대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집 pp.52~57

06-S-007

Zeta-potential을 이용한 이성분 나노유체의 분산안정도 측정

이 강 일, 정 청 우, 김 현 준, 정 진 희, 강 용 태†
경희대학교 기계공학과, 경희대학교 기계산업시스템 공학부†

Measurement of distribution stability of binary nanofluids by zeta-potential

Kang Il Lee, Chung Woo Jung, Hyun Jun Kim, Jinhee Joeng Yong Tae Kang†
Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University, Yong In, Gyeong-gi 449-701, Korea
Mechanical Research Center, LS Cable, Anyang
†*School of Mech. and Ind. System Eng., Kyung Hee University, Youn In, Gyeong-gi 449-701, Korea*

ABSTRACT: This study investigates the distribution stability of binary nanofluids where binary mixtures such as NH_3/H_2O and H_2O/LiBr solution are used as a base fluid. When a little amount of certain nanosized particles is added into a basefluid, the thermal conductivity of that mixture increases greatly. Such mixtures are named "nanofluids" where nano-particles should be distributed stably and uniformly so the distribution stability of nanoparticles in nanofluids is one of the most important factors for nanofluid application. Therefore, binary nanofluids in which binary mixtures are applied as the basefluids are considered as working fluids. The kind and the concentration of nanoparticles, and the concentration of ammonia are considered as the key parameters. The objectives of this paper are to visualize the dispersed status of particles in binary nanofluids and to find the effect of key parameters on the distribution stability in the ammonia absorption system.

Key words: Binary nanofluids(이성분 나노유체), Distribution stability(분산안정도), Zeta potential(제타전위), NH_3/H_2O(암모니아수용액), H_2O/LiBr(물/리튬브로마이드용액)

기 호 설 명

그리스 문자

ζ : 제타 전위값 [mV]

하첨자

bf : 이성분 모유체
nf : 이성분 나노유체

†Corresponding author
Tel.: +82-31-201-2990; fax: +82-31-202-8106
E-mail address: ytkang@khu.ac.kr

1. 서 론

기존의 열전달 매체가 갖고 있는 낮은 열전도율을 개선하기 위한 방법으로 열전도도가 높은 물질을 혼합하는 방법이 제안되어 연구되어 왔다. 하지만 기존에 연구되어 지던 고/액 혼합물의 경우 분산되는 고체의 입자가 침전, 부식, 연마 등의 문제를 발생시켜 열전달 매체로의 성능향상을 기대하지 못하였다. 그러나 최근 나노기술과 계면공학의 급속한 발전으로 인하여 모유체에 100 nm 미만의 나노입자를 안정하게 분산시킨 나노유체가 개발 되면서 기존의 문제점들을 획기적으로 해결하였다.[1-8] Choi et al.[1]는 구리, 알루미늄 나노입자를 이용한 나노유체의 열전도도 측

Table 1 Concentrations of H_2O/LiBr

Concentration of H_2O/LiBr [wt%]	Mass of H_2O/LiBr [g]	Mass of H_2O [g]
0	0	500
10	90.91	409.09
20	181.82	318.18
30	272.73	227.27
40	454.55	45.45
55	357.14	142.86

정실험등 나노유체의 열전도도 증가에 관한 연구[2-3]를 수행하였으며, 현재 자연대류 열전달 특성[4] 및 비등 열전달 특성 실험[5]까지 진행되어 있는 상황이다.그러나 단성분 나노유체에서의 열전달 증가 메커니즘 해석과 실험적 연구에 많은 연구가 진행되어 지고 있는 반면 실제 시스템에 적용되어지는 이성분 나노유체에 관한 연구는 극히 미비한 실정이다.

나노유체의 분산성을 유지시키는 안정화 메커니즘은 크게 1) 정전기적 반발력 (electrostatic stabilization), 2) 흡착 고분자에 의한 기하하적 반발력 (steric stabilization), 3) 표면 수화작용 (stabilization by hydration) 그리고 4) 반데르발스 힘의 차폐에 의한 안정화 메커니즘 등으로 구별할 수 있다.

