

반송장치용 선형유도전동기의 특성해석 및 설계고찰

(Characteristic Analysis and Design Considerations of SLIM for Conveyer System)

李喆稷*

(Cheol-Jick Ree)

요 약

본 연구에서는 반송장치용 선형유도전동기의 특성해석 및 설계고찰을 위해 유한요소법에 의한 해석을 행하고, 이에 의한 해석결과를 실험결과와 비교, 검토하였다.

또한, 이러한 특성해석의 결과로 부터 추력, 공극자속밀도 및 무효전력간의 상호관계를 규명하여 반송장치의 추력구동원으로 적용된 선형유도전동기의 성능상 가장 이상적인 유효공극에 대한 극간격의 비를 결정하므로써 반송장치의 추력 구동용 선형유도 전동기의 설계특성을 고찰할 수 있었다.

Abstract

This paper describes on the design considerations and analysis of moving primary-type linear induction motor for automatic conveyer system. For the study of the designed motor characteristics, calculated values obtained from the analysis using finite element method for various operation conditions are compared with the experimental results. Using the combined interactions of the thrust, the airgap flux density, and the reactive power at standstill as performance criteria, a proper ratio of the pole pitch to the effective airgap is presented for the design criterion.

1. 서 론

선형 유도전동기(Linear Induction Motor)는 1950년 E.R Laithwaite가 이에 대한 이론 해석을 논문으로 발표한 이래, 주로 이론에 의한 연구 대상으로서 특성해석 및 기초실험을 다룬 논문들에 의하여 꾸준히 발전되어 왔다.^{1)~3)}

근년에 이르러 자기 부상 열차의 추진 구동원에 선형 유도전동기가 적용되어 고속 교통수단용으로 각광을 받기 시작하면서 직선 운동을 필요

로 하는 공장내 반송장치 및 각종 자동화 기기의 액츄에이터 등에 이를 직접 응용하기 위한 많은 연구개발이 활발하게 이루어 지고 있다.^{4)~6)}

이에 본 연구에서는 실험기로 제작된 1[kVA] 급 반송장치용 편축식 선형유도전동기(SLIM)의 직선운동을 직접 추진구동원에 적용하여 지상 2차 방식의 구조를 갖는 반송시스템을 실험장치로 구성하였다 그리고, 실험기로서 적용된 반송장치용 SLIM의 제반특성을 고찰하기 위하여 유한요소법(FEM)에 의한 해석적인 시뮬레이션 결과와 실험에 의한 측정 결과를 비교 및 분석하였다.

*正會員 : 大林專門大學 電氣科 助教授 · 工博

接受日字 : 1995年 1月 6日

2. SLIM의 특성해석

2.1 해석모델 및 지배방정식

SLIM의 제반 특성고찰을 위해 실험기를 그림 2.1에 나타낸 해석 모델로 변형하고, 해석상의 편의를 위하여 실제의 기본특성에 변화를 주지 않는 범위내에서 다음과 같은 가정을 두기로 한다.

- 1) 모든 전류는 z 방향으로만 존재한다.
- 2) 변위전류를 무시한 준정상상태이다.
- 3) 1차 철심과 2차측 Back iron의 투자율은 일정하다.
- 4) 1차 철심의 도전율은 영이다.
- 5) 운동은 x방향 성분만 존재한다.

이때, 주어진 경계조건은, 그림 2.1에 표시하였다. 단, \vec{n} 은 경계면에서의 단위 법선벡터이다.

이상과 같은 해석모델 및 가정으로부터 전자계해석을 위하여 자계의 세기를 \vec{H} , 자속밀도를 \vec{B} , 전계의 세기를 \vec{E} , 등으로 표시하면, 임의의 해석 영역에 대한 Maxwell의 전자방정식은 변위전류를 무시할 때 다음과 같이 주어진다. ^{7~8)}

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_e + \vec{J}_m \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \nabla \times (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0 \quad (3)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (4)$$

$$\vec{J}_e = \sigma \vec{E} \quad (5)$$

여기서, \vec{J}_e 는 입력전류밀도, \vec{J}_m 는 와전류밀도를 나타내며 σ 와 \vec{v} 는 각각 2차측 알루미늄 도체판의 도전율과 1 차측의 이동 속도이다.

