

물/PG-기반 Al₂O₃ 나노유체를 적용한 수냉식 CPU 쿨러의 냉각성능

박용준* · 김규한* · 이승현* · 장석필†

Cooling Performance of Liquid CPU Cooler using Water/PG-based Al₂O₃ Nanofluids

Y. J. Park, K. H. Kim, S. H. Lee and S. P. Jang

Key Words: Nanofluids(나노유체), Propylene glycol(프로필렌글리콜), Aluminum oxide(산화알루미늄), Liquid CPU cooler(수냉식CPU냉각장치), Performance factor(성능계수)

Abstract

In this study, the cooling performance of a liquid CPU cooler using the water/propylene glycol(PG)-based Al₂O₃ nanofluids is experimentally investigated. Water/PG-based Al₂O₃ nanofluids are manufactured by two-step method with ultrasonic energy for 10 hours. The volume fractions of the nanofluids are 0.25% and 0.35%. Thermal conductivity and viscosity of the nanofluids are measured to theoretically predict the thermal performance of the liquid CPU cooler using performance factor. Performance factor results indicate that the cooling performance of the liquid CPU cooler can be improved using the manufactured nanofluids. To evaluate the cooling performance of the liquid CPU cooler experimentally, temperature differences between ambient air and heater are measured for base fluid and nanofluids respectively. Based on the results, it is shown that performance of the liquid CPU cooler using Al₂O₃ nanofluids is improved maximum up to 8.6% at 0.25 Vol.%.

기호설명

C_k : 부피비대비 열전도도 증가량의 기울기
 C_{μ} : 부피비대비 점도 증가량의 기울기
 k : 열전도도
 PF : 성능계수
 q : 열량
 ΔT : 열선의 온도변화

그리스문자

η : 냉각성능 향상 폭
 μ : 점도

하첨자

Amb: 외기
bf : 기본유체
Ht : 히터
nf : 나노유체

(Received: 03 February 2014, Recieved in revised form: 07 March 2014, Accepted: 08 March 2014)

*회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

†책임저자, 회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

E-mail : spjang@kau.ac.kr

TEL : (02)300-0112 FAX : (02)3158-4191

1. 서론

전자장치들은 생활의 편의를 위해 발달하고 있으며 점점 고성능 및 다기능을 추구하고 있다. 이러한 고성능, 다기능 지향적인 전자장치의 발달은 내부의 전자소자들의 성능향상으로 이루어지며, 전자소자 성능의 향상은 곧 발열량의 상승으로 연결된다⁽¹⁾. 전자장치의 발열량 증가는 냉각시스템의 성능향상을 필요로 하며, 이로 인해 기존의 공랭식 냉각시스템에 비해 냉각성능이 뛰어난 수냉식 냉각시스템의 필요성은 더욱 커지고 있다.⁽²⁾ 최근 들어 고성능 컴퓨터에도 시스템 안정성을 높이기 위해 수냉식 쿨러를 사용하는 경우가 많다. 이러한 수냉식 냉각시스템에 사용되는 냉각수들은 사용환경에 따라 동결방지를 위해 부동액을 첨가하여야 하며, 부동액으로 대부분 Ethylene Glycol(EG)과 Propylene Glycol(PG)을 사용한다. 그중 PG는 EG보다 비교적 유해하지 않기 때문에 외부로 누수될 가능성이 있는 냉각 시스템에 많이 쓰이고 있다. PG나 EG를 사용하면 물보다 낮은 어는점을 얻을 수 있지만 물에 비해 상대적으로 낮은 열전도도를 가지는 단점이 있다. 이러한 기존유체의 낮은 열적 물성치의 한계를 개선하기 위해 나노유체가 도입되고 있다. 나노유체는 열전달 성능을 향상시키기 위해 유체보다 열전도도가 뛰어난 나노크기(10^{-9} m)의 금속, 비금속 입자를 유체에 분산시켜 제작하는 공업용 열교환유체이다. Hwang *et al.*⁽³⁾은 물에 다중벽 탄소나노튜브를 분산시켜 부피비 0.01%의 나노유체에서 열전도도가 11.3% 증가함을 확인하였다. Zhua *et al.*⁽⁴⁾은 물-기반 Al_2O_3 나노유체를 제작하여 질량비0.15%에서 열전도도를 10.1% 상승됨을 보고하였다. Suganthi *et al.*⁽⁵⁾의 연구에 의하면 부피비 2%의 PG-기반 ZnO나노유체의 열전도도가 순수 PG에 비해 약 25% 정도 증가하는 결과를 보였다. 또한 Timofeeva *et al.*⁽⁶⁾의 연구에 의하면 EG-기반 부피비 5% Al_2O_3 나노유체를 실험한 결과 열전도도가 기본유체보다 13% 증가하였다.

