

다공성 매질을 사용한 증발냉각 방식의 열관리 시스템 성능 향상

박성준*[†] · 장석필*,**

*한국항공대학교 스마트항공모빌리티학과, **한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

Performance Enhancement of Thermal Management System with Porous Medium Using Evaporative Cooling

Sung Jun Park*[†], and Seok Pill Jang *,**

*School of Smart Air Mobility, Korea Aerospace Univ.,

**School of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace Univ.

1. 서론

최근에는 기술 발전과 에너지 소비 증가로 소형 전자 칩부터 대규모 발전소에 이르기까지 다양한 산업 분야에 걸쳐 발열량이 급격히 증가하고 있다. 발열량은 고열유속 수준을 뛰어넘어 초고열유속($\sim 1000 \text{ W/cm}^2$)에 이를 것으로 예측되고 있다. 기존 초고열유속 냉각시스템의 경우 대형 냉각시스템으로 구성되어 있으며 이중 대부분의 부피는 응축기가 차지하고 있다. 따라서 이동형 초고열유속 시스템을 안전하게 운용하기 위해서는 응축기의 소형화 및 경량화가 필수적이다. 여러 연구팀들이 응축기의 열전달 성능을 향상시켜 응축기의 부피를 줄이기 위해 증발냉각 방법을 이용한 냉각 방법을 시도하고 있다.^(1,2) 하지만 기존 증발냉각에 필요한 물은 스프레이나 펌프 등을 사용하여 물을 공급하는 방식을 사용함으로써 추가적인 에너지가 필요하게 된다. 따라서 본 연구에서는 screen mesh를 응축기 표면에 부착하여 추가적인 에너지 없이 증발냉각 방법을 통해 응축기 외부 열저항 감소를 이론적 및 실험적으로 분석하고자 한다.

2. 본론

이론적으로 증발냉각의 성능을 예측하기 위해 스크린 메쉬의 유효 공극반경 (r_{eff})과 투과율 (K)을 Rate-of-rise Method을 사용하여 메쉬 수 M20 ~ M200의 유효 공극반경과 투과율을 측정하였다. 측정결과를 사용하여 이론적으로 유효 공극반경과 투과율을 유도하였다.

이론적으로 유도된 유효 공극반경과 투과율을 사용하여 Brinkman-extended Darcy Equation을 통해 Screen Mesh를 통과하는 유체의 압력강하와 모세관력을 계산하였다. Screen Mesh에 흡수되는 최대 질량유량은 유체의 압력강하와 모세관력이 평형을 이룰 때로 정의하였다. 응축기 외부 열저항을 이론적으로 구하기 위해서는 다공성 매질에 흡수된 물의 온도를 구해야 한다. One-equation

Model을 사용한 에너지 방정식과 Tiwari et al.이 제시한 증발량 예측 모델을 사용하여 물의 온도를 나타내었다.⁽³⁾

최종적으로 증발냉각 이론 모델을 검증하기 위해 스크린 인가 열량, 메쉬의 공기의 속도, 기하학적 형상에 따라 응축기의 외부 열저항 변화를 실험적으로 분석하였다.

3. 결론

증발냉각을 사용한 응축기 외부 열저항의 이론 모델은 실험을 통해 검증되었다. 증발냉각을 사용했을 경우 공랭식 방법에 비해 응축기 외부 열저항이 평균 92% 감소한 것을 실험적으로 확인하였다. 인가열량이 증가할수록 응축기 외부 열저항은 감소하였으며, 공기 속도가 증가함에 따라 응축기 외부 열저항은 감소하였으나, 공랭식 방법과 비교하였을 때 응축기 외부 열저항의 감소폭은 동일하였다. 다공성 매질의 기하학적 형상에 따른 응축기 외부 열저항의 변화는 미미하였으나 최대 열전달량이 다른 것을 확인 하였다.

후기

이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1A2C1009997).

참고문헌

- (1) C. Li, R. Mao, Y. Wang, J. Zhang, J. Lan, Z. Zhang, 2024, "Experimental study on direct evaporative cooling for free cooling of data centers", *Energy*, 288, 129889.
- (2) Y.T. Lee, C.Y. Wen, L.H. Chien, J. He, A.S. Yang, 2022, "Heat transfer of spray falling films over horizontal tubes with counter current airflows in an evaporative condenser" *Int. J. Heat Mass Transfer*, 183, 122199.
- (3) Tiwari, G. N. Kumar, A., and Sodha M. S., 1982 "A review cooling by water evaporation over roof." *Energy conser. Manage.*, 22(2), pp. 143-153