자계 센서를 이용한 캡슐형 내시경의 2 차원 위치 측정

박준병 [1], 강 헌 [1], *홍예선 [1], 김병규 [1]
[1] 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

2-D Position detection of a Capsule-type Endoscope by magnetic field sensors

J. B. Park[1], H. Kang[1] , *Y.S.Hong[1] , B.K. Kim[1]
[1] Dept. of Aeronautical & Mech. Eng., Hankuk Aviation Univ.

Key words : Position detection, Magnetic field sensor, Capsule endoscope

1. 서론

최근 실용화가 된 캡슐형 내시경은 입을 통해 체내로 투입되면, 장기의 연동 운동에 의해 식도, 위, 소장, 대장을 지나 체외로 배출 될 때까지 장기 안에서 이동하는 동안 장벽을 촬영한 영상 신호를 인체 밖의 수신기로 송신을 한다. 이와 같이 피동적으로 인체 장기 안에서 이동하는 캡슐형 내시경은 경구 투입 후에 임의의 위치로 이동시킬 수 없기 때문에 제한적인 진단 기능만 가능한 실정이다. 따라서 캡슐형 내시경을 인체 내에서 이동시키는 기술의 개발이 국내외에서 진행되고 있으며, 이것을 구현하기 위해 기본적으로 필요한 것이 인체 내 캡슐의 위치를 실시간으로 측정할 수 있는 기술이다.

캡슐형 내시경의 인체 내 위치를 측정하는 방법에 대한 선행 연구사례 중에서 대부분이 자석과 자계센서를 응용하고 있다. 즉, 자석으로부터 임의의 위치에 있는 지점에 나타나는 자장의 세기 또는 자속밀도를 이론식으로 표현할 수 있으면, 임의의 위치에서 자장의 세기 또는 자속밀도를 측정하여 자석으로부터의 위치를 역으로 추정할 수 있다는 것이 그 기본 원리이다. 이러한 측정 원리를 캡슐 내시경에 응용하는 방법은 자석을 인체 외부에 두고 자계센서를 캡슐에 내장하는 방법[2,3]과 반대로 자석을 캡슐에 내장하고 자계센서를 인체 외부에 설치하는 방법[4,5,6]의 두 가지로 구분된다.

본 논문에서는 인체 외부의 자계발생용 영구자석과 캡슐 내시경이 동일한 수직 평면 상에 있을 때 2 개의 자계센서를 이용하여 캡슐 내시경의 2 차원 좌표 및 pitch 방향 회전각에 대한 3 개의 미지수를 구하기 위해 연구한 방법과 결과를 소개하고자 한다. 여기서 2 개의 자계 센서는 캡슐에 작용하는 자속밀도 벡터의 2 축 직교 성분을 측정하는 역할을 한다.

2. 자계센서를 이용한 위치 측정 원리

Fig. 1 과 같이 영구자석의 중심에 원점을 갖는 *X-Z* 좌표계에서 점 $P(X_p,Z_p)$의 위치에 나타나는 자속밀도 B_m 의 *X,Z* 방향에 대한 직교성분, B_X, B_Z 와 방향각 θ 는 자계이론에 의해 자석의 크기와 형상, X_p, Z_p 의 함수로 표현할 수 있다[1].

캡슐형 내시경에 내장되는 자계센서모듈은 Fig. 2 에서와 같이 감지 방향이 회전축 방향 즉, *x* 축 방향으로 놓이도록 배열된 hall 센서와 반경방향 즉, *z* 축 방향으로 향하도록 배열된 hall 센서로 구성된다. 이 hall 센서들은 자속밀도의 크기에 비례하여 아날로그 전압 신호를 출력시킨다.

