

# Sheet Rotor를 가진 直線型 誘導電動機의 Transverse Edge Effect에 관한 研究

논문  
23~4~1

## A study on transverse edge effect in linear induction motor with sheet rotor

李 允 鍾 · 任 達 鎬 · 白 壽 鉉  
(Yun Jong Lee, Dal Ho Im, Soo Hyun Baek)

### Abstract

In most previous research work, the transverse edge effect has been allowed for only by use of a relativity-increase factor. This paper gives a more exact treatment.

A two-dimensional-field analysis is presented for the problem of sheet rotor linear induction motor with finite width the method used takes account of flux leakage in the space between the stator and secondary sheet rotor as well as in the secondary itself. Equations are derived for the flux density distribution in the air gap and for the starting force, in each case as a function of stator current.

The cross gap flux density peaks towards the edge of the stator. This phenomena is known as the transverse edge effect. Measurements of the flux density in the air gap and starting force on a linear induction motor with sheet rotor of different width showed a reasonable agreement, suggest that it would be desirable to take into account also, at least for this motor in which severe redistribution occurs.

### I. 序 論

直線型 誘導電動機는 空腔內의 合成磁束과 이 磁束에 依하여 2次側 sheet rotor에 誘起되는 eddy current 사이에 驅動力을 發生하는 誘導電動機의 一種으로써 一般誘導電動機를 回轉軸을 포함한 평면으로 잘라 切개한 구조로 되어 있다.

따라서 기본적인 이론은 일반 誘導電動機와 同一하게 다루어지나 그 構造形態에 따라 횡축단부등 特異한 理論的 解析面이 많다.

특히 sheet rotor를 가진 直線型 誘導電動機에서는 skin effect<sup>1)</sup>나 end effect<sup>2)</sup>등의 현상을 考慮하는 理論解析方法이 있으나 本 論文에서는 transverse edge effect<sup>3)</sup>만을 考慮하여 空腔合成磁束과 發生推力的 식을 유도하였다.

Bolton은 機械設計에 資料가 되는 係數를 기준으로

特性解析을 하였고 Preston은 stator에 흐르는 電流를 fourier 級數로 전개하여 磁束分布를 구하였으나 本 論文에서는 좀더 實用的인 結果를 얻기 위해 stator 電流를 current sheet로 보고 sheet rotor幅을 기준으로 transverse edge effect를 究明하므로써 直線型 誘導電動機에 좀더 正確한 理論解析을 얻도록 하는데 目的을 두었다.

한편 이론식의 타당성을 확인하기 위하여 sheet rotor의 幅을 달리하여 그 實驗値를 얻어서 理論式의 計算値와 比較 檢討하였다.

아울러 空腔磁束密度와 發生推力이 stator幅에 대한 rotor幅의 比와 어떠한 관계가 성립하는가를 밝혔다.

### II. 理論式의 誘導

直線型 誘導電動機의 理論的 特性을 해석하는데는 一般誘導電動機의 等價回路解析法과는 달리 maxwell의

電磁方程式을 이용하는 편이 유리하다.

따라서 直線型 誘導電動機 試作機에 그림 1과 같이 좌표를 설정하여 이론식을 유도하기로 한다.

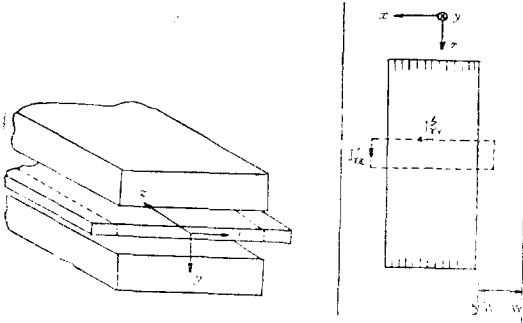


그림 1. 直線型 誘導電動機의 모델  
Fig 1. Model of linear motor.

II-1. 電磁方程式의 適用

直線型 誘導電動機의 이론적 특성을 해석하는데 필요한 방정식을 유도하기 위하여 다음과 같은 maxwell 방정식을 인용한다.

$$\text{rot } H = i \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{div } i = 0 \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{rot } E = - \frac{\partial B}{\partial t} \dots\dots\dots (3)$$

$$i = KE \dots\dots\dots (4)$$

이상의 방정식을 直線型 誘導電動機에 적용하여 電磁界 理論을 전개하는 경우 몇가지 조건을 가정하지 않으면 그 해석이 매우 복잡하게 되어 실용적이 되지 못하므로 다음과 같은 가정을 두기로 한다.

