

## 탄성 루프형 바퀴를 이용한 장 내 이동 메커니즘

임형준\* · 민현진\* · 김병규\*\* · 김수현†  
(2001년 5월 28일 접수, 2001년 11월 9일 심사완료)

### Flexible Loop Wheel Mechanism for Intestine Movement

Hyung-Jun Lim, Hyun-Jin Min, Byungkyu Kim and Soo Hyun Kim

**Key Words :** Endoscope (내시경), 루프형 바퀴 (Loop Wheel), In-Pipe Robot (관 내 주행 로봇), Caterpillar (무한궤도)

#### Abstract

An endoscope is usually inserted into the human body for the inspection of the gullet, stomach, and large intestine (colon) and this may cause discomfort to patients and damage to tissues during diagnostic or therapeutic procedures. This situation necessitates a self-propelling endoscope. There are many kinds of mechanism to move in a rigid pipe. However, these methods are difficult to apply directly to the endoscope. The main reason is that human intestine cannot be considered as a uniform, straight, and rigid pipe. This paper proposes a flexible loop wheel mechanism, which is adaptable to the human intestine. This mechanism is designed and fabricated by a simple modeling, and tested by an experiment. Finally, the actuator is inserted into the pig colon.

#### 1. 서론

일반적인 기계 시스템이나 대형 구조물에서 물이나 공기 등 유체의 흐름을 유도하기 위하여 다양한 형태의 관(pipe)을 필요로 한다. 시스템이 복잡해 질수록 그 직경이 점점 작아지며 경우에 따라서는 유연한 재료를 이용하여 관을 만들기도 한다. 이러한 상황에서 관 내부에서 발생하는 균열과 같은 문제점들을 진단하는 로봇의 필요성이 점점 증대되고 있다. 한편, 의료분야에 있어서도 질병의 치료 못지않게 정확한 진단도 꼭 필요한 요소이다. 인체의 장 내 검사를 위한 내시경 시스템의 경우 아직까지 장 내에서 자유로운 이동을 수행할 수 있는 로봇 시스템의 개발과 상용화가 이루어지지 않아 외부에서 삽입하는 형태의 내시경을 이용한다. 내시경의 삽입에서 무리한 힘을 가하는 경우 때때로 장 내벽의 손상을 가져올 수 있

으며 진단 하는 동안 환자의 불편감을 없앨 수 없다. 이러한 상황에서 다양한 형태의 관 내부를 자유롭게 이동하는 로봇 시스템의 개발에 대한 요구가 점차 증대되고 있다.

실제로 인체의 장 내부는 그 외형이 상당히 유연할 뿐 아니라 내벽이 서로 흡착되어 있다. 따라서 검사용 로봇이 삽입되는 경우에 공기를 불어넣지 않으면 로봇 외벽에 흡착되어 로봇의 이동을 방해하며 심한 경우에는 외벽이 로봇 구동부의 움직임을 방해할 수 있다. 그렇기 때문에 그 구동부는 외부와 가능한 차단되며 동시에 확실하게 운동을 전달하여 구동할 수 있는 구동기의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 기존의 무한궤도 차량과 유사한 방법을 이용하여 인체의 장 내부에서 이동이 가능한 메커니즘을 제작하고 평가하였다.

