

초정밀 Stage용 선형 BLDC 전동기 설계

강도현, 홍정표, 장기찬, 전정우, 전영환
한국전기연구소

Linear BLDC motor design for a ultra-precision stage

Kang do-hyun, Hong jung-pyo, Chang ki-chan, Jeon jung-woo, Chun young-hwan
KERI

Abstract - Recently, the demands of the ultra-precision stage system, such as wafer stepper stages for photolithography, are increasing in the field of manufacturing and test equipment.

Since the mechanical elements which convert rotational motion into translational introduce backlash and elasticity in the system, better performance of the drive could be achieved by the linear BLDC motor with appropriate servo control. The analytical design and the FEM analysis about linear BLDC motor is described in this paper. The performance of the servo-drive system will be evaluated through the comparison of results between the designed data and the measured data in the future.

1. 서론

초정밀 위치제어용 stage 기술은 원하는 방향으로 물체를 정밀하게 이동하는 기술로 산업이 고도화·선진화됨에 따라 전 분야에서 요구되고 있다.

특히 반도체 산업에서 전자소자의 집적도를 높이기 위해 이전에는 상상하기조차 어려웠던 나노급에 이르는 미세한 가공이 현실화되고 있다. 이러한 가공은 위치를 정밀하게 제어하는 위치제어기술에 힘입은 바 크며, 이러한 기술의 보유가 향후 반도체산업의 고부가가치, 고집적도 반도체 소자개발을 가름할 것으로 예상되고 있다. 예로 256M DRAM 소자의 최소 선폭은 250nm이며 차세대 고집적 반도체 소자는 100nm의 선폭이 요구됨에 따라 20nm의 위치정밀도가 요구된다.

나노급의 초정밀도를 실현하기 위해서 전동기 구동기술, 측정기술, 진동제어기술 및 온도 습도 등을 조절하기 위한 환경제어기술이 요구된다. 현재의 초정밀 위치제어기술의 구동시스템으로 볼스크루를 사용하는 회전형 전동기 보다 bach-rush가 없고 마찰이 적어 정밀제어가 가능한 선형 BLDC 전동기가 가장 적합하다. 따라서 본 논문에서는 추력 200N급 행정거리 400mm인 초정밀 위치제어용 선형 3상 BLDC 전동기의 전자제 시스템을 설계하고자한다.

2. 본론

2.1 선형 BLDC 전동기 사양

표 1. 설계사양

	값
행정거리	400 [mm]
정격출력	120 [N]

2.2 기본설계

본 설계모델에서 영구자석의 잔류자속밀도 B_r 이 결정되면 식(1)에 따라 영구자석의 기자력이 결정된다.

$$F_s = \frac{B_r h_m}{\mu_0 \mu_r} \quad [AT] \quad \dots \dots (1)$$

여기서 F_s 는 영구자석의 기자력이며, h_m 은 영구자석의 높이, μ_0 는 자유공간의 투자율, μ_r 은 영구자석의 비투자율이다. 식(2)에서 계산된 공극자속 ϕ_g 를 식(3)에 대입하여 공극자속밀도 B_g 를 구해낸다.

$$F_s = (2R_m + R_g) \cdot \phi_g / 2 \quad [AT] \quad \dots \dots (2)$$

$$B_g = \frac{\phi_g}{A_g} \quad [Wb/m^2] \quad \dots \dots (3)$$

위와 같이 구해낸 공극자속밀도 B_g 로 요구하는 추력을 고려하여 정격전류 i 와 코일 당 권선수를 식(4)로부터 얻어낼 수 있다.

$$F = k \cdot n \cdot i \cdot B \cdot L \quad [N] \quad \dots \dots (4)$$

여기서 k 는 추력평균계수, n 은 코일권선수, i 는 정격전류, 그리고 L 은 코일변의 길이이다.

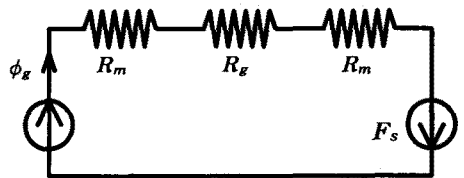


그림 1. 설계모델의 자기동기회로

그림1에서의 R_m 과 R_g 는 각각 영구자석과 공극에서의 자기저항이며, 두개의 F_s 는 고정자상하에 있는 영구자석을 나타낸다.