그러므로 2차 도체판에 유기되는 기전력 \vec{E} 는 식 (2)로부터 식 (6)과 같이 구하여 진다.



Dirichlet 경계조건 : $A=0$ (경계 Γ_1) Neumann 경계조건 : $\frac{\partial A}{\partial n} = 0$ (경계 Γ_2)

그림 2.1 편측식 선형유도전동기의 해석 모델
Fig. 2.1 Analytical model of single-sided LIM

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} + \vec{v} \times \vec{B} \quad (6)$$

따라서 식 (1)에 식 (6)을 대입해서 $\nabla \cdot A=0$ 인 Coulomb gauge 조건을 적용하여 정리하면, 다음과 같이 식 (7)로 표현되는 SLIM의 특성해석을 위한 지배방정식이 구하여 진다.

$$\frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} \right) = -j_0 + \sigma \left(\frac{\partial A}{\partial t} + v_x \frac{\partial A}{\partial x} \right) \quad (7)$$

여기서, A는 가정 1)에 의하여 자기벡터포텐셜 \vec{A} 의 z 방향 성분만을 나타내며 v_x 는 x방향으로의 이동속도를 나타낸다.

2.2 특성 산정식

2.2.1 자속 밀도

각 요소에 있어서의 벡터포텐셜 $A^{(e)}$ 는 1차식으로 표현된 형상함수와의 관계식으로 부터 다음과 같이 주어진다.

$$A^{(e)} = \frac{1}{2\mathcal{L}^2} [1 \ x \ y] \begin{pmatrix} b_{1e} & b_{2e} & b_{3e} \\ c_{1e} & c_{2e} & c_{3e} \\ d_{1e} & d_{2e} & d_{3e} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_{1e} \\ A_{2e} \\ A_{3e} \end{pmatrix} \quad (8)$$

따라서 자속밀도 $B^{(e)}$ 의 x, y 성분인 B_x, B_y 는 2차원 영역에서 $A_x=A_y=0$ 이므로 $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$ 에 의하여 식 (9) 및 식 (10)과 같이 된다.

$$B_x = \frac{\partial A^{(e)}}{\partial y} = \frac{1}{2\mathcal{L}^2} (d_{1e} A_{1e} + d_{2e} A_{2e} + d_{3e} A_{3e}) \quad (9)$$

$$B_y = -\frac{\partial A^{(e)}}{\partial x} = -\frac{1}{2\mathcal{L}^2} (c_{1e} A_{1e} + c_{2e} A_{2e} + c_{3e} A_{3e}) \quad (10)$$

따라서, 식 (9)와 식 (10)으로부터 요소내에서의 함수를 1차식으로 근사화시킨 1차 삼각형 요소에서는 요소내에서의 자속밀도값이 일정한 값으로 주어지게 됨을 알 수 있다.

2.2.2 추력 및 수직력

자계내에 도체가 놓여 있으면 이 도체에 작용되는 자기력 밀도는 전류밀도와 자속밀도에 의하여 식 (11)과 같은 로렌츠 힘으로 표현된다.

$$d\vec{f} = (\vec{J} \times \vec{B}) dV \quad (11)$$

여기서는 변위전류를 무시한 준 정상상태이므로 $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$ 가 되므로서 식 (11)은 다음과 같이 정리된다.

$$d\vec{f} = \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \vec{B}) \times \vec{B} dV \quad (12)$$

따라서 체적이 V인 물체에 작용하는 전자력 \vec{F} 는 식 (13)과 같이 주어진다.

$$\vec{F} = \int_V d\vec{f} dV \tag{13}$$

$$= \frac{1}{\mu_0} \int_V (\nabla \times \vec{B}) \times \vec{B} dV$$

또한, 식 (13)에 $(\nabla \times \vec{B}) \times \vec{B} = (\vec{B} \cdot \nabla) \vec{B} - \frac{1}{2} \nabla \cdot \vec{B}^2$ 을 대입해서 Gauss-Green공식을 적용하여 정리 하면 식 (14)가 주어진다.

$$\vec{F} = \frac{1}{\mu_0} \left\{ \int_S \vec{B} (\vec{B} \cdot \vec{n}) dS - \int_S \frac{1}{2} B^2 \vec{n} dS \right\} = \int_S \vec{P} dS \tag{14}$$

여기서 P는 Maxwell stress tensor, S는 체적 V의 표면적 및 \vec{n} 은 S에 수직인 외향 단위법선 벡터이다.

