

중온 작동 범위에서의 슬랩윅 히트파이프 성능에 관한 실험 연구

정원복* · 부준홍* · 곽희열**

(2002년 6월 22일 접수, 2002년 10월 7일 심사완료)

An Experimental Study of a Slab Wick Heat Pipe for Medium-high Operating Temperatures

Chung, Won Bok, Boo, Joon Hong and Kwak, Hee Youl

Key Words: Slab Wick Heat Pipe(슬랩윅 히트파이프), Medium-High Operating Temperature(중온 작동온도), Thermal Load (열부하), Thermal Resistance(열저항), Start-up(시동)

Abstract

A slab-wick heat pipe was fabricated and tested for applications where the condenser temperature is in a range of 80 to 120°C. The pipe material was 9.53 mm O.D. copper tube and the working fluids were ethanol and water. The total length of the heat pipe was 1.6 m, in which evaporator section was 1.4 m and the condenser was 0.10 m. The slab was a composite wick structure fabricated with STS316 wire screens. Thermal load was varied for a specified fill charge ratio and inclined angle. The optimum fill charge ratio was identified to be 110% based on a theoretical calculation of the pore space in the slab wick of the heat pipe. The maximum thermal load was 120W for ethanol and the same was 200W for water with the condenser temperature of 80°C. The thermal performance of the slab wick heat pipe is analysed in terms of temperature characteristics and thermal resistance against thermal load, tilt angle and fill charge ratio.

기호설명

Φ_w : 내부 체적에 대한 작동유체 주입비율 (%)

- Q_{in} : 입력열부하 (W)
- R_{th} : 열저항 (°C/W)
- $T_{c,avg}$: 응축부 평균 온도 (°C)
- $T_{e,avg}$: 증발부 평균 온도 (°C)
- T_{cool} : 수열매체 공급 온도 (°C)
- ϵ : 중공도 (%)
- θ : 경사각 (°)
- Φ_w : 위구조물 중공부피에 대한 작동유체 주입비율 (%)

1. 서론

슬랩윅(slab wick) 구조가 일반적으로 히트파이프(heat pipe)의 열전달 성능을 향상시키기 위하여 사용되고 있다. 스크린메쉬(screen mesh)를 사용하는 슬랩은 복합적인 구조로 제작되어진다. 메쉬번호(mesh number)가 작은 스크린은 슬랩윅 바깥쪽에서 모세관력을 높이는데 사용되고, 메쉬번호가 큰 스크린은 슬랩윅 안에서 액체상태의 작동유체의 축방향 이동저항을 줄여준다.^(1, 2) 이런 결과로 히트파이프의 작동온도를 낮추는 역할을 할 수 있다. 슬랩윅 히트파이프에 관한 연구로서 Chang과 Colwell⁽³⁾은 초임계상태에서의 슬랩윅 히트파이프의 시동특성에 대해서 연구했고, Boo와 Hartley⁽⁴⁾는 슬랩윅 히트파이프를 사용하는 우주방열기의 천이특성을 예측할 수 있는 수치해석적

† 책임저자, 회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 대학원

E-mail : wchung@mail.hankong.ac.kr

TEL : (02)300-0106 FAX : (02)3158-4429

* 회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

** 회원, 한국에너지기술연구원

인 모델을 제시했다.

수열매체의 온도가 중온 범위인 80 ~ 120℃ 사이인 산업용 태양열 집열기에 적용하기 위해서는 작동시 국부적인 과열현상을 극복하는 고성능의 히트파이프가 필수적이며, 슬랩윅 히트파이프가 적용 가능한 후보가 될 수 있다.

산업용 태양열 집열기는 산업광정열, 화학공정열 및 냉난방 장치구동 등에 필요한 중고온 열원으로 사용되어야 하므로 기존의 가정용 집열기와는 달리 열방출부 즉, 히트파이프의 응축부가 80℃에서 120℃ 사이의 중온범위를 유지할 수 있어야 하며, 폭넓은 작동온도 범위와 고밀도, 고효율의 집열 방법이 요구된다.

히트파이프는 열응답성이 빠르고 적은 온도차에서의 열수송 능력이 탁월하다는 장점을 가지며, 히트파이프를 이용한 집열기는 동계 동파를 방지할 수 있고, 집열기 주위의 온도가 원하는 집열온도보다 낮을 때 열손실을 막을 수 있다는 점등이 유체순환형 집열기와 비교되는 장점이라고 볼 수 있다. 이러한 이유로 기존 상온의 수열매체를 이용한 온수급탕용 집열기에서 작동효율을 높이기 위해 히트파이프 또는 써모사이폰(thermosyphon)^(5,6)을 조합한 경우를 찾아 볼 수 있다. 태양열 집열기용 히트파이프의 대표적 특징은 긴 증발부와 짧은 단열부 및 응축부를 가진다는 것이다. 이때 파이프의 직경은 10 mm 미만으로 파이프 직경이 길이에 비해 매우 가늘다. 증발부가 히트파이프 전체의 90% 이상을 차지하기 때문에 증발부 영역에서 국부적인 과열현상이 발생하기도 한다.

