

회전체를 이용한 자성유체 유동 해석

A Study on the Numerical Simulation and Characteristics of Magnetic Fluids in Rotating Channel

*이동구¹, #김성렬¹, 하경남¹, 김성구¹

*D. G. Lee¹, #S. R. Kim(sungrkim@kitech.re.kr)¹, K.N.Ha¹, S.G.Kim¹

¹한국생산기술연구원 융합부품소재연구그룹

Key words : Ferrofluid, Ferrohydrodynamics, Numerical Simulation

1. 서론

최근에는 구조공학분야 외에도 전기·전자분야에서 전기기기의 자기적 특성 해석을 위한요소법을 이용한 응용연구가 활발히 진행되고 있다. 그 한 예로 전자기현상을 Maxwell 방정식을 이용하여 해를 구함으로써 해석이 가능하다.

일반적으로 자성유체의 응용에 대한 기초가 되는 작동원리는 첫째 인가자장에 의해 나타나는 자성유체의 물성변화를 이용하는 것, 둘째 비균일 자장 또는 자장분포의 형성에 따라서 자성유체를 임의의 위치를 보존시키거나 자성유체중에 물체를 부양상태로 유지시키는 것, 셋째 자성유체의 유동을 자장에 의하여 제어하는 것 등으로 분류할 수 있고, 현재는 응용측면에서 이 원리들의 복합적인 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 회전체를 이용한 자성유체의 유동과 압력구배에 대해서 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

2. 지배방정식

본 연구는 영구자석의 자기체적력을 자성유체의 유동특성 해석을 수행하기 위해서 우선 Maxwell-Ampere's 법칙에서 자기장과 자속밀도의 관계식 식(1)과 같이 정리할 수 있다.

$$\nabla \times H = J \quad , \quad \nabla \cdot B = 0 \quad (1)$$

여기서 H[A/m]는 자기장이고, J[A/m²]는 전류밀도, B[Wb/m²]는 자기선속밀도이다. 식(1)에서 B와 H의 관계를 나타내면 식(2)와 같이 된다.

$$B = \mu(H + M) \quad (2)$$

M은 자화벡터를 μ 는 자기 투자율을 나타낸다.

$$B = \nabla \times A \quad , \quad \nabla \cdot A = 0 \quad (3)$$

자속밀도를 자기벡터포텐셜로 나타내면 식(3)과 같이 나타낼 수 있으면 식(1)에서 식(3)을 종합적으로 정리하면 식(4)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$\nabla \times \left(\frac{\nabla \times A}{\mu_0 \mu_r} - M \right) = 0 \quad (4)$$

식(4)에서 μ_0 은 진공 투자율, μ_r 은 비투자율을 나타낸다.

유체역학적 특성을 나타내는 Navier-Stokes 방정식과 자기체적력을 나타내는 식(4)를 동시에 만족하는 식(5)이 성립된다.

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = \rho g - \nabla p - \eta \nabla^2 \vec{v} + \mu_0 M \nabla H \quad (5)$$

식(5)에서 η 는 동점성계수이고, ρ 는 속도벡터, p 는 압력이다.

3. 자기장 해석

자성유체는 자기장의 영향으로 인해서 유체의 거동이 발생하기 때문에 자기장 해석은 필수적이

다. 자기장 해석을 위해 Table 1과 같은 조건으로 영구자석의 자기장해석을 수행하였다.

Table 1 Permanent Magnet

Description	Value
Magnetic Size(Nd Cylinder)	Φ 35
Remanent flux density, Magnetic	Max 1.25T
	Min 1.18T
Relative Permwability	1.099

모델링을 축대칭(Axial Symmetry)하여, 회전체의 오른쪽부분을 해석하였으며, 유체의 채널의 경계조건은 no slip 경계조건으로 해석하였고, Element 개수는 약 3000개로 격자를 나누었다.

영구자석만 있을 경우의 시뮬레이션 결과는 Fig. 1가 같이 자석의 양쪽 끝단에서 가장 큰 자기장의 세기값을 가지는 것을 영구자석의 자속밀도와 자기장 분포를 통해서 알 수 있었다.

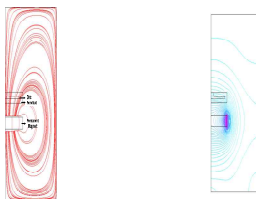


Fig. 1 영구자석 자기장 해석

자성유체의 자화는 자기장이 증가할수록 자화값도 증가하지만, 자기장을 지속적으로 증가시키면 자화값 역시 증가하지 않는 포화상태에 도달하게 되며 이것을 포화 자화라고 한다. 포화 자화값이 클수록 유체의 압력은 더욱 커진다.

Fig. 2는 자성유체에 자기장의 인가여부에 따른 유체의 압력분포를 나타낸다. 자성유체라 할지라도 외부의 자기체적력이 인가되지 않으면 일반유체의 와류유동(Swirl Flow)과 유사한 거동을 가지게 되어 회전체의 끝단에 압력분포가 높은 것을 알 수 있다. 자기장이 인가되면 자기장의 영향을 받아서 자기장이 상대적으로 센 부분인 영구자석의 가장자리와 가까운 유체부분에 압력 구배가 생기는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 유체의 속도 분포를 나타내고 있다.

자기장이 인가되지 않을 때는 일반유체의 거동처럼 회전체의 중심부분에서 가장자리부분으로 유체의 속도가 증가하는 것을 알 수 있다.

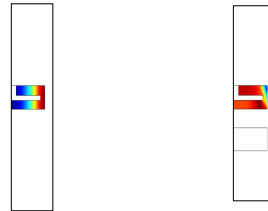


Fig. 2 자기장 인가여부에 따른 유체 압력분포

반면에 자기장이 인가 될 때는 자성유체의 거동이 압력 구배가 일어나는 곳에서 상대적으로 빠르게 나타나는 것을 알 수 있다.



Fig. 3 자기장 인가여부에 따른 유체 속도분포

4. 결론

기존 자성유체 연구는 단순 실험에 의한 결과에 의존하였지만, 본 논문에서는 자성유체 유동현상을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

본 연구의 시뮬레이션 결과가 차후 자성유체를 이용한 소형 장비나 장치 개발에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. R. E. Rosensweig, "Ferrohydrodynamics, Cambridge University Press,1985.
2. K. Raj, B. moskowitz, R Casciari, "Advances in Ferrofluid technology" Journal of Magnetism and Magnetic Materials 149(1995) 174-180.