

캡슐형 내시경을 위한 유연 나선 추진 기구 A Flexible Screw Motion Device for Capsule-Type Endoscopes

*홍예선¹, 이주성², 강현²

*Y.S. Hong¹ (yshong@kau.ac.kr), J. S. Lee², H. Kang²,

¹ 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부, ² 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

Key words : Capsule-type endoscope, Flexible screw, Helical motion

1. 서론

현재까지 실용화된 캡슐형 내시경은 인체 밖으로 연결되는 케이블이 없으므로 기존의 광섬유 내시경보다 편리한 점도 있지만, 인체 장기의 연동 운동에 의해 피동적으로 이동을 하므로 의사가 원하는 부위를 집중적으로 진단하는 것이 불가능하다는 단점이 있다. 이것을 해결하기 위해 캡슐형 내시경을 인체 장기 안에서 능동적으로 이동시킬 수 있는 기술의 개발이 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

인체 장기 안의 캡슐형 내시경을 이동시키는 방안은 두 가지 방향으로 추진되고 있는데, 하나는 내시경 자체에 탑재되는 자율 이동 메커니즘의 개발^{1,2} 과 다른 하나는 외부에서 자력장을 캡슐에 인가하여 이동시키는 시스템의 개발이다^{3,4}.

본 논문에서 소개하는 나선 추진 방식은 나선기구에 의해 캡슐을 이동시킨다는 점에서는 Olympus의 개념과 유사하지만, 캡슐을 인체 외부에서 별개의 영구자석으로 회전시킨다는 점과 캡슐의 회전 방향을 바꾸면 나선의 방향이 자동으로 전환되어 캡슐의 이동 방향이 일정하게 유지된다는 점에서 차이가 있다.

2. 캡슐 내시경 나선 구동 시스템의 구성

본 논문의 캡슐 내시경 나선 구동 시스템은 Fig. 1과 같이 구성된다. 캡슐의 내부에는 캡슐의 대칭축에 대하여 직각 방향으로 자화된 디스크 형 영구자석을 내장되고 매니퓰레이터의 말단에 부착된 또 다른 영구자석이 인체 외부에서 회전하면 캡슐 내 영구자석이 아마추어 역할을 하여 캡슐도 회전하게 된다. 이때 캡슐의 외피에 형성된 나선에 의해 캡슐이 나선운동을 하게 된다.

체의 자석의 이동과 회전을 위해 5축 이상의 다자유도 매니퓰레이터를 이용하면 인체의 표면을 따라서 3 자유도 병진이동과 요우 및 롤 방향의 2자유도 회전이 가능하다.

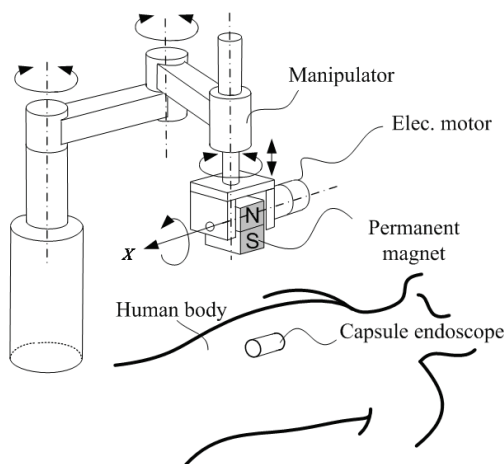
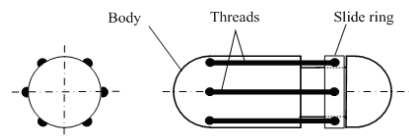


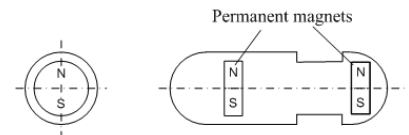
Fig. 1 Configuration of remote motion control system for a capsule endoscope

3. 가변 나선 기구의 작동원리

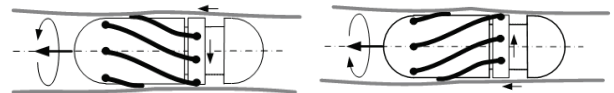
Fig. 2는 가변 나선의 기본 작동원리를 도시한 것이다. 가변 나선은 캡슐의 선두에 일단이 고정되는 유연한 재질의 블레이드들, 그리고 블레이드의 다른 일단이 고정되는 슬라이드 링으로 구성된다. 나선 블레이드의 단면 형상과 재질을 어떻게 선정하는가에 따라서 나선 운동에 의한 추진 속도가 매우 큰 영향을 받게 된다.