본 연구에서는 중온 범위인 80 ~ 120℃ 작동 온도범위(수열매체 공급온도)에서 슬랩윅히트파이프의 작동 특성에 관한 실험을 수행하였다.

2. 히트파이프 제작

실험을 위해 사용된 히트파이프의 길이는 1600 mm이고, 내경 8.1 mm, 외경 9.52 mm의 구리 파이프를 사용하여 제작하였다.

복합윅(composite wick) 형태인 슬랩윅은 Fig. 1 과 같은 형태로 삽입하였다. STS316 재질의 #200 스크린메쉬 두 겹을 파이프 내벽에 밀착되도록 삽입하여 이 윅에 의해 작동유체가 파이프 내벽면에 고르게 분포할 수 있게 된다. 슬랩은

STS316 재질의 #20 스크린메쉬를 파이프 길이방향으로 직사각형이 되게 여섯 겹을 말아 스팟용 접기를 이용하여 고정한 후 다시 STS316 재질의 #200 스크린메쉬 두 겹을 6겹의 #20 스크린메쉬 외부에 감은 후 스팟 용접하여 고정시켰다. 이때 슬랩 양끝단도 #200 스크린메쉬로 감싼 형태가 되도록 하여 #20 스크린메쉬가 외부에 전혀 노출되지 않도록 제작하였다. 이는 슬랩윅의 구조적 강도 및 모세관력을 고려하여 설계, 제작한 것이다. 이 슬랩이 응축부의 작동유체가 증발부로 귀환하는 주요 통로역할을 한다. 제작된 슬랩은 높이 7.4mm, 폭 3.3mm, 길이 1600mm로서 파이프 길이방향으로 삽입하여 앞서 삽입한 2겹의 스크린 메쉬에 밀착하도록 하였다. 제작에 사용된 #20 스크린메쉬와 #200 스크린메쉬의 한 겹의 두께와 와이어 한 올의 직경은 각각 0.59mm, 0.30mm와 0.12mm, 0.06mm이다. 여기에 사용된 #20 스크린메쉬의 중공도(ϵ)는 81%, #200 스크린메쉬는 61%이었다.

히트파이프 작동유체로는 에탄올(순도 99.9%)과 증류수를 사용하였다. 중온에서 작동하는 슬랩윅히트파이프의 최적충전량을 찾기 위해서 내부 워구조물이 액체상태의 작동유체로 포화되는 양 100%(7)를 기준으로 100(39.7cc), 105, 110, 115, 그리고 110%를 주입하여 실험을 수행하였다. 작동유체의 주입은 파이프 내부를 확산오일형 진공펌프(diffusion-oil type vacuum pump)를 이용 진공(2.0×10^{-5} torr ~ 8.0×10^{-6} torr) 상태로 만든 후 자체 제작한 작동유체 주입장치를 이용하여 주입하였다.

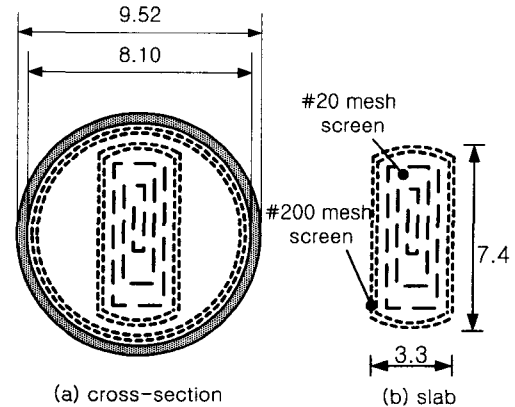


Fig. 1 Schematic of the cross-section of a slab wick.

