

## 경사 열사이폰 열교환기의 비등열전달 성능에 관한 연구

조동현<sup>1\*</sup> · 이종선<sup>1</sup>

### A Study on the Performance of Boiling Heat Transfer of Inclined Thermosyphon Heat Exchangers with Internal Grooves

Dong-Hyun Cho<sup>1\*</sup> and Jong-sun Lee<sup>1</sup>

**요약** 경사 열사이폰 열교환기는 잠열을 이용한 대량의 열수송 능력과 증기류의 열확산에 의한 온도 분포의 균일화, 경량, 간단한 구조, 빠른 열응답 특성 등의 우수성을 가지고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 우수성을 보유하고 있는 경사 열사이폰 열교환기에 대하여 경사각의 변화, 작동유체의 종류, 열유속 및 내부압력 등 열사이폰의 작동에 관련된 변수들에 관하여 열전달 성능을 실험적으로 연구하였다. 평관형 및 마이크로 그루브형 경사 열사이폰에서 실험적인 연구를 수행한 결과, 마이크로 60그루브형으로 경사각이 30°이고 작동유체가 증류수인 경우 비등열전달계수는 15000 W/m<sup>2</sup>K으로 나타났으며, 이 값은 평관형 경사 열사이폰의 비등열전달계수보다 1.6배 정도 높게 나타났다. 그리고 작동유체가 증류수인 경우 평관형 열사이폰에서 비등열전달계수는 경사각이 25°~30° 범위에서, 메탄올과 에탄올에서는 경사각이 20°~25° 범위에서 최대 비등열전달계수를 나타냈다. 또한 평관형 열사이폰은 경사각이 25°~30° 범위에서, 마이크로 그루브형 열사이폰은 경사각이 20°~25° 사이에서 최대 비등열전달 성능을 나타내었다.

**Abstract** This study concerns the performance of boiling heat transfer in inclined thermosyphons with internal grooves. A study was carried out with the performance of the heat transfer of the inclined thermosyphon having 60 internal grooves in which boiling and condensation occur. A plain thermosyphon having the same inner and outer diameter as the grooved thermosyphon is also tested for comparison. Distilled water, methanol and ethanol have been used as the working fluid. The inclination angle, three working fluids, heat flux and the boiling heat transfer coefficient at the evaporator zone are estimated from the experimental results. The experimental results have been assessed and compared with existing correlations. Imura's and Kusuda's correlation for boiling showed in good agreement with experimental results within  $\pm 20\%$  in plain thermosyphon. The high heat transfer coefficient was found between 25° and 30° of inclination angle for water and between 20° and 25° for methanol and ethanol. The relatively high rates of heat transfer have been achieved in the thermosyphon with internal micro grooves.

**Key Words:** Inclined thermosyphon(경사 열사이폰), Boiling heat transfer(비등열전달), Micro grooves(마이크로 그루브), Inclination angle(경사각), Working fluid(작동유체)

### 1. 서 론

밀폐형 열사이폰은 1950년대 터빈 기의 냉각에 적용하기 위하여 개발되었으며 열사이폰의 산업적 효용성이 입증된 후 수많은 연구가 이루어졌다. 이 분야의 연구는 용기내부의 유동 및 열전달 메커니즘, 열저항, 한계 열전달율에 관한 기초적인 연구와 열사이폰의 응용기술에 관한 연구로 구분할 수 있다. 열사이폰에 관한 초기 연구로 Schmidt[1]는 터빈 기의 냉각용 개방형 열사이

폰에서 기-액 상변화를 이용할 때 낮은 온도차에서도 높은 열전달을 얻을 수 있다고 보고하였다. Savchenkov와 Gorbis[2]는 열전달 성능과 관련된 변수들에 대해 폭넓은 실험을 수행하고 열사이폰 증발부의 열전달 메커니즘을 기포비등과 액막비등으로 구분하여 무차원군들로 이루어진 열전달 상관식을 제시하였다. 그리고 대부분의 작동조건에서는 열사이폰 증발부 열전달 메커니즘은 핵비등이라고 하였다. Imura[3]는 열사이폰의 열전달에 미치는 여러 관련인자의 영향을 검토하고 증발부 및 응축부의 영향을 고려한 열전달계수 식을 제안하였다.

Andros와 Florschuetz[4]는 열사이폰 내의 유동현상을 가시화하고 증발부에서의 유동형태를 열유속 등 작

<sup>1</sup>대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과  
\*교신저자: 조동현(chodh@daejin.ac.kr)

동상태에 따라 균일 액막 유동과 액막의 리브릿 유동 및 액막에서의 핵비등 등의 유동영역으로 구분하였다. 그리고 Hirshburg와 Florschuetz[5]는 액막유동에 대해 층류 유동모델을 적용하여 해석적으로 연구하고자 하였다. 또한 O-Uchi 등[6]은 액막유동과 액막에서의 핵비등 현상을 가시화하고 열전달계수를 증대하기 위한 표면구조에 대하여 연구하였다. 이외에 열사이폰의 열전달계수 및 열저항을 예측하기 위한 연구로 풀내의 핵비등 또는 액막에서의 증발 또는 비등을 고려한 해석적 연구가 진행되었으며 이 분야는 Kaminaga와 Okamoto [7], Seki[8], Shiraishi[9], Ueda 등[10]에 의하여 연구가 이루어졌다. 그리고 문 등[11]은 에탄올과 구리관을 사용한 열사이폰으로부터 열사이폰 내의 비등 형태를 단순화하여 풀 내에 증기 기포가 발생하지 않는 영역인 자연대류, 가이저가 일어나는 펄스비등, 가열 벽면 위의 활성점이 고르게 분포하고 벽면온도가 진동하지 않는 구간인 확립 핵비등 영역으로 구분하고 증기압력과 열유속의 함수로 이들 비등영역을 표시하는 상관식을 제시하였다.