이처럼 나노유체는 기본유체 보다 열전도도가 상승하는 이점이 있지만 점도 역시 상승한다는 단점이 있다. Garg *et al.*⁽⁷⁾은 EG를 기본유체로 한 Cu 나노유체를 제작하여 점도와 열전도도를 측정하는 실험을 하였다. 부피비 2%의 나노유체의 경우 열전도도가 12% 증가하였으나 점도 역시 25°C조건에서 22% 증가하였다. Duangthongsuk *et al.*⁽⁸⁾의 연구에서는 물-기반 TiO_2 나노유체를 제작하였는데 부피비 2%, 35°C에서 점도가 기본유체 대비 약 17% 증가하였다. 이러한 점도상승은 동일한 평

평과위에서 유량을 감소시키는 역할을 하여 냉각성능에 악영향을 미칠 수 있다.

지금까지의 나노유체의 물성치 연구는 많은 선행연구가 있었으며, 나노유체를 자동차와 같은 실제 냉각 시스템에 적용한 연구도 다양하게 진행되었다⁽⁹⁻¹⁰⁾. 반면에 컴퓨터에는 수냉식 냉각시스템을 적용한 연구가 적으며, 특히 부동액-기반 나노유체를 이용한 연구는 적었다. 이는 컴퓨터의 경우 실내에서 사용하므로 부동액이 필요한 경우가 적기 때문이다. 하지만 유통 중에는 실외에 노출되는 과정이 존재하며, 보관과정에서도 충분히 동결의 위험이 생길 수 있다. 이로 인해 수출용 수냉식 냉각장치의 냉각유체는 부동액을 사용하고 있다.

본 연구에서는 컴퓨터 CPU 쿨러에 적용 가능한 나노유체를 제작하고자 하였으며, 동결방지를 위해 물/PG-기반 Al_2O_3 나노유체를 제작하였다. 또한 나노유체의 특성을 파악하기 위해 열전도도와 점도를 측정하였고, 성능계수라는 개념을 도입해 물성치로부터 나노유체의 냉각성능을 예측하였다. 최종적으로 제작된 유체를 상용 CPU 쿨러에 주입하여 기본유체와 비교하여 성능향상을 평가하는 실험을 수행하였다.

2. 본론

2.1 나노유체제작

실험을 위한 나노유체는 Two-step 방법으로 제작되었으며, Nanophase사의 Al_2O_3 나노입자를 구매하여 물/PG 4:1 혼합액을 기본유체로 제작하였다. 제작된 유체는 부피비 0.25%와 부피비 0.35%를 각각 가지며 초음파 에너지로 10시간 동안 가하였고, 첨가제는 사용하지 않았다. 나노유체를 제작한 후 우선적으로 열전도도와 점도를 측정하였다. 나노유체의 열전도도는 본 연구팀에서 고안한 비정상열선장치⁽¹¹⁻¹²⁾를 이용하여 측정하였으며, 오차는 1.5% 이하이다. 열전도도는 실제 CPU냉각시스템의 냉각수 운용온도와 흡사한 40°C에서 측정하였으며, 열전도도 값은 Carslaw와 Jaeger의 식⁽¹³⁾에 의하여 계산된다.

