

수냉 시스템을 고려한 원통형 전자기식 액추에이터의 열특성 분석

Analysis of thermal characteristic of a tubular permanent magnet actuator considering water cooling system

유다영* · 우정현* · 박영필* · 박노철† · 박경수* · 백운수* · 최종현* · 유원희**

Dayoung Yoo, Jung-Hyun Woo, Young-Pil Park, No-Cheol Park, Kyoung-Su Park, Yoon Su Baek, Jong Hyun Choi, Won Hee You

1. 서 론

원통형 전자기식 액추에이터는 높은 추력 밀도, 빠른 응답 속도, 넓은 대역폭의 성능을 기반으로 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다. 하지만 이러한 전자기식 액추에이터는 발열로 인하여 감자현상이 유발되고 코일의 임계 온도라는 열적 특성에 제약이 발생하게 된다. 따라서 원통형 전자기식 액추에이터의 발열을 감소시키기 위해 공냉식과 수냉식등 다양한 냉각 방법에 대한 연구가 진행되어 왔다. 공냉식 냉각 시스템은 별도의 부가 장치 없이 냉각이 가능하지만, 이에 따른 효과가 제한적이다. 반면, 수냉식 냉각 시스템은 이를 구동하기 위한 펌프 등 별도의 동력원과 장치가 필요하게 되지만, 한정적인 설계 범위 내에서 냉각 효과를 높일 수 있는 장점을 가지고 있다.^{(1),(2)}

본 연구에서는 액추에이터의 발열을 감소시키기 위해 수냉 시스템을 제안하였고, 이에 대한 열 특성을 분석하기 위해 우정현등이 설계한 액추에이터를⁽²⁾ 이용하여 전자기-열 연성 해석을 위한 유한 요소 해석 모델을 구축하고 실험을 통해 수냉 시스템의 냉각 효과를 검증하였다.

2. 본 론

2.1 유한 요소 해석 모델

전체적인 유한 요소 해석 모델의 구성은 Fig.1과 같다. 해석 단축을 위해 전체 모델의 1/6로 모델링하여 해석을 진행하였고 K타입의 열전대를 사용하

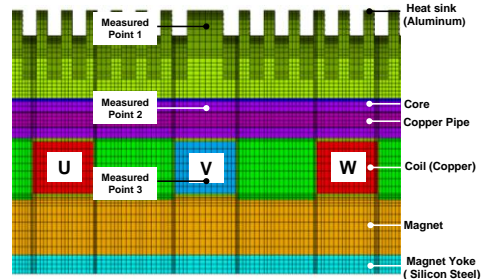


Figure 1 Finite element model

여 V코일, V코어, 히트싱크 총 세 지점의 온도를 측정하였다. 유한 요소 해석 모델에서는 열 전도 특성에 큰 영향을 미치는 4가지 요소인 코일에서 코어로 전달되는 접촉 열 저항, 코어의 적층으로 인해 발생하는 코어의 비등방성 물성치, 코어에서 히트싱크로 전달 되는 접촉 열 저항, 마지막으로 히트싱크의 형상에 따라 변하는 자연대류의 계수가 고려되었다.

2.2 실험

(1) 자연 대류 실험

먼저, 유한 요소 해석 모델에서 고려되었던 4가지 요소에 대한 전도 특성을 알아보고 이를 유한 요소 해석시 적용하기 위한 실험을 진행하였다. 실험은 수냉 조건이 배제된 자연대류 상태에서 진행하였다. 유한 요소 해석과 실험 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Natural convection results

Current (A)	Measured Points	Experimental Results (°C)	Simulation Results (°C)	Error (%)
37.9	V coil	76.9	76.42	-0.62
	V core	70.0	68.86	1.63
	Heat sink	67.2	66.34	1.28