이와 같이 비등 및 응축의 잠열을 이용한 열교환기 분야에서는 고성능화를 위해 마이크로 그루브형 튜브를 사용하고 있으나 경사 열사이폰에 마이크로 그루브를 적용한 사례는 극히 드물다. 그러므로 본 연구에서는 경사 열사이폰의 경사각의 변화, 작동유체의 종류, 열유속 및 내부압력 등 열사이폰의 작동에 관련된 변수들에 관하여 경사 열사이폰 열교환기의 열전달 성능을 연구하고자 한다.

## 2. 경사 열사이폰 열교환기의 작동원리

열사이폰이 안정된 상태에서 작동할 때의 열 이송 경로와 열사이폰 내부 작동유체의 상변화 및 유동현상은 그림 1에 도시되어 있다. 증발부에 열부하를 가해지면 용기 하단으로부터 액상의 작동유체가 비등을 일으켜 기화되고, 증기가 응축부로 이송된다. 응축부의 냉각된 벽면 위에서 작용하는 중력 등의 체적력에 의해 관벽을 따라 증발부로 되돌아오게 된다. 이 과정이 연속적으로 진행됨에 따라 용기의 하단으로부터 상단으로 열전달이 이루어지게 된다. 이러한 열전달 과정에서는 작동유체를 구동하는데 외부로부터 일의 공급은 없으며, 이 부분이 열사이폰이 기존의 대류 열전달 장치와 다른 점이다. 열사이폰의 열전달 과정이 기-액 상변화에 의존하기 때문에 양단 사이의 온도차이가 작으며, 따라서 열사이폰의 열전도는 동일한 형상의 고체 물질에 비하여 수천 배의 열전도를 갖는다. 그러나 열사이폰의 열전달 특성은 내부 작동유체의 비등 메카니즘과 액막 및

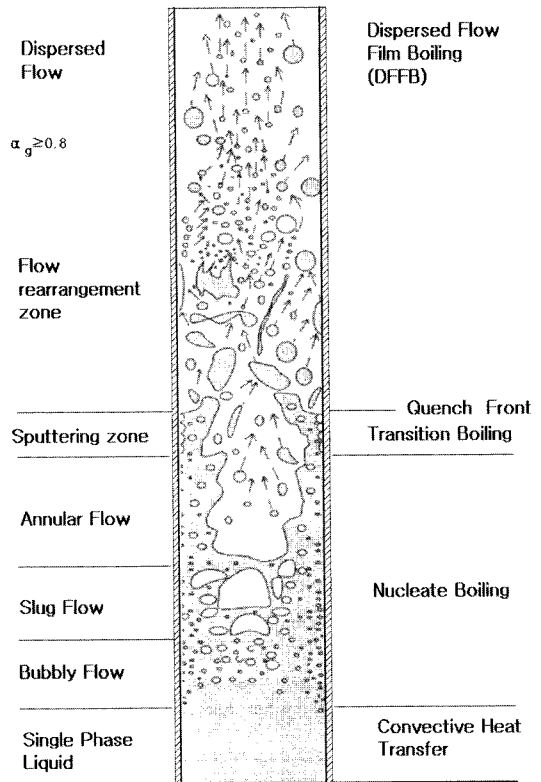


그림 1. 열사이폰의 유동양식과 열전달 특성

증기 유동에 의해 크게 영향을 받게 되며, 따라서 열사이폰의 길이, 직경, 설치 경사각, 작동유체 봉입율, 열유속, 증기압, 작동유체의 물성 등이 열전달율을 결정하는 중요한 인자가 된다. 그 동안 이렇게 열사이폰의 작동에 영향을 미치는 관련인자들과 열전달 메카니즘 및 유동사이의 상관 관계에 대해 많은 연구들이 진행되어 왔다. 이들에 대한 연구를 간략히 설명하면 다음과 같다. 먼저 증발부의 기화 열전달 메카니즘은 액체 풀에서는 핵비등이, 그리고 환상 액막이 존재하는 구간에서는 대류비등이 발생한다. 가시화 연구에 의하면 봉입율이 5% 미만인 경우에는 대류비등이 지배적 비등 메카니즘이다. 그러나 이 이상의 충전율에서는 핵비등이 지배적인 비등 메카니즘이다. 한편 증발부 벽면 위에서 응축액막이 하강하면서 일부가 기화한다. Andros와 Florschuetz[12]의 가시화 연구에 의하면 벽면 위에서 하강하는 액막 유동 형태는 열유속의 크기에 따라 다르다. 액막 유동율이 큰 경우에는 액막 두께가 원주방향으로 균일한 유동을 이루고 있으나 작은 액막 유동율에서는 증발부 벽면을 균일하게 적시지 못하고 수개의 줄기형상의 흐름을 이루며, 이것을 리브릿 유동이라 부른다. 그 외에 기-액 계면에서 액막 유동율의 불안정에 의하여 파형 유동이 발생되