#### 2. 장 내 이동을 위한 메커니즘

##### 2.1 대장 내 환경

Fig. 1 은 인체의 장 구조에 관한 개략도이다. 여기에서 대장의 길이는 대략 2 m 정도이며 직경은

\* 회원, 한국과학기술원 기계공학과

\*\* 회원, 한국과학기술연구원 마이크로시스템센터

† 책임저자, 회원, 한국과학기술원 기계공학과

E-mail : kimsh@kaist.ac.kr

TEL : (042)869-3228 FAX : (042)869-5201

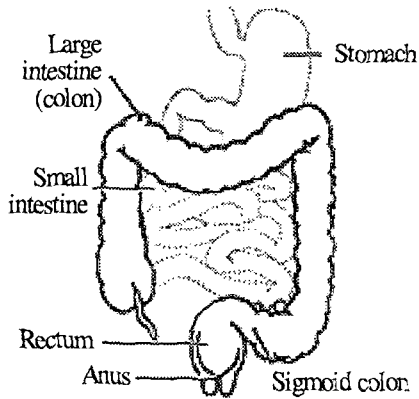


Fig. 1 Human intestine

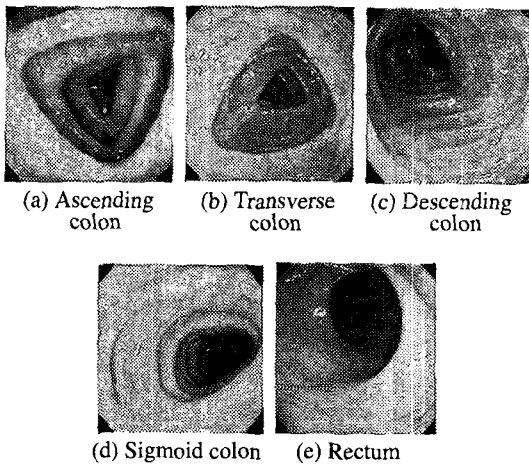


Fig. 2 Inside of human colon

늘어나지 않았을 경우 25~35 mm 이며 늘어난 경우에는 최대 75 mm 이다.

대장은 Fig. 2 와 같이 크게 다섯 부분으로 구성이 된다. 복부 오른쪽 아래에 있는 맹장에서 복부 위로 이어지는 상행 결장, 다시 오른쪽 위에서 왼쪽으로 수평하게 이어지는 횡행 결장, 다시 왼쪽 위에서 아래로 이어지는 하행결장, S 자 형태로 구부러져 있는 S 결장, 그리고 마지막으로 직장이다.

대장의 형태는 사람마다 그 특징을 달리한다. 일반적으로 사람의 대장은 'II' 형태이지만, 꼬여 있는 경우도 흔하다고 한다. 또한 그림에서도 알 수 있듯이 대장내에는 많은 굴곡과 판막이 있음을 알 수 있다. 이러한 굴곡과 판막은 소장에서 나온 음식물의 수분 흡수를 최대화하고 이러한 음식물들이 역류하지 않도록 한다.

대장은 음식물이 들어오기 전에는 늘어나지 않고 있다가 음식물이 들어오게 되면 반지름 방향으

로 늘어나며, 배 부분에 특별한 고정되어 있지 않고 위결장간막에 의해 싸여 있는 상태이므로 상황에 따라 유동적이다. 게다가 소화기계통에는 촉각 신경 세포가 없기 때문에 상처나 외부 물질에 대한 감각이 둔감하게 된다.

결국, 위와 같이 굴곡이 심하면서도 유연한 환경에서 자유로이 이동할 수 있는 구동기를 제작하여야 할 것이다.

2.2 관 내 주행 메커니즘

단단한 내벽을 가지는 관 내 주행을 위한 구동 방법으로는 바퀴 구동 (wheel type), 다리 구동 (legged mobile type), 인치웜 구동 (inchworm type), 충격 방식 구동 (impact type) 등을 들 수 있다. 대부분의 관 내 주행 메커니즘을 제작함에 있어서 연구 방향은 이동속도와 추진력의 향상, 크기의 축소, 그리고 L형, S형, T형 등으로 복잡한 형태의 관 내에서 효율적으로 이동하는 방법에 대한 것에 있다.

Toyomi Miyagawa 등은 직경 1 in 에서 구동할 수 있는 소형 로봇을 개발하였고,<sup>(1)</sup> Shigeo Hirose 등은 4 개의 관 내 주행로봇을 연결한 "Whole Stem Drive" 개념을 사용하여 곡선 부분에서 효율적으로 구동하는 방법을 제안하였다.<sup>(2)</sup> 그리고, 류성무 등은 구동부의 벽면 압착 메커니즘과 능동 유니버설조인트를 이용한 배관 검사 로봇을 개발한 바 있다.<sup>(3)</sup> 또한, Werner Neubauer 등은 거미의 이동방식을 응용하여 관 내에서 수직으로 이동할 수 있는 로봇을 개발하였다.<sup>(4)</sup>

장 내 이동을 위한 방법으로는, A. Brett Slatkin 등이 14 mm 의 직경을 가지는 인치웜 방식 로봇을 개발하여 돼지 소장 내에 삽입하기도 하였으며,<sup>(5)</sup> 최근에는 민현진 등에 의하여 충격 방식 구동에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>(6)</sup> 충격 방식의 경우 외벽을 지지하여 나아가는 방식이 아니기 때문에 장 내에서 이동할 때 내벽의 손상을 최소화할 수 있다는 장점이 있다.

