

나노 인덴터용 미소 추력 보이스코일 모터의 최적 설계

論 文
53B-2-2

Optimal Design of Extremely Small Thrust VCM for Nanoindenter

趙柱熙* · 李璉雨** · 李喆圭** · 權丙一***
(Ju-Hee Cho · Jin-Woo Lee · Chul-Kyu Lee · Byung-Il Kwon)

Abstract - In this paper, we propose the shape of extremely small thrust VCM for application of the Nanoindenter, which enables control of very small force and displacement. We performed optimization of the VCM shape using conjugated gradient method. And the purposes of optimization are the minimization of the permanent magnet size for the efficient systems, minimization of deviation of flux density from the air gap for operate on regular thrust, and a linearization of thrust for a good control characteristic. The finite element method is used for characteristic analysis. The node moving method is used to redundant changes of design variables. As a result, the VCM produces a very small force by the difference of flux density of lower part from higher one. Also, in a wide range of current (0[A]-1[A]), the VCM produces linear driving thrust by saturating the magnetic circuit path and operate on regular thrust by minimizing deviation of flux density of the air gap.

Key Words : Voice Coil Motor(VCM), optimal design, Nanoindenter, extremely small thrust

1. 서 론

보이스코일 모터(Voice Coil Motor : VCM)는 빠른 응답 특장으로 직선운동에 유리하며 비교적 긴 행정 거리로 소형화 및 정밀 위치제어에 유리한 장점을 가지고 있다. 보이스코일 모터의 연구로는 하드디스크나 광 픽업 구동장치, 그리고 LOA(Linear Oscillating Actuator)로 응용하기 위한 연구가 주를 이루어져 왔다[1][2]. 하지만 극미소 하중 및 변위 제어용 구동기로서의 연구는 미비한 상태이다. 또한, 압전 구동기(Piezoelectric actuator)를 이용하여 극미소 하중 및 변위 제어에 적용한 연구사례는 있으나 주로 극미세 변위 제어에 초점을 두고 있다[3-5]. 압전 구동기의 경우, 나노급의 초정밀 위치제어가 용이하여 널리 이용되고 있으나 극미세 구동력 제어를 위해서는 복잡한 회로 시스템이 요구되는 단점이 있다.

본 논문에서는 역학적 물성치를 정밀하게 측정 및 분석하기 위하여 시료에 인가하는 하중과 변위를 서브 마이크로 또는 나노 스케일의 분해능으로 미세한 조절이 필수적인 나노 인덴터에 적용을 목적으로 하는 보이스코일 모터의 최적 설계를 수행하였다. 우선 미소추력 발생을 위하여 위, 아래 두 개의 공극을 두어 두 공극의 자속밀도차로 동작하는 미

소 추력 보이스코일 모터의 형상을 제안하였다. 여기서 공극 자속밀도의 차는 제안 모델에서 가장 중요한 설계 변수로 형상 최적화를 마친 후 영구자석의 위치를 변화함으로써 원하는 자속밀도의 차를 얻을 수 있다. 최적화 기법은 최급강화법을 적용하였고 유한요소 해석을 통한 최적 설계시 설계변수의 변화에 따라 특성 해석이 반복되어야 한다. 따라서 보이스코일 모터의 형상변화에 따라 선, 후처리 과정을 반복하여야 한다. 이러한 과정을 단순화하기 위하여 절점 이동기법을 사용하였다[6]. 최적 설계과정을 거쳐 효율적인 자기 시스템을 설계하였고 자기회로의 경로인 요오크를 포화시킴으로써 넓은 전류범위(0-1A)에서 추력의 선형성을 향상 시켰다[7]. 또한 공극에서 자속밀도의 편차를 최소화하여 일정 추력으로 동작하는 보이스코일 모터의 최적 설계를 수행하였다.

