



리니어 모터의 설계기술

박승찬*, 김규탁**, 장석명***

(*한양대 공학기술연구소 선임연구원, **창원대 전기공학과 교수, ***충남대 전기공학과 교수)

1. 서론

최근, 리니어 모터는 수송 및 반송 시스템과 FA, OA기기 등 산업계의 각 분야에 있어서 응용되고 있으나, 각종 리니어 모터에 대한 특성 해석시에 발생하였던 문제점을 해결하고, 최적 설계법을 확립하는 것이 과제로 남아 있다[1].

현재, 산업계에서 일반 회전기의 설계는 CAD 화가 거의 이루어 있으며, 전자장 수치해석도 병행되고 있다. 리니어 유도 모터(LIM)는 공극이 크고 2차측에 도체판을 사용하는 것과 모터의 길이의 유한함에 기인하는 단부효과(end effect), 공극 누설, 표피 효과등이 특성에 영향을 많이 미치므로, 이의 영향을 고찰하기 위해서는 3차원 와전류 문제를 풀 필요가 있다. 1차원 해석법으로부터 출발한 LIM의 특성 해석법은 현재 3차원 유한요소해석법의 개발까지 진전되어 있다. 또한, 리니어 동기 모터(LSM), 리니어 직류 모터(LDM), 리니어 펄스 모터(LPM)등에 대해서도, 그 종류, 구조, 사용 형태등에 따라서 해석방법이 다르지만 해석기법이 꾸준히 개발되어, 현재에는 상당히 고도화되었다.

그러나, 이와같이 리니어 모터의 해석에 관한 연구에 비하여, 설계에 관한 연구보고는 매우 저조한 실정이며, 설계에 대한 데이터 베이스구축과 함께 설계 이론을 정립하는 것이 강력히 요구되고 있다. 따라서, 본 원고에서는 이러한 연구 동향에 맞추어, 리니어 모터에 대한 설계이론을 지면관계상 리니어 유도 모터를 중심으로 소개하며, 날로 증가하고 있는 리니어 모터의 응용에 도움을 주고자 한다.

2. 리니어 유도 모터(LIM)의 설계

2.1 Goodness factor에 의한 설계 이론

Laithwaite씨가 제안한 전기회로와 자기회로의 결합도를 나타내는 Goodness factor(이하 G라 한다)는 리니어 유도 모터의 성능 양호도를 표현하는 양으로서, 식 (1)과 같이 정의된다[2-3].

$$G = \frac{X_m}{R_2} = \frac{2\mu_0 f^2 \sigma_e d}{\pi g_e} \quad (1)$$

단, μ_0 : 공기의 투자율 [H/m], f : 전원주파수 [Hz], τ : 극간격 [m], σ_e : 등가 2차 도전율 [Ω/m], d : 2차 도체판의 두께 [m].

식 (1)의 G 값은 리니어 모터의 주요 설계 파라미터로 주어지므로, 기본설계에 이를 고려하면 된다[4-5]. 최대 추력은 $sG = 1$ (s : 슬립) 일 때 발생하며, 최대 추력을 얻기 위한 G와 슬립과의 관계를 도시하면 그림 1과 같다. 그림 1에서 보면, 저속 리니어 모터(슬립 : $s = 1.0 \sim 0.5$)에서는 $G = 1 \sim 2$ 의 범위내에서, 고속 리니어 모터($s = 0.5 \sim 0$)에서는 $G > 3$ 으로 선정할 필요가 있다. 또한, 발생 추력과 G와의 관계는 그림 2와 같다. 그림 2에서 $G = 0.2 \sim 1$ 의 범위에서는 추력-속도특성이 수하특성을 가져 전압 제어성이 양호하므로, 반송장치와 같은 소형의 저속도 리니어 모터에 적합하며, $G = 2 \sim 5$ 의 범위에서는 도시 경량화 전철, 자기 부상열차등의 비교적 고속 리니어 모터에 적합하다. 낮은 슬립운전은 과도한 수직력 발생을 야기하므로, 리니어 유도 모터의 설계시, 사용목적에 따라 G값을 1 ~ 3의 범위에 설계 파라미터를 결정한다. 설계 파라미터가 특성에 미치는 영향은 문헌 [4]를 참고하면 된다.

