

## 편측식 유도형 리니어 모터의 등가회로에 관한 연구

구태만  
전기공학과

### <요 약>

전기기계의 등가회로는 전기기계를 설계하거나 특성을 해석하는데 대단히 편리한 도구이다. SLIM는 회전형 유도 전동기와 같은 등가회로를 사용할 수 있다. 그런데 SLIM의 등가회로 정수를 얻기 위한 수단으로, 실험실에서 무부하시험에 필요한 동기속도를 얻는 것은 매우 어렵다. 본 연구에서는 구속시험, 등가 무부하시험 및 해석적인 결과로부터 무부하시험을 하지 않고도 고정도의 SLIM의 등가회로 정수를 산정하는 방법을 제시하였다. 기동 시의 전기적 특성 비교에서 이론치에 의한 결과보다 제안된 방법에 의한 결과가 실험치에 매우 근접함을 알 수 있었다.

---

## A Study on the Equivalent Circuit of Single-Sided Linear Induction Motor

Koo, Tae-Man  
Dept. of Electrical Engineering

### <Abstract>

The equivalent circuit for electric machinery is a very convenient tool to design and analyze electric machines. The equivalent circuit of single-sided linear induction motor(SLIM) is generally expressed as the same that of rotary induction motor. However, to obtain parameters of equivalent circuit of SLIM, it is very difficult to drive SLIM at synchronous speed for no-load test in a laboratory. A method is proposed to compute accurate parameters of equivalent circuit of SLIM

---

\* 이 논문은 1994학년도 울산대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

by blocked-mover test, equivalent no-load test, and analytical results without no-load test. It is found that results from proposed method are more accurate than that of analytical method by comparing electrical characteristics at start with those obtained from tests.

## 1. 서 론

등가회로가 전기기계의 특성을 정확히 나타내기만 한다면 대단히 편리하므로 LIM (Linear Induction Motor) 등 전기기계의 특성 해석은 주로 등가회로를 활용하여 왔다[1-2]. 지금까지 SLIM의 등가회로는 회전형 유도 전동기 해석에 널리 이용되고 있는 T형 등가회로를 이용하여 왔으며, 이때의 각 회로 정수는 공극의 자속밀도가 비교적 낮다는 이유로 철손을 무시한 상태에서 해석적인 방법이나 각종 시험을 통하여 산정하고 있다[3-13]. 그러나 SLIM의 공극 자속밀도가 비교적 낮다는 이유만으로 철심과 Back Iron의 철손을 무시한 것은 등가회로의 정확도를 낮추고, SLIM의 특성해석 및 제어에 많은 오류를 초래할 것이다. 등가회로는 전기기계의 특성해석에 매우 유익하지만 그 회로 정수가 많은 오차를 포함한다면 특성해석은 크게 빛나갈 수도 있으므로 등가회로의 회로정수의 산정은 정확도에 큰 비중을 두어야 한다. 회로정수의 정확도를 높이려면 이에 상응하는 실험장치에 의하여 회로정수를 측정하고 산정하여야 한다. 그러나 SLIM는 그 구조상 무부하시험이 곤란하며 이를 위해서는 고가의 정밀 실험장치를 설치해야 하는데 이는 현실적으로 어려움이 따른다. 또한 SLIM는 회전에 비하여 공극이 매우 커 구속시험시의 전압이 정격전압에 가까워 여자전류의 영향 및 철손을 무시하기 곤란하며, 2차 축 회로 정수가 표피효과의 영향으로 변화하므로 이들을 고려한 등가회로 정수 산정법이 요구되고 있다. 이에 따라 회전형 전동기의 회

로정수 산정법과 유사한 각종시험에 의한 SLIM의 회로정수 산정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그런데 이러한 방법들은 철손을 무시하거나 1, 2차 누설 리액턴스를 분배계수에 의해 분리하는 방법으로 회로정수를 산정하는데, 이러한 방법들은 정확도가 낮거나 절차가 다소 번거로운 단점이 있다[3-13]. 이와 같은 단점을 극복하기 위한 방법으로 이동자가 동기속도로 이동하는 무부하시험을 행하고 여러 주파수에서의 구속시험 결과를 토대로 회로정수를 산정하는 방법이 제안되었으나 이는 시험비용이 많아 현실적으로 많은 문제점이 있다[8-9]. 따라서 본 연구에서는 반송 시스템의 구동용 SLIM와 같이 단부효과를 무시할 수 있는 저속의 SLIM를 대상으로 권선 저항 측정, 구속시험, 등가 무부하시험과 이론적인 방법으로부터 등가회로의 회로정수를 산정하는 방법을 제안하였다. 본 연구의 타당성을 입증하기 위하여 산정된 회로정수로부터 기동특성을 계산하여 실험치 및 해석적인 방법의 결과와 비교 검토하였다.

