[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 11, No. 2, 1991

$C_{28}H_{58}$과 $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$의 전열특성 및 축열성능 비교에 관한 연구

임 장 순 · 김 준 근* · 조 남 철* · 김 영 기*

인하대학교
인하대학교대학원*

A Study on Comparison of Heat Transfer Characteristic and Heat Storage Capability of $C_{28}H_{58}$ and $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$

Chang Soon Yim · Jun Keun Kim* · Nam Cheol Cho* · Young Ki Kim*

Inha Uni.
Graduate School, Inha Uni.*

요 약

본 연구는 상변화물질로써 용융점온도가 62℃인 파라핀($C_{28}H_{58}$)과 용융점온도가 79℃인 피로인산나트륨($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$)을 사용하여 축열 및 방열과정 시 잠열축열조 내에서 각 상변화물질의 시간경과에 따른 온도특성 및 열전달현상을 실험적으로 규명한 것으로 각 상변화물질의 온도분포와 축열량 및 방열량을 계산하고 이를 비교, 검토한 것이다.

파라핀의 경우 축열과정초기에 자연대류 열전달현상으로 인하여 온도가 서서히 증가하는 반면 피로인산나트륨의 경우는 전도 열전달현상의 지배적인 영향으로 인하여 축열과정초기에 온도가 급격히 증가하는 형태로 나타났다.

또한 축열 및 방열과정 시 파라핀의 경우 tube의 상하부벽면에서의 온도변화와 중심부의 온도변화가 큰 차이를 보였으나 피로인산나트륨의 경우 tube의 상하부 벽면에서의 온도와 중심부에서의 온도는 큰 차이를 나타내지 않았다.

그리고 축열과정 시 동일질량에 대한 각 상변화물질의 축열량은 파라핀보다 피로인산나트륨이 약 16%정도 많은 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Heat transfer phenomena and temperature characteristics in heat storage and release process in the heat storage system using PCM(Phase Change material) were studied

experimentally. The melting points of Octacosane paraffin($C_{28}H_{58}$) and sodium pyrophosphate decahydrate($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) used for phase change materials are 62℃ and 79℃ respectively.

Experiments were performed in order to investigate temperature distributions, the heat storage quantity and the release quantity on octacosane paraffin and sodium pyrophosphate decahydrate for heat storage and release in the heat storage system. Furthermore the comparison of these characteristics between paraffin and $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ were evaluated.

In case of the paraffin, temperature slowly increased at early heat storage process by natural convection, while temperature of $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ rapidly increased the dominant role played by conduction at early heat storage processing.

Also, during the heat storage and release process in case of the paraffin, it was observed that the variation of temperature of the neighborhood of wall and center in the top and bottom of the tube exhibited a great difference, however in $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$, it was observed that the variation of temperature exhibited a little difference. And heat storage quantity of each PCM of identity mass in heat storage process was shown that $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ exhibited more by 16 percents than paraffin.

NOMENCLATURE

C_{liq} : Specific heat in the liquid phase(kcal/kg℃)
C_{sol} : Specific heat in the solid phase(kcal/kg℃)
H : Height of PCM in the tube(mm)
H_p : Height of PCM($C_{28}H_{58}$) in the tube(mm)
H_s : Height of PCM($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) in the tube(mm)
M_{liq} : Melted mass(kg)
M_{sol} : Frozen mass(kg)
M_{tot} : Total mass of phase change material(kg)
R_i : Radius of the test tube(mm)
T : Temperature(℃)
T_c : Cooling temperature of Heat transfer fluid(℃)
T_h : Heating temperature of Heat transfer fluid(℃)
T_i : Initial temperature of PCM(℃)
T_{in} : Inlet temperature(℃)
T_m : Melting temperature(℃)
T_b : Mixed mean temperature of the liquid and solid(℃)
Q : Mass flow rate of heat transfer fluid(ℓ/min.)
Q_{s1} : Sensible heat stored in the solid(kcal/kg)
Q_{s2} : Sensible heat stored in the liquid(kcal/kg)
Q_{s3} : Sensible heat stored in the solid which remained unmelted(kcal/kg)
Q_{s4} : Sensible heat released from the solid(kcal/kg)
Q_{s5} : Sensible heat released from the liquid(kcal/kg)
Q_{s6} : Sensible heat released from the liquid which remained unfrozen(kcal/kg)
Q_{tot} : Total heat stored or total heat released(kcal/kg)
$Q_{\lambda 1}$: Heat absorbed at melting(kcal/kg)
$Q_{\lambda 2}$: Heat released at freezing(kcal/kg)
X : Coordinate measured horizontally from the left-vertical wall of the tube
Y : Coordinate measured vertically from the bottom(base) of the tube

GREEK SYMBOL

ρ : Density(kg/m^3)
λ : Latent heat of fusion(kcal/kg)
ΔT : Temperature difference, $|T_i - T_{in}|$ (℃)

SUBSCRIPT

i : Initial
liq : Liquid phase
sol : Solid phase
max: Maximum value
tot : Total

1. 서 론

최근에 들어서 우리나라와 같이 에너지 부존자원이 거의 없는 국가에서는 태양열, 지열, 풍력, 조력 등과 같은 대체에너지 이용기술의 개발과 잉여전력의 효율적인 사용, 폐열의 재활용등 에너지이용에 대한 기술개발이 요구되고 있다.

이러한 에너지 사용에 관한 기술개발 중 대체에너지의 활용에 있어서는 에너지 공급량 및 에너지 밀도가 시간에 따라 크게 변화하므로 각 에너지원을 규칙적이고 지속적인 에너지원으로 변환 시켜주기 위한 열에너지의 저장기술의 개발이 절실한 문제로 대두되고 있으며, 이에 관한 많은 국·내외의 연구들이 진행되고 있다.

열에너지를 저장하는 방법으로는 단상물질을 축열 매질로 하는 현열이용형 열에너지를 저장방법과 상변화물질(Phase Change Material : PCM)을 축열매질로 사용하여 물질의 잠열을 이용하는 잠열이용형 열에너지 저장방법 등이 있다. 이 중 잠열이용형 열에너지 저장방법이 단위무게당 축열밀도와 열효율이 비교적 높고 축열 및 방열이 거의 일정한 온도에서 이루어지므로 현열 이용형 열에너지 저장방법보다 효율적인 축열방법으로 주목받고 있다.

잠열을 이용하는 열에너지 저장에 관한 연구 경향으로는 단일 실린더형 축열조[1,2,4,5,6] 또는 여러개의 관이 들어있는 축열조[3,7,8,10,11,12]내에 충전된 상변화물질의 열저장과 열회수시 열전달특성에 관한 연구보고들이 실험적인 방법[1,2,4,5,6,8,12]과 수치해석적인 방법[1,3,6,9,10,11]으로 수행되어 그 결과들이 발표되고 있으나 실질적인 축열장치를 설계하기 위한 기초자료로 이용하기에는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 잠열이용형 축열장치에 대한 축열효율을 증대시키고 실질적인 축열장치에 적용할 수 있는 기초설계자료를 얻고자 유기화합물계인 파라핀($C_{28}H_{58}$)과 무기염수화물계인 피로인산나트륨($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$)을 상변화물질로 사용하여 잠열축열조 내에서의 온도특성 및 열전달현상을 실험적으로 규명하고 축열 및 방열 성능을 구하고자 시간경과에 따른 각 상변화물질의 온도분포와 축열량 및 방열량을 비교·검토하였다.

2. 이론적 고찰

축열과정 중 상변화물질에 축열되는 열량을 산출할 경우 상변화물질이 초기온도(T_i)로부터 용융점온도(T_m)까지 상승될 때 축열되는 현열량(Q_{s1}), 상변화 시의 잠열량($Q_{\lambda 1}$), 용융된 상변화물질이 용융점온도 이상으로 가열될 때 축열되는 현열량(Q_{s2}), 고상으로 남아있는 상변화물질이 혼합평균온도(T_b)까지 가열될 때 축열되는 현열량(Q_{s3})등 4가지 특성의 열량으로 나누어 계산할 수 있다.