고 액막의 일부가 액적 상태로 증기 유동장내로 흡입되는 현상이 발생하며, 열전달율을 저하시키는 요인이 된다. 이와 같이 열모사이폰 내부에서는 2상 유동 형태에 따라 작동성능이 변화하면 따라한 다양한 모델이 연구되었다. 응축부의 열전달 메카니즘은 증발부에 비하여 단순하다. 응축된 액체는 응축부 벽면을 따라 중력에 의해 액막을 이루며 하강하며, 일반적으로 Nusselt[13]의 응축모델을 적용하여 근접된 결과를 얻고 있으며, 기하학적 조건들과 열유속을 고려하여 수정계수를 도입한 여러 형태의 상관식들이 이용되고 있고, 역류 응축에 대한 많은 연구들이 수행되었다.

### 3. 경사 열사이폰 열교환기 개발

#### 3.1 경사 열사이폰의 구성 및 작동

그림 2는 열사이폰의 단면도이다. 열사이폰의 총길이는 1200 mm이며 증발부, 단열부, 응축부로 구성되고, 증발부와 응축부의 길이는 각각

550 mm, 단열부는 100 mm, 열사이폰의 내경과 외경은 각각 14.28 mm, 15.88 mm이다. 열사이폰의 재질은 구리이며 외표면은 평관형과 마이크로 그루브형 모두 아무런 가공이 없는 매끈한 파이프를 사용하였으며 내표면은 평관형은 가공이 없는 매끈한 상태이고 마이크로 그루브형은 그루브가 있는 형상을 사용하였다. 가열수용 항온조에서 일정한 온도로 가열된 가열수는 펌프를 통하여 길이 550 mm, 내경 38 mm, 외경 42 mm인 가열수 챔버의 환상공간 내부로 흘러 열사이폰의 증발부를 가열한다. 냉각수 또한 냉각수용 항온조에서 일정한 온도로 유지되어 펌프를 통하여 냉각수 챔버의 환상공간 내부로 흘러 열사이폰의 응축부를 냉각시킨다.

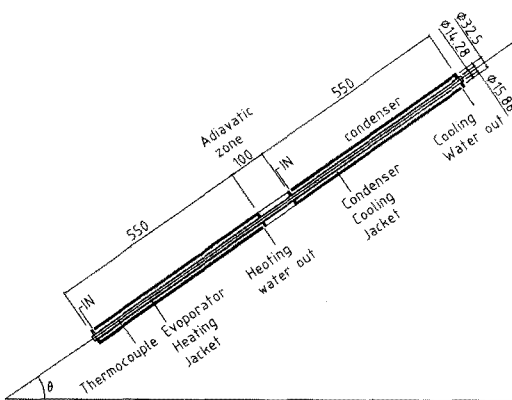


그림 2. 경사 열사이폰의 단면도

#### 3.2 열사이폰의 열교환시스템

온수 항온조에서 일정한 온도로 가열된 가열수는 펌프를 통하여 열사이폰의 증발부인 가열수 챔버로 공급된다. 그리고 냉각수 항온조에서 일정한 온도로 조정된 냉각수는 펌프를 통하여 열사이폰의 응축부인 냉각수 챔버로 공급된다. 열사이폰의 증발부와 응축부를 통과한 가열수와 냉각수는 각각 가열수용 항온조와 냉각수용 항온조로 귀환하여 다시 일정한 온도로 유지되어 순환한다. 열사이폰 열교환기는 이와 같이 순환에 의해 열사이폰에서 온수와 냉각수사이에서 열교환이 되는 열교환기이다. 그리고 열사이폰의 작동과정에서 고성능 열전달을 위해 진공도는  $1 \times 10^{-5}$  torr 이상 유지시켰다. 또한 안정적인 진공환경을 조성하기 위하여 열사이폰의 상부와 하부에 각각 진공밸브를 부착하고, 상부 진공밸브에서는 열사이폰 내부의 불응축가스를 탈기하여 고진공을 유지하였다. 그리고 열사이폰 열교환기의 열전달 성능을 산출하기 위해 열사이폰의 표면온도를 측정하는 열전대와 증발부, 응축부 및 단열부의 내부 증기온도 측정센서, 가열수 챔버와 냉각수 챔버 입구 및 출구에 온도 측정센서를 설치하였다. 열전대는 증발부와 응축부의 길이 방향으로 120 mm 간격으로 각각 4점, 단열부 중앙에 1점에 열전대를 사용하여 부착하였다. 증발부, 응축부 및 단열부의 내부 시험관 온도를 측정하기 위해서 특수 제작한 온도센서를 상부와 하부의 시험관에 9점을 설치하여 내부의 온도를 측정하였다. 증발부와 응축부의 입구 및 출구의 온도를 측정하기 위하여 각각의 입, 출구에 온도센서 4점을 설치하였으며 본 연구에 사용된 열전대와 온도센서들은 냉점을 통하여 보정하였다. 경사각의 변화에 따른 열사이폰의 성능변화를 관찰하기 위하여 실험장치에서 실험대와 시험구간을 따로 제작하여 시험구간 중심부와 실험대를 결합하고 실험대에 각도를 표시한 패널을 설치하여 10°~90°까지 시험구간이 자유 자재로 회전할 수 있도록 하여 임의의 경사각에서 실험을 할 수 있도록 하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 경사 열사이폰의 벽면온도 분포

