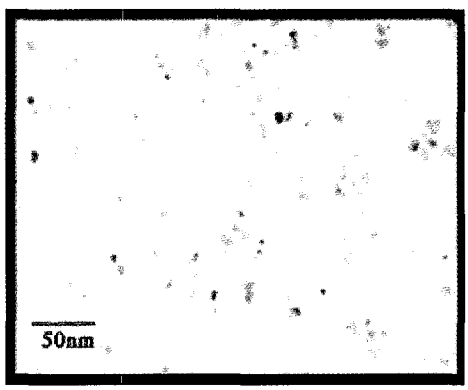
나노유체의 기술 현황 및 미래

이 글에서는 최근 차세대 냉각유체로 주목받고 있는 나노유체의 제작기술과 독특한 열적 특성과 제작 과정에 관한 기술 현황 및 나노유체의 응용 기술 분야들을 소개하고자 한다.

나노유체(nanofluids)란 일반 유체에 나노입자(nanoparticle) 또는 나노튜브와 같은 나노 크기의 섬유들을 분산(dispersion), 부유(suspension)시켜서 만든 유체를 말한다. 1993년 미국 Argonne National Lab.에 있는 Dr. Choi 팀은 일반유체에 나노기술로 제작된 나노 입자를 첨가하면 새로운 물성치를 지닌 유체가 될 것이라는 아이디어를 제시하였으며 1995년 이론적 결과를 최초로 발표하였다. 그 후 1999년에 그들은 세계 최초로 나노유체를 제작하고 나노유체의 열전도도를 측정하여 놀라운 결과를 제시하였다. Dr. Choi는 일반유체에 나노입자들을 분산 부유시킨 유체를 나노유체라 명명하고 이후 연구자들에 의해서 그들의 실험 결과들은 확인되었고 최근에 차세대 냉각유체로 나노유체를 사용하기 위해서 많은 연구들이 활발히 진행되고 있다.

이 글에서는 현재까지 제작된 물 및 에틸렌글리콜에 30nm의 Al_2O_3 나노입자, 20nm의 CuO 나노입자, 오일에 탄소나노튜브(CNT : Carbon Nanotube)가 분산된 나노유체 등의 제작 기술과 유동 특성 및 열적 특성에 관하여 소개하고자 한다. 또한 향후 나노유체를 이용한 응용 기술 분야들을 소개하고자 한다.



구리 나노입자(6~10nm)를 에틸렌글리콜에 분산, 부유시켜 만든 나노유체

장 석 필 / 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 조교수 e-mail : spjang@hau.ac.kr

