

자율주행 내시경을 위한 공압 구동방식의 이동메카니즘

Locomotive Mechanism Based on Pneumatic Actuators for the Semi-Autonomous Endoscopic System

김 병 규, 김 경 대, 이 진 희, 박 종 오, 김 수 현, 홍 예 선
(Byungkyu Kim, Kyoung-Dae Kim, Jinhee Lee, Jong-Oh Park, Soo Hyun Kim, and Yeh-Sun Hong)

Abstract : In recent years, as changing the habit of eating, the pathology in the colon grows up annually. The colonoscopy is generalized, but it requires much time to acquire a dexterous skill to perform an operation and the procedure is painful to the patient. biomedical and robotic researchers are developing a locomotive colonoscope that can travel safely in colon. In this paper, we propose a new actuator and concept of semi-autonomous colonoscope. The micro robot comprises camera and LED for diagnosis, steering system to pass through the loop, pneumatic actuator and bow-shaped flexible supporters to control a contact force and to pass over haustral folds in colon. For locomotion of semi-autonomous colonoscope, we suggest an actuator that is based on impact force between a cylinder and a piston. In order to validate the concept and the performance of the actuator, we carried out the simulation of moving characteristics and the preliminary experiments in rigid pipes and on the colon of pig.

Keywords : colonoscope, pneumatic actuator, impact actuator, contact load, inchworm

I. 서론

대장암은 전 세계적으로 폐암, 전립선암에 이어 가장 많이 발생하는 암으로 알려져 있다. 미국의 경우 99년 현재 약 13만명의 대장암 환자가 발생한 것으로 알려져 있고, 우리나라도 대장암 환자 발생률이 고지방, 저섬유질의 식생활 변화로 인하여 해마다 빠르게 증가하고 있다. 하지만 대장암은 다른 암과 달리 조기 발견시 50% 이상 치료가 가능하며, 내시경을 이용한 치료 방법이 보편화되어 있다.

그러나, 기존의 내시경은 부드럽게 굽어지지 않을 뿐만 아니라 말단 부분만을 시술자가 조작할 수 있도록 되어 있다. 따라서 원활한 시술을 위해서는 의사의 오랜 경험과 기술이 필요하다. 특히, 미 숙련된 시술자가 기존의 대장 내시경을 이용하여 시술할 때에는 환자가 고통이나 불쾌감을 느끼게 된다. 따라서 이러한 기존의 내시경을 대체할 자율주행이 가능한 마이크로 로봇 내시경의 필요성이 제기되었다.

자율 이동 내시경의 개발에 대한 연구는 Ikuta가 처음으로 "MEDIWORM"이라는 이름으로 인치웜(inchw-orm) 방식의 구동 방식을 제안하였다[1]. 또한, P. Dario도 진공을 이용한 양단의 클램핑(clamping)부와 중간의 수축/팽창부를 이용한 인치웜 방식의 자율 주행 대장 내시경에 관하여 연구한 바 있다[2]. 여기서 클램핑부는 미세한 구멍을 통해 장에 흡착하는 방식을 채택하였다. Burdick은 클램핑부에 진공을 이용하는 대신 풍선의 체적을 장의 직경에 따라 변화시켜 장 벽

에 고정 시키는 방식을 취하였다[3]. Kumar도 같은 인치웜 구동방식의 이동 메카니즘에 이미지(vision)와 촉각센서를 이용한 조향장치를 갖는 마이크로 로봇 내시경 개념을 제안한 바 있다[4].

위에서 살펴본 바와 같이 자율 주행 내시경을 위한 구동 방식은 대부분 인치웜 방식을 채택하였다. 그러나 사람에 따라 다소 차이가 있기는 하지만 보통 길이가 1.5-2m, 직경이 25-50mm 그리고 팽기추벽 사이의 거리가 20-30mm마다 나타나는 대장에 적절히 대처하는 고정장치의 개발이 숙제로 남아있다. 흡착 방식의 고정장치의 경우 대장에 자국을 남기게 되고, 이 자국은 병변으로 인한 상처와 구별이 어려운 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 자율주행 내시경을 위한 새로운 개념의 이동 메카니즘 및 진단용 내시경의 개념을 제안하였다. 또한 새로운 내시경에 사용될 구동기를 제안하고 유용성 검증을 위하여 시뮬레이션(simulation)을 수행하였고, 관내에서의 이동 특성을 실험을 통하여 알아 보았다. 마지막으로 대장내 주행 가능성을 확인하기 위하여, 죽은 돼지 대장에서 구동기의 성능을 평가하였다. 새로운 개념의 자율주행 내시경은 대장을 관성력을 이용하여 미끄러지듯 이동하기 때문에 환자의 고통과 불쾌감을 덜어줄 수 있을 것이다.