2. 미소 추력 보이스코일 모터의 형상 제안 및 특성

2.1 미소 추력 보이스코일 모터의 형상 제안

그림 1은 보이스코일 모터의 기존모델과 제안모델에 대하여 보여주고 있다[8]. 보이스코일 모터는 영구자석을 포함하는 고정자와 보빈에 코일을 감은 가동자로 구성된다. 동작 원리는 자계속에 전류가 흐를 때 추력이 발생하는 “플레밍의 왼손법칙”을 적용한 것이다. 이때 추력은 식(1)과 같은 흐르는 전류량에 비례하여 추력이 발생하고 전류의 방향이 바뀌면 추력의 방향도 역시 바뀌게 된다.

$$F = NBil [N] \quad (1)$$

* 正 會 員 : KOMOTEK 모터팀
** 正 會 員 : 漢陽大 電子電氣制御計測工學科 博士課程
*** 正 會 員 : 漢陽大 電氣工學科 教授 · 工博
接受日字 : 2003年 3月 17日
最終完了 : 2003年 12月 14日

여기서 N : 코일의 턴수, B : 공극 자속밀도 [T], i : 입력전류 [A], l : 코일의 축방향 유효길이 [m]이다. 코일의 축방향 유효길이는 실제 공극 자속에서 추력을 발생시키는 가동코일로 제안된 모델에서는 모터의 축방향 길이에 2 배가된다. 따라서 미소추력을 발생하기 위해서는 코일의 턴수 N 과 코일의 축방향 유효길이 l 은 제작이 용이한 크기로 제한이 되므로 입력전류 i 나 공극 자속밀도 B 의 관계로 미소 추력을 발생하여야 한다. 또한 전류를 1mA 이하로 제어하는 것은 상당히 어려운 일이다. 따라서 나노인텐터에 필요한 서브 마이크로 수준의 추력을 발생하기 위하여 최소 $1 \mu\text{N}$ 의 추력 발생을 목표로 하여 새로운 형상의 보이스코일 모터를 제안하였다. 우선 전류를 1mA로 제어할 때 코일의 턴수를 10턴으로 결정하고 코일의 축방향 유효길이를 10mm로 결정한다면 보이스코일 모터에서 공극 자속밀도는 0.01T가 되어야 최소 $1 \mu\text{N}$ 의 추력을 발생할 수 있다. 하지만 그림 1(a)와 같은 기존모델들이 공극 자속밀도가 0.01T로 동작한다면 넓은 전류 영역에서 추력의 선형성을 유지할 수 없고 효율적인 자기회로를 구성할 수 없다. 따라서 그림 1의 (b)와 같은 구조로 두 개의 공극에서 발생하는 자속밀도는 크지만 영구자석의 위치를 변화시켜 아래, 위 공극에서 자속밀도의 차를 0.01T로 만들어 미소 추력을 발생하는 보이스코일 모터의 형상을 제안하였다. 제안 모델의 추력은 식(2)와 같다.

$$F = N(B_1 - B_2) il [N] \quad (2)$$

여기서 B_1 : 위쪽 공극 자속밀도[T], B_2 : 아래쪽 공극 자속밀도[T] 이다.

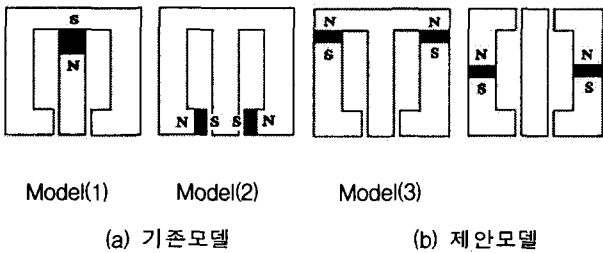


그림 1 보이스코일 모터의 기존모델과 제안 모델
Fig. 1 Existent models and proposed model of the VCM

2.2 제안한 보이스코일 모터의 특징

보이스코일 모터의 추력은 식(1)과 같이 가동자인 코일에 흐르는 전류와 자속밀도에 비례하게 된다. 코일에 흐르는 전류에 의해 발생하는 자속은 영구자석에 의한 주 자속보다 상대적으로 아주 작은 크기이므로 식(1)이 성립할 수 있다. 하지만 전류가 계속적으로 증가하면 전류에 의한 자속 또한 증가하여 입력전류에 대한 추력은 비례관계를 성립하지 않

는다. 따라서 전류에 대한 추력의 비선형을 만드는 원인이 된다.

본 논문에서는 제어특성의 향상을 위하여 전류에 대한 추력의 비선형성을 최소화하는 방법으로 자기 회로의 경로인 요오크를 포화시킴으로써 전류에 대한 추력의 비선형을 최소화하였다. 전류에 의한 자속량을 줄이기 위하여 요오크를 포화시키면 요오크의 투자율은 작아지고 발생하는 자속량은 최소가 된다[7][9].

