

내시경 로봇을 위한 원구동 방사형 이동메커니즘

Radial Type Locomotive Mechanism with Worm for Robotic Endoscope

김경대, 이승학, 김병규, 박종오

(Kyoung-Dae Kim, Seunghak Lee, Byungkyu Kim, and Jong-Oh Park)

Abstract : In this paper, we suggest a new locomotive mechanism for self-propelling robotic endoscope which could substitute conventional endoscope. Many researchers proposed inchworm-like mechanism for self-propelling robotic endoscope. But it could not be commercialized because they did not solve the limitation caused by clamping. Therefore, we suggest a new radial-type locomotive mechanism with worm. It can propel itself in any situation and take passive-steering because of radial type. In addition, it can be miniaturized with worm. In this paper, we evaluate the mechanism in the dead pig colon as well as under various environments, and verify the performance for robotic endoscope.

Keywords : endoscope, worm, worm gear, roller, radial type, oval-wheel-type

I. 서론

현재 상용화되어 있는 인체 대장 내시경은 체내 삽입후 의사가 말단 부분을 밀어 넣어 조작하도록 되어 있다. 따라서 전적으로 의사의 경험정도와 숙련정도에 따라 환자에게 고통과 불편감을 초래하게 되며 팽기추벽 뒤에 숨겨진 종양을 놓치는 경우도 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하고자 전 세계적으로 자율이동형 내시경 로봇에 관한 연구가 이루어지고 있다.

Nanyang Univ.의 Phee는 자율이동형 내시경 로봇의 필요성과 자율이동시 조향에 관한 연구를 수행하였으며[1], Italy의 Dario, Caltech의 Burdick 등은 인치웜(Inchworm) 방식의 이동메커니즘을 연구한 바 있다[2][3]. 또한, 최근 Burdick은 자율주행형 내시경 로봇개발을 위하여 소장을 기계적 관점에서 모델링한 바 있다[4]. 하지만 대부분의 연구자들이 채택하고 있는 인치웜방식의 메커니즘은 대장직경의 급격한 변화(25~50mm)에 따른 클램핑부의 적응성 부족과 공압선 또는 전원선 등을 끌고 들어감에 따른 무선화의 어려움, 클램핑시 대장에 남는 흔적 등의 문제점을 안고 있어 현재까지 상용화 되지 못하고 있다.

이에 본 논문에서는 새로운 원구동 방사형 이동 메커니즘을 제안, 연구하게 되었다. 구동부를 방사형으로 구성함에 따라 주변과 항상 밀착됨으로써 어떠한 자세에서도 추력을 얻을 수 있으며 구동력을 전달하는 웜 내부에 전기모터를 넣음으로 구조가 간단해지고 소형화가 가능하다. 또한 소비전력이 낮은 모터에 의해 구동하므로 소형 배터리(Battery)를 장착한다면 무선화가 가능하다는 장점이 있으며 이동시 클램핑을 하지 않으므로 클램핑에 의한 문제를 해결할 수 있다. 이러한 장점들을 갖는 구동메커니즘을 구

현하기 위해 세 가지의 시제품을 제작, 실험하여 인체 대장 내시경용 이동 메커니즘으로의 가능성을 평가하였다.

II. 방사형 이동장치 구성

1. 기본 개념

제안된 이동메커니즘의 전체 구성도는 그림 1과 같다. 몸체 내부에 한 개의 웜이 장착되어 있고, 내부의 전기모터에 의해 구동된다. 이때, 전기모터는 웜내부에 위치시켜 소형화를 구현하였다. 웜은 몸체를 방사형으로 둘러싸고 있는 롤러(Roller)형태의 웜기어에 구동력을 전달해주고 이 롤러에 의해 외부에 추력을 발생, 메커니즘이 이동하게 된다.

앞·뒤의 클램퍼부는 정밀 검사가 요구되어질 때 몸체를 고정하기 위해 장착되었다. LED와 카메라부는 진단을 위한 장치이고, 배터리와 무선통신 모듈을 통해 외부와 통신이 가능하다면 무선화를 실현할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 개념을 바탕으로 실제 대장에서의 이동 성능의 평가를 위해 구동부를 중심으로 연구를 진행하였다.

