

철도 차량용 고출력 횡축형 전동기 설계에 관한 연구

論 文
48B-6-3

A Study on the Design of Linear Motor with Transverse Flux Configuration for Railway Traction System

姜道鉉* · Herbert Weh**
(D. H. Kang · Herbert Weh)

Abstract - According to the development of power electronic element(GTO, IGBT) and material for electrical machines(permanent magnet, super conductor), the technology for electrical machines is now a day rapidly developing. Here with, a novel electrical machine, based on the new conception of transverse flux configuration leads to a considerable increase in power density and enables simultaneously high efficiency. The transverse flux machine with PM excitation will be applied to gearless direct drives for railway traction system. The designed and measured performance of transverse machine for railway traction system revealed a great potential of system improvements to reduce linear motor mass.

Key Words : Novel electrical machine, Transverse flux, Machine with PM excitation, Railway traction system, Gearless direct drives

1. 서 론

전력용 반도체(예 : GTO, IGBT)와 새로운 전기기기 관련 재료(예 : 희토류 영구자석, 초전도체, 비정질 자성재료)의 발전에 따라 전기기기 기술이 비약적으로 발전되고 있다. 여기에 더불어 새로운 설계 개념을 도입한 새로운 형태의 횡축형 전동기가 개발되고 있다.

횡축형 전동기는 자속의 방향이 이동자의 이동 방향에 대해 횡방향을 나타내고 있으며, 또한 이동자와 같은 방향으로 전류가 흐른다. 횡축형 전동기는 극간격(τ_p)의 크기를 적게 설계가 가능하므로 높은 출력밀도를 얻을 수 있고, 오버행이 없는 링 형태의 권선으로 동의 양을 절약함으로써 효율이 높다[1]. 횡축형 전동기는 높은 출력을 얻을 수 있기 때문에 특히 적은 전동기 중량이 요구되는 전기자동차, 철도관련 차량, 자기부상 열차와 같은 교통수단의 추진장치로 매우 적합하다[2].

특히 영구자석 여자 횡축형 전동기를 지하철 차량 혹은 경전철 차량의 선형 추진 시스템에 적용시킬 경우 일반 선형 유도전동기에 비해 3배 이상 높은 출력밀도를 얻을 수 있기 때문에 차량의 경량화, 지지구조의 경량화는 물론이고, 터널의 면적을 50% 정도 절감 가능하다[3].

본 논문에서는 철도 차량용 고출력 선형 전동기를 설계하였고, 본 설계를 실험치와 비교하여 검증하였다.

* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 電氣自動車 및 電動氣應用팀 팀장

** 正 會 員 : Professor of Institute of Electrical machines, Traction and Drives at Braunschweig University

接受日字 : 1998年 10月 15日

最終完了 : 1999年 4月 19日

2. 영구자석 여자 횡축형 전동기 이론

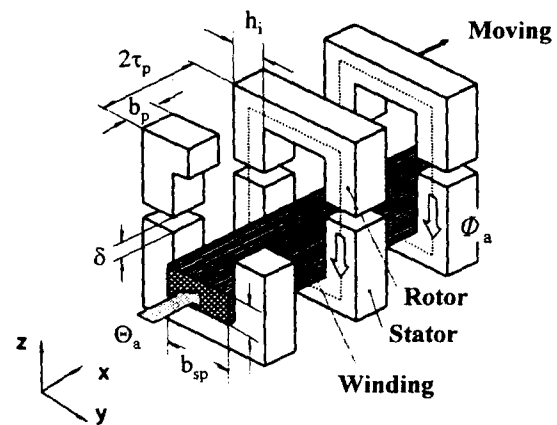


그림 1 횡축형 전동기의 기본 형상

Fig. 1 Basic model of transverse flux(TF) machine

그림 1의 횡축형 전동기는 권선 전류에 의한 기자력이 θ_a [AT]일 때 자속 ϕ_a 가 생길 때, 릴럭턴스 전동기와 같은 원리로 자기저항을 최소로 하기 위해, 즉 고정자와 회전자 치가 일치할 때까지 힘을 발생시키고 있다. 자속 ϕ_a 의 진행방향과 전동기의 이동 방향 x와 횡방향(전류의 방향과 전동기의 진행방향이 같음)이 된다. 횡축형 전동기의 장점은 자기회로와 전기회로가 분리되어 있기 때문에 단위 체적당 높은 출력과 높은 효율을 얻을 수 있다.

그림 1의 기본형상에서 발생가능한 단위 면적당 추력 F_{xd} 는 다음 식 (1)과 같다[4].

$$F_{xd} = \frac{\mu_0}{32\delta} \theta_a^2 \quad (1)$$

여기서, μ_0 는 공기의 투자율, θ_a 는 기자력, δ 는 공극, τ_p 는 극간격이다. 이상의 식 (1)는 횡축형 전동기 힘발생 밀도로 전동기 설계시 기본식으로 이용하고 있다.