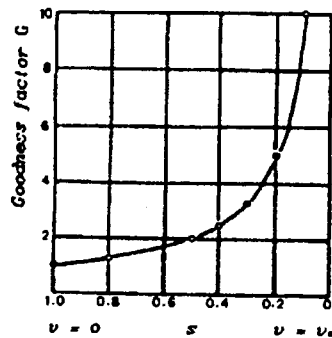


그림 1. 최대추력을 얻기 위한 G

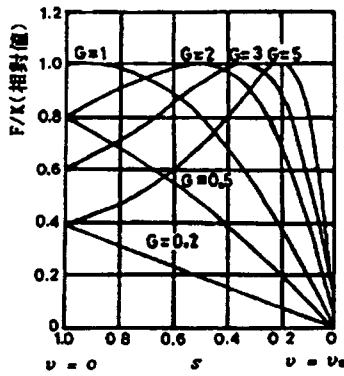


그림 2. G의 변화에 대한 추력-속도 특성

2.2 장하분배법에 의한 LIM의 설계 이론

전기장하(electric loading)와 자기장하(magnetic loading)의 적절한 배분이 기기의 성능을 좌우하므로, 본 논문에서는 LIM의 장하통계와 장하분배정수를 제시하고, 이를 토대로한 설계법을 보인다[6,7]. 기기의 전기 장하($AC = AC \times 10^{-3}$: $AC = 1$ 극당 암페어도체수)와 자기장하($= \phi \times 10^2$: $\phi =$ 극당 자속량[wb])는 각각 식 (2)와 식 (3)으로 표현된다.

$$AC = AC_o \left(\frac{S}{f}\right)^{1/(1+\gamma)} \quad (2)$$

$$\phi = \phi_o \left(\frac{S}{f}\right)^{\gamma/(1+\gamma)} \quad (3)$$

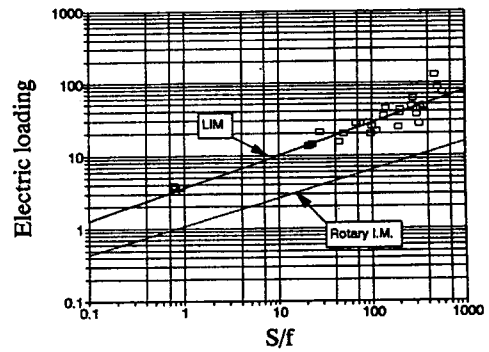
여기서, AC_o 및 ϕ_o 는 각각 S/f 가 1일때의 장하로서, 기준 전기장하 및 기준 자기장하이며, 장하분배의 기초가 되는 중요한 값이다. S 는 1극당 용량($= kVA/p$)이며, f 는 100 Hz 당 주파수($= f/100$)를 나타낸다. LIM의 비용량과 전기장하 및 자기장하의 관계를 기존의 설계 자료로부터 통계를 구하면, 그림 3과 같으며, 이로부터 식 (4)와 식 (5)를 얻을 수 있다. 또한, LIM의 설계에 있어서, 자기비장하(공극 자속밀도의 최대치)와 기준 자기장하의 범위를 회전형 유도 전동기와 비교하여 나타내면 표 1과 같다. 표 1에서, 회전형 유도 전동기에 비하여, LIM은 흡인력과 공극 무효 전력량의 감소를 위하여 자기 비장하가 작으며, 장하 분배정수가 1에 가까우므로, 보다 더 동기계(銅機械)인 성향을 지닌다.

$$AC = 3.7 \left(\frac{S}{f}\right)^{0.44} \quad (4)$$

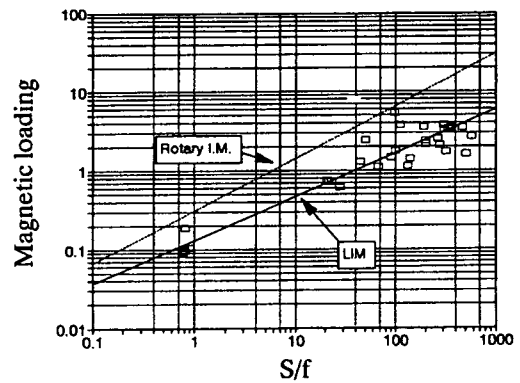
$$\phi = 0.127 \left(\frac{S}{f}\right)^{0.56} \quad (5)$$

표 1. 리니어 유도 모터의 설계 기초정수

	장하분배정수 γ	기준자기장하 ϕ_o [Wb]	자기비장하 [T]
회전형 유도모터	1.3	0.335×10^{-2}	0.65 ~ 0.85
리니어 유도모터	1.27	0.127×10^{-2}	0.2 ~ 0.5



(a) 비용량과 전기장하



(b) 비용량과 자기장하

그림 3. 리니어 유도 모터의 장하분배

2.3 편축식 리니어 유도 모터(SLIM)의 기본설계

본 절에서는 앞절에서 이미 설명한 장하분배법에 근거하여, LIM의 기본설계를 행한다. 이때, 주어지는 기본적인 사양 항목은 표 2와 같으며, 설계하고자 하는 전동기의 구성과 주요설계 파라미터를 그림 4에 나타내었다.

