

## 분리형 써모사이폰의 열전달특성에 관한 실험적 연구

### Experimental study on the heat transfer characteristics of separate type thermosyphon

정 기 창\*, 이 기 우\*, 유 성 연\*\*  
K. C. Chang, K. W. Lee, S. Y. Yoo

**Key words** : Separate type thermosyphon(분리형 써모사이폰), Evaporator(증발부), Condenser(응축부), Heat transfer characteristics(열전달특성), Liquid filling ratio(작동유체충액률)

#### Abstract

Separate type thermosyphon has larger critical heat flux than non-loop type thermosyphon, because the flooding phenomenon of vapor and liquid occurring in non-loop one does not occur. The experimental study has been carried out separate type thermosyphon with single tube. An investigation of heat transfer characteristics in separate type thermosyphon is performed experimentally. Heat transfer coefficients in an evaporator and condenser were measured experimentally. The effects of liquid filling ratio, height difference, cooling temperature and heat flux on the heat transfer coefficients were examined. As a result, the reasonable range of the liquid filling ratio and the dependence of heat transfer on vapor temperature and heat flux are obtained.

#### 1. 서 론

2상밀폐 써모사이폰의 기본원리는 밀폐된 용기 내에 작동유체를 주입하고 진공으로 하면 낮은 온도에서도 작동유체는 증발하고 증기상태의 작동유체는 응축부에서 액체로 응축되어 연속적인 반복에 의해 열을 전달할 수 있게 된다. 따라서 분리형 써모사이폰은 2상밀폐 써모사이폰에서의 증발기와 응축기를 분리한 루프형이라 할 수 있으며, 내부에 일정한 양의 작동유체를 주입하고 고온의 열유체를

가열부로 보내면 가열관내의 작동유체는 증발하면서 압력이 높아지며, 증기가 증발부 위의 헤더에 모인 후 증기상승관을 통하여 냉각부 위 헤더에 도달한다. 여기서 증기는 냉각관외에서의 저온유체에 열을 방출하고 냉각관내의 증기는 관내벽에 응축되며, 응축액은 중력의 작용에 의해 냉각부 아래의 헤더에 모인 후 액체하강관을 통하여 가열부 아래 헤더에 보내지면서 작동유체의 순환이 계속되어 열을 수송하게 된다. 여기서 작동유체의 순환력은 냉각부를 높은 위치에 배치하므로써 액위차에 의해 발생한다.

밀폐2상 써모사이폰에서는 발생된 상승증기와 하강하는 액체가 대항류에 있기 때문에 플러딩현상

\* 한국에너지기술연구소

\*\* 충남대학교 기계설계공학과

이 발생하여 한계열유속이 작은 것으로 보고되고 있다. 그러나 분리형은 흐름이 한 방향이기 때문에 순환이 원활하여 한계열유속이 큰 장점을 갖고 있다. 또한, 증발부와 응축부를 유동관으로 연결하여 루프를 형성하기 때문에 증발부와 응축부를 비교적 임의의 위치에 배치할 수 있고, 증발부와 응축부를 아주 멀리 설치할 수 있다는 이점이 있지만 배치에는 몇가지의 제약조건이 있다. 첫째는 가열부인 증발부와 냉각부인 응축부의 설치위치에서 고도의 차이가 반드시 있어야 하고, 그 고도차는 증기와 액체를 수송하는 압력손실에 상당하는 액주높이보다 반드시 커야 한다는 것이며, 두번째는 증기와 액체 유동관의 전열성능 및 허용가능한 열손실율이다. 따라서 분리형 써모사이폰은 이와 같은 제약조건을 극복하면 작은 온도차로서도 많은 열을 수송할 수가 있어서 변압기의 냉각, 컴퓨터 캐비넷내의 냉각, 대용량 반도체소자의 냉각, 특히 폐열회수용 열교환기 등에 활용될 수가 있다.

분리형 써모사이폰에 대한 연구로서는 McDonald<sup>(1,2)</sup> 등은 2상밀폐 루프 써모사이폰의 유동과 열전달에 관한 실험적 및 해석적 연구를 수행하였고, Tu<sup>(3)</sup> 등은 분리형 2상밀폐 써모사이폰에서의 응축열전달특성과 응축에 있어서의 불응축가스의 영향에 대해 이론해석하였다. 그리고 Imura<sup>(4)</sup> 등은 2상밀폐 루프 써모사이폰에서의 작동유체를 물, 에탄올, R-113 등을 사용하여 유동과 열전달특성을 실험과 이론해석을 수행하여 작동유체충액률과 유동량이 열전달계수에 미치는 영향을 연구하였다.

또한, Chen<sup>(5)</sup> 등은 분리형 써모사이폰에서의 증발 및 응축열전달계수를 열유속과 작동압력의 함수로 나타내는 실험식을 도출하였고, Mou<sup>(6)</sup> 등은 작동유체의 충액률과 열유속에 따른 증발부의 열전달계수를 이론치와 실험치를 비교하여 열전달계수의 상관관계식을 도출하였다.

그러나 분리형 써모사이폰을 열교환기로서 이용코저 할 경우에는 루프내의 압력손실과 기액의 밀도차, 수두차에 의한 평형에서 작동유체의 순환력이 결정되기 때문에 증발부와 응축부의 설치높이차를 변경시킬 경우에 열전달계수를 도출할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 실제로 많이 사용되는 직경 27.2mm의 탄소강관을 증발기와 응축기로 하

고 증발부와 응축부의 설치높이차를 변경시킬 경우에 대해 작동유체충액률, 증발부의 열유속 및 응축부의 냉각온도에 따른 열전달특성에 대해 실험적으로 고찰코저 하였다.

## 2. 분리형 써모사이폰 설계 및 제작

분리형 써모사이폰은 증발부와 응축부 두 부분을 증기상승관과 액체하강관으로 연결하여 제작하는 것이 일반적이며, 작동은 써모사이폰내에 일정량의 작동유체를 채우고 증발부를 가열하면 작동유체가 증발과 함께 압력이 상승되어 증기상승관을 통하여 증기는 응축부에서 열을 방출하고 응축되어 액체가 된 후 중력작용에 의하여 액체하강관을 통해서 증발부로 되돌아오므로써 하나의 싸이클을 이루게 된다.

