의료용 무선 중계 시스템용 이중 대역 인체 부착형 안테나 설계

Design of a Dual-Band On-Body Antenna for a Wireless Medical Repeater System

권 결 · 탁 진 필 · 최 재 훈

Kyeol Kwon · Jinpil Tak · Jaehoon Choi

요 약

본 논문에서는 MICS(Medical Implant Communication Service, 402~405 MHz)와 ISM(The Industrial, Scientific and Medical, 2.40~2.485 GHz) 대역에서 동작하는 의료용 무선 중계 시스템을 위한 이중 대역 인체 부착형 안테나를 제안하고, 인체의 영향을 고려한 안테나 성능에 대한 분석을 하였다. 제안된 안테나는 ISM 대역에서 동작하는 윗면의 패치와 MICS 대역에서 동작하는 바닥면의 패치로 구성되어 있다. 안테나가 실제 인체에 착용되어 사용되는 상황을 고려하고, 인체가 안테나에 미치는 영향을 분석하기 위하여 모의 인체를 이용하여 시뮬레이션과 측정을 수행하였다. 제안된 안테나의 반사 손실은 MICS 대역과 ISM 대역에서의 요구 대역폭을 만족하였고, 측정된 최대 이득은 MICS 대역과 ISM 대역에서 각각 -12.47 dBi, 1.71 dBi이었다. 제안된 안테나의 방사 패턴은 MICS 대역에서 인체 내부 지향성, ISM 대역에서 인체 외부 지향성을 가지며, 반사 손실 특성은 인체의 영향에 매우 둔감하므로 의료용 무선 중계 시스템용 인체 부착형 안테나로 활용되기에 적절할 것으로 사료된다.

Abstract

In this paper, a dual-band on-body antenna operating at MICS and ISM band for a wireless medical repeater system is proposed and the antenna performance including the human body effect is investigated. The designed dual-band antenna is comprised of a top patch for ISM band and bottom patch for MICS band. Simulation and measurement was carried out in order to analyze the effects of human body on antenna performance considering real use. The proposed antenna has required impedance bandwidth enough to cover both MICS and ISM bands. The measured peak gains were -12.47 dBi and 1.71 dBi at the each center frequency of MICS and ISM bands, respectively. Furthermore, the antenna has the maximum radiation directed toward the inside of the human body in the MICS band and directed toward the outside in the ISM band. In addition, the return loss property of the antenna is insensitive to human body effects so that the proposed antenna is well suited for the on-body wireless medical repeater system.

Key words : Dual Band, On-Body Antenna, Wireless Medical Repeater System

I. 서 론

최근 IT와 BT의 개발에 따른 기술 융합이 주목을

받으면서, WBAN(Wireless Body Area Network)에 관한 관심이 증가하는 추세이다. WBAN은 의복이나 인체 내·외부에 부착된 여러 기기들로 구성된 무선

「본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-0005655).

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received November 30, 2012 ; Revised January 28, 2013 ; Accepted February 26, 2013. (ID No. 20121130-16S)

· Corresponding Author : Jaehoon Choi (e-mail : choijh@hanyang.ac.kr)

네트워크로 인체를 중심으로 센서와 구동체 간의 결합을 통해 통신이 이루어지는 새로운 유형의 네트워크이다^[1]. WBAN은 의료 서비스, 국방 및 착용형 컴퓨터 등 다양한 분야에 적용이 가능하며, 특히 의료용 이식형 통신 서비스(MICS) 및 ISM 대역 주파수를 사용하는 모니터링 서비스에 많은 연구가 이루어지고 있다^{[2]~[6]}.

의료용 이식형 기기는 환자의 건강상태를 모니터링하기 위하여 체내로부터 수집된 생체 정보를 외부의 기기로 무선 전송한다^[7]. 그러나 의료용 이식형 기기는 MedRadio 대역의 25 uW ERP 제한 규정으로 인하여 매우 낮은 출력 전력 레벨을 가져야만 한다^[8]. 또한, 유전율과 도전율이 높은 인체가 안테나를 감싸고 있기 때문에 안테나의 입력 임피던스와 공진 주파수를 변화시킬 뿐만 아니라, 방사 효율이 열화되어 신뢰 가능한 전송 거리가 매우 짧다는 문제가 있다. 그러므로 MICS 대역의 이식형 기기로부터 생체 정보를 받아 ISM 대역의 외부 기기로 전송하는 착용형 중계 시스템이 마련된다면 이와 같은 문제를 개선할 수 있을 것으로 생각된다.

