한국정밀공학회지 제 18 권 제 10 호 (2001 년 10 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 18, No. 10, October 2001.

자율주행 내시경을 위한 공압 구동장치의 이동특성에 관한 실험적 연구

임영모*, 박지상**, 김병규**, 박종오**, 김수현***

Experimental Study on the Movement of Pneumatic Actuating Mechanism for Self-Propelling Endoscope

Young Mo Lim*, Ji Sang Park**, Byung Kyu Kim**, Jong-Oh Park** and Soo Hyun Kim***

ABSTRACT

In this paper, we propose a new locomotive mechanism using impulsive force for microcapsule-type endoscope. It has the compact size for movement in the colon and actuating mechanisms for bi-directional movement. The actuating mechanism resembles a pneumatic cylinder and consists of body, inertia mass(piston), spring, pneumatic source and valve. When valve is ON, the pneumatic impulsive force between piston and body drives them in two opposite direction. As the air in the body is passed away, the contrary movements are occurred by spring reaction. Therefore, the direction of body's motion is determined by the relative magnitude of two opposite impulsive forces, i.e., pneumatic and spring force. The effect of two impulsive forces can simply be controlled by On-Off time of solenoid valve.

Key Words : Endoscope (내시경), Micro robot (미소 로봇), Actuator (구동기), Locomotive mechanism (이동 메커니즘)

1. 서론

내시경은 인간의 여러 장기에 걸쳐 광범위하게 진단과 치료에 적용되고 있다. 대장에 사용하는 기존의 내시경은 직경이 9mm 정도이고, 의료진이 수동으로 조종하도록 구성되어 있기 때문에 길이가 길고 어느 정도 강성을 가진다. 이에 따라 내시경 시술시 환자가 고통이나 불쾌감을 느끼게 된다. 또한, 내시경을 인체 내의 장기에 주입하여 원하는 특정 부위를 진단하거나 치료하기 위해 이동하려면 고도의 숙련된 기술이 필요한 문제점이 있다. 따라서 이러한 기존의 내시경의 문제점을 해결하기 위하여 소형의 자율 이동 기능을 갖는 캡슐형 내시경의 개발이 절실히 요구된다.

자율 주행 기능을 가지는 내시경에 관한 연구는 주로 인치웜 메커니즘(inchworm mechanism)을 이용하고 있다. 이탈리아의 Dario 는 장벽에 고정(clamp)시키기 위하여 진공 노즐(suction nozzle)을 사용하고 이동을 위한 장치로 실리콘 고무 벨로즈(bellows)를 사용한 인치웜 방식의 자가 추진 내시경을 개발하였다.[1] Reynaerts 등은 형상기억합금을 이용하여 반경 방향으로 pad 를 뻗쳐서 장기 안에

☞ 2001 년 1 월 29 일 접수
* 삼성경제연구소 기술산업실
** 한국과학기술연구원 마이크로시스템 센터
*** 한국과학기술원 기계공학과

고정할 수 있는 내시경을 개발하였다.[2] 한편, Slatkin 등은 실리콘 풍선을 이용한 내시경을 개발하였으며[3], Kuar 등은 공압 진공 컵을 사용하였다.[4] 이상에서 살펴본 바와 같이 기존의 자율주행 내시경에 관한 연구는 인치웜 방식을 이용하고 있다. 그러나 대장 안에서의 이동은 관내 이동과는 다르게 직경변화가 심하고, 미끄러우며, 신축성이 큰 대장의 특성 때문에 장벽에 고정하여야 하는 인치웜 방식으로는 한계가 있다.

본 논문은 선행연구[6]에서 제안하였던 캡슐형 내시경의 개념을 구현하기 위한 공압 구동장치에 관한 것이다. 공압 구동장치의 이동원리를 살펴보았으며, 이동특성을 실험을 통하여 살펴보았다.