표 2. 기본 사양 항목

출력 P_{out} [kW]	극 수 p	전압 V_L [V]
주파수 f [Hz]	동기속도 v_s [m/sec]	절연 H 종

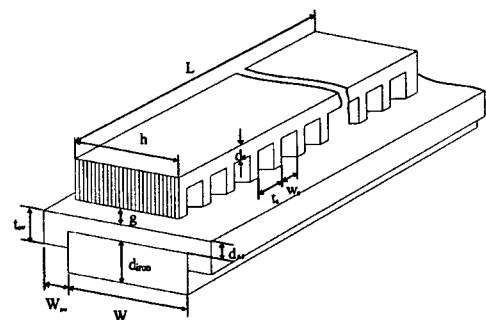


그림 4. 리니어 유도모터의 주요 설계파라미터

표 2에서 제시된 사양에서, 주파수와 동기속도는 다음과 같이 결정할 수 있다.

- 1) 동기속도 $v_s = 2\tau$ 는 정격속도 v_n 과 $v_n = (1 - s_n)2\tau$ 의 관계가 있다. 여기서, s_n 은 정격슬립이며, τ 는 극간격이다.
- 2) 일반적으로, 리니어 유도모터의 기계적 공극에 대한 극간격의 비 (τ/g)는 20 ~ 25의 범위를 두고 설계하므로, 기계적 공극의 기준이 먼저 설정되면, 단부효과를 경감시키기 위한 모터의 길이와 극수를 고려하여, 극간격을 산정할 수 있다.
- 3) 차량 추진용 리니어 유도 모터는 효율이 높아야 하므로, 정격슬립을 0.15 ~ 0.3의 범위에 두며, 소형의 반송용 리니어 유도모터의 경우는 이보다 정격슬립이 훨씬 높다. 회전형 유도전동기는 슬립이 작으면, 효율이 높아이지만, 리니어 유도모터의 경우는 자기적 흡인력의 급격한 증가에 의한 차량의 등가중량이 늘어나는 현상이 나타나며, 또한 단부효과에 의한 추력의 급격한 감소가 발생할 수 있으므로, 정격슬립을 부하 특성에 따라 적절히 선정할 필요가 있다.
- 4) 정격주파수는 정격슬립 및 동기속도가 설정되었으므로, 1)항의 수식으로부터 $f = v_n / (1 - s_n)2\tau$ 로 계산된다.

2.3.1 장하의 분배

리니어 유도모터의 효율 \times 역률 ($\eta \cos \phi$)은 2차측이 ladder형인 경우를 포함하여, $0.1 \leq \eta \cos \phi \leq 0.5$ 의 범위에 있다[9]. 차량 추진용의 경우, $\eta \cos \phi$ 는 비교적 높아 0.4 정도이며, 소형의 반송용일 경우는 보통 0.2 이하이다. 설계하고자하는 전동기의 $\eta \cos \phi$ 이라 예상하면, 식 (6) ~ 식 (9)의 값들을 계산할 수 있다.

$$\text{입력 용량 } kVA = \frac{P_{out}}{\eta \cos \phi} \quad [\text{kVA}] \quad (6)$$

$$\text{선전류 } I_1 = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times V_L} \quad [\text{A}] \quad (7)$$

$$\text{매극의 용량 } S = \frac{kVA}{p} \quad [\text{kVA}] \quad (8)$$

$$\text{비용량(比容量)} : \frac{S}{f \times 10^{-2}} \quad (9)$$

매극당의 자속 ϕ 는 식 (5)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\phi = \phi \times 10^{-2} = 0.127 \left(\frac{S}{f} \right)^{0.56} \times 10^{-2} \quad [\text{Wb}] \quad (10)$$

1차 철심의 슬롯에 분포되어 있는 매극당의 암페어 도체 수 AC 는 식 (4)에 의하여 식 (11)과 같이 되며, 이로부터 m 상 중 1상의 직렬턴수를 구하면, 식 (12)와 같이 된다.

$$AC = AC \times 10^3 = 3.7 \left(\frac{S}{f} \right)^{0.44} \times 10^3 \quad [\text{A}] \quad (11)$$

$$N_{ph} = \frac{pAC}{2mI_1} \quad [\text{turns}] \quad (12)$$

매극매상의 슬롯수를 q 로 하면, 1 코일당 턴수 $N = N_{ph}/pq$ 이 된다.