- (1) flux는 鐵心幅 2W領域에서만 y軸方向에 평행하고 모든 fringing flux는 없는 것으로 한다.
- (2) 一次勵磁 권선의 電流分布는 current sheet로 본다.
- (3) 二次 sheet rotor 電流의 y軸方向變化 즉 포피 효과는 없는 것으로 한다.

이상의 가정하에 기본방정식을 적용하여 空際磁束의 일반 방정식을 유도하면 식 (1)~식 (2)로부터 다음과 같은 등식이 성립한다,

$$\frac{\partial J_{xz}}{\partial x} - \frac{\partial J_{zx}}{\partial z} = j\omega k B_y \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{\partial J_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial J_{zx}}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{\partial B_y}{\partial z} = - \frac{\mu_0}{g} (J_{xz} + J_{zx}) \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{\partial B_y}{\partial x} = \frac{\mu_0}{g} J_{zx} \dots\dots\dots (8)$$

식 (7)의 양변에 z에 관한 편미분을 취하면

$$\frac{\partial J_{xz}}{\partial z} = - \frac{g}{\mu_0} \frac{\partial^2 B_y}{\partial z^2} - \frac{\partial J_{zx}}{\partial z} \dots\dots\dots (9)$$

이 된다.

또 식 (8)의 양변에 x에 관한 편미분을 취하면

$$\frac{\partial J_{xz}}{\partial x} = \frac{g}{\mu_0} \frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2} \dots\dots\dots (10)$$

이 된다.

식 (5)에 식 (9), 식 (10)을 代入하면

$$\frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 B_y}{\partial z^2} - j \frac{\mu_0 \omega k B_y}{g} = - \frac{\mu_0}{g} \frac{\partial J_{xz}}{\partial z} \dots\dots\dots (11)$$

와 같은 B<sub>y</sub>에 관한 2階線型 편미분 방정식을 얻을 수 있다.

固定子 電流密度 J<sub>zx</sub>는 current sheet로 보았으므로

$$J_{zx} = J_0 e^{j(\omega t - \frac{\pi}{\tau} z)} \dots\dots\dots (12)$$

와 같이 놓을 수 있고 여기서 J는 current sheet의 최대치이다.

그런데 空際磁界도 Z方向에 正弦波 分布를 하고 電流周波數와 같은 周波數의 移動磁界를 형성하므로

$$B_y = \dot{B}_y(x) e^{j(\omega t - \frac{\pi}{\tau} z)} \dots\dots\dots (13)$$

라 놓을 수 있다.

따라서  $\frac{\partial}{\partial z}$ 를  $-j \frac{\pi}{\tau}$ ,  $\frac{\partial^2}{\partial z^2}$ 을  $(-j \frac{\pi}{\tau})^2$ 으로 치환하고 식 (12), (13)을 식 (11)에 代入하면

$$\frac{d^2 \dot{B}_y(x)}{dx^2} - \left( \frac{\pi^2}{\tau^2} + j \frac{\mu_0 \omega k}{g} \right) \dot{B}_y(x) = j \frac{\pi}{\tau} \frac{\mu_0}{g} J \dots\dots\dots (14)$$

이 되어  $\dot{B}_y(x)$ 에 관한 2階線型 微分 方程式을 얻을 수 있다.

$\dot{B}_y(x)$ 의 表現式인 식 (14)의 解를 구하기 위해 定常項과 非定常項을 각각 구별하여 풀면 다음과 같다.

(A) 空際磁束密度的 定常項

식 (14)의 定常項에 관한 방정식은

$$\frac{d^2 \dot{B}_y(x)}{dx^2} - \left( \frac{\pi^2}{\tau^2} + j \frac{\mu_0 \omega k}{g} \right) \dot{B}_y(x) = j \frac{\pi}{\tau} \frac{\mu_0}{g} J \dots\dots\dots (15)$$

와 같은데 驅動함수인 J<sub>zx</sub>가 x軸에 따라 不變이므로

$$\frac{d^2 \dot{B}_y(x)}{dx^2} = 0 \text{가 되어}$$

$$\beta^2 = 1 / \left( 1 + j \frac{\tau^2}{\pi^2} - \frac{\mu_0 \omega k}{g} \right) \text{로 놓으면 } \dot{B}_y(x) \text{는}$$

$$\dot{B}_y(x) = -j \frac{\pi}{\tau} \frac{\mu_0}{g} J \beta^2 \dots\dots\dots (16)$$

이 된다.

