

## 열싸이폰을 이용한 잠열축열시스템의 성능실험(II) — 일정한 온도의 가열유체를 사용한 경우 —

김 태 일 · 김 기 현\*

아주대학교 대학원(현재 한국전력기술 주식회사)

\*아주대학교 기계공학과

## Performance of a Latent Heat Storage System Using Two-Phase Closed Thermosyphon(II)

— The Case of Constant Temperature Heating Fluid

Tae-il Kim · Ki-Hyun Kim\*

*Graduate School, Ajou Univ. (Currently Korea Power Engineering Co.)*

*\*Dept. of Mechanical Engineering, Ajou Univ*

### 요 약

상변화 물질로 Paraffin wax를 사용한 잠열축열 시스템의 축열성능을 실험을 통하여 조사하였다. 가열유체로는 ethylene glycol을 사용하였고 왁스로의 전열을 위해 열싸이폰을 사용하였다. 왁스의 유효열전도율을 높이기 위해 여러장의 구리망을 왁스에 넣었고 실험은 체적비 2%, 3%, 4%에 대해 유량을 변화시키며 수행하였으며 몇가지 주요결과는 다음과 같다.

(1) 구리망은 열전도를 촉진시켜 왁스의 온도를 균일화 하는 역할을 한다. (2) 구리망수의 증가는 열전도를 향상시키는 반면 용해된 왁스의 대류작용을 억제한다. (3) 축열시스템에 최적의 구리망의 수가 존재하며 이 연구에서는 체적비로 나타낼 때 3~4%인 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

An experimental study was carried out to investigate the performance of a latent heat storage system using paraffin wax as the phase change material. A thermosyphon was employed to transfer heat from the hot ethylene glycol flowing across the evaporator section of the thermosyphon into the wax. In order to increase the effective thermal conductivity

of wax, layers of copper wire mesh were immersed in the wax. Experiments were run for volume ratios of 2%, 3%, and 4%, varying mass flow rate of ethylene glycol in each case.

Some of the important results are as follows : (1) The wire mesh enhanced the conductive heat transfer and thus, helped even out the temperature distribution in the wax : (2) The increase of the number of layers of wire mesh increased the conduction. However, it also resulted in increasing the resistance to the convective motion of liquefied wax : and (3) There is an optimal number of layers of wire mesh, maximizing the performance of the storage system, which occurred at a volume ratio of 3~4% in the present study.

## I. 서 론

에너지의 저장은 에너지의 효율적 이용의 측면에서 대단히 중요한 문제이다. 흔히 에너지의 수급은 균형을 이루지 못하고 때로는 공급이 수요를 초과하고 때로는 그 반대현상이 일어나며 따라서 공급과잉의 에너지를 저장하였다가 수요가 클 때 사용하는 것이 바람직하기 때문이다. 양수발전, 심야전력을 이용하는 축냉, 태양열의 축열 등은 그 좋은 예이며 특히 후자의 경우 태양복사의 특성상 결정적 영향을 미친다.<sup>1)</sup>

에너지는 여러 형태로 저장될 수 있으나 인간이 사용하는 에너지중 상당한 부분이 열의 형태로 사용되거나 수송되므로 열에너지의 저장은 더욱 중요하며 많은 관심의 대상이 되어왔다.<sup>2)</sup> 열에너지의 저장방법으로는 물, 돌 등에 현열의 상태로 저장하는 현열축열, 물질의 상변화-특히 고상과 액상 사이의-에 수반되는 잠열을 이용하는 잠열축열 및 화학적 축열 등을 들 수 있으나 현재 가장 널리 사용되고 있는 것은 현열축열이다. 그러나 현열축열은 축열 또는 방열과정에서 온도의 변화가 크고 비교적 큰 체적을 필요로 하는 단점이 있고 화학적 축열은 아직 기초연구 단계에 있는 반면<sup>1)</sup> 잠열축열은 축열, 방열이 거의 일정한 온도에서 이루어지고 큰 잠열을 이용하므로써 저장 용기의 크기를 줄일 수 있다는 장점이 있어 많은 연구가 진행되어 왔으며 일부 상용화 되고 있는 상태이다.<sup>4),5)</sup>

잠열축열에 사용되는 상변화 물질로는 paraf-

fin계의 wax와 Glaubers salt 등의 염수화물(salt hydrate)을 들 수 있으나 이들은 공통적으로 열전도계수가 낮다는 단점이 있으며 따라서 효율적인 축열을 위해 열전달을 촉진시키는 방안이 강구되어야 한다. 상변화 물질의 유효열전도계수를 높이는 방법으로 열전도계수가 큰 금속조각을 섞는 방법<sup>6)</sup>이 있고 상변화 물질과의 접촉면적을 크게 하기 위해 fin을 사용하는 방법<sup>7),8)</sup>이 있으며 어느 경우든 열전달률은 전체체적에서 금속이 차지하는 체적비와 직접적인 관계가 있다. 참고문헌<sup>8)</sup>은 원판형 fin의 체적비가 10%일 때 상변화 물질의 응고속도는 fin이 없는 경우에 비해 12배 증가했음을 보고하고 있다.

한편 Abhat<sup>9)</sup>, Wu 등<sup>10)</sup>은 작은 온도차에서 많은 양의 열을 전달시킬 수 있는 열파이프(heat pipe)가 잠열축열 시스템에서의 전열기구로 효과적으로 사용될 수 있음을 보였으며 열싸이폰(thermosphon)을 사용한 축열에 관한 연구결과가 보고된 바 있다.<sup>11),12),13)</sup> 그러나 열싸이폰에 관한 연구는 모두 열싸이폰의 증발부를 전기적으로 가열하여 열을 주입한 경우에 관한 것이며 가열유체를 사용한 경우에 관해서는 보고된 바 없다. 지금까지 열파이프나 열싸이폰의 열유체역학적 현상에 대해서는 많은 연구가 이루어졌으나 열파이프 열교환기(heat pipe heat exchanger)의 전체적인 성능해석에 대한 연구결과는 많지 않으며 대표적인 것으로 Lee와 Clements<sup>14)</sup>, Shah와 Giovannelli<sup>15)</sup>를 들 수 있다. 그러나 이들의 결과는 유체-유체사이의 열교환의 경우에 관한 것으로 유체-상변화물질의 경우에 사용하기 위해서는

약간의 수정이 필요하다.

이 논문에서는 화학적으로 안정성이 있는 paraffin wax의 유효열전도계수를 높이기 위해 여러 겹의 구리망을 왁스에 넣고 가열유체와 왁스사이의 전열기구로 열싸이폰을 사용한 잠열축열시스템의 축열성능을 실험을 통하여 조사하였다. 열은 80°C의 ethylene glycol을 열싸이폰의 증발부 주위로 유동시켜 주입시켰으며 유체의 유량을 변화시키며 실험을 수행하였고 시스템의 전체 축열성능과 함께 주요 열전달 부위에서의 열전달 특성을 조사하는 데에 목적을 두었다.

## II. 실험장치 및 실험방법

### 1. 실험장치

실험장치는 상변화 물질을 담은 축열조, 고온의 가열유체로 열을 주입시키는 가열부, 가열유체를 공급하는 항온조 및 온도 측정을 위한 측정시스템 등으로 이루어진다(Fig. 1). 축열조는 안지름 130 mm, 높이 203mm의 스테인레스강으로 된 원통이고 축열조 전체를 유리섬유와 단열재(아이소핑크)로 잘 싸서 열손실을 줄였다. 상변화 물질

로는 paraffin wax(Sunoco P-116)를 사용하였고 왁스의 유효열전도계수를 높이기 위해 반지름 60 mm의 원판형 구리망(mesh No. 10)을 여러장 왁스에 넣었으며 구리망의 중앙에 뚫은 구멍을 통하여 열싸이폰의 응축부를 끼워넣으므로써 구리망이 열싸이폰의 fin의 역할도 하게 하였다.

열싸이폰은 바깥지름 22.2mm, 안지름 20mm, 길이 460mm의 구리관으로 만들었고 작동유체로는 증류수를 사용하였다. 증류수의 양은 열싸이폰의 내부체적의 10%에 해당하는 양이다. 열싸이폰의 증발부는 고온의 가열유체가 흐르는 유체통로 속에 유동방향에 수직으로 삽입되었고 유체통로에는 여섯개의 조절판을 설치하여 유체와 열싸이폰과의 접촉시간을 크게 하였다. 가열유체로는 ethylene glycol(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>)을 사용하였으며 항온조에서 가열하여 순환시켰다.

온도측정을 위하여 모두 19개의 구리-콘스탄탄 열전대가 사용되었으며 이 중 9개는 왁스내의 온도분포를 측정하기 위한 것이고 3개는 열싸이폰의 응축부 표면온도, 5개는 증발부의 표면온도, 그리고 2개는 가열유체의 입구 및 출구온도를 측정하는데 사용되었다. 모든 온도는 NANO TEC사의 Labin Master로 측정하였고 PC에 연결하여 기록, 처리하였다.

### 2. 실험방법

먼저 가열유체를 순환시켜 왁스의 온도가 미리 정한 실험 초기온도보다 조금 높게 되도록 가열한 후 축열조를 단열재로 단열시키고 자연 냉각시켰다. 왁스가 서서히 냉각하여 온도가 비교적 균일하게 실험초기온도에 도달하면 ethylene glycol의 입구 온도가 80°C를 유지하도록 항온조에서 가열하면서 순환시켜 실험을 시작하였다. 온도는 1분 간격으로 측정하였으며 왁스내의 가장 낮은 온도가 용융점 43°C를 지나면 실험을 종료하였다.

구리망의 수 60, 90 및 120개의 경우에 대해 실험을 수행하였으며 이는 축열조의 체적에 대한 구리망의 체적비가 2%, 3%, 4%에 해당하는 것이다. 왁스의 초기온도는 32°C와 40°C의 경우에 대해 실험하였으며 각각에 대해 유량을 세번 변