## 2. SLIM의 등가회로와 회로 정수

### 2.1 등가회로

회전형 유도기의 등가회로는 일반적으로 T형 등가회로를 이용하며 무부하시험과 구속시험 등을 이용하며, 등가회로 정수를 산정하는 방법도 확립되어 있다. 그러나 SLIM는 구조적인 특성 때문에 동기속도하의 무부하시험이 어려우므로 회전형 유도

기의 등가회로 정수 산정 방법을 그대로 사용할 수는 없다. 그리고 실험에 의해서는 1차, 2차 누설 리액턴스 및 여자 리액턴스를 분리하는 것도 대단히 어렵다. 따라서 SLIM의 등가회로의 회로 정수 산정을 위해서는 회전기와는 다른 방법이 요구된다. 회전형 유도기와 직선형 유도기는 외형적인 구조와 그 특성이 매우 다르지만 전자기적인 측면에서 보면 농형 유도 전동기와 똑같은 원리가 적용된다. 즉, 구조적으로 1차 권선과 2차 권선(도체), 철심 및 공극을 가지고, 2차 유도 전류가 유도되는 원리 및 전동력이 발생하는 과정이 완전히 동일하다. 따라서 등가회로의 형태는 회전형과 직선형을 같게 할 수 있다[1-2]. 다만 그 등가회로의 회로 정수를 산정하는 방법과 그 크기는 크게 다를 수 있다. 본 연구에서는 철손의 회로정수도 포함하는 회전형 유도기의 T형 등가회로를 그대로 이용하고 회로 정수를 산정하는 새로운 방법을 제시한다. 등가회로의 회로 정수를 산정하는 방법은 실험에 의한 방법, 전자장 해석법에 의한 방법, 이 두 가지를 혼용하는 방법을 생각할 수 있다. 가장 신속한 방법은 해석적인 방법이다. 그런데 해석적인 이론치는 전자장 해석에서 해석이 가능하도록 하기 위하여 여러 가지 가정들, 예를 들면 철심 및 Back Iron의 투자율을 일정히 두거나, 슬롯의 형상을 무시하고 공극의 간격을 일정히 두는 일, 실제 권선의 형상과는 다른 면전류의 도입, 횡방향 및 진행방향의 단부효과 무시, 철심 및 권선의 온도를 일정하게 하는 등의 가정들을 활용하게 되므로 실험치와 잘 부합하지 못하는 경우가 많다[3-4, 7-8, 11-13]. 또한 시제품을 수작업으로 제작하는 현재로서는 제작 기술도 문제가 있어서 이론적인 계산치와 실험에 의한 결과가 잘 일치하지 않는 경우가 많다. 가장 신뢰성이 있는 회로정수 산정법은 실험에 근거한 산정 방법이다. 그런데 SLIM의 특성 상 충분한 실험을 할 수 있는 여건을 마

련하기란 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 비교적 간단한 실험에 의한 결과와 전자장 해석법에 의한 결과를 함께 활용하여 등가회로의 회로정수를 산정하였다. 즉, 실험에 의한 결과를 기준 값으로 하고 실험에 의하여 얻기 어려운 자료는 전자장 해석법의 결과를 활용하였다.

