

## Permalloy Yoke를 이용한 Magnetic Fluid Linear Pump의 소형화 설계

서강, 박관수  
한국해양대학교 전기 공학과

### Design of Magnetic Fluid Linear Pump Using Permalloy Yoke

Kang Seo and Gwan Soo Park  
Dept. Electrical engineering, Korea Maritime University

**Abstract** - 이전에 개발된 Magnetic Fluid Linear Pump는 자기 회로가 솔레노이드 형식으로 자기회로의 대부분이 공극이기 때문에 자기저항이 크다. 이런 문제로 인해서 Linear Pump의 자성유체에 영향을 주는 자기장이 크지 않고 펌핑 압력은 높지 않다. 따라서 본 논문에서는 Permalloy Yoke를 이용하여 Linear Pump를 소형화하고 자기 저항을 최소화함으로써 펌핑 압력을 향상시켰다. 또한 Linear Pump의 3D해석을 통하여 Yoke의 폭, 두께, 간격에 대한 최적 크기를 계산하였다.

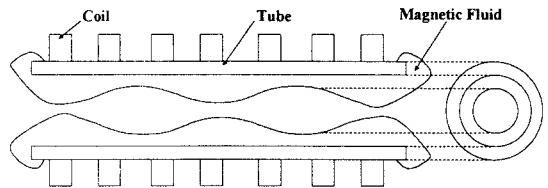


그림 1. 선형 펌프의 이전 설계.

#### 1. 서론

자성유체는 자성체의 성질을 갖는 액체이다. 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. 이전에 자성유체의 특징을 이용하여 의료용 기기등에 적용가능한 솔레노이드형 Linear Pump를 개발하였다. 이 Pump는 자기장으로 펌핑의 압력과 속도, 방향을 조절할 수 있다. 그러나 자기 회로가 솔레노이드 형식으로써 높은 자기 저항이 존재하기 때문에 펌핑 압력이 작고, Pump의 부피 또한 크다. 따라서 본 논문에서는 Linear Pump를 소형화하고 Permalloy Yoke를 이용하여 자기저항을 최소화함으로써 펌핑 압력을 향상시켰다. 또한 Permalloy Yoke의 폭, 두께, Yoke 사이의 간격에 대한 최적화 설계를 하였다.

#### 2. Linear Pump의 새로운 구조

그림1은 기존에 개발되었던 Linear Pump의 구조를 나타낸다. 그림1과 같은 Linear Pump는 솔레노이드 형식으로 되어 있어 자기 회로의 대부분이 공극이기 때문에 자기저항이 커진다. 따라서 펌핑에 중요한 요소인 자기장의 세기는 코일에 여자되는 전류에 비례하여 증가하지 않는다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 그림 2와 같이 Permalloy Yoke를 이용한 Linear Pump를 설계하였다. 코일이 감긴 Yoke의 극 사이에 판이 있다. 이전 모델과는 달리 요크를 통하여 자기회로를 형성하게 된다. 표1은 이전 모델과 새로운 모델을 비교한 것이다.

표 1. 이전 모델과 새 모델 비교.

	Previous Model	New Model
Device Size	12,560[mm]	4,570[mm]
Weight	72[g]	45[g]
Forming Height	2.9[mm]	4.2[mm]

Yoke Tube

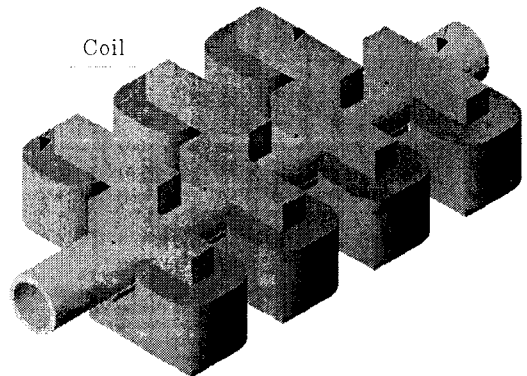


그림 2. Permalloy Yoke를 이용한 선형 펌프.

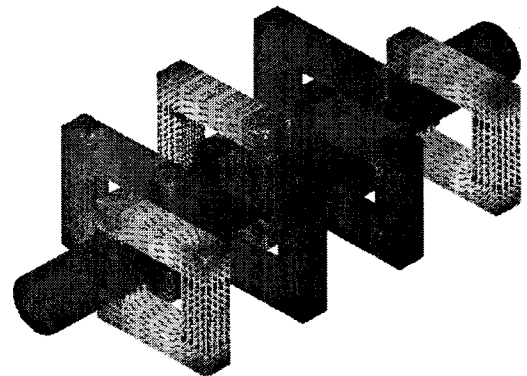


그림 3. 선형 펌프의 3D 해석.  
(1,4,7번 Yoke 자화)

