

3차원 진동전열관에 미치는 충전율의 영향

박권하* · 이진아** · 김영남*** · H.B. Ma****

*한국해양대학교 기계정보공학부 교수, **한국해양대학교 대학원, ***(주)엔피씨, ****University of Missouri-Columbia

The Effect of Fill Ratio on 3D Oscillating Heat Pipe

Kweon-Ha Park · Jin-A Lee** · Young-Nam Kim*** · Hong Bin Ma*****

**Division of Mechanical and Information Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

***Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

****Nano Plasma Center*

*****Dept. of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Missouri, Columbia*

요 약 : 전자 산업에서 부품들은 점점 작아지고 출력은 높아짐에 따라 좁은 공간에 높은 열이 발생되어 장치들의 고장이 유발되고 있다. 이러한 장치에서 열을 제거하기 위한 많은 기술들이 개발되어 지고 있으며 진동전열관(OHP)은 이러한 냉각 기술 중의 하나이다. 진동전열관은 증발과 응축의 메커니즘에 의해 작동되어진다. 진동전열관에 대한 대부분의 연구는 2차원배열로 설계되어 여러 가지 성능향상에 어려움이 있다. 본 연구에서는 3차원 배열의 진동전열관을 설계하였으며 저부하와 고부하의 50W와 260W에서 충전율의 효과를 실험하였다. 그 결과 3차원 진동전열관의 충전율은 19%-22% 정도가 적합하다는 것을 보여주었는데, 이는 2차원 진동전열관에서 제시되고 있는 50%보다 매우 낮은 값이다.

핵심 용어 : 진동전열관, 충전율, 열부하

ABSTRACT : *The thermal devices have become smaller and the performance has increased in the electronics industry, which induces a high heat density causing the considerable damage to the devices. Many technologies have been developed in order to remove the heat from the devices. The oscillating heat pipe(OHP) is the one of the cooling technologies. The OHP is operated by the mechanism of vaporization and condensation. Most study for the OHP has done for 2 dimensional plane arranged design. In this study 3 dimensional arranged oscillating heat pipe is designed and the effect of fill ratio is tested at the powers of 50W and 260W. The result shows that the fill ratio of 19% to 22% is suitable for 3 dimensional arranged OHP, which is much lower value than over 50% proposed for 2 dimensional arranged OHP.*

KEY WORDS : Oscillating heat pipe, Fill ratio, Heat load

1. 서 론

산업이 발달되면서 부품들은 소형화되고 동시에 좋은 성능이 요구되고 있다. 특히 전자부품의 경우 매우 작은 공간에 많은 열이 발생하기 때문에 국부적인 온도상승이 이루어지며 치명적인 고장의 원인이 된다. 좁은 공간에서 냉각성능을 향상 시키려는 연구의 한분야로 열 수송능력이 매우 높은 진동전열관이 연구되고 있다. 진동전열관은 증발과 응축에 의한 불균일한 관내압력을 이용하여 작동유체를 진동시킴으로써 높은 열을 빠르게 전달하는 장치이며 Akachi[1]가 처음으로 고안하였다. 개방루프와 폐루프의 두 가지 타입이 있는데 개방루프 진동전열관은 양끝이 막힌 경우이며 폐루프 진동전열관은 하나의 관

으로 연결되어 증발부와 응축부가 계속적으로 반복되는 경우이다. Qu 등[2]의 연구에 의하면 일반적으로 폐루프가 개방루프보다 좋은 성능을 나타내었다. 진동전열관의 연구는 대부분 폐루프에 대하여 이루어지고 있는데, 구리나 알루미늄을 재료로 사용하여 전열관의 기하학적 형상의 영향, 작동유체의 종류 및 조건의 영향 등을 연구하고 있다. 또한 진동 메커니즘을 관찰하기 위하여 유리나 투명플라스틱을 이용한 유동가시화 연구가 수행되고 있다[3]-[8]. Khandekar 등[6]의 연구에 의하면 단일 루프 진동전열관은 중력의 영향을 크게 받으며 10° 이하의 경사에서는 진동을 멈추었으며 가열부에 발생한 증기부분이 완전히 건조되는 드라이아웃 현상이 발생되어 열전달이 악화되었으며, 50% 이하의 충전율에서는 더욱더 좋지 못한 결과를 나타내

