자수기 특성을 고려한 LPM의 설계에 관한 기초연구

박 창 순 · 권 태 근
한국기술교육대학교 정보기술공학부

The Basic Study on Design of Linear Pulse Motor for Embroidery Machine Characteristics

Chang-soon Park · Tae-gun Kwon
Korea University of Technology and Education

Abstract-Linear pulse Motors(LPM) are widely used in fields where smooth linear motion is required, and their position accuracy is higher than other motors. Hybrid linear pulse motors(HLPM) are regarded as an excellent solution to positioning problems that require high accuracy, rapid acceleration and high-speed. The LPM has low mechanical complexity, high reliability, precise open-loop operation and low inertia etc. in many application areas such as factory automation speed positioning, computer peripherals and numerically controlled machine tools. This motor drive system is especially suitable for machine tools the high position accuracy and repeatability.

This paper describes about that need of the embroider machine. we want to design position-scanning device for the embroidery machine. At first, to be analysed characteristics of the machine and next designed the LPM. we used the field analysis program, The finite element method(FEM) program tool is employed for calculation the force. The reluctance models will be used the magnetic permeance of air gap by static- conditions. The forces between forcer and platen have been calculated using the virtual work method.

1. 서 론

산업기술 발달에 따라서 전기적 에너지를 기계적인 에너지로 변환하여 주는 변환장치의 개발에 관한 기술연구가 중요시되고 있다. 모터 중에서 특히 선형모터는 각종 교통수단이나 정밀기기 응용분야에서 각광받고 있으며, 지속적인 연구개발이 이루어지고 있다. 본 연구도 그러한 application의 일종으로 자수기에 들어가는 위치결정장치에 선형펄스모터를 이용하고 자하는 목적을 가지고 있다. 전량 수입에 의존하고 있는 자수기 위치결정장치인 회전형 스텝모터를 리니어 펄스모터를 이용하여 개발함으로써, 수입대체 효과를 노리는 동시에 소형정밀 모터의 설계 및 제어 기술의 노하우를 축적하는 장점이 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 LPM 설계에 있어서 형상의 변화가 추력과 수직력에 미치는 변화를 2차원 FEM으로 시뮬레이션 한 후에 서로의 결과를 비교 분석하였다. 향후 지속적인 시도를 거듭하여 최종적으로 테스트 가 가능한 시제품을 제작하여 성능을 분석하고 검토함으로써 최대의 성능을 발휘하면서 적용분야 요건을 충족시킬 수 있는 LPM을 설계해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 자수기의 동작원리

자수기의 동작원리를 간단하게 살펴보면 다음과 같다. 자수기는 크게 구분하면 시스템 제어부와 물리적인 구동장치로 나뉘어 질 수 있다. 시스템 제어부에는 자수기에 들어가는 유도전동기의 제어 및 구동회로, 위치결정 장치에 쓰이는 스텝핑 모터의 제어회로 및 구동회로, 그리고 다른 부수적 기능을 위한 센싱회로로 이루어져 있다. 물리적인 구동장치에는 자수를 하는 기계(미싱)와 자수기의 땀의 위치를 결정하는 위치 이동용 테이블장치로 구성되어 있다. 자수기의 동작원리는 간단하게 말하면, 자수기의 바늘, 즉 미싱의 바늘은 Z축 방향으로 항상 동작하고 있으면서 자수를 놓을 천을 물고 있는 테이블이 수를 놓을 형상을 따라서 지령대로 X축이나 Y축으로 고속으로 움직임으로써 수가 놓여지는 것이다. 기존에 나와 있는 위치결정용 테이블 구동장치로는 스텝모터를 이용하여 벨트나 스크루 등의 선형변환기구를 사용하는 방법들이 있지만 그 중에서도 정밀기기에서 고속 동작을 위해 가장 많이 사용되는 것은 벨트를 사용하는 방법으로 조사되었다. 따라서 이러한 방법으로 바늘의 위치를 결정하는 위치결정 테이블의 요구조건을 완전히 파악하는 것과 여기에 맞도록 설계하는 것이 대단히 중요하다.