2.3 장 내 이동을 위한 메커니즘의 요구사항

장 내 이동을 위해서는 이러한 방법을 포함하여 다양한 메커니즘에 대한 고려가 필요하다. 바퀴 구동의 경우 관 내벽과 바퀴가 맞닿는 국소 영역에서 일정한 값 이상의 마찰력이 존재하여야 하며 관 내부의 직경 변화에 능동적으로 대처하기 힘들다. 또한 장 내부에서 구동하는 경우 내벽이 구동기 몸체에 흡착되어 움직임에 방해할 수 있다. 다리 구동의 경우에는 추진력을 얻기 위하여 과

내벽을 지지하여 밀어내는 방법을 사용하기 때문에 지지력을 받는 내벽이 단단하지 못할 경우에는 그 이동 성능에 큰 문제점이 발생한다. 또한 다리의 각 요소를 별도로 제어해야 하는 어려움이 있다. 인치웸 구동의 경우에는 최근 자가 구동형 내시경 시스템의 개발에 많이 쓰이는 방법이지만 하나 아직까지 그 길이를 줄이는데 많은 어려움이 있다. 또한 장 내벽이 매끄럽고 유연하여 확실한 지지력을 얻기 힘들고, 장이 반경 방향 뿐 아니라 길이 방향으로도 변형이 일어나므로 단단한 관 내에서와 같은 이동성능을 기대하기 힘들다. 충격 방식 구동은 내벽의 마찰 조건에 따라 그 이동성능이 크게 좌우되기 때문에 균일하지 못한 관 내에서는 일정한 이동성능을 보여줄 수 없다.

이러한 상황에서 기존의 관 내 구동방식과는 다르게 유연한 내벽을 가지는 장 내에서 이동하기에 적합한 새로운 형태의 구동기를 개발해야 한다.

장 내에서 자유로운 이동을 위한 메커니즘은 최소한 다음과 같은 요구 조건을 만족시켜야 할 것이다.

- (1) 장 내부의 직경 변화에 적응이 가능한 구조로 제작한다.
- (2) 구동기의 구성요소 중 고정되어 있는 부분은 최대한 장의 내벽과 닿지 않도록 한다.
- (3) 구동부의 운동을 확실하게 전달하기 위하여 장의 내벽과 적절한 마찰력을 가지도록 하며, 가능한 접촉 면적을 넓게 한다.
- (4) 3 개 이상의 구동부를 방사형으로 장착하여 구동기가 옆으로 기울어짐에 의하여 구동 성능에 저하가 발생하지 않도록 한다.

2.4 탄성 루프형 바퀴에 의한 이동 메커니즘

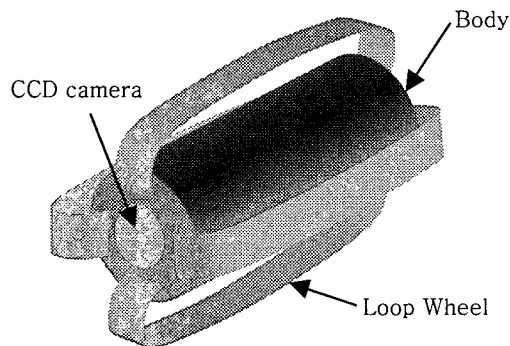
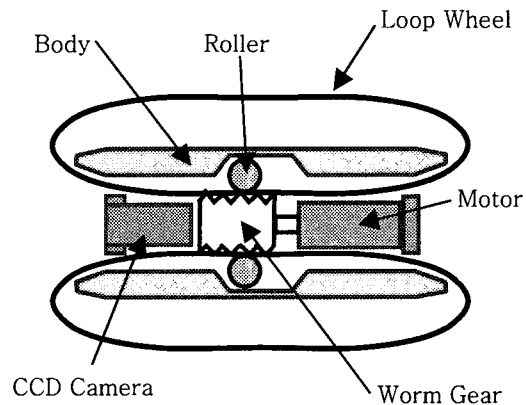
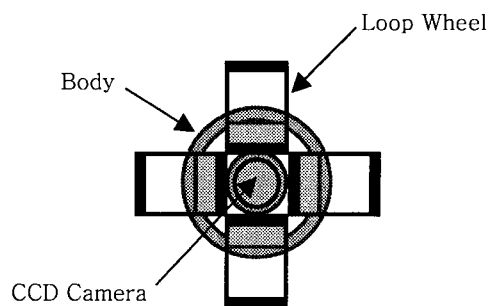


Fig. 3 Conceptual drawing of the loop wheel actuator

Fig. 3 은 위 사항들을 고려하여 제안된 탄성 루프형 바퀴에 의한 이동 메커니즘의 개념도를 보여준다. 그리고 메커니즘의 내부 단면도는 Fig. 4 에 있다. 전면에는 카메라가 장착되어 있으며, 루프형 바퀴는 몸체의 전면에서부터 후면까지 연결되어서 회전한다. 루프형 바퀴는 일정한 탄성력을 가지고 있기 때문에 별도의 보조바퀴를 필요로 하지 않는다. 루프형 바퀴는 길이 방향으로 홈이 파여 있으며 몸체 내부에 장착된 웜기어와 맞물려 돌아감으로써 회전하게 된다. 이때 루프형 바퀴가 웜기어로부터 이탈하는 것을 방지하기 위하여 몸체 내부에 보조 바퀴(roller)가 장착된다. Fig. 4(b)의 횡단면에서 보듯이 루프형 바퀴는 방사형으로 배열되어 있다. 그렇기 때문에 관 내 이동을 하는 경우 모든 방향으로 지지하며 추진을 할 수 있다.