공극의 자속밀도는 보이스코일 모터의 추력과 비례하기 때문에 중요한 요소이다. 그림 2와 같이 공극의 y축으로의 공극 자속밀도는 거의 일정하다. 하지만 본 논문에서 제안한 보이스코일 모터의 추력은 작은 자속밀도의 차(0.01T)를 이용하기 때문에 작은 자속밀도의 편차도 추력에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 작은 자속밀도의 편차도 최소화할 필요가 있다.

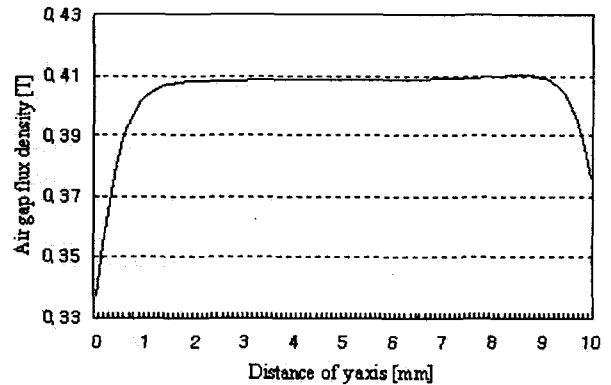
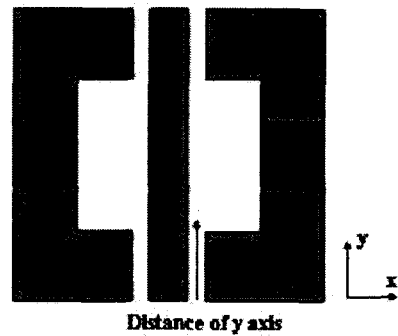


그림 2 y축 거리에 따른 공극에서의 자속밀도 편차
Fig. 2 Deviation of air gap flux density according to the distance of y axis

공극에서의 자속밀도 편차는 그림 3으로 설명할 수 있다. 그림 3에서 Φ_1 : 자속량(Path 1) [Wb], Φ_2 : 자속량(Path 2) [Wb], 이고 공극 자속밀도의 편차는 Path 1과 Path 2에 의해 구해지는 자기저항이 다르기 때문에 발생한다. Path 1과 Path 2의 자속에 의한 자속 밀도는 식 (3), (4)와 같이 쓸 수 있다.

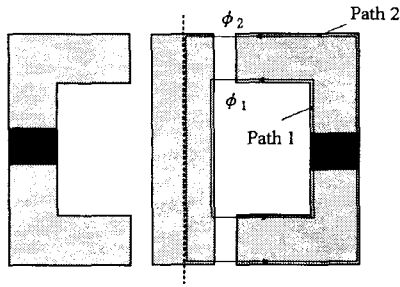


그림 3 자속의 Path에 따른 공극 자속밀도
Fig. 3 Air gap flux density according to the flux path

$$B_{path1} = \frac{F_m}{A(R_g + R_1)} \quad (3)$$

$$B_{path2} = \frac{F_m}{A(R_g + R_2)} \quad (4)$$

여기서 F_m : 영구자석에 의한 기자력 [A], A : 요오크의 면적 = 공극의 면적 [m²], R_g : 공극의 자기저항 [A/Wb], R_1 : 요오크의 자기저항(Path 1) [A/Wb], R_2 : 요오크의 자기저항(Path 2) [A/Wb]이다. Path 1으로 구할 수 있는 공극 자속밀도 B_{path1} 과 Path 2로 구할 수 있는 공극자속밀도 B_{path2} 가 같다면 자속밀도는 같지만 Path 1에서의 요오크의 자기저항 R_1 과 Path 2에서의 요오크의 자기저항 R_2 는 구조상 같아질 수 없으므로 공극 자속밀도 편차가 발생한다. 편차를 최소화하는 방법으로는 공극의 자기저항 R_g 를 크게 하여 Path 1, 2에서 요오크에서의 자기저항 R_1, R_2 의 영향을 상대적으로 줄이는 방법이 있으나 공극이 커지면 공극에서 자속 밀도가 작아지는 악 영향을 초래하므로 최적 설계가 요구된다.

3. 미소 추력 보이스코일 모터의 최적 설계

3.1 2차원 유한요소 해석

제인된 보이스코일 모터의 2차원 유한요소 해석을 위한 가정은 다음과 같다.