그림 3~그림 5는 평관형 열사이폰의 경사각 변화에 대한 증발부, 단열부 및 응축부의 벽면온도 분포를 나타낸다. 실험에 사용된 작동유체는 증류수, 메탄올과 에탄올이다. 증발부에 순환하는 가열수의 온도는 80°C에서 실험데이터를 산출하였다. 작동유체의 봉입율은 총체적의 30%를 봉입하였다. 모든 변수는 일정하게 하고, 열사이폰의 경사각을 10°~90°까지 변화에 대한 열사이폰의 벽면온도 분포의 변화를 나타낸다. 증발부에서는

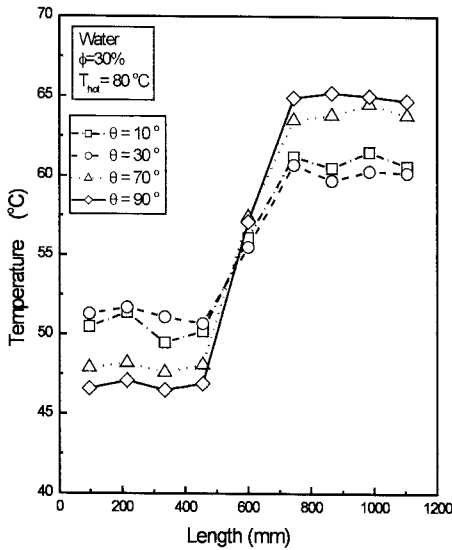


그림 3. 평관형 열사이폰의 벽면 온도분포

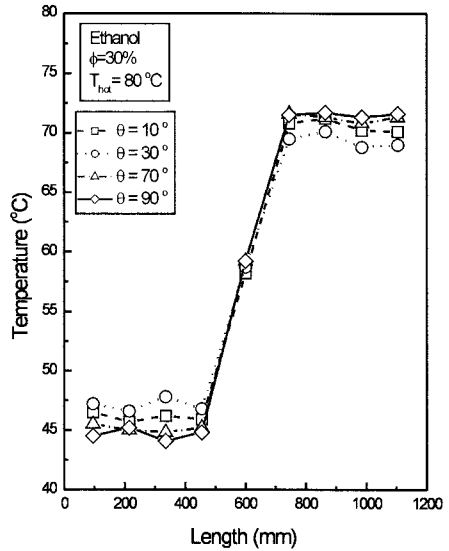


그림 5. 평관형 열사이폰의 벽면 온도분포

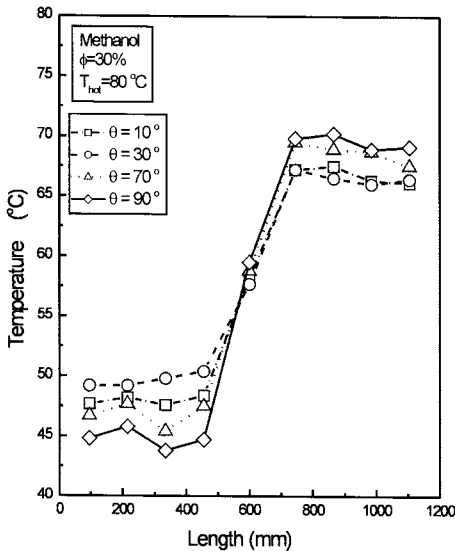


그림 4. 평관형 열사이폰의 벽면 온도분포

온도분포가 비교적 일정하게 나타났으나, 응축부에서는 온도분포가 조금 산포되어 있음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 응축부에서 응축액이 튜브 벽면을 따라 하부 방향으로 유동할 때 파동과 그루브를 형성하는 불규칙한 유동에 의해 기인된다. 그러나 전 범위의 영역에서 열사이폰의 증발부, 단일부 및 응축부의 벽면온도 분포는 비교적 균일한 분포를 나타내었다. 경사각의 변화에 따라 열사이폰의 응축부와 증발부 벽면온도 분포는 다소 다르게 나타났다. 이와 같은 결과로 경사각의 변화에 따라 경사 열사이폰의 열전달 성능이 다르게 나타남을

알 수 있다. 즉, 증발부의 벽면온도의 분포가 낮을수록 그리고 응축부의 벽면온도의 분포가 높을수록 경사 열사이폰의 열전달 성능이 높게 나타남을 예측할 수 있다.

동일한 실험조건에서 작동유체가 증류수인 경우 응축부의 벽면온도 분포는 47°C~54°C의 범위로 나타났다. 그리고 메탄올과 에탄올은 각각 45°C~50°C와 43°C~45°C로 나타났다. 이와 같은 결과로 경사 열사이폰의 응축부의 벽면온도 분포와 응축부의 챔버에 유동하는 냉각수의 온

도가 크게됨으로써 응축 열전달율이 향상되는 것으로 고려된다. 그러므로 작동유체가 증류수인 경우가 메탄올과 에탄올인 경우보다 응축 열전달 성능이 크게 나타남을 예측할 수 있다. 작동유체가 증류수, 메탄올과 에탄올의 세 가지 모두에서 경사 열사이폰의 경사각이 30°인 경우에 응축부의 벽면온도 분포는 최고 높게 나타났으며, 그리고 증발부의 벽면온도 분포는 최고 낮게 나타났다. 이와 같은 세 가지 실험조건에서 벽면온도 분포를 고려해볼 때 응축 열전달 성능은 경사각이 30°인 경우에 응축 열전달 성능이 최고 높게 나타남을 예측할 수 있다.

