

< 논문 >

## PZT 구동기를 이용한 지렁이 이동방식의 캡슐형 내시경용 마이크로 로봇

지창열\* · 박석호† · 윤석진\* · 김병규\*\* · 박장현\*\*\*  
(2005년 9월 29일 접수, 2005년 12월 12일 심사완료)

### An Earthworm-Like Locomotive Mechanism for Capsule Endoscopes Using PZT Actuator

Changyeol Jee, Sukho Park, Seokjin Yoon, Byungkyu Kim and Jahng-hyon Park

**Key Words :** Capsule Endoscope(캡슐형내시경), Earthworm-Like Locomotive Mechanism(지렁이모사 이동 메카니즘), Impact Based Piezo Actuator(임팩트 방식의 압전 구동기)

#### Abstract

A wireless capsule endoscope has been developed to replace the conventional endoscope. However, the commercialized capsule endoscope moves passively by peristaltic waves, which has some limitations for doctors to diagnose more thoroughly and actively. In order to solve this problem, a locomotive mechanism is proposed for wireless capsule endoscopes. Based on the tests of various actuators, a piezo actuator is selected as a micro actuator for capsule endoscope. In general, piezo actuators are known to have limited displacement with high voltage supply. In order to overcome the limitation of common piezo actuator, the impact based piezo actuator, is developed to realize long stroke up 11mm. By using the impact based piezo actuator, a prototype of an earthworm-like locomotive mechanism was developed. In addition, the proposed locomotive mechanism has engraved clamps mimicked the claw of an insect. The earthworm-like locomotive mechanism has 15 mm in diameter and 30mm under retraction stage and 41 mm under elongation stage in total length. Hollow space is allocated to comprise essential endoscope components such as a camera, a communication module, bio sensors, and a battery. For the feasibility test of proposed locomotive mechanism, a series of experiments were carried out including in-vitro tests. Based on results of the experiments, we conclude that the proposed locomotive mechanism is effective to be used for micro capsule endoscopes.

#### 1. 서 론

기존의 내시경을 사용한 내시경진단은 의사의 많은 숙련도를 요구할 뿐만 아니라 그 숙련도에 따라 시술시간이 달라지며 환자의 고통의 정도가 달라진다. 또한 기존의 내시경은 삽입 튜브가 부드럽게 휘어지지 않기 때문에 시술할 때 장을 눌러 환자에게 고통과 불편함을 준다. 따라서 내시

경 검사는 환자에게나 의사에게 매우 부담스러운 검사방법이다. 또한 기존의 내시경은 소장을 진단할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이러한 기존 내시경의 문제점들을 극복하기 위해서 무선 캡슐형 내시경이 개발되어왔다.

지금까지의 기술개발 상황으로는 이스라엘 Given Imaging사에서 처음으로 무선캡슐 내시경인 M2A<sup>(1,2)</sup>를 만들어 상용화하였고, 이 M2A는 10mm x 27mm의 길이에 카메라, RF 모듈, LED와 배터리가 포함되어 있다. 또 다른 기술 개발의 예로서 Norika V3라 불리는 무선 내시경은 RF system사와 Olympus사에 의해서 개발되었다.<sup>(3,4)</sup>

이러한 무선 캡슐형 내시경의 개발에 의해서 기존의 내시경에서는 불가능했던 소장의 진찰이 가능해 졌고, 내시경 시술의 간편함으로 인해 환

† 회원, 한국과학기술연구원  
E-mail : shpark@kist.re.kr  
TEL : (02)958-5780 FAX : (02)958-6910

