

# 솔레노이드를 이용한 생체 모방형 인치웜 로봇 개발

## Development of Bio-inspired Inchworm Robot using Segmented Solenoids.

최승욱\* · 신부현\*\* · 방영봉\*\*\* · 이승엽†

Seung-Wook Choi, Bu-Hyun Shin, Young-Bong Bang and Seung-Yop Lee

### 1. 서론

최근 의료용 혹은 산업용 마이크로 로봇에 관련된 연구가 많이 진행되어 왔다. 많은 연구자들은 생물의 움직임을 모사한 생체 모방형 마이크로 로봇을 개발해왔다. 대표적인 것이 인치웜 방식 로봇이다. 이 마이크로 로봇에 구동하기 위해 다양한 구동기들을 적용하려는 시도들이 있었다. 대표적으로 PZT[1], 형상기억합금[2], 전자기 액츄에이터[3,4] 등을 들 수 있다. PZT는 응답이 빠르고 이동속도는 빠르지만 고전압이 필요하고 형상기억합금은 구조가 간단하지만 응답이 느리고 이동속도도 느린 단점이 있었다. 이 연구에서 우리는 양방향 구동이 가능하며 단순한 형태의 마이크로 로봇을 제안하였다. 충분한 구동력을 갖도록 설계하기 위하여 FEM 과 실험을 병행하였다.

### 2. 이론

#### 2.1 이동원리

Fig.1은 네 개의 이동 스텝을 보여주는데, 1번 스텝에서는 척력에 의해 첫 번째 몸체가 이동하고, 2번과 3번 스텝에서는 인력과 척력에 의해 2번 3번 몸체가 이동하며, 4번째 스텝에서는 인력에 의해 마지막 몸체가 이동하면서 1회의 행정이 마무리 된다.

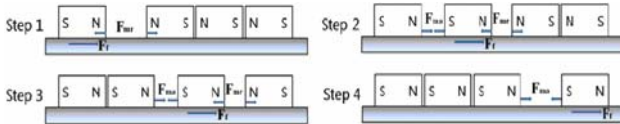


Fig.1 Driving principle of segmented solenoids

#### 2.2 동적 모델

† 이승엽; 서강대학교 기계공학과  
E-mail : sylee@sogang.ac.kr  
Tel : (02) 705-8638, Fax : (02) 712-0799

\* 서강대학교 기계공학과 대학원

\*\* 서강대학교 기계공학과

\*\*\* 서울대학교 융합기술원

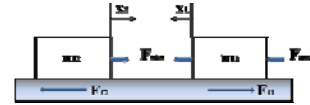


Fig.2 Free body diagram

Fig.2와 같은 자유물체도에서 운동방정식은 다음과 같다.

$$m_1 \ddot{x}_1 = F_{ma} + F_{mr} - F_{f1}, \quad m_2 \ddot{x}_2 = F_{ma} - F_{f2}$$

여기서  $F_{ma}$ 와  $F_{mr}$ 은 각각 인력과 척력이다. 한편 스텝의 마지막에 운동량의 일부는 충격량으로 전환된다. 완전 비탄성 충돌이라 가정하면 충돌 후의 속도는 다음과 같다.

$$v_0 = \frac{m_1 \dot{x}_1 - m_2 \dot{x}_2}{m_1 + m_2}$$

### 3. 시뮬레이션

로봇을 효과적으로 구동하기 위한 힘은 입력전류에 의해 결정된다. 이 로봇의 솔레노이드는 자기회로가 형성되지 않기 때문에 이론적인 자기장 해석이 불가능하고 따라서 유한요소해석을 이용하게 되었다. 해석은 Ansys 11을 통해 2차원 축대칭 모델이 적용되었다. 유한요소법을 이용한 결과, 각종 설계 변수들을 결정할 수 있었다. Fig.3은 FEM으로부터 얻은 자기장도 분포를 보여준다. 시뮬레이션 결과를 바탕으로 치수, 재질 등을 결정하여 Fig.4와 같은 프로토타입을 설계하였다.

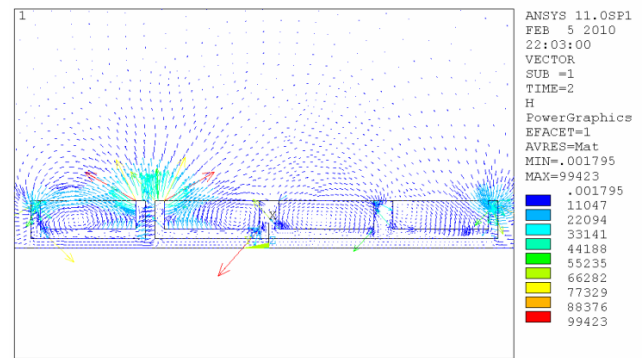


Fig.3 FEA results for magnetic field intensity at step 1 (Unit is in T)

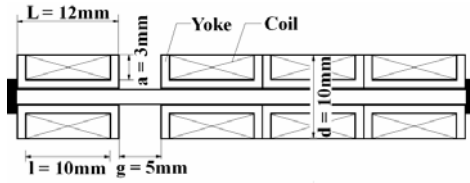


Fig. 4 Schematic drawing of the robot locomotion.

