

리니어 펄스 모터에서 치 형상과 기자력 불평형이 정추력 특성에 미치는 영향

論 文
49B - 3 - 1

Effect of Tooth Shape and Unbalanced M.M.F on Static Thrust Force Characteristics of Linear Pulse Motor

李 東 周* · 李 殷 雄** · 金 成 憲*** · 金 成 種[§]
(Dong-Ju Lee · Eun-Woong Lee · Sung-Hun Kim · Sung-Jong Kim)

Abstract - 2 phase 8 pole HB-type(flat-type) Linear Pulse Motor can be used as the high precision position actuator because of its many advantages (simple control circuit, high stiffness characteristics, etc). Also, using the microstep drive, its noise and vibration can be reduced considerably and positional resolution may be increased further. But, 20° tapered tooth shape to reduce the normal force have an much effect on the static thrust force characteristics. And, because of hybrid-type LPM, interaction between the permanent magnet and the excitation current have an effect on the various characteristics of LPM

Hence, in this paper, the effect of tooth shape on static thrust force characteristics was analyzed using the air gap permeance by finite element method. For analyzing the effect of unbalance between the m.m.f of permanent magnet and the m.m.f of excitation current, unbalanced m.m.f coefficient σ were introduced with the permeance matrix and switching matrix.

Key Words : Linear Pulse Motor, Microstep Control, Permeance Method, Finite Element Method, Static Thrust Force

1. 서 론

직선 운동력을 발생하는 리니어 펄스 모터(LPM : linear pulse motor)는 개루프 제어(open-loop control)에 의해서 정밀한 위치제어가 가능하여 여러분야에 응용이 되고 있다. 특히 하이브리드형 LPM은 단위 입력당 추력이 매우 커서 큰 부하를 저속으로 운전하는 분야에 적합하고 마이크로스텝 구동(microstep drive)에 의해서 위치정밀도를 향상시킬 수 있으며 저속영역에서 발생하는 진동 및 소음을 줄일 수 있다.[1][2][3][4]

이러한 LPM의 구동특성은 주로 정추력 특성 곡선의 형상에 의해서 결정되므로 이에 관한 상세한 해석이 필요하다. 그래서 저자들은 참고문헌 [5]에서 정추력 곡선에 포함된 고조파 성분에 관한 해석을 한 바 있다.

본 2상 8극 하이브리드형 LPM의 시작기는 치 형상과 영구자석 및 여자전류에 의한 기자력의 불균형이 정추력 특성에 지배적으로 영향을 미치게 되며 위치정밀도와 깊은 관계를 가진다.[6]

LPM의 정추력은 가동자와 고정자 사이의 공극 퍼어미언스 분포의 변화에 의해서 결정된다. 따라서 가동자와 고정자 치(tooth)의 형상에 의해서 공극 퍼어미언스 분포가 달라

지게 되기 때문에 발생추력에 영향을 미치게 된다. H. D. Chai, A. L. Jones, B. C. Kuo 등은 회전형 스텝 모터에서 치 형상에 따른 공극 퍼어미언스 분포를 해석적인 방법(가정자로법 또는 퍼어미언스법)으로 구하고 그 발생 토크 특성을 해석한 바 있다.[7][8][9][10]

그런데, 본 연구실에서 제작된 LPM 시작기는 구조가 간단하고 영구자석을 가진 편축식 하이브리드형으로 편축식의 단점인 큰 수직력을 경감시키고자 가동자와 고정자의 치 형상을 사다리꼴 형태(20° tapered tooth)로 하였다. 그리고 이 2상 8극 LPM은 4개의 극이 매 스텝 구동시에 여자되나 이상적이라면 2개의 극은 영구자석 기자력과 여자전류에 의한 기자력이 각각 서로 상쇄되기 때문에 자로를 형성하는 것은 2개의 극뿐이다.

하지만 실제 구동시에는 구동조건(여자전류, 역기전력 등)에 따라서 영구자석 기자력과 여자전류에 의한 기자력이 완전히 상쇄되기는 어렵다. 왜냐하면 영구자석의 감자곡선상에서 동작점의 변화가 일어나고 운전 조건에 따라 여자전류 크기의 변화가 일어나기 때문이다. 이와 같은 기자력의 불평형은 극에서 역 방향의 추력을 추가적으로 발생시켜 정추력 분포에 영향을 주고 위치정밀도와 속응성을 저하시키는 원인으로 작용한다.

그래서 본 연구에서는 2상 8극 하이브리드형 LPM에서 치 형상에 의한 릴럭턴스 힘이 정추력에 미치는 영향을 규명하고자 영구자석을 배재하고 유한요소법을 이용하여 치 형상으로부터 공극 퍼어미언스 분포를 구하고 이에 의한 추력특성곡선을 얻었다. 그리고 기자력 불평형에 의한 영향을 검토하고자 기자력 불평형 계수와 스위칭 함수를 도입하여 기자력 불평형이 정추력 특성에 미치는 영향을 규명하였다.