발생 힘 밀도 F_{xd} 는 공극과 극간격에 반비례하고 기자력의 자성에 비례함을 알 수 있다. 고효율 전동기를 설계시 공극은 기계적인 구조 때문에 한정되어 있고 기자력은 자기 회로의 포화와 권선의 온도상승 때문에 제한을 받고 있다. 주어진 회전자의 크기에서 극간격을 적게 설계하면 발생 힘 밀도를 증가시킬 수 있는 가능성을 가지고 있다.

식 1에서 $\theta_a=2000$ [AT], $\delta=0.5$ [mm], $\tau_p=10$ [mm] 일 경우 발생가능 힘 밀도는 31.4[kN/m²]이다.

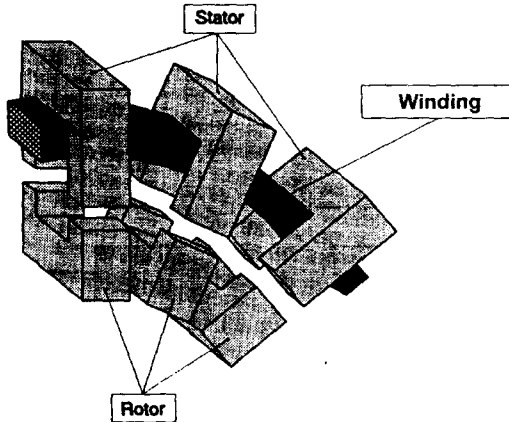


그림 2 회전 횡축형 전동기 형상
Fig. 2 Rotary type of TF machine

그림 2는 회전 횡축형 전동기 1상을 나타내고 있는데 종축형 전동기에서 존재하는 오버행이 없는 링 형태의 권선으로 동의 양을 절약함으로써 효율을 높일 수 있고, 전동기의 체적을 줄일 수 있는 구조를 가지고 있다.

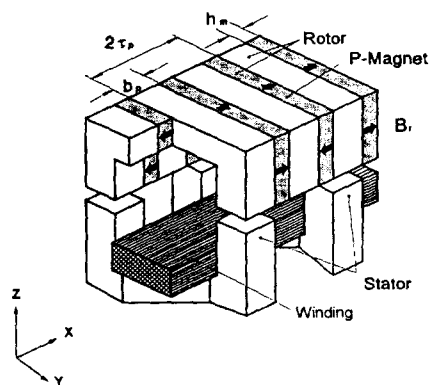
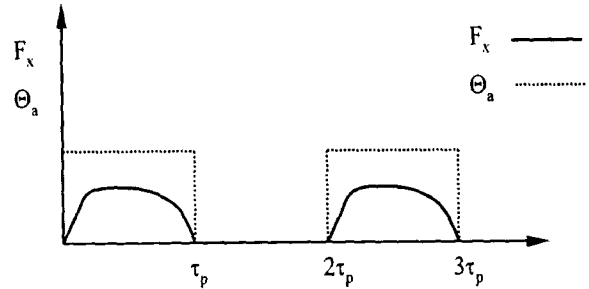


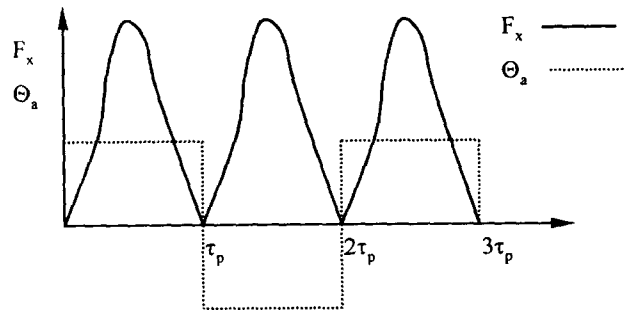
그림 3 영구자석 여자 횡축형 전동기 형상
Fig. 3 Permanent magnet(PM) excited TF machine

그림 3의 영구자석 여자 횡축형 전동기는 출력밀도를 증가시키기 위해서 회전자에 영구자석을 삽입한 형태로, 영구자석에서 발생하는 자계는 공극에서의 자계를 집중시킴으로써 높은 공극 자속 밀도를 얻을 수 있다.

회전자에 설치된 영구자석의 자극을 교대로 자속을 일정한 방향으로 발생시키며, 양측 극면에서 일정한 방향으로 추진력을 얻기 위해 권선이 있는 철심은 τ_p 만큼 엇갈리게 설계되었다. 물론 권선을 그림 3의 회전자에 설치하여도 무방하다.



a) 그림 1의 횡축형 기본모델
a) Fig. 1 model



b) 그림 3의 영구자석여자 횡축형 모델
b) Fig. 3 model

그림 4 회전자 위치에 따른 기자력(θ_a)-발생 추력(F_x)
Fig. 4 Magnetic motive force(MMF) - thrust force

그림 4는 회전자 위치에 따른 기자력-발생추력으로 일정한 방향으로 힘을 발생시키기 위해 횡축형 기본모델은 $\tau_p \leq x \leq 2\tau_p$ 구간에서는 전류를 인가하지 않아야 되고, 영구자석 여자 횡축형 모델은 $\tau_p \leq x \leq 2\tau_p$ 구간에서는 $0 \leq x \leq \tau_p$ 구간에 인가된 전류 방향과 반대방향의 전류를 흘려야 된다.