본 논문에서는 MICS 대역과 ISM 대역에서 동작하는 의료용 무선 중계 시스템용 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 MICS 대역에서 인체 내부 지향성, ISM 대역에서 인체 외부 지향성을 가진다. 또한, 안테나의 반사 손실 특성이 인체의 영향에 매우 둔감하도록 설계되었다. 인체의 특성을 고려하기 위하여 제작한 준고체형 모의 인체와 torso 팬텀에 안테나를 부착하고, 안테나의 반사 손실, 방사 패턴, 전자파흡수율(Specific Absorption Rate: SAR)과 같은 성능 측정 및 검증을 진행하였다.

II. 안테나 설계

그림 1은 제안된 의료용 무선 중계 시스템용 이종 대역 인체 부착형 안테나의 구조를 나타낸다. 제안된 안테나는 인체 부착성을 고려한 크기인 $40 \times 40 \times 1.6$ mm³인 FR-4 유전체($\epsilon_r=4.4$, loss tangent=0.02) 기판 2장이 적층된 형태로서 50 Ω SMA 커넥터를 이용하여 급전하였다. 제안된 안테나는 인체 표면에 위치하면서 MICS(402~405 MHz) 대역에서 동작하는 이식형 기기로부터 생체 정보를 받아 ISM(2.4~2.485

GHz) 대역에서 동작하는 외부의 모니터링 기기로 전송하거나, ISM 대역에서 외부의 모니터링 기기로부터 입력된 명령을 MICS 대역에서 이식형 기기로서 전달하는 착용형 중계 시스템에 이용될 수 있다. 즉, 제안된 안테나는 SMA 커넥터를 통해 이종 대역 착용형 중계 시스템과 접속되어 있으며, ISM 대역에서 동작하는 윗면의 패치와 MICS 대역에서 동작하는 아랫면의 패치로부터 이종 대역 공진 특성을 갖는다. 그림 1(a)은 제안된 안테나의 윗면의 패치를 나

그림 1. 제안된 안테나의 구조

Fig. 1. Configuration of the proposed antenna.

타내며, 그림 1(b)의 중앙 접지면을 이용하여 개구 결합 급전(aperture-coupled feed)의 형태로 전계가 여기된다^[9]. 그림 1(c)는 바닥면을 나타내며, 바닥면의 접지면은 그림 1(b)의 중앙 접지면과 커넥터의 외부 도체를 통해 상호 접속되어 있다. 또한, 바닥면의 패치는 인체 부착성을 고려한 소형 단말기가 MICS 대역에서 인체 내부에 이식된 무선기기와 통신할 수 있도록 전기적 크기가 작은 영차 공진 안테나로 구성하였다. 바닥면의 패치는 CPW(Coplanar waveguide)와 연결되며, 패치와 접지면을 33 nH를 갖는 칩 인덕터로 연결하여 영차 공진을 발생시킨다. 바닥면의 패치와 접지면 사이의 간격은 병렬 커패시턴스(C_R), 칩 인덕터는 병렬 인덕터(L_L)로 모델링이 가능하며, 이 두 가지 파라미터는 식 (1)에서 영차 공진 주파수를 결정짓게 된다^[10].

$$\omega_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_R L_L}} \quad (1)$$

적절한 인덕턴스 값을 갖는 칩 인덕터를 선택함으로써 병렬 인덕턴스(L_L)를 결정하여 안테나의 영차 공진주파수를 선택하고(major tuning), 바닥면의 패치와 접지면 사이의 간격을 조정함으로써 병렬 커패시턴스(C_R)를 변화시켜 영차 공진 주파수를 목표 대역에 맞게 조정할 수 있다(minor tuning). 또한, 패치의 너비와 길이를 조정하면 안테나의 입력 임피던스를 변화시킬 수 있으므로 시뮬레이터 툴을 이용하여 안테나의 설계 파라미터를 최적화할 수 있다. 설계된 패치의 영차 공진 주파수를 결정하는 주 설계 변수가 유전체의 유효 파장 길이가 아닌 칩 인덕터의 인덕턴스 값이기 때문에 바닥면의 패치는 매우 작은 전기적 크기($0.027\lambda_0 \times 0.008\lambda_0 @ 403.5\text{ MHz}$)를 가지며, 높은 유전율을 갖는 인체가 공진 주파수에 미치는 영향이 작다. 그러므로 이러한 영차 공진 안테나는 인체 부착성을 고려한 통신기기에 적용할 때 이점이 있다.

