

헤드 구동용 Linear Pulse Motor의 최대 추력에 관한 연구

김종교*, 전희득*, 이주**
 중소기업진흥공단*, 한양대**

A study on the maximum thrust of the Linear Pulse Motor for the head driver

Jung Gyo Kim*, Hee Deuk Jun*, Ju Lee**
 Small Business Corporation*, Hanyang Univ**.

Abstract - LPM that is used for head driver is problem of miniaturization of construction and cost. This can be achieved by most suitable shape decision, and suitable selection of control system. Specially, in LPM that Full step is mm~um unit, the large change of thrust receives much effect by tooth number per pole, tooth width and slot width about change of the air gap length. Therefore, this paper presents LPM that use for suitable head driver to reduce of the structure and the cost, to generate maximum thrust of LPM, and finds the proportion of the tooth pitch to tooth width and the slot width about change of the air gap length through FEM analysis. Also, applying different tooth width and slot width that is given as analysis result, this paper presented model that thrust is improved.

1. 서 론

LPM은 기본적으로 직선운동의 이동 폭을 넓혔으며 기계적 마모를 최소화 할 수 있고 별도의 위치센서 등이 없이도 자체의 위치 제어 능력을 갖는 선형 전동기이다 [1][2]. 그래서 이러한 전동기는 속도와 위치의 제어가 용이하며 제어회로가 간단하다. 또한 직접직선 운동기구이므로 감속기구나 전달기구가 없기 때문에 간단하여 소형화가 가능하다. 최근 국내에서는 LPM을 적용함으로써 직선운동변환기구가 필요 없는 단순한 구조의 헤드 구동용 LPM을 개발 중에 있다.

헤드구동용 LPM의 응용에 있어서 소형화에 따른 추력 감소 및 저가격화의 문제가 남아 있다. 이러한 한정된 조건하에서 효율과 추력을 극대화하기 위해서는 제어 방식 및 구동회로의 적절한 선택과 기구적인 최적형상 결정에 의해서 이루어 질 수 있다[3][4]. 그래서 Harris는 LPM의 치와 슬롯의 비에 대해서 연구한 바 있고, 이때 극치피와 치폭비가 약 42% 하는 것이 퍼어미언스 변화를 최대로 하고 최대 추력을 발생한다고 알려진바 있다[4]. 그러나 극치피가 작은 소형 LPM에서는 극치피와 치폭비가 공극에 따라서 다르게 선정되어야 만 최대 추력을 발생 시킬 수 있다. 특히 풀 스텝이 200(um)인 LPM에서는 공극에 따른 극당 치수 및 치폭, 슬롯폭에 의해서 추력의 큰 변화를 나타낼 수 있다.

따라서 본 논문에서는 소형화 및 저가격화에 적합한 모델의 헤드구동용 LPM을 제시하고, 유한요소 해석을 통해서 치폭, 슬롯폭 및 슬롯 깊이의 비가 공극에 따라서 다르게 선정됨을 고찰하였다. 또한 본 논문은 구조상 제작 가능한 공극 깊이를 선택하고, 이때 치폭, 슬롯폭 및 슬롯 깊이를 적용함으로써, 추력이 개선된 모델을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 LSM의 구조 산정

그림 1은 본 논문에서 헤드 구동용으로 개발된 LPM의 구조를 나타내고 있다. LPM의 형상은 2상 4극형이고, 한극 당 5개의 치로 구성 되어있다. 가동자는 2개의 코어 사이의 영구자석과 2개의 권선으로 구성되어 있으며, 고정자는 일정한 크기의 피치(Pitch)를 가진 치의 열로 되어 있다. 그림의 구조에서 A상과 B상에 정극성과 부극성의 전류를 흘릴 때 기계적으로 결정된 피치의 1/4만큼씩 이동하게 될 것이다. 본 논문에서 헤드 구동용으로 제시된 LPM은 그림과 같이 각 권선의 사이에 배치하여 별도의 계철이 없는 구조로써 소형화가 가능하고, 소요 자속의 1/2을 영구자석이 부담하므로 소비전력이 적다, 또한 교번 자계이므로 양극성 구동이 가능하며 권선의 이용률이 높고 효율이 높다.