2. 자율주행 내시경의 개념설계

대장은 Fig. 1 과 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.[5]

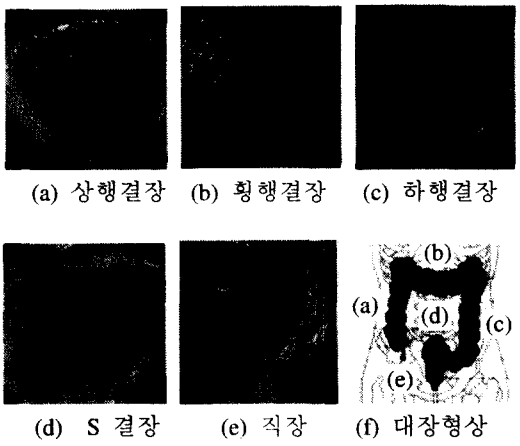

Fig. 1 Inside of the Colon

대장의 형태는 사람마다 그 특징을 달리한다. 일반적으로 사람의 대장은 'Π' 형태이지만, 꼬여 있는 경우도 있다. 또한 그림에서도 알 수 있듯이 대장내는 많은 굴곡과 판막이 있다. 대장은 음식물이 들어오기 전에는 늘어나지 않고 있다가 음식물이 들어오게 되면 반지름 방향으로 늘어나며, 복부에 고정이 되어 있지 않고 위결장간막에 의해 싸여 있는 상태이므로 상황에 따라 유동적이다. 또한, 대장내의 불규칙한 형상, 미끄러운 표면 등을 고려한 내시경 설계가 이루어져야 한다. 기능적으로 양방향 이송 및 방향전환이 가능하여야 한다. 또한, 유연한 몸체와 항문을 통한 삽입이 가능하도록 크기가 충분히 작아야 하며 생체 친화적인 재질을 사용하여야 한다.

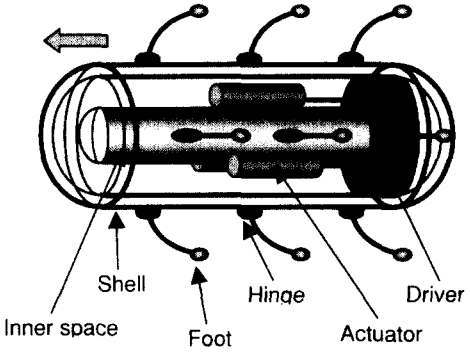

Fig. 2 Conceptual design of the proposed system

이상과 같은 대장의 특성을 고려한 자율주행 내시경의 개념도는 Fig. 2 와 같다. 먼저 구동장치 몸체를 대장 내로부터 띄우고 중심에 위치해 있도록 하기 위하여 방사형으로 지지장치를 설치한다. 지지부는 대장과 직접 접촉하기 때문에 생체 친화적인 재질을 사용하여야 하며, 이동 중 장의 손상을 피하기 위하여 연한 재질을 사용하여야 한다.

목표로 하고 있는 캡슐형 내시경의 크기는 직경이 25mm, 길이가 50mm 이고 내부에 다른 장치를 위한 공간을 배려해야 하기 때문에 추진을 위한 구동기는 크기가 작아야 한다. 또한, 구동기는 전후진이 가능하여야 하며, 추후에 선을 제거하기 위하여 제어가 간단하여야 한다. 이러한 구동기를 Fig. 2 와 같이 삼각형 형태로 세 개를 부착하면 3 차원 공간상에서 전후진을 비롯하여 임의의 방향으로 전환이 가능하다.

3. 공압 구동장치

3.1 구조

캡슐형 내시경의 이동을 위해 개발한 공압 구동기의 개념도는 Fig. 3 과 같다. 구동기는 공압 실린더와 유사한 형태로 몸체와 피스톤, 스프링으로 구성되어 있다. 압축 공기는 외부에 설치된 밸브와 관을 통하여 공급되거나 빠져나간다. 피스톤과 몸체 사이에는 스프링이 설치되어 있고, 피스톤은 공압과 스프링 반발력에 의해 몸체 내에서 전후진을 한다. 피스톤이 전진 또는 후진을 할 때 실린더 내부공기의 압축에 의한 효과를 제거하기 위하여 공압 관이 설치되어 있는 쪽의 반대쪽에 노즐을 설치하였다. 노즐을 통하여 빠져나간 공기는 대장내에 공기를 공급하는 역할을 하게 되어 내시경에 별도의 공기 공급장치를 설치할 필요가 없다. 또한, 그림에서 볼 수 있듯이 공압 구동기는 구조가 간단하여 소형화가 가능하다.

