

비접촉 선형 영구자석 기어의 Pole Piece에 따른 추력 특성 분석

김민석*, 정상용**, 김용재*
조선대*, 성규관대**

Thrust Characteristics Analysis of Non-contact Linear Permanent Magnet Gear by Shape of Pole Piece

Min-Seok Kim*, Sang-Yong Jung**, Yong-Jae Kim*
Chosun University*, Sungkyunkwan University**

Abstract - 비접촉 선형 영구자석 기어는 직선 추력을 요구하는 반송 장치에서 모터의 회전운동을 직선 운동으로 변환하는 기계적인 변환 장치와 달리 마찰에 의한 손실과 소음 및 진동이 적고 윤활유와 유지 보수가 불필요하다는 장점을 가지고 있다. 하지만 물리적 접촉 방식을 사용하는 기계적인 변환장치에 비해 비접촉 방식을 사용하는 영구자석 기어는 상대적으로 낮은 전달추력능력을 가진다. 따라서 본 논문에서는 비접촉 선형 영구자석 기어의 양측 가동자 사이에서 추력을 전달하는 Pole Piece의 특성을 파악하고, Pole Piece형상의 제한 및 최적 설계를 통해 낮은 전달추력능력을 향상시키고자 한다.

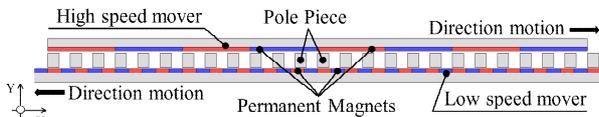
1. 서 론

현재 각종 산업 현장의 직선 추력을 요구하는 반송 장치에서는 레크와 피니언 같은 기계적 변환장치를 이용하여 모터의 회전운동을 직선운동으로 변환하여 사용하고 있다. 이러한 기계적 변환 장치는 기어이의 맞물림으로 동작하는 물리적인 구동 방식으로 인해 마찰에 의한 손실, 소음 및 진동 등의 문제점을 나타내고 이는 기기 효율의 감소 원인이 된다. 이에 물리적인 접촉 방식에 따른 문제점을 해결하기 위해 자계를 이용한 비접촉 방식의 선형 영구자석 기어가 주목을 받고 있고 마찰에 의한 손실, 소음, 진동이 적으며 윤활유 및 유지보수가 불필요하다는 장점을 가진다. 하지만 많은 장점을 가진 비접촉 선형 영구자석 기어는 낮은 전달추력능력으로 인해 기계적 변환장치에 대체하여 적용하기에는 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 낮은 전달추력능력을 향상시키기 위해 비접촉 선형 영구자석 기어의 양측 가동자 사이에서 추력을 전달하는 Pole Piece의 특성을 파악하고자 한다. 또한 전달 추력능력을 향상시킬 수 있는 Pole Piece의 형상을 제시하고 반응표면법 중 Box-Behnken법을 이용하여 최적설계를 통해 가장 전달추력능력이 향상되는 모델을 도출하고자 한다.

2. 비접촉 선형 영구자석 기어의 기본모델

2.1 비접촉 선형 영구자석 기어

자계를 이용한 비접촉 선형 영구자석 기어의 형상을 그림 1에 나타내었고, 구성은 High speed mover, Low speed mover와 Pole Piece로 나뉘며, 이때 High speed mover와 Low speed mover 사이에 존재하는 Pole Piece는 추력을 전달하는데 중요한 역할을 한다.



〈그림 1〉 비접촉 선형 영구자석 기어의 형상

이러한 Pole Piece의 개수 및 비접촉 선형 영구자석 기어의 기어비는 High speed mover의 극수와 Low speed mover의 극수에 의해 결정되며 식 (1)-(2)에 나타내었다. 여기서, p_1 은 High speed mover의 극수, p_2 는 Low speed mover의 극수, N_s 는 Pole Piece의 개수를 나타낸다. 또한 G_r 은 비접촉 선형 영구자석 기어의 기어비를 나타낸다[1].

$$N_s = (p_1 + p_2)/2 \quad (1)$$

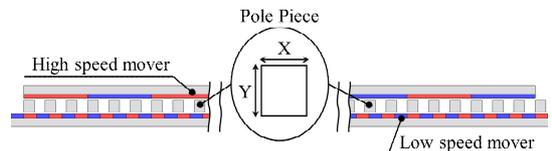
$$G_r = \frac{p_2}{p_1} \quad (2)$$

본 연구에서 기어비는 1:5로 하였으며 High speed mover의 극수는 8극, Low speed mover의 극수는 40극, Pole Piece 개수는 24로 하였다.