* khpark@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4367

었다. 작동유체의 종류와 충진율은 매우 중요한 변수이며 많은 연구들이 진행되고 있다[5], [9]-[12]. Cai 등[5]은 작동유체로 증류수, 아세톤, 알코올과 암모니아를 사용하였으며 충진율도 40%에서 70%사이에서 실험 분석하였다. 충진율이 너무 낮으면 열부하가 적을 때에도 쉽게 드라이아웃이 되며 너무 높으면 증기발생 부위가 줄어들어 증기압에 의한 작동유체의 진동현상이 줄어든다. 중력의 작용도 중요한 변수가 되는데, Ha 등[13]의 연구에 의하면 Khandekar 등[6]의 연구와는 달리 40번의 다중루프 전열관에서는 경사각의 영향이 현저히 감소되었다. 이러한 2차원 진동전열관의 연구들을 종합하면 적절한 진동전열을 유지하기 위해서는 충진율이 50%이상이 되어야하며 전열관을 경사지게 하여 중력을 이용하면 열전달능력이 향상되어 낮은 충진율에서도 진동열전달이 원활히 이루어진다. 이러한 연구들은 2차원적인 평판배열에서 진행되었기 때문에 중력을 이용하는 데에 한계가 있었다. 증발부와 응축부에서 발생하는 증발과 응축현상은 중력의 영향이 매우 중요하기 때문에 중력을 적절히 이용할 수 있는 전열관의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 중력을 최대한 이용할 수 있도록 진동전열관을 3차원으로 배열하였으며 3차원 배열의 경우 낮은 충진율에서도 원활한 작동이 예상되어 충진율이 비교적 낮은 영역에서 미세한 변화를 주면서 충진율 변화의 영향을 실험적으로 검토하였다.

2. 실험장치 및 조건

Fig. 1은 실험장치의 구성을 나타낸다. 실험장치는 3차원 진동전열관, 가열시스템, 냉각시스템, 데이터처리시스템으로 구성된다.

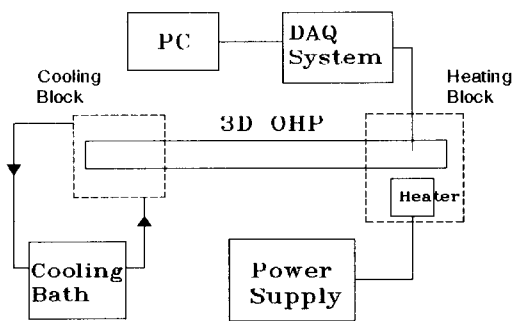


Fig. 1 Diagram of experimental setup

내경 1.5mm인 진동전열관은 Fig. 2와 같은 3차원 구성으로 길이 150mm 폭 36mm 높이 10mm로 12번 상하로 왕복하여 폐회로로 배열하였다. 양단에 길이 40mm인 증발부와 응축부를 설치하였으며, 증발부는 Staco-3PN1010B 전력공급장치로 히터에 적정량의 전원을 공급함으로써 열부하를 조절하였고 응축부

는 Julabo F34 장치를 이용하여 30℃를 유지하였다. 데이터는 증발부의 상하에 열전대를 설치하여 National Instruments SCXI 1600 DAQ 시스템으로 취득하였다.