#### 4. 실험결과

구동을 위해서는 N극과 S극을 바꾸어 줄 수 있는 제어기가 필요했다. 마이크로프로세서 8051 와 Op Amp L272 를 조합하여 입력신호를 펄스형태로 넣어줄 수 있는 제어회로를 구성하였다. 로봇에 Fig.5 와 같은 입력 신호를 주었고 움직임의 측정은 레이저 변위 센서(Keyence™ LB 081)를 이용하여 로봇의 변위를 측정하였다. 변위 측정 시 두 가지 다른 조건의 마찰계수를 선택하였다. 하나는 셀로판 테잎( $\mu_k=0.35$ )이었고, 다른 하나는 천으로 된 마우스 패드( $\mu_k=0.75$ )였다. 또한 회로에 인가하는 전압의 크기를 5V와 7V로 변화시켜 보았다. Fig.6 은 회로에 5V의 전압을 인가하고  $\mu_k=0.75$  일 때의 로봇의 움직임을 보여준다. Table1 과 같이 마찰계수가 증가하면 후퇴하는 움직임이 줄어들기 때문에 전체적으로 평균 이동속도가 증가함을 알 수 있다.

Table1 Average Traveling Speed

Voltage on circuit	5V		7V	
	$\mu_k=0.35$	$\mu_k=0.75$	$\mu_k=0.35$	$\mu_k=0.75$
Average Traveling Speed	0.72mm/s	2.09mm/s	2.92mm/s	7.83mm/s

#### 5. 결론

동적모델을 분석하고 유한요소해석과 실험을 병행하여 4 개의 몸체를 가진 인치웜 로봇을 개발하여 구동하였다. 우리가 개발한 생체 모방형 로봇은 다른 방식들과 비교할 때 비교적 간단한 구조에 빠른 응답성을 갖고 빠른 이동속도가 가능하며 입력 전류 방향을 바꿔주는 것 만으로 전후 방향전환이 자유롭다는 점에서 장점을 갖는다. 마찰력에 따라 구동력을 적절하게 변동시키면 뒤로 후퇴하는 움직임을 크게 줄일 수 있다. 현재는 중간 값인 마찰계수 0.5 에 맞추어 구동하였으나 이후에는 마찰력에 따라 적절하게 입력 전류를 선정하여 이동 성능을 향상시키고 또한 마찰력에 따라서 최적 이동 성능을 가질 수 있도록 전류의 크기를 원하는 대로 바꿀 수 있는

제어기를 구성하여 성능을 개선할 계획 중에 있다.

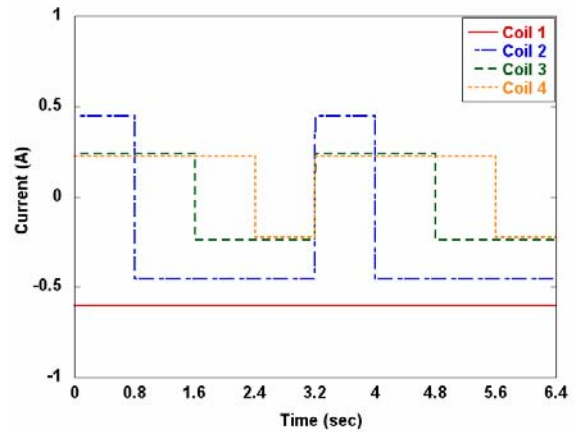


Fig. 5 Input signal when 5V applied to control circuit.

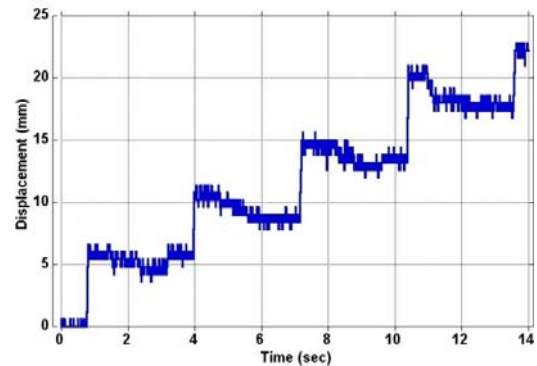


Fig. 6 Displacement when  $\mu_k=0.75$ , 5V is applied on control circuit

#### 후 기

본 연구는 한국연구재단의 기초과학연구사업(2009-0077354)의 지원으로 이루어졌습니다.

#### 참고문헌

- [1] T. Idogaki, H. Kanayama and N. Ohya., 1995, "Characteristics of Piezoelectric Locomotive Mechanism for an In-Pipe Micro Inspection Machine," in Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, pp. 193-198.
- [2] Y. Lee, B. Kim, M. Lee and J. Park., 2004, "Locomotive Mechanism Design and Fabrication of Biomimetic Micro Robot Using Shape Memory," in Proc. 2004 IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 5007-5012.
- [3] H. Min, H. Lim1 and S. Kim., 2006, "A new impact actuator using linear momentum exchange of inertia mass," J. Medical Engineering & Technology, Vol. 26, No. 6, pp. 265-269.
- [4] H. Lu and J. Zhu., 2005, "Development of a Slotless Tubular Linear Interior Permanent Magnet Micromotor for Robotic Applications," IEEE Trans. MAGNETICS, VOL. 41, NO. 10, pp. 3988-3990.