따라서 분리형 써모사이폰의 응축부는 반드시 증발부보다 높게 설치되어야 하며, 정상적인 작동과정에서는 액체하강관과 증발부의 액면사이에 일정한 액위차가 형성된다. 이 액위차는 증기유동과 액체유동 압력손실의 균형을 이루는데 이용되는 동시에 작동계통이 정상적으로 운행될 때 증발부와 응축부의 최저위차를 보장한다. 작동유체의 순환력은 이 액위차가 발생하므로 외부의 동력을 필요로 하지 않는다.

본 연구에서는 분리형 써모사이폰의 열전달특성을 파악하기 위하여 단일관으로 된 분리형 써모사이폰을 설계 및 제작하였다. Fig.1은 분리형 써모사이폰의 증발부와 응축부를 나타낸 것인데 증발부와 응축부는 외경 27.2mm, 내경 20.2mm인 탄소강관을 길이 300mm로 하여 제작하였으며, 증기상승관과 액체하강관도 증발부와 응축부에 사용된 파이프와 같은 크기와 재질로 하였다. 증발부와 응축부의 수평거리는 1.0m로 하고, 증발부와 응축부의 높이차는 0.5, 1.0, 1.5m로서 세 종류가 될 수 있도록 가변화하였다.

증발부에는 작동유체가 비등할 때 플러딩이 일어나서 증기유동을 방해하는 것을 방지하기 위해 기액분리관을 설치하고 기액분리관의 유무에 따른 유동 및 열전달특성을 파악하기 위해 기액분리관에 볼밸브를 부착하였다. 그리고 증발부의 열유속변화

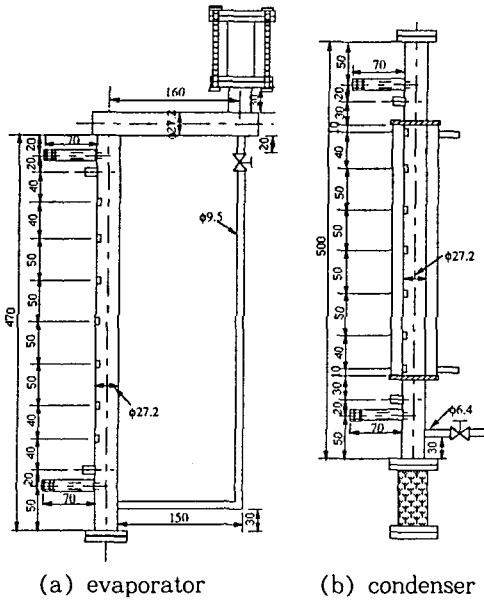


Fig.1 Schematic diagram of evaporator and condenser

는 증발부 주위에 전열선을 감아서 전기가열이 가능토록 하였고, 응축부의 냉각은 워터자켓을 설치하여 수냉할 수 있도록 하였다.

분리형 써모사이폰이 작동할 때 작동유체의 비동에 의한 유동의 불안정을 관찰하기 위해 증발부 위에 길이 70mm의 유리관을 설치하고, 응축부 아래에는 작동유체가 응축되어 유동하는 현상을 관찰하기 위해 증발부 위에 설치한 것과 같은 크기의 유리관을 설치하였다. 그리고 작동유체의 충액을 파악하기 위해 증발부측에 수위계를 설치하였으며, 응축부측에는 불응축가스의 배출을 위해 배기관을 부착하였다.

분리형 써모사이폰의 내부에 불순물이나 오염물질이 있으면 작동유체의 침투성이 나빠지거나 불응축가스 발생으로 인하여 분리형 써모사이폰의 성능이나 수명에 나쁜 영향을 끼치기 때문에 각 부품을 조립하기 전에 파이프 내부를 유기용제로 깨끗이 닦고 증류수로서 헹구어 건조시켰다. 그리고 각 부품을 조립하고나서 질소를 충전시켜 누설실험을 하였다.

분리형 써모사이폰을 폐열회수용 열교환기로 활

용할 때에는 배가스의 온도가 약 300°C 전후이므로 파이프내의 포화온도는 약 200°C 이하에서 작동하게 되므로 여기에 가장 적합한 작동유체를 증류수로 선정하였고, 작동유체를 증발부 내체적의 30%, 50%, 70%를 충액하고, 진공펌프를 이용하여 탈기시켜 제작하였다.

### 3. 성능실험장치 및 실험방법

#### 3.1 성능실험장치

Fig.2는 분리형 써모사이폰의 성능실험장치를 나타낸 것으로서 분리형 써모사이폰의 증발부와 응축부의 거리를 3m, 높이차를 2m까지 설치할 수 있도록 지지대의 크기를 3×2×1m로 하고 설치거리 및 높이를 조절할 수 있도록 구성하였다.

증발부의 가열은 증발부 표면위에 전열물질로 피복된 전열선을 감고 전압조절기를 이용하여 가열량을 변화시킬 수 있도록 하였다. 그리고 외부로의 열손실을 방지하기 위하여 100mm 두께의 압면으로 단열하였으며, 증기상승관과 액체하강관도 외부로의 열손실을 방지하기 위하여 단열처리하였다.

응축부의 수냉을 위해 응축부에 워터자켓을 설치하였고, 냉각수의 온도조절은 냉각수탱크내에 전열히터를 삽입하고 온도조절기를 이용하여 조절하였으며, 냉각수의 유량을 측정하기 위하여 냉각수 입구측에 로타리타입 물유량계(OVAL FLOWPET, 200~1,200/h)를 설치하였다.