용융된 상변화물질의 질량을 M_{liq}, 고상상태의 평균비열을 C_{sol}이라 하면, 상변화물질의 초기온도(T_i)에서 용융온도(T_m)까지 가열될때 축열되는 현열량은

$$Q_{s1} = M_{liq} \cdot C_{sol} \cdot (T_m - T_i)$$

이며, 용융잠열을 λ라 하면 상변화 시 축열되는 잠열량은

$$Q_{\lambda 1} = \lambda \cdot M_{liq}$$

이다. 용융된 상변화물질이 용융점온도 이상인 가열수온도(T_h)까지 가열될 때 축열되는 현열량은

$$Q_{s2} = M_{liq} \cdot C_{liq} \cdot (T_h - T_m)$$

이며, 여기서 C_{liq}은 액상상태의 평균비열, T_m은 상변화물질의 용융점온도, T_b는 용융된 상변화물질의 평균온도를 나타낸다.

또한 고상으로 남아있는 상변화물질을 혼합평균온도 T_b까지 가열함으로써 축열되는 현열량은

$$Q_{s3} = M_{sol} \cdot C_{sol} \cdot (T_b - T_i)$$

이다. 따라서 축열되는 총열량 Q_{tot}는

$$Q_{tot} = Q_{\lambda 1} + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

가 된다. 반면 방열과정 중 상변화물질에서 방열되는 열량을 산출할 경우 축열과정에서와 같은 방법을 이용하여 계산하면 다음과 같다.

응고된 상변화물질의 질량을 M_{sol}, 액상상태의 평균비열을 C_{liq}이라 하면, 상변화물질의 초기온도(T_i)에서 용융온도(T_m)까지 냉각될 때 방열되는 현열량은

$$Q_{s4}=M_{liq} \cdot C_{liq} \cdot (T_i-T_m)$$

이며, 용융잠열을 λ라 할때 상변화 시 방출되는 잠열량은

$$Q_{\lambda 2}=\lambda \cdot M_{sol}$$

이다. 또한 응고된 상변화물질이 용융점온도(T_m) 이하로 냉각될 때 방열되는 현열량은

$$Q_{s5}=M_{sol} \cdot C_{sol} \cdot (T_m-T_b)$$

이며, 또한 액상으로 남아있는 상변화물질이 혼합 평균온도까지 냉각될 때 방열되는 현열량은

$$Q_{s6}=M_{liq} \cdot C_{liq} \cdot (T_i-T_b)$$

이다. 따라서 용융된 상변화물질로부터 초기온도까지의 온도분포에서 방출되는 총열량 Q_{tot}는

$$Q_{tot}=Q_{\lambda 2}+Q_{s4}+Q_{s5}+Q_{s6}$$

와 같다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험 장치

본 실험에서 사용된 실험장치의 개략도와 실험용 잠열축열조의 상세도는 Fig.1과 Fig.2에 나타내었다.

상변화물질의 가열 및 냉각 실험을 실시하기 위하여 고온항온조 내에 가열시 열원으로 3KW의 전기히터를 내장하였고 30rpm의 저속 모터를 사용하여 항온이 유지되게 교반시켰다. 또한 실험용 잠열축열조 내 상변화물질의 온도평형을 위하여 3KW 전기히터를 내장한 중온항온조를 30rpm의 저속모터를 이용하여 일정온도로 가열한 후 순환펌프(한일 pump PDB-86)를 통해 축열조 내부에서 온도평형이 이루어질 때까지 물을 순환시켰다. 항온조와 실험용축열조, 연결관 및 연결고무호수등은 열의 방출을 막기 위하여 단열재를 이용하여 단열시켰다.

실험용 잠열축열조는 내경 320㎜, 높이 410㎜, 두께 10㎜이며 재질은 아크릴 수지이다. 작동유체의 입·출구는 상부와 하부에 각각 위치하였으며, 덮개는 플렌지형태로 만들어 고무판을 사이에 끼운 후 볼트와 너트로 조여 밀봉시켰다.

