

임베디드 플레이트-핀 매니폴드 마이크로채널의 열성능 및 유동 불균일도 예측을 위한 1 차원 모델링

이한솔*†, 이영진*, 김성진*

*한국과학기술원 기계공학과

One-dimensional modeling of embedded manifold microchannels (MMC) with plate-fins for prediction of thermal performance and flow non-uniformity

Hansol Lee*†, Young Jin Lee* and Sung Jin Kim*

* Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

1. 서 론

최근 자동차 산업의 전기화와 그리드 시스템의 발전으로 인해 질화갈륨 (GaN) 및 탄화규소 (SiC) 같은 와이드-밴드 갭 (WBG) 반도체를 기반으로 하는 고효율 밀도 전력 모듈에 대한 수요가 증가함에 따라 고열유속 ($>1 \text{ kW/cm}^2$) 방열로 인한 열 관리 문제를 해결할 수 있는 효과적인 냉각 장치의 개발이 요구되고 있다.⁽¹⁾ 이러한 고열유속 전자기기에 대한 효과적인 냉각 장치로서 매니폴드 마이크로채널 (MMC) 히트싱크가 주목을 받고 있다. 매니폴드 마이크로채널은 마이크로채널 상단부에 유동 분배를 위한 매니폴드 구조를 가지는 냉각 장치로, 기존 마이크로채널 히트싱크 대비 상대적으로 낮은 압력 강하와 높은 온도 균일성을 가진다는 장점이 있다. 이러한 매니폴드 마이크로채널의 열성능을 예측하기 위해 기존 문헌은 마이크로채널 간 균일한 유동 분배를 가정한 모델을 제시했다. Copeland *et al.*⁽²⁾ 은 균일한 유동 분배를 가정한 모델을 이용해 매니폴드 마이크로채널 히트싱크의 열저항을 예측하였으며, 예측 결과가 실험 결과 대비 100% 이상의 큰 오차를 가짐을 보고했다. 최근 수치 시뮬레이션 및 실험 결과는 마이크로채널 간 유동 분배가 일반적으로 불균일하며, 매니폴드 마이크로채널 히트싱크의 열-유압 성능이 이러한 불균일한 유동 분배에 큰 영향을 받음을 밝혔다.^(3,4) 따라서, 본 연구에서는 매니폴드 마이크로채널의 열성능 및 유동 불균일도를 예측할 수 있는 1 차원 모델링이 수행되었으며, 3D 수치 시뮬레이션에 기반한 열성능 및 유동 불균일도 예측 결과와의 비교를 통한 모델 검증이 수행되었다.

2. 결 과

2.1 열성능 및 유동 불균일도 예측 결과

Fig. 1 은 제시된 1 차원 모델과 마이크로채널 간 균일한 유동 분배를 가정한 기존 문헌의 모델을 기반으로 한 MMC 히트싱크의 열성능 예측 결과이다. 1 차원 모델을 d 이용한 예측은 3D 수치 시뮬레이션을 통해 얻어진 MMC 히트싱크의 열저항과 6% 이내의 평균 제곱 백분율 오차 (RMSPE) 내에서 일치하는 것으로 나타난다. 반면, 기존 모델의 경우, 마이크로채널 간 불균일한 유동 분배와 그에 따른 마이크로채널 기관 내 온도 분포를 고려하지 않아 열저항을 최대 47% 까지 과소평가함을 확인할 수 있다. 제시된

1 차원 모델은 마이크로채널 간 유동 불균일도를 고려함으로써 균일한 유동 분배 가정에 기반한 기존 모델 대비 82%의 큰 오차 감소를 보인다.

