

국소 열원을 갖는 밀폐형 냉각 유로에서 자성유체의 열전달 성능에 관한 수치적 연구

서재형^{1*}, 유병희², 김남원³, 이무연⁴

¹엔티에프 텍 연구개발부

²Texas State University, Department of Engineering Technology

³Texas State University, Ingram School of Engineering

⁴동아대학교 기계공학과

1. 서론

최근 전자기기의 고성능화로 인하여 집적회로의 핵심 소자 또한 소형화, 고집적화되어 가고 있다. IGBT, LED 등과 같은 고집적 소자는 출력성능이 향상됨에 따라 발열량도 증가하므로 이를 위한 방열장치의 개발이 필요하다. 일반적인 방열기술은 방열핀에 의한 공랭식 방열과 냉각유로를 통한 수랭식 방열로 분류되지만 최소한의 크기에서 요구되는 방열량을 충족시키기 위하여 열전달을 촉진시키는 특수한 작동유체를 이용한 기술도 제안되고 있다. 이 중에서 자성유체는 강자성체 미립자를 물이나 오일 등에 균일하게 분산시켜 금속의 강자성과 유체의 유동성 두가지 성질을 겸비한 유체로서 차세대 냉각유체로 관심받고 있다. 하지만 아직까지 자기장에 대한 영향도 및 이에 따른 자성유체의 열역학적 성질 및 자연대류 현상에 관한 실증적인 연구는 아직 미비한 상황으로 다양한 환경조건에서 자성유체의 열유동 특성에 대한 심도 있는 연구가 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 고발열원인 고집적 소자를 모사하여 국소 열원을 갖는 밀폐형 냉각 유로 내 자성유체의 열전달 성능을 파악하고자 하며, 이를 위하여 외부 자기장의 세기에 따른 온도 분포 특성을 고찰하고 국소 열원에서 평균 Nusselt 수를 분석하였다.

2. 수치해석 방법

본 연구에서 사용한 해석모델은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 국소 발열 영역을 갖는 4:1 종횡비의 밀폐된 냉각 유로의 단면으로 자성유체(EMG 304)가 작동유체로서 적용된다. 냉각 유로에서 국소 발열 영역은 가로길이의 1/4 크기로서 온도조건은 120 °C이며, 상면과 하면의 온도조건은 20 °C, 좌우측면은 단열조건을 적용하였다. 자성유체의 열 및 유동현상을 촉진시키는 외부 자기장은 국소 발열 영역에 가까운 좌측면에 위치시켰으며 자기장 세기는 0 - 10000 A/m으로 1000 A/m 간격으로 인가하였다.

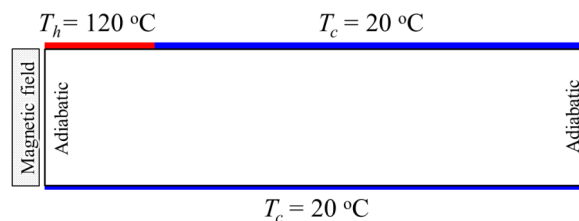


Fig. 1. Analysis model for cooling channel with ferrofluid.

자기장의 영향으로 자성유체의 내부입자가 자화되어 자성유체의 열유동 현상에 영향을 끼치는 특징을 수치해석에 반영하기 위하여 자연대류 현상에 대한 지배방정식인 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지방정식 뿐만 아니라 자화 구성방정식 및 Maxwell 방정식이 고려되었고 무차원 지배방정식으로 유도하고 GSMAC법 (Generalized-simplified marker and cell method)을 이용하여 수치해석하였다[2]. 수치해석을 통하여 외부 자기장

세기에 따른 자성유체의 온도 분포 특성을 나타내고 밀폐형 냉각 유로의 국소 열원에서 평균 Nusselt 수를 계산하여 열전달 성능을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 외부 자기장 세기 변화에 따른 밀폐된 냉각 유로 내 자성유체의 온도 분포 특성을 나타낸다. 인가되는 외부 자기장이 없는 경우($H = 0\text{A/m}$)의 일반적인 뉴턴유체와 유사한 유동 특성과 비교할 때 외부 자기장을 인가할 경우에는 강제대류 조건을 부여한 것과 같이 냉각 유로 내에서 난류 현상이 발생하여 열전달을 촉진시켰으며 이러한 특성은 외부 자기장이 증가할수록 커졌다. 이러한 특성은 자기장의 영향을 받은 자성유체의 입자가 자기체적력이 인가되는 자기장 방향으로 증가하였기 때문이다.

Fig. 3은 외부 자기장 증가에 따른 밀폐된 냉각유로 내 국소 발열 영역에서 자성유체의 평균 Nusselt 수를 나타낸다. 외부 자기장을 7000A/m 으로 인가한 경우 평균 Nusselt 수는 16.8로 열전달이 가장 크게 촉진되었고 외부 자기장이 인가되지 않은 경우의 평균 Nusselt 수는 5.3으로 약 3.2배 증가하였다. 또한 외부 자기장을 더욱 증가시켰을 경우 열전달 특성은 더 이상 증가되지 않으며 자성유체의 최대 열전달 성능을 도출하는 임계 자기장 값이 존재함을 알 수 있다.