(B) 空際磁束密度的 非定常項

식 (14)의 非定常項에 관한 방정식은 우변의 驅動함수를 0으로 놓아서 다음과 같이 된다.

$$\frac{d^2 \dot{B}_y(x)}{dx^2} - \left( \frac{\pi^2}{\tau^2} + j \frac{\mu_0 \omega k}{g} \right) \dot{B}_y(x) = 0 \dots\dots\dots (17)$$

$\dot{B}_y(x)$ 는 x軸에 관해 대칭이기 때문에

$$\alpha^2 = \frac{\pi^2}{\tau^2} + j \frac{\mu_0 \omega k}{g} \text{라 놓으면 식 (17)의 解는}$$

$$\dot{B}_y(x) = \dot{B}_y(0) \cosh(\alpha x) \dots\dots\dots (18)$$

의 꼴로 표현할 수 있다.

따라서 식 (14)의  $\dot{B}_{(x)}$ 에 관한 일반해는 식 (16)과 식 (18)의 제가 되겠고

$$\dot{B}_{(x)} = \dot{B}_c \cos h(\alpha x) - j \frac{\tau}{\pi} \frac{\mu_0}{g} \beta^2 J \dots (19)$$

와 같이 된다.

그러므로  $B_y$ 는 다음과 같이 놓을 수 있다.

$$B_y = \left\{ \dot{B}_c \cos h(\alpha x) - j \frac{\tau}{\pi} \frac{\mu_0}{g} \beta^2 J \right\} e^{j(\omega t - \frac{\pi}{\tau} x)} \dots (20)$$

식 (19), (20)에서의  $\dot{B}_c$ 는 기계의 物理的 구성 여건에 따라 결정되어질 境界條件에 의하여 구할 수 있는 적분상수로써 vector量이다.

### II-2. 空隙磁束分布의 式

(A) Transverse region이 없는 경우

直線型 誘導電動機에서 transverse region이 없는, 즉 固定子幅 2W와 같은 幅을 가진 sheet rotor의 경우 境界條件 等式은 식 (7)로 부터

$$\left. \frac{\partial B_y}{\partial z} \right|_{x=W} = -\frac{\mu_0}{g} (J_{rx} + J_{sx}) \Big|_{x=W} \dots (21)$$

가 성립한다.

식 (21)을 空隙磁束分布의 일반식인 식 (20)에 代入하여 풀면 sheet rotor는 transverse region이 없으므로

$$J_{rx}|_{x=W} = 0 \text{가 되어}$$

$$\dot{B}_c = -j \frac{\tau}{\pi} \frac{\mu_0}{g} J \frac{1-\beta^2}{\cos h(\alpha W)} \dots (22)$$

로 된다.

그러므로 transverse region이 없는  $\xi=1$ 인 경우의 空隙磁束分布의 식은 식 (19) 및 식 (20)에 식 (22)를 代入하여

$$\dot{B}_{(x)} = -j \frac{\tau}{\pi} \frac{\mu_0}{g} J \beta^2 \left[ 1 + \frac{1-\beta^2}{\beta^2} \frac{\cos h(\alpha x)}{\cos h(\alpha W)} \right] \dots (23)$$

따라서

$$B_{(x)} = \left\{ -j \frac{\tau}{\pi} \frac{\mu_0}{g} J \beta^2 \left( 1 + \frac{1-\beta^2}{\beta^2} \frac{\cos h(\alpha x)}{\cos h(\alpha W)} \right) \right\} e^{j(\omega t - \frac{\pi}{\tau} x)} \dots (24)$$

와 같은 결과를 얻었다.

(B) Transverse region을 考慮했을 경우

一次側인 固定子側에서 발생한 磁界는 2W 領域밖에서는 없는 것으로 가정 하였으므로 2次側 sheet rotor에 유기되는 各面電流 密度成分은  $\xi > 1$ 이 되는 領域에 있어서 Laplace 方程式을 만족하여야 한다.

$$\text{고로 } \frac{\partial^2 J_{rx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 J_{rx}}{\partial z^2} = 0 \dots (25)$$

이 된다.

한편  $J_x$ 에 관한 境界條件은  $x=W$ 에서

$$J_{rx}(W) = J_{rx}(W) \dots (26)$$

$x=\xi W$ 에서

$$J'_{rx}(\xi W) = 0 \dots (27)$$

이다.

고로 식 (25)의 解는

$$J'_{rx} = J_{rx}(W) \frac{\sin h(\xi W - x) \frac{\pi}{\tau}}{\sin h(\xi W - W) \frac{\pi}{\tau}} \dots (28)$$

이 된다.

그리고 sheet rotor에 誘起된 電流  $J_r$ 는 연속이므로  $\text{div } J_r = 0$ 가 만족되어

$$\frac{\partial J'_{rx}}{\partial x} + \frac{\partial J_{rz}}{\partial z} = 0 \dots (29)$$

가 된다.