2. 3 위치결정 장치 사양에 맞는 LPM설계사양 결정

리니어 펄스모터의 종류 중에서 다른 형태의 LPM에 비해서 입력 펄스당 발생추력이 크며, 디텐트력을 가지고 있으면서 우수한 특성을 가지는 HB형의 리니어 펄스모터를 선택하였다. HB형에서는 공극과 영구자석, 여자 전류가 LPM의 추력과 수직력에 민감한 영향을 미치고 있으므로 이러한 것의 복합적인 최적 설계가 요구되고 있다. 우선 논문에서는 하나의 방향, 즉 X축방향으로의 LPM을 제시하고 설계시에 형상의 변화를 주어 그 특성을 관찰하여 보았다. 대체적인 위치결정장치의 구상도는 그림1에 나타나 있다.

2. 3. 1 LPM의 형상 결정

HB형의 리니어 펄스 모터의 형태는 영구자석이 삽입되는 위치에 의한 자로가 형성되는 방법으로 구분하면 두 가지로 구분이 가능하다. 첫 번째로는 자극과 자극사이에 영구자석이 들어가는 1)의 형태와 2개의 자극 바로 위에 영구자석이 들어가는 형태 2)가 있다. 이러한 영구자석이 삽입되는 형태는 그림 2와 그림 3에 나타나 있다. 본 연구에서는 1)의 형태를 선택하기로 한다. 그리고 기본적으로 편측식을 선택하였으며, 하나의 방향으로 설계가 완성된다면 두 개의 LPM을 연결하여 사용하는 구조가 될 것이다. 1)과 같은 구조는 가장 먼저 휴렛패커드사(HP)에서 사용한 것으로 알려져 있다. 2)의 구조는 日本神鋼電機製 리니어 펄스 모터의 구성도이다. 1)의 구조에서 코일을 mover의 상하로 감는 형태도 있으나 두 방향의 LPM을 각각 만든 다음 서로 조합하는 과정의 편의를 위해서 선택하지 않았다. 그림2에서 가동자의 권선은 모노필러(monofiler)권선이 두 쌍 있는데, (A+/A-) 와 (B+/B-)구조이다. LPM의 고정자 (Platen)는 미세한 치형상을 갖는 강철을 일렬로 펼쳐 놓은 형태이다. 가동자(Forcer)는 하나의 영구자석을 가동자와 가동자 사이에 들어있으며 4개의 모노필러

권선으로 이루어져 있다.

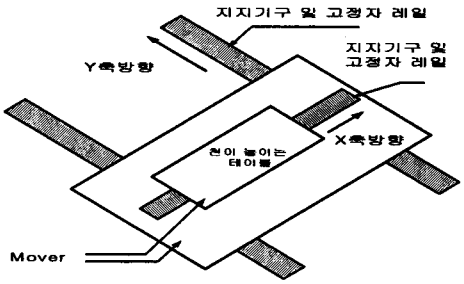


그림.1 위치결정장치 구상도

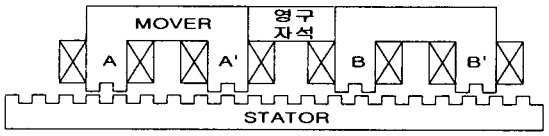


그림.2 설계하고자 하는 LPM의 형상
(영구자석이 중간에 위치하는 형태이다.)

