

철도 차량용 원통형 선형 구동기의 설계

Design of Tubular Linear Actuator for a Railway Vehicle

임재경*·우정현*·박영필*·박경수*·박노철†·백운수*·유원희**

JaeKyung Lim*, Jung-Hyun Woo*, Young-Pil Park*, Kyung-Su Park*, No-Cheol

Park†, Yoon Su Beak*, Won Hee You**

1. 서론

최근 새로운 고속철도개발이 활발히 진행되고 있으며, 특히 메카트로닉 열차에 관한 연구가 부각되고 있다. 메카트로닉 열차는 메카닉스 와 일렉트로닉스가 합쳐진 개념으로 능동 조향, 능동 현가, 틸팅, 스마트 센서기술 등이 집약되어 있는 능동형 제어기술을 뜻한다. 이러한 메카트로닉 기술을 적용은 차량의 구조적 한계를 극복하고 주행 성능을 향상시키며, 능동제어기술을 통해 다양한 환경조건에서도 최적의 주행환경을 확보할 수 있게 되었다. 또한, 철도차량의 승차감 향상을 위한 능동 현가 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 능동 현가 시스템은 차체와 대차 사이에서 발생하는 횡 방향 진동을 감소시키는 2 차 현가장치로 차체의 기본적인 안정성보다는 승차감 향상을 목적으로 한다 [1,2,3].

본 논문에서는 전자기 방식 선형 구동기를 적용하여 능동 현가 시스템을 설계하였다. 전자기 방식은 기존의 유압, 공압 방식의 구동기에 비해 응답이 빠르고 구조가 간단하며 에너지 소모가 적은 장점을 가진다. 구동기는 효율을 높이기 위하여 원통형 구조, Halbach 자석 배열, 3 상 코일을 사용하였으며, 디텐트 힘을 저감하기 위한 자석비율 및 스큐에 대한 해석을 수행하였다. 최종적으로 구동기의 추력을 확인하였다.

2. 본론

2.1 구동기 형상 및 해석모델

설계한 구동기는 가동자석형으로 전체적인 형상은 Fig. 1 과 같다. 구동기는 자석 및 자석 요크로 이루어진 가동부와 코일 및 코어로 이루어진 고정부로 구성되어 있다.

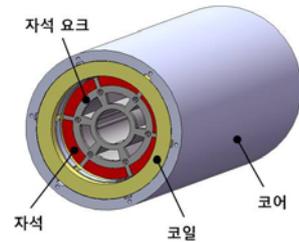


Fig. 1 구동기의 전체형상

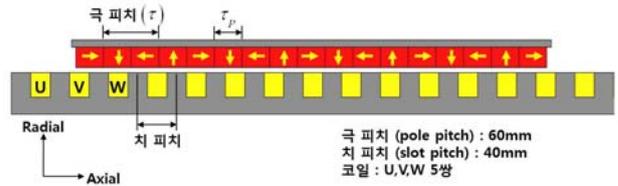


Fig. 2 2D 축 대칭 모델 설계

설계한 구동기는 중심축을 기준으로 회전하면서 대칭인 원통형 구조이기 때문에 3D 모델보다는 2D 모델을 사용하는 것이 보다 효율적이다.

Figure 2 는 2D 해석 모델을 보여준다. 극 피치는 60mm, 치 피치는 40mm 이다, 자석은 Halbach 배열로 8 개의 극으로 이루어져 있고, 3 상 코일 5 쌍으로 구성되어 있다.

2.2 디텐트 힘 저감

디텐트 힘은 자석과 코어 사이의 인력에 의해서 발생하는 힘으로, 치 피치와 극 피치의 비율 및 치 형상에 의해 영향을 받으며 치 피치의 길이와 동일한 주기를 가진다. 이러한 디텐트 힘은 추력의 리플을 야기하므로 최소화하도록 설계해야 한다 [4].

디텐트 힘을 저감하기 위한 첫 번째 방법은 극 피치 (τ) 와 수직방향으로 자화된 자석길이 τ_p 의 비율을 변화시키는 방법으로 Fig. 2 의 τ_p/τ 비율 변화를 뜻한다. Figure 3 에서 자석크기에 따른 디텐트 힘의 변화를 알 수 있듯이 τ_p/τ 값이 0.65, 즉 수직방향으로 자화된 자석길이 τ_p 가 39mm 일 때 디텐트 힘이 최소인 것을 확인하였다.