II. 자율이동 내시경의 구성

새롭게 제안된 자율 주행 내시경은 그림 1에서 보는 바와 같이 주행을 위한 공압 구동기, 팽기추벽 통과를 위한 활모양의 유연한 지지부, 조향을 위한 선형 구동기, 진단을 위한 카메라와 LED부로 구성되어 있다. 또한 공압 구동기에서 전달되는 충격력으로부터 카메라를 보호하기 위해 카메라부와 구동부 사이에 완충 장치를 설치하였다.

공압 구동기는 실린더 내에 공압 주입시 실린더와 실린

접수일자 : 2001. 9. 22., 수정완료 : 2002. 1. 16.

김병규, 김경대, 이진희, 박종오 : 한국과학기술연구원(bkim@kist.re.kr/kdkim88@kornet.net/go21c@jorgio.net/jop@kist.re.kr)

김수현 : 한국과학기술원 기계공학과(kimsn@sorak.kaist.ac.kr)

홍예선 : 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부(yshong@mail.hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어 사업의 일환인 지능형 마이크로시스템 사업단의 지원을 받아 이루어졌습니다.

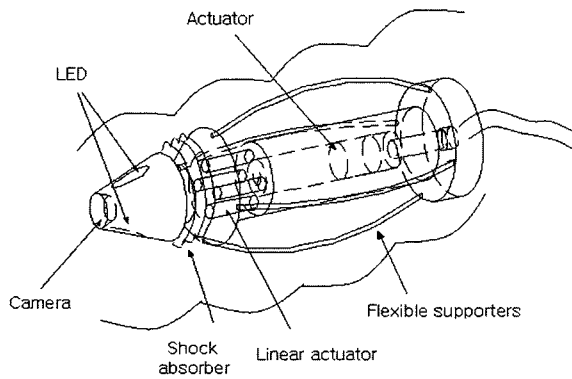


그림 1. 내시경 로봇의 구성도.
Fig. 1. Schematic of locomotive colonoscope.

더 내의 피스톤의 충돌로 인해 발생하는 충돌력을 이용하여 자율 주행형 내시경에 구동력을 전달하도록 하였다.

활 모양의 지지부는 대장내 팽기추벽을 효율적으로 극복하고 주행할 수 있도록 연성의 재질을 이용하였으며, 내시경 자체와 대장 벽과의 접촉력(contact force)을 적절히 조절하여 공압 구동기의 이동성능을 높이도록 하였다. 또한, 대장내에 예각을 이루고 있는 α , γ 루프를 통과하기 위하여 선형 구동기를 이용한 조향장치를 제안하였다.

최초 연구는 공압 구동기와 유연 지지부에 중점을 두고 진행하였다.

III. 공압 구동기

1. 공압 구동기의 구조와 원리

공압 구동기는 공압 실린더와 유사하여, 실린더와 실린더 내부의 피스톤, 공압 공급을 위한 구멍으로 구성되어 있고, 공기를 장내에 주입 또는 장내의 공기를 흡입하기 위하여 실

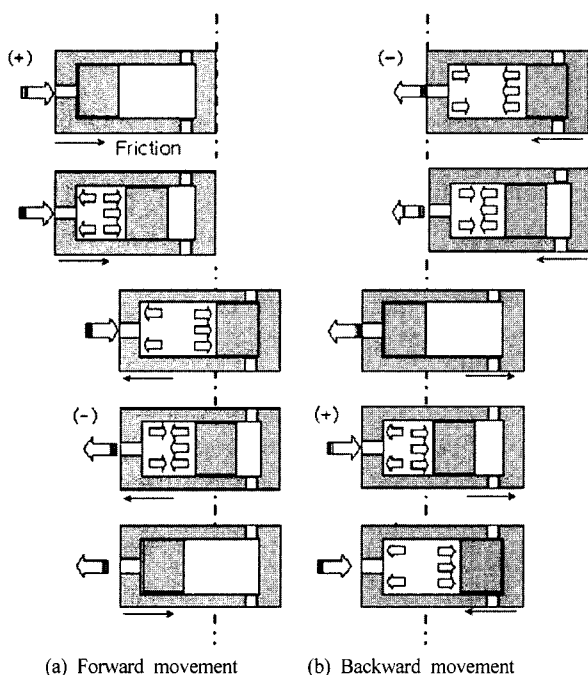


그림 2. 구동기의 기본원리.
Fig. 2. Fundamentals of actuations.

린더 벽면에 구멍을 반지름 방향으로 배열하였다.

