

자성유체를 이용한 Linear Pump의 설계와 제작

박관수, 박상호 (한국해양대학교)

Design of Magnetic Fluid Linear Pump

Gwan Soo Park and Sang Ho Park (Korea Maritime University)

Abstract - In this paper, the magnetic fluid linear pump is designed. Inside the small tube, magnetic fluid is shielded with thin rubber protector. The magnetic fluid activated by traveling pulses of magnetic field drags the water inside the pump. The iterative algorithm for the shape of magnetic fluid is presented by using nonlinear finite element method and Navier-Stokes equations. The computed curvature of fluid under the magnetic field and the gravitational force is agreed well with photograph image. The dimension and electric configurations of the magnetic linear pump are optimized and the results are compared with measurements.

1. 서 론

자성유체는 액체이므로, 외부의 힘에 의해서 이동한다. 자성유체는 또한 외부의 힘으로부터 유지시킬만한 세기의 자기장내에서 자기장의 힘을 받아서 자기장의 모양처럼 모이게 된다. 이러한 매우 독특한 성질은 다양한 형태의 actuator나 센서[1-4]에 응용될 수 있다. 대표적인 응용 예로서는 구동부의 sealing system, magnetic clutch, 유성필립 운할체를 바른 베어링등이다.

이러한 연구를 통해, 자성유체에 의해 작동하는 선형 펌프를 개발했다. 그림 1 처럼 가는 튜브관내에, 자성유체를 얇은 고무 막으로 차폐시킨다. 자기장의 이동 필스에 의해서 자성유체는 관내의 액체를 이동시킨다.

이장치는 많은 장점을 가지고 있다. 구조가 매우 간단하며 전동장치, 기어장치가 없어도 된다. 그래서 이 펌프는 작은 사이즈로 만들 수도 있다. 예를 들어, 이 장치를 인슐린 펌프로 이용한다면, 단지 펄스 간격만을 변화시켜 주입속도를 조절할 수 있다. 또한 펄스크기를 변화시킴으로 주입저항력을 조절하기 위한 주입력을 조절할 수도 있다. 이 장치는 상대적으로 관성이 작으므로 pumping 응답은 고속에서도 가능하다. 또한 펄스 형태를 조절하므로 주입을 마치 ON/OFF 스위치처럼 멈추게 할 수 있다. 만일 펄스 시퀀스를 변화시킬 수도 있다.

펌프를 만들고 다양한 경우에서의 주입을 측정하여 보

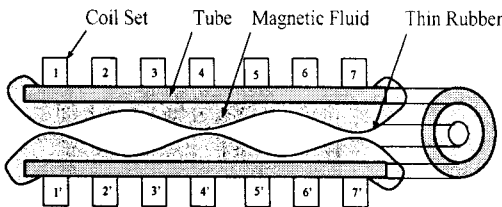


그림1 자성유체를 이용한 선형펌프의 구조

았다. 자성유체의 모습의 interactive algorithm은 Navier-Stokes 방정식과 비선형 유한요소법을 사용함으로써 제시되었다. 자성유체를 이용한 linear pump의 치수는 전기적인 배치와 잘 구성되었고, 그 결과는 치수와 비교되어있다.

2. 본 론

2.1 linear pump의 구조와 동작

그림 1은 linear pump의 구조를 보여준다. 튜브안에 자성유체를 얇은 고무 막으로 차폐시킨다. 이때 차폐 고무 막은 자성유체의 흐름을 방해하지 않을 정도로 부드러워야 하고, 찢어지지 않을 만큼 튼튼해야 한다. 그리고 7개의 코일에 자기장을 발생시킨다. 유체의 추진운동에는 세 가지 다른 형태가 있다. 그림 2에서 보여진 바와 같이 형식 1에서는 코일 1-4-7이, 형식 2에서는 코일 2-5가 형식 3에서는 3-6이 작동된다. 형식 1-2-3의 순서의 흐름은 추진 운동을 하게 하고 그림 3에서 처럼 1-3-2순서의 흐름은 pumping의 방향을 역으로 변화시킨다. 각 모드에서의 펄스간격을 유출속도로 제한하고, 각 코일에서 펄스의 크기는 유출하는 유출압을 결정한다. 흐름을 막기 위해서는 코일 4-5를 그림 4와 같이 전류를 흘릴 경우 switch로 구동된다.