그림 5는 영구자석 여자 횡축형 전동기에서 발생하는 추진력 F_x , 안내력 F_y , 흡인력 F_z 를 계산하기 위해 누설자속을 무시한 간이등가모델이다. 이것은 고정자 철심 중간 부분을 절단하여 펼친 형태로 권선의 기자력 θ_a 가 공극 자기저항과 영구자석의 자기저항에 집중된다고 가정하였다. 그림 6은 에너지 변화를 계산하기 위한 자기 등가회로로 누설과 포화를 무시하였다. 여기서, $R_{\delta 1}$ 과 $R_{\delta 2}$ 는 공극의 자기저항, R_m 은 영구자석 자기저항, θ_m 은 영구자석 기자력, ϕ_1 과 ϕ_2 는 그림 5의 자로에서 자속이다.

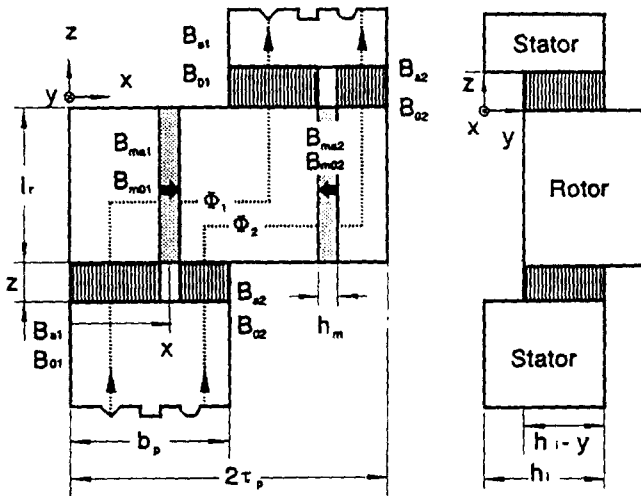


그림 5 영구자석 여자 횡축형 전동기 간이 해석 모델
Fig. 5 Simple analysis model of PM excited TF machine

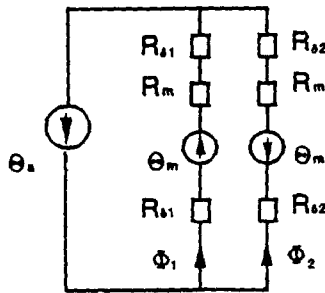


그림 6 영구자석 여자 횡축형 전동기 자기 등가 회로
Fig. 6 Magnetic equivalent circuit of PM excited TF machine

전기자 전류가 흐르지 않는 무부하일 때 공극에서 자속밀도를 B_{o1} , B_{o2} 영구자석에서 자속밀도를 B_{mo1} , B_{mo2} 로 두면 다음 식 (2), (3), (4), (5)가 성립한다.

$$B_{o1} \left(x - \frac{h_m}{2} \right) (h_i - y) = B_{mo1} l_r h_i \quad (2)$$

$$\Theta_m = \frac{1}{\mu_o} (2zB_{o1} + B_{mo1} \frac{h_m}{\mu_m}) \quad (3)$$

$$B_{o2} \left(b_p - x - \frac{h_m}{2} \right) (h_i - y) = B_{mo2} l_r h_i \quad (4)$$

$$\Theta_m = \frac{1}{\mu_o} (2zB_{o2} + B_{mo2} \frac{h_m}{\mu_m}) \quad (5)$$

여기서 두께 h_m 인 영구자석의 등가 기자력은 보자력 H_c , 잔류속도 밀도 B_r , 비투자율 μ_m 일 때, 등가 기자력은 다음 식 (6)과 같다[5].

$$\Theta_m = H_c h_m = \frac{B_r}{\mu_o \mu_m} h_m \quad (6)$$

식 (2), (3), (4), (5)에서 무부하 공극 자속밀도와 영구자석에서 자속밀도를 구하면 식 (7), (8), (9), (10)으로 된다.

$$B_{o1} = \frac{\Theta_m}{\frac{2z}{\mu_o} + \frac{h_m}{\mu_o \mu_m l_r} \left(x - \frac{h_m}{2} \right) \left(\frac{h_i - y}{h_i} \right)} \quad (7)$$

$$B_{mo1} = \frac{\Theta_m}{\frac{2z l_r}{\mu_o \left(x - \frac{h_m}{2} \right)} \frac{h_i}{h_i - y} + \frac{h_m}{\mu_o \mu_m}} \quad (8)$$

$$B_{o2} = \frac{\Theta_m}{\frac{2z}{\mu_o} + \frac{h_m}{\mu_o \mu_m l_r} \left(b_p - x - \frac{h_m}{2} \right) \left(\frac{h_i - y}{h_i} \right)} \quad (9)$$

$$B_{mo2} = \frac{\Theta_m}{\frac{2z l_r}{\mu_o \left(b_p - x - \frac{h_m}{2} \right)} \frac{h_i}{h_i - y} + \frac{h_m}{\mu_o \mu_m}} \quad (10)$$