* 正 會 員 : 忠南大 電氣工學科 博士課程
** 正 會 員 : 忠南大 電氣工學科 教授 · 工博
*** 正 會 員 : 天安工業大 制御計測科 教授 · 工博
§ 準 會 員 : 忠南大 電氣工學科 碩士課程
接受日字 : 1999年 3月 16日
最終完了 : 2000年 1月 28日

2. 2상 8극 HB형 LPM

2.1 구조

본 연구실에서 제작된 2상 8극 HB형 LPM 시작기는 위치정밀도를 향상시키고 제작시의 기계적인 오차를 줄이고자 -2상4극으로 된 가동자의 앞쪽철심(front core)과 뒷쪽철심(rear core)을 z축 방향으로 치 피치($\tau=3.5\text{mm}$)의 1/2만큼 어긋나게 겹쳐놓은 구조로 하였으며 A, A', \bar{A} , \bar{A} '극에는 A상 권선이 직렬로 감겨져있고 B, B', \bar{B} , \bar{B} '극에는 B상 권선이 직렬로 감겨 있어 바이폴로 2상 모터로 구동된다. 그 구조와 자기등가회로는 그림 1과 같다.

2.2 구동원리 및 해석방법

그림 1과 같은 구조를 하고 있는 2상 8극 하이브리드형 LPM은 A상 권선을 여자시, A'극과 \bar{A} 극은 권선 기자력의 방향과 영구자석의 기자력의 방향이 반대이기 때문에 서로 상쇄되고, 자로는 A극과 \bar{A} 극을 통해서 구성되어 자료가 그림 1(a)에서 점선 화살표로 나타낸 것처럼 3차원적인 분포를 하게 된다.

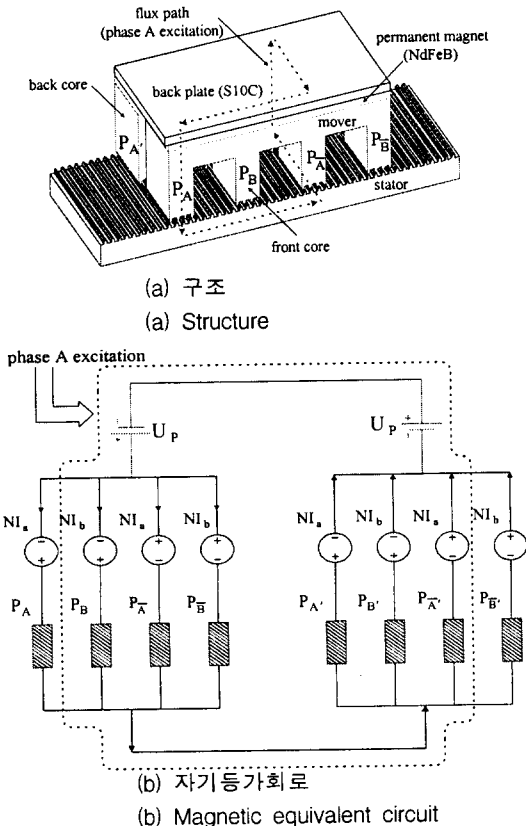


그림 1 2상 8극 하이브리드형 리니어 펄스 모터
Fig. 1 2 Phase 8 pole HB-type Linear Pulse Motor

3. 공극 퍼어미언스 분포 해석

본 시작기 LPM은 편축식으로서 수직력을 경감시키고 위치정밀도를 향상시키고자 20° 경사를 갖는 사다리꼴의 치 형상을 가지고 있다. 이러한 치 형상이 구동시에 정추력 분

포에 미치는 영향을 충분히 분석해야 한다. 하지만 그림 1(a)에서처럼 자료가 3차원적인 분포를 하며 비선형이 강한 전자석을 포함하고 있으므로 정확한 해석을 하기는 매우 어렵다.

따라서 본 연구의 이 3장에서 영구자석에 의한 기자력이 일정하다고 가정하고 유한요소법을 이용하여 단지 치 형상에 의한 릴럭턴스 힘만을 해석하여 정추력에 미치는 영향을 검토하고 4장에서는 영구자석과 여자전류에 의한 기자력 불균형이 정추력에 미치는 영향을 해석하였다.

3.1 공극 퍼어미언스 분포 해석

치 형상에 의한 릴럭턴스 힘은 근본적으로 공극 퍼어미언스 분포의 변화에 직접적으로 연관되어 있으므로 이에 대한 상세한 해석이 필요하다. 공극 퍼어미언스 분포를 구하기 위해서는 가정자료법(퍼어미언스법)이나 유한요소법을 이용한 해석이 가능하다.