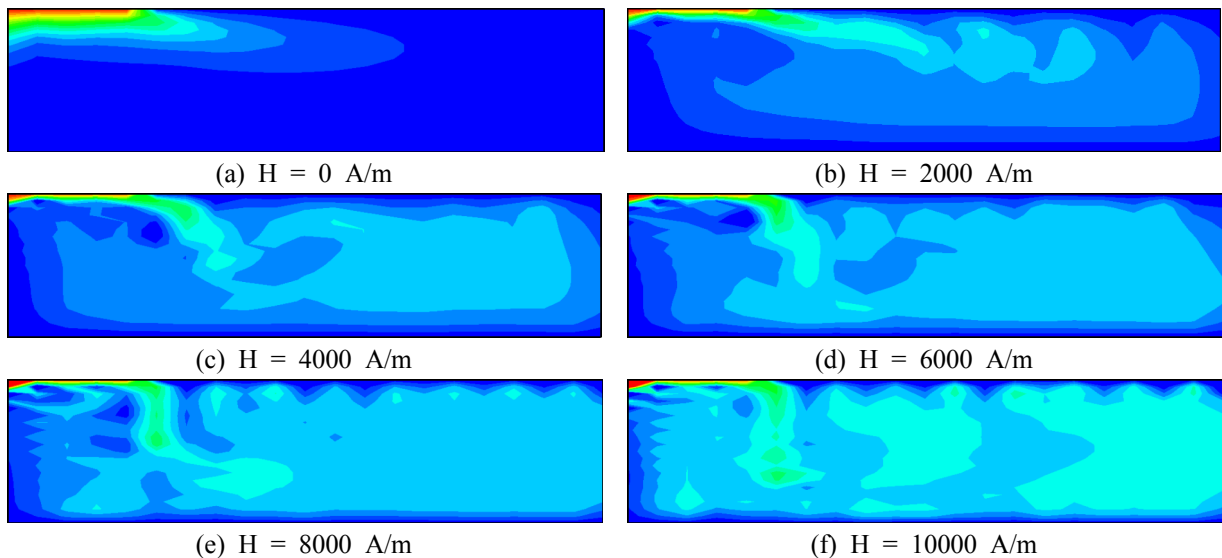


Fig. 2. Isotherms of ferrofluid with variation of magnetic field intensities at $t=50,000$ sec.

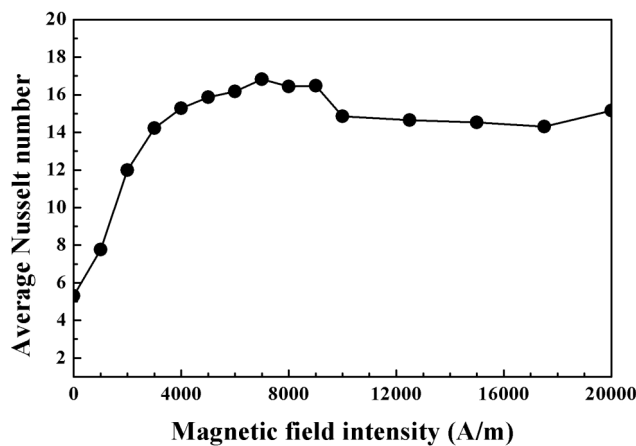


Fig. 3. Average Nusselt numbers of ferrofluid with various magnetic field intensities at $t=50,000$ sec.

4. 결론

본 연구는 국소 열원을 갖는 밀폐형 냉각 유로에서 자성유체의 열전달 성능을 분석하였으며 이를 위하여 외부 자기장의 세기에 따른 온도 분포 특성을 고찰하고 국소 열원에서 자성유체의 평균 Nusselt 수를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 외부 자기장 세기가 증가할수록 밀폐된 냉각 유로 내 자성유체의 열전달 특성은 촉진되었다.
- (2) 외부 자기장을 7000A/m으로 인가한 경우 자성유체의 평균 Nusselt 수는 16.8로 가장 큰 열전달 성능이 도출되었으며 외부 자기장이 인가되지 않은 경우보다 약 3.2배 증가하였다.
- (3) 자성유체의 최대 열전달 성능을 도출하는 임계 자기장 값이 존재하였다.

5. 사사

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2013R1A1A1062152) 및 본 연구는 중소기업청의 창업성장기술개발사업의 일환으로 수행하였음. (S2359589)

6. 참고문헌

- [1] H. Kawai, Y. Katoh, T. Sawada, and T. Tanahashi, Int. J. Japan Soc. Mech. Eng. Ser. II. **33**, 17 (1990).
- [2] J. H. Seo, L. S. Seo, and M. Y. Lee, J. Korean Magn. Soc. **23**, 31 (2013).
- [3] J. H. Seo and M. Y. Lee, Trans. of the KSME (B) **14**, 997 (2013).