$$k = \frac{q}{4\pi} \frac{d\Delta T}{dlnt} \quad (1)$$

여기서 k 는 열전도도, q 는 열선에 가한 열량, ΔT 는 열선의 온도차, t 는 시간을 나타낸다. 점도는 Brookfield사의 점도계를 이용하여 측정하였으며 40°C에서 전단속

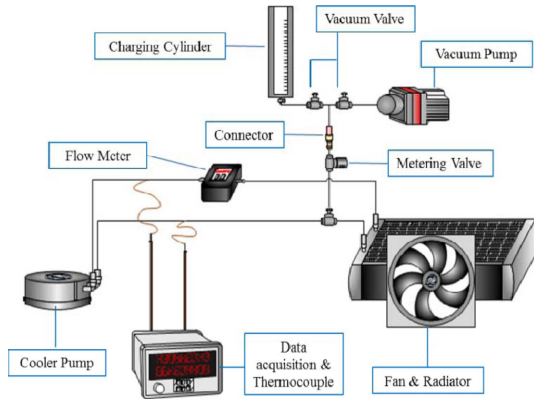


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

도 300, 600, 900s⁻¹ 조건으로 측정하였다. 점도계의 오차는 1% 이하이다.

2.2 실험장치 및 실험방법

냉각성능 실험장치는 Zalman의 LQ315 CPU 쿨러를 사용하여 구성하였으며 Fig. 1과 같다. 유체를 삽입하기 위해 기존의 쿨러에 진공장비를 결합하였으며, 진공도는 약 0.15 Torr로 형성하였다. 펌프에 CPU를 대체하는 모사발열체를 설치하고 130W의 파워를 가하였다. 온도는 모사발열체와 외기의 온도를 측정하였다. 펌프와 팬에 사용되는 파워는 각각 동일하게 고정하여 실험하였다. 즉 동일 펌핑파워 조건이다. 실험에서 측정된 온도를 이용하여 냉각성능 향상 폭을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\eta = \left(\frac{(T_{Hf} - T_{Amb})_{bf} - (T_{Hf} - T_{Amb})_{nf}}{(T_{Hf} - T_{Amb})_{bf}} \right) \times 100 \quad (2)$$

여기서 T_{Hf} 는 히터의 온도 T_{Amb} 는 외기의 온도를 나타내며 하첨자 nf 는 나노유체, bf 는 기본유체를 나타낸다.

3. 결 과

3.1 나노유체물성치 측정 및 성능계수 적용

열전도도를 측정 한 결과는 Fig. 2에 나타나 있다. 부피비 0.25%인 나노유체의 경우 기본유체 대비 1.7% 상승하였으며, 부피비 0.35%인 나노유체는 기본유체 보다 3.6% 상승하였다. 이는 나노유체의 부피비와 관련시킬 수 있으며 부피비가 더 높은 경우에 열전도도가 더욱 상승한 것으로 보인다.

