

기공 네트워크 시뮬레이션을 이용한 루프 히트파이프 증발기 내 기체-액체 경계면

전승혁^{*†} · 명희수^{*} · 장석필^{*,**}

*한국항공대학교 스마트항공모빌리티학과, **한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

Vapor-Liquid Interface in Evaporators of Loop Heat Pipes Using Pore Network Simulation

Seung Hyeok Jeon^{*†}, Hee Soo Myeong^{*}, Seok Pil Jang^{*,**}

^{*}Dept. of Smart Air Mobility, Korea Aerospace Univ.,

^{**}Dept. of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace Univ.

1. 서론

최근 기술의 발전으로 다양한 전자 장치들이 고집적화, 고효율화 되어가고 있다. 또한, 레이더, 레이저 다이오드 같은 고발열 장치의 경우 향후 약 1 kW/cm² 수준의 초고열유속을 가질 것으로 전망된다. 기존 초고열유속 냉각 방법으로 Microchannels, Spray, Jet impingement, Loop heat pipe (LHP) 등의 방법이 있다. 특히, LHP는 작동유체의 상변화를 이용하는 열전달 장치로 모세관력으로 작동하기 때문에 외부 동력원이 필요하지 않다는 장점이 있다^(1,2,3).

초고열유속을 수반하는 산업에서 LHP를 안정적으로 운용하기 위해서는 LHP의 최대 열전달량을 아는 것이 중요하다. 일반적으로 초고열유속 상태에서 최대 열전달량은 증발부의 Dry-out과 연관되어 있어, 이를 예측하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다⁽⁴⁾. 그중 Pore network simulation은 준수한 정확도를 가지며 계산속도가 빠르다는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 Pore network simulation을 활용해 LHP 증발부 내부의 기-액 경계면을 도출하여 증발부의 Dry-out 여부와 최대 열전달량을 예측하고자 한다.

2. 본론

본 연구에서 사용된 Pore network simulation 은 기공 하나를 하나의 노드로 생각하고 해석하는 방법으로 LHP 증발부의 Dry-out 및 최대 열전달량을 예측하기 위해 증발부 내의 기-액 경계면의 위치를 예측하였다. 기-액 경계면은 노드 간 압력차와 모세관력에 의해 결정되며, 노드 간 압력차는 Porous medium approach 를 사용하여 계산하였다. 모세관력은 Young-Laplace equation 으로 계산하였다. 수립된 Pore network simulation 모델을 선행 연구자⁽⁴⁾의 결과와 비교하여 검증하였다. 이후, 수립된 모델을 바탕으로 Screen mesh wick (mesh number 200, 250, 300)의 기하학적 형상 (Effective pore radius,

Permeability, Porosity) 및 작동 유체 (Water, Ammonia)에 따른 증발부의 기-액 경계면의 위치 및 최대 열전달량을 비교하였다.

3. 결론

본 연구에서는 Porous medium approach를 적용한 Pore network simulation을 사용하여 LHP 증발부의 기-액 경계면 및 최대 열전달량을 예측하였다. 특히, Screen mesh wick의 기하학적 형상 및 작동 유체에 따라 기-액 경계면 및 최대 열전달량 변화를 분석함으로써, 작동 조건에 따른 LHP 증발부 설계 방법을 제시하였다.

후기

본 연구는 2024년도 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임. (협약번호 KRIT-CT-22-022, 초고열유속 냉각시스템 특화연구실)

참고문헌

- (1) Kong, D., Jung, E., Kim, Y., Manepalli, V. V., Rah, K. J., Kim, H. S. and Lee, H., 2023, "An additively manufactured manifold-microchannel heat sink for high-heat flux cooling," *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 248, 108228.
- (2) Smakulski, P. and Pietrowicz, S., 2016, "A review of the capabilities of high heat flux removal by porous materials, microchannels and spray cooling techniques," *Applied thermal engineering*, Vol. 104, pp. 636~646.
- (3) Siedel, B., Sartre, V. and Lefèvre, F., 2015, "Literature review: Steady-state modelling of loop heat pipes," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 75, pp. 709~723.
- (4) Figus, C., Le Bray, Y., Bories, S. and Prat, M., 1999, "Heat and mass transfer with phase change in a porous structure partially heated: continuum model and pore network simulations," *International journal of heat and mass transfer*, Vol. 42, Issue. 14, pp. 2557~2569.

† Presenting Author, jsh990929@naver.com