\* 한국과학기술연구원

\*\* 회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

\*\*\* 회원, 한양대학교 기계공학부

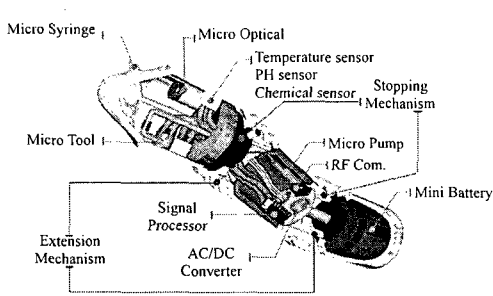


Fig. 1 Concept design of the microrobot for capsule endoscopy

환자들의 고통과 불편함이 줄어들게 되었다. 하지만 개발된 캡슐형 내시경들은 연동운동에 의해서만 움직인다는 단점 때문에 소화기관의 영상을 얻는데 다소 제한을 받게 된다. 이러한 제한을 해결하기 위해 캡슐형 내시경의 능동적 이동에 대한 연구가 필요하게 되었다.

캡슐형 내시경의 이동에 관한 연구로 다수의 다리를 사용하여 장기 내부를 이동하는 메커니즘을 제안되었고,<sup>(5)</sup> 또한 이전의 연구에서 장기 위에서 이동을 위해 지렁이를 모사한 마이크로 로봇을 제안되었다.<sup>(6)</sup> 제안된 마이크로 로봇은 스프링형태의 형상기억합금(SMA)을 구동기로 사용하였는데, 형상기억합금은 가열 후 냉각되는데 걸리는 시간이 길어 응답시간이 늦다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서 임팩트 방식의 압전 구동기를 이용한 캡슐형 내시경용 마이크로 로봇을 제안하였다.

효율적인 이동 메커니즘이 개발과 더불어 Fig. 1에서의 다기능의 캡슐 내시경이 개발된다면, 영상을 보며 진찰하는 것 이외에 실시간으로 PH, 온도, 압 등 생리학적 검사가 실현 가능해질 것으로 기대된다.<sup>(7)</sup>

## 2. 임팩트 방식의 압전 구동기

### 2.1 캡슐형 내시경을 위한 초소형 구동기

캡슐형 내시경을 위한 초소형 구동기는 크기, 힘, 변위, 안전성 등을 고려하여 설계하여야 한다. 이러한 캡슐형 내시경에 가장 적합한 구동기는 낮은 전압의 배터리로도 작동이 가능해야 하며 소화기관의 움직임으로 인해 발생하는 저항력을 극복하기 위한 추진력 발생이 가능해야 한다. 또한 구동기의 응답시간은 빨라야 하며 이는 장기의 점탄성 특징을 극복하고 주어진 시간 내에 진단을 마치는데 필수적인 요소이다.

기존의 연구에서 사용된 스프링형태의 형상기억

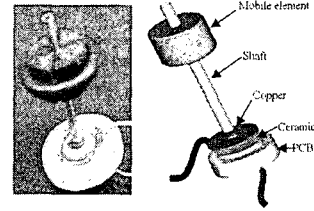


Fig. 2 The fabricated piezo actuator

합금 구동기는 로봇 제작 시 로봇이 3.4mm 를 이동하는데 2 초 이상의 동작 시간을 필요로 한다. 그리고 원래의 모양으로 되돌아오는데 6 초 이상을 기다려야 하므로 왕복운동을 하기 위해서는 8 초라는 시간이 필요하다. 따라서 스프링형태의 형상기억합금 구동기의 단점인 응답속도를 보완하기 위한 다른 구동기가 요구 되었다.

### 2.2 임팩트 방식 압전 구동기의 구성

일반적으로 압전 구동기는 높은 전압이 필요하고 캡슐형 내시경에 적합하도록 소형화시키기에는 한계가 있는 것으로 알려져 있다. 또한 압전 구동기는 마이크로 단위의 작은 변위를 갖게 된다. 이러한 기존의 압전 구동기가 가지고 있는 한계를 극복하기 위해 임팩트 방식의 압전구동기가 개발되었다. 본 임팩트 방식 압전 구동기는 S. Yoon 에 의해서 개발되었으며 자세한 구성 및 구동원리는<sup>(8)</sup>에 명시되어 있다.