그러므로 식 (14)로부터 체적 V인 물체에 작용하는 힘은 그 물체를 둘러 싸고 있는 표면적 S에 작용하는 Stress tensor P의 면적분과 같음을 알 수 있으며, 요소내에서 발생한 Maxwell stress tensor의 x, y 성분인 P_x, P_y 는 각각 식 (15) 및 식 (16)과 같이 주어진다. ⁹⁾

$$P_x = \frac{1}{2\mu_0} \{ (B_x^2 - B_y^2)n_x + 2n_x B_x B_y \} \tag{15}$$

$$P_y = \frac{1}{2\mu_0} \{ (B_y^2 - B_x^2)n_y + 2n_y B_x B_y \} \tag{16}$$

따라서 적분경로 ℓ 에 대하여 작용하는 x성분의 추력 T_x 와 y성분의 수직력 T_y 는 각각 식 (17) 및 식 (18)과 같이 구하여진다.

$$T_x = \int_\ell h P_x dl [N] \tag{17}$$

$$T_y = \int_\ell h P_y dl [N] \tag{18}$$

여기서, h는 1차 철심의 적층 폭이다.

2.2.3 유효전력 및 무효전력

전압을 구동함수로 하여 해석하였기 때문에 각 상의 전압과 전류간의 위상차를 계산하므로써 입력된 유효 전력 및 무효 전력은 다음과 같이 쉽게 구하여진다.

$$P_{active} = \text{Re}\{(V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^*)/2\} [W] \tag{19}$$

$$P_{reactive} = \text{Im}\{(V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^*)/2\} [Var] \tag{20}$$

여기서, *는 공액복소수를, Re와 Im은 각각 실수부와 허수부를 나타낸다.

3. 반송장치용 SLIM 실험장치

반송장치의 추진구동원에 선형 유도전동기를

적용하기 위해 1[kVA]급 서보용 SLIM을 설계 제작하였으며, 이에 대한 제반 특성을 고찰하기 위한 실험장치로서 지상 2차 방식의 리니어 서보시스템을 구성하였다. ⁴⁾

3.1 SLIM의 제원

본 연구를 위하여 실험기로서 제작된 반송용 SLIM의 전기적 및 기계적인 제원은 표 3.1과 같다.

3.2 반송장치용 측정실험장치의 구성

본 논문에서는 선형유도전동기를 이용한 반송 장치의 구성을 지상 2차 방식으로 하여 구동원에 SLIM을 적용하였으며, 실험기에 대한 추력 및 수직력등을 측정하기 위한 측정실험장치는 그림 3.1과 같다.

여기서, 추력측정장치는 반송장치의 양 끝단에서 Load Cell을 사용해 기동시의 특성실험만을 행할 수 있도록 또한 수직력 측정장치는 기동시

표 3.1 편축식 선형 유도전동기의 제원

Table 3.1 Rating and Dimension of SLIM

구분	전기적인 제원	기계적인 제원
1차 축	방식 : 단 1차 편축식	철심치수 - 폭 : 80.0(mm)
	상수(m) : 3상	두께 : 49.0(mm)
	극수(p) : 3극	길이 : 198.5(mm)
	정격전압 : 220(V)	슬롯치수 - 폭 : 5.5(mm)
	권선저항 : 8.0(Ω/상)	길이 : 34.8(mm)
	매극대상슬롯수 : 2	Pitch : 8.5(mm)
	단절계수(β) : 5/6	Pole pitch : 51.0(mm)
2차 축	결선방법 : Y결선	상당 권선수 : 540(turn)
	Al의 저항율 : 3.2 × 10 ⁻⁸ (Ωm)	Coil 직경 : 0.7(mm)
	Back iron의 비투자율 : 300	Overhang : 75.0(mm)
		두께 - Al : 2.5(mm)
	Fe : 12.0(mm)	
	폭 - Al : 190.0(mm)	
	Fe : 380.0(mm)	

