

양측식 리니어 펄스 모터의 여자 방식에 따른 특성 비교

이은웅\*, 이동주\*, 김성현\*\*  
 충남대학교 전기공학과\* . (주)이티아이\* . 천안공업대학교 제어계측과\*\*

Characteristic Comparison of Double Side Linear Pulse Motor according to Excitation Scheme

Lee Eun Woong\* . Lee Dong Joo\* . Kim Sung Hun\*\*  
 Chungnam National University

**Abstract** - 가동자를 중간에 두고 양측의 고정자에서 발생하는 흡인력을 서로 상쇄시킬 수 있는 기계적 구조인 양측식 리니어 펄스 모터(double side linear pulse motor)는 편측식 리니어 펄스 모터(single side linear pulse motor)에 비해 구동시 지지기구의 부담을 경감시키고, 발생 추력을 증대시킬 수 있다.

이러한 양측식 리니어 펄스 모터는 가동자 사이에 두고 상부와 하부의 고정자를 각각 교대로 여자시키는 1상 바이폴러 여자방식과 두 고정자를 동시에 여자시키는 2상 바이폴러 여자방식이 가능한데 보다 제어정밀도를 향상시키는 위치제어 시스템을 구성하기 위해서는 두 여자방식에 의한 특성 비교가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 양측식 리니어 펄스 모터의 1상 바이폴러 여자와 2상 바이폴러 여자시, 자로 분포의 특성을 3차원 유한요소법으로 해석하여 그 특성을 비교·검토하였다.

1. 서 론

기계적인 변환장치 없이 고정밀도의 직선운동을 필요로 하는 위치 제어 및 구동 시스템에는 리니어 펄스 모터가 매우 적합하다. 이러한 리니어 펄스 모터는 편측식(single side)과 양측식으로 구분되는데 일반적으로 양측식이 편측식에 비해서 수직력 상쇄효과가 있어 지지기구의 부담을 경감시키고 발생 추력을 증가시킬 수 있어 선진국에서는 인공심장이나 고정밀·고신뢰도를 요구하는 산업분야에 응용하기 위한 연구가 활발한 실정이다.[1][2]

본 연구실에서는 편측식 2상 8극 리니어 펄스 모터를 설계·제작하여 그 특성을 해석하고 실험을 통하여 여러 가지 특성을 측정하여 분석하였다. 그리고 편측식 리니어 펄스 모터에 관한 제작경험과 분석자료를 기초로 하여 양측식 2상 8극 리니어 펄스 모터를 제작하였고 간이화된 등가 해석 모델을 가지고 유한요소법으로 주자로의 분포 및 정추력 특성에 관하여 간략히 해석한 바가 있다.[3][4]

양측식 리니어 펄스 모터는 2상의 권선(A상, B상)을 가지고 있어 각 권선을 교대로 여자시키는 1상 여자구동과 각 권선을 동시에 여자시키는 2상 여자 구동이 가능하다. 그래서 본 연구에서는 양측식 리니어 펄스 모터를 1상 여자시와 2상 여자시의 특성을 3차원 유한요소법으로 해석하여 그 특성을 비교·검토하고자 한다.

2. 양측식 리니어 펄스 모터

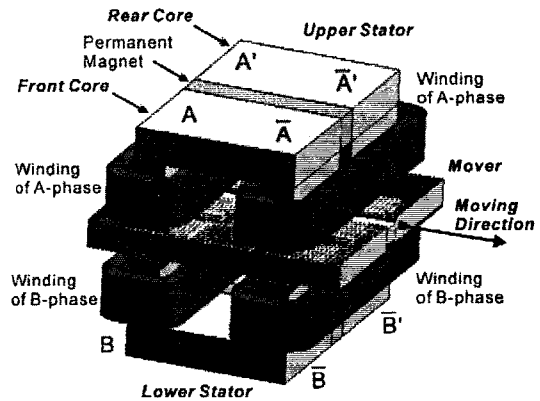
2.1 구조 및 자기 등가회로

그림 1은 양측식 2상 8극 리니어 펄스 모터의 기계적인 구조와 그 자기등가회로를 나타내고 있다.