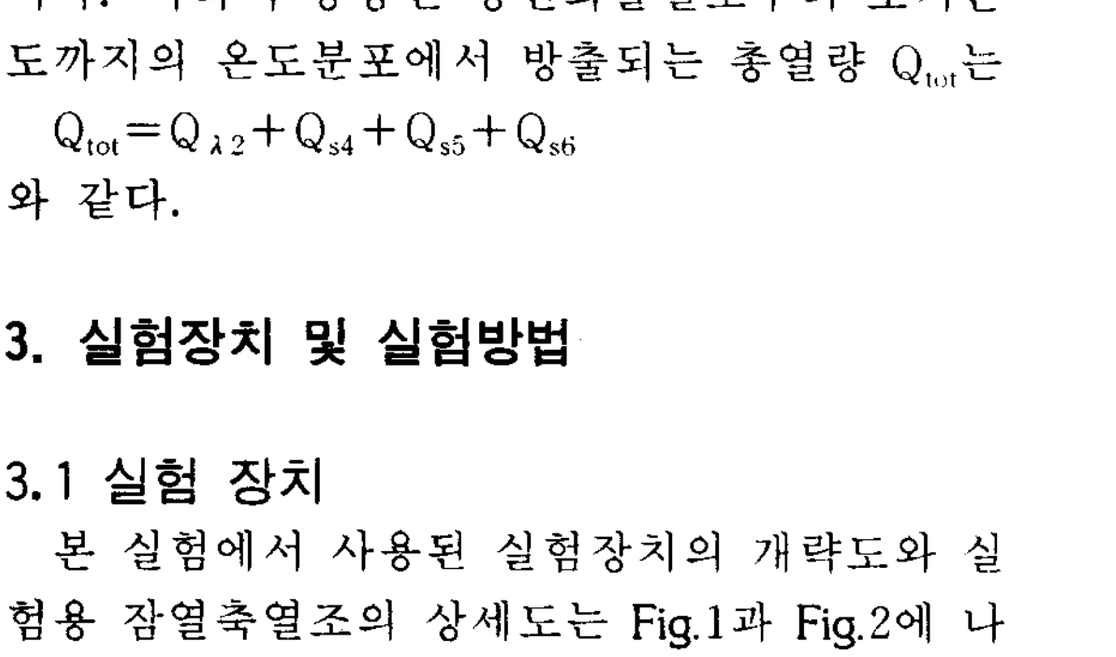

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

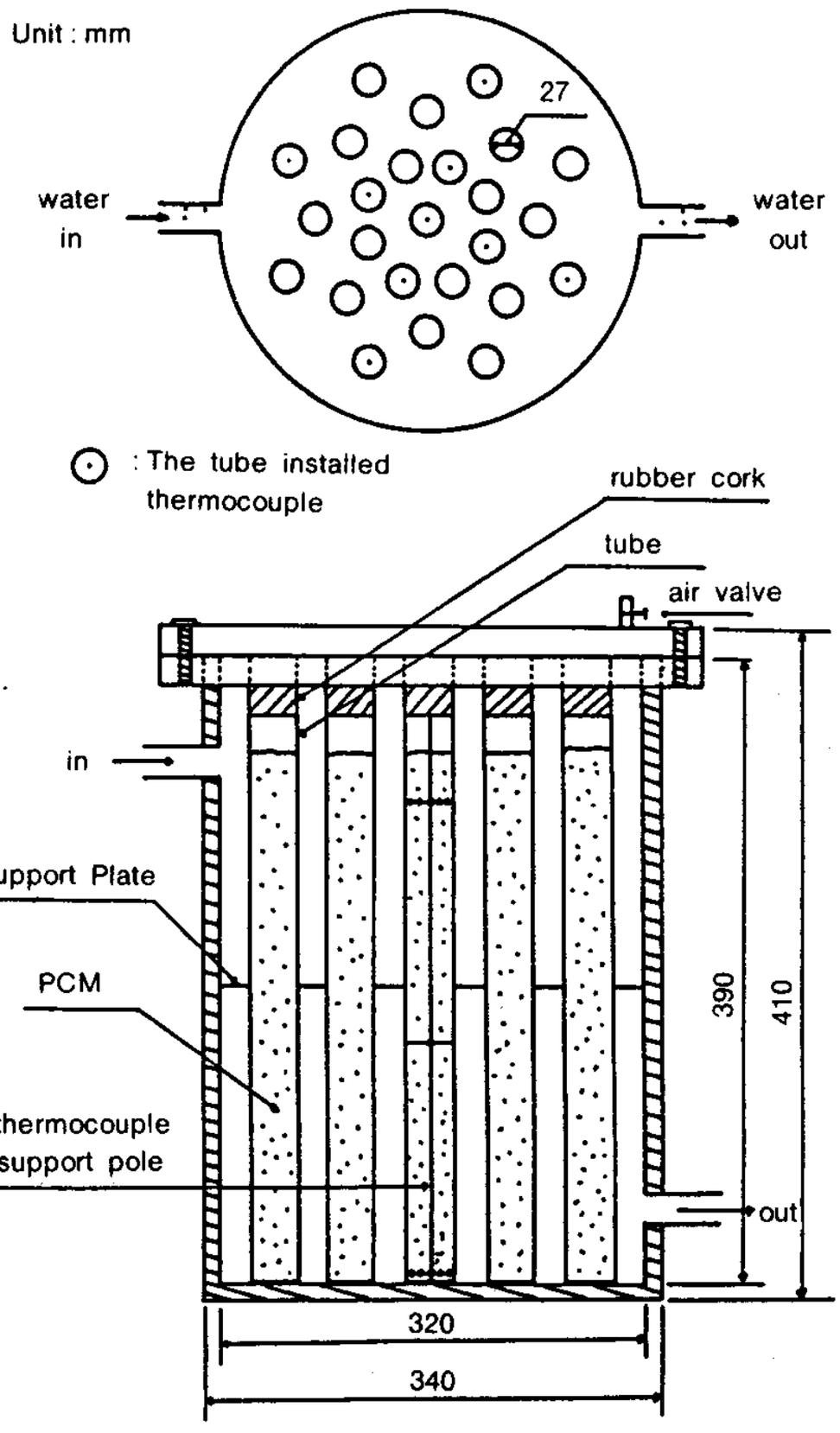

Fig.2 Schematic diagram of PCM test tube

축열조 내부에 설치한 tube는 내경 27㎜, 높이 390㎜, 두께 1㎜인 동관이며 총 25개의 tube를 사용하여 상변화물질을 충전시킨 후 고무마개로 봉하였다.

실험과정에서 상변화물질의 내부온도를 측정하기 위한 열전대(T-Type, 0.5㎜)는 상변화물질 내부에 가는 대나무를 설치하여 순간접착제로 부착시켰으며 Fig.2에서와 같이 축열조 내부에 방사선 형태로 설치된 각 상변화물질 용기(동관)내의 평균온도를 측정하기 위하여 십자형태로 위치한 8개의 동관 중심부에 각각 1개씩, 총 8개의 열전대를 설치하였다. Fig.3은 잠열축열조 정중앙부에 위치한 동관 내부에 충전된 상변화물질의 온도를 측정하기 위한 열전대의 위치를 나타낸 것으로써 전 높이(H)의 0.93H되는 위치에 수평등간격으로 5개, 0.48H 위치의 중심부에 1개, 0.01H 위치에 수평등간격으로 5개, 총 11개를 설치하였다. 또한 각 항온조 내에 1개씩 총 4개, 냉동기에 들어가는 냉각수의 입·출구에 1개씩 총 2개, 유출·입 입구에 3개씩 총 6개의 열전대를 설치하였다. 이 열전대로부터 측정된 실험용 잠열축열조 내 각 부분의 온도는 data logger(FLUKE 2280B)를 통하여 RS-232C port가 장착된 IBM PC(AT)로 수신시켜 보조기억장치에 기록하였다.

Unit : mm

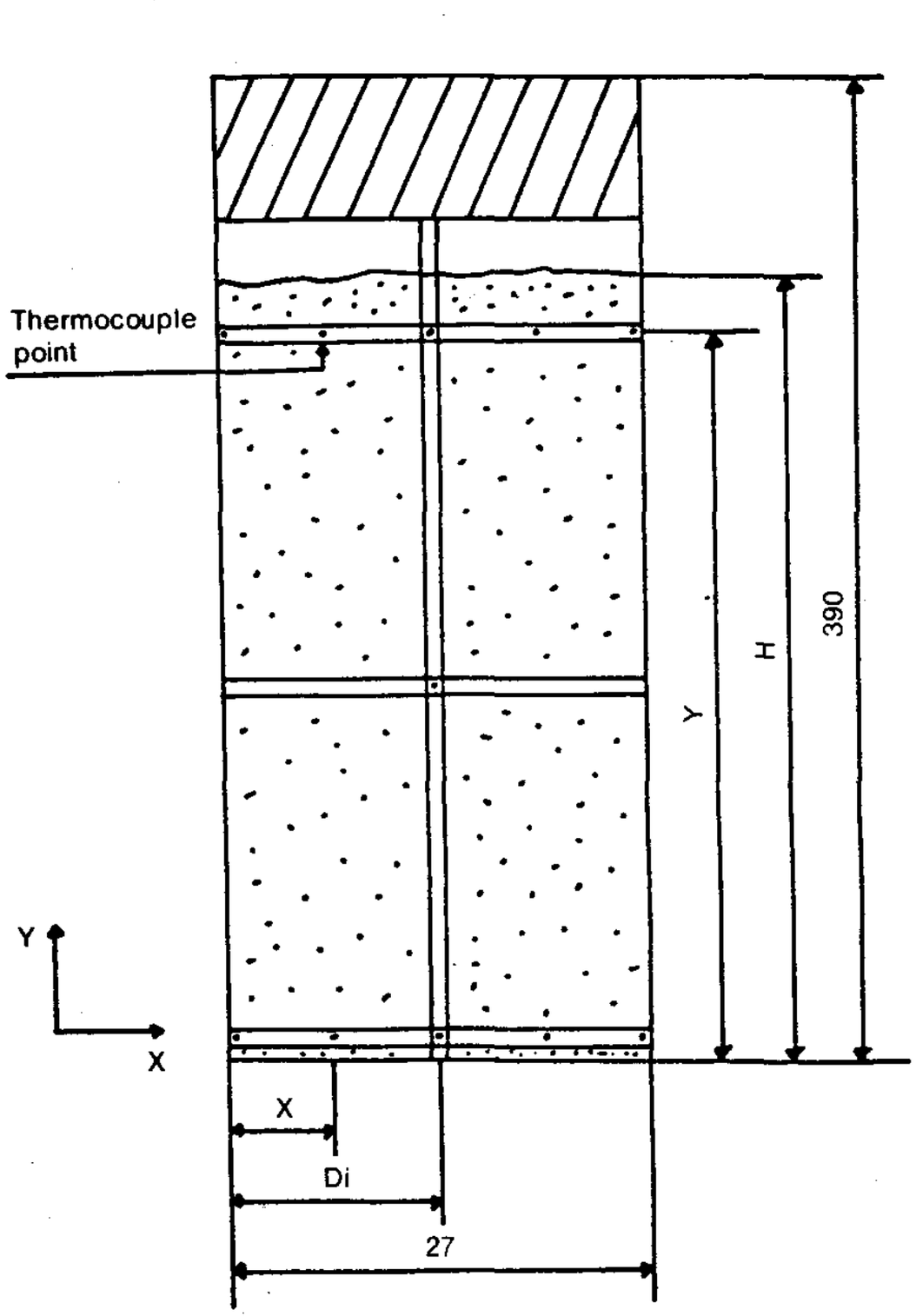

Fig.3 Schematic diagram of the tube located center in the test tube.(The tube installed thermocouple)

3.2 실험방법

본 실험에서 사용한 상변화물질은 용융온도가 62℃인 피라핀($C_{28}H_{58}$)과 용융온도가 79℃인 피로인산나트륨($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$)이며 파라핀의 용융잠열은 60.6cal/g, 피로인산나트륨의 용융잠열은 62cal/g이다.