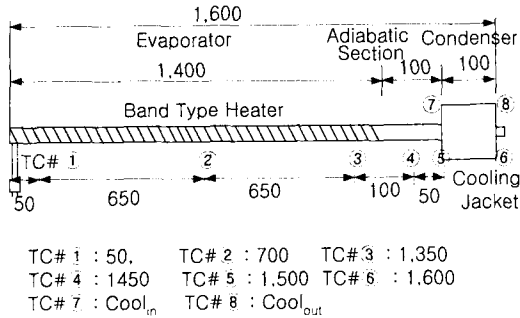


Fig. 2 Schematic of heat pipe with heater, cooling jacket and thermocouples (unit : mm)

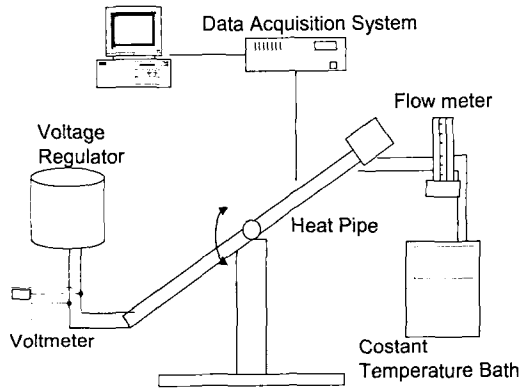


Fig. 3 Schematic of experimental setup

또한 슬랩워 히트파이프와의 상대적인 성능 비교를 위해 써모사이폰을 추가 제작하여 실험을 하였다. 파이프 내부체적의 25%에 해당되는 작동유체를 주입하였다⁽⁸⁾.

3. 실험 장치 및 방법

히트파이프 전체 길이 1600 mm 중 증발부 길이는 1400 mm, 단열부 및 응축부는 100 mm로 설정(Fig. 2)하였다. 히트파이프의 작동 온도를 알기 위해서 열전대를 부착하여 자료획득장치(Fluke사, Hydra Series II, 2625A)를 통해 온도를 획득, 기록하였다. K-type(OMEGA사, 28 AWG) 열전대를 증발부에 3개(TC#① : 파이프 끝단으로부터 5 cm 위치, TC#② : 65 cm 증발부 중간 위치, TC#③ : 135 cm), 단열부에 1개(TC#④ : 145 cm 단열부 영역 중간위치) 그리고 응축부에 2개(TC#⑤ : 150 cm 응축부 시작위치, TC#⑥ : 160

Table 1 Test conditions

Steady State	
Working fluid	Ethanol, Water
Charge ratio, Φ_w (%)	100 ~ 120
Tilt angle, θ (°)	0, 30, 60, 90
Thermal load, Q (W)	20 ~ limit
Coolant temperature, T_{cool} (°C)	80, 100, 120,
Start-up	
Working fluid	Ethanol
Charge ratio, Φ_w (%)	110
Thermal load, Q (W)	80
Coolant temperature, T_{cool} (°C)	80

cm 응축부 끝단)를 부착하였다. 냉각재킷의 입출구 온도도 열전대(TC#⑦, TC#⑧)를 이용하여 측정하였다

증발부에 배드형 전기히터(220V, 720W)를 감고, 전압조절기를 연결하여 입력 열부하를 조절할 수 있게 하였다.

응축부에는 냉각재킷을 부착하여 항온조(Fisher Scientific사, Model 9100)를 통해 일정한 온도로 제어된 일정량(0.5l/min)의 수열매체(100% 에틸렌 글리콜)가 흐르게 하였다(Fig. 3).

히트파이프를 태양열 집열기에 적용하는 경우 45° 전후로 히트파이프를 설치하기 때문에 기울기를 변화시켜서 중력영향에 의한 성능변화를 측정하였다. 기울기는 증발부가 응축부보다 밑에 위치하며 0° (수평상태), 30°, 60°, 90° (수직상태)의 경우에 대해서 실험이 진행되었다. 그리고, 냉각수의 온도는 80°C, 100°C, 및 120°C로 변화시켜서 응축부의 경계조건 변화에 의한 성능변화를 관찰하였다. 또한 시동특성에 관한 실험은 충전량 변화 및 경사각 변화에 따른 실험을 통해 획득한 결과로부터 추가적인 슬랩워 히트파이프를 제작, 45° 기울기에서 실험을 수행하였다 (Table 1).

에탄올을 작동유체로 사용하였을 경우 작동유체의 특성을 고려하여 히트파이프의 작동 온도한계를 130°C로 설정하였다. 실험중 히트파이프에서 드라이 아웃(dry-out)이 발생하지 않는 경우에 이 한계온도 범위 내에서 실험을 진행하였다. 작동유체로 증류수를 사용했을 때에는 작동 온도한계를 200°C로 제한하였다.