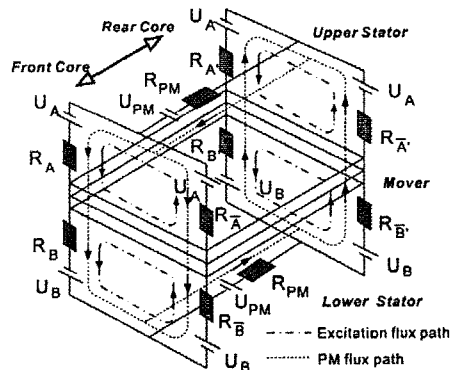
그림 1(a)에서 나타난 바와 같이 A극과 A'극에 감겨진 권선과 A'극과 A'극에 감겨진 권선은 서로 기자력이 반대가 되도록 서로 반대방향으로 감겨져 A상 권선을 구성하고 B극과 B'극에 감겨진 권선과 B'극과 B'극에

감겨진 권선도 서로 기자력이 반대가 되도록 서로 반대방향으로 감겨져 있어 B상 권선을 구성한다.

그림 1(b)에서 U<sub>A</sub>는 상부 고정자(Upper stator)의 A상 권선에 의한 기자력을 나타내고 U<sub>B</sub>는 하부 고정자(Lower stator)의 B상 권선에 의한 기자력을 나타내며 U<sub>PM</sub>은 상부 고정자와 하부 고정자의 전면 철심(front core)와 후면 철심(rear core)사이 에 위치한 영구 자석에 의한 기자력을 나타낸다. 그리고 R<sub>A</sub>, R<sub>B</sub>, R<sub>A'</sub>, R<sub>B'</sub>와 R<sub>A''</sub>, R<sub>B''</sub>, R<sub>A'''</sub>, R<sub>B'''</sub>는 각 극과 가동자사이의 공극 자기저항을 나타낸다.



(a) 기계적인 구조  
 (a) Mechanical structure



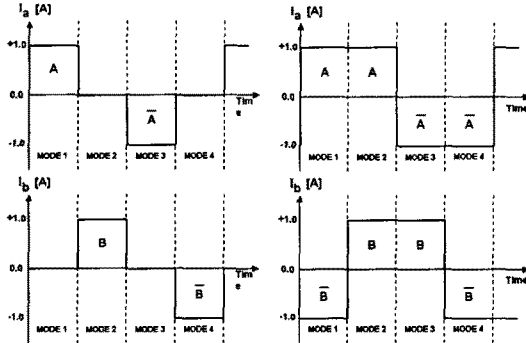
(b) 자기 등가 회로  
 (b) Magnetic equivalent circuit

그림 1 양측식 리니어 펄스 모터  
 Fig. 1 Double side linear pulse motor

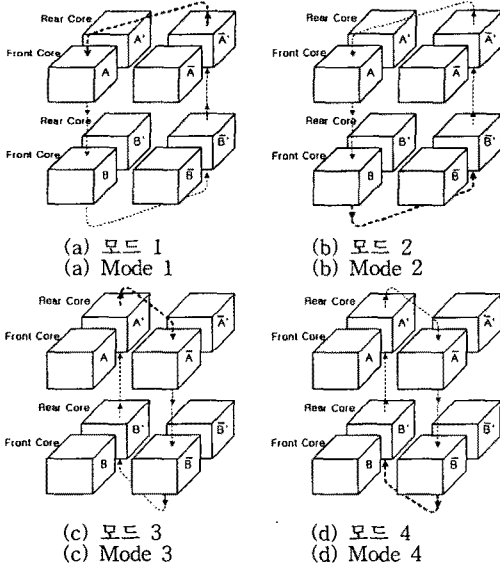
## 2.2 여자 방식 및 이론적 추력 특성

앞에서 설명한 바와 같이 본 연구실에서 제작한 양측식 리니어 펄스 모터는 A상 권선과 B상 권선을 가지고 있어 권선 전류의 방향과 여자 순서에 따라 그림 2와 같이 각 권선의 전류를 제어하면 1상 여자 구동과 2상 여자 구동이 가능하다.

