

다중벽 탄소나노튜브 나노유체를 사용한 소형 히트파이프의 열특성

Thermal Characteristics of Miniature Heat Pipes Using MWNT(Multi Walled Carbon Nanotube) Nanofluids

하 효 준* · 황 교 식** · 장 석 필***

Ha Hyo Jun, Hwang Kyo Sik, Jang Seok Pil

요 약

본 논문에서는 다중벽 탄소 나노튜브를 작동유체로 사용하는 전자장치 냉각용 소형 히트파이프의 열적 성능을 실험적으로 확인 하였다. 실험의 결과들을 바탕으로 다중벽 탄소 나노튜브 나노유체를 작동유체로 사용하는 히트파이프의 열저항은 동일한 증진량을 가지는 물을 작동유체로 사용한 히트파이프와 비교하여 나노유체의 부피비가 0.5%일때, 최대 18.6% 감소한다. 다중벽 탄소 나노튜브 나노유체의 열저항은 동일한 입열량에서 나노유체의 부피비가 증가 할수록 감소하는 것을 알 수 있다. 이를 통하여 다중벽 탄소 나노튜브 나노유체 히트파이프의 열저항은 나노유체의 부피비에 변화에 따라서 변한다는 것을 확인 할 수 있으며, 추가적으로 증발부에서 유체의 기화로 인한 나노입자의 증착에 의하여 열전달 표면적의 증가 또한 열저항의 감소 원인으로 예측가능 하다.

keywords : 다중벽 탄소 나노튜브 나노유체, 유효열전도도, 히트파이프, 열저항

1. 서론

최근 전자 제품의 고집적화, 소형화에 따른 새로운 고성능 냉각 장치의 개발이 각종 전자제품 산업에 요구되며, 새로운 메커니즘을 사용한 차세대 고성능 냉각 시스템 개발에 관한 연구들이 진행되고 있다. 이러한 새로운 냉각 시스템개발에 관한 연구로써 최근 각광을 받고 있는 분야가 나노유체를 이용한 차세대 냉각기술이다. 나노유체란 일반유체에 나노입자를 분산, 부유시켜 제작한 유체이다(Lee et al., 1999). 이러한 나노유체는 기존의 연구자들에 의해 열적특성이 우수하다고 보고 되고 있다(Lee et al., 1999; Eastman et al., 2001; Jang과 Choi, 2004; Pak과 Cho, 1998; Xuan과 Li, 2003; Wen과 Ding, 2004). 특히 탄소 나노튜브 나노유체의 경우 나노입자 자체의 뛰어난 열전도도로 인하여 1%부피비에서 250%의 열전도도 상승폭을 보이고 있다(Choi et al., 2001). 이렇게 열적 특성이 우수한 나노유체가 개발되면서 나노유체를 냉각 장치의 작동유체로 사용하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. Tsai는 스크린 메쉬 워터입의 히트파이프에 금 나노유체를 사용하여 일반유체 히트파이프와 비교 시 20~37%가량 열저항이 감소 된다는 연구결과를 발표하였고(Tsai et al., 2004), Ma는 진동형 히트파이프에 다이아몬드 나노유체를 사용하여 최대 40%까지 열저항이 감소됨을 보였으며(Ma et al., 2006), Kang은

* 학생회원 · 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 석사과정 dkrdrak@kau.ac.kr

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 박사과정 kshwang@kau.ac.kr

*** 정회원 · 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 교수 spjang@kau.ac.kr

그루브타입의 히트파이프에 은 나노유체를 사용하여 최대 80%까지 열저항이 감소된다는 연구 결과를 발표하였다(Kang et al., 2006). 선행 연구자들은 나노유체 히트파이프의 성능이 향상되는 이유를 나노유체의 열전도도 상승이 원인이라고 보고하고 있으나, 나노입자의 부피비에 따라 나노유체 히트파이프의 성능 효과에 관한 체계적인 실험 결과들이 없다. 따라서 본 연구에서는 열전도도 상승폭이 우수한 다중벽 탄소 나노튜브 나노유체를 이용한 그루브타입 히트파이프의 열성능을 실험적으로 조사하여 나노유체의 부피비 변화에 따른 히트파이프의 열성능을 실험적으로 제시하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 다중벽 탄소 나노튜브 나노유체 제작

히트파이프의 작동유체로 사용될 나노유체는 기분유체인 증류수에 다중벽 탄소나노튜브 나노입자를 부피비 0.1%, 0.2%, 0.5%가 되도록 2단계 방법으로 제조 하였다. 다중벽 탄소나노튜브 나노입자의 지름 및 Aspect Ratio는 각각 약 10nm, 20이다. 나노유체 제작 후 나노입자의 분산 안정성을 파악하기 위하여 투과전자 현미경과 제타 포텐셜을 측정하였다. 제타 포텐셜은 평균 19mV로 다소 양호한 분산 안정성을 보였다.