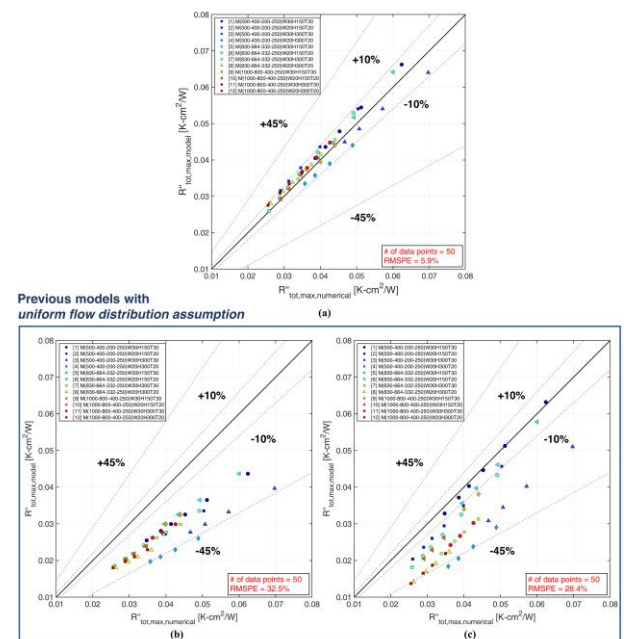


Fig. 1. MMC 히트싱크 열저항 예측 결과 (a) 1 차원 모델을 사용한 예측 결과. (b) Copeland *et al.*⁽²⁾ 이 제안한 균일한 유동 분배를 가정한 모델을 사용한 예측 결과. (c) Yurker *et al.*⁽⁵⁾ 이 제안한 균일한 유동 분배를 가정한 모델을 사용한 예측 결과.

3. 결 론

MMC 히트싱크의 열성능과 유동 불균일도 예측을 위한 1 차원 모델이 개발되었다. 제시된 1 차원 모델은 마이크로채널 간 불균일한 유동 분배를 고려함으로써, 3D 수치 시뮬레이션을 통해 예측된 MMC 히트싱크의 열성능과 유동 불균일도를 각각 RMSPE 6%, 26% 이내로 예측할 수 있음을 확인했다. 제시된 모델은 균일한 유동 분배를 가정한 기존 모델 대비 열성능 예측에 있어서 82%의 큰 오차 감소를 보인다. 1 차원 모델에 기반해 유동 불균일도 예측을 위한 상관식이 제시되었으며, 이를 통해 균일한 유동 분배를 가지는 MMC 히트싱크를 위한 설계 가이드 라인이 제시되었다.

후 기

† Presenting Author, hansollee.research@gmail.com

본 연구는 National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2021R1A2C3011944), 그리고 Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement (KRIT) grant funded by the Korea government (DAPA (Defense Acquisition Program Administration)) (No. KRIT-CT-22-022)의 지원을 받아 수행됨.

참고문헌

- (1) A. Bar-Cohen, P. Wang, E. Rahim, Thermal management of high heat flux nanoelectronics chips, *Microgravity Science and Technology* 19 (2007).
- (2) D. Copeland, M. Behnia, W. Nakayama, Manifold microchannel heat sinks: isothermal analysis, in: *InterSociety Conference on Thermal Phenomena in Electronic Systems, I-THERM V*, 1996, pp. 251–257. doi:10.1109/ITHERM.1996.534570.
- (3) L. Boteler, N. Jankowski, P. McCluskey, B. Morgan, Numerical investigation and sensitivity analysis of manifold microchannel coolers, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55 (2012) 7698–7708.
- (4) K. W. Jung, C. R. Kharangate, H. Lee, J. Palko, F. Zhou, M. Asheghi, E. M. Dede, K. E. Goodson, Embedded cooling with 3d manifold for vehicle power electronics application: Single-phase thermal-fluid performance, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 130 (2019) 1108–1119.
- (5) S. U. Yuruker, R. K. Mandel, A. Shooshtari, M. M. Ohadi, A metamodeling approach for optimization of manifold microchannel systems for high heat flux cooling applications, in: *2019 18th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, 2019, pp. 982–990. doi:10.1109/ITHERM.2019.8757232

* **대한기계학회논문집** 인용시의 영문명 : *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A (or) B* 로 통일하여 주십시오.