

Middle stroke에서 흡입력 향상을 위한 선형 액추에이터의 설계

한동기*, 장정환*
 동아대학교*

Linear actuator design for high attraction force at middle stroke

Dong-Ki Han*, Jung-Hwan Chang*
 Dong-A University*

Abstract - 본 논문에서는 COL, MPS타입의 선형 액추에이터에서 middle stroke의 흡입력 향상을 위해 고정부에 돌극을 추가하는 모델을 제시하였다. 기존 모델과 비교하여 제안된 모델의 효과를 검증 하였으며 middle stroke에서 더 큰 힘을 얻기 위해 주효과분석과 반응표면법(RSM)을 이용하여 돌극 형상의 최적설계를 수행하였다.

1. 서 론

현재 많은 산업분야에서는 대부분 유압 또는 공압을 이용한 액추에이터가 주로 사용된다. 그러나 유압과 공압 액추에이터는 직접적인 제어가 어렵고, 시스템의 응답속도가 다소 느린 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 전동력을 이용한 액추에이터 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 솔레노이드 액추에이터 구조를 개선하여 공극이 작은 경우 큰 힘을 얻기 위해 다극 솔레노이드(multipolar solenoid, MPS)타입과 콜레노이드(colenoid, COL)타입이 제안되었다.[1] 하지만 위와 같은 형태는 일반적으로 공극이 1mm 이하에서 큰 힘을 출력하지만 공극이 증가할수록 힘이 급격하게 감소하는 경향이 있다. 그러므로 다양한 응용분야에서 전동력을 이용한 선형 액추에이터를 활용하기 힘든 면이 존재하며 이러한 단점을 보완하기 위해 고정부 극에 돌극 형상을 추가하는 설계방법이 제안되었다.[2]

본 논문에서는 middle stroke에서 흡입력 향상을 위하여 돌극 형상이 추가된 COL, MPS타입의 선형 액추에이터 모델을 제시하였다. 또한 공극이 3mm일 경우 선형 액추에이터의 흡입력을 증가시키기 위해 주효과분석과 반응표면법(RSM)을 이용하여 돌극 형상의 최적설계를 실시하였다.

2. 본 론

2.1 선형 액추에이터 해석모델

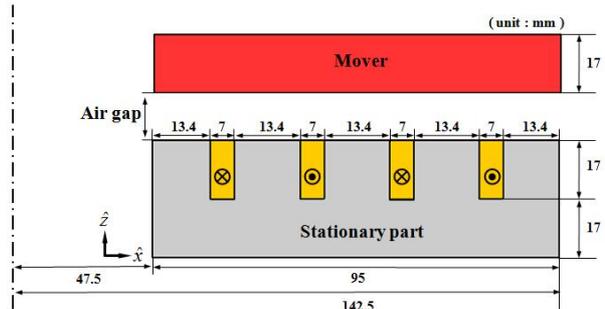
그림 1은 COL 타입의 선형 액추에이터의 축 대칭 단면도이다. 고정부는 극과 슬롯으로 구성되어 있으며 각 슬롯에는 코일이 감겨있다. 전류의 방향이 서로 교번하면 COL타입, 서로 동일할 경우 MPS타입의 선형 액추에이터로 정의된다. 그림 2는 기존모델과 제안된 모델의 단면도이며 제안된 모델은 기존모델 고정부에 돌극 형상이 추가된 형태이다. 또한 선형 액추에이터의 해석을 위해 주요치수는 표 1에 제시하였다.

2.2 기존모델 및 제안된 돌극모델의 유한요소해석

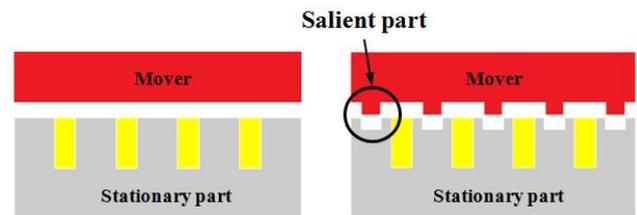
그림 3은 기존모델과 제안된 돌극모델의 공극에 따른 흡입력 변화를 나타낸 것이다. COL타입은 공극이 0.5mm이하, MPS 타입은 3.5mm이하에서 돌극모델 보다 기존모델이 더 큰 흡입력을 출력하지만 공극의 증가에 따라 돌극모델의 흡입력이 기존모델보다 더 크게 된다. 또한 middle stroke에서 큰 흡입력을 얻기 위하여 돌극의 높이와 폭을 결정하는 것이 중요하다. 이를 결정하기 위해서 주효과분석과 반응표면법(RSM)을 사용하여 최적설계를 실시하였다.[3]

2.3 최적설계를 위한 목적함수 및 설계변수 선정

본 논문에서는 COL, MPS타입의 선형 액추에이터가 공극 3mm에서 향상된 흡입력을 얻기 위해 돌극 형상의 최적설계를 실시한다. 따라서 목적함수는 공극이 3mm 일 때 흡입력이 최대가 되도록 설정하며 돌극의 중요치수인 높이와 폭을 설계변수로 선정하였다. 그림 4는 돌극의 형상과 설계변수를 나타낸 것이며 x축방향의 공극은 0.3mm로 고정하였다. 표 2는 돌극 형상의 최적설계를 위한 목적함수와 설계변수의 범위를 나타낸다.