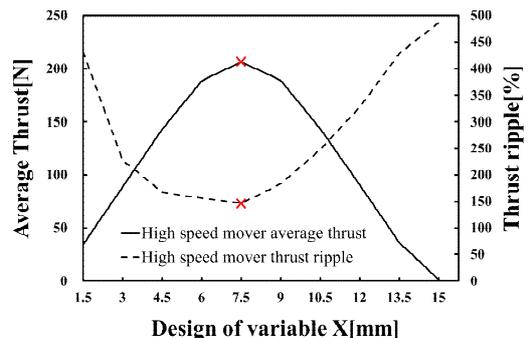
2.2 비접촉 선형 영구자석 기어의 Pole Piece 특성 분석

비접촉 선형 영구자석 기어의 Pole Piece 특성을 파악하기 위해 그림 2와 같이 변수 X, Y를 선정하였다. 먼저 변수 Y를 6[mm]로 하고 변수 X를 1.5[mm]-15[mm]까지 조절하여 High speed mover와 Low speed mover의 추력 및 추력 리플 특성을 비교분석 하였다. 그 결과, 그림 3과 같이 변수 X가 7.5[mm]일 때 High speed mover의 평균추력은 203.22[N], 추력 리플은 198.37[%]이고 Low speed mover의 평균추력은 971.39[N], 추력 리플은 19.30[%]로 가장 좋은 전달 추력 특성을 나타내었다. 이를 기반으로 변수 X는 7.5[mm]로 고정하고 변수 Y를 1[mm]-15[mm]까지 조절하였다.

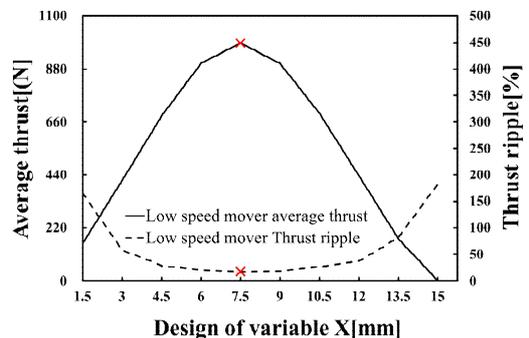
이에 변수 Y의 변화에 따른 평균 추력 및 추력 리플의 특성을 그림 4에 나타내었다. 그림 4 (a)의 High speed mover에서는 Pole Piece의 높이가 증가할수록 추력 리플이 계속 감소하였고 평균 추력은 7[mm]일 때 까지는 증가하였다가 다시 감소하였다. 또한 그림 4 (b)의 Low speed mover도 마찬가지로 High speed mover와 동일한 특성을 나타낼 수 있었다.



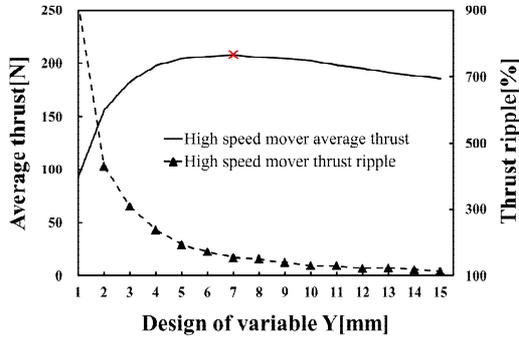
〈그림 2〉 비접촉 선형 영구자석 기어의 Pole Piece 변수 선정



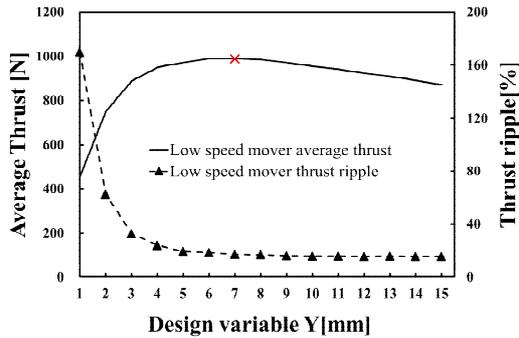
(a) High speed mover의 평균 추력 및 추력 리플



(b) Low speed mover의 평균 추력 및 추력 리플
〈그림 3〉 변수 X의 변화에 따른 Pole Piece 특성



(a) High speed mover의 평균 추력 및 추력 리플



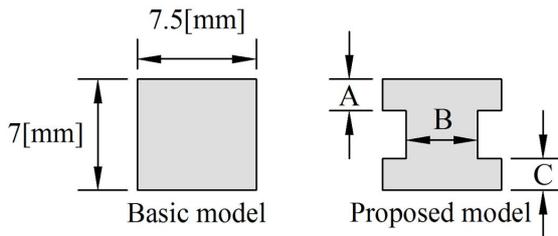
(b) Low speed mover의 평균 추력 및 추력 리플

<그림 4> 변수 Y의 변화에 따른 Pole Piece 특성

3. 전달추력능력 향상을 위한 Pole Piece 형상 설계

3.1 비접촉 선형 영구자석 기어의 Pole Piece 형상 설계

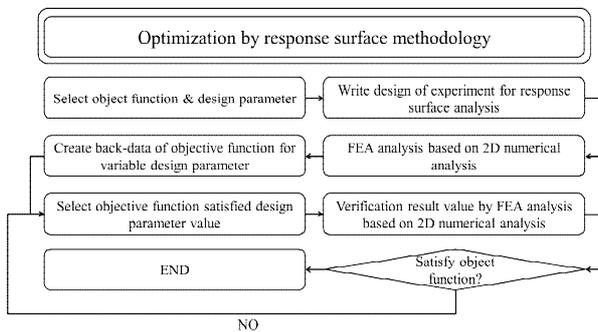
비접촉 선형 영구자석 기어의 Pole Piece는 High speed mover과 Low speed mover의 사이에서 자속흐름을 조절하며 기어 구동 시 중요한 역할을 한다. 이러한 Pole Piece의 형상을 변화하여 비접촉 선형 영구자석 기어의 낮은 전달추력능력을 향상시키기 위해 그림 5에 Pole Piece의 형상을 제시하였고, 설계 변수를 설정하였다.



