Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 16, No. 1 pp. 666-670, 2015

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.1.666
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

팔목 부착형 생체신호 측정기기에 사용가능한 방사패턴 재구성 안테나 설계 및 인체 SAR 영향 분석

이창민[1], 정창원[1*]
[1]서울과학기술대학교 NID융합기술대학원

Design of Radiation Pattern Reconfigurable Antenna for Vital Signal Sensing Device Attached on Wristband and SAR Analysis on Human body

Chang Min Lee[1] and Chang Won Jung[1*]
[1]**Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology**

요 약 본 논문은 생체신호를 측정하는 팔목부착용 Fitbit Flex상에 구현된 방사패턴 재구성 안테나에 관련된 논문이다. 또한 본 논문에서 제안하는 루프-다이폴 방사패턴 재구성 안테나의 인체 내 부위별 전자파 흡수율 (Specific Absorption Rate; SAR)에 관한 논문이다. 본 논문의 루프-다이폴 방사패턴 재구성 안테나는 두 개의 RF 스위치를 사용하여 서로 반대 방향의 두 가지 방사패턴을 구현한다. 방사패턴 재구성 안테나는 블루투스 (Bluetooth) 통신 대역 (2.4 – 2.485 GHz)을 사용하며, 최대이득은 1.96 dBi이다. SAR 시뮬레이션 결과로 블루투스 입력 평균전력 0.04 W가 팔목을 포함하는 인체 내 다섯 개 부위 (두부, 가슴, 배, 등, 팔목)에 입력되었을 때 Federal Communication Commission (FCC)의 기준인 단위 1 g 당 1.6 W/kg을 모두 만족함을 확인하였다. 또한 최대 SAR 값은 두부에서 1.12 W/kg이다.

Abstract This paper presents radiation pattern reconfigurable antenna for Fitbit Flex wristband which detects vital signal. Also, the paper presents Specific Absorption Rate (SAR) from the loop-dipole radiation pattern reconfigurable antenna based on the position of human body. The proposed loop-dipole radiation pattern reconfigurable antenna produces two opposite side direction radiation pattern using two RF switches. The resonant frequency of the radiation pattern reconfigurable antenna is Bluetooth communication bandwidth (2.4 - 2.485 GHz) and the maximum gain of the proposed antenna is 1.96 dBi. The proposed antenna satisfied the standard SAR value of 1.6 W/kg in 1 g tissue of the human body when the Bluetooth communication input average power of 0.04 W is excited to five parts of human body (head, chest, stomach, back, wrist). The maximum SAR value of in this simulation is presented in the part of head.

Key Word: Radiation pattern reconfigurable antenna, Fitbit Flex, Bluetooth, SAR

1. 서론

인류의 기대수명 증가는 헬스 케어 시장의 확대와 더불어 의료 장비 개발에 많은 관심을 야기하였다. 헬스 케어에 대한 관심은 의료 장비에 막대한 투자를 낳았으며, 실제로 병원에서 사용되는 의료 영상 장비와 생체 신호 측정 장비 등이 개발되었다. 이러한 장비들 중 CT (Computational Tomography)나 MRI (Magnetic Resonance Imaging)같은 커다란 장비가 있는 반면에, 소형화 된 디자인으로 사용자에게 근접하여 스마트폰 등과

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구과제의 지원으로 수행되었음.
*Corresponding Author : Chang-Won Jung(Seoul National University of Science)
Tel: +82-10-9969-4078 email: changwoj@snut.ac.kr
Received October 20, 2014 Revised (1st November 10, 2014, 2nd December 9, 2014, 3rd December 29, 2014) Accepted January 8, 2015

