

자동차 기어용 선형 보이스 코일 전동기의 설계

김예랑¹, 장준근¹, 김창업¹, 박정호², 허춘영²
¹ 호서대학교, ² SL 주식회사

A Study on the design of linear voice coil motor for automobile gearbox

Ye-Rang Kim¹, Joog-keun Jang¹, Chang-Eob Kim¹, Jeong-Ho Park², Chun-Nyung Heo²
¹Hoseo University, ²SL Corporation

Abstract - 자동차의 오토 기어를 능동적으로 제어하기 위해 전자기력을 이용한 원통형 선형 보이스 코일 전동기를 설계 하였다.

설계 시 유한 요소 해석 프로그램을 이용해 각 부품의 자기 포화 밀도 및 코일에 인가되는 자속을 계산하여 성능을 예측하였다. 기본모델에 대해 중량을 최소화한 모델을 제작하여 실험한 결과 추력은 기본모델과 비슷한 상태에서 중량이 약 40% 감소하였다.

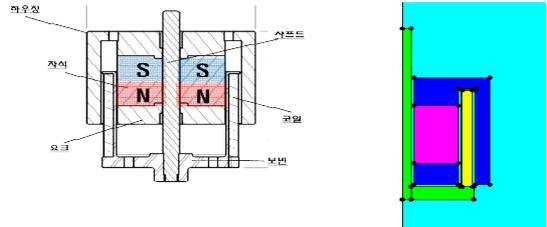
1. 서 론

현대 생활에 자동차는 필수품이 되었으며 그로 인해 자동차 보유율이 1세대당 1대 이상으로 증가하게 되었다. 자동차에 대한 관심이 증가되면서 자동차에 대한 연구가 다양한 방향으로 진행되고 있다.

특히 자동차의 기어를 통한 변속 제어의 경우 그림 1과 같이 운전자의 편의를 위해 수동변속에서 자동 변속으로 제어 할 수 있게 설계 및 개발되고 있다. 이러한 자동차 자동 변속을 좀 더 능동적으로 제어하기 위해서는 제어 모터가 필요하다.

본 논문에서는 기어를 제어하기 위한 제어모터를 선형 보이스 코일 전동기로 선택하였다. 선형 보이스 코일 전동기의 경우 힘의 전달 부를 간단히 설계 가능하며 고속 운동이 가능하고 높은 위치 제어 정밀도를 가지고 있다. [1], [2]

또한 추가적으로 선형 보이스 코일 전동기의 무게를 줄여 추력은 비슷한 것을 목표로 잡고 유한 요소 해석 프로그램을 이용해 최적화 설계 하였다.



<그림 2> 선형 보이스 코일 전동기의 구조

<표 1> 선형 보이스 코일 전동기의 설계 제한

구분	설계 제한	
	외경	Φ 60
공통	스트로크	32 mm
	중량	1000 g
	전압	12 V
고정자	보빈, 샤프트 재질	알루미늄
가동자	자석	NdFeB
	하우징, 요크 재질	S45C

2.2 시뮬레이션

2.2.1 시뮬레이션과 실험치 비교

최적 설계를 하기 전에 기본모델에 대하여 실험값과 시뮬레이션의 데이터가 비슷한지 확인해보았다. 이때의 모델은 (주) SL에 제공한 모델로써 실험과 시뮬레이션의 추력은 그림 3과 같다. 그림 3에서 (a)는 기본모델에 대한 해석 값이며, (b)는 같은 모델을 제작하여 측정된 값으로 측정 시 정밀성을 위해 약 1100셀로 분할하여 측정하였으며 이동거리는 시뮬레이션과 동일하게 32mm이다. 여기서 시뮬레이션과 실험의 측정값의 추력 형상이 비슷함을 확인 할 수 있다. 실험과 시뮬레이션의 추력이 차이가 나는 이유는 부품에 들어가는 물 성치 데이터의 정밀성의 차이에서 나온 결과라고 판단된다.



<그림 1> 자동차 기어 박스

2. 기본 모델 구조 및 해석

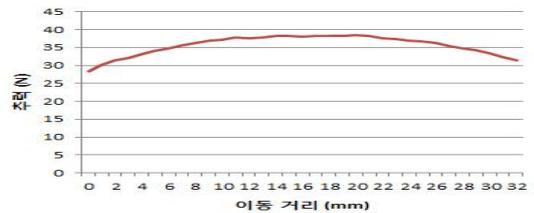
2.1 선형 보이스 코일 전동기의 구조

선형 보이스 코일 전동기는 기하학적으로 간단한 구조를 갖고 있기 때문에 2차원 해석을 하였다. 본 추력의 세기는 플레밍의 왼손 법칙에 의해 결정되며 다음 식(1)과 같이 정의된다. 자석에서 나오는 자속이 코일에 흐르는 전류에 직각으로 작용할 때 가장 큰 힘을 얻을 수 있다.

