

모터를 이용한 바퀴형 체내이동 메커니즘의 개발

이영재* · 김병규* · 임영모* · 박종오* · 홍예선** · 김수현***

Development of a Wheel Type Locomotive Mechanism Using Micro motor for a Capsule-Type Endoscope

Young Jae Lee, Byungkyu Kim, Youngmo Lim, Jong-Oh Park,
Yeh-Sun Hong and SooHyun Kim

Key Words : Micro robot(마이크로로봇), Locomotive mechanism(이동메커니즘), Endoscope(내시경), Wheel(바퀴)

Abstract

The two prototypes of a Wheel Type Locomotive Mechanism Using Micro motor for a Capsule-Type Endoscope are outlined and realized. Basic concept of these mechanisms is to use a rod-shaped wheel, with which these mechanisms can go over the haustral folds inside colon. The actuator of Prototype I is geared dc motor and the actuator for steering is Shape Memory Alloy . Prototype I goes through the whole area of colonoscopy training model. Prototype II can not only go forward and backward, but also be steerable with 2 geared dc motors. Prototype II goes through dead pig colon.

1. 서 론

오늘날, 우리나라에서 주로 발생하는 암에는 폐암, 전립선암, 대장암 등이 있다. 미국의 경우, 99년을 기준으로 13 만 명에게서 직장암이 발병하였으며, 우리나라의 경우, 지방이 많고 섬유질이 적은 음식의 섭취, 흡연 및 음주, 혹은 유전에 의해 87년에 2073 명에서 99년에는 7384 명으로 암 환자의 수가 증가하였다. 이와 같이 점차 소화기 계통의 암환자의 수가 증가하는 추세이다. 이에 따라 내시경 시술의 중요성이 커지고 있다.

기존의 대장 내시경은 항문으로 삽입하여 직장에서 상행결장까지 거슬러 올라가 검사 및 시술을 하도록 되어 있다. 현 내시경 시술은 전적으로 의사의 내시경 조정 능력에 의존하고 있으며, 환자는 내시경의 삽입 시의 고통을 감내해야 하는 실정이다.

이런 배경 하에 자율이동내시경을 개발하기 위한 시도가 이루어지고 있다. Italy 의 Dario[1], Caltech 의 Burdick[2], Nanyang Univ.의 Vijayan[3]이 이에 관한 연구를 진행해 왔다. 그런데 이들은 모두 자벌레방식을 이동메커니즘으로 채택하였다. 하지만, 자벌레방식은 대장직경의 급격한 변화(25~50mm)에 고정(Clamping)의 적응성이 부족하고, 고정(Clamping)시 대장 내벽에 발생하는 흔적과 병변에 의해 발생하는 흔적을 구별할 수 없다. 또한, 고정(Clamping)시 대장의 증첩이 발생할 가능성이 매우 높다. 이러한 문제점들로 자벌레방식의 자율이동내시경의 실용화가 이루어지지 못하고 있다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 극복하기 위하여 새로운 개념의 이동 메커니즘을 제안하였다. 이를 위하여 구동기로 모터를 사용하였으며, 효과적인 장 내 이동을 위하여 새로운 형태의 바퀴를 사용하였다. 또한 굴곡이 심하고 직경이 작은 장내를 이동하기 위하여 새로운 개념의 조향장치를 제안하였다. 이와 같은 특성을 가진 새로운 개념의 이동 메커니즘을 설계 제작하여 인체

* 한국과학기술연구원 마이크로시스템연구센터

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

*** 한국과학기술원 기계공학과

모형 대장 및 죽은 돼지 대장 내에서 실험함으로써 새로운 개념의 대장 내시경용 이동 메커니즘으로서의 가능성을 확인하였다.

2. 체내이동 메커니즘의 기본 개념

2.1 구동기

본 논문은 구동기로서 직류감속모터를 채택하였다. 직류감속모터를 사용하는 이유는 첫째, 끊임없는 저속의 높은 토크로써 점성과 탄성이 큰 장자 내벽을 통과하기 위함이고 둘째, 소형화의 가능성을 내재하고 있으며, 향후 무선시스템으로 전환하기 위해서이다.