입자들은 이중 몇 가지의 작용에 의해 응집이 방해되어 안정화 되며 특히 입자의 계면성질이나 흡착된 타 분자들에 의한 입자표면의 개질에 의해 나노유체 안정도가 결정된다고 할 수 있다.

흡수식 시스템에서 흡수기는 열 및 물질전달이 동시에 발생하는 장치로 흡수기의 흡수성능은 시스템의 성능향상에 중요한 역할을 한다. 흡수기에서 냉매가 작동유체에 흡수될 때 흡수열이 발생하게 되며 흡수율이 감소하게 된다.

이 때 작동유체로 이성분 나노유체를 사용했을 경우 흡수열을 빨리 제거 할 수 있으며 물질전달도 촉진되어 시스템의 성능이 향상 될 것으로 기대 된다.

그러나 NH_3/H_2O 이성분 모유체에 나노입자를 분산시킨 이성분 나노유체의 경우 나노입자의 응집, 침전으로 인하여 열전달 매체로서의 성능이 저하되는 문제가 발생 하였다. 본 연구에서는 나노유체가 가지는 장점들을 흡수식 시스템에 적용하기 위한 기초 연구로 H_2O/LiBr를 모유체로 하고 Fe, CNT (Carbon Nanotube), TiO_2 나노입자 이성분 나노유체를 제조하여 그 분산 안정도를 가시적으로 관찰하고, 제타전위를 측정함으로써 분산 안정도를 정량적으로 일정 시간에 따라서 분석 하고자 한다.

Table 2 Concentrations of binary nanofluid

Concentration of binary nanofluid [wt%]	Mass of H_2O/LiBr [g]	Mass of nanoparicle [g]
0.01	499.95	0.05
0.005	499.975	0.025
0.001	499.995	0.005

2. 제타전위[9]

용액에 분산되어 있는 나노입자는 용액 내에 존재하고 있는 이온들을 물질 표면에서 선택적으로 흡착 또는 분리하여 양 또는 음으로 대전한다. 같은 극성을 띄는 입자들은 서로 전기적 반발력을 가지게 되며 입자들 간의 인력과의 차이로 인하여 서로 응집하거나 분산한게 된다. 실험에 의하여 구해진 제타전위(ζ)의 절대값이 증가하게 되면 입자들 간의 반발력이 인력을 능가하게 되어 입자는 안정하게 되는 반면 절대값이 0에 가까우면 입자는 쉽게 응집하게 되어 침전하게 된다. 본 연구에서는 제타전위를 이성분 나노유체의 분산안정도를 나타내는 척도로 사용하였다.

3. 실험 방법

실험에 사용된 이성분 나노유체는 H_2O/LiBr 및 NH_3/H_2O 모유체에 Fe, CNT(Carbon Nanotube), Diamond 나노입자를 혼합하여 제조하였다. 이때 나노입자의 평균 반지름은 50 nm 미만이며 본교 연구실험지원 센터 장비인 전계방출형 주사현미경 (FE-SEM)을 통하여 확인하였다. 단 Diamond는 1㎛ 이다. Figs. 1~3은 각각 Fe, CNT(Carbon Nanotube), Diamond입자의 FE-SEM사진이다. 모유체인 H_2O/LiBr의 농도는 0~55 wt%범위로 55wt%의 H_2O/LiBr 수용