2. 이동 메커니즘 설계 및 제작

새롭게 제안된 이동메커니즘의 구동 성능 평가를 위해

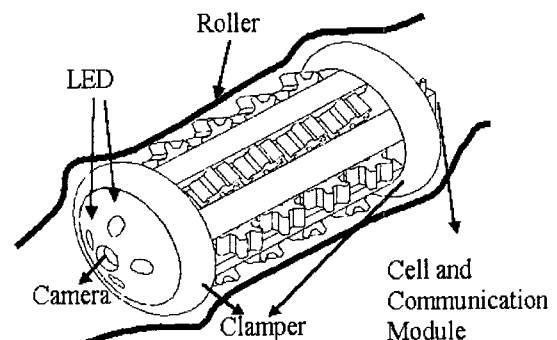


그림 1. 이동 내시경 로봇의 구성도.

Fig. 1. Schematic of locomotive robotic endoscope.

접수일자 : 2001. 9. 17., 수정완료 : 2002. 1. 2.
 김경대, 이승학, 김병규, 박종오 : 한국과학기술연구원(kdkim88@komet.net/meteor@kist.re.kr/bkim@kist.re.kr/jop@kist.re.kr)
 ※ 본 논문은 21C 프론티어 개발사업, 지능형 마이크로 시스템 개발사업의 일환으로 지원을 받아 수행된 연구의 일부입니다.

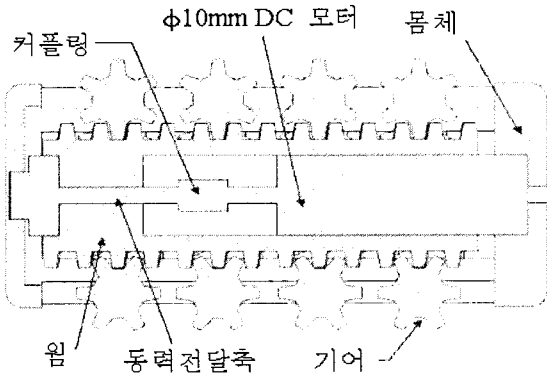


그림 2. 이동 메커니즘의 단면도.
Fig. 2. Sectional view of locomotive mechanism.

그림 2의 단면을 가지는 시제품(Prototype)을 설계, 제작하였다. 웜 내부의 모터는 몸체에 고정되어 모터축으로부터 나온 토크가 커플링을 거쳐 동력전달 축으로 전달되어진다. 동력전달 축은 웜에 토크를 전달해주며 웜의 회전에 따라 맞물려 있는 기어가 회전하게 된다.

이동 메커니즘의 소형화와 구조의 단순화, 방사형이라는 세가지 특성을 반영하기 위해 롤러 형태를 웜과 맞물리는 기어형태로 하였고, 전기모터를 웜내부에 넣음으로써 길이 방향의 소형화를 실현할 수 있도록 하였다.

이들 토대로 시제품 I, II를 제작하였다. 시제품 I, II 모두 다수의 웜기어를 몸체 둘레 방향으로 60° 간격 6열 방사형으로 배치하였다. 사용된 전기모터와 시제품 I, II의 사양은 표 1, 2와 같다.

시제품 II는 시제품 I의 큰 치수와 전체 형상이 원통형임에 따른 장애물 극복의 한계를 개선하기 위해 설계, 제작하였다. 소형화를 위해 웜기어의 지름과 기어이 높이를 축소하였고, 원통형 형상에 앞·뒤 경사각 7°를 주어 장애물 접근시 장애물이 로봇 밑으로 쉽게 들어갈 수 있도록 설계, 제작

표 1. 기어 모터의 사양.
Table 1. Specification of geared DC motor.

크 기	φ 10×35.4mm
감 속 비	64:1
정 격 토크	36.6mNm
회 전 속도	159.4RPM

표 2. 방사형 이동 메커니즘의 사양.
Table 2. Specification of radial type locomotive mechanisms.

