

# 兩側式 線型誘導電動機의 二次元 磁束分布 解析에 관한 研究

## A Study on the 2-Dimensional Flux Distribution Analysis of a Double Sided Linear Induction Motor

任 達 鎬\* · 金 學 鍊\*\* · 曹 允 鉉\*\*\*  
 (Dal-Ho Im · Hak-Lyun Kim · Yun-Hyun Cho)

### 요 약

本 論文은 短一次型 兩側式 線型誘導電動機의 一次 固定子 鐵心の 有限길이, 有限幅에 의해서 야기되는 端部效果和 橫方向效果를 同時에 고려하기 위하여 二次元的 磁束分布 解析方法을 提案한 것이다. 또, 端部效果和 橫方向效果가 兩側式 線型誘導電動機의 推力에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 슬립周波數의 變化에 따른 各 推力들을 계산하였다. 本 解析의 妥當性을 확인하기 위하여 空隙内の 磁束密度分布를 시뮬레이션한 결과치와 실험치를 比較하였다.

**Abstract-** This paper proposes a two-dimensional magnetic flux distribution analysis of the double-sided linear induction motor (DLIM). Both the longitudinal end-effect and the transverse edge-effect, which are due to the finite length and width of the primary stator, are considered. Also, each force which is due to the variation of slip frequency was computed to show the fact that the thrust force of DLIM is dependent on both the longitudinal end-effect and the transverse edge-effect. To ascertain the propriety of this analysis, the simulated results of the magnetic flux density distribution in the airgap are compared to the experimental data.

### 1. 서 론

一般的인 構造의 短一次形 線型誘導電動機는 空

隙磁束을 만드는 一次側에 有限長의 固定子 鐵心에 불연속 一次卷線이 감겨져 있다.

따라서, 二次 導體板에 대한 有效한 起磁力은 一次 固定子 鐵心部分에만 존재하고 그 이외의 空間에는 존재하지 않기 때문에 磁界 進行方向인 從方向과 鐵心幅 方向의 橫方向에는 空間的으로 불연속이 된다. 그러므로, 線型誘導電動機는 從方向과 橫方向에 기존의 回轉型 誘導電動機에서 볼 수 없는 longitudinal end effect 와 transverse edge

\*正 會 員: 漢陽大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
 \*\*正 會 員: 서울 産業大 工大 電氣工學科 助教授  
 \*\*\*正 會 員: 漢陽大 工大 電氣工學科 博士過程  
 接 受 日 字: 1989年 1月 4日  
 1 次 修 正: 1989年 5月 8日  
 2 次 修 正: 1989年 7月 7日  
 3 次 修 正: 1989年 11月 2日

effect라 불리는 特性이 線型誘導電動機의 特性에 중요한 영향을 미친다는 것이 최근까지 많은 研究論文에 發表되었다. [1~12]

특히, 入口端과 出口端의 磁束 急變에 의해 二次 導體板에 誘導된 過電流에 의해 空隙 內의 進行磁界에 영향을 미치는 longitudinal end effect에 대해서는 Nasar, Yamamura, Dukowicz, Mosebach氏 등의 文獻에서 규명하였다. [1~8, 11, 12]

또, transverse edge effect는 Bolton, Preston氏 등의 보고가 있지만 端部效果를 고려하지 않고 transverse edge effect의 영향만을 고려하여 解析하였다. [9, 10]

그래서, 本 論文은 短一次型 線型誘導電動機의 特性에 증대한 영향을 미치는 longitudinal end effect와 transverse edge effect의 영향을 同時에 고려하기 위하여 길이方向과 幅方向에 대해 二次元的으로 Maxwell의 電磁方程式을 기초로 하여 基本方程式을 세우고 變數分離法을 사용하여 空隙 內의 磁束分布 및 推力 算定에 관하여 論하였다.

또, 算定된 數式의 타당성을 확인하기 위하여 兩側式 線型誘導電動機의 空隙 內의 磁束密度를 시뮬레이션결과치와 실험치를 비교, 검토하였다.

따라서, 本 研究에서 얻은 基本特性式들은 線型 誘導電動機를 구동장치로 하는 초고속전철, 자동반송장치, 등의 電動機 設計에 필요한 기초자료가 될 것으로 기대된다.