(a) Longitudinal section



(b) Cross section

Fig. 4 Sections of the loop wheel actuator

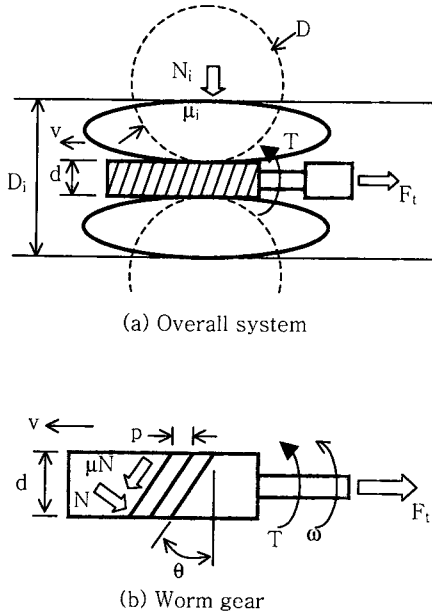


Fig. 5 Dynamic model of actuating parts

### 3. 구동기 모델

#### 3.1 구동기 모델

Fig. 5(a)와 (b)는 관 내부를 진행하고 있는 구동기와 웜기어의 모델을 보여준다. 전진 방향과 반대로 저항력,  $F_t$ 가 몸체에 작용하는 상황에서 구동기가 속도  $v$ 로 이동한다고 할 때, 웜기어의 형상으로부터 모터의 회전속도  $\omega$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$\omega = \frac{2v}{d \tan \theta} = \frac{2\pi v}{p} \quad (1)$$

여기서,  $d$ 는 웜기어의 직경,  $p$ 는 웜기어의 피치,  $\theta$ 는 피치각을 의미한다.

Fig. 5(a)에서 루프형 바퀴와 관 내부와의 최대정지마찰력  $F_{f,max}$ 는 다음과 같다.

$$F_{f,max} = n\mu_i k \left( D - \frac{D_i - d}{2} \right) \quad (2)$$

여기서  $D_i$ 는 관 내 직경이다. 이때 방사형으로 배열된  $n$ 개의 루프형 바퀴는 초기에 직경  $D$ 의 원형이지만 관 내에서는 타원형으로 변한다.  $k$ 는 루프형 바퀴에 대한 반경방향의 등가탄성계수이고,

$\mu_i$ 는 관 내부 사이의 최대정지 마찰계수를 나타낸다. 구동기가 관 내에서 이동하고자 할 때 구동기 자체의 추진력이 저항력보다 크다 하더라도 식 (2)의 최대 정지마찰력이 작은 경우 루프형 바퀴와 관 내벽 사이에 미끄러짐이 발생하여 구동기는 전진할 수 없게 된다. 따라서, 최대 정지마찰력이 충분히 커야 할 것이다.

구동기가 등속으로 이동하는 경우에 대하여, 웜기어에서 다음과 같이 진행방향의 힘과 회전력에 대한 평형 관계식을 유도할 수 있다.

$$F_t = N \cos \theta - \mu N \sin \theta \quad (3)$$

$$T = \frac{d(N \sin \theta + \mu N \cos \theta)}{2} + T_f \quad (4)$$

여기서,  $T$ 는 모터의 출력 토크,  $N$ 과  $\mu N$ 은 웜기어와 루프형 바퀴 사이의 수직항력,  $T_f$ 는 루프형 바퀴와 몸체 사이에서 발생하는 마찰저항으로 인하여 모터축에 가해지는 등가 토크를 의미한다. 그리고  $\mu$ 는 루프형 바퀴와 웜기어 사이의 마찰계수이다. 따라서, 위 식 (1), (3), (4)로부터 모터의 출력 토크와 저항력 사이의 관계식은 다음과 같이 얻어진다.

$$F_t = \frac{2(\pi d - \mu p)(T - T_f)}{d(\mu \pi d + p)} \quad (5)$$

또한, 본 구동기에 사용된 모터는 일반적인 DC 모터로써 그 출력 토크와 회전 속도 사이의 관계식을 다음과 같이 선형으로 가정할 수 있다.