Fig. 2 의 임팩트 방식 압전 구동기는 세라믹 압전판, 동판, 구동기의 바닥을 고정하기 위한 PCB(Printed Circuit Board), 그리고 이동부와 이동부를 안내하는 축(shaft)으로 이루어져 있다.

임팩트 방식 압전 구동기에서 이동부를 안내하는 축은 동판에 고정되어 있고 이 동판은 원형의 세라믹 압전판에 고정되어 있다. 또한 일체화된 동판과 세라믹 압전판은 PCB 에 고정되어 있다. 이 때 압전판의 변형이 간섭을 일으키지 않고 그 변위를 동판에 전달하고, 또한 동판이 PCB 에 부착되기 위해 동판의 직경은 압전판의 직경보다 크게, PCB 의 내경은 압전판의 외경보다 크게, 동판의 외경보다는 약간 작게 설계되었다.

이렇게 설계된 각 요소의 제원은 다음과 같다. 원형의 PCB 는 내경 5mm, 외경 11mm 로 되어있으며 압전판의 직경은 5.5mm 이다. 또한 동판의 직경은 6mm 이며 이 동판의 내부에 직경 1.2mm 와 길이 17 mm 의 금속 축을 고정 할 수 있도록 홈을 내었다. 그리고 이동장치로 사용된 이동부(직경 7mm, 높이 4mm)는 구동기에 전압을 가해도 상태가 변하지 않도록 Bakelite 로 만들어졌다. 이렇게 구성된 임팩트 방식 압전 구동기의 전체 중

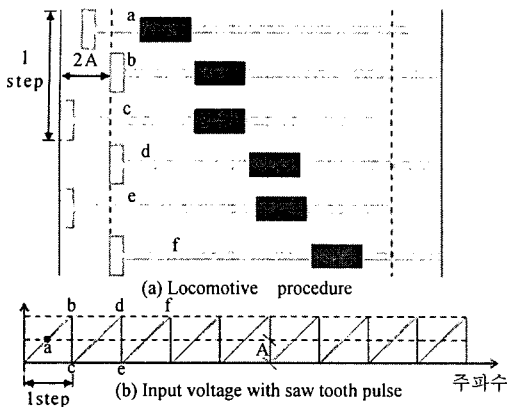


Fig. 3 Basic working principle of the invented piezo actuator

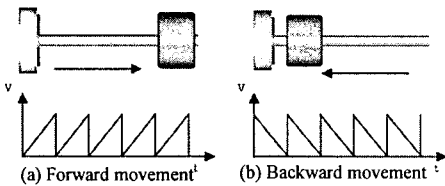


Fig. 4 Pulse Working principle of the piezo actuator according to direction of pulse wave

량은 0.6g 으로서 캡슐형 내시경의 이동장치를 위한 경량의 구동기를 구현할 수 있었다.

2.3 임팩트 방식 압전 구동기의 작동 원리

본 논문에 제시된 압전 구동기는 톱니파의 입력이 압전 세라믹에 인가됨으로 인해 구동되는 것이다. 즉, 압전 세라믹의 구동이 뉴턴 제 1 법칙에 의한 관성력으로 작용하여 궁극적으로 축에 부착된 이동부가 관성력에 의해 이동하게 된다.

이와 같은 이동원리는 Fig. 3의 그림을 통해 설명될 수 있다. 우선 a-b 의 파형이 압전 세라믹에 공급되면 축과 이동부 사이의 마찰에 의해 이동부는 축과의 상대운동 없이 A 만큼 앞으로 움직이고, b-c 의 파형이 공급되면 전압의 급격한 변화에 의해 이동부가 가지고 있는 관성력이 축과 이동부 간의 마찰력보다 커지므로 축과 이동부 사이의 상대운동이 일어나게 된다. 여기에서 상대운동은 이동부에 실제적인 움직임을 유발한다. 결국 위의 두 단계를 거쳐 이동부에 A 만큼의 변위가 발생된다. 다시 c-d 의 파형이 공급되면 이 때는 이동부가 축과의 상대 운동 없이 2A 만큼 전진하게 되며 d-e 의 파형에서는 이동부가 축과 2A 만큼의 상대운동을 한다. 결과적으로 c-e 의 단계에서는 이동부에 2A 의 변위를 유발하고 궁극적으로 a-e 에 이르는 동안 이동부는 총 3A 의 변위를 갖게 된다. 이러한 사이클의 반복에 의해 본 논문에 사용된 구동기가

