

수직원통형 빙축열조내 외향용융과정시 열전달특성에 관한 연구
 - 작동유체의 유동방향 및 축열조 형상비에 따른 열성능 비교 -

A study on the heat transfer characteristics during outward melting process of ice in a vertical cylinder

김 동 환*, 김 동 춘*, 김 일 경*, 김 영 기*, 임 장 순**
 D. H. Kim, D. C. Kim, I. G. Kim, Y. K. Kim, C. S. Yim

Key words : Phase change material(상변화 물질), Outward melting(외향용융), Maximum density(최대밀도), Range of Temperature stagnation(온도정체구간)

Abstract

During the day time in summer, peak of air conditing load, and electric power management system lies under overloaded condition. The reason is the enlarged peak load value of electric power caused by increased air-cooling load in summer. To prevent load concentration during day time and overloaded condition of power management system, some energy storage methods are suggested. One of these methods is ice storage system. Water has some good properties as P.C.M.(Phase Chang Material) : Its melting point is the range of required operation temperature. It has large specific latent heat and is chemically stable compared to other organic or inorganic substances. It is cheap and easy to treat.

This study represents experimental results of heat transfer characteristics of P.C.M. under the outward melting process in a vertical cylinder. We experimented with twelve combinations of conditions, i.e., three different inlet temperatures(7°C, 4°C and 1°C), two working fluid directions(upward and downward), and two aspect ratios, H/R(4 and 2).

At the inlet temperature of 7°C and 4°C, there was temperature stagnation region where the temperature of P.C.M. remains constant at 4°C regardless of aspect ratio and direction of working fluid. This tempereture stagnation occurs as the water, at its maximum density, flows down to the lower region. The phase change interface formed bell-shaped curve as the melting process continued.

With a new set of conditions(4H/R, inlet temperature 4°C and 1°C, downward/upwerd inlet direction), the movement of phase change interface was faster when the working

* 인하대학교 대학원

** 정회원, 인하대학교 기계공학과

flued inlet direction was downward. With the same set of conditions, melting rate and total melting energy were larger when the working fluid inlet direction was downward. The results were reversed when the other sets of conditions were applied.

기 호 설 명

C	: 상변화물질의 비열 [kJ/kg·°C]
E_1	: 미소체적에 대한 고상에서의 현열에너지 [kJ]
E_2	: 미소체적에 대한 잠열에너지 [kJ]
E_3	: 미소체적에 대한 액상에서의 현열에너지 [kJ]
E_{tot}	: 미소체적에 대한 상변화물질에 저장되는 열에너지 [kJ]
H	: 수직원통의 높이 [mm]
R	: 수직원통의 반경 [mm]
r	: 가열관과 수직원통 외벽과의 거리 [mm]
T	: 온도 [°C]
ΔV	: 미소체적 [mm ³]
x	: 반경방향의 길이 [mm]
Y	: 축방향의 길이 [mm]

그리스문자

ρ	: 밀도 [kg/m ³]
λ	: 단위질량당 잠열에너지 [kJ/kg]

하 첨 자

ini	: 초기치
inlet	: 유입
mel	: 용융점
ℓ	: 액상
s	: 고상

1. 서 론

열에너지 저장방법을 크게 두가지로 분류하면 단상물질을 축열매질로 사용하는 현열이용형 열에너지 저장방법과 상변화물질(P.C.M.; Phase Change

Material)을 축열매질로 사용하는 잠열이용형 열에너지 저장방법으로 나눌 수 있다. 특히, 잠열이용형 열에너지 저장방법은 일정온도에서 용융하고 응고하는 물질의 잠열을 이용하여 열에너지를 저장하는 방법으로 축열밀도가 크며 축열조의 부피가 작고 열손실이 적어 효율적인 열에너지 저장방법으로 알려져 있다.

잠열이용형 열에너지 저장방법은 냉방보다는 난방에 이용하기 위하여 연구되어 왔으나 근래에 들어서 여름철 냉방공조부하의 증가에 따르는 심야전력 이용형으로 적용되고 있다. 이것은 주간 냉방전력의 집중화를 방지하기 위해서 야간의 심야전력을 이용하여 전기에너지를 냉열에너지로 저장한후 주간에 냉방열원으로 사용하는 열에너지 저장방법이다. 이에 대표적인 잠열이용형 열에너지 저장방법으로 물을 축열매질로 사용하는 빙축열시스템에 대한 연구 및 활용방안이 최근 활발히 전개되고 있다^{(1)~(6)}.