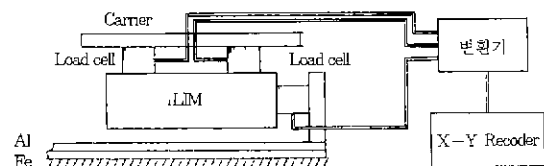


그림 3.1 측정실험장치의 구성

Fig 3.1 Construction of experimental measuring devices

의 수직력 측정은 물론 향후 Rotary encoder 등에 의한 속도검출로 운전시 슬립 변화에 따른 입구 단과 출구단의 단부효과에 기인한 수직력의 변화 특성을 고찰할 수 있도록 실험기의 1차측 고정자와 반송 가동자 사이의 전후단에 각각 1개씩의 Load cell을 설치하여 구성하였다.

4. 반송장치용 SLIM의 특성고찰

4.1 전압과 공극자속밀도의 변화에 따른 추력 및 수직력

그림 4.1과 그림 4.2는 SLIM의 2차측 알루미늄의 두께를 2.5(mm)로 일정하게 유지하면서 공극의 길이를 각각 2.0(mm), 4.0(mm)로 하였을때의 추력과 수직력에 대해 전압을 변화시켜서 측정할 실험결과와 복소수근사법에 의한 시뮬레이션에서 얻어진 해석결과를 비교한 것이다.

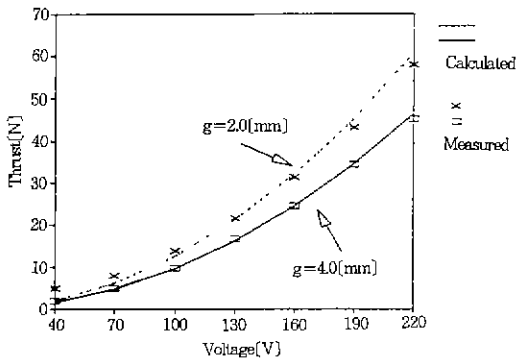


그림 4.1 전압의 변화에 따른 추력
Fig. 4.1 Thrust according to line Voltage

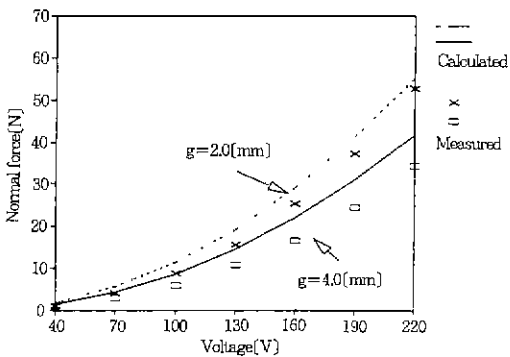


그림 4.2 전압의 변화에 따른 수직력
Fig. 4.2 Normal force according to line voltage

여기서, 측정실험은 전원 주파수를 60[Hz]로 고정시키고, 전압만을 30[V]씩 증가시키면서 행하였고, 이때 1차측 권선의 온도는 섭씨 75도를 기준으로 하였다. 따라서, 이론해석에 의한 시뮬레이션에서 1차측 권선의 저항은 실험조건과 같은 온도에서의 저항값으로 보상하여 주었다.

그림 4.1과 그림 4.2의 전압변화에 따른 추력 및 수직력특성으로부터 추력의 경우는 실험치와 이론치가 거의 일치하고 수직력의 경우는 이론치가 실험치보다 약간 크게 나타났으며, 추력과 수직력은 인가된 전압의 제곱에 거의 비례하여 증가되는 현상을 보여주고 있다.