그림 1(b)의 중앙 접지면이 윗면의 패치와 바닥면의 급전 구조 및 패치를 격리하기 때문에 ISM 대역에서 인체가 안테나 윗면의 패치에 미치는 영향이 적고, 인체 외부 지향성을 가지게 된다. 한편, MICS 대역에서는 중앙 접지면이 바닥면 패치가 인체 내부 지향성을 갖도록 인체 외부 방향으로의 방사를 억제

하므로, 제안된 안테나가 의료용 무선 중계 시스템의 시나리오에 적합한 방사 패턴을 가질 수 있게 하는 역할을 한다.

III. 시뮬레이션 및 제작 결과

그림 2는 제안된 안테나의 시뮬레이션을 위한 성능 측정 환경을 나타낸다. 제안된 안테나의 실제 사용 환경을 고려하기 위하여 안테나는 $270 \times 200 \times 70\text{ mm}^3$ 인 모의인체(팬텀) 위 5 mm에 위치시키고, 모의 인체의 유전변수에는 FCC의 지침을 따른 표 1의 값을 대입하여 주파수 변화에 따른 안테나 성능 변화를 분석하였다^[11]. 제안된 안테나의 설계와 시뮬레이션은 FEM(Finite Element Method) 기반 상용 소프트웨어인 ANSYS사의 HFSS v.14.0.0을 사용하였다^[12].

그림 3(a)는 제안된 안테나의 반사 손실 시뮬레이

그림 2. 모의 인체를 이용한 시뮬레이션 셋업

Fig. 2. Simulation setup using body phantom.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 모의 인체의 유전변수

Table 1. Dielectric parameters for body phantom.

Target frequency(MHz)	Relative permittivity(ϵ_r)	Conductivity(σ)
150	61.9	0.80
300	58.2	0.92
450	56.7	0.94
835	55.2	0.97
900	55.0	1.05
915	55.0	1.06
1,450	54.0	1.30
1,610	53.8	1.40
1,800~2,000	53.3	1.52
2,450	52.7	1.95
3,000	52.0	2.73

선 결과를 나타낸다. 안테나 가까이에서 인체가 존재하여도 반사 손실 특성이 매우 둔감한 것을 확인할 수 있다. 이는 MICS 대역에서 제안된 안테나의 영차 공진 주파수가 안테나 주변 매질의 전기적 성질 변화보다는 칩 인덕터의 인덕턴스에 의해 결정되기 때문이며, ISM 대역에서 중앙 접지면이 윗면의 패치와 인체를 격리하는 구조에 기인한 것이다^[13].

그림 3(b), (c)는 제안된 안테나의 각 동작 주파수에서 유전체 기판에 형성되는 전계 벡터 분포 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. MICS 대역의 중심 주파

수인 403.5 MHz에서는 바닥면의 패치에서 영차 공진이 발생하므로 전계 벡터 분포가 동위상으로 나타나지만, ISM 대역의 중심 주파수인 2,450 MHz에서는 패치 안테나의 기본 동작 모드인 TM₁₀ 모드에서 발생하는 180° 역위상을 확인할 수 있다.

그림 4(a)는 제작한 안테나의 사진이며, 그림 4(b)에 안테나의 성능 측정에 이용된 두 종류의 모의 인체가 나타나 있다. 표 1의 450 MHz와 2,450 MHz의 유전 변수값을 갖는 준고체형 모의 인체를 제작하고, SPEAG사의 Torso Phantom V5.1을 이용하여 제안된 안테나의 성능 검증을 진행하였다^{[14][15]}. 그림 4(c)는 제안된 안테나의 방사 패턴을 측정하기 위하여 구성한 환경으로, 스티로폼($\epsilon_r=1$) 조각을 이용하여 시뮬레이션과 동일하게 안테나와 모의 인체 간의 이격 거리를 5 mm로 고정하였다.

그림 5는 제작된 안테나의 반사 손실 측정 결과를 나타낸다. 측정된 안테나의 반사 손실은 시뮬레이션 결과와 매우 유사한 값을 가지며 10 dB 임피던스 대역폭은 MICS 대역에서 7 MHz(400~407 MHz), ISM 대역에서 85 MHz(2,400~2,485 MHz)이다. 제안된 안테나의 반사 손실 특성은 서로 다른 사용 환경에서도 MICS 대역과 ISM 대역에서 매우 둔감한 것을 확인할 수 있다.