저자는 가정자료법을 이용하여 안정점 근방에서의 공극 퍼어미언스 분포와 그에 의한 추력분포를 근사적으로 해석한 바 있다.[5] 이 해석에서는 치 형상이 사다리꼴이기 때문에 공극전체가 포함되도록 자료를 가정하는 것과 1/2 치 피치의 전체 구간에 대해서 연속인 공극 퍼어미언스 분포를 해석적으로 구하는 것이 매우 어려웠다.[5]

그래서 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 공극 전체에 대해서 1/2 치 피치 전체 구간에 대한 공극 퍼어미언스 분포를 구하고자 그림 2와 같이 점선으로 둘러싸인 빗금친 영역 AA~AB~BC~BB를 해석영역 S로 가정하였다.

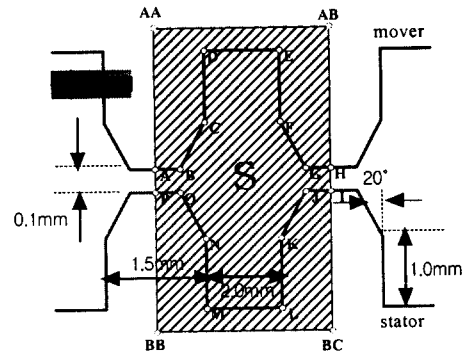


그림 2 유한요소모델
Fig. 2 Finite element model

그림 2의 유한요소모델에서 고정자나 가동자 철심의 투자율은 공극에 비해서 매우 커서 기자력 강도가 거의 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 가동자와 고정자의 치 면(선 A~H, 선I~P)를 따라 분포하는 자위(magnetic potential)은 같다고 가정하였다.

그림 2의 해석영역 S에서 전류원(J=0)이 존재하지 않고 단지 자계 H만이 존재하므로 그 지배 방정식을 식(1), (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla \times \mathbf{H} = 0 \quad (1)$$

$$\mathbf{H} = -\nabla \Omega \quad (2)$$

여기서, Ω : 자기 스칼라 포텐셜 함수

공극 전체에 분포하는 퍼어미언스 값이 P, 공극에 인가되는 기자력이 \mathcal{F} , 치의 두께가 ℓ 이라면 이때 해석영역 S 에 저장되는 자기 에너지 W_s 는 식(3) 으로 표현된다.

$$W_s = \frac{1}{2} P \mathcal{F}^2 = \int \frac{1}{2} \mu_0 \mathbf{H}^2 \ell dS \quad (3)$$

여기서, μ_0 : 진공중의 투자율($4\pi \times 10^{-7}$ [H/m])

식(3) 으로부터 단위길이당 ($\ell=1$ [m])의 표준화된 퍼어미언스(normalized permeance) \bar{P} 는 식(4)와 같이 표현된다.

$$\bar{P} = \frac{P}{\mu_0} = \frac{\int \mathbf{H}^2 dS}{\mathcal{F}^2} \quad (4)$$

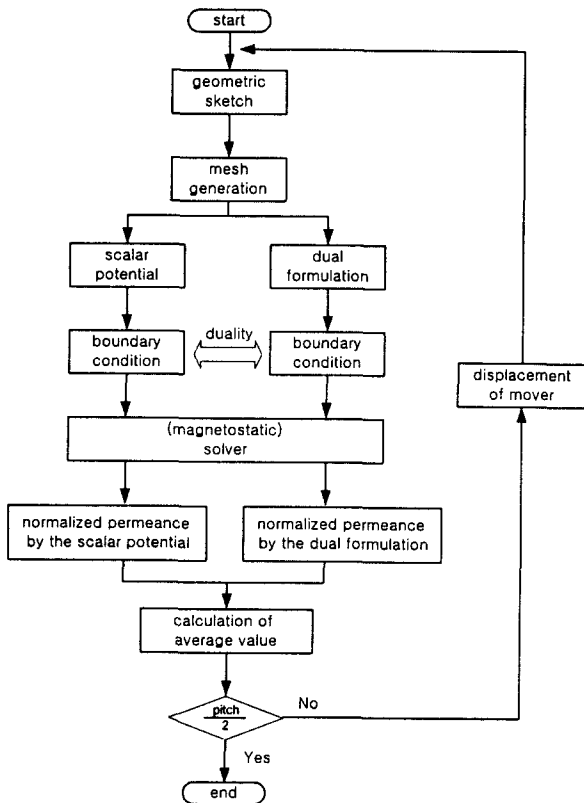


그림 3 순서도
Fig. 3 Flow chart

따라서 가동자 치와 고정자 치의 상대적인 변위 x에 따라서 식(1)의 지배방정식을 유한요소법으로 이산화하여 자계 H의 분포를 구하면 식(4)로부터 공극 전체에 분포하는 퍼어미언스를 얻을 수 있다. 이러한 해석과정은 그림 3과 같다.[11]

이와 같이 유한요소 해석과정을 거쳐 얻은 가동자와 고정자의 상대적인 변위 x에 따른 공극 자속분포는 그림 4와 같고 이와 같은 변위와 공극 퍼어미언스 분포값을 큐빅 스플라인 보간법(cubic spline interpolation)으로 보간하여 그래프로 나타내면 그림 5와 같다.