히트파이프의 성능비교를 위해 증발부 표면 평균온도와 응축부 표면의 평균온도를 입력열부하로 나누어 표현되는 열저항 개념(식 (1))을 사용하였다.

$$R_{th} = \frac{T_{e,avg} - T_{c,avg}}{Q_{in}} \quad (1)$$

4. 실험 결과 및 고찰

중온범위에서 슬랩워 히트파이프의 최적의 충전량에 대한 실험을 수행하였다. Fig. 4는 작동유체 에탄올에 대하여 충전량 변화에 따른 슬랩워 히트파이프의 처리 가능 최대 열부하를 히트파이프 기울기별(0°, 30°, 60°, 90°)로 나타낸 것이다. 이 때의 응축부 수열매체 즉 냉각수 입구의 온도는 80℃일 때의 결과이다.

모든 실험 조건에서 슬랩워 히트파이프는 드라이 아웃없이 정상상태에 도달하였다. 실험은 작동유체의 성질을 고려하여 설정한 한계온도인 130℃를 넘지 않는 범위에서 수행되었다.

수평상태를 제외한 기울기 30°, 60°, 90°에서의 최대 열부하값 분포가 유사한 경향으로 분포하고 있다. 작동유체량이 100%에서부터 증가하면서 최대 열부하도 증가하다가 110%를 기준으로 작동유체량이 더욱 증가하면 최대 열부하값이 감소하고 있다. 작동유체량이 120%의 최대 열부하값은 100%일 때보다 낮아졌다. 각 충전량에 대하여 기울기 변화에 따라 수평상태를 제외하면 10W 정도의 차이를 보였다. 최적의 충전량은 105% ~ 110%이었고 이때의 최대 열부하는 120W이었다. 워구조물 내부 삽입상태, 작동유체량 주입과정에서의 오차 및 증발부 및 응축부에서의 액체분포량의 차이들로 인해 추가적인 작동유체량이 필요한 것이다. 또한 과충전(φ_w=115%이상)으로 인해 히트파이프 성능이 악화됨을 알 수 있다.

기울기가 수평(θ = 0°)인 경우 최대 열부하는 모든 작동유체량에서 무관하게 20W로 일정하였다. 국부적인 과열상태 즉 드라이 아웃이 발생하지 않았지만 증발부 표면온도가 120℃ 부근에서 정상상태를 이루었다. 이후 열부하에서 히트파이프의 작동온도가 130℃를 초과하였다.

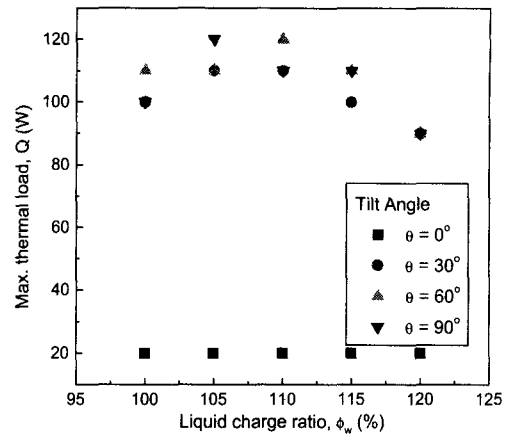


Fig. 4 Maximum thermal load as a function of liquid charge ratio and tilt angle. (working fluid : ethanol, T_{cool} = 80℃)

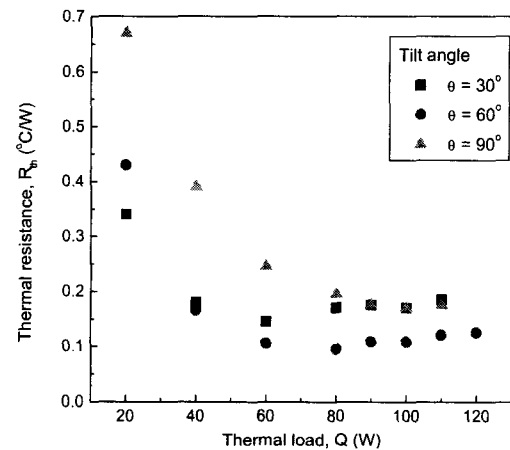


Fig. 5 Thermal resistance as a function of thermal load and tilt angle (working fluid : ethanol, φ_w = 110%, T_{cool} = 80℃)

Fig. 5에 열부하의 함수로 열저항을 나타내었다. 열저항은 식 (1)에 의해 계산하였다. 슬랩워 히트파이프의 작동유체량은 앞서 얻은 최적의 충전량 에탄올 110%를 주입하였다. 응축부의 수열매체 온도가 80℃일 때의 결과값으로 수평상태에서의 결과는 제외하였고 열부하는 최대 120W일 때까지 실험을 수행했다. 열저항 분포는 전체적인 경향이 초기 20W에서 열저항 값이 가장 컸고 이후 열부하가 증가할수록 열저항이 감소하다가 80W이후 열저항이 거의 일정하거나 약간 증가하고 있다.