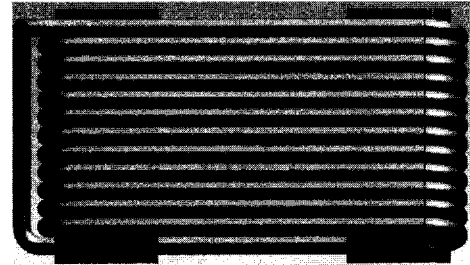


Fig. 2 3-d oscillating heat pipe

Table 1은 실험조건을 나타낸다. 공급전력은 260W와 50W로 열부하가 높은 경우와 낮은 경우를 선택하였으며 진동현상에 의한 냉각의 한계를 분석하기 위하여 50W를 공급하여 정상상태로 유지시킨 후에 전원을 차단하는 실험조건을 추가하였다. 냉각부는 30℃로 유지하고 관내 전체 체적에 대한 작동유체 체적의 비인 충진율은 13%에서 25%까지를 4등분하여 실험하였다.

Table 1. Test conditions

Power supply (W)	Fill ratio (%)	Cooling temp (°C)
260	13	30
50	16	
50 to 0	19	
	22	
	25	

3. 실험결과 및 분석

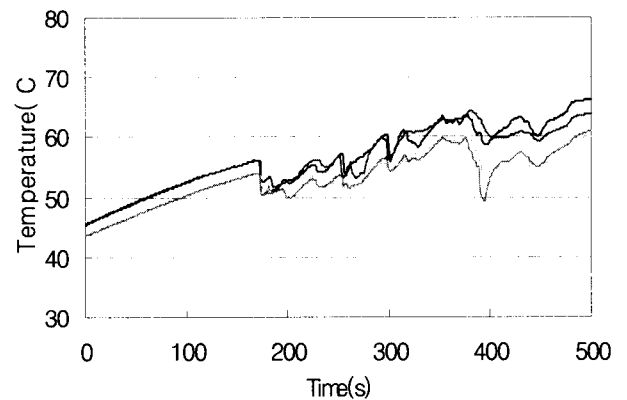


Fig. 3 Temperature variation at 50W and 13%

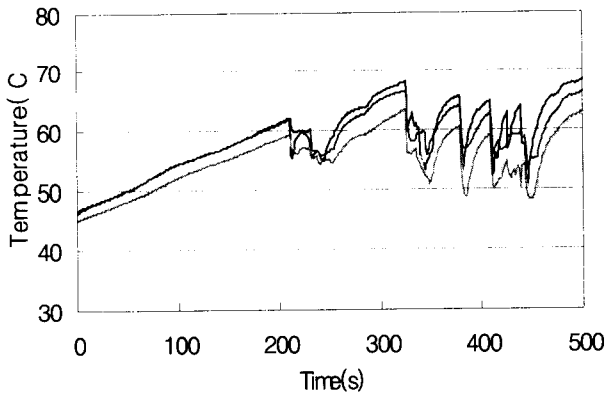


Fig. 4 Temperature variation at 50W and 16%

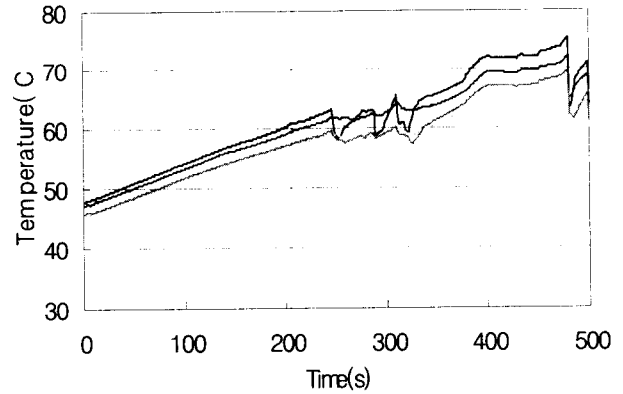


Fig. 7 Temperature variation at 50W and 25%

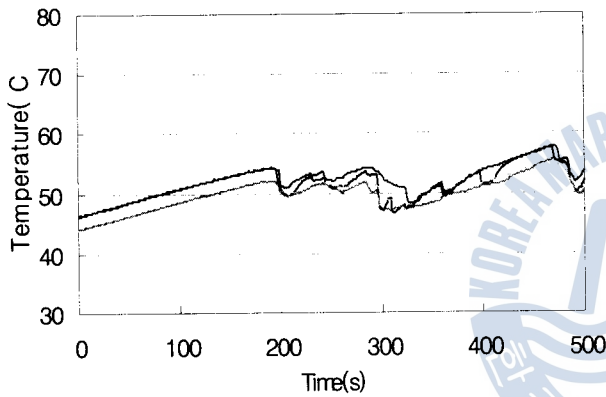


Fig. 5 Temperature variation at 50W and 19%

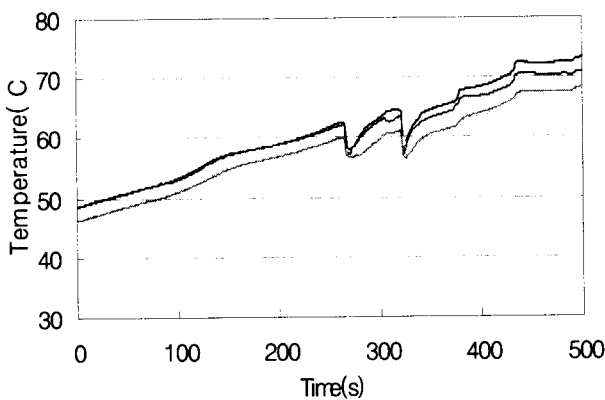


Fig. 6 Temperature variation at 50W and 22%

