

안정한 나노유체의 제조와 기포의 거동, 접촉각에 미치는 영향

김운귀, 강현욱, 김성현*
고려대학교 화공생명공학과
(kimsh@korea.ac.kr*)

Fabrication of Stable Nanofluid and the Effects on Bubble Behaviors and Contact Angle

Wun-gwi Kim, Hyun Uk Kang and Sung Hyun Kim*
Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University
(kimsh@korea.ac.kr*)

서론

나노유체란 수내지 수십 나노미터 크기의 입자가 용매 안에 안정적으로 분산되어있는 유체를 말한다. 1995년 Choi 등은 유체의 혁신적인 열전달 성능 향상을 일으킬 수 있는 물질로서 나노유체를 제안했다.[1] 그 이후 많은 연구자들이 새로운 열교환 매체로서 나노유체의 가능성에 깊은 관심을 가지고 연구를 진행하고 있다.[2] 이와 관련하여 Ha 등은 액막형 흡수기에서 나노유체를 이용해 암모니아의 흡수 성능향상을 보고한 바 있고[3], Kim 등은 기포형 흡수기에서 나노유체를 이용해 암모니아의 흡수 성능 향상을 보고하였다.[4] 이에 대한 연구결과는 에너지 저감 및 환경개선 기술로 직접적으로 이용될 수 있는 가능성이 있다. 하지만 이런 연구들에 대한 보다 심도 있는 해석과 실제적인 이용을 위해서는 나노유체의 안정성에 대한 판단과 실제 공정에서 보일 수 있는 현상들에 대한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 이를 위해 실제로 나노유체를 제조하고 이에 대한 안정성을 판단하며, 더 나아가 이것이 기포형 흡수기에서의 기포의 거동과 고체 표면에서의 접촉각에 어떻게 영향을 미치는지 살펴보았다.

이론

나노유체를 제조하는 가장 대표적인 방법 중의 하나는 졸겔법으로 알려져 있다. 졸겔법을 사용하면 Figure 1 에서처럼 물과 전구체가 만나서 먼저 가수분해가 일어나고 그리고 그 물질 간에 축합반응이 일어나서 고분자화 되어 있는 구조물이 만들어진다.

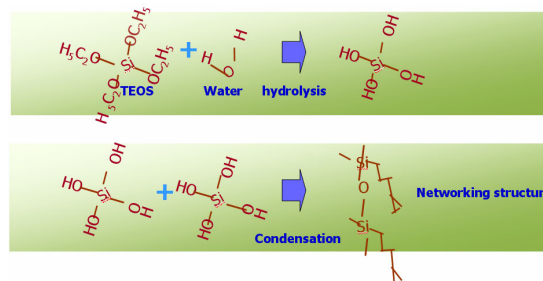


Fig. 1. Mechanism for fabrication of nanoparticles

나노유체 내 나노입자의 안정성 판단은 DLVO 이론으로 해석이 가능하다. DLVO 이론은 입자간의 반데르 발스 힘에 의한 인력과 입자 표면의 이온농도 증가에 따른 척력이 균형을 이루는 거리가 생기고 이에 따라 입자의 안정성이 확보된다는 이론이다. Figure 2

은 계면활성제나, 표면 개질, 표면 전하 도입을 통한 여러 가지 방법으로 입자간의 척력을 제공하여 안정성을 높일 수 있는 예를 보여준다.

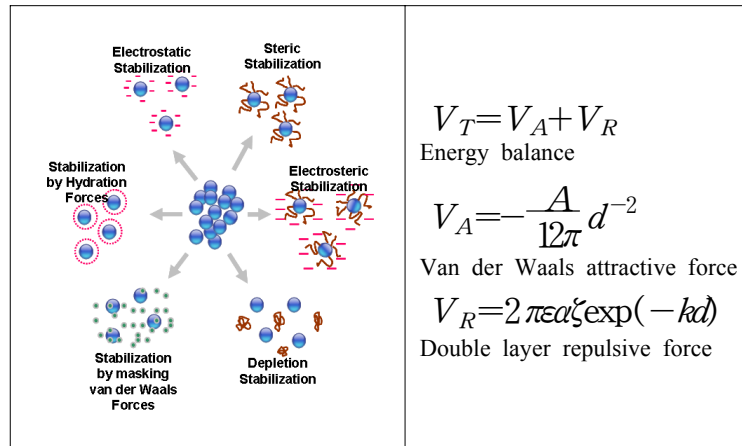
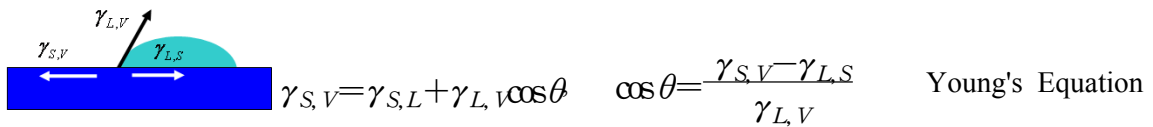