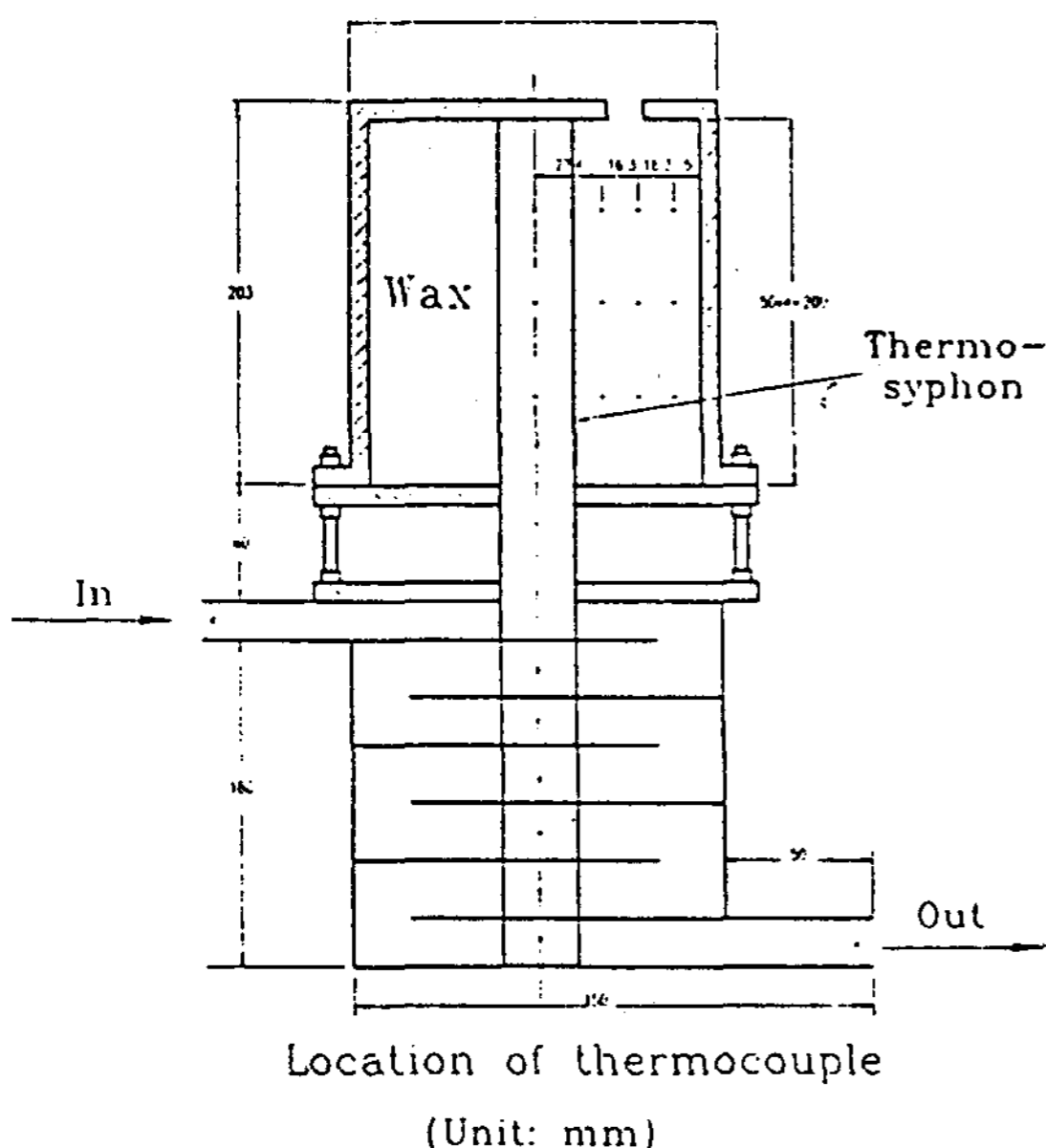


Fig. 1 Schematic of latent heat storage system

화시켰다. 유량은 항온조로 돌아오는 ethylene glycol을 일정 시간동안 매쓰 씨린더에 받아 측정하였고 매 실험마다 10여회 일정한 시간 간격으로 측정하여 평균을 구하였다.

### III. 결과 및 고찰

왁스내의 수직 및 수평방향 온도분포가 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 그려져 있다. 그림에서 Z는 열싸이폰의 증발부 끝에서부터 잰 높이이고 r은 열싸이폰 중심축으로부터의 반지름 방향 거리이며 시간은 실험시작 시각부터의 시간이다. 한편 과냉도 DSC(Degree of Subcooling)는 왁스의 초기온도의 지표로서 다음과 같이 정의하였다.<sup>11)</sup>

$$DSC = \frac{T_m - T_i}{T_m} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $T_m$ 은 왁스의 융해온도 ( $43^{\circ}\text{C}$ )이고  $T_i$ 는 왁스의 초기온도이다.

Fig. 2 (a)와 (b)는 구리망 60장과 90장의 경

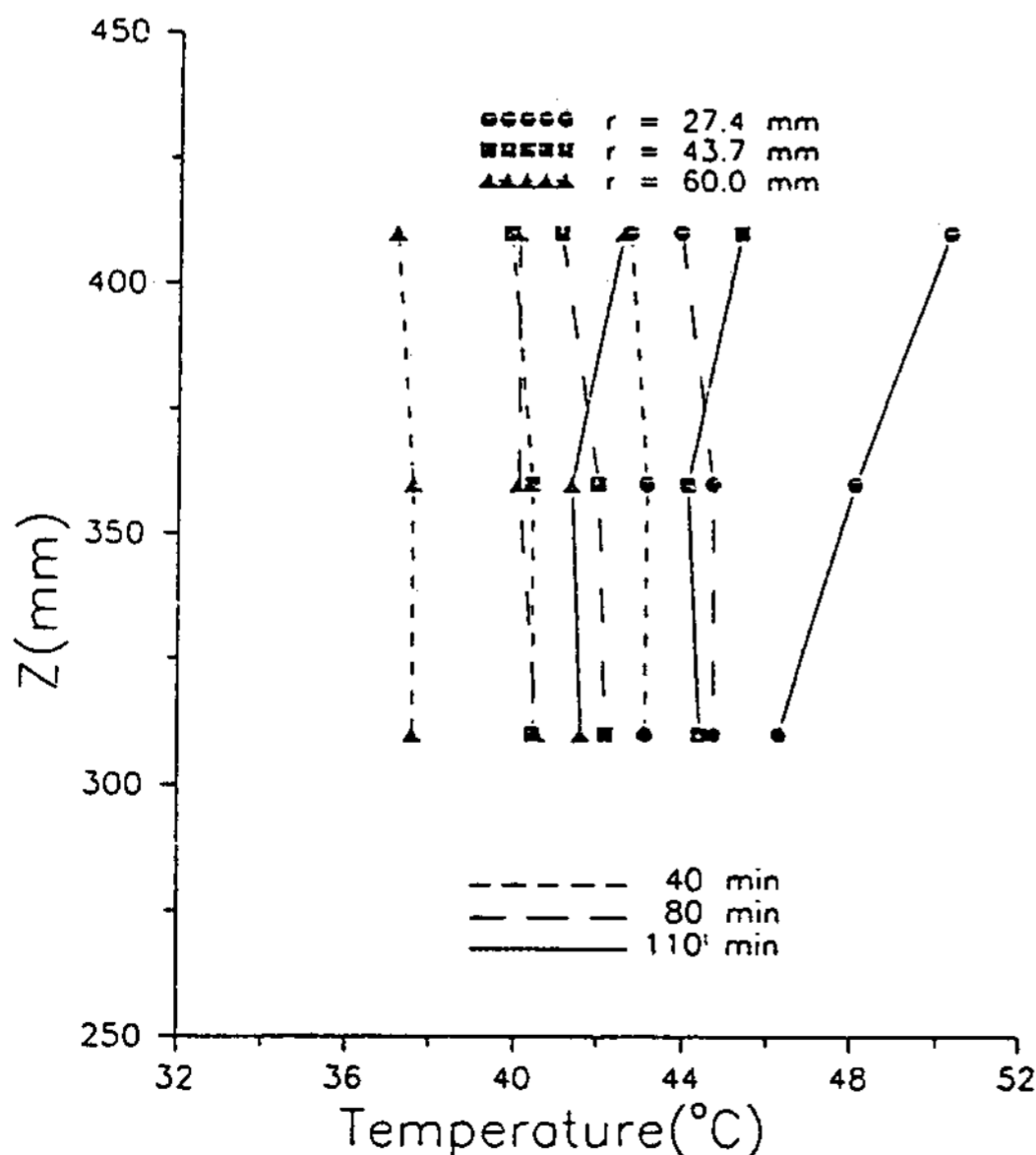


Fig. 2(a) Vertical temperature distribution of wax (60 layers of mesh,  $m=0.222 \text{ kg/m}$ ,  $DSC=0.26$ ).

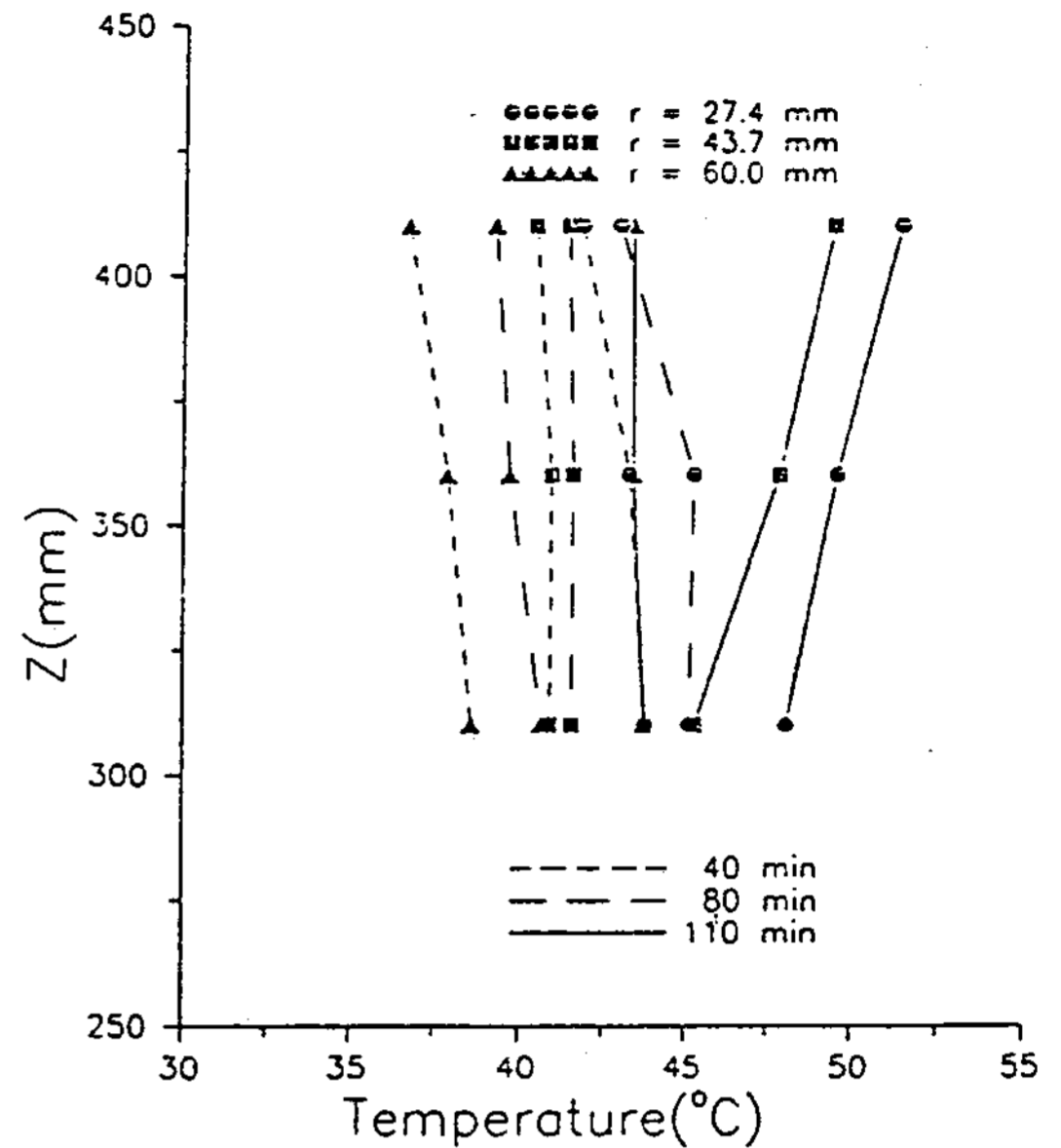


Fig. 2(b) Vertical temperature distribution of wax (90 layers of mesh,  $m=0.230 \text{ kg/m}$ ,  $DSC=0.26$ )

우의 왁스의 수직온도분포를 보여준다. 어느 경우든 온도가 융해온도( $43^{\circ}\text{C}$ ) 가까이 이를 때까지는 열싸이폰으로부터 같은 거리에 있는 점들의 온도는 거의 일정한 값을 유지하면서 변화하며 융해점을 지나면 윗부분과 아래부분의 온도에 차이가 생기기 시작한다. 이것은 왁스가 융해되어 액체영역이 커짐에 따라 대류가 발생하기 때문이며 60장의 경우가 90장의 경우보다 온도차가 더 뚜렷한 것은 전자의 경우 구리망 사이의 공간이 후자의 경우보다 커서 유체의 유동이 비교적 용이하여 대류가 활발한 반면 90장의 경우는 좁은 공간으로 인하여 유체유동에 대한 저항이 크고 따라서 대류가 억제되기 때문이다.