Fig. 3~7은 열부하 50W에서 충진율이 13%에서 25%까지 변화할 때의 증발부의 온도변화이다. 열전대는 전열관의 가열면이 있는 아랫면과 윗면에 각각 2개씩 부착하여 실험의 정도를 높였다. 충진율이 13%인 경우 전원의 공급과 함께 증발부의 온도가 연속적으로 증가된다. 180초 후에 힘의 균형이 깨어지면서 작동유체의 진동이 발생한다. 이 후에는 진동의 발생이 계속되면서 냉각이 이루어진다. 16%와 그 이상의 충진율의 경우에도 유사한 현상을 나타낸다. 그러나 충진율이 적으면 작동유체가 부족하여 충분한 열수송이 어렵고, 너무 많으면 증발량이 부족하여 열전달이 감소된다. 13%의 경우 증발부의 온도가 65°C이상까지 증가되고 16%인 경우 60°C근처에서 진동하다가 어떤 경우는 65°C이상으로 증가된다. 19%의 경우는 58°C를 넘지 않은 낮은 온도를 유지한다. 22%이상에서는 70°C까지 증가된다. 관내 작동유체의 진동발생은 매우 중요한 의미를 갖는다. 전체 관내에서 균형을 유지하던 힘이 증발부나 응축부 등에서 압력변동으로 균형을 잃고 유체가 관내를 반복하며 빠르게 이동하는 것이다. 이러한 유체진동현상은 증발부의 뜨거운 유체가 단번에 응축부의 차가운 관내로 이동하고 응축부의 차가운 유체가 증발부의 뜨거운 관내로 이동하면서 빠른 열 수송이 이루어지게 한다. 충진율이 매우 낮은 13%의 경우와 높은 22% 이상의 경우는 16%와 19%인 경우에 비하여 높은 온도에서 유체진동이 발생되면서 온도의 변화가 시작되고 있는데, 충진율이 낮은 경우는 작동유체가 존재하지 않는 빈공간이 너무 많아서 증발할 수 있는 유체가 절대적으로 부족하여 작동유체에 큰 압력을 미치지 못한 것으로 판단되며, 충진율이 높은 경우에는 증발부위가 작아져서 역시 많은 유체를 진동시키기에는 증기압이 미흡했던 것으로 생각된다. 19%정도의 경우가 50W에서 적절한 충진율인 것으로 판단된다. 이는 2차원의 경우에 50%정도의 충진율이 적절한 것과 비교하면 매우 낮은 것을 알 수 있다.