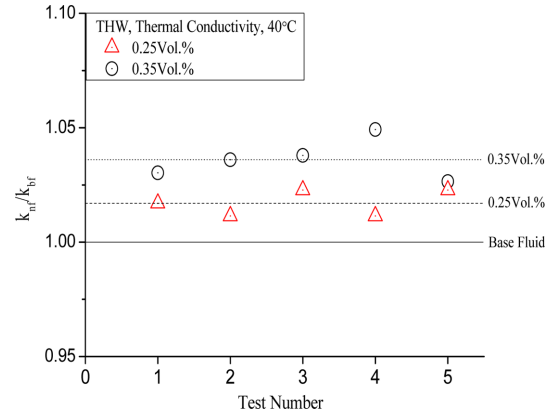


Fig. 2 Relative thermal conductivity of nanofluids

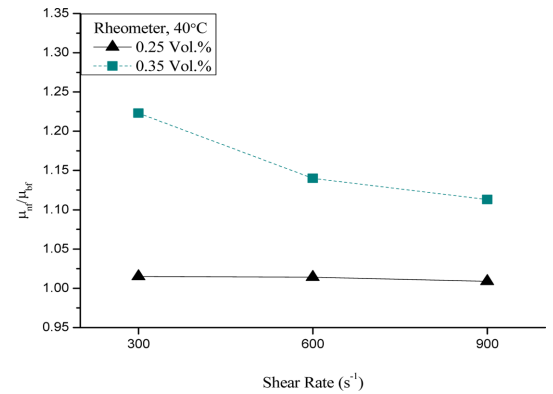


Fig. 3 Relative viscosity of nanofluids

Figure 3를 보면 부피비별 점도 상승폭은 매우 다르게 나타난다. 전단속도 900s⁻¹에서 측정 한 결과 부피비 0.25%의 나노유체는 기본유체 대비 0.8% 증가하였고, 부피비 0.35%의 나노유체 점도는 기본유체 대비 11.3% 증가하였다. 두 나노유체를 비교하면 부피비 0.35%의 나노유체는 높은 부피비로 인해 열전도도에서 더 높은 결과를 나타냈으나 열전도도 상승폭에 비해 상대적으로 점도가 크게 증가하였다. 열전도도의 증가는 냉각성능을 향상시키고, 점도의 증가는 유량의 감소를 야기하여 냉각성능을 하락시킨다. 이러한 상반된 요소를 고려하여 냉각성능을 이론적으로 예측할 수 있는 방법으로 성능계수^(7, 14-16)를 도입하였다. 성능계수는 동일한 펌핑파워 내부유동 조건에서 기본유체 대비 나노유체의 열전달성능비를 나타낸 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$PF = 5C_k - C_\mu \quad (3)$$

여기서 C_k 와 C_μ 는 나노유체의 부피비 대비 열전도도 증

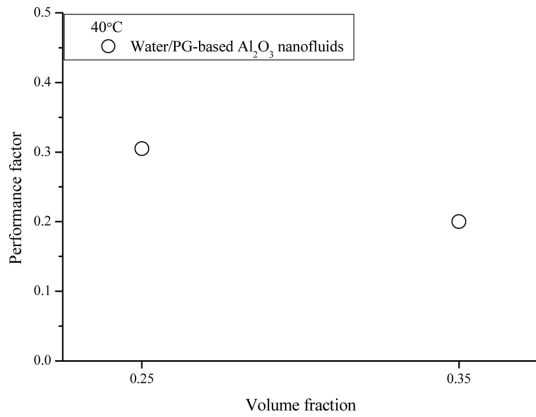
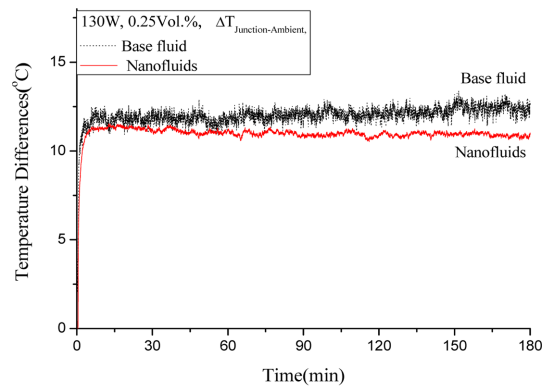