2.3 기본설계결과

표 2. 설계사양

설계변수	치수	비고			
영구자석	60×80×10 [mm]	Br=1.2 [T] W _{pm} ×D×H _{pm}			
크피치	72 [mm]	τ			
코일	턴수	360 Turn	0.7 [mm] 동선		
	두께	8 [mm]		H _{co}	
	폭	내		50 [mm]	W _{ci}
		외		94 [mm]	W _{co}
	변	22 [mm]	W _c		
Yoke	20 [mm]	S20			
공극	10 [mm]	g			
추력	120 [N]	상전류 = 1.2 [A] 구형파			

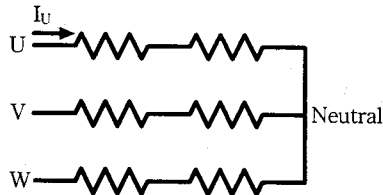


그림 2. 설계 BLDC 전동기 권선도

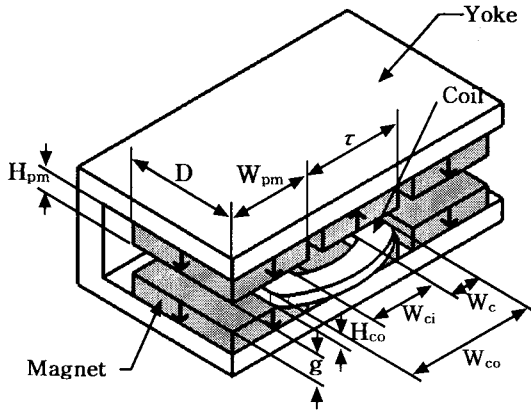


그림 3. 설계 BLDC 전동기 형상

2.4 유한요소법에 의한 특성해석

해석모델은 Yoke과 영구자석, 그리고 공극 사이에 코일이 놓여있는 2차원으로 모델링하였다. 실제로는 3상코일이 일정간격을 두고 나란히 감겨있는 형상이지만 해석시 한 상이 되는 코일의 두 변만을 고려하였다.

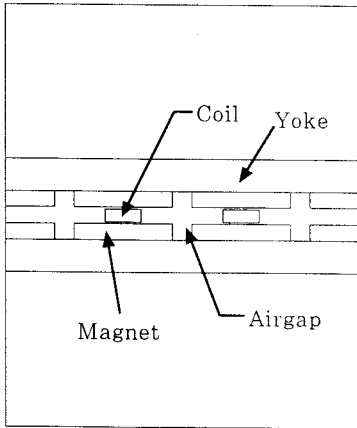


그림 4. 2차원 해석모델

그림 5.는 코일이 극중심에 놓여졌을 경우 등자속선을 본 것이다. 공극에서의 자속밀도는 그림 7에서 보는 것과 같이 극중심에서 최대가 되므로 코일은 극중심에서 최대의 추력을 받게 된다. 이는 코일을 극간격만큼 움직여 갈 때 힘을 계산한 그림 8.에서 확인할 수 있다.