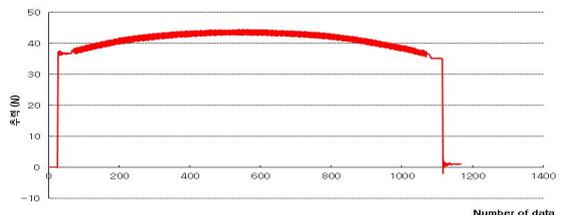
$$F = IBl \sin \theta \quad (1)$$

여기서, 각각 F 는 발생된 추력[N]이며, I 는 코일에 흐르는 전류[A], B 는 영구자석에 의한 자속밀도[T], l 은 자기장내 놓여있는 코일의 길이[m], θ 는 코일에 입사되는 자속밀도 B의 각도[degree]이다. [2],[3]

선형 보이스 코일 전동기의 구성은 그림 2와 같다. 좌측의 형상에는 각 부품별 명칭이 적혀 있으며, 우측의 그림은 시뮬레이션 모델링이다. 본 논문에서는 FLUX 2D를 사용하였으며 축 대칭을 이용하여 1/2 모델로 해석 하였다. 선형 보이스 코일 전동기의 설계 제한은 표 1과 같다.



(a) 시뮬레이션



(b) 실험 추력

<그림 3> 시뮬레이션과 실험 추력 비교

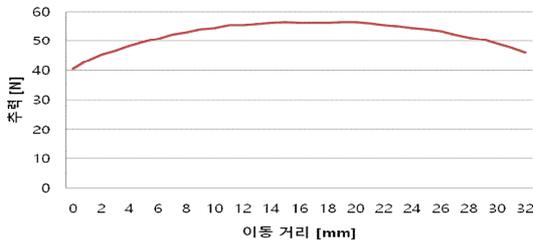
〈표 2〉 기본 모델 설계 제원

항목	사양
	기본 모델
외형 사이즈 [mm]	φ60x73 (middle point)
스트로크 [mm]	±16
중량 [g]	1000
전압 [V]	12
저항 [Ω]	3.4
전류 [A]	3.5
소비전력 [W]	41.5
코일 사양 (155℃)	PEW F
전류 밀도 [A/mm^2]	11.52

설계 제원은 표2 와 같다. 3가지 모델의 전류밀도의 경우 실험 진행 결과 일반적인 선형전동기와 달리 연속적으로 사용되는 전동기가 아니므로 괜찮다고 판단된다.

2.2.2 기본 모델 시뮬레이션

본 논문에서는 기본 모델의 전류밀도를 $5A/mm^2$ 을 증가시킨 $16A/mm^2$ 로 설정하여 전류의 값을 계산한 4.77A로 인가했으며 나머지 입력 값은 설계 재원과 동일하게 적용하였다. 유한요소 분할 수는 12,226개로 하였으며 이때의 추력은 그림 4와 같다. 추력의 경우 가동자가 0mm에 위치했을 때 추력이 제일 적게 나오는 것을 확인 할 수 있다.



〈그림 4〉 기본모델 추력 (전류 4.77A)

3. 최적화 설계

3.1.1 부품 최적화를 위한 시뮬레이션

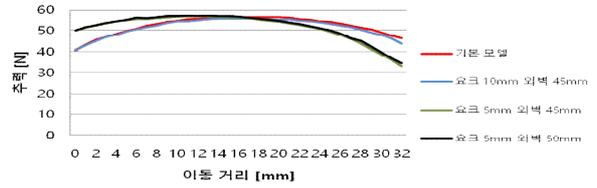
선형 보이스 코일 전동기의 각 부품 크기의 변동에 따라 추력 곡선에 영향이 있다. 즉, 자석의 경우 크기가 늘어나면 발생하는 자속이 증가해 추력이 증가하며 자석의 크기가 감소하면 그만큼 코일에 영향을 주는 자속이 감소해 추력이 감소하게 된다. [1], [4]

여기서 하우징, 요크와 외벽을 변수로 잡아 크기가 감소하여도 추력이 기본모델과 동일하게 나오는 것을 목표로 잡았다. 최적화를 위한 시뮬레이션의 경우 Minitab 프로그램의 3k 요인법을 이용하였으며 변수 변화 폭의 경우 최대 5mm로 기준을 잡아 최적 위치를 찾는 시뮬레이션을 진행하였다. 표 3은 3k 요인법을 통해 나온 설계 변수 데이터이다.