## 2.2. 등가회로 정수

회로정수를 산정하기 위하여 실시하는 실험은 구속시험과 등가 무부하시험이다. 구속시험은 회전형의 경우와 동일하다. 등가 무부하시험은 이동자가 동기속도로 이동하는 회전형의 무부하시험과는 다른 방법의 시험이다. 무부하시험은 회전형에서 회전자가 동기속도로 회전하거나, 직선형은 이동자가 동기속도로 이동하는 상태에서 행하여야 하며, 이 때 2차 도체에는 에너지가 전혀 전달되거나 소모되지 않는다. 이것을 등가회로의 관점에서 보면 슬립  $s=0$ 이고 이 때 2차 저항은  $\frac{R_2}{s}=\infty$ 가 되어 2차 권선(도체) 전류가 0이 된다. 이에 착안하여, 등가 무부하시험에는 2차 도체인 알루미늄 판을 제거함으로써 2차 저항을 무한대로하여 등가회로에서 무부하시험과 동일한 결과가 나오도록 했다. 즉, 등가 무부하시험은 2차 도체가 제거된 것을 제외하면 구속시험과 동일하다. 등가 무부하시험에서도 Back Iron에 유도전류가 흐르므로 약간의 추력이 발생한다. 이 추력은 크기가 매우 작아 별도로 고려하지 않았고, 이 때문에 소모되는 손실은 2차 철심인 Back Iron에서 발생하므로 철손으로 볼 수 있다. 등가 무부하시험에서 전압, 전류, 전력이 측정되므로 이에 의하여  $(R_1+R_c)$ 와  $(X_1+X_m)$ 이 얻어진다. 1차 권선저항  $R_1$ 은 저항측정법에 의하여 측정이 가능하므로 철손저항  $R_c$ 는 쉽게 구할 수 있다. 이와 같이  $X_1$  또는  $X_m$ 도 측정이 가능하다면 문제는 간단하다. 그러나 실험에 의하여  $X_1$  또는  $X_m$ 을 직접

구하거나 이를 분리하는 것은 거의 불가능하다. 여기서는  $(X_1+X_m)$ 에서  $X_1$ 과  $X_m$ 의 값을 얻기 위하여 이론적인 방법을 활용한다. 즉, 해석적인 방법에 의하여  $X_1'$ 과  $X_m'$ 을 구하고(실험치  $X_1$ ,  $X_m$ 과 구별하기 위하여  $X_1'$ ,  $X_m'$ 로 표기), 다음과 같은 방법으로  $X_1$ 과  $X_m$ 을 구한다.

$$X_1 = (X_1 + X_m) \frac{X_1'}{X_1' + X_m'} \quad (2.1)$$

$$X_m = (X_1 + X_m) \frac{X_m'}{X_1' + X_m'} \quad (2.2)$$

저항측정법과 등가 무부하시험 및 해석적인 방법에 의하여 등가회로의 회로정수인  $R_1$ ,  $R_c$ ,  $X_1$ ,  $X_m$ 을 구하면 등가회로와 구속시험의 결과에 의하여 나머지 2차 회로정수  $R_2$ 와  $X_2$ 는 구할 수 있다.

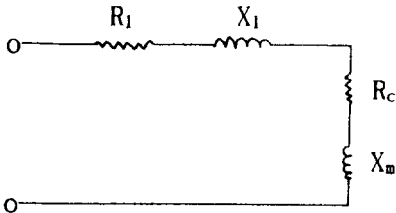


그림 2.1 등가 무부하시험 회로  
Fig. 2.1 Circuit for Equivalent No-Load test

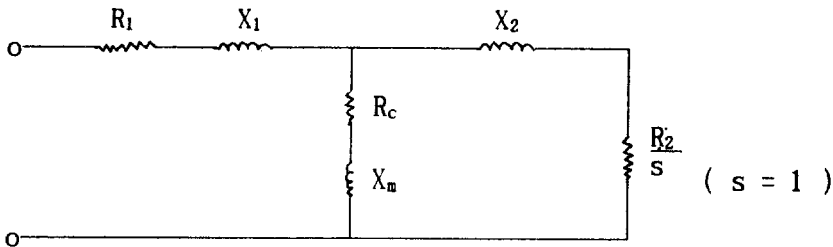


그림 2.2 구속시험 회로  
Fig. 2.2 Circuit for Blocked-Mover test

### 3. 해석적 방법에 의한 $X_1'$ 과 $X_m'$ 의 결정

편측식 선형 유도 전동기(SLIM)의 구조는 그림 3.1과 같으며, 1차 측은 규소강판으로 된 적철심과 전류를 흘릴 수 있는 슬롯과 권선으로 되어 있고, 2차 측은 도체(알루미늄)와 철심에 해당하는 Back Iron으로 되어 있다. 추력은 1차 측은 입력에 의하여 발생하는 이동자계와 이 자계에 의하여 2차 측 도체에 유도되는 와전류와의 상호작용으로 발생한다. SLIM은 회전형 전동기와는 달리 공극이 커서 여자전류가 많이 필요하고, 이동자계가 진행되는 방향으로 끝 부분이 존재하므로 입구단과 출구단에서 단부효과가 발생하고, 폭 방향으로 횡 방향 효과도 발생한다.

본 연구에서는 제어용 SLIM에 사용할 수 있는 등가회로 정수를 산정 위하여 다음과 같은 가정 하에 그림 3.2의 모델을 해석 모델로 하여 자계 방정식을 유도한다.