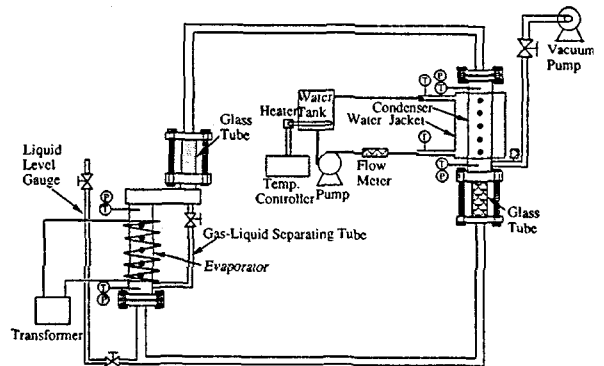


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus

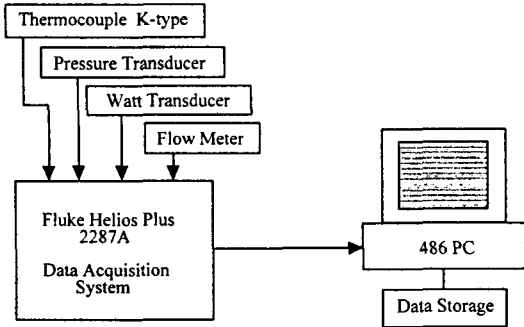


Fig.3 Measuring system

성능실험장치에서 각각의 실험데이터들을 측정하기 위한 방법으로 증발부의 가열량 측정은 2.4kW까지 측정이 가능토록 watt transducer (KTG-12-0)를 설치하였으며, 증발부내의 입출구 포화압력을 측정하기 위해 pressure transducer (PDCR 130/W, 0~500kPa)를 각각 설치하였다. 응축부내의 입출구에도 작동유체의 포화압력을 측정할 수 있도록 pressure transducer(P21AA, 0~500kPa)를 각각 설치하였다.

그리고 작동유체의 증기온도와 응축액의 온도를 측정하기 위하여 증발부내의 입출구와 응축부내의 입출구에 열전대(K-type sheath dia. 1.6mmφ)를 각각 1점씩 삽입하였으며, 증발부와 응축부의 표면 온도를 측정하기 위하여 열전대(K-type 0.3mmφ)를 각각 7점씩 온납땜으로 접합하였고, 냉각수의 입출구온도를 측정하기 위하여 입출구에도 열전대를 부착하였다.

이와 같은 실험데이터들은 Fig.3과 같이 data acquisition system(FLUKE, HELIOS Plus 2287A)을 통하여 측정하고 컴퓨터에 자동기록할 수 있도록 하였다.

### 3.2 성능실험방법

분리형 써모사이폰의 증발부와 응축부의 높이차를 변화시킬 경우에 작동유체의 증액률과 증발부의 가열량 및 응축부의 냉각온도변화에 따른 열전달특성을 고찰하기 위해서 증발부와 응축부의 높이차를 0.5, 1.0, 1.5m로 하고 각각의 높이차에 대해서 작동이 정지된 상태에 있을 때 증발부의 내체적과 증

발부내에 채워진 작동유체의 체적비인 작동유체 증액률을 30, 50, 70%로 변화시키면서 실험하였다. 이때 증발부의 열유속은 2.63W/cm<sup>2</sup>, 3.68W/cm<sup>2</sup>, 5.26W/cm<sup>2</sup>, 6.31W/cm<sup>2</sup>, 7.89W/cm<sup>2</sup>로 하고, 냉각수의 유량은 310/h로 일정히 유지시키고, 냉각수의 입구온도를 50, 60, 70°C로 변화시키면서 성능실험을 하였다.

또한, 증발부에는 기액분리관의 유무에 따른 유동 및 열전달특성을 파악하기 위해 증발부와 응축부의 높이차가 1.0m인 분리형 써모사이폰에 대해서 기액분리관을 차단한 상태에서 성능실험을 하였다. 그리고 증발부에서 일어나는 증기의 유동과 플러딩의 현상, 응축부에서 응축액의 유동과정을 관찰창을 통해 관찰하면서 성능실험을 수행하였다.

성능실험결과에서 응축부로의 냉각수에 의해 회수되는 열전달율은 증발부의 전열선에 의해 가해지는 전열량의 90% 정도로서 일부는 방열손실되고 있으며, 여기서는 증발부에 가해지는 열전달율을 기준으로 하여 열전달특성을 분석하였다. 따라서 실험변수에 대해 각 부위에서의 온도와 압력을 측정하여 증발부와 응축부의 내부열전달계수  $h_{ie}$ 와  $h_{ic}$ 를 다음식에 의해 계산하였다.<sup>(7)</sup>

$$\overline{T}_{poe} = \frac{1}{A_{oe}} \int T_{poe} dA \quad (1)$$

$$\overline{T}_{poc} = \frac{1}{A_{oc}} \int T_{poc} dA \quad (2)$$

$$q = -k_{es} \frac{dT}{dr} \quad (3)$$

$$h_{ie} = \frac{Q}{A_{ie}(T_{pe} - T_v)} \quad (4)$$

$$h_{ic} = \frac{Q}{A_{ic}(T_v - T_{pc})} \quad (5)$$

여기서  $T_{poe}$ 와  $T_{poc}$ 는 증발부와 응축부의 외표면 측정온도이고,  $\overline{T}_{poe}$ ,  $\overline{T}_{poc}$ 는 이에 대한 외표면평균온도를 나타내며,  $\overline{T}_{pe}$ ,  $\overline{T}_{pc}$ 는 식 (3)과 같이 파이프의 두께에 의한 열저항을 Fourier의 열전도식으로부터 계산한 증발부와 응축부의 내표면평균온도이다. 그리고  $A_{oe}$ 와  $A_{oc}$ 는 증발부와 응축부의 외벽표면적이고,  $A_{ie}$ 와  $A_{ic}$ 는 증발부와 응축부의 내벽표

면적이며,  $Q$ 는 증발부의 열전달율,  $T_s$ 는 작동유체의 증기온도를 나타내고 있다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 열유속에 따른 열전달특성

Fig.4는 수직으로 설치한 증발부의 길이가 300mm이고 작동유체가 증발부의 중간인 150mm에 까지 점유하는 총액률 50%에서 열전달율을 변화시켰을 경우의 증발부 표면의 온도분포를 나타낸 것이다. 여기서 응축부의 냉각수온도는  $60^\circ\text{C}$ 였으며, 증발부와 응축부의 높이차 1m에서 증축은 수직으로 설치한 증발부의 최하부위치를 0mm로 하고 최상부위치를 300mm로 표시한 것이고, 횡축은 증발부 벽면의 표면온도를 나타낸 것이다.