나노유체의 제작 기술

일반적으로 나노유체에 분산된 나노입자의 크기는 10~50nm 크기이며 나노유체 제작 기술은 나노입자를 유체 속에 분산, 부유시키는 기술을 의미한다. 나노입자들을 분산, 부유시키는 기술은 크게 물리적 방법과 화학적 방법으로 나눌 수 있다. 물리적 방법으로 나노유체를 제작하는 기술은 현재까지 두 가지 방법이 사용되고 있다. 첫 번째 방법은 One Step Method라고 불리며 일반유체 속에 분산, 부유시키고자 하는 물질을 고진공 챔버 속에서 기화시키고 기화된 물질이 고진공 챔버 주위를 돌고 있는 일반유체에 접하면서 나노입자를 형성시킴과 동시에 유체 속에 분산, 부유시키는 기술이다. 본 기술은 미국 Argonne National Lab에서 특허를 보유하고 있으며 본 기술에 의해서 제작된 나노유체는 분산성이 매우 우수하며 나노입자의 크기가 균일한 장점을 가지고 있다. 특히 분산시키고자 하는 물질이 구리와 같은 금속 나노입자일 경우 구리입자가 공기와 접하면서 발생되는 산화반응을 배제할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 본 기술의 단점은 나노유체의 제작시간이 매우 오래 걸려서 그 결과 대량생산이 어렵다는 것이다. 두 번째 방법은 Two Step Method라 불리며 나노입자의 제작 단계와 유체 속에 분산, 부유시키는 단계를 분리해서 나노유체를 제작하는 방법이다. 나노입자 제조기술을 이용하여 유체 속에 분산시키고자 하는 나노입자를 제작하고 그 입자를 유체 속에 혼합하여 분산, 부유시키고자 하는 기술이다. 본 기술에 있어 입자를 유체 속에 혼합할 때 입자의 응집성을 제거하기 위해서 초음파에너지를 가한다. 초음파에너지의 주파수는 20,000Hz 이상이며 본 에너지를 이용하여 기계적으로 나노입자를 분산, 부유시킨다. 본 기술의 장점은 대량생산이 가능하다는 점을 들 수 있으나 입자의 표면성질과 유체의 특성이 서로 상이할 경우 분산성이 매우 떨어진다는 단점이 있다. 특히 Two Step Method로 물에 Al_2O_3를 분산시키거나 에틸렌글리콜에 Al_2O_3와 CuO를 분산시킬 경우 나노유체 제작이 잘 이루어지나 오일에 Al_2O_3와 CuO를 분산시킬 경우 입자의 응집성 때문에 입자들이 가라앉는 현상이 발견된다. 이런 물리적 방법의 단점을 극복하는 방법으로 화학적 방법이 사용되는데 일반적으로 나노입자의 표면을 변화시키기 위한 계면활성제를 사용하여 입자들의 분산성을 유지시키거나 유체의 페하(pH)를 조절하여 나노입자를 분산, 부유시키는 방법을 의미한다.

나노유체의 유동 및 열적 특성

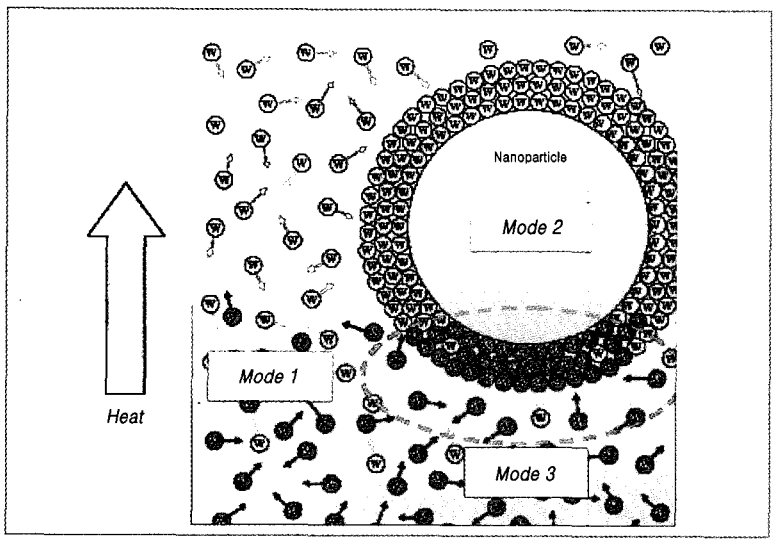
현재까지 실험적으로 확인된 나노입자 또는 나노튜브와 같은 나노크기의 섬유들을 분산, 부유시켜서 만든 나노유체의 유동 및 열적 특성은 다음과 같다. 나노유체의 유동 특성에 관한 연구는 나노유체의 유효 점성계수 및 마찰계수에 집중되어 있다. 일반적으로 나노유체의 유효 점성계수는 Einstein Model로 예측해 왔으나 최근의 실험 결과들은 나노유체의 유효 점성계수가 Einstein Model로 예측된 값보다 5~10% 정도 증가된다고 보고하고 있다. 또한 나노유체의 유효 점성계수는 나노입자의 분산정도에 따라 달라진다는 사실도 발견되고 있다. 그러나 난류영역에서의 나노유체 마찰계수는 일반유체의 마찰계수와 큰 차이를 보이지 않는다고 보고하고 있다. 다만 현재까지 나노유체의 유동특성에 대한 연구가 체계적으로 진행되지 못해 많은 연구가 요구되는 상황이다.