본 실험은 두가지의 상변화물질을 가열 및 냉각시키는 과정에 있어서 작동유체인 물의 온도구간차 $\Delta T = 50℃$로 하여 실험을 수행하였으며 파라핀의 경우에는 30℃~80℃로 피로인산나트륨의 경우에는 40℃~90℃의 구간에서 실험이 수행되었다.

실험초기에 실험용 잠열축열조내 상변화물질의 초기온도를 열평형상태로 유지하기 위하여 중온항온조에서 초기온도로 약 40분에서 1시간 동안 항온이 유지된 항온수를 순환펌프를 이용하여 순환시켰으며, 잠열축열조 내의 상변화물질온도와 초기설정온도와의 차가 ±0.05℃ 이내 일 때를 열평형상태로 가정하여 실험을 시작하였다.

온도분포는 30초 간격으로 측정·기록하였으며 가열 및 냉각 실험을 1시간씩 수행하기 위하여 전기적으로 개폐가 되는 솔레노이드밸브를 사용하였다.

솔레노이드밸브의 사용방법은 가열 및 냉각실험 시 전기제어장치의 ROM 반도체에서 전기신호를 솔레노이드밸브에 주어 1시간마다 고온 및 중온항온조로 통하는 관에 장착된 솔레노이드밸브가 개폐되도록 하는 방법을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 축열매질로써 유기화합물계인 파라핀($C_{28}H_{58}$)과 무기염수화물계인 피로인산나트륨($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$)을 실험용 잠열축열조 내에서 각기 사용하였을 경우 가열 및 냉각과정시 각 상변화물질의 축열성능과 tube내 열전달현상을 실험적으로 규명하였으며, 축열조 내에서 시간경과에 따른 두 상변화물질의 온도분포와 축열량 및 방열량을 측정, 비교하였다.

4.1 평균온도분포

Fig.4는 상변화물질로 파라핀과 피로인산나트륨을 각기 사용하였을 경우 초기온도(T_i)를 30℃와 40℃로 하고 가열수의 온도(T_h)를 80℃와 90℃로 하는 축열과정시 축열조 내에 들어있는 전체 상변화물질의 시간경과에 따른 평균온도변화를 나타낸 것이다. 초기 열저장 시 파라핀의 온도는 서서히 증가함을 보여주고 있으며 용융점온도(T_m=62℃) 부근인 58℃~62℃의 온도구간에서 잠열구간이 나타났다. 또한 피로인산나트륨의 온도는 급속하게 증가함을 보여주고 있으며 용융점온도(T_m=79℃) 부근인 75℃~80℃의 온도구간에서 잠열구간이 나타났다. Fig.5는 파라핀과 피로인산나트륨에 대하여 각각 초기온도(T_i)를 80℃와 90℃로 하고 냉각수의 온도(T_c)를 30℃와 40℃로 하는 방열과정시 전체 상변화물질의 평균온도변화를 나타낸 것이다. 방열 초기과정 동안에는 파라핀의 평균온도는 급속하게 떨어져서 약 5분 이내

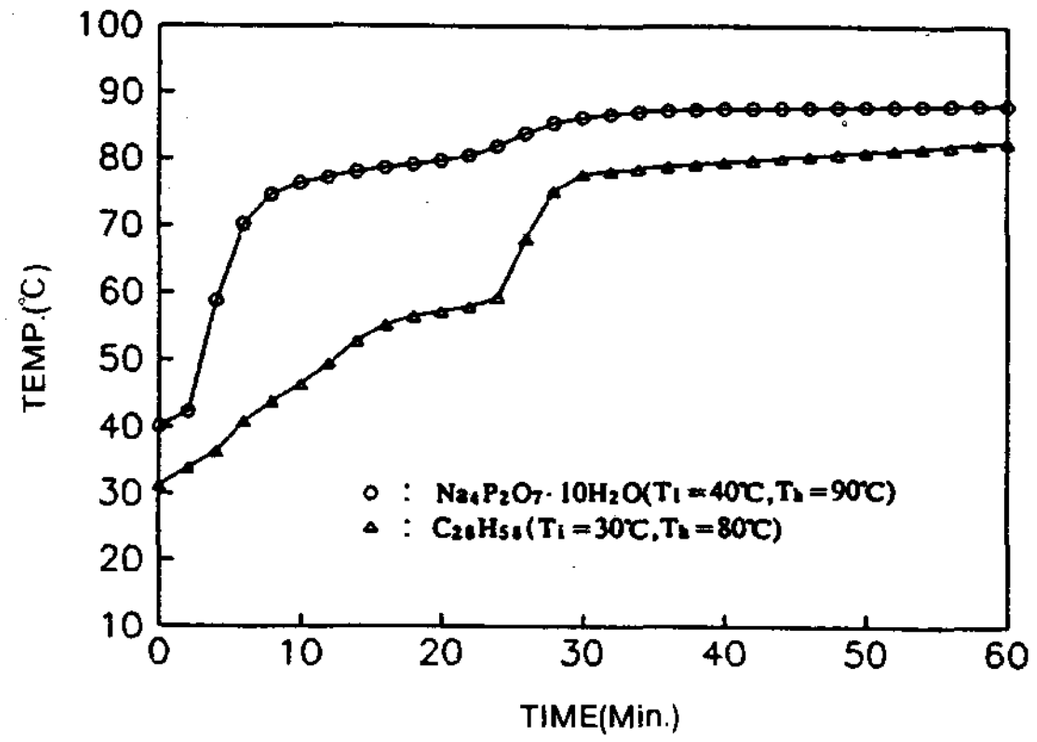

Fig.4 Temperature profiles of the PCM($C_{28}H_{58}$, $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) in the heating process. (Q=6 ℓ /min.)

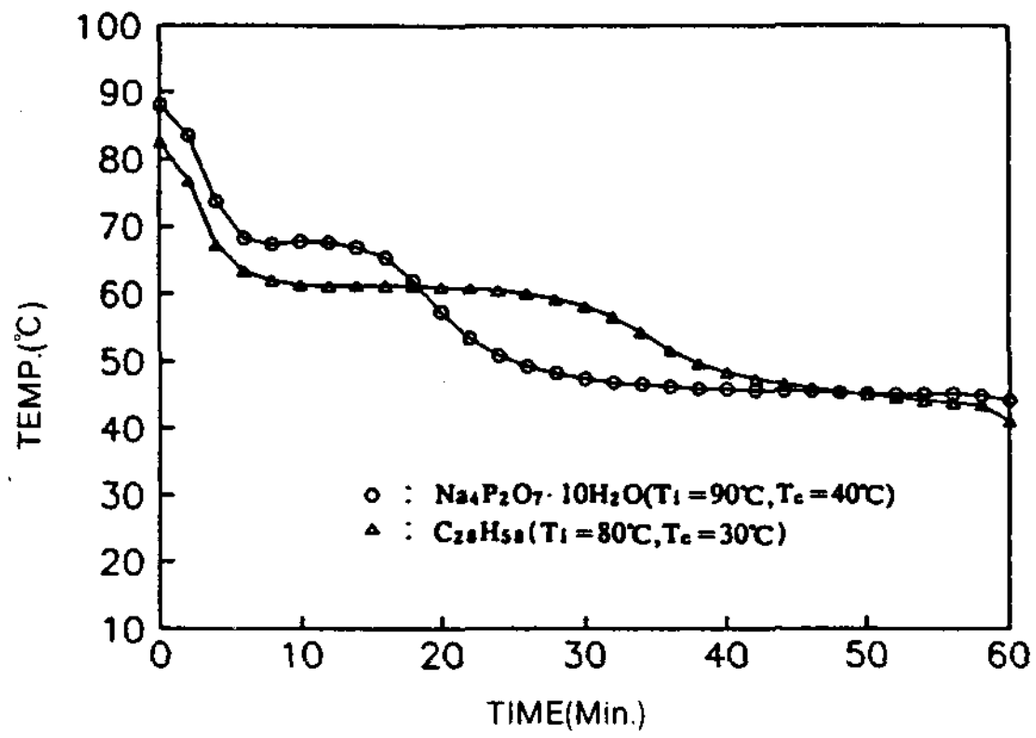

Fig.5 Temperature profiles of the PCM($C_{28}H_{58}$, $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) in the cooling process. (Q=6 ℓ /min.)