빙축열시스템의 축열매질로써 물은 용융온도가 요구되는 사용 온도범위 내에 있으며 단위 체적당 잠열량이 크고 화학적으로 안정되어 사이클 반복시 상분리현상이 일어나지 않는다. 또한 취급이 용이하고 가격이 저렴하여 축열매질로써의 구비해야 할 조건을 만족시키고 있다. 그러나 여타의 유·무기 무기질과는 달리 액상밀도값이 고상밀도값보다 커 동일질량에 대하여 응고체적이 용융체적보다 크다. 그리고 물의 최대밀도점은 4°C에서 형성되어 물의 초기온도 및 가열 벽면온도가 4°C 이상 혹은 이하인 조건에 따라 상변화과정시 액상내에서 물의 온도에 따른 밀도차에 의해 자연대류가 발생하고 상경계면이 시간에 따라 변하는 복잡한 전열특성을 나타낸다.

이에 본 연구에서는 수직원통형 빙축열조에서 수직원관으로 유입되는 작동유체의 유입방향을 상향과 하향으로 변화시키며 얼음을 외향용융시켰을 때 축열조 내부의 온도분포, 상경계면의 형상 등을 실험적으로 규명하고 용융에너지를 계산한후, 이를

비교·검토하여 빙축열시스템의 효율개선에 유용한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 계산식

물의 비열값 및 밀도값은 온도변화에 대하여 다른 값을 갖게 되므로 온도에 따른 얼음의 값은 Laplaca등⁽⁷⁾이 제시한 식(1)을, 그리고 비열값은 Sugisaki등⁽⁸⁾이 제시한 식(2)로써 각각 나타내었다. 그리고 온도에 따른 물의 밀도값은 B. Gebhart⁽⁹⁾가 제시한 식(3)을 사용하여, 비열값은 Frank⁽¹⁰⁾가 제시한 값인 식(4)를 이용하여 그 평균값으로 계산하였다.

$$\rho_s = 916(1 - 1.17 \times 10^{-4}T), \quad -140^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$C_s = 0.185 + 0.689 \times 10^{-2}(T + 273), \quad -183^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

$$\rho_l = 999.9720(1 - 9.2972 \times 10^{-6} |T - 4.0293|^{1.8945}), \quad 0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 20^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

$$C_l = 4.200 \sim 4.210 \quad 0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 10^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

온도가 측정된 지점에서 각각의 미소체적을 ΔV 라 하고 수직원통내 고상에서 비열값과 밀도값을 각각 C_s, ρ_s , 단위질량에 대한 잠열에너지를 λ , 액상에서의 비열값과 밀도값을 각각 C_l, ρ_l 로 나타내었다. 그리고 각각 지점에서의 측정온도를 T , 초기 과냉온도를 T_{in} , 용융점 온도를 T_{m1} 로 표시할 때 용융에너지를 계산하는데 있어서 아래와 같은 식을 이용하여 신출하였다. 식(5)에서의 E_1 은 고상인 얼음이 초기온도에서 측정온도까지 상승될 때 현열에너지이며 식(6)에서의 E_2 는 상변화될 때의 잠열에너지를 나타내며 식(7)에서의 E_3 은 액상인 물이 상변화온도에서 측정온도까지 상승될 때 현열에너지를 나타낸다. 미체적에 대한 용융에너지 E_{tot} 는 식(8)에서 보논바와 같이 측정지점에서의 상변화물질에 대하여 E_1, E_2, E_3 를 전부 고려하여 계산하였고 전체적인 용융에너지는 각 미소체적에 대한 용융에너지를 구하여 이를값을 합한 값이다.

$$E_1 = \rho_s C_s (T - T_{in}) \Delta V \quad (5)$$

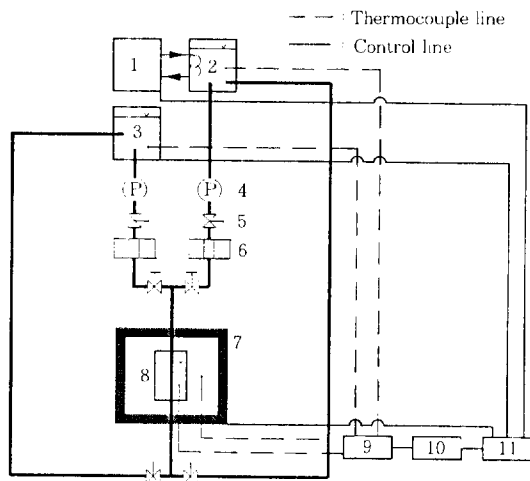
$$E_2 = \lambda \rho_l \Delta V \quad (6)$$