† 교신저자; 정회원, 연세대학교 기계공학과

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4530

* 연세대학교 기계공학과

** 한국철도기술연구원

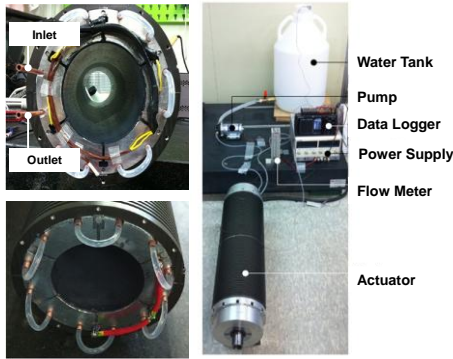


Figure 2 Experimental setup

Table 3 Experimental conditions

Current (A)	Room Temp. (°C)	Flow Rate (L/min)	Inlet Water Temp. (°C)	Outlet Water Temp. (°C)
62	16.7	0.85	9.3	20.3
79	22.5	0.85	8.6	27.3
91.7	19.3	0.85	10.5	34.3
103.3	22.5	0.85	7.9	44.2

(2) 수냉 시스템 실험

수냉 시스템 실험 셋업은 Fig.2와 같다. 냉각수는 총 12개의 동관을 통해 지그재그로 순환하여 액추에이터의 열을 방출시키며, 코일에서 극대화 되는 열을 효과적으로 방출시키기 위하여 코일에서 가까운 코어에 구리관을 배치하였다. 실험이 진행되는 동안 유속과 냉각수의 입구 온도는 8°C-10°C로 유지되었다. 각 전류별 실험 조건은 Table 3과 같다.

실제 모든 경우의 실험을 통해 인가되는 직류전원은 $V=2U=2W$ 형태이기 때문에 V상에서 최대 온도가 발생하게 되며 실험에서 액추에이터의 최대 허용 온도를 130°C로 설정하였으며, 실험은 온도가 충분히 포화될 때 까지 수행하였다.

2.3 열 특성 분석

액추에이터의 열 특성 분석을 위해서 다양한 조건의 전류에 대해서 실험과 유한 요소 해석을 진행하였다. 각 전류의 실험 결과와 유한 요소 해석 결과는 Fig.3에서 볼 수 있다. 실험과 유한 요소 해석 결과를 통해 코일에서 발생된 열은 코어와 히트싱크 순서로 전도 되어 열이 방출 됨을 확인 할 수 있다. 실험 결과와 유한 요소 해석은 모든 열 측정 지점에서 $\pm 5^\circ\text{C}$ 의 오차를 가지고 있음을 통해 유한요소 해석 모델에 대한 신뢰성을 검증하였다.

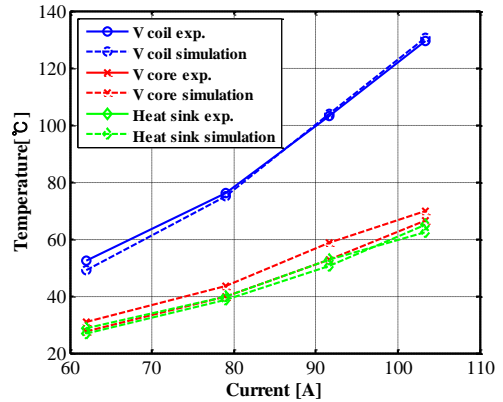


Figure 3 Temperatures according to current

실험과 유한 요소 해석에 사용된 원통형 전자기식 액추에이터는 46A의 정격 전류 값을 가지고 있다.⁽²⁾ 하지만 수냉 시스템을 통해 액추에이터의 열이 방출 되어, 정격 전류에 2.2배에 해당하는 103A의 전류가 인가 되어 이 배율 만큼의 추력을 발생시킬 수 있음을 확인하였다. 또한, 이 경우에도 액추에이터의 최대 허용 온도인 130°C의 온도를 넘지 않는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 액추에이터의 발열을 감소시키기 위해 수냉 시스템을 제안하였고, 이를 유한 요소 해석과 실험을 통해 정격 추력의 2.2배에 해당하는 성능을 확인함으로써 수냉 시스템에 대한 효과를 검증하였다.

4. 참고문헌

[1] Lezhi Ye, Desheng Li, Yuanjing Ma and Bingfeng Jiao, 2011, "Design and Performance of a Water-cooled Permanent Magnet Retarder for Heavy Vehicles", IEEE TRANS. ON ENERGY CONVERS., Vol.26, No.3, pp.953-pp.958

[2] 윤준호, 우정현, 박영필, 박노철, 박경수, 백윤수, 유원희, 2011, "능동현가시스템을 위한 원통형 전자기식 액추에이터의 설계" 한국소음진동공학회 2011년 추계학술대회 논문집