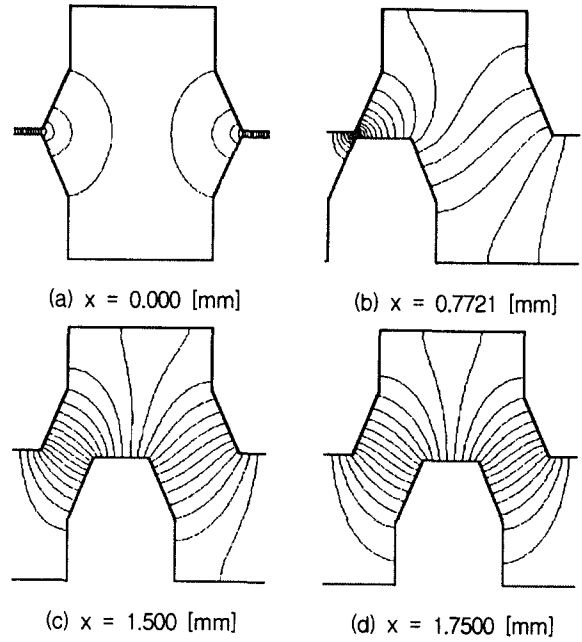


그림 4 공극자속분포
Fig. 4 Air gap flux distribution

그림 4(b)에서 알 수 있듯이 안정점(x=0[mm])근방에서는 사다리꼴 형상의 치 면을 따라 비스듬하게 자속이 분포함을 알 수 있는데, 이러한 자속분포 때문에 사다리꼴 형상의 치는 안정점에서의 스티프니스 특성이 우수하고 또한 평판형 LPM에서 지기기에 부담을 주는 수직력을 어느 정도 감소시킬 수 있다.

하지만 그림 5에서 보여지는 바와 같이 고정자와 가동자가 모두 사다리꼴 형태의 치를 가지고 있어 x=1.09[mm] 부근에서는 퍼어미언스의 변화량이 매우 적은 것을 알 수 있다. 이는 가동자와 고정자의 치형상을 모두 사다리꼴로 한 경우의 단점으로써 사다리꼴 형상의 치 면이 서로 빗겨서 그림4(b)~(c)사이를 지나갈때 퍼어미언스의 변화가 없어 이에 의한 릴럭턴스 힘이 발생하지 않는다.

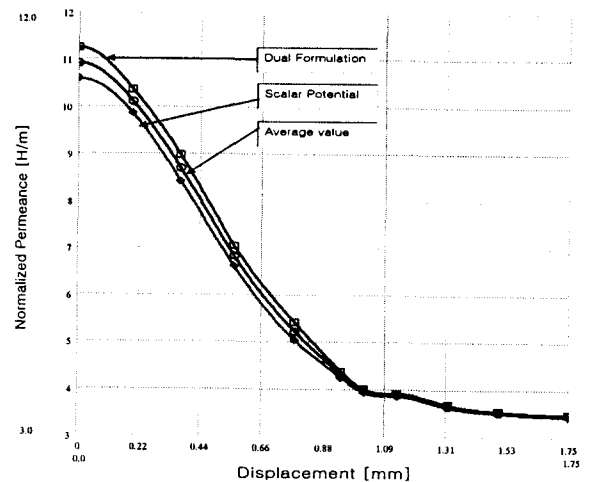


그림 5 공극 퍼어미언스
Fig. 5 Air gap permeance

3.2 정추력 분포 해석

본 시작기 LPM은 한 극당 4개의 치를 가지고 있으므로 한 극당의 퍼어미언스 P는 식(5)로 표현되고 각 극들사이의 자기저항분포는 단지 ¼ 치 피치의 위상차를 가지고 분포하게 된다.

$$P = n \cdot P_t \tag{5}$$

여기서, n : 한 극당 치의 갯수 (n=4)

P_t : 한 치당의 퍼어미언스 [H/m]

그리고 계철에서의 기자력 강하를 무시하면 실제 힘을 발생시키는 공극부분에 인가되는 기자력 U_g은 식(6) 과 같다.

$$U_g = U_p + U_i \tag{6}$$

여기서, U_p : 영구자석에 의한 기자력 [AT]

U_i : 여자전류에 의한 기자력 [AT]

먼저 A상 권선만을 여자시킨 경우에 한 극에서 발생하는 정추력 F_x은 식(7)과 같이 표현된다.