$$E_3 = \rho_l C_l (T - T_{m1}) \Delta V \quad (7)$$

$$E_{tot} = E_1 + E_2 + E_3 \quad (8)$$

3. 실험장치 및 방법

Fig. 1에서 보는 바와 같이 실험장치의 주요부로는 수직원통형 빙축열조, 실험수행시 열손실을 최소화하기 위해 주위와 빙축열조를 단열시켜 주는 항온시스템(isothermal system), 빙축열조내 상온의 물을 초기 과냉온도인 -10°C 로 응고시키기 위한 냉동장치가 있으며, 그 밖에도 입구구에서 작동유체의 입구온도를 제어해주는 온도 조절장치, 빙축열조내 상변화물질의 온도를 측정하는 온도 측정장치와 측정된 온도를 기록하는 온도 기록장치 등이 있다.



- 1. Brine chiller
- 2. Cooling chamber
- 3. Melting chamber
- 4. Circulation pump
- 5. Fluid control valve
- 6. Magnetic flowmeter
- 7. Isothermal system
- 8. Test section
- 9. Data logger
- 10. P.C.(Data acquisition system)
- 11. Thermo controller

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

본 실험에서 축열조의 외통에는 얼음의 용융과정 시 상경계면 형상의 가시화를 위하여 내경 100mm, 길이 250mm, 두께 3mm의 파이렉스(pyrex)제질의 유리관을 사용하였고 축열조 가운데로 내경이 20mm 이고 두께가 1mm인 동제질의 수직원관을 장착하여 작동유체가 축열조 중심으로 흐를 수 있도록 하였다. 항온시스템에는 아크릴 판(acrylic plate)으로 제작한 축열조 크기의 창(window)을 제작하여 전면으로부터 할로겐(halogen) 광원을 사용하여 캠코더(camcorder)로써 일정시간마다 상경계면의 형상을 촬영·기록하였다. 축열조 형상비(H/R)가 각각 4와 2일 경우, 반경(R)이 50mm인 축열조내 200, 100mm에 해당하는 높이(H)까지 순수한 물을 채우고 -10°C 의 초기 과냉온도로 응고시킨 후, 입구온도가 각각 7°C , 4°C , 1°C 인 작동유체[에틸렌 글리콜(ethylene glycol) 50wt% + 증류수 50wt%]를 가열관을 통해 각각 상향과 하향으로 유입시켜 용융실험을 수행하였다. Fig.2에서 보는

바와 같이 축열조내의 온도 측정점은 축열조 형상비가 4일 경우 각각 반경방향으로 5, 15, 25, 35 mm에 대하여 축방향으로 10, 40, 70, 100, 130, 160, 190mm인 지점에서, 축열조 형상비가 2일 경우에 대해서는 각각 반경방향으로 5, 15, 25, 35 mm에 대하여 축방향으로 5, 35, 65, 95mm인 지점에서 축열조내 상변화물질의 온도분포를 자료획득 장치(fluke 2280B)를 통하여 측정하고 컴퓨터에 기록하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 축열조내 온도분포

축열조 형상비가 4이고 작동유체의 입구온도가 7°C 일 때 유입방향이 상향과 하향인 경우의 온도를 Fig.3에 나타냈다. 축열조내 각각의 축방향의 지점에서는 일정시간 동안의 잠열구간을 거쳐 온도가 상승하였으며 상부($y/H=0.95$)로 갈수록 잠열

