

체내 능동구동을 위한 무선제어 기술에 관한 연구

박성진 윤의성 박귀태
고려대학교 한국과학기술연구원 고려대학교

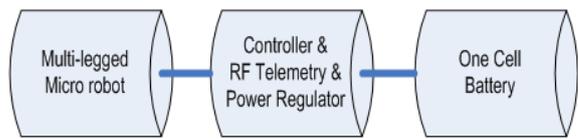
A Study on Wireless Control Technique for Active Locomotion in Gastro-Intestinal Tract

Sungjin Park Euisung Yoon Gwi-tae Park
Korea University Korea Institute of Science and Technology Korea University

Abstract - 소화기관의 질병 진단 및 질료의 목적으로 사용되어지는 기존의 일반적인 내시경은 의사의 숙련도를 요하고 환자에게 고통 및 공포감을 수반한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 캡슐형 내시경이 사용되고 있지만 소화기관의 연동운동에 의존한 내시경의 이동으로 인하여 시술 시간이 길고 지나온 기관에 대한 재검사가 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 이에 대한 대안으로 체내 능동구동이 가능한 캡슐형 내시경의 개발이 활발히 진행되어지고 있다.

본 논문은 소형 직류 전동기를 이용한 체내 능동 구동 메커니즘을 제안하고 캡슐 내시경 로봇을 무선 구동하기 위한 직류 전동기 구동 장치 및 무선 데이터 송수신 모듈, 집적된 시스템의 배터리 구동 기술을 제안한다. 개발된 마이크로 로봇은 In-vitro 실험을 통하여 체내 능동 구동 가능성을 검증 하였다.

담당하는 무선 데이터 송수신 모듈, 배터리의 전압을 구동 회로의 공급 전압으로 변환 시켜 주는 레귤레이터 부분, 각각의 모듈을 연동시켜주는 마이크로 컨트롤러로 구성되고 마지막으로 세 번째 부분은 로봇에 전력을 공급하는 배터리 부로 이루어진다.



<그림 1> 마이크로 로봇의 구성

1. 서 론

최근 들어 의료 장비의 연구 경향은 침습을 최소화 하여 환자로 하여금 고통 및 불편감을 최소화 하는 방향으로 개발되고 있다. 이러한 추세에 맞추어 내시경을 이용하여 생검을 통한 조직검사나 복강경 수술 등 그 용도가 넓어지고 있는 추세지만 아직도 기존 일반 내시경은 구토 및 공포감 등으로 인하여 사용이 불편하고 거부감이 있는 것이 현실이다. 또한 의사의 숙련도에 따라 시술 시간 및 정확한 진단이 결정될 수 있고 현재 출시된 소화기 내시경들은 위나 식도, 대장과 같은 장기에서 시술 범위가 한정되어 있어 소장과 같은 기관은 검사의 사각지대로 남아 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에 무선 캡슐 내시경에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 대표적으로 이스라엘 Given Imaging사에서 M2A[1] 라는 무선 캡슐 내시경을 상용화 하였고 최근 국내에서 개발된 캡슐 내시경 MIRO 는 현재 임상 실험을 성공적으로 진행 하고 있는 상황이다.

이러한 무선 캡슐 내시경의 개발로 인하여 기존 내시경으로는 불가능했던 소장의 진단이 가능해 졌고, 내시경 시술의 간편함으로 인해 환자들의 고통과 불편함이 상당히 감소하게 되었다. 하지만 이러한 캡슐 내시경은 소화기관의 연동운동에 의하여 수동적으로 이동을 하기 때문에 소화기관의 자세한 영상 이미지를 얻거나 정확한 진단을 하는데 다소 제한이 있다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 내시경의 체내 능동 구동에 관한 연구가 필요하게 되었다.

