

횡방향 편위에 따른 선형 유도 전동기의 특성 해석에 관한 연구

A Study on the Characteristic Analysis of Linear Induction Motor according to Transversal Displacement

任 達 鎬* · 金 完 植** · 崔 昌 奎** · 金 奎 卓**
 (Dal-Ho Im · Wan-Sik Kim · Chang-Gyou Choi · Gyu-Tak Kim)

요 약

본 연구에서는 선형 유도 전동기의 이동자가 곡선 경로등을 주행하게 될 때 발생하는 횡방향으로의 편위시에도 적용할 수 있는 Transverse Edge Effect에 관한 해석 방법을 제시하였으며, 1, 2차측의 폭 비, 편위등이 추력을 비롯한 전동기의 재반 특성에 미치는 영향을 규명함으로써 선형 유도 전동기의 설계시 필요한 지표자료를 제시하였다.

Abstract- An analysis method about Transverse Edge Effect is suggested which can be applied even in transversal decline when the mover of linear induction motor runs along a curvilinear path. The criteria for linear induction motor design is proposed by indentifying the influence of the ratio of width and displacement of primary and secondary.

1. 서 론

최근 산업사회의 고도화에 따라 직선운동을 필요로 하는 시스템의 수요가 날로 증가하고 있다. 그러나, 이들 시스템을 구동하는 동력장치는 대부분 회전형 전동기를 이용하고 있는 실정으로 직선운동계에 이를 이용할 경우에는 회전운동을 직선

운동으로 변환하는 부수적인 동력변환장치가 필요하므로 시스템 구성이 복잡하게 되며, 이들 변환장치에 의한 손실, 소음, 진동 등이 발생하여 비효율적이다. 이와같은 단점은 전기 에너지를 직접 직선적인 역학적 에너지로 변환하여 추력을 발생하는 선형전동기를 이용하면 해결할 수 있다. 그러므로, 선형전동기는 FA, OA기를 비롯한 정밀기기 산업, 자동 반송 장치 및 자기 부상 열차 등의 구동원으로서 각광을 받고 있으며 그 수요 또한 날로 증가되고 있다.

선형 유도 전동기는 일반 회전형 유도전동기와 그 구조상 다른 특징 때문에 단부효과와 횡방향

*正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 **正 會 員 : 漢陽大 大學院 電氣工學科 博士課程
 接受日字 : 1989年 2月 8日
 1次修正 : 1989年 8月 1日
 2次修正 : 1989年 9月 22日

Edge Effect라는 특수한 현상이 나타난다. 특히, 고속운전시 주로 문제시되는 단부효과와는 달리 횡방향 Edge Effect는 기동 및 저속에서도 2차축의 저항을 상승, 유효 공극 길이의 증가, 공극자속분포의 왜곡 등 전동기의 제반 특성에 악영향을 미친다. [1~4] 또한 자기 부상 열차 및 자동 반송장치 등에서와 같이 곡선 경로나 경사지등을 주행하는 경우는 이동자가 한쪽으로 편위되어 편향력이 발생하여 운전이 불안정하게 되므로 선형 전동기 설계시 반드시 고려하여야 한다. [5, 6]

그러나 지금까지의 횡방향에 관한 연구는 2차축이 좌, 우 대칭인 경우만을 다루어, 편위시 발생하는 편향력 등에 관한 연구는 거의 없으므로 곡선경로를 주행하는 자기 부상 열차나, 자동 반송장치등에 적용하기에는 미흡한 점이 많았다. [7~13] 따라서 본 연구에서는 2차축이 편위된 경우에도 적용할 수 있는 해석 방법을 제시하였으며, 1, 2차축의 폭비, 편위등이 추력을 비롯한 전동기의 제반 특성에 미치는 영향을 규명함으로써 선형 유도 전동기의 설계시 필요한 지표자료를 제시하였으며 기동시의 실험치와 비교함으로써 본 연구의 타당성을 입증하였다.

2. 지배 방정식 및 특성 계산

2.1 가정 및 지배 방정식

본 논문에서는 그림 1과 같은 편축식 선형 유도 전동기의 횡방향 특성을 해석하기 위하여 다음과 같은 가정을 두었다.

- 1차 여자권선에 의한 전류분포는 Current Sheet로 고려하며 슬롯에 의한 영향은 Carter계수로 고려한다.
- 입력전류는 y방향 성분만 존재하며 단부효과(End Effect)는 무시한다.
- 자계는 준 정상상태이며, 2차축 이동방향으로의 변화는 정현적이다.
- 공극자속은 z방향성분만 고려하며 표피효과는 무시한다.
- 철심의 투자율은 무한대이다.
- y방향의 편위에 따른 도체판의 도전율 변화는 다음의 등가 도전율로 고려한다. [14]

$$\rho_c = \rho / K_m$$

$$K_m = 1 - \frac{\tanh(Ka)}{Ka(1 + \tanh(Ka) \tanh(K(L-a)))}$$

여기서 L 는 $2b$ 또는 $2c$ 이고, $K = \pi/\tau$, ρ : 2차축

저항율, a : 1차철심폭의 1/2길이, b : 장축 Overhang의 2차축 길이, c : 단축 Overhang의 2차축 길이, τ : 극간격 이다.