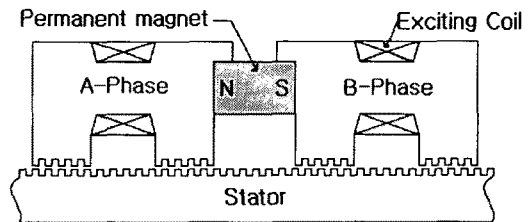


그림 1 LPM의 형상
 Fig. 1 The Model of LPM

2.2 유한요소 해석에 의한 치폭, 슬롯 깊이 결정

본 논문에서는 유한 요소해석법을 이용하여 LPM의 특성을 해석하였으며, 다음 아래와 같은 가정을 하였다.

- 1) 벡터 포텐셜은 축 방향 성분인 A_z 만 존재하며, 따라서 전류밀도는 Z성분만 존재한다.
- 2) 철심은 등방성이고 자화의 특성은 비선형이다.
- 3) 히스테리시스 손실과 와전류손은 무시한다.

해석 영역에 대한 지배방정식을 도출하기 위한 맥스웰 및 보조 방정식은 다음과 같다[6].

$$\nabla \times H = J_0 \quad (1)$$

$$B = \mu_0(H + M) \quad (2)$$

$$H = \frac{1}{\mu} (\nabla \times A) - \frac{1}{\mu_r} M_r \quad (3)$$

여기서 J_0 는 권선 전류 밀도, M 은 자화량, A 는 자기 벡터 포텐셜, M_r 은 잔류 자화량이다.

식 (1),(2),(3)을 이용하여 해석영역의 지배 방정식은 식 (4)와 같이 구할 수 있다

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times A \right) = j = J_0 + \nabla \times \frac{1}{\mu_r} M_r \quad (4)$$

그림 2는 유한요소 해석을 통해서 최대 추력 발생시키는 공극 길이에 따른 치폭, 슬롯폭 및 슬롯 깊이의 비의 산정 과정을 나타낸다. 정추력은 기존 모델에서 공극에 따른 치폭, 슬롯폭 및 슬롯 깊이를 제한된 범위 내에서 변화시키면서 가동자의 각 위치에서 정추력을 계산하고, 이때 가장 큰 추력을 각각 비교하여 설정하였다.

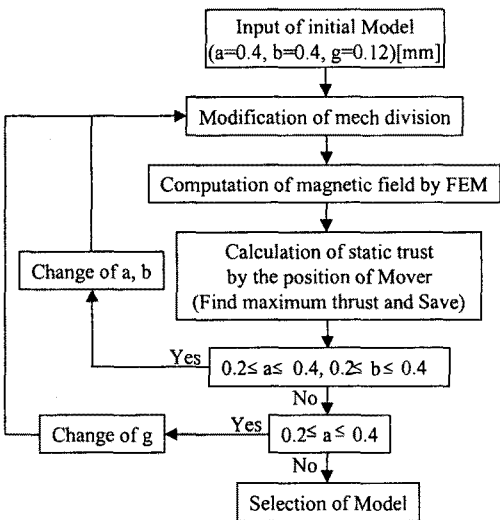


그림 2 계산 과정 (a=치폭, b=슬롯 깊이, g=공극)
Fig. 2 Computation process

2.2 해석 결과 및 고찰

LPM은 헤드 구동용 회전형 Pulse Motor에 대해 교체하기 위해서 폴 스텝 크기를 같게 되어야 하고, 사이즈와 무게 및 소비 전력이 더 적어야 한다. 본 논문에서는 폴 스텝을 0.2[mm]로 하기 위하여 극치피를 0.8[mm]로 하였고, 한 극당 5개의 치로 구성함으로써 설계사양에 만족하게 하였다. 또한 본 논문에서는 LPM의 사이즈 증가 없이 정추력을 최대로 하는 치폭과 슬롯 깊이를 결정하기 위해서 그림 2의 계산 과정을 이용하였다.

