

캡슐 내시경에 응용 가능한 광대역 컨포멀 안테나

Wideband Conformal Antenna for Endoscopic Capsule Application

유형석*
(Hyongsuk Yoo)

Abstract - In this study, a novel wideband conformal thin antenna is presented for endoscopic capsule application at the 915 MHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) band. The thickness of the antenna is only 0.2 mm which can be wrapped inside a capsule's inner wall. By cutting meandered slots on patch, open end slots on ground and utilizing long arm, the proposed antenna can obtain significant size reduction. The net volume of the proposed antenna including substrate and superstrate is only 37.4 mm^3 (187 mm^2 surface area). This conformal antenna has shown good performance through simulation and measurement with maximum gain of -23 dBi and wide bandwidth from 137 MHz - 205 MHz depending on different environment. In addition, the effect of internal materials specially metallic battery is discussed briefly.

Key Words : Endoscopic capsule, ISM, Gain, Wideband

1. 서 론

내시경 진단 시스템은 소화기관 치료나 진단을 위해서 반드시 필요하다. 유선으로 된 내시경 촬영 과정에서는, 대장과 직장은 고려되지 않고 복부 상단 120 cm와 소장 일부만이 영상화된다는 단점이 있다. 촬영되지 않고 남아있는 영역을 영상화하기 위해서, 대장내시경이라는 진단 시스템이 있다. 하지만 이러한 형태의 시스템은 환자의 불편함이나 고통을 유발하고 다른 환자에게 여러 번 사용되기 때문에 감염의 우려 또한 있다. 게다가, 유선으로 된 내시경 시스템으로는 구불구불한 대장영역에 접근하는 것은 상당히 어렵다. 그러한 이유로, 캡슐 내시경이 이러한 제약을 극복하기 위해 개발되었고 이 시스템은 위내시경과 대장내시경 진단이 동시에 가능하다[1].

일반적으로, 캡슐내시경은 26 mm x 11 mm 크기를 가지고 내부에 작은 카메라, 무선 회로 송수신기, LED, 배터리, 광학 돔, 그리고 안테나를 포함하고 있다[2]. 소화 기관의 다양한 전기적 특성 등에 만족하면서도 작은 캡슐 사이즈 안에 장착되기 위해서, 캡슐 내시경에 사용되는 적절한 안테나를 설계하는 것은 매우 어려운 과제이다. 고해상도 데이터 전송을 위해서 넓은 주파수 대역 역시 필요하다. 게다가, 주로 사용할 수 있는 주파수 대역이 존재하기 때문에 적절한 동작 주파수를 설정하는 것 역시 중요하게 고려해야 한다. 예를 들어 402 MHz의 Medical Implant Communication Service (MICS) 대역은 세계적으로 라이선스 없이 무료로 사용할 수 있는 좁은 주파수 대역대로 캡슐 내시경에

는 적절하지 않다. 그러나, 2.45 GHz의 Industrial, Scientific and Medical (ISM) 대역은 넓은 주파수 대역을 가지지만 1 GHz의 높은 주파수를 가지고 있어 액체로 구성된 조직에서 큰 방사손실이 일어난다[3-4].

본 논문에서는 광대역이고 얇은 (두께 0.2mm)의 컨포멀 형태를 가지고 915 MHz ISM 대역에 동작하는 패치 안테나를 제안하였다. 안테나의 소형화를 위해서, 각이 있는 구불거리는 형태의 슬롯이 패치에 있고 open end 형태의 ground 슬롯이 사용되었다. 안테나 자체를 균일한 근육 팬텀의 50 mm 아래 깊이에 삽입하고 시뮬레이션을 진행하였다. 해당 시뮬레이션 설정으로, 최대 180 MHz의 대역폭과 -23 dBi의 이득을 얻을 수 있었다. 캡슐 안에 위치한 안테나가 시뮬레이션 상에서 실제와 유사한 인체 모형의 소장에 위치되고 해당 위치에서 전자파 인체흡수율 (Specific Absorption Rate, SAR) 또한 분석되었다.