본 논문에서 사용한 모터의 사양은 Table 1 과 같다.

Table 1. Specification of Geared DC Motor

크 기	12*15*31(mm)
감속비	380:1
정격토크	15mNm
회전속도	40rpm

2.2 봉 형상의 바퀴

본 논문에서 제시하고 있는 이동 메커니즘은 바퀴구동 시스템이다. 체내이동 메커니즘의 개념 설계 시, 향후 소형화를 위해 간단한 시스템으로서 바퀴구동시스템을 선택하였다.

인체의 대장에 내시경 시술을 할 때, 병변의 관찰을 위해 공기를 불어 넣어 소화관이 함몰되지 않도록 부풀린다. 이 때, 소화관이 균일하게 부풀는 것이 아니라 근육이 존재하는 곳에서는 늘어나지 않아 주름을 형성하게 된다. 소화관 속을 들여다 보면, 이는 마치 터널 속에 튀어나온 장애물과 같은 역할을 한다. 이를 팽기추벽이라고 한다.

직경이 제한되어 있을 경우, 기존의 원형 바퀴는 미끈미끈한 팽기추벽을 넘기엔 어려움이 있다. 따라서, 바퀴를 봉 형상으로 제작하여 팽기추벽을 걸고 넘어갈 수 있도록 하였다. 또한, 삽입 시 바퀴를 몸체 방향으로 정렬하여 앞에서 보았을 때의 단면의 크기를 가능한 한 작게 하여 항문을 통한 대장 내 삽입을 용이하도록 하였다. 봉 형상의 바퀴는 같은 직경의 다른 형상의 바퀴보다 장애물을 거는데 필요한 스트로크(바퀴에서 앞 접촉면과 다음 접촉면 사이의 거리)가 최대이며, 이동 메커니즘의 이동 시 몸체가 가장 큰 폭으로 상하로 움직이며 이동하므로써 내시경으로서의 역할을 수행할 경우, 위 아래의 영상을 폭넓게 살필 수 있

을 것이다.

Fig 1 은 같은 직경의 바퀴 세 종류에 대하여 마찰력이 충분히 작은 (실제 대장 내벽의 마찰계수는 0.1 미만) 팽기추벽을 넘는 과정을 도시한 것이다. 원형 바퀴(a)나 사각형 바퀴(b)의 경우, 팽기추벽의 높이가 회전축의 높이보다 클 때, 팽기추벽을 넘어서지 못하는 반면, 봉 형상의 바퀴(c)의 경우, 팽기추벽의 높이가 회전축의 높이보다 크다 할지라도 팽기추벽을 걸고 넘어갈 수 있음을 보여 주고 있다.

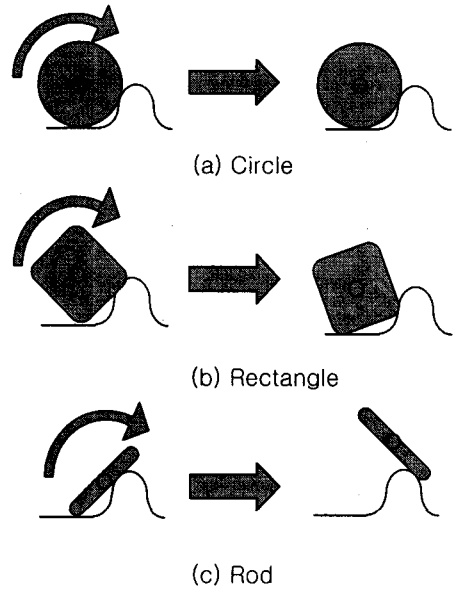


Fig. 1 Selection of Wheel Shape

3. 이동 환경

인체 내 대장은 크게 상행결장, 횡행결장, 하행결장, S 상 결장, 직장의 5 부분으로 나누어져 있다. 총 길이가 1.5~2m 이며, 직경이 25~50mm 이고, 추벽 사이의 거리가 대체적으로 20~30mm 이다.