† 박노철; 연세대학교 기계공학과

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4530

* 연세대학교 기계공학과

** 한국철도기술연구원

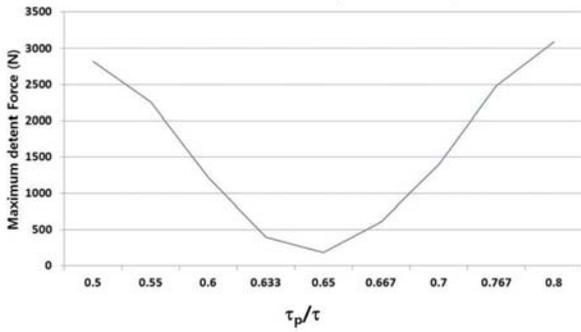


Fig. 3 자석크기에 따른 디텐트 힘의 변화

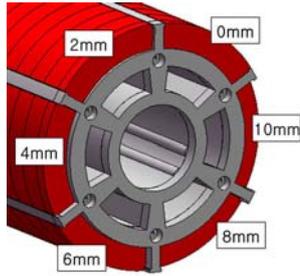


Fig. 4 10mm 스큐를 적용한 모습

두 번째로 디텐트 힘을 저감하는 방법은 영구 자석에 스큐를 시행하는 것이다. 스큐는 자석간에 위상차를 주는 방법으로 설계한 구동기에 적용한 스큐각은 다음 식과 같다.

$$\text{스큐각} = \frac{GCD}{2\tau} \times 180^\circ \quad (1)$$

GCD는 극 피치와 치 피치의 최대 공약수이며, τ 와 180° 는 극 피치를 의미한다 [5].

Figure 4는 설계한 구동기에 스큐를 적용한 그림이다. 그림에 나타나 있듯이 스큐를 한 방향으로 2mm 씩 돌아가면서 최종적으로 적정 스큐값인 10mm를 적용하였다. 스큐를 적용시킨 구동기의 디텐트 힘은 Fig. 5와 같다. 해석결과 디텐트 힘의 주기가 치 피치의 길이와 같으며, 최대 디텐트 힘이 135N임을 확인하였다.

2.3 구동 추력

구동기의 추력을 확인하기 위해 코일에 3상 교류 전류를 인가하였으며, 각각 120° 의 위상차를 갖도록 하였다.

설계된 구동기에 3상 전류를 인가시켜서 구동기의 추력을 확인하였다. 구동기의 가동부가 극 피치만큼 움직일 때 위치에 따른 추력은 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 구동추력의 평균값이 6680N인 것을 확인하였다.

3. 결론

본문에서는 철도 차량용 능동 현가 시스템을 원통형 전자기 방식을 적용하여 설계하였다. 전자기 형태의 구동기에서 발생하는 디텐트 힘을

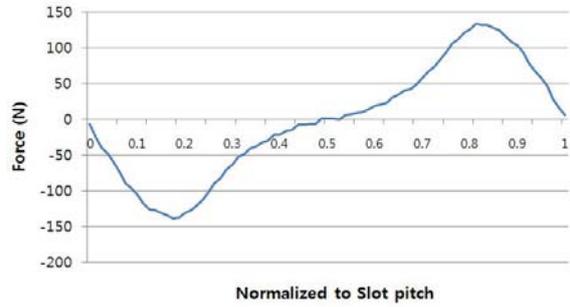


Fig. 5 디텐트 힘(10mm 스큐)

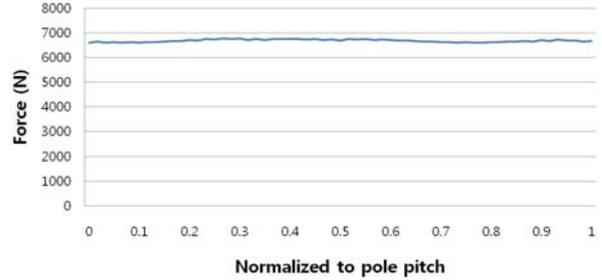


Fig. 6 위치에 따른 구동 추력

감소시키기 위해 최적의 자석비율을 선정하였으며, 스큐의 적용을 통해 디텐트 힘을 저감하였다. 최종적으로 구동 추력을 확인하였으며, 추력에 대한 리플의 영향이 적은 것을 확인하였다.

4. 참고 문헌

- [1] Kim, Sang-Soo, Kim, Ki-Hwan, Park, Choonsoo, Mok, Jinyong, Choi, Sunghoon "A study on lateral vibration control method of high-speed train"
- [2] H.W Lee "철도차량의 승차감 향상을 위한 능동제어기술" 한국과학기술진보연구원
- [3] Kwak, Jeaho, You, Wonhee "Mechatronic train for next generation"
- [4] Dong-Yeup Lee, In-Cheol Hwang, Gyu-Hong Kang, Gyu-Tak Kim "3D finite element analysis of skew and overhang effects of permanent magnet linear synchronous motor"
- [5] Sang_yong Jung "Research on design characteristic of steel-cored PMLSM with high thrust force considering running condition", Journal of the Korean institute of illuminating and electrical installation engineers Vol.21,No,6,pp.85~93 July 2007