제작한 안테나의 방사 패턴 측정값을 그림 6에 나타내었다. 그림 6(a)는 MICS 대역(403.5 MHz)에서의 3-D 방사 패턴으로서, 최대 이득은 인체 내부 방향으로 -12.47 dBi이다. 그림 6(b)는 ISM 대역(2,450 MHz)에서의 3-D 방사 패턴이며, 최대 이득 값은 인체 수직 바깥 방향인 +z축 방향으로 1.71 dBi이다. 그림 6(c)는 각 동작 주파수에서의 2-D 방사 패턴을 비교한 것으로 xz 평면과 yz 평면의 이득값이 나타나 있다. 제안된 안테나가 MICS 대역에서 부분적으로 인체 외부지향성을 갖는 가장 큰 이유는 인체가 갖는 가장 큰 이유는 인체가 갖는 도전율에 의한 반사 성분에 기인한 것으로 보인다($\sigma=0.94$ S/m @ 450 MHz).

그러나 최대 방사 방향이 인체 내부를 지향하고 있으며, ISM 대역에서는 인체 외부 지향성이 뚜렷하므로 인체 부착형 중계기용 안테나로 이용되기에 적합할 것으로 사료된다.

무방향 챔버에서 측정한 결과, 제안된 안테나가

(a) 반사 손실 시뮬레이션 결과
(a) Simulated return losses

(b) 전계 분포 시뮬레이션 결과(403.5 MHz)
(b) Simulated E-field distribution at 403.5 MHz

(c) 전계 분포 시뮬레이션 결과(2,450 MHz)
(c) Simulated E-field distribution at 2,450 MHz

그림 3. 제안된 안테나의 반사 손실 및 전계 분포 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Simulated return losses and electric field distributions of the proposed antenna.

(a) 제작된 안테나(좌: 윗면, 우: 바닥면)
(a) Fabricated antenna(left: top plane, right: bottom plane)

(b) 반사 손실 측정 환경(좌: 제작한 팬텀, 우: 상반신 팬텀)
(b) Measurement setup(left: fabricated phantom, right: torso phantom)

(c) 방사 패턴 측정 환경
(c) Radiation pattern measurement setup

그림 4. 제작된 안테나와 성능 측정 환경
Fig. 4. Fabricated antenna and performance measurement setup.

제작된 준고체형 모의 인체에 부착되었을 때, 403.5 MHz, 2,450 MHz에서 방사 효율은 각각 1.92 %, 35.85

그림 5. 제작된 안테나의 반사 손실 측정 결과
Fig. 5. Measured return losses of the fabricated antenna.

%이며, 평균 이득은 각각 -17.17 dBi, -4.46 dBi이다.

SAR은 인체 주변에서 동작하는 무선기기를 설계할 때 고려해야 할 중요한 요소 중에 하나이다. 그림 7(a)에 나타나 있는 전파연구원의 ESSAY III system을 이용하여 각 동작 주파수에서 SAR 측정을 진행하였다^[16]. 신호발생기를 이용하여 제안된 안테나에 MICS 대역(403.5 MHz)과 ISM 대역(2,450 MHz)에서 휴대전화의 SAR 측정에 사용되는 기본 설정값인 250 mW를 인가하였다. 그림 7(b), (c)에 측정된 SAR 분포가 나타나 있다. 403.5 MHz 대역에서는 윗면의 패치 중앙 아래에서 핫스팟이 발생하였으며, SMA 커넥터와 급전선이 연결된 부분에서도 전계가 측정되었다. 2,450 MHz 대역에서는 윗면의 패치 중앙 아래에서 핫스팟이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 403.5 MHz와 2,450 MHz에서 1 g 평균 최대 SAR는 각각 0.977 W/kg, 7.237 W/kg이며, ANSI/IEEE 기준 사지 노출량인 1.6 W/kg을 고려하면 최대 인가 전력은 각각 409.416 mW, 55.271 mW가 된다^[17].

IV. 결 론

본 논문에서는 의료용 무선 중계 시스템을 위한 이중 대역 인체 부착형 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 ISM 대역에서 동작하는 윗면의 패치와 MICS 대역에서 동작하는 바닥면의 패치로 구성되어 있다. 제안된 안테나의 반사 손실은 MICS(402~405 MHz) 대역과 ISM(2.4~2.485 GHz) 대역에서의

(a) 3차원 방사 패턴(403.5 MHz)
(a) 3-dimensional radiation pattern at 403.5 MHz

(b) 3차원 방사 패턴(2,450 MHz)
(b) 3-dimensional radiation pattern at 2,450 MHz

(c) 2차원 방사 패턴(403.5 MHz, 2,450 MHz)
(c) 2-dimensional radiation patterns at 403.5 MHz and 2,450 MHz

그림 6. 각 공진 주파수에서 측정된 방사 패턴
Fig. 6. Measured radiation patterns at each resonance frequency.