내시경용 체내이동 메커니즘의 개발 단계에 있어서 실제 인체에 직접 적용하는 것은 현실적으로 불가능하다. 본 연구에서는 개발 중인 이동 메커니즘의 시험 환경으로서 인체대장모형과 죽은 돼지 대장을 선택하였다. 인체 대장 모형은 인체의 대장과 유사한 구조를 갖고 있고, 돼지 대장은 인체의 대장과 가장 유사한 물리적 성질을 갖고 있기 때문이다.

인체 대장은 인체대장모형과 돼지 대장의 중간적인 성질을 가질 것이라는 가설 하에 궁극적으로 인체대장모형과 죽은 돼지 내에서 이동할 수 있는

메커니즘이 인체 내 대장을 이동할 수 있는 최적화된 메커니즘이 될 것이다.

3.1 인체대장모형

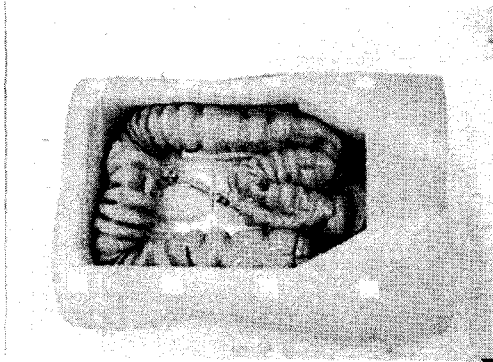


Fig. 2 Colonoscopy Training Model

Fig.2 는 본 연구에서 사용한 인체대장모형으로서 일본 Koken 사에서 판매하는 대장 내시경 검사를 위한 훈련용 모델을 보여주고 있다. 이 모델은 내시경검사 시 삽입과 위치확인을 실제처럼 할 수 있도록 제작되었다. 특히, 특수 실리콘고무로 제작되어 인체의 대장과 매우 유사하며 실제 인체의 대장에 삽입하는 느낌을 준다.

3.2 돼지 대장

동물의 장기 중에서 돼지의 대장이 사람의 대장과 가장 흡사하다. 기존 연구 [1], [2], [3]에서 보면, 공통적으로 죽은 돼지 대장에서의 자율이동내시경의 실험을 진행하였다. 현 단계에서는 죽은 돼지로부터 대장을 밖으로 꺼내 평면 위에서 실험하였다. 향후 죽은 돼지 및 산 돼지의 대장에 직접 삽입하는 실험을 수행할 것이다.

4. 체내이동 메커니즘의 설계 및 제작

본 논문에서는 2 개의 체내이동 메커니즘을 소개한다. 첫번째 소개하는 체내이동 메커니즘을 Prototype I, 두번째 소개하는 체내이동 메커니즘을 Prototype II 라고 하기로 한다.

4.1 Prototype I

Prototype I 는 인체대장모형에서 이동할 수 있도록 설계 제작되었다. 이 모델은 크게 구동부,

능동조향부, 수동조향부, 그리고 보조바퀴부로 이루어져 있다.

몸체의 길이는 100mm 이고, 폭은 몸체의 경우 30mm, 앞단의 수평바퀴의 경우 37mm 이다.

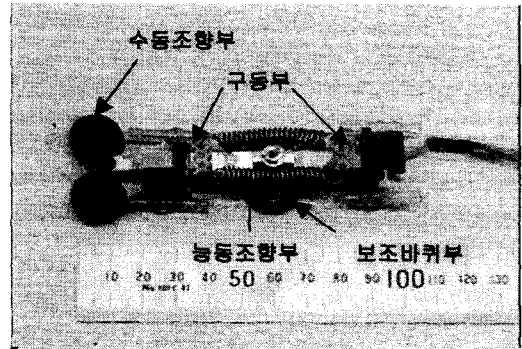


Fig. 3 Prototype I

Prototype I 의 사양을 정리하면 Table2 와 같다.