그림 4.3과 그림 4.4는 전압변화에 따른 추력 및 수직력의 이론치와 실험치로부터 각각 공극자속밀도의 최대치를 계산하여 공극자속밀도의 최대치의 변화에 따른 추력 및 수직력을 나타낸

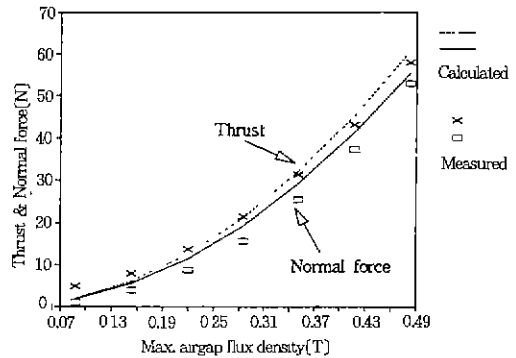


그림 4.3 공극자속밀도 최대치와 추력 및 수직력의 관계 (g=2.0(mm))

Fig. 4.3 Thrust and normal force according to maximum flux density

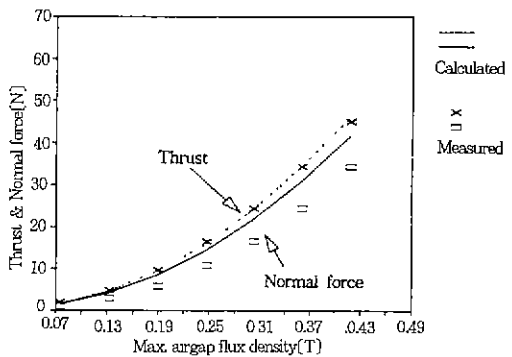


그림 4.4 공극자속밀도 최대치와 추력 및 수직력의 관계 (g=4.0(mm))

Fig. 4.4 Thrust and normal force according to maximum flux density

곡선으로서, 추력과 수직력이 전압의 제공에 비례하여 증가하는 것과 마찬가지로 공극자속밀도의 최대값에 대해서도 거의 제공에 비례하여 증가하는 현상을 보여주고 있다.

따라서 추력 F_x 는 공극자속밀도의 최대치 B_m 의 제공에 비례하여 증가하므로 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$F_x \propto B_m^2 \quad (21)$$

4.2 유효전력 및 무효전력

4.2.1 공극의 유효체적에 따른 무효전력

그림 4.5는 SLIM의 알루미늄의 두께를 2.5 [mm]로 일정하게 두고 공극의 길이를 1.0 [mm]에서 4.0 [mm]까지 1.0 [mm]씩 변화시키면서 전원 주파수가 60 [Hz]인 평형 3상의 선간전압 220 [V]를 인가하였을 경우에 공극의 유효체적의 변화에 따른 유효전력 및 무효전력의 변화를 측정 한 실험결과와 시뮬레이션결과를 비교하여 나타낸 것이다. 그림 4.5로부터 무효전력은 유효공극의 체적이 증가함에 따라 비례하여 증가하는 반면, 유효전력은 오히려 감소하는 현상을 알 수 있다. 따라서, 유효공극의 체적을 $g \cdot hpr$ 로 나타내면 무효전력 Q 는 식 (22)와 같은 관계식을 갖게 된다.

$$Q \propto (g \cdot hpr) \quad (22)$$

여기서, hpr 는 1차측 철심의 유효면적을 나타내므로 $g \cdot hpr$ 는 유효공극의 체적이 되며 g 는 유효공극으로서 아래와 같이 구한 값이다.

2차측 알루미늄판이 Back iron위에 Sheet형식

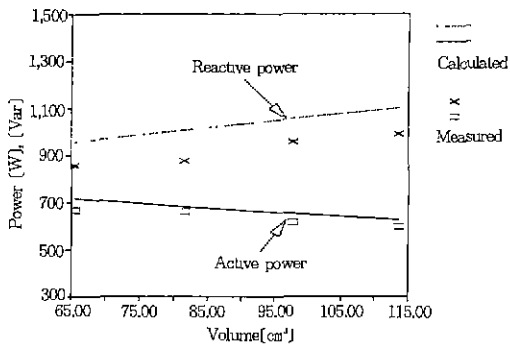


그림 4.5 공극의 유효체적과 무효전력
Fig. 4.5 Reactive power and the volume of effective airgap

으로 존재하는 경우 자기적 공극은 기계적 공극 g 와 알루미늄판의 두께 d_{Al} 과의 합으로 주어진다.