식 (29)의 방정식을  $J'_{rx}$ 에 관하여 풀고 식 (28)을 代入하면

$$J'_{rz} = j J_{rx}(W) \frac{\cos h(\xi W - x) \frac{\pi}{\tau}}{\sin h(\xi W - W) \frac{\pi}{\tau}} \dots (30)$$

이 된다.

여기서 일반 空隙磁束分布식인 식 (22)의 積分常數項  $\dot{B}_c$ 를 구하기 위하여 境界條件等式을 식 (7)과 식 (8)에서 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$-\frac{g}{\mu_0} \left( \frac{\partial B_y}{\partial z} \right) \Big|_{x=W} = (J_{rx} + J_{sx}) \Big|_{x=W} \dots (31)$$

$$\left. \frac{\partial B_y}{\partial x} \right|_{x=W} = \frac{\mu_0}{g} J_{rx} \Big|_{x=W} \dots (32)$$

식 (31)과 식 (32)를 정리하여  $\dot{B}_c$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\dot{B}_c = -j \frac{\mu_0}{g} \frac{\tau}{\pi} J_r \frac{1-\beta^2}{\cos h(\alpha W)} \dots (33)$$

여기서  $\gamma$ 는

$$\gamma = 1 / \left\{ 1 + \frac{1}{\beta} \tan h(\alpha W) \tan h(\xi W - W) \frac{\pi}{\tau} \right\}$$

이다.

그러므로 sheet rotor의 transverse region을 考慮한 경우의 空隙磁束分布식은 식 (33)을 식 (19) 및 식 (20)에 代入하여

$$\dot{B}_{(x)} = -j \frac{\mu_0}{g} \frac{\tau}{\pi} J_r \beta^2 \left( 1 + \frac{1-\beta^2}{\beta^2} \cdot \gamma \frac{\cos h(\alpha x)}{\cos h(\alpha W)} \right) \dots (34)$$

따라서

$$B_y = \left[ -j \frac{\mu_0}{g} \frac{\tau}{\pi} J_r \beta^2 \left( 1 + \frac{1-\beta^2}{\beta^2} \cdot \gamma \frac{\cos h(\alpha x)}{\cos h(\alpha W)} \right) \right] e^{j(\omega t - \frac{\pi}{\tau} x)} \dots (35)$$

와 같은 結果를 얻는다.

### II-3. 起動推力の 式

直線型 誘導電動機의 발생 추력을 구하기 위하여 다음과 같이 시간적 평균치로 표현된 일반 誘導機의 발생 추력 계산식을 여기서 인용하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
 \text{즉 } F &= \frac{1}{9.8} \int_0^{\rho\tau} \int_0^W \operatorname{Re}(\dot{B}_{(x,z)} \cdot I^*_{(x,z)}) dx dz \\
 & \quad [\text{kg} \cdot \text{중}] \dots \dots \dots (36)
 \end{aligned}$$

이 식을 써서 transverse region이 있는 경우와 없는 경우로 나누어 起動推力的 식을 구하기로 한다.

(A) Transverse region이 없는 경우

起動推力式을誘導하기 위하여 우선 rotor의 x軸方向 面電流密度間分  $J_{rx}$ 를 구하면 다음과 같다.

식 (7)에 transverse region을 무시했을 경우의 空 隙磁束分布 식 (23)을 代入하면  $J_{rx}$ 는

$$J_{rx} = J_{rx}(1 - \beta^2) \left[ \frac{\cos h(\alpha x)}{\cos h(\alpha W)} - 1 \right] \dots \dots \dots (37)$$

이 된다.

여기서 起動推力的 식을 구하는데 매우 복잡한 複素 演算을 하여야 되므로 몇개의 項을 치환하여 식 (36)에 代入하면 起動推力的 結果식은

$$F = \frac{1}{9.8} \frac{\rho\tau^2}{\pi} \frac{\mu_0}{g} J^2 F_0(\alpha, \beta) \dots \dots \dots (38)$$

이 된다.