Fig.4의 증발부 최하부에서는 열유속이  $2.63\text{W}/\text{cm}^2$ 일때 표면온도가  $87^\circ\text{C}$ 이고, 열유속이  $7.89\text{W}/\text{cm}^2$ 일때  $122^\circ\text{C}$ 까지의 분포를 나타내고, 증발부의 높이 100mm에서는 열유속이  $2.63\text{W}/\text{cm}^2$ 일때 표면온도가  $74^\circ\text{C}$ 이고, 열유속이  $7.89\text{W}/\text{cm}^2$ 일때  $106^\circ\text{C}$ 로 온도가 급격히 떨어지는 현상을 보이고 있다. 그리고 증발부높이 100mm에서 200mm까지는 거의 일정한 온도를 나타낸 후 증발부높이 200mm에서 최상부인 300mm까지는 다시 급격히 표면온도가 상승하

여 열유속이  $2.63\text{W}/\text{cm}^2$ 에서  $92^\circ\text{C}$ ,  $7.89\text{W}/\text{cm}^2$ 에서  $148^\circ\text{C}$ 의 분포를 나타내고 있다.

일반적으로 단관형 써모사이폰에서는 증발부 아래부분의 표면온도가 가장 높고 위로 올라갈수록 응축액의 귀환으로 인해 건증기구역이 없으므로 낮아지는 경향이 있으나 분리형 써모사이폰에서는 증기와 액체의 유동관이 서로 분리되어 있어서 증발부의 중앙부분에서 열전달이 가장 활발하게 일어나 중앙부위에서 표면온도가 낮게 나타나고 있으며, 위로 올라갈수록 건증기영역에 도달하여 표면온도가 급격히 상승하고 있다.

그리고 열유속이 커짐에 따라 표면온도가 높아지며, 증발부의 높이가 300mm 근처로 갈수록 열유속의 증가에 따른 온도상승폭이 커지는 현상은 건증기와 접촉하는 영역, 즉 드라이아웃(dry-out)현상의 일종으로 볼 수 있어 작동유체 총액률과 열유속 또는 최대열수송량과도 관계있음을 예측할 수 있다.

Fig.5는 증발부의 열유속에 따른 증발부내의 포화증기온도를 나타낸 것으로서 포화증기온도는 증발부의 상부에 열전대를 삽입하여 파이프내의 증기온도를 측정된 것이다. 작동유체의 총액률 50%에서 응축부의 냉각수온도를  $50^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$  및  $70^\circ\text{C}$ 로 하였을 경우에 증발부내의 포화온도변화로써 냉각

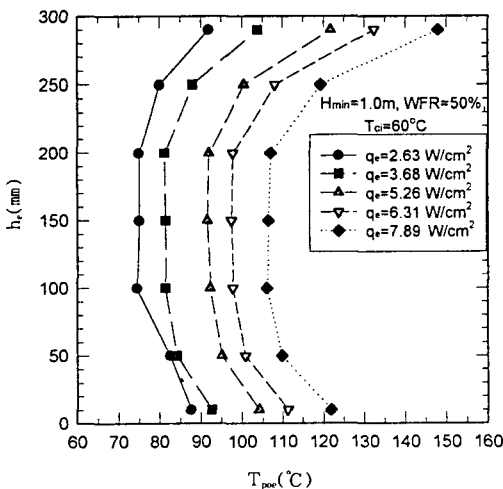


Fig.4 Surface temperature distribution of evaporator

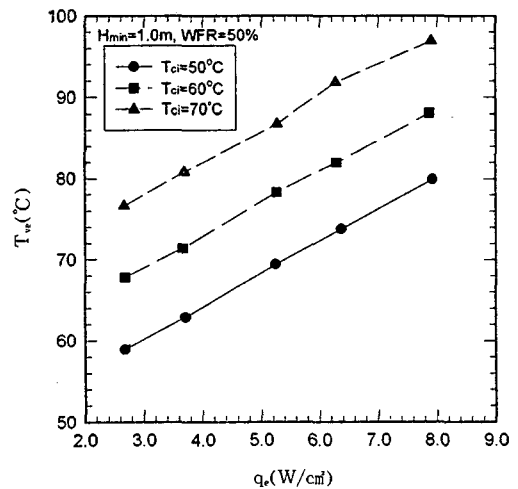


Fig.5 Saturated vapor temperature versus heat flux

수온도상승폭에 비례하여 포화증기온도가 상승하며, 열유속이 증가할수록 포화증기온도도 선형적으로 증가한다. 실험범위에서는 포화증기온도가 100°C 미만으로 나타났다.

분리형 써모사이폰의 증발부에서는 작동유체의 충액량이 너무 많으면 열유속이 큰 경우에 증기와 함께 응축부로 액체가 유입되어 성능을 떨어뜨리는 결과를 초래하므로 본 연구에서는 증발부에 별도로 기액분리관을 설치하고 분리관에 밸브를 부착하여 밸브를 열었을 경우와 닫았을 경우에 증발부의 표면온도분포를 기록하고 증발부의 상부헤더위의 관찰창을 통하여 증기에 액체가 혼합하여 유동하는지를 관찰하였다.