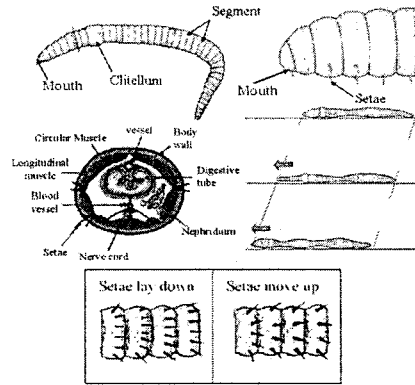


Fig. 5 Locomotion of earthworm

작동하게 된다.

또한 본 구동기는 파형을 반전시킴으로써 진행 방향을 제어할 수 있으며 이러한 제어를 통해 이동부의 왕복운동이 가능하게 된다.

3. 이동 메커니즘의 설계

3.1 로봇의 구성과 이동 원리

일반적인 이동메커니즘으로 다리를 가진 곤충을 모방한 이동장치에 대한 연구는 여러 차례 시도된 바 있다. 특히 Full<sup>(9)</sup>과 Quinn<sup>(10,11)</sup>이 연구한 곤충 모사 로봇은 소화기관을 이동하는데 좋은 예 중의 하나이다. 그러나 이 메커니즘은 너무 복잡하며 제어가 어렵고 로봇의 소형화에 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 간단하고 제어가 쉬우며 소형화할 수 있는 로봇을 제안하였고, 이렇게 제안된 지렁이 모방 로봇은 제작이 간편하며, 소형화되어 환자가 심한 거부감 없이 환자의 소화기관에 삽입이 가능하도록 제작되었다. 또한 하나의 구동기로 구동이 가능하여 공급 전력의 한계를 극복하도록 설계되었다.

우선 지렁이의 구조와 이동원리는 Fig. 5 에 잘 표현되어 있다. 지렁이 몸의 구조는 다수의 환절로 이루어져 있으며 첫 번째와 마지막을 제외한 각각의 환절은 강모라고 불리는 작고 단단한 한쌍의 털이 붙어 있고 이는 지렁이의 이동을 돕는다. 지렁이는 앞부분을 이완시키고 뒷부분을 수축시키며 기어간다. 그리고 이러한 동작은 두 가지의 근육 구조에 의해 이루어진다. 몸체를 원형으로 둘러싼 환상근은 몸체를 수축 또는 팽창시키며 몸의 길이방향으로 형성된 종주근은 몸의 길이를 늘이고 줄이는 역할을 한다. 만약 환상근이 팽창하면 강모가 일어나서 이는 지렁이가 뒤로 밀리는 것을 막는다.<sup>(12)</sup> 또한 종주근은 양방향 선형 구동

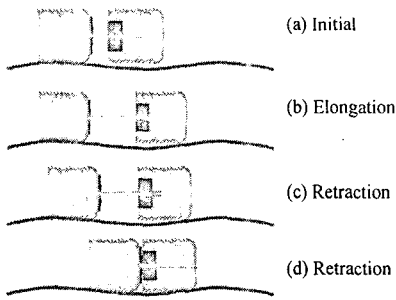


Fig. 6 Locomotion principle of the proposed inchworm-like locomotive mechanism

기의 역할을 하며 강모는 고정기구의 역할을 한다. 이러한 메커니즘은 간단하고 효과적이며 지렁이가 어떠한 환경에서도 이동할 수 있도록 돕는다.