항목	시제품 I	시제품 II
전체길이	97mm	67mm
전체직경	43mm	31mm
형상	원통형	앞·뒤 경사 7°
기어개수	6열 4개씩, 총24	6열 5개씩, 총30
기어 모듈/잇수	1.57 / 6개	0.8 / 8개
기어직경/이 높이	14 / 3.8mm	8 / 1.7mm

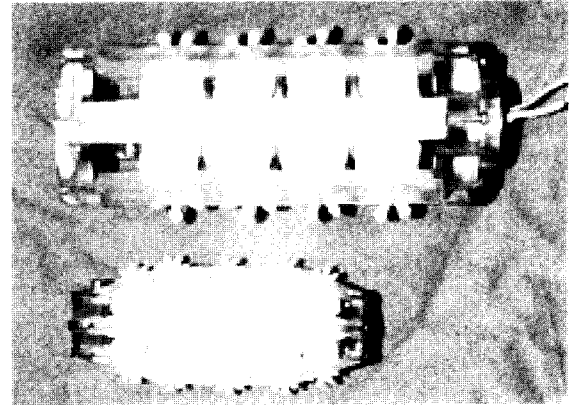


그림 3. 방사형 이동 메커니즘 I, II.
Fig. 3. Radial type locomotive mechanism I, II.

하였다. 이를 위해 웜의 형상을 계단형으로 제작하였다. 그림 3는 실제 제작되어진 시제품 I, II이다.

III. 이동특성 해석

본 논문에서 제안한 메커니즘의 이동특성을 시제품 I을 대상으로 웜기어에 작용하는 최대토크 및 힘을 계산하였으며, 로봇이 발생시킬 수 있는 추력, 이동속도 등을 이론적으로 구하였다.

1. 웜기어에 작용하는 최대토크 및 힘

로봇이 외부에 구동력을 전달해주는 웜기어의 최대 토크 및 힘을 구하기 위해 그림 4와 같이 모델을 단순화시켰다. 리드각 λ인 웜에 다수의 웜기어가 구동되지만 각각의 웜기어가 같은 조건으로 물려 구동하므로 한 개의 웜기어로 단순화시킬 수 있다. 단순화된 모델을 웜기어의 FBD(Free Body Diagram)를 통하여 토크 및 힘을 해석하였다.

웜이 전기모터에 의해 토크 T_w로 구동이 될 때 웜기어에 전달되는 힘은 웜의 리드각 λ에 의해 축방향 힘 P를 발생시킨다. 축방향 힘 P는 웜과 웜기어의 접촉부위에 작용하는 힘으로 웜기어를 회전시키는 힘이 된다. P를 구하기 위해 평형 방정식을 세우면 (1), (2)와 같다.

$$\sum F_x = 0, \quad -P + \mu N \sin \lambda - N \cos \lambda = 0 \tag{1}$$

$$\sum F_y = 0, \quad -W_w - N \sin \lambda - \mu N \cos \lambda = 0 \tag{2}$$

여기서 μ는 웜과 웜기어의 동마찰 계수, N 수직 접촉하중이며 W_w는 웜의 접선방향으로 작용하는 힘으로 웜의 피치

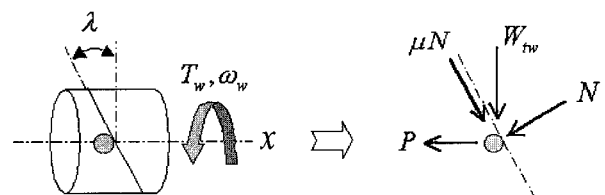


그림 4. 웜과 웜기어의 단순화 모델 및 자유물체도.
Fig. 4. Simplification and FBA of worm and worm gear.

다이아미터(Pitch diameter)를 d_w 라 했을 때 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$W_w = \frac{T_w}{(d_w/2)} \quad (3)$$

(1), (2), (3)을 정리하면 P의 값은 (4)와 같다.

$$P = \frac{(\cos \lambda - \mu \sin \lambda)}{(\sin \lambda + \mu \cos \lambda)} \cdot \frac{T_w}{(d_w/2)} \quad (4)$$

(4)에 의해 구하여진 힘 P에 의해 웜기어에 전달되어지는 토크를 유도할 수 있다. 웜기어의 피치다이아미터가 d_g 일 때 발생하는 토크는 (5)와 같다.

$$T_g = P \times \frac{d_g}{2} \quad (5)$$

따라서 한 개의 웜에 의해 전체 웜기어에 발생하는 토크는 다음과 같다

$$T_g = \frac{(\cos \lambda - \mu \sin \lambda)}{(\sin \lambda + \mu \cos \lambda)} \cdot \frac{d_g}{d_w} T_w \quad (6)$$

2. 추력(Thrust Force)