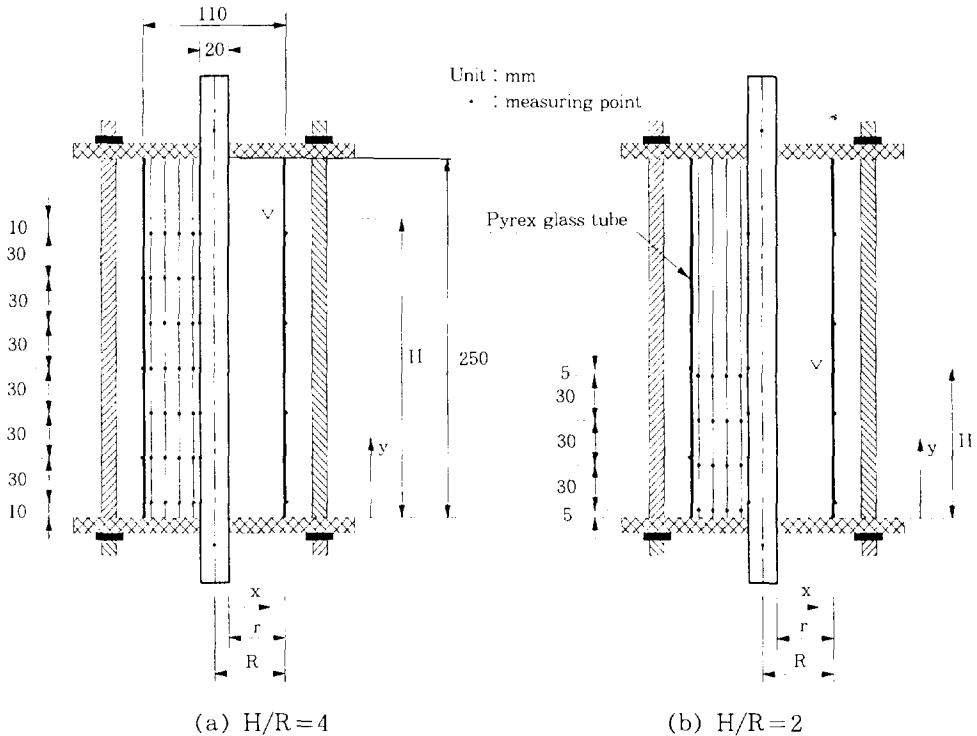
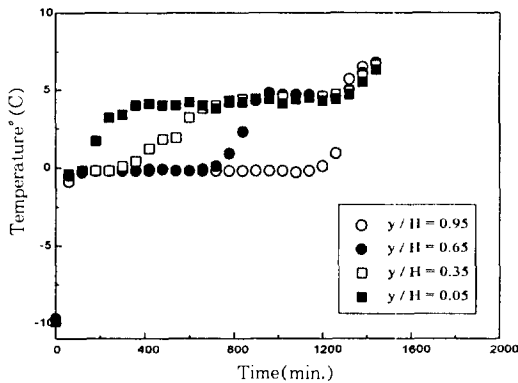
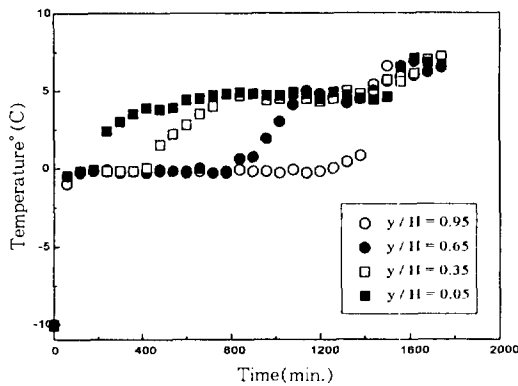


Fig.2 Thermocouple positions in the test section



(a) upward flow



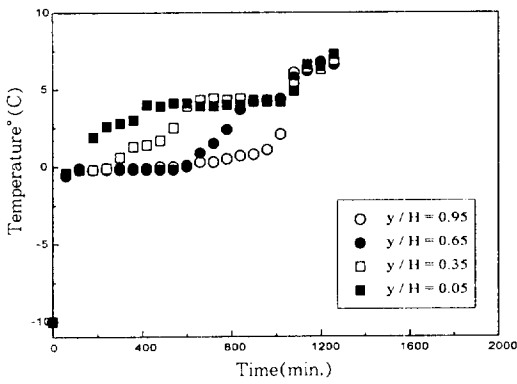
(b) downward flow

Fig.3 Temperature profiles at the different position of y/H ($x/r=0.375$, $T_{inlet}=7^{\circ}C$, $H/R=4$)