본 논문에 제안된 캡슐형 마이크로 로봇은 로봇 몸체의 중앙부에 위치하고 있는 임팩트 방식 압전 구동기와 곤충의 발톱을 모방한 고정장치로 덮인 두 개의 분리된 로봇 몸체로 이루어져 있다. 고정장치에 관한 자세한 설명은 다음 장에서 상세히 다루겠다. 이렇게 구성된 로봇의 이동원리는 Fig. 6에 도식화 되어 있다.

로봇이 이동하기 위한 첫번째 단계로 압전 구동기에 의해 이동부가 전진하면 이동부와 붙어있는 로봇의 전반부가 전진하게 된다. 이 때 로봇 몸체에 형성된 고정장치의 방향성 때문에 로봇의 후반부는 장기와 상대운동을 일으키지 않는다. 같은 원리로 압전 구동기에 의해 이동부가 후진하면 로봇 몸체의 고정장치에 의해 로봇의 전반부는 장기와 상대운동을 일으키지 않고 그 반력으로 로봇 후반부가 전진하게 된다. 궁극적으로 이러한 사이클의 반복에 의해 로봇은 이동 기능을 수행한다.

### 3.2 고정 장치

이동 장치에 대한 일시적 고정기능을 수행하기 위해 지렁이의 강모와 Fig. 7(a)에 보여지는 곤충의 발톱을 모사하여 고정장치를 개발하였다. 그리고 로봇의 표면에 여러가지 변화를 주어 각 경우의 마찰변화에 따른 결과 비교가 가능하도록 했다. Fig. 7의 여러 모형 중, Type\_1은 고정장치에서 피치의 깊이를 1mm로 했고, Type\_2는 피치의 깊이를 2mm로 하였다. 마지막으로 Type\_3은 피치의 깊이 1mm에 수직 방향으로 3mm의 홈을 내었다. 이때의 로봇 직경은 모두 15mm로 고정 시켰다.

## 4. 로봇의 제작과 실험 장치

### 4.1 로봇의 제작

본 논문에 제안된 지렁이 모사 로봇은 Fig. 8과

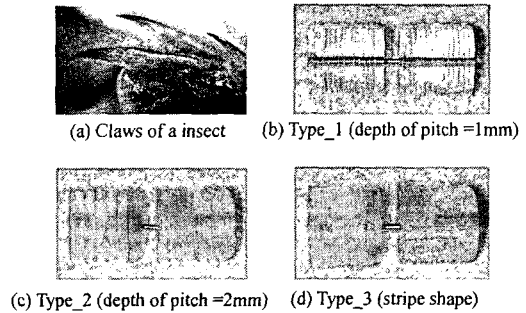


Fig. 7 Clamping device mimicked claws of insect

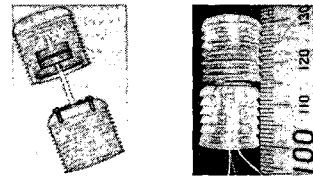


Fig. 8 The proposed earthworm-like locomotive mechanism

같이 제작되었다. 제작된 로봇의 재질은 폴리카보네이트(polycarbonate)이며 외경은 15mm로 만들어 졌다.

로봇의 몸체는 전반부와 후반부로 이루어져 있으며, 전반부의 길이는 이동장치를 포함하여 15mm, 후반부는 구동기 모듈을 포함하여 14mm로 만들어 졌다. 그러나 전반부와 후반부 사이의 간극 1mm 때문에 수축하였을 때 캡슐의 전체 길이는 30mm가 되며 따라서 인장 상태에서 로봇의 전체 길이는 41mm이 된다. 결국 이 로봇의 스트로크는 약 11mm가 된다.