- ① z축 방향으로의 모든 물리적 현상은 동일하다.
- ② 해석영역에서 모든 전류와 자기벡터 포텐셜은 z축 성분만 존재한다.
- ③ 재료의 도전율은 등방성이며, 일정한 상수 값이다.
- ④ 재료의 투자율은 등방성이다.

보이스코일 모터의 자기회로를 2차원 모델로 완전히 표현할 수 있고, 높은 투자율의 재질을 사용함으로써 공극에서의 누설과 프링징은 작다고 할 수 있다. 또한 end turn부분의 누설과속은 작기 때문에 위와 같은 가정은 성립할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 2차원 유한 요소해석을 이용한 최적 설계를 수행하였다.

3.2 최적설계를 위한 목적함수 및 제약조건의 설정

최적 설계를 위하여 우선 최소화 하고자 하는 목적 함수를 설정하여야 한다. 최적설계 목적은 효율적인 자기시스템 설계를 위한 영구자석의 크기 최소화과 일정 추력으로 동작하기 위한 공극 자속밀도 편차의 최소화 그리고 제어특성의 향상을 위한 추력의 선형성을 목적으로 하였다. 이와 같은 다중 목적을 만족시키기 위한 목적 함수는 다음과 같다.

$$f(P) = \frac{1}{(B^2/V)^2} + B_{deviation} \quad (5)$$

여기서 B : 공극에서의 평균 자속밀도, V : 영구자석의 체적, $B_{deviation}$: 공극 자속밀도 편차이다. 여기서 B 에 제곱을 취해 B 의 변화량을 크게 하여 자기회로의 경로가 되는 요크를 포화시킴으로써 추력의 선형성을 향상시킨다. 그림 4는 보이스코일 모터의 설계변수를 보여주고 있다. 최적설계를 위하여 변수는 6개로 설정하였고, 전체시스템 크기의 제약을 위하여 식 (6), (7)과 같은 선형 제약 조건을 설정하였다. 선형 제약조건에 의해 전체 보이스코일 모터의 크기는 가로(50mm)×세로(50mm)로 제한된다. 또한 각 설계변수들의 제한 조건을 표 1에 제시하였다.

$$X(1) + X(2) + 2X(3) \leq 50 \quad (6)$$

$$2X(4) + 2X(5) + 2X(6) + 5 \leq 50 \quad (7)$$

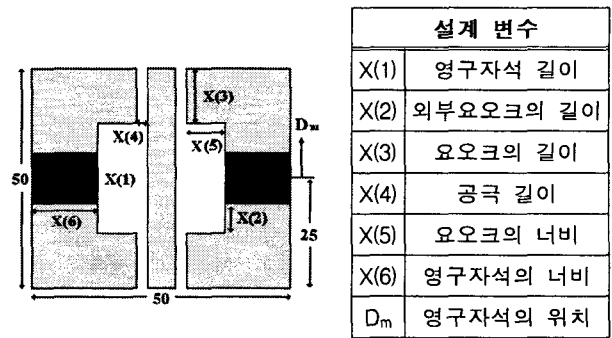


그림 4 보이스코일 모터의 설계변수
Fig. 4 Design variables for VCM

표 1 제한조건
Table 1 Constraints

설계변수	최소치	최대치
X(1)	10mm	20mm
X(2)	1mm	20mm
X(3)	9mm	20mm
X(4)	2mm	5mm
X(5)	5mm	20mm
X(6)	5mm	20mm

또한 가동자인 코일이 움직이는 영역인 요오크의 길이 $x(3)$ 는 코일이 일정한 추력을 발생시킬 수 있도록 일정한 자속밀도의 구간에서 동작하여야 한다. 따라서 코일의 영역이 2.5mm이므로 그림 5에서와 같이 최소 9mm의 요오크의 길이를 제한조건으로 하여 일정한 추력으로 코일이 움직일 수 있는 영역을 확보하였다. 영구자석이 위쪽으로 위치한 거리 D_m 은 최적 설계변수 $(x(1) \sim x(6))$ 가 최적화 과정을 거쳐 최적 값을 찾은 후 원하는 자속밀도 차를 갖도록 D_m 을 결정한다.

