

능동현가시스템을 위한 원통형 전자기식 액추에이터의 설계

Design of Tubular Permanent Magnet Actuator for an active suspension system of a railway vehicle

윤준호 · 우정현* · 박영필* · 박노철† · 박경수* · 백윤수* · 유원희**
Jun-Ho Yoon, Jung-Hyun Woo, Young-Pil Park, No-Cheol Park, Kyung-Su Park, Yoon Su Beak, Won Hee You

1. 서 론

철도차량의 발전은 고속화를 중심으로 이루어 지고 있고, 그에 따라 발생하는 축 방향 진동을 저감시키는 현가시스템에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 그 중에서도 전자기식 능동현가장치는 수동 방식에 비해 응답 속도가 빠르고, 넓은 대역폭을 가지고 있다⁽¹⁾. 이러한 전자기식 액추에이터는 높은 추력 밀도를 달성하기 위하여 슬롯이 존재한다. 그에 따라 영구자석과 슬롯 사이에 인력으로 인한 디텐트력이 발생하게 되고, 이는 추력의 리플로 나타나게 된다. 따라서 이를 저감하는 설계가 필수적이다. 또한 열악한 외부 조건 하에도 작동 가능해야 되기 때문에 정격 추력의 수 배에 달하는 추력이 필요하게 되고, 그때 열 특성이 만족 되지 않는다면 과열로 인한 문제가 발생한다. 그러므로 열, 전자기 특성을 동시에 고려하는 설계가 필요하다⁽²⁾.

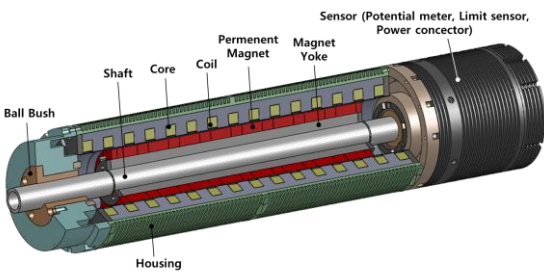


Figure 1 Tubular permanent Magnet Actuator

† 교신저자; 정희원, 연세대학교 기계공학과

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4530

* 연세대학교 기계공학과

** 한국철도기술연구원

본 연구에서는 대용량 원통형 전자기식 액추에이터의 높은 성능을 확보하기 위하여, 영구자석의 할바 배열 방식과 폐 슬롯을 이용한 디텐트력 저감 설계와 전자기-열 연성 해석을 통해, 발열 특성을 고려 하면서 추력을 최적화하는 설계를 제안하였다.

2. 본 론

2.1 원통형 전자기식 액추에이터

Fig 1 은 설계된 원통형 전자기식 액추에이터의 전체 형상이고, Table 1 과 Fig 2 는 설계된 모델의 설계변수를 보여준다. 기본적으로 반경방향의 전자기적 인력이 없는 원통형 구조이며, 자화방향이 다른 영구자석을 배치하는 할바 배열 방식이 적용되었다. 또한 발열 특성이 우수한 가동 자석형으로 설계 하였다.

2.2 디텐트력 저감

디텐트력은 영구자석과 코어 사이의 인력으로 추력의 리플을 발생시켜 액추에이터의 성능을 저하시킨다. 이러한 디텐트력은 영구자석의 할바 배열비와

Table 1 Main design parameters

Parameters	Value [mm]
Pole pitch (τ_p)	60
Slot pitch	40
Outer radius (R_o)	100
Axial length	995
Coil Thickness (H_c)	17
Stator outer radius (R_s)	86
Translator outer radius (R_t)	52
Translator inner radius (R_i)	30
Air gap	2
τ_{mr} / τ_p	0.64