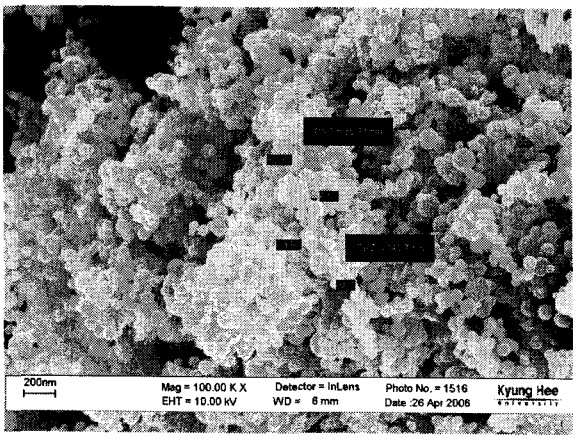

Fig. 1 FE-SEM image of Fe nanoparticle

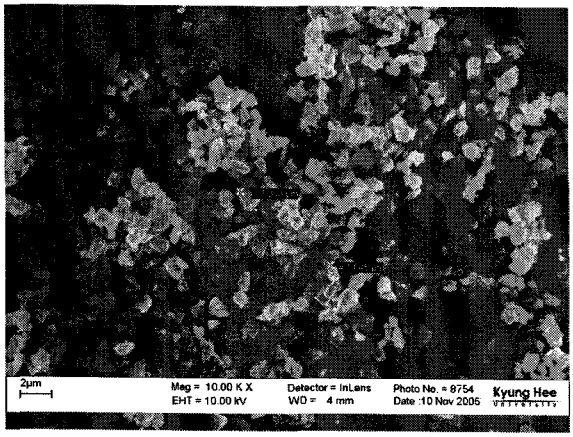

Fig. 3 FE-SEM image of Diamond nanoparticle

액과 증류수를 혼합하여 제조하였다. 제타전위를 측정 하고, 입자의 침전 현상을 가시화하기 위하여 디지털 카메라로 사진촬영을 한 후 시간을 기록하였다. 농도에 따른 모유체의 제조를 위한 H_2O/LiBr 수용액의 질량과 증류수의 질량을 Table 1에 나타내었으며 나노입자 종류에 따른 입자와 모유체의 질량은 Table 2에 나타내었다.

(1) 각 농도에 따른 H_2O/LiBr수용액을 Table 1과 같이 제조한다.
(2) 나노입자에 따른 이성분 나노유체를 Table 2와 같이 제조한다.
(3) 제조된 이성분 나노유체를 초음파진동을 이용하여 분산 시킨다.
(4) 제조된 이성분 나노유체와 각 농도에 따른 H_2O/LiBr 수용액을 각각 50 mL씩 샘플병에 담는다.

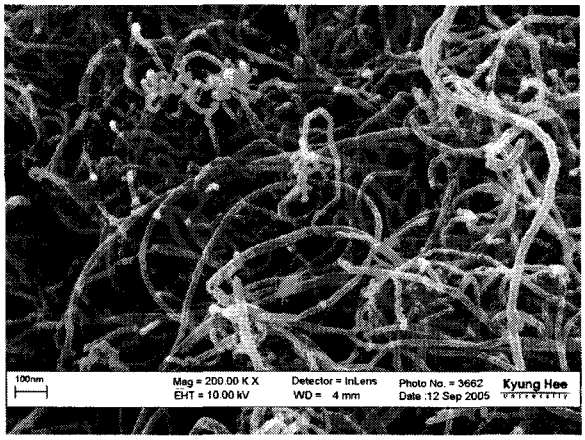

Fig. 2 FE-SEM image of Carbon NanoTube

(5) 제타전위 측정계(Model : ELS-8000)를 이용하여 각 입자와 H_2O/LiBr 수용액의 농도에 따른 제타전위와 동시에 전기전도도를 측정한다.
(6) 침전 현상을 가시화하기 위하여 디지털 카메라로 사진촬영 후 시간을 기록한다.

4. 실험 결과

본 연구는 농도에 따른 제타전위(ζ)측정과 분산제 (Arabicgum)의 효과를 비교분석 하였다. Fig 4는 Diamond 입자를 분산제를 넣지 않고 초음파 분산장치를 이용해 분산시켰을 경우에 약 3일 이후에 가라앉은 경우이고, Fig 5는 분산제를 넣고 분산시켜 대략 3일이 지난 후에 가라앉은 경우이다. 샘플병의 배열은 좌측에서 우측으로 0, 10, 20,30, 40, 50, 55 wt%이다. 여기서 wt%별로 그리고 농도별로 비교분석 하였다. 그리고 사진에서 보는 바와 같이 Diamond 입자를 넣은 이성분 나노유체의 경우 분산제 Arabicgum을 넣었을때 20~40 wt%에서 분산이 잘된 것을 볼수 있다.