$$\omega = \omega_0 \left( 1 - \frac{T}{T_0} \right) \quad (6)$$

여기서,  $\omega_0$ 는 무부하 상태에서의 회전속도를 의미한다. 그리고  $T_0$ 는 최대 출력 토크, 즉 회전 속도가 0일 때의 출력 토크를 의미한다. 따라서 구동기의 최대 추진력,  $F_{t,max}$ 는 식 (5)와 (6)으로부터 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$F_{t,max} = \frac{2(\pi d - \mu p)(T_0 - T_f)}{d(\mu \pi d + p)} \quad (7)$$

#### 3.2 추진력과 이동속도

앞 절에서 얻은 여러 결과들로부터 본 구동기의 성능에 대한 관계식을 구할 수 있다. 구동기가

관 내부에서 전진하기 위해서는 두 가지 조건을 만족시켜야 한다. 첫째는 루프형 바퀴와 관 내벽 사이의 최대 정지마찰력이 저항력보다 커야 하며, 둘째는 구동기의 추진력이 저항력보다 커야 한다. 따라서 구동기가 앞으로 전진하기 위하여 허용 가능한 최대 저항력  $F_{max}$  는 식 (2)와 (7)에 의하여 다음과 같이 결정된다.

$$F_{max} = \min[F_{f,max}, F_{t,max}] \quad (8)$$

그리고, 구동기가 이동하는 경우 식 (1), (5), (6)으로부터 이동 속도를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$v = \frac{p\omega_0}{2\pi} \left[ 1 - \frac{1}{T_0} \left( \frac{(\mu\pi d + p)F_f d}{2(\pi d - \mu p)} + T_f \right) \right] \quad (9)$$

#### 4. 설계 및 제작

##### 4.1 구동기 설계

본 연구에서는 인체의 장, 특히 대장 내에서 이동이 가능한 구동기를 제작하고자 한다. 대장의 진단을 위한 평균 왕복 시간은 10 분 정도가 요구된다. 그리고 전력 공급과 통신을 위한 와이어를 끌어당길 수 있는 최소의 힘은 4.5 N 정도이다.<sup>(7)</sup> 이와 같은 상황을 고려하여 제작할 구동기의 주요 치수는 Table 1 과 같다. 그리고 여기에 사용할 루프형 바퀴의 개수는 4 개로 정하였다.

Table 1 과 같은 사양으로 제작된 구동기의 1 차 모델로부터 4 개의 루프형 바퀴가 몸체로부터 받는 마찰력은 5 N 정도로 측정되었다. 웜기어와 루프형 바퀴 사이의 마찰계수, 관 내벽과 루프형 바

**Table 1** Actuator dimensions designed for colonoscopy

| Parameter           | Dimension |
|---------------------|-----------|
| Body length         | 50 mm     |
| Body diameter       | 30 mm     |
| Loop wheel diameter | 45 mm     |
| Loop wheel width    | 7.5 mm    |
| Worm gear diameter  | 8.0 mm    |
| Worm gear pitch     | 2.0 mm    |
| Motor diameter      | 12 mm     |
| Motor length        | 25 mm     |

퀴 사이의 마찰계수는 모두 일반적인 윤활제의 사용을 고려하여 0.2 로 가정하기로 한다. 그러면 루프형 바퀴와 몸체 사이의 마찰력으로 인하여 모터 축에 가해지는 등가 마찰 토크는 식 (5)로부터 5.7 mN m 로 계산된다. 직경 50 mm 의 관 내에서 적합하도록 모터와 루프형 바퀴의 사양을 식 (2)와 (7)에 의하여 Table 2 와 같이 얻을 수 있다.

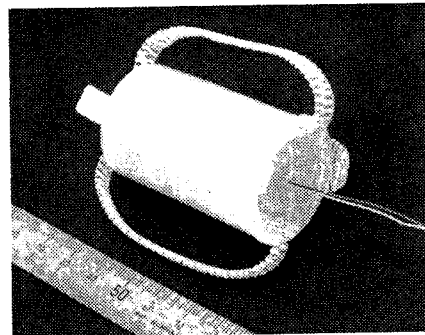
##### 4.2 구동기 제작

Fig. 6 은 본 연구를 위하여 제작된 루프형 바퀴 구동기를 보여준다. Table 1 의 형상을 가지도록 하였으며, Table 2 의 요구조건을 고려하여 모터 및 루프형 바퀴를 장착하였다. 구동기의 전체 길이는 약 60 mm, 직경은 최소 35 mm 에서 최대 60 mm 로 루프형 바퀴의 형태에 따라 변한다. 질량은 39.4 g 이며 5 V 전원으로 동작한다. 루프형 바퀴를 제외한 모터, 웜기어, 보조바퀴 등은 모두 몸체 내부에 장착되어 있으며 외부에 노출되어 있지 않다.