그림 6, 그림 8은 모든 변수는 일정하게 하고, 작동유체의 종류는 증류수, 메탄올 및 에탄올에 대한 열사이폰의 벽면온도 분포를 나타낸다. 경사 열사이폰의 경사각은 10°, 30°, 70°의 세 가지 조건에서 실험데이터를 산출하였다. 증발부에 순환하는 가열수의 온도는 80°C로 일정하게 유지하였다. 작동유체의 봉입율은 총체적의 30%이다. 작동유체가 잠열이 큰 유체일수록 수직 열사이폰의 결과와 같이 경사 열사이폰에서도 응축부

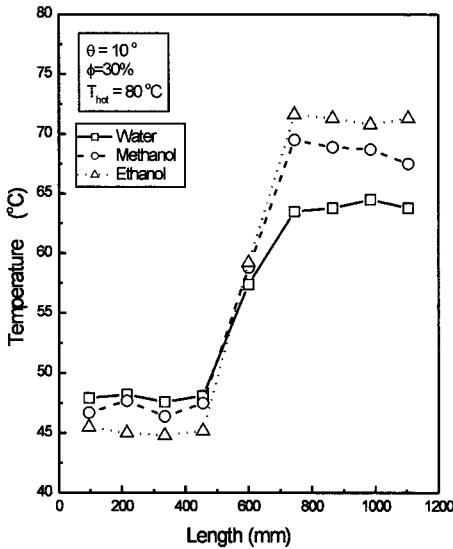


그림 6. 평관형 열사이폰의 벽면 온도분포

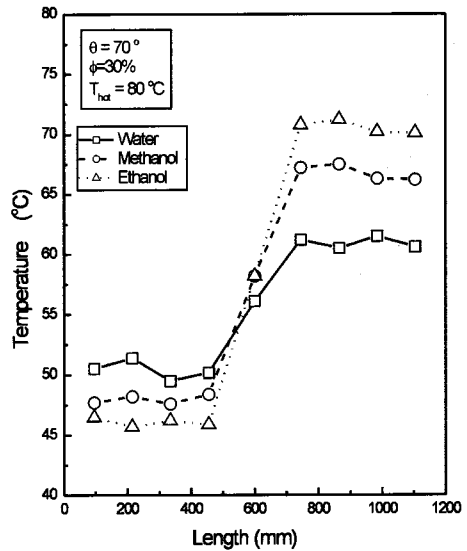


그림 8. 평관형 열사이폰의 벽면 온도분포

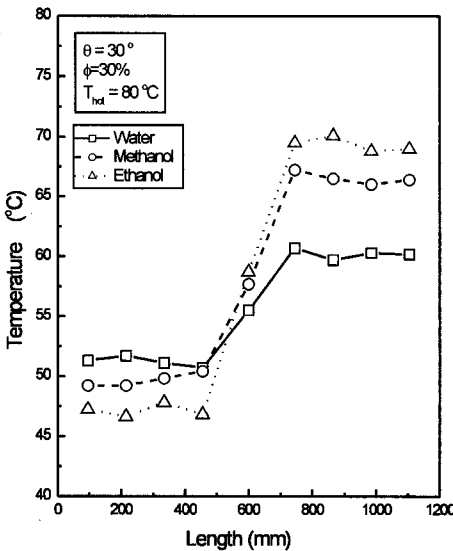


그림 7. 평관형 열사이폰의 벽면 온도분포

및 증발부의 벽면온도 분포는 거의 비슷하게 나타났다. 즉, 작동유체가 잠열이 큰 증류수인 경우가 상대적으로 잠열값이 적은 메탄올 및 에탄올보다 열사이폰의 응축부 벽면온도 분포는 높게 나타났으며, 증발부 벽면온도 분포는 낮게 나타났다. 이와 같은 현상은 열사이폰 내부의 증발부에서 발생한 포화증기가 보다 더 많은 양이 응축부로 상승하여 응축부의 챔버에 순환하는 냉각수로 열전달이 되는 것으로 고려된다.

포화증기의 잠열이 클수록 보다 더 많은 양의 열유속을 냉각수에 전달할 수 있으므로 열사이폰의 응축부 벽

면온도 분포는 높게 나타나는 것으로 고려된다. 그리고 수직 열사이폰 및 경사 열사이폰의 단열부의 벽면온도 분포는 증발부 벽면온도 분포와 응축부 벽면온도 분포의 평균값과 거의 같은 것으로 나타났다. 그러므로 단열부의 벽면온도 값을 열사이폰 내부의 포화증기 온도로 간주 할 수 있는 것으로 고려된다.