(a) Arrangement of threads



(b) Configuration of internal magnets



(c) Screw motion

Fig. 2 Working principle

그림에서 보는 바와 같이 외부 회전 자계에 의해 캡슐이 그 후방에서 보았을 때 시계회전 방향으로 회전하면 나선 블레이드들은 장기 벽과의 마찰력에 의해 시계 회전 반대 방향으로 휘면서 오른 나사로 배열되고 나선 블레이드의 접촉면에 형성되는 마찰력을 극복할 수 있는 회전력이 캡슐에 인가되면 전진하게 된다. 만일 캡슐을 시계회전 반대 방향으로 회전시키게 되면 나선 블레이드들은 왼 나사로 바뀌게 된다. 따라서 캡슐은 몸통의 회전 방향에 관계없이 항상 전진을 하게 된다.

4. 실험 방법 및 조건

나선기구에 의한 이동 성능을 측정하기 위해 제작된 실험장치의 구성은 Fig. 3과 같다. 체외자석은 가로 130mm, 세로 130mm, 높이 130mm의 정육면체이고 잔류자속밀도가 1.41 Tesla 인 NdFeB 소재의 영구자석을 사용하였다. 캡슐의 이동과 체외 자석의 이동을 동기화 시키기 위해서는 5축 스카라 로봇을 이용하였다. 캡슐의 크기는 직경 18mm, 길이 32mm, 무게 8.1 g 이고, 캡슐 내에는 직경 9mm, 두께 2mm 인 동일 재질의 영구자석 2 개를 20mm 의 거리를 두고 배열하였다.

이 실험에서는 실제 장기를 사용할 수 없으므로 인간의 장기와 가장 유사한 돼지 대장과 탄성계수(10~11g/mm²)가 일치하도록 제작된 실리콘 재질(Shin-etsu, 모델명 KE-1415)의 소화관 모형을 사용하였다. 장기 내의 마찰계수는 점액

에 해당되는 윤활유(Shin-etsu, 모델명 KF-96)를 사용하여 돼지 대장과 유사한 범위에서 모사하였다. 소화관 모형은 인체 내에서처럼 압착이 되도록 40mm 높이로 물이 채워진 수조 내에 담겨진 상태에서 실험을 하였는데, 수조의 깊이는 Sendoh⁶의 논문을 참고하여 정한 것이다.

이 실험에서 측정하고자 한 캡슐의 이동 속도에 영향을 주는 인자는 나선 블레이드의 형태, 자석 중심간 거리, 체외 자석의 회전속도, 윤활유의 점도, 나사각 등이다.

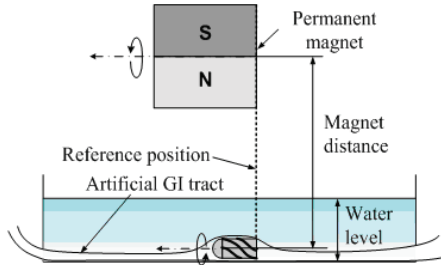


Fig. 3 Experimental apparatus

실험에 사용된 블레이드의 형상은 Fig. 4 와 같다. 블레이드로는 유연한 재질의 다각형 단면 bar, 체인 등이 이용될 수 있는데, 본 논문에서는 쉽게 구할 수 있는 체인을 사용하였다. 나선 블레이드의 형상 중 A,B,C 형은 직경이 1mm, 2mm 인 제품을 구할 수 있었으나, D 형은 0.7mm, E 형은 2mm 인 제품만 입수 가능하였다. 나선 블레이드의 수는 3 개를 사용하였고, 그림에서는 왼 나사가 형성된 상태를 볼 수 있다. 이 때 나사각은 120 도이다.