Fig.6에서 O는 기액분리관의 밸브를 열었을 때이고, S는 기액분리관의 밸브를 닫았을 때를 나타낸 것으로서 작동유체의 충액률이 많은 경우에 증발부의 하부영역에서 온도가 다소 높을 뿐 기액분리관의 유무에 따른 증발부의 표면온도분포에는 거의 영향을 끼치는 것 같지는 않으나 관찰창을 통한 증기유동상태의 관찰에서 작동유체의 충액률이 70% 이고 열유속이 7.89W/cm<sup>2</sup>일때 작동유체의 플러딩 현상이 자주 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

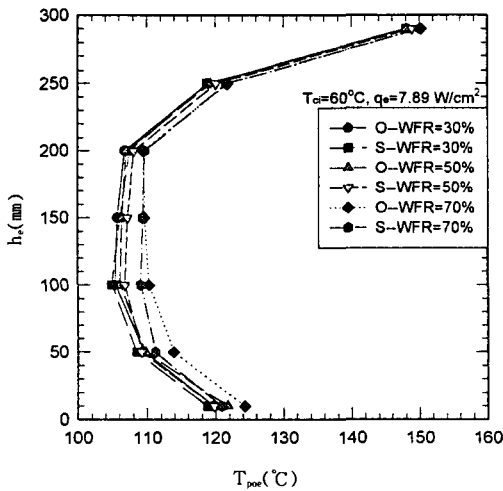


Fig.6 Effects on gas-liquid separating tube for surface temperature distribution of evaporator

#### 4.2 작동유체의 충액률에 따른 열전달특성

분리형 써모사이폰에서 용기의 재질과 작동유체의 종류가 결정되면 성능에 영향을 끼치는 중요한 요소중의 하나는 작동유체의 충액량이다. 작동유체의 충액량이 너무 적으면 작은 열유속에서도 드라이아웃이 발생되어 사용할 수 없게 되며, 너무 많이 충액하면 증발부내에 액체의 층이 두꺼워져 열저항을 크게 하므로 성능을 저하시키게 된다. 따라서 작동유체의 충액량은 분리형 써모사이폰의 운전조건과 상관관계를 이루고 있다.

Fig.7은 증발부와 응축부의 높이를 1.0m로 하고 냉각수온도를 60°C, 열유속이 5.26W/cm<sup>2</sup>일때 작동유체의 충액률을 30%, 50% 및 70%로 하였을 경우의 분리형시스템에서 증발부와 응축부의 표면온도와 증기상승관과 액체하강관 내부의 온도분포를 나타낸 것이다. 여기서 위치 1은 증발부입구의 관내온도, 위치 2에서 3까지는 증발부의 표면의 온도분포, 위치 4에서 5까지는 증기상승관내의 온도, 위치 6에서 8까지는 응축부의 표면온도이고, 위치 9에서 10은 액체하강관내의 온도이다.

그리고 Fig.7에서 응축부입구 6에서 7까지는 온

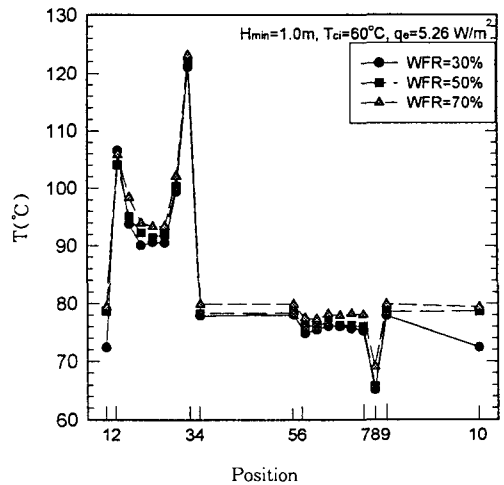


Fig.7 Temperature distribution for various filling ratios

도분포가 거의 변화없고 위치 8에서 갑자기 온도가 떨어진 것은 응축부의 냉각을 위해 설치한 워터 자켓의 냉각수 입구부분으로 냉각수온도의 영향을 받은 것으로 사료되며, 응축부의 표면온도도 충액률이 높을수록 높게 나타나 충액률의 영향을 받고 있다고 할 수 있다. 이와 같이 작동유체의 충액률이 30%에서 70%로 증가시킬 경우 증발부와 응축부표면에서 온도가 높게 나타나는 것은 충액률이 너무 많은 경우에는 증발부와 응축부내에서 액체두께에 의한 열저항이 증가하기 때문으로 사료된다.

Fig.8은 수직으로 설치한 증발부의 외표면온도를 나타낸 것으로 증발부내에 작동유체가 점유하고 있는 하부와 증기만이 유통하는 상부에서 표면온도가 높게 나타나고 액체와 증기의 혼합영역인 중앙부분에서는 열전달현상이 활발히 진행되어 온도가 안정되게 나타나고 있다.

Fig.9는 증발부와 응축부의 높이차가 1.0m이고 냉각수온도가 60°C일때 열유속을 변화시켰을 경우의 충액률에 따른 증발부에서의 열전달계수를 나타낸 것으로 증발부내의 증발열전달계수는 식 (4)에 의해 구하였으며, 증발부내의 포화온도  $T_{vc}$ 는 증발부입구측에서는 액체온도가 과냉되고 있다고 사료되므로 증발부출구측에서 측정된 관내온도를 사용하였다. 그림에서 증발열전달계수가 열유속 6.

31W/cm<sup>2</sup>까지는 작동유체의 충액률이 30%일때가 다소 크게 나타나지만 7.89W/cm<sup>2</sup>에서는 충액률이 높을수록 열전달계수가 높은 것은 열유속이 클때 증발부상부의 표면온도가 높아지는 것으로부터 알 수 있는 바와 같이 충액률이 적을수록 증발부의 상부는 건증기로 점유되며, 증발부표면에서의 가열은 되지만 증발부상부에 액체가 없어 드라이아웃현상으로 되기 때문에 열전달효과도 적어지는 것으로 생각할 수 있다.

따라서 증발부하부 액체잔류부분의 열전달계수는 증발부하부의 표면온도가 낮은 것으로부터 예측하면 상부의 증기부분보다도 높아 작동유체의 충액률에 따라 증발열전달계수의 영향이 있는 것으로 사료되어 작동유체가 너무 많아 증기와 함께 액체가 응축부로 넘어가지 않는 범위에서 작동유체의 범위가 결정되어야 하고 실험결과로부터는 70%까지도 성능에 큰 영향은 없는 것으로 파악되었다.