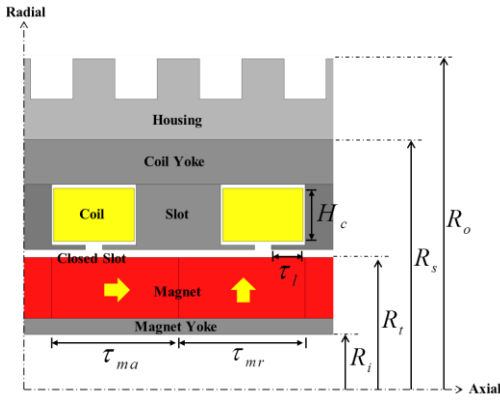


Figure 2 Design Parameters

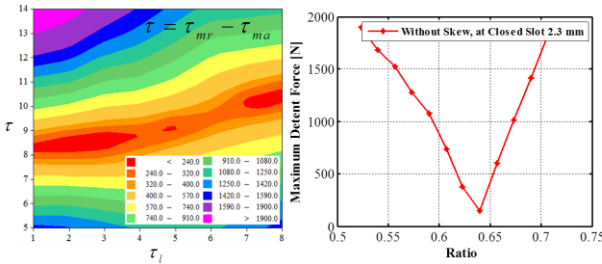


Figure 3 Halbach-Array ratio of τ_{mr}/τ_p and Closed Slot

코어, 즉 슬롯과 폐 슬롯의 영향을 받는다. Fig 3 은 할바 배열비(τ_{mr}/τ_p)와 폐 슬롯의 길이가 디텐트력에 미치는 영향을 살펴 본 것이다. 축 방향으로 자화된 영구자석이 디텐트력에 직접적인 영향을 미치기 때문에, 그 길이가 줄어들 때 디텐트력이 저감되었고, 또한 폐 슬롯은 슬롯에서 발상하는 디텐트력을 상쇄시켜주는 역할을 한다. 2.3mm 의 폐 슬롯 길이에서 최소의 디텐트력을 가지는 영구자석의 비가 존재 하였고, 그때 스큐까지 적용을 하면 디텐트력은 추력의 2% 인 70 N 까지 저감된다.

2.3 열-전자기 연성 해석

기본적으로 추력을 높이 위해서는 코일의 크기를 늘려 입력 전류를 증가시켜주는 방법이 있다. 하지만 이때 입력 전류의 증가로 코일에서의 발열이 증가하게 되어 문제가 발생할 수 있다.

즉, 추력을 높이기 위한 설계에서는 전자기적 특성과 열 특성을 모두 고려 해야 한다. 이에 전자기 모델과 열 모델의 설계변수를 공유시킨 연성해석 모델을 만들었고, 기술품 기반의 최적화 방법을 통해 추력의 최대화 하였다. 목적함수는 추력의 최대화 이고, 제한 조건은 강건설계를 위해서 외부 유동이 없는 자연대류 조건에서 최대 허용 온도 130 °C

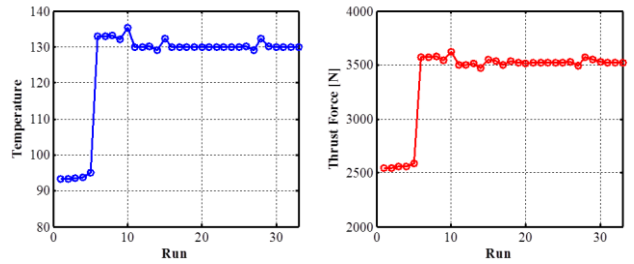


Figure 4 Gradient Optimization

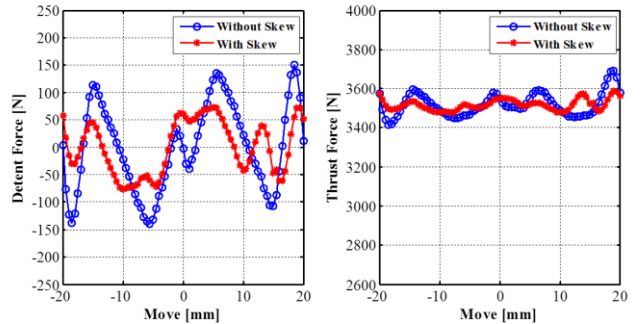


Figure 5 Detent and Thrust Force of Optimized Model

로 지정하였다. 또한 반경방향의 길이도 100mm 제한을 두었고 마지막으로 설계변수의 범위는 자기포화를 고려하여 지정해 주었다. Fig 4 와 같이 최적화 결과, 제한 조건에서 추력이 3500 N 으로 증가하였고, 코일뿐만 아니라 자석요크, 영구자석, 코일요크의 크기도 증가하는 방향으로 최적화 되었다. 이는 온도에 제한이 있기 때문에 코일의 크기만 증가한다면 제한 온도를 만족시킬 수 없기 때문이다.

3. 결 론

본 논문에서는 전자기식 능동현가장치의 설계를 제안하였고, 디텐트력의 저감과 열, 전자기 특성을 모두 고려한 설계 방법을 제시하였다.

4. 참고문헌

[1] Jiabin Wang, Senior Member, IEEE, Weiya Wang, and Kais Atallah, "A Linear Permanent-Magnet Motor for Active Vehicle Suspension", IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 60, NO. 1, JANUARY 2011

[2] 임재경, 우정현, 박영필, 박경수, 박노철, 백운수, 유원희 2010, "연성해석을 이용한 원동형 전자기식 액추에이터의 설계" 한국소음진동공학회 2011년 추계학술대회 논문집