- 1) 1차 측 권선전류를 면전류로 가정하며, 이 면전류는 공간적으로 정현적 분포를 가지며, 시간적으로 동기속도로 이동한다.
- 2) 1차 측 철심의 투자율은 무한대이며, 2차 측 Back Iron의 투자율은 일정하다. 유효공극  $g_0$ 는 슬롯의 영향을 고려하여 식(3.1)과 같이 Carter 계

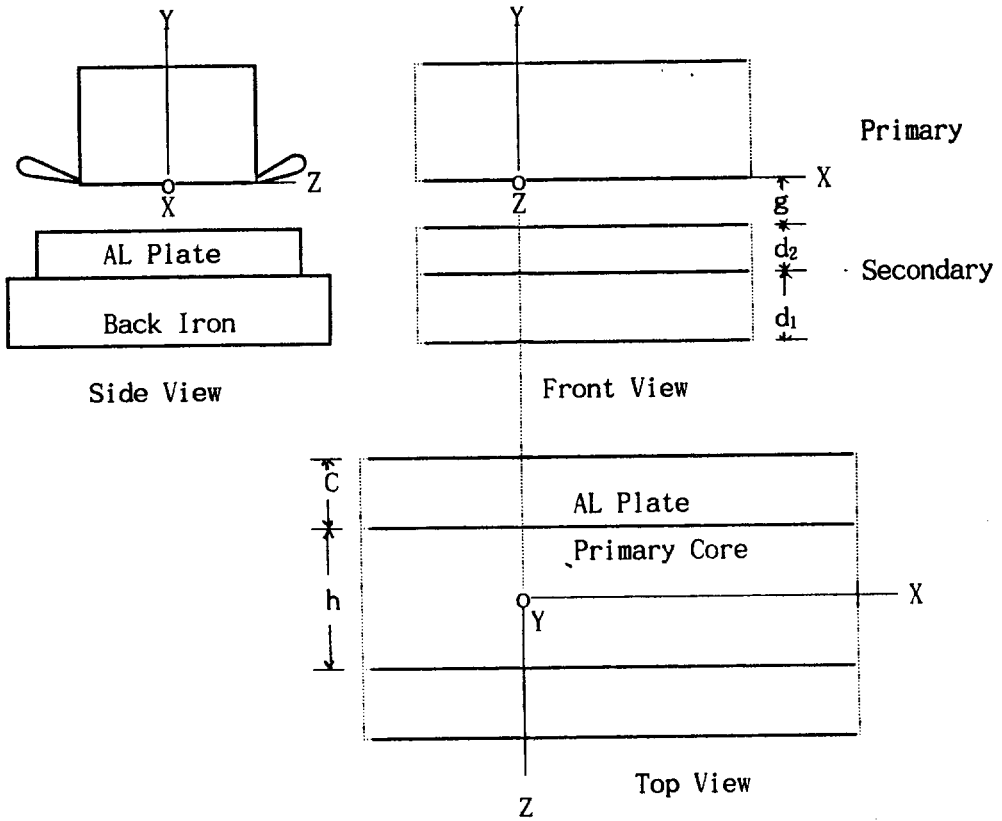


그림 3.1 SLIM의 구조  
Fig. 3.1 SLIM Model

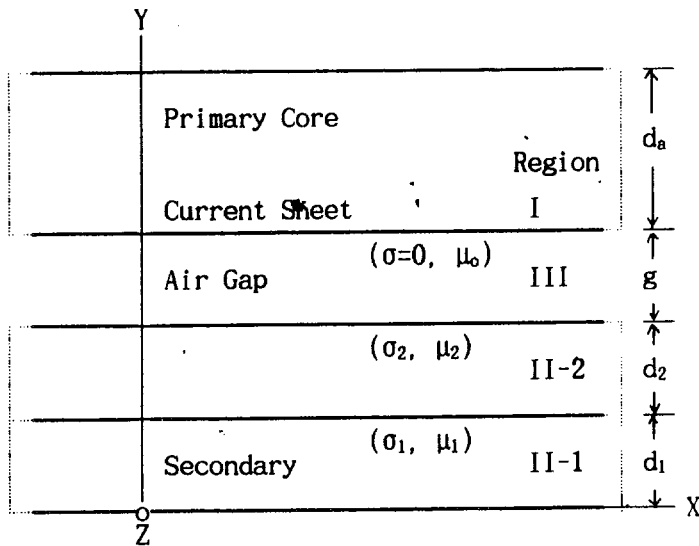


그림 3.2 SLIM의 2차원 모델  
Fig. 3.2 Two Dimensional Model of SLIM

수( $K_c$ )를 이용하여 보정한다[3].