Table 2. Specification of Prototype I

크 기	100*30*25mm (길이*폭*높이)
최대이동속도	약 40mm/s (12V 입력 시)
무 게	35 g
소비전력	0.624W

4.1.1 구동부 및 수동조향부

Prototype I 의 구동부는 모터와 봉 형상의 바퀴로 구성된다. 모터는 Sankyo 사의 직류감속모터를 사용하였다. 모터의 크기는 12mm x 31mm 이며, 15mNm 의 토크를 낼 수 있다. 바퀴는 길이 25mm 직경 4mm 의 봉 형상을 지닌다. 봉 형상을 갖는 것은 앞에서 서술한 바와 같이 팽기추벽을 걸고 넘어가기에 용이하게 하고, 삽입 시 앞에서 보았을 때의 단면적을 최소한 줄이기 위한 의도에서 비롯되었다.

Prototype I 의 수동조향부는 전면에 부착된 수평바퀴를 의미한다. 전단부의 수평바퀴는 내벽과의 마찰력을 최소화하여 완만한 곡선구간에서 별도의 조향장치없이 벽면과 닿아서 수동적인 조향기능을 수행하도록 하고, 몸체의 폭보다 좁은 구간을 벌리고 통과하도록 고안되었다.

4.1.2 능동조향부

Prototype I 에는 좁고 예리하게 꺾인 대장환경을 통과하기 위하여 능동조향장치가 포함되어 있다.

전반구동부와 후반구동부를 회전관절로 연결하고, 전반구동부와 후반구동부의 좌측과 우측에 각각 선형구동기를 장착하였다. 선형구동기는 형상기억합금(Shape Memory Alloy : SMA)을 사용하였다. 한편, 형상기억합금에 전류를 가하여 수축이 발생한 후, 보다 빠른 시간 내에 원상태로 복구되는 것을 돕기 위해 선형구동기 내에 용수철을 삽입하였다.

형상기억합금은 NiTi 으로 이루어진 용수철형으로서 굵기 750 μ m 의 선재를 직경 6mm 의 원으로 길이 16mm 까지 감은 형상이다. 350gf 의 힘을 가했을 때, 길이 60mm 에서 30mm 로 수축할 수 있다.

4.1.3 보조바퀴부

Prototype I 가 조향하기 위해서 좌 또는 우로 몸체를 꺾었을 때, 가운데 회전관절부의 무게를 지지하기 곤란한 자세가 발생한다. 이로 인해 대장내 이동 시 몸체가 회전하여 이동하는 반대방향으로 넘어지는 현상이 발생한다. 이런 문제점을 보완하기 위하여 45 도 각도로 벌어진 보조바퀴를 장착하였다. 이로써 조향 이동 시 옆으로 넘어지는 것을 방지할 뿐 아니라 높은 팽기추벽을 넘을 경우에 장애가 되는 것을 방지하는 효과를 획득하였다.

옆에서 보았을 때 구동부 몸체의 하단부의 높이에 보조바퀴의 하단부의 높이를 맞추었으며 위에서 보았을 때 보조바퀴부의 폭을 몸체의 폭과 동일하도록 하여 보조바퀴 장착에 의해서 이동에 방해가 되는 가능성을 배제하였다.

4.1.4 Prototype I 의 문제점

Prototype I 의 해결해야 할 사항으로서 조향기능을 수행하는 형상기억합금의 높은 열 및 느린 반응시간, 조향기능의 미세한 조정의 어려움, 그리고 인체 대장모형과 전선 간의 마찰력 등을 들 수 있다.

형상기억합금은 고온, 높은 전류를 소모할 뿐만 아니라, 열에 의한 작용으로 인해 수축 후 팽창에 소요되는 속도가 늦다. 이에 Prototype I 와 같은 방식으로 조향기능을 수행하려면 대체선형 구동기를 선택하거나 형상기억합금의 성능을 높여야 할 것이다.

4.2 Prototype II

Prototype II 는 Prototype I 의 조향기능의 문제점을 인식하고 설계 구현한 모델이다. 형상기억합금의 사용 없이 모터를 이용하여 바퀴를 구동시키는 방법으로 전진, 후진 및 조향 기능까지 수행하도록 설계 및 제작하였다.