2.3.2 자기비장하 (B_{gm})와 1차측의 주요치수 결정

공극의 이동자계 분포가 정현적이라고 가정하면, 매극당 자속은 $\phi = \frac{2}{\pi} \tau h_i B_{gm} \times 10^{-4}$ [wb] 이므로, (τh_i) 는

$$(\tau h_i) = \frac{\phi \times 10^4}{\frac{2}{\pi} \times B_{gm}} \quad [\text{cm}^2] \quad (13)$$

이 된다. 여기서, h_i 는 1차철심의 유효폭이다. 따라서, 1차철심의 유효폭 h_i 는 식 (14)와 같이 계산된다.

$$h_i = \frac{(\tau h_i)}{\tau} \quad [\text{cm}] \quad (14)$$

한편, 슬롯내 도체의 전류밀도를 J_1 [A/mm^2] (일반적으로 3 ~ 5 [A/mm^2] 정도의 범위로 한다) 이라 두면, 도체의 단면적 Δ_c 는

$$\Delta_c = I_1 / J_1 \quad [\text{mm}^2] \quad (15)$$

가 되며, 이로부터 슬롯내의 도체가 차지하는 면적 A_c 를 구하면, 식 (16)과 같으나, 실제의 규격도체를 선택하면 이 면적은 약간 변경된다.

$$A_c = 2 \times N \times \Delta_c \quad [\text{mm}^2] \quad (16)$$

도체가 슬롯내에서 차지하는 면적을 나타내는 점적율은, 도선의 종류나 전압에 따라서 변화가 크며, 점적율을 S_f 로 나타내면, 도체를 수용하기 위한 슬롯면적 A_s 는

$$A_s = A_c / S_f \quad [\text{mm}^2] \quad (17)$$

으로 된다. 슬롯의 면적이 구해지면, 슬롯 폭과 슬롯 깊이를 결정하기 위하여, 슬롯 피치에 대한 슬롯 폭의 비 ($k_t = W_s / t_s$)를 먼저 결정한다. 이 비는 자기 비장하와 치에서의 최대 자속 밀도 값에 따라서 결정되며, 일반적으로 0.6 ~ 0.75 사이에 있다. 따라서, 슬롯 폭 W_s 는

$$W_s = k_t \times \tau / m q \quad [\text{mm}] \quad (18)$$

로 결정할 수 있다. 슬롯깊이는 실제의 권선 설계가 끝나면 약간 변경될 수 있지만, 식 (19)와 같이 개략적으로 구한다.

$$d_s = A_s / W_s \quad [\text{mm}] \quad (19)$$

그리고, core-back 부분의 두께 d_c 는 아래의 수식으로부터 구한다.

$$(d_c h_i) = \frac{\phi / 2}{l_m \times B_c} \quad (20)$$

$$d_c = (d_c h_i) / h_i \quad (21)$$

여기서, l_m 은 철심의 적층율이며, B_c [T]는 core-back 내에서의 자속밀도이다.

2.3.3 공극의 길이, 극수, 모터의 길이

공극의 길이 g 는 기계적인 조건이 허용하는 한도내에서 작을수록 좋으나, 일반적으로 소형의 리니어 유도모터 경우 $1.5 \text{ mm} < g < 3 \text{ mm}$, 차량추진용일 경우 $5 \text{ mm} < g < 15 \text{ mm}$ 정도의 범위에 있다. 차량 추진용의 경우 단부효과 영향을 경감시키기 위한 모터의 최소길이 L 은 식 (22)로부

터 결정할 수 있으며, 이때 모터의 길이는 차량의 길이, 대차의 구조에 따른 모터의 장착방법등에 의하여 제약을 받는다. 예를 들어, 캐나다의 ICTS 는 모터의 길이가 약 2 [m], 일본의 동결전철 12호선에서는 2.5 [m] 정도이다.

$$L = (0.017 \sim 0.024)v_n + 1.0 \quad [m] \quad (22)$$

여기서, v_n 은 정격속도로써 단위는 [km/h] 이다.