$$g_e = K_c g \quad (3.1)$$

여기서

$$K_c = \frac{t_s}{t_s - \gamma g}, \quad \gamma = \frac{(ws/g)^2}{5 + (ws/g)}$$

$t_s$  : 슬롯 피치,

$ws$  : 슬롯 폭,

$g$  : 기계적 공극

- 3) 1차 측 철심 양단에서 단부효과에 의한 과도현상은 무시한다.
- 4) 1차 측 철심 적층 방향의 자속분포는 균일하며, 2차 측 알루미늄 도체판의 침투효과는 무시한다.
- 5) 2차 측 도체판은 유한하며, 2차 측 와전류 분포에 기인한 실효치 저항의 증가는 Russell Norsworthy 계수를 사용하여 식(3.2)과 같이 보정한다[10].

$$\sigma_{2e} = \sigma_2 \frac{\tanh(\frac{h}{2}k)}{\frac{h}{2}k \{1 - \tanh(\frac{h}{2}k) \tanh(ck)\}} \quad (3.2)$$

여기서,  $h$ : 1차 철심의 적층 두께  
 $c$ : 2차 도체판의 overhang 길이

$\sigma_{2e}$ : 2차 도체의 등가 도전율

$\sigma_2$ : 2차 도체의 도전율

$\tau$ : 극 간격

$$k = \frac{\pi}{\tau}, \quad k' = \frac{1}{k}$$

이상과 같은 가정 하에서 면전류밀도  $J_1$ 은 식 (3.3)과 같이 표현할 수 있다[5, 9-10].

$$J_1 = 2\sqrt{2} m \frac{K_w N_{ph}}{p\tau} I_1 \quad (3.3)$$

여기서,

$J_1$  : 면전류밀도의 최대치

$m$  : 상수

$I_1$  : 상전류의 실효치

$p$  : 극수

$K_w$  : 권선계수

$N_{ph}$  : 1상의 직렬 권회수

공극의 자속밀도를 구하기 위하여 벡터포텐셜 방정식을 2차원적으로 표현하면 Maxwell 방정식으로부터 식(3.4)과 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial^2 \underline{A}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \underline{A}_z}{\partial y^2} = \mu\sigma \left\{ \frac{\partial \underline{A}_z}{\partial t} + (1-s)V_s \frac{\partial \underline{A}_z}{\partial t} \right\} \quad (3.4)$$

여기서 벡터포텐셜  $\underline{A}_z$ 는 다음 식과 같다.

$$\underline{A}_z = A_z(y) e^{j(\omega t - kx)} \quad (3.5)$$

식(3.5)를 식(3.4)에 대입하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$\frac{d^2 A_z(y)}{dy^2} = (k\lambda)^2 \quad (3.6)$$

여기서  $\lambda = \sqrt{1 + j\sigma\mu_s V_s k'}$  이다.

식 (3.6)의 해는 다음과 같다.

$$A_z(y) = B_1 e^{k\lambda y} + B_2 e^{-k\lambda y} \quad (3.7)$$

$y = 0$  인 경계에서  $A_z(y) = 0$  라고 가정하면, 각 영역에서의 해는 다음 식과 같다.

(영역 II-1)

$$A_z^{II-1}(y) = 2 D_1 \sinh(k\lambda_1 y) \quad (3.8)$$

(영역 II-2)

$$A_z^{II-2}(y) = D_{21} e^{k\lambda_2 y} + D_{22} e^{-k\lambda_2 y} \quad (3.9)$$

(영역 III)

$$A_z^{III}(y) = D_{31} e^{ky} + D_{32} e^{-ky} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \sqrt{1 + j \sigma_{1e} \mu_1 s V_s k'} \\ \lambda_2 &= \sqrt{1 + j \sigma_{2e} \mu_2 s V_s k'} \end{aligned}$$

경계 조건을 적용하여 공극영역에서의 벡터포텐셜을 구하면 다음 식과 같다.

$$A_z^{III} = \{D_{31} e^{ky} + D_{32} e^{-ky}\} e^{j(\omega t - kx)} \quad (3.11)$$