Fig. 3(a)와 (b)는 왁스속의 일정한 높이에서의 반지름 방향 온도분포를 나타낸 것으로 반지름 방향의 온도차는 크지 않고 부분적으로 상위한 곳이 있으나 전체적으로는 온도구배가 거의 일정하게 유지되면서 온도가 상승함을 볼 수 있다. 온도구배는 120장의 경우가 60장의 경우에 비해 조금 더 작으며 이것은 더 많은 구리망으로 인하여 열전도가 더 원활한 결과이다.

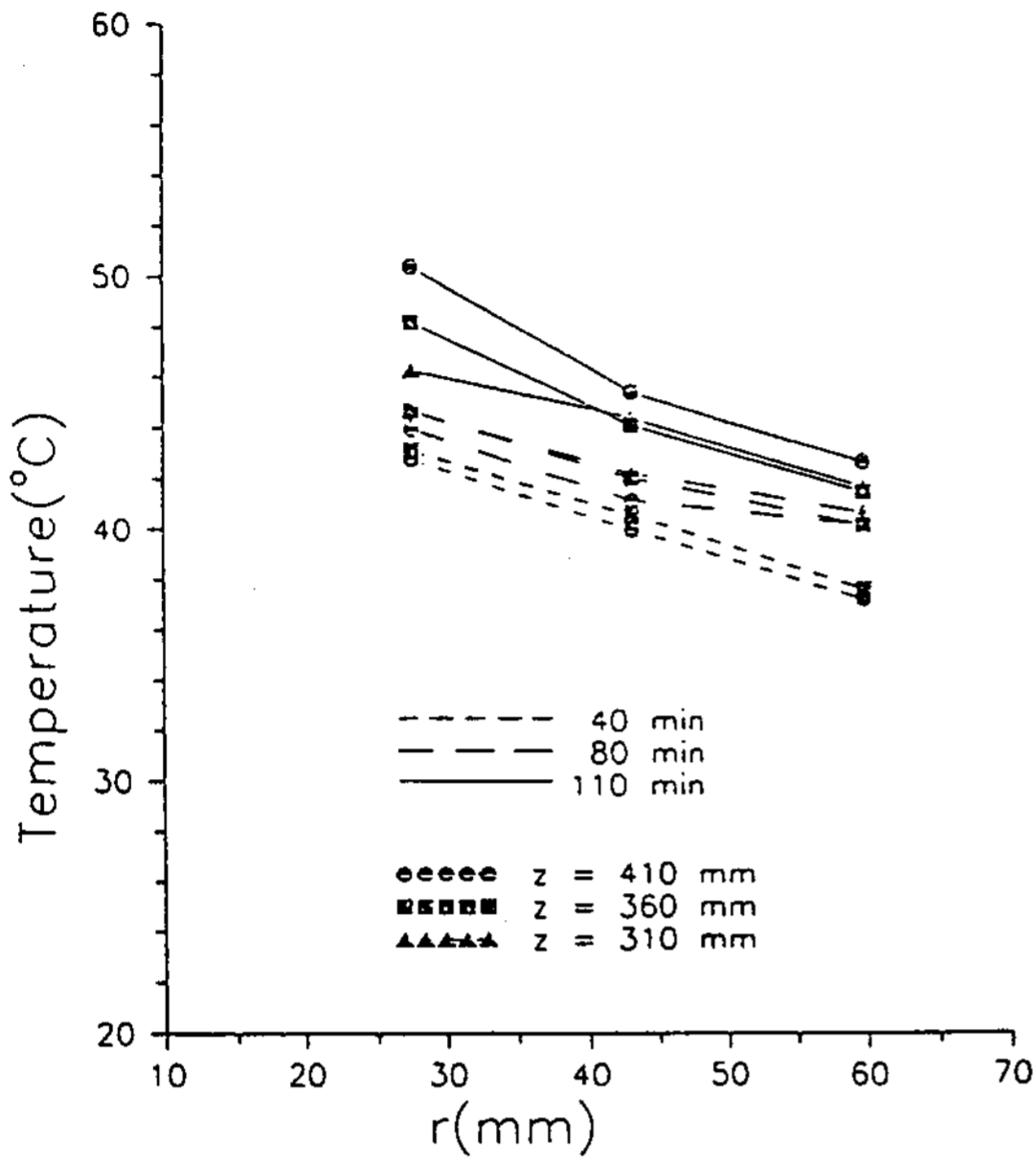


Fig. 3(a) Radial temperature distribution of wax (60 layers of mesh,  $m=0.222$  kg/m, DSC=0.26).

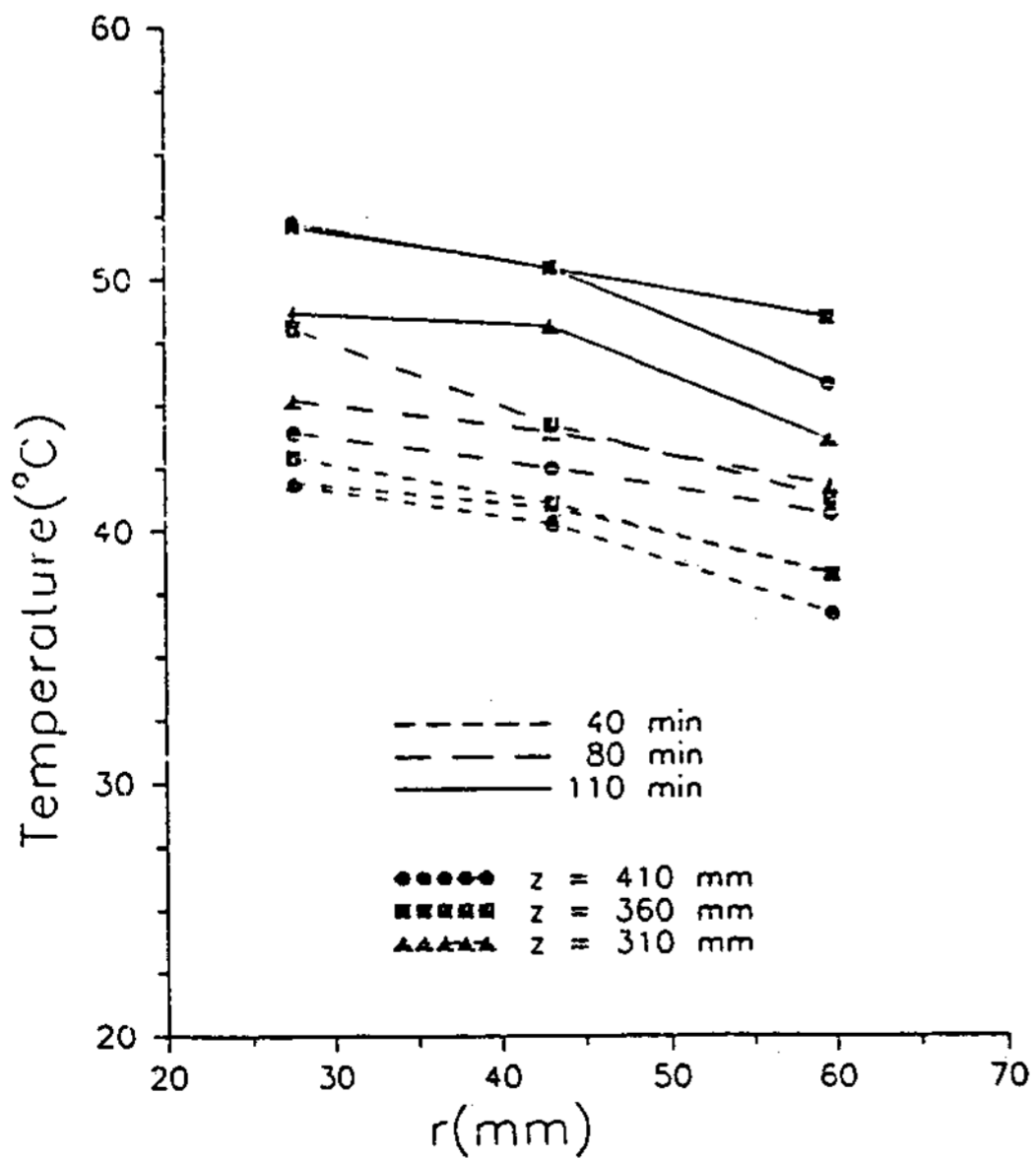


Fig. 3(b) Radial temperature distribution of wax (120 layers of mesh,  $m=0.213$  kg/m, DSC=0.26).

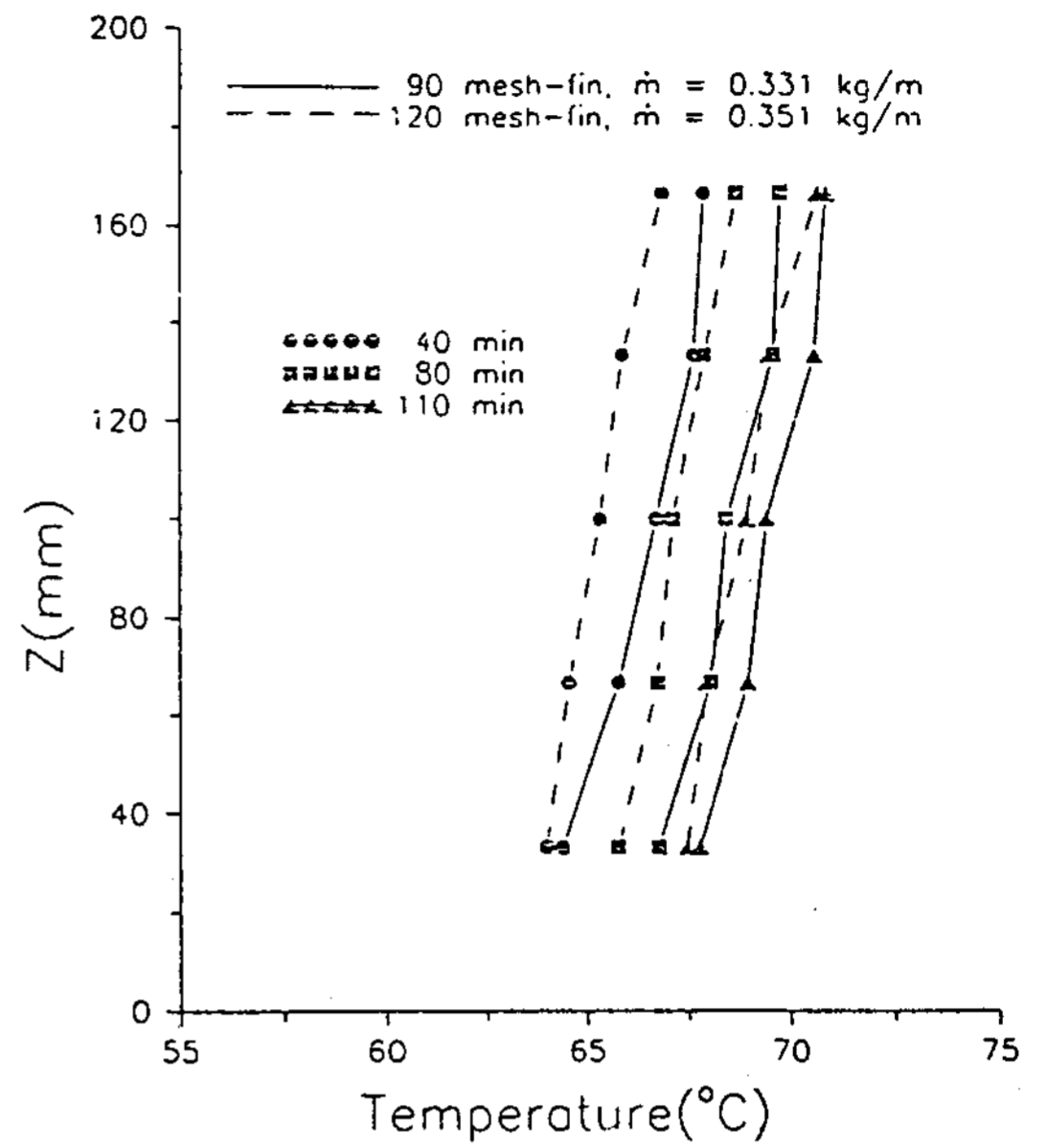


Fig. 4 Vertical temperature distribution of thermosyphon (Evaporator section).