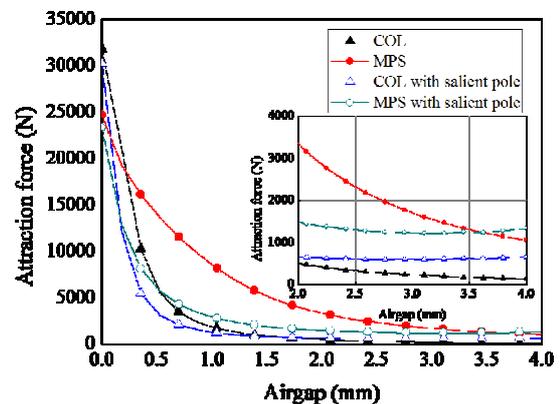
〈그림 1〉 선형 액추에이터 축 대칭 단면도



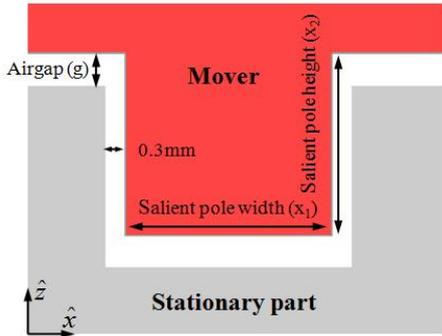
〈그림 2〉 기본모델과 돌극모델 단면도

〈표 1〉 선형 액추에이터 재원

변수	값
내경 (mm)	47.5
외경 (mm)	142.5
높이 (mm)	51
MMF (AT)	600
초기 돌극 높이(mm)	7
초기 돌극 폭(mm)	7



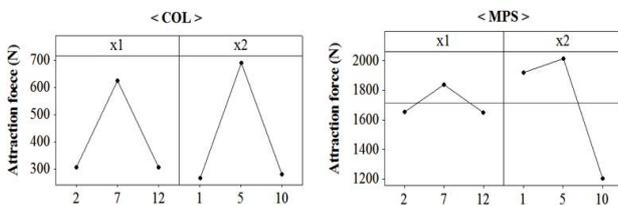
〈그림 3〉 기존모델과 제안된 돌극모델의 공극에 따른 흡입력 변화



<그림 4> 돌극형상 및 설계변수

<표 2> 목적함수와 설계변수 범위

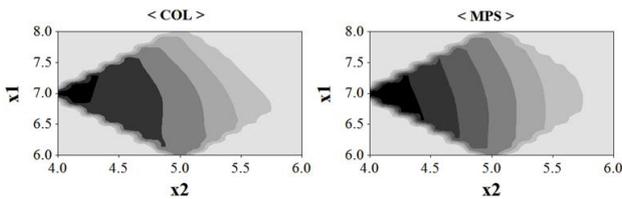
목적함수	Maximum attraction force @ 3mm (N)
설계변수 범위(mm)	$2 \leq x_1 \leq 12$ $1 \leq x_2 \leq 10$



<그림 5> COL, MPS타입의 주효과분석

<표 3> 중심합성계획법의 설계변수 수준

	- α	-1	0	1	+ α
x_1 (mm)	6	6.5	7	7.5	8
x_2 (mm)	4	4.5	5	5.5	6



<그림 6> COL, MPS타입의 반응표면모델 등고선 그래프

2.4 주효과분석

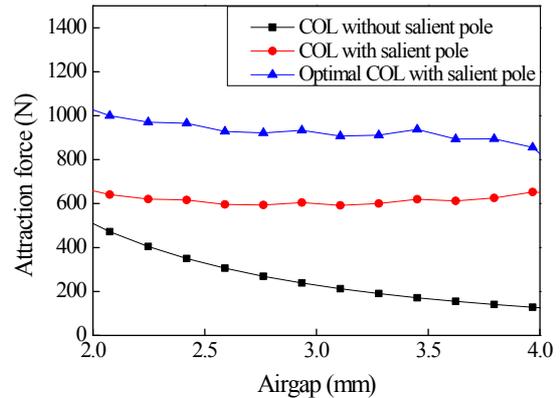
설계변수 범위의 수준이 변할 때 반응에 영향을 주는 정도를 알기 위해 주효과분석을 실시하였다. 그림 5는 설계변수를 3수준으로 선정하여 COL과 MPS타입을 각각 분석하였다. 두 타입 모두 동일하게 $x_1=7$, $x_2=5$ 에서 가장 큰 흡입력을 가진다.