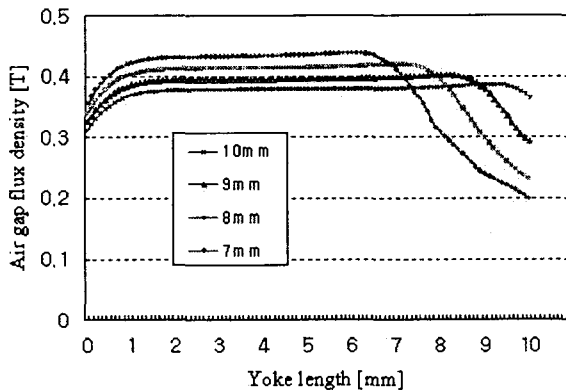


그림 5 요오크의 길이에 따른 공극 자속밀도
Fig. 5 Air gap flux density according to the yoke length

3.3 절점 이동기법

최적 설계시 설계변수의 변화에 따라 특성 해석이 반복되어야 한다. 전기기기의 형상 최적화의 경우 설계변수의 변화에 따라 형상이 계속적으로 바뀌게 되고 따라서 형상변화에 대한 선,후처리 과정을 반복하여야 한다. 이러한 문제를 단순화하기 위하여 그림 6과 같이 절점 이동기법을 사용하였다[6]. 절점 이동기법을 사용함으로써 처음의 해석대상에 대한 경계조건을 그대로 활용하고, 해석영역 전체의 요소절점 수가 변하지 않으므로 전체 시스템 matrix의 크기 및 재정렬을 하지 않고 형상변화를 고려할 수 있게 하였다. 그림 6의 확대된 부분은 영구자석영역 내의 총 절점수와 요소수는 동일하게 유지하고 절점의 위치만을 이동시켜 형상변화를 고려한 것이다.

3.4 최적설계 과정

그림 7에 최적설계 과정을 나타내었다. 목적함수와 제약조건이 설정된 후 초기치를 설정하여 2차원 유한 요소 해석을 수행하게 된다. 최강강하법에 의해 설계변수가 변화되고 절점이동을 통해 변화된 형상으로 수정된 후 목적함수의 변화량 $(\nabla f(P))$ 이 영이 될 때까지 유한요소 해석을 수행하게 된다. 최적화된 형상을 찾은 다음 두 공극의 자속밀도 차를 만들기 위하여 영구자석의 위치를 변화하여 영구자석의 위치를 결정함으로써 미소 추력을 발생하는 보이스코일 모터의 설계는 완료된다.

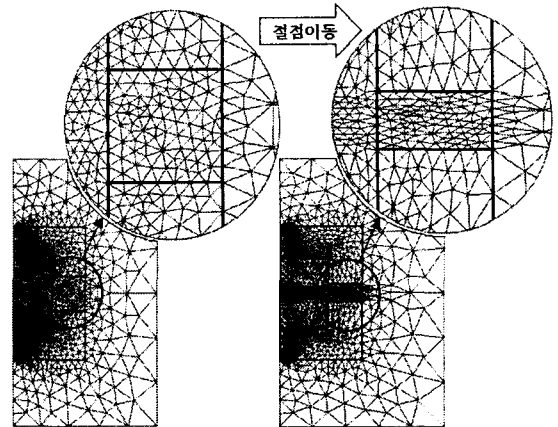


그림 6 설계변수 변화에 따른 절점이동 기법
Fig. 6 Node moving technique considering the variation of design variables