연동하여 일상생활에 사용되는 장비들이 출시되고 있다. 소형화 된 장비들은 주로 무선통신을 사용하기 때문에, RF (Radio Frequency)단의 성능이 중요하게 여겨진다. 최근에는 이러한 생체 신호를 측정하는 웨어러블 (wearable) 장치가 Fitbit Flex와 같이 팔목에 착용하는 형태로도 구성되어있다. 이 때 안테나도 이러한 장치 안에 삽입되어 있으며, 안테나의 성능 (임피던스 정합, 안테나 이득 등) 또한 인체에 영향을 받게 된다 [1-4]. 다음과 같이 신체와 가까이 위치한 기기의 전자파는 인체조직에 흡수되어 영향을 미칠 수 있으며, 또한 이는 전자파 흡수율 (Specific Absorption Rate; SAR)로 측정되어 질 수 있다. SAR는 인체의 전자파 흡수율을 나타내며 이를 정량적으로 표현한 값이다 [5]. 또한 고주파의 전류가 흐를 경우 인체 내의 체온을 상승 시킨다 [5].

본 논문에서는 생체신호를 측정하는 팔목부착용 Fitbit Flex상에 통신 성능을 향상시키기 위한 방사패턴 재구성 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다 [6-10]. 또한 기존의 Fitbit Flex에서 사용하고 있는 전방향성 모노폴 안테나와 본 논문에서 제안된 루프-다이폴 빔 재구성 안테나와 안테나 성능 (임피던스 정합, 방사패턴, 이득 등)을 비교하였다. 또한 기존 안테나에 비해 높은 이득을 갖는 루프-다이폴 방사패턴 재구성 안테나의 인체 내 부위별 전자파 흡수율 (Specific Absorption Rate; SAR)을 조사하기 위해 SAR 시뮬레이션을 진행하였으며, 이로써 단일 안테나에서 높은 이득을 가지면서도 인체 각 부위에서 Federal Communication Commission (FCC)의 기준인 단위 1 g 당 1.6 W/kg을 모두 만족함을 확인하였다.

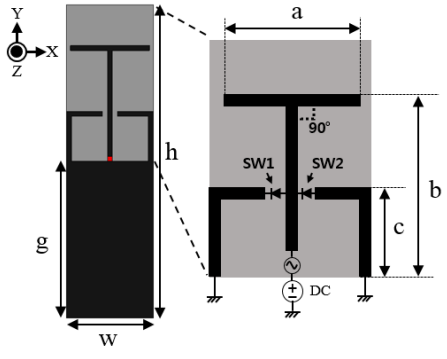
2. 안테나 설계

[Fig. 1]는 방사패턴 재구성 안테나의 구조 및 치수를 나타낸다. 크기가 50 × 14 × 1 ㎣인 FR-4 기판에 설계 및 제작되었으며, 안테나의 규격은 a = 12.8 mm, b = 18.5 mm, c = 8 mm 이다. 제안된 안테나는 모노폴과 루프가 결합 된 형태로 이루어져 있다. 모노폴 상부에 위치한 선형 탑 로딩 (Top Loading)은 두 가지 이유로 쓰이게 된다. 첫 번째로 탑 로딩 구조를 통한 유도성과 용량성의 리액턴스 증가로 공진주파수 변화에 따른 소형화가 가능하다. 두 번째로 사용주파수 대역에서 임피던스 매칭을 위하여 설계 되었다. 두 개의 RF 스위치(SW1, SW2)는 Pin diode (MPP4203)를 사용하였으며 [7], 루프와 모노폴이 교차하는 지점에 위치해 있다. 또한 [표 1]은 두 개의 RF 스위치 (SW1, SW2)에 따른 재구성 안테나의 구조 (CASE1, CASE2) 및 DC 바이어스를 나타낸다. 재구성 안테나는 구조 (CASE1, CASE2)에 따라 두 가지 서로 다른 방향의 방사패턴을 갖는다.

[Fig. 2]는 제안된 안테나의 S11 (반사 손실)의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 두 가지 경우 (CASE1, CASE2) 모두 블루투스 대역 (2.4 - 2.485 GHz)에서 반사손실이 - 6 dB 이하의 값을 가지며 사용 대역을 만족함을 보인다.