그림 3은 그림 2(a)와 같은 전류가 각 권선에 인가되어 1상 여자 구동되는 경우, 각 극에 분포하는 이론적인 자로 분포를 나타내고 있다. 그리고 그림 4는 그림 2(b)와 같은 전류가 각 권선에 인가되어 2상 여자 구동되는 경우, 각 극에 분포하는 자로 분포를 나타낸다.



(a) 1상 여자 (a) One-phase-on  
(b) 2상 여자 (b) Two-phase-on  
그림 2 여자방식  
Fig. 2 Excitation scheme



(a) 모드 1 (a) Mode 1  
(b) 모드 2 (b) Mode 2  
(c) 모드 3 (c) Mode 3  
(d) 모드 4 (d) Mode 4

그림 3 1상 여자시 자로 구성  
Fig. 3 Magnetic flux path  
due to one-phase-on excitation

그림 2(a)와 같은 1상 여자시, 각 모드에서의 추력을 나타내면 그림 5(a)와 같으며 이를 수식으로 나타내면 식 (1)~(4)와 같다.

그림 2(b)의 모드 1에서의 추력 곡선은 그림 2(a)의 모드 1과 모드 4에서 발생한 각 추력의 합성에 의한 것이다. 따라서 식 (1)과 식 (4)를 합성해서 표현하면 식 (5)를 얻을 수 있다. 그러므로 2상 여자시 추력은 1상 여자시 추력의 약 1.4배가 되며 정추력 곡선상의 평형점

이  $r/8$ 만큼 이동된다는 것을 알 수 있다. 같은 방법으로 2상 여자시 각 모드에서의 추력은 그림 5(b)와 같다. [5]

$$F_A = -F_m \times \sin\left(\frac{2\pi}{r}x\right) \quad \text{for mode 1} \quad \text{식 (1)}$$

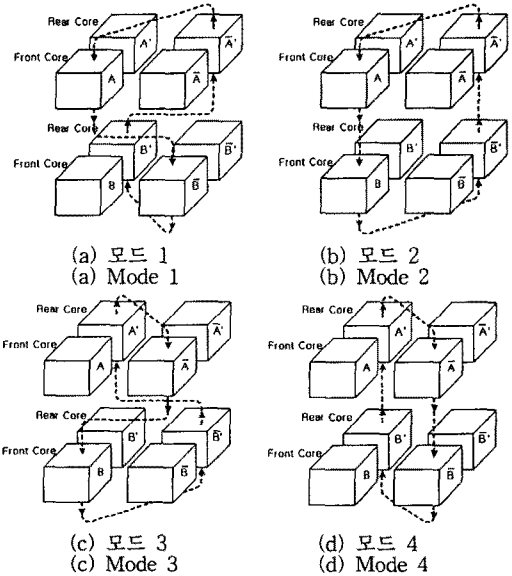
$$F_B = -F_m \times \sin\left(\frac{2\pi}{r}\left(x - \frac{r}{4}\right)\right) \quad \text{for mode 2} \quad \text{식 (2)}$$

$$F_{\bar{A}} = -F_m \times \sin\left(\frac{2\pi}{r}\left(x - \frac{r}{2}\right)\right) \quad \text{for mode 3} \quad \text{식 (3)}$$

$$F_{\bar{B}} = -F_m \times \sin\left(\frac{2\pi}{r}\left(x - \frac{3r}{4}\right)\right) \quad \text{for mode 4} \quad \text{식 (4)}$$