체내 능동구동에 관한 연구로 별레나 곤충의 이동 메커니즘을 적용한 방법이 연구 되었고[2] 다수의 다리를 사용하여 장기 내부를 이동하는 메커니즘이 제안 되었다[3]. PZT 구동기를 사용하여 제안된 로봇을 구동하는 방법과 SMA 구동기를 사용한 방법, 소형 스텝 모터를 사용한 방법 등 선행 연구가 진행 되어 가능성을 검증 하였지만 배터리 구동 환경의 소형의 무선 캡슐 로봇을 구현하기에는 많은 어려움이 있었다.

본 논문에서는 여러 개의 다리를 사용하여 장기 내부를 이동하는 수정된 이동 메커니즘과[4] 배터리 구동 환경에서 구동기로서 소형 직류 모터를 사용하고 이를 제어하는 방법, 로봇을 원격 구동하는 무선 제어 기술을 제안한다.

2. 본 론

2.1 능동 구동 캡슐 내시경의 구성

캡슐 내시경 마이크로 로봇은 <그림 1>에서 나타난 것과 같이 크게 세 부분으로 나누어진다. 첫 번째 부분은 이동 메커니즘을 가지고 있는 로봇으로 구성 된다. 로봇의 이동 메커니즘은 소화기관의 움직임으로 인해 발생하는 저항력을 극복하기 위한 추진력 발생이 가능해야 하며[5] 사용되어지는 구동기는 배터리로 구동 가능하고 캡슐에 포함 되어질 수 있을 정도로 소형 이여야 한다. 두 번째 부분은 소형 직류 전동기를 제어하는 H-브리지 부분과 로봇의 움직임을 제어하는 신호의 송수신을

2.2 체내 능동구동의 이동 메커니즘

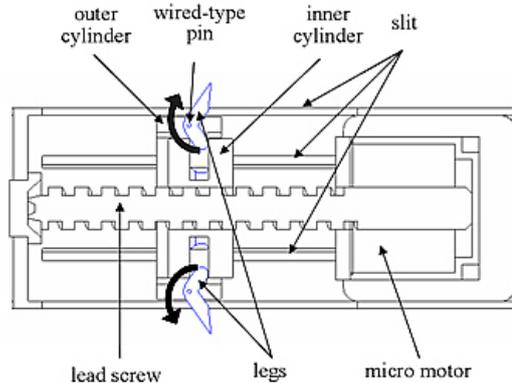
일반적인 환경과는 확연히 다른, 소화기관 내부에서의 능동 구동을 위하여 <그림 2> 와 같은 카누의 구동 원리를 기반으로 한 이동 메커니즘을 적용 하였다. 로봇의 다리가 노를 저어 나가 듯 장기 내벽과의 마찰력을 이용하여 이동하는 방식이다.



<그림 2> 카누 구동 원리

로봇은 선형 구동을 위하여 <그림 3> 과 같이 마이크로 모터와 리드스크류, 내부 실린더와 외부 실린더, 그리고 여러개의 다리와 외부 케이스로 구성 된다.

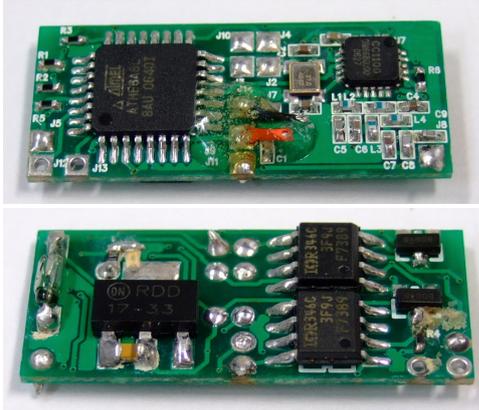
기존의 연구에서 사용된 스프링 형태의 형상기억합금을 사용하는 구동기의 경우 한 스트로크의 주기가 10여 초 이상 소요되고 PZT 구동기의 경우 구동 시간은 비교적 빠르나 필요로 하는 구동 전압이 상당히 높기 때문에 배터리 구동이 불가능하다는 문제점을 갖는다. 또한 스텝 모터의 경우 반응 속도가 빠르고 구동 전압도 배터리 구동이 가능할 정도의 특성을 보이지만 전력 소모가 크고 구동 드라이버의 소형화가 어렵다는 단점을 갖는다. 제작된 마이크로 로봇은 구동기로서 소형 직류 모터(Maxxon DC Motor, RE 6)를 사용하여 빠른 응답시간과 배터리 구동, 구동 드라이버의 소형화를 비교적 쉽게 적용 할 수 있었다.