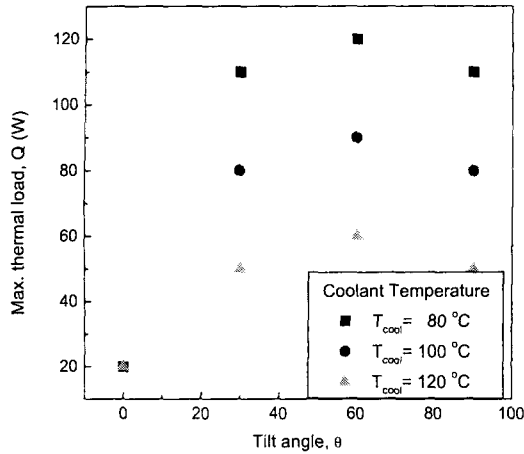


Fig. 6 Maximum thermal load as a function of tilt angle and coolant temperature (working fluid : ethanol, $\Phi_w = 110\%$)

경사각에 무관하게 열부하 80W 이후에 슬랩워 히트파이프 최적의 성능을 발휘하고 있음을 알 수 있다.

기울기가 60° 일 때 열저항이 가장 낮은 값을 보이고 있다. 열부하가 증가하면서 0.1°C/W 부근에 분포하고 있다. 80W 이전의 열부하에서 기울기가 30° 일 때가 90° (수직)인 경우보다 좋았지만 80W 이후의 열부하에서 30° 와 수직상태의 열저항 차이가 거의 없었으며, 0.2°C/W 부근에 분포하고 있다. 수열매체 온도가 100°C 와 120°C 일 경우의 실험결과도 80°C의 경우와 유사한 경향을 나타내었다.

최적의 작동유체량 110%에서 기울기 변화에 따른 중은 범위에서의 슬랩워 히트파이프의 최대 열부하값을 Fig. 6에 나타내었다. 에탄올을 작동유체로 사용한 경우로 수열매체의 온도상승에 따라 최대 열부하값이 감소하고 있다.

수평상태에서의 최대 열부하값은 수열매체의 온도 상승과 무관하게 20W로 일정하게 나타냈다. 수평상태에서는 작동유체량 100 ~ 120% 범위 및 수열매체 온도 80 ~ 120°C 범위에서 20W가 한계였다.

슬랩워 히트파이프의 기울기가 30° 이상에서는 수열매체 온도가 80°C에서 20°C씩 상승할 때마다 최대 열부하가 30W 정도 감소하였다. 수열매체의 온도 80 ~ 120°C 범위에서는 기울기가 60° 일 때 항상 최대 열부하값 120W로 다른 기울기에

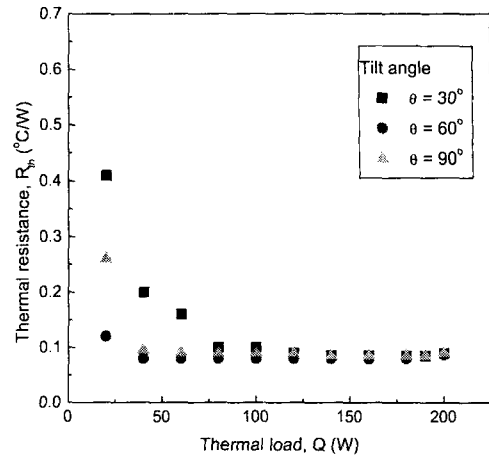


Fig. 7 Thermal resistance as a function of thermal load (working fluid : distilled water, $\Phi_w = 110\%$, $T_{cool} = 80^\circ\text{C}$)

비해 컸다.

기울기가 수평에서 30°로 바뀌면서 수열매체 온도가 80°C에서 최대 열부하 증가값은 90W였다. 최대 열부하값이 가장 큰 60°에서는 30°에 비해 10W 증가하였고, 90°에서는 30°와 같은 값을 나타내었다. 기울기 30° ~ 90°에서의 최대 열부하값 변화량은 8% 정도였다. 기울기 60°에서 수열매체의 온도가 120°C인 경우 최대 열부하값은 60W로 수열매체의 온도가 40°C 증가하면서 최대 열부하값이 50% 감소하였다.