Fig. 4 Prototype II

Prototype II 의 사양을 정리하면 Table 3 과 같다

Table 3. Specification of Prototype II

크 기	70*35*27mm (길이*폭*높이)
최대이동속도	약 29mm/s (12V 입력 시)
무 게	29 g
소비전력	0.66 W

4.2.1 구동부

Prototype II 는 모터 2 개를 일직선으로 배열하였다. 모터 2 개를 일직선으로 배열한 것은 가능하고 긴 대장환경에 적용시켜야 하기 때문이다. 전반부 모터가 우측 앞, 뒷바퀴를 구동시키고, 후반부모터가 좌측 앞, 뒷바퀴를 구동시키도록 구성하였다. 모터 축과 가까운 쪽 바퀴는 모터 축으로부터 기어를 통하여 동력을 전달 받도록 하였고, 모터 축과 먼 쪽 바퀴는 모터 축에 가까운 바퀴로부터 타이밍벨트를 통하여 동력을 전달 받도록 구성하였다. 즉, 전반부 모터에 의해 우측 바퀴 둘의 회전방향이 결정되고, 후반부 모터에 의해 좌측 바퀴 둘의 회전방향이 결정된다.

Prototype II 를 설계하는데 있어서 핵심요소는 제한된 크기에 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 회전방향이 서로 구속 받지 않고 자유롭게 회전하도록 구현하는 것이다. 이를 위하여 길이 32mm 의 이중중심축을 사용하였다. 지름 1.4mm 의 파이프 형상의 외축과 지름 1.0mm 의 원통형 내축으로 구성

되며 각각 좌륵과 우륵의 축 역할을 수행한다.

4.2.2 바퀴의 형상

돼지 대장에서의 이동은 바퀴의 형상, 크기, 바퀴와 몸체와의 간격에 따라 이동체 특성에 돼지 대장의 얇은 내피가 말려 들어가는 경우가 빈번하게 발생한다. 이를 방지하기 위하여 **Prototype II**의 봉 형상의 바퀴 양끝에 플라스틱 구를 부착하였다.

5. 체내이동 메커니즘의 대장 내 이동

5.1 인체대장모형에서의 이동



Fig. 5 Prototype I going through colonoscopy training model

Prototype I는 인체대장모형의 전구간을 이동하였다. 직진구간에서는 어려움 없이 통과할 수 있고, 횡행결장의 비교적 높은 팽기주벽(높이 약 15mm)을 넘는데에도 우수한 성능을 보였다. 하지만, 하행결장의 폭이 좁은 구간에서는 이동하는데 어려움이 있다. **Prototype I**의 크기를 작게 만든다면 이동성능을 향상시킬 수 있다. 혹은 미세한 조향기능을 추가할 수 있다면, 좁은 구간에서도 어려움없이 통과할 수 있다. 조향기능은 형상기억합금에 열을 가한 뒤 이동하므로 반응시간이 15 초 정도 걸리고, 원상태로 회복할 때, 수축하는데 필요한 시간의 2 배이상 요구된다.

인체대장모형에서 **Prototype I**을 이동시켰을 때, 항문에서 시작하여 S 상결장을 지나 하행결장 및 횡행결장으로 들어갈수록 전선에 의한 마찰력이 이동을 방해하는 지배적인 힘으로 작용한다. 특히 마지막 곡선구간에 해당하는 횡행결장과 상행결장을 잇는 좌회전구간을 지날 때 **Prototype I**의 이동에 어려움이 있다. 외부에서 전선에 의한 마찰력

이 최소화될 수 있도록 전선을 밀거나 당기는 적절한 조정이 필요하다.

5.2 돼지 대장에서의 이동

돼지 대장은 그 단면적이 인체대장모형의 단면적보다 작고, 내벽이 부드러운 조직으로 이루어져 있다. 위와 같은 돼지 대장의 물리적 성질로 인해 돼지 대장 속에서 **Prototype I**을 이동시키기에 어려움이 있다. 따라서, 앞 장에서 서술한 **Prototype II**의 설계가 필요하였다.