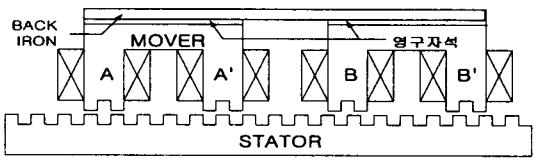


그림.3 영구자석이 2개 부분으로 나누어지는 형태

지금까지의 연구결과에서 국내에서 소형정밀모터에 대한 설계기술은 거의 전무하다고 볼 수 있다. 따라서 유도전동기처럼 공식화된 문헌이나 자료를 찾아보기 힘들다. 단지 현재 제작되어 있는 LPM을 여러 가지 방법으로 분석하고 그 결과의 타당성을 비교하여 개발을 시도하고 있을 뿐 특이할 만한 설계에 대한 연구결과가 없는 것이 현실이다. 본 연구에서는 mover와 stator의 형상변화에 따른 추력과 수직력에 관한 특성을 살펴보고자 한다.

2. 3. 2 LPM의 간이 등가회로

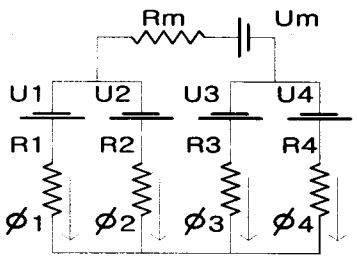


그림.4 LPM의 간이 자기등가회로

HB형 LPM에서 영구자석(PM)이 선형의 감자곡선을 가지고 있다고 가정한다면 그림 4와 같은 자기등가 회로를 얻을 수 있으며, 영구자석의 reluctance는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_m = \frac{l_m}{\mu_{re} h_m} \qquad (1)$$

여기에서 μ_{re}(recoil permeability($\sim \mu_0$)이며, l_m은 자석의 길이, h_m은 자석이 높이를 나타낸다.

먼저 자속이 지나가는 Path의 자기저항은 식(2)와 같이 된다. 여기서 l은 자속이 지나가는 Path의 길이이고 A는 면적이다. 영구자석의 동작점은 그림 5와 같이 감자곡선으로부터 결정한다. 곡선과 직선이 만나는 지점이 영구자석의 동작점이 되는 것이다.

$$R = \frac{l}{\mu_0 A} \qquad (2)$$

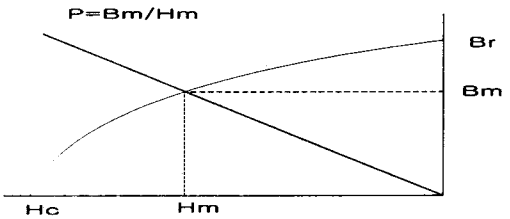


그림.5 영구자석의 동작점

자속밀도 B_m과 자계세기 H_m의 관계는 식(3)과 같다.

$$B_m = B_r + \mu_r H_m \qquad (3)$$

여기서 μ_r 은 recoil 투자율이며, Permeance P는 영구자의 단면적 A_m과 높이 l_m로 나타내면 식(4)와 같다.

$$P = \frac{1}{R_g} = \frac{A_m B_m}{l_m H_m} \qquad (4)$$

HB형에서 영구자석의 선정에 있어서 고효율의 영구자석을 사용하는 것이 디텐트력과 추력에 있어 상당한 영향을 미친다는 것이 조사된바 있다. 따라서 잔류자속밀도가 높은 영구자석을 사용하는 것이 바람직하다.

2. 4 LPM의 치 형상에 따른 유한요소 특성해석

유한 요소법에 의한 힘의 계산은 에너지 분포를 지배하는 편미분 방정식을 설정하여 계산결과의 오차가 최소한 되도록 하여 구할 수 있다. 형상에 따른 자기저항이나 추력과 수직력을 동일한 조건에서 서로 비교하여 보았으면 치와 슬롯의 비율에 따른 특성도 살펴보았다. 여기에서 공극을 일정하게 하고 피치(τ)가 일정한 시뮬레이션용 LPM 간이 모델을 만들고 형상변화에 따른 특성에 대하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 모델은 그림 6에 나타나 있다.