Fig. 7은 작동유체로 증류수를 사용할 경우에 대하여 열부하의 함수로 열저항을 표시한 것이다. 작동유체량은 에탄올을 사용한 슬랩워 히트파이프에서 결정된 양 110%를 주입하였다. 응축부의 수열매체 온도가 80°C일 때의 결과값이다. 에탄올의 경우와 마찬가지로 가장 낮은 열부하에서 열저항이 가장 큰 값을 나타냈고, 열부하가 증가할수록 열저항이 감소하다가 80W 이후 거의 일정한 값으로 분포하고 있으며 전반적으로 에탄올을 사용하는 경우보다 낮은 값을 보여주고 있다. 증류수를 사용하는 경우 수평에서의 작동한계는 40W로 증가하였으며, 열저항은 0.5°C/W로서 Fig. 7에는 나타내지 않았다.

80W 이후의 열저항을 보면 기울기에 상관없이 열저항값이 0.07°C/W 부근에서 분포하고 있다. 60° 및 90°에서는 40W 이후부터 일정한 값으로 분포하고 있다.

작동유체를 증류수로 사용하면서 기울기에 따른 슬랩윅 히트파이프의 성능 변화가 미미해지고 에탄올을 사용한 경우보다 약 30%정도 열저항이 감소하였다. 수열매체 온도가 100℃와 120℃ 일 경우의 실험결과도 80℃의 경우와 유사한 경향을 나타내었다.

Fig. 8은 작용유체로 증류수를 사용한 슬랩윅 히트파이프의 기울기에 따른 최대 열부하 분포를 나타내고 있다. 수열매체 온도 변화에 따른 최대 열부하 변화 경향은 에탄올을 사용한 경우와 유

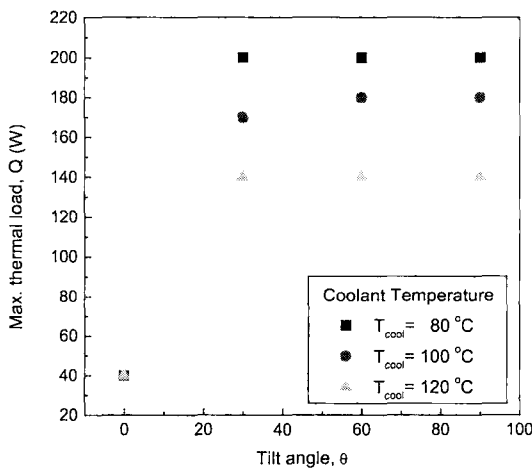


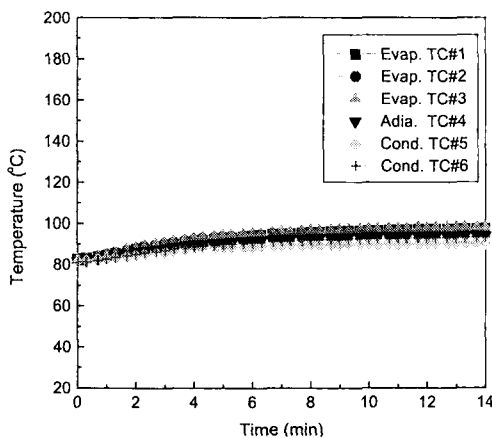
Fig. 8 Maximum thermal load as a function of tilt angle and coolant temperature (working fluid : distilled water, $\Phi_w = 110\%$)

사하게 나타낸다. 기울기 영향은 에탄올의 경우와 다르게 수평상태를 제외한 기울기에서 동일한 열부하값을 얻었다. 수열매체 온도 80℃에서 최대 열부하는 200W로 에탄올에 비해 67% 증가를 보였다. 수열매체의 온도가 100℃로 증가하면 최대 열부하는 180W로 감소하고, 120℃가 되었을 때는 140W로 감소하였으며, 감소폭이 에탄올의 경우와 동일하였다.

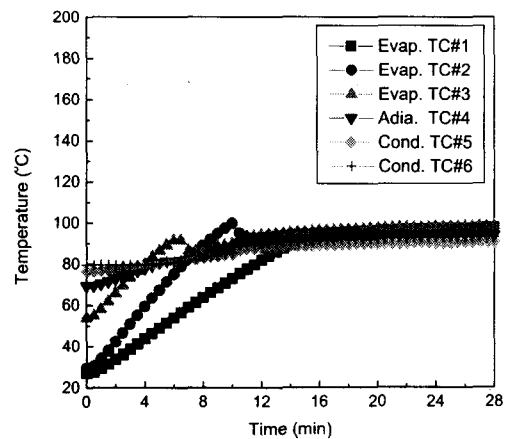
태양열 집열기에 적용했을 때의 동작조건과 유사한 상태에서 시동특성을 보기 위해 열부하 80W, 기울기 45°로 고정한 상태에서 실험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9(a)는 히트파이프 증발부 표면온도가 수열매체온도와 동일한 경우의 실험결과이다. 이 경우 정상상태에 도달하기까지 히트파이프 전체에 걸쳐서 과열되는 부분이 없었고 열부하를 가한 후 12분 경과 후 완전히 정상상태에 도달하였다. 완전한 정상상태 도달 이전 3~4분전부터 정상상태 도달하는 사이의 온도 변화는 1℃ 상승으로 매우 완만한 변화를 보였다.