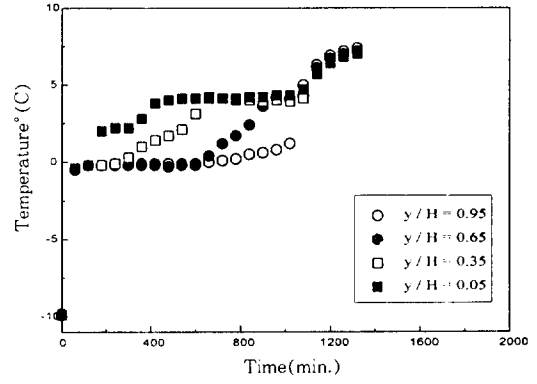
구간은 길게 나타났다. 또한 작동유체의 유입방향에 관계없이 중앙부($y/H=0.65, 0.35$)와 하부($y/H=0.05$)에서는 $4^{\circ}C$ 부근에서 온도가 더 이상 상승하지 않는 온도정체구간이 나타났다. 이는 용융된 물의 온도가 최대밀도점인 $4^{\circ}C$ 로 상승함에 따라 다시 축열조 하부로 유동하기 때문이라 사료된다. 시간이 경과됨에 따라 가열관에서 전달되는 열에너지는 액상의 현열에너지로 사용됨으로써 상부를 제외한 각 지점의 온도는 온도정체구간을 지나 작동유체의 입구온도에 도달하였다. 작동유체가 상향으로 유입되는 경우가 하향으로 유입되는 경우보다 온도상승이 빠르게 나타났다. 이는 상향의 경우

에 입구온도의 영향으로 가열관에 접하는 가열관 부근의 액상 하부온도가 최대밀도점 온도인 $4^{\circ}C$ 이상으로 상승됨에 따라 밀도가 낮아진 축열조 하부의 물은 상부로 유동하게 되는 밀도역전현상이 발생하여 액상에서의 자연대류가 활발하게 일어나기 때문에 사료된다. 그러나 하향인 경우 가열관에 접하는 가열관 부근의 액상 상부온도는 입구온도의 영향을 받게 되고 $4^{\circ}C$ 에 접근하게 된다. 이때 밀도가 높아진 축열조 상부의 물은 축열조 하부로 유동하게 되지만 축열조 상부는 하부에서 올라온 저온의 물로 인하여 낮은 온도를 유지함에 따라 상향인 경우에 비해 온도는 서서히 증가하게 된다. 축열조 형상비가 4이고 작동유체의 입구온도가 $4^{\circ}C$ 인 경우, 유입방향에 관계 없이 최대밀도점 온도이자 입구온도인 $4^{\circ}C$ 부근에서 온도정체구간이 나타났다. 그러나 시간이 경과되면서 전열면에 의한 영향보다는 작동유체 입구온도의 영향으로 인해 하향인 경우의 온도가 상향인 경우보다 빠르게 상승된다.

Fig.4는 축열조 형상비가 2일 때 작동유체의 입구온도가 $7^{\circ}C$ 이고 유입방향이 각각 상향과 하향인 경우, 상변화물질의 온도를 시간경과에 따라 나타낸 것이다. 작동유체의 유입방향이 상·하향인 경우 모두 최대밀도점 온도인 $4^{\circ}C$ 부근에서 온도정체구간이 나타났으며 유입방향이 상·하향인 경우의 온도분포가 거의 같게 나타났다. 이는 축열조 형상비가 4인 경우와는 달리 가열관의 길이가 짧아짐에 따라 축열조내 액상인 상변화물질의 상부와 하부의 온도차가 작기 때문에 이에 대한 자연대류 유동속도가 상대적으로 큰 차이를 보이지 않기 때문이라 사료된다. 축열조 형상비가 2이고 작동유체의 입구온도가 $4^{\circ}C$ 인 경우, 마찬가지로 $4^{\circ}C$ 에서 온도정체구간이 나타났으나 시간이 경과됨에 따라 상향인 경우가 하향인 경우보다 온도가 약간 빠르게 상승되었다. 이는 축열조 형상비가 4인 경우와는 달리 가열관의 길이가 짧아짐에 따라 자연대류의 영향보다는 용융된 물이 축열조 하부에 적체됨에 따라 축열조 하부에서 액상인 상변화물질과 가열면이 접하게 되어 가열관으로부터 축열조내 상변화물질로의 열전달이 활발하게 일어나는 것이 원인이라 사료된다. 작동유체의 입구온도가 $1^{\circ}C$ 인 경우, 각각 작동



(a) upward flow



(b) downward flow

Fig.4 Temperature profiles at the different position of y/H
($x/r=0.375$, $T_{inlet}=7^{\circ}C$, $H/R=2$)