실린더 내에 공압 주입(+)시 공기압으로 인한 반발력으로 실린더가 후진하는 특성을 보이고, 흡입(-) 시에는 공기압으로 인한 반발력으로 인해 실린더가 전진하였다. 이는 피스톤이 실린더의 전단부에 충돌시 전진, 후단부에 충돌시 후진시키고자 하는 개념과는 반대 방향으로의 이동을 초래하였다. 따라서, 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 접촉력을 증가시키므로써 마찰력을 증가시켜, 반발력으로 인해 뒤로 밀리는 효과를 최소화하고, 이동 특성을 증가시키는 개념을 제안하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 구동기는 한번의 이동(Step displacement)을 위해 양단에 한번씩 두번의 충돌을 일으키게 된다. 처음 실린더 내부공압 주입(+)시 피스톤이 전방으로 충돌을 일으키게 되고, 흡입(-)이 진행되면 실린더의 후방으로 돌아오면서 충돌을 일으키게 된다. 이러한 두번의 충돌의 크기를 조절하여 구동기를 (a)전진(전진충돌력 > 후진충돌력) 또는 (b)후진(전진충돌력 < 후진충돌력)하도록 하였다.

2. 시스템 구성

공압 구동기를 구동하기 위한 공압 시스템은 그림 3에서 보는 바와 같이 구성되어 있다.

PC를 기반으로 한 밸브 ON/OFF Time 제어기, 두개의 ON/OFF 밸브와 진공 발생기, 피스톤의 충격량을 조절하기 위한 스톱스로 구성된다. 밸브 1은 구동기의 전체적인 공압 주입/흡입 시간(ON/OFF time)을 조절하는 밸브이고, 밸브 2는 밸브 1의 ON 상태에서 구동기를 작동하는 압력이 진공 발생기로 흘러 들어가지 못하도록 조절하여 구동기의 효율을 높이도록 설치된 밸브이다. 이때 진공발생기는 밸브 1의 OFF 시에 구동기 내부에 진공 상태를 만드는 역할을 한다. 피스톤의 이동 속도와 충돌 크기는 유입되는 유량에 비례하는데 유량의 조절은 두개의 스톱스가 담당한다. 밸브의 ON/OFF time은 운동의 주기를 결정한다.

3. 공압 구동기의 이동 특성

본 논문에서 제안하고 있는 공압 구동기의 이동 특성을 분석하기 위해서 다양한 조건에서의 시뮬레이션 및 실험을 수행하여 그 결과를 비교하였으며, 시뮬레이션은 아래와 같은 방법으로 수행하였다.

본 논문의 공압 구동기는 그림 4와 같이 모델링될 수 있다. 그림에서 M 과 m 은 실린더와 피스톤의 질량을 각각 나타내며, P_s 는 공압 구동기의 내부로 공급되는 공압, L 은 공압 구동기의 실린더 내부에서 피스톤이 운동할 수 있는 전체 길

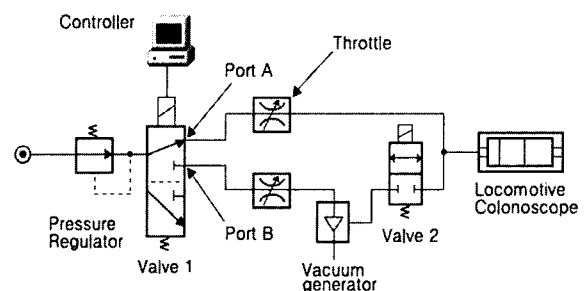


그림 3. 공압 시스템의 구성.
Fig. 3. Configuration of pneumatic system.

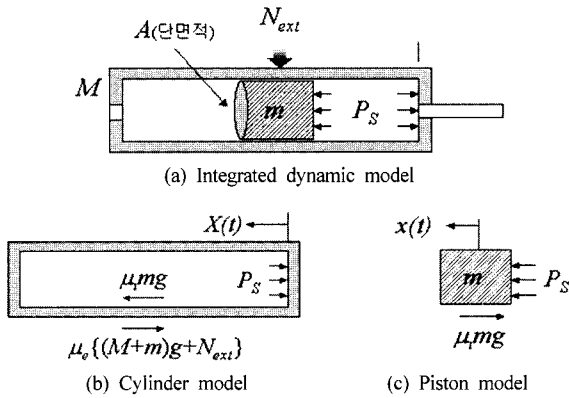


그림 4. 충돌 구동기의 동역학 모델.
Fig. 4. Dynamic model of impact actuator.