## 2. 解析모델 및 假定

短一次型 兩側式 線型 誘導電動機의 空隙 內의 磁束密度 分布를 解析의 解를 구하기 위하여 실제의 兩側式 線型誘導電動機를 간소한 解析 모델은 그림 (1)과 같다.

그림 (1)에서 Maxwell電磁方程式을 基本方程式으로 한 空隙 內의 磁束密度 分布를 구하기 위하여 다음과 같은 假定을 두기로 한다.

- 1) 一次 固定子 電流의 分布는 面電流(current sheet)로 하고 active zone( $0 \leq x < L$ ) 사이에서 Z軸 方向成分만 존재한다고 한다.
- 2) 勵磁電流는 空間的으로 X軸 方向으로 正弦的인 分布를 한다고 본다.
- 3) 二次側은 一次側의 中心軸에 대하여 左右 上下 對稱으로 위치하며, 磁束密度는 鐵心幅  $2\zeta W$  領域內에서만 Y 方向에 平行하며 그 以外에서의 周邊磁束(fringing flux)은 없다고 한다.
- 4) 磁束의 進行方向에 대하여 二次 導體板은 충분히 길고 二次 導體板의 表皮效果는 無視한다.

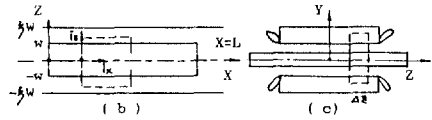
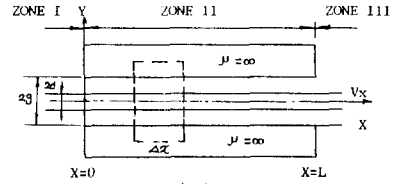


그림 1 單一次形 兩側式 線型 誘導電動機의 모델  
Fig. 1 Model of a double-side linear induction motor with a short primary ype.

- a) 側面圖
- b) 平面圖
- a) Side view
- b) Top view
- c) 正面圖
- c) Front view

- 5) 一次側 固定子の 透磁率은 無限大이며 導電率은 零(zero)이다.

## 3. 各 領域의 基本方程式

그림 1의 單一次形 兩側式 線型誘導電動機의 解析모델에 Ampere의 法則을 適用하면 다음 方程式이 얻어진다.

$$\frac{g}{\mu_0} \frac{\partial B_y}{\partial z} = J_x \cdot d \quad (1)$$

$$\frac{g}{\mu_0} \frac{\partial B_y}{\partial x} = J_{sz} + J_x \cdot d \quad (2)$$

二次 導體板의 X-Y平面에 誘導된 二次 電流密度, 以次 導體板의 移動速度와 磁束密度의 關係를 ohm의 法則에 適用하면

$$\rho_s \left( \frac{\partial J_z}{\partial x} - \frac{\partial J_x}{\partial z} \right) = V_x \frac{\partial B_y}{\partial x} + j\omega B_y \quad (3)$$

여기서, 一次鐵心의 슬롯을 無視한 表面에서의 一次 面電流  $J_{sz}$ 는 [2, 3, 4]

$$J_{sz} = J_s e^{j(\omega t - \frac{\pi}{\tau} x)}, J_s = \frac{3\sqrt{2} K_w N I_1}{p \tau} \quad (3)'$$

式 (1), (2), (3)을 조합한 空隙內의 active zone ( $0 \leq x < L$ )의 磁束密度 變化양상을 나타내는 磁束密度 變化 方程式은 다음 式(4)와 같다.

$$\frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 B_y}{\partial z^2} - \frac{V_x \mu_0 d}{\rho_s g} \frac{\partial B_y}{\partial x} - \frac{j \omega \mu_0 d}{\rho_s g} B_y = \frac{\mu_0}{g} \frac{\partial J_{sz}}{\partial x} \quad (4)$$

또, 有限 鐵心길이를 갖는 一次側의 active zone ( $x < 0$ )과 exit Zone ( $x \geq L$ )에 순수 無効 電力 成分의 假想的인 電流  $K_1$ 이 흐른다고 假定하면 다음 方程式을 얻을 수 있다. [3, 8]

$$g \frac{\partial H_y}{\partial x} = K_1 + J_z \cdot d \quad (5)$$

여기서,

$$K_1 = j \sigma_r E_z \quad (6)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial x} = j \omega \mu_0 H_y \quad (6)$$