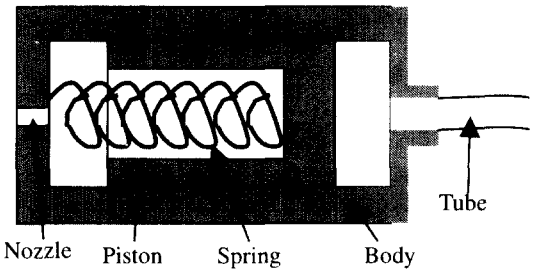

Fig. 3 Schematic diagram of pneumatic impulsive actuator

3.2 구동원리

공압 이동 메커니즘의 구동원리는 Fig. 4 와 같다. 구동기에 공기가 인가되면 피스톤은 공압에 의해 전진하게 된다. 이때, 몸체에도 공압이 작용하게 되어 몸체에 가해지는 힘이 몸체와 외부벽사이의 마찰력보다 크게 되면 몸체는 피스톤의 이동방향과 반대로 움직이게 된다. 반대로 공기를 방출하면 스프링력에 의해 피스톤은 초기의 위치로 되돌아오고, 몸체는 스프링의 반발력에 의해 전진하게 된다. 추후의 논의에서는 위에서 언급한 것과 같이 공기 인가시 공압에 의해 몸체가 후진하는 현상을 공압 효과(pneumatic effect), 반대로 공기 제거시 스프링에 의해 전진하게 되는 현상을 스프링 효과(spring effect)라고 정의한다.

이상에서 살펴본 바와 같이 몸체에는 단위 구동 주기 동안 두가지의 반대되는 운동이 발생하며, 두가지의 상반된 효과의 상대적인 크기 차이에 의하여 구동기의 이동속도 및 방향이 결정된다.

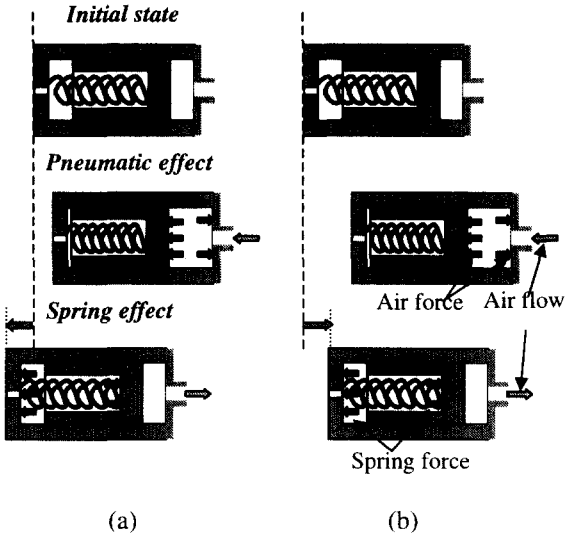

Fig. 4 Principle of movement (a) Forward movement (Pneumatic effect < Spring effect) (b) Backward movement (Pneumatic effect > Spring effect)

4. 실험

4.1 실험장치

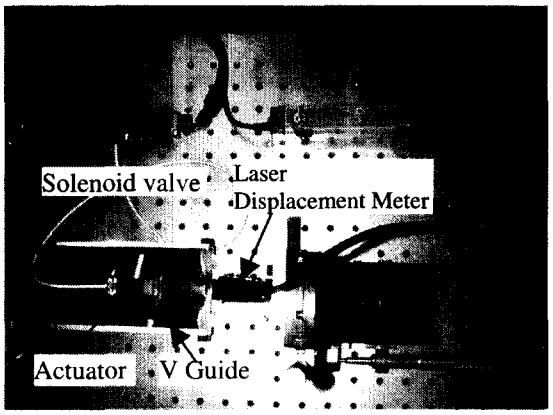

Fig. 5 Experimental setup

본 연구에서 개발한 구동기의 이동특성을 파악하기 위한 실험장치의 구성은 Fig. 5 와 같다. 구

동기는 V 홈 가이드 위에서 이동하며, 변위는 Keyence 사의 레이져 변위계를 이용하여 측정하였다. 공압 펌프에서 공급되는 공기는 2/3 솔레노이드 밸브를 통과하여 구동기에 인가된다. 솔레노이드 밸브의 제어와 레이져 변위계의 신호검출에는 Advantech 의 PC-Lab 보드를 사용하였다.