### 3. 유체의 형태

#### 3.1 Numerical Algorithm

자성유체를 사용한 시스템에서는 자성 유체의 형태에 의해 자기장의 분포와 자기장의 세기가 변화하는 문제점을 가지고 있다. 즉, 자성유체의 형태 변화에 의해 자기장의 분포도 변화한다. 또한 자기장의 변화가 자성유체의 형태를 결정한다. 따라서 자기장과 자성유체는 상호작용을 한다. 따라서 자기장 방정식(Poisson 방정식)과 유체역학 방정식(Navier-Stokes 방정식)이 자성유체의 표면 평형상태를 만족시키기 위해서 계산되어야 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  $P_i$ ,  $M$ ,  $H$ ,  $\rho$ ,  $g$ ,  $h$ 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  $M_n$ 은 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.

#### 3.2 자성유체의 형태

자성유체의 형태는 자기장의 크기와 분포에 따라 나타난다. 자기장의 크기와 분포가 Pump의 펌핑 압력이 된다. Numerical Algorithm을 통하여 계산된 값을 통하여 자성유체의 형태를 결정하게 된다. Numerical Algorithm으로 여러 가지의 평형상태가 계산된다. 여기에 자성유체의 국부적인 자기력 밀도를 이용하여 높이와 형태를 계산한다. 또한 자성유체의 형태는 자성유체의 양에 의해서도 결정된다.

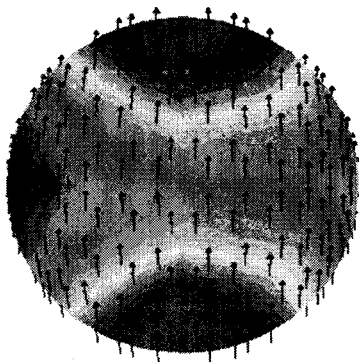


그림 4. 선형 펌프의 정면에서의 자속 분포.

그림4는 선형 펌프의 튜브내 정면에서의 자속분포를 나타낸 것이다. 그림5는 선형 펌프의 튜브내 옆면에서의 자속 분포와 각 Yoke가 자화되었을때의 펌핑 방향과 동작을 나타낸다. 그림6은 튜브관을 따라 1,4,7번의 Yoke를 자화시켜 펌핑할 경우 각 성분별 자속 밀도이다. 펌핑 방향의 자계와 Yoke와의 수평 방향의 자계는 수직 방향의 자계에 비해 아주 작다. 따라서 자성유체의 형태와 펌핑 압력은 수직 방향의 자계에 의해 결정된다.



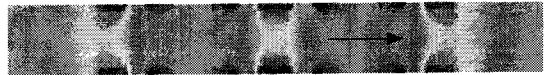
(a) 1,4,7번 Yoke 자화



(b) 2,5번 Yoke 자화



(c) 3,6번 Yoke 자화



(d) 1,4,7번 Yoke 자화

그림 5. 선형 펌프의 옆면에서의 자속 분포

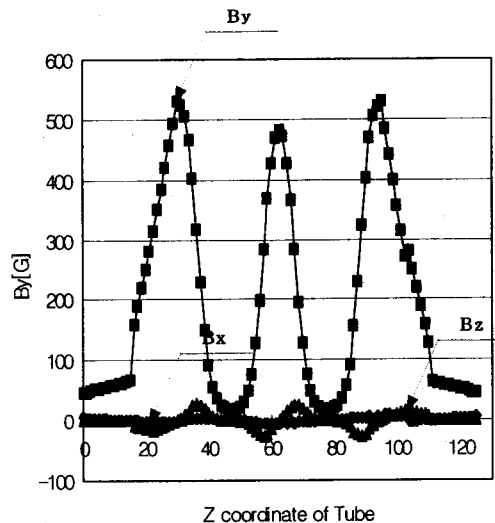


그림 6. 튜브 내의 자속 밀도.

#### 4. Yoke 폭, 두께와 간격의 최적 설계

Yoke의 폭과 두께에 따라 자기장의 크기가 변화하게 된다. 또한 Yoke의 간격이 가깝게 되면 코일이 여자되지 않은 Yoke에서의 자기 유도현상이 발생하게 된다. 자기장의 세기와 자속 밀도 분포에 의해 자성유체의 형태와 펌핑 압력이 영향을 받게된다. 따라서 Yoke의 폭, 두께와 간격에 따른 최적 설계가 필요하다.