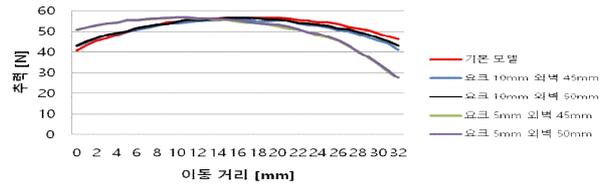
〈표 3〉 3k 요인법

설계변수	하우징	요크	외벽	비고
실험순서	[mm]	[mm]	[mm]	
1	8	10	45	
2	13	5	50	
3	13	10	45	
4	8	10	50	
5	13	5	45	
6	8	5	45	
7	13	10	50	기본 모델
8	8	5	50	

표 3의 데이터를 이용해 시뮬레이션을 한 결과는 그림 5와 그림 6과 같다. 그림 5와 그림 6에서 확인 하듯이 하우징의 크기가 달라져도 추력에는 큰 영향이 없지만 요크의 크기가 10mm에서 5mm로 줄어들었을 경우 가동자가 0mm일 때 추력이 상승하지만 32mm일 때 기본 모델보다 추력이 더욱 감소된 것을 확인 할 수 있다.



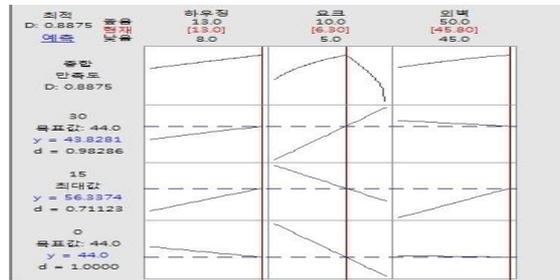
〈그림 5〉 요크,외벽 길이에 따른 추력 (하우징 길이 : 13mm)



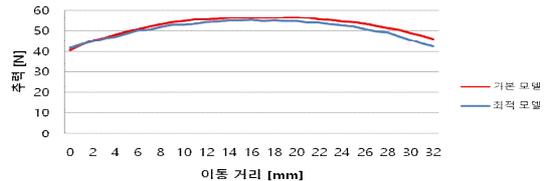
〈그림 6〉 요크,외벽 길이에 따른 추력 (하우징 길이 : 8mm)

3.1.2 부품 최적화

위 시뮬레이션 추력 결과를 이용하여 가동자의 위치가 0mm와 32mm일 때의 추력을 44N으로, 최대 추력은 기본 모델과 동일한 추력 값을 목표로 잡았다. Minitab을 이용하여 최적화를 진행한 결과 그림7과 같으며, 최적 값은 하우징 13mm, 요크는 6.3mm, 외벽은 45.8mm의 결과를 얻었으며 최적 데이터를 이용해 시뮬레이션을 하였다. 이 때 추력은 그림 8과 같다. 해석결과 기본 모델에 비해 최대 추력이 감소되지만 최소 추력은 상승하였다. 또한 최적 모델의 경우 대칭성을 보이는 것을 확인 할 수 있다.



〈그림 7〉 최적화 결과



〈그림 8〉 부품 최적화 모델 추력 비교

4. 결 론

본 논문에서는 자동차 기어 변속에 사용되는 선형전동기의 중량을 절감하기 위한 방법을 제시했다. 이는 기존 설계상 부품의 크기를 최적화시키는 것으로 추력 계산은 Flux 2D를 사용하였다. 최적 모델은 기본 모델과 추력이 비슷한 것을 목표로 하우징과 요크, 외벽의 크기를 최소화 되는 길이를 구하였다. 요크는 기본 모델에 비해 37.6%, 하우징(외벽)은 8.3% 감소하였다. 추력의 경우 기본모델에서 이동거리의 초기와 후반부 추력값이 균등해지고 추력이 상승하였으며 최대 추력은 기본 모델과 비슷함을 확인 하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 이홍교, 유용민, 권병일, “원통형 보이스코일모터 설계 및 특성 해석”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1034-1036, 2004.
 [2] 신준수, 리니어 보이스 코일 모터 제어기 설계, 서울산업대학교 석사학위논문, pp.10-20, 2005.
 [3] 안다훈, 이학준, 최영만, 권대갑, “스테이지 구동을 위한 고추력 보이스코일 모터의 설계에 관한 고찰”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp.87-88, 2013.
 [4] Dahoon Ahn, Dongpyo hong, Daegsb Gweon, “Design of a high force voice coil motor”, Applied Mechanics and Materials, Vol.483, pp.559-563, 2014.