루프형 바퀴는 두께 0.5 mm 의 폴리프로필렌 필름을 환상으로 접합하여 사용하였다. 바퀴에는 웜기어와 맞물려 돌아가도록 하기 위하여 직경 0.6 mm 의 와이어를 감았다. 감긴 와이어는 외부와의 마찰력을 증가시키는 역할도 수행한다. 루프형 바퀴를 제작함에 있어서 관 내벽과의 마찰력을 증가시키기 위하여 방사형으로 일정량 이상의 탄성을 가져야 한다. 하지만, 너무 큰 탄성력을 가지게 되면 구동기 내부에서 모터와 웜기어로 구동시킬 때

**Table 2** Motor and loop wheel specification required for colonoscopy

| Parameter            | Dimension   |
|----------------------|-------------|
| Output torque        | > 10.8 mN m |
| Speed                | > 210 rpm   |
| Loop wheel stiffness | > 234 N/m   |



**Fig. 6** Flexible loop wheel actuator

저항력이 상당히 커지는 문제가 발생한다. 따라서 적절한 탄성 계수를 가지도록 제작해야 한다.

몸체의 중앙에는 기어형 모터가 장착되어 있다. 모터가 낼 수 있는 최대 토크는 340 mN m 이며 하중이 없는 경우에 회전수는 240 rpm 이다. 모터의 회전축에는 웜기어가 고정되어 있으며, 웜기어에는 4 개의 루프형 바퀴가 맞물려 돌아가기 때문에 관 내부에서 상하 및 좌우방향을 모두 지지하며 전진 또는 후진을 하게 된다.

몸체의 후면으로부터 전원 공급을 위한 전선이 나와 있어서 외부의 전압 제어에 의하여 구동기의 이동 방향 및 속도를 조절할 수 있다.

## 5. 이동 성능 평가

### 5.1 추진력 측정 실험

제작된 구동기가 낼 수 있는 최대 추진력을 측정하기 위하여 Fig. 7 과 같은 간단한 실험장치를 사용하였다. 루프형 바퀴가 관의 내벽과 맞닿은 부분은 접착을 시키고 수직 아래 방향으로 저항력을 발생시킨다. 이때 구동기의 추진력은 다음과 같이 결정된다.

$$F_t = (M + M_w)g \quad (10)$$

여기서  $M$  은 구동기 자체의 질량이며,  $M_w$  는 추의 질량이다. 구동기의 이동이 전혀 없는 경우 추의 질량은 287 g 이었다. 따라서, 식 (10)에 의하여 구동기의 최대 추진력은 3.2 N 임을 알 수 있다.

### 5.2 아크릴 관 내에서의 이동

단단한 관 내에서의 이동 특성을 살펴보기 위하여 내경 48 mm 의 투명 아크릴 관 내에서 실험을 수행한다.

먼저 아크릴 관과 루프형 바퀴 사이에 작용하는 최대 정지 마찰력을 측정한다. 이때 기본적인 실험 장치는 Fig. 7 과 유사하나, 관 내부와 루프형 바퀴는 접촉되어 있지 않고 구동기에는 아무런 전압도 인가되지 않는다. 추의 질량을 증가시켜 구동기가 미끄러져 내려오는 한계값을 얻은 결과,  $M_w$  는 45 g 로 얻어졌다. 따라서 식 (8)에 의하여 아크릴 관과 루프형 바퀴 사이에 작용하는 최대 정지 마찰력은 0.83 N 임을 확인할 수 있다. 이는 구동기의 최대 추진력의 약 1/4 로 상당히 작은 값이다. 결국, 구동기의 추진력이 충분하다 할지라도 충분한 마찰력이 형성되지 않아 0.83 에서 3.2 N