따라서, 式(1), (3), (5)을 조합한 entry, exit zone에서의 磁束密度 方程式은 다음 式(7)과 같다.

$$\frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 B_y}{\partial z^2} - \frac{\mu_0 V_x d}{\rho_s g} \frac{\partial B_y}{\partial x} - \left( j \frac{\omega \mu_0 d}{\rho_s g} - \frac{\omega \mu_0 \sigma_r}{g} \right) B_y = 0 \quad (7)$$

### 4. 各 領域의 解와 境界條件

#### 4.1 各 領域의 磁束密度

1) active zone ( $0 \leq x < L$ )

$$B_{yII}(x, z) = B_s e^{-j \frac{\pi}{2} x} + \{ A_1 e^{-r_1 x} + A_2 e^{r_2(x-L)} \} \cos \frac{\pi}{2 \xi W} z \quad (8)$$

$$B_s = \frac{j \frac{\mu_0}{g} \left( \frac{\pi}{\tau} \right) J_s}{\left\{ \left( \frac{\pi}{\tau} \right)^2 + j \frac{\mu_0 d}{\rho_s g} \left( \omega - \frac{\pi}{\tau} x \right) \right\}} \quad (9)$$

$$r_1 = \alpha_1 + j \frac{\pi}{\tau_1}, \quad r_2 = \alpha_2 + j \frac{\pi}{\tau_1} \quad (10)$$

$$\alpha_1 = \frac{\rho_s g X_1 - \mu_0 d V_x}{2 \rho_s g}, \quad \alpha_2 = \frac{\mu_0 d V_x + \rho_s g X_1}{2 \rho_s g} \quad (11)$$

$$\tau_1 = \frac{\pi \rho_s g}{\mu_0 d \omega} X_1 \quad (12)$$

$$X_1 = \left\{ \left( \frac{\mu_0 d V_x}{\rho_s g} \right)^2 + \left( \frac{\pi}{\xi W} \right)^2 + \sqrt{\left( \frac{\mu_0 d V_x}{\rho_s g} \right)^2 - 1 \left( \frac{\pi}{\xi W} \right)^2 + 4 \left( \frac{2 \mu_0 \mu}{\rho_s g} \right)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

B) entry zone ( $x < 0$ ), exit zone ( $L \leq x$ )

$$B_{yI} = A_4 e^{r_4 x} \cos \frac{\pi}{2 \xi W} Z (x < 0) \quad (14)$$

$$B_{yIII} = A_3 e^{-r_3(x-L)} \cos \frac{\pi}{2 \xi W} Z (L \leq x) \quad (15)$$

$$r_3 = \alpha_3 + j \frac{\pi}{\tau_2}, \quad r_4 = \alpha_4 + j \frac{\pi}{\tau_2} \quad (16)$$

$$\alpha_3 = \frac{\rho_s g X_2 - V_x \mu_0 d}{2 g \rho_s}, \quad \alpha_4 = \frac{V_x \mu_0 d + \rho_s g X_2}{2 g \rho_s} \quad (17)$$

$$\tau_2 = \frac{\pi g}{\omega \mu_0 d} X_2 \quad (18)$$

$$X_2 = \left\{ \frac{\left( \frac{\mu_0 d V_x}{\rho_s g} \right)^2 + \left( \frac{\pi}{\xi W} \right)^2 - \frac{4 \omega \mu_0 \sigma_r}{g}}{2} \right\}^{\frac{1}{2}} \sqrt{\left\{ \left( \frac{\mu_0 d V_x}{\rho_s g} \right)^2 + \left( \frac{\pi}{\xi W} \right)^2 - \frac{4 \omega \mu_0 \sigma_r}{g} \right\}^2 + 4 \left( \frac{2 \omega \mu_0 d}{\rho_s g} \right)^2} \quad (19)$$

#### 4.2 境界條件

式(8), (14), (15)의 未知數  $A_1, A_2, A_3, A_4$ 를 결정하기 위하여 ( $z=0, x=0$ ), ( $z=0, x=L$ )의 점에서 磁束密度 및 電流의 連續條件은 다음과 같다.

