

캡슐형 대장 내시경의 멀티 샘플 채취구동기 개발 Development of Multi-Biopsy Device for Large Intestinal Capsular Endoscope

*지원영¹, #박민수², 변정원¹, 김성현¹, 주종남¹
*W. Y. Jee¹, #M. S. Park (pminsoo@snut.ac.kr)², J. W. Byun¹, S. H. Kim¹, C. N. Chu¹
¹ 서울대학교 기계항공공학부, ² 서울산업대학교 제품설계금형공학과.

Key words : Biopsy device, Capsular endoscope, Linkage mechanism, Large intestine

1. 서론

2002년 Given Imaging 사를 시작으로 캡슐 내시경은 중국, 일본, 미국 등에서도 개발, 상용화 되었으며 우리나라 인트로메딕사에서 상용화 시킨 MiroCam 은 지름 11 mm, 길이 24 mm 으로 세계 최소형이며, 12 시간 이상 소화기관을 따라 움직이며 영상을 전달한다. 캡슐 내시경은 일반 내시경에 비해 전처치 약물이 필요없으며, 검사 중에도 일상 생활이 가능하여 피검시자의 고통과 불편감을 줄여주었다. 또한 십이지장, 소장 등 유선 내시경으로는 관찰할 수 없었던 장기의 진단을 용이하게 하였다.

그러나 캡슐내시경은 인체의 연동운동에 의해 수동적으로 움직이며 샘플 조직 채취를 할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 지능형 마이크로 시스템 개발 사업단에서는 캡슐 내시경에 장착 가능한 샘플 조직 채취 구동기를 개발하였고, 이는 소형의 캡슐 내시경 내에 장착되며 캡슐의 지름 방향으로 조직을 채취한다.

본 논문에서는 이전의 구동기를 개선하여 조직 채취의 정확성과 채취 성공률을 높일 수 있도록 주행 초점과 평행한 방향으로 조직을 채취할 수 있으며 2 회 이상의 독립적인 채취가 가능한 구동기를 소개한다.

2. 설계 및 제작

2.1 설계

조직 채취 구동기는 캡슐형 내시경에 장착한다는 전제로 설계하였으며, 침습이 가능한 스트로크(stroke)와 안정적인 트리거링이 가능하도록 하였다.

제작된 구동기는 Fig. 1 과 같이 10 개의 주요부품으로 이루어져 있으며 카메라 모듈은 현재 상용화된 캡슐 내시경 가운데 가장 작은 크기인 MiroCam 을 기준으로 하여 디자인하였다. 원통형의 스파이크 가이드(spike guide)가 카메라 모듈(camera module)을 둘러 싸고 있으며 고정되거나 카메라 모듈의 하우징(housing)과 일체형으로 제작될 수도 있다. 두 개의 스파이크(spike)는 스파이크 가이드에 있는 일자형 홈을 따라 움직이며 각각 독립적인 동작이 되도록 하였다. 슬라이드는 태엽 스프링(spiral spring)으로부터 전달받은 동력으로 회전하며 V 자 홈에 의해 스파이크에 동력을 전달하게 되고 카메라 렌즈 방향으로 왕복운동을 하게 된다. 슬라이드(slide)의 외부에는 내장의 이물질로부터 구동기를 보호하기 위해 덮개(cover)를 씌웠다.

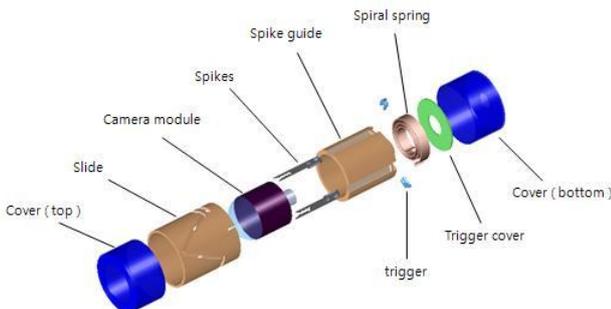


Fig. 1 Schematic of the biopsy device.

구동기의 기본적인 특징은 Table 1 과 같다. 대장 조직을 안정적으로 채취하기 위해서는 스파이크는 카메라 모듈의 돌출길이보다 길어야 하며 조직에 충분히 침습되어야 한다. 그러나 대장 두께보다 깊이 들어가게 되면 천공이 일어나게 되므로 이를 피하기 위해서 6 ~ 10 mm 의 스트로크를 가져야 한다. 본 구동기는 10 mm 의 스트로크를 가지며 평균 침습 깊이는 약 3 mm 이다. 스파이크는 대장 조직의 탄성을 이기고 순간적으로 침습되어야 하므로 실험을 통해 안정적인 침습이 가능한 2200 mm/s 의 속도를 갖도록 하였고, 평균 왕복 속도는 800 mm/s 이다.

