사용하였으며, 환수되는 순환수는 효율을 증대시키기 위하여 축열조 상부에 분사노즐을 설치하여 일정하게 조 내로 분사되면서 얼음과 열교환을 할 수 있도록 하였다. 그리고 부하측으로 유입되는 냉수는 축열조 내에서 충분한 열교환을 한 후 축열조 하부로 유출되도록 하였다. Table 1은 본 실험에 사용된 실험조건을 나타낸다.

Table 1 Experimental conditions

Parameter	Conditions
Refrigerant	HCFC-22
Refrigerant flow rate, R_f [kg/h]	57.6
Defrost refrigerant temperature, T_d [$^{\circ}\text{C}$]	-2
Initial water temperature, T_i [$^{\circ}\text{C}$]	25
Cooling water temperature, T_c [$^{\circ}\text{C}$]	20 ± 0.5
Cooling water flow rate, T_{cf} [l/min]	12
Cooled water flow rate, Q_c [l/min]	35
Charging processing time, R_i [h]	10
Using limit temperature, T_{θ} [$^{\circ}\text{C}$]	10

3. 실험결과 및 고찰

3.1 축열조 내 온도분포

Fig. 4와 5는 새로운 방식과 기존방식에 있어서 증발기 순환냉매량 57.6kg/h, 제상설정온도 -2°C , 축열조 내 초기수온 25°C , 축냉시간 10시간 경과 시까지의 축열조 내 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 각 위치의 온도분포는 Fig. 3의 축열조 하부에서부터 상부로의 수직부분으로 위치는 20(F), 140(E), 260(D), 380(C), 500(B), 620mm(A)인 지점에서의 평균온도를 나타낸다.

새로운 방식의 경우 그림에서와 같이 높이별로는 온도차가 뚜렷이 발생되고, 또한 축열조 중상부(380, 500, 620mm)에서는 운전개시 약 2시간 가까이 초기 수온이 거의 그대로 유지되고 있다. 그러나 증발판이 설치된 하부(20, 140mm)에는 초기 수온보다 많은 냉각이 이루어지고 있다. 그리고 축열조 중하부분(260mm)은 축열조 하부로의 열확산으로 인해 중상부 보다는 수온이 약간

강해지고 있음을 알 수 있다. 이것은 축열조 하부에 설치된 증발판의 냉각작용으로 축열조 하부는 급격히 냉각되지만 축열조 상부까지는 밀도차에 의해 열확산 및 대류가 크게 발생되지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나 2시간 경과 후에는 최초 탈빙이 시작됨과 동시에 축열조 하부로부터 탈빙된 얼음이 상부로 떠오름에 따라 대류 혼합이 발생되어 중·상부의 온도는 낮아지는 현상이 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 첫 번째 탈빙 이후 일정한 시간 간격으로 계속적으로 탈빙주기가 형성되어 그림에서와 같이 축열조 중·상부 부분의 계단형 온도하강 및 혼합현상이 나타나게 된다. 이와 같은 계단형 온도하강 현상은 최상부로 떠오른 얼음이 상부 물과의 온도차에 의해 용해잠열을 흡수하여 일정 시간동안 용해를 계속하게 됨으로서 일정한 온도대를 유지하는 것으로 판단된다. 그리고 운전시작 약 4시간 이후부터는 상부의 온도가 하부의 온도보다 낮아지는 현상을 나타내고 있다. 이것은 이때부터 상부에 저장된 얼음의 잠열 흡수능력이 떨어지고, 얼음이 상부에 존재함에 따라 하부로 대류가 발생되기 때문으로 생각된다.