2. 본 론

2.1 Antenna Design

본 논문에서는 ISM밴드에서 동작 가능하며, 광대역에서 동작 가능한 컨포멀 안테나를 제안하였으며, 인체모델에서의 안테나 디자인을 위하여 FDTD방식을 이용한 Sim4life를 사용하였다. 그림 1(a)에서 보는 것처럼, 제안된 컨포멀 안테나는 47 mm x 8 mm x 0.2 mm (75.2 mm^3)의 크기를 가지며 실제 차지하는 부피는 37.4 mm^3 이다. 2 cm 길이의 두 개의 긴 팔 모양을 가지며, 팔 모양에 45도 기울어진 구불구불한 방사 패치가 중요한 요소이다. 주요한 안테나 치수는 그림 1(a)에 나타나 있다. 기본적으로 마이크로스트립 패치 안테나이며, 한쪽 팔 모양에서 0.3 mm

* Corresponding Author : School of Electrical Eng., University of Ulsan, Korea.

E-mail : hsyoo@ulsan.ac.kr

Received : May 8, 2017; Accepted : May 30, 2017

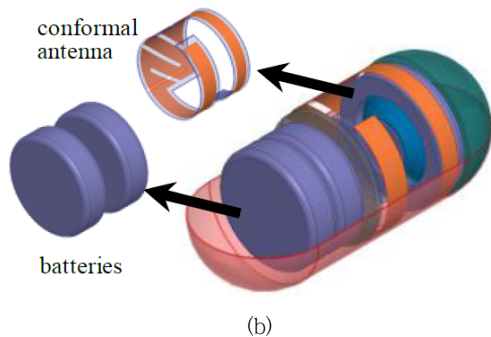
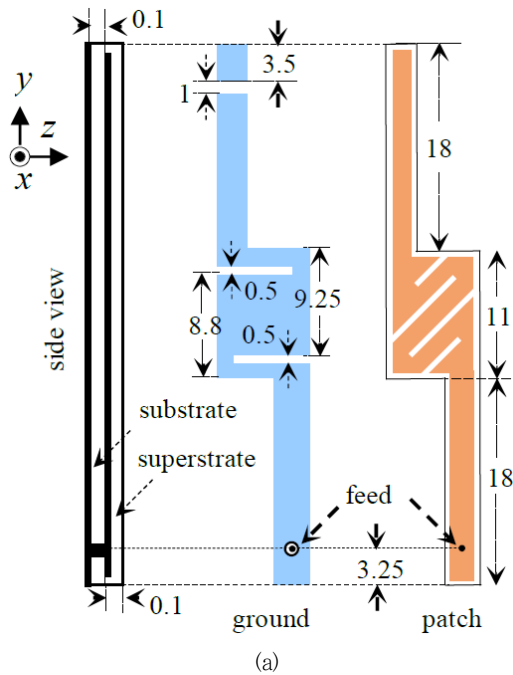


그림 1 제안된 안테나 모델 (a) 안테나 모양, 치수, 접지, 패치 구조 (단위 : mm) (b) 캡슐 내부 구조

Fig. 1 Proposed antenna model: (a) Antenna's flat side view, ground and patch details (all units are in mm) (b) Capsule internal structure

떨어진 곳에 coaxial feed를 가진다. 다른 반대쪽 팔 모양에 있는 ground위에 있는 slot은 또 다른 parasitic 성분을 가지며, 이 slot의 위치를 조정함으로써, 안테나 공진주파수를 변경할 수 있다. 컨포말 안테나 형태를 구현하기 위하여, 액정 폴리머 재료인 Rogers ULTRALAM® 3850 HT ($\epsilon_r = 3.14$, $\tan\delta = 0.002$, thickness = 0.025 mm)를 substrate 및 superstrate로 사용하였다. 또한 그림 1(b)에서처럼 26 mm × 11 mm 크기를 가진 캡슐 안쪽에 둥글게 말아서 동작가능하게 하였다. 캡슐의 두께는 0.1 mm이며, 생체적합물질인 폴리에틸렌을 ($\epsilon_r = 2.25$, $\tan\delta = 0.001$) 사용하였다[5]. 그림 2(a)와 같이 컨포말 안테나를 캡슐 안에 삽입한 후 균질한 근육형 팬텀 50 mm 안에 넣은 상태에서 컴퓨터