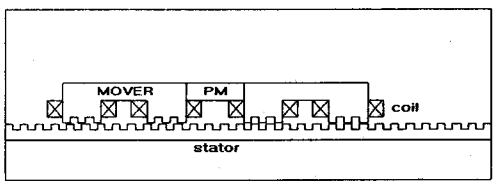


그림 6 시뮬레이션을 위한 LPM 형상

해석영역의 경계조건은 고정자와 가동자의 상하단은 자연경계조건으로 하고 좌우를 고정경계조건으로 하여 해석을 수행하였으며 해석영역의 자기포텐셜을 이용하여 공극의 자속분포를 계산하였고 이로부터 구한 자속밀도을 이용, 추력과 수직력을 계산하였다. 고정자와 가동자의 한 Pole을 살펴보면 치의 배열이 $x = \tau/4$인 위치에서 자속밀도 B_x성분이 최대가 되고 추력이 가장 크며 치의 구조는 비정렬 상태이다. 이와 유사하게 수직력은 자속밀도 B_y성분이 최대일 때 가장 크게 나타나고 고정자와 가동자 사이의 치 배열은 거의 완전히 정렬된다.
이때에 도선에 흐르는 최적의 전류밀도는 그림 7에서 영구자석만의 자속분포와 비교했을 때 역방향으로 여자된 Pole에서 자력선의 분포가 나타나지 않을 때를 고려하여 찾을 수 있다.
다음으로 시뮬레이션한 stator와 mover의 슬롯과 치

의 형상이 그림 8에 나타나 있고 각각에 대한 공극의 자속밀도를 비교해 놓은 그래프가 그림 9에 나타나 있다.

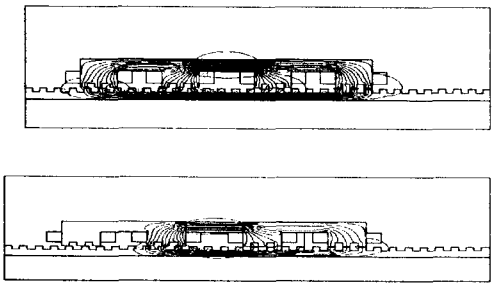
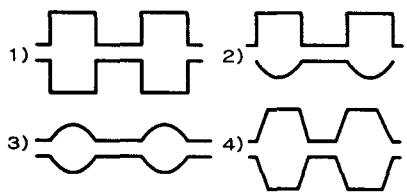


그림 7 시뮬레이션을 위한 LPM 자속분포



1) 사각형의 이동자와 사각형의 고정자
2) 사각형의 이동자와 둥근슬롯의 고정자
3) 둥근형의 이동자와 둥근슬롯의 고정자
4) 사다리꼴의 이동자와 사다리꼴치 고정자

그림 8 LPM Stator와 Mover의 형상

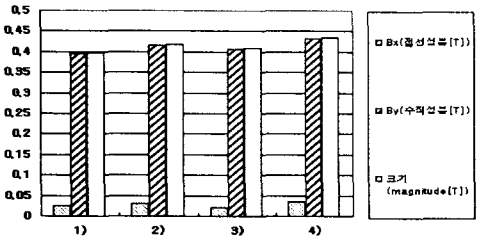


그림 9 LPM 형상에 따른 자속밀도 비교

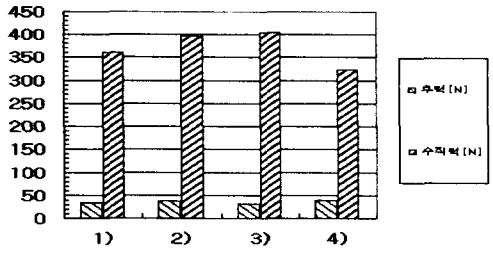


그림 10 LPM 형상에 따른 힘특성 비교

위에 나타난 그림 10은 각 형상에 대한 추력과 수직력을 비교한 것을 보여주고 있다.
다음에 나타낸 그림 11에는 고정자와 가동자의 치폭과 슬롯의 치수 변화에 따른 추력의 특성변화를 나타내고 있다. 여기에서는 각형(사각형)의 것만 대표적으로 살펴보고 고정자와 가동자의 치폭은 동일하게 가변되는 것으로 한다. 시뮬레이션을 위한 LPM의 기본모형에서 치와 슬롯의 크기는 각각 5[mm]이다.(τ=10[mm]) LPM의 치폭과 슬롯폭의 비를 최적화하여 최대추력을 얻을 수 있는 구조를 찾아내고자 하였다.