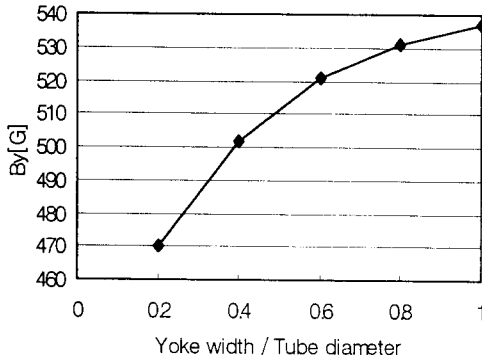


그림 7. 자속 밀도에 따른 Yoke 폭의 최적화.

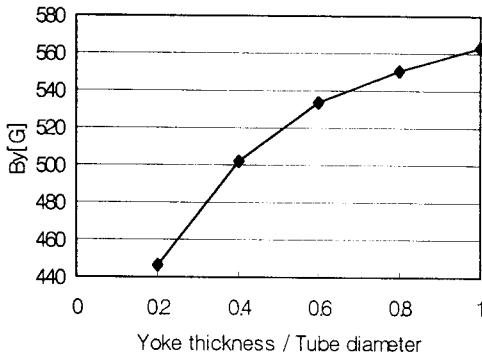


그림 8. 자속 밀도에 따른 Yoke 두께의 최적화.

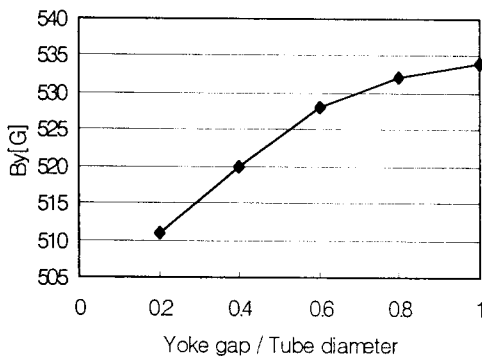


그림 9. 자속 밀도에 따른 Yoke 간격의 최적화.

그림7은 튜브와 Yoke 폭의 비에 따른 자속밀도의 크기를 나타낸 것이다. 그림8은 튜브와 Yoke 두께의 비에 따른 자속 밀도의 크기를 나타낸 것이다. 그림9는 튜브와 Yoke 간격의 비에 따른 자속 밀도의 크기를 나타낸 것이다. Yoke의 폭, 두께와 간격은 튜브와의 비율이 증가함에 따라 증가하지만 선형적이지 않다. 따라서 이 결과를 통하여 Yoke의 적절한 폭, 두께와 간격은 펌프의 소형화와 자속밀도의 크기에 중점을 두고 고려하여 비율이 0.6에서 최적화된다.

#### 5. 결론

펌핑 압력은 자성 유체에 작용하는 자기장의 크기에 의해 결정된다. 본 논문에서는 Permalloy Yoke를 이용하여 Linear Pump를 설계하였다. 첫 번째로 공기로 형성되어 있던 자기회로를 Permalloy Yoke로 형성함으로써 자기저항을 줄임으로써 Linear Pump의 전체적인 크기를 줄였다. 두 번째로 관내의 자성 유체의 형태에 영향을 주는 자기장의 크기를 증가시킴으로써 Linear Pump의 펌핑 압력을 증가시켰다. 이에 따라 3D 해석을 통해 자기장의 크기와 분포에 대해 해석하였고, Yoke의 폭과 두께, 간격을 최적화 설계하였다. 앞으로 Magnetic Fluid Linear Pump를 Yoke의 형태 변화, 여자 전류의 변화, 그리고 비선형에서의 자기장의 크기와 분포 등을 해석하고 설계하겠다.

#### 감사의 글

이 논문은 2000년도 한국 학술진흥재단의 선도 연구 사업에 의하여 연구되었음 (KRF-2000-041-E00151)

#### (참고 문헌)

- [1] S. Taketomi and S. Chikazumi, "Magnetic Fluid", Nikka Kogyo Simbunsha, 1987
- [2] D. Verotta, "A general solution for nonparametric control of a linear system using computer controlled infusion pumps." IEEE Trans.Magn. Vol.46, pp.44-50, Jan.1999
- [3] M.J.Daoura and D.R.Meldrum, "Precise automated control of fluid volumes inside glass capillaries." J.Microelectromechan. Syst. Vol.8, No.1, pp.71-77 March.1999
- [4] C.A.Borghgi, A. Cristofolini and M.Fabbri, "Study of the design model of a liquid metal induction pump.", IEEE Trans.Magn. Vol.34, No.5, pp.2956-2959, Sept.1998
- [5] G.S.Park and S.H.Park, "Design of magnetic fluid linear pump.", IEEE Trans.Magn. Vol.35 pp. 4058-4060, Sept.1999
- [6] 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
- [7] G.S.Park and S.H.Park, "New structure of the Magnetic fluid linear pump.", IEEE Trans.Magn. Vol. 36, No.5, pp.3709-3711, Sept.2000