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot U_g^2 \cdot \frac{dP}{dx} \tag{7}$$

식(5), (6)을 식(7)에 대입하면 식(8)을 얻을 수 있다.

$$F_x = \frac{n}{2} \cdot (U_p + U_i)^2 \cdot \frac{dP_t}{dx} \tag{8}$$

LPM을 구동시킬때 가동자의 위치에 따라 영구자석의 기자력과 같은 크기를 갖는 여자전류를 여자권선에 인가하여 정전류 구동을 한다면 영구자석 기자력과 여자전류에 의한 기자력이 완전히 평형을 이루게되어 식(8)의 기자력 항 U_g (=U_p+U_i)는 일정하게 되고 정추력의 분포는 퍼어미언스의 변화량(dP/dx)에 정비례하게 된다.

그래서 유한요소법으로 얻은 퍼어미언스 값들을 큐빅 스플라인 보간법으로 보간하여 얻은 그림 5의 공극 퍼어미언스 분포를 수치적으로 미분하면 실제 정추력 분포에 정비례하는 그림 6과 같은 정추력 특성 곡선을 얻을 수 있다.

그림 6에서 최대 정추력은 x=τ/4지점에서 발생하지 않고 x=τ/8 지점에서 발생하는 것을 보여주고 있다. 이는 사다리꼴 형상의 치에 의해서 안정점(x=0)에서의 기울기 즉 스티프니스가 커서 안정점 근방에서의 위치정밀도가 우수한 특성을 갖게하는 데 중요한 기여를 하는 것이다.

그런데 그림 6에서 정추력 곡선의 x=1.09[mm]부분에 추력의 큰 맥동이 존재함을 알 수 있다. 이는 그림 5의 퍼어미언스 분포에서 보여지는 바와 같이 고정자와 가동자의 치 형상이 모두 사다리꼴이기 때문에 이 사다리꼴 형상의 치 옆면이 서로 겹치면서 움직일 때 퍼어미언스의 변화가 없기 때문으로 규명되는 본 연구의 매우 중요한 성과이다.

이러한 치 형상에 따른 리럭턴스 힘에 포함된 맥동은 본 해석에서 영구자석을 배재하고 공극에 인가되는 기자력이 일정하다고 가정하여 해석한 결과에서 얻어진다.

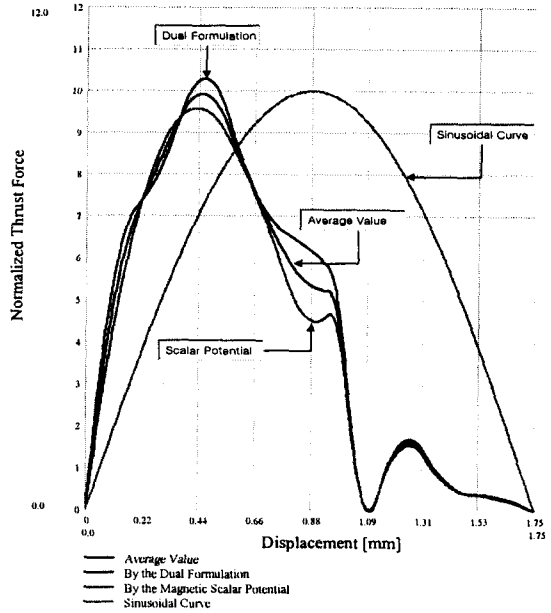


그림 6 정추력
Fig. 6 Static thrust force

기존의 방법대로 치 형상과 영구자석을 포함한 가동자 전체 또는 한 극만을 모델링해서 비선형 유한요소해석을 하면 사용된 자성재료의 비선형과 영구자석의 감자특성을 모두 고려해서 해석하는 것이 가능하지만 영구자석에 의한 영향 및 공극에 인가되는 기자력의 변화가 해석에 포함되어 그림 6에서와 같은 정추력에 내포된 맥동을 볼 수 없게 된다.

3.3 정추력곡선의 실측

선행연구 [1][2][3][4]에서는 영구자석의 기자력을 상쇄시킬 수 있는 정도의 전류 약 1[A]를 설계시에 LPM의 정격전류로 취하였다.

그래서 본 연구에는 한 상의 권선에 약 1[A]의 전류를 인가하여 구동하는 1상여자 정전류 구동시에 정추력 특성 곡선을 얻고자 그림 7과 같은 측정장치를 구성하였다.