Fig. 5는 동일조건에 있어 기존방식으로 운전한 경우 축열조 내 수직 온도분포를 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 축열조 내 온도는 시간경

과에 따라 거의 선형적으로 낮아지는 결과를 나타내고 있다. 이와 같은 현상은 기존방식의 경우 계속적으로 순환펌프에 의해 축열조 내의 물이 하부에서 유출되어 상부의 물분배기에 공급되고, 증발판을 흘러내리면서 얼음이 생성되어 증발판과 조내의 순환수가 충분한 열교환을 할 수 있는 시간적 여유가 적어 불안정한 얼음이 생성되기 때문으로 판단된다. 즉, 새로운 방식의 경우에는 정지된 물이 하부의 증발판과 직접 열교환을 하는데 비해 기존방식은 물이 순환하면서 열교환이 이루어져 얼음의 생성과 성장에 상당히 불리한 조건이 형성되는 것으로 판단된다.

기존방식의 경우에는 운전 약 1시간 이후부터 상부의 수온의 더 낮아지는 현상을 나타내지만 전 운전시간에 걸쳐 상하부의 온도차는 크게 발생되지 않았다.

Fig. 6은 새로운 방식에 있어 축냉 완료 후 부하측 냉수 순환유량을 35 l/min인 경우를 대상으로 방냉시 축열조 내 수직방향의 높이별 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 방냉시 초기에는 축열조 최하부의 온도가 가장 높고, 최상부 온도가 가장 낮게 나타나고 있다. 이것은 축냉시 만들어진 얼음이 축열조 상부에 저장되어 있다가 부하측으로부터 유입되는 순환수의 열교환시 잠열 흡수에 기인하기 때문으로 생각된다.

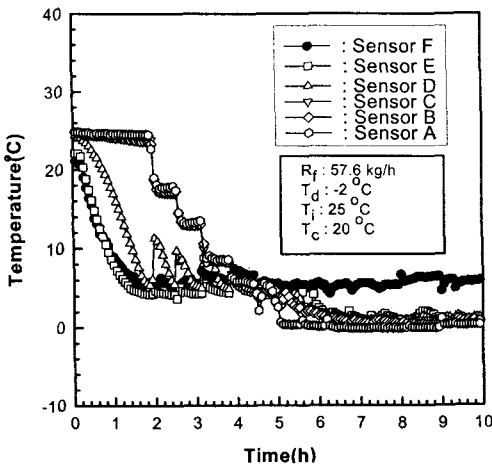


Fig. 4 Vertical water temperature distribution of new method in storage tank on charging process.

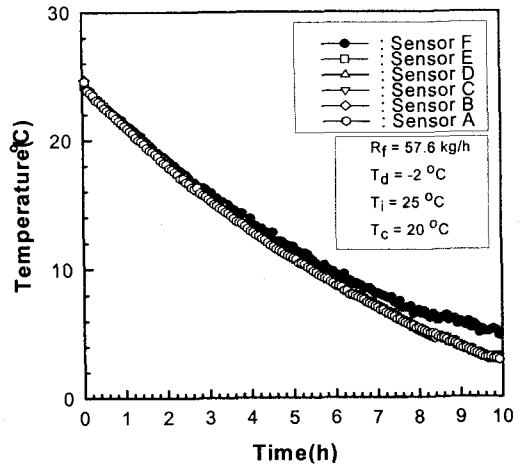


Fig. 5 Vertical water temperature distribution of conventional method in storage tank on charging process.

그리고 이와 같은 온도분포는 상부의 경우에는 거의 0℃, 하부에는 4℃ 정도로 약 90분까지 계속 유지되는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 동일조건에서 기존방식의 방냉시 축열조 내 수직온도 분포를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 방냉 시작 약 1시간 정도까지는 최하부를 제외하고는 거의 온도분포가 발생되지 않았으며, 시간이 경과함에 따라 상하 전체의 온도도

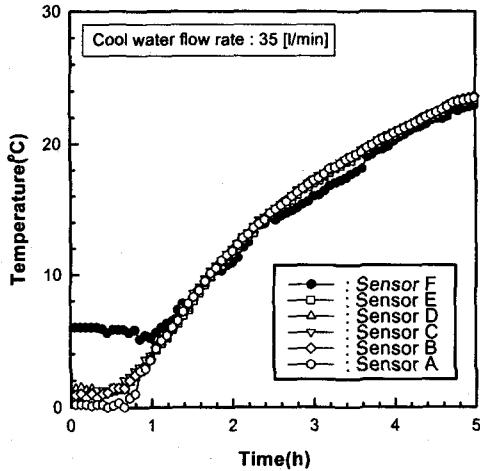


Fig. 6 Vertical water temperature distribution of new method in storage tank on discharging process.