에 용융점온도(62℃)에 도달하게 되어 이때부터 약 25분동안에 걸쳐 잠열구간이 나타났으며, 이러한 잠열구간은 축열과정시의 경우보다 길게 나타났다. 또한 피로인산나트륨의 온도는 급속하게 떨어져 약 69℃ 부근에서 약 10분(8분~18분)에 걸쳐 잠열구간이 나타났다.

상변화물질인 피로인산나트륨은 용융상태가 액체상태가 아닌 gel 상태이므로 액체상태에서의 주된 열전달현상으로 나타나는 자연대류 유동현상이 일어나지 않아 전도에 의한 열전달현상이 지배적으로 일어나는 것으로 연구 발표되어왔다.[15] 따라서 피로인산나트륨과 파라핀의 온도분포를 비교해 보면 파라핀은 축열 및 방열과정시 자연대류 유동현상이 일어나기 때문에 상변화물질의 온도분포가 서서히 변화하는 반면 피로인산나트륨의 온도분포는 주로 전도에 의하여 열전달이 일어나 상변화물질의 온도분포가 급격히 변화하는 것을 알 수 있었다.

4.2 수직 및 수평방향의 온도분포

Fig.6은 초기온도(T_i)가 30℃이고 가열수의 온도(T_h)가 80℃일 경우의 축열과정시 축열조 내부의 정중앙에 위치되어 있는 tube내 상변화물질(파라핀)의 상부(Y/H_p=0.93)와 하부(Y/H_p=0.01) 위치에서의 수평방향에 대한 온도분포를 나타낸 것으로, X/R_i는 tube의 원관 내부반경(R_i)에 대한 수평방향의 열전대의 위치이다.

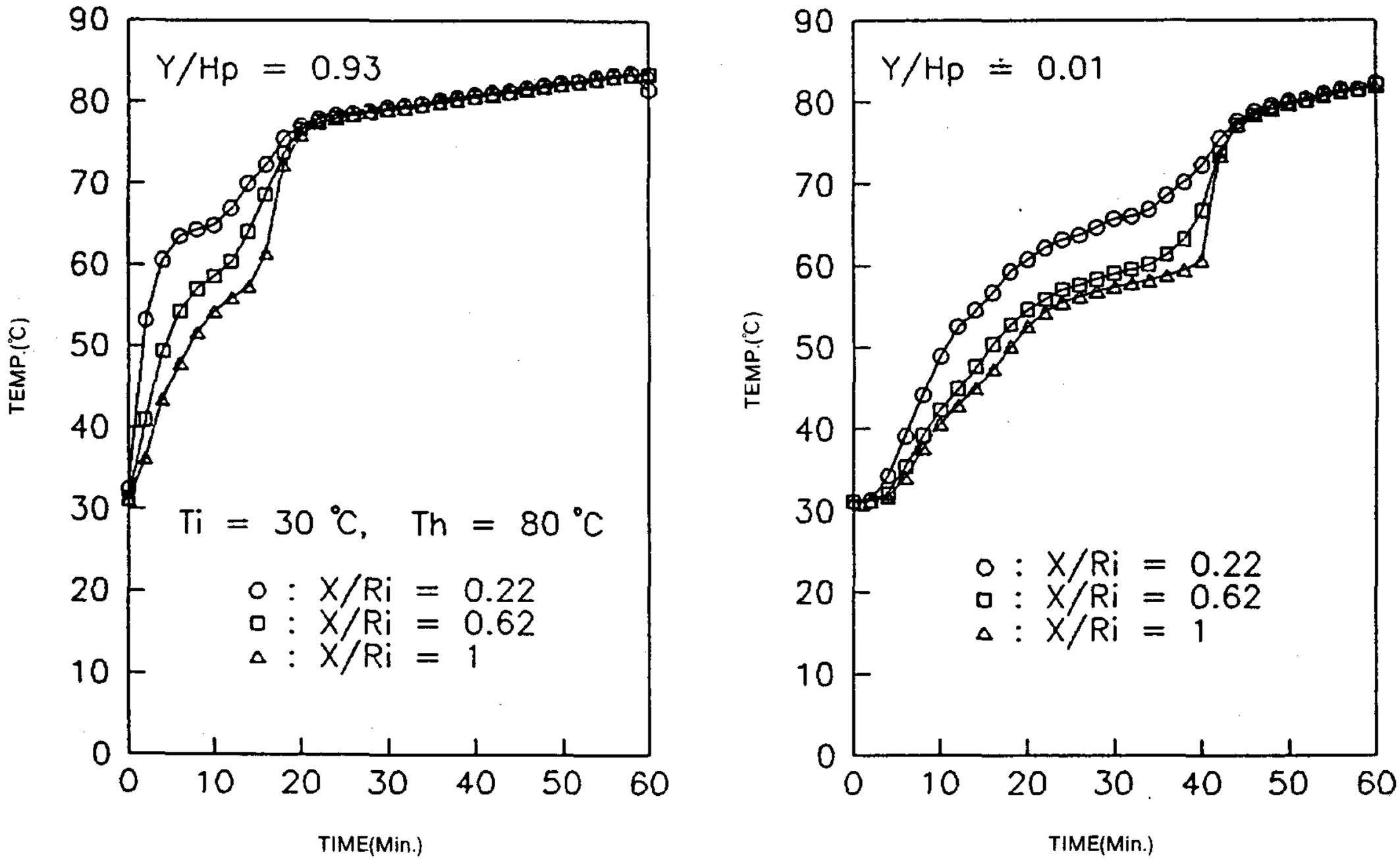

Fig.6 Horizontal temperature profiles of the PCM($C_{28}H_{58}$) in the heating process at the top (Y/H_p)=0.93) and bottom(Y/H_p=0.11) (Q=6 ℓ /min., T_i=30℃, T_h=80℃)

축열이 시작되면서 상부위치에서는 약 5분이 경과된 후 tube 벽면에 가까운 X/R_i=0.22 위치에서부터 용융이 시작되었으며, 약 15분이 경과되면서 tube 중심부(X/R_i=1)의 PCM이 용융되기 시작하였다. 또한 하부위치에서도 약 20분이 경과한 후 X/R_i=0.22 위치에서 부터 용융이 시작되어 약 40분이 경과되면서 tube 중심부(X/R_i=1)의 PCM이 용융되고 45분 후에는 tube 내의 상변화물질이 완전 용융되었다.

상변화물질의 상부 및 하부위치에서의 온도분포를 비교하여 보면, 상부가 하부보다 용융이 빨리 진행됨을 알 수 있다. 이것은 tube내에서 용융과정이 진행됨에 따라 자연대류현상이 발생하여 하부보다 상부의 온도가 높아짐에 따른 영향이라 생각된다.

Fig.7은 초기온도(T_i)가 40℃이고 가열수의 온도(T_h)가 90℃인 경우의 축열과정시 상변화물질(피로인산나트륨)의 상부(Y/H_s=0.01) 위치에서의 수평방향에 대한 온도분포를 나타낸 것이다.

축열이 시작되면서 상부위치에서는 약 5분이 경과된 후 수평방향의 각 지점에서의 상변화물질의 온도는 전반적으로 용융점온도(T_m=79℃)에 도달하였고 약 20분이 경과한 후 가열수의 온도에 이르는 열평형상태가 되었으며, tube 벽면에 가까운 X/R_i=0.22 위치에서의 온도분포와 tube 중심부인 X/R_i=1 위치에서의 온도분포는 큰 차이를 보이지는 않았다.

