

형자속형 유도전동기의 특성해석과 설계

°이광호, 박영일, 오창윤, 조운현
 동아대학교 전기공학과

The Design and Characteristic Analysis of
 a Transverse Flux Linear Induction Motor

°Kwang Ho Lee, Young Il Park, Chang Yun Oh, Yun Hyun Cho
 Dong-A University, Electrical Department

Abstract - A transverse flux linear induction motor is studied to assess the feasibility of its application in urban transportation and conveyor and so on.

To analyze the TFLIM with E-type, the flux density, thrust and normal force is computed by using an analytical method and 2-D finite element method. TFLIM which the rated thrust is 50(N) is designed and experimented.

1. 서론

최근 일본, 서독, 미국, 캐나다 등 선진 각국에서는 고속 자기부상열차의 건설계획을 발표하고 타당성 검토와 건설을 고려하고 있으며, 이와 때를 같이하여 정부에서도 1993년 대덕 연구단지에서 개최된 EXPO'93에 자기 부상열차를 현대정공(주)가 개발해 하여 전시운영하였다.

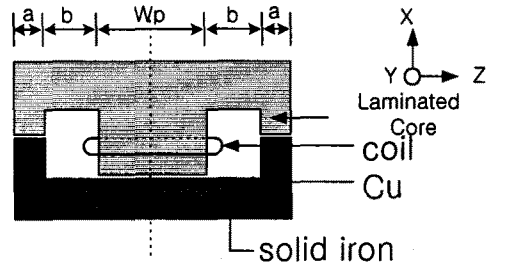
지금까지의 연구는 주로 일본의 HSST방식의 상전도 흡인방식으로 대전 EXPO'93용 자기 부상열차 개발을 위하여 핵심기술인 부상 unit, 추진용 선형 유도전동기, 제어기술 및 전력 system을 중심으로 기본적 개념의 확립과 각 요소에 대한 modeling, 실제 크기의 부상 및 추진제어 unit의 설계 및 제작기술의 개발, 시험 차량의 개발을 하는데 역점을 두었다.

이와 같이 국내의 연구는 주로 일본의 HSST의 상전도 흡인식 부상방식의 topology를 채택함으로써 국내 독자모델의 자기부상열차 전자기시스템 개발에 대한 연구는 전혀 이루어 지지않고 있다. 일본의 HSST 자기 부상 열차의 동력원으로 사용하는 기존의 종방향 자속형 선형유도전동기는 운전중에 수직력이 발생하여 차량의 무게를 증가케 함과 동시에 시스템의 외란으로 작용함으로 수직력을 최소로 작용하도록 설계, 운전되고 있으며 전동기의 효율이 낮다. 그러므로, 단점을 보완할 수 있는 국내의 독자 모델의 자기부상열차 추진 시스템의 개발을 하기 위해서는 필연적으로 추진장치의 선형 유도전동기의 연구가 이루어져야 한다.

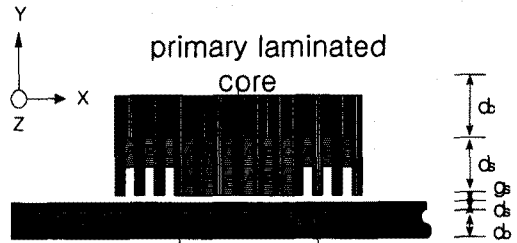
따라서, 본 논문에서는 국내 고유의 새로운 전자기 시스템을 개발하기 위해서 추진장치로 사용하고 있는 기존의 종방향 자속형 선형유도전동기(이하 LFLIM) 대신 횡방향 자속형 선형유도전동기(이하 TFLIM)의 특성을 고찰하였다.

2. 이방성 자기물질을 가진 LIM모델

TFLIM에 대한 공극내의 자속분포 특성등을 그림 2(a)의 X-Y 평면과 그림 2(b)의 X-Z평면상에서의 해석하기 위하여 설계 기본 치수를 기초로 한 해석 모델은 그림 3과 같다.



(a) End View



(b) Front View

Fig.1 Analysis model of a TFLIM

전체적인 치 영역은 x,y- 축 모두에서 다른 자기 저항을 나타낸다. Alternating teeth와 슬롯들은 다음 그림에서 보듯이 x축에서 상대투자율 μ_x 와 y축에서 μ_y 의 서로 다른 값을 가지는 homogeneous anisotropic magnetic mass로 대체할수 있다.

μ_x (x방향에서 투자율)은 x의 주기, 구형과 합수로써 표현할수 있다. Fourier급수의 상수항 만을 고려하고, 어떤 미세한 부분까지 나타내기 위해서 다른 고조파가 취급된다. 이것은 Mathieu equation을 유도한다.