Fig. 4 Performance factors of nanofluids

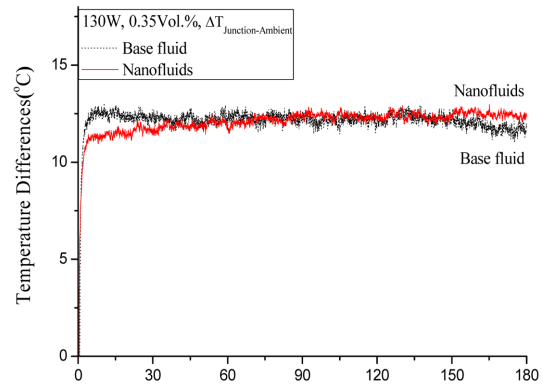
가량과 점도 증가량의 기울기 값이다. 이때 성능계수가 0보다 크면 냉각능의 향상을 기대할 수 있으며, Fig. 4는 본 연구에서의 물성치 측정결과를 식 (3)에 적용하여 부피비별 나노유체의 성능계수를 계산한 결과이다. 두 종류의 유체 모두 0보다 큰 값을 나타내었으며, 상대적으로 부피비가 낮은 부피비 0.25%에서 성능계수가 0.31로 부피비 0.35%의 성능계수 0.2보다 더 높은 값을 나타내었다.

3.2 냉각성능 실험

성능계수로 예측한 나노유체의 냉각성능향상을 실험적으로 확인하기 위해, 나노유체를 냉각실험성능 실험장치에 적용하여 실험하였다. 냉각성능 향상 폭을 구하는 식에서 가장 중요한 인자는 외기온도와 히터온도의 차이이며, 이 값을 통해 냉각성능이 결정된다. Fig. 5는 히터에 130W의 열을가하였을 때 외기와 히터의 온도차를 측정하는 것으로서, 나노유체와 기본유체의 결과를 비교한 그래프이다. Fig. 5의 (a)에서 시간의 흐름에 따라 나노유체의 성능이 변하는 현상이 발견되어 장시간 동안 실험을 진행하였으며, 그 결과 Fig. 6과 같이 일정시간 이후에는 성능이 일정한 것으로 나타났다. 실험 결과에서 온도차의 평균을 구하게 되면 부피비 0.25%의 나노유체는 기본유체를 측정하였을 때 외기와 히터의 온도 차이가 12.0°C이며, 나노유체를 적용하였을 때는 온도 차이가 11.0°C이다. 이를 앞서 표현한 냉각성능 향상 폭으로 계산한 결과가 Fig. 7에 나타나 있으며, 나노유체의 경우 기본유체 보다 8.6%의 냉각성능이 증가하였다. 부피비 0.35%의 경우 기본유체를 측정하였을 때 온도 차이가 12.2°C이고, 나노유체를 적용한 후 실험을 진행하였



(a) 0.25Vol.%



(b) 0.35Vol.%

Fig. 5 Temperature differences in cooling performance test of nanofluids

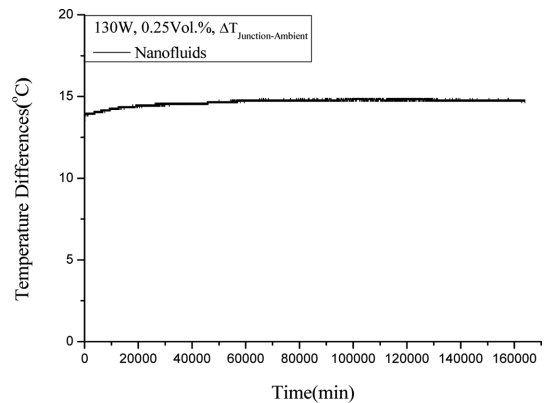


Fig. 6 Long term test of nanofluids

을 때 온도 차이가 12.1°C로 나노유체 적용 후 성능의 차이가 거의없었다.