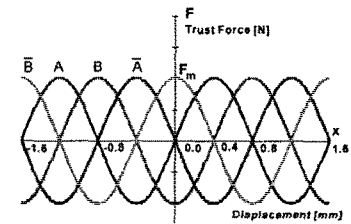
(여기서,  $F_m$  : 추력의 최대치 [N])

$$F_A + F_{\bar{B}} = -1.4F_m \times \sin\left(\frac{2\pi}{r}\left(x - \frac{r}{4} + \frac{r}{8}\right)\right) \quad \text{식 (5)}$$

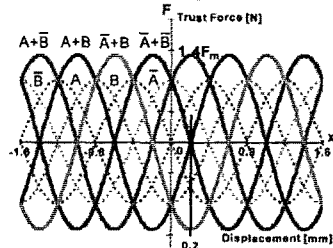


(a) 모드 1 (a) Mode 1  
(b) 모드 2 (b) Mode 2  
(c) 모드 3 (c) Mode 3  
(d) 모드 4 (d) Mode 4

그림 4 2상 여자시 자로 구성  
Fig. 4 Magnetic flux path  
due to two-phase-on excitation



(a) 1상 여자  
(a) One-phase-on excitation



(b) 2상 여자  
(b) Two-phase-on excitation

그림 5 이론적인 추력  
Fig. 5 Theoretical Trust

### 3. 3차원 유한요소해석

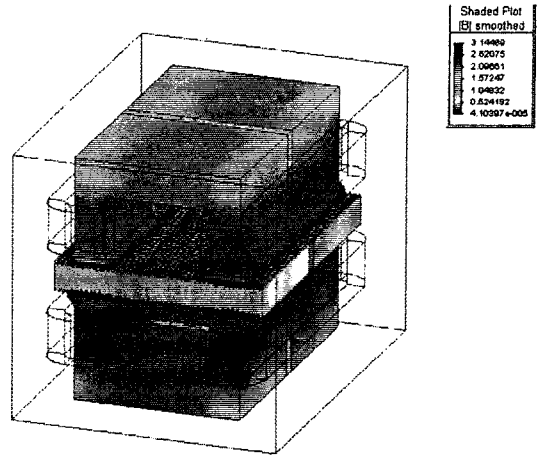
그림 1(a)와 같은 구조의 양측식 리니어 펄스 모터 전체를 3차원 모델링하고 각 권선전류가 0.5A인 여자 상태를 가정하여 MagNet 6.4 소프트웨어를 이용하여 주요 자로의 분포를 해석하였다. [6]

#### 3.1 주요 자로의 분포

해석결과로부터 모든 권선이 여자되지 않은 상태에서 영구자석에 의한 자로의 분포는 그림 6(a)와 같다. 그리고 1상 여자시의 모드 1상태에서의 자속밀도 분포를 구하면 그림 6(b)와 같으며 2상 여자시의 모드 1에서의 자속밀도 분포를 구하면 그림 6(c)와 같다.

그림 6(b)에서 보여지는 바와 같이 1상 여자시에는 여자된 상부 고정자측의 자속밀도가 하부 고정자측의 자속밀도보다 높아 주자로의 분포가 주로 상부 고정자측에 형성된다. 하지만 2상 여자시에는 상부와 하부 고정자측이 서로 대칭으로 자속밀도가 비슷하게 분포하여 상부와 하부 고정자를 통한 주자로의 분포가 비교적 대칭을 이루고 있음을 알 수 있다.

따라서 1상 여자시에는 2상 여자시보다 여자된 권선이 위치한 고정자 측에 자속밀도가 심하게 편중되어 분포하므로 수직력이 서로 상쇄되지 않고 쉽게 포화가 될 것을 예상할 수 있다.