<그림 5> Pole Piece의 자속집중 구조 형상

3.2 Pole Piece 형상 따른 특성분석

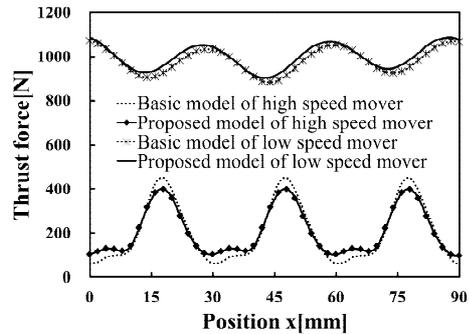
비접촉 선형 영구자석 기어 Pole Piece 형상의 최적설계를 위해 반응 표면법 중 Box-Behnken법을 사용하였고 그림 6과 같은 방식으로 실험을 계획하여 유한요소해석을 수행하였다[2].



<그림 6> 반응 표면 분석을 이용한 실험계획법

이에 목적함수인 High speed mover 및 Low speed mover의 평균 추력이 최대이고 High speed mover 및 Low speed mover 추력리플이 최소인 모델은 A=1[mm], B=2.8[mm], C=1[mm]일 때로 나타났고 그 결과를 그림 7과 표 1에 나타내었다. 제한한 구조의 High speed mover 평균 토크는 206.55[N]로 기본 모델 204.10[N]에 비해 2.45[N] 상승하였고, 추력 리플은 47.7[%] 만큼 저감되었다. 또한 Low speed mover 평균 토크는 1000.81[N]로 기본 모델 982.74[N]에 비해 18.07[N] 상승하였고, 추력 리플은 0.66[%] 만큼 저감되었다.

이와 같이 평균추력을 향상하고 추력리플을 저감시키며 자속을 집중시킬 수 있는 구조는 기본 모델에 비해 부피와 전체 질량을 감소시킬 수 있으며 비접촉 선형 영구자석 기어의 중량당 추력밀도를 향상시킬 수 있다. 제안한 모델의 기어비는 4.85로 기본모델의 4.81에 비해 전달추력능력이 상승하였음을 확인하였다.



<그림 7> 기본모델과 제안한 모델의 정상상태 추력 특성

<표 1> 기본모델과 제안한 모델 비교

		Basic model	Proposed model
High speed mover	Average Thrust [N]	204.10	206.55
	Thrust ripple [%]	193.53	145.83
Low speed mover	Average Thrust [N]	982.74	1000.81
	Thrust ripple [%]	18.99	18.33
Thrust density per weight	High speed mover [N/Kg]	65.50	66.29
	Low speed mover [N/Kg]	315.41	321.20
Gear ratio		4.81	4.85

3. 결 론

본 연구에서는 비접촉 선형 영구자석 기어의 High speed mover과 Low speed mover 사이에서 추력을 전달해 주며 기어 구동 시 중요한 역할을 하는 Pole Piece의 특성을 파악하고 전달추력 능력을 향상시킬 수 있도록 Pole Piece 모델을 제안하였다. 이와 같이 제안한 모델은 반응표면법 중 Box-Behnken법을 이용하여 최적설계를 수행하였으며, 제안한 모델과 기본모델의 정상상태 추력 특성을 비교분석하였다. 그 결과 제안한 구조의 High speed mover 평균 추력은 기본모델에 비해 2.45[N] 상승하였고, 추력리플은 47.7[%] 저감되었으며 Low speed mover 평균 추력은 18.07[N] 상승하였고, 추력리플은 0.66[%] 저감되었다. 또한 제안한 모델의 중량당 추력 밀도가 기본 모델 대비 0.8[%] 상승하여 전달추력능력이 향상됨을 알 수 있었고, Pole Piece의 전달추력능력에 대한 영향을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] L. Wang, M. Jin, J. Shen, Z. Huang, J. Wang, "Design of a High-Performance Linear Permanent Magnet Gear," *ICEMS 2014*, 2324-2326, 2014.
 [2] L. Jian, G. Xu, J. Song, H. Xue, D. Zhao and J. Liang, "Optimum Design for Improving Modulating-Effect of Coaxial Magnetic Gear using Response Surface Methodology and Genetic Algorithm," *Progress in Electromagnetics Research*, Vol.116, 297-312, 2011.