그러나, 1차 철심에는 권선을 시행하기 위한 슬롯이 있으므로, 이로 인한 공극의 증가를 Carter계수 K_c 를 이용하여 보정하면, 유효공극 g_e 는 식 (23)과 같이 주어지며, Carter계수 K_c 는 식 (24)와 같다. ¹⁾

$$g_e = K_c \cdot g + d_{Al} \quad (23)$$

$$K_c = \frac{t_s(5g + w_s)}{t_s(5g + w_s) - w_s^2} \quad (24)$$

여기서, t_s 는 슬롯피치로서 슬롯폭 w_s 와 치폭 z 의 합이다.

4.2.2 공극자속밀도의 변화에 따른 유효전력 및 무효전력

그림 4.6의 a)와 b)에는 SLIM의 공극이 각각 2.0 및 4.0 [mm]일때에 전압을 변화시켜서 구한 공극 자속 밀도의 최대치가 증가함에 따른 유효

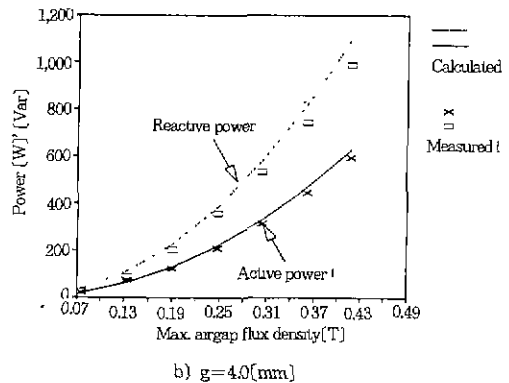
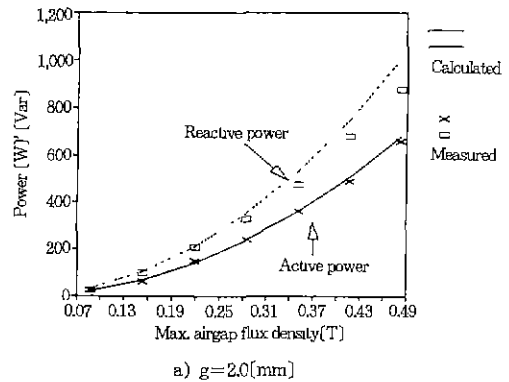


그림 4.6 공극자속밀도의 최대치와 무효전력
Fig. 4.6 Reactive power and maximum airgap flux density

전력과 무효전력의 실험치와 시뮬레이션에 의한 이론치를 비교하여 나타내었다.

그림 4.6으로부터 유효전력은 $B_m^{1.5}$ 에 비례하는 정도로 증가하지만, 무효전력은 B_m^2 에 거의 비례하여 증가함을 알 수 있다. 따라서 식 (2)에서 무효전력 Q 가 유효공극의 체적에 비례하므로 공극 자속밀도의 최대치 B_m 및 유효공극의 체적 $g \cdot hpr$ 를 사용하면 무효전력 Q 는 다음과 같이 표현된다.

$$Q \propto B_m^2(g \cdot hpr) \quad (25)$$

4.2.3 추력, 공극자속밀도최대치 및 무효전력의 상호관계

추력 F_x 는 식 (2)로 부터 공극자속밀도의 최대치 B_m 의 제곱에 비례하고, 무효전력량 Q 는 식 (25)로부터 B_m 의 제곱에 비례한다고 하는 사실을 알 수 있다. 따라서, 이와같은 추력과 공극자속밀도의 최대치 및 무효전력의 상호관계로부터 공극 자속밀도를 작게 하면 무효전력량과 흡인력은 적어지게 되나 상대적으로 추력이 감소하게 되며 반대로 공극자속밀도를 크게하면 추력은 증가하