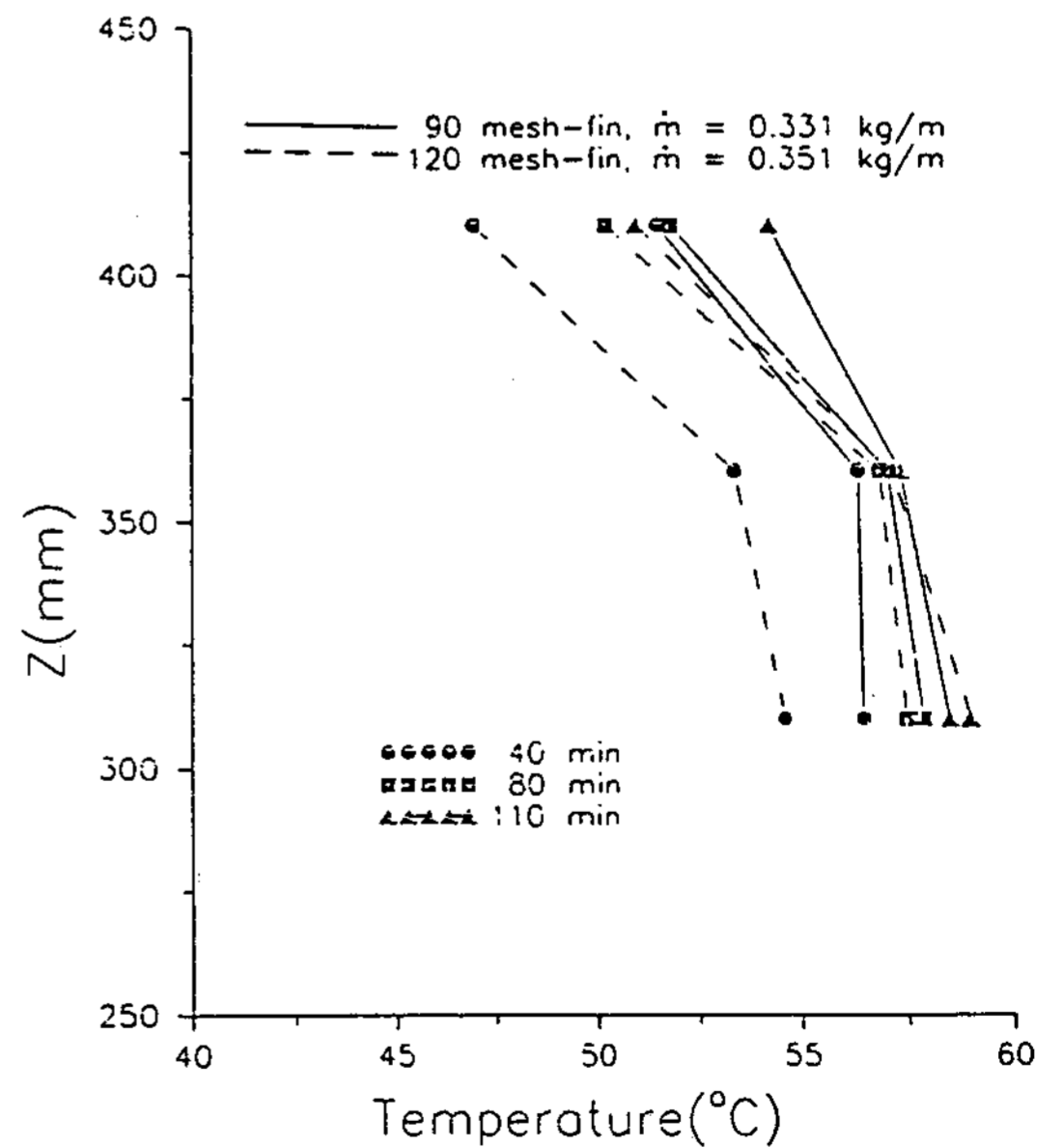


Fig. 5 Vertical temperature distribution of thermosyphon (Condenser section).

열싸이폰의 증발부 표면온도와 응축부 표면온도가 각각 Fig. 4와 Fig. 5에 그려져 있다. 증발부에서 윗부분의 온도가 아래 부분의 온도보다 높은 것은 가열유체가 위에서 유입되어 아래에서 흘러나가기 때문이며(Fig. 1) 가열유체 유입 방향이 축열성능에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다(Fig. 14 참조). 구리망 90장과 120장의 경우를 비교할 때 후자의 경우가 온도가 더 낮은 것은 구리망수의 증가로 인하여 왁스내에서의 열저항이 감소되었기 때문으로 해석된다.

가열유체의 입구 및 출구온도가 Fig. 6에 시간의 함수로 주어지고 있고 입구와 출구의 온도차로부터 다음과 같이 구한 열전달률이 Fig. 7에 주어졌다.

$$q = \dot{m} C_p(T_{in} - T_{out}) \dots\dots\dots (2)$$

유체의 온도차이 즉 열전달률은 실험초기에는 급속히 증가하여 최대점에 도달한 후 서서히 감소함을 볼 수 있다. 이것은 초기에 가열부와 축열부의 온도차이가 클 때 열전달이 활발하고 온도차이가 점차 줄어들어 따라 열전달률이 감소

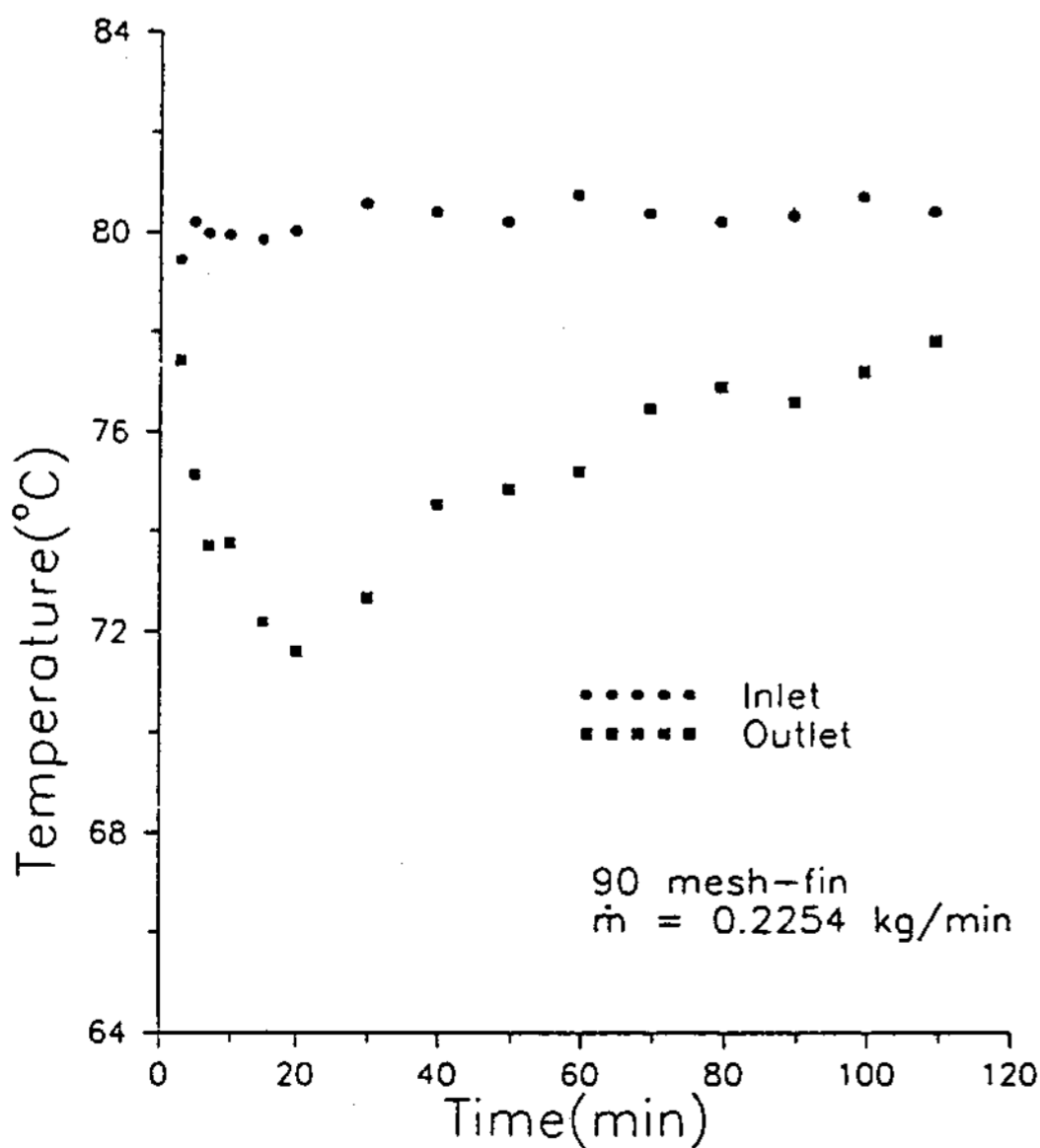


Fig. 6 Temperature history of the inlet and outlet of heating section.