추력은 내시경 로봇이 이동 시 외부로부터 받는 저항을 극복하기 위해 발생시키는 힘이다. 추력이 외부저항보다 클 때 이동이 가능하고 저항이 더 크면 이동이 불가능하다. 하지만 추력은 모터에 의해 발생시킬 수 있는 최대 힘과는 다르게 외부환경과 구동부가 접촉하여 발생하는 마찰저항과 관계가 있으며 마찰 저항이 곧 추력이 된다. 즉, 구동부가 발생시킬 수 있는 최대힘이 추력보다 커서 마찰 저항을 극복하고 추력이 외부저항 보다 클 때 로봇은 이동할 수 있다. 따라서 로봇과 외부환경 사이의 마찰은 로봇의 이동에 있어서 중요한 변수가 된다.

그림 5는 로봇과 외부환경과의 힘 관계를 나타내고 있다. 제시한 이동 메커니즘은 외부 구동부가 여러 개의 동일한 웜기어로 배치되어 있어 한 개의 웜기어로 모델링하여 평형조건을 유도할 수 있다. 외부환경과 접촉하여 추력을 발생시키는 웜기어의 개수를 n, 각각의 웜기어와 접촉부 사이의

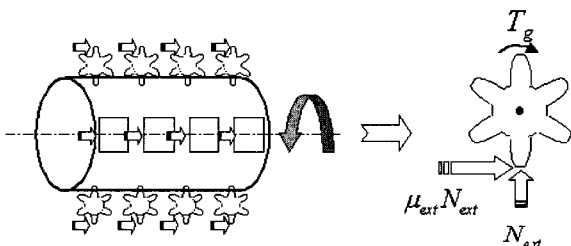


그림 5. 외부환경의 자유물체도.
Fig. 5. FBD of external space.

마찰계수와 접촉하중을 μ_i, N_i 라 했을 때 그림 5의 평형조건에 의해 한 개의 웜기어로 모델링하여 전체 추력 F_t 를 계산하면 (7)과 같이 된다.

$$F_t = \sum_{i=1}^n \mu_i N_i = \mu_{ext} N_{ext} \quad (7)$$

여기서 μ_{ext} 는 구동부와 외부 사이에서 발생하는 동마찰계수이고 N_{ext} 는 로봇과 외부와의 전체 수직 접촉하중이 된다.

3. 이동속도(Moving Velocity)

웜과 웜기어를 이용한 로봇의 속도는 웜기어의 회전속도를 구함으로써 알 수 있다. 웜이 각속도 ω_w 로 회전할 때 웜기어의 각속도 ω_g 는 기어잇수 n_g 에 반비례하게 된다.

$$\omega_g = \frac{\omega_w}{n_g} \quad (8)$$

이때 외부와 접촉하는 웜기어 끝단의 속도 V_{tip} 가 로봇의 속도 V_{body} 가 되며 웜기어의 반지름을 R_g 라 할 때 회전체의 접선속도식으로부터 (9)와 같이 구해진다.

$$V_{tip} = V_{Body} = R_g \times \frac{\omega_w}{n_g} \quad (9)$$

IV. 실험

제안된 메커니즘은 인체대장내에서 신뢰성을 확보하며 이동이 가능한 로봇을 구현하기 위한 것이다. 따라서 유연하고 미끄러우며 팽기추벽과 같은 장애물과 α, γ 루프와 같은 곡선로가 존재하는 환경을 주행할 수 있어야 한다. 이러한 열악한 환경에서 메커니즘의 신뢰성을 확보하기 위하여 실험을 수행하였다.

추력은 내시경으로써 검사 또는 수술시 끌어야 할 공압선이나 전원선 등에 의한 외부저항을 극복할 수 있는 힘으로 중요한 변수가 된다.

추력과 이동속도의 측정은 시작품 I을 대상으로 실험하여 이론치와 비교, 검증하였다. 그리고 돼지 대장(In Vitro)을 포함한 여러 환경에서의 이동은 시작품 I, II를 대상으로 검증하였다.

1. 실험장치

그림 6은 이동장치의 추력을 측정하기 위한 장치이다. 로드셀을 이용하여 테스트베드(Test bed)에 생체적 특성을 지니는 실리콘 판(a)과 돼지 대장(b)을 대상으로 로봇이 발생시키는 추력을 측정하였다. 측정된 신호는 PC에 장착된 DAQ 보드 PC-Lab Card 812PG를 통하여 1msec마다 기록하였다.