나노유체의 열적 특성은 다음과 같다. 첫 번째는 일반유체의 부피에 대한 1% 미만의 소량의 부피비의 나노입자를 일반유체에 첨가하더라도 나노유체의 유효 열전도도가 10% 정도 그리고 대류 열전달 특성이 최대 30%까지 향상된다는 것이다. 본 현상은 나노유체가 새로운 형태의 열 수송 유체로 대두될 것이라는 의견을 뒷받침해 주는 주된 실험 결과이다. 두 번째는 나노유체의 열전도

도가 온도 변화에 따라 급격히 상승한다는 것이다. 이 특성은 나노유체를 냉각유체로 사용할 경우 나노유체의 온도가 증가할수록 열전도도가 증가되어 열전달률을 상승시킬 수 있음을 보여준다. 세 번째는 나노입자의 크기가 작아질수록 열전도도가 상승한다는 것이다. 본 현상은 기존의 나노크기를 가지는 박막의 열전도도가 박막의 두께가 작을수록 열전도도가 작아지는 현상과 반대되는 결과이며 나노유체의 열적 특성이 독특한 현상임을 보여주는 결과이다. 마지막 현상은 나노유체의 임계열유속이 일반유체의 임계열유속보다 3배 정도 커진다는 것이다. 이런 열적 현상을 설명하기 위해서 많은 이론들이 제시되고 있으며 그 중에서도 미시적 현상인 나노입자의 브라운 운동이 거시적 현상인 열전달 특성을 향상시키는 원인으로 보고되고 있다.

나노유체의 응용 분야 및 향후 전망

현재까지 나노입자 또는 나노튜브와 같은 나노 크기의 섬유들을 분산, 부유시켜서 만든 나노유체는 차세대 냉각유체로 연구 개발 중이다. 그 중에서도 가장 활발히 연구가 진행되고 있는 응용분야는 자동차 냉각분야와 전자장치 냉각분야이다. 자동차 냉각분야는 자동차 엔진 부동액에 나노입자를 첨가하여 열전달 성능이 우수한 나노유체 부동액을 제작하는 연구와 자동차 미션오일에 나노입자를 첨가하여 마찰력은 줄이면서 열전달 성능을 향상시키고자 하는 연구이다. 자동차 냉각분야의 나노유체 상용화에 있어 필요한 기술은 분산, 부유 특성을 유지시키는 문제가 가장 큰 핵심기술로 대두되고 있다. 또한 전자장치 냉각분야에서의 나노유체 적용연구는 나노유체를 작동유체로 하는 히트 파이프 개발연구가 대표적이다. 최근에 국내외적으로 한 두 편의 연구결과가 보고되어 있으며 그 결과들을 요약해 보면 동일 형상에서 나노유체를 사용한 히트 파이프의 열저항이 기존 히트 파이프의 열저항보다 최대 39% 감소된다고 보고되고 있다. 더욱이 주목해야 할 사실은 분산, 부유 특성이 우수하지 않더라도 히트 파이프의 성능 향상이 이루어진다는 것이다. 또한 최근 국내에서는 변압기 냉각유체에 나노입자를 분산, 부유시켜서 냉각성능이 우수한 냉각유체를 개발 중에 있다. 향후 나노유체 기술은 유체 내에서의 나노입자 제어 기술과 미소영역에서 열전달 제어기술 분야로 확장될 것으로 예측되고 나노유체의 적용분야는 고성능 고집적 전자 부품 냉각기술, 대형 열교환기 시스템의 냉각유체로 더욱 확대될 것으로 기대된다.



나노유체 속에서 일어나는 세 가지 열전달 방법 : Mode1 유체분자의 충돌에 의한 열전달, Mode2 나노입자의 내에서의 열확산, Mode3 나노입자의 브라운 운동에 의한 나노입자와 유체분자간의 열전달