(c) 2상 여자시 : 그림 2(b)의 모드 1  
(c) Two-phase-on : mode 1 of Fig. 2(b)  
그림 6 각 모드에서의 자속 분포  
Fig. 6 Flux distribution of each modes

### 4. 결 론

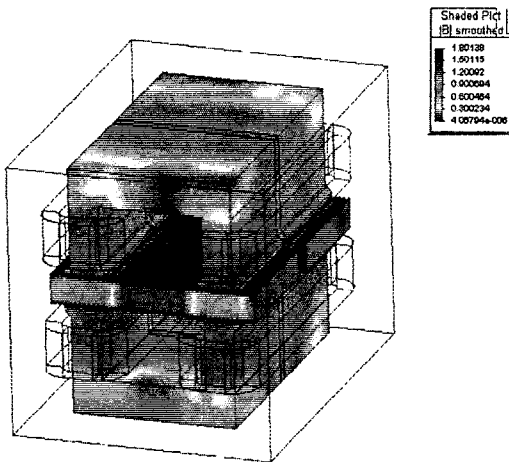
양측식 리니어 펄스 모터는 동자로를 사이에 두고 상부와 하부의 고정자를 각각 교대로 여자시키는 1상 바이폴러 여자방식과 두 고정자를 동시에 여자시키는 2상 바이폴러 여자방식이 가능한데 보다 제어정밀도를 향상시키는 위치제어 시스템을 구성하기 위해서는 두 여자방식에 의한 자로의 분포의 비교·검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 시작기로 제작된 2상 8극형 양측식 리니어 펄스 모터 전체를 해석 모델로 하여 3차원 유한요소법을 이용해서 1상 여자시와 2상 여자시, 주요 자로 분포를 구하여 비교하였다. 그 결과 1상 여자시는 2상 여자시보다 자속이 여자된 고정자측으로 심하게 편중되어 수직력 상쇄가 전혀 이루어지지 않는 것을 예상할 수 있었다.

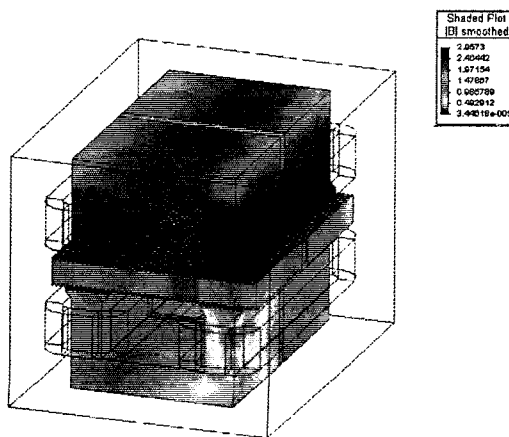
앞으로 제어 정밀도를 향상시키고 진동을 저감시키기 위한 여자방식인 1-2상 여자 또는 마이크로스텝 여자시의 특성으로 비교·검토하는 것이 필요하다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 山田 -, 佐藤右 - 外 5人, 人工心臓駆動用 リニアパルスモータ의 性能改善, 電氣學會研究會 資料, MAG-89-106, LD-89-18, pp.77-87, 1989.
- [2] 山田 -, 佐藤右 - 外 5人, 리ニアパルスモータ 駆動型 兩心 人工心臓의 開發成果, 電氣學會研究會 資料, MAG-91-37, LD-91-11, pp.101-114, 1991.
- [3] 이동주, 이은용, 김성현, 김일중, 김성중, "양측식 리니어 펄스 모터의 2차원 유한요소해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, pp.761~763, 2000.7
- [4] 김성중, 이은용, 김일중, 김성현, 이동주, 최재영, "비례제어벌브용 LPM의 3차원 유한요소 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, pp.620~622, 2000.7
- [5] P.P.Acarney, "Stepping Motors: a guide to modern theory and practice", revised 3rd edit Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingd revised 3rd edition, 1992
- [6] "Magnet version 6.4 Tutorials", Infolytica Corporation, 1999



(a) 영구자석에 의한 자속분포  
(a) Flux distribution by PM



(b) 1상 여자시 : 그림 2(a)의 모드 1  
(b) One-phase-on : mode 1 of Fig. 2(a)