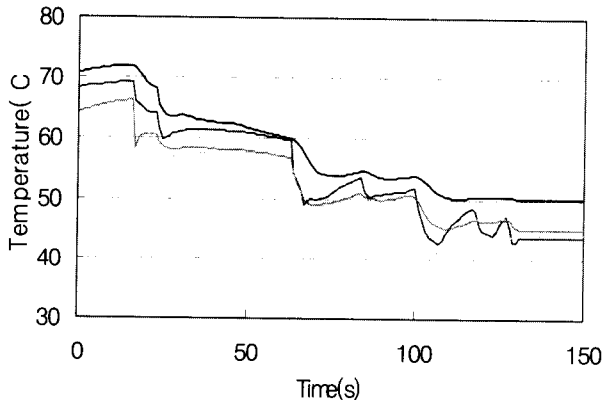


Fig. 8 Temperature variation at 50-0W and 13%

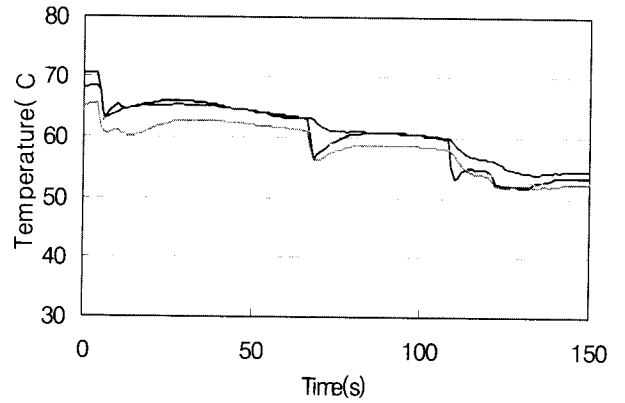


Fig. 11 Temperature variation at 50-0W and 22%

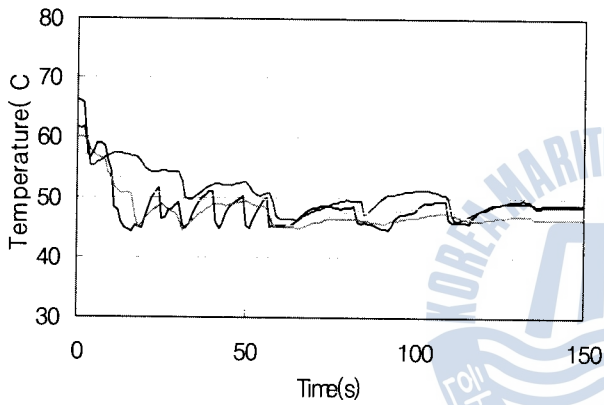


Fig. 9 Temperature variation at 50-0W and 16%

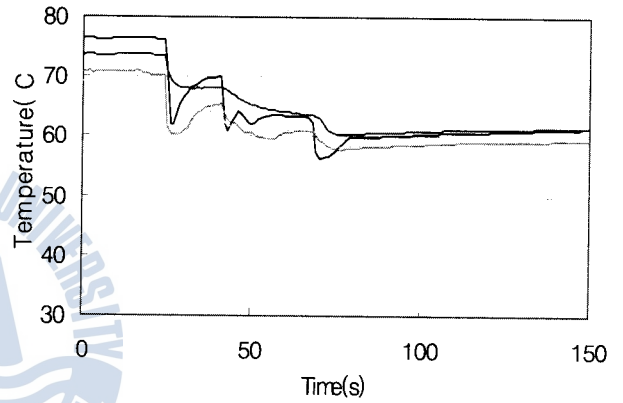


Fig. 12 Temperature variation at 50-0W and 25%

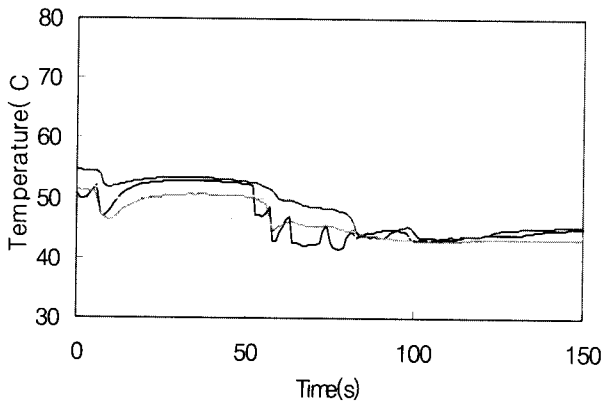


Fig. 10 Temperature variation at 50-0W and 19%

Fig. 8~12은 진동전열현상의 발생한계를 관찰하기 위한 실험으로 열부하 50W에서 전원의 공급을 중단한 후에 전열관 내의 진동현상이 중지될 때까지의 온도변화를 나타낸다.

전원공급이 중단된 이후에 증발부의 온도가 낮아지고 증발압력이 줄어들면서 열진동현상이 감소된다. 19%이하의 충전율에서는 45°C정도까지 진동현상이 나타나지만 22%경우는 53°C에서 25%의 경우는 60°C에서 진동 열전달현상이 정지되는 것을 알 수 있다. 낮은 열부하에서 진동전열관의 열전달 성능을 유지하기 위해서는 드라이아웃을 방지하는 범위에서 충전율을 최소화하여 질량유량을 줄임으로서 진동발생이 쉽도록 해야 한다. 충전율 19%이하에서는 45°C 이하의 낮은 온도에서도 작동유체의 진동이 발생하였는데 이는 충분히 넓은 증발면적에 의한 증기압의 상승이 적은 량의 작동유체를 이동시키기 쉬었던 것으로 판단된다.