<그림 3> 마이크로 로봇 디자인

2.3 구동기 드라이버의 설계

적용된 이동 메커니즘은 모터 샤프트에 연결된 리드 스크류가 회전을 하면서 실린더의 상하 선형 이동을 유도하는 방식이다. 때문에 연속적인 스트로크의 방향 전환을 위하여 직류 전동기에 인가되는 전류의 방향을 임의의 순간에 반전 시켜주는 H-브리지 회로가 필요하다. 범용적으로 사용되는 상용의 모터 드라이버들은 그 크기가 크고 효율이 높지 않기 때문에 전계 효과 트랜지스터를 이용하여 높은 효율의 초소형 직류 전동기 구동 드라이버를 제작 하였다. 로직의 구현은 N 채널, P 채널 듀얼 MOSFET 내장형 인버터(IRF7389)를 사용하여 구현하였으며, 브리지의 하이 사이드 게이트 구동과 로우 사이드 게이트 구동은 SOT-23 패키지의 초소형 스위치 소자(IRLML2808)를 사용 하였고 마이크로 컨트롤러(Atmel ATmega8)로 펄스 폭 변조(PWM) 신호를 생성하여 입력하게 된다. 스트로크 방향 전환 시 짧은 순간에 브리지의 상하 로직이 단락되는 현상을 방지하기 위하여 소프트웨어 상에서 데드밴드 기능을 구현 하였다.



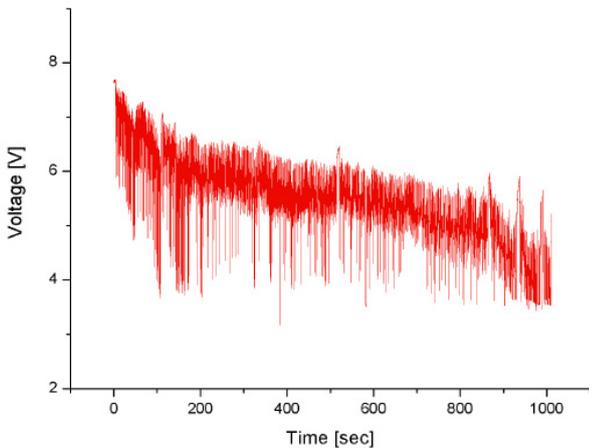
<그림 4> 마이크로 로봇 제어 회로

2.4 무선 송수신 모듈 (RF Telemetry Module) 설계

마이크로 로봇은 자동 구동 모드를 사용하여 장 내에서 능동적인 이동이 가능하지만 임의의 구간에서 멈춤, 혹은 구동의 시작을 할 수 있어야 한다. 구현된 로봇은 제어 회로에 무선 데이터 송수신 모듈(Chipcon CC1100)을 탑재 하였으며 이를 통하여 체외에서 원격 조정함으로 로봇을 제어 할 수 있게 하였다. 선행된 연구의 결과를 기반으로 체내외 통신에 적합한 433MHz ISM Band 의 주파수를 사용하였으며 1200k bps의 통신 속도로 데이터를 송수신 한다. 무선 데이터의 원활한 송수신을 위하여 2-FSK 변조 방식을 적용 하였고 패킷의 손실 확인 및 제거를 위하여 Hand Shaking 기법을 사용 하였다. <그림 4>는 마이크로 컨트롤러, H-브리지, 무선 데이터 송수신 모듈, 레귤레이터를 포함하는 제어 회로의 모습이다. (Size : 28mm * 12mm)