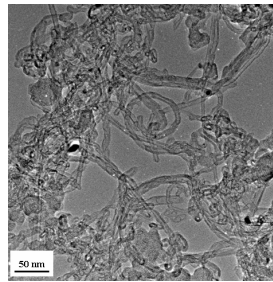
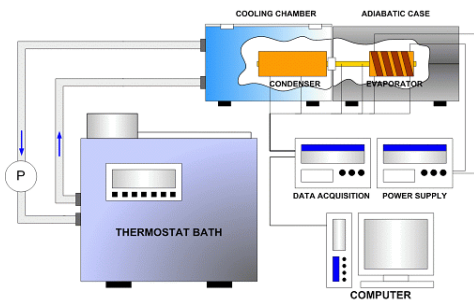


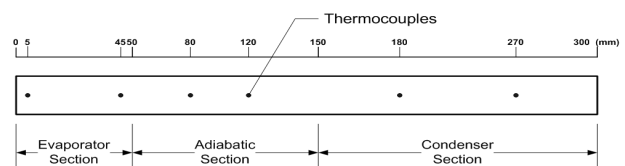
그림 1. 다중벽 탄소 나노튜브 나노유체 투과 현미경 사진

2.2 다중벽 탄소 나노튜브 나노유체 히트파이프의 열성능 실험 장치

히트파이프의 열 성능 실험 장치는 크게 소형 히트파이프, 전원 공급장치와 수냉식 항온조, 단열 컨테이너 그리고 자료획득장치로 구성된다. 그림 2(a)는 전체 성능 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 히트파이프의 증발부에 균일한 열 부하 조건을 주기 위하여 증발부에 구리 블록을 설치하였고, 구리블락 외벽에 니켈-크롬 열선을 일정하게 감았다. 증발부와 단열부는 세라믹 섬유와 단열 컨테이너를 이용하여 외부 대기로의 열손실을 최소화 하였다. 히트파이프의 응축부는 냉각을 위해 항온조를 사용 하였다. 히트파이프의 벽면의 온도는 J-Type열전대 6개를 그림 2(b)에서와 같은 위치에 상하방향으로 부착하여 측정 하였다.



(a) 히트파이프의 열 성능 실험 장치



(b) 히트파이프의 열전대 부착 위치

그림 2. 히트파이프의 열 성능 실험 장치와 열전대 부착위치

3. 실험 결과

3.1. 열전도도 측정 결과

열전도도 측정 장치(Transient Hot Wire Method)를 이용하여 부피 비 0.1%, 0.2%, 0.5%의 다중벽 탄소나노튜브 나노유체 그리고 일반유체인 증류수의 열전도도를 측정하였다. 부피비 0.1%, 0.2%, 0.5%에서 각각 평균 7.2%, 15.78%, 29.31%씩 열전도도가 향상 되는 결과를 통하여 나노유체의 부피비의 증가에 따라서 나노유체의 열전도도 상승을 확인 할 수 있다.

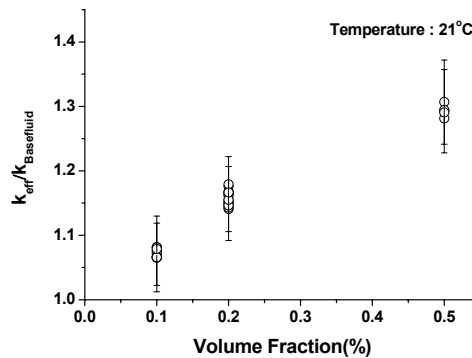


그림 3. 다중벽 탄소나노튜브 나노유체의 열전도도 향상

3.2 다중벽 탄소 나노튜브 나노유체 히트파이프 열저항 측정 결과

본 연구에서는 히트파이프의 성능 실험 시 8W, 10W, 11W 세 종류의 입열량에 따른 히트파이프의 온도 분포 및 열저항을 관측하였다. 다중벽 탄소나노튜브 나노유체 히트파이프는 물 히트파이프보다 증발부와 응축부의 온도 차가 작은 것을 알 수 있으며, 이는 동일 조건에서 다중벽 탄소나노튜브 나노유체 히트파이프가 물 히트파이프보다 열저항이 작다는 것을 의미하며 식(1)을 이용하여 다중벽 탄소나노튜브 나노유체 히트파이프의 전체 열저항을 구할 수 있다.

$$R_{e-a} = (T_e - T_a)/Q_e, R_{a-c} = (T_a - T_c)/Q_e, R_{tot} = R_{e-a} + R_{a-c} \quad (1)$$

특히 11W 입열량 조건에서 0.5% 부피비를 가지는 다중벽 탄소나노튜브 나노유체 히트파이프의 전체 열저항은 동일 작동유체 충전량을 가지는 물 히트파이프 대비 최대 18.6%까지 감소됨을 그림 4를 통하여 확인할 수 있다.