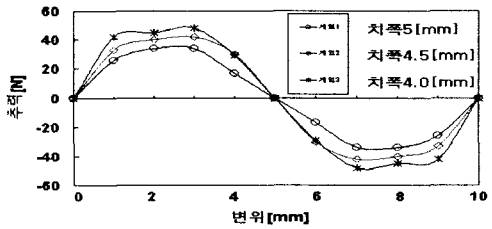


그림 11 LPM 치폭가변에 따른 추력 곡선

실제적인 실험과 시뮬레이션 결과에 따르면 피치(τ)에 대한 치폭의 비율은 약 0.4~0.42정도가 적합한 것으로 볼 수 있다. 시뮬레이션 결과 치폭이 0.5일 때보다 0.4일 때 더욱 추력 특성이 좋은 것으로 나타났다.

3. 결 론

본 연구에서는 자수기에 적용될 수 있는 LPM을 설계를 위한 기초적인 내용들을 점검하기 위하여 가동자와 고정자의 형태에 있어서 슬롯이나 치폭을 변형하면서 그 특성을 살펴보았다. 위의 그림 9와 그림 10에서 보이듯이 가동자와 고정자의 슬롯의 형태는 가동자의 추력과 가동자와 고정자 사이에 작용하는 수직력 특성을 결정하는 중요한 파라미터가 된다. 사리리꼴일 때 x축이나 y축의 자속밀도가 증가하므로 추력과 수직력 둘다 증가한 것은 사실이지만 다른 모델과 비교해 볼 때 상대적으로 수직력의 증가가 다른 모델보다 작아진다는 점이다. HB형의 LPM 모델에서 수직력이 너무 크면 지지기구의 부담이 가중되므로 수직력은 줄이면서 추력은 상대적으로 유지할 수 있는 방법의 연구가 필요하다. 사다리꼴치형에 있어서 단점이라고 한다면 reluctance force가 발생하지 않아서 정추력 특성에서 리플을 발생한다고 알려져 있다. 그리고 치와 슬롯의 가장 최적 비율은 위의 시뮬레이션 결과를 이용하여 생각해 본다면 약 0.4~0.42정도의 범위 일 때 가장 최대의 성능을 낸다고 할 수 있다. 앞으로의 과제는 치의 형상을 얼마나 정밀하게 가공하고 지지기구를 장착해서 LPM의 공극을 얼마나 정확하게 유지하느냐 하는 것이라 하겠다.

[참 고 문 헌]

[1]A.Nasar and I.boldea, "Linear Electric Motors; Theory, Design and Practical Applications", Prentice-Hall.INC. ,New Jersey, 1987

[2]Yunhyun Cho, Jaebong Lee, Daehyun Koo, "The analysis of the static thrust of a hybrid type Double-sided Linear pulse Motor", the sixth biennial IEEE conference on Electromagnetic field Computation, pp61, March 1994

[3]A.Nasar and I.boldea, "Linear Motion Electric Machines",John Wiley & Sons,Inc. 1976

[4]Sung-Hun Kim, Eun-Wong Lee, Dong-Ju Lee,"The Static thrust force characteristics for 2 phase 8 Poles HBtype Linear Pulse Motor", Proceedings of the Small Motors & Servo Motors International Conference SMIC '99 TOKYO

[5]윤신용,백수현,김용,"리니어 펄스모터의 추력 및 수직력에 대한 특성해석",대한조명전기설비학회,Vol.13, No.4 pp.142-151 November 1999.