조직 채취 구동기	
크기	φ15 x 16.6 x 2 mm (r, L, t)
스트로크(Stroke)	10 mm
침습 깊이	3 mm
침습 속도	2200 mm/s
침습 횟수	2 times

Table 1 Spec.

2.2 구동 메커니즘

구동기는 원통형으로 장착되어 뒤쪽에 태엽 스프링으로부터 동력을 전달받아 회전 운동을 한다. Fig. 2 (a)는 침습 전에 트리거(trigger)가 걸려있는 모습이며, 전기 신호에 의해 바깥쪽의 슬라이드의 회전이 시작되면 Fig. 2 (b)와 같이 스파이크의 돌기 부분이 V 자 홈에 의해 밀려 카메라 방향으로 나오며 침습이 시작되며, 채취가 끝난 후 다시 안쪽으로 끌려오게 된다. 첫 번째 침습이 일어난 후 두 번째 트리거에 의해 슬라이드의 회전은 멈추게 되고 두 번째 침습의 원리 또한 같은 메커니즘을 가진다.

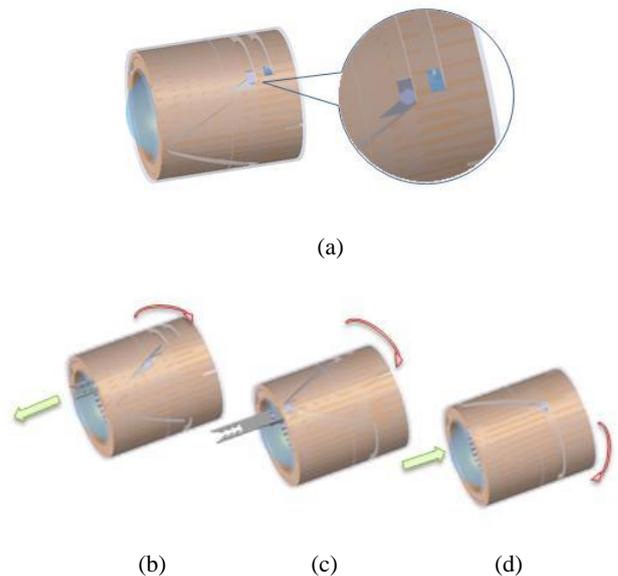


Fig. 2 (a) Assembled and set triggering (b) Start sampling (c) Full stroke (d) Return and second trigger set.

2.3 트리거 회로(Triggering circuit)

스파이크 가이드 뒷면에는 트리거 회로가 있으며, 그 모습과 작동원리는 다음과 같다.

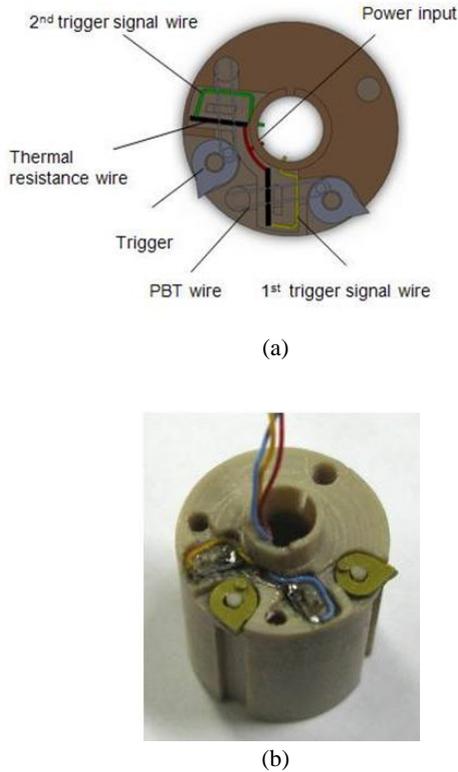


Fig. 3 Triggering circuit (a) Circuit design, (b) Assembled picture.

Fig 3.(a)에서 볼 수 있듯이 두 번의 독립적인 트리거링을 위하여 2 개의 신호 선이 있으며 각각 열 저항 선(후연)에 연결되어 있다. 전원 선에서 전력을 받아 열 저항선에 전류가 흐르면 온도가 급격히 올라가게 되며 트리거를 당기고 있던 PBT 선이 녹으면서 구동이 시작된다. 이 때 전선에 흐르는 전류는 약 2A로 평균 0.5 초 안에 침습이 시작된다.



Fig. 4 Photo graph of the fabricated device.