전기자 권선 기자력 Θ_a 에 의한 공극 자속밀도 B_{a1} , B_{a2} 와 영구자석의 자속밀도 B_{ma1} , B_{ma2} 는 마찬가지로 식 (11), (12), (13), (14)와 같다.

$$B_{a1} = \frac{\Theta_a}{\frac{2z}{\mu_o} + \frac{h_m}{\mu_o \mu_m l_r} \left(x - \frac{h_m}{2} \right) \left(\frac{h_i - y}{h_i} \right)} \quad (11)$$

$$B_{ma1} = \frac{\Theta_a}{\frac{2z l_r}{\mu_o \left(x - \frac{h_m}{2} \right)} \frac{h_i}{h_i - y} + \frac{h_m}{\mu_o \mu_m}} \quad (12)$$

$$B_{a2} = \frac{\Theta_a}{\frac{2z}{\mu_o} + \frac{h_m}{\mu_o \mu_m l_r} \left(b_p - x - \frac{h_m}{2} \right) \left(\frac{h_i - y}{h_i} \right)} \quad (13)$$

$$B_{ma2} = \frac{\Theta_a}{\frac{2z l_r}{\mu_o \left(b_p - x - \frac{h_m}{2} \right)} \frac{h_i}{h_i - y} + \frac{h_m}{\mu_o \mu_m}} \quad (14)$$

공극과 영구자석에서의 합성 자속밀도 B_1 , B_2 , B_{m1} , B_{m2} 는 영구자석에 의한 자속과 전기자 권선에 의한 자속의 합과 차로 식 (15), (16), (17), (18)과 같이 나타난다.

$$B_1 = B_{a1} + B_{o1} \quad (15)$$

$$B_2 = B_{a2} - B_{o2} \quad (16)$$

$$B_{m1} = B_{ma1} + B_{m01} = B_1 \frac{(x - \frac{h_m}{2})}{l_r} \left(\frac{h_i - y}{h_i} \right) \quad (17)$$

$$B_{m2} = B_{ma2} - B_{m02} = B_2 \frac{(b_p - x - \frac{h_m}{2})}{l_r} \frac{(h_i - y)}{h_i} \quad (18)$$

여기서 $h_m/l_r \approx 0$ 으로 영구자석에서 자기저항을 무시할 경우 전류에 의한 자속밀도 B_a , 무부하 자속밀도 B_0 , B_{m1} , B_{m2} 는 다음과 같이 간략화 할 수 있다.

$$B_a = B_{a1} = B_{a2} = \frac{\theta_a}{2z} \quad (19)$$

$$B_0 = B_{01} = B_{02} = \frac{\theta_m}{2z} \quad (20)$$

$$B_{m1} = 0 \quad (21)$$

$$B_{m2} = 0 \quad (22)$$

전기자 전류에 의한 기자력 θ_a 가 일정할 경우 그림 5의 모델에서 자기에너지를 계산하면 다음 식(23)과 같이된다.

$$W_m = \frac{2z(h_i - y)}{2\mu_0} \left[B_1^2 \left(x - \frac{h_m}{2} \right) + B_2^2 \left(b_p - x - \frac{h_m}{2} \right) \right] + W_{m1} + W_{m2} \quad (23)$$

여기서 W_{m1} , W_{m2} 는 다음과 같다.

$$W_{m1} = \frac{B_{m1}^2}{2\mu_0\mu_m} h_m h_i l_r \quad (24)$$

$$W_{m2} = \frac{B_{m2}^2}{2\mu_0\mu_m} h_m h_i l_r \quad (25)$$

자기에너지가 변위에 의해 변할 때 발생힘은 F_x , F_y , F_z 는 다음 식(26), (27), (28)과 같다[6].

$$F_x = - \frac{\partial W_m}{\partial x} \quad (26)$$

$$F_y = - \frac{\partial W_m}{\partial y} \quad (27)$$

$$F_z = - \frac{\partial W_m}{\partial z} \quad (28)$$

따라서 본 해석 모델에서 발생하는 추진력 F_x , 안내력 F_y , 흡인력 F_z 는 식 (29), (30), (31)로 된다.