이상과 같은 가정하에서 Maxwell의 전자방정식을 적용하여 2차축에 유기되는 와전류 분포에 관한 방정식을 유도하면 다음과 같다. [15~17]

$$\frac{\partial B_z}{\partial y} = \frac{\mu_0 d}{g} J_{rx} \tag{1}$$

$$\frac{\partial B_z}{\partial x} = -\frac{\mu_0}{g} (d \cdot J_{ry} + J_m) \tag{2}$$

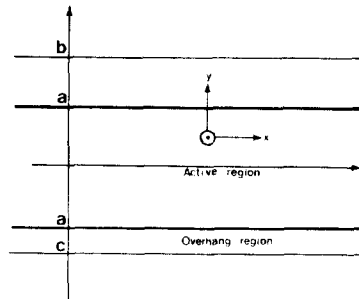
$$\frac{\partial J_{ry}}{\partial x} - \frac{\partial J_{rx}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial B_z}{\partial t} + V_x \frac{\partial B_z}{\partial x} \right] \tag{3}$$

$$\frac{\partial J_{rx}}{\partial x} + \frac{\partial J_{ry}}{\partial y} = 0 \tag{4}$$

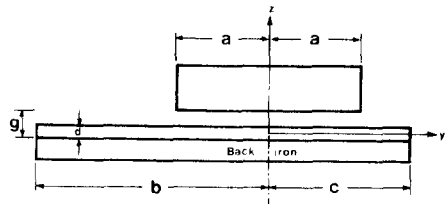
여기서 J_r 는 2차축에 유기된 와전류 밀도이며 J_m 는 입력 전류밀도의 최대치, d : 2차 도체판의 두께, V_x : 2차축 속도, g : 공극이다.

식(3)을 x 에 관하여 편미분하고 식(4)를 y 에 관하여 편미분하여 식(3)에 대하여 정리하면 2차축 와류중 추력을 발생하는 성분 즉 J_{ry} 에 대한 2계 편미분 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial^2 J_{ry}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 J_{ry}}{\partial y^2} - \frac{\mu_0 \sigma d}{g} \left[j\omega J_{ry} + V_x \cdot \frac{\partial J_{ry}}{\partial x} \right] = \frac{\mu_0 \sigma}{g} \left[j\omega J_m + V_x \cdot \frac{\partial J_m}{\partial x} \right] \tag{5}$$



(a) 평면도



(b) 측면도

그림 1 해석모델
Fig. 1 Analyzing Model

같은 방법으로 횡방향 Edge Effect의 주요원인이 되는 이동방향의 와류성분, 즉 J_{rx} 에 관한 지배 방정식을 유도하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 J_{rx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 J_{rx}}{\partial y^2} - \frac{\mu_0 \sigma d}{g} (j\omega J_{rx} + V_x \cdot \frac{\partial J_{rx}}{\partial x}) = 0 \quad (6)$$

식 (5)와 (6)은 active영역에 있어서의 와전류 밀도분포를 나타내는 지배방정식이다. 한편 양 Overhang부분에서는 입력, 전류밀도 및 자속이 존재하지 않는다고 가정하였으므로 J_{ry} 및 J_{rx} 에 관한 지배 방정식을 유도하면 식(7) 및 식(8)과 같이 된다.

$$\frac{\partial^2 J_{ry}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 J_{ry}}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 J_{rx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 J_{rx}}{\partial y^2} = 0 \quad (8)$$

2.2 경계조건 및 지배방정식의 해

그림 1의 해석 모델에서 알수 있는 바와 같이 2차축이 편위되는 경우 양 Overhang영역에서의 와전류 특성이 달라지게 되므로, 다음과 같이 영역을 분할하여 해석한다.

- I 영역 : 1차철심폭내의 active영역 $|y| < a$
- II 영역 : Overhang의 길이가 긴 영역 $a < y < b$
- III 영역 : Overhang의 길이가 짧은 영역 $-c < y < -a$

한편 식(5)~식(8)로 주어진 방정식의 계변수는 2차축 진행방향에 대하여 정현적으로 변화한다고 가정하였으므로, 1차 철심 유효폭내의 지배 방정식인 식(5) 및 식(6)은 다음식으로 표현된다.

$$\frac{d^2 J_{ryI}}{dy^2} - \left[K^2 + \frac{j\omega\mu_0\sigma}{g} d \right] J_{ryI} = j\omega\frac{\mu_0\sigma}{g} \cdot J_m \quad (9)$$

$$\frac{d^2 J_{rxI}}{dy^2} - \left[K^2 + \frac{j\omega\mu_0\sigma}{g} d \right] J_{rxI} = 0 \quad (10)$$