2. 추력, 이동속도

실리콘판과 시작품 I과의 마찰계수는 $\mu_s=0.512$ 이고 접촉하중은 로봇의 무게인 125gf가 된다. (7)에 의해 추력값을 구하면 $F_{ts}=64gf$ 임을 알 수 있다.

그림 7(a)은 실리콘 판에서 계산되어진 추력값과 실험적

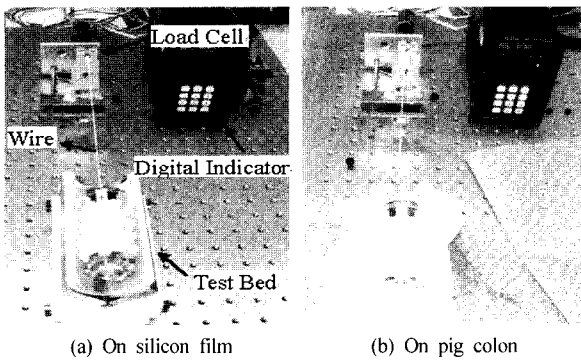


그림 6. 끄는 힘 측정 실험 장치.
Fig. 6. Experimental setup for dragging force.

으로 구한 추력값을 비교하기 위한 그림이다. a는 로봇을 로드셀에 텅스텐와이어로 묶어놓고 이동하게 한 후 증폭기를 통하여 1msec 간격으로 로드셀에 발생하는 끄는힘(Dragging force)을 기록한 것이며, b는 끄는힘에 의해 로봇이 전진하지 못할 때, 추력값의 평균을 표시한 것이다. c는 a, b의 실험값과 비교하기 위한 (7)의 계산식에 의한 이론적인 추력값이며, d는 (4)에서 웜과 웜기어의 마찰을 $\mu=0.3$ 으로 가정했을 때 모터가 낼 수 있는 웜기어의 접선방향으로의 최대힘을 나타낸다.

그래프를 보면 실험으로 구한 추력값이 계산된 값보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 추력계산시 접촉면을 평면으로, 웜기어를 원형으로 가정하여 접선방향의 힘만을 고려하였기 때문이다. 실제로 유연한 실리콘에서 웜기어의 이 끝단 부분과 접촉하는 실리콘 표면의 변형에 의해 미끄러짐(Slip)이 사라지게 되므로 웜기어에 의해 전달되는 추력이 이동체에

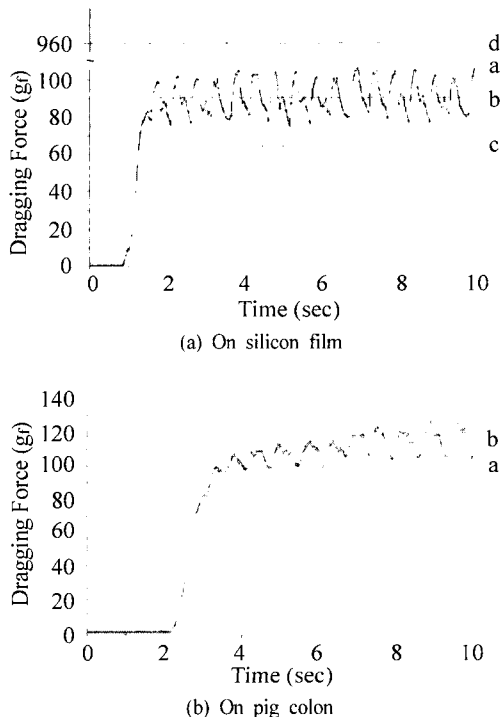


그림 7. 끄는 힘.
Fig. 7. Dragging force.

그대로 전달되어 순수한 마찰 저항보다 큰 추력을 낼 수 있게 된다.

그림 7(b)는 돼지 대장에서의 추력변화를 측정 한 것이다. 여기서 b는 웜기어의 미끄러짐에 의해 로봇이 앞으로 전진하지 못할 때의 평균 추력을 나타낸다. 실리콘에서의 평균 추력이 90.6gr인데 반해 대장에서의 평균 추력은 111.2gr로 더 큰 것을 알 수 있다. 마찰계수가 작음에도 불구하고 이러한 현상이 나타나는 것은 대장의 주름과 조직의 유연성 때문에 웜기어의 이가 대장에 변형을 초래하여 추가적으로 발생하는 힘에 의한 것이다.