그리고 Fig 6과 Fig 7은 각각 Fe, CNT를 분산시킨 것에 대한 가시화 결과이다. 샘플병의 배열은 좌측에서 우측으로 0~55 wt%이다. 여기서 wt%별로 그리고 농도별로 비교분석하였다. Fe 이성분 나노유체는 20~40 wt%에서 분산이 다른 wt%보다 분산이 잘된 것을 알 수 있다. CNT 이성분 나노유체 역시 비슷한 농도에서 다른 농도에서 보다 분산이 잘된 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8과 9에 CNT 및 Fe나노 입자를 분산시킨이성분 나노유체의 제타전위 측정 결과를 나타내었다. 이성분 나노유체에서는 LiBr 농도가 20 ~40 wt%에

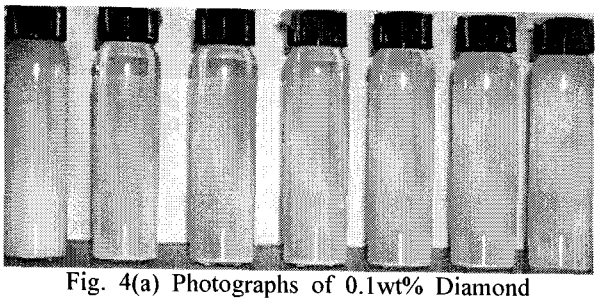

Fig. 4(a) Photographs of 0.1wt% Diamond

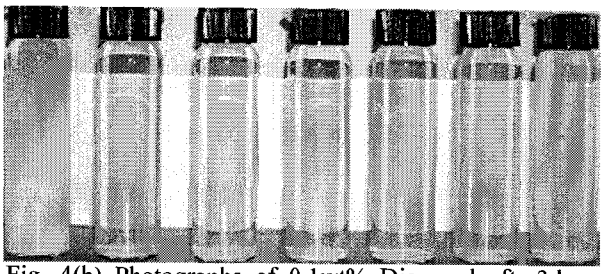

Fig. 4(b) Photographs of 0.1wt% Diamond after3days

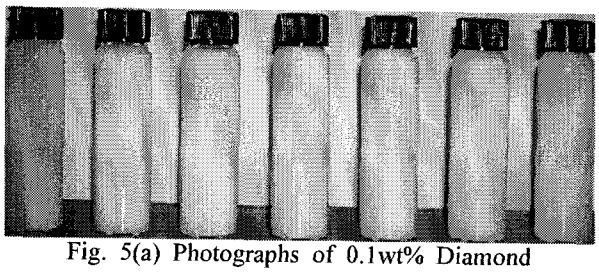

Fig. 5(a) Photographs of 0.1wt% Diamond in adding Arabicgum

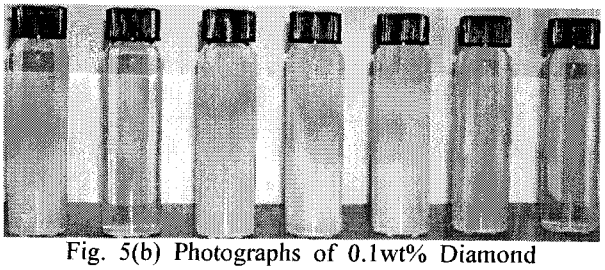

Fig. 5(b) Photographs of 0.1wt% Diamond in adding Arabicgum after 3 days

Fig. 4,5 Images of Diamond binary nanofluids by light transmission

