

# 볼베어링을 사용한 선형 구동기에 대한 연구

## Study on linear actuator with ball-bearing

김영준\* · 송명규\* · 윤준호\*\* · 박노철† · 박경수\*\* · 박영필\*\*

Young-Jun Kim, Myeong-Gyu Song, Jun-ho Yoon, No-Cheol Park, Kyoung-Su Park, and Young-Pil Park

### 1. 서론

볼베어링을 사용한 음성코일 방식의 선형구동기는 비교적 저렴한 가격과 우수한 성능을 가져 소형 가전기기에 적합하다.[1] 이러한 액추에이터는 구동력과 자석-요크 사이의 인력, 자기 스프링을 동시에 최적화해야 하는 다목적 최적화 문제이기 때문에 장시간 해석이 수행되어야 한다. Chi-Wei Chiu 등은 등가 자기회로 모델링을 통해 전자기해석을 대체하고, 유전알고리즘을 통해 최적화 문제를 해결하였다.[2] 하지만, 등가 자기회로 모델은 누설자속에 대한 상당한 오차를 지니고 있어 일반적으로 사용하기에는 문제가 있다.

본 논문에서는 단순한 자기회로 모델과 유한요소법 방식의 전자기해석을 혼합하여 사용하는 해석방법을 제안한다. 두 가지 해석방법의 혼성사용으로 각각의 장점인 빠른 속도와 우수한 정밀도를 모두 살릴 수 있다. 볼베어링 방식의 선형구동기를 응용예제로 하여 전체적인 해석의 중심으로 자기회로를 모델링 하였다. 그리고 유한요소법은 자기회로 모델의 오차를 보정하는 수단으로 활용된다. 이러한 방법을 검증하기 위해 설계 영역에 대해서 실험계획법을 수행하였고, 각 해석방법을 최종적으로 비교하여, 이를 바탕으로 유한요소법과 자기회로 모델의 혼성 사용 해석방법의 유용성을 타진할 수 있었다.

### 2. 본론

#### 2.1 절 볼베어링 타입 선형 액추에이터

볼베어링 타입 액추에이터는 기존 액추에이터 보다 마찰을 절감하기 위해 개발되었다. Fig. 1. 에서 볼 수 있듯이, 볼베어링은 가동부와 고정부의 사이에 위치하며 마찰면적을 줄여 구동력과 마찰을 개선

하였다.[1] 그리고 설계 시 볼베어링을 고정하는 장치를 제외함으로써 볼베어링 타입 선형 액추에이터의 구조를 단순화 시켰다. 이런 구조의 볼베어링 타입 액추에이터는 가동부와 고정부 간의 인력을 통하여 볼베어링을 고정 하여야 하는 문제가 있다. 볼베어링에 과도한 인력이 작용하게 되면 오히려 볼베어링의 마찰을 증가시키고, 마모를 촉진 시킬 수 있다. 이에 볼베어링이 이탈하는 않는 최소한의 인력을 산출하여 설계 시 고려하여야 한다.

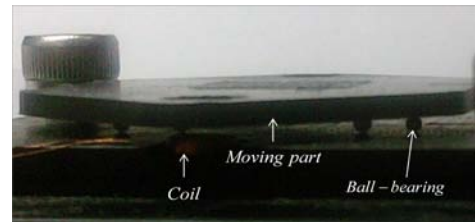


Fig. 1. Actuator with ball-bearing

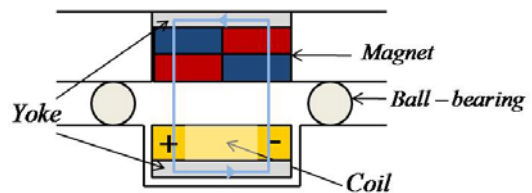
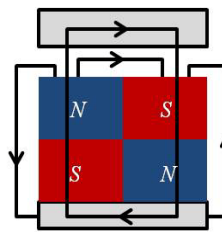


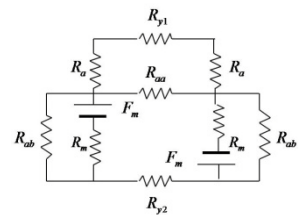
Fig. 2. Cross section of Actuator

### 2. 본론

#### 2.2 절 자기회로



a) Magnetic Flux



b) Magnetic Circuit

Fig. 3. Mechanism of Magnetic Circuit

† 교신저자; 정회원, 연세대학교 기계공학과  
E-mail : pnch@yonsei.ac.kr  
Tel : (02)2123-4530, Fax : (02)365-8460  
\* 연세대학교 정보저장기기연구센터  
\*\* 연세대학교 기계공학과