두 방법으로 제작한 나노유체를 비교한 결과 부피비

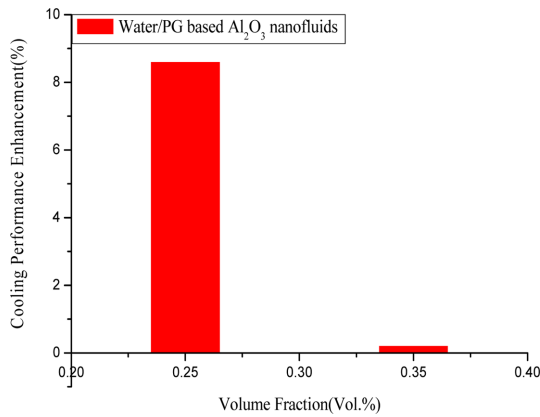


Fig. 7 Cooling performance enhancement of nanofluids

0.35%의 경우 부피비 0.25% 나노유체보다 좋지 않은 결과를 보였다. 부피비가 높은 나노유체는 열전도도가 더 향상되었지만 점도 또한 상대적으로 더욱 높아져, 이로 인해 동일한 펌핑과워 조건에서 유량이 감소하여 열 전달능력이 하락하였다. 결과적으로 유량감소의 영향이 열전도도 상승의 영향보다 더 크게 작용하여 부피비 0.35%의 나노유체가 냉각성능의 향상 폭이 더 낮게 나타났다. 또한 성능계수를 이용한 냉각성능의 이론적 예측에서 두 부피비의 유체가 0보다 큰 성능계수를 나타내었고, 실험결과 각각의 유체 모두 냉각성능이 향상됨으로써 성능계수에 의한 이론적 예측이 타당함을 확인할 수 있었다. 또한, 부피비 0.25%의 나노유체의 성능계수가 부피비 0.35% 나노유체의 성능계수보다 1.5배 정도 높았는데 냉각성능 향상 폭은 부피비 0.25%와 0.35%가 각각 8.6%, 0.2%가 증가하여 성능계수에 비해 편차가 큰 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 Zalman LQ315 CPU쿨러에 나노유체를 주입하여 냉각성능을 향상시키는 연구를 진행하였다. 우선적으로 열전도도와 점도를 이용하여 동일 펌핑과워 조건에서 냉각성능을 이론적으로 예측하기 위해 성능계수를 계산하였고, 성능계수 값은 부피비 0.25%에서 0.31, 0.35%에서 0.2로 나타났다. 이를 통해 실험 전에 나노유체를 사용함으로써 CPU 쿨러의 성능이 향상될 것으로 예측하였다. 제작한 두 나노유체를 CPU 쿨러에 주입하여 냉각성능의 향상 폭을 비교한 결과를 살펴보

면, 부피비 0.25%의 나노유체는 기본유체대비 8.6%의 냉각성능이 증가하였으며, 부피비 0.35% 나노유체의 경우 0.2%의 냉각성능이 증가하였다. 실험결과에서 냉각성능의 차이가 크게 나타난 것은 나노유체의 성능이 점도에 큰 영향을 받아서 생긴 현상으로 판단된다. 연구결과를 정리하면 성능계수를 이용하여 나노유체의 물성치만으로 냉각성능의 향상을 이론적으로 예측할 수 있음을 보였으며, 수냉식 CPU 쿨러에서 나노유체 적용 시 최적의 부피비를 선정하는 것이 중요하다는 결과를 얻었다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(No. 2011-0013579).