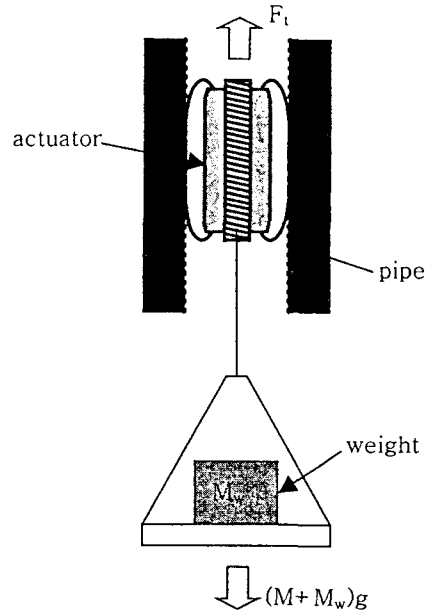


Fig. 7 Experimental setup for thrust force measurement

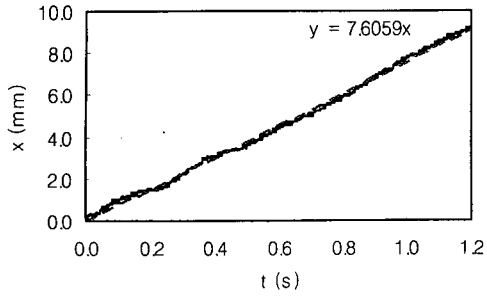
사이의 저항력이 작용할 경우 루프형 바퀴가 관 내벽에서 미끄러지는 일이 발생할 것으로 예상된다.

아크릴 관을 수평으로 두어 구동기의 이동 속도를 측정한다. Fig. 8 은 시간에 따른 구동기의 이동 변위 및 속도의 변화를 보여준다. 전진과 후진의 경우 이동 속도의 차이가 약 0.2 mm/s 로 동일한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 1 m 를 이동하여 평균 이동 속도를 측정한 결과 7.7 mm/s 의 속도를 가짐을 확인하였다.

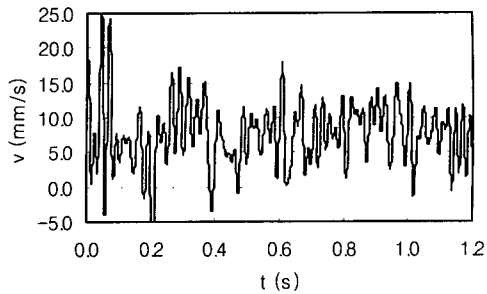
### 5.3 돼지 장 내에서의 이동

유연한 관 내에서의 이동 성능을 평가하기 위하여 돼지 대장에 삽입하여 구동 시킨다. Fig. 8 은 실제 구동 실험을, Fig. 9 는 개념도를 보여준다. 대장이 서로 흡착하는 것을 방지하기 위하여 반대쪽에서 일정한 압력으로 공기를 불어 넣었다.

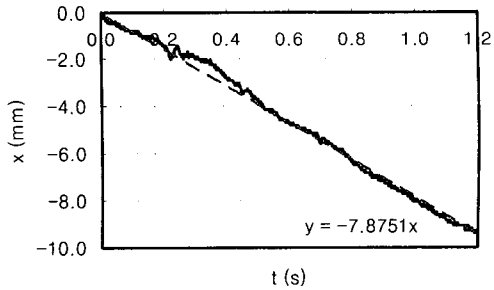
아크릴 관 내벽과의 마찰력 실험과 유사한 방법으로 돼지 장 내벽과의 마찰력을 측정한 결과 공기를 불어넣는 경우에는 약 0.30 N 에서 불어넣지 않은 경우에는 최대 0.98 N 까지 얻어졌다. 아크릴 관 보다 더 큰 최대 정지마찰력을 가지는 것은 점성을 가지는 장 내벽이 루프형 바퀴에 흡착되었기 때문인 것으로 보여진다.



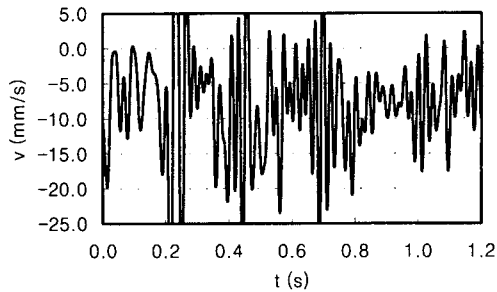
(a) Displacement for forward movement



(b) Velocity for forward movement



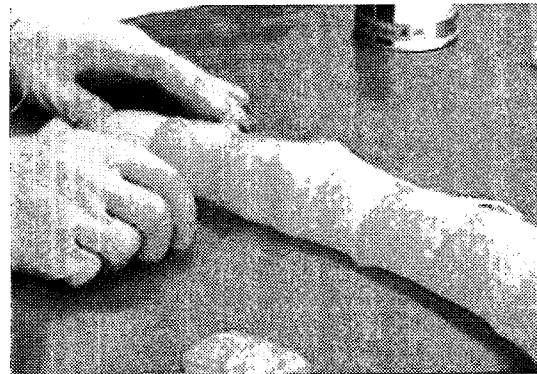
(c) Displacement for backward movement



(d) Velocity for backward movement

Fig. 8 Displacement and velocity profile of the actuator

장 내에서의 이동 성능은 파이프에서와 유사하다. 하지만 파이프에서와 같이 루프형 바퀴를 확실하게 지지하는 데에 어려움이 있으며, 특히 모든 방향에서 동일한 조건으로 바퀴의 회전이 전달되지 않기 때문에 전진 방향이 변하는 경우가 나타난다. 60 cm 의 돼지 장 내에서 전진하는데 걸린 시간은 약 1 분 20 초이다.