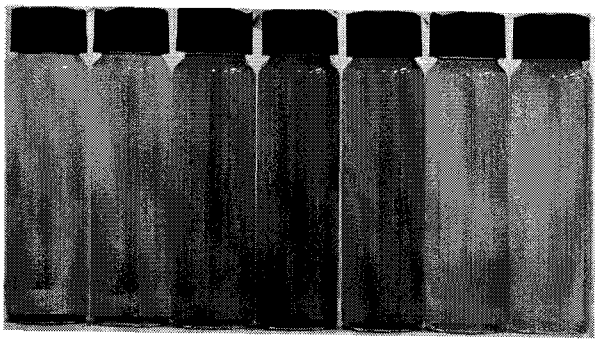

Fig. 6(a) Photographs of 0.01wt% Fe

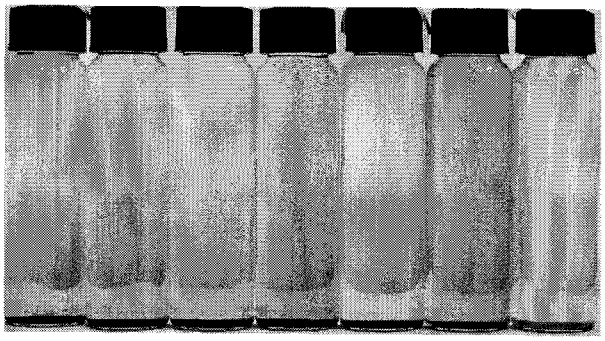

Fig. 6(b) Photographs of 0.01wt% Fe after 5hours

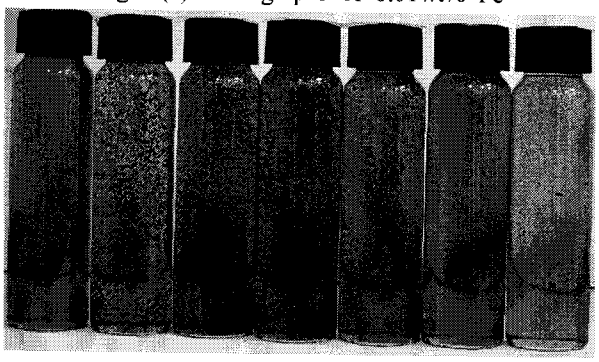

Fig. 7(a) Photographs of 0.01wt% CNT

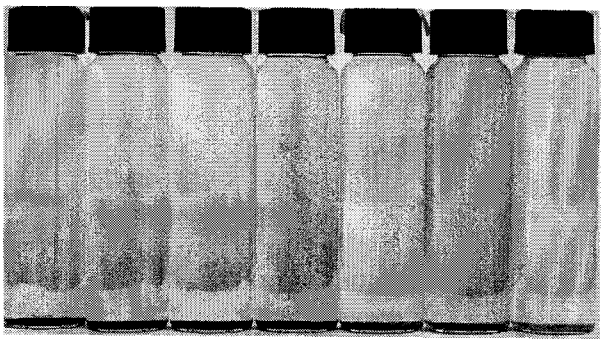

Fig. 7(b) Photographs of 0.01wt% CNT after 7hours

Fig. 6,7 Images of Iron, CNT binary nanofluids by light transmission

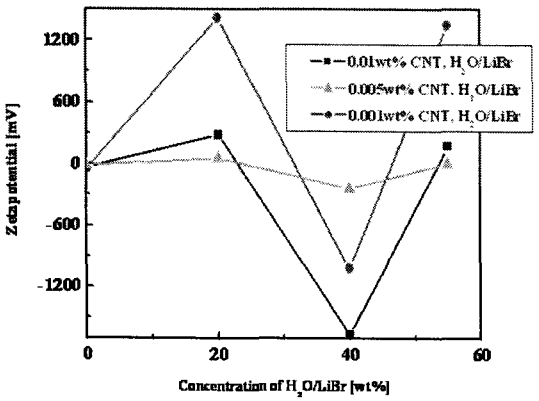

Fig. 8 Zeta potential of CNT binary nanofluids

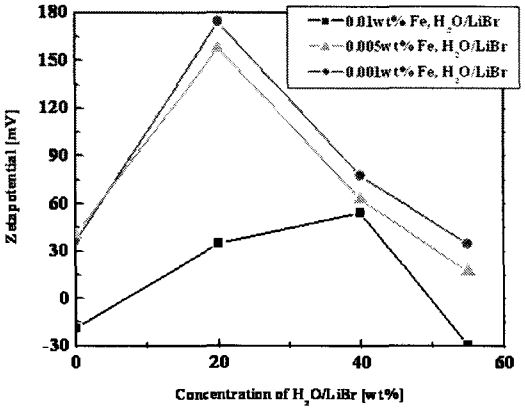

Fig. 9 Zeta potential of Fe binary nanofluids

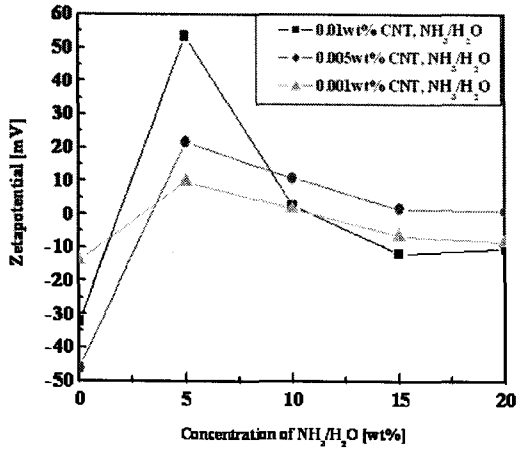

Fig. 10 Zeta potential of CNT binary nanofluids

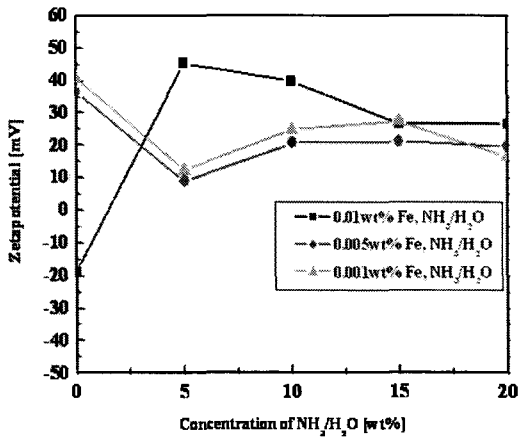

Fig. 11 Zeta potential of Fe binary nanofluids