본 논문에서 제안된 두 가지 경우 (CASE1, CASE2)에 대한 안테나의 방사패턴 시뮬레이션 결과를 [Fig. 3]을 통해 나타내었다. 시뮬레이션의 동작 주파수는 2.45 GHz 이며, 최대이득으로 1.96 dBi의 값을 보인다. [Fig. 3]에서 CASE1의 경우는 SW1이 단락 (short)되며 SW2가 개방 (open)되어 SW2 방향 (+ X)에 있는 루프의 단면은 반사기 (reflector)의 역할을 한다. 이때의 방사 패턴의 형태는 - X 방향으로 지향성을 가지게 된다. 이와 마찬가지로, CASE2의 경우에서 SW1이 개방 (open)되며 SW2는 단락 (short)되어 SW1 방향에 (- X)에 있는 루프의 단면은 CASE1의 경우처럼 반사기 (reflector)의 역할을 한다. 이때의 방사 패턴의 형태는 + X 방향으로 지향성을 가지게 된다.

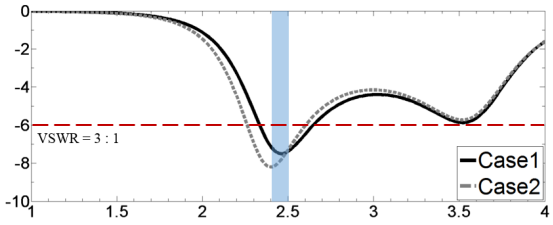
[Fig. 4]의 (a)는 본 논문에서 제안된 방사패턴 재구성 안테나의 실제 제작된 샘플을 나타낸다. 두 개의 RF 스위치(SW1, SW2)는 Pin diode (MPP4203)를 사용하였으며, 0.27 μH의 인덕턴스값을 가지는 RF block inductor (SAMSUNG's 0603)가 사용되었다. 이때 RF block inductor의 역할은 바이어스를 생성하며 RF 측정 장비에 들어가는 전류를 차단하기 위해 사용된다. [Fig. 4]의 (b)는 Fitbit Flex 표면에 제작된 안테나가 인체 팬텀 상에 부착되어 있는 그림이다.



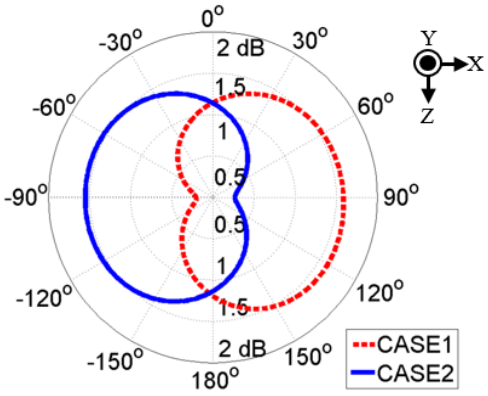
[Fig. 1] The antenna geometry

[Table 1] Cases of the proposed reconfigurable antenna by RF switch operation and DC bias

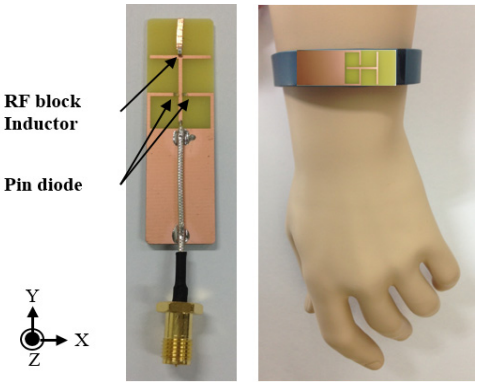
	CASE1	CASE2	DC
SW1	On	Off	+ 1.2 V
SW2	Off	On	- 1.2 V



[Fig. 2] Simulation result of S11



[Fig. 3] Simulation result of radiation pattern at 2.45 GHz

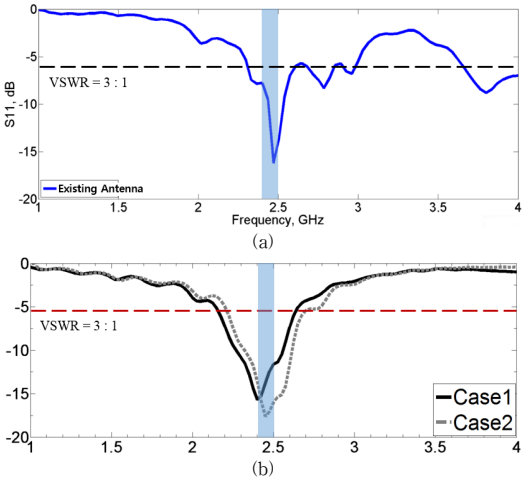


(a) (b)