Fig.10은 증발부와 응축부의 높이차가 1.0m이고 냉각수온도가 60°C일때 열유속을 변화시켰을 경우의 충액률에 따른 응축부에서의 열전달계수를 나타낸 것으로 응축부내의 응축열전달계수는 식 (5)에 의해 구하였으며, 응축부내의 포화온도  $T_{vc}$ 는 응축부입구측에서 측정된 관내온도를 사용하였다. 그림에서 응축열전달계수가 열유속이 클수록 충액률에

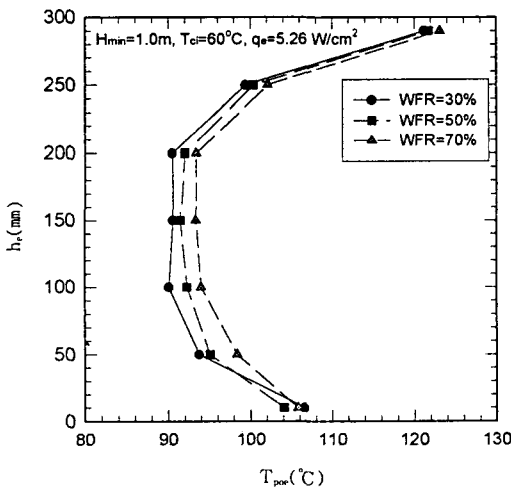


Fig.8 Surface temperature distribution for various filling ratios

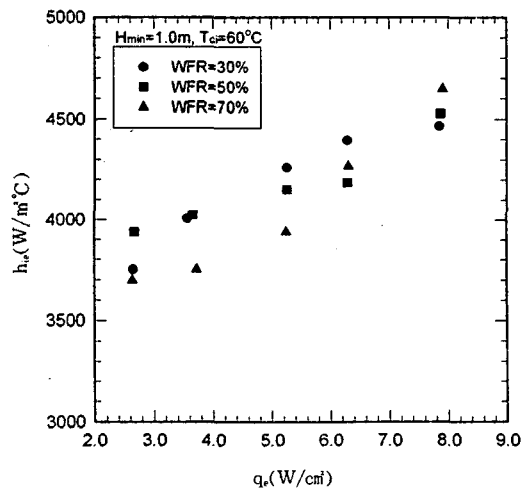


Fig.9 Boiling heat transfer coefficient for various heat fluxes and filling ratios

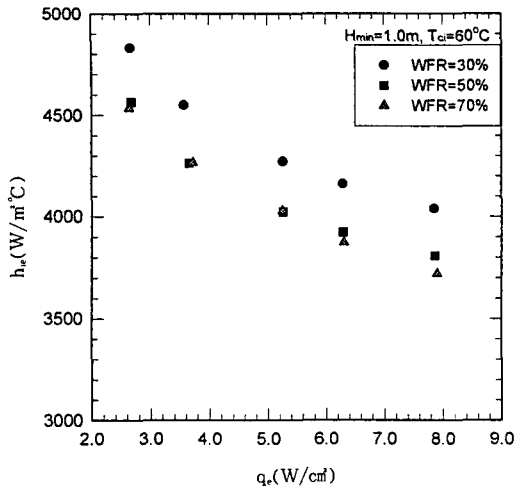


Fig.10 Condensation heat transfer coefficient for various heat fluxes and filling ratios

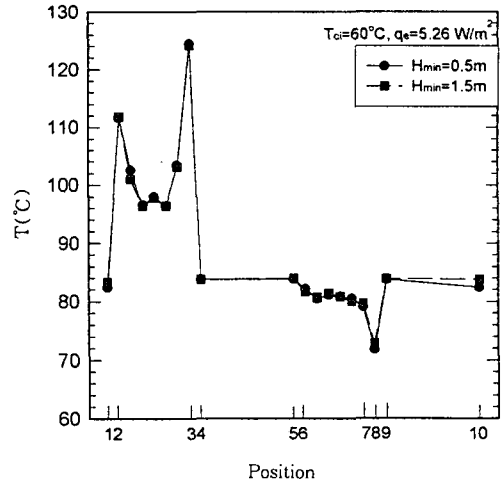


Fig.11 Temperature distribution for height difference of evaporator and condenser

관계없이 전반적으로 작아지며, 특히 충액률이 적을수록 응축열전달계수가 높게 나타나 응축열전달계수의 유사식에서 열유속이 지수가 음(-)으로 표시된 것과 비교할 때 비슷한 경향을 나타내고 있다.<sup>(5)</sup>

응축열전달계수는 충액률이 많으면 증발부의 액체가 쉽게 응축부로 들어오고 응축액막을 두껍게 하여 응축열전달효과를 떨어뜨리는 원인으로 되며, 본 실험에서 작동유체의 충액률이 70%인 경우에는 열유속이 큰 영역에서는 증발부내에서 맥동현상과 함께 액체가 위로 올라오는 현상이 관찰되었다. 따라서 응축열전달계수에 대한 충액률의 영향은 다소 있다고 볼 수 있어 70% 이상은 과도한 충액률이라 할 수 있다.

### 4.3 증발부와 응축부의 높이차에 따른 열전달 특성

Fig.11은 작동유체의 충액률이 50%이고 냉각수 온도가 60°C, 열유속을 5.26W/cm<sup>2</sup>로 하였을 경우 증발부와 응축부의 설치높이차가 0.5m 및 1.5m일 때 분리형시스템에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 여기서 위치 1은 증발부입구의 관내온도, 위치 2에서 3까지는 증발부외표면의 온도분포, 위치 4에서 5까지는 증기상승관내의 온도, 위치 6에서 8까

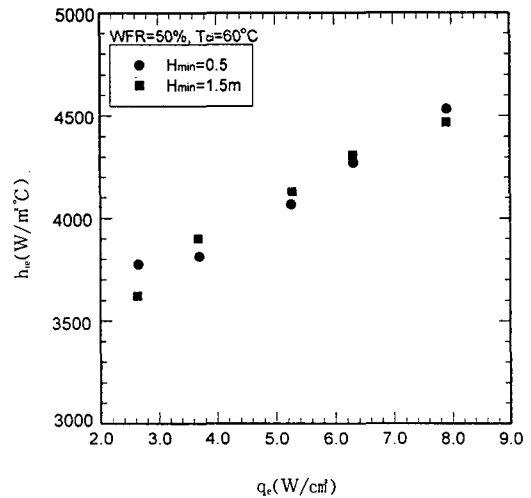


Fig.12 Boiling heat transfer coefficient for height difference of evaporator and condenser

지는 응축부외표면온도이고, 위치 9에서 10까지는 액체하강관내온도이다. 그림에서 높이차 0.5m와 1.5m에 상관없이 전영역에서 유사한 온도분포를 나타내고 있어 높이차에 따른 온도의 영향은 아주 작게 나타나는 것으로 사료된다.