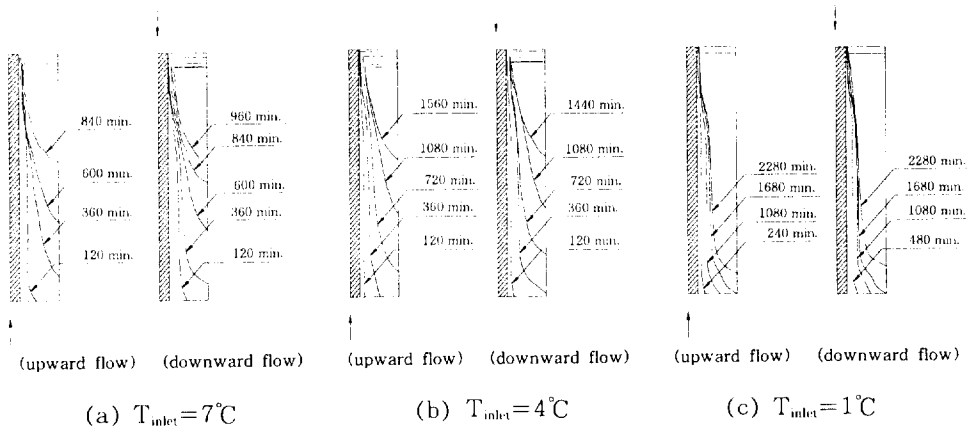


Fig.5 Timewise variations of solid-liquid interfaces($H/R=4$)

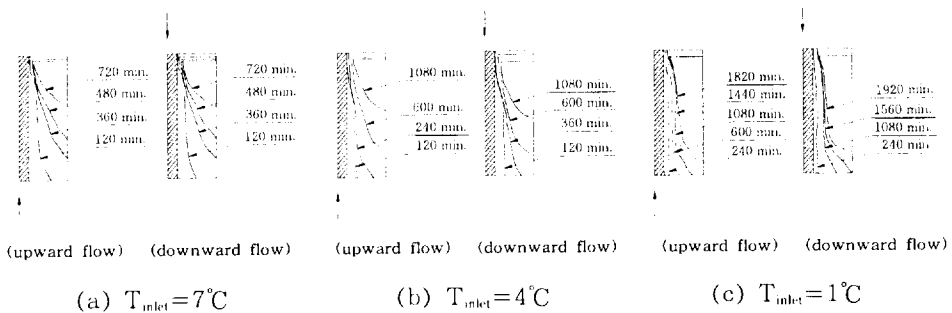


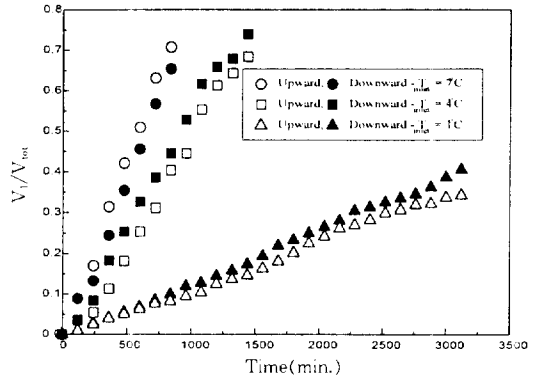
Fig.6 Timewise variations of solid-liquid interfaces($H/R=2$)

유체의 유입방향에 대해 축열조 형상비에 관계없이 전도열전달의 지배적인 영향으로 온도특성은 매우 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