이 μ_i 는 피스톤과 실린더 내벽과의 마찰계수 그리고 μ_e 는 실린더 외부와 지면과의 마찰계수, g 는 중력 가속도 그리고 N_{ext} 는 외부에서 작용하는 접촉 하중을 각각 나타내고 있다. 그림 4와 같은 모델에서 구동기 내부의 피스톤과 실린더의 운동방정식을 각각 유도하면 아래의 식과 같다.

$$m\ddot{x} = (P_s \times A) - \mu_i(mg) \quad (1)$$

$$M\ddot{X} = \mu_i(mg) - (P_s \times A) - \mu_e \{(M+m)g + N_{ext}\} \quad (2)$$

위와 같은 운동방정식으로부터 피스톤 및 실린더의 초기 위치 및 초기 속도가 영(zero)이라는 가정 하에 P_s 의 압력으로 공압 구동기를 구동 시키게 되면, $|x(t)-X(t)|=L$ 인 순간에 상호 충돌이 발생하게 되며, 이때까지의 시간은 다음의 (3)과 같다.

$$T_i = \sqrt{\frac{L}{\frac{\{(P_s \times A) - \mu_i(mg)\}}{2m} - \frac{\{\mu_i(mg) - (P_s \times A) - \mu_e \{(M+m)g + N_{ext}\}\}}{2M}}} \quad (3)$$

위와 같은 충돌 시간(T_i)에 관한 식과 피스톤 및 실린더의 운동방정식을 이용하면 다음과 같은 충돌 직전의 속도를 각각 계산할 수 있다.

$$v_{m1} = \frac{\{(P_s \times A) - \mu_i(mg)\}}{m} T_i \quad (4)$$

$$v_{M1} = \frac{\{\mu_i(mg) - (P_s \times A) - \mu_e \{(M+m)g + N_{ext}\}\}}{M} T_i \quad (5)$$

위 식에서 v_{m1} 은 피스톤의 충돌 직전 속도이며, v_{M1} 은 실린더의 충돌 직전 속도이다. 이와 같은 관계식들을 바탕으로 충돌 직후 공압 구동기의 운동방정식을 유도하기 위해서는 충돌계수(e) 관계식과 운동량 보존관계식을 사용하여 충돌 직후의 피스톤과 실린더의 속도를 아래의 식과 같이 유도할 수 있다.

$$v_{m2} = \frac{1}{m+M} \{(m - Me)v_{m1} + M(1+e)v_{M1}\} \quad (6)$$

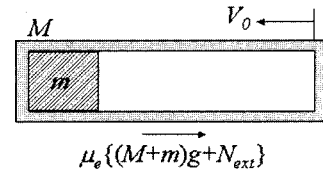


그림 5. 충돌 직후의 동역학 모델.
Fig. 5. Dynamic model after impact.

$$v_{M2} = \frac{1}{m+M} \{(M - me)v_{M1} + m(1+e)v_{m1}\} \quad (7)$$

위 식에서 v_{m2} 는 피스톤의 충돌 직후 속도이며, v_{M2} 는 실린더의 충돌 직후 속도식이다. 여기서, 피스톤과 실린더의 충돌이 완전 소성 충돌($e=0$)이라 가정하면, 충돌 직후 피스톤과 실린더는 아래의 그림 5와 같은 모델로 단순화 될 수 있으며, 충돌 직후 초기 속도 V_0 는 (8)과 같으며 전체의 운동방정식은 (9)와 같다.

그림 5 모델에서 공급압력(P_s)에 대한 성분이 나타나지 않은 것은 피스톤과 실린더의 배치형상이 그림 5와 같은 경우 내부에 존재하는 압력분포가 전·후방으로 동일하므로 외력이 작용하지 않는 것과 같다 할 수 있으며, 이는 앞서 완전 소성 충돌이라 가정한 것에 대한 근거이기도 하다.

$$V_0 = v_{m2} = v_{M2} = \frac{mv_{m1} + Mv_{M1}}{m+M} \quad (8)$$

$$(m+M)\ddot{X} = -\mu_e \{(m+M)g + N_{ext}\} \quad (9)$$

이와 같은 관계식에서 그림 5의 모델이 초기속도에 의해 이동하다 지면과의 마찰력에 의해 정지할 때까지의 시간(T)은 (9)의 운동방정식에서 속도가 영이 되는 시점의 시간을 계산하면 유도할 수 있으며, 이 식을 이용하여 1회 충돌 발생 시 구동기의 이동거리에 대한 관계식을 유도하면 (10)과 같다.

$$X(T) = \frac{1}{2} \left(\frac{(m+M)V_0^2}{\mu_e \{(m+M)g + N_{ext}\}} \right) \quad (10)$$

(10)은 공압 구동기에 공압을 공급하여 내부의 피스톤과 실린더의 상호 충돌에 의한 전체 이동 특성에 대한 최종 관계식이라 할 수 있으며, 이와 같은 관계식을 이용하여 외부에서 작용하는 하중에 따른 이동특성에 대한 다양한 시뮬레이션 결과와 실제 실험과의 결과를 비교하면 그림 6 그리고 그림 7과 같다. 공압 구동기의 이동 특성 실험을 위하여 제작된 구동기의 사양 및 기타 실험 조건을 정리하면 표 1과 같으며, 이와 같은 조건은 시뮬레이션에도 동일하게 반영하여 시뮬레이션을 수행하였다.