한편 로봇의 이동 기능 수행에 가장 필수적인 구동기 모듈은 로봇의 후반부에 고정되어 있고, 로봇의 전반부는 이동부와 연결되어 있으며, 이동부가 로봇의 전반부에서 이탈하는 것을 막기 위해 snap ring이 설치되어 있다. 또한 로봇 몸체와 고정장치 사이의 완벽한 결합을 위해 홈 모양의 고정 장치는 Fig. 8에서 보여지는 것처럼 로봇의 몸체를 둘러싸고 있다. 이렇게 제작된 로봇은 이동부의 속도가 16.90 mm/sec이며 파형 변환 시 소요시간이 각각 0.75 sec이므로 이론 속도는 3.93 mm/sec가 된다. 위에서 계산된 로봇의 이동 효율을 검증하기 위해 실험을 실시했으며 그 실험장치는 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 임팩트 방식 압전 구동기의 입력을 위해 Amplifier(NF Electronics Instruments)가 사용되었으며 로봇의 변위측정을 위해 Vibrometer(Polytec)가 이용되었다. 측정 데이터를 처리하기 위해 DAQ board (NI)와 LabVIEW가 사용되었다.

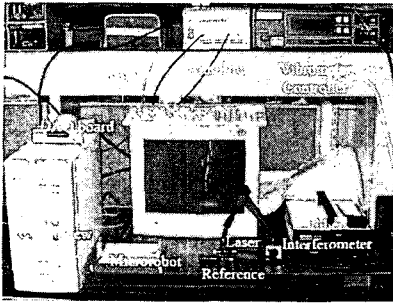


Fig. 9 Schematic diagram

Performance test according to change of environment

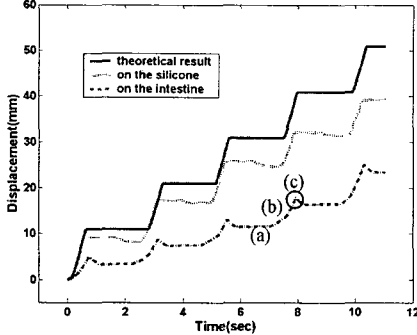


Fig. 10 Performance test according to change of environment

5. 실험결과

두 가지 다른 환경에서 로봇의 이동성에 대한 실험을 수행하였으며 소장과의 정량적인 비교를 위해 유연성이 있는 소재인 실리콘패드를 실험 대상으로 정했다. 실험에 사용된 소장은 연세대 의과대학 동물실험실에서 살아있는 돼지의 소장을 적출하여 PBS 용액에 담아와 invitro 상태에서 실험하였다.

Fig. 10 은 11mm 의 스트로크와 Fig. 7 의 Type\_2 고정장치를 갖는 로봇에 대한 실험결과이다. 이전장에서 설명하였듯이 제작된 로봇의 이론 속도는 3.93 mm/sec 이지만 실제 실험에서는 로봇의 이동 성능이 떨어지는 결과를 관찰 할 수 있었다. 구체적으로 실리콘 위에서의 속도는 약 3.34 mm/s 로 이론속도보다 15% 감소한 결과를 나타냈으며, 즉 은 돼지 소장 위에서의 결과는 이론속도에 57%에 불과한 약 2.23 mm/s 로 측정되었다. 이는 로봇의 고정장치의 성능과 장기의 점탄성 특성에 의한 아코디언 효과(accordion effect) 때문이라고 판단된다. 장기에 비해 상대적으로 점탄성 특성이 적은 실리콘에서의 효율이 장기에서보다 높게 나타난 것으로 위의 판단이 설명될 수 있을 것이다.