2.5 배터리 구동 특성

로봇에 사용한 배터리는 리튬 배터리를 사용하였다. 적출된 돼지의 소장에 로봇을 삽입한 상태에서 배터리의 전압 강하 특성을 관찰 하였으며 DAQ 장비(NI DAQPad-6015)를 사용하여 배터리 전압 데이터를 수집 하였다.



<그림 5> 로봇 구동에 따른 배터리 출력 전압

무선데이터 전송을 통하여 스트로크 방향 전환을 하였고 모터의 정지 상태에서는 50mA의 전류 소비가 있었으며, 구동시 80mA, 스트로크 방향 전환 시 최대 170mA의 전류 소비를 보였다. 또한 최대 전류 소비시 배터리의 방전특성이 충분치 못함으로 인한, 순간 전압 강하 현상을 확인 할 수 있었다. 배터리가 만충된 상태에서 로봇의 구동이 원활히 이루어 지지 않는 상태까지 실험을 진행 하였고 <그림 5>는 실험 결과의 그래프이다.

2.6 실험결과

제작된 로봇의 체내 능동구동에 대한 검증을 위하여 In-vitro 실험을 수행 하였다. 실험에 사용한 소장은 연세대 의과대학 동물실험실에서 살아있는 돼지의 소장을 적출한 것을 사용 하였으며 <그림 6>과 같은 환경에서 반복 실험을 진행 하였다.

실험결과 로봇은 적출된 돼지의 소장에서 평균적으로 분당 15~20cm 정도를 이동 하였으며 사용한 배터리는 15분 정도의 구동 시간을 보여 주었다. 또한 제작된 무선 전송 모듈은 소화기관내의 로봇을 제어 하고 상태를 모니터링 하는 데 사용 되었다.



<그림 6> In-vitro 실험

3. 결 론

본 논문에서는 소형 직류 전동기를 이용한 패들링 기반의 체내 능동 구동형 마이크로 로봇을 무선 제어 하는 기술에 대하여 제안 하였다. 제작된 로봇은 In-vitro 실험을 통하여 체내 능동구동 가능성과 배터리 구동 및 무선 원격 제어 기술이 캡슐 내시경 로봇에 적용 가능성을 보여 주었다. 지속적인 연구를 통하여 이동 메커니즘의 개선과 제어 시스템의 소형화, 전력 공급원의 개선 등이 이루어진다면 효율적이고 안정된 능동구동 캡슐 내시경의 상용화가 가능해 질 것이다.



<그림 7> 능동 구동형 무선 캡슐 내시경 로봇 (Size : 120mm * 15mm)

[참 고 문 헌]

[1] Appleyard, M. et al., "A Randomized Trial Comparing Wireless Capsule Endoscopy With Push Enteroscopy for the Detection of Small-Bowel Lesions", Journal of Gastroenterology, Vol. 119, No. 6, pp. 1431~1438, 2000
 [2] Kim, B., Lee, S., Park, J.H. and Park, J-O., "Inchworm-Link Microrobot for Capsule Endoscope", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2004
 [3] A. Menciassi, C. Stefanini, G. Gorini, G. Pernorio, P. Dario, B. Kim, J-O Park, "A Legged Locomotion in the Gastrointestinal Tract," Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004
 [4] Sukho Park, Hyunjun Park, Sungjin Park, Byungkuy Kim, "A Paddling Based Locomotive Mechanism for Capsule Endoscopes", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 20, No. 7, pp. 1012~1018, 2006
 [5] Y.C. Fung, "Biomechanics-Mechanical Properties of Living Tissues," Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1993
 [6] www.ti.com, www.atmel.com, www.irf.com