

이중원관내 자성유체의 외부자장에 대한 자연대류의 실험적 연구

동아대학교 대학원 박정우*

동아대학교 대학원 이준희

동아대학교 서이수

Experimental study of natural convection for magnetic fluids in annular pipes under the influence of external magnetic fields

Donga University Graduate J. W. Park*

Donga University Graduate J. H. Lee

Donga University L. S. Seo

1. 서론

자성유체(magnetic fluids)는 금속특유의 강자성체와 유체특유의 유동특성을 함께 갖는 유체이다. 자성유체의 열전달에 관한 연구가 최근에 시작되고 있다. 공학적 응용에 있어서 밀집형 열 교환기 및 반도체 등과 같이 유체의 유속이 느리고, 표면과 주위 유체와의 밀도 차에 의한 부력의 영향을 무시할 수 없는 형상의 기기 내에 발생하는 열 전달 문제의 경우 열의 효과적인 제거에 새로운 방법이 될 것으로 생각된다.

본 연구에서는 자성유체를 이용한 열의 제거에 관한 기초연구로서 자성유체의 자연대류에 미치는 외부자장의 영향에 대해 연구하고자 한다. 특히, 기본적인 이중원관내 유동에 있어서 작동유체로서 자성유체에 대한 인가자장의 방향과 세기에 따른 자연대류 현상을 실험적 방법으로 연구하고자 한다. 또한, 실험적인 방법으로 자성유체의 색깔이 불투명한 암갈색이기 때문에 실제 흐름의 가시화가 곤란했으므로, 본 실험에서는 감온액정에 의한 가시화를 통해 인가자장이 자연대류에 미치는 전열유동특성에 대하여 연구하고자 조사한다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1에 나타내었다. 실험에 사용된 작동유체는 물과 자성유체(Water Base W-40)를 사용하였다. 또한, 실험의 고온부와 저온부에 대한 온도조절은 각각 침수 전열기(Immersion Circulation)를 사용하였다. 이중원관은 바깥원관($d=50\text{mm}$)을 저온부로 하고, 안쪽원관($d=10\text{mm}$)을 고온부로 하였다. 안쪽원관에는 작은 관을 하나 더 넣어서 관벽면온도를 균일하게 주도록 하였다. 자성유체에 대한 자장은 영구자석($80\text{mm}\times 80\text{mm}\times 10\text{mm}\times 6\text{개}$)을 사용하여 실험부와의 간격을 조절하여 인가하였고, 그 세기는 Gauss meter를 이용하여 측정하였다. 실험의 검사체적내의 자연대류는 2차원이고, 이 경우에 있어서 내부온도분포는 실험부 앞쪽 벽면의 온도분포와 거의 유사하다. 따라서, 본실험에서는 불투명한 암갈색의 자성유체를 가시화하기 위해서 실험부 앞쪽 벽면에 온도변화에 반응해서 색깔변화를 보이는 감온액정을 부착하였다. 가시화에 대한 액정필름의 촬영은 디지털 카메라(C-3030ZOOM)를 사용하였고, 자장으로 인한 시스템 에러를 예상하여 거리(50Cm이상)를 두고 줌(zoom)으로 사진을 캡처하였다.

실험은 저온온도와 고온온도를 세팅하고 침수 전열기(Immersion Circulation)를 작동시켜 영구자석의 위치를 변화시키면서 실시한다. 또한, 실험의 종료는 감온액정의 정색(color development)변화가 일어나지 않는 시점까지 하고, 감온액정의 색깔변화를 시간(분)간격으로 디지털 카메라(C-3030ZOOM)로 촬영하였다. 즉, 실험은 작동유체가 물과 자성유체(Water Base W-40)일 경우에 대해서 하였고, 자성유체의 경우 인가자장의 세기와 방향에 따라 각각 하였다. 또한, 디지털카메라에 의해 캡처된 사진은 바로 칩에 저장되어 컴퓨터프로그램(CAMEDIA Master2.0)을 사용하여 재생하였다.

3. 검토

실험의 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 조건1과 조건2는 물과 인가자장이 없는 경우의 자성유체에 대한 실험결과이다. 이 경우 시간진행에 따른 온도분포를 보면 그 경향이 유사한 것을 볼 수 있다. 즉, 자성유체에 자장을 인가하지 않

은 경우의 자연대류는 뉴우턴유체와 같은 경향을 보인다고 할 수 있다. 조건3에서 조건8은 인가자장의 방향과 세기에 따라 나타낸 실험결과이다. 여기서 보면, 자장의 방향이 하부에서 상부로 인가된 경우(조건6~조건8)를 보면 인가자장이 크게 될수록 저온부의 영역이 셀하부에서 더 넓어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 인가자장의 세기에 따라 셀상부와 하부의 밀도차가 크게되기 때문에 마치 중력의 영향이 더 크게 작용되기 때문이라 생각된다. 또한, 자장의 방향이 상부에서 하부로 인가된 경우(조건3~조건5)를 보면 인가자장이 크게 될수록 고온부가 셀하부에서 발달하는 것을 볼 수 있다. 또한, 인가자장이 없을 때의 자성유체의 자연대류와 비교해보면, 셀상부와 하부가 역전된 형상을 보이고 있다. 이것은 인가자장의 세기에 따라 셀상부 밀도가 크게되기 때문에 고온부가 셀하부로 이동하게 되기 때문이라 생각된다. 즉, 인가자장의 세기에 따라 중력의 영향이 더 작게 작용되고, 인가자장의 세기가 더 크게되면 중력의 영향은 하부에서 상부로 작용하는 것과같이 되기 때문이라 생각된다. 특히, 조건5을 보면 자성유체의 경향은 마치 무중력상태에서의 자연대류현상을 보인다. 이것은 인가자장이 자연대류에 미치는 중력의 영향과 거의 같게되어 서로 균형을 이루기 때문이라 생각된다.

4. 결론

이중원관내 자성유체의 자연대류에 관한 실험을 한 결과 이하의 결론을 얻었다.

1. 자성유체는 인가자장이 없을 경우에 뉴우턴유체와 같은 거동을 보인다.
2. 자성유체의 이중원관내 자연대류현상은 인가자장의 세기와 방향에 따라 제어될 수 있다.

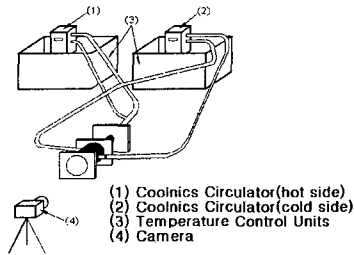


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

조건1	조건2	조건3	조건4	조건5	조건6	조건7	조건8
Water	자성유체	35mT	28mT	20mT	35mT	28mT	20mT
5 min	5 min	5min	5min	5min	5min	5min	5min
10 min	10 min	10min	10min	10min	10min	10min	10min
20 min	20 min	20min	20min	20min	20min	20min	20min
30 min	30 min	30min	30min	30min	30min	30min	30min

Fig. 2 Experimental result