정추력 측정을 위해서 먼저 구동장치의 한 상 권선에 계속 1[A]의 전류를 인가시킨 후, 동기모터를 이용해 일정한 속도로 가동자를 이동시키면서 로드셀에 인가되는 추력값과 가동자의 변위를 측정하는 포텐서미터 값을 X-Y 플로터로 측정하였는데 그 결과는 그림 8과 같다.(최대 정추력 = 7.43[kgf])

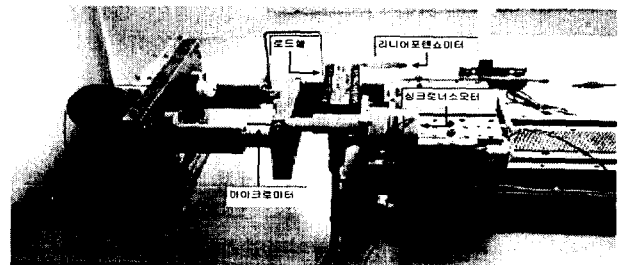


그림 7 정추력 측정장치
Fig. 7 Experiment of static thrust force

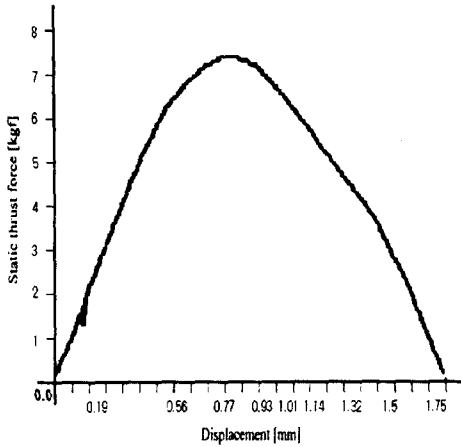


그림 8 측정된 정추력 곡선
Fig. 8 Measured static thrust force curve

그런데 실측한 정추력 곡선에는 그림 6에서와 같은 추력의 맥동이 거의 나타나지 않는다. 이는 그림 6의 해석은 치형상이 정추력의 톨렉턴스 힘 성분에 미치는 영향을 고려하고자 해석시에 영구자석을 배재하고 공극에 인가되는 기자력이 일정하다고 가정했으나 실제 구동시(측정시)에는 가동자의 위치에 따른 영구자석과 여자전류에 의한 기자력의 불평형에 의한 것으로 예상된다.

하지만 그림 6에서 나타난 맥동은 반드시 정추력 특성에 내포되므로 구동시에 이러한 맥동이 일어나는 변위점에서 상절환이나 스위칭을 하게 되면 공진이나 탈조가 되기 쉬우므로 제어기의 설계시에 고려되어야 하는 현상이다.

4. 기자력 불평형 해석

4.1 기자력 불평형 계수

2상 8극 하이브리드형 LPM은 앞에서 구한 그림 6, 8과 같은 정추력 특성에 기초해서 그 구동특성이 결정된다. 하지만 구동시에는 영구자석의 동작점의 변화로 인하여 공극에 인가되는 기자력이 변하게 되면 영구자석에 의한 기자력과 여자전류에 의한 기자력이 평형으로 되기는 매우 어렵다. 따라서 이와 같은 기자력의 불평형에 의한 영향을 상세히 해석하는 것이 필요하다.

그림 9는 그림 1(a)의 LPM 가동자를 위에서 보았을 때, 각 자극의 위치를 표시한 그림이다. 이 그림으로부터 각 자극의 위치를 포함한 퍼어미언스 행렬 [P]를 식(9)와 같이 가정할 수 있다. 또한 각 자극의 영구자석 기자력과 여자전선 기자력의 불평형을 고려하고자 식(10)과 같은 기자력 불평형 계수(unbalanced m.m.f coefficient) σ 를 도입한다.

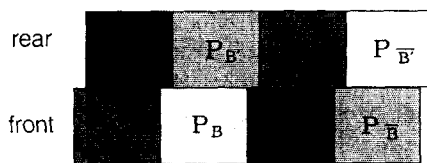


그림 9 자극 배치도
Fig. 9 Pole placement

$$[P] = \begin{bmatrix} P_A & P_B & P_{\bar{A}} & P_{\bar{B}} \\ P_A & P_B & P_{\bar{A}} & P_{\bar{B}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\sigma = \frac{U_p}{U_i} \quad (10)$$

단,

$$0 < \sigma < 1, \text{ for } U_i > U_p \text{ (기자력 불평형)}$$

$$\sigma = 1, \text{ for } U_i = U_p \text{ (기자력 평형)}$$

$$1 < \sigma, \text{ for } U_i < U_p \text{ (기자력 불평형)}$$

4.2 유효 퍼어미언스 행렬

앞에서 가정한 식(9)의 전체 퍼어미언스가 구동시에 작용하는 것이 아니라, 구동방식에 따라 유효한 퍼어미언스와 작용하지 않는 퍼어미언스가 있으므로 이를 고려하기 위해서는 식(11)과 같이 구동방식에 따른 임의의 스위칭 행렬 [S]를 이용하여 실제 구동시에 자기회로를 구성하는 퍼어미언스 성분만으로 유효 퍼어미언스 행렬 P_e 을 나타낼 수 있다.