추가적으로 이동성능감소의 원인 분석을 위하여 실

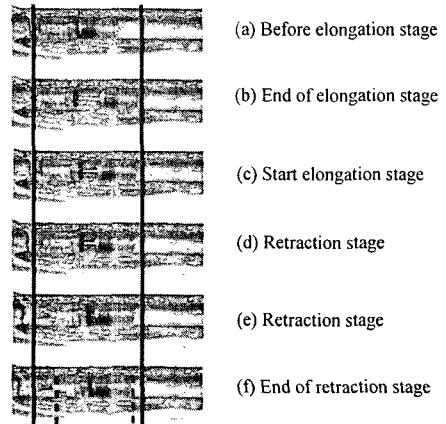


Fig. 11 Video clip during locomotion

Performance test according to change of stroke

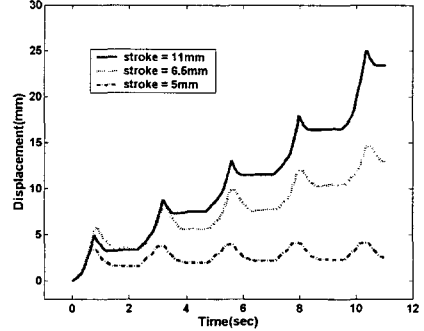


Fig. 12 Performance test according to change of stroke

험 상황을 비디오로 캡처하였고 이는 Fig. 11 에서 보여진다. 앞에서 언급된 고정장치의 성능에 의한 로봇 이동성능 문제는 Fig. 11 에서 잘 설명된다. Fig. 11 에서 (a)는 로봇의 인장 전 단계이고 (b)는 인장단계이며 (c)는 수축 단계를 나타낸다. (b)에서 로봇의 전반부가 최대 변위를 발생하지만 (c)에서 전반부 고정장치의 성능이 완벽하지 못하므로 로봇 수축 시 전반부가 뒤로 후퇴하는 경향을 보이며 이는 전체 로봇 이동 성능에 안 좋은 영향을 미치게 된다. 즉, 고정장치의 문제점으로 인해 초기 인장 시의 전반부 위치에 비해 수축이 끝난 후의 전반부 위치가 뒤로 밀려 있는 것을 볼 수 있었고 이는 곧 로봇의 이동 성능을 감소 시킨다는 것을 알 수 있었다.

여러 가지 요인에 의해 로봇이 이론적인 성능을 발휘하지 못하기 때문에 어느 기준 이하의 스트로크에서 로봇은 이동 기능을 수행 할 수 없을 것이다. 따라서 로봇 이동 성능의 최대화를 위해 로봇 이동에 대한 최적 스트로크가 필요하다. 이러한 필요에 의해 우리는 로봇이 이동할 수 있는 최적의 스트로크를 알기 위한 실험을 실시했으며 Fig. 12 에 그 결과를 나타냈다. Fig. 12 의 결과에서 보듯 이 적은 스트로크에서는 로봇의

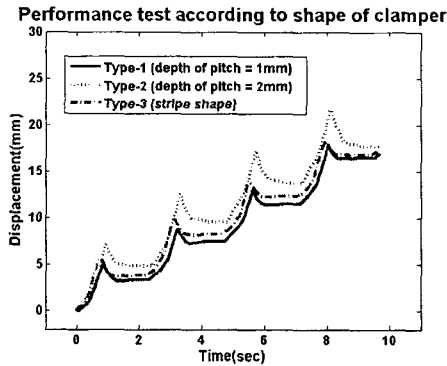


Fig. 13 Performance test according to shape of clasper

이동이 불가능했고 로봇이 이동하기 위한 최소 스트로크는 6.5mm 로 측정 되었다 또한 로봇 고정 장치의 마찰특성이 로봇의 이동 성능에 큰 영향을 미친다는 것을 고려하여 고정 장치의 여러 형태에 대한 실험을 돼지의 소장용을 사용하여 invitro 환경에서 실시하였으며 Fig. 13 에 그 결과를 나타내었다.

일반적으로 마찰력과 저항력은 로봇이 이동할 때 소장의 변형에 많은 관련이 있다. 따라서 로봇의 몸통과 점막의 접촉 구역을 줄일 수 있도록 피치를 깊게 설계하면 점액 때문에 생기는 저항력이 감소되어 더 좋은 이동 성능을 보일 수 있을 것으로 생각되었고 이는 실험 결과와 부합되었다. 실제로 우리가 실시한 세 가지 실험 중 피치가 가장 깊은 Fig. 7 의 type\_2 가 가장 좋은 이동 성능을 가졌다.