하부위치에서는 상부에서와는 달리 약 20분이 경과된 후에 수평방향의 각 지점에서의 상변화물질의 온도는 전반적으로 용융점온도(T_m=79℃)에 도달하였다. 또한 X/R_i=0.22 위치에서의 온도분포와 X/R_i=1 위치에서의 온도분포는 큰 차이를 보이지 않고 유사하게 나타났다.

위의 결과에서 tube내 상변화물질의 상부와 하부위치에서의 온도분포를 비교하여 보면, tube의 상하부 벽면(X/R_i=0.22)에서의 온도분

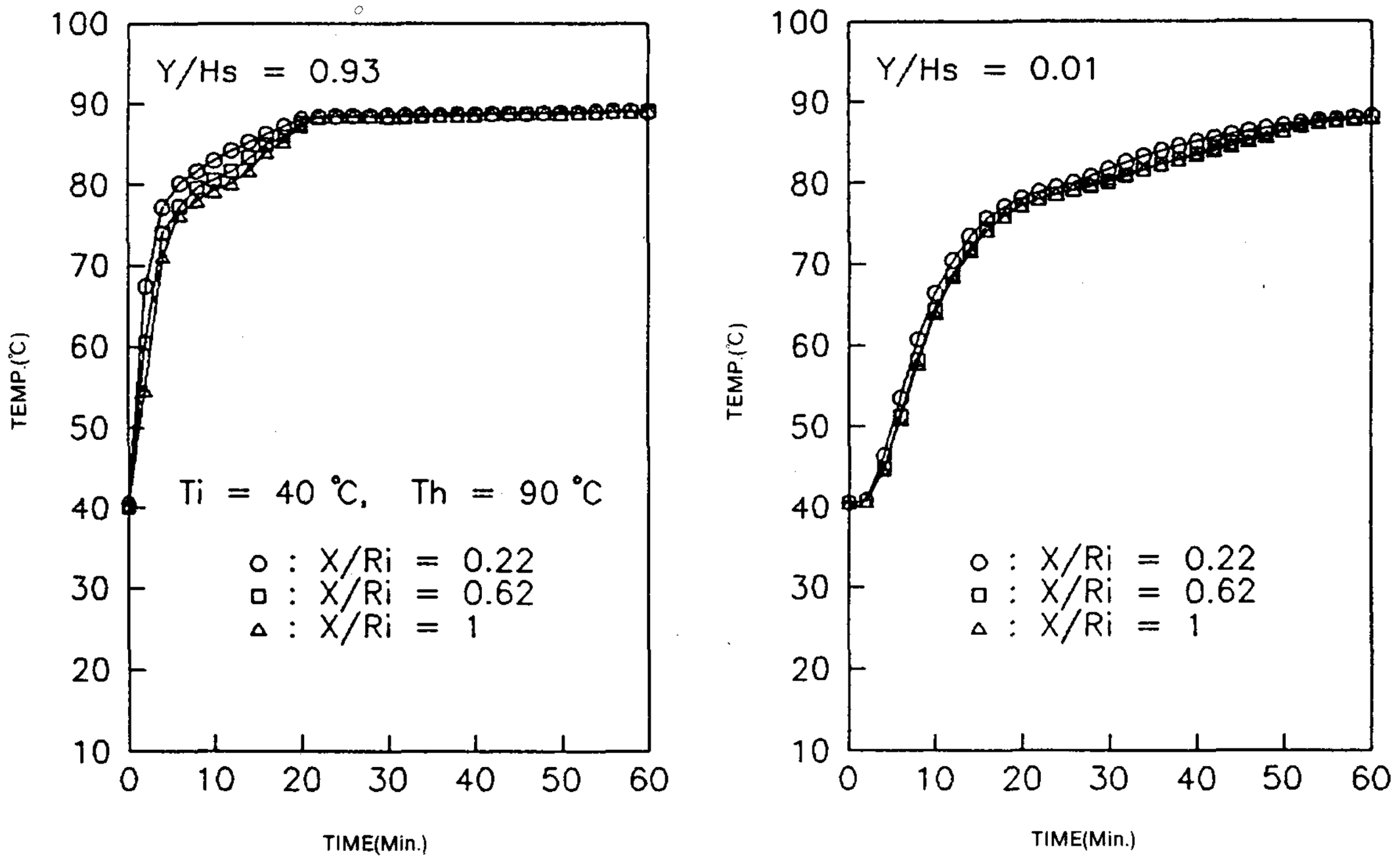

Fig.7 Horizontal temperature profiles of the PCM($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) in the heating process at the top(Y/H_s)=0.93) and bottom(Y/H_s=0.11) ($Q=6\ \ell$/min., T_i=40℃, T_h=90℃)

포와 tube 상하부의 중심부(X/R_i=1)에서의 온도분포가 큰 차이를 보이지 않고 유사하게 나타남을 알 수 있었다. 또한 피로인산나트륨의 축열과정시 tube내 상변화물질의 온도분포와 파라핀의 온도분포를 비교하여 보면, 피로인산나트륨은 축열시 전도에 의한 열전달이 지배적으로 일어나기 때문에 시간경과에 따른 tube 벽면과 중심부에서의 온도변화가 큰 차이를 보이지 않는 반면, 파라핀의 경우 자연대류에 의한 열전달 때문에 시간경과에 따른 tube 벽면과 중심부의 온도차가 큰것으로 나타났다.

4.3 축열량 및 방열량

Fig.8과 Fig.9는 상변화물질로 파라핀을 사용하였을 경우 초기온도(T_i)가 30℃이고 가열수의 온도(T_h)가 80℃인 축열과정과 초기온도(T_i)가 80℃이고 냉각수의 온도(T_c)가 30℃인 방열과정시 시간경과에 따른 상변화물질의 축열량과 방열량을 나타낸 것이다. 파라핀의 총 축열량은 약 252Kcal로 나타났으며, 축열과정 초기(약 16분 경과)에 총 축열량(252Kcal)의 92%에 달하는 214Kcal가 축열되었다. 또한 총 방열량은 약 236.8Kcal로 나타났으며, 방열과정 초기(약 8분 경과)에 총 방열량(236.8Kcal)의 88%에 달하는 208.5Kcal를 방출하였다. 따라서 축열 및 방열과정시 파라핀의 총 축열량에 대한 방열량의 비율은 약 94%로 나타났다.

Fig.10과 Fig.11은 상변화물질로 피로인산나트륨을 사용하였을 경우 초기온도(T_i)가 40℃이고 가열수의 온도(T_h)가 90℃인 축열과정과 초기온도(T_i)가 90℃이고 냉각수의 온도(T_c)가 40℃인 방열과정시 시간경과에 따른 상변화물질의 축열량과 방열량을 나타낸 것이다. 피로인산나트륨의 총 축열량은 약 293Kcal로 나타났으며, 축열과정 초기(약 16분 경과)에 축열량(293Kcal)의 93%에 달하는 273.5Kcal가 축열되었다. 또한 피로인산나트륨의 총 방열량은 약 283Kcal로 나타났으며, 방열과정 초기(약 4