1) entry zone과 active zone의 境界 ( $z=0, x=0$ 일 때)

$$B_{yI} = B_{yII} \quad (20)$$

$$\frac{\partial B_{yI}}{\partial x} = \frac{\partial B_{yII}}{\partial x} \quad (21)$$

2) active zone과 exit zone 境界 ( $z=0, x=L$ 일 때)

$$B_{yII} = B_{yIII} \quad (22)$$

$$\frac{\partial B_{yII}}{\partial x} = \frac{\partial B_{yIII}}{\partial x} \quad (23)$$

윗식의 境界條件으로 부터 式(8), (13), (14) 未知數  $A_1, A_2, A_3, A_4$ 는 다음과 같다.

$$A_1 = \frac{[(r_4 - r_2)r_3 - (r_2 + r_3) \cdot r_4 e^{r_2 L}] B_s}{[(r_1 + r_4)(r_2 + r_3) e^{r_2 L} - (r_2 - r_4) (r_1 - r_3) e^{-r_1 L}]} \quad (24)$$

$$A_2 = \frac{(r_1 - r_3) A_1 e^{-r_1 L} - r_3 B_s}{(r_2 + r_3)} \quad (25)$$

$$A_3 = B_s + A_1 e^{-r_1 L} + A_2 \quad (26)$$

$$A_4 = B_s + A_1 + A_2 e^{-r_2 L} \quad (27)$$

#### 5. 推力 計算

一次 固定子の 面電流와 쇄교하는 空隙 磁束密度  $B_y$ 와  $Z$ 軸方向 成分의 一次 面電流  $J_{sz}$ 사이

Lorentz의 힘  $F_x$ 가 발생하는데, 이 때 작용하는 힘의 時間的 平均값  $F_x[N]$ 는 式 (3)'와 式 (8)을 式 (28)에 代入하면 式 (29), (30), (31)으로 分離할 수 있다.

式 (29)은 正常波 進行 磁界의  $B_s$ 成分에 의한 推力이고 式 (30)은 longitudinal end effect와 transverse edge effect에 의한 영향이 고려된 正方向 進行波 磁界에 의한 推力이고 式 (31)은 逆方向 進行波 磁界에 의한 推력을 나타낸다.

$$F_x = \frac{1}{2} \int_{-w}^w \int_0^L Re(B_y J_{sz}^*) dx dz$$

$$= F_C + F_F + F_B \tag{28}$$

$$F_C = LWR_e\{B_s J_s\} \tag{29}$$

$$F_F = Re \left\{ \frac{2\xi W}{\pi} A_1 J_s \sin \frac{\pi}{2\xi} \frac{(e^{j\frac{\pi}{\tau}L} - 1)}{(j\frac{\pi}{\tau} - r_1)} \right\} \tag{30}$$

$$F_B = Re \left\{ \frac{2\xi W}{\pi} A_2 J_s \sin \frac{\pi}{2\xi} \frac{(e^{j\frac{\pi}{\tau}L} - e^{-r_2L})}{(j\frac{\pi}{\tau} + r_2)} \right\} \tag{31}$$

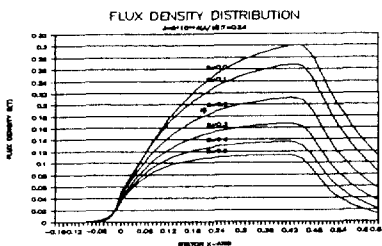
### 6. 理論値와 實驗値의 比較 및 檢討

設計 理論式의 計算과 實驗을 위하여 試作機의 重要 定數는 附錄의 圖表와 같다.

또, 本 實驗을 위하여 Hall素子를 使用하여 測定하였으며 Hall素子의 補正係數는 Gauss meter와 比較한 0.02를 곱한 값이 실제의 磁束密度(T) 값이 된다.

#### 6.1 空隙의 磁束密度의 計算値(z=0.0(m))

그림 2(a)는 슬립 S를 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, 0.0일 때 一次 固定子 鐵心 表面에서 空隙 磁束密度의 Y方向 成分의 最大値의 X軸方向의 空間分布를 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 그림 (b)는 슬립 S가 0.2일 때 X軸方向 各 지점 0.0, 0.12, 0.24, 0.36, 0.048(m)에서 空隙의 瞬時磁束密



(a)