Fig. 3.은 볼베어링 타입 선형 액추에이터의 자속을 간략하게 표현한 그림이다. 이에 Fig. 3. a. 을 Fig. 3. b. 같은 자기회로로 모델링 하였다. 모델링 된 자기회로를 기반으로 자기저항은 식(1)로 부터 정의된다.

$$R_i = \frac{l_i}{A_i \mu_i} \quad (1)$$

식(1) 에서 볼 수 있듯이 자기저항은 자기회로의 물성치( $\mu_i$ )와 자속이 지나는 면적( $A_i$ ), 그리고 자석의 높이( $l_i$ ) 간의 조합으로 산출된다.

$$F_m = H_c l_m \quad (2)$$

$$F_m = \Phi R \quad (3)$$

식(3)의 자속( $\Phi$ )을 구하기 위해서는 기자력( $F_m$ ) 식(2)로부터 정의 되어야 한다. 기자력은 자기회로에서 자속을 발생시키는 힘이고 보자력은 자화된 자성체에 역방향의 자기장을 걸어 자화도를 0으로 만드는 자기장의 세기이다. 이에 기자력은 보자력과 자석의 높이( $l$ ) 관계로 산출된다. 그리고 식(1)을 통하여 구한 자기저항과 기자력의 조합으로 자속을 구하여, 최종적으로 구동력을 구하였다.

### 3. 유한요소해석법과 자기회로법 비교

위의 식들을 통하여 구한 구동력과 유한요소법을 통하여 산출된 구동력을 비교하고, 구동력 오차를 산출하였다. 구동력 오차는 식(4)로 부터 정의 된다. 그리고 Table1(1)의 변수들을 통하여 실험계획법(DOE)를 수행하고, 오차에 대한 각 변수간의 영향을 확인하였다.

$$\frac{\text{구동력}_{\text{by magnetic circuit}} - \text{구동력}_{\text{by FEM}}}{\text{구동력}_{\text{by FEM}}} = \text{error} \quad (4)$$

Table1 (1) Variable of Actuator

Variables	Range of Level			
	3mm	4mm	5mm	
a	3mm	4mm	5mm	
b	5mm	6mm	7mm	
l	0.4mm	0.6mm	0.8mm	
t	0.3mm	0.8mm	1.3mm	1.8mm

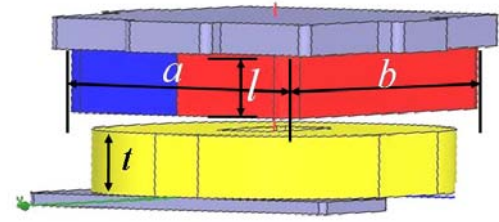


Fig. 4. Variables of Actuator

Main Effects Plot - Data Means for Fd Error

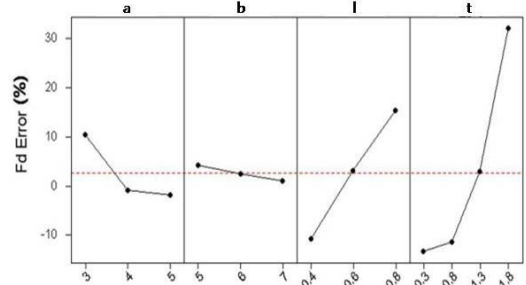


Fig. 5. Main Effects Plot with each variables

Fig. 5. 각 변수들과 구동력 오차 간의 영향을 보여준다. 구동력 오차는 b에 대하여 큰 영향을 받지 않지만, a, l 그리고 t에 대하여 상당한 영향을 받는다.

### 4. 결론

본 연구에서는 제안된 자기회로와 유한요소법의 혼성사용에 대한 가능성을 타진 하였다. 그리고 각 변수들이 구동력 오차에 미치는 영향을 확인 할 수 있었다. 이는 유한요소법과 자기회로 모델의 혼성사용을 할 수 있는 기초자료가 되며, 이를 바탕으로 향후 자기회로 모델 오차 보정에 대한 구체적인 방법을 수립할 예정이다.

### 참고 문헌

(1) 손동훈, 백현우, 송명규, 박노철, 박영필, 박경수, 임수철, 박재혁, 2009, "휴대폰 카메라용 볼베어링 타입 OIS 액추에이터 개발" 한국소음진동공학회 2009년 추계학술대회 논문집, pp512~513.  
 (2) C., W., Chiu, P., C. -P., Chao., N., Y. -Y., Kao and F, K., Young., 2008, "Optimal design and experimental verification of a magnetically actuated optical image stabilization system for cameras in mobile phone," Journal of Applied Physics, 07F136