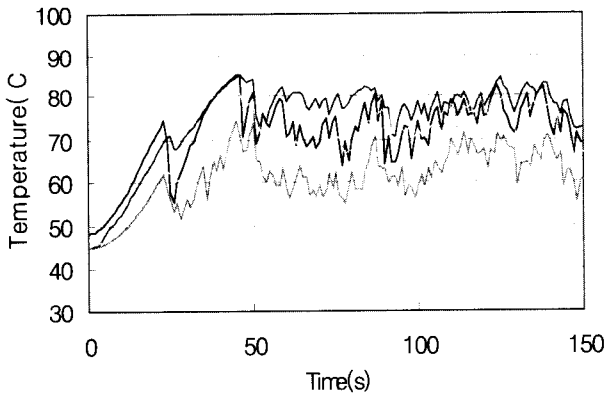


Fig. 13 Temperature variation at 260W and 13%

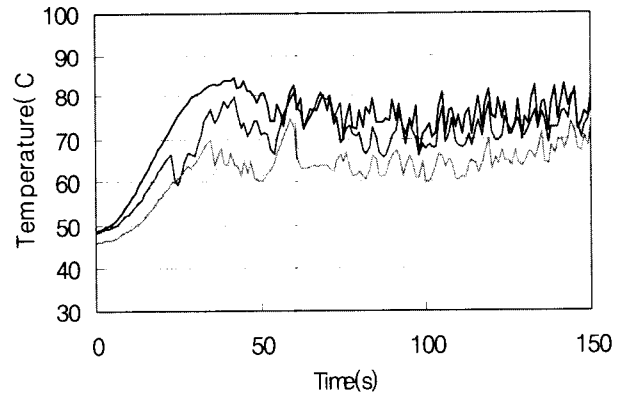


Fig. 16 Temperature variation at 260W and 22%

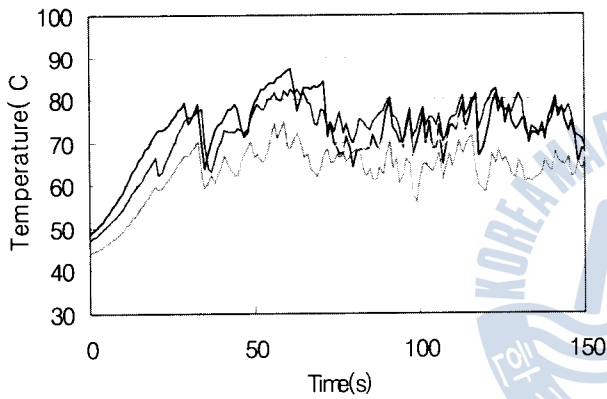


Fig. 14 Temperature variation at 260W and 16%

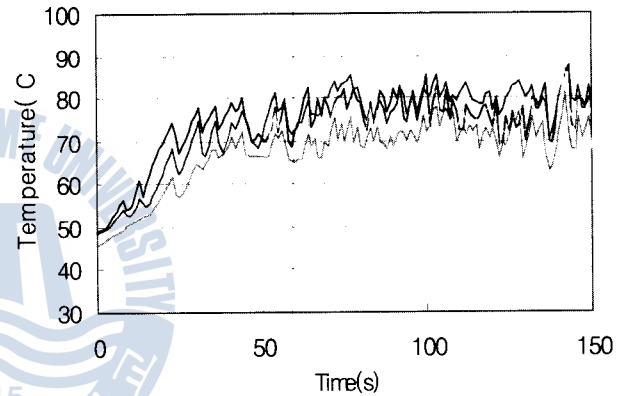


Fig. 17 Temperature variation at 260W and 25%

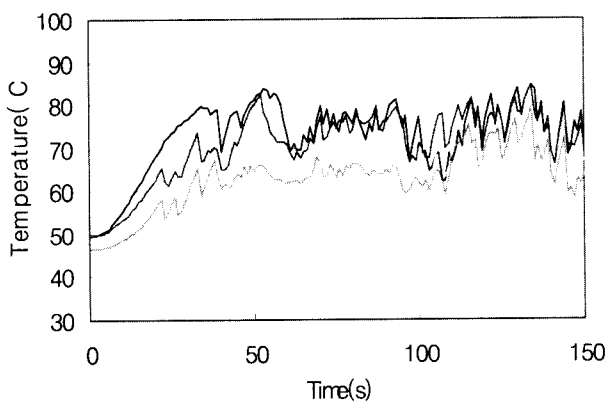


Fig. 15 Temperature variation at 260W and 19%

Fig. 13~17은 열부하 260W에서 충전율이 13%에서 25%까지 변화할 때의 증발부의 온도변화이다. 13%, 16%의 경우 86°C이상까지 온도가 증가되는 경우가 발생하고 있으며 19%, 22%는 83°C정도까지 증가한 후 80°C이내에서 유지된다. 25%의 경우는 낮은 온도에서부터 진동열전달이 이루어지면서 82°C이하에서 유지된다. 