$$P_e = \sum_{i=1}^n [P]_{ij} \cdot [S]_{ij}^T \quad (11)$$

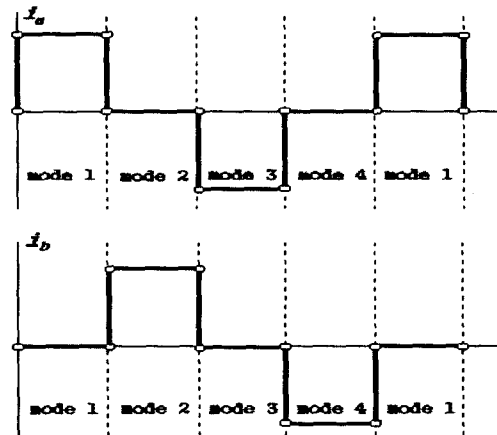


그림 10 바이폴러 1상 여자시의 여자전류 파형
Fig. 10 current waveform when one-phase excited

그림 10은 정전류 1상 여자 구동시에 각 A, B상의 전류 i_a, i_b 를 표시하고 있다. 이런 경우, 구동시에는 4개의 스위칭 모드가 존재하므로 식(12)와 같은 스위칭 행렬 M에 기자력 불평형 계수 σ 를 포함시켜 나타내므로써 1상 여자시 각 극의 기자력 불평형을 고려한 유효 퍼어미언스 분포를 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} M &= [M_1; i_a > 0], \text{ Mode 1} \\ &= [M_2; i_b > 0], \text{ Mode 2} \\ &= [M_3; i_a < 0], \text{ Mode 3} \\ &= [M_4; i_b < 0], \text{ Mode 4} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, $0 < \sigma < 1$ 인 경우

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1-\sigma & 0 & \sigma & 0 \\ \sigma & 0 & 1-\sigma & 0 \end{bmatrix}, M_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1-\sigma & 0 & \sigma \\ 0 & \sigma & 0 & 1-\sigma \end{bmatrix}$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} \sigma & 0 & 1-\sigma & 0 \\ 1-\sigma & 0 & \sigma & 0 \end{bmatrix}, M_4 = \begin{bmatrix} 0 & \sigma & 0 & 1-\sigma \\ 0 & 1-\sigma & 0 & \sigma \end{bmatrix}$$

따라서 위에서 가정한 기자력 불평형 계수와 스위칭 행렬을 식(11)에 대입하여 얻은 유효 퍼어미언스 행렬 Pe를 식(8)에 대입하면 기자력의 불평형을 고려한 추력 관계식(13)을 얻을 수 있다.

$$F = \frac{n}{2} \left(1 + \frac{1}{\sigma}\right)^2 \cdot U_p^2 \cdot \left(\frac{dP_e}{dx}\right) \quad (13)$$

식(13)의 정추력 관계식에서 기자력 평형시($\sigma=1$) 최대 정추력과 기자력 불평형시($\sigma \neq 1$)경우에 대한 비 β 를 그래프로 나타내면 그림 11과 같다.

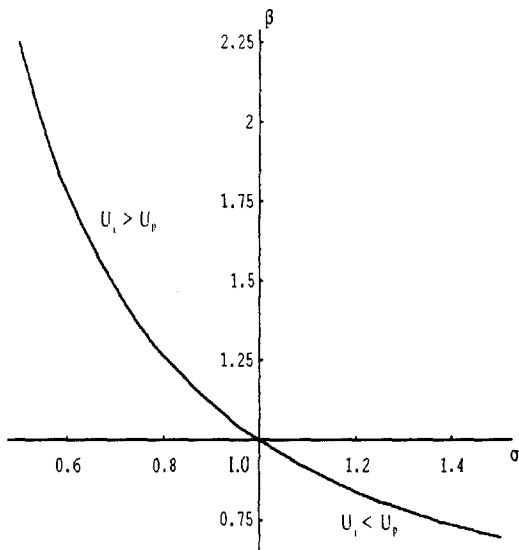


그림 11 기자력 불평형에 따른 최대 정추력
Fig. 11 Static thrust force vs. m.m.f unbalanced

그림 11에서 알 수 있듯이, 예를 들어, 여자전류의 기자력이 영구자석의 기자력의 1.67배가 되어 불평형된다면 기자력 불평형 계수는 식(10)에 의해 $\sigma = 0.6$ 이 되고, 최대 발생추력은 기자력 평형시보다 1.75배 증가하게 된다. 하지만 이것은 정방향의 추력과 기자력 불평형시에 발생하는 역방향의 추력의 대수적인 합이 1.75배되는 것이지 실제 정방향 추력이 증가되는 것은 아니다.