이동속도는 약 16mm/s의 일정한 속도가 측정되었으며 (9)에 의해 계산되어진 19.46mm/s과 근접한 결과를 보여주었다. 이와 같이 미소한 차이를 보이는 것은 대장의 미끄러운 환경 때문이다.

3. 여러 환경에서의 이동

시작품 I을 대상으로 유연한 환경으로 스폰지 위에서의 이동과 미끄러운 곡관 아크릴에서의 이동성능을 실험 하였다. 그림 8(a)와 같은 스폰지 위에서의 이동은 웜기어가 로봇의 하중에 의해 기어 이 끝단이 스폰지에 일정 부분 파묻히지만 웜기어의 회전에 영향을 주지 않아 유연한 환경에서 효과적 이동을 가능함을 확인할 수 있었다.

그림 8(b)는 곡률 $\rho=0.033cm^{-1}$ 인 매끄러운 곡관에서의 이동 실험 모습이다. 곡률이 심한 곳에서 이동시 로봇의 앞 부분과 관벽 사이의 마찰로 인해 웜기어가 미끄러져 이동속도가 저하되는 것을 발견할 수 있었다. 그러나 로봇이 방사형이므로 몸체 옆에서 구동되는 웜기어가 관 내벽에 닿아 구동력을 발생하여, 몸체를 스스로 틀어 조향하는 것을 볼 수 있었다. 즉, 곡관에서도 로봇이 경로를 따라 수동적 조향(Passive steering)을 통하여 주행이 가능함을 확인할 수 있었다.

4. 돼지대장(In Vitro)에서의 이동

시작품 II는 시작품 I과 구동원리가 같다. 시작품 I이 실제 대장 내시경용으로 쓰이기에는 치수가 크고 몸체 형상이 전체적으로 원통형이므로 이동시 장애물 극복과 수동적 조향에 있어서 문제점이 발견되어 보완한 모델이 시작품 II이다.

그림 9(a)는 돼지 대장을 절단해 주름이 많이 진 부분 위에서의 이동성능을 실험한 것이다. 이를 통해 대장내 팽기 추력과 같은 장애물 극복 능력을 알 수 있다. 시작품 II는 앞, 뒤 경사가 7°를 이루어 장애물이 몸체 밑으로 자연스럽게 들어가며, 들어간 장애물은 구동부에 의해 밀려 로봇이 부드럽게 이동함을 볼 수 있었다.

그림 9의 (b)는 원형 돼지 대장 안에서의 이동 실험을 소

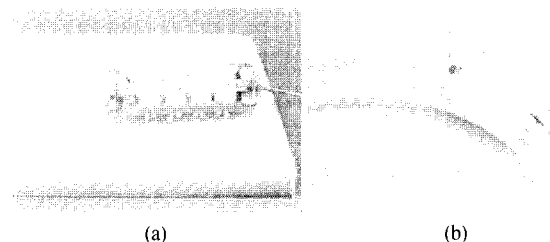


그림 8. 여러 환경에서의 이동.
Fig. 8. Moving on various environment.

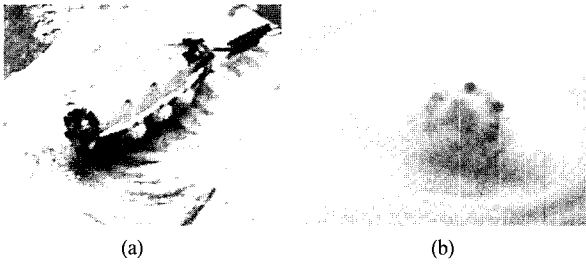


그림 9. 대장에서의 방사형 이동메커니즘 II.
Fig. 9. Radial type locomotive mechanism II In Vitro test.

형 CCD카메라를 통하여 촬영한 것이다. 이동 메커니즘의 이동공간 확보를 위해 대장 내에 공압을 불어넣어 주었으며 로봇은 대장에 감싸여진 상태로 이동하게 된다. 미끄러운 대장환경에서 대장과 웜기어의 접촉시 대장 형상의 변형에 의한 웜기어의 미끄러짐 현상은 미미하였다.

