

片側式 線型誘導電動機의 등가회로 구성과 加速特性 해석

장 석명*, 박 찬일**, 김 규택***, 오길 영래*, 김봉섭**, 정연호*

*충남대학교 전기공학과, **한국기계연구원, ***창원대학교 전기공학과

An Analysis on the Equivalent Circuit and the Accelerating Characteristics of Single Sided Linear Induction Motor

S.M Jang*, C.I Park**, G.T Kim***, Y.R Kim*, B.S Kim**, Y.H Jung*

*Chungnam University. **Korea Machine Research Center. ***Changwon University

ABSTRACT

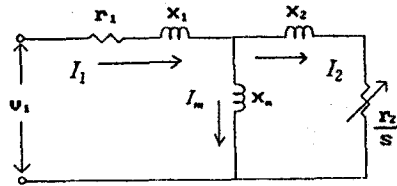
The equivalent circuit of SLIM is composed of the circuit parameters. They can be obtained from the electromagnetic theory. The accelerating characteristics of SLIM are the best efficiency when synchronous speed changed continuously. The paper outlines a method of acceleration for an accelerated field system in which it is desired to reduce the overall length to a minimum, assuming a limit on the amount of heat which can be generated in the secondary member. The paper then shows that a primary unit designed to give several discrete field speeds only, as opposed to one with continuous speed variation, is not significantly inferior in performance to the latter but is much easier to manufacture.

1. 서론

유도형 리니어모터(이하 LIM)는 회전형 유도전동기를 축방향으로 잘라 펼쳐 전개한 개념으로 이루어진 것으로, 기계적인 직선형 운동변환장치가 없이도 직접 직선 추력을 발생시킬 수 있는 특징을 갖는다. 따라서 회전형 유도전동기의 구동력은 회전자계에 의해 발생하나 LIM의 경우는 이동자계에 의해 추력이 발생하게 된다. 일반적으로 LIM은 연속적으로 속도를 바꾸어 물체를 가속하는 방법과 斷續적으로 속도를 바꾸어 가속하는 방법이 있다. 이때 LIM 2차측의 열손실을 최소화 하고 에너지효율이 양호 하도록 하여야 하는데, 연속적으로 속도를 상승시켜 가속하는 방법보다는 斷續적으로 LIM을 가속하는 것은 특성은 좋지 않으나 제작하기가 매우 용이하다는 장점을 갖는다. Nonaka교수등이 LIM의 end/edge effect등을 고려하여 해석한 결과를 참고로 하여 등가회로를 구성한후 역학방정식을 토대로 하여, 가속거리, 에너지 효율등에 관한 식을 구하여 LIM을 이용한 가속특성을 해석하여 가속시스템을 지령하고 효율이 양호한 시스템을 구성할 수 있는 기본자료를 제시하고자 하였다.

2. SLIM의 등가회로

SLIM의 가속특성을 해석하기 위하여 1상당의 등가회로를 구성하면 그림(1)과 같이 나타낼 수 있다. 실제 파라미터로부터의 등가회로값 선정방법은 여러방법에 의해 시행될 수 있으나 본 논문에서는 Nonaka교수가 전자장이론을 적용하여 도출한 이론식으로부터 결정하였다.



그림(1) SLIM의 1상당 등가회로

3. 등가회로소자

SLIM의 1차측 등가회로 소자인 권선의 저항값과 누설리액턴스의 값을 설계이론에 의하여 계산하게 되며 그식은 아래와 같다.

(1) 1차저항

$$r_1 = (k_w N_{ph})^2 \left\{ \frac{k_r}{k_w^2} \cdot \frac{2\rho_1 l_o}{pq F_s w_s d_s} \right\}$$

(2) 1차 누설리액턴스

$$x_1 = 16 m f h \frac{(k_w N_{ph})^2}{p} \times 10^{-7} \times$$

$$\left\{ \frac{k_{x1}}{k_w^2} \cdot \frac{20}{mq} \left(\frac{d_{2s}}{w_s} + \frac{d_{1s}}{3w_s} \right) + \frac{4}{h} (2l_e + l_{el}) \right\}$$

(3) 2차지향: $r_{2e} = k_{e1} r_{2e}$

(4) 2차리액턴스: $x_{2e} = k_{e2} x_{2e}$

단,

$$r_{2e} = K_a \frac{\sin 2 \frac{\pi}{\tau} d_2 \beta_2}{\cosh 2 \frac{\pi}{\tau} (g_e + d_2 \alpha_2) - \cos 2 \frac{\pi}{\tau} d_2 \beta_2}$$

$$x_{2e} = K_a \frac{\sinh 2 \frac{\pi}{\tau} (g_e + d_2 \alpha_2)}{\cosh 2 \frac{\pi}{\tau} (g_e + d_2 \alpha_2) - \cos 2 \frac{\pi}{\tau} d_2 \beta_2}$$