앞서 논의한 바와 같이 구동기는 원하는 방향은 전진 방향(+)이지만 충돌 구동기는 초기 반발력에 의한 운동이 지배적이기 때문에 전체적으로 후진하는 방향으로 이동한다. 그러나 적절한 접촉 하중(70gf)을 가할 경우 그림 6과 같은 계

표 1. 모델링 파라미터.

Table 1. Modeling parameters.

Parameter	Value	Parameter	Value
실린더 길이	43mm	M	5.5g
실린더 내경	6mm	M	2.2g
피스톤 길이	15mm	μ_i	0.01
피스톤 외경	6mm	μ_e	0.2

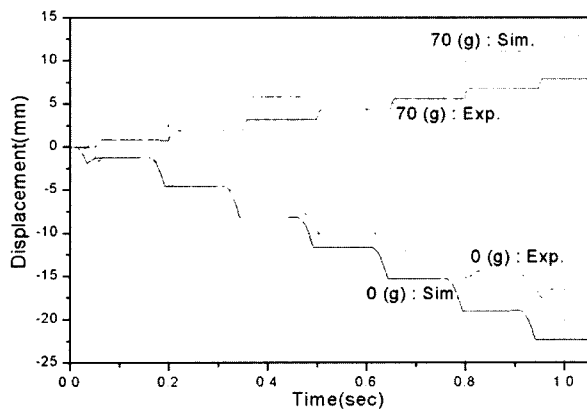


그림 6. 구동기의 이동 특성.

Fig. 6. Movement characteristic of the actuator.

단식의 매끈한 전진 특성의 결과를 얻을 수 있었다. 이것은 접촉 하중을 적절히 조절하면 반발력의 영향을 없애고 전진이 가능하다는 것을 보여준다. 이는 실험과 시뮬레이션(Simulation) 결과에서 공히 유사한 결과를 보여 준다. 그러나, 시뮬레이션 결과가 실험결과보다 더 많은 이동 변위를 나타낸다. 이는 시뮬레이션 결과에서는 실린더 내의 잔류 공기로 인한 감쇄효과로 인해 충격력 감소를 고려하지 않았기 때문이다.

이러한 결과를 토대로 적절한 접촉 하중을 가할 수 있다면 구동기의 이동 성능을 최대화할 수 있다는 것을 추측할 수 있다. 이러한 가정에 대한 검증은 위해 다양한 하중에 대한 이동 특성을 시뮬레이션 및 실험을 통하여 연구하였다.

그림 7에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 결과와 실험결과

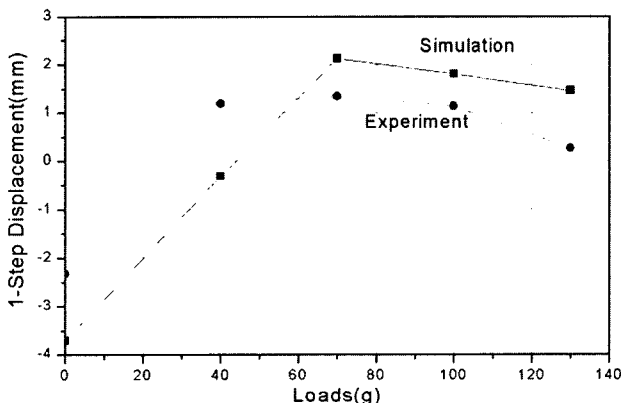


그림 7. 접촉력 변화에 따른 이동거리 변화.

Fig. 7. Step displacements under various contact loads.

를 통하여 최대의 이동거리를 얻을 수 있는 접촉력이 존재함을 알 수 있었다.

여기서 이동거리(Step displacement)는 전후방 각각 한번의 충동이 발생한 후의 이동거리를 말한다. 하중이 70gf일 때 최대의 이동거리를 나타냈다. 따라서, 일정한 압력 조건에 대하여 접촉력을 적절히 조절함으로써 최대의 이동 거리를 보이는 최적의 접촉 하중이 존재함을 확인할 수 있었다.

IV. 시스템 성능 평가 실험

1. 유연 지지부를 설치한 공압 구동기

유연 지지부를 이용하여 구동기에 접촉력을 주는 개념의 유용성을 검증하기 위하여 그림 8과 같은 구동기를 제작하였다. 충돌 구동기의 주위에 4개의 유연 지지부를 설치한 구동기의 길이는 50mm이며, 유연 지지부에 의해 만들어지는 최대 바깥 지름은 22mm~30mm 까지 변화가 가능하다. 몸체의 재질은 아크릴이고, 유연 지지부는 super elastic material을 사용하여 반지름 방향으로의 변형이 가능하며 최적의 접촉 하중을 유지하도록 하였다.

