

Magnetic Fluid Linear Pump 관내의 자성유체 형상에 관한 연구

성일권, 서강, 박관수
 부산대학교 전자전기컴퓨터정보공학부

Research of forming shapes of Magnetic Fluid
 in tube of Magnetic Fluid Linear Pump

ii Kwon SUNG, Kang SEO, Gwan Soo PARK
 Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University

Abstract - Magnetic Fluid Linear Pump (MFLP)는 자성유체의 자기적 성질과 유체의 성질을 이용하여 일반적인 펌프의 기어 대신 자성유체를 이용하여 기계적 진동이나 소음을 최소화한 시스템이다. MFLP는 구조가 간단하고 동작전류에 의해 쉽게 조절할 수 있다. MFLP의 동작전류에 의해 발생한 자기장의 정도에 따라 유연하면서 펌핑력이 높은 동작이 가능하다. 따라서 MFLP를 운전하는데 있어 동작전류의 패턴과 크기, 중첩 정도에 따른 펌핑력이 변하게 되며, 이에 따른 자기장과 관내의 자성유체 형상을 해석하여 유연하고 펌핑력이 높은 MFLP의 운전방식을 개발하고자 하였다.

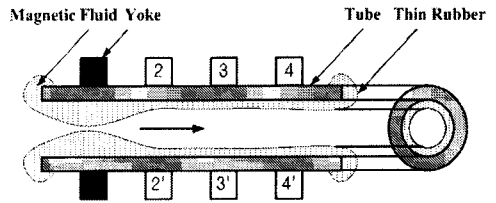
1. 서 론

자성유체는 3가지 기본적인 구성 요소인 자성미립자, 계면활성제 그리고 캐리어로 구성되어 있는 안정된 콜로이드 액체로서 자성적 성질을 가지고 있다. 자성유체는 다른 액체와는 달리 외부의 힘에 의해서 이동한다. 즉, 외부에서 자기장을 걸어줄 경우 자기장의 모양으로 모이게 된다. 지금까지는 자성유체의 적용범위가 그리 넓지 않으나 응용범위를 개척하기에 따라 액상 자성체의 성질을 이용한 특수용도로 활용될 수 있다. 자성유체의 자기적인 특징을 이용하여 Magnetic Fluid Linear Pump(MFLP)를 개발하였다. 이 펌프는 외부에서 관내로 인가하는 자기장을 조절하여 자성유체의 형상을 조절함으로써 해서 펌핑 압력과 속도, 방향을 조절할 수 있다. 결국 펌프의 펌핑 압력과 속도는 자성유체의 형상과 밀접한 관계가 있으며, 이러한 자성유체의 형상을 결정하는 것은 외부에서 인가하는 자기장이 된다. 따라서 본 논문에서는 MFLP의 성능을 결정하는 외부에서 인가하는 자기장을 해석하고 이러한 자기장의 영향으로 반응하고 동작하는 자성유체의 관내에서의 형상을 해석하였으며, 별도의 실험 장치를 제작하여 해석된 자성유체의 형상과 비교하였다.

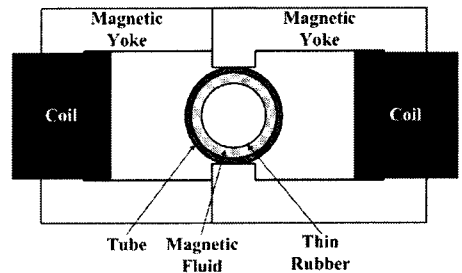
2. 본 론

2.1 MFLP의 구조

Fig. 1, 2는 Linear Pump의 구조를 나타낸 것으로 Thin Rubber에 Magnetic Fluid를 밀봉하여 넣게 된다. 이때 차폐 고무 막은 자성유체의 흐름을 방해하지 않을 정도로 부드러워야 하고 찢어지지 않을 만큼 튼튼해야 한다. 그리고 Coil이 감긴 Yoke 4개가 관을 둘러싼다. Coil이 감긴 Yoke의 양 극 사이에 관이 있는 구조로 Magnetic Yoke로 자기저항을 최소화하였다. 따라서 Linear Pump 동작에 중요한 요소인 자기장의 세기는 증가하고 Linear Pump의 펌핑압력 또한 커지게 된다. Fig. 3은 실제 제작한 MFLP이다.