V. Prototype III

1. Prototype I, II의 문제점

시작품 I, II를 통해 대장에서 요구되는 조건을 충족하는 이동 메커니즘의 성능을 검증하였다. 검증을 통하여 웜 구동 방사형 메커니즘의 장점을 확인할 수 있었지만 구동부가 웜기어 형태에 따른 대장 내 손상과 이물질이 존재할 때 축과 웜이 외부에 노출함으로써 발생하는 이물질이 끼이는 현상의 문제점을 발견할 수 있었다. 이러한 문제점은 외부 접촉부인 웜기어의 형상을 부드러운 형태로 변화시키고, 축과 웜을 외부와 차단시키는 씰링(Sealing)장치를 고안하여 해결하도록 하였다. 이를 토대로 시작품 III을 설계, 제작하여 대장내에서의 이동 성능을 검증해 보았다.

2. 보완 모델 설계, 제작

그림 10은 시작품 I, II에서 발생하는 문제점을 개선하기 위해 제작되어진 계란형(Oval-type) 바퀴를 가지는 이동 메커니즘이다. 웜구동과 방사형이란 기본원리는 같지만 외부 구동부를 웜기어 대신 계란형바퀴를 사용하였다. 바퀴의 구동은 웜에서 전달되는 구동력을 한 개의 웜기어와 웜기어에 물리는 평기어에 의해 축으로 전달되어지며 축에 전달되어진 구동력이 계란형 바퀴를 구동하게 되어있다. 시작품 I, II의 웜과 웜기어 사이에 이물질이 끼이는 현상을 방지하기 위해 구동력을 전달하는 웜기어와 평기어는 기어상자(Gear box)에 의해, 웜은 하우징(Housing)을 통해 외부에 노출되지 않도록 하였다.

외부와 접촉하는 구동부의 형태를 각이진 웜기어에서 계란형태의 부드러운 형상으로 바꾸어 대장내 손상을 최소화하였다.

돼지 대장(In Vitro)에서의 성능 검증을 통해 이물질이 로봇에 끼이는 현상, 외부의 구동력 전달시 대장 조직을 손상시키는 현상이 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 즉, 시작품 I, II와 같이 웜구동, 방사형 구조의 장점을 살리면서, 발생된 문제점을 해결할 수 있었다. 하지만 대장내 미끄러짐으로 인하여 이동 속도는 시작품 I, II에 비해 현저히 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다.

따라서 바퀴의 형상을 효율적으로 설계하여 미끄러짐을

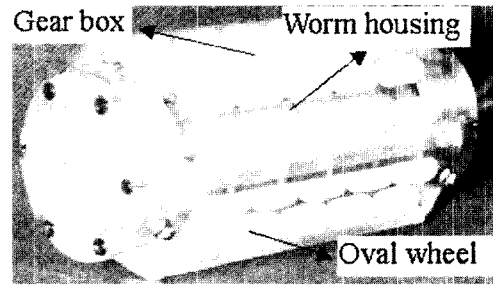


그림 10. 방사형 이동메커니즘 III.
Fig. 10. Radial type locomotive mechanism III.

방지할 뿐 아니라 장의 손상을 막을 수 있는, 두 가지 목적을 동시에 충족시킬 수 있는 연구가 추가적으로 필요하다.

VI. 결론

인체 대장이라는 여러 가지 변수를 가지는 새로운 환경에서의 이동을 위한 메커니즘을 제시하였다.

하나의 모터 축에 의해 방사형으로 배치된 다수의 구동부를 이용함으로써 얻는 소형화, 수동적 조향기능, 장애물 극복 능력 등의 장점을 확인할 수 있었으며, 3차에 걸친 시작품 제작 및 대장 실험(in-vitro test)을 통해 각 시작품의 문제점을 확인, 보완하였다.

이동 특성 해석을 통해 시작품 I, II의 추력산출 시 로봇과 외부환경과의 마찰 저항이 중요한 변수가 됨을 알 수 있었으며, 이를 통해 이동 시 저항이 생길 때 극복할 수 있는 힘의 해석적 근거를 마련하였다.

또한 로봇이 이동하기 위해 추력보다 커야 할 본 메커니즘의 최대 힘을 해석적으로 구함으로써, 설계시 고려되어져야 할 요소를 수식화할 수 있었다.