마찬가지로 양 Overhang에서의 지배방정식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{d^2 J_{ryII}}{dy^2} - K^2 J_{ryII} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{dJ_{ryII}}{dy} = jKJ_{rxII} \quad (12)$$

($i = \text{II 또는 III}$)

한편 식(9)~식(12)으로 주어진 방정식을 풀기

위한 경계조건으로는 먼저 양 Overhang의 끝에서는 진행방향과 수직인 j_{ry} 성분이 존재하지 않으므로 다음의 경계조건이 성립한다.

$$J_{ryII}(x, b) = 0 \quad (13)$$

$$J_{ryIII}(x, -c) = 0 \quad (14)$$

또한 전류 및 전계의 연속조건으로부터 식(15)~식(18)의 경계조건식이 얻어진다.

$$J_{ryI}(x, a) = J_{ryII}(x, a) \quad (15)$$

$$J_{ryI}(x, -a) = J_{ryIII}(x, -a) \quad (16)$$

$$\left(\frac{1}{\sigma_I} \right) J_{ryI}(x, a) = \left(\frac{1}{\sigma_{II}} \right) J_{ryII}(x, a) \quad (17)$$

$$\left(\frac{1}{\sigma_I} \right) J_{ryI}(x, -a) = \left(\frac{1}{\sigma_{III}} \right) J_{ryIII}(x, -a) \quad (18)$$

각 해석 영역에서의 지배방정식의 해를 구하기 위하여 먼저 식(9) 및 (10)의 편미분방정식을 풀면 1차철심 유효폭내의 와류향인 J_{ry} 및 J_{rx} 성분은 식(19) 및 (20)과 같이 된다.

$$J_{ryI} = A \cosh \gamma y + B \sinh \gamma y - \frac{j\omega\frac{\mu_0\sigma}{g}}{K^2 + \frac{j\omega\mu_0\sigma d}{g}} \cdot J_m \quad (19)$$

$$J_{rxI} = -\frac{j\gamma}{K} (A \sinh \gamma y + B \cosh \gamma y) \quad (20)$$

단, $\gamma^2 = K^2 + \frac{j\omega\mu_0\sigma d}{g}$ 이다.

같은 방법으로 양 Overhang영역에서의 와류향인 J_{ryII} , J_{rxII} , J_{ryIII} 및 J_{rxIII} 를 유도하면 다음과 같다.

$$J_{ryII} = C \frac{\sinh K(b-y)}{\sinh K(b-a)} \quad (21)$$

$$J_{rxII} = j C \frac{\cosh K(b-y)}{\sinh K(b-a)} \quad (22)$$

$$J_{ryIII} = D \frac{\sinh K(y+c)}{\sinh K(c-a)} \quad (23)$$

$$J_{rxIII} = -j D \frac{\cosh K(y+c)}{\sinh K(c-a)} \quad (24)$$

식(19)~(25)로 얻어진 각 영역의 와류향에 포함되어 있는 미지계수 A, B, C, D를 식(13)~(18)의 경계조건을 고려하여 구하면 다음과 같다.

$$A = \left[\frac{\rho_{II}}{\rho_I} \frac{j\omega a}{K^2 + j\omega a} \frac{J_m}{d} \right]$$

$$\begin{aligned}
 & \left\{ \frac{\gamma}{K} \cosh \gamma a \cdot \tanh K(c-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \sinh \gamma a \right\} \\
 & + \frac{\rho_{III}}{\rho_I} \frac{j\omega\alpha}{K^2 + j\omega\alpha} \frac{J_m}{d} \\
 & \left\{ \frac{\gamma}{K} \cosh \gamma a \cdot \tanh K(b-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \sinh \gamma a \right\} / \\
 & \left[\left\{ \frac{\gamma}{K} \sinh \gamma a \cdot \tanh K(b-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \cosh \gamma a \right\} \cdot \right. \\
 & \left. \left\{ \frac{\gamma}{K} \cosh \gamma a \cdot \tanh K(c-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \sinh \gamma a \right\} \right. \\
 & \left. + \left\{ \frac{\gamma}{K} \cosh \gamma a \cdot \tanh K(b-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \sinh \gamma a \right\} \cdot \right. \\
 & \left. \left\{ \frac{\gamma}{K} \sinh \gamma a \cdot \tanh K(c-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \cosh \gamma a \right\} \right] \\
 B = & \left[\frac{\rho_{II}}{\rho_I} \frac{j\omega\alpha}{K^2 + j\omega\alpha} \frac{J_m}{d} \cdot \right. \\
 & \left. \left\{ \frac{\gamma}{K} \sinh \gamma a \cdot \tanh K(c-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \cosh \gamma a \right\} \right. \\
 & - \frac{\rho_{III}}{\rho_I} \frac{j\omega\alpha}{K^2 + j\omega\alpha} \frac{J_m}{d} \\
 & \left. \left\{ \frac{\gamma}{K} \sinh \gamma a \cdot \tanh K(b-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \sinh \gamma a \right\} \right] / \\
 & \left[\left\{ \frac{\gamma}{K} \sinh \gamma a \cdot \tanh K(b-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \cosh \gamma a \right\} \right. \\
 & \cdot \left\{ \frac{\gamma}{a} \cosh \gamma a \tanh k(b-a) + \frac{\eta_{III}}{\eta_I} \sinh \gamma a \right\} \\
 & \left. + \left\{ \frac{\gamma}{k} \cosh \gamma a \tanh k(b-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \sinh \gamma a \right\} \right. \\
 & \left. \left\{ \frac{\gamma}{K} \sinh \gamma a \cdot \tanh K(c-a) + \frac{\rho_{II}}{\rho_I} \cosh \gamma a \right\} \right] \\
 C = & \left[A \cosh \gamma a + B \sinh \gamma a - \frac{j\omega\alpha}{K^2 + j\omega\alpha} \frac{J_m}{d} \right] \\
 D = & \left[A \cosh \gamma a - B \sinh \gamma a - \frac{j\omega\alpha}{K^2 + j\omega\alpha} \frac{J_m}{d} \right] \\
 \text{단 } \alpha = & \frac{\mu_0 \sigma d}{g} \text{ 이다.}
 \end{aligned}$$