그림 11에서와 같이 기자력 불평형(계수)과 발생 추력사이에는 선형적인 관계가 아니라 비선형적인 관계를 갖는다. 따라서, LPM의 추력 제어시에는 이러한 비선형적인 관계를 고려하여 제어를 구성하여야만 정밀한 추력제어가 가능할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 2상 8극 하이브리드형 LPM의 정추력 특성 곡선의 분포에 지배적인 영향을 미치는 사다리꼴 형태의 치 형상에 의한 영향을 해석하고자 영구자석을 배재하고 기자력이 일정한 경우를 가정하여 해석하므로써 실제 정추력 곡선상에 나타나지 않지만 추력특성에 내포되어있는 맥동성분이 존재함을 밝혔다.

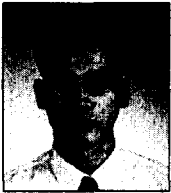
그리고 영구자석을 포함한 하이브리드형에서 문제시되는 영구자석 기자력과 여자권선 기자력사이의 불평형이 정추력에 미치는 영향을 규명하고자 기자력 불평형 계수 σ 를 도입하여 그 영향을 분석하였다. 그 결과, 기자력의 불평형에 따른 최대 추력의 관계가 비선형적인 관계를 갖게 되고 기자력 평형점($\sigma=1$)근방에서는 거의 선형적인 관계를 갖게 되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 해석결과는 앞으로 LPM의 일정한 추력제어를 위한 제어기 구성시에 유용한 자료로 이용될 수 있을 것이다.

또한 앞으로 영구자석의 동작점 변화를 고려한 기자력 불평형에 관한 보다 상세한 해석이 필요하다.

참고 문헌

- [1] 김일중, 이은웅, "HB리니어펄스모터(LPM)의 구동특성" 대한전기학회논문지 42권 6호, pp.1-8, 1993
- [2] 이은웅, 김일중, "2상 8극형 HB형 리니어펄스모터(LPM)의 자속분포와 정특성해석", 대한전기학회논문지 42권 9호, pp 9-18, 1993
- [3] 이은웅, 김일중, 김성현, "편측식 리니어펄스모터(LPM)의 자기회로 설계와 제어기 개발", 대한전기학회논문지 44권 6호, pp.743-749, 1995
- [4] 김일중, "磁氣回路의 平衡을 고려한 하이브리드형 리니어 펄스 모터의 特性解析", 박사학위논문, 충남대, 1995
- [5] 이동주, "리니어 펄스 모터의 구동특성 해석 및 마이크로 스텝제어", 석사학위논문, 충남대, 1998
- [6] 김성현, "횡자속형 LPM의 정밀위치제어에 관한 연구", 박사학위논문, 1999
- [7] H. D. Chai, "A Simple Model for Representing Saturation Effect in Step Motors", Incremental Motion Control Systems and Devices, 1970
- [8] A. L. Jones, "Permeance Model and Reluctance Force between Toothed Structures", Incremental Motion Control Systems and Devices, 1976
- [9] B. C. Kuo, "Effect of Tooth Shapes on the Position Accuracy of Step Motors", Incremental Motion Control Systems and Devices, 1983
- [10] B. C. Kuo, Y. J. Chen, "Permeance Model of Low-Resolution Variable-Reluctance Step Motors", Incremental Motion Control Systems and Devices, 1983
- [11] "ManNet 5 User Guide", Infolytica Corporation, pp.2-14~18, 1996

저 자 소 개



이 동 주 (李 東 周)

1973년 7월 31일생. 1996년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년~현재 동 대학원 박사과정.

Tel : 042-823-6426

E-mail : dave@eti21.com



김 성 헌 (金 成 憲)

1954년 9월 10일 생. 1981년 숭실대 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(공박) 현재 천안공업대학 제어계측과 교수

Tel : 0417-550-0285

E-mail : shkim@dragon.cntc.ac.kr



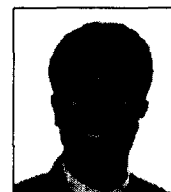
이 은 응 (李 殷 雄)

1944년 8월 14일생. 1971년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1982년~83년. 85년~86년 캐나다 McGill 대학 방문교수. 1987~현재 당 학회 평의원. 1995년 당학회

편집위원장 및 전기기기연구회 간사장. 현재 당 학회 부회장 및 충남대 전기공학과 교수.

Tel : 042-823-6426

E-mail : ewlee@hanbat.chungnam.ac.kr



김 성 중 (金 成 鍾)

1973년 4월 9일생. 1999년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 042-823-6426

E-mail : bigaoda@hanmail.net