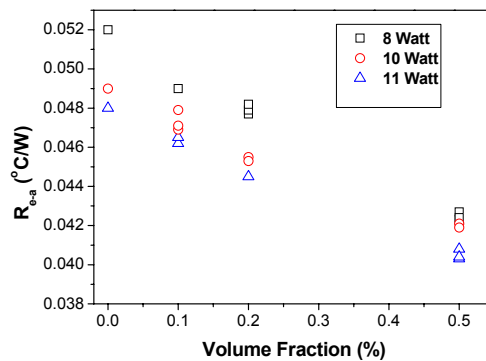


그림 4. 다중벽 탄소나노튜브 나노유체의 증발부와 단열부 사이의 열저항

4. 결론

본 연구에서는 소형 히트파이프에 다중벽 탄소나노튜브 나노유체를 작동유체로 적용하여 열성능 향상에 관한 실험을 수행 함으로써 다중벽 탄소나노튜브 나노유체 히트파이프의 열성능 향상 원인에 대하여 설명하고자 하였다. 제작된 다중벽 탄소나노튜브 나노유체를 이용하여 히트파이프를 제작하고 히트파이프의 증발부, 단열부, 응축부에서의 벽면온도를 측정하여 열저항을 구하는 방법으로 히트파이프의 열성능 실험을 하였다. 실험 결과에 의하면 다중벽 탄소나노튜브 나노유체의 부피비가 증가할수록 히트파이프의 열저항이 부피비 0.1%에서 5.7%, 0.2%에서 8.2%감소 하였으며, 특히 증발부와 단열부의 열저항이 다중벽 탄소나노튜브 나노유체 부피비 0.5%에서 최대 18.6%까지 감소되었다. 이를 바탕으로 다중벽 탄소나노튜브 나노유체 히트파이프의 열성능 향상 즉 열저항 감소의 원인은 다중벽 탄소나노튜브 나노유체의 부피비의 변화에 따른 열전도도 증가로 볼 수 있다. 또한 나노유체가 증발부에서 기화 될 때 나노입자는 증발하지 않고 그루브 주위에 증착 될 것으로 예상되므로 이렇게 증착된 나노입자에 의하여 열전달 표면적이 증가하여 증발부에서 열전달이 잘 일어나 열저항이 감소 된 것으로 예측 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2008년 한국학술진흥재단의 지원 과제인 신진 연구과제의 지원(KRF-2008-331-D00065)에 의하여 연구 되었음을 감사드립니다.

참고 문헌

- Lee, S., Choi, S. U. S., Li, S., Eastman, J. A. (1999) Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *ASME J. Heat Transfer*, Vol. 121, pp. 280-289.
- Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., and Thompson, L. J. (2001) Anomalous increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Appl. Phys. Lett.*, 78, pp. 718-720.
- Choi, S. U. S., Zhang, Z. G., Yu, W., Lockwood, F. E., and Grulke, E. A. (2001) Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions, *Appl. Phys. Lett.*, 79, pp. 2252-2254.
- Jang, S. P., and Choi, S. U. S. (2004) The role of Brownian motion in the enhanced thermal conductivity of nanofluids, *Appl. Phys. Lett.*, 84, pp. 4316-4318.
- Pak, B. C., and Cho, Y. I. (1998) Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particle, *Experimental Heat Transfer*, Vol. 11, pp. 151-170.
- Xuan, Y., and Li, Q. (2003) Investigation on Convective Heat Transfer and Flow Features of Nanofluids, *ASME J. Heat Transfer*, Vol. 125, pp. 151-155.
- Wen, D., and Ding, Y. (2004) Experimental Investigation into Convective Heat Transfer of Nanofluid at the Entrance Region Under Laminar Flow Conditions, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 47 pp. 5181-5188.
- Tsai, C. Y., Chien, H. T., Ding, P. P., Chan, B., Luh, T. Y., Chen, P. H. (2004) Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal performance, *Mater. Lett.*, 58, pp. 1461-1465.
- Ma, H. B., Wilson, C., Borgmeyer, B., Park, K., Yu, Q., Choi, S.U.S., Tirumala, M. (2006) Effect of nanofluid on the heat transport capability in an oscillating heat pipe, *Applied Physics Letters*, 88 143116.
- Kang, S. W., Wei, W. C., Tsai, S. H., Yang, S. Y. (2006) Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance, *Applied Thermal Engineering*, 26, pp. 2377-2382.
- Faghri, A. (1995) Heat Pipe Science and Technology, *Taylor & Francis*, Washington.