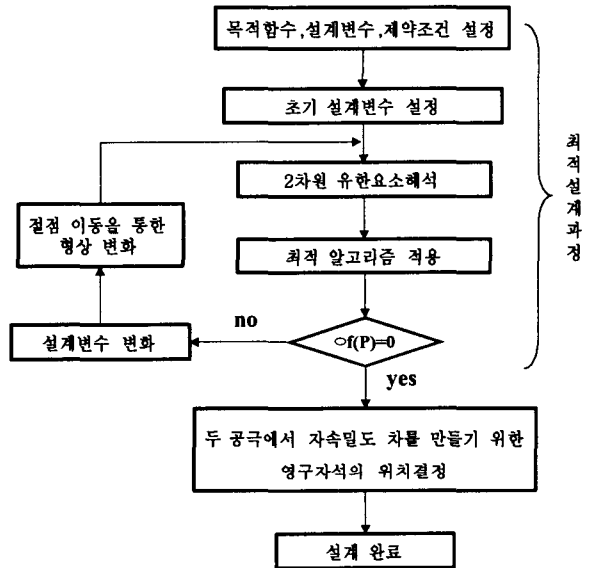


그림 7 최적설계 과정
Fig. 7 Optimal design processes

3.5 영구자석의 위치 결정

보이스코일 모터에서 영구자석의 위치가 모터의 중앙으로부터 위쪽으로 위치하게 되면 아래쪽 공극에서의 누설자속이 위쪽 공극에서의 누설자속 보다 많아지게 된다. 따라서 위쪽 공극을 쇠교하는 자속이 아래쪽 공극은 쇠교하지 못하는 현상이 발생한다. 따라서 위, 아래 공극에서 자속밀도의 차이가 발생한다. 본 논문은 여기서 발생하는 자속밀도차를 이용하여 미소추력을 발생한다. 표 2와 같이 영구자석이 위쪽으로 1.6mm에 위치할 때 $0.98755 \times 10^{-3} [T]$ 의 공극 자속밀도 차이가 발생한다. 이 자속밀도차로 미소추력을 발생하게 된다. 표 2는 영구자석의 위치변화에 따른 공극에서의 자속밀도차를 보여준다.

표 2 영구자석의 위치에 따른 공극 자속밀도차
Table 2 Difference of air gap flux density according to the permanent magnet position

D_m (영구자석의 위치)	자속밀도 차(T)	D_m (영구자석의 위치)	자속밀도 차(T)
0.2mm	0.001319	1.2mm	0.0075125
0.4mm	0.002532	1.4mm	0.0087065
0.6mm	0.003728	1.6mm	0.0098755
0.8mm	0.004856	1.8mm	0.011123
1.0mm	0.0062531	2.0mm	0.012315

3.6 최적 설계 결과 및 특성

이상과 같이 최적 설계를 수행한 결과 최소의 영구자석으로 효율적인 자기 시스템을 구성하였다. 각 설계 변수들의 최적치를 표 3에 제시하였다. 표 4는 설계된 보이스코일 모터의 사양이고 그림 8은 보이스코일 모터의 형상이다. 보이스코일 모터의 아래, 위 두 개의 코일은 하나의 보빈에 고정되어 같은 크기의 전류가 흐르게 된다. 그리고 아래, 위 두 공극의 자속밀도차에 의해 추력을 발생한다.

표 3 설계변수들의 최적 결과
Table 3 Optimal result of design variables

설계변수	최적결과
X(1)	10.207 mm
X(2)	3.635 mm
X(3)	9.0 mm
X(4)	2.204 mm
X(5)	9.06 mm
X(6)	8.483 mm

표 4 보이스코일 모터의 사양

Table 4 Specification of the VCM

항 목	사 양		
코일	직 경	0.5[mm]	
	축방향 유효길이	10[mm]	
	턴수	위 코일	10
		아래 코일	10
영구자석	계 열	NdFeB	
	잔류자속밀도	1.1[T]	
	치 수	8.483×10.207×5[mm]	
이 동 변 위	200 μ m		

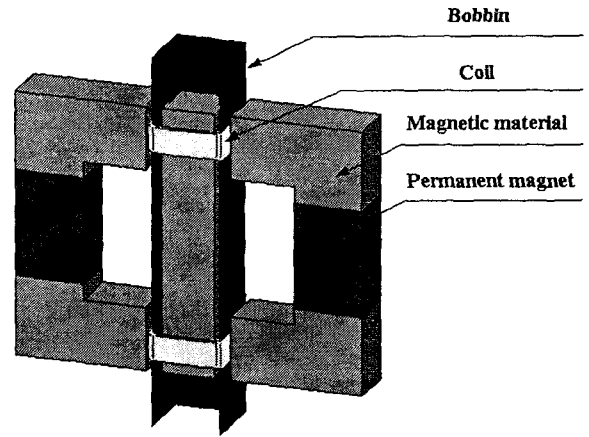


그림 8 보이스코일 모터의 형상
Fig. 8 The shape of VCM

그림 9는 추력의 선형성을 보기 위하여 가동자인 코일을 정지시킨 상태에서 전류가 0[A]부터 1[A]까지 증가했을 때의 보이스코일 모터의 추력 특성을 나타내고 있다. 자기회로의 경로인 중앙 요오크가 포화된 최적 형상이 중앙 요오크가 포화되지 않았을 경우 보다 선형적인 추력 특성을 나타내고 있다. 전류가 증가할수록 전류에 의한 자속 또한 증가하므로 전류가 증가할수록 추력의 비선형성이 커짐을 알 수 있다. 그림 9의 오른쪽 그림은 추력의 비선형성이 가장 크게 일어나는 9~10[A]에서의 추력 특성을 보여주고 있다. 중앙 요오크가 포화됐을 경우 이상적인 직선과 근접함을 알 수 있다. 전류1[A]가 흐를 때 보이스코일 모터는 식(2)로 예상되는 추력 0.98755[mN]에서 실제 0.9852[mN]으로 0.00235[mN]의 추력 오차가 발생하였다.