또한, 모터의 길이에 직접 관계되는 극수는 일반적으로 소형의 리니어 모터에서는 $p=4$, 차량 추진용의 경우 $6 \leq p \leq 12$ 이다. 예로서, 캐나다의 ICTS 는 6극, 일본의 동결 전철 12호선은 8극이다.

2.3.4 2차측의 설계

리니어 유도모터의 2차측 도체판의 재질은 알루미늄 또는 동을 사용한다. 그림 5와 같은 사이드바(side bar)형식의 2차측 구조인 경우, 사이드 바의 두께 t_{ov} 는 가능한 한 커야 하지만, back-iron 의 폭/극간격 (W/τ) 이 1보다 클 때에는 t_{ov} 가 $4d_{Al}$ 을 넘지 않아야 한다[10]. Back-iron 의 폭 W 는 식 (23)으로부터 결정할 수 있다.

$$W = h + 0.1\tau \quad (23)$$

여기서, h 는 1차철심의 적층폭이다.

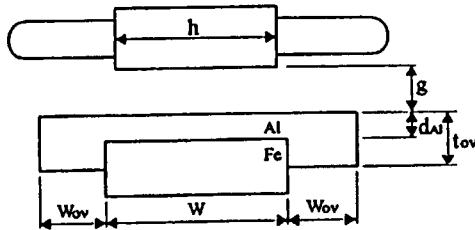


그림 5. 사이드바 형식의 2차측 구조

또한, back-iron의 두께는 레일의 재료비를 고려하여, 보통 $5 [mm] \leq d_{iron} \leq 25 [mm]$ 범위내로 하며, 알루미늄의 두께는 소형의 경우 2 ~ 3 [mm], 차량추진용의 경우는 4 ~ 6 [mm] 정도로 한다.

2.3.5 온도상승

기기의 온도상승 θ [°C] 는, 손실에 의한 발열을 W_i [W], 방열면적을 O_s [m²], 열의 비전도도를 χ [W/(m² °C)] 라 하면, 다음과 같이 구해진다. 이때, 코일의 온도는 이보다 5 [°C] 높은 것으로 하며, H 종 절연의 경우, 허용된 온도상승의 한도는 120 [°C] 로 한다.

$$\theta = \frac{W_i}{\chi O_s} \quad [^\circ C] \quad (\chi = 35 [W/(m^2 \text{ } ^\circ C)]) \quad (24)$$

방열 유효면적은 1차 철심의 표면적이 되므로, O_s 는 식 (25)에 의해 구해진다.

$$O_s = 2(d_c + d_s)(p + \beta)\tau + 2h(p + \beta)\tau + 2h(d_c + d_s) \quad (25)$$

이 방열면적의 내측에서 발생하는 손실은 철손의 전부와, 1차측 동손중에서 코일단 부분의 손실을 제외한 것이라 보

면, W_i 는 다음과 같다.

$$W_i = W_s + W_c \times h/l_a \quad (26)$$

여기서, W_s 는 1차 철심에서 발생하는 철손, W_c 는 1차측 코일에서의 동손이다.

2.3.6 주요 재료의 사용량

설계된 전동기를 실제로 제작할 때의 재료비 산정을 위하여, 1차측 코일의 중량, 1차 철심의 중량, 2차측 알루미늄의 중량, 2차측 back-iron 의 중량을 각각 구하면, 다음과 같다.

1) 1차측 코일의 중량

$$G_{cu} = 3 \times 8.9 \times (2 \times l \times l_a \times N_{ph}) \times 10^{-3} \quad [kg] \quad (27)$$

2) 1차 철심의 중량

$$G_{Fe} = 7650 \times l_m h [(d_c + d_s)(p + \beta)\tau - d_s(p + \beta)\tau] \quad [kg] \quad (28)$$

3) 2차측 알루미늄의 1 km 당 중량

$$G_{Al} = 2,700 \times [d_{Al}W + 2W_{ov}t_{ov}] \quad [kg] \quad (29)$$

4) 2차측 back-iron의 1km 당 중량

$$G_{iron} = 7,800 \times d_{iron}W \quad [kg] \quad (30)$$

2.4 LIM의 설계 예

장하분배에 의한 기본설계법을 토대로 하여, 125 [kW] 급 경전철 차량 추진용 LIM의 기본 설계예를 표 3에 제시한다.