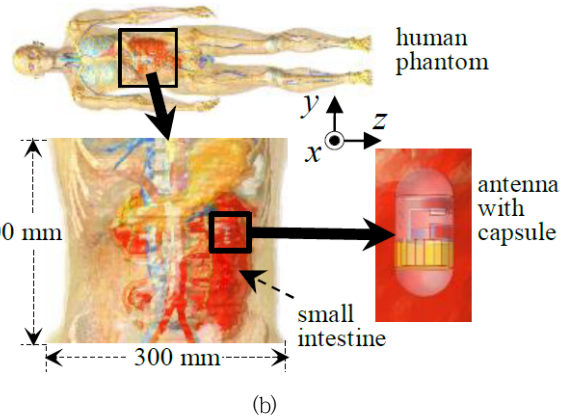
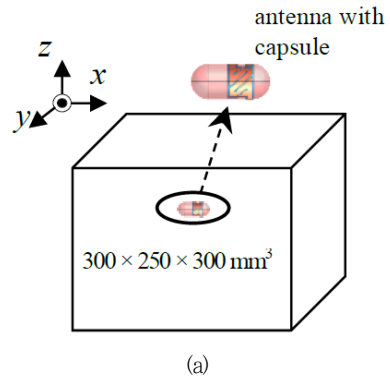


그림 2 시뮬레이션 환경: (a) 균질한 근육 팬텀 (b) 인체 모델 팬텀

Fig. 2 Simulation environment : (a) homogeneous muscle phantom (b) Human model phantom

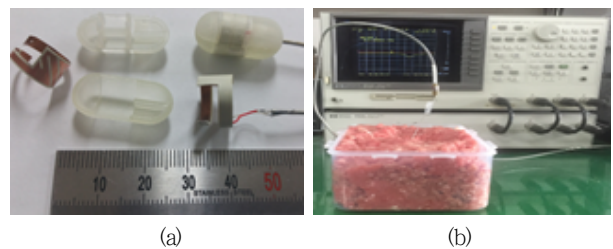


그림 3 (a) 안테나 제작 (b) 네트워크 애널리저를 이용한 반사 계수측정을 위한 안테나 실험

Fig. 3 (a) Antenna fabrication (b) Antenna testing for reflection coefficient with network analyzer

시뮬레이션을 하였다. 균질한 근육형 팬텀에서의 안테나를 최적화한 후에 그림 2(b)에서 보는 것처럼, Duke 모델 (32세 남성) 소장 안에 삽입하여 더 실제와 가까운 환경에서 정확한 결과 값을 도출하였다. 그림 3(a)은 제작된 컨포말 안테나와 3D 프린트를 이용한 캡슐 내시경 prototype이다.

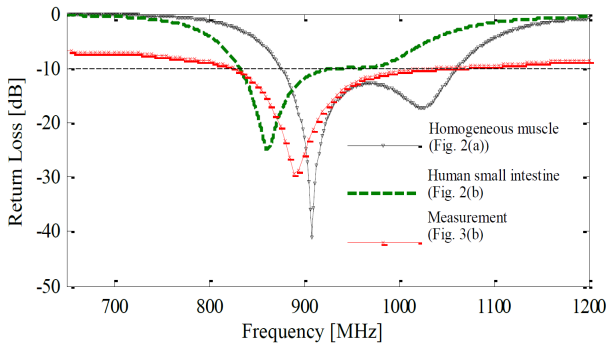


그림 4 균질한 근육 모델, 인체 소장 모델, 실험 모델에서의 |S11| 비교

Fig. 4 Comparison of |S11| in the homogeneous muscle model, the human stomach model and the measurement model

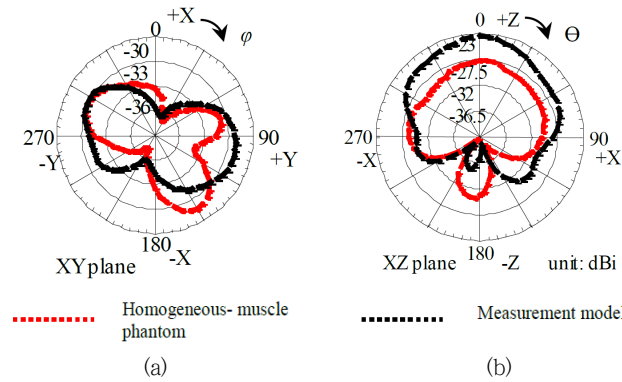


그림 5 시뮬레이션 및 측정된 먼 거리 이득 방사 패턴 (a) XY 면 (b) XZ 면

Fig. 5 Far-field gain radiation patterns of proposed conformal antenna for homogeneous phantom and measurement model. (a) Azimuthal (XY plane), (b) Elevation (XZ plane)