(a) Overview



(b) Inside of the pig colon

Fig. 9 Locomotion of the actuator in a pig colon

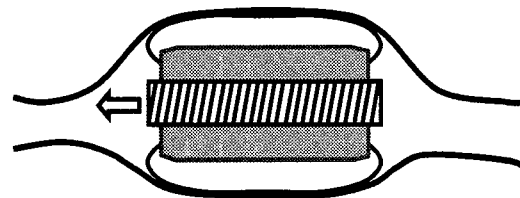


Fig. 10 Conceptual drawing of the locomotion of the actuator in a pig colon

Table 3 Actuator specification measured by experiments

|                  | Rigid pipe<br>( $\phi$ 48 mm) | Pig colon     |
|------------------|-------------------------------|---------------|
| Average velocity | 7.7 mm/s                      | 7.5 mm/s      |
| Friction force   | 0.83 N                        | 0.30 - 0.98 N |
| Thrust force     | 3.2 N                         |               |

## 6. 결론

본 논문에서는 인체 장 내 이동을 위한 메커니즘으로 탄성 루프형 바퀴를 이용하였다. 이 방법을 이용함으로써 외벽으로부터 몸체를 지지하여 장의 중앙에 몸체가 오도록 지탱함과 동시에 전후진의 구동을 수행할 수 있다. 제작된 구동기는 중앙에 위치해 있는 하나의 모터를 이용하여 모든 루프형 바퀴를 동시에 회전시킨다. 본 논문에서는 인체의 대장에서 요구하는 성능을 가지도록 구동기를 설계하는 방법에 대하여 서술하였다. 또한 실제로 제작된 구동기의 추진력과 이동 속도 등의 평가를 위하여 단단한 아크릴 관 및 인체의 장과 유사한 크기를 가지는 돼지 장 내에서 실험을 수행하였다. 그 결과는 Table 3 과 같다.

돼지 장의 경우 그 내벽이 상당히 매끄럽기 때문에 제작된 구동기의 추진력이 크다 하더라도 저항력을 이길 수 없음을 확인하였다. 그리고 현재 장착 가능한 모터의 크기제한 및 효율을 고려할 때 그 추진력에도 한계가 있음을 확인하였다. 하지만, 이는 전력 공급과 통신을 위한 와이어를 끌어당기기 위해 필요한 힘이다. 따라서, 본 구동기의 경우 여러 개의 구동기를 직렬로 연결하여 사용하는 유선 방식이나, 소형 배터리와 무선 통신 장치의 장착으로 와이어가 없는 상황에서 사용하는데 적합할 것으로 예상된다.

추후의 연구 방향은 제작된 구동기의 소형화와 각각의 루프형 바퀴를 독립적으로 구동하여 방향 전환이 가능하도록 함에 있다.

## 후 기

본 논문은 21C 프론티어 - 지능형 마이크로 시스템 개발사업의 일환으로 지원을 받아 수행된 연구의 일부입니다.

## 참고문헌

- (1) Shigeo Hirose, Hidetaka Ohno, Takeo Mitsui, and Kiichi Suyama, 1999, "Design of In-pipe Inspection Vehicles for f25, f50, f150 pipes," *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 2309~2314.
- (2) Toyomi Miyagawa, Koichi Suzumori, Masanobu Kimura and Yukihisa Hasegawa, 1999, "Development of Micro Inspection Robot for Small Piping," *JRSJ*, Vol. 17, No. 3, pp. 389~395.
- (3) 류성무, 최혁렬, 1999, "가스관 내부검사용 주행 로봇 개발," 대한기계학회논문집 A 권, 제 23 권, 제 12 호, pp. 2216~2225.
- (4) Werner Neubauer and Siemens AG, 1994, "A Spider-Like Robot that Climbs Vertically in Ducts or Pipes," *IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems 2*, pp. 1178~1185.
- (5) Brett A. Slatkin and Joel Burdick, 1995, "The Development of a Robotic Endoscope," *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems 2*, pp. 162~171.
- (6) Hyun-Jin Min, Hyung-Jun Lim, Young-Mo Lim, Jung-Jae Park, Byungkyu Kim, and Soo Hyun Kim, 2001, "Magnetic Impact Actuator for Robotic Endoscope," 32nd International Symposium on Robotics (ISR), pp. 1834~1838.
- (7) Sanjiv 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.