Fig.12와 Fig.13은 작동유체의 충액률이 50%



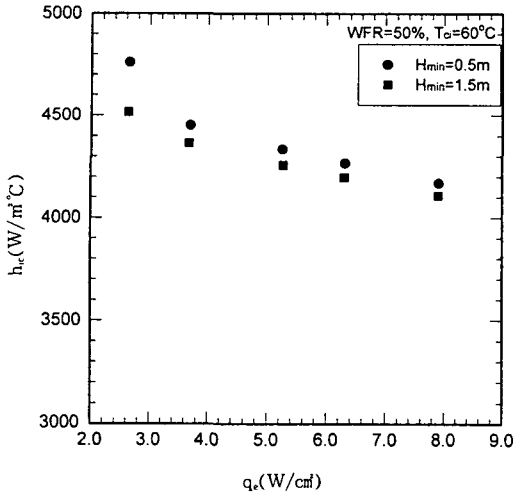


Fig.13 Condensation heat transfer coefficient for height difference of evaporator and condenser

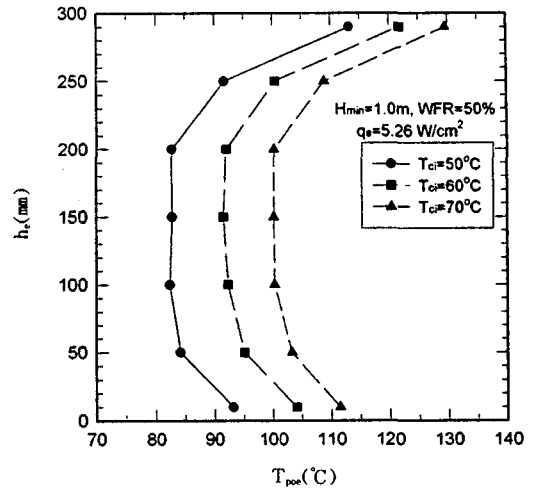


Fig.14 Surface temperature distribution of evaporator for various cooling temperatures

이고 냉각수온도가 60°C일때 증발부와 응축부의 높이차에 따른 증발 및 응축열전달계수를 횡축에 열유속으로 하여 나타낸 것으로 온도분포에서 고찰한 바와 같이 증발부와 응축부에서의 온도가 거의 유사하므로 열유속이 적은 영역과 큰 영역에서 높이에 따라 다소 차이는 있지만 높이차에 따라 증발 및 응축열전달계수는 크게 영향을 받지 않는다고 할 수 있다.

4.4 응축부의 냉각수온도에 따른 열전달특성

Fig.14는 작동유체의 충액률이 50%이고 설치높이차 1.0m에서 열유속을 5.26W/cm<sup>2</sup>로 하고 응축부의 냉각수온도를 50°C, 60°C 및 70°C로 하였을 때 증발부의 외표면온도분포를 나타낸 것이다. 냉각수의 온도가 높을수록 응축부측의 포화온도도 높아지고, 증발부의 외표면온도도 냉각수온도가 높을수록 커지는 것은 당연한 현상이라고 할 수 있다.

Fig.15와 Fig.16은 작동유체의 충액률이 50%이고 설치높이차가 1.0m일때 냉각수온도를 50°C, 60°C 및 70°C로 하였을 경우의 증발 및 응축열전달계수를 횡축에 열유속으로 하여 나타낸 것이다. 냉각수온도의 변화는 온도분포에서 고찰한 바와 같이 열유속이 같더라도 작동유체의 포화온도를 변화

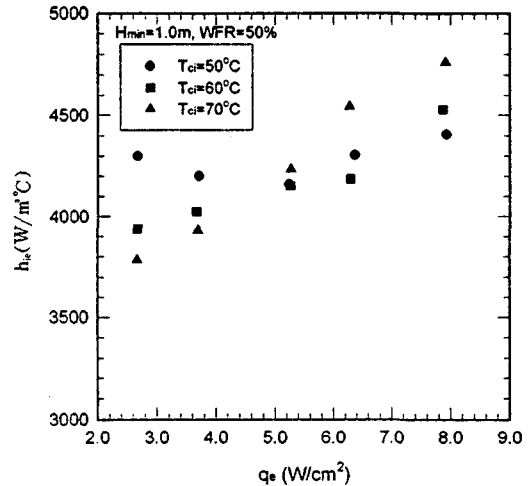


Fig.15 Boiling heat transfer coefficient for various heat fluxes and cooling temperatures

시키고, 이는 포화압력을 변화시켜 열전달계수가 변화되며, 각 그림에서 냉각수온도에 따라 증발 및 응축열전달계수가 약간의 영향을 받는 것은 실험조건인 열유속과 포화압력의 영향에 따라서 작동의 상태가 안정영역과 불안정영역으로 구분되어 나타난다고 볼 수 있다.

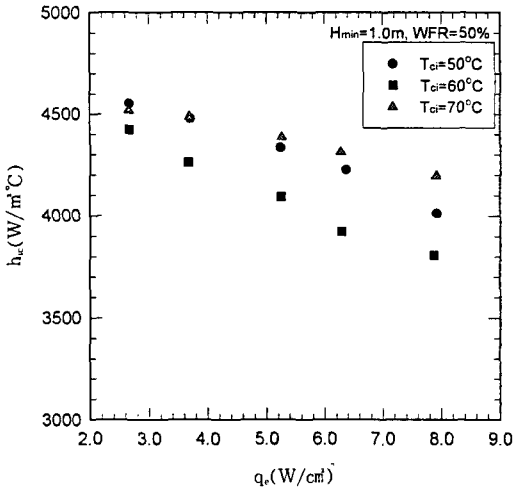


Fig.16 Condensation heat transfer coefficient for various heat fluxes and cooling temperatures

