

연성해석을 이용한 원통형 전자기식 액추에이터의 설계

Design of Tubular Permanent Magnet Actuator Using Coupled-field Analysis

임재경*·우정현*·박영필*·박경수*·박노철†·백윤수*·유원희**

JaeKyung Lim*, Jung-Hyun Woo*, Young-Pil Park*, Kyung-Su Park*, No-Cheol Park†, Yoon Su Beak*, Won Hee You**

1. 서론

전자기 방식의 선형 액추에이터는 영구자석과 코일 사이에서 발생하는 힘을 직접적으로 사용하기 때문에 별도의 동력전환장치 없이 효율적으로 힘을 발생시킬 수 있다. 그 중에서도 원통형으로 구성된 전자기식 액추에이터는 높은 추력 밀도, 빠른 응답 속도, 넓은 대역폭의 성능을 기반으로 다양한 분야에서 사용되고 있다.

이러한 전자기식 액추에이터의 성능은 전자기 특성과 열 특성에 의해 결정된다. 일반적으로, 액추에이터는 다양한 환경 조건하에서도 작동이 가능하여야 하며, 정격 추력의 수 배에 달하는 추력이 필요한 경우가 빈번히 발생하게 되는데 열 특성을 만족하지 못한다면 코일 및 기타 전기 장치의 과열로 인해 고장의 원인이 될 수 있다. 즉, 구동 추력과 디텐트력을 분석하기 위한 전자기 해석뿐만 아니라 발열 특성을 고려한 열 해석이 동시에 수행되어야 액추에이터의 전체 성능을 명확히 평가할 수 있다.[1],[2]

본 연구에서는 정밀한 해석을 기반으로 높은 성능을 확보하기 위하여 자기포화현상을 고려하여 적합한 두께를 갖는 코어 및 요크의 설계를 진행하고 발열 특성을 분석하기 위하여 전자기-열 연성해석을 적용하여 높은 추력 밀도와 발열 특성을 갖는 원통형 전자기식 액추에이터를 제안하였다.

2. 본론

2.1 전자기 특성

Fig. 1 은 설계된 원통형 전자기식 액추에이터의 전체 형상을 보여주며 Fig. 2 와 Table1 은 2D 전자기 해석 모델 및 설계된 액추에이터의 치수를 보여준다. 9 극 12 슬롯으로 구성되어 있으며 보다

높은 추력 밀도를 확보하기 위해 할바(Halbach) 자석 배열을 사용하였으며, 코어는 슬롯을 포함하고 있는 형상으로 설계하였다. 일반적으로 할바 자석은 기존의 수평방향으로 자화된 자석 및 수직방향으로 자화된 자석 보다 높은 자속 밀도를 가지기 때문에 높은 추력을 발생시키는데 용이하며, 코어의 형상 역시 슬롯을 포함하고 있는 구조가 슬롯이 없는 구조보다 높은 추력을 발생시키는데 유리하다. 또한, 발열 특성이 우수한 가동자석형으로 설계하였다.

Table 1 Main design parameters

Parameters	Value [mm]
Pole pitch	48
Slot pitch	32
Translator outer radius (R_o)	92
Coil Thickness (H_s)	16
Stator inner radius (R_m)	65
Stator outer radius (R_s)	53
Axial length	490
Air gap	2