표 5.1 공극과 알루미늄의 두께에 따른 제 특성 비교
Table 5.1 Characteristics according to various air gaps and aluminum depths

g	d_A	g.	$\tau/g.$	$g \cdot hpr$	F_x	F_y	P	Q	S	F_x/S	$Q/(g \cdot hpr)$
1.5	1.5	3.565	14.30	56.47	58.29	99.16	0.571	0.839	1.016	57.37	14.87
	2.0	4.065	12.54	64.40	62.64	76.97	0.643	0.914	1.118	56.01	14.21
	2.5	4.565	11.17	72.32	64.58	59.23	0.696	0.983	1.204	53.61	13.60
	3.0	5.065	10.07	80.24	64.97	44.76	0.735	1.044	1.277	50.86	13.02
2.0	1.5	4.096	12.45	64.88	54.36	90.27	0.559	0.877	1.041	52.21	13.53
	2.0	4.596	11.10	72.80	58.61	71.10	0.628	0.946	1.135	51.60	12.99
	2.5	5.096	10.06	80.72	60.62	55.33	0.679	1.009	1.216	49.83	12.50
	3.0	5.596	9.11	88.64	61.14	42.24	0.717	1.066	1.285	47.58	12.03
2.5	1.5	4.678	10.90	74.10	50.49	82.85	0.549	0.912	1.065	47.38	12.32
	2.0	5.178	9.85	82.02	54.66	65.85	0.615	0.975	1.153	47.38	11.89
	2.5	5.678	8.98	89.94	56.72	51.59	0.664	1.033	1.228	46.15	11.49
	3.0	6.178	8.26	97.86	57.35	39.63	0.700	1.086	1.293	44.34	11.11

註) 상기 표에서 사용된 기호의 의미와 단위는 아래와 같다.

- g : 공극 (mm), d_A : 알루미늄 두께 (mm), g. : 유효공극 (mm)
- $\tau/g.$: 극간격/유효공극, $g \cdot hpr$: 공극의 유효체적 (cm³),
- F_x : 추력 (N), F_y : 수직력 (N), P : 유효전력 (kW), Q : 무효 전력 (kVar)
- S : 피상전력 (kVA), F_x/S : 추력/피상전력 (N/kVA),
- $Q/(g \cdot hpr)$: 무효전력/공극의 유효체적 (kVar/cm³)

게 되나 상대적으로 무효전력량과 흡인력은 증가 되는 특성을 살펴볼 수 있다.

그러므로 선형유도전동기의 설계시에는 공극 자속밀도를 낮게 설정하여 자기장하를 작게하고, 또한 이로 인한 추력의 감소분은 동기속도를 어느 정도 크게 설정하여 외전류 밀도를 증가시켜 주어야 하므로 선형 유도전동기는 자기장하보다 전기장하가 큰 동기계로 설계하여야 함을 알 수 있다. 그러나, 이 경우에 2차측 알루미늄의 두께는 다소 증가되어 진다.

5. 반송장치용 SLIM의 설계고찰

반송장치용 선형유도전동기의 성능평가 및 설계고찰을 위하여 SLIM의 공극의 길이와 알루미늄의 두께를 변화시켜서 구한 제반특성을 표 5.1에 나타내었다.

표 5.1로부터 흡인력은 알루미늄의 두께가 2.0(mm)이하일 경우에는 모두 추력보다 크게 발생되므로 알루미늄의 두께는 2.5(mm)이상으로 되어야 하고, 동일한 유효공극에서는 알루미늄의 두께가 클수록 유효공극의 단위체적당에 대한 무효전력량은 증가되는 반면에 입력된 피상전력에 대한 추력의 비는 감소하게 됨을 알 수 있었다.

한편 최대 추력은 공극이 1.5(mm), 알루미늄의 두께가 3.0(mm)일때 발생하며, 이때 알루미늄의 두께를 감소시키면 B_m 의 증가에 따른 유효공극의 단위체적당에 대한 무효전력은 증가하게 된다. 또한 최대추력이 발생할 때와 거의 같은 유효공극을 갖는 공극길이가 2.0(mm), 알루미늄의 두께가 2.5(mm)인 경우에는 피상전력에 대한 추력의 비는 약간 감소하지만, 단위 체적당의 무효전력량은 감소하게 된다.