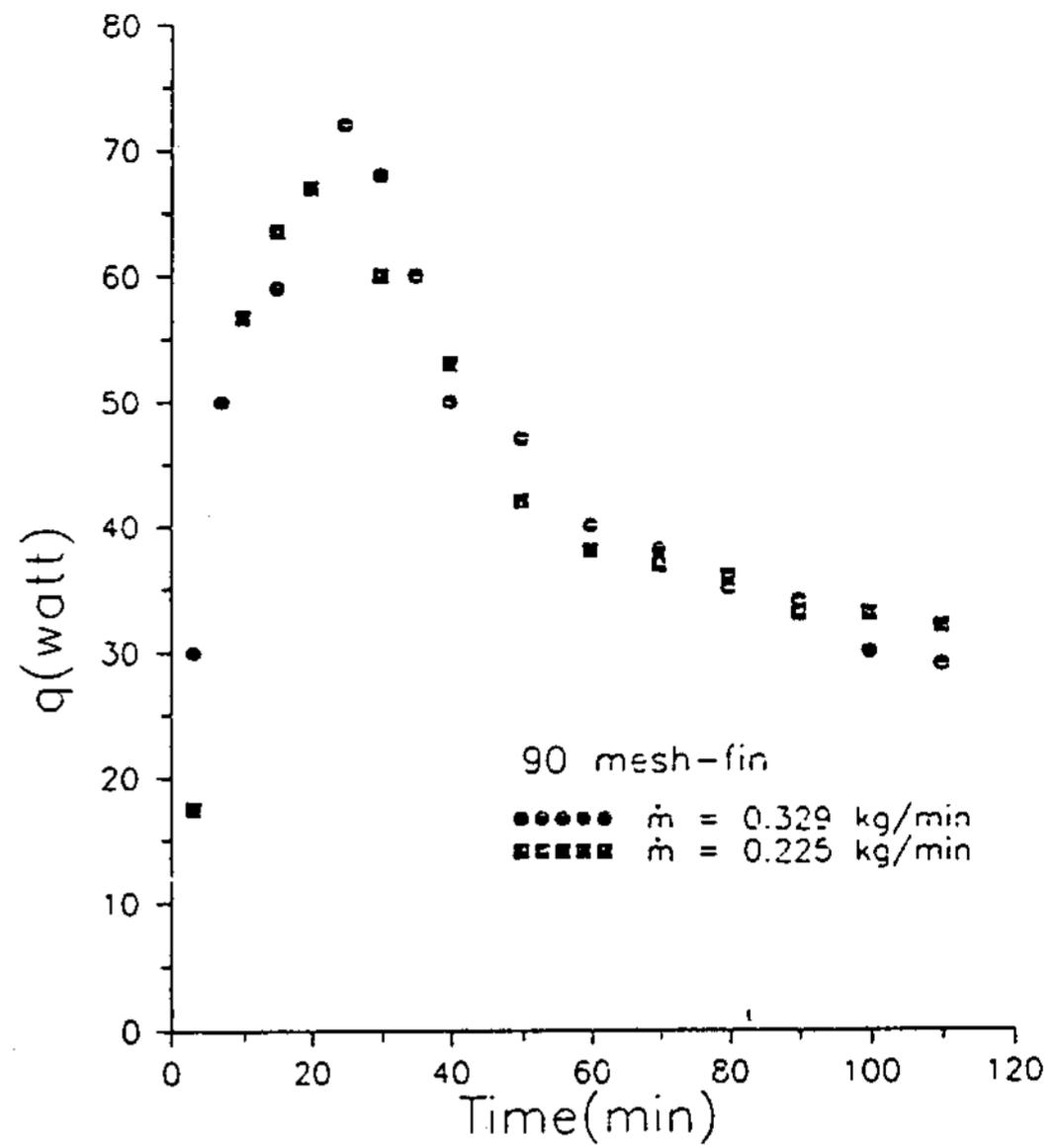


Fig. 7 Heat transfer rate, q, vs time(DSC=0.26).

하기 때문으로 풀이되며 왁스가 모두 녹아 현열 축열이 시작되면 열전달률은 거의 일정하게 될 것으로 예상할 수 있고 실제로 이러한 경향을 그림에서 볼 수 있다.

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 및 Fig. 11에는 가열유체와

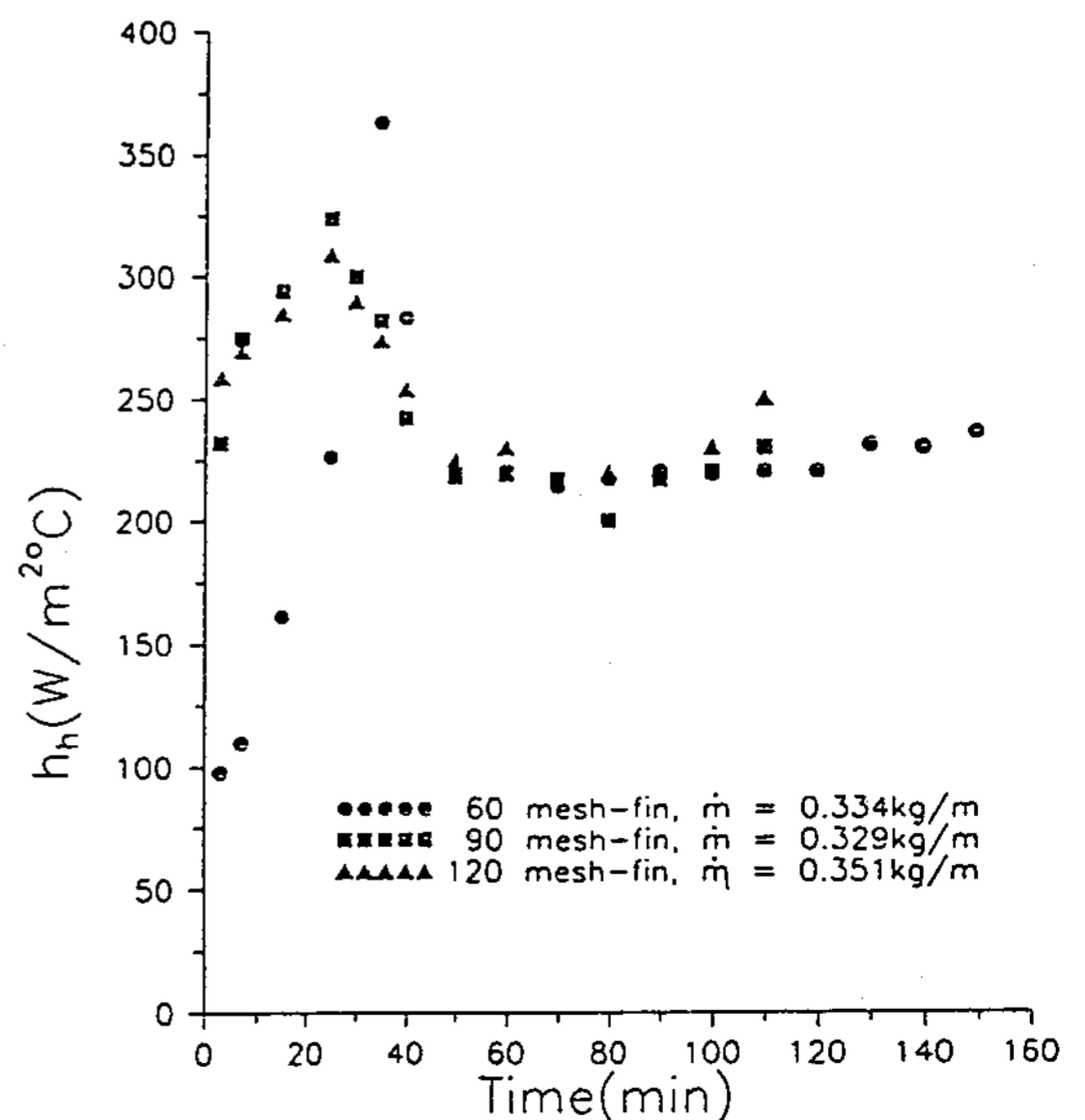


Fig. 8 Effect of number of mesh-fin on the heat transfer coefficient,  $h_h$ , (DSC=0.26).

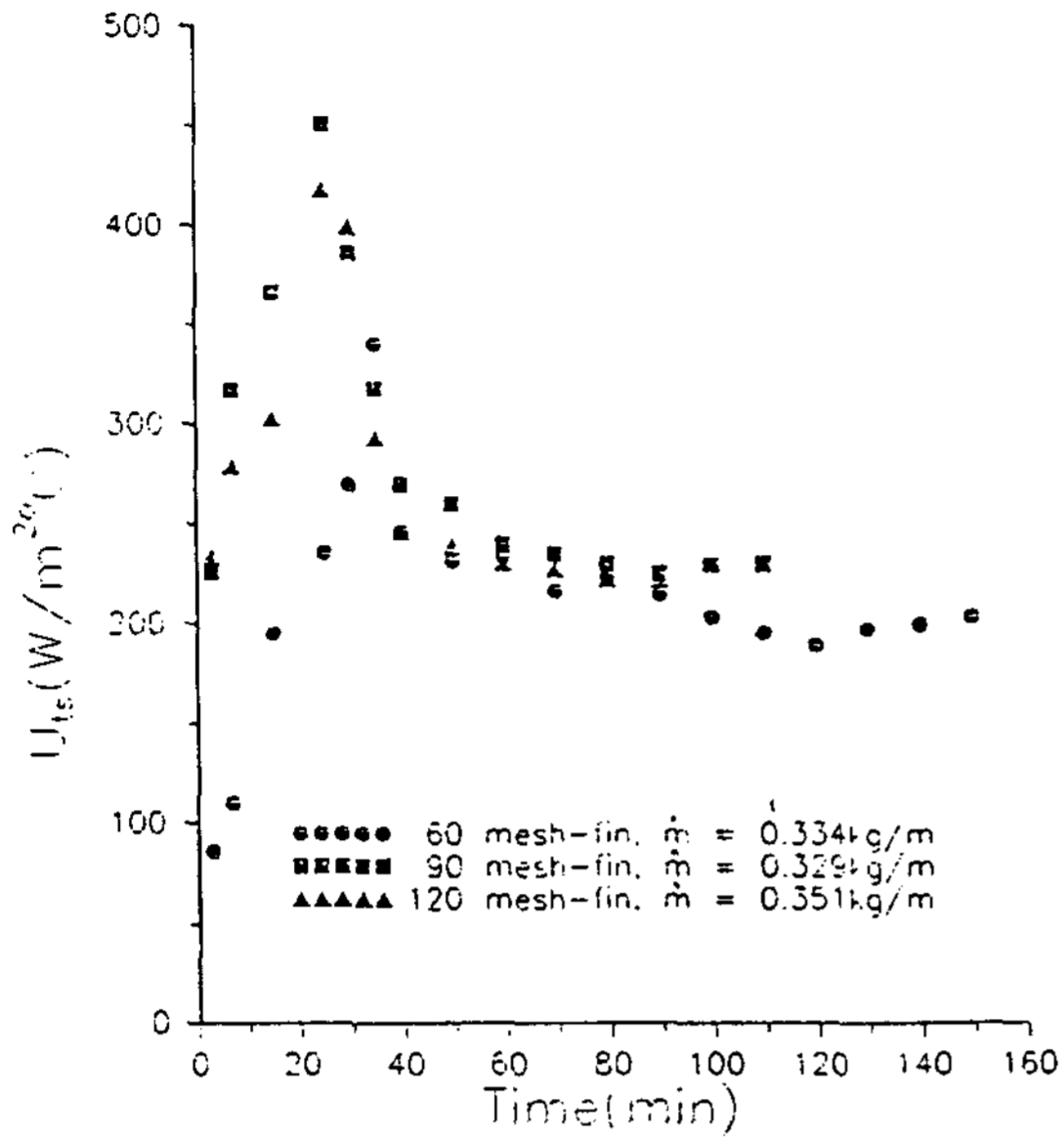


Fig. 9 Effect of number of mesh-fin on the heat transfer coefficient,  $U_{ts}$ , (DSC=0.26).