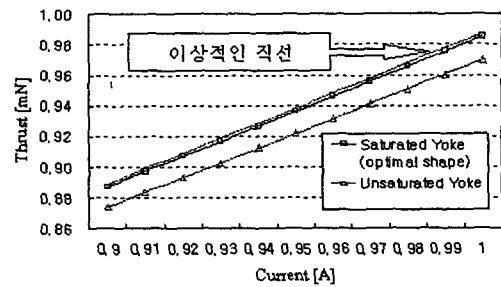
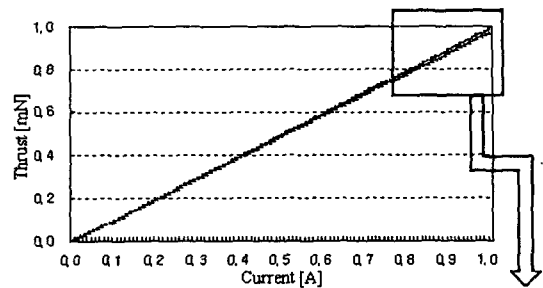
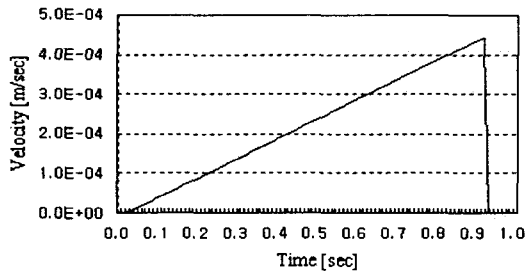


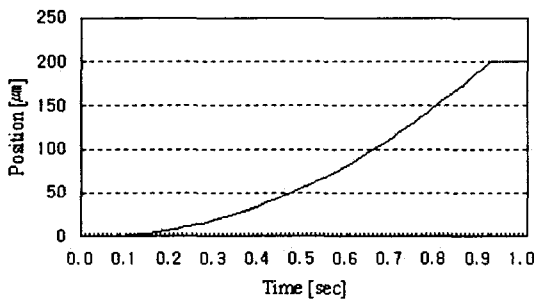
그림 9 전류에 대한 추력 특성(포화된 요오크와 포화되지 않은 요오크)

Fig. 9 Thrust characteristic according to the current (saturated yoke and unsaturated yoke)

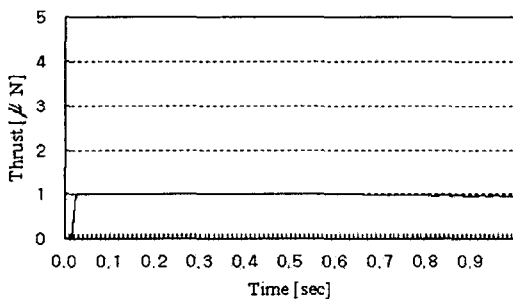
그림 10에서는 1mA의 전류입력이 있을 때 가동자의 이동 변위를 200 μm 로 설정하여 미소 추력 보이스코일 모터의 동특성 해석을 수행하였다. 그림 10에서 (a)속도, (b)위치, (c)추력 특성을 제시하였다. 그림 10(a)는 속도 특성으로 일정한 전류가 흐르면서 가동자가 일정한 추력을 발생함으로 이동변위 200 μm 동안 가동자는 등가속운동을 하고 있다. (b)는 위치 특성으로 가동자의 등가속운동에 의해 위치의 기울기가 변하는 특성곡선을 보인다. (c)에서는 공극 자속밀도의 편차를 최소화함으로써 코일의 추력은 전류가 1mA까지 확립되는 시간 지연을 보인 후 약 1 μN 의 일정한 추력으로 동작함을 볼 수 있다. 또한 가동자는 0.9sec동안 200 μm 를 이동하며 0.9sec이후에도 가동코일에는 전류가 인가되고 있으므로 계속해서 1 μN 의 일정한 추력 특성을 보이고 있다. 이로써 최적 설계의 타당성을 입증하였다.