실험을 위해 죽은 돼지의 대장을 평면 위에 일직선으로 펼쳐 놓았다. 실제 대장내시경 시술의 경우와 마찬가지로 공기를 공급하여 대장의 이동공간을 확보하고, **Prototype II**의 이동방향을 조향하면서 약 1m의 구간을 이동하였다. **Prototype II**는 **Prototype I**과는 달리 조향하기 위한 별도의 시간을 요구하지 않고 모터의 회전방향을 바꾸면 연속동작으로 전후진 및 좌우회전이 가능하다. Fig 6은 후미에서 CCD 카메라를 통해 본 죽은 돼지 대장 속을 이동하는 **Prototype II**의 모습이다.

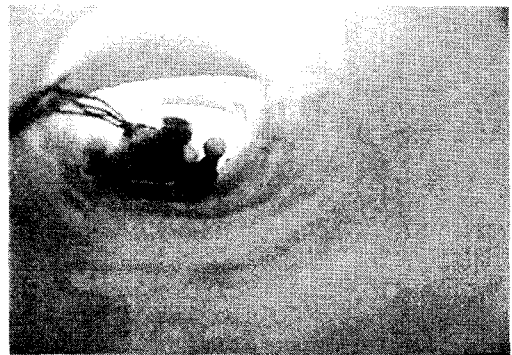


Fig. 6 Prototype II going through dead pig colon

6. 체내이동 메커니즘 개발의 향후 계획

본 논문에서 보인 모델은 대장 내 공간이 확보되었을 경우, 전진, 후진 및 조향 기능을 수행하는데 주안점을 두고 설계, 제작하였다. 이와 같은 형상으로는 실제 항문으로 삽입하는 것이 매우 어렵다. 항문을 통해 대장 내 삽입이 가능하도록 삽입시 바퀴가 외부로 드러나지 않도록 메커니즘의 보완이 필요하다.

아울러, 본 논문에서 보여준 대장 내 이동 모습은 은 카메라를 외부에서 삽입하여 촬영한 것이다. 향후 카메라를 이동체에 장착하여 이동 시 내시경으로서의 영상을 획득할 뿐만 아니라 영상을

이용하여 조향기능을 수행하도록 할 것이다.

7. 결 론

본 논문에서는 모터를 이용한 바퀴형 체내이동 메커니즘의 설계 및 제작을 통하여 인체대장모형과 죽은 돼지 대장 내에서 체내이동 메커니즘이 이동함을 보였다.

이를 위하여 체내이동 메커니즘을 위한 구동기로 모터를 사용하였으며, 팽기추벽을 효과적으로 통과하기 위하여 붕 형상의 바퀴를 채택하였다. 또한, 인체 내에서 가장 통과하기 어려운 구간으로 알려진 알파, 감마 루프를 통과하기 위하여 새로운 개념의 조향장치를 제안하였다. 제안된 이동 메커니즘을 인체 대장 모형 및 죽은 돼지 대장 내에서 실험하여 인체 내 이동 가능성을 확인하였다.

이와 같은 성과를 바탕으로 개선점을 고려한 구현을 통해 인체 내 대장에서 이동 가능성을 한층 높일 것이다.

후 기

본 논문은 21C 프론티어 개발사업, 지능형 마이크로 시스템 개발사업의 일환으로 지원을 받아 수행된 연구의 일부분입니다.

참고문헌

- (1) P. Dario, M.C.Carrozza, L.Lencioni, B.Magnani, S. D'Attanasio, 1997, "A Micro Robotic System for Colonoscopy", Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1567~1572
- (2) A. Brett Slatkin and Joel Burdick, 1995, "The Development of a Robotic Endoscope", IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Aug.5-9, pp.162~171
- (3) Sanji Kumar, Irwan M.Kassim and Vijayan K. Asari, 2000, "Design of a vision-guided microrobotic colonoscopy system", Advanced Robotics, Vol.14, No.2, pp.87~104