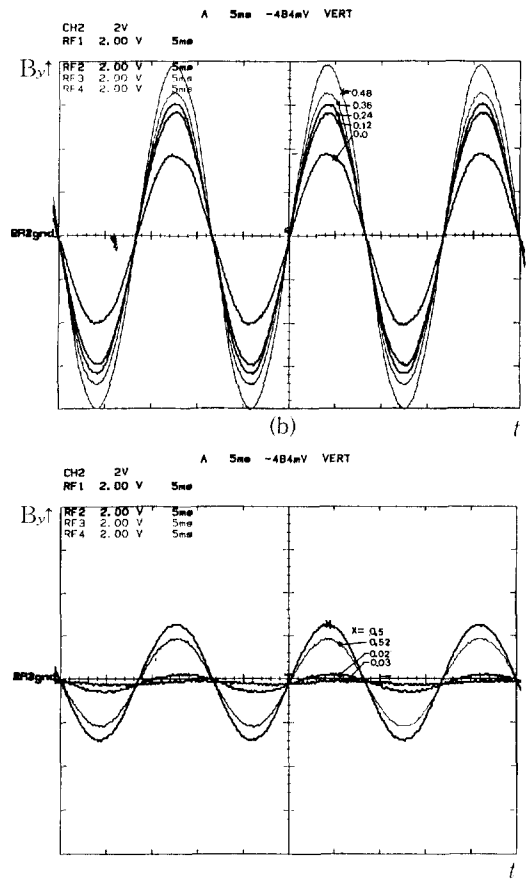
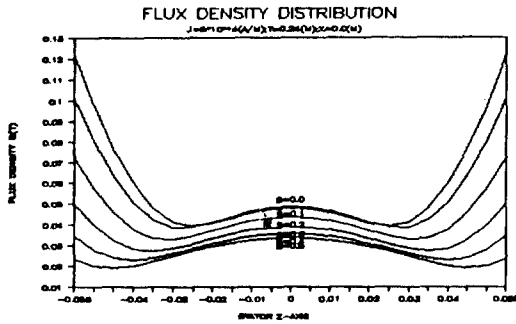


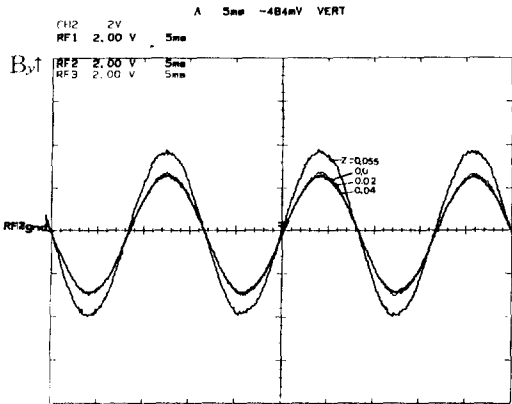
그림 2 X軸方向의 磁束密度 分布  
Fig. 2 The magnetic flux density distribution of X-axis direction.

- (a) 空隙內에서 磁束密度의 計算値(z=0.0(m))
- (a) Calculated values of magnetic flux density distribution in the air gap. (z=0.0(m))
- (b) 슬립 S=0.2에서 X軸方向의 瞬時磁束密度의 測定値(z=0.0(m))
- (b) Measured values of instantaneous magnetic flux density of X-axis direction at Slip S=0.2(Z=0.0(m))
- (c) 슬립 S=0.2에서 X軸方向의 瞬時磁束密度의 測定値(Z=0.0(m))
- (c) Measured values of instantaneous magnetic flux density of X-axis direction at slip s=0.2 (z=0.0(m))

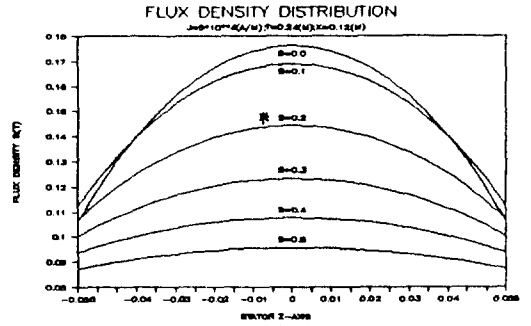
도를 測定한 實驗値로 入口端에서 出口端으로 갈수록 磁束密度값이 증가함을 알 수 있다.