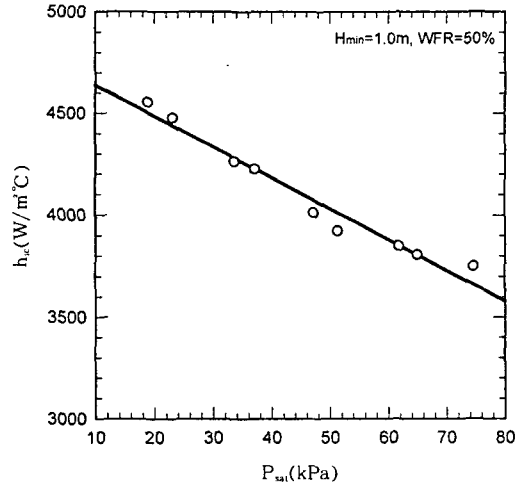


Fig.18 Condensation heat transfer coefficient for various saturated vapor pressures

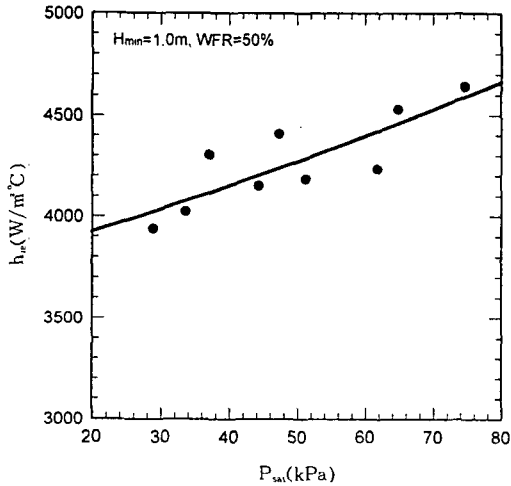


Fig.17 Boiling heat transfer coefficient for various saturated vapor pressures

Fig.17과 Fig.18은 증발 및 응축열전달계수를 포화증기압력에 따라 나타낸 것으로 증기의 포화압력이 증가하면 증발열전달계수는 증가하나 응축열전달계수는 감소하다가 포화증기압력이 60kPa 이상이 되면 다시 증가한 현상을 보였다.

### 5. 결 론

분리형 써모사이폰의 증발부와 응축부가 단일관으로 구성된 시스템에서 열유속, 작동유체 충액률, 증발부와 응축부의 설치높이차 및 냉각수온도를 변화시키면서 성능실험한 결과 분리형 써모사이폰의 열전달특성은 다음과 같다.

(1) 수직으로 설치된 분리형 써모사이폰에서 열전달율에 따른 증발부와 응축부의 표면온도분포는 응축부에서는 거의 전길이에 대해 일정한 온도분포를 나타냈지만 증발부에서는 작동유체의 액체와 증기혼합영역에서 가장 온도가 낮고 순수액체가 점유한 증발부의 최하부와 건증기가 점유한 최상부의 온도가 가장 높아 작동유체의 충액량이 열전달특성에 영향을 끼칠 수 있다는 것을 알 수 있었다.

(2) 증발부와 응축부를 수직으로 1m, 수평으로 1m 분리시켜 구성한 장치에서 열전달율에 관계없이 증발부출구에서 응축부입구까지의 작동유체의 포화증기는 거의 일정하여 가동상태가 양호하였으며, 증발부에 액체재순환관의 설치유무에 따른 열전달특성은 큰 영향을 끼치지 못하는 것으로 파악되었다.

(3) 작동유체의 충액률이 너무 적으면 열유속이

를 경우 증발부의 상부에서 건증기영역이 많아 증발열전달계수가 감소하고, 너무 과다하면 액체가 응축부내로 증기와 함께 유입되어 응축열전달계수를 떨어뜨릴 수 있어 열유속에 따라서 최적충액률의 변화가 있음을 알 수 있다.

(4) 증발부와 응축부의 분리설치높이차가 증발 및 응축열전달계수에 영향을 끼치지 않으며, 다만 증기상승관과 액체하강관에서의 압력손실보다 설치높이차가 크면 성능에는 별다른 영향이 없다는 것을 얻었다.

(5) 냉각수온도는 증기의 포화압력에 영향을 끼치며 포화압력이 증가하면 증발 및 열전달계수는 미소나마 증가하지만 응축열전달계수는 감소하는 현상을 보였고, 본 실험에서의 열유속범위 2.63W/cm<sup>2</sup>에서 7.89W/cm<sup>2</sup>, 냉각수온도 50°C에서 70°C, 포화증기압력 20kPa에서 90kPa의 범위에서 증발 열전달계수는 4,000W/m<sup>2</sup>°C에서 4,500W/m<sup>2</sup>°C, 응축열전달계수는 4,500W/m<sup>2</sup>°C에서 3,800W/m<sup>2</sup>°C의 값을 얻었다.

#### 참 고 문 헌

1. T. W. McDonald and F. A. Stauder, 1986, "Experimental study of a two-phase thermosyphon-loop heat exchanger", ASHRAE transactions, Vol. 92, part 2, pp. 486~493.
2. T. W. McDonald and G. D. Mathur, 1986, "Simulation program for a two-phase thermosyphon-loop heat exchanger", ASHRAE transactions, Vol. 92, part 2, pp. 473~485.
3. Tu Chuanjing and Wang C. Y., 1988, "Condensation heat transfer in separate type two-phase closed thermosyphon", proc. of int. symp. on phase change heat transfer, Chongqing.
4. H. Imura, Y. Saito and H. Fujimoto, 1989, "Flow and heat transfer characteristics in a closed-type two-phase loop thermosyphon", trans. of the JAR Vol. 6, No. 2, pp. 73~82.
5. Chen Yuanguo, Gao Mingchong and Xin Mingdao, 1984, "Experiments of heat transfer performance of separate type thermosyphon", 5IHPC.
6. Mou Kai and Chang Hong, 1988, "Study on percentage of liquid filling of separate type heat pipe", 3IHPS.
7. 根岸, 大島, 伊藤, 1985, "實用 heat pipe", 日本 heat pipe協會編.