#### 4.2 평관형 경사 열사이폰의 비등열전달계수

에너지 균형과 정상상태 조건하에서 측정된 데이터로부터 식(1)을 이용하여 실험 비등열전달계수를 구했다.

$$h_c = \frac{Q_{avg}}{A_o \Delta T_{ws}} = \frac{(Q_{cool} + Q_{hot})/2}{A_o (T_{wc} - T_{sc})_{avg}} \quad (1)$$

이론 비등열전달계수는 Kusuda[13] 및 Imura[3]의 경험식을 이용하여 구했다.

$$h_c = 0.32 \frac{\rho_l^{0.65} k_l^{0.3} c_p^{0.7} g^{0.2} q_e^{0.4} (P_{sat})^{0.3}}{\rho_v^{0.25} h_{fg}^{0.4} \mu_l^{0.1}} \left( \frac{P_{sat}}{P_{atm}} \right)^{0.3} \quad (2)$$

그림 9 그림 11은 평관형 열사이폰의 경사각의 비등열전달계수의 변화를 나타낸다. 실험에 사용된 작동유체는 증류수, 메탄올 및 에탄올이며, 증발부에 순환하는 가열수의 온도는 80°C에서 실험데이터를 산출하였다. 작동유체의 봉입율은 총체적의 30%이다. 모든 변수는 일정하게 하고, 열사이폰의 경사각을 10°~90°범위에서 실험조건에 산출한 실험 비등열전달계수와 Imura[3] 및 Kusuda[3]의 이론 비등열전달계수와 비교하였다. Imura[3] 및 Kusuda[13]의 이론 비등열전달계수는 경사각이

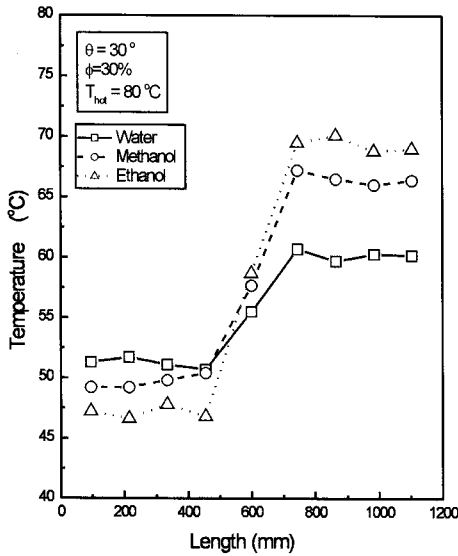


그림 9. 이론 비등열전달계수와 실험 비등열전달계수의 비교

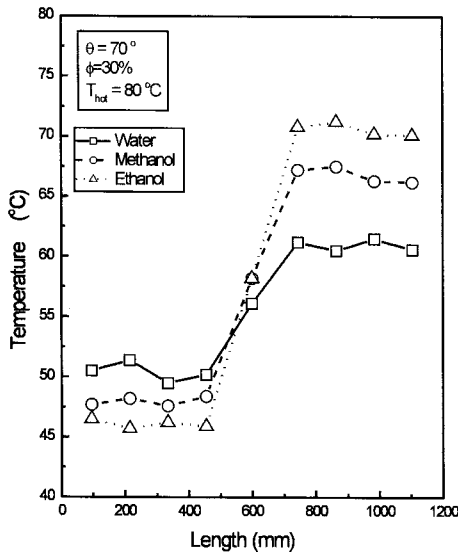


그림 10. 이론 비등열전달계수와 실험 비등열전달계수의 비교

70°~90°범위에서는 본 연구의 실험 비등열전달계수가 잘 일치하였다. 그리고 경사각이 적은 범위에서는 다소 크게 오차를 나타내었다. Imura[3] 및 Kusuda[13]의 이론 비등열전달계수는 수직 열사이폰에서 실험한 결과를 근거로 하여 경험식을 산출하였으므로 경사각이 적은 범위에서는 다소 오차가 발생하는 것으로 고려된다. 작동유체가 증류수인 경우 평관형 열사이폰의 비등열전달계수는 경사각이 25°~30°범위에서 최대로 높게 나타났

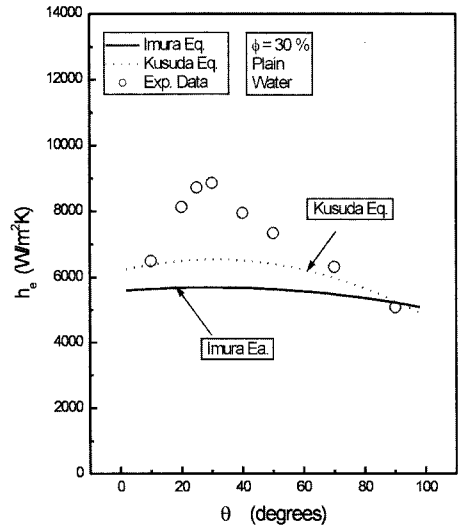


그림 11. 이론 비등열전달계수와 실험 비등열전달계수의 비교

다. 작동유체가 메탄올과 에탄올에서는 경사각이 20°~25°범위에서 비등열전달계수가 최대로 높게 나타났다. 점성력이 적은 작동유체일수록 경사각이 낮은 범위에서 최대 비등열전달 성능을 나타내었다. 열전도계수와 잠열이 큰 증류수에서 메탄올 및 에탄올보다 비등열전달계수가 높게 나타났다.