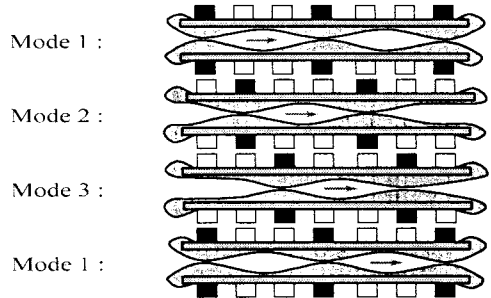


그림2 forward pumping of linear pump

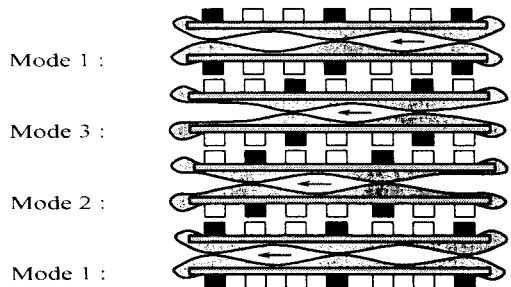


그림 3 backward pumping of linear pump

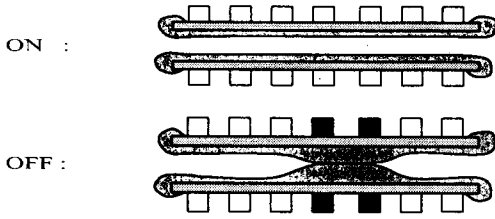


그림4 ON/OFF SWITCH

2.2 유체의 형태를 결정하는 Numerical Algorithm

자성유체를 사용한 시스템에서의 문제점은 자성유체의 형태가 자기장의 분포와 자기장의 변화에 영향을 미친다는 것이다. 다시 말해, 자성유체의 형태가 자기장의 분포에 영향을 미친다는 것이다. 바꾸어서 자기장의 변화가 자성유체의 형태를 결정짓는다는 것이다. 그래서 자기장 방정식과 유체역학 방정식이 말하자면 각각 Poisson 방정식과 Navier-Stokes 방정식이 자성유체의 표면 평형상태를 만족시키기 위해 동시에 그 방정식이 풀어져야 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. 그래서 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 은 각각 입력과 자화의 법선

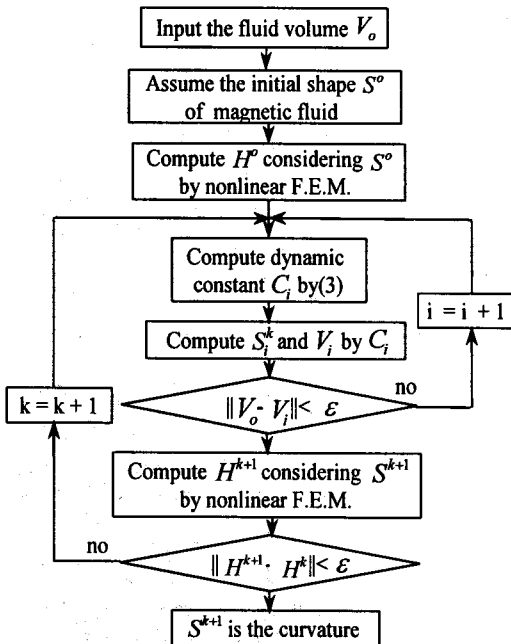


그림5 Numerical algorithm for magnetic fluid shape

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 곡선 S 를 결정한다. 이 알고리즘의 constraint는 자성유체의 부피이다. 그림 6은 한가지 예를 보여준다. mode2에서 'C'에 따라 그림 6에서는 평형상태의 몇 개의 일 예가 있다. 자성유체의 체적을 만족하는 한 개의 곡선이 마지막 형태이다.

