

실험계획법을 이용한 LCD 원판 Glass 이송용 횡자속 선형전동기 최적설계

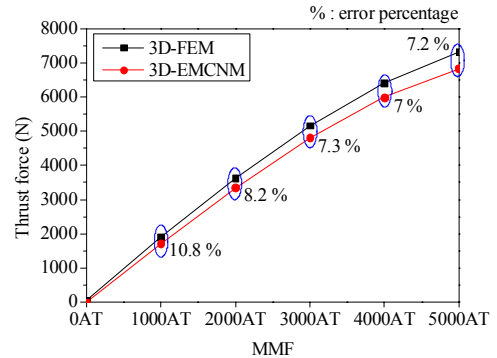
홍도관*, 우병철*, 이지영*, 정시욱*, 강도현*, 이인재**, 조창재**
 한국전기연구원*, (주)디엠테크놀러지***

Optimum Design of Transverse Flux Linear Motor for Transfer of LCD Glass Panel Using Design of Experiment

Do-Kwan Hong*, Byung-Chul Woo*, Ji-Young Lee*, Shi-Uk Chung*, Do-Hyun Kang*, In-Jae Lee**, Chang-Jae Cho**
 Korea Electrotechnology Research Institute*, Dynamic Motion Technology Co., LTD.**

Abstract - 본 논문은 LCD 원판 Glass 이송용 4,000[N]급 영구자석 여자 횡자속 선형전동기를 설계하고 해석을 통해 성능을 검토하였다. 실험계획법을 활용하여 횡자속 선형전동기의 형상을 이루는 설계변수들이 추력과 추력리플에 미치는 평균분석을 통해서 민감도분석을 수행하였다. 본 연구에서 개발된 횡자속 선형전동기 적용 추진모듈은 LCD 제조 분야의 원판 Glass 이송용으로 선형이송 시스템에 적용하고자 한다.

비해 추력이 최대 약 11% 정도 적게 발생하는 것을 알 수 있다. 기자력의 증가에 따라서 오차가 줄어들음을 알 수 있다.



〈그림 2〉 기자력에 따른 3D-EMCNM과 3D-FEM의 결과 비교

1. 서 론

선형 전동기는 일반 회전형 전동기에 비해 스크류, 체인, 벨트, 기어시스템 등의 기계적인 변환장치가 없이 선형 구동력을 직접 발생 시키므로 정정을 필요로 하는 환경에서 회전형에 비해 절대적으로 우세하다. 이러한 장점을 지닌 선형 전동기를 실제 시스템에 적용하기 위해서는 속도의 저하에 따른 저 출력, 저 효율 및 고 가격과 같은 문제들을 우선적으로 해결해야 한다. LCD 제조 분야의 원판 Glass 이송용 선형이송 시스템은 고속, 고추력을 필요로 한다. 따라서 고추력의 횡자속 선형전동기의 설계가 필요하며, 또한 추력리플이 저감될 수 있는 설계가 필수적이라 할 수 있다. 실험계획법을 이용하여 횡자속 선형전동기의 형상을 이루는 설계변수가 고추력, 저추력리플 등의 성능에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

〈표 1〉 영구자석 여자 횡자속선형전동기 사양

구 분	추진 시스템 용	비 고	
발생힘[N]	4,000	3상	
출력[kW]	12.0		
기자력[AT]	5,000		
τ_p [mm]	18		
δ [mm]	1.5		
전기자 (이동자)	길이[mm]	425	1상
	폭[mm]	150	
	높이[mm]	94	
	h_i [mm]	32	
	b_p [mm]	7	
	h_m [mm]	11	
	b_{sp} [mm]	34.4	
	h_{sp} [mm]	16	
계자 (고정자)	권선수[turn]	34*2(P)	1상
	길이[mm]	13,000	
	폭[mm]	104	
	높이[mm]	56	
	철심두께[mm]	12	
F_{xd} [kN/mm ²]		90.5	

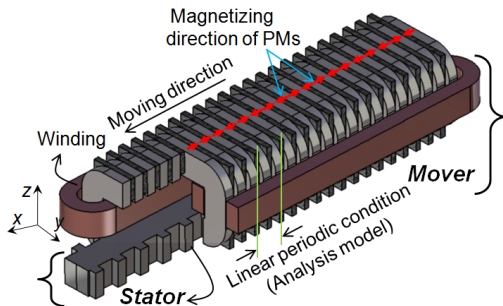
2. 실험계획법

2.1 횡자속 선형전동기

횡자속 전동기의 원리는 기본적으로 릴럭턴스 전동기와 같다. 권선 전류에 의한 기자력이 있을 때 자속이 발생하여 자기저항이 최소화 되는 방향으로 고정자와 이동자의 치가 일치할 때까지 힘을 발생시키게 된다. 자속의 진행방향과 전동기의 이동방향은 횡방향이 된다. 이동자 코어가 스파이럴 형태인 횡자속 선형 전동기의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 스파이럴 코어는 3차원 횡자속 선형전동기의 3차원 자기자속패스를 만들기 위해 적용하였다. 이동 자에 영구자석을 삽입하여 출력 밀도를 증가시킨 영구자석 여자 횡자속 전동기를 나타낸다. 본 연구에서 설계된 4,000[N]급 영구자석 여자 횡자속 선형전동기 사양은 표 1과 같고, 전동기의 발생 가능 힘밀도는 다음과 같다.