Fig. 2. The various method for stabilization of particles

용액이 고체 표면과 만나고 있을 때, 그 용액은 아래의 Young's Equation 에 의하여 일정한 접촉각을 가지게 된다. 이 이론을 이용하여 접촉각에 영향을 미치는 요인들을 확인할 수 있다.



실험

나노유체를 제조하는 공정은 두 가지 단계를 거친다. 먼저 Ethanol 8mol 과 TEOS (Tetra Ethyl Ortho Silicate) 0.045mol 을 섞어서 균질상이 되게 하고 물 3mol을 집어넣어 가수분해가 일어나게 한다. 그리고 20분 뒤 암모니아 0.8mol을 집어넣어 촉매로 작용하게 하면 축합반응을 통해 나노유체가 만들어지게 된다.

위의 과정으로 만들어진 나노유체에 대한 안정성을 판단하기 위해서 ELS-8000 장비를 이용한 제타 포텐셜 측정을 하였다. 그리고 나노유체에서의 기포의 거동을 알아보기 위해 직경 70mm 높이 260mm의 원통형으로 설계된 기포형 흡수기를 제작하였다. 또, 나노유체의 고체 표면에의 접촉각을 측정하기 위해 Contact angle meter 를 사용하였다.

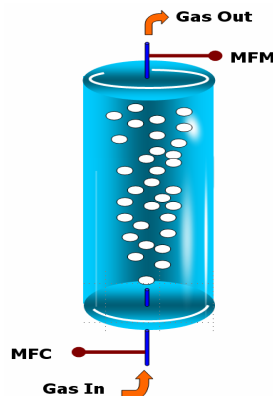


Fig. 3. Bubble type absorber

결과 및 토론

Figure 4 는 졸겔법으로 제조한 나노유체의 그림을 보여준다. 이에 대한 안정성분석을 위해 제타포텐셜 값을 측정한 결과 Figure 5에서 보여주는 것처럼 약 300nm 크기의 입자가 약 -45mV의 전위값으로 굉장히 안정한 상태로 존재하는 것을 볼 수 있다.



Fig. 4. Fabricated Silica nanofluid

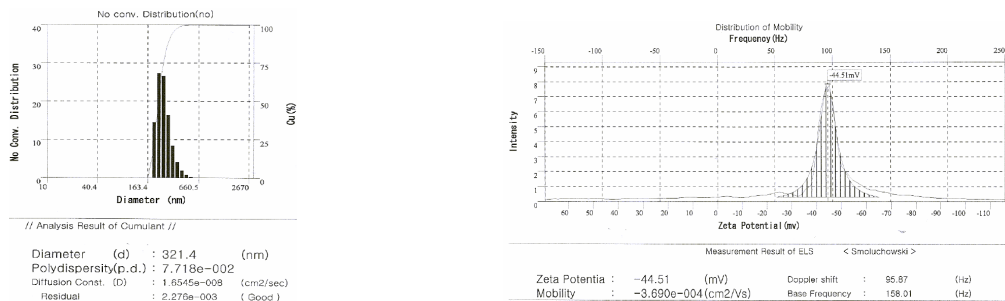


Fig. 5. Particle size analysis and zeta-potential value

만들어진 나노유체를 이용하여 그 안에서의 기포의 거동을 확인한 결과 Figure 6에서와 같은 결과가 확인되었다. 물을 base로 한 나노유체에서는 기포의 크기가 굉장히 작아지는 현상이 발견되는데, 에탄올을 base로 한 유체에서는 기포의 크기가 물과 거의 같은 현상이 나타났다.