4.2 실험결과

4.2.1 단일 구동기 특성실험

공압 구동기의 특성을 파악하기 위해 제작한 단일 구동기는 Fig. 6 과 같다. 몸체는 외경 15mm, 내경 6mm, 길이 43mm 의 크기를 가지며 투명 아크릴로 제작되었다. 피스톤의 재질은 Stainless steel 이며, 외경 6mm, 길이 15mm 이고 내부에 스프링을 설치하기 위한 홈이 파져 있다. 스프링은 외경 4mm 의 압축 스프링을 사용하였다.

Fig. 6 Photograph of single actuating unit

Fig. 7 은 공압 50kPa, 스프링 상수 88.2N/m, 공기의 인가와 방출 시간을 각각 45msec 로 하였을 때의 구동기의 변위특성을 관찰한 결과이다. 공기가 인가 되면 공압 효과에 의해 몸체가 뒤로 밀리다가 공기가 방출되면 스프링 효과에 의해 앞으로 진진하게 되는 현상을 관찰할 수 있다. 또한, 일정한 거리만큼 몸체가 전진 또는 후진을 한 후 멈추어 있는 현상을 관찰할 수 있는데, 이러한 현상은 두가지 효과의 크기가 몸체와 외벽 사이의 마찰력보다 작아져서 발생한 것이다.

3.2 절에서 살펴본 바와 같이 공압 구동기의 이동은 공압 효과와 스프링 효과의 크기에 의해서 영향을 받는다. 이러한 두가지 효과의 크기는 공압의 크기, 스프링 상수, 공기의 인가와 방출 시간 등에 의해 결정되어 진다. 이러한 반발력에 영향을 미치는 변수들과 구동기의 이동특성 사이의 상관관계를 알아보기 위한 실험을 수행하였다.

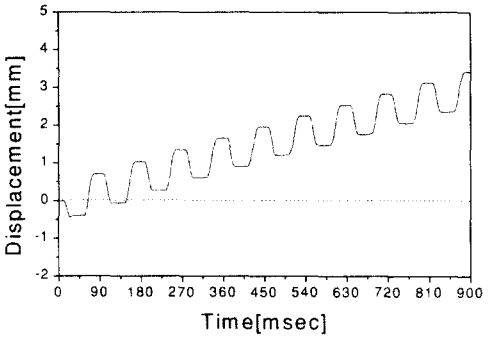

Fig. 7 The moving characteristics of single actuating unit

Fig. 8 은 스프링 상수를 74.0N/m, 공기의 인가와 방출시간을 각각 45msec 로 하고 공압의 크기를 변화시켰을 경우의 구동기의 이동 특성이다. 그림에서 보면 압력이 커질수록 구동기가 후진함을 볼 수 있다. 이러한 현상은 압력이 커짐에 따라 공압 효과가 스프링 효과보다 상대적으로 커지기 때문에 발생한 것으로 생각되어 진다.

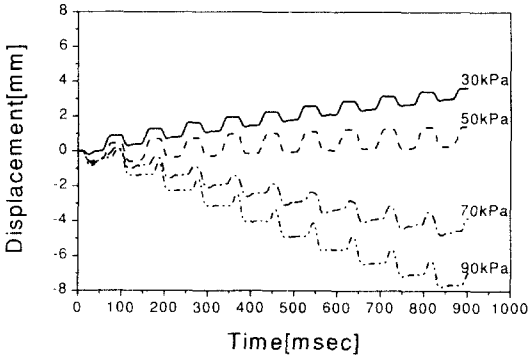

Fig. 8 The characteristics of movement for various air pressure

Fig. 9 는 공압의 크기를 50kPa, 공기의 인가와 방출시간을 각각 45msec 로 하고, 스프링 상수를 변화시켰을 경우의 이동 특성을 관찰한 결과이다. 스프링 상수가 작았을 경우에는 후진을 하다가 커지면 전진을 하는 현상을 관찰할 수 있다. 이 결

과로부터 스프링 효과의 크기는 스프링 상수에 비례함을 알 수 있다.