이 때  $F_0(\alpha, \beta) = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$ 이며 各項  $F_1, F_2, F_3, F_4$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \beta^2(1 - \beta^2) * W \\
 F_2 &= - \left( \frac{1 - \beta^2}{\cos h(\alpha W)} \right) * \beta^2 \sin h(\alpha * W) / \alpha * \\
 F_3 &= \left( \frac{1 - \beta^2}{\cos h(\alpha W)} \right) (1 - \beta^2) * \sin h(\alpha W) \\
 F_4 &= - \frac{1}{2} \left( \frac{1 - \beta^2}{\cos h(\alpha W)} \right) \left( \frac{1 - \beta^2}{\cos h(\alpha W)} \right) * \\
 & \quad \left( \frac{1}{\alpha + \alpha * } \sin(\alpha + \alpha *) W + \frac{1}{\alpha - \alpha * } \sin(\alpha - \alpha *) W \right)
 \end{aligned}$$

(B) Transverse region을 考慮하는 경우

우선 2次側 sheet rotor의 面電流 密度的 x軸 성분은 식 (35)와 식 (7)에서

$$J_{rx} = J_{rx}(1 - \beta^2) \left[ \gamma \frac{\cos h(\alpha x)}{\cos h(\alpha W)} - 1 \right] \dots \dots \dots (39)$$

와 같이 구해진다.

따라서 起動推력은 식 (39)와 식 (35)를 식 (36)에 넣어서 다음과 같은 계산식을 얻을 수 있다.

$$F = \frac{1}{9.8} \frac{\rho\tau^2}{\pi} \frac{\mu_0}{g} J^2 F_0(\alpha, \beta, \gamma) \dots \dots \dots (40)$$

여기서  $F_0(\alpha, \beta, \gamma) = F_1 + \gamma * F_2 + \gamma F_3 + \gamma \gamma * F_4$ 이다.

### III. 試作機와 實驗方法

#### III-1. 試作機

試作機는 3相 6極 直線型 誘導電動機로서 양측 勵磁 方式로 되어 있으며 界磁側을 固定子로 2次導體板을 移動子로 한 구조로 되어 있다.

##### III-1-1. 固定子(Stator)

固定子 鐵心은 z-11 硅素銅板을 成層한 것으로 이 에 감은 集자권선은 1.2mmφ 에나멜 銅線으로 極間隔  $6 \times 10^{-2}$  [m]로 한 集中全節권선으로 하고 上下의 두계 자권선을 相마다 直列로 하여 Y접속하였다.

使用된 鐵心の 치수는 다음과 같다.

- 鐵心長  $43 \times 10^{-2}$  [m], 鐵心幅  $9 \times 10^{-2}$  [m],
- 鐵心高  $10 \times 10^{-2}$  [m], 齒 幅  $1.0 \times 10^{-2}$  [m],
- 홈 幅  $1.0 \times 10^{-2}$  [m], 홈깊이  $2.5 \times 10^{-2}$  [m],
- 齒 數 24個

##### III-1-2. 移動子(sheet rotor)

硬 알미늄 板狀導體로(導電度  $k = 3.46 \times 10^7 \Omega/\text{m}$ ) 두께는  $5 \times 10^{-3}$  [m]의 것을 사용하였고 transverse edge effect를 究明하기 위한 sheet rotor는 幅이 각각  $9 \times 10^{-2}$ ,  $16 \times 10^{-2}$ ,  $27 \times 10^{-2}$  [m]의 것 3가지로 만들었고 sheet rotor의 길이는 鐵心長의 2배되게 만들었다.

세로방향 유효부분 영역은  $90 \times 10^{-2}$  [m]이고 overhang 부분은 左右 대칭되게 하였다.

#### III-2. 實驗方法

##### III-2-1. 空隙磁束分布 測定

空隙束分布는 各齒마다 search coil을 설치하고 그 誘起電壓을 HEWLETT PACKARD 400D型VTVM과 YEW製 type 3251 Gauss meter로 實測하였으며 이 값의 신뢰성을 YEW製 6 channel photorecoder로 測定하므로써 확인하였다.

##### III-2-2. 起動推力的 測定

起動推력을 測定하기 위해 양측 集자권선 사이에 끼여있는 sheet rotor를 CHATILLON製 Spring balance(最大秤量 15kg)에 고정시키고 測定하였다.

### IV. 이론식에 의한 계산치와 실험치와의 비교 검토

試驗機의 각 기계정수들을 측정된 결과는 다음과 같다.

- $\tau = 0.06 \times 10^{-2}$  [m],  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ,
- $\omega = 2\pi f$  [rad/sec]  $f = 60$  [Hz],
- $k = 3.46 \times 10^7$  [ $\Omega/\text{m}$ ],  $2W = 9.0 \times 10^{-2}$  [m],
- $g = 0.01$  [m]

이 定數들을 理論式에 代入하여 運算할 경우 매우 複雜한 複素 演算이 반복되므로 IBM 360 computer를 使用하여 理論 計算結果를 얻어 내었다.

#### IV-1. 空隙磁束密度的 變化

(A) Transverse region에서의 變化

이론식의 計算치와 실험치는 그림 2와 같다.