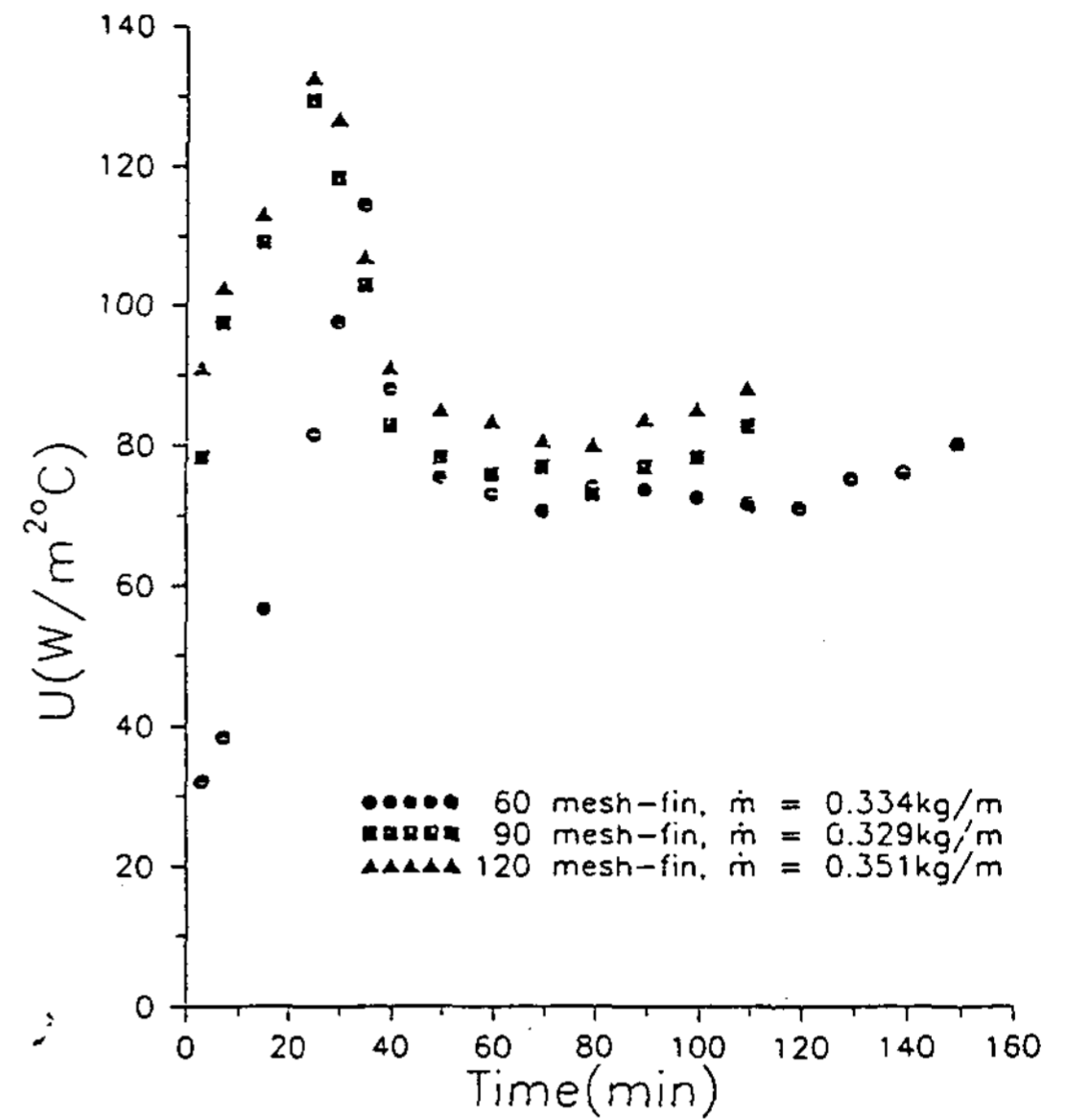


Fig. 11 Effect of number of mesh-fin on the overall heat transfer coefficient,  $U$ , (DSC=0.26).

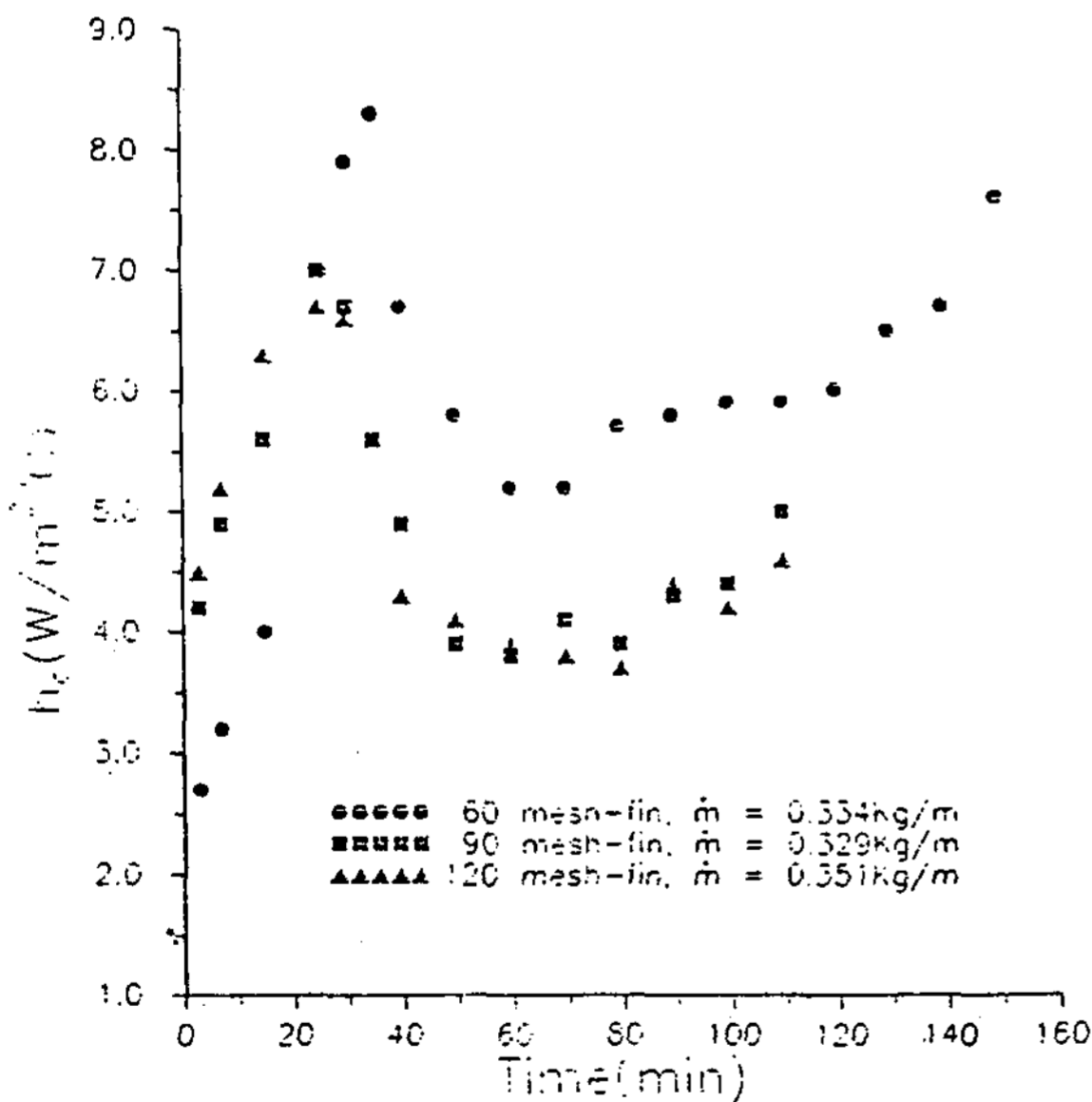


Fig. 10 Effect of number of mesh-fin on the heat transfer coefficient,  $h_c$ , (DSC=0.26).

열싸이폰의 증발부 사이의 열전달 계수  $h_h$ , 열싸이폰의 열전달 계수  $U_{ts}$ , 열싸이폰의 응축부 표면과 왁스 사이의 열전달 계수  $h_c$ , 그리고 전열전달계수  $U$ 가 구리망 60장, 90장, 120장의 경우에 대해 시간의 함수로 그려져 있으며 이들은 각각 다음과

같이 정의되었다.

$$q = h_h A_h (T_{in} - T_{h,ave}) \dots\dots\dots (3)$$

여기서  $A_h$ 는 열싸이폰 증발부의 표면적이고  $T_{h,ave}$ 는 면적에 대한 가중치를 고려하여 계산한 증발부 표면의 평균온도이다. 한편

$$q = U_{ts} A_c (T_{h,ave} - T_{c,ave}) \dots\dots\dots (4)$$

$A_h$ 이다. 또한

$$q = h_c (A_c + A_m) (T_{c,ave} - T_{w,ave}) \dots\dots\dots (5)$$

여기서  $A_m$ 은 구리망의 표면적이고  $T_{w,ave}$ 는 체적에 대한 가중치를 고려하여 계산한 왁스의 평균온도이다.  $h_h$ 를 정의함에 있어 구리망을 열싸이폰의 fin으로 간주하였다. 전열전달계수는 다음과 같이 정의되었다.

$$q = U A_c (T_{in} - T_{w,ave}) \dots\dots\dots (6)$$

따라서 식(3), (4), 및 (5)로부터  $U$ 와 다른 계수들 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{1}{U_{ts}} + \frac{1}{h_c(1+h_m/h_c)} \quad (7)$$

이 그림들에서 구리망 90장과 120장의 경우에는 모든 열전달계수의 값들이 큰 차이가 없음을 볼 수 있으며 이것은 90장의 경우에 비해 120장의 경우의 축열성능이 별로 향상되지 않았음을 의미한다. 한편 60장의 경우 실험초기에 전도가 여기서  $A_c$ 는 응축부의 표면적이고  $T_{c,ave}$ 는 역시 면적에 대한 가중치를 주어 계산한 열싸이폰의 응축부 표면의 평균온도이다.  $U_{ts}$ 를 정의함에 있어 면적으로  $A_c$ 를 택한것은 임의적인 것으로  $A_h$ 를 사용할 수도 있을 것이며 이 연구의 경우  $A_c =$  지배적일 때는 다른 두 경우에 비해 열전달 계수의 값이 떨어지나 대류가 시작하면  $h_h$ 와  $U_{ts}$ 는 다른 두 경우와 비슷한 값을 갖게 되고 특히  $h_c$ 의 값은 (Fig. 10) 훨씬 크게 됨을 볼 수 있다.