앞으로 인체 대장내 주행할 수 있는 로봇 메커니즘을 구현하기 위해 추력을 높이기 위한 구동부 형상과 재질에 관한 연구, 능동적 조향을 위한 연구 등이 필요할 것으로 판단된다. 추력을 높이기 위해서는 마찰저항을 높이는 재질을 선택하거나 클램핑과 같은 방법으로 일시적으로 접촉력을 증가시켜 추력을 키우는 방법과 마찰저항 외의 방법으로 추력을 발생시킬 수 있는 구동부를 개발하는 방법 등을 생각할 수 있을 것이다. 능동적 조향을 위해서는 둘 이상의 모듈화(modularized)된 로봇을 그림 11과 같이 선형 구동기로 연결한다면 경로에 의지하지 않고 스스로 조향이 가능할 것이다.

인체 대장이라는 환경은 생명과 관계가 있어 이동 로봇의 입장에서 보면 다른 어떠한 환경보다 열악하다고 볼 수 있다. 따라서 이동 로봇의 신뢰성을 확보하기 위해서는 많은 연구와 실험이 필요할 것으로 판단된다.

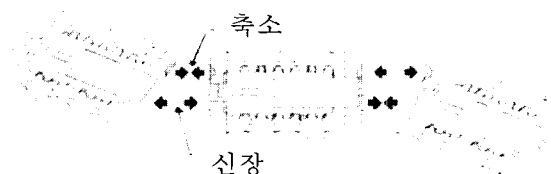


그림 11. 능동 조향을 위한 모듈화된 로봇의 개념.
Fig. 11. Concept of modularized robot for active steering.

참고문헌

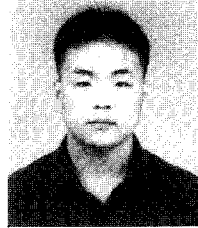
- [1] S. J. Phee, W. S. Ng, I. M. Chen, F. Scow-Choen, and B. L. Davies, "Locomotion and steering aspects in automation of colonoscopy," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, pp. 85-96, Nov.-Dec., 1997.
- [2] P. Dario, M. C. Carrozza, L. Lencioni, B. Mahnani, and S. D'Attanasio, "A micro robotic system for colonoscopy," *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1567-1572.
- [3] A. Brett Slatkin and Joel Burdick, "The development of a robotic endoscope," *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. On Intelligent Robots and Systems*, pp. 162-171.
- [4] H. D. Hoeg, A. B. Slatkin, J. W. Burdick, and Dr. Warren S. Grundfest, "Biomechanical modeling of the small intestine as required for the design and operation of a robotic endoscope," *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, San Francisco (CA), pp. 1599-1606.



김 경 대

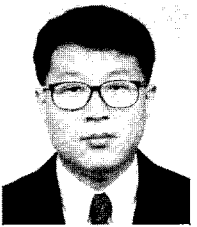
1969년 8월 29일생. 1995년 한양대학교 정밀기계공학과(공학사). 1998년 한양대학교 정밀기계공학과(공학석사). 1999년~2001년 한국과학기술연구원(KIST) 위촉연구원, 2001년~현재 Univ. of Wisconsin 기계공학과

박사과정 재학중. 관심분야는 마이크로 로봇, Micro Actuator.



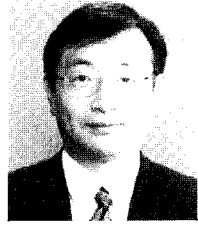
이 승 학

1975년 8월 23일생. 2001년 한양대학교 기계공학부 졸업. 2001년~현재 한양대학교 대학원 정밀기계공학과 석사과정 재학 및 한국과학기술연구원(KIST) 학생연구원. 관심분야는 마이크로 로봇.



김 병 규

1965년 2월 7일생. 1997년 Univ. of Wisconsin 기계공학과(공학박사). 2000년~현재 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원. 관심분야는 마이크로 로봇, Micro Actuator, MEMS Simulation.



박 종 오

1955년 9월 13일생. 1987년 Univ. of Stuttgart(in Germany) 기계공학과(공학박사). 1982년~1987년 Institut Produktionstechnki Automatisierung 객원연구원. 1987년~현재 한국과학기술연구원 마이크로시스템 센터 책임

연구원. 지능형 마이크로 시스템 센터 단장. 관심분야는 마이크로 로봇, MEMS.