$$K_a = 8 m h f \mu_o \frac{(k_w N_{ph})^2}{P}$$

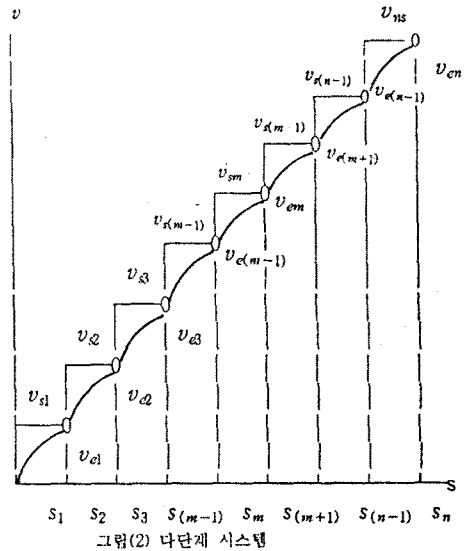
3. SLIM의 가속 및 특성식

3.1 SLIM의 가속

SLIM의 동기속도는 이동자계의 속도가 되므로 극간격과 진원 주파수에 의해 결정된다. 따라서 SLIM을 가속하고자 하는 경우에는 극간격이나 주파수를 가변시켜야 한다. 본 논문에서는 진원주파수를 바꿔 속도를 변환하는 방식으로 주파수의 변화에 의해 누설리액턴스 등 진동기 내부의 임피던스가 변화하므로 최대추력, 최대출력, 역률, 효율등의 특성이 크게 변화한다. 따라서 진압도 주파수를 변화시킬때 동시에 비례하여 $V/\lambda =$ 일정으로 변화시키는 VVVF방식으로 하였다. 斷續的 多段階 가속시스템은 연속적으로 가변시키는 시스템에 비하여 효율적이지는 못하지만 대형 시스템등에서 낮은 가격으로 손 쉽게 제어할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 가속거리를 짧게 하고, 가속시간을 단축하며, 가속시의 에너지소모를 최소화시키는 효율적인 가속시스템을 구성하기 위해서는 가속특성의 해석이 필요하므로 본 논문에서 이를 다루고자 한다. 단 加速率의 영향, 바람등의 外力은 무시하기로 한다.

3.2. SLIM의 다단계 가속특성식

다단계로 가속시키는 경우는 동기속도를 여러번 변화시켜 최종 속도 v_{en} 까지 가속하는 시스템을 말한다. 즉 그림(2)으로부터 최초에 SLIM의 동기속도를 v_{s1} 으로 하여 v_{e1} 까지 가속을 시킨후 다시 동기속도 v_{s2} 로 바꾸어 v_{e2} 까지 가속시킨다. 이렇게 SLIM의 동기속도를 여러번 바꾸어 다단계로 가속시키는 시스템의 특성을 해석하기로 한다.



따라서 n단계로 가속되는 동안 주행하게 되는 전체거리 S_n 은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$S_n = \sum_{m=1}^n S_{(m-1)m}$$

$$= \frac{M}{3V_1^2 r_2^2 x_m^2} \left\{ -\frac{v_{en}^3}{3} \cdot [(x_1 x_2 + x_1 x_m + x_2 x_m)^2 + r_1^2 (x_2 + x_m)^2] \right.$$

$$+ \sum_{m=1}^n \left(\frac{1}{2} v_{sm} (v_{em}^2 - v_{e(m-1)}^2) \cdot [(x_1 x_2 + x_1 x_m + x_2 x_m)^2 + r_1^2 (x_2 + x_m)^2] + \right.$$

$$\left. \left. r_1 r_2^2 v_{sm} (v_{em}^2 - v_{e(m-1)}^2) + [(r_1 r_2)^2 + (x_1 + x_m)^2 r_2^2] \cdot [v_{sm}^3 \ln \frac{v_{sm} - v_{e(m-1)}}{v_{sm} - v_{em}} - v_{sm}^2 (v_{em} - v_{e(m-1)})] \right\}$$

또한 n단계로 가속되는 동안 소모되는 총 에너지손실 W_{eln} 은 아래와 같다.

$$W_{eln} = \sum_{m=1}^n \int_{v_{e(m-1)}}^{v_{em}} M (v_{sm} - v) dv$$

$$= M \left[-\frac{v_{en}^2}{2} + \sum_{m=1}^n (v_{sm} v_{em} - v_{sm} v_{e(m-1)}) \right]$$

또 n단계로 가속되는 동안 걸리는 총 가속시간 T_{an} 은 아래와 같다.

$$T_{an} = \sum_{m=1}^n \int_{v_{e(m-1)}}^{v_{em}} \frac{M}{F} dv$$

$$= \frac{M}{3V_1^2 r_2^2 x_m^2} \left\{ -\frac{1}{2} v_{en}^2 \cdot [(x_1 x_2 + x_1 x_m + x_2 x_m)^2 + r_1^2 (x_2 + x_m)^2] \right.$$

$$\left. + \sum_{m=1}^n [v_{sm} v_{em} - v_{sm} v_{e(m-1)}] \right\}$$

$$\begin{aligned} & \cdot [(x_1 x_2 + x_1 x_m + x_2 x_m)^2 + r_1^2 (x_2 + x_m)^2] \\ & + 2r_1 r_2 x_m^2 \cdot [v_{sm} v_{em} - v_{sm} v_{e(m-1)}] \\ & + [v_{sm}^2 \ln \frac{v_{sm} - v_{e(m-1)}}{v_{sm} - v_{em}}] \\ & \cdot [(r_1 r_2)^2 + (x_1 + x_m)^2 r_2^2] \end{aligned}$$