알고리즘을 증명하기 위해 평평한 표면 위에 하나의 코일에 의해 존재하는 자성유체의 모습이 컴퓨터에 의해 구현되고, 측정되었다.(사진) 그림 7에서 보여진 바와 같이 컴퓨터의 구현된 모습과 사진이 찍힌 모습이 잘 일치한다.

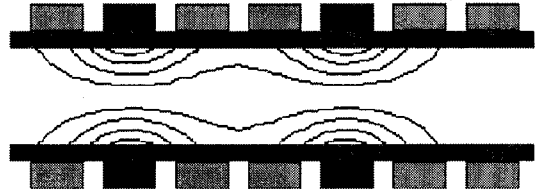
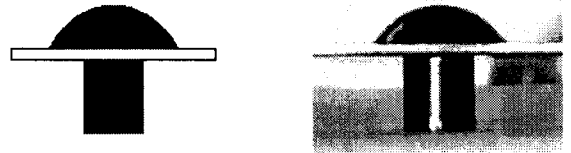


그림7 One example of the shape of the magnetic fluid



(a) computed shape (b) Photographed shape

그림6 The shapes of magnetic fluid under the magnetic field and gravitation

2.3 액체의 pumping

자성유체 선형펌프의 길이는 92mm, 직경은 10mm, 튜브 관의 두께는 1.2mm이다 하나의 감은 코일의 횡수는 1000번이고 coil의 넓이는 5mm, 높이는 15mm이다. 유체의 포화자화는 16kA/m이다.

2.3.1 최적의 코일거리...

유체 부피 V 에서 가장 중요한 것은 이웃하는 코일간의 자기장이다. 각각의 경우 상태에서 이웃하는 코일에 의한 자기장은 그림 6에서 보는 바와 같이 자성유체를 만들 수 있다. 그림에서 'a'는 자성유체의 높이이고, 'd'

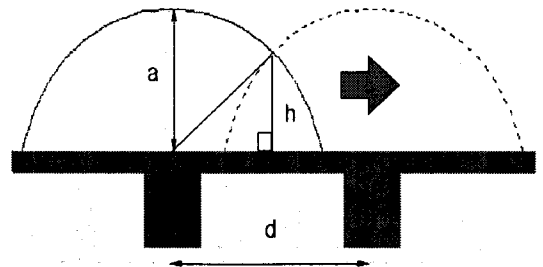


그림8 Dragging magnetic fluid by the neighboring coil field

는 이웃하는 코일 사이의 거리, 'h'는 이웃하는 코일 사이에 자성유체윤곽이 증폭된 높이이다. V는 d에 비례하나, 코일간격이 너무 멀어지면, 유체는 자기장내에 도달하지 못하게 된다. 그래서, 최적 값이 하나 있다. 수치적인 결과는 실험 값과 일치하며 a와 d의 최적의 비율은 약 1.2라는 사실을 보여준다. 다시 말해서 이웃하는 코일사이의 최적코일간격은 자성유체의 높이보다 20%길다는 것이다.

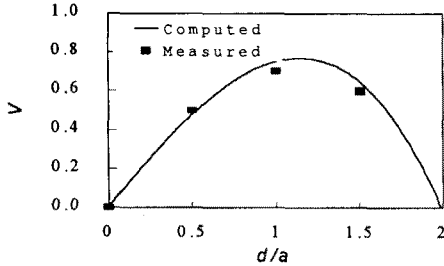


그림9 Optimum distance between neighboring coils

2.3.1 자성유체의 최적의 양

만일 자성유체의 양이 너무 작다면, 그 유체는 끌 힘이 없어진다. 또 만일 유체의 양이 너무 많다면 자성유체의 형태는 높이가 증가하는 대신 그냥 퍼져버린다. 그래서 역시 자성유체의 최적의 양도 있다. 그림 8에서의 computer 출력된, 그리고 실험 관찰된 결과는 같은 것을 보여준다. 그림에서는 고무 막의 장력 때문에 측정값이 컴퓨터의 출력 값보다 더 작게 나왔다.