(a) Side view of the MFLP



(b) Front view of the MFLP

Fig. 1 Structure of the Magnetic Fluid Linear Pump (2D)

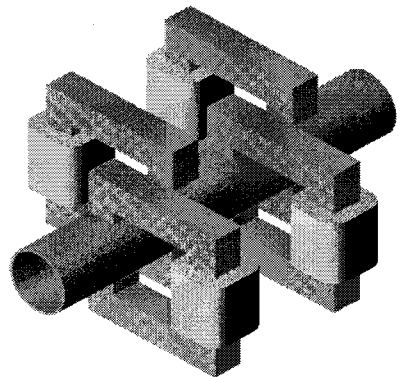


Fig. 2 Structure of the Magnetic Fluid Linear Pump (3D)

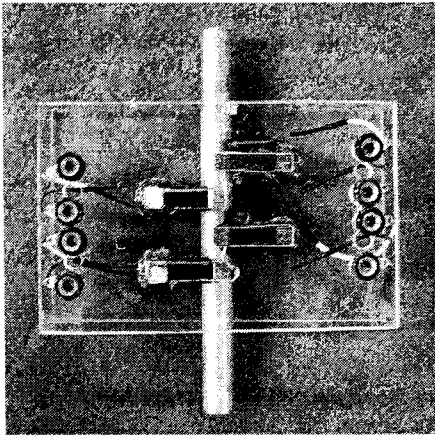


Fig. 3 Fabrication of the Magnetic Fluid Linear Pump

2.2 자성유체의 형상 해석

자성유체는 자기장의 분포로 그 형상이 이루어지며 자성유체로 인해 자기장이 변화하므로 자성유체와 자기장은 서로 상호 작용을 한다는 문제점을 가지고 있다. 결국 자기장의 변화가 자성유체 형태를 결정짓게 된다. 따라서 자성유체의 형상과 흐름은 자성유체의 표면 평형상태를 계산해야 하고, 이러한 자성유체의 표면 평형 상태는 Poisson 방정식과 Navier-Stokes 방정식을 동시에 해석해야 한다. 자성유체는 압축할 수도 없고 무점도이며 균질인 것으로 추정된다. Navier-Stokes 방정식에서 압력은 다음과 같다.

$$P_i = \int MdH - \rho gh + C \quad (1)$$

여기서 P_i , M , H , ρ , g , h 는 각각 압력, 자화, 자기장, 질량밀도, 중력상수, 액체높이이다. 유체역학적으로 C 는 액체표면을 따라 일정하다. 표면평형상태를 만족하기 위해 자속밀도의 법선 성분과 자계의 세기의 접선성분은 자성유체의 표면에서 연속적이다. 따라서 유체표면에서의 압력은

$$P_o = P_i + \int MdH + \frac{1}{2\mu_o} M_n^2 \quad (2)$$

이다. 여기서 P_o 와 M_n 는 각각 압력과 자화의 법선 성분이다. 표면경계에서 (1)과 (2)는 다음에 의해 모두 만족된다.

$$C = P_o - 2 \int MdH + \rho gh - \frac{1}{2\mu_o} M_n^2 \quad (3)$$

이 방정식의 동력상수 'C'는 자성유체의 곡선을 결정한다. 이 알고리즘의 constraint는 자성유체의 부피이다. 이 알고리즘을 이용하여 실제 자성유체와 비교하기 위하여 Fig. 4와 같은 실험을 통하여 검증하였다.

2.3 MFLP 관내 자성유체의 형상

2.2절에서 서술한 수치적 알고리즘을 MFLP에 적용하여 관내에서의 자성유체가 외부자기장에 반응한 형상을 해석하고, 별도의 실험 장치를 통하여 확인하였다. Fig. 5는 별도로 제작한 실험 장치로 외부에서 자성유체의 형상을 확인할 수 있도록 제작한 것으로 외부에서 자기장을 인가하여 자성유체가 반응한 사진이다.



(a) Computed shape (b) Photographed shape
Fig. 4 Shapes of the magnetic fluid under the magnetic field and gravitation

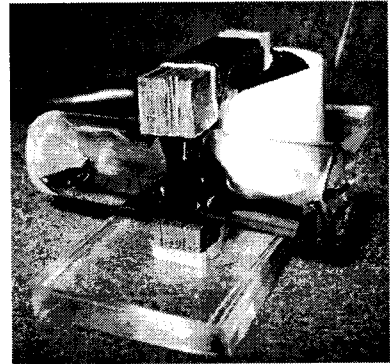
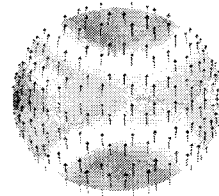
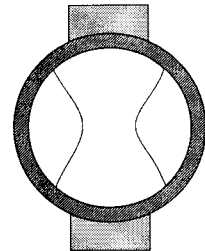


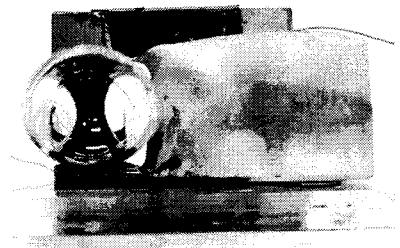
Fig. 5 Shape of Magnetic Fluid.