구분	형상	전체 외형	외경/폭
A			1mm, 2mm
B			1mm, 2mm
C			1mm, 2mm
D			0.7mm
E			2mm

Fig. 4 Types of threads

체외자석의 회전속도가 18rpm, 윤활유 점도가 100cSt 일 때 A,B,C 형의 1mm 모델과 D 형의 성능을 비교한 결과는 Fig. 5 와 같다. A 형은 자석간 거리가 350mm 이상일 때에는 전진이 불가능하였고, D 형의 속도가 가장 빨랐다. 같은 조건에서 A,B,C 형의 2mm 모델과 E 형을 비교하면 체인의 직경이 클수록 A,B,C 형의 성능은 더 저하되었으니, E 형의 속도가 D 형보다 크게 나타났다.

체외자석의 회전속도를 2 배로 증가시키면 캡슐의 이동 속도도 증가하지만, 최대 20~30% 정도의 증가 효과만 나타났다. 오일의 점도를 10 배 증가시킬 경우 자석 거리가 300mm 이상이면 D 형은 분당 2mm 정도로 속도가 감소하지만, E 형은 분당 4.5 mm 이상을 유지하였다.

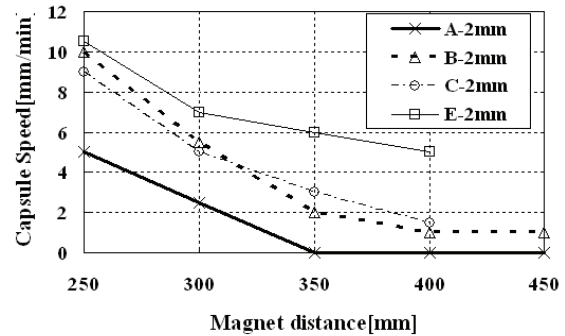
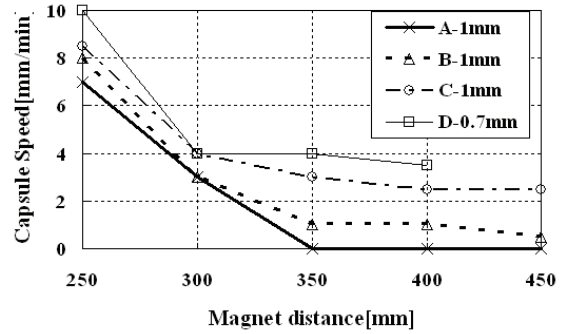


Fig. 5 Test results

5. 결론

나선 블레이드의 두께보다는 그 형상이 캡슐의 이동속도에 대해 미치는 영향이 더 크게 나타났는데, 나선 블레이드의 장벽과 접촉하는 부위가 날카로울수록 나선 운동의 효과가 컸다.

1000 cSt 정도의 높은 점도에서도 캡슐이 나선 이동을 할 수 있었던 것은 매우 고무적인 결과이다. 당연한 현상이지만, 캡슐의 회전속도가 빠를수록, 그리고 윤활오일의 점도가 낮을수록 캡슐의 이동속도가 높았다. 캡슐의 회전속도에 대해서는 의료적 안전성을 고려한 상한치가 있을 것으로 판단이 된다.

향후에는 높은 점도에서도 작은 회전 모멘트에 의해 캡슐을 빠른 속도로 구동시킬 수 있으며 경구 투입을 고려하여 두께가 작아도 되는 나선 블레이드의 형상에 대해 지속적인 연구를 수행하는 것이 요구되고 동물 실험을 통한 임상적 검증이 필요하다.

후기

본 연구는 21 세기 프론티어 지능형 마이크로시스템 개발사업 연구비의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참고문헌

1. Kim, B., Lee, S., Park, J. H., Park, J. O., "Inchworm-like Micro robot for Capsule Endoscope," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Biomimetics, 2004.
2. Dario, P., Stefanini, C. and Menciassi, A., "Modeling and Experiments on a Legged Microrobot Locomoting in a Tubular, Compliant and Slippery Environment," 9th International Symposium on Experimental Robot, 2004.
3. NORIKA -www.rfnorika.com
4. Sendoh, M., Ishiyama, K., Arai, K.I., "Fabrication of Magnetic Actuator for Use in a Capsule Endoscope," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 39, No. 5, 2003