여기서,

$$D_{31} = \frac{\frac{1}{2} \mu_0 k' J_1 e^{-k(d_1+d_2)}}{G_1 \sinh(kge) + G_2 \cosh(kge)}$$

$$D_{32} = \frac{\frac{1}{2} \mu_0 k' J_1 e^{-k(d_1+d_2)}}{G_1 \sinh(kge) + G_2 \cosh(kge)}$$

$$G_1 = \mu_1 \mu_2 \lambda_2 \sinh(kd_1 \lambda_1) \cosh(kd_2 \lambda_2) + \mu_2^2 \lambda_1 \cosh(kd_1 \lambda_1) \sinh(kd_2 \lambda_2)$$

$$G_2 = \mu_0 \mu_1 \lambda_2^2 \sinh(kd_1 \lambda_1) \sinh(kd_2 \lambda_2) + \mu_0 \mu_2 \lambda_1 \lambda_2 \cosh(kd_1 \lambda_1) \sinh(kd_2 \lambda_2)$$

또한 1차 표면전류 밀도와 쇄교하는 자속 밀도의 접선성분  $B_x^{III}$ 와 법선 성분  $B_y^{III}$ 은 각각 다음 식으로 표현된다.

$$B_x^{III} = -\mu_0 J_1 e^{j(\omega t - kx)} \quad (3.12)$$

$$B_y^{III} = -\mu_0 U J_1 e^{j(\omega t - kx)} \quad (3.13)$$

$$U = \coth \{k(g_e + d_2 \lambda_2')\} \quad (3.14)$$

$$kd_2 \lambda_2 = \tan^{-1} \left\{ \frac{\mu_0}{\mu_2} \lambda_2 \tanh k(d_2 \lambda_2 + d_1 \lambda_1) \right\} \quad (3.15)$$

$$kd_1 \lambda_1 = \tanh^{-1} \left\{ \frac{\mu_2}{\mu_1} \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cosh kd_1 \lambda_1 \right\} \quad (3.16)$$

1차 축 z방향의 단위 길이 당 유도되는 기전력  $E_{z1}$ 은 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} E_{z1} &= -\frac{\partial A_z^{III}}{\partial t} = V_s B_y^{III} \\ &= -j \mu_0 V_s J_1 U e^{j(\omega t - kx)} \quad (3.17) \end{aligned}$$

1차 표면 전류밀도  $J_1$ 을 유지하기 위하여 외부에서  $E_{z1}$ 과 크기가 같고 방향이 반대인  $E_{z1}$ 를 인가하여야 하므로 m상 1차 권선의 유기전압의 실효치  $E_1$ 은 다음 식과 같다.

$$E_1 = 4m \frac{(k_w N_{ph})^2 h}{p \tau} V_s \mu_0 I_1 j U \quad (3.18)$$

그러므로 1상당 등가 임피던스  $Z_{2e}$ 는 식 (3.3), (3.18)에 의하여 다음 식이 된다.

$$\begin{aligned} Z_{2e} &= \frac{E_1}{I_1} = j 4m \frac{(k_w N_{ph})^2 h}{p \tau} \\ &V_s \mu_0 u \quad (3.19) \end{aligned}$$

식 (3.21)에서  $s = 0$  이면 근사적으로  $Z_{2e} = X_m'$ 이 된다.