2.3 추력 및 횡방향 편향력(Lateral Force) 계산

선형 유도전동기의 발생추력 및 편향력은 로렌츠의 힘의 방정식으로부터 유도할 수 있다. 즉 발생추력은 2차 도체판에 유기된 와류의 y방향성분과 1차 압력전원에 의해 발생된 공극자계 \$B_z\$와의 상호작용으로 추력이 발생한다. [15, 16] 그러므로 active영역 내의 발생추력은 식(25)가 같이 표현된다.

$$F_x = -\frac{1}{2} Re \int_{-a}^a \int_0^{p\tau} d \cdot J_{ry} \cdot B_{zo}^* dx dy \quad (25)$$

식(25)에 (19)식으로 주어진 전류밀도 \$J_{ry}\$의 평균치를 구하여 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 F_x = & B_0 J_m a p \tau Re \\
 & \cdot \left[j d \cdot \frac{A}{J_m} \frac{\sinh \gamma a}{\gamma a} + j \sin \phi \exp(-j\psi) \right] \quad (26)
 \end{aligned}$$

단 \$\tan \phi = \frac{j\omega\alpha}{K^2}\$ 이며, \$B_0 = \frac{\mu_0 J_m}{Kg}\$ 이다.

같은 방법으로 선형 유도 전동기의 2차측의 편위된 경우 발생하는 시스템의 불안정력, 즉 편향력 \$F_y\$는 2차측에 유기된 와전류의 진행방향 성분 \$J_x\$와 공극 자속에 의해 발생되므로 다음식으로 주어진다.

$$\begin{aligned}
 F_y = & -\frac{1}{2} Re \int_{-a}^a \int_0^{p\tau} d \cdot J_{rx} \cdot B_{zo}^* dx dy \\
 = & 1/2 B_0 J_m a p \tau Re \left[\frac{\gamma}{K} \frac{d \cdot B_0}{J_m} \frac{\sinh \gamma a}{\gamma a} \right] \quad (27)
 \end{aligned}$$

3. 해석 결과 및 검토

본 연구에서 이용한 선형 유도 전동기의 정격 및 세원은 표1과 같으며, 현 시험장치에서는 주형

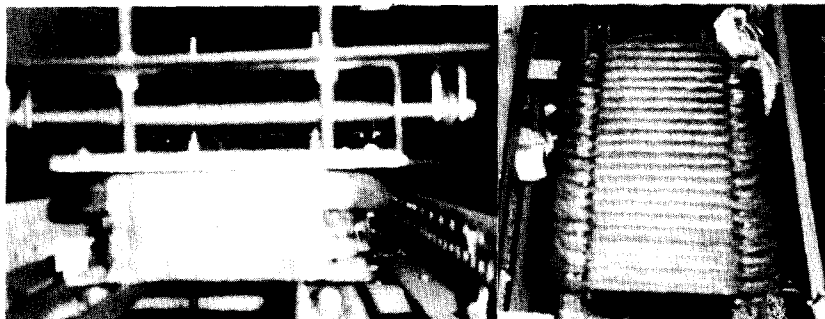


그림 2 시험기
Fig. 2 Experimental machine

표 1 해석 모델의 정격 및 제원
Table 1 Rating and Dimension of analysing model

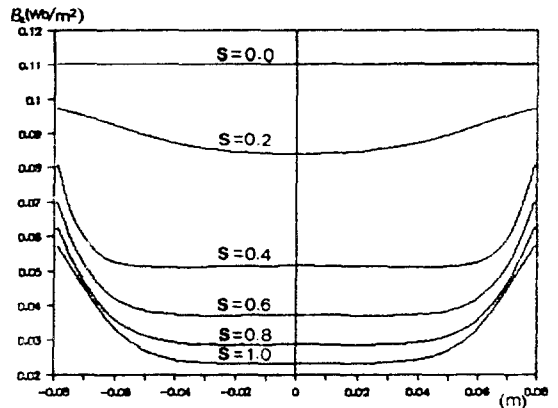
구 분	규 격
극간격(τ)	0.091(m)
극쌍수(P)	2
Slot수	21
Slot당 도체수	50
철심폭(2a)	0.158 (m)
철심두께	0.08 (m)
Slot폭	0.009 (m)
Slot길이	0.03 (m)
Overhang길이	0.051 (m)
상 수(m)	3
2차측 표면저항율(ρ)	2.6×10^{-8}
2차측두께(d)	0.0045(m)
2차측폭	0.26 (m)