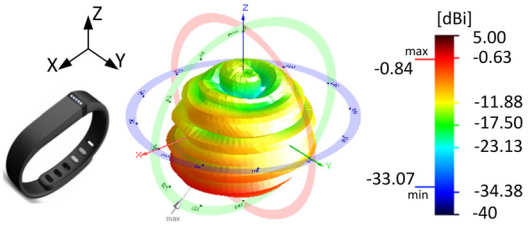
[Fig. 4] The photographs of fabricated radiation pattern reconfigurable antennas (a) the fabricated antenna geometry (b) the applied antenna model on the surface of Fitbit Flex

3. 안테나 측정 결과

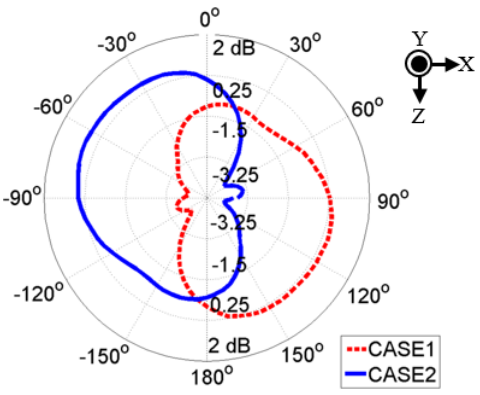
안테나 성능 측정은 우선 현재 시판중인 Fitbit Flex에 내장되어 있는 안테나의 성능 비교(임피던스 매칭, 이득 등)를 위해, Fitbit Flex를 구입하여 본 제품에 내장되어 있는 모노폴 안테나의 성능을 측정하였으며, [Fig. 5]는 Fitbit Flex상의 모노폴 안테나 와 본 논문에서 제안된 빔 재구성 안테나의 반사계수 (S11)을 측정한 결과를 보여준다. Fitbit Flex에 내장되어 있는 모노폴 안테나와 본 논문의 방사패턴 재구성 안테나의 두 경우 (CASE1, CASE2) 모두 안테나의 동작 주파수가 블루투스 통신 대역 (2.4 - 2.485 GHz)에서 공진하며 사용대역을 만족함을 보인다. 본 논문에서 제안된 안테나가 가진 두 가지 경우 중에서 Case1의 경우 공진주파수 2.45 GHz에서 -15.8 dB의 값을 가지며, Case2의 경우 2.45 GHz에서 -17.6 dB의 값을 가지며 반사손실을 통해 성능을 검증하였다.



[Fig. 5] Measurement results of S11 (a) the existing antenna of the Fitbit Flex (b) the reconfigurable antenna



[Fig. 6] Measurement result of radiation pattern of existing antenna in the Fitbit Flex at 2.45 GHz



[Fig. 7] Measurement result of radiation pattern of the reconfigurable antenna at 2.45 GHz

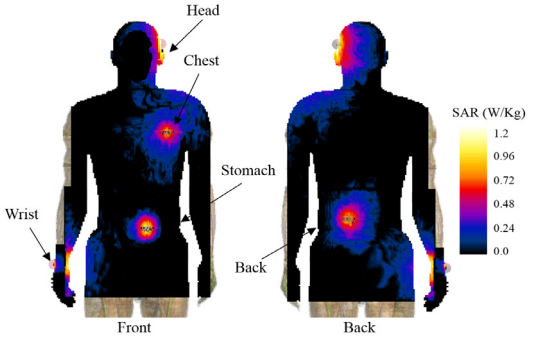
[Fig. 6]는 기존 Fitbit Flex에 내장되어 있는 모노폴 안테나의 방사패턴 측정결과를 3차원 방사패턴을 통하여 보여준다. 방사패턴이 측정된 주파수는 2.45 GHz이며, 최대이득은 – 0.84 dBi 그리고12.37 %의 효율을 보인다.