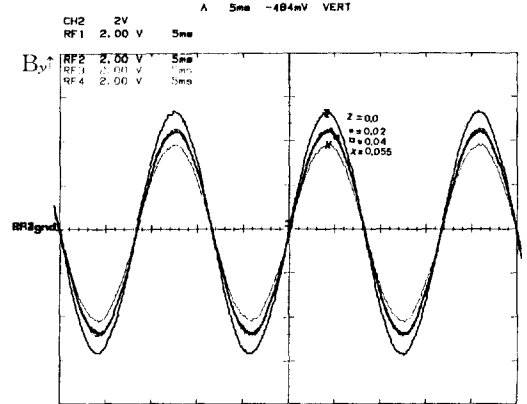
(a)



(b)



(a)



(b)

그림 3 Z軸方向의 磁束密度分布 ( $x=0.0(m)$ )  
 Fig. 3 The magnetic flux density distribution of Z-axis direction ( $x=0.0(m)$ )

- (a) 空隙內에서 磁束密度的 計算值 ( $x=0.0(m)$ )
- (a) Calculated values of magnetic flux density distribution in the air gap. ( $x=0.0(m)$ )
- (b) 슬립  $s=0.2$ 에서 Z軸方向의 瞬時磁束密度的 測定值 ( $x=0.0(m)$ )
- (b) Measured values of instantaneous magnetic flux density of Z-axis direction at slip  $s=0.2(x=0.0(m))$

그림 4 Z軸方向의 磁束密度分布 ( $x=0.12(m)$ )  
 Fig. 4 The magnetic flux density distribution of z-axis direction ( $x=0.12(m)$ )

- (a) 空隙內에서 磁束密度的 計算值 ( $x=0.12(m)$ )
- (a) Calculated values of magnetic flux density distribution in the air gap. ( $x=0.12(m)$ )
- (b) 슬립  $S=0.2$ 에서 Z軸方向의 瞬時磁束密度的 測定值 ( $x=0.12(m)$ )
- (b) Measured values of instantaneous magnetic flux density of Z-axis direction at slip  $s=0.2(x=0.12(m))$

또 그림 2(c)는 entry zone과 exit zone의  $x$ 가  $-0.003, -0.02, 0.50, 0.52(m)$ 인 지점의 測定값으로 exit zone에서의 磁束密度가 entry zone에서 값보다 훨씬 큰 값을 갖음을 알 수 있다.

그림 3(a), 4(a), 5(a), 6(a)는 슬립변화에 따른 鐵心幅 方向인  $z$ 軸上의 磁束密度 分布를 固定子 鐵心の  $x$ 軸方向의 各各의 位置에 따른 시뮬레이션한 結果를 나타내며 그림 3(b), 4(b), 5(b), 6(b)는 슬립이 0.2일 때 X軸 方向의 各各의 位置에 따른 實驗值 結果이다.

여기서,  $x=0.0(m)$ 인 entry zone과  $x=$

$0.48(m)$ 인 exit zone에서는  $z=0.0(m)$ 인 점에서 가장 낮은 磁束密度 分布를 이루는 반면에 바깥쪽으로 갈수록 磁束密度가 높아 짐을 알 수 있다. 또한, active zone인  $x=0.12, 0.24(m)$ 인 지점에서는 오히려  $z=0.0(m)$ 인 점에서 가장 높은 磁束密度를 이루나 바깥쪽과 큰 差異가 없음을 알 수 있다.