시의 자속밀도 및 추력을 측정할 수 없어 구속시험에 의해 슬립 1일 때의 기동추력을 실측하였다. 측정장비로서, 자속밀도는 Magnetic Instrumentation사의 Gauss Meter Model 7303으로 측정하였으며 추력은 CHATILL제 Spring Balance(최대는 금 15Kg)으로 측정하였다.

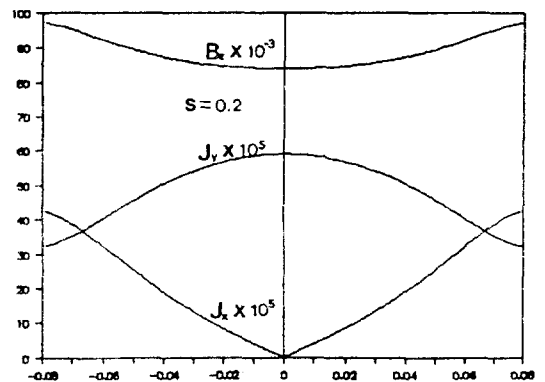
그림 3은 2차측이 1차측에 대하여 좌, 우 대칭인 경우의 해석 결과로서 (a)는 slip변화에 따른 횡방향의 자속밀도를 나타낸 것으로서 유효폭 단부에서 자속밀도가 증가하는 것은 전류의 연속 조건에 의하여 진행방향성분, 즉 J_x 가 증가하기 때문이다. 한편 그림 (b) 및 (c)는 슬립이 0.2 및 1.0인 경우의 자속 밀도 및 전류밀도를 도시한 것으로서 슬립이 증가하면 2차 도체판의 와전류가 증가하여 공극의 합성 자속은 감소하게 된다.

그림 4는 2차측이 한쪽으로 편위된 경우의 해석 결과로 (a), (b), (c)는 중심에서 2(cm)편위된 경우이며, (b), (d), (f)는 6(cm)편위된 경우의 슬립변화에 따른 자속밀도 및 전류밀도 분포를 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있듯이 편위가 클수록 자속밀도는 더욱 왜형되는데 이는 Overhang의 길이가 짧은 쪽에서는 전류의 연속조건에 의하여 2차측의 와전류중 진행방향성분, 즉 J_x 가 급격히 증가하기 때문이다.

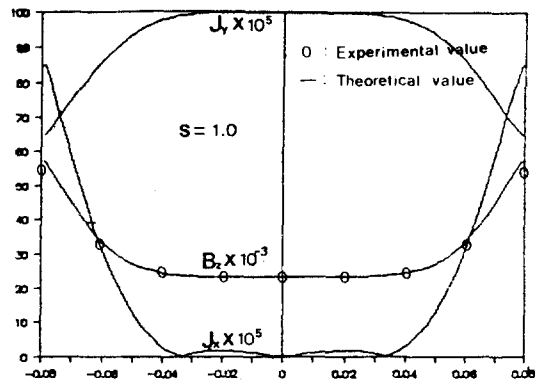
그림 5는 1차측을 고정시켜 놓고 2차측 폭을 변화시켜 가면서 슬립변화에 따른 추력 특성을 해석한 결과로 2차측 폭이 1차측의 1.14배이 1차측의 18(cm)에서 2(cm)씩 증가시킴에 따라 발생 추력은