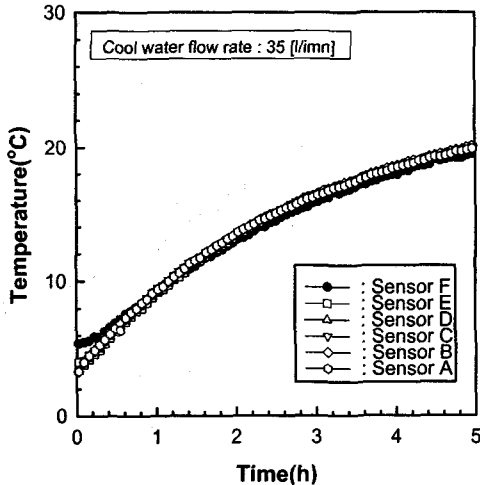


Fig. 7 Vertical water temperature distribution of conventional method in storage tank on discharging process.

거의 같아지는 경향을 나타내었다.

3.2 성능평가

Fig. 8은 두 방식에 있어 방냉시 부하측인 FCU의 입·출구 온도변화를 비교한 결과이다. 순환유량은 35 l/min이며, 새로운 방식의 경우에는 운전 약 65분까지는 FCU 출구온도는 거의 변화 없이 약 3.5℃ 정도로 운전되고 있다. 그리고 실험조건에서 설정한 이용한계온도 10℃에 이르는 시간은 약 100분 정도 지속되었다.

기존방식의 경우에는 동일조건에서 출구온도가 거의 선형적으로 증가하고 있다. 그리고 이용한계온도에 이르는 시간도 약 60분 정도로 새로운 방식에 비해 밀끔친 부분에 해당하는 만큼 정도 빨리 도달하고 있다. 이와 같은 현상은 부하측 용량에 따라 큰 차이가 발생할 것으로 판단된다.

Fig. 9는 2가지 방식으로 축냉 운전한 후 FCU에서의 방냉능력과 입·출구 온도차를 나타낸 것이다. 방냉능력은 FCU로 순환되는 냉수량과 입·출구 온도차로부터 계산하였다.

방냉능력과 온도차는 시간이 경과할수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 축열조의 축냉능력의 감소에 기인하는 것으로 FCU로 순환되는 냉수량에 따라 능력의 변화는 달라질 것으로 생각된다.

온도차는 새로운 방식은 초기 온도차가 약 2.5℃ 정도인데 비해 기존방식은 약 1.2℃로 새로운

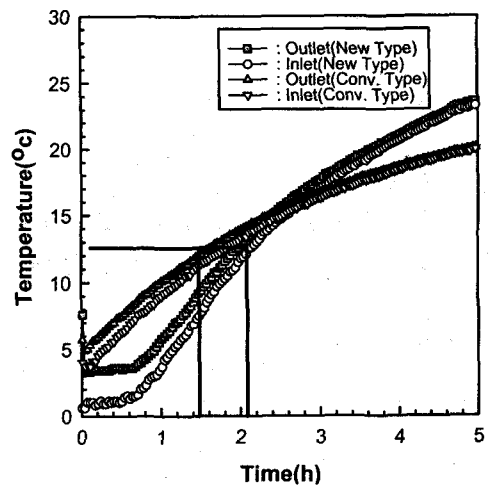


Fig. 8 Inlet and outlet temperature distribution of fan coil unite on discharging process.