[Fig. 7]은 방사패턴 재구성 안테나의 두 가지 경우 (CASE1, CASE2) 모두의 방사패턴 측정 결과를 보여준다. 최대이득 1.96 dBi의 결과를 나타내며, 각 경우 서로 정 반대방향의 방사 방향을 갖는다. 또한 본 논문에서 제안된 재구성 안테나가 기존 Fitbit Flex에 내장되어 있는 모노폴 안테나보다 이득이 향상된 것을 알 수 있다.

4. SAR 시뮬레이션 결과

인체 조직에 초고주파가 노출되는 경우, 조직 표피에서 전자기파의 에너지는 전류 밀도 형태로 표현된다. 인체 내에서 흐르는 전류는 표피효과 (Skin Effect)로 조직의 표면에 흐른다. 인체 내 조직 별 유전율, 투자율 및 전도도는 모두 다른 이유로 인체의 조직마다 전자기파를 흡수하는 양이 다르다 [5].

[Fig. 8]은 SEMCAD 시뮬레이션 툴을 이용하여 인체 부위 별 제안된 안테나의 전자파 흡수율 (Specific Absorption Rate; SAR) 시뮬레이션 결과를 나타내며 이를 [Table 2]에 요약하였다. 본 논문에서 제안하는 방사패턴 재구성 안테나를 인체에 부착하여 시뮬레이션 하는 부위는 두부, 가슴, 등, 배, 팔목으로 지정하였다. 시뮬레이션 상의 인체 팬텀은 실제 사람과 동일한 유전율 (Permittivity), 투자율 (Permeability) 및 전도도 (Conductivity)로 모델링 되었으며, 시뮬레이션을 수행하는 주파수는 2.45 GHz로 설정하였다. 제안된 안테나를 모두 인체에 부착한 채로 블루투스 통신 입력 평균전력 표준인 0.04 W로인가 하였다. 이 때, 두부 (Head)에서 가장 많은 전자파 흡수량이 나타내었다. 전자파 흡수율의 표준으로 미국 연방 통신 위원회 (Federal Communications Commission; FCC)에서 인체 단위 1 g 조직당 전자파의 흡수량을 1.6 W/kg 미만으로 정해놓고 있다. 시뮬레이션 결과에서 인체 부위에 따른 전자파 흡수량의 범위는 0.87 – 1.12 W/kg으로 나타내었고, 모두 FCC에서 제안하는 SAR 규격을 만족한다.



[Fig. 8] SAR simulation results of the reconfigurable antennas based on position of the body (head, chest, stomach, wrist, back)

[Table 2] SAR simulation results summary of the reconfigurable antennas based on position of the body (head, chest, stomach, wrist, back)

부위	SAR value (W/Kg)	
	Case1	Case2
Head	1.08	1.12
Chest	0.88	0.94
Stomach	0.92	0.95
Wrist	0.94	1.02
Back	0.87	0.91

5. 결론

본 논문에서는 팔목부착용 생체신호 측정기 Fitbit Flex상에 안테나의 통신 성능을 향상하기 위한 방사패턴 재구성 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 재구성 안테나와 Fitbit Flex상에 설계되어 있는 전방향성을 갖는 모노폴 안테나의 성능을 측정하여 안테나 성능 (반사계수, 이득 등)을 비교하였다. 재구성 안테나와 모노폴

안테나는 블루투스 통신 대역 (2.4 GHz – 2.485 GHz)에서 사용대역을 만족하며, 모노폴 안테나의 최대이득은 -0.84 dBi이며, 방사패턴 재구성 안테나는 1.96 dBi으로 안테나 이득이 향상 된 것을 입증하였다. 또한 방사패턴 재구성 안테나의 인체 영향을 확인하기 위하여 제안된 안테나를 실제 인체와 동일한 모델의 인체 각 부위 (두부, 가슴, 배, 등, 팔목)에 부착하여 SAR 시뮬레이션을 진행하였다. 이 때, 모든 부위에서 FCC 에서 제안하는 인체 전자파 흡수율 (SAR)의 기준 (1g 조직 당 1.6 W/kg 미만)을 만족하였으며, 두부 부위에서 가장 높은 1.12 W/kg의 값을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안된 방사패턴 재구성 안테나는 단일 안테나를 이용하여 높은 이득을 가지면서도, 인체 각 부위에서도 사용 가능함을 검증하였다.