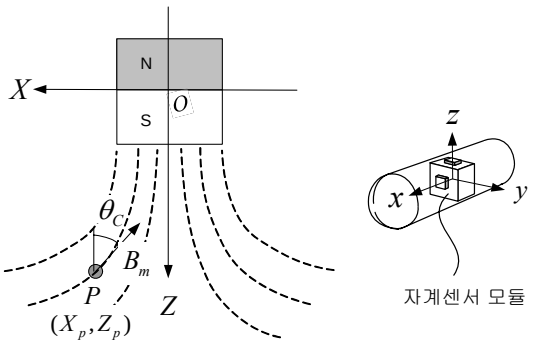

Fig. 1 Flux lines of bar-type permanent magnet and configuration of flux density sensor module

캡슐형 내시경이 장기와의 접촉력과 마찰력, 자중 등 외력에 의해 임의의 각도 θ_c 로 영구자석에 대해 기울어져 있는 조건에서는 캡슐에 자속밀도 성분 B_x,B_z 를 측정하여 B_m 을 아는 것만으로는 캡슐의 위치 좌표 (X_c,Z_c) 및 경사각 θ_c 를 구할 수 없다. 왜냐하면 외부 영구자석 주위에 동일한 B_m 값을 갖는 캡슐의 위치는 등고선 상에 무수히 존재하기 때문이다.

그러나 Fig. 2에서 보는 바와 같이 위치 1에서 측정한 자속밀도가 B_{m1} 이고, 영구자석을 이동시켜 위치 2에서 측정한 자속밀도가 B_{m2} 라면, 두 개의 등고선이 만나는 점으로부터 캡슐의 위치 좌표를 구할 수 있다. 그리고 이 좌표 위치에서 B_{m2} 의 방향을 이론식으로부터 알 수 있으므로 자계선서의 측정치 B_x, B_z으로부터 캡슐 내시경의 경사각도 구할 수 있다. 따라서 본 논문의 측정 방법은 영구자석이 위치1에서 위치2로 이동하는 동안 캡슐 내시경이 *x*나 *z*방향으로 이동하지 않으며, 영구자석과 캡슐 내시경이 수직 평면 상에 존재한다고 가정한 경우에 적용이 가능하다. 따라서 이 방법은 장기 안에서 장애물에 의해 정지된 캡슐 내시경의 위치를 인체 외부에서 확인하는 데 활용할 수 있을 것이다.

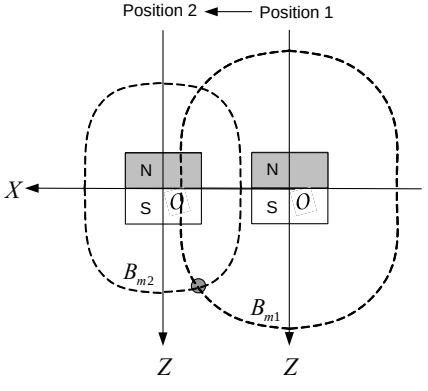

Fig. 2 Working principle

3. 실험 장치의 구성

본 논문의 실험 장치는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 캡슐형 내시경에 자계를 인가하는 영구자석, 영구자석을 인체 외부에서 임의의 위치로 이동시킬 수 있는 수평다관절 매니풀레이터, 캡슐형 내시경에 내장된 자계센서 모듈, 그리고 자계센서 신호를 이용하여 영구 자석과 캡슐형 내시경 간의 상대 위치를 검출하는 연산장치로 구성된다.

캡슐형 내시경의 외부에서 자계를 발생시키는 영구자석은 N극과 S극이 수직으로 놓이는 상태를 기준으로 하였다. 위치 측정 범위를 x 방향 ±200mm, z 방향 0~200mm를 목표로 정함에 따라서 영구자석은 NdFeB 소재를 사용하였고, 잔류 자속밀도는 1.35T, 크기는 130mm×130mm×130mm의 정육면체이다. Hall sensor로는 측정 범위가 ±1200 Gauss인 제품을 사용하였다.

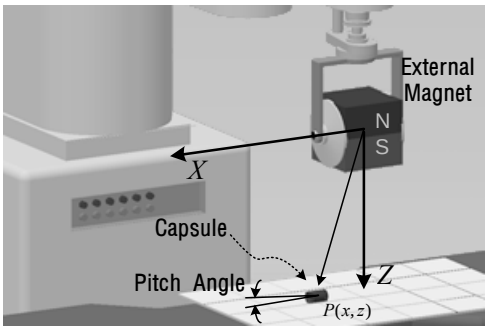

Fig. 3 Experiment system configuration

4. 실험 결과

위치측정 실험은 캡슐을 일정 위치에 고정시키고 영구자석을 이동시켜 상대위치를 상하 전후 100mm 간격으로 변화시키며 실시하였다. 상대위치가 일단 정해지면 영구자석을 20mm만큼 전진시킨 후 캡슐 위치를 측정하였고, 한 지점에서 10번씩 반복 측정을 하였다.