증발부의 온도가 매우 높은 경우에는 많은 작동유체가 빠르게 증발하게 되며 유체진동이 빠르게 진행된다. 그러나 진열관내의 유체가 충분하지 못하면 증발량에 한계가 생기면서 초기에 유체진동을 발생시키지 못하거나 불규칙적으로 발생시킴으로서 증발부의 온도 매우 높게 된다. 19% 이하에서는 이러한 현상이 자주 발생되고 있으며 22%의 경우에는 초기에 약간의 진동발생이 지연되고 있지만 이후에는 연속적인 진동의 발생과 낮은 온도를 유지하였다. 25%의 경우는 낮은 온

도에서부터 진동열전달이 이루어지고 있지만 연속 최고온도가 82℃로 22%의 80℃보다 높기 때문에 22%의 경우가 빠른 진동과 함께 안정적으로 열전달을 수행하고 있는 적절한 충진율로 판단된다. 실험결과에서 보여주는 것처럼 3차원 진동전열관의 경우에는 충진율이 19~22%정도의 구간에서 열전달율이 최대가 된다. 이는 2차원 평면배열 진동전열관의 경우 50%정도에서 최적의 상태가 되는 것과 많은 차이를 나타낸다. 3차원 배열의 경우 증발부에서는 부력의 힘으로 응축부에서는 중력의 힘으로 관내의 유체를 이동시키려는 힘이 발생되어 진동현상을 촉진하기 때문에 낮은 충진율의 경우에 더 높은 열전달율을 나타낸 것으로 판단된다.