Fig. 12는 구리망수에 따른 열전달률을 그려놓은 것이다. 이 경우 역시 90장과 120장 사이에는 큰 차이가 없음을 볼 수 있다. Fig. 13은 과냉도와 질량유량의 영향을 보여준다. 열전달률에 대한 질량유량의 영향은 뚜렷하지 않으나 과냉도가 클

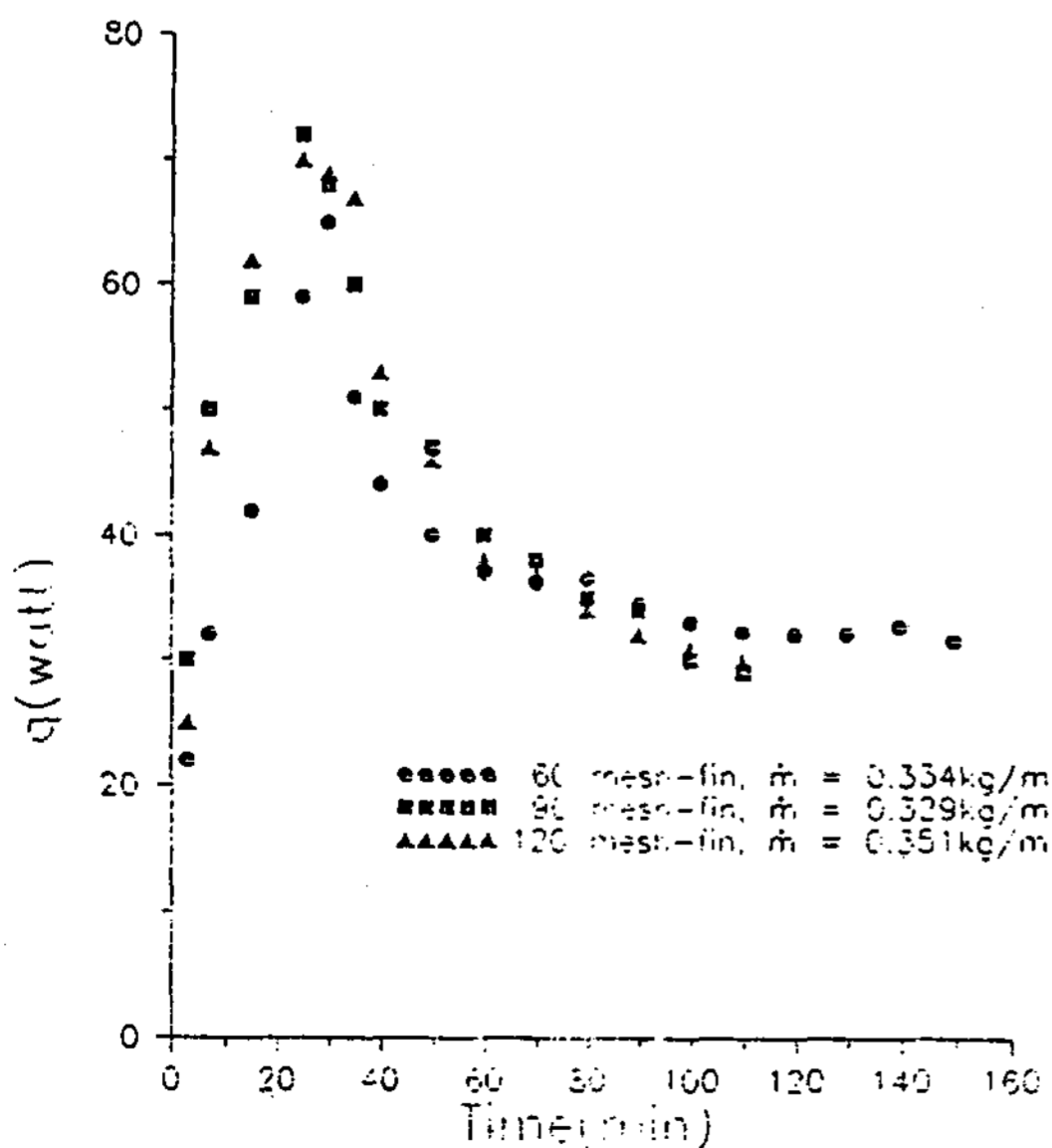


Fig. 12 Effect of number of mesh-fin on the heat transfer rate, q (DSC=0.26).

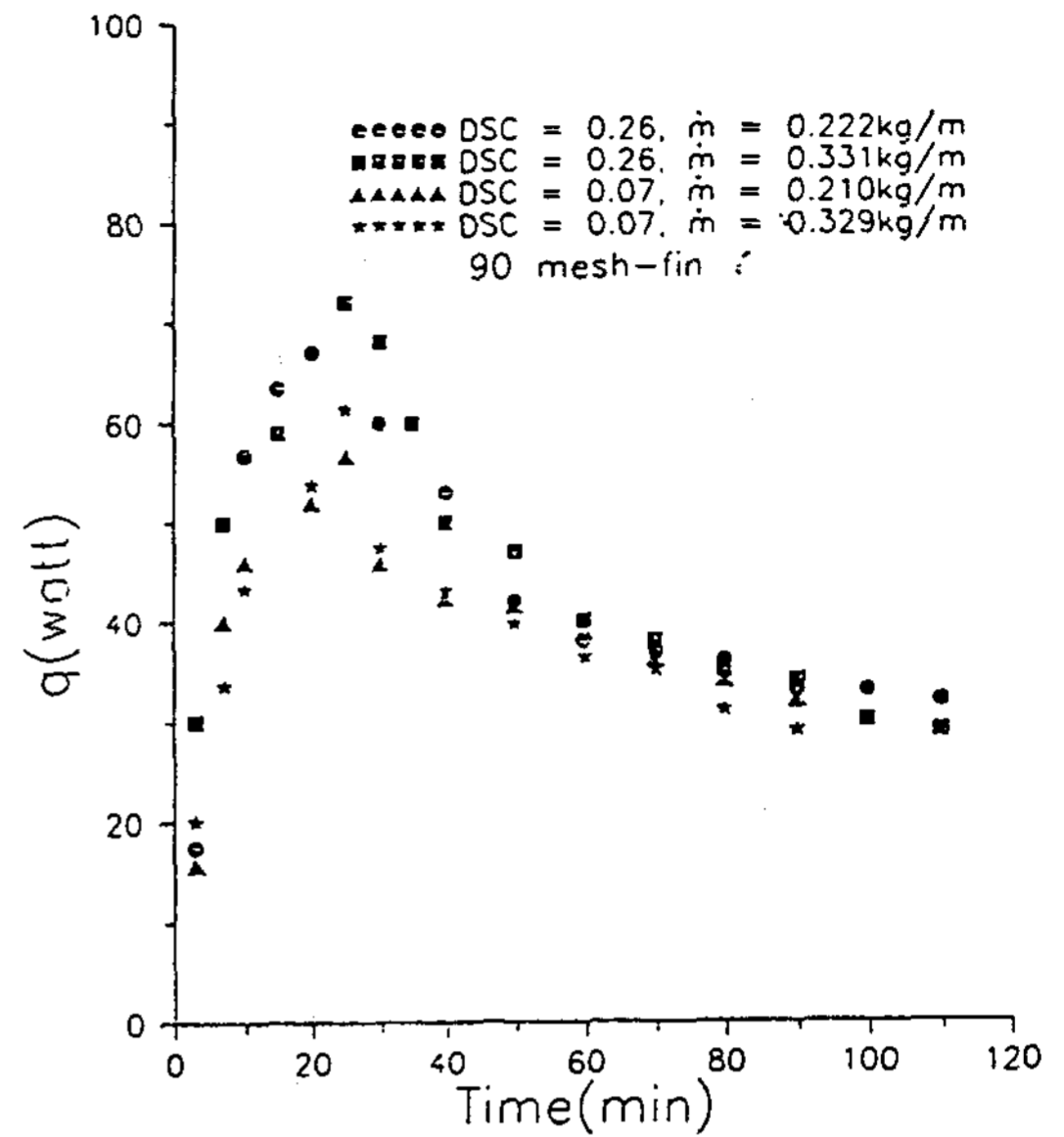


Fig. 13 Effect of degree of subcooling on the rate of heat transfer, q.

때 즉 초기온도 낮을 때 열전달률이 큼을 볼 수 있고 실험초기에 특히 그러하다. 이것은 가열유체와 왁스의 온도차를 생각할 때 예상할 수 있는 결과이다.

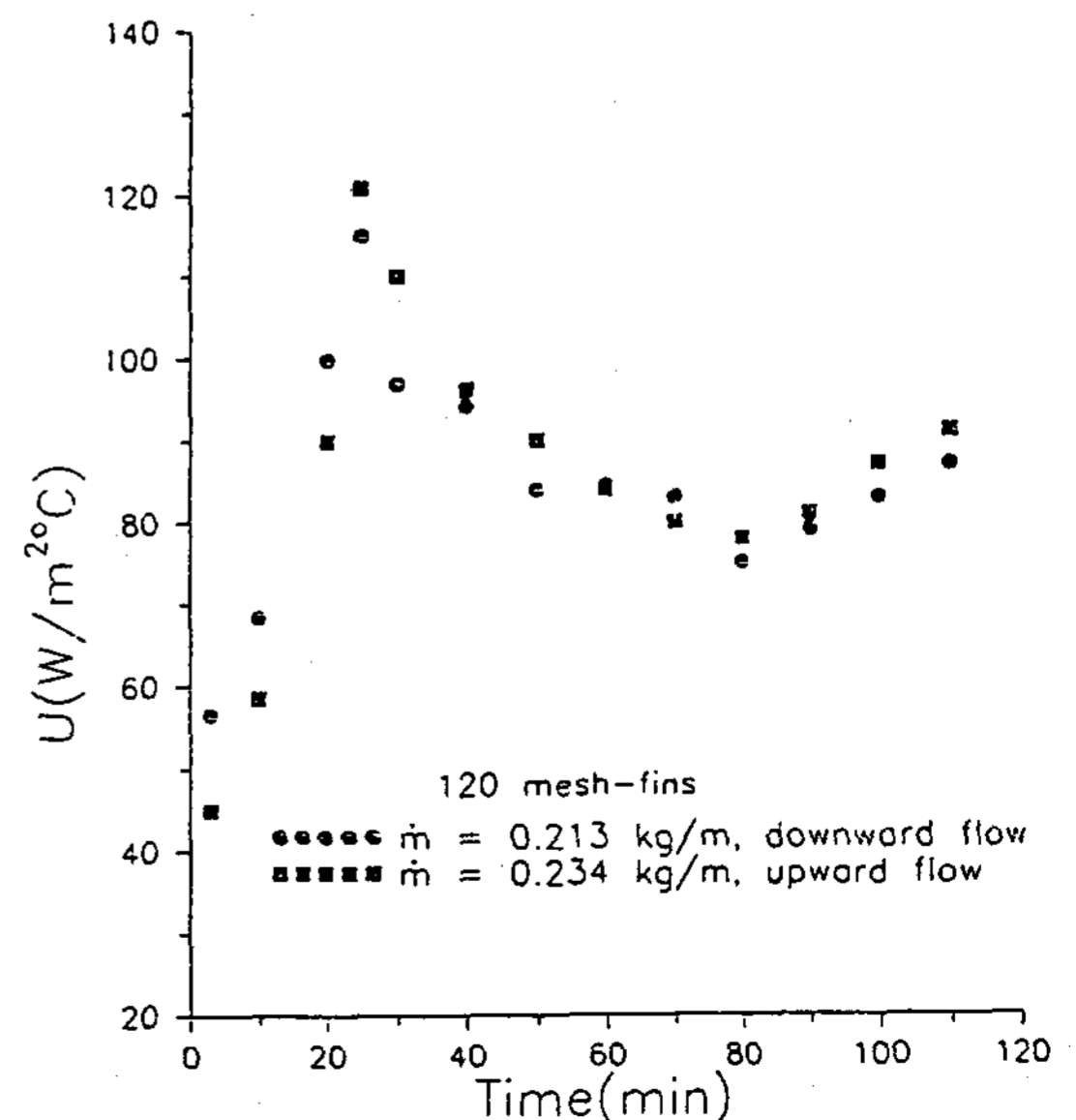


Fig. 14 Effect of flow direction on the overall heat transfer coefficient, U (DSC=0.26).