서 제타전위(ζ) 절대값이 높게 나오고 반면에 농도가 높은 55 wt%에선 절대값이 0에 가깝게 나타났다. Fig 8은 그래프가 진동하는 것처럼 보인다. 하지만 제타전위(ζ) 값은 절대값을 기준으로 판별하기 때문에 비교하면 20~40 wt%에서 높은 값을 가지고 안정화된다는 분석을 할 수 있다. 그리고 제타전위 측정방법은 우선 나노유체의 외부에서 전장을 가하면 나노입자는 그 표면전위의 부호와 반대방향으로 이동하게 되는데, 이때의 전장의 세기와 유체역학적인 효과를 고려하여 나노입자 이동속도를 계산하여 구한다. 그리고 측정시 레이저광을 이용하여 산란각을 이용해서 데이터를 뽑기 때문에 각도에 따라 부호는 달라질 수 있다. 결과적으로 Fig 9를 통해서 보더라도 비슷한 경향으로 분석해 볼 수 있다. Figs 8, 9에서 wt%에 따라 제타전위(ζ)를 측정하였다. 이는 분산 안정도를 높이기 위해선 최적의 입자농도를 찾아내기 위한 실험결과이다. Fig 8에선 0.001>0.005>0.01 wt%순으로 제타전위(ζ) 절대값이 높았다. Fig 9에도 0.001>0.005>0.01 wt%순으로 높았다. wt%가 낮은데서 분산 안정성이 높은걸 추론할 수 있다. 결과적으로 분산을 높이기 위해선 최적농도는 0.001 wt%에서가 안정적이다. Fig 10과 Fig 11에서는 Fe, CNT 입자를 분산시킨 NH_3/H_2O 수용액에 농도별로 제타전위(ζ) 값을 측정한 결과들이다. NH_3/H_2O의 농도 5wt%에서 제타전위 절대값이 가장 높은 것을 알 수 있다. 그리고 Figs 10, 11에서도 wt%에 따라 제타전위(ζ)를 측정하여 최적의 입자농도를 분석하