표 3. 경전철 차량추진용 LIM의 기본설계예

파라미터		단 위	기본설계용 LIM
선간전압	V_L	V	1,100
주파수	f	Hz	25.68
전류	I_L	A	157.73
용량	kVA	kVA	300
정격슬립	s_n		0.2
추력	F_x	N	10,104
동기속도	V_s	km/h	50.76
1차측 길이	L	m	2.4
상수	m		3
극수	p		8
1차철심 적층폭	h	mm	280
매극매상 슬롯수	q		4
슬롯피치	t_s	mm	22.9
슬롯폭	W_s	mm	16
단절율	β		9/12
1코일당 턴수	N	turns	8
1상의 직렬턴수	N_{ph}	turns	256
반코일 길이	l_a	mm	590
1차측 저항	R_1	Ω	0.1773
코일 온도상승	θ	°C	102
1차측 중량	$G_{cu} + G_{Fe}$	kg	457
기계적 공극	g	mm	12
저항률(back-iron)	Ωm		20×10^{-7}
back-iron 두께	d_{iron}	mm	25
back-iron 폭	W	mm	307.5
저항률(Aluminium)	Ωm		3.125×10^{-8}
Aluminium 두께	d_{Al}	mm	5
Aluminium 폭		mm	337.5
Overhang 길이	W_{ov}	mm	28.75
back-iron 중량	G_{iron}	ton/kg	59.96
Aluminium 중량	G_{Al}	ton/kg	4.96

그러나, 표 3에서, 정격추력이 11,000 [N]에 약간 못미치므로, 설계파라미터의 수정이 필요하게 된다. 실제의 기본설계는 컴퓨터 프로그램에 의하여 수행하여, 모든 특성과 제약조건을 만족될 때까지, 반복 수행하는 것이 좋다.

3. 최적 설계

본 절에서는 고전적 최적화기법의 일종인 SUMT법을 이용하여 경전철 차량 추진용 LIM의 주요설계변수를 최적화한 예를 보인다[11]. SUMT에서는 주어진 설계변수들에 대한 목적함수 및 제약함수를 구하는 과정이 많이 필요한데, 여기서는 유한요소법에 의하여 구한 특성데이터를 학습완료한 신경회로망을 사용한다. 최적설계법의 계산순서도는 그림 6과 같다.

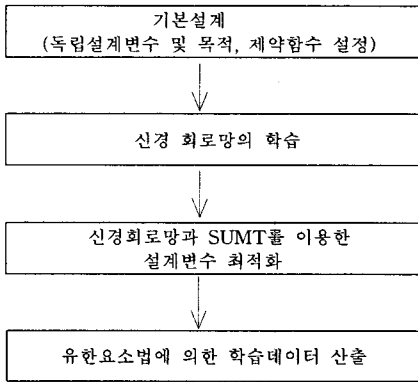


그림 6. 최적설계의 순서도

목적함수는 용량당 출력비를 최대로 하기 위하여, 식 (31)과 같은 목적함수를 선택한다.

$$f(X) = F_x v / (V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c) \quad [\text{kW/kVA}] \quad (31)$$

여기서, F_x 와 v 는 각각 정격추력과 정격속도이다. 그림 7은 최적화 과정중 목적함수와 제약함수값 추정을 위한 신경회로망으로서, 입력은 6개의 설계변수이며 출력은 목적함수와 제약함수값이다. 학습된 신경회로망과 SUMT에 의하여 구해진 최적 설계 파라미터를 표4에 나타내었다. 최적화중 정격슬립은 일정하게 두었으며, 정격주파수는 설계변수인 극간격에 따라서 변한다. 최종적인 정격주파수는 24.78 [Hz]로 되었으며, 1차 권선의 전류밀도는 4.83 [A/mm²] 로 계산되었다. 최적화된 모델의 자속분포는 그림 8에 나타내었다.