참고문헌

- (1) J.-T. Choi, O.-K. Kwon, D.-A. Cha, J.-H. Yun, Y. C. Kim, "Experimental Study of Liquid Cooling System for Computer", 2010 Summer Annual Conference, 2010, pp. 867-872, Korea.
- (2) H. C. Hahm, C. Y. Park, "Experimental Study on the Performance of an Electric Component Liquid Cooling System with Variation of the Waterblock Internal Shape", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, 2013, pp. 331-337.
- (3) Y. J. Hwang, Y. C. Ahn, H. S. Shin, C. G. Lee, G. T. Kim, H. S. Park, J. K. Lee, "Investigation on Characteristics of Thermal Conductivity Enhancement of Nanofluids", Current Applied Physics, Vol. 6, No. 6, 2006, pp. 1068-1071.
- (4) D. Zhua, X. Lia, N. Wanga, X. Wanga, J. Gao, H. Li, "Dispersion Behavior and Thermal Conductivity Characteristics of Al₂O₃ H₂O Nanofluids", Current Applied Physics Vol. 9. No.1, 2009, pp. 131-139.
- (5) K. S. Suganthi, M. Parthasarathy, K. S. Rajan, "Liquid-layering Induced, Temperature-dependent Thermal Conductivity Enhancement in ZnO Propylene Glycol Nanofluids", Chemical Physics Letters, Vol. 561-562, 2013, pp. 120-124.
- (6) E. V. Timofeeva, A. N. Gavrilov, J. M. McCloskey, Y.

- V. Tolmachev, S. Sprunt, L. M. Lopatina, J. V. Selinger, "Thermal Conductivity and Particle Agglomeration in Alumina Nanofluids: Experiment and Theory", *Physical Review E*, Vol. 76, Issue 6, 2007, pp. 061203.
- (7) J. Garg *et al.* "Enhanced Thermal Conductivity and Viscosity of Copper Nanoparticles in Ethylene Glycol Nanofluid", *Journal of Applied Physics* Vol. 103, Issue 7, 2008, pp. 074301-074301.
- (8) W. Duangthongsuk, S. Wongwises, "Measurement of Temperature-dependent Thermal Conductivity and Viscosity of TiO₂-water Nanofluids", *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 33, 2009, pp. 706714.
- (9) K. Y. Leong, R. Saidur, S. N. Kazi, A. H. Mamun, "Performance Investigation of an Automotive Car Radiator Operated with Nanofluid-based Coolants (Nanofluid as a Coolant in a Radiator)", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 30, Issues 17-18, 2010, pp. 2685-2692.
- (10) S. M. Peyghambarzadeh, S. H. Hashemabadi, M. Seifi Jamnani, S. M. Hoseini, "Improving the Cooling Performance of Automobile Radiator with Al₂O₃/water Nanofluid", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 31, Issue 10, 2011, pp. 1833-1838.
- (11) J.-H. Lee, K. S. Hwang, S. P. Jang, B. H. Lee, J. H. Kim, S. U. S. Choi and C. J. Choi, "Effective Viscosities and Thermal Conductivities of Aqueous Nanofluids Containing Low Volume Concentrations of Al₂O₃ Nanoparticles", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, 2008, pp. 2651-2656.
- (12) S. -H. Lee, S. P. Jang, "Note: Effect of the Tilting Angle of the Wire on the Onset of Natural Convection in the Transient Hot wire method", *Review of Scientific Instruments*, Vol. 83, 2012, pp.076103.
- (13) H. S. Carslaw, J. C. Jaeger, "Conduction of Heat on Solids", 2nd Ed, 1959, Oxford University Press.
- (14) S.-H. Lee, H. J. Kim, S. Y. Lee, K. H. Kim, Y.-J. Park, J.-H. Lee, J.-I. Seo, S. M. Cha and S. P. Jang, "A Study on the Thermal Performance of Water-based Carbon Nanotubes (CNT) Nanofluids in Laminar Flow Region", *Proc. of the KSME, 2013 Spring Annual Conference*, 2013, pp. 154-155, Korea.
- (15) R. Prasher, D. Song, J. Wang, and P. Phelan, "Measurements of Nanofluid Viscosity and its Implications for Thermal Applications", *Applied Physics Letters*, Vol. 89, 2006, pp. 133108.
- (16) E. V. Timofeeva, W. Yu, D. M. France, D. Singh, J. L. Routbort, "Nanofluids for Heat Transfer : an Engineering Approach", *Nanoscale Research Letters*, Vol. 6, 2011, pp. 182.