4. 결 론

3차원 진동전열관에 대한 충진율 변화의 영향을 실험적으로 고찰한 본 논문의 내용은 다음과 같이 요약된다.

- 1) 50W 이하의 낮은 열부하의 경우는 19% 일 때 가열부의 온도를 가장 낮게 유지할 수 있었으며 열부하를 제거한 경우에도 45℃까지 진동 열전달의 현상이 나타났다.
- 2) 높은 열부하의 경우는 작동유체가 많을수록 진동 열전달이 활성화되었으며 22%인 경우가 80℃ 이하에서 안정적인 열전달특성을 나타냈다.
- 3) 3차원 진동전열관의 적정 충진율은 2차원 전열관에서 제시되고 있는 50%보다 매우 낮은 19~22% 정도가 바람직한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Akachi, H., 1990, "Structure of a Heat Pipe," U.S. Patent #4,921,041.
- [2] Qu, W., Fu, Z. and Ma, T., 2004, "Thermal Analysis of a Micro or Mini Pulsating Heat Pipe," 13th International Heat Pipe Conference, Shanghai, China, Vol. 2, pp.178~186.
- [3] Xu, J. L., Li, Y. X. and Wong, T. N., 2005, "High Speed Flow Visualization of a Closed Loop Pulsating Heat Pipe," Heat and Mass Transfer, Vol. 48, pp. 3338~3351.
- [4] Cai, Q., Chen, R. and Chen, C., 2002, "An Investigation of Evaporation, Boiling, and Heat Transport Performance in Pulsating Heat Pipe," Proceedings of IMECE2002 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, pp. 99~104.
- [5] Khandekar, S. and Groll, M., 2004, "An Insight into Thermo-hydrodynamic Coupling in Closed Loop Pulsating Heat Pipes," International Journal of Thermal Sciences, Vol. 43, pp. 13~20.
- [6] Cao, X. and Cheng, P., 2004, "A Novel Design of Pulsating Heat Pipes with Improved Performance," 13th International Heat Pipe Conference, Shanghai, China, Vol. 1, pp. 302~307.
- [7] Li, Y., Xu, J. and Li, Y., 2004, "Study of Pulsating Heat Pipe in GIEC, CAS," 13th International Heat Pipe Conference, Shanghai, China, Vol. 1, pp. 321~328.
- [8] Karimi, G. and Culham, J. R., 2004, "Review and Assessment of Pulsating Heat Pipe Mechanism for High Heat Flux Electronic Cooling," 2004 Inter Society Conference on Thermal Phenomena, pp. 52~59.
- [9] Zhang, X. M., Xu, J. L. and Zhou, Z. Q., 2004, "Experimental Study of Pulsating Heat Pipe Using FC-72, Ethanol and Water as Working Fluids," Experimental Heat Transfer, Vol. 17, pp. 47~67.
- [10] Wang, S. and Nishio, S., 2005, "Heat Transport Characteristics in Closed Loop Oscillating Heat Pipes," ASME Summer Heat Transfer Conference, San Francisco, California, USA.
- [11] Nikkanen, K., Lu, C. and Kawaji, M., 2005, "Effects of Working Fluid, Fill Ratio, and Orientation on Looped and Unlooped Pulsating Heat Pipes," ASME Summer Heat Transfer Conference, San Francisco, California, USA.
- [12] Park, K. and Ma, H. B., 2007, "Nanofluid Effect on Heat Transport Capability in a Well-balanced Oscillating Heat Pipe," Journal of thermophysics and heat transfer, Vol. 21, No. 2, pp. 443~445.
- [13] Ha, S., Park, C. and Kim, J., 2004, "Heat Transfer Performance of Oscillating Capillary Tube Heat Pipe with Micro-channel Flat Tube," 13th International Heat Pipe Conference, Shanghai, China, Vol. 2, pp. 194~199.

원고접수일 : 2008년 12월 15일

원고채택일 : 2009년 01월 05일