

메탄올을 이용한 열사이폰의 傳熱特性 分析

Analysis of Heat Transfer Characteristics of Thermosyphons using Methanol

이충근*	이승규*	김성태*	김영복*
	정희원	정희원	정희원
C. K. Lee	S. K. Lee	S. T. Kim	Y. B. Kim

1. 서 론

최근 화석에너지 고갈 및 환경보전에 관한 문제가 세계적인 공통 관심사로 부각되면서 열에너지의 효과적인 이용과 열수송 방법의 개발에 대한 중요성이 크게 대두되고 있다.

이 목적에 적합한 것으로 구조가 간단하고 적용범위가 넓으며 열전달성능이 매우 우수한 열사이폰(thermosyphon)이 연구의 대상으로 개발되고 있다. 열사이폰은 구조가 간단하고, 기하학적으로 유연성이 있으며, 수명이 길고, 자동적인 온도조절 기능이 있을 뿐만 아니라 특히, 열전도율이 높아 작은 온도차에서도 대량의 열에너지를 별도의 구동원이 없이 전달할 수 있다. 또한 설치 후 유지·관리가 필요없다는 장점이 있어서 자연에너지의 채열 등에 응용되고 있으며, 이러한 과정에서의 전열 해석을 위한 실험도 많이 시도되고 있다.

본 연구에서는 위에서 언급한 열사이폰의 열전달 장치로서의 장점을 이용하여 저온·저밀도의 자연에너지를 채열해서 필요로 하는 곳에 적용할 수 있는가에 대한 가능성을 검토하기 위해 저온에서 비교적 기화잠열이 큰 메탄올을 작동유체로써 이용한 열사이폰을 제작하여 열전달의 특성을 분석함으로써 무공해·무한정인 자연에너지의 이용 가능성을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

실험장치의 구성은 메탄올 주입장치, 열사이폰 본체, 열사이폰으로의 열공급장치, 열사이폰으로부터의 방열장치, 데이터 수집부로 이루어지며 그 개략도는 그림 1과 같다.

열사이폰의 본체는 재료와 작동유체의 전열특성, 열전도성, 화학적인 반응⁸⁾ 등을 고려하여 구리파이프와 메탄올을 선택하였다. 구리파이프의 설계는 실험의 안정성을 유지하기 위해서 참고문헌^{5,7,8)}을 참고하여 내경 26.16mm, 두께 1.17mm, 길이 1500mm로 제작하였다.

열사이폰 내부의 진공은 진공펌프를 10분 이상 가동시켜서 절대압력 5×10^{-6} Torr 정도의 진공상태로 하였으며, 진공도는 3일간 실험을 하지 않은 상태에서 확인 후 계획된 실험을

* 경상대학교 농과대학 농업기계공학과

수행하였다. 작동유체의 주입량은 문헌^{1,2,3,6)}에 의하여 열사이폰 총체적의 10%인 81cc로 고정하여 실험을 수행하였다. 작동유체의 주입은 뷰렛을 이용하였고, 진공밸브를 통해서 열사이폰 내부로 주입하였다. 열공급수준은 열사이폰 하단부에서 열저항밴드(band)를 부착해서 100, 150, 200, 250, 300, 350W의 6수준으로 입력하였고, 열입력량은 자동전압조정기(AVR)를 통해서 조절하였으며, 열전대는 용접을 통하여 설치한 후 응축부에 열량을 공급하는 씨이즈 히터(sheath-heater)를 설치하였고, 열접촉효과를 높이기 위해서 전열테이프로 감은 다음 최종적으로 단열재로 단열시켰다. 응축부에서의 열방출방법은 수냉식이었고 일정온도의 물을 펌프에 의해 열사이폰의 응축부를 통과하도록 하였으며, 냉각수의 입구·출구온도 및 유량을 계측하여 열사이폰의 열수송량인 방열량을 계산하였다. 유량계는 정확한 메스실린더를 이용하였고, 열사이폰의 경사각은 최대의 성능을 발휘하는 경사각 90°로 고정을 하였다⁴⁾. 실험에서 열사이폰 자체의 온도계측을 위해 K형 열전대를 열사이폰 벽면에 9점을 설치하였던 바 그것은 증발부와 단열부에 각각 3점, 응축부 3점으로 구성된다. 그리고 외기온도를 측정하기 위해 외부에 1점 설치하였고 열사이폰 방열특성을 알아보기 위해 냉각수 입구와 출구에 각각 1점을 설치하였다. 온도의 기록은 다점자동온도기록계를 이용해서 기록하였고, 또한, 열전대의 출력전압은 다점자동온도기록계에서 온도데이터로 변환하여 기록시킴과 동시에 개인용컴퓨터의 모니터에도 나타내고 플로피디스크에 보존시켜 데이터처리에 이용하였다. 실험의 순서는 냉각수 유량 및 히터가열량을 조절, 확인한 다음 개인용컴퓨터가 정상적으로 작동되고 있는지를 점검한 후에 열입력을 시작함과 동시에 온도계측을 수행하였다. 그리고 한 수준의 실험이 끝나면 다른 열사이폰의 열전달특성을 알아보기 위해 다시 열사이폰을 진공시켜 작동유체를 주입하고 열입력량을 변화하여 반복실험을 수행하였으며, 데이터를 수집하는 시간은 1분간격으로 1시간씩 수행하였다.