(a) 속도



(b) 위치



(c) 추력

그림 10 최적 모델의 동특성 결과

Fig. 10 Dynamic characteristic result of optimal model

3. 결론

본 논문에서는 미소추력 발생을 위하여 위, 아래 두 개의 공극을 두어 두 공극의 자속밀도차로 동작하는 미소 추력 보이스코일 모터의 형상을 제안하여 제안 모델에 대한 최적 설계방법을 제시하였다. 최급강하법과 절점 이동기법을 적용한 최적 설계를 통하여 효율적인 자기시스템과 전류에 대해 선형적인 추력을 발생하고 일정전류 입력에 대하여 넓은 구간을 일정한 추력으로 동작하는 보이스코일 모터의 최적 설계를 수행하였다. 자속밀도 차를 이용하여 최소 1 μN 의 미소 추력을 발생하는 제안된 모델은 초정밀 변위 및 하중 제어를 위해 매우 유용한 모델로 사료되고 이의 설계방법 또한 보이스코일 모터의 형상 최적화를 위하여 유용하게 적용될 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 김선모, "시간최적화 기법을 이용한 광픽업 구동기의 최적 설계에 관한 연구", 박사학위논문, 2001.
- [2] 장석명 외, "리니어 왕복운동 제어시스템 구동용 가동 코일형 리니어 액츄에이터의 설계제작 및 제어정수 도출", 전기학회논문지, 제48권 6호, pp.241-248, 1999.
- [3] Shimamoto A, Tanaka K, "Development of a depth controlling nanoindentation tester with sunnanometer depth and submicro-newton load resolutions", Review of Scientific Instruments, V.68 N.9, 1997.
- [4] Gogotsi Y, Miletich T, Gardner M, Rosenberg M, "Microindentation device for in situ study of pressure-induced phase transformations", Review of Scientific Instruments, V.70, N.12, pp. 4612-4617, 1999.
- [5] J. E. Frank, G. H. Koopmann, W. Chen, G. A. Lesieutre, "Design and performance of a high-force piezoelectric inchworm motor", Smart Structures and Materials 1999: Smart Structures and Integrated Systems, pp. 717-723, 1999.
- [6] 김병택 외, "인버터 구동 유도 전동기의 회전자 슬롯형상 최적화", 전기학회논문지, 제50B권 제11호, pp539~545, 2001.
- [7] 김덕현 외, "불평형 자기회로를 고려한 가동코일형 리니어 진동 액츄에이터의 설계 및 특성해석", 전기학회 논문지, 제49B권 제6호, pp. 403~410, 2000.
- [8] 백수현 역편, "소형모터 설계편람", 12장 제4절 보이스코일 모터 설계, 1988.9.
- [9] Duane C. Hanselman, "Brushless Permanent Magnet Motor Design", McGraw-Hill, 1994.

저 자 소 개



조 주 희 (趙柱熙)

1973년 12월 5일생. 2001년 한양대 전자 컴퓨터공학부 졸업. 2003년 한양대 전자 전기제어계측공학과 졸업(석사). 2003년~현재 KOMOTEK 모터팀 연구원.

Tel : 031-737-9052, Fax : 031-737-9070
E-mail : heyju007@hotmail.com



이 철 규 (李喆圭)

1973년 1월 4일생. 1995년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1999년~2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 동 대학원 전자전기제어계측공학과 박사과정

Tel : 031-409-1277, Fax : 031-409-1277
E-mail : lck6348@ihanyang.ac.kr



이 진 우 (李璜雨)

1960년 4월 18일 생. 1983년 한양대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1985년~1992년 대영전자공업(주) 연구소 주임연구원. 1993년~1999년 삼창기업(주) 연구소 선임연구원.

Tel : 031-409-1277, Fax : 031-409-1277
E-mail : jinwoo6418@hanmail.net



권 병 일 (權丙一)

1956년 2월 1일 생. 1981년 한양대 전기 공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 동경대 대학원 졸업(공학박사). 1990년 도시바(주) 시스템 소프트웨어 연구소 연구원. 1991년 한국

기계 연구소 자기 부상 열차 사업단 선임연구원. 2001년 University of Wisconsin-Madison 객원교수, 1991년~현재 한양대학교 전자 컴퓨터 공학부 교수.

Tel : 031-400-5165, Fax : 031-406-5073
E-mail : bikwon@hanyang.ac.kr