$$F_{xd} = kB_0 \frac{\theta_a}{2\tau_p} \quad (1)$$

여기서 k 는 설계상수, B_0 는 무부하 공극자속 밀도, θ_a 는 기자력, τ_p 는 극간격이다.



〈그림 1〉 스파이럴 코어를 사용한 횡자속 선형전동기의 단상 모델형상

그림 2는 횡자속 선형전동기 설계 모델을 3D-EMCNM (3차원 등가 회로망기법)과 3D-FEM (3차원 유한요소법)을 이용한 결과를 비교하여 권선 기자력에 따른 오차를 나타내었다. 3차원 등가 회로망 기법은 이동자 코어의 원형형상을 구현 하는데, 어려움이 있어 3차원 유한요소법에

2.2 설계변수 및 혼합직교배열표

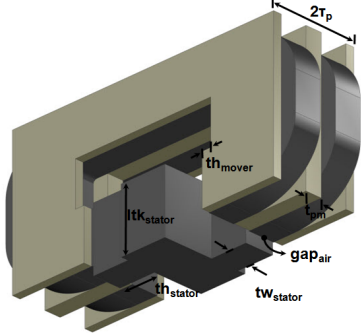
〈표 2〉 설계변수 및 수준

<unit : mm>

D.V. Level	τ_p	t_{pm}	tw_{st}	th_{st}	th_m	gap	ltk_{st}
1	18	6	12	22	2	1.2	40
2	21	9	13	25	4	1.4	42
3	24	12	14	28	6	1.6	

표 1은 횡자속 선형전동기의 사양을 나타내며, 표 2는 설계변수와 수준을 나타낸다. 그림 3에 나타난 설계변수는 모터의 형상을 나타내는 치수를 기준으로 하였으며 제작가능한 치수로 수준을 설정하였다. 샘플링은 혼합직교배열표를 사용하였으며 3 수준인 6개의 설계변수와 2수준인

하나의 변수의 전조합 실험횟수는 1,458회이며, 전조합 실험을 모두 수행해야 가장 좋은 최적조건을 찾을 수 있게 된다. 그러나 표 3의 혼합적교배열표를 이용하여 평균분석에 의한 최적조합을 구성하게 되면 18회 실험으로 전조합 실험과 거의 유사한 결과를 얻을 수 있다[1].



〈그림 3〉 횡자속 선형전동기 해석모델의 설계변수

〈표 3〉 혼합적교배열표(L18 (2¹×3⁷))

〈unit : mm〉

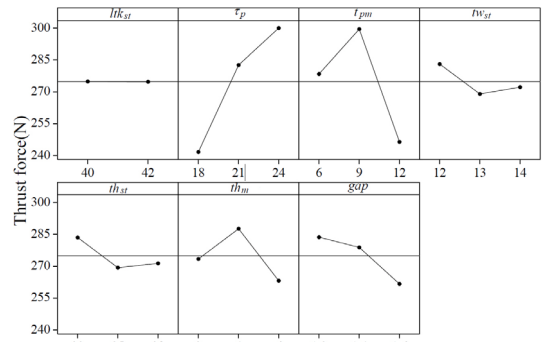
D.V. No.	τ_p	t_{pm}	tw_{st}	th_{st}	th_m	gap	ltk_{st}
1	18	6	12	22	2	1.2	40
2	18	9	13	25	4	1.4	40
3	18	12	14	28	6	1.6	40
4	21	6	12	25	4	1.6	40
5	21	9	13	28	6	1.2	40
6	21	12	14	22	2	1.4	40
7	24	6	13	22	6	1.4	40
8	24	9	14	25	2	1.6	40
9	24	12	12	28	4	1.2	40
10	18	6	14	28	4	1.4	42
11	18	9	12	22	6	1.6	42
12	18	12	13	25	2	1.2	42
13	21	6	13	28	2	1.6	42
14	21	9	14	22	4	1.2	42
15	21	12	12	25	6	1.4	42
16	24	6	14	25	6	1.2	42
17	24	9	12	28	2	1.4	42
18	24	12	13	22	4	1.6	42

〈표 4〉 혼합적교배열표(L18 (2¹×3⁷))