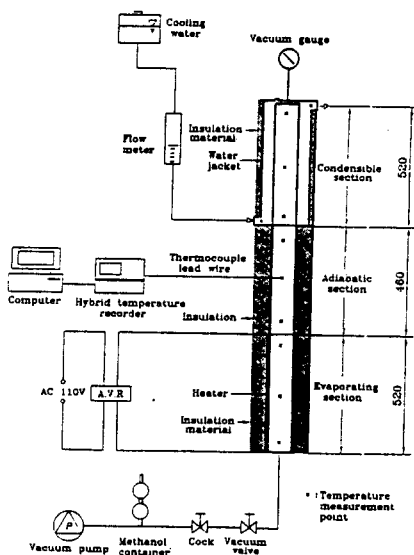


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

3. 결과 및 고찰

가. 벽면의 온도변화

그림 2는 열사이폰 벽면 각부 온도분포를 표시한 것이다. 열사이폰 벽면의 온도변화는 증발부 열공급수준에 관계없이 가열 약 10분이 경과할때까지 급격히 상승한 후 열공급수준에 따라 비교적 일정한 상태로 유지되었다. 증발부 열공급수준이 100, 150, 200W일 때 열사이폰 중간위치인 단열부 벽면온도는 각각 38, 38.5, 40℃를 나타내었으며, 증발부 상단의 경우 작동유체의 활발한 증발현상으로 인해 증발부 하단보다 온도가 상당히 높게 나타났다.