### 6.2 推力 特性

그림 (7)는 推力-슬립 曲線으로 式 (28)에서 全體 推力  $F_x$ 는 正常波 進行 磁界에 의한 推力  $F_c$

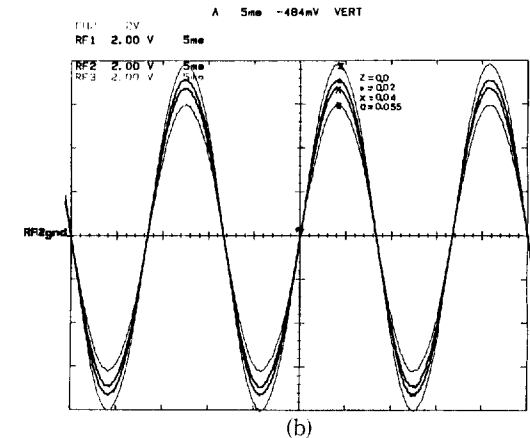
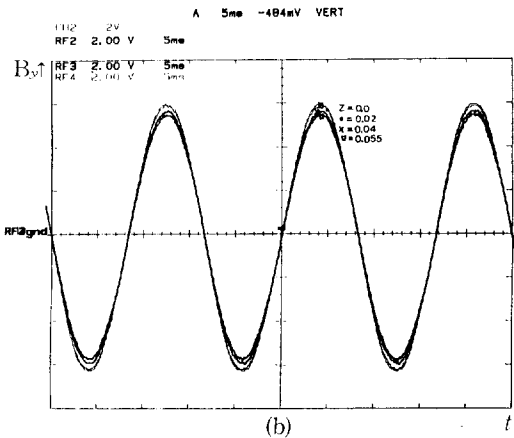
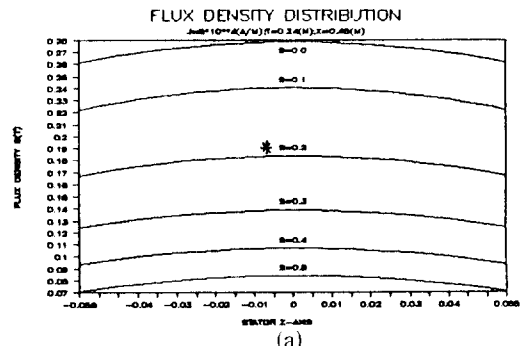
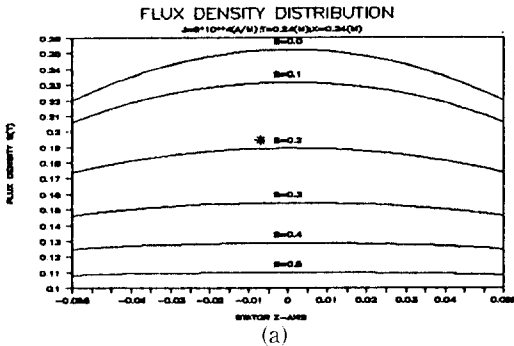


그림 5 Z축 방향의 磁束密度分布 (x=0.24(m))  
 Fig. 5 The magnetic flux density distribution of z-axis direction(x=0.24(m))

그림 6 Z축 방향의 磁束密度分析 (x=0.48(m))  
 Fig. 6 The magnetic flux density distribution of Z-axis direction (x=0.48(m))

- (a) 空隙内에서 磁束密度的 計算值 (x=0.24(m))
- (a) Calculated values of magnetic flux density distribution in the air gap. (x=0.24(m))
- (b) 슬립 s=0.2에서 Z축 방향의 瞬時磁束密度的 測定值 (x=0.24(m))
- (b) Measured values of instantaneous magnetic flux density of Z-axis direction at slip s=0.2 (x=0.24(m))

- (a) 空隙内에서 磁束密度的 計算值 (x=0.48(m))
- (a) Calculated values of magnetic flux density distribution in the air gap. (x=0.48(m))
- (b) 슬립 s=0.2에서 Z축 방향의 瞬時磁束密度的 測定值 (x=0.48(m))
- (b) Measured values of instantaneous magnetic flux density of Z-axis direction at slip s=0.2 (x=0.48(m))

과 正方向 進行波 磁界에 의한 推力  $F_F$ 와 逆方向 進行波 磁界에 의한 推力  $F_B$ 의 合成된 힘으로 나타내며, 正方向 進行波 磁界에 의한 推力가 全領域에 걸쳐서 상당한 영향을 미치는 반면에 逆方向 進行波 磁界에 의한 推力는 그다지 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

또, 슬립  $s=0$ 인 同期速度에서는 正의 推力가 發生함을 알 수 있는데 이것은 本 논문 的 試作機와 같은 低速度 短一次形 線型誘導電動機에서 일어나는 特異한 現象이다.

### 7. 結 論

本 論文은 短一次形 兩側式 線型 誘導電動機의 空隙 内の 磁束密度를 Maxwell의 電磁方程式을 기초로 하여 二次元的 解析에 의한 解를 유도하므로 從方向의 端部効果와 橫方向의 transverse edge effect의 特性을 同時에 고려할 수 있었다. 특히, 기존의 無限길이에 대한 磁束密度的 橫方向만의 transverse edge effect의 영향을 고려하여 解析한