그림 3은 공극과 치폭에 따른 최대 정추력을 나타낸다. 헤드 구동용으로 쓰이기 위해 제한된 사이즈 내에서 극치피의 길이는 일정하게 하면서 공극 길이 0.08~0.12 [mm], 치폭 길이 0.2~0.4 [mm]까지 변화시키면서, 최대가 되는 정추력을 나타내었다. 그림 3의 결과와 같이 치폭이 작을 경우에는 유효 공극의 증가하여 기자력 강화를 발생하고, 치폭이 클 경우에는 퍼어미언스 변화를 작게 함으로써, 정추력을 감소하는 것으로 고찰된다.

표 1은 설정 공극 길이에서(0.08, 0.1, 0.12[mm]) 최대 정추력을 낼 수 있는 극치피와 치폭 비의 결과를 나타낸다. 공극 길이가 변화에 따라서 극치피와 치폭의 비가 달라짐을 알 수 있다.

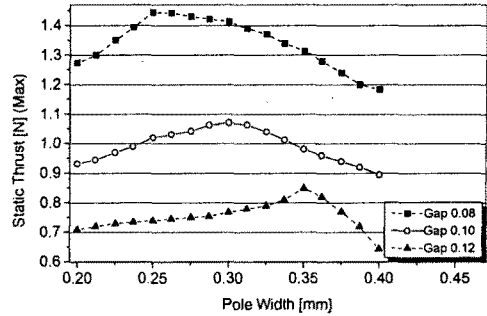


그림 3 최대 추력과 치폭 및 공극의 관계
Fig 3. Relation the Maximum thrust and the tooth width about the air gap length

표 1 극치피와 치폭의 비의 결과
Table 1 Result of ratio of tooth pitch and tooth width

공극길이	치폭	슬롯 폭	극치피	극치피와 치폭의 비
0.08 [mm]	0.25	0.55	0.8	31.2%
0.10 [mm]	0.30	0.50	0.8	37.5%
0.12 [mm]	0.35	0.45	0.8	43.7%

그림 4는 치폭을 일정하게 하면서 슬롯 깊이와 최대 추력의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 슬롯이 깊이가 작아지면 추력이 작아지고, 0.4[mm]부터는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 슬롯 깊이가 작으면 누설이 많이 발생하여 퍼어미언스의 변화를 작게 하기 때문이다. 또한 슬롯을 깊게 설계할 경우 유효 공극의 증가로 기자력 강화를 발생시킬 것이다.

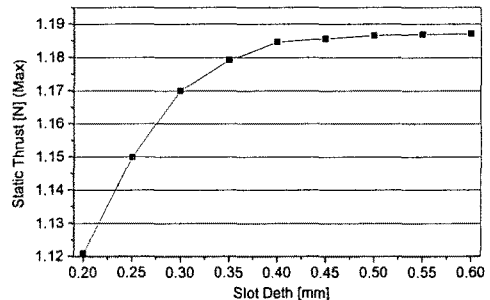


그림 4 슬롯 깊이와 최대 정추력의 관계 [슬롯폭일정]
Fig. 4 Relation of the slots depth and the static thrust [Fixed slot width]

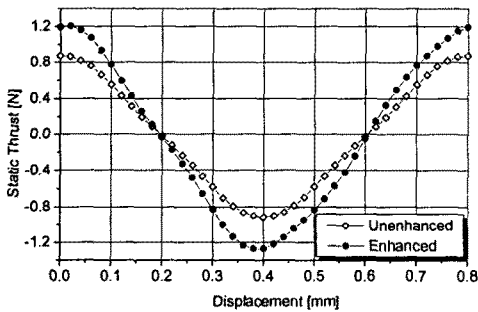
2.3 모델 결정 및 고찰

표 2 는 기존 모델과 제안된 모델의 치폭, 슬롯폭 및 슬롯 높이를 비교하여 나타낸 것이다. 제안된 형상은 실제 기구적으로 제작 가능한 공극 0.1mm로 선택하였고, 표 1과 같이 정추력이 최대가 나오는 극피치와 치폭의 비 37.5%를 선택하였다.