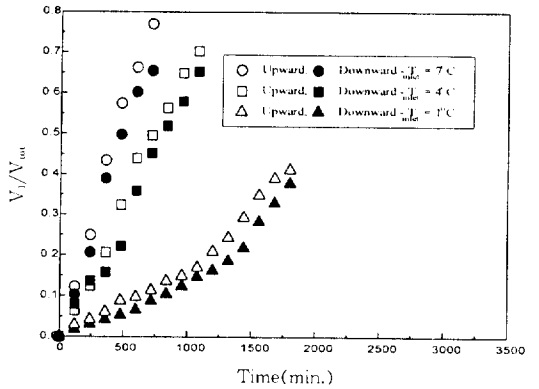
4.2 용융형상과 용융율

Fig.5와 Fig.6은 축열조 형상비가 각각 4와 2인 경우에 각각의 작동유체 입구온도 조건에서 시간경과에 따른 상경계면의 형상변화를 그림으로 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 용융이 진행됨에 따라 고상인 얼음이 액상인 물로 상변화되면서 얼음과 물의 밀도차에 의해 물은 축열조 하부에 적체되며 얼음은 부양하게 된다. 그리고 축열조 하부에 적체된 물은 축열조 하부에서의 용융을 활발하게 진행시킴으로써 전체적인 상경계면은 작동유체의 유입방향에 관계없이 종모양의 곡선을 나타내고 있다. 시험초기에는 전도의 지배적인 영향으로 상경계면 전진속도는 각각 작동유체의 입구온도가 7°C일 때에는 시간이 경과함에 따라 유입방향이 상향인 경우가 하향인 경우보다 상경계면 전진이 빠르게 진행되는 것으로 나타났으나, 입구온도가 각각 4°C와 1°C인 경우에는 유입방향이 하향인 경우가 상향인 경우보다 상경계면의 전진속도가 빠르게 나타났다. 축열조 형상비가 2인 경우, 각각의 작동유체 입구온도 조건에 대하여 작동유체의 유입방향이 상향인 경우가 하향인 경우보다 상경계면이 빠르게 전진하는 것으로 나타났다.

Fig.7은 축열조 형상비가 각각 4와 2인 때의 용융율(V_c/V_m)의 변화를 나타낸 것이다. 축열조 형상비가 4이며 작동유체의 입구온도가 7°C인 경우, 앞에서 설명한 자연대류의 영향으로 작동유체의 유입방향이 상향인 경우가 하향인 경우보다 용융 진행속도가 빠른 것으로 나타났다. 그러나 작동유체의 입구온도가 4°C와 1°C인 경우, 용융이 진행됨에 따라 작동유체의 유입방향이 하향인 경우가 상향인 경우보다 용융이 빠르게 진행된다. 이는 유입방향이 하향인 경우에 입구온도의 영향으로 인하여 축열조내 액상 상부에서의 온도가 상향인 경우보다 높은 온도를 유지하기 때문이라 사료된다. 축열조 형상비가 2인 경우에는 축열조 형상비가 4인 경우에 비해 가열관이 짧아짐에 따라 상부와 하부



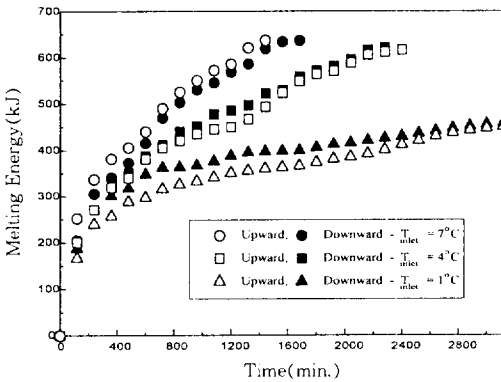
(a) H/R = 4



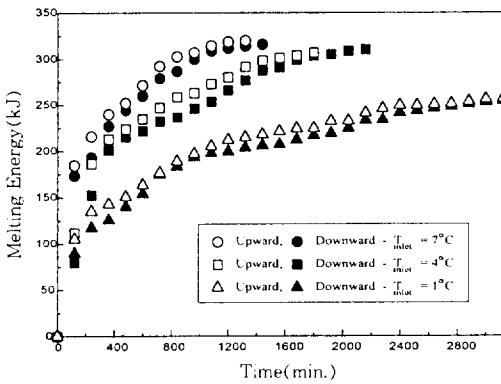
(b) H/R = 2

Fig.7 Timewise variations of the rate of melting

의 밀도차에 의한 자연대류에 의한 영향보다는 축열조 하부에서 가열관과 접하게 되는 액상으로서의 열전달에 의한 영향이 더욱 지배적이기 때문에 각각의 작동유체 입구온도 조건에 대하여 유입방향이 상향인 경우가 하향인 경우보다 용융율이 빠르게 증가되는 것으로 나타났다. 작동유체의 입구온도가 동일한 경우라도 축열조 형상비가 2인 경우가 4인 경우보다 용융 진행 속도가 빠른 것은 축열조 형상비가 작을수록 가열관의 길이가 짧아짐에 따라 축열조 형상비가 2인 경우가 4인 경우보다 가열관 벽면 온도조건이 등온조건에 보다 가까워지기 때문이라 생각된다.