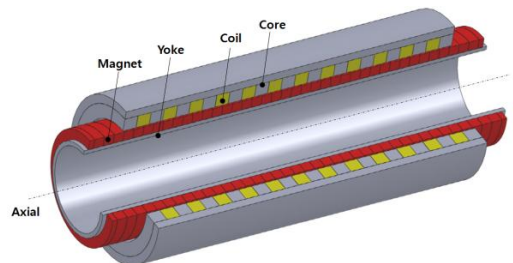


Fig. 1 Tubular permanent magnet actuator

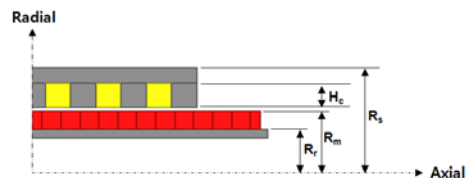


Fig. 2 2-D electromagnetic model

† 박노철; 연세대학교 기계공학과

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4530

* 연세대학교 기계공학과

** 한국철도기술연구원

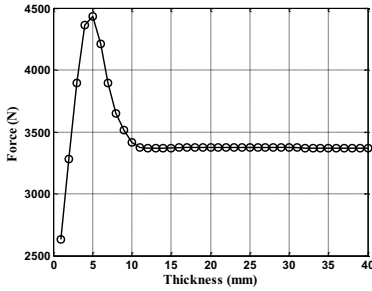


Fig. 3 Thrust force versus core thickness

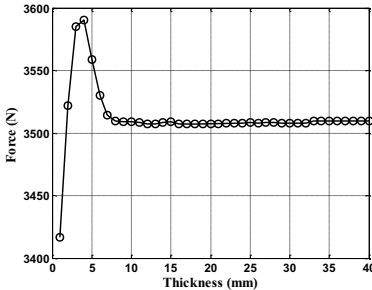


Fig. 4 Thrust force versus yoke thickness

2.2 자기 포화 현상

자기 포화 현상은 강자성체 코어와 요크가 갖는 자기 이력 곡선으로 인한 고유한 특성으로 제한된 영역에서 높은 추력 밀도를 확보하기 위해서는 반드시 고려되어야 한다.

자기 포화가 추력에 미치는 영향을 평가하기 위하여 코어의 두께를 1mm 에서 40mm 까지 증가시켜 가면서 추력 특성의 변화를 살펴보았다. Fig. 3 에서 보듯이 두께를 점점 증가시킬수록 초기에는 선형적으로 추력이 증가하다 5mm 두께 이상에서는 추력이 현저하게 저하되는 것을 확인할 수 있으며, 최종적으로 일정한 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이는, 코어두께를 두껍게 하는 것은 오히려 코어 내의 자기장을 분산시켜 누설 자속의 양이 증가되어 추력을 저하시키는 요소로 작용한다는 것을 보여준다. Fig. 4 에서 역시 요크의 두께가 5mm 이상에서는 자석에서 발생하는 자기장을 오히려 분산시켜 추력을 감소시키는 것으로 확인하였다. 즉, 적합한 두께의 코어와 요크를 설계하여야 무게나 크기 측면에서 보다 효율적인 설계가 가능하다는 것을 알 수 있다.

2.3 열 특성

전자기 액추에이터에서의 추력 성능을 입력 전류에 비례하여 증가하지만 이러한 입력 전류는 열 특성에 의해 제한된다. 그렇기 때문에, 전자기 성능뿐만 아니라 열 성능의 향상은 액추에이터의 구동 성능을 좌우하는 중요한 지표가 된다.

Table 2 thermal properties

	Conductivity (W/m-k)	Specific heat (J/kg-k)	Density (Kg/m ³)
Copper	400	385	8933
Silicon steel	51.9	446	7650
Aluminum	210	900	2700
Steel dummy	49.8	486	7850

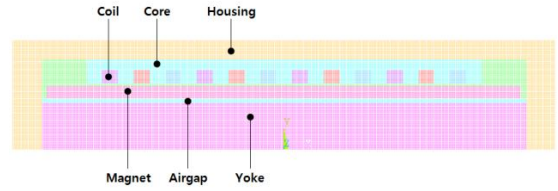


Fig. 5 Thermal model

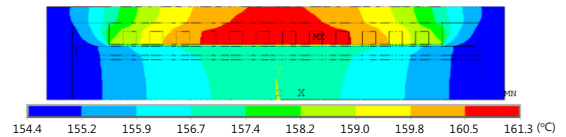


Fig. 6 Temperature distribution

정밀한 해석을 수행하기 위하여 2D 전자기-열 연성해석을 모델을 설계하였으며, 보다 강건한 열 성능을 확보하기 위해서 정격전류 하에서 외부의 유동이 없는 자연대류를 조건으로 해석을 수행하였다. 허용 가능한 최대 온도는 180°C 이며, 이동자와 고정자의 내부 및 외부로 전달되는 열을 모두 고려하였다. Fig. 5 는 해석 모델을 보여주며, Table 2 는 열 해석 사용한 재료들의 물성치를 보여준다. Fig. 6 의 해석 결과에서 보듯이 외부유동이 없는 상태에서도 최대온도 161°C 로 충분히 24 시간 이상 동작이 가능한 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본문에서는 9 극 12 슬롯을 갖는 원통형 전자기 액추에이터의 설계를 제안하였고, 자기 포화 현상과 열 특성을 고려한 설계 방법을 제안하였다.

4. 참고 문헌

- [1] Prakashraj Kasinathan, Anders Graueres, Essam S. Hamdi " Force Density Limits in Low-Speed Permanent-Magnet Machines Due to Saturation" IEEE Trans. Energy Conv., vol. 20, no. 3, March 2005
- [2] 임재경, 우정현, 박영필, 박경수, 박노철, 백윤수, 유원희 2010, " 철도 차량용 원통형 선형 구동기의 설계" 한국소음진동공학회 2009 년 추계학술대회 논문집