표 4. 최적화된 설계변수

X ₁ (W _s /T _s)	X ₂ (d _{Al})	X ₃ (d _{iron})	X ₄ (τ)	X ₅ (d _c)	X ₆ (h)	f(X) [%]	B _{lm} [T]	B _{iron} [T]
0.6877	5.374 [mm]	29.99 [mm]	284.9 [mm]	37.08 [mm]	272.5 [mm]	39.5	1.82	1.25

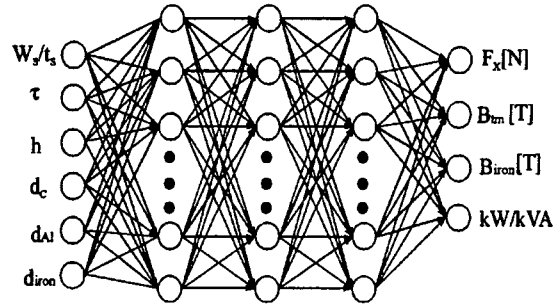


그림 7. 목적함수와 제약함수값 추정을 위한 신경회로망

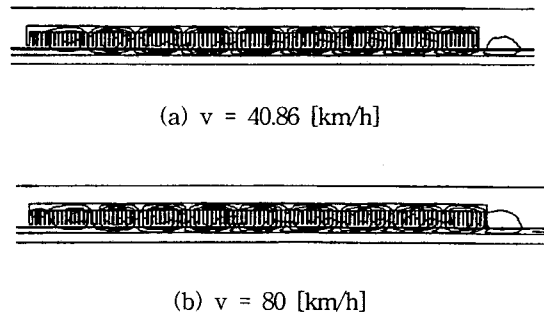


그림 8. 최적화된 모델의 자속분포도(slip = 0.2)

4. 결 론

본 글에서는 장하 분배법을 이용한 리니어 유도 모터의 설계법에 관하여 설명하였으며, 경전철 차량 추진용 리니어 유도모터의 최적설계예를 보였다. 리니어 유도 모터를 응용하여는 연구자들에게 미력이나마 도움이 되었으면 한다. 한편 지면 관계상 리니어 유도 모터의 설계만을 다루었으나, 영구자석형 리니어 모터의 설계자료를 제시할 수 있는 기회를 가질 수 있도록 노력하겠다.

국내의 리니어 모터 응용의 선구자이셨으며, 설계법을 가르쳐 주신 故 임달호 교수님께, 이 글을 경건히 바칩니다.

참고문헌

- [1] 野中作太郎外, "リニア誘導モータの設計データと特性", LD-9-58, IEEJ, 1992
- [2] E.R. Laithwaite, "Induction Machines for Special Purposes", George Newnes. Ltd, London, 1966.

- [3] S.A.Nasar, I. Boldea, "Linear Motion Electrical Machines", John Wiley & Sons, 1976.
- [4] 張錫明, "直線形 誘導電動機의 運轉特性解析 및 最適設計에 관한 研究", 박사학위논문, 한양대학교 대학원, 1985.
- [5] 임달호, 이민명, 김규탁, "철심단 효과를 고려한 리니어 모터의 특성해석", 대한전기학회 논문지, Vol. 40, No.5, 1991.
- [6] 박승찬, "유한요소법과 신경회로망을 이용한 직선형 유도 전동기의 설계 및 동특성해석에 관한 연구", 박사학위논문, 한양대 대학원, 1996.
- [7] Dal-Ho Im, Seung-Chan Park and Il-Ho Lee, "Inverse Design of Linear Induction Motor for Subway Using Neural Network and FEM", Proc. of LDIA, Japan, 1995.
- [8] 山田一, "産業用リニアモーター", 工業調査會, 1981.
- [9] Jacek. F. Gieras, "Linear Induction Drives", Clarendon Press, Oxford, 1994.
- [10] Gieras J.K, Eastham A.R. and Dawson G.E., "An Evaluation of the Effect of Varying the Side Bar Cross Section on the Performance of Single-Sided Linear Induction Motors", ICEM'88, Vol.2, pp.159-164, 1988.
- [11] Dal-Ho Im and Seung-Chan Park, "Optimum Design of Linear Induction Motor for Subway by Neural Network and SUMT", Proc. of ISEM, pp.51-54, 1995.

저 자 소개


박승찬(朴勝燦)

1968년 3월 24일생. 1990년 한양대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년 3월 ~ 현재 한양대학교 공학 기술연구소 선임연구원.


김규탁(金奎卓)

1961년 11월 12일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 현재 창원대학교 전기공학과 부교수, 1996-1997년 일본 와세다대학교 객원연구원.


장석명(張錫明)

1949년 7월 3일 생. 1976년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 현재 충남대 공대 전기공학과 교수, 당학회 평의원