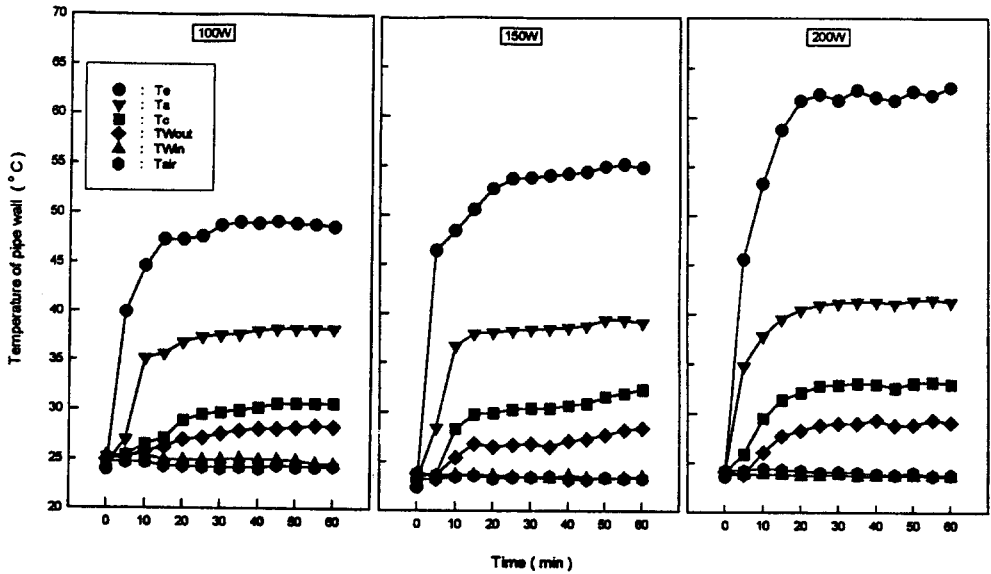


Fig. 2. Temperature history of thermosyphon surface in case of 100, 150, 200W input powers.

나. 벽면 각부 온도분포 및 내부압력변화

그림 3은 벽면 각부 온도분포 및 내부압력변화를 표시한 것이다. 실험이 안정된 이후 각부의 산술평균값을 입력시켜 표시한 것으로서 입력열량에 따른 벽면온도 분포를 알 수 있었고, 입력열량 변화에 따른 전체적인 경향은 비슷하게 나타났으며 단열부와 용축부는 온도변화가 거의 일정하게 나타났으나 증발부는 증발부 상단의 온도가 상당히 높게 나타남을 알 수 있었다. 열사이폰 내부의 압력변화는 열공급수준에 관계없이 실험시작 후 약 10분까지는 압력이 초기압력 13kPa에서 급격히 상승하였고, 그 이후에는 열입력수준에 따라 비교적 완만하게 상승하는 경향을 보였다. 열입력수준 100W의 경우 약 29kPa, 150W의 경우 약 29kPa, 200W의 경우 약 34kPa부근에서 유지되거나 완만히 상승하는 것으로 나타났다.

다. 열전달계수값의 변화

그림 4는 열사이폰의 열전달계수값을 표시한 것이다. 열사이폰의 증발부 열전달계수값은

입력열량이 100~250W에서는 열전달계수값이 3432.0~5167.3W/m²·℃로 거의 비례적으로 증가함을 보였지만, 입력열량이 250~300W로 증가하면 열전달계수값이 5167.3~7149.4W/m²·℃로 급격히 증가하였다. 응축부 열전달계수값은 입력열량이 100~250W에서 1008.3~829.8W/m²·℃로 반비례적으로 값이 감소함을 나타내었다. 그리고 입력열량이 증가할수록 열전달계수값은 작아지는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 실제 응축열전달에 있어서 열유속이 증가하면 액막의 증가로 열저항이 증가하는 현상을 초래하기 때문으로 판단된다. 그리고 열전달계수가 열저항에 의해 감소되는데도 불구하고 전열량이 증가한 경우는 전열온도차가 상대적으로 컸기 때문으로 판단된다. 그러나 입력열량이 250~300W의 사이에서는 829.8~710.9W/m²·℃로 약간 급속히 감소함을 나타냈다.

라. 열유속 변화 및 전열효율

그림 5는 열사이폰의 열유속과 전열효율을 표시한 것이다. 열사이폰의 열유속의 변화는 입력열량이 100~250W의 범위에서는 입력열량에 대한 열유속이 124.8~224kW/m²로 비교적 비례적으로 증가하였으나 입력열량이 250W에서 300W로 변화되면서 열유속이 223.9~356kW/m²로 급격히 상승함을 나타냈다. 열사이폰의 전열효율은 입력열량이 100~250W까지 증가할 때 67.1~48.0%로 반비례적으로 감소하였다. 이것은 입력열량이 증가함으로써 외부로 방출되는 열량이 상대적으로 증가하기 때문으로 생각되었다. 그러나 입력열량이 250~300W일 경우에는 열전달 효율이 63.8%로 상당히 증가함을 나타냈다.