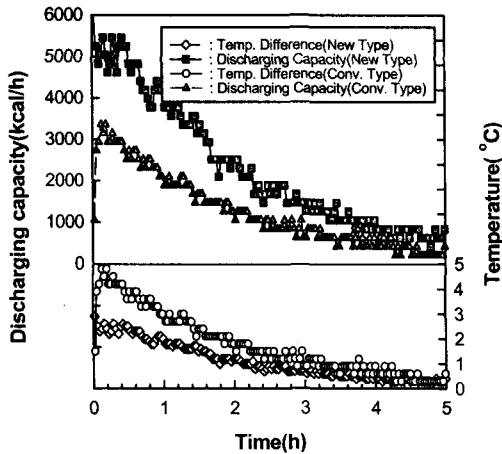


Fig. 9 Discharging capacity and temperature difference distribution of fan coil unit on discharging process.

방식이 더 크게 나타나고 있다. 이와 비례하여 방냉능력도 새로운 방식이 초기부터 5시간 방냉 완료까지 약 59%~62%정도 높게 나타나 새로운 방식이 더 우수함을 알 수 있다.

4. 결론

하베스트형 빙축열 시스템과 기존방식을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 중발기 출구 냉매온도를 탈빙 설정온도로 고정하고, 축냉시 축열조 내의 온도분포를 파악한 결과 새로운 방식의 경우 초기 탈빙이 발생하기 전에는 조 내 수직 온도분포가 현저하였으나, 초기 탈빙 이후에는 얼음의 용해열 흡수에 의해 계단형 온도분포를 나타내면서 혼합 대류현상과 하부로의 대류유동이 발생되었다.

2. 방냉시 축열조 내의 온도분포는 새로운 방식의 경우 방냉 초기에는 얼음의 잠열 흡수에 의해 최상부의 온도가 가장 낮고, 최하부가 가장 높게 나타났으며, 약 90분 정도까지는 거의 일정한 온도분포를 나타내었다. 그러나 기존방식에서는 방냉과 동시에 축열조 내의 온도분포는 미소하였으며, 시간경과에 따라 거의 선형적으로 증가하였다.

3. 이용한계온도를 10°C 정도로 설정하여 방냉시 부하측 FCU의 입·출구온도를 비교한 결과 새로운 방식에서는 FCU 출구온도가 3.5°C 정도로

온도변화가 없이 약 65분 정도 지속되었으며, 이용한계온도에 이르기까지 약 100분 정도가 소요되었다. 그러나 기존방식의 경우 출구수온은 선형적으로 증가하였으며, 이용한계온도에 이르기까지 시간도 약 60분 정도로 새로운 방식에 비해 약 40분 정도 빨리 도달하였다.

4. FCU의 방냉능력과 입출구 온도차는 방냉운전 5시간을 기준으로 약 59~62%정도 새로운 방식이 높게 나타났으며, 온도차도 약 1.3°C 정도 더 발생되어 수중에서 빙을 제조하는 새로운 방식이 우수함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 2000년 에너지절약기술 개발사업의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- (1) Akiyoshi Ohira, Michico Yanadori, 1999, "Ice melting characteristics of an ice thermal storage container filled with harvest ice", *Trans. of the JSRAE*, Vol. 1, pp. 77~88.
- (2) 中原崇文 外, 1993, 運轉データを反映した密閉多運式成層型蓄熱槽のシ實驗的設計法", *日本冷凍協會論文集*, Vol. 10, No. 2, pp. 239~246
- (3) Cheng, K. C. and Takeuchi, M, 1976, "Transient Natural Convection of Water in a Horizontal Pipe With Constant Cooling Rate Through 4°C", *J. Heat Transfer*, Vol. 98, pp. 581~587
- (4) 최인수, 김재돌, 윤정인, 1998, "수중 하베스트형 빙축열 시스템의 특성실험", *공기조화·냉동공학회 동계학술발표회 논문집(II)*, pp. 186~191.
- (5) 김재돌 윤정인, 1998, "빙축열재의 온도 및 유동특성", *공기조화·냉동공학회 하계학술발표회 논문집(II)*, pp. 997~1002