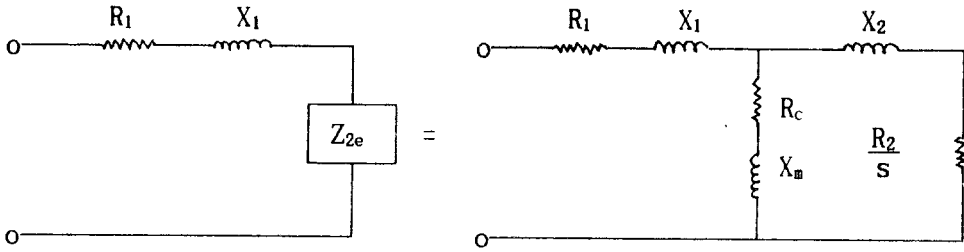


그림 3.3 등가회로  
Fig. 3.3 Equivalent Circuit

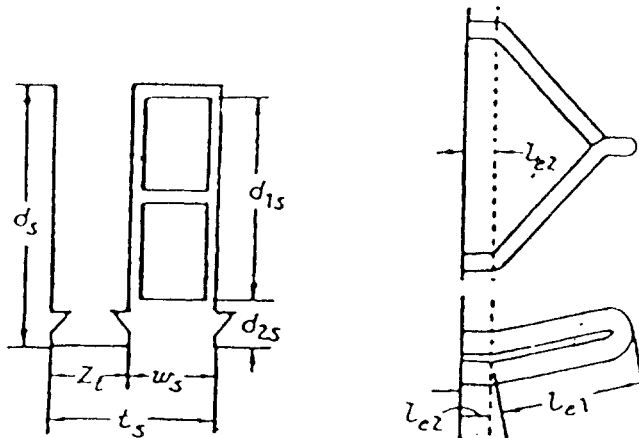
누설 리액턴스  $X1'$ 은 특성 해석상 중요한 변수이지만 이러한 수치를 정확히 계산하는 것은 매우 어려운 일이다. 여기서는 회전형 유도 전동기에 널리 이용되는 Kilgore식을 인용하여 개방 슬롯에서 m상 2층권의 1차 누설리액턴스  $X1'$ 를 나타내면 다음 식과 같다[10].

$$\left\{ \frac{K1}{Kw^2} \frac{20}{mq} \left( \frac{d2s}{Ws} + \frac{d1s}{3Ws} \right) + \frac{4}{h} \right. \\ \left. (2le2 + le1) \right\} \quad (3.20)$$

$$K1 = \frac{1}{4} (3\beta + 1)$$

여기서  $d1s$ ,  $d2s$ ,  $le1$ ,  $le2$ 는 그림 3.4에 표시된 값을 나타내며  $\beta$ 는 단절계수 이다.

$$X1' = 8 m f h \frac{(kw N_{ph})^2}{p} \times 10^{-7} \times$$



(a) 슬롯

(b) End 코일

그림 3.4 슬롯과 코일단 형상

Fig. 3.4 Schematic Diagram for Slot and End Coil



### 4. 해석 결과 및 검토

식(3.19), (3.20)의 해석적인 방법에 의하여 구한 등가회로 정수(이론치)와 본 연구에서 산정한 등가회로 정수(제안치)는 표 4.1에 있으며, 이 회로정수들을 이용하여 산정한 기동 시의 SLIM의 전기적 특성들을 실험치와 함께 표 4.2에서 비교하였다. 1차 권선저항 R<sub>1</sub>은 측정이 가능하므로 측정치를 모두 사용하였다. 2차 도체판을 제외한 공극은 임의로 조정할 수 있는데 실험

에서는 공극을 1.5 mm, 2.5 mm, 3.5 mm 로 하였다. 전원 전압은 정격 전압인 220 [V]로 하였으나 실험 과정에서 1 - 3 [V] 까지의 차이가 발생하여 계산치를 이와 일치시켰다. 표 4.2에서 제안치가 이론치보다 오차가 매우 적음을 볼 수 있다. 이론치의 오차가 크게 나타나는 것은 전자장을 해석하는 과정에서 해석이 가능하도록 하기 위한 여러 가정들과 수작업으로 실험기를 제작하므로 제작기술 등이 중요한 원인으로 사료된다.

표 4.1 회로 정수

Table 4.1 Circuit Parameters.

단위 [ $\Omega$ ]

공극길이	1.5 mm		2.5 mm		3.5 mm	
	이론치	제안치	이론치	제안치	이론치	제안치
R <sub>1</sub>	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
X <sub>1</sub>	15.5	15.4	15.5	15.9	15.5	16.7
R <sub>c</sub>	0	7.4	0	5.3	0	4.5
X <sub>m</sub>	62.0	61.3	52.3	53.2	45.6	48.4
R <sub>2</sub>	41.3	26.8	42.5	44.1	43.7	45.4
X <sub>2</sub>	4.02	12.9	4.89	13.2	5.77	14.9

표 4.2 기동시 특성

Table 4.2 Characteristics at start.

공극길이	1.5 mm			2.5 mm			3.5 mm		
	221 [V]			223 [V]			222 [V]		
구 분	이론치	측정치	제안치	이론치	측정치	제안치	이론치	측정치	제안치
I <sub>1</sub> [A]	2.62	3.31	3.31	2.68	2.77	2.78	2.70	2.78	2.77
P <sub>1</sub> [W]	676	758	757	639	616	619	614	573	569
F[kg]	6.63	6.15	6.21	6.09	5.28	5.25	5.76	4.75	4.69
I <sub>o</sub> [A]	1.63	1.63	1.64	1.86	1.83	1.84	1.96	1.96	1.94
P <sub>o</sub> [W]	54	113	113	70	121	121	77	128	127