$$F_x = \frac{-4zB_aB_0}{\mu_0} (h_i - y) \quad (29)$$

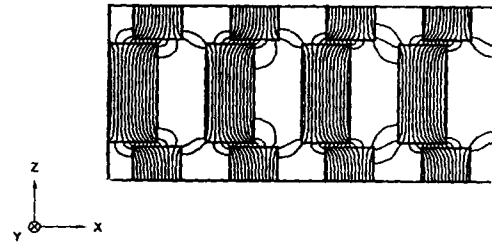
$$F_y = \frac{z}{\mu_0} \left[(B_a + B_0)^2 \left(x - \frac{h_m}{2} \right) + (B_a - B_0)^2 \left(b_p - x - \frac{h_m}{2} \right) \right] \quad (30)$$

$$F_z = \frac{h_i - y}{\mu_0} \left[(B_a + B_0)^2 \left(x - \frac{h_m}{2} \right) + (B_a - B_0)^2 \left(b_p - x - \frac{h_m}{2} \right) \right] \quad (31)$$

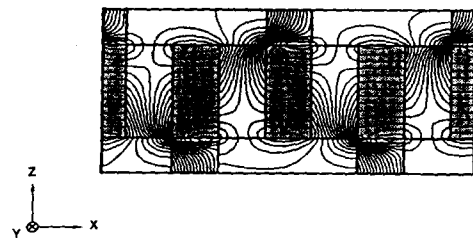
식 (29)에서 발생가능 힘밀도 F_{xd} 를 구하면 식 (29)에서 $2r_p \cdot 2h_i$ 를 나누면 식 (32)로 된다.

$$F_{xd} = B_0 \frac{\theta_a}{2r_p} \frac{(h_i - y)}{h_i} \quad (32)$$

영구자석 여자 횡축형 전동기에서 철심의 포화와 누설을 무시하고 무부하 공극자속밀도 $B_0=1[T]$, 기자력 $\theta_a=2,000[AT]$, 극간격 $r_p = 10[mm]$ 안내방향 변위 $y=0$ 인 경우 발생가능 힘밀도를 계산하면 $F_{xd} = 100[kN/m^2]$ 로 된다. 이 값은 횡축형 기본모델 그림 1에서 발생하는 힘보다 약 3배 많이 됨을 알 수 있다.



(a) 그림 1의 횡축형 기본 모델
(a) Fig. 1 model



(b) 그림 3의 영구자석 여자 횡축형 모델
(b) Fig. 3 model

그림 7 횡축형 전동기 자속 분포
Fig. 7 Flux distribution of TF machine

한편 그림 7은 각각의 2가지 해석모델의 회전자와 이동자 사이 공극에서 자속분포를 나타내고 있다. 그림 7(a)의 경우 일반적인 릴럭턴스 전동기 자속 형상을 나타내고 있고, 그림 7(b)의 경우 영구자석과 전기자 전류에 의한 자속 때문에 이동자의 이동에 따라 많은 자기에너지가 변화됨을 예상할 수 있다.

3. 철도차량용 횡축형 전동기 설계

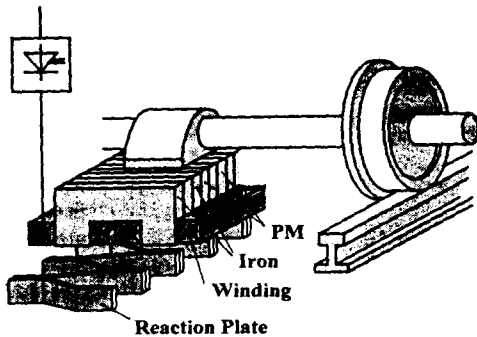


그림 8 철도차량용 선형 횡축형 전동기
Fig. 8 Linear TF machine for the train traction

횡축형 전동기의 형태는 전기자 권선의 위치, 회전자와 고정자의 형상에 따라 다양하게 설계가능하다. 그림 8은 철도차량에 적용 가능한 선형 횡축형 전동기의 기본형태로 일반 재래식 차량에 비하면 기어없이 직접구동된다. 그렇기 때문에 기계적 부품을 줄이므로 경량화가 가능하며 추진과 제동시 바퀴의 마찰계수에 영향을 받지 않으므로 가속과 감속 성능이 좋고 지하철에 적용할 경우 터널의 면적을 50% 정도 감소시킬 수 있으며 건설비를 30% 이상 경감시킬 수 있는 장점이 있다. 선형 유도전동기 추진 철도 차량은 오사카 지하철 12호선에서 이미 운행중이다. 선형 전동기를 철도차량에 적용시킬 경우 기계적 공극이 적으면 유리하나 기계적 구조를 생각하여 일반적으로 공극 $\delta=10[\text{mm}]$ 로 설계를 한다. 반면에 공극이 큰 경우 극간격 τ_p 를 크게할 수 있는데 본 연구에서는 $50[\text{mm}]$ 내외로 정했다.

표 1은 설계된 철도차량용 영구자석 여자 횡축형 전동기 사양으로 최적 설계시 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 높은 추진력 $F_{xd} = f(\tau_p, b_p, h_m, \theta_a)$
- 낮은 흡인력 F_z
- 영구자석 재료 최소화

표 1은 3차원 유한요소법에 의해 계산된 설계 전동기의 사양으로 그림 4와 같은 형태의 전류가 인가된 경우의 설계 값이다. 이때 효율은 동특성에서 계산하여야 하나, 정격운전시 출력 198 [kW], 동손 2.8 [kW], 철손 3.25 [kW]로 기계손을 무시할 경우 효율은 97%로 계산되었다.