### 4.3 경사 열사이폰의 비등열전달계수

그림 12, 그림 14는 평관형 열사이폰과 마이크로 그루브형 열사이폰의 경사각 변화에 대한 비등열전달계수의 변화를 나타낸다. 실험에 사용된 작동유체는 증류수, 메탄올 및 에탄올이며, 증발부에 순환하는 가열수의 온도는 80°C에서 실험데이터를 산출하였다. 작동유체의 봉입율은 총체적의 30%이다. 모든 변수는 일정하게 하고, 열사이폰의 경사각을 10°~90°까지 변화에 대한 열사이폰의 실험 비등열전달계수를 산출하였다. 이와 같은 실험조건에 산출한 실험 비등열전달계수와 Imura [3] 및 Kusuda[13]의 이론 비등열전달계수와 비교하였다. 마이크로 그루브형 열사이폰의 비등열전달계수는 평관형 열사이폰의 비등열전달계수보다 경사각이 감소할수록 비등열전달계수의 증가폭은 점차적으로 증가하였다. 그리고 작동유체가 증류수인 경우 평관형 열사이폰과 마이크로 그루브형 열사이폰은 경사각이 20°~30°범위에서 최대 비등열전달 성능을 나타내었다. 이와 같은 실험조건에서 마이크로 그루브수가 60그루브인 경우의 비등열전달계수는 13000 W/m<sup>2</sup>K~14000 W/m<sup>2</sup>K으로 나타났으며, 이 값은 평관형 경사 열사이폰의 비

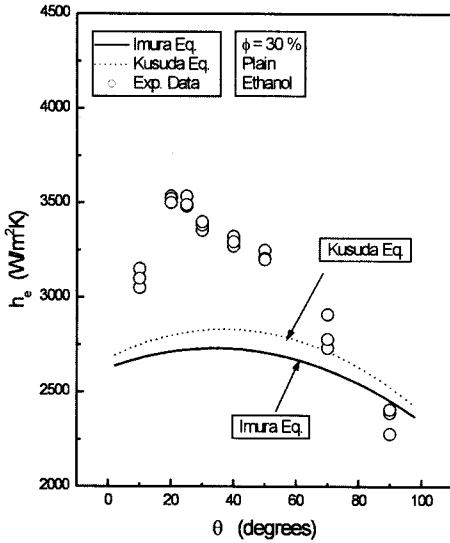


그림 12. 경사각 변화에 대한 평관형 열사이폰과 그루브형 열사이폰의 비등열전달계수의 변화

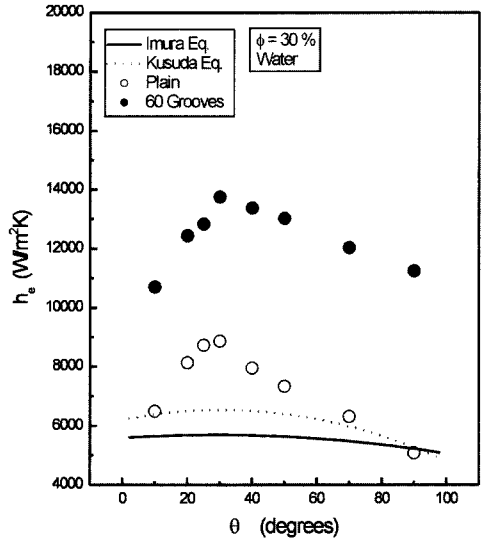


그림 14. 경사각 변화에 대한 평관형 열사이폰과 그루브형 열사이폰의 비등열전달계수의 변화

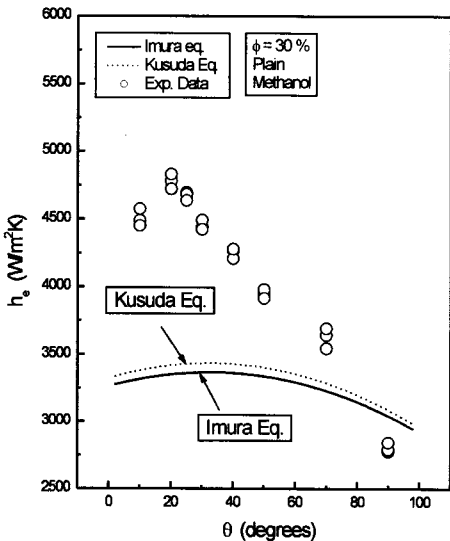


그림 13. 경사각 변화에 대한 평관형 열사이폰과 그루브형 열사이폰의 비등열전달계수의 변화

등열전달계수보다 1.5배~1.6배 정도 높게 나타났다. 그리고 동일한 실험조건에서 평관형 수직 열사이폰의 비등열전달계수보다 2.5배~2.8배 정도 높게 나타났다. 작동유체가 메탄올 및 에탄올 경우 평관형 열사이폰과 마이크로 그루브형 열사이폰은 경사각이 20°~30° 범위에서 최대 비등 열전달 성능을 나타내었다. 이와 같은 실험조건에서 마이크로 그루브수, 60그루브인 경우 비등 열전달계수는 11000 W/m²K~11500 W/m²K으로 나타

났으며, 이 값은 평관형 경사 열사이폰의 비등열전달계수 보다 2.1배~2.2배 정도 높게 나타났다. 그리고 동일한 실험조건에서 평관형 수직 열사이폰의 비등열전달계수보다 3.6배~3.8배 정도 높게 나타났다. 그러므로 비등 열전달인 경우도 열사이

폰의 경사각과 그루브의 효과에 의해 비등 열전달 성능이 크게 향상됨을 알 수 있다. 이와 같은 결과로 마이크로 그루브를 가진 경사 열사이폰 열교환기는 산업현장에서 고성화와 소형화를 실현할 수 있다.