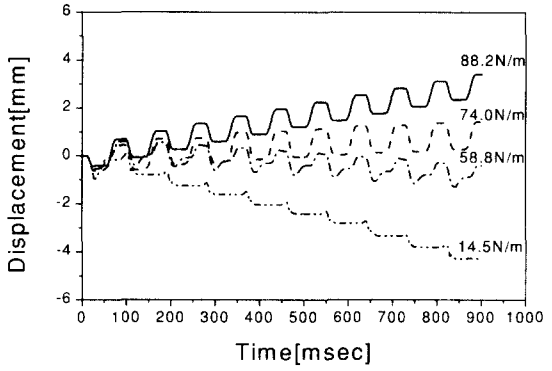

Fig. 9 The characteristics of movement for various spring constants

Fig. 10 은 공압의 크기를 50kPa, 스프링 상수를 74.0N/m 로 하고, 솔레노이드 밸브에 인가되는 신호의 단위 구동주기를 90msec 로 고정한 상태에서, On/Off 시간의 비를 변화시켰을 결과이다. 밸브를 On 시켰을 때는 공기가 몸체 안으로 주입되고, Off 의 경우에는 반대로 방출된다. On 시간이 커질수록 단위 이동거리는 작아지고, 일정한 값 이상으로 커지면 후진을 하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 밸브와 공압 관을 흐르는 공기의 양이 일정하게 고정되어 있기 때문에 발생한 것으로 생각된다. 단위 시간당 구동기에 공급될 수 있는 공기의 양은 정해져 있기 때문에 밸브가 On 되었을 때 구동기 안의 압력은 일정한 기울기를 가지며 증가하게 된다. 따라서, On 시간이 작을수록 구동기 안의 압력이 작아지게 되고, 그 결과로 공압 효과가 스프링 효과보다 상대적으로 작아져서 구동기는 앞으로 많이 전진하게 된다. 반대로 Off 시간이 작아질수록 구동기 내부의 공기가 빠져나가지 못하게 된다. 따라서, 구동기 안에 빠져나가지 못한 공기는 스프링 효과를 감쇄시키는 역할을 하게 되어 구동기를 후진시키게 된다.

이상의 실험결과로부터 공압의 크기와 스프링 상수, 공기의 인가와 방출 시간을 조정함으로써 구동기의 속도 및 방향을 조절할 수 있음을 확인할 수 있었다. 한편, 공압의 크기나 스프링 상수는 실제 내시경의 이동중에 변화시키는 것이 어려우나 공기의 인가와 방출 시간은 솔레노이드 밸브에 입력되는 신호에 의해 결정된다. 따라서, 내시경의 방향 및 이동속도는 솔레노이드 밸브의 입력신호에 의해 쉽게 조절할 수 있다.

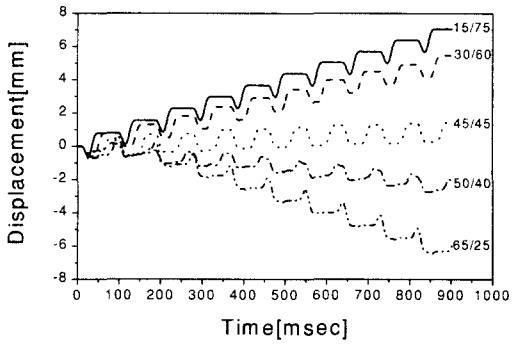

Fig. 10 The characteristics of movement for various duty ratio of solenoid valve (On time / Off time [msec])

4.2.2 다중 구동기 특성 실험

단일 구동기를 소형화하여 Fig. 2 와 같이 3 개의 구동기를 삼각형으로 배치하는 것이 가능한지를 확인하기 위하여 제작한 구동장치는 Fig. 11 과 같다. 몸체는 외경 25mm, 길이 50mm 이며, 내부에 피스톤의 이동을 위한 직경 8mm 의 구멍이 삼각형 형태로 설치되어 있다. 피스톤은 외경 8mm, 길이 20mm 이다. 스프링은 외경 4mm 의 압축 스프링을 사용하였다.