이에 대한 설명으로 Figure 7에 도시되어 있는 메카니즘을 제시하였다. 나노유체내의 나노입자는 물에 있을 경우에 빠른 속도로 올라오는 기포와는 충돌해 기포를 깨뜨리지만 에탄올이 base fluid 일 때는 에탄올의 점도나 밀도가 작아서 그 안의 나노입자가 기포와 충돌 했을때 뒤로 밀려나 버리는 현상이 일어나서 기포의 크기가 작아지지 않는다고 생각된다.



(a) In water (b) In water based nanofluid (c) In ethanol based nanofluid

Fig. 6. Bubble behaviors in water and nanofluid

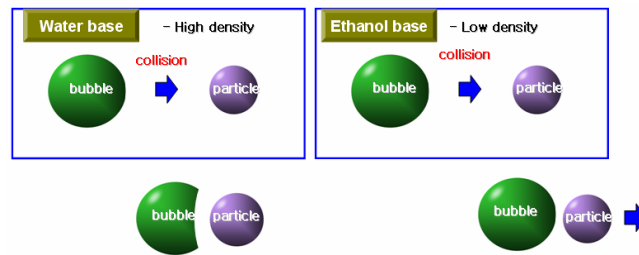
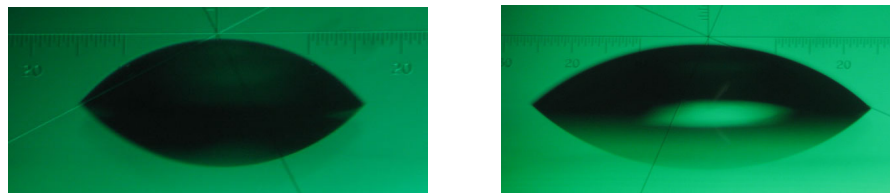


Fig. 7. Mechanism for the Bubble behaviors in nanofluid

아래그림은 물과 나노유체에서의 접촉각을 측정한 그림이다. 그림에서처럼 나노유체는 물과 같은 고체 표면에 대해 퍼짐성이 좋다는 것이 확인 되었다. 이는 나노유체 내의 입자들이 표면에 미치는 영향 때문 이라는 판단을 내릴 수 있지만 이에 대한 좀 더 심도 있는 연구가 필요하다. 이 연구를 이용하면 나노유체를 이용한 코팅공정 또 그를 이용한 신소재 개발 연구에 활용이 가능하다.



(a) Water (51.8)

(b) Nanofluid (43.2)

Fig. 8. Contact angle in water and nanofluid

결론

본 연구에서는 나노유체에 대한 보다 심도 있는 연구와 실제 산업으로의 적용을 위해 나노유체의 직접제조를 통한 안정성 확보, 그리고 나노유체에서의 기포의 거동과 고체 표면에의 접촉각에 대하여 고찰해 보았다. 이 결과들을 이용하면 나노유체를 공정에 사용 하였을 때 발생하는 불안정성 문제점들을 해결할 수 있고, 퍼짐현상이 좋은 나노유체를 이용하여 코팅공정에 까지 적용할 수 있는 가능성이 있다.

감사

본 연구는 한국과학재단(KOSEF, ERC) 유변공정연구센터(ARC)의 연구지원에 의해 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

- [1] S.U.S. Choi, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Development and Application of Non-Newtonian Flows, FED-Vol. 231/MD-Vol. 66. ASME, New York, 99-105(1995).
- [2] P. Keblinski, S.R. Phillpot, S.U.S. Choi and J.A. Eastman, Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles, Int. J. Heat. Mass. Tran. 45 (2002) 855-863.
- [3] J.J.Ha, Characteristics of Heat and Mass transfer properties by using silica nanoparticles in ammonia-water system, MA thesis, Korea university, Korea, 2002.
- [4] J.K. Kim, J.Y. Jung, J.H. Kim, M.G. Kim, T. Kashiwagi, Y.T. Kang, The effect of chemical surfactants on the absorption performance during $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ bubble absorption process, Int. J. Ref. 29 (2006) 170-177.