## 5. 결 론

작동유체는 증류수, 메탄올 및 에탄올을 사용하고, 평관형 및 마이크로 그루브형 경사 열사이폰에서 경사각 변화, 작동유체의 종류 변화에 대한 실험적인 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

1) 마이크로 60그루브형이 평관형보다 비등열전달계수가 높게 나타났으며 작동유체가 증류수인 경우 2배~2.5배, 메탄올인 경우 1.5배~2배, 에탄올인 경우 1.3배~1.5배 높게 나타났다.

2) 마이크로 60그루브형으로 경사각이 30° 이고 작동유체가 증류수인 경우 비등열전달계수는 15000 W/m²K으로 나타났으며, 이 값은 평관형 경사 열사이폰의 비등열전달계수보다 1.6배 정도 높게 나타났다.

3) 작동유체가 증류수인 경우 평관형 열사이폰에서 비등열전달계수는 경사각이 25°~30° 범위에서, 메탄올과 에탄올에서는 경사각이 20°~25°범위에서 최대 비등

열전달계수를 나타냈다.

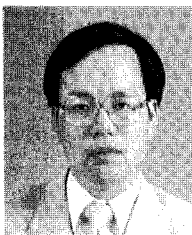
4) 평균형 열사이폰은 경사각이 25°~30°범위에서, 마이크로 그루브형 열사이폰은 경사각이 20°~25°사이에서 최대 응축 열전달 성능을 나타내었다.

### 참고문헌

- [1] Schmidt, E., Proc. Inst. Mech. Eng. ASME Cong. Proc., pp 361-363, 1951.
- [2] Savchenkov, G. A. and Gorbis, Z. R., "Boiling Heat Transfer in Low Temperature Evaporating Thermosyphons", Proc. of the 5th All-Union Conf. on Heat and Mass Transfer, Vol. 3, pp. 87-91, 1976.
- [3] Imura, H., Kusuda, H., Ogata, J., Miyazaki, T. and Sakamoto, N., "Heat Transfer in Two-Phase Closed-Type Thermosyphon", Heat Transfer Japanese Research, 8, No. 2, pp. 41-53, 1979.
- [4] Andros, F. E., "Heat Transfer Characteristics of the Two-Phase Closed Thermosyphon (Wickless Heat Pipe) Including Direct Flow Observation", Ph. D. Thesis, Arizona State University, 1980.
- [5] Hirshburg, R. I. and Florschuetz, L. W., "Laminar Wavy-Film Flow: Part 1-Hydrodynamic Analysis, Part 2-Condensation and Evaporation", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 104, pp. 452-464, 1982.
- [6] O-uchi, M., Tanaka, Y., Izymi, M., Yamakawa, N. and Takeyama, T., "The Boiling Heat Transfer of a Liquid Film Formed in the Evaporator of a Thermosyphon", Trans. JSME, Vol., No. 507, pp. 3227-3231, 1988.
- [7] Kaminaga, F. and Okamoto, Y., "Heat Pipe(1st Report, Boiling Heat Transfer Correlation in Heating Section)", Trans. JSME(B), Vol. 58, No. 552, pp. 2543-2549, 1992.
- [8] Seki, N., Fukusako, S. and Koguchi, K., "An Experimental Investigation of Boiling Heat Transfer of Fluorocarbon R-11 Refrigerant for Concentric-Tube Thermosyphon", Trans. ASME J. Heat Transfer, Vol. 103, pp. 472-477, 1981.
- [9] Shiraishi, M., Kikuchi, K. and Yamanishi, T., "Investigation of Heat Transfer Characteristics of a Two-Phase Closed Thermosyphon", Advances in Heat pipe Technology, pergamon press, pp. 95-104, 1981.
- [10] Ueda, T., Miyashita, T. and Chu, P. H., "Heat Transport Characteristics of a Closed Two-Phase Thermosyphon", Trans. JSME(B), Vol. 54, No. 506, pp. 2848-2855, 1987.
- [11] 문석환, 강환국, 김철주, 박이동, 황영규, "밀폐형 2상 열사이폰의 Pool 내부 Pulse Boiling에 관한 연구", 대한 기계학회 95년도 열 및 유체공학부분 학술대회 논문집, pp. 95-99, 1995.
- [12] Andros, F. Z. and Florschuetz, L. W., "Two-Phase Closed Thermosyphon; an Experimental Study with Flow Visualization", Proc. Two Phase Flow and Heat Transfer Symp.-Workshop, Vol. 4, pp. 1231-1267, 1978.
- [13] Nusselt, W., "Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes", Z. Ver. Deut. Ing., 60, pp. 541, 1916.
- [14] Kusuda, H., Imura, H., "Boiling Heat Transfer in an Open Thermosyphon, Bul. JSME, 16, No. 101, pp. 1734-1740, 1973.

### 조 동 현(Dong-Hyun Cho)

[정회원]



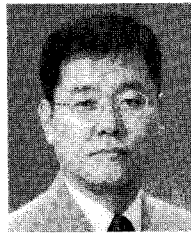
- 1986년 2월 : 경남대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 부산대학교 기계설계공학과 (공학석사)
- 1994년 8월 : 부경대학교 기계공학부 (공학박사)
- 1995년 3월~현재 : 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과 부교수

<관심분야>

히트파이프, 열교환기, 공기조화 및 냉동,.....

### 이 종 선(Jong-sun Lee)

[중신회원]



- 1982년 2월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 국민대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1996년 3월~현재 : 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과 부교수

<관심분야>

최적설계, 생산공학,.....