따라서, 이와 같은 성능고찰로부터 반송시스템의 추진구동원에 적용된 SLIM의 공극의 길이와 알루미늄의 두께는 각각 2.0(mm) 및 2.5(mm)로 선정하는 것이 바람직하였으며, 이때, SLIM에 있어 유효공극에 대한 극간격의 비($\tau/(K_c \cdot g + d_A)$)는 10, 공극에 대한 극간격의 비(τ/g)는 25가 됨을 알 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 반송장치의 추진구동원에 적용할 지상 2차 방식의 SLIM을 1(kVA)급으로 직접 설계, 제작하고, 이에 대한 특성해석 및 설계고찰의 타당성을 입증하고자 유한요소법에(FEM)에 의한 시뮬레이션결과와 실험에 의한 측정결과를 서로 비교, 검토하였다.

유한요소법에 의한 정상특성의 해석을 통하여 추력, 수직력, 유효 전력 및 무효전력에 대한 시뮬레이션결과와 실험결과를 비교분석하므로써 추력, 수직력 및 무효전력이 공극자속밀도의 최대값의 제곱에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있었으며, 무효전력과 수직력을 작게 하기 위해서는 공극자속밀도를 낮게 설정하여야 하는 반면에 이로 인한 추력의 감소분은 다른 설계변수에 의하여 보충시켜 주어야 한다는 점을 알 수 있었다.

반송장치용 SLIM의 공극길이와 2차측 알루미늄 두께의 변화에 대한 특성을 시뮬레이션에 의해 분석한 결과, 본 연구에서 구성한 반송시스템의 경우 가장 적절한 공극의 길이와 알루미늄의 두께는 각각 2.0[mm] 및 2.5[mm]로 선정할때 가장 양호한 특성을 얻을 수 있었으므로 SLIM의 유효공극에 대한 극간격의 비($\tau/(K_c \cdot g + d_M)$)는 약 10정도이고 공극에 대한 극간격의 비(τ/g)는 20이상이 되도록 설계되어야 함을 밝힐수 있었다.

그러므로, 본 논문에서 제시한 SLIM의 특성해석 및 설계고찰은 향후 리니어 서보시스템과 같

은 반송장치의 추진구동원에 적용하는 SLIM의 설계시에 좋은 자료가 될 것으로 기대된다.

본 논문은 '93년도 학교법인 대림학원의 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- 1) I. Boldea, S. A. Nasar, "Linear Motion Electromagnetic Systems", John Wiley and Sons, 1985.
- 2) Syed A. Nasar, I. Boldea, "Linear Electric Motors: Theory, Design, and Practical Applications", Prentice-Hall, Inc., 1985.
- 3) Sakae Yamamura, "Theory of Linear Induction Motors", University of Tokyo press, p. 61, 1979
- 4) 임달호, 이철직, "편축식 선형유도전동기의 등가회로정수 산정 및 특성고찰" 전기학회 논문지 제42권 1호 pp. 12~20, 1993.
- 5) 山田一, "リニアモータと應用技術", 實教出版, 1976.
- 6) E. R. Lathwarthe, "Induction Machines for Special Purposes", John Wrights & Sons, 1966.
- 7) T. Nakata, N. Takahashi, K. Fujwara, "3D Finite Element Method for Analyzing Magnetic Fields in Electrical Machines excited from Voltage source", IEEE Trans. on Magnetics, Vol 24, No.6, pp.2582~2584, 1988.
- 8) E. Vassent, G. Meunier, A. Foggia, "Simulation of Induction Machines Using Complex Magnetodynamic Finite Element Method Coupled with the Circuit Equations", IEEE Trans on Mag., Vol 27, No.5, pp.4246~4249, 1991
- 9) K. Adamiak, J. Mizia, G. E. Dawson, A. R. Eastham, "Finite Element Force Calculation in Linear Induction Machines", IEEE Trans. on Magnetics, Vol Mag~23, No 5, pp.3005~3007, 1987.

◆ 著者紹介 ◆



이 철 직(李喆稷)

1955年 11月 25日生, 1978年 漢陽大 電氣工學科 卒業. 1980年 漢陽大學院 電氣工學科 卒業(碩士). 1993年 漢陽大學院 電氣工學科 卒業(博士). 1985~92年 生産技術研究院 前任研究員. 現在 大林專門大學 電氣科 助教授.