(a) 슬립-자속밀도 분포



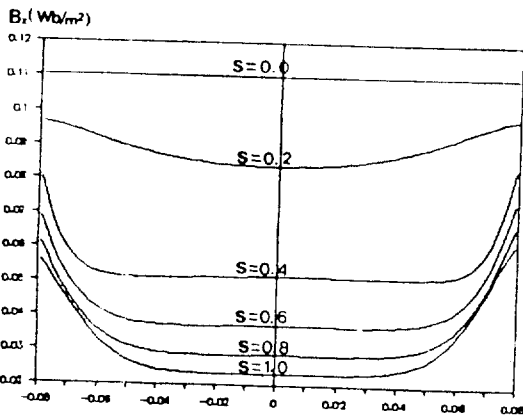
(b) s=0.2인 경우의 자속 및 전류밀도 분포



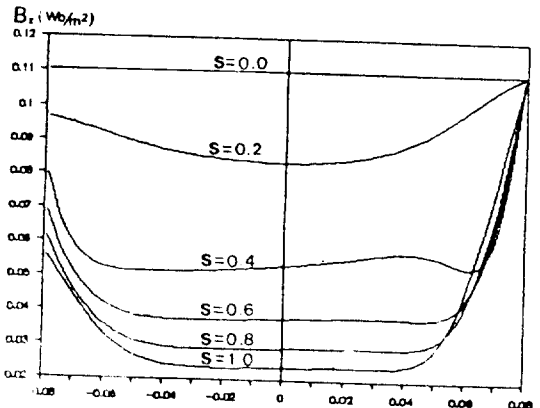
(c) s=1인 경우의 자속 및 전류밀도 분포

그림 3 좌, 우 대칭 모델의 횡방향 해석
Fig. 3 Transversal analysis of balanced model

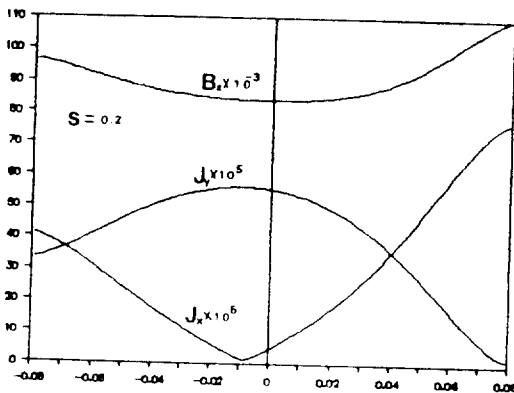
점점 증가하나, 1.4배인 22(cm)이상에서는 거의 증가하지 않았다. 즉, 2차폭이 1차측의 1.4배 이상에서는 발생 추력의 증가가 일어나지 않았으므로,



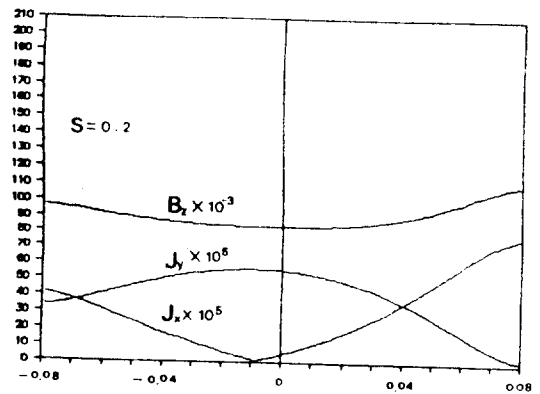
(a) 2(cm) 편위시 슬립-자속밀도 분포



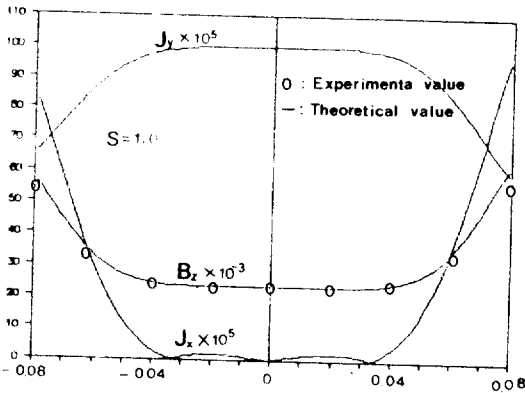
(d) s=0.2인 경우의 자속 및 전류밀도 분포 (u=60cm)



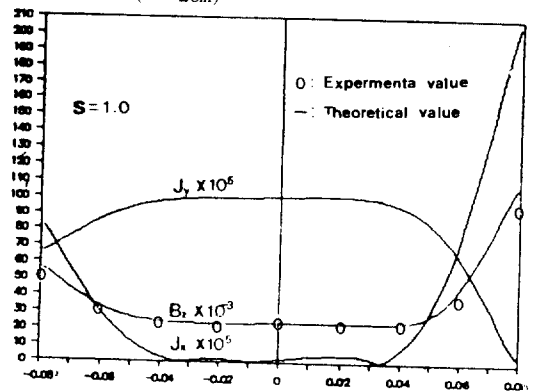
(b) 6(cm) 편위시 슬립-자속밀도 분포



(e) s=1인 경우의 자속 및 전류밀도 분포 (u=2cm)



(c) s=0.2인 경우의 자속 및 전류밀도 분포 (u=2cm)



(f) s=1인 경우의 자속 및 전류밀도 (u=6cm)

그림 4 좌, 우 비대칭 모델의 횡방향 해석

Fig. 4 Transversal analysis of unbalanced model

기기의 성능 평가지수 가운데 하나인 출력/전량비를 고려할 때 1차측과 2차측의 폭 비는 1.4배가 이상적인 기기가 됨을 알 수 있다.