References

[1] J. Lee, S. I. Kwak and S. Lim, "Wrist-wearable zeroth-order resonant antenna for wireless body area network applications," Electron. Lett., vol. 47, Issue. 7, pp. 431 - 433, Mar. 2011.
DOI: http://dx.doi.org/10.1049/el.2011.0312

[2] H. Shin, J. P. Kim and J. H. Choi, "A stair-shaped CPW-fed printed UWB antenna for Wireless Body Area Network," Microwave. Conference. APMC 2009. Asia Pacific. , pp. 1965 - 1968, Dec. 2009.

[3] S. J. Ha, Y. B. Jung, D. H. Kim and C. W. Jung, "Textile patch antennas using double layer fabrics for wrist-wearable applications," Microwave Opt Technol Lett., vol. 40, no. 23, pp. 2697 - 2702, Dec. 2012.
DOI: http://dx.doi.org/10.1002/mop.27200

[4] FITBIT. "fitbit flex product manual", https://desk-customers.s3.amazonaws.com/fitbit/Fitbit%20Flex%20Product%20Manual%20-%20English.pdf.

[5] V. V. Andre, R. Arye, and K. Youji, "RF/Microwave Interaction with Biological Tissues," IEEE press., pp. 94 - 96, 2006.

[6] K. Bahng, C. W. Jung, and K. Kim, "A compact beam reconfigurable antenna for symmetric beam switching," Progress In Electromagnetics Research., vol. 129, pp. 1 - 16, 2012.
DOI: http://dx.doi.org/10.2528/PIER12032005

[7] W. Kang and K. W. Kim, "A beam pattern-reconfigurable antenna using PIN diodes," Antenna and Propagation Society International Symposium., vol. 40, no. 23, pp. 1 - 4, July. 2010.

[8] J. Y. Kim, B. J. Lee and C. W. Jung, "Reconfigurable beam steering antenna using double loops," Electron. Lett., vol. 47, Issue. 7, pp. 430 - 431, Mar. 2011.
DOI: http://dx.doi.org/10.1049/el.2011.0278

[9] K. Bahng, C. W. Jung, and K. Kim, "Design and measurement of beam reconfigurable antenna based on folded dipole structure," Electron. Lett., vol. 45, Issue. 3, pp. 138 - 139, Jan. 2009.
DOI: http://dx.doi.org/10.1049/el:20093243

[10] S. Lim and H. Ling, "Design of electrically small, pattern reconfigurable Yagi antenna," Electron. Lett., vol. 43, no. 24, pp. 1326 - 1327, Nov. 2007.
DOI: http://dx.doi.org/10.1049/el:20072393

이 창 민(Chang Min Lee) **[준회원]**

- 2014년 2월 : 강릉원주대학교 전자공학과(공학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 NID융합기술 대학원 석사과정

<관심분야>
안테나

정 창 원(Chang Won Jung) **[정회원]**

- 2001년 12월 : University of Southern California, 전자공학 (석사)
- 2005년 6월 : University of California, Irvine, 전자공학 (박사)
- 1997년 1월 ~ 2000년 6월: LG 정보통신, 연구원
- 2005년 7월 ~ 2005년 10월: University of California, Irvine, Post Doctor
- 2005년 11월 ~ 2008년 4월 : 삼성종합기술원, 전문연구원
- 2008년 5월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교, NID 융합기술대학원, 부교수

<관심분야>
안테나, RF, EMI/EMC, RF-MEMS, 센서