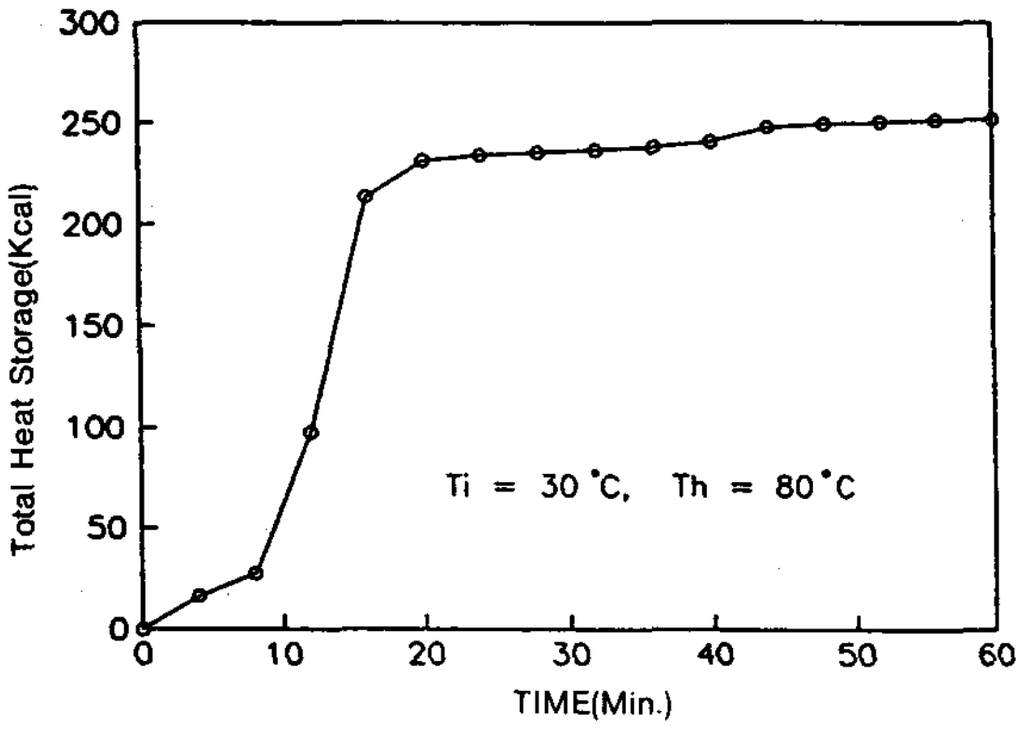

Fig.8 Timewise variation of the amount of heat storage. (Q=6 ℓ /min.)

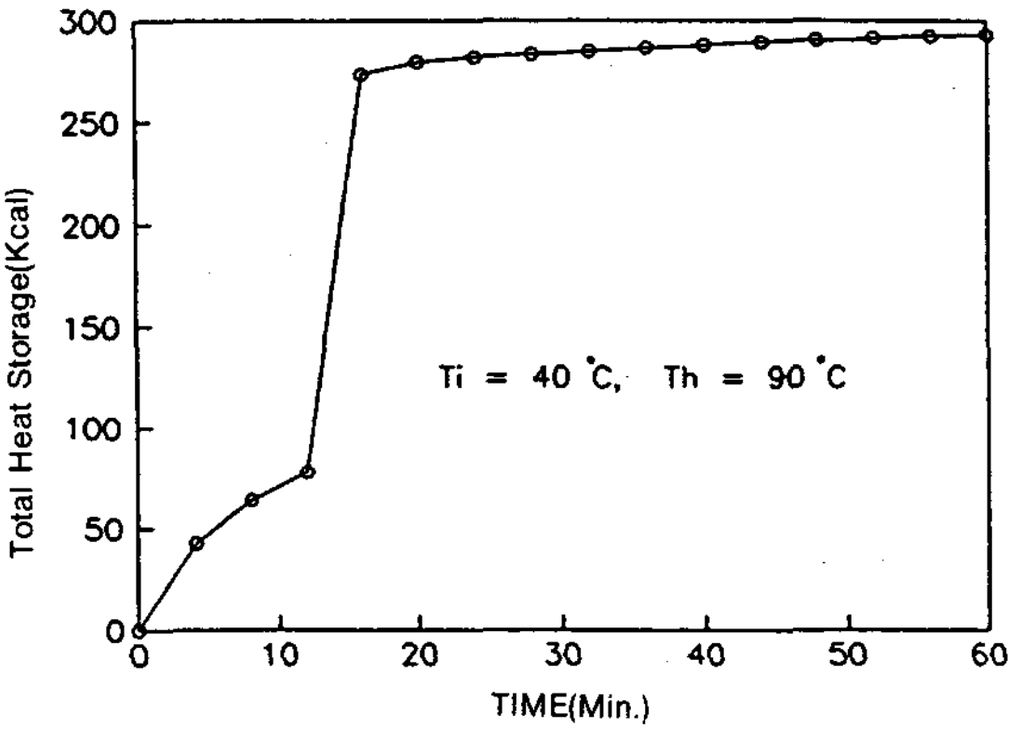

Fig.10 Timewise variation of the amount of heat storage. (Q=6 ℓ /min.)

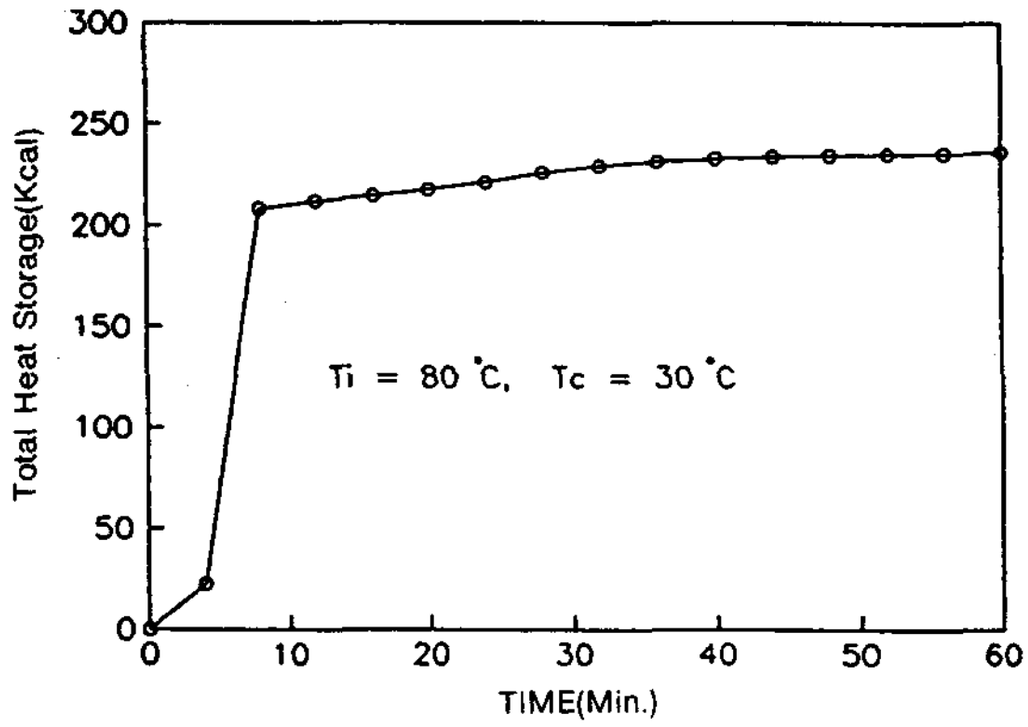

Fig.9 Timewise variation of the amount of heat recovery (Q=6 ℓ /min.)