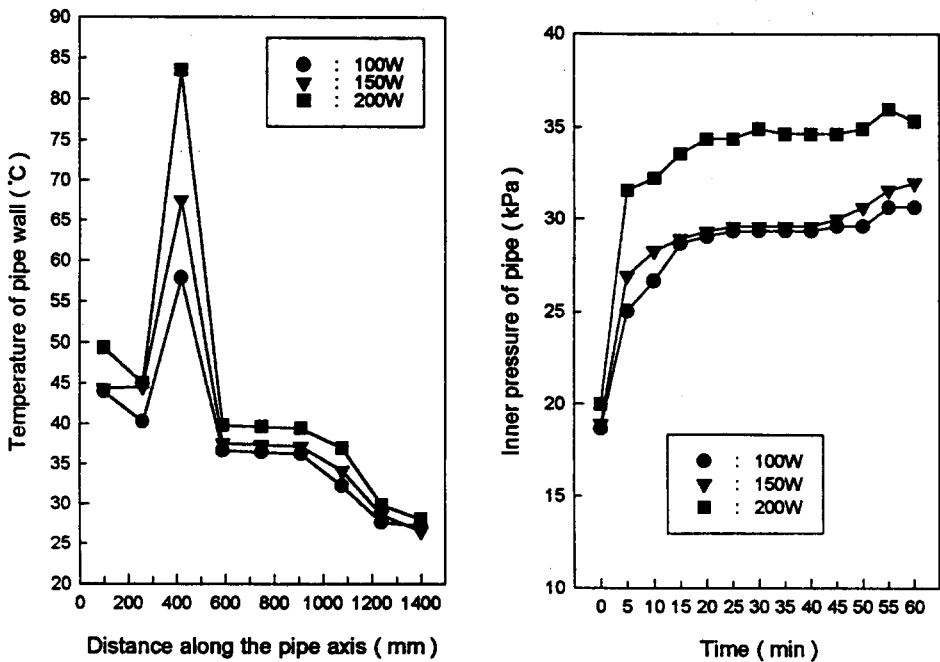


Fig. 3. Temperature distribution of the thermosyphon surface and inner pressure depending on input powers.

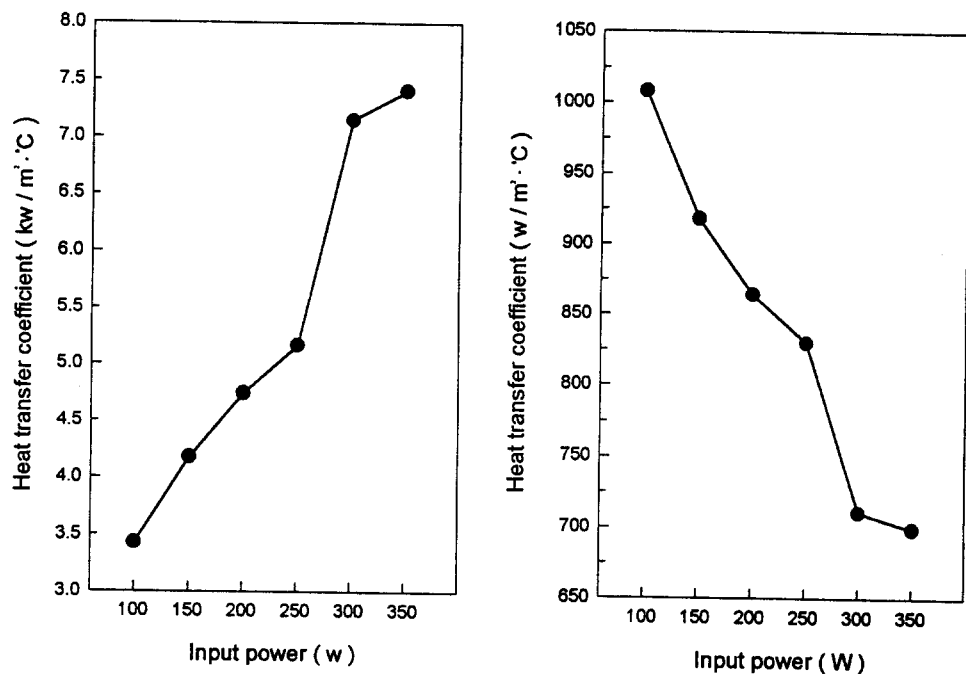


Fig. 4. Heat transfer coefficient of the evaporating, condensable section depending on different input powers.