표 1 설계 전동기 사양

Table 1 Spec. of designed motor

	설계 결과
속도	100 km/h
전동기 출력	189 kW
기자력	12 kA
추진력	6.8 kN
전동기 무게	306 kg
추력밀도 F_{xd}	42.7 kN/m ²
추진력/전동기 무게	22.2 N/kg
공극 δ	10 mm
극간격 τ_p	60 mm
극폭 b_p	36 mm
전자석 높이 h_m	24 mm
극길이 h_i	80 mm
권선창 폭 b_{sp}	80 mm
권선창 높이 h_{sp}	40 mm
전동기 길이	1 m
점적율 k_{cu}	0.65
전류밀도 J	5.8 A/mm ²
효율 η	0.97

한편 그림 9는 설계된 영구자석 여자 횡축형 전동기와 자기 부상용 선형 유도전동기의 추력/전동기 무게, 효율, 역률의 비교표를 나타내고 있다. [7,8]

선형전동기의 설계 정격점에 따라 출력, 효율, 역률이 다르지만 도시형 자기부상열차 선형 유도전동기의 전동기 무게는 약 303 [kg]이고 발생 추력은 2,000 [N]으로 단위 무게당 추력은 약 6.6 [N/kg]으로 효율과 역률은 60 [%]이하이다.

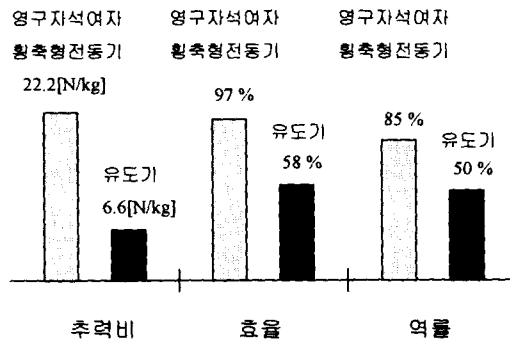


그림 9 추력비, 효율, 역률 비교

Fig. 9 Comparison of the ratio of thrust force, efficiency and power factor

그림 9의 특성에서 검토하면 선형 유도전동기는 큰 기계적 공극과 2차 도체 두께에 의해 약 15 [mm]의 전기적인 공극을 가지고, 이로 인하여 낮은 추력비, 효율, 역률을 가지게 되며, 영구자석 여자 횡축형 전동기의 추력비가 4배 이상됨을 알 수 있다.

4. 전동기 제작 및 시험

설계된 영구자석 여자 횡축형 전동기의 전자기적 설계의

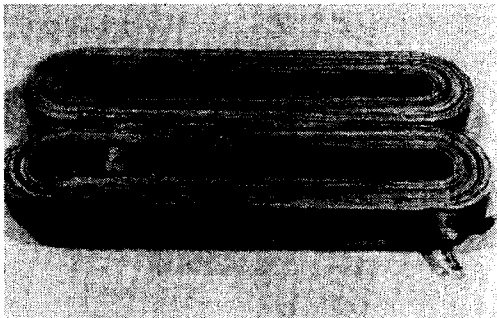
타당성을 검증하기 위해 축소형 시험모델을 제작하여 추진력, 흡인력을 검증하였다. 표 2는 제작 선형모델의 주요 치수를 나타내고 있고, 그림 10, 11은 각각 제작품, 제작품을 설치한 시험장치를 나타내고 있다.

표 2 시험용 선형모델 주요치수

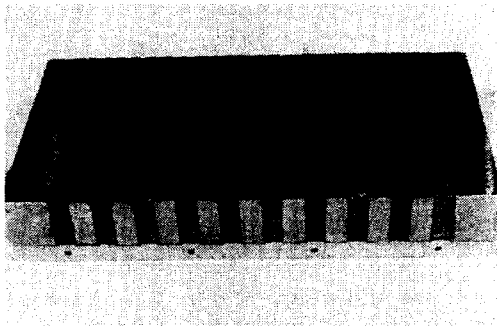
Table 2 Major Spec. of the experimental model

	치 수
공극 δ	3 mm
극간력 τ_p	17 mm
극폭 b_p	10 mm
전자석 높이 h_m	7 mm
극길이 h_i	24 mm
권선창 폭 b_{sp}	57 mm
권선창 높이 h_{sp}	27 mm
1차 치수	230mm(길이)×159mm(폭)×54mm(높이)
2차 치수	200mm(길이)×105mm(폭)×24mm(높이)
권선수	195×2
권선 치수	3.55mm(폭)×0.8mm(높이)

그림 10의 시험기 철심은 성층되지 않은 ST37을 사용하였고, 아래에 있는 2차 부분의 영구자석은 희토류 자석 ($B_r=1.15T$)을 사용하였다. 그림 11은 시제품이 설치된 시험장치를 나타내고 있다.