(a) SAR 측정에 사용된 ESSAY III
(a) ESSAY III for SAR measurement

(b) 측정된 SAR 분포(403.5 MHz)
(b) Measured SAR distribution at 403.5 MHz

(c) 측정된 SAR 분포(2,450 MHz)
(c) Measured SAR distribution at 2,450 MHz

그림 7. 각 공진 주파수에서 측정된 SAR 분포
Fig. 7. Measured SAR distributions at each resonance frequency.

10 dB 대역폭을 만족한다. 최대 이득과 방사효율은 MICS 대역(403.5 MHz)에서 -12.47 dBi, 1.92 %이며, ISM 대역(2,450 MHz)에서 1.71 dBi, 35.85 %이다. 제안된 안테나는 인체 부착성을 고려하여 $40 \times 40 \times 3.2$ mm³의 크기로 설계하였으며, MICS 대역에서 인체 내부 지향성, ISM 대역에서 인체 외부 지향성을 가질 뿐만 아니라, 반사 손실 특성이 인체의 영향에 매우 둔감하므로 의료용 무선 중계 시스템용 이중 대역 인체 부착형 안테나로 활용이 가능할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] 이성협, 윤양문, 김도현, "IEEE 802.15.6 중심의 WBAN 국내외 표준화 동향", 한국통신학회지(정보와 통신), 25(2), pp. 11-17, 2008년 2월.
- [2] T. Houzen, M. Takahashi, K. Saito, and K. Ito, "Implanted planar inverted F-antenna for cardiac pacemaker system", *Proc. iWAT 2008. International Workshop on*, pp. 346-349, Mar. 2008.
- [3] J. Kim, Y. Rahmat-Samii, "Implanted antennas inside a human body: simulations, designs, and characterizations", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, no. 8, pp. 1934-1943, Aug. 2004.
- [4] P. Soontornpipit, C. Y. Furse, and Y. C. Chung, "Design of implantable microstrip antenna for communication with medical implants", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, no. 8, pp. 1944-1951, Aug. 2004.
- [5] U. Kim, J. Choi, "An implantable antenna for wireless body area network application", *JKIEES*, vol. 10, no. 4, pp. 206-211, Dec. 2010.
- [6] U. Kim, J. Choi, "Design of a microstrip patch antenna with enhanced F/B for WBAN applications", *IEICE Transaction on Communications*, vol. E94-B, no. 5, pp. 1135-1141, May 2011.
- [7] P. S. Hall, Y. Hao, *Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications*, Artech House, Norwood, pp. 241-278, 2006.
- [8] FCC Rules and Regulations 47 CFR Part 95.
- [9] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, pp. 210-216, 1998.
- [10] A. Lai, T. Itoh, and C. Caloz, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials", *IEEE Microw. Mag.*, vol. 5, no. 3, pp. 34-50, Sep. 2004.
- [11] D. L. Means, W. Kwok, "Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radio-frequency electromagnetic fields, federal communications commission office of engineering & technology", Supplement C(edition 01-01) to OET Bulletin 65(Edition 97-01), Jun. 2001.
- [12] HFSS: High Frequency Structure Simulator Based on the Finite Element Method, v.14.0.0, ANSYS Inc.
- [13] J. Ha, K. Kwon, and J. Choi, "Compact zeroth-order resonance antenna for implantable biomedical service applications", *Elec. Lett.*, vol. 47, no. 23, pp. 1267-1269, Nov. 2011.
- [14] 이순용, 서원범, 권결, 최재훈, "MICS 대역과 ISM 대역에서 인체 전기적 상수를 갖는 준(準)고체형 플랫 팬텀 제작", 한국전자과학회논문지, 23(1), pp. 101-107, 2012년 1월.
- [15] <http://www.speag.com/>
- [16] <http://emfsafety.koreasme.com/>
- [17] IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure IEEE Standard C95. 1-1999, 1999.

권 결

2010년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
2010년 3월~현재: 한양대학교 전자
컴퓨터통신공학과 석·박사 통합
과정
[주 관심분야] WBAN, 안테나 설계,
Metamaterial

최 재 훈

1980년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1986년: 미국 Ohio State University
전자공학과 (공학석사)
1989년: 미국 Ohio State University
전자공학과 (공학박사)
1989년~1991년: 미국 Arizona State
University 연구교수
1991년~1995년: 한국통신위성사업단 연구팀장
1995년~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수
[주 관심분야] 안테나 및 마이크로파 회로 설계, EMC

탁 진 필

2011년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
2012년 3월~현재: 한양대학교 전자
컴퓨터통신공학과 석·박사 통합
과정
[주 관심분야] WBAN, 안테나 설계,
무선전력전송