(a) H/R=4



(b) H/R=2

Fig.8 Timewise variations of melting energy during melting process

4.3 용융에너지

Fig.8은 축열조 형상비가 각각 4와 2일 때의 용융에너지 변화를 나타낸 것으로 용융에너지는 용융 초기에 전도의 지배적인 영향으로 빠르게 증가하는 것으로 나타났으나, 시간이 경과함에 따라 그 증가율이 서서히 둔화되었다. 축열조 형상비가 4인 경우, 용융에너지는 작동유체의 입구온도가 7°C일 때 유입방향이 상향인 경우가 하향인 경우보다 빠르게 증가하는 것으로 나타났으나, 입구온도가 4°C와 1°C의 경우에는 7°C와는 달리 유입방향이 하

향인 경우가 상향인 경우보다 빠르게 증가하는 것으로 나타났다. 축열조 형상비가 2일 때의 용융에너지는 작동유체의 입구온도가 각각 7°C, 4°C, 1°C인 경우, 모두 앞에서 논의된 이유로 인하여 작동유체의 유입방향이 하향인 경우보다 상향인 경우에 빠르게 증가하는 것으로 나타났다.

5. 결론

1) 작동유체의 입구온도가 7°C, 4°C인 경우, 작동유체의 유입방향과 축열조 형상비에 관계없이 최대밀도점 온도인 4°C 부근에서 온도가 일정시간 동안 상승하지 않는 온도정체구간이 존재한다.

2) 축열조 형상비가 4이고 작동유체의 입구온도가 7°C인 경우, 유입방향이 상향인 경우가 하향인 경우보다 축열조 상부에서의 온도상승이 빠르게 진행된 반면, 입구온도가 4°C와 1°C인 경우, 하향인 경우가 상향인 경우보다 빠르게 나타났다. 그러나 축열조 형상비가 2인 경우의 온도상승은 모든 경우에 대하여 유입방향이 상향인 경우가 하향인 경우보다 빠르게 진행되었다.

3) 모든 경우에 대하여 축열조 하부에 적체된 물로 인해 하부에서의 용융이 활발히 진행되어 상경계면은 전체적으로 종모양의 곡선을 나타내고 있다.

4) 축열조 형상비가 4이고 작동유체의 입구온도가 7°C인 경우, 용융율과 용융에너지는 작동유체의 유입방향이 상향인 경우가 하향인 경우보다 빠르게 증가한 반면, 작동유체의 입구온도가 4°C, 1°C인 경우는 7°C의 경우와는 달리 하향인 경우가 상향인 경우보다 빠르게 증가하였다. 그러나 축열조 형상비가 2인 경우, 용융율과 용융에너지는 작동유체의 입구온도가 7°C, 4°C, 1°C인 모든 경우에서 상향인 경우가 하향인 경우보다 빠르게 증가하는 것으로 나타났다. 시간경과에 따른 용융에너지의 변화는 용융 초기에 전도의 지배적인 영향으로 빠르게 증가하는 것으로 나타났으나, 이후 시간이 경과함에 따라 그 증가율이 서서히 둔화되었다.

후 기

본 연구는 1995년도 한국과학재단(특정연구과제 : 94-0200-10-01-3)의 연구비 지원에 의하여 그 일부가 수행되었다.

참 고 문 헌

1. Chen, S. L. and Yue, J. S., 1991, "Water Thermal Storage with Solidification", Heat Recovery System & CHP, Vol. 13, No. 1, pp. 79~99.
2. Ro, S. T., 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.
3. Fukusako, s. and Yamada, M., 1993, "Some Topics on Melting Heat Transfer Problems", 4th Int. Symposium on Thermal Engineering & Science for Cold Regions, New Hampshire, pp. 3~16.
4. Yoshiyuki, K., 1994, "球力プヤ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.
5. Yoshiyuki, K., 1994, "球力プヤ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. 944~948.
6. 김영인, 1989, "공조용 축열시스템 개발 (II)", 과학 기술처.
7. Laplaca, S. J. and Post, B., 1960, "Thermal Expansion of Ice", Acta Crystallogr., Vol. 13, pp. 503~505.
8. Sugisaki, M., Suga, H. and Seki, S., 1968, "Calorimetric Study of the Glassy State. IV. Heat Capacities of Glassy Water and Cubic Ice", Bull. Chem. Soc. Japan, Vol. 41, pp. 2591~2599.
9. Gebhart, B., "A New Density Relation for Pure and Saline Water", Deep Sea Res., Vol. 24, pp. 831~848.
10. Frank, P. I., 1990, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer(3rd)", Wiley.