그림 6은 해석 모델의 편위에 따른 발생 추력 및 편향력의 변화를 도시한 것으로서 (a), (b)는 슬립이 1.0인 경우, (c), (d)는 슬립이 0.2인 경

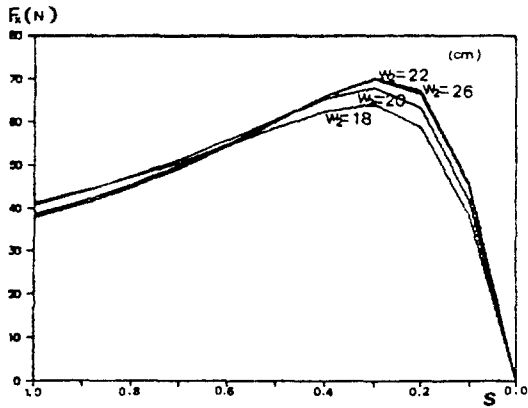
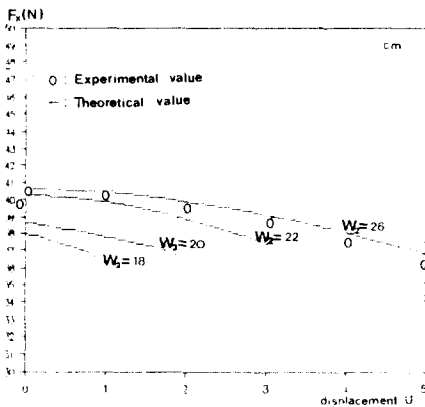


그림 5 2차측 변화에 따른 슬립-추력 특성 ($u=0$ cm)
 Fig. 5 Characteristics of thrust-slip according to secondary width ($u=0$ cm)

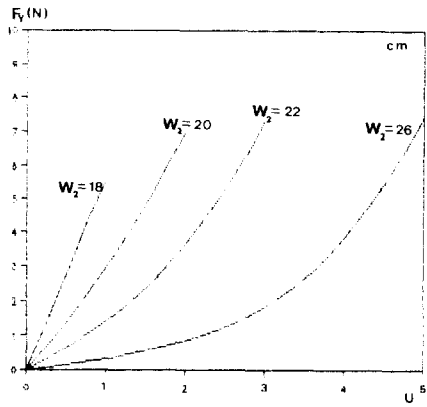
우로서 현 실험 장치에서는 주행시험을 할 수 없어 기동시의 실험치와 비교, 검토하였다. 그림 (a), (c)에서 알 수 있는 바와 같이, 2차 측의 폭이 증가할수록 편위에 따른 추력 감소가 적음을 알 수 있다.

즉 편위가 3(cm) 발생한 경우, 2차 측 폭이 22(cm)인 경우는 26(cm)인 경우의 기동 추력은 94.6%, 최대 추력은 92.8%로 감소하며 편위가 증가할수록 급격히 감소함을 알 수 있다.

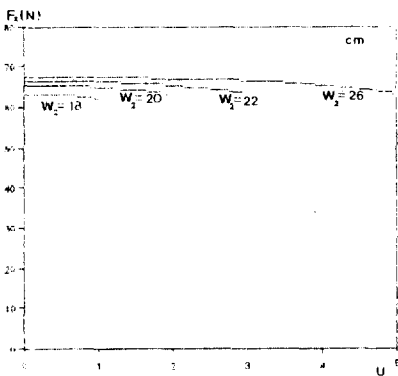
한편 편향력은 같은 편위에서 2차 측 폭이 26(cm)인 경우는 각각 1.7 N($s=1.0$), 0.8 N($s=0.2$)이나 22(cm)인 경우는 7.3 N($s=1.0$), 3.6 N($s=0.2$)으로 되어 시스템이 크게 불안정하게 됨을 알 수 있다. 따라서 선형 유도 진동기의 이동자가 곡선경로등을 주행하게 되어 횡방향으로 편위가 발생하는 시스템에 응용할 때에는 편향력을



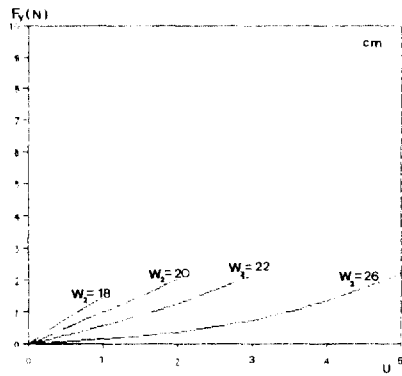
(a) 발생추력-편위 특성 ($s=1$)



(b) 편향력-편위 특성 ($s=1$)



(c) 발생추력-편위 특성 ($s=0.2$)



(d) 편향력-편위 특성 ($s=0.2$)