a) 1차 시제품
a) Primary part



b) 2차 시제품
b) Secondary part

그림 10 1차와 2차 제작 시제품
Fig. 10 Primary and Secondary parts

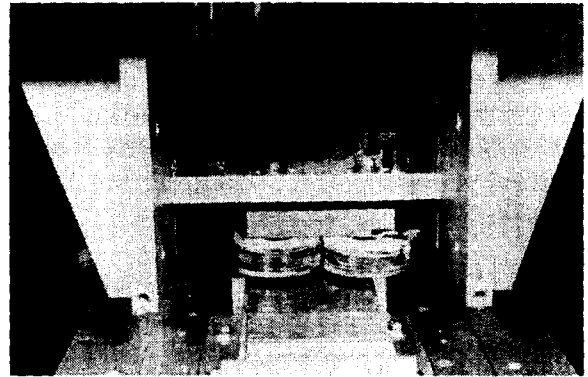


그림 11 시제품 설치된 시험장치
Fig. 11 Experimental device with the prototype

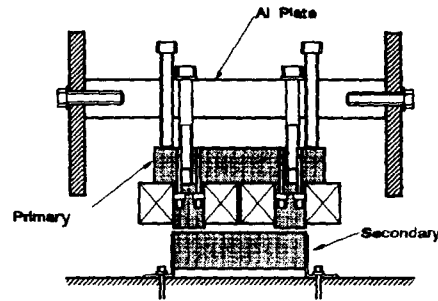
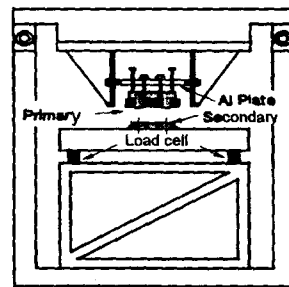


그림 12 시험장치
Fig. 12 Experimental device

그림 12에 설치된 시제품의 1차 부분은 리니어 베어링에 따라 전류의 방향으로 이동가능하게 되어 있으며 이때 발생하는 1차와 2차 사이의 힘은 로드셀에 의해 측정된다.

그림 13은 1차를 극간력(τ_p) 이동시 3차원 유한요소법으로[9,10] 계산된 추진력과 흡인력으로 $x/\tau_p=0$ 인 x 지점은 권선에 의한 자속과 영구자석에 의한 자속이 서로 상반되고 있으며 $x/\tau_p=1$ 인 지점은 서로의 자속이 일치하는 경우이다. 시험결과 최대 추진력을 발생시키는 x 좌표의 위치가 $x/\tau_p=0.5$ 지점으로 이동하고 있으며, $x/\tau_p=0$ 지점에서 흡인력이 계산 값보다 크게 나타나 있는데 이는 영구자석의 등가자력이 시험기 제작과정에서 감소됨을 알 수 있다.

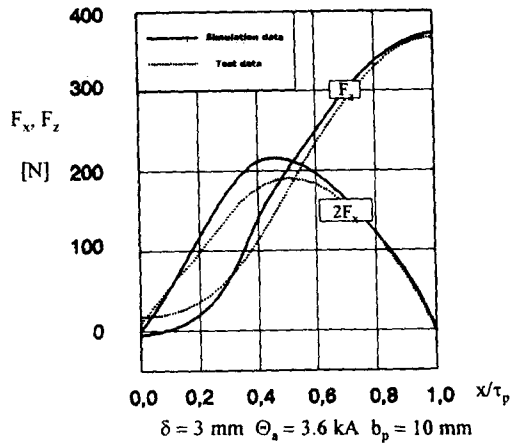


그림 13 이동자 위치에 따른 추진력과 흡인력의 계산값과 측정값
 Fig. 13 The simulated data and the measured data of thrust force and attraction force

그림 14는 시험기에서 공극 $\delta = 2, 3, 4$ [mm]에 대해 기자력 0[kA]에서 5.4[kA]까지 변화할 때 추력밀도의 계산치와 시험치는 나타내고 있는데 12 ~ 17 % 범위에서 추력밀도가 감소되고 있다.

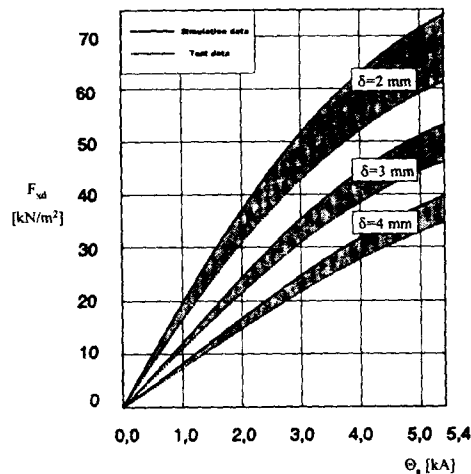


그림 14 공극과 기자력에 따른 추력밀도
 Fig. 14 Force density according to the air gap and MMF

표 3은 공극 $\delta = 3$ [mm], 기자력 $\theta_a = 3.6$ [kA] 일 때, 단위 면적당 추진력과 흡인력 평균값의 계산치와 시험치를 나타내고 있다. 추진력의 시험치는 계산치의 약 87%이고, 흡인력의 시험치는 계산치의 98% 이다. 흡인력은 추진력의 약 3.1배로 나타나고 있다.