테스트는 기본적으로 강성 파이프 내에서 전후진 가능 여부에 초점을 맞추었다. 실험에는 지름 26mm 아크릴 파이프를 사용하였다. 유연지지부가 아크릴 파이프에 가하는 힘은 이동성능에 있어서 최적에 가까운 80gf으로 유지하여, 유연 지지부에 의해 구동기가 최초 뒤로 밀리는 운동은 방지했으며 구동기의 전후진은 전적으로 피스톤의 전후방 충돌에 의하여 주행하도록 하였다. 따라서 그림 9(a)와 같은 형태의 압력 유형을 실린더 내로 유입 시키면, 그림 9(b)와 같은 전후진을 만들어낼 수 있었다. 여기서 압력치의 영(zero)은 대기압을 의미한다. 이와 같은 실험을 통해 구현된 유연 지지부에 의해 구동기 후방으로 밀리는 현상을 방지하고 압력 유형 변화를 통하여 전진 또는 후진 방향으로 이동시킬 수 있음을 확인하였다.

V. 죽은 돼지 대장 내 성능 평가실험

그러나, 공압 구동메카니즘은 죽은 돼지 대장 내에서는 이동이 용이하지 않았다. 이는 대장이 가지고 있는 고유의 스프링/감쇄 효과 때문에 구동기가 주는 구동력을 대장이 모두 흡수하기 때문이다. 따라서 이를 보완하기 위해서 능동

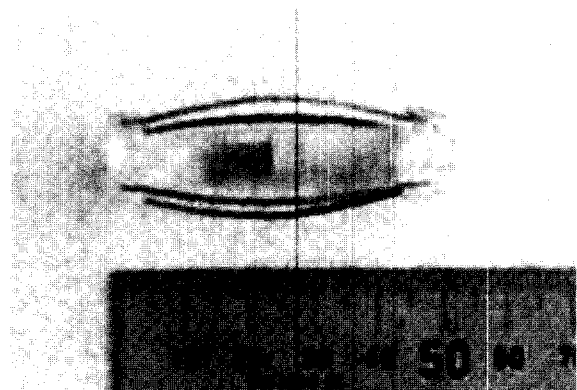
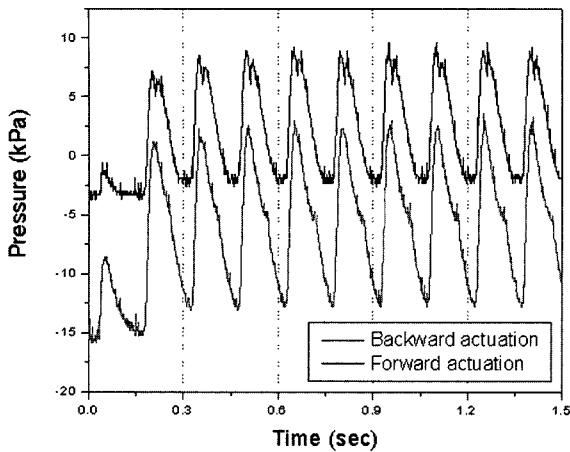
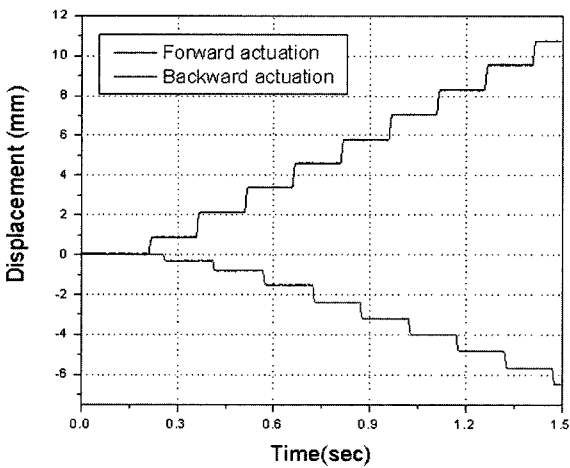


그림 8. 유연 지지부를 설치한 공압구동기.

Fig. 8. Fabricated actuator with flexible supporters.



(a) Pressure profiles



(b) Characteristics of movement

그림 9. 압력 파형 변화에 따른 관내 시작품의 이동 특성 변화.
Fig. 9. Experimental results of the prototype moving backward and forward in a rigid pipe.

적인 클램핑과 클램핑을 해제할 수 있는 방법에 관하여 연구를 수행하였다.