Fig. 4는 실험 결과이다. 그림에서 X 부호는 측정된 위치를 표시한다. 위치 측정 오차와 각도 측정 오차를 별도로 정리한 결과는 Fig. 5와 같다. 위치 측정오차는 X축과 Z축 방향으로 ±15mm이내이고, 각도 측정오차는 ±7° 이내로 나타났다. 이러한 오차의 원인은 Fig. 2에서 교점의 위치를 찾는 해법과 영구자석의 자기력선 형태 등에 의해 좌우된다.

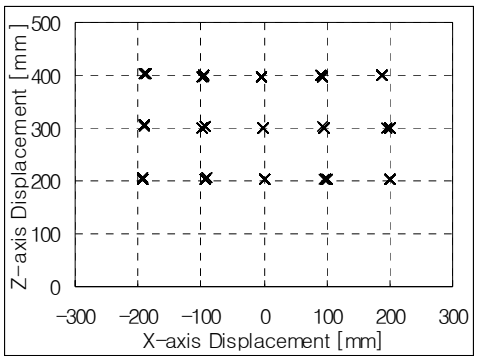

Fig. 4 Capsule Position

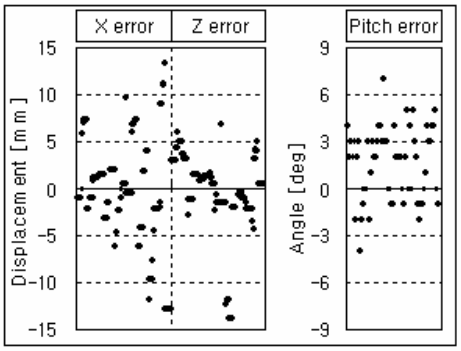

Fig. 5 Capsule Position Error

영구자석의 측정 전진 거리를 30㎜, 40㎜ 등으로 변화시켜도 측정 결과는 크게 차이가 나지 않았다.

5. 결론

본 논문에서는 영구자석과 자계센서를 이용하여 인체 내 캡슐형 내시경의 위치측정 방법을 개발하기 위한 기초연구로서 2 개의 hall sensor 를 이용하여 영구자석과 캡슐 내시경이 동일한 수직 평면에 있다는 전제 하에 2 차원 위치 좌표와 피치각을 측정하는 방법을 제시하고 그 유용성을 확인하였다. 자계센서의 수를 추가하면 이와 유사한 방법으로 캡슐 내시경의 3 차원 위치 좌표를 측정하는 방법을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

영구자석의 자화 상태가 불균일하여 나타나는 측정 오차도 있을 것으로 추정되어 향후 이 오차를 보정하는 연구도 필요하다.

후기

본 연구는 산업자원부 21 세기 프론티어기술개발사업인 지능형 마이크로시스템 개발사업 의 연구비 지원을 받아 수행되었음(http://www.microsystem.re.kr).

참고문헌

1. Furlani, E., “Permanent magnet and electromechanical devices”, Academic press, 2001.
2. Kirsch, S.R. and Schilling, C., ”Errors in systems using magnetic fields to locate object”, US patent 6,553,326
3. Nagaoka, T., and Uchiyama, A., “Development of a small wireless position sensor for medical capsule devices”, Proceedings of the 26th Annual Int. Conf. of the IEEE/EMBS, 2004, pp.2137-2140.
4. Prakash, N.M., and Spelman, F., “Localization of a magnetic marker for GI mobility studies: an in vitro feasibility study”, Proceedings of the 19th Annual Int. Conf. of the IEEE/EMBS, 1997, pp.2394-2397.
5. Wang, X., Meng, M. and Chan, Y., “A low-cost tracking method based on magnetic marker for capsule endoscope”, Proceedings of 2004 Int. Conf. on Information Acquisition, pp.524-526.
6. Yabukami.,S., Kikuchi, H. and Yamaguchi, M., “Motion capture system of magnetic markers using three-axial magnetic field sensor”, IEEE Trans, on Magnetics, Vol. 36, N0. 5, 2000, pp.3646-3648.