여기서 유도되는 다른 일반적인 이론은 더 높은 차수의 고조파에는 영향을 받지 않는다.

상대투자율은 이방성 자기물질에서 x or y 방향에 작용하는 기자력 M에서 치와 슬롯영역에서 발생하는 것과 같은 자속 ϕ 를 발생시킬 것이다.

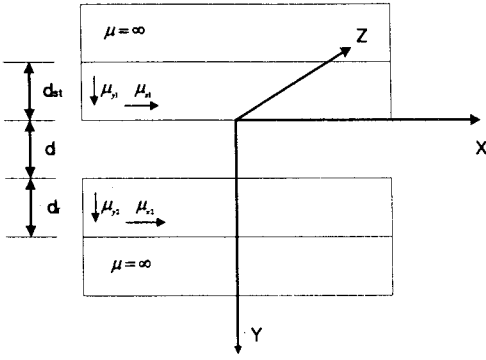


Fig.2 LIM model with anisotropic magnetic mass

Let

- d = 공극 길이 (cm)
- d' = 확장된 공극 길이 (cm)
: 들쭉 날쭉하게 bounding된 iron표면
- d_s = 슬롯 깊이 (cm)
- b_s = 슬롯 폭 (cm)
- b_t = 치 폭 (cm)

이방성 물질은 original teeth zone의 자기 등가가 된다.

$$\mu_x = \frac{b_s + b_t}{b_s + \frac{b_t}{\mu}}, \mu_y = \frac{b_s + \mu b_t}{b_s + b_t + \frac{(\mu-1)(d'-d)}{d_s}} \quad (1)$$

도전율은

$$\sigma = \frac{b_s \gamma}{b_s + b_t} \bar{\sigma} \quad (2)$$

여기서,

- $\bar{\sigma}$: 도체의 실제적인 도전율
- γ : 슬롯의 space factor

3. 전자계의 미분방정식

전류밀도 벡터 i (amp/mm²) 가 도입되고, 권선 방법에 의해서 고정자의 치 영역에서 y 에 대해 독립적으로 생각할 수 있다. 따라서,

$$i = \frac{A}{d_{st}} = i_{\max} e^{-j\pi x/\tau} \quad (3)$$

Maxwell의 두 번째 방정식은

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -j\omega \vec{B} \quad (4)$$

식(4)에서 \vec{E} 는 Z방향의 한 성분만을 가지는 반면에 \vec{B} 는 이 방향에는 어떤 성분도 없다.

$$H_x = \frac{-1}{j\omega\mu_0\mu_x} \frac{\partial E}{\partial y}, H_y = \frac{1}{j\omega\mu_0\mu_y} \frac{\partial E}{\partial x} \quad (5)$$

식(5)는 $B_x = \mu_0\mu_x H_x$, $B_y = \mu_0\mu_y H_y$ 와 식(4)에서 유도되어진다.

Maxwell의 첫 번째 방정식은

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad (6)$$

식(6)에서 Z축 방향으로만 전류가 흐른다.

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = J \quad (7)$$

이동자의 치 영역에서 E의 미분방정식은

$$\mu_{x2} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \mu_{y2} \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} = j\omega s \mu_0 \mu_{x1} \mu_{y1} J \quad (8)$$

($0 > y > -d_{st}$)

공극에서는 $\mu_x = \mu_y = 1$ 이고, 전류밀도 $J=0$ 이므로

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} = 0, \quad (d > y > 0) \quad (9)$$

고정자 영역에서 E의 미분방정식은

$$\mu_{x2} \frac{\partial^2 E'}{\partial x'^2} + \mu_{y2} \frac{\partial^2 E'}{\partial y'^2} = j\omega \mu_0 \mu_{x2} \mu_{y2} J_2 \quad (10)$$

($d + d_r > y > d$)

4. 경계조건

(i) 이동자와 고정자 yoke의 완전 투자율로 인하여 tangential 자계의 세기 H_x 는 $y = -d_{st}$ 와 $y = d + d_r$ 평면에 대해서 소거된다. 식(5)를 고려하면

$$\left(\frac{\partial E}{\partial y}\right)_{y=-d_{st}} = \left(\frac{\partial E}{\partial y}\right)_{y=d+d_r} = 0 \quad (11)$$

(ii) 평면 $y=0$ 과 $y=d$ 의 경계에 대해서는 tangential H_x 와 normal induction B_y 는 연속이다.