새로운 클램핑 개념은 그림 10과 같다. 그림 8에서 보여준 수동적인 접촉력 조절 방법과 달리 실린더 내 공기 주입시 실린더가 반발력에 의해서 밀리는 효과를 줄이기 위해 폴리우레탄 튜브 지지부에 다수의 구멍을 배열하여 장벽에 구동

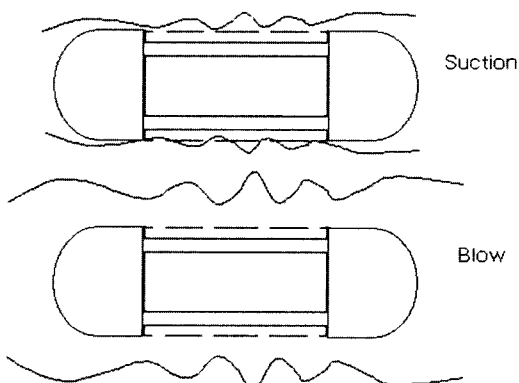


그림 10. 수정된 개념 설계.
Fig. 10. Modified concept design.

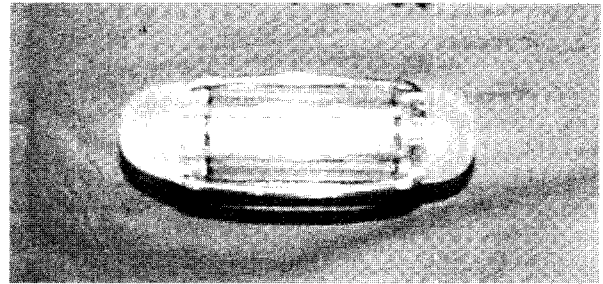


그림 11. 흡착 장치를 설치한 구동기.
Fig. 11. The actuator with suction/blowing devices.

기를 흡착시키고, 실린더 내 피스톤이 실린더 전반부에 충돌시 충돌력에 의한 실린더의 이동 거리가 최대가 되도록 장벽과 구동기와 마찰력이 최소화되도록 구멍을 통하여 공기를 배출하도록 하였다. 이와 같은 개념의 구현을 통하여 피스톤이 실린더의 전단부에 충돌시 장벽과 구동기 사이의 접촉력을 최소화함으로써 장에서의 이동이 가능하였다. 이때, 지지부의 형상과 재질에 따라 구동기를 구동시키는데 필요한 추진력이 달라 실험을 통하여 이를 최소로 요구하는 형상과 재질을 찾아 그림 11과 같이 제작하여 대장에서 실험을 수행하였다. 지지부를 위한 재질은 폴리우레탄을 사용하였는데, 이는 아크릴, 실리콘 고무 등 다른 재질보다 상대적으로 낮은 마찰력을 보여, 작은 추진력으로 구동기를 이동시키는 것이 가능하였다.

그 결과 그림 12에서 보는 바와 같이 돼지 대장에서 주행이 가능하였다. 지지대에 배치하여 놓은 구멍을 통하여 공기를 배출하였을 때(blowing)와 배출하지 않았을 때(no blowing)의 결과는 그림 12에서 보는 바와 같이 현격한 차이를 보여 주었다. 공기를 배출하지 않을 때 거의 이동이 불가하였으며, 배출 시에는 약 2.0mm/s 정도의 성능을 보여 주었다. 하지만, 최초 예상한 것처럼 관내 이동에서의 이동처럼 계단형의 부드러운 주행은 불가능하였다. 이는 장의 스프링 효과로 인한 충돌력에 의하여 구동기가 이동 후 다시 되돌아오기 때문이다(그림 12(1) 참조). 그리고 구동 초기 공압 주입시 발생하는 반발력으로 인한 효과도 구동 특성에 영향을 주었다(그림 12(2) 참조). 이것은 최초 지지부의 구멍을 통해 장을 흡입하고 있다가 충돌 시점에 공기를 배출하도록 하는 구조

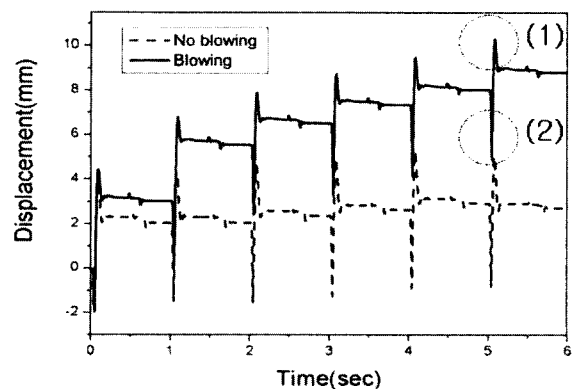


그림 12. 배출시와 배출하지 않을 때의 비교.
Fig. 12. Comparison with blowing and no blowing case.