2.5 반응표면법

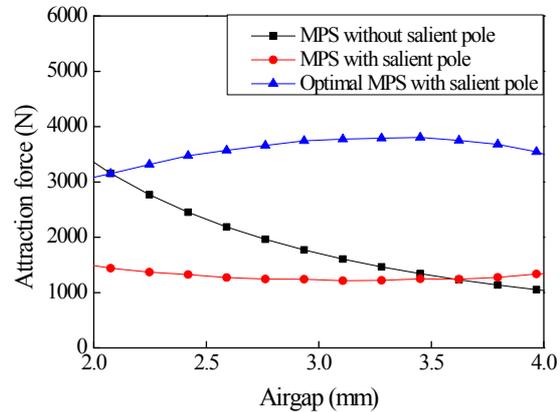
반응표면법(RSM)은 설계변수와 반응변수의 실험적 관계를 수학적식으로 표현하기 위해 해석을 통해 얻은 값들로부터 근사적 반응표면모델을 만들어내는 통계적 기법이다. 본 논문에서 추정된 근사함수의 정도를 확인하기 위해 중심합성계획법(CCD)을 활용하였다. 이 방법은 기존의 비선형적인 변화를 감지할 수 없는 2^{요인}배치법의 단점을 보완하기 위해 기존의 2^{요인}배치법에 중심점(0,0)과 축점(- α , + α)를 추가시킨 실험계획법이며 표 3과 같이 중심합성계획법의 설계변수 수준을 선정하며 이 경우 중심점은 주효과분석을 통하여 얻은 설계변수 $x_1=7$, $x_2=5$ 로 선정하였다. 설계변수 수준에 따른 선형 액추에이터의 흡입력은 유한요소해석을 통해 얻으며 이를 바탕으로 반응표면모델을 만들 경우 그림 6과 같이 2차원 등고선 그래프로 나타낼 수 있다. COL, MPS타입 모두 $x_1=7$, $x_2=4$ 에서 흡입력이 가장 크며 이는 최적돌극모델의 치수로 볼 수 있다.

<표 4> 초기돌극 및 최적돌극의 치수비교

설계변수	x_1 (mm)	x_2 (mm)
초기돌극모델	7	7
최적돌극모델	7	4



<그림 7> COL타입 선형 액추에이터의 각 모델별 흡입력



<그림 8> MPS타입 선형 액추에이터의 각 모델별 흡입력

2.6 설계변수에 따른 흡입력 변화

RSM을 활용하여 최적돌극모델의 형상을 결정하였으며 초기돌극모델과 비교하여 결정된 최적 돌극 형상의 치수는 표 4와 같다. 그림 7과 8은 middle stroke에서 COL, MPS타입의 선형 액추에이터가 발생하는 흡입력을 모델별로 비교한 것이다. 공극 3mm에서 COL타입은 초기돌극모델 보다 흡입력이 154% 증가하였으며 MPS타입은 311% 증가하였다.

3. 결 론

본 논문은 COL, MPS타입의 선형 액추에이터가 middle stroke에서 흡입력 증가를 위해 고정부에 돌극을 추가한 모델을 제시하였다. 초기돌극모델의 COL타입은 공극이 0.5mm이하, MPS 타입은 3.5mm이하에서 기존모델보다 작은 흡입력을 발생하지만 공극이 증가함에 따라 더 큰 흡입력을 얻을 수 있다. 또한 공극 3mm에서 흡입력을 상승시키기 위해 주효과분석과 반응표면법(RSM)을 이용하여 최적설계를 하였으며 그 결과 COL타입은 초기돌극모델보다 흡입력이 154% 증가하였으며 MPS타입은 311% 증가하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. Mutai and K. Yamasawa, "Fundamental Operations of a Multipolar Disk-Solenoid", IEEE Trns. on Magnetics, Vol. 31, No. 4, pp. 2445~2449, 1995
- [2] S. Gibson, G. W. Jewell, and R. E. Clark, "Variable-airgap, cylindrical, linear variable reluctance actuators for high-force, medium-stroke applications", IET Elect. Power Appl., Vol. 3, No. 4, pp. 352-362, Jul, 2009
- [3] Tae-Woo Kim and Jung-Hwan Chang, "Optimal Design of Electromagnetic Actuator with Divided Coil Excitation to Increase Clamping Force", ICEMS., pp. 1461~1464, 2013