## 6. 결론

이 논문에서 11mm 이상의 스트로크가 가능하도록 개발된 임팩트 방식의 압전 구동기와 곤충의 집게 발을 모방한 고정 장치를 이용하여 캡슐형 내시경을 위한 이동 메카니즘을 제안하였다.

이렇게 제안 된 로봇은 실리코판 죽은 돼지의 소장 같은 여러 가지 환경에서 실험 되었으며 이러한 실험 으로부터 마찰력이 로봇의 이동 성능에 중요한 영향을 미치지 않지만 소장과 로봇의 접촉 면적이 적을수록 로봇의 속도를 증가 시킨다는 것을 알 수 있었다. 반면에 소장의 점탄성 특성과 고정 장치의 효율은 로봇의 이동 효율에 매우 큰 영향을 미쳤다. 이러한 환경 요인 때문에 본 논문에 제시된 실험 중 최상의 이동 효율을 보인 피치 2mm 깊이의 고정 장치를 부착한 로봇 조차도 스트로크가 5mm 이하에서는 이러한 특성 때문에 이동 성능을 전혀 보여주지 못했다. 따라서 우리는 로봇의 최적 스트로크를 알 수 있었고 11mm 의 스트로크에서 속도 2.23mm/s 의 이동 성능을 보이는 결과를 도출했다. 이는 이론속도의 57%에 달하는 수치이다.

앞으로 제안된 로봇에 piezo amplifier, micro processor, 배터리와 RF 통신모듈 등을 통합하여 무선으로 in-vivo 상태에서 로봇의 이동을 최대화할 수 있도록 지속적인 연구를 수행할 것이다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 21 세기 프론티어 연구개발사업인 지능형마이크로시스템개발사업(<http://www.microsystem.re.kr>) 연구비 지원을 받아 수행되었음.

## 참고문헌

- (1) Appleyard, M., et al., 2000, "A Randomized Trial Comparing Wireless Capsule Endoscopy With Push Enteroscopy for the Detection of Small-Bowel Lesions," *Journal of Gastroenterology*, Vol. 119, No. 6, pp. 1431~1438,
- (2) <http://www.givenimaging.com/>, Given Imaging Co., Israel.
- (3) <http://www.rfnorika.com/>, RF system lab., Japan.
- (4) <http://www.olympus.co.jp/>, Olympus Co., Japan.
- (5) Mercias, A., Stefanini, C., Gorini, S., Pemorio, G., Kim, B. and Park, J.O., 2004, "Legged Locomotion in the Gastrointestinal Tract," *Proceedings of 2004 IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 937~942.
- (6) Kim, B., Lee, S., Park, J.H. and Park, J-O., 2004, "Inchworm-Like Microrobot for Capsule Endoscope," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*.
- (7) <http://www.microsystem.re.kr/>, Intelligent micro-system center, Korea.
- (8) Ko, H-P., Borodinas, S. N., Kim, S-S. and Yoon, S-J., 2004, "A Study on the Tiny Piezoelectric Ultrasonic Linear Motor," *Proceedings of Electric & Electron Material, Summer Conference*, Vol. 5, No. 2, pp. 826~829.
- (9) Clark, J. E., Cham, J. G., Bailey, S. A., Froehlich, E. M., Nahata, P. K., Full, R. J. and Cutkosky, M. R., 2001, "Biomimetic Design and Fabrication of a Hexapedal Running Robot," *Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3643~3649
- (10) Laksanacharoen, S., Pollack, A. J., Nelson, G M., Quinn, R. D. and Ritzmann, R. E., 2000, "Biomechanics and Simulation of Cricket for Microrobot Design," *Proceedings of 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.1088~1094.
- (11) Schroer, R. T., Boggess, M. J., Bachmann, R. J., Quinn, R. D. and Ritzmann, R. E., 2001, "Comparing Cockroach and Whigs Robot Body Motions," *Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3288~3293.
- (12) <http://www2.worldbook.com/features/cybercamp/html/walkworm.html>