면 Figs 8, 9와 반대로 0.01>0.005>0.001 wt% 순으로 제타전위(ζ) 절대값이 높았다. wt%가 높은데서 분산이 잘된걸 추론할 수 있다. NH_3/H_2O의 경우엔 분산을 높이기 위한 최적농도는 0.01wt%이다. 두 이성분 나노유체를 비교해 볼 때 CNT 및 Fe입자는 NH_3/H_2O에서보다 H_2O/LiBr에서 좀더 안정적으로 분산이 된다. 제타전위(ζ) 절대값의 크기를 비교해 보면 알 수 있다. 그리고 두 이성분 유체모두 다 CNT입자를 분산시켰을 경우 제타 전위 절대값 평균치가 높게 나왔다.

5. 결 론

본 연구는 H_2O/LiBr 및 NH_3/H_2O 수용액을 모유체로 하는 이성분 나노유체를 흡수식 시스템의 작동유체로 적용하기 위해서 금속/금속산화물계 이성분 나노유체를 제조하였다. 또한 이성분 나노유체에서 가장 중요한 인자인 분산안정도를 제타전위를 측정하고 안정성을 판별하였으며, 가시화 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 도출해 낼수 있었다.

(1) CNT와 Fe입자는 H_2O/NH_3에서보다 H_2O/LiBr에서 좀더 안정적으로 분산이 된다.
(2) H_2O/LiBr 이성분 나노유체의 전기전도도는 20~40 wt% 농도에서 높게 나타난 반면에 NH_3/H_2O 이성분 나노유체에서는 5%에서 크게 높은 것을 알수 있다. Diamond입자의경우도 Arabicgum을 넣었을때 20~40wt%에서 분산이 잘된다.
(3) 제타전위(ζ)의 절대값이 0에 가까울수록 분산안정성이 떨어진다.
(4) 분산 안정성에 영향을 미치는 인자는 분산된 나노입자의 질량분율과 모유체의 농도임을 밝혀내었다.

이상의 결론은 이성분 나노유체의 모유체 농도에 따른 침전 현상을 제타전위를 인자로 하여 해석한 것으로 향후 열전달 특성연구 및 비등 열전달 실험 등 이성분 나노유체에 대한 연구의 지표가 될 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단에서 지원한 에너지 기술 학술 진흥 과제 (과제번호 2004-E-NC03-P-02-0-000-2005) 지원으로 수행되었다.

참고문헌

1. Choi, U. S., 1995, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Development and Applications of Non-Newtonian Flows, ed. by Singer, D.A. and Wang, H.P., FFD-Vol. 231/MD-Vol. 66, ASME New York, pp. 474-480.
2. Lee, S., Choi, U. S., Li, S. and Eastman, J. A., 1999, Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, J. of Heat Transfer, Vol. 212, pp. 280-289.
3. Eastman, J. A., Choi, S.U.S, Li, S., Yu, W. and Thompson, L. J., 2001, Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, App. Phys. Lett., Vol. 78, pp. 718-720.
4. Das, S. K., Putra, N., Thiesen P. and Roetzel W., 2003, Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, J. of Heat Transfer, Vol. 125, pp. 567-574.
5. Keblinski, P., Phillpot, S. R., Choi, S. U. S. and Eastman, J. A., 2002, Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids), Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 45, pp. 855-863.
6. Xuan, Y. and Li, Q., 2000, Heat transfer enhancement of nanofluids, Int. Heat and Fluid Flow, Vol. 21, pp. 58-64.
7. Kim, J., Kang Y. T. and Choi, C. K., 2003, Analysis of convective instability and heat transfer characteristics of nanofluids, Phys. Fluids, Vol. 16, pp. 256-262.
8. Li, Q. and Xuan, Y., 2002, Convective heat transfer and flow characteristics of Cu-water nanofluid, Science in China Series E; Technological Science, Vol. 45, pp. 408-416.
9. Jung, S. J., Lee, S. I. and Lim, H. M., 2003, Effect of the Concentration of Suspension and Electrolyte on Zeta Potential, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 40, pp. 293-300.