$x=0$ 인 rotor의 중심축선상에서는 실험치가 이론치보다 큰 경향을 보였으나 대체적으로 空隙磁束分布는

表 1.  $\tanh(\xi W - W) \frac{\pi}{\tau}$ 의 값

Table 1. The value of  $\tanh(\xi W - W) \frac{\pi}{\tau}$

$\xi W$	$\times 10^{-3} [m]$								
	45	60	70	80	90	100	110	120	135
$\tanh(\xi W - W) \frac{\pi}{\tau}$	0	0.655	0.863	0.95	0.98	0.99372	0.99777	0.9994	0.99984

중심선에서 양쪽 단부에 이룰수록 증가하였다.

이 현상은 誘導機에 있어서 전력 전달과정에 이루어지는 등 Ampere turn의 作用原理에 의하여 중심부에 있어서 磁束의 相殺가 일어나고 양 transverse edge에 갈수록 cross magnetizing Ampere turn의 영향을 받아서 磁束이 양쪽 edge로 갈수록 증가되기 때문이다.

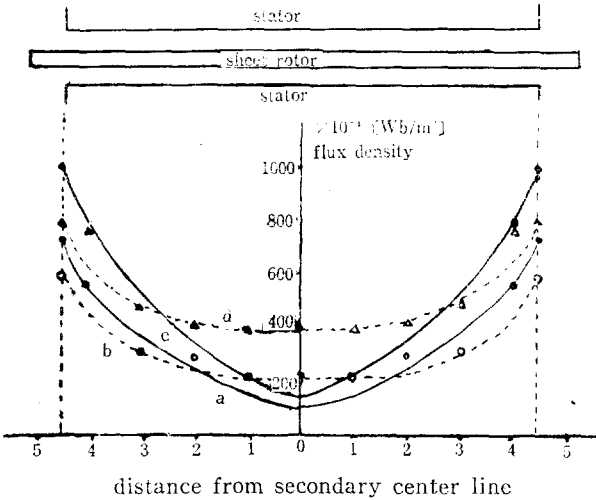


그림 2. 空際磁束密度의 橫方向變化

Fig 2. Transverse Variation of Air gap flux density

- a. calculated value with 9.0 cm-width sheet
- b. measured value with 9.0 cm-width sheet (○)
- c. calculated value with 16.0 cm-width sheet
- d. measured value with 16.0 cm-width sheet (△)

아울러  $x=0$ 일 때 Transverse variation 磁束이 일 부 남게 되는 것은 식 (23)에서  $\dot{B}_x(x)$ 의 제1항인 것으로 해석한다.

그리고  $x=0$ 에서 實測値와 理論値의 오차가 크게 나타나는 현상은 理論式 誘導過程의 假定設定에 있어서 實質的으로 空際長  $g=0.01[m]$  이상의 경우는 假定 (1), (3)은 무리한 것으로 되어 最大 限界値를  $g=0.01[m]$  (rotor 두께로 包含)로 잡고 理論式을 展開하였으나 實際, 磁束測定時에는  $g=0.015[m]$  程度로 늘려 測定할 수 밖에 없었다.

따라서 空際長의 增加로 말미암아 2次 導體板 電流

에 의한 leakage flux가 中央部( $x=0$ )에서도 相當한 값으로 나타나게 되어 實測 結果의 誤差로 기인되는 것으로 생각되어지며 實際的으로  $x=2W$  領域內의 磁束 密度의 平均값을 고려할 때 推力計算에 있어서의 誤差는 줄어들 것으로 사료된다.

(B) 全鐵心長에 따르는 Transverse edge의 磁束分布

transverse edge에 있어서의  $\xi=1, 1.8, 3.0$ 인 경우에 있어 磁束 level의 變化 모양은  $x$ 軸方向 全鐵心長에 따라 測定한 결과 그림 3과 같은 값을 얻었다.

여기에서 알 수 있는 바와 같이  $\xi > 1.8$ 의 경우는 edge effect에 의한 磁束 level의 變化가 거의 나타나지 않았다.

한편 이론식에서 sheet rotor의 幅이  $16 \times 10^{-2} [m]$  이상이 될 경우에는 空際磁束分布의 factor로 되어 있는  $\gamma$ 의 값이 별로 변하지를 않아 空際磁束의 變化는 거의 없게 된다.