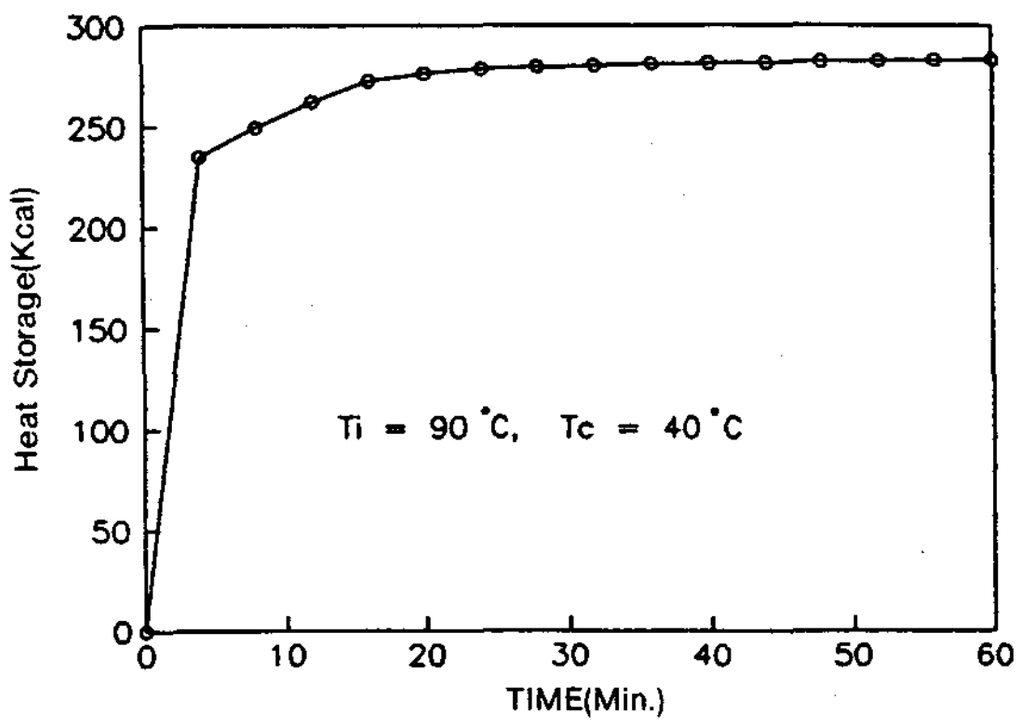

Fig.11 Timewise variation of the amount of heat recovery (Q=6 ℓ /min.)

분 경과)에 총 방열량(283Kcal)의 83%에 달하는 234.8Kcal를 방출하였다.

따라서 축열 및 방열과정 시 피로인산나트륨의 총 축열량에 대한 방열량의 비율은 파라핀의 경우보다 높은 약 96.6%로 나타났다.

5. 결 론

상변화물질로 파라핀($C_{28}H_{58}$)과 피로인산나트륨($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$)을 이용한 잠열축열조 내에서 가열과 냉각과정시 상변화물질의 온도분포를 측정하고 축열량 및 방열량을 구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 파라핀을 축열매질로 사용하는 잠열축열조에서의 축열과정 시 상변화물질의 온도분포는 자연대류의 영향으로 서서히 증가하는 형태로 나타났다.

2. 상변화물질로써 파라핀을 사용하였을 경우 축열과정에서의 상변화물질의 총 축열량은 약 252Kcal, 방열과정에서의 총 방열량은 약 236.8Kcal로 나타났으며, 축열 및 방열과정시 상변화물질의 총 축열량에 대한 방열량의 비율은 약 94%로 나타났다.

3. 상변화물질로써 피로인산나트륨을 사용하였을 경우 잠열축열조 내에서의 온도분포는 축열초기과정시 온도가 급격히 증가하는 직선형태로 나타났고 축열 및 방열과정에서의 총 축열량은 약 293Kcal, 총 방열량은 약 283Kcal로 총 축열량에 대한 방열량의 비율은 약 97%로 나타났다.

4. 축열매질로써 파라핀을 사용하는 잠열축열조와 피로인산나트륨을 사용하는 잠열축열조

에서의 동일질량에 대한 축열량은 피로인산나트륨을 사용하였을 경우가 약 16%정도 많은 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 한국과학진흥재단 '90목적기초연구의 연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 밝혀두며 이에 감사한다.

REFERENCES

1. K.Katayama & A.Saito, "Heat Transfer Characteristic of the Latent Heat Thermal Energy Storage Capsule:, Solar Energy, Vol.27, pp.91–97, 1981.
2. K.Rajagopal & T.H.Ong, "A Simulation Study of Phase Change Energy Store", Fed. Univ. Riode Janeiro, 34.
3. S.E.Guceri & S.F.Faunce, "Modeling of Thermal Panel Using Phase Change Material:, Energy, Vol.4, pp.695–699, 1979.
4. K.A.R.Ismil & C.L.F.Aluev, "Analysis of Shell–Tube PCM Storage System" Proc. of the Int. Heat Transfer Confer., pp.1781–1786, 1986.
5. S.Asgapour & Y.Bayazitoglu, "Heat Transfer in Laminar Flow with a Phase Change Boundary." ASME J. of Heat Transfer, Vol.104, pp.678–682, 1982.
6. M.Yanadori & T.Masuda, "Heat Transferential Study on a Heat Storage Container", Solar Energy, Vol.36, pp.161–177, 1986.
7. N.Shamsundar & Srinivasan, Trans. ASME J.Heat Transfer, 105, 217, 1983.
8. T.Honda, Y.Kim, H.Kishigami & A.Kanzawa "Change and Dischange Heat Transfer if the Latent Heat Transfer Energy Transfer", World Congress Ⅲ of Chemical Engineering, Torko, pp.629–632, 1986.
9. P.V.Padmanabham & M.V.Krishna Murthy, Pric. of the Int. Heat Transfer Conf., pp. 1773–1777, 1986.
10. E.M.Sparrow & J.A.Broadbent, "Inward Melting in a Vertical Tube Which allows Free Expansion of the Phase–Change Medium", ASME, Vol.104, pp.309–315, 1982.
11. C.J.Ho & R.Viskanta, "Heat Transfer during Melting from an Isothermal Vertical Wall", ASME J. of Heat Transfer, Vol.106, pp.12–19, 1984.
12. E.M.Sparrow & J.A.Broadbent, "Freezing if a Vertical Tube", ASME, Vol.105, pp.217–225, 1983.
13. 임장순, 이채문, 김준근, 조남철, "상변화물질을 이용한 잠열축열조에 관한 기초 연구", 한국태양에너지 학회지 9(3), pp.44–54, 1989
14. 임장순, 이채문, 김준근, 조남철, 김일겸, "수평원관내에서의 내향용융 및 응고열전달 실험", 공기조화·냉동공학회지 1(4), pp.319–329, 1989
15. 임장순, 이채문, 김준근, 김영기, 유관종, "상변화물질의 축열 및 방열시 온도특성에 관한 연구", '90추계 한국 태양에너지 학회 초록집, pp.1–7, 1990

A Study on Comparison of Heat Transfer Characteristic and Heat Storage Capability of $C_{28}H_{58}$ and $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$

Chang Soon Yim · Jun Keun Kim* · Nam Cheol Cho* · Young Ki Kim*

Inha Uni.
Graduate School, Inha Uni.*

ABSTRACT

Heat transfer phenomena and temperature characteristics in heat storage and release process in the heat storage system using PCM(Phase Change material) were studied experimentally. The melting points of Octacosane paraffin($C_{28}H_{58}$) and sodium pyrophosphate decahydrate($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) used for phase change materials are 62℃ and 79℃ respectively.

Experiments were performed in order to investigate temperature distributions, the heat storage quantity and the release quantity on octacosane paraffin and sodium pyrophosphate decahydrate for heat storage and release in the heat storage system. Furthermore the comparison of these characteristics between paraffin and $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ were evaluated.

In case of the paraffin, temperature slowly increased at early heat storage process by natural convection, while temperature of $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ rapidly increased the dominant role played by conduction at early heat storage processing.

Also, during the heat storage and release process in case of the paraffin, it was observed that the variation of temperature of the neighborhood of wall and center in the top and bottom of the tube exhibited a great difference, however in $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$, it was observed that the variation of temperature exhibited a little difference. And heat storage quantity of each PCM of identity mass in heat storage process was shown that $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ exhibited more by 16 percents than paraffin.

Heat Transfer Characteristics for Inward Solidification in a Horizontal Cylinder Packed with P.C.M.

Sung Bae Yum · Chang Shik Hong* · Chai–sung Lee*

Dept. of Chemical Technology, College of Industry and Art, Hongik Univ.
Dept. of Chemical Engineering, College of Engineering, S.N.U.*

ABSTRACT

Heat transfer characteristics for heat retrieving processes in a paraffin–filled horizontal circular cylinder was studied. Theoretical and experimental analyses were carried out. In the theoretical analysis, solid and liquid phases were treated separately. Namely, convection for liquid and conduction for solid phase were investigated respectively. The retrieved heat was calculated from the experimentally determined solidified mass. Furthermore, the effects of initial temperature of the liquid and cooling temperature on the heat discharge rate were also studied.