## 5. 결 론

1차 권선 저항측정, 구속시험, 등가 무부하시험 및 해석적인 결과로부터 SLIM 등가회로의 회로 정수를 산정하는 방법을 제시하였다. 무부하시험을 대신하는 등가 무부하시험과 이론적인 방법을 이용하여 정현파 인버터와 같은 고가의 장비가 필요한 무부하시험을 하지 않고도 칩손을 포함하는 고정도의 회로정수들을 산정할 수 있었다. 기동 시의 전기적 특성 비교에서 이론치에 의한 결과보다 제안된 방법에 의한 결과가 실험치에 매우 근접함을 알 수 있다. 이러한 결과에 비추어 이 방법에 의하여 얻어진 등가회로는 제어용 SLIM의 등가회로로 사용하더라도 충분할 것으로 기대된다. 앞으로 임의의 슬립 시의 운전시험을 통하여 단부효과 및 온도상승에 따른 변화를 고려하여 회로정수를 보정한다면 반송용 제어장치에 활용이 가능한 거의 완벽한 등가회로를 얻을 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- I. Boldea and S. A. Nasar, "Linear Motion Electromagnetic Systems", John Wiley & Sons, 1985.
- E. R. Laithwaithe, "Induction Machines for Special Purposes", George Newnes Limited, 1966.
- R. M. Pai, Ion Boldea, and S. A. Nasar, "A Complete Equivalent Circuit of a Linear Motor with Sheet Secondary", IEEE, Mag, Vol. 24, No. 1, pp. 639-654, 1988.
- V. V. Vadher and M. Phil., "Theory and Design of Linear Induction Motors with Steel Reaction Plates", IEE, Proc., Vol. 129, No. 5, pp. 271-278, 1982.
- S. Nonaka and T. Higuchi, "Approximate Equation for Calculation of Characteristics of the Single-Sided Linear Induction Motor", IEE Trans. Japan, Vol. 102, No. 9, (57-B69), pp. 565-572, 1982.
- Dal-Ho Im and Cheol-Jick Ree, "The Calculation of Equivalent Circuit Parameters for SLIM and Its Verification by Experiment", KIEE, Vol. 42, No. 1, pp. 12-20, 1993.
- Dal-Ho Im, Cheol-Jick Ree, and Seung-Chan Park, "Optimization of the Design Variables of SLIM Using the Equivalent Circuit Analysis and SUMT", KIEE, Vol. 42, No. 3, pp. 20-28, 1993.
- Takayuki Mizuno, et al., "A Method of Starting Performance Calculation Based on Lock Test for Linear Induction Motor", T. IEE Japan, Vol. 112-D, No. 2, pp. 172-180, 1992.
- 杉本英彦 外 3人, "Single-Sided Linear Induction Motor의 拘束試驗 づく 非對稱定數算定法", 日本電氣學會論文誌, Vol. 113-D, No. 2, pp. 247-255, 1993.
- 野中, 吉田, "Double-Sided Linear Induction Motor의 等價回路定數と特性計算式", 日本電氣學會論文誌, Vol. 90, No. 5, pp. 890-899, 1970.
- C. H. Lee and C. Y. Chin, "A Theoretical Analysis of Linear Induction Motors", IEEE, PAS, Vol. 98, No. 2, pp. 679-688, 1979.
- S. Nonaka and N. Fujii, "Simplified Two-Dimensional Analysis of Linear Induction Motors", IEEE, Vol. MAG-23, No. 5, pp. 2832-34, 1987.
- H. Bolton, "Transverse Edge Effect in sheet-Rotor Induction Motors", IEE, Proc., Vol. 166, No. 5, pp. 725-731, 1969.

부록

A-1. 해석 모델의 제원

본 연구에 사용된 LIM 모델의 제원은 표 A.1과 같다.

표 A.1 SLIM 모델의 제원  
Table A.1 Specification of SLIM Model

극 수 P	4
상 수	3
동기 속도	8.28 m/s
주 파 수	60 Hz
전 압	220 V
공	2.5 mm
이동자 질량	25 kg

1차 철심

철심 길이	338 mm
철심 적층폭	84 mm
극 간격	69 mm
슬롯/극/상	2
슬롯 피치	11.5 mm
슬롯 폭	7.5 mm
슬롯 깊이	40 mm

2차 도체 및 철심

AL 판 두께	3 mm
AL 판 폭	221 mm
Back Iron 두께	8 mm

1 차 권 선

단 절 율	5/6
직렬권수/phase	680
도체수/슬롯	170
저항[Ω]	6.7
결 선	Y