2.4 제작 및 속도실험

슬라이드, 스파이크 가이드, 트리거, 덮개는 가벼우면서 가공성이 좋은 공업용 플라스틱 (PEEK)를 사용하였으며, 4축 가공으로 제작하였다. 스파이크는 작으면서 인성(toughness)이 강하고, 인체에 무해한 두께 0.2 mm의 스테인리스 강(304 SS)을 레이저 가공하였으며, 열선으로는 후연을 사용하였다.

제작된 구동기로 인체의 근육 조직과 유사한 특성을 갖는 10% 젤라틴 (젤라틴 10% + 물 90%)에서 성능 시험을 해보았다. 침습 깊이를 3mm로 하여, 초당 500 frame을 촬영하여 속도 분포를 알아보고, 그 결과는 Fig. 5와 같다. 총 구동시간은 평균 0.02 초이며, 침습 시 최고속도는 약

2200 mm/s이며, 복귀 시 최고 속도는 약 2800 mm/s로 나타났다. 침습 시에는 스파이크가 조직을 찢고 들어가면서 저항 때문에 복귀 시 보다 속도가 느리게 나타난 것으로 보인다. 작동 후 8 ~ 11 ms 구간에서는 스파이크가 V자 홈의 끝부분을 지나면서 침습 후 조직을 떼어내면서 강한 저항을 받아 복귀 지연이 나타난 것이다.

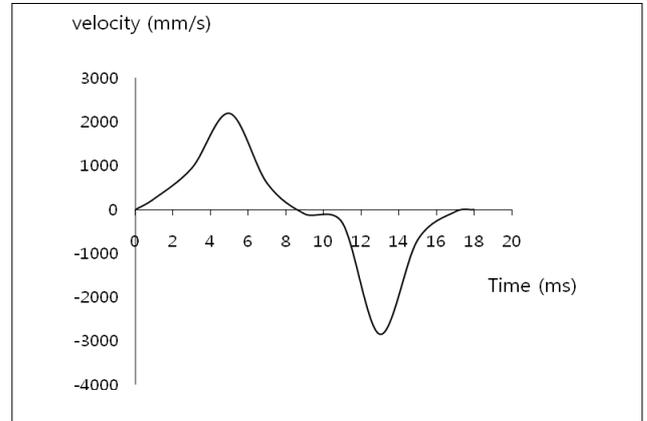


Fig. 5 속도 분석 그래프

3. 결론

대장용 캡슐내시경에 장착하여 주행방향으로 조직을 채취할 수 있는 원형 슬라이드 구조의 구동기를 소개하였다. 내시경의 둘레의 얇은 공간에 각각 직선형, V자형 가이드 라인을 가진 두 개의 슬라이드를 장착하여 태엽 스프링의 탄성력을 이용, 10 mm의 스트로크로 스파이크를 왕복운동을 시켰다. 제작된 구동기는 침습 시 2200 mm/s의 빠른 속도를 가지며 이는 조직을 채취하기에 충분한 속도라고 할 수 있으며, 태엽 스프링의 탄성력을 조절하거나, 가이드 라인을 V자에서 U자 또는 Sine 형태로 바꾸어 원하는 속도 분포를 얻을 수 있다. 2회의 독립적인 채취가 가능하여 한번의 내시경에서 유효한 조직을 얻어낼 수 있는 가능성이 높아졌으며, 같은 메커니즘을 사용한다면 3회 이상의 독립적인 채취가 가능한 구동기를 제작할 수 있다. 내시경의 크기에 따라 구동기의 크기 변경도 용이하여 상용 가능성이 크다고 할 수 있다.

후기

본 연구는 지능형 마이크로 시스템 개발 사업단 21세기 프론티어 연구개발사업의 지원을 받아 수행되었음을 밝힙니다..

참고문헌

1. <http://www.microsystem.re.kr/>
2. S.H. Lee, B.K. Kim, J.H. Park, J.O. Park, "Design and Fabrication of the Locomotive Mechanism for Capsule Endoscopes Using Shape Memory Alloys(SMA)," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A 27, 1848 (Nov. 2003).
3. J.W. Byun et al., "Development of Biopsy Actuator for Capsular Endoscope Using Linkage Mechanism," The 8th Korean MEMS Conference, Jeju, 104 (April, 2006).
4. Shawn P. Davis, Benjamin J. Landis, Zachary H. Adams, Mark G. Allen, Mark R. Prausnitz, "Insertion of microneedles into skin : measurement and prediction of insertion force and needle fracture force," Journal of Biomechanics, 37, 1155-1163, 2004.
5. 지원영, 김성한, 박민수, 주종남, "대장용 캡슐 내시경의 조직채취 구동기 개발," 한국 MEMS 학술대회 논문집, 199-200, 2009.