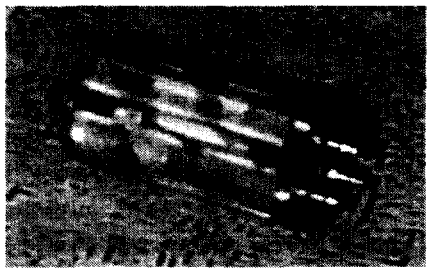

Fig. 11 Photograph of multi-actuating unit for self-propelling endoscope

다중 구동기의 이동특성에 관한 실험결과는 Fig. 12 와 같다. 공압의 크기는 70kPa, 스프링 상수는 167N/m 로 하고 솔레노이드 밸브의 On/Off 시간을 변화시켜가며 이동특성을 측정하였다. 단

일 구동기의 실험과 유사한 결과를 보임을 알 수 있다.

실험을 통하여 단일 구동기를 소형화하여 목표로 하는 치수의 캡슐형 내시경을 제작하는 것이 가능하며, 소형화 하여도 구동기가 이동을 위한 충분한 힘을 발휘함을 확인할 수 있다.

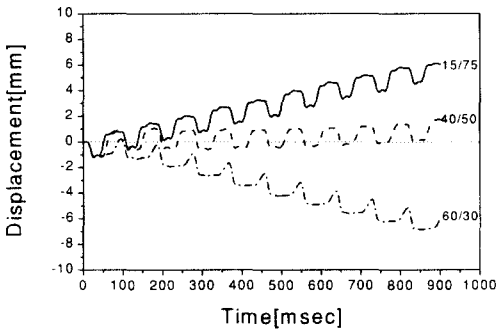

Fig. 12 The movement of multi-actuating unit for various duty ratio of solenoid valve (On time / Off time [msec])

5. 결론 및 토의

캡슐형 내시경을 위해 공압 구동기를 개발하였다. 제작된 구동기는 구조가 단순하여 기존의 구동기들에 비하여 소형화에 장점이 있다. 실험을 통하여 구동기의 이동특성은 공압 반발력과 스프링 반발력의 상대적인 크기에 의해 결정된다는 사실을 확인하였다. 또한, 공압과 스프링에 의한 반발력의 상대적인 크기는 솔레노이드 밸브의 On/Off 시간의 비에 의해 쉽게 조절할 수 있었다. 따라서, 자율주행 내시경의 이동 방향 및 속도는 솔레노이드 밸브의 입력 신호에 의해 제어할 수 있다.

구동기의 성능을 향상시키기 위한 변수의 민감도 해석 및 최적설계를 수행하고 있으며, 대장 내시경으로의 응용을 위한 몸체 설계가 진행 중이다.

후 기

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

참고문헌

1. Dario, P., Carrozza, M.C., Lencioni, L., Magnani, B., and D'Attanasio, S., "A Micro Robotic System for Colonoscopy," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1567 - 1572, 1997.
2. Reynaerts, D., Peirs, J., and Brussel, H., "Design of a Shape Memory Actuated Gastrointestinal Intervention System," Int. Conf. on New Actuators, pp. 409 - 412, 1996.
3. Slatkin, A. B., Burdick, J., and Grundfest, W., "The Development of a Robotic Endoscope," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 162-171, 1995.
4. Kumar, S., Kassim, I. M., and Asari, V.K., "Design of a Vision-guided Microrobotic Colonoscopy," Advanced Robotics, Vol. 14, No. 2, pp. 87-104, 2000
5. 양석균, 민영일, "대장 내시경 진단," 군자출판사, 1999.
6. 임형준, 민현진, 김수현, 곽윤근, 임영모, 김병규, 홍예선, " 인체 장 내 이동을 위한 스마트 캡슐의 구동 체계에 관한 연구," 대한기계학회 동역학 및 제어부문 하계 학술대회 논문집, pp. 276-281, 2000.