표 2 기존 모델과 제안된 모델의 치형상 비교
Table 2 the comparison of tooth shape of the unenhanced model and the enhanced model

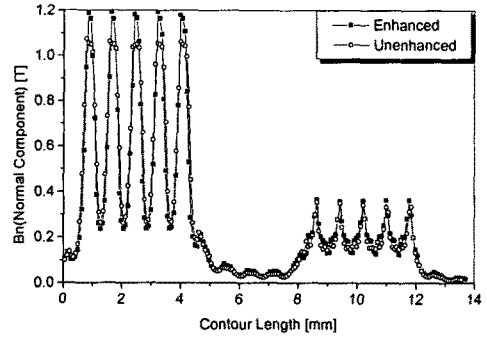
		기존 모델	제안된 모델
M o v e r	치폭	0.4 [mm]	0.3[mm]
	슬롯폭	0.4 [mm]	0.5[mm]
	슬롯높이	0.4 [mm]	0.4[mm]
B a s e	치폭	0.4 [mm]	0.3[mm]
	슬롯폭	0.4 [mm]	0.5[mm]
	슬롯높이	0.4 [mm]	0.4[mm]

그림 5a)는 기존모델과 제시된 모델에 대한 정추력 곡선을 유한 요소 해석하여 나타낸 것이다. LPM의 정추력 분포는 A상과 B상에 정극성과 부극성의 전류를 동시에 여자 시키고, 기계적으로 결정된 1피치만큼 가동자 이동에 의해서 나타낸 것이다. 제시된 LPM은 기존의 LPM의 정추력에 비해 43% 정도 증가되었다. 그림 5b)는 B 상 부분의 공극에서 자속밀도를 기존모델과 제시된 모델에 대해서 비교이다. 가동자와 고정자의 겹치는 치 부분에서, 제시된 LPM은 기존의 LPM의 자속 밀도에 비해 더 크게 나타나며, 이는 더 큰 추력을 발생시킨다.



a) 정추력 비교

a) The comparison of the static thrust



b) 공극 자속 밀도 비교

b) The comparison of the air gap flux density

그림 5 기존모델과 제시된 모델의 결과 비교
Fig. 5 The comparison of result about the unenhanced model and the enhanced model

3. 결 론

본 논문에서는 소형화 및 저가격화에 적합한 모델의 헤드구동용 LPM을 제시하고, 폴 스텝이 200um급 소형 LPM에서 최대 추력이 공극의 길이에 따라서 극피치와 치폭비와 슬롯 깊이가 다르게 산출되는 것을 고찰하였다. 본 논문에서는 실제 제작 가능한 공극 0.1[mm]를 선택하고, 극피치와 치폭비 37.5%로 설정함으로써, 추력 특성을 개선하였다. 제시된 모델의 최대 정추력은 치폭과 슬롯폭이 같은 기본 모델에 비해서 43%의 증가를 가져왔다. 따라서 본 논문에서 제시된 결과는 입력 에너지와 기하학적 크기의 증가 없이 추력을 더 보강할 수 있기 때문에 고효율 및 소형화에 가능한 LPM이 가능할 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Yoji Takeda etc., "Cylindrical Linear Pulse Motor with Interior Permanent Magnet Mover", IEEE Trans. on industry Appl., VOL. 30 NO. 1, pp. 141-144, Jan. 1994.
- [2] Sang-Ho Lee, Hong-Seok Oh, etc., "Two-Double 1-2-Phase Drive of 4-Phase Staping Motor", Power Electronics Conference(PEMC'96), VOL.2, pp637-639, 1996.
- [3] O. Podzimek, "Linear Stepping Motor with the increased precision of positioning", papers of Technical Meeting on Magnetic, IEE, Japan, VOL. 5 NO. 1112, pp128, 1999.
- [4] Yun-Hyun Cho, Jae-Bong Lee, "The static thrust calculation of hybrid type Double-sided Linear Pulse Motor", Trans. KIEE, VOL. 43, NO. 5, pp 573-760, May 1994.
- [5] Harris etc., Unifying approach to to-static torque of stepping-motor structures Proc. IEEE, Vol. 124, No 12, 1977
- [6] M. Marinescu and N. Marinescu, "Numerical Computation of Torques in Permanent Magnet Motors by Maxwell Stress and Energy Method", IEEE Trans. on MAG, VOL. 24, NO. 1, pp 463-466, 1988.