

초소형 이동 로봇을 위한 전자기를 이용한 플래핑 구동기 개발

Electromagnetic Flapping Actuator for Micro Mobile Robot

신부현* · 송창우** · 서한복** · 이상효** · 이승엽†

Bu Hyun Shin, Chang-Woo Song, Han Bok Seo, Sang-Hyo Lee and Seung-Yop Lee

1. 서 론

초소형 이동 로봇에 대해 의료용 및 산업용 그리고 군사용으로 활용하기 위해 많은 연구가 이루어져 오고 있다. 여러 가지 구동기를 활용하여 초소형 이동 로봇들이 개발되고 있다. 그러나 곤충과 같은 생물체의 근육과 같이 충분히 작으면서 충분한 힘을 갖는 구동기로서는 현재 사용되는 여러 가지 구동기는 부족한 실정이다.

압전 소자를 이용한 구동기는 작은 사이즈에 빠른 응답과 큰 힘을 갖는 장점이 있지만 구동 범위가 작고 다소 높은 전압을 요구하는 단점이 있다. 이를 사용한 초소형 다족 이동로봇들이 개발되었다.

형상기억합금 구동기는 간단한 구조로 큰 변위와 충분한 구동력을 갖는 장점이 있지만 반응 속도가 느리고 정확한 제어가 힘든 단점이 있다. 이를 이용한 자벌레 모방의 초소형 이동 로봇들이 개발되었다.

최근에는 부드러운 폴리머 구동기가 개발되고 있다. 대표적으로 IPMC(Ionic Polymer Metal Composite) 구동기가 있다. 낮은 전압에 수용액에서 큰 변위를 갖는 장점이 있으나 공기 중에서 변위가 작고 구동력이 작은 단점이 있다. 이를 이용한 물고기 모방의 초소형 이동로봇이 개발되었다.

전자기 구동기는 빠른 응답을 갖고 충분한 힘을 갖고 값 싸게 대량 생산이 가능한 장점이 있다. 자벌레 모방의 초소형 이동 로봇들이 개발되었다.

이 논문에서 전자기력을 이용한 플래핑 구동기를 개발하였다. 기존 로터리 방식으로는 초소형 로봇에

적합치 않으므로 간단한 무빙 마그넷 타입의 보이스코일 모터 형태로 개발하였다. 충분한 플래핑 주파수를 얻기 위해서 동역학 모델링과 전자기 시뮬레이션을 수행하여 성능을 예측하고 실험을 통하여 검증하였다.

2. 전자기력 구동기 설계

2.1 설계

초소형 이동 로봇을 위한 전자기력 플래핑 구동기를 설계 제작하였다. Figure 1에서 확인할 수 있다. 코일이 요크 주위로 감겨있고 자석은 플래퍼에 부착되어 있다. 자기장의 방향은 코일이 감긴 방향과 수직으로 코일의 전류의 방향에 따라 플래퍼에 작용하는 전자기력의 방향이 결정된다.

전체 크기는 $10 \times 11 \times 9$ mm 이고 전체 무게는 1.5g 이다. 자석은 희토류 자석 (ND35)이고 코일의 감은 수는 820 turn 이며 저항은 58Ω이다. 프레임과 플래퍼는 ABS 수지를 사용하여 제작하였다. 플래퍼의 이용 각도는 30deg로 제한하였다.

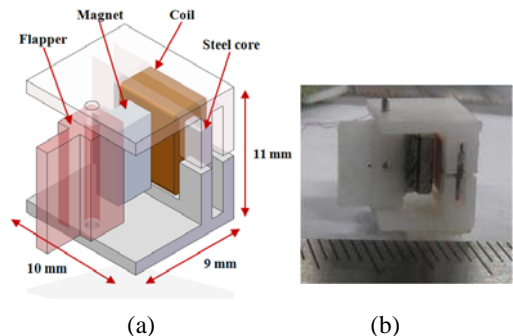


Figure 1. (a) Design (b) Prototype

† 이승엽; 정회원, 서강대학교
E-mail : sylee@sogang.ac.kr

Tel : (02) 705-8638 , Fax : (02) 712-0799

* 한밭대학교

** 서강대학교

2.1 동역학 모델링

전류가 흐르지 않는 경우에는 자석과 요크 사이의 자기력에 의해 플래퍼가 가운데에 위치하게 되는 자기력이 작용한다. 전류가 흐를 경우에는 전자기력이 작용하여 전류방향에 따라 시계방향 또는 시계 반대방향으로 플래퍼가 회전하게 된다. 동역학 모델은 기본적으로 식(1)로 표현되는 DC 모터와 같다.