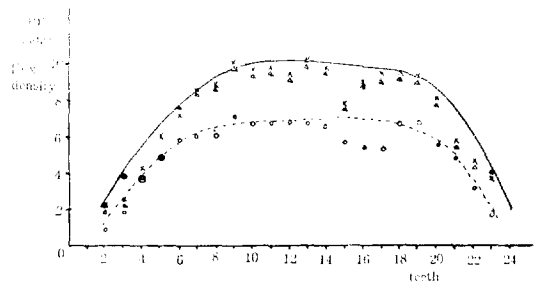


그림 3. 磁束密度  $B_y$  曲線

Fig 3. Longitudinal flux density  $B_y$

- calculated value with 16.0cm width sheet
- ... calculated value with 9.0cm width sheet
- measured value with 9.0cm width sheet
- △ measured value with 16.0cm width sheet
- × measured value with 27.0cm width sheet

그 이유는  $\gamma$ 값이 分母에서  $\beta$ 는 複素常數이고  $\tanh(\alpha W)$ 는 대략 1이 되며  $\tanh(\xi W - W) \frac{\pi}{\tau}$ 의 값은 표 1에 소개된 바와 같이  $\xi W=80 \times 10^{-3} [m]$  이상에서 거의 1에 가까워가는 경향이 되기 때문이다.

고로  $\gamma$ 의 값은  $\tanh(\xi W - W) \frac{\pi}{\tau}$ 의 變化에 의해 左右되는 것을 알 수 있었다.

IV--2. 起動推力

起動推力的 값은 식 (36)을 써서 空隙磁束密度와 sheet rotor에 흐르는 電流의 積을 積分하여 求한 값으로  $\xi=1$ 인 경우에서는  $F(\alpha, \beta)$ 에 의해 定하여 지나  $\xi>1$ 인 경우에서는  $F(\alpha, \beta, \gamma)$ 로써 그 경향이 左右되어 진다.

그림 4에서  $\xi$ 의 값이 1에서 부터 점점 커질수록  $|F(\alpha, \beta)| < |F(\alpha, \beta, \gamma)|$  되어 起動推력이 증가되어간다.

대략  $\xi=1.8$ 에서 더 이상 증가되지를 않게 된다.

고로 起動推력은  $\xi=1.8$ 에서 最大值를 나타내게 되었다.

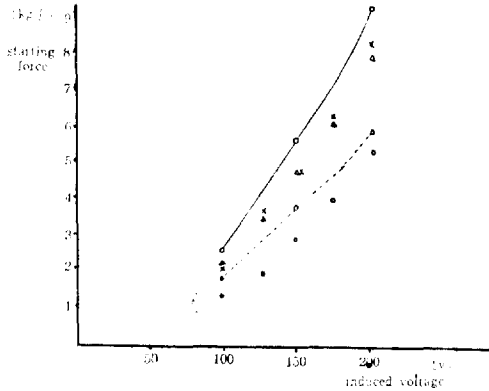


그림 4. 起動推力的 變化

Fig 4. Variation of starting force

- calculated value with 16.0cm-width sheet
- calculated value with 9.0cm-width sheet
- measured value with 9.0cm-width sheet
- △ measured value with 16.0cm-width sheet
- × measured value with 27.0cm-width sheet

아울러 인가전압에 의하여 起動推력이 증가하게 되는 요인은 인가전압이 커질수록 current sheet의 절대치가 커지기 때문인 것으로 해석된다.

### V. 結 論

2次側이 Al sheet로 된 양측勵磁 直線型 誘導電動機에 있어서 Transverse edge effect를 考慮한 空隙磁束分布와 起動推力的 特性을 究明하기 위하여 max-well의 기본방정식을 引用하여 이론적으로 空隙磁束分布와 起動推力的 식을 誘導하였으며 이들 계산식의 타당성을 밝히기 위하여 실험결과와 비교 검토하였다.

이론적 究明결과와 고찰에 의하면 空隙磁束分布는 sheet rotor의 幅이 stator幅의 約 1.8倍( $\xi=1.8$ )에서 최대치 1020 [gauss]를 이루게 되고 起動推力的 특성도 동일하게  $\xi=1.8$ 에서 포화점 9.3 [kg중]에 이르게 된다.

이를 입증하기 위한 실험 實測值에 있어서도 空隙磁束分布가  $\xi=1.8$ 에서 820 [gauss]로서 최대가 되고 起動推력은 7.9 [kg중]으로 최대치에 달하는 결과를 얻었다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 transverse edge effect를 考慮한 결과  $\xi=1.8$  정도가 空隙磁束密度를 높이고 起動推력을 얻는데 가장 有効하다는 것을 알았다.

따라서 본 sheet rotor를 갖는 양측勵磁 直線型 誘導電動機의 설계제작시 실험적인 sheet rotor의 有効幅의 결정 문제는 본 논문과 기타 여러 문헌을 참고로 하면 그 근거가 제시되는 것으로 생각된다.