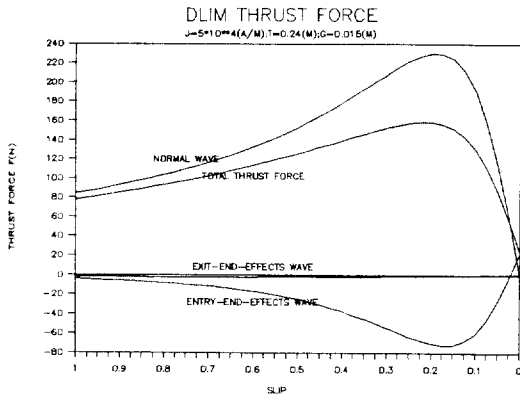


그림 7 속도-推力 곡線  
 Fig. 7 Velocity-thrust force curve

것과는 다른 樣像의 transverse edge effect가 나타났으며 端部效果의 영향으로 exit zone부근에서는 entry zone부근에 비해서 슬립速度가 증가함에 따라 磁束密度가 급격히 增加함을 알 수 있었다.

따라서, 短一次形 兩側式 線型 誘導電動機의 設計時에는 이러한 영향을 면밀히 고려하여 設計하면 좋은 性能의 電動機를 얻을 수 있을 것으로 본다.

附 錄

本 論文에서의 試作機의 重要사항은 다음과 같다.

1次 鐵心の 길이	0.48[m]
1次 鐵心の 幅	0.11[m]
空隙의 길이	0.015[m]
極 間隔	0.24[m]
1次 面電流密度	50000[A/m]
2次 導體의 抵抗率	$1.048 \times 10^{-5}[\Omega/m]$
空氣 中の 透磁率	$4\pi \times 10^{-7}[H/m]$
2次 導體板의 두께	0.003[m]
每相每極 導體水	800[개]
周波數	60[HZ]
1次鐵心과 2次導體板의 幅 比( $\xi$ )	1.5

記 號

- $B_y$  : 空隙磁束密度의 Y方向成分[Wb/m<sup>2</sup>]
- $J_s$  : 一次 面電流密度 [A/m]
- $J_x, J_z$  : 二次 導體板의 電流密度의 X 및 Y方向成分 [A/m<sup>2</sup>]
- $\rho_s$  : 二次 導體板의 抵抗率 [ $\Omega/m$ ]
- $g$  : 空隙길이 [m]

- $W$  : 二次 導體板 有効幅의 半의 길이[m]
- $\xi W$  : 二次 導體板의 幅의 半의 길이[m]
- $d$  : 二次 導體板의 두께 [m]
- $\tau$  : 極 間隔 [m]
- $P$  : 極數
- $L$  : 一次鐵心の 길이 (=2p $\tau$ )
- $V_x$  : 二次 導體의 移動速度[m/s]
- $I_1$  : 一次의 相電流[A]

참 고 문 헌

- [1] E.R. Laith waite; Induction machine for special purpose, London, George Newnes.
- [2] S. Yamamura; Theory of linear induction motors, university of Tokyo press (1972).
- [3] S.A. Nasar, I. BOLAEAE; Linear motion Electric machines, John Willey and Sons, Inc 1976.
- [4] M. Poloujadoff; The theory of induction machines, oxford university press.
- [5] S.A. Nasar, "Electromagnetic fields and force in a linear induction motor taking into account edge effects," pro. IEEE, Vol. 116, No. 4, pp. 605~609.
- [6] S. Yamamura, "誘導形 리ニア모터의 端效果について", JIEEJ 90, 459(昭 45-19).
- [7] S. Yamamura, H. Ito, Y. Ishikawa, "Theories of the Linear induction motor and componsated Linear induction motor," April 14 1972, pp. 1700~1710.
- [8] Johnk. Dukowicz, "Analysis of Linear incution machines with discrete windings and tinite iron length," IEEE Trans., Vol. PAS-96, No. 1, January/Feb., 1977.
- [9] H. Bolton, "Transverse edge effects in sheet rotor induction motors," ibid, 1969, pp. 725~731.
- [10] T.W. Preston and A.B.T. Reece, "Transverse edge effect in Linear induction motors," Proc. IEEE, Vol. 116, pp. 973~979, June, 1969.
- [11] C.H. Lee, C.Y. Chin, "A theoretical analysis of linear induction motors," IEEE Trans. Power Appartus and system, vol. PAS-98, No. 2, March/April 1979.
- [12] M. Poloujadoff, B. Morel, A. Bolopion, "Simulateous consideration of induction motors," IEEE Transactions.