$$\frac{1}{\mu_{x1}} \left(\frac{\partial E}{\partial y}\right)_{y=0} = \left(\frac{\partial E}{\partial y}\right)_{y=+0} \quad (12)$$

$$\left(\frac{\partial E}{\partial y}\right)_{y=d-0} = \frac{1}{\mu_{x2}} \left(\frac{\partial E}{\partial y}\right)_{y=d+0}$$

$$\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{y=0} = \left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{y=+0} \quad (13)$$

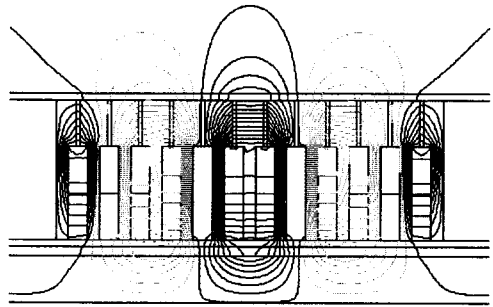
$$\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{y=d-0} = \left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)_{y=d+0}$$

5. 설계와 특성 해석

TFLIM의 특성을 고찰하기 위해서 자속밀도 분포는 유한요소법과 해석적인 방법을 사용해서 분석하였다. 그림 3은 정격 50(N)의 추력을 가지도록 설계된 초기 모델인 TFLIM이다.

Table 1. TFLIM의 사양

PARAMETER	ITEM	Dimension
Primary Voltage	V_1	150(v)
Frequency	f_1	60(Hz)
Capacity	KVA	1.76(KVA)
Rated Slip	S_n	0.2
Number of Phase	M	3
Number of Poles	P	4
Pole Pitch(mm)	τ	30
Slots/Pole,Phase	Q	1
Slot Pitch(mm)	t_s	10
Slot Width(mm)	W_n	6(mm)
Slot Depth(mm)	d_n	30(mm)
Turns	N	80(turns)



(b) Flux line

Fig.4 Magnetic characteristics

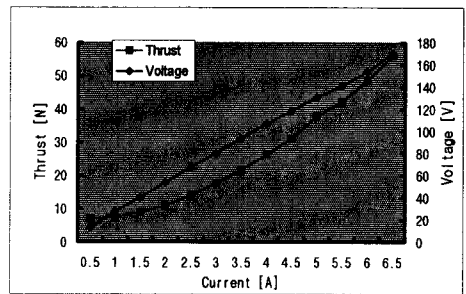


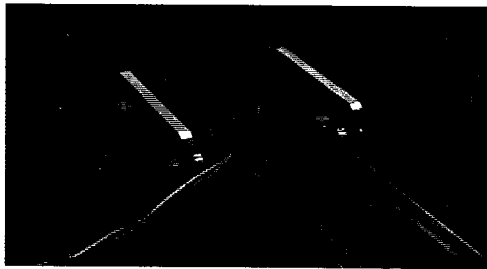
Fig.5 Thrust and voltage vs. input current

6. 결 론

본 논문에서는 시험기로서 정격 50[N]을 가지는 횡자속 TFLIM의 특성과 설계를 나타내었다. TFLIM의 특성고찰을 위해서 2차원 유한요소 소프트웨어와 해석적인 방법을 사용하였으며 추력과 수직력을 계산하고 분석하였다. 앞으로 남은 과제로서는 자기적 비선형성을 고려한 3차원적인 해석과 최적 설계에 대해서 연구되어야 할 것으로 사료된다..

(참 고 문 헌)

- [1] P.L.jamsen, L.J.Li and R.D.Lorenz, "Analysis of Competing Topologies of Linear Induction Machines for high speed material transport systems", Pro. IEEE-IAS Annual Meeting, Toronto, Canada, pp.273-281,1991,part 1.
- [2] Timothy M. Barrows, "Comparison of Combined Versus Separate Lift/Propulsion Systems", IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. VT-29, No.1, Feb.1980
- [3] I. Boldea and S.A.Nasar, "Thrust and normal force in a segmented secondary linear reluctance motor", Proc. IEEE, Vol.122, No.9, pp.922-924, Sept.1975

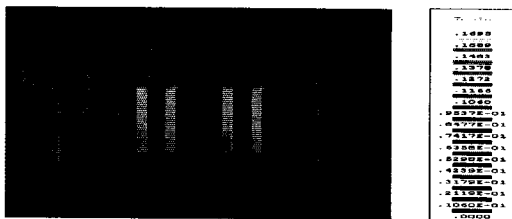


(a) mover



(b) stator

Fig.3 Test model of TFLIM



(a) Flux density distribution