Fig. 9(b)는 응축부 표면의 온도가 수열매체온도 80℃로 유지되고 있는 가운데 증발부 표면은 실내온도(27℃)와 동일한 경우의 시동특성이다. 이 조건은 밤사이 히트파이프가 냉각되어 있다가 다시 태양열을 받게 되는 경우를 고려한 것이다. 증발부 표면의 온도가 응축부 온도와 동일하게 유지될 때의 시동특성과 달리, 초기 작동시 증발부 표면에서 국부적으로 미소하게 과열이 발생하

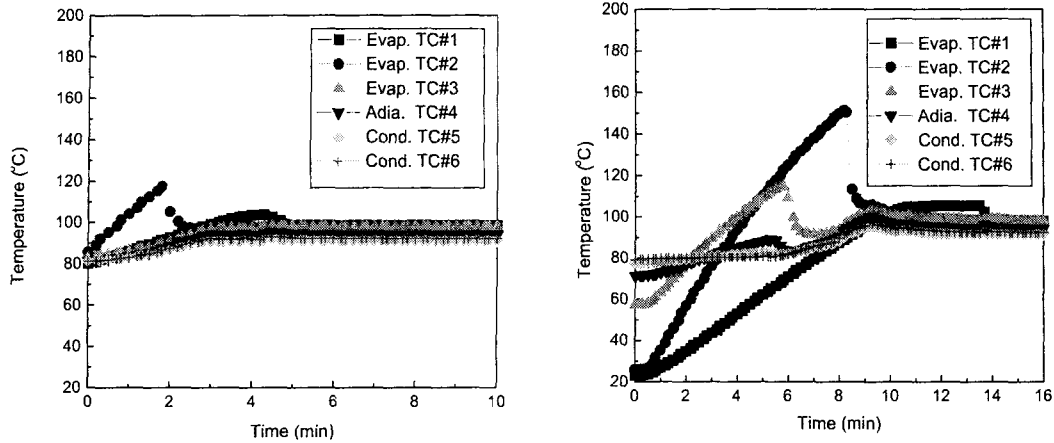


(a) Start-up with evaporator initial temperature : 80℃



(b) Start-up with room temperature : 27℃

Fig. 9 Start-up characteristics of slab wick heat pipe ($\Phi_w = 110\%$, $Q = 80W$, $\theta = 45^\circ$, $T_{cool} = 80^\circ C$)



(a) Start-up with evaporator initial temperature : 80°C (b) Start-up with room temperature : 27°C

Fig. 10 Start-up characteristics of thermosyphon ($\phi_v = 25\%$, $Q = 80W$, $\theta = 45^\circ$, $T_{cool} \approx 80^\circ C$)

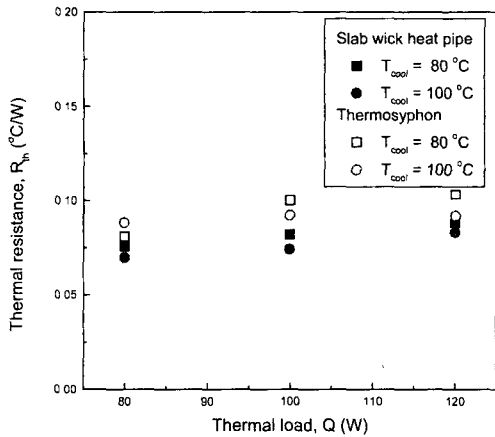


Fig. 11 Thermal resistance comparison of slab wick heat pipe with thermosyphon (working fluid : ethanol, tilt angle $\theta = 45^\circ$)

는 것을 볼 수 있다. 증발부와 응축부간의 온도차가 커지면서 히트파이프가 정상적인 작동에 도달하기까지 약간의 시간이 소요되면서 국부 과열이 발생하고 있다. 증발부 중간부분(#2)에서 가장 큰 과열현상이 관측되었다. 최대 온도 101.3°C까지 상승하다가 감소하여 정상상태(97.6°C)에 도달하였다.