그림 6 편위에 따른 발생 추력 및 편향력
 Fig. 6 Thrust and lateral force with displacement

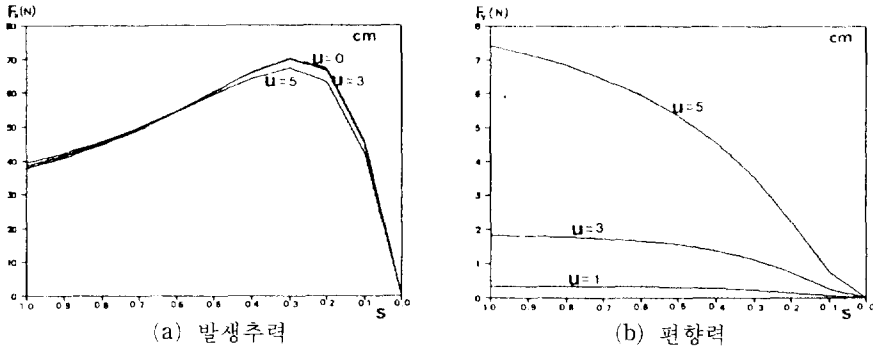


그림 7 편위시 슬립에 따른 발생 추력 및 편향력
Fig. 7 Thrust and lateral force with slip at displacement

고려하여 2차축의 폭이 1차축의 1.4배보다는 다소 크게 설계하여야 한다.

그림 7은 2차축의 폭이 26(cm)인 경우, 1, 2차축 편위시 슬립에 따른 발생 추력 및 편향력의 변화를 해석한 결과로, 편위시 발생 추력은 슬립 변화에 따라 큰 차이를 나타내지 않으나, 시스템의 불안정적인 편향력은 편위가 큰 경우 수하 특성을 나타내므로 자기 부상 열차나 자동 반송 장치에 선형 유도 전동기를 응용하는 경우는 저 슬립영역에서 시스템을 운전시키는 것이 안정함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 횡방향 편위에 따른 선형 유도 전동기의 특성을 규명하였으며 1, 2차축의 폭 비, 편위 등이 추력을 비롯한 전동기의 재반 특성에 미치는 영향을 규명함으로써 선형 유도 전동기의 설계시 필요한 지표자료를 제시하였다.

앞으로, 고속 운전시 문제가 되는 단부효과, 투자율의 비선형성 등을 고려하여 해석하면 정도 높은 해석이 가능하리라 보며, 이는 차후의 연구 과제라 하겠다.

본 연구는 상공부에서 시행한 공업 기반 기술 개발 사업의 지원으로 이루어진 연구의 일부입니다.

참 고 문 헌

[1] 임달호, 장석명, “단부효과를 고려한 L.I.M.의 동작특성 해석,” 대한 전기학회 논문지, vol. 36, no. 4, pp. 19-24, 1987.
 [2] Sakae Yamamura, “Theory of Linear Induc-

tion Motor,” John Wiley & Sons, 1979.
 [3] S.A. Nasar, I. Boldea, “Linear Motion Electric Machines,” John Wiley & Sons, 1976.
 [4] E.R. Laithwaite, “Induction Machines For Special Purpose,” London George Newnes Limited, 1966.
 [5] 임달호, “리니어 모터의 설계방식에 대한 개요와 응용 예”, 제27차 전기기기 연구회 27-1-3, pp. 19-24, 1988.
 [6] Bolton, H., “Transverse Edge Effect in Sheet-rotor Induction Motor,” Proc. IEEE, vol. 116, pp. 725-731, 1969.
 [7] S. Yamamura, H. Ito and Y. Ishikawa, “Theory of the Linear Induction Motor and Compensated Linear Induction Motor,” IEEE Trans. PAS, pp. 1700-1710, 1972.
 [8] T.W. Preston, A.B.J. Reece, “Transverse Edge Effect in Linear Induction Motor,” Proc. IEE, vol. 116, no. 6, pp. 937-979, 1969
 [9] S.A. Nasar, “Electromagnetic Fields and Forces in a Linear Induction Motor taking into account Edge Effect,” Proc. IEE, vol. 116, no. 4, pp. 605-609, 1969.
 [10] E.R. Laithwaite, J.F. Zastham, H.R. Bolton, “Linrar Motors with Transverse Flux,” Proc. IEE, vol. 118, no. 12, pp. 1761-1767, 1971.
 [11] 山材 昌, 伊藤春雄, “리니어誘導電動機の三次元解析,” JIEE. 51-B20, pp. 155-161, 1976.
 [12] 敏津長徳, 野中作太郎, “一次巻線のユイル端起磁力の形状を考慮したリニアインダクションマシンの解析,” JIEE, 54-B86, pp. 731-720, 1979.
 [13] 이윤중, 임달호, 백수현, “Sheet Rotor를 가

진 직선형 유도 전동기의 Transverse Edge Effect에 관한 연구,” 대한전기학회 논문지 vol. 23, no. 4, 1974.

- [14] R.L. Russel, K.H. Norsworthy, “Eddy currents and wall Losses in Screened-rotor Induction Motors,” Proc. IEE, vol. 105, pp. 163-175, 1958.
- [15] B. Hague, “The Principles of Electromagnet-

ism applied to Electrical Machines,” Dover Publication, 1962.

- [16] Johnk, “Engineering Electromagnetic Fields and Waves,” John Wiley & Sons, 1975.
- [17] L.V. Bewley, “Two-Dimensional Fields in Electrical Engineering,” Dover Publication, 1963.