표 3 계산값과 실험값의 비교

Table 3 Comparison of the simulated data and the measured data

	계산값	실험값	실험값/계산값
추진력 밀도 F_{xd}	41.05 [kN/m ²]	35.70 [kN/m ²]	87%
흡인력 밀도 F_{zd}	113.42 [kN/m ²]	111.01 [kN/m ²]	98%
비 고	공극 $\delta = 3$ [mm], 기자력 $\theta_a = 36$ [kA] $F_{xd}/F_{zd} = 3.1$		

5. 결 론

본 연구에서는 새로운 설계 개념을 도입한 횡축형 영구자석 여자 전동기의 이론을 소개하여 고출력화의 가능성을 제시하였으며, 고출력 전동기의 응용분야로 철도차량용 선형 전동기의 개념설계를 수행하여 기존 선형유도 전동기를 사용할 경우보다 약 75% 이상을 경량화 시킬 수 있는 가능성을 제시하였다. 설계된 영구자석여자 횡축형 전동기의 전자기적 설계의 타당성을 검증하기 위해 축소형 시험모델을 제작하여 추진력과 흡인력을 검증하였다.

추진력의 시험치는 계산치의 87%, 흡인력의 시험치는 계산치의 98%로 나타났으며, 흡인력은 추진력의 약 3.1배로 나타났다.

앞으로 본 설계에서 제안된 횡축형 영구자석여자 선형 전동기가 운전조건에 따른 특성을 평가하기 위해 제어기, 전력 변환장치를 구성해 운전시 출력, 효율, 역률을 검증해야 하겠다.

참 고 문 헌

- Weh, H. : Permanentmagneterregte Synchronmaschinen hoher Kraftdichte nach dem Transversalflußkonzept. etzArchiv Bd. 10 (1988), H.5, S.143-149
- Weh, H. : Linear Electromagnetic Drives in Traffic Systems and Industry. The First International Symposium on Linear Drive for Industry Applications, Nagasaki(Japan), 1995
- Shoyama, Y., Ando, M. and Namikawa, H. : LIM driven subway railcar with small sectional area. International Conference on Maglev Transport '85, Yokohama, 1985
- Z. Jajtic. : Vortriebskraftoptimierung bei der elektrisch erregten Transversalflußmaschine. Dissertation, TU Braunschweig 1993.
- J. R. Hendershot JR and TJE Miller : Design of brushless permanent-magnet motors, MAGNA PHYSICS PUBLISHING AND CLARENDON PRESS, OXFORD 1994.
- S. A. Nasar: Electromagnetic Energy Conversion

- Devices and Systems, PRENTICE-HALL, INC. 1970.
7. 김봉섭, 정현갑, 조홍제 : 선형유도전동기의 동특성에 대한 실험적 연구(II), '97 대한전기학회 하계학술대회 논문집 A, 57~63page, 대한전기학회, 1997.
 8. 김봉섭, 정현갑, 조홍제 : 도시형 자기부상열차 추진용 선형유도전동기의 동특성에 대한 실험적 연구(IV), '98 대한전기학회 하계학술대회 논문집A, 152~154 page, 대한전기학회, 1998
 9. Jiang, J. : Analytische und Dreidimensionale numerische Berechnung von Transversalfußmaschinen. Dissertation, TU Braunschweig 1988.
 10. Gao, H. : Numerisches Berechnungsverfahren für Synchronmaschinen in Transversalfuß-Bauweise. Dissertation, TU Braunschweig 1994

저 자 소 개



강도현(姜道鉉)

1958년 9월 21일 생. 1981년 한양대 전기공학과 졸업. 1987년~1989 동 대학교 전기공학과 석사 졸업. 1992년~1996년 독일 Braunschweig대 박사 졸업. 1989~현재 한국전기연구소 선임연구원(전력전자 연구부 전기자동차 및 전동기응용팀 팀장)

Tel : 0551-280-1480

E-mail : dhkang@keri.re.kr



Herbert Weh

Herber Weh, born March 1st, 1928 in Lindau/Germany, received the diploma in Electrical Engineers from the Technical University Karlsruhe, Germany, in 1951.

He worked as a Research Assistant at the Institute of Power Engineering and Electric Machines until 1954, received the DR. -Ing. Degree in 1955, and stayed as a chief Engineer for Design and Development of Electrical drives and Machines at Schorch-Werke Rheydt, from 1954 until 1961. 1961 he was appointed as Professor of Institute of Electrical Machines, Traction and Drives at Braunschweig University, received 1992 the Dr. h.c.-degree from the ETH-Zurich.

Tel : 49-0531-51-14-83

E-mail : H.Weht@tu-bs.de