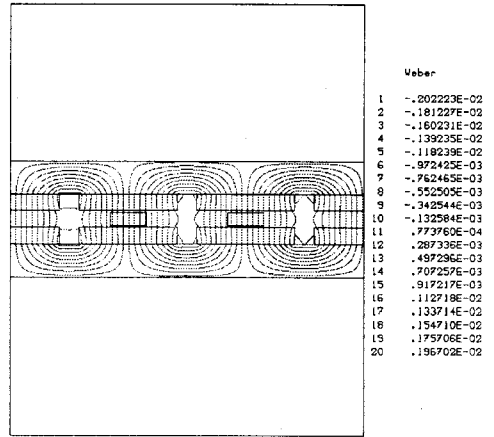


그림 5. 등자속선

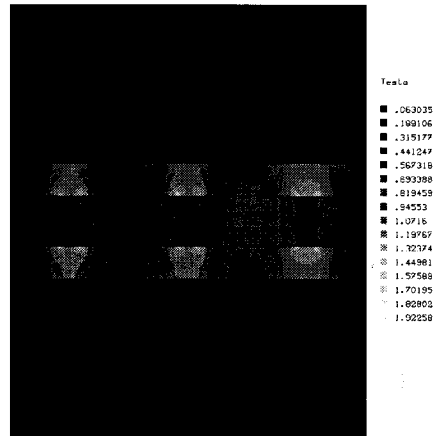


그림 6. 자속밀도분포

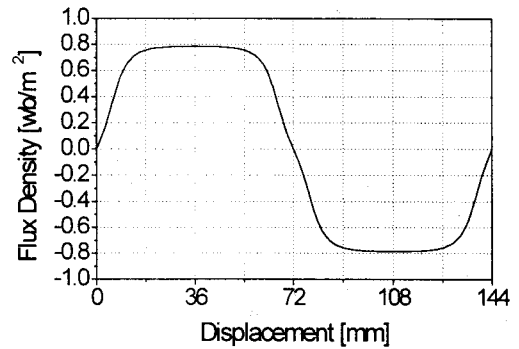


그림 7. 공극에서의 자속밀도곡선

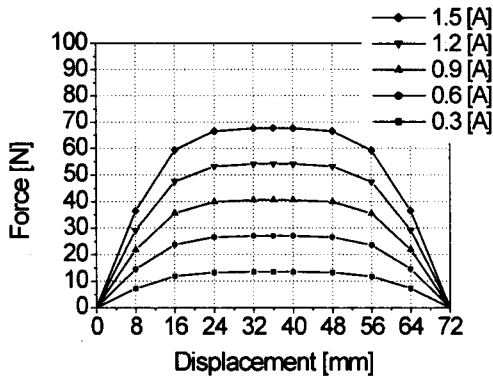


그림 8. 전류 값에 따른 위치-추력 곡선

위 그림은 전류에 따라 한 코일이 받는 추력을 나타낸 것인데 가동자의 코일이 3상이므로 그림 9.과 같이 각 코일의 위치에 따라 인가전류에 위상차를 주게 되면 일정한 추력을 기대할 수 있다. 그리하여 3상 코일을 일정 위상차를 고려하여 각 위치에서의 추력을 합성하면 그림 10.과 같은 그래프를 얻을 수 있는 것이다.

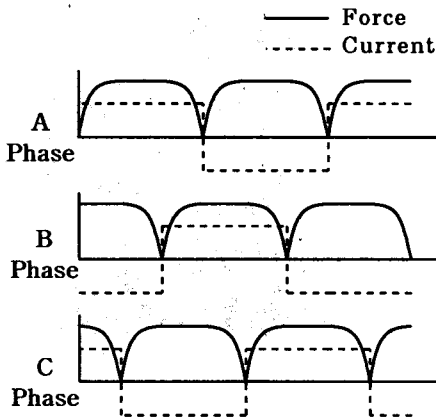


그림 9. 여자전류 - 추력 형태

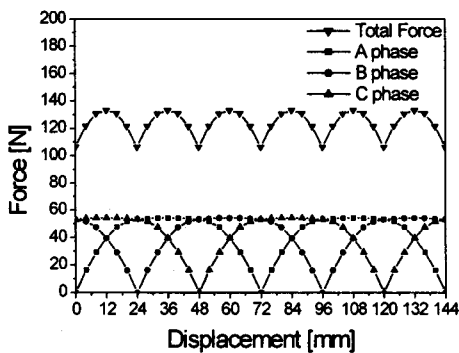


그림 10. 위치 - 합성 추력 곡선(3상)

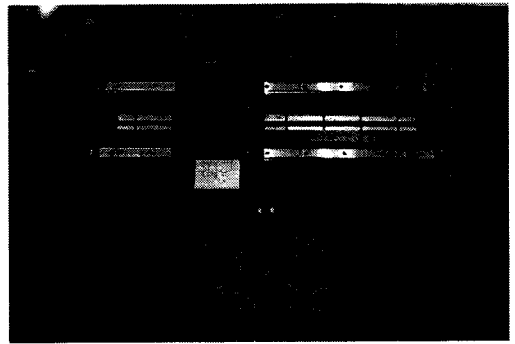


그림 11. 제작된 BLDC 전동기

3. 결 론

1축 추력 200N급 행정거리 400mm인 초정밀 위치 제어용 3상 선형 BLDC 전동기의 기본설계를 해석적 방법으로 수행하였으며, 해석적 방법의 설계 타당성을 검증하기 위해 2차원 유한요소법에 의한 특성해석을 수행하였으며, 유한요소법에 의해서 설계 전동기의 추력값을 도출하였다. 앞으로 제작된 BLDC linear 전동기의 정추력 측정, 동특성 simulation, 동특성 및 정밀도 평가를 수행할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- (1) Jacek F. Gieras, Zbigniew J. piech, "LINEAR SYNCHRONOUS MOTORS", CRC Press, 2000
- (2) 洪正构 외 4명, "PUNCHING MACHINES용 리니어 모터의 자기회로 해석 및 설계 파라미터 추출", 전자부품연구원, 1999. 8