

## 적심 이론들을 이용한, 상변화 열전달에 관한 나노-유체, -코팅 및 -표면 변형 기술들의 기능성에 관한 고찰

방인철

동경 공업 대학교 Global Edge Institute, Energy Sciences

상변화 (비등) 열전달은 열전달 모드로서 가장 효율적인 핵 비등 열전달을 이용하는 열유체 시스템의 성능에 매우 중요한 역할을 한다. 더욱이, 그러한 효율적인 모드를 제한하는 임계 열유속 (설계 제한치)은 최근 전자 부품 및 발전 시스템의 출력 밀도 증가와 소형화 요구, 초 고열유속의 핵융합 플라즈마 대면 계통의 효율적 냉각 요구에 맞춰 나노-유체, -코팅, -표면 변형과 같은 나노 기술을 도입하여 연구되고 있으며, 표면 조건에 관한 다양한 연구가 보고되고 있다. 본 연구의 목표는 비등 열전달 및 임계 열유속에 적용되고 있는 또는 적용 가능한 나노 기술들의 기능성에 관하여 이해를 증진시키는 것이다. 현대의 나노 기술은 혁신적으로, 평균 직경 100 nm이하의 *crystallite* 구조의 물질을 생산하고 가공, 구조화 하는 것을 가능하게 하고 있다. 실제, 비등 열전달을 증진시키기 위해 사용되는 최신 나노 기술들로는 나노-유체, -코팅 및 -구조화가 소개 되고 있다. 나노-유체는 기존 유체의 열물성 개선을 위해 나노 입자들을 분산시킨 냉각재를 의미한다. 이러한 나노-유체의 비등은 열전달 표면에서의 나노입자들의 침전/코팅을 초래하는 것으로 알려진다. 나노-코팅은 나노입자들의 독특한 물리적 특성에 의해 기능화 되고 체계화 될 수 있는 나노입자 층들로 구성되는 변형된 표면을 추구하는 것으로 정의 할 수 있다. 나노-표면 변형은 역시, 변형된 표면을 이용하는 것으로, 이 때 표면은 공간, 고/저 넓이 비 그리고 표면 곡률 등을 고려하여 적절한 나노 스케일의 표면 구조들을 생성하는 것이다. 비등 및 임계 열유속 증진은 액체 젖음에 영향을 주는 표면 조건에 매우 밀접하다. 그러므로, 유체-표면 적심 이론들이 위에 소개된 세 가지 기술들의 비등 열전달 성능에 대한 기능성과 관련하여 고려될 수 있다. 적심 이론들은 다음과 같다. 재료적 관점:  $\gamma_{SV}\cos\theta_T = \gamma_{SV} - \gamma_{SL}$  (Young's equation), 표면 거칠기 관점:  $\gamma_{SV}\cos\theta_T = r(\gamma_{SV} - \gamma_{SL})$  (Wenzel's equation), 적셔진 넓이 관점  $\cos\theta_A = \phi_s(\cos\theta_A + 1) - 1$  (Cassie-Baxter equation). 비등 열전달 변화에 대한 나노 기술들의 기능성은 원칙적으로 표면 구조 및 표면 에너지를 토대로 하는 적심 이론들을 이용하여 설명되는 것이 가정될 수 있다.

Ref. (1) A.J. Schrauth, N.P. Suh, ICAD 2006, (2) PADDY, Wetting, Spreading and Adhesion 1978