2.2 Simulation 및 Measurement 결과

컴퓨터 시뮬레이션을 위해 FDTD-based 소프트웨어인 SEMCAD X를 사용하였다. 시뮬레이션에서의 조직과 근육의 성분은 참고문헌 [6]을 이용하였으며, 중심 주파수는 915 MHz이다. 시뮬레이션 결과 값을 증명하기 위하여, 균질한 근육 팬텀(220 mm × 150 mm × 100 mm)을 이용하였으며, 실제 측정에서는 잘게 저민 돼지고기를 이용하였다(그림 3(b)). 균질한 근육 모델, 인체 소장 모델, 실험 모델에서의 |S11| 비교 값이 그림 4에 나타나 있으며, -10 dB 대역폭을 기준으로 균질한 팬텀에서는 176 MHz (882 MHz - 1085 MHz)의 대역 폭, 인체 팬텀에서는 137 MHz (832 MHz - 969 MHz), 측정 팬텀에서는 205 MHz (825 MHz - 1030년 MHz)의 대역폭을 각각 가진다.

인체의 안전고려 (RF safety)를 위하여, 1 g, 10 g 인체흡수율

(Specific Absorption Rate, SAR) 값을 중심 주파수인 915 MHz에서 그림 2(b)에서의 환경에서 계산하였다. 1 g, 10 g SAR 규정을 만족시키는 최대 허용 전력은 각각 6.3 mW, 30.16 mW이다. 일반적으로 이 값은 인체 삽입형 의료기기에서 요구되는 출력 전력보다 훨씬 큰 값이므로 결과적으로 훨씬 낮은 SAR를 가지게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 무선 캡슐 내시경에 응용 가능한 광대역 컨포멀 안테나를 제안하였다. 균질한 근육 팬텀 실험에서 최대 -23 dB이득을 얻었으며, 여러 가지 환경에서의 컴퓨터 시뮬레이션과 측정 실험값이 일치함을 ISM밴드인 915 MHz 대역에서 증명하였다. 실제 3D 프린트된 캡슐 안에 구부린 형태의 안테나로 시뮬레이션 및 실험값으로 그 성능을 평가하였다. 인체 흡수율 및 비교적 만족할 만한 안테나 이득 및 대역폭을 구현하였다. 본 제안된 안테나는 캡슐 내시경 삽입되기 위해서 안테나 설계 및 SAR 분석 되었지만, 다양한 이식형 의료기기에서도 그 응용이 가능하리라 판단된다.

감사의 글

This work was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2016R1D1A1A09918140).

References

- [1] M. R. Yuce, and T. Dissanayake, "Easy-to-swallow wireless telemetry," *IEEE Microw. Mag.*, vol. 13, no. 6, pp. 90 - 101, 2012.
- [2] P. M. Izdebski, H. Rajagopalan, and Y. Rahmat-Samii, "Conformal ingestible capsule antenna: A novel chandelier meandered design," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 4, pp. 900 - 909, Apr. 2009.
- [3] L. C. Chirwa, P. A. Hammond, S. Roy, and D. R. S. Cumming, "Electromagnetic radiation from ingested sources in the human intestine between 150 MHz and 1.2 GHz," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 50, no. 4, pp. 484 - 492, Apr. 2003.
- [4] S. Y. Shin, H. S. Park, and W. H. Kwon, "Mutual interference analysis of IEEE 802.15.4 and IEEE 802.11b," *Comput. Netw.*, vol. 51, pp. 3338 - 3353, Aug. 2007.
- [5] C. Liu, Y. X. Guo, and S. Xiao, "Circularly Polarized

Helical Antenna for ISM-Band Ingestible Capsule Endoscope Systems," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 62, no. 12, pp. 6027–6039, Dec. 2014.

- [6] S. Gabriel, R. W. Lau, and C. Gabriel, "The dielectric properties of biological tissues: III. parametric models for the dielectric spectrum of tissues," *Phys. Med. Biol.*, vol. 41, pp. 2271–2293, Nov. 1996.

저 자 소 개



유형석 (Hyongsuk Yoo)

2003년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업.
2004~2009년 University of Minnesota 전기공학과 졸업(공학석사, 박사). 2009~ 2010년 Center for Magnetic Resonance Research (CMRR), University of Minnesota, Post-Doctor 연구원. 2010년~2011년 Cardiac Rhythm Disease Management, Medtronic, USA, MRI 연구원. 2011년~현재 울산대학교 전기공학부 부교수
E-mail : hsyoo@ulsan.ac.kr