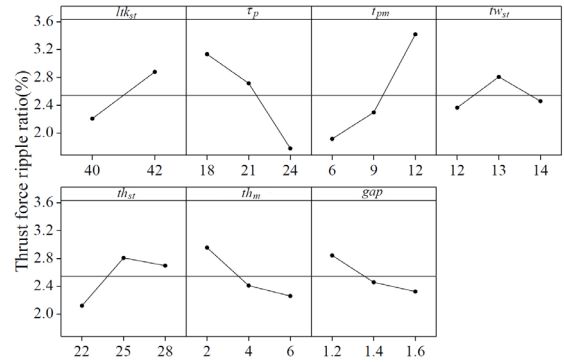
No.	Thrust force (N)	Thrust force Ripple ratio (%)	Flux density (T)
1	298.39	1.84	1.609
2	277.59	2.5	1.626
3	163.04	3.119	1.838
4	265.9	1.625	1.321
5	320.31	2.39	1.460
6	265.01	2.975	1.737
7	269.37	0.837	1.357
8	320.35	1.8	1.644
9	293.5	2.772	1.727
10	275.38	2.872	1.550
11	254.75	2.381	1.627
12	180.85	6.091	1.876
13	262.25	3.035	1.354
14	310.1	2.704	1.639
15	272.14	3.561	1.630
16	299.3	1.276	1.367
17	313.83	2.001	1.421
18	303.69	1.989	1.634

2.3 평균분석

망소특성을 가지는 추력리플율과 망대특성을 가지는 이동자의 진행방향으로 추력을 반응함수로 하여 모터의 형상을 나타내는 설계변수들이 반응함수에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 또한 해석결과로부터 각 설계변수의 수준에 대한 영향을 파악하기 위하여 평균분석을 수행하였다. 그림 4의 (a)는 추력리플비를 나타내며 추력리플이 최소가 되는 각 설계변수의 수준조합은 ltk_{st} (2수준), τ_p (3수준), t_{pm} (1수준), tw_{st} (2수준), th_{st} (1수준), th_m (3수준), gap (3수준)이다.



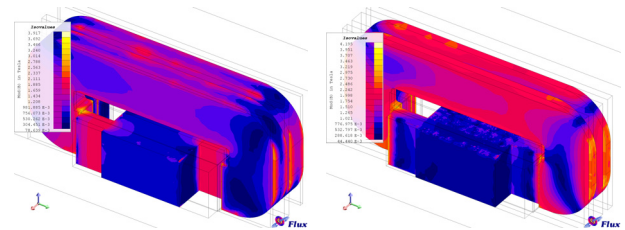
(a) Thrust force



(b) Thrust force

〈그림 4〉 추력과 토크리플율의 주효과 분석

이동자의 진행방향으로 망대특성을 가지는 추력을 반응함수로 하였다. 그림 4의 (b)는 추력을 나타내며 추력이 최대가 되는 각 설계변수의 수준조합은 ltk_{st} (1수준), τ_p (3수준), t_{pm} (2수준), tw_{st} (1수준), th_{st} (1수준), th_m (2수준), gap (1수준)으로 나타났다.



(a) 4번 해석결과

(b) 12번 해석결과

〈그림 5〉 자속밀도분포

그림 5의 자속밀도 분포는 표 4의 4번과 12번의 자속밀도분포 결과를 나타낸다. 정격 시 코어의 자속밀도를 1.6T로 설정하였다. (b)와 같이 자속밀도가 포화가 되면 해석결과의 추력을 얻을 수 없게 된다. 자속밀도에 가장 민감한 설계변수는 t_{pm} 으로 나타났다.

3. 결 론

추력과 추력리플율의 경향을 고려하여 설계기법을 고려하지 않고 임의로 설계변수의 조합을 다음과 같이 검토한 결과 ltk_{st} (1수준), τ_p (3수준), t_{pm} (9수준), tw_{st} (1수준), th_{st} (1수준), th_m (2수준), gap (2수준) 일 때 추력은 299.28N, 추력리플율은 2.02%로 나타났다. 하지만 이와 같은 결과는 표 4의 혼합적교배열표에 있는 결과에 비해서 성능이 못미친다. 제한조건을 고려하지 못하는 최적화의 경우에는 선정된 조합의 결과보다 샘플링 결과가 좋으면 그 결과를 최적해로 선정할 수 있다. 따라서 8번 결과가 고추력에 저추력리플율을 가지면서 자속밀도 또한 1.644T로 설계기준에 만족한 것으로 평가할 수 있다.

〔참 고 문 헌〕

[1] 홍도관, 우병철, 강도현, “직교배열표를 이용한 추력을 최대화하기 위한 횡자속 선형전동기의 최적설계”, 대한전기학회 논문지, 제54권, 제3호, B권, pp.505-510, 2005.