(a) 3D analysis of F.E.M

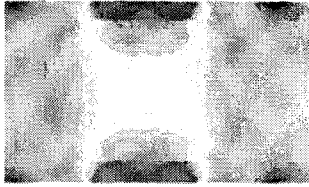


(b) Computed of numerical algorithm

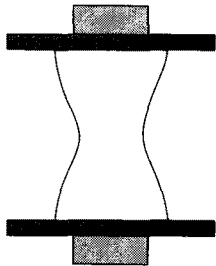


(c) Photographed

Fig. 6 Front view of the magnetic fluid inside the MFLP



(a) 3D analysis of F.E.M

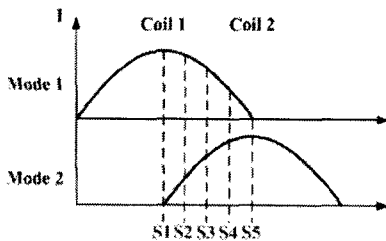


(b) Computed of numerical algorithm

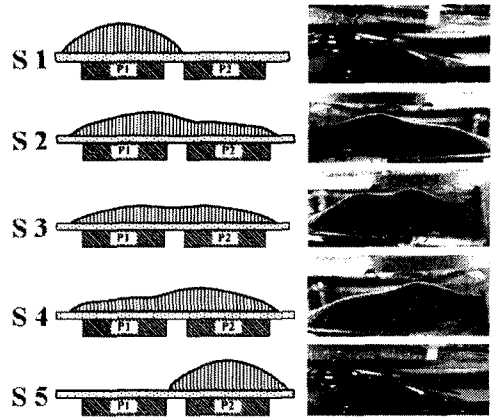


(c) Photographed

Fig. 7 Side view of the magnetic fluid inside the MFLP



(a) Currents at each moment
($t=S1, S2, S3, S4, S5$)



(b) Forming Shape of the Magnetic Fluid

Fig. 8 Computed and Measured Forming Shapes at each moment in AC driving

2.4 결과

Fig. 6과 7은 자기적 요크가 관의 외부에 한 개만 존재할 경우의 자성유체의 형상이다. 2.2절에서 서술한 수치적 알고리즘을 통하여 자성유체의 형상을 해석한 것으로 Fig. 6(b), 7(b), 8(b)이다. 그리고 자기 요크에서 의해 발생하는 자기장의 분포를 Fig. 6(a), 7(a)에 나타내었다. Fig. 6과 7을 통하여 자기장의 분포와 유사하게 자성유체의 형태가 만들어 지는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 6(c), 7(c)를 통하여 실제 자성유체의 형상으로 수치적 알고리즘과 거의 일치함을 확인할 수 있다. MFLP는 여러 개의 자기적 요크가 존재하며 전류와 자기장에 의해 서로 영향을 받기도 주기도 한다. 따라서 이에 의해 자성유체의 형상이 변화하게 되는데, 이러한 자성유체의 형상을 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8(a)는 MFLP에 공급한 전류이고, (b)는 이때의 자성유체의 형상이다.

3. 결 론

자성유체의 자기적 성질을 이용하여 제작한 MFLP의 성능을 결정하는 중요한 요소는 외부에서 인가하는 자기장이며, 인가된 자기장에 의하여 자성유체의 형상을 결정하게 된다. 본 논문에서는 MFLP의 성능을 정확히 확인하기 위하여 자성유체의 형상을 해석하는 수치적 알고리즘을 MFLP에 적용하여 해석한 자료와 실제 자료를 비교하였으며, 거의 일치함을 확인하였다. 앞으로 수치적 알고리즘을 통하여 펌프의 성능을 향상시키기 위한 해석과 유연한 운전 방식 개발이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] G.S.Park, D.H.Kim, S.Y.Hahn and K.S.Lee, "Numerical algorithm for analyzing the magnetic fluid seals.", IEEE Trans.Magn. Vol.30, pp. 3351-3354, Sept.1994
- [2] G. S. Park and S. H. Park, "Determination of the Curvature of the Magnetic Fluid under the External Forces", IEEE Trans. Magn., vol. 38, no. 2, pp. 957-960, March 2002
- [3] Gwan Soo Park, Kang Seo, "A Study on the Pumping Forces of the Magnetic Fluid Linear Pump" IEEE Trans. Magn., vol. 39, no. 3, pp. 1468-1471, May 2003