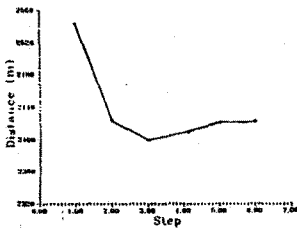
한편 n단계로 가속되는 동안 전체 에너지-효율 η_{en} 은 아래와

$$\text{같다. } \eta_{en} = \sum_{m=1}^n \int_{v_{e(m-1)}}^{v_{em}} \frac{W_{oen}}{W_{ien}} dv = \frac{\gamma_2 x_m^2 v_{en}^2}{K_1}$$

$$\begin{aligned} K_1 = & 2r_1 \cdot \left\{ -\frac{1}{2} v_{en}^2 (x_2 + x_m)^2 \right. \\ & + \sum_{m=1}^n ([v_{sm} v_{em} - v_{sm} v_{e(m-1)}] \\ & \cdot (x_2 + x_m)^2 + r_2^2 \cdot [v_{sm}^2 \ln \frac{v_{sm} - v_{e(m-1)}}{v_{sm} - v_{em}}]) \end{aligned}$$

4. 다단계 시스템의 가속특성

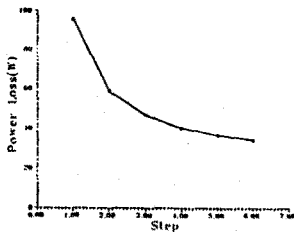
4.1 가속시의 가속거리 특성



그림(3) 가속거리 특성 그래프

그림(3)은 가속거리에 관한 식에서 최종속도 v_g 까지 도달하기 위하여 가속하는 시스템을 1단계의 동기속도만으로 가속하는 경우와 2단계, 3단계, 4단계로 ... 동기속도를 바꾸어 가며 가속시키는 시스템인 경우의 가속거리를 해석한 것이다. 최종속도까지 가속하는데 다단계의 시스템을 구성할수록 가속거리를 짧게 할 수 있음을 보인다.

4.2 가속시의 에너지손실 특성

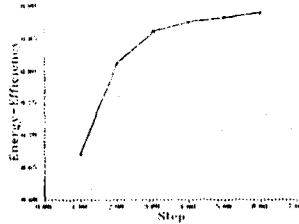


그림(4) 가속시의 에너지손실 특성 그래프

그림(4)는 에너지손실에 관한 식에서 최종속도 v_g 까지 도달하

기 위하여 가속하는 시스템을 1단계의 동기속도만으로 가속하는 경우와 2단계, 3단계, 4단계로 ... 동기속도를 바꾸어 가며 가속시키는 시스템인 경우의 에너지손실을 해석한 것이다. 최종속도까지 가속하는데 다단계의 시스템을 구성할수록 에너지손실이 감소됨을 알 수 있다.

4.3 가속시의 에너지효율 특성



그림(5) 가속시의 에너지효율 특성 그래프

그림(5)는 에너지효율에 관한 식에서 최종속도 v_g 까지 도달하기 위하여 가속하는 시스템을 1단계의 동기속도만으로 가속하는 경우와 2단계, 3단계, 4단계로 ... 동기속도를 바꾸어 가며 가속시키는 시스템인 경우의 에너지효율을 해석한 것이다. 최종속도까지 가속하는데 다단계의 시스템을 구성할수록 에너지효율이 증가됨을 알 수 있다.

6. 결 론

SLIM으로 추진되는 물체를 斷續的 多段階로 가속하는 시스템은 연속적인 가속시스템에 비하여 효율적이지는 못하지만 대형 시스템등에서 낮은 가격으로 손 쉽게 제작 할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 가속거리를 짧게 하고, 가속 시간을 단축하며, 가속시의 에너지소모를 최소화시키는 효율적인 가속시스템을 구성하기 위해서는 가속특성의 해석이 필요하므로 이를 본 논문에서 다루었다. 즉 有限回數의 段階로 空母주파수를 변화시켜도 어떤 단계이상에서는 連續的이며 漸進的으로 속도를 상승시키는 것과 같은 특성을 나타내고 있다. 따라서 제작하기 어렵고 가격이 비싼 연속적인 방법보다 단계적으로 속도를 변속시키는 방법을 가속시스템에 적용할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Prof.T.Onuki,外"Optimised Design of Linear Induction Motor Accelerators", PROC. IEE, Vol.118,no.2,p.349-355,1971
- [2] 野中作太郎,外 "兩側式 리ニア 모터의 等價回路 定數と 特性計算式" 日本電氣學會雜誌,45-44,vol.90, no.5, p890-899,1970
- [3] 平紗多賀男,外 "誘導形 리ニア 모터의 可變電源による 加速時特性とそ最適二次抵抗條件", 日本電氣學會論文誌B,53-B64,p519-526,1978