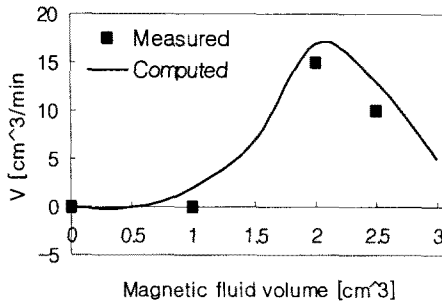


그림10 Optimum volume of magnetic fluid

2.3.3 최적의 driving field

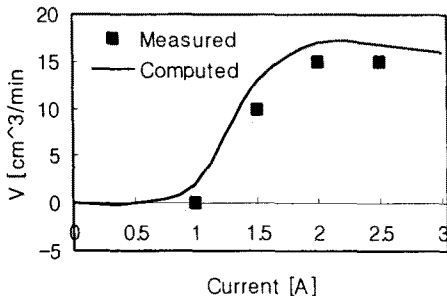


그림11 Optimum driving field

자기장이 너무 작으면 자성유체를 움직일 수 없다. 그러나 일정값 이상의 자기장에서는 자성유체가 자기적으로 포화되어 버린다. 그래서 여기에도 역시 자계의 최적 값이 있다. 그림 9는 driving 코일에서 전류를 2A이상 아무리 흘려도 소용이 없음을 보여준다.

3. 결 론

위 논문에서는 자성유체에 의해 움직이는 선형펌프가 설계되었다. 이 선형 펌프의 구조와 동작이 설명되었다. 자성유체의 형태와 상호 작용하는 알고리즘의 수치적인 결과는 사전에 의한 측정결과와 잘 일치하였다. 자성유체 높이와 이웃하는 코일간격의 최적의 치수비는 컴퓨터로 출력되고 측정된 값으로 1.2이다. 자성유체의 최적 부피와 코일전류의 최적 자계는 컴퓨터로 출력되었고, 측정치와 일치하였다.

포화화학과 자성유체의 점성에 대한 연구는 이 장치의 성능을 증가시킬 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] S. Taketomi and S. Chikazumi, *Magnetic Fluid*, Nikka Kogyo Simbunsha, 1987
- [2] J. A. Lopez-Perez, M. A. Lopez-Quintela, J. Mira and J. Rivas, *Preparation of magnetic fluids with particles obtained in microemulsions*, *IEEE Trans. Mag.*, vol. 33, no. 5, pp. 4359-4362, September 1997.
- [3] M. T. Thompson, *Simple models and measurements of magnetically induced heating effects in ferromagnetic fluids* *IEEE Trans. Mag.*, vol. 34, no. 5, pp. 3755-3764, September 1998.
- [4] S. X. Chen, M. A. Jabbar, Q. D. Zhang and Z. J. Liu, *New Challenge: Electromagnetic design of BLDC motors for high speed fluid film bearing spindles used in hard disk drives*, *IEEE Trans. Mag.*, vol. 32, no. 5, pp. 3854-3856, September 1996
- [5] C. A. Borghi, A. Cristofolini and M. Fabbri, *Study of the design model of a liquid metal induction pump*, *IEEE Trans. Mag.*, vol. 34, no. 5, pp. 2956-2959, September 1998.
- [6] G. S. Park, D. H. Kim, S. Y. Hahn and K. S. Lee, *Numerical algorithm for analyzing the magnetic fluid seals*, *IEEE Trans. Mag.*, vol. 30, no. 5, pp3351-3354, September 1994.