

정방형 공간내 자성유체의 열전달 특성에 관한 연구

동아대학교 대학원 이준희*
 동아대학교 대학원 박정우
 동아대학교 서이수

A study of the characteristics of heat transfer for magnetic fluid in a square cavity

Donga University Graduate J. W. Park*
 Donga University L. S. Seo

1. 序論

자성유체(magnetic fluids)는 금속특유의 강자성체와 유체특유의 유동특성을 함께 갖는 유체이다. 본 연구에서는 기본적인 이차원 유동인 정방형 Cavity내 자성유체의 자연대류에 있어서 자장이 미치는 영향을 검토한다. 수치해석의 지배방정식계로서는 극성유체인 志澤·棚橋의 식과 Shliomis의 자화에 대한 근사식을 이용하고, 해석알고리즘으로는 棚橋·濟藤이 제안한 GSMAC(Generalized Simplified Marker and Cell method)유한요소법을 이용한다. 또한, 감온액정필름(Thermosensitive liquid crystal film)을 이용한 가시화실험을 통하여 인가자장의 방향과 세기에 따른 자연대류 현상의 전열 유동 특성을 비교한다.

2. 支配方程式

수치해석의 mesh는 균일격자(21×21)를 사용하였고, 지배방정식은 이하와 같다:

$$\nabla^* \cdot v^* = 0$$

$$\frac{\partial v^*}{\partial t^*} + (v^* \cdot \nabla^*) v^* = -\nabla^* p^* + \frac{1}{Re} \left(\nabla^* \cdot (\eta^* \nabla^* v^*) + \nabla^* \cdot (\eta^* v^* \cdot \nabla^*) \right) + \frac{4\varepsilon\sigma}{Re Pe_r} M^* \cdot \nabla^* H^* - \frac{2\varepsilon}{Re} \nabla^* \times (\sigma H^* M_o A_1 \omega^*) + \frac{Gr}{Re^2} \beta^* T^* e$$

$$\frac{dT^*}{dt^*} = \frac{1}{C_p^* Pe} \nabla^* \cdot (x^* \nabla^* T^*)$$

$$M^* = \frac{M_0^*}{H^*} (H^* - Pe_r A_1 H^* \times \omega^*)$$

3. 검토

Fig. 1은 수치해석의 결과로 등온선도를 나타낸 것이다. 여기서, H는 무차원자장을 의미하고, 외부에서 가하는 자장이 중력가속도의 방향일 때를 양(H>0)으로 나타내고, 중력가속도의 방향과 반대일 때를 음(H<0)으로 나타낸다. 또한, 본 해석결과에서는 무차원시간(t)이 3200정도에서 열유동현상이 거의 변화를 보이지 않았다. 따라서, 각 자장의 방향 및 세기에 대해서 t=3200일 경우를 정상상태로 하여 비교 검토하였다.

자장을 중력과 같은 방향으로 그 세기를 크게 할 경우((d)→(a))를 보면 상부 쪽에 고온 영역이 크게 발달하고, 자장을 중력과 반대 방향으로 그 세기를 크게 할 경우((e)→(h))를 보면 고온 영역이 하부에서 발달하는 것을 볼 수 있다. 특히, 자장의 세기가 커질수록 그 경향은 더 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 밀폐공간내에 자성유체가 자기장의 영향을 받아 유체입자가 자장의 印加방향으로 정렬하게 되기 때문이

다. 따라서, 印加磁場에 의한 자기체적력이 실험부내 자성유체 상하의 밀도에 영향을 미치기 때문에 Fig. 1과 같은 열유동현상을 나타낸다. 특히, 인가자장을 $H=-5500$ 일 때를 보면, 거의 무중력 상태가 되는 것처럼, 좌측의 고온벽에서 우측의 저온벽으로 열이 전파되는 현상과 같이 自然對流는 거의 일어나지 않으며, 따라서 열은 주로 傳導에 의해서 전달[바닥면을 가열하고, 위면을 냉각하고, 옆면을 단열]한 것처럼 중심부가 발달하게 된다. 즉, 부력과 자기체적력이 균형을 유지해서 자연대류는 일어나지 않게 된다. 따라서, 자성유체의 내부유동을 자장을 통해 외부에서 제어가 가능하게 된다.

Fig. 2는 실험결과를 나타낸 것이다. 여기서 보면, 자장을 중력과 같은 방향으로 인가하여 그 세기를 점점 감소함에 따라 상부에서의 고온영역은 다소 감소함을 볼 수 있고, 중력과 반대 방향으로 인가하여 그 세기를 점점 증가함에 따라 하부쪽으로 고온영역이 발달함을 볼 수 있다. 즉, 해석결과와 정성적으로 일치하는 것을 볼 수 있다. 결국, 자장을 중력과 같은 방향으로 인가한 경우는 자기력이 중력과 같은 방향으로 작용하고 있기 때문에 외관상의 중력벡터가 크게 되고, 결과적으로 외관상의 Rayleigh 수가 증가하고 속도도 증가함을 보였다. 또한, 중력가속도 방향과 반대로 자장을 인가한 경우, 먼저 극성에 의한 외관상 점도의 증가에 더해서 자기력이 중력의 반대방향으로 작용하기 때문에 외관상의 중력벡터의 크기가 작게 되고 속도가 다시 감소되어 외관상의 Rayleigh 수가 작아짐을 알 수 있다.

4. 結論

- (1) 중력과 같은 방향의 자장을 가한 경우의 자성유체의 유동은 외관상의 Rayleigh 수가 증가하는 온도 분포를 보인다.
- (2) 중력과 반대 방향의 자장을 가한 경우의 자성유체의 유동은 외관상의 Rayleigh 수가 감소하는 온도 분포를 보인다.
- (3) 외부에서 자성유체에 가하는 자장의 세기 및 방향에 따라 자성유체의 대류현상을 제어할 수 있다.

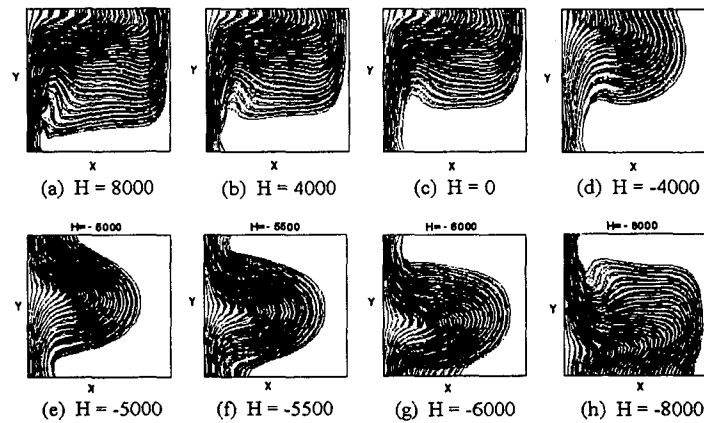


Fig. 1 Isotherms for various magnetic intensity at $t=3200$

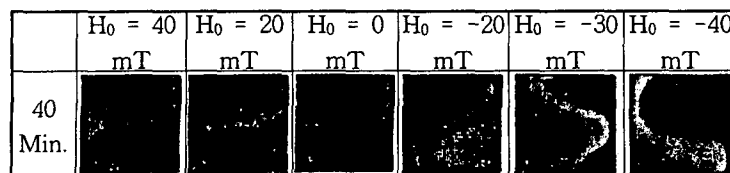


Fig. 2 Experimental result