Fig. 10은 워구조물이 없는 써모사이폰에 대한 시동특성으로 슬랩윅 히트파이프와 동일한 상태로 실험을 수행했다.

써모사이폰의 증발부 표면온도가 수열매체 온

도와 동일한 상태에서 작동한 경우(Fig. 10(a)) 슬랩윅 히트파이프에서 발생하지 않았던 과열현상이 증발부 중간 부분(TC#2)에서 나타났다. 또한 증발부 끝단(TC#1)에서도 TC#2에서의 과열정도 보다는 작았지만 과열현상이 발생하였다. TC#2의 과열시 최고온도는 117.6°C이었고, 98.4°C로 정상상태에 도달하였다.

Fig. 10(b)는 응축부 표면의 온도는 수열매체 온도와 동일하지만, 증발부는 실내온도와 동일한 경우의 시동특성을 나타내고 있다. 가장 큰 과열 현상은 슬랩윅히트파이프와 마찬가지로 증발부 중간부분(TC#2)에서 관측되었지만 그 온도가 152.1°C까지 상승한 후에 135.7°C로 안정화 되었다. 증발부의 나머지 부분에서도 슬랩윅 히트파이프와 달리 큰 과열현상이 나타났다.

Fig. 11에 슬랩윅 히트파이프와 써모사이폰의 열저항값을 비교하였다. 경사각 45°로서 시동특성 실험과 동일한 조건에서의 비교 결과이다. 슬랩윅 히트파이프가 써모사이폰에 비하여 열저항값이 낮게 분포하고 있고 그 값은 최대 약 30% 정도 낮다(열부하 100W, $T_{cool}=100^\circ C$). 정상상태시 슬랩윅 히트파이프는 증발부 전체에 걸쳐 히트파이프 표면의 온도차가 1°C 미만의 분포를 보였지만, 써모사이폰의 경우 3.7°C의 편차를 보였다.

5. 결론

중온범위에서 작동하는 태양열 집열기를 위한

슬랩워 히트파이프에 대한 열전달 성능 실험에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 슬랩워 히트파이프의 최적의 작동유체 주입량은 워크조물 기준으로 105 ~ 110%이었으며 중온범위에서 정상적인 작동을 보였다.

(2) 경사각 30° ~ 90° 사이에서 슬랩워히트파이프의 최대 열부하는 에탄올을 사용하는 경우 120W, 증류수를 사용하는 경우 200W이고 경사각이 슬랩워 히트파이프 성능에 큰 영향을 끼치지 않았다. 또한 증류수를 사용하였을 때, 열저항은 에탄올보다 30%정도 감소하였다.

(3) 초기 시동 슬랩워 히트파이프는 국부적인 과열없이 안정적으로 작동하였다. 반면 써모사이폰은 국부적인 과열이 심하였고, 증발부와 응축부의 온도차가 클수록 과열이 더욱 심하였다.

후 기

본 연구는 2001년도 산업자원부 에너지 관리공단의 대체에너지 기술개발사업에 의해 지원되었으며, 이에 감사한다

참고문헌

- (1) Faghri, A., 1995, *Heat Pipe Science and Technology*, Taylor & Francis, pp. 24~32.
- (2) Peterson, G. P., 1994, *An Introduction to Heat Pipes - Modeling, Testing and Applications*,

Wiley-Interscience, pp. 241~246.

- (3) Chang, W. S. and Cowell, G. T., 1985, "Mathematical Modeling of the Transient Operating Characteristics of a Low-Temperature Heat Pipe," *Numerical Heat Transfer*, Vol. 8, pp. 169~186.
- (4) Boo, J. H. and Hartley, J. G., 1990 "Analysis of the Thermal Performance of Heat Pipe Radiators," Presented at the *AIAA/ASME Thermophysics and Heat Transfer Conference*, Seattle, Washington, U.S.A., ASME HTD Vol. 135, pp. 25~32.
- (5) Yim, K. B. and Kim, C. J., 1993, "A Study on Design and Performance of a Heat Pipe for the Application to Solar Collector," *Journal of The Korea Society for Energy Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 179~186.
- (6) Kim, C. J. and Yim, K. B., 1993, "An Experimental Study on the Heat Transfer Characteristics for a Flat Plate Solar Collector with a Heat Pipe," *Journal of The Korea Society for Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 5, pp. 1237~1245.
- (7) Chi, S. W., 1976, *Heat Pipe Theory and Practice: A Sourcebook*, Hemisphere Publishing Corp., pp. 197~210.
- (8) Lock, G. S. H., 1992, *The Tubular Thermosyphon*, Oxford University Press, pp. 132~153.