$$J\ddot{\theta} + F_{magnetic} = F_{electromagnetic} \quad (1)$$

J 는 관성 모멘트이고 $\ddot{\theta}$ 는 각 가속도이다. 자기력 $F_{magnetic}$ 과 전자기력 $F_{electromagnetic}$ 은 회전각도에 대해 비선형이다. 작은 범위 내에서 선형으로 가정하면 식 (2),(3)과 같이 표현될 수 있다.

$$F_{magnetic} = K_m \theta \quad (2)$$

$$F_{electromagnetic} = K_t I \quad (3)$$

여기서 θ 는 회전 각도이고 K_m 는 스프링 상수와 같은 복원력 상수이고 K_t 는 모터 상수이고 I 는 전류이다. 코일의 인덕터 성분을 무시한 전기 회로는 식(4)로 표현된다.

$$V = RI + K_e \dot{\theta} \quad (4)$$

여기서 V 는 전압이고 R 는 저항이고 $\dot{\theta}$ 는 각속도이고 K_e 는 역기전력 상수로 DC모터의 경우 모터 상수와 같다.

최종적으로 입력 전압에 대한 회전각도의 2차 선형 시스템을 식(5)와 같이 얻을 수 있다.

$$\frac{\Theta}{V} = \frac{1}{\frac{JR}{R}s^2 + K_e s + \frac{K_m R}{K_t}} \quad (5)$$

Table 1에서 각 상수들의 값을 확인 할 수 있다.

Table 1 Parameters

Parameter		Value
Inertia	measured	$3.3 \times 10^{-9} \text{Kg/m}^2$
Resister	measured	58Ω
Torque constant	measured	$5.68 \times 10^{-3} \text{Nm}$
	simulated	$4.15 \times 10^{-3} \text{Nm}$
Reinstating constant	measured	$0.59 \times 10^{-3} \text{Nm}$
	simulated	$0.57 \times 10^{-3} \text{Nm}$

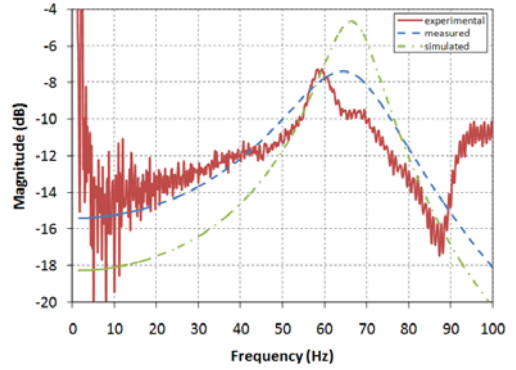


Figure 2 Dynamic response result

3. 실험

로드셀을 이용하여 자기력 및 전자기력을 측정하였다. 그리고 레이저 변위 센서를 이용하여 플래터의 각도를 측정하였다. Op-Amp를 이용하여 구동회로를 제작하여 Open-loop로 구동하였다.

동적 응답 결과를 figure 2에서 확인할 수 있다. 동적 모델링을 통한 공진 주파수는 65Hz이고 실험을 통해 측정된 공진 주파수는 60Hz이다. 동적 모델링을 통한 bandwidth는 100Hz이고 실험을 통해 측정된 bandwidth는 85Hz이다. 곤충의 날개 짓 주파수가 30Hz 정도이므로 초소형 이동로봇의 플래핑 구동기로서 충분한 동적 응답을 가지고 있음을 확인하였다.

4. 결론

초소형 이동 로봇을 위한 전자기력을 이용한 플래핑 구동기를 개발하였다. 동역학 모델링을 수행하여 성능을 예측하였고 시작품을 제작하여 실험을 통하여 성능을 검증하였다. 초소형 이동 로봇에 이용할 수 있을 만큼 충분한 동적 성능을 확인하였다.

후 기

이 연구는 교육 과학 기술부의 연구 재단의 지원으로 수행되었습니다.(Grant No. 2010-0014728).