에서 발생하는 현상이다. 불어내는 시간이 적절하지 못할 경우에는 Fig. 12(2)와 같이 클램핑 효과가 떨어지는 현상을 볼 수 있다. 또한, 구동기가 장에서 이동할수록 공압 공급선의 강성과 마찰력으로 인해 구동기의 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

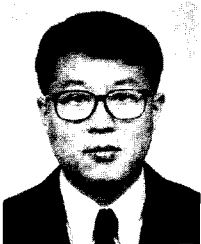
VI. 결론

대장용 자율 주행 내시경을 위한 새로운 개념의 공압 구동기를 개발 하였다. 이때 공압 구동기 자체만으로는 제어가 용이하지 않아 유연한 재료의 지지부를 설치하여 방향 제어가 용이하도록 하였다. 그러나, 대장의 스프링/감쇄 특성으로 인하여 대장에서의 이동이 불가하여, 능동적으로 대장과 구동기 사이의 접촉력을 제어함으로써 이동이 가능하도록 하였다. 그러나, 이동 방향과 이동 성능이 구동기에 공압을 공급하는 공압선에 지나치게 영향을 받기 때문에 공압선에 의한 구동기의 성능 변화에 관한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 공압원으로부터 공압구동기까지의 거리가 멀어짐에 따른 공압 구동 시간의 지연 때문에 능동적인 클램핑과 공기 분출의 제어가 불가능하므로 구동기내에 장착이 가능한 초

소형 공압 제어 밸브의 개발이 필요하다. 추후, 이에 관한 연구를 진행하여 보다 나은 성능의 자율주행 대장 내시경을 개발하고자 한다.

참고문헌

- [1] K. Ikuta, M. Tsukamoto, S. Hirose, "Shape memory alloy servo actuator system with electric resistance feedback and application for active endoscope," *IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 427-430, 1988.
- [2] P. Dario, M. C. Carroza, L. Lencioni, B. Magnani, and S. D'Attansio, "A micro-robotic system for colonoscopy," *IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, Albuquerque (NM), pp. 1567-1572, 1997.
- [3] H. D. Hoeg, A. B. Slatkin, and J. W. Burdick, "Biomechanical modeling for the small intestine as required for the design and operation of a robotic endoscope," *IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, San Francisco(CA), pp. 1599-1606, 2000.
- [4] S. Kumar, I. M. Kassim, V. K. Asari, "Design of a vision-guided microrobotic colonoscopy system," *Advanced Robotics*, vol. 14, no. 2, pp. 87-104, 2000.



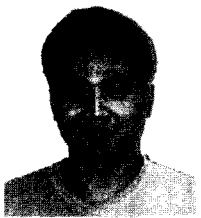
김 병 규

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



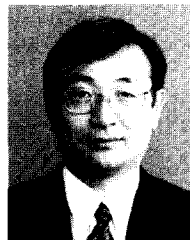
김 경 대

1969년 8월 29일생. 1995년 한양대학교 정밀기계공학과(공학사). 1998년 한양대학교 정밀기계공학과(공학석사). 1999년~2001년 한국과학기술 연구원(KIST) 위촉연구원, 2001년~현재 Univ. of Wisconsin 기계공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 마이크로 로봇, Micro Actuator.



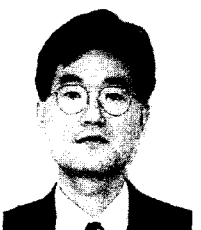
이 진 희

1974년 4월 30일생. 2000년 한양대학교 기계설계학과(공학사). 2000년~현재 한양대학교 대학원 기계설계학과 석사과정 재학 및 한국과학기술 연구원 학생연구원. 관심분야는 마이크로 로봇.



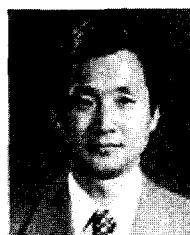
박 종 오

1955년 9월 13일생. 1987년 Univ. of Stuttgart(in Germany) 기계공학과(공학박사). 1982년~1987년 Institut Produktionstechnki Automatisierung 직원 연구원. 1987년~현재 한국과학기술 연구원 마이크로시스템 센터 책임 연구원. 지능형 마이크로 시스템 센터 단장. 관심분야는 마이크로 로봇, MEMS.



김 수 현

1956년 9월 5일생. 1991년 Imperial College, Univ. of London 기계공학과(공학박사) 1991년~현재 KAIST 기계공학과 교수. KSME, KSPE, JSME, IEEE 정회원. 관심분야는 mili machine system, control of precision machine system, new actuating mechanism.



홍 예 선

1955년 4월 2일생. 1986년 RWTH Aachen (Germany) 기계공학 박사. 1982년~1987년 Aachen공대 유공압제어연구소 연구원, 1987년~2000년 KIST 책임 연구원, 2000년~현재 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 교수. 관심분야는 마이크로 유공압 제어.