이밖에도 transverse edge effect를 考慮할 때에 있어서의 손실 문제 등 특정 해석에 필요한 문제들이 앞으로의 연구 과제로 남아 있음을 附言하여 둔다.

### 參 考 文 獻

1. Russel, R.L. and Norsworthy, K.H., "Eddy currents and wall lossess in screened-rotor induction motors", Proc. IEE, Vol. 105, pp. 163~175, 1958.
2. Yamamura, S. "On End Effects of the linear induction motor", IEE, Journal of Japan, Vol. 90, pp.104~pp.116, 1970.
3. Preston, T.W. and Reece, A.B.J., "Transverse edge effects in linear induction motors", Proc. IEE, Vol. 116, pp.973~979, 1969.
4. Bolton, H. "Transverse edge effect in sheet-rotor induction motors," proc. IEE, Vol. 116, pp.725~731, 1969.
5. Veske, T.A., "Solution of the electromagnetic field equations for a plane linear induction machine with secondary boundary effects," Magneto-hydrodynamics, pp.87~96, Jan. 1965.
6. Samuel, seely, "Electromechanical Energy Conversion," pp.145, Mcgraw-Hill Book Co., New York, 1962.
7. Laitwaite, E.R. "Induction machines for special purposes," pp.48, George Newnes LTD, London, 1966.
8. Jamieson, R.A., "Eddy current effects in solid, Unslotted iron rotors," proc. IEE, Vol. 115, pp.813~820, 1968.
9. Lee Yun Jong, "The Analysis on the chara-

cteristics of the Double-side 3-phase Linear Induction Motor with Conducting sheet Rotor," Research works, Han Yang Graduate School, Seoul, Korea. Vol. 6, pp.412~425, 1972.

culating the Air gap Magnetic Flux Distribution and Travelling Magnetic Field, "Proceedings of the Seoul International Conference on Electrical and Electronics Engineering 1970", Page 109~116 sponsored by Korea Institute of Electrical Engineers, Seoul, Korea.

10. Im Dal Ho, Research on the Method of Cal-

附 錄

本 論文에서 紹介한 graph를 그리는데 使用한 資料는 다음과 같다.

Table 2. Transverse Variation of  $|\dot{B}_{(x,y)}|$

sheet rotor width: 9.0 [cm]							sheet rotor width: 16.0 [cm]						
X (distance from rotor center line)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5	X	0	1.0	2.0	3.0	4.0	4.5
calculated value [gauss]	92	150	240	350	580	734	calculated value [gauss]	122	210	343	545	800	1020
measured value [gauss]	220	220	300	320	580	610	measured value [gauss]	400	400	420	500	780	820

Table 3. Longitudinal flux density  $|B_y|$  [gauss]

sheet rotor width: 9.0 [cm]												
Teeth Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
calculated value	.	125	250	370	495	560	610	630	660	675	680	685
measured value	.	90	180	385	490	580	610	612.5	705	670	662.5	667.5
Teeth Number	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
calculated value	686	680	675	667.3	670	650	630	580	500	375	220	.
measured value	675	660	562.5	532.5	537.5	665	662.5	557.5	497.5	315	170	.
sheet rotor width: 16.0 [cm]												
Teeth Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
calculated value	.	230	375	540	670	750	850	920	975	1000	1010	1015
measured value	.	200	273	385	585.1	762.8	836.9	859.1	997.6	944.3	955.4	918.3
Teeth Number	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
calculated value	1010	1005	1000	988	980	960	940	885	760	610	410	.
measured value	988.7	955.4	766.5	888.7	910.9	925.8	903.5	792.4	555.5	444.4	399.9	.
sheet rotor width: 27.0 [cm]												
Teeth Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
measured value	.	210	251.6	416.3	603.8	727.5	851.3	892.3	1012.5	967.5	982.5	945
Teeth Number	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
measured value	1027.5	982.5	780	903.8	948.8	952.5	937.5	802.5	562.5	453.8	393.8	.

Table 4. Variation of starting force

sheet rotor width: 9.0 [cm]				sheet rotor width: 16.0 [cm]			
input voltage	100V	150V	200V	input voltage	100V	150V	200V
calculated value [kg중]	1.8	3.8	5.9	calculated value [kg중]	2.6	5.6	9.3
measured value [kg중]	1.3	2.9	5.3	measured value [kg중]	2.2	4.7	7.9
sheet rotor width: 27.0 [cm]							
input voltage	100V	150V	200V				
measured value [kg중]	2.1	4.7	8.3				