Fig. 14 는 가열유체를 Fig. 1에서와 같이 위에서 유입하여 아래에서 유출하였을 때의 전열전달계수와 유동의 방향을 바꾸었을 때의 전열전달계수를 비교한 것이다. 이미 언급한 바와 같이 유동의 방향이 축열시스템의 성능에 미치는 영향이 크지 않음을 볼 수 있다.

실험시작 시간부터 임의의 시간까지 가열유체가 축열시스템에 전달한 총열량이 Fig. 15 에 주어졌으며 이 그림은 Fig. 12 를 다음과 같이 적분하여 구한 것이다.

$$Q(t) = \int_0^t q dt \dots\dots\dots (8)$$

이 그림에서 60장에서 90장으로 구리망을 늘릴 경우 축열성능의 향상이 뚜렷하나 90장에서 120장으로 늘릴 경우의 성능향상은 미미함을 알 수 있다. 따라서 그 이상의 구리망수의 증가는 축열시스템의 성능향상에 큰 도움이 되지 않을 것이라는 예측이 가능하다.

이상의 결과를 종합해보면 구리망을 왁스에 넣으므로써 왁스내에서 바람직한 온도분포를 얻을 수 있으며 구리망수의 증가는 실험초기에 열전도가 지배적일 때에는 열전달을 향상시키나

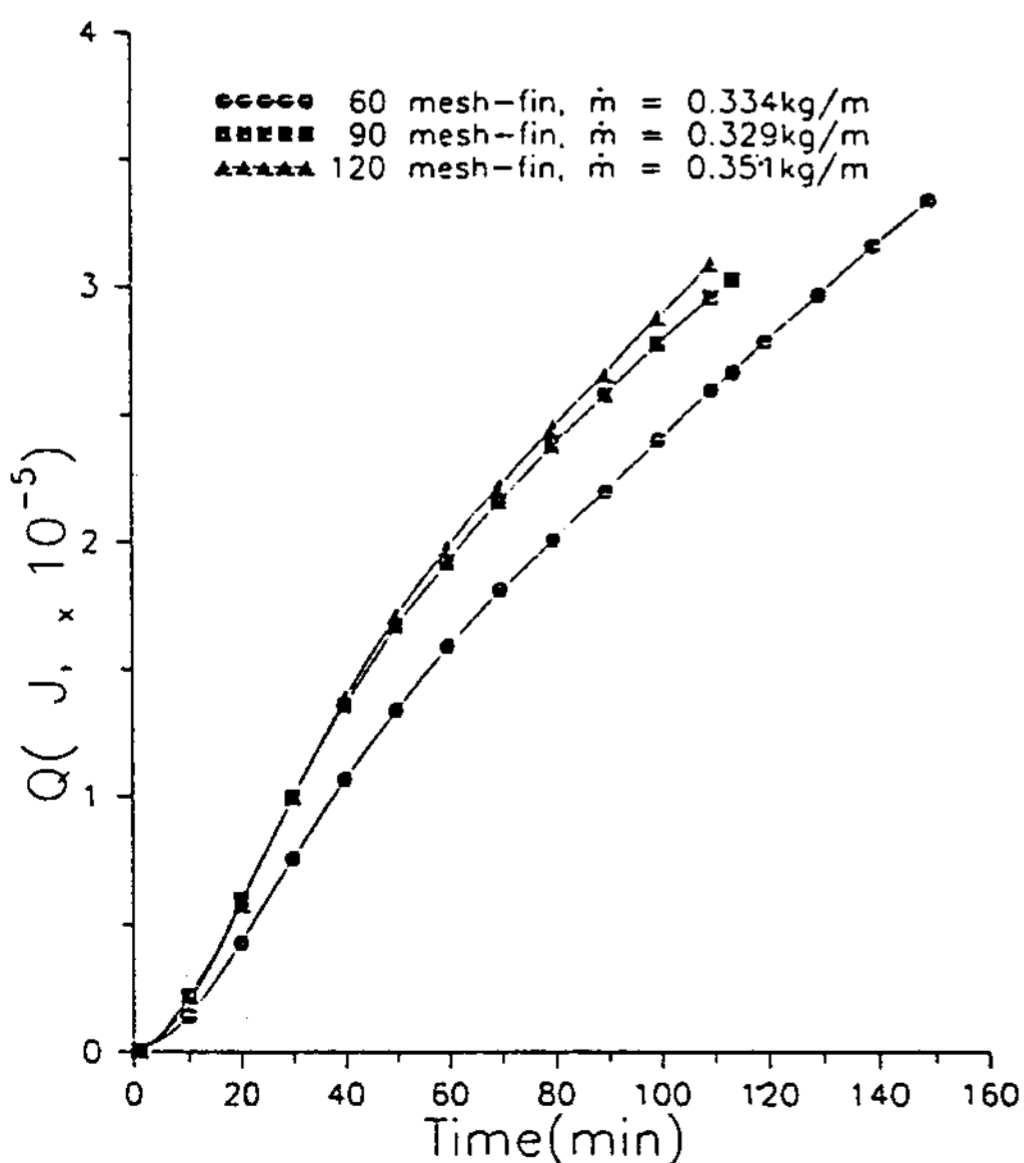


Fig. 15 Effect of number of mesh-fin on the total heat transfer, Q.

왁스가 용해되어 대류가 발생하면 오히려 대류작용을 억제하는 결과가 초래되고, 시스템의 축열성능을 고려할 때 최적의 구리망수 즉 최적의 체적비(축열조에서 구리망의 체적이 차지하는 비율)가 존재한다고 말할 수 있다.

#### IV. 결 론

이 연구에서는 paraffin wax를 상변화 물질로 한 잠열축열 시스템의 성능을 실험을 통해 조사하였다. 왁스의 유효열전도계수를 증가시키기 위해 왁스속에 여러겹의 구리망을 넣었고 열원으로부터 왁스로의 전열은 열싸이폰을 통하여 이루어지고 열은 고온의 ethylene glycol을 열싸이폰의 증발부 주위로 흘러 보냄으로서 주입되었다. 실험은 세개의 구리망수에 대해 가열유체의 유량을 변화시키며 수행하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 구리망은 왁스내의 열전달을 향상시키므로써 왁스의 온도를 균일화하는 효과를 가지며 왁스의 반지름방향 온도구배는 거의 일정하게 유지된다.
- (2) 구리망수의 증가는 실험초기에 열전도를 촉진시키나 용해된 왁스의 대류작용을 억제하게 된다.
- (3) 가열유체의 유동방향이 축열시스템의 축열성능에 미치는 영향은 크지 않다.
- (4) 축열성능의 관점에서 볼 때 최적의 구리망수가 존재하며 이 연구의 경우 체적비로 환산하여 3-4%의 체적비가 최적인 것으로 나타났다.

#### 후 기

이 연구는 한국과학재단의 지원으로 수행된 것임을 밝히며 동 재단에 깊은 감사의 뜻을 표하는 바이다.

## 참고문헌

1. C. den Ouden (Ed.), Thermal Storage of Solar Energy, Nijhoff(1981)
2. G. Beckman and P.V. Gilli, Thermal Energy Storage, Springer-Verlag(1984)
3. B. J. Brinkworth, Summary and Overview of Chemical Storage of Thermal Energy, Thermal Storage of Solar Energy (C. den Ouden, Ed.), Nijhoff (1981)
4. G. A. Lane, Solar Heat Storage : Latent Heat Material, CRC Press(1983)
5. W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, and E. N. Ganic, Handbook of Heat Transfer Applications, McGraw-Hill(1985)
6. 김시범, 노승탁, 금속스크랩이 혼합된 상변화물질의 유효열전도율, 대한기계학회 논문집, 제10권, 제6호(1986)
7. A. G. de Jong and C. J. Hoogendorn, Improvement of Heat Transport in Paraffines for Latent Heat Storage Systems, Thermal Storage of Solar Energy(C. den. Ouden, Ed.), Nijhoff(1981)
8. J. Eftekhar, A. Haji-Sheikh, and D. Y. S. Lou, Heat Transfer Enhancement in a Paraffin Wax Thermal Storage System, J. Solar Energy Engineering, Vol. 106(1984)
9. A. Abhat, Performance Investigation of a Long, Slender Heat Pipe for Thermal Energy Storage Applications, J. Energy, Vol. 6, No. 6(1982)
10. Y. Wu, Z. Zu and T. King, A Consideration of the Heat Pipe Design for a Variable Flux Heat Exchanger, Pap. 2. 3. 29, Proc. 6th IHPC(1987)
11. K. H. Kim and Y. Lee, A Study on the Use of Two-Phase Closed Thermosyphons for Latent Heat Storage System, Proc. 5th IHPC, Vol. 1 (1984)
- 12) 김권진, 유재석, 김기현, 상변화 물질을 이용한 에너지의 저장에 관한 연구-편이 부착된 열싸이폰의 이용에 관하여, 태양에너지 Vol.11, No. 1(1991)
13. 김태일, 김기현, 상변화를 이용한 축열시스템의 성능향상에 관한 연구, 대한기계학회 추계 학술대회 논문집(II) (1991)
14. Y. Lee and B. R. Clements, An Analysis of Heat Exchangers Using Finned Two-Phase Closed Thermosyphons, Proc. 5th IHPC, Part I (1984)
15. R. K. Shah and A. D. Giovannelli, Heat Pipe Heat Exchanger Design Theory, Heat Transfer Equipment Design, Hemisphere (1988)

## Performance of a Latent Heat Storage System Using Two-Phase Closed Thermosyphon( II )

– The Case of Constant Temperature Heating Fluid

**Tae-il Kim · Ki-Hyun Kim\***

*Graduate School, Ajou Univ. (Currently Korea Power Engineering Co.)*

*\*Dept. of Mechanical Engineering, Ajou Univ*

An experimental study was carried out to investigate the performance of a latent heat storage system using paraffin wax as the phase change material. A thermosyphon was employed to transfer heat from the hot ethylene glycol flowing across the evaporator section of the thermosyphon into the wax. In order to increase the effective thermal conductivity of wax, layers of copper wire mesh were immersed in the wax. Experiments were run for volume ratios of 2%, 3%, and 4%, varying mass flow rate of ethylene glycol in each case.

Some of the important results are as follows : (1) The wire mesh enhanced the conductive heat transfer and thus, helped even out the temperature distribution in the wax : (2) The increase of the number of layers of wire mesh increased the conduction. However, it also resulted in increasing the resistance to the convective motion of liquefied wax : and (3) There is an optimal number of layers of wire mesh, maximizing the performance of the storage system, which occurred at a volume ratio of 3~4% in the present study.

## A Study on the Heat Transfer Improvement in the Exhaust-Section of Industrial Furnace

**Hi-Yong Pak · Sang-Myung Cha · Chul-Hee Han**

*Department of Mechanical Engineering, Hanyang University*

In the concentric tube type recuperator, which is the most typical type of radiation recuperator, installed on the exhaust-section of industrial furnace, air flows between the adiabatic outer tube and the inner tube in which exhausted gas flows with high temperature. The waste heat of the exhausted gas is transferred to the inner tube, and transferred from the inner tube to the flowing air.

The heat transfer by radiation in the concentric tube type recuperator is modeled using spherical harmonics approximation, namely, P-N method and numerically analyzed considering the effect of dynamic flow field. The results are compared with the existing empirical data. In addition, a theoretical method is presented for the analysis of the heat transfer characteristics of a recuperator with a reradiator installed in the inner tube, which causes re-radiant in the inner tube, and the characteristics of the recuperator is analyzed and defined