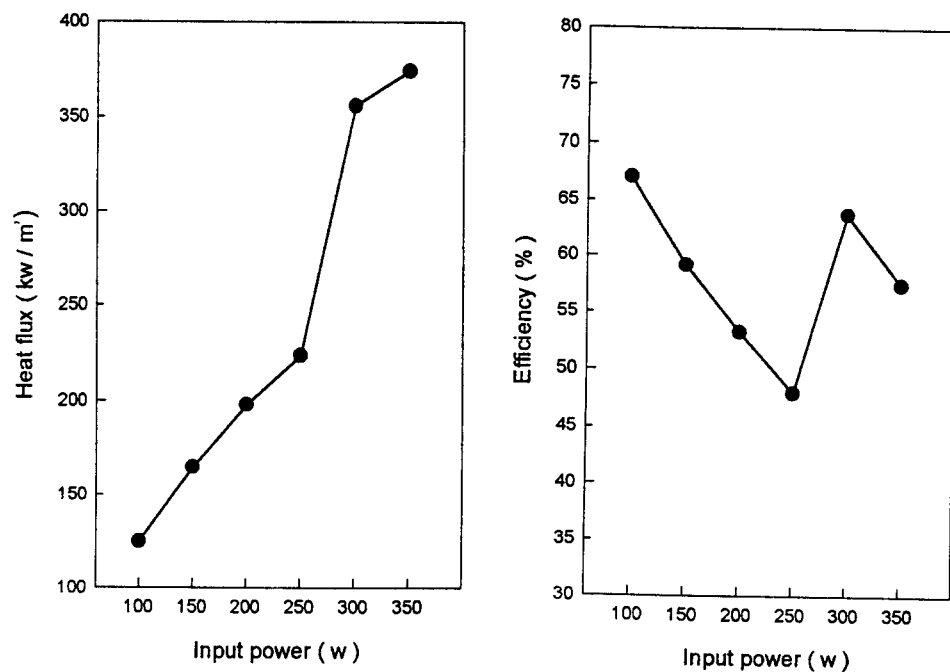


Fig. 5. Calculated heat flux and heat transfer efficiency depending on different input powers.

4. 요약 및 결론

본 실험에서 수행한 결과값을 분석한 결과 열사이폰을 이용한 지열, 지하수열, 태양열을 채열하기 위한 목적에 있어서 큰 문제점이 없는 것으로 판단되나, 지열의 경우에는 열유속이 토양의 깊이로 따라 많은 차이가 있으므로 적절한 열유속을 얻을 수 있는 깊이에 열사이폰을 설치해야 할 것으로 판단되고, 태양열의 경우에는 날씨에 많은 영향을 받으므로 집열 방식을 개선하여야 할 것으로 판단되며 자연에너지 뿐만 아니라 범용적으로도 널리 사용가능할 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

1. 강환국. 1992. 집열기용 2상 열사이폰의 열유동특성에 관한 실험연구. 성균관대학교 석사학위논문.
2. 경익수, 노승탁. 1991. 2상 밀폐 열사이폰을 이용한 빙축열 시스템의 성능. 공기조화·냉동공학 논문집 5(2) : 87~96.
3. 김동훈. 1991. 응축부 내부에 나선형 핀을 갖는 회전형 히트 파이프의 전열특성에 관한 실험적 연구. 동아대학교 석사학위 논문.
4. 김철주, 강환국, 김윤철. 1996. 낮은 경사각을 갖는 밀폐형 2상사이폰의 열전달특성에 관한 연구. 공기조화·냉동공학 논문집 8(1) : 1~12.
5. 신현준, 서정윤. 1993. Thermosyphon의 지열채열 성능에 관한 고찰. 공기조화·냉동공학 논문집 5(3) : 226~233.
6. 조병욱. 1987. 에탄올과 물을 이용한 히트 파이프의 특성에 관한 실험적 연구. 단국대학교 석사학위 논문.
7. 田中修. 1994. 銅-水ウィックレスヒートパイプの傳熱特性. 日本機械學會紙 60(576) : 2826~2832.
8. Dunn, P. D. and Reay, D. A., 1994, Heat pipes, 4th ed., Pergamon, New York.