

소형 이중 원형편파 안테나를 이용한 도플러 레이더 개발

Development of Doppler Radar Using Compact Dual-Circularly Polarized Antenna

김 태 홍* · 이 현 진†
(Tae-Hong Kim · Hyeonjin Lee)

Abstract - In this paper, we developed the compact Doppler radar using the compact dual-circularly polarized antenna for medical application. The operating frequency is 2.47 GHz for considering ISM band. In order to decrease the size of the entire system, we designed the compact antenna and located the circuit board at the back of the antenna. The simulation of the proposed antenna was performed by the finite difference time domain (FDTD) method. The total volume of the proposed system is $65 \times 45 \times 6 \text{ mm}^3$ including the antenna. From the experiment, the developed bio-radar could be used to support the device for medical applications.

Key Words : Compact dual-circularly polarized antenna, Doppler radar, Medical application

1. 서 론

최근 급속한 고령화의 진행에 따라 의료 수요가 갈수록 증가하고 있다. 의료 서비스도 다양하면서 편리한 서비스가 IT-BT의 융합기술에 따라 많이 개발되고 있다. 이러한 추세에 맞추어 마이크로파를 이용한 도플러 레이더가 여러 분야에 무선 센서로 사용되고 있다. 도플러 레이더는 지진으로 인한 매몰되어 있는 곳에서 사람의 존재에 대한 흔적을 찾는 것 뿐만 아니라 병원에서 헬스케어 장치에 사용되고 있다[1, 2]. 실제 도플러 레이더를 사용한 비접촉 탐지 및 모니터링은 건강, 긴급상황, 군 분야에 좋은 도구이다. 도플러 레이더를 이용하여 환자의 심장박동이나 호흡 검출이 가능하다. 이러한 비접촉식 도플러 레이더의 핵심 부품중의 하나인 안테나의 설계가 매우 중요하다. 이 논문에서는 의학용으로 사용할 수 있는 소형 도플러 레이더를 제작하기 위하여 소형 이중 원형편파 안테나를 설계하고 제작하여 소형 도플러 레이더 시스템에 적용하여 심장박동 및 호흡을 추출하였다.

2. 안테나 설계 및 레이더 제작

2.1 소형 도플러 레이더 설계

도플러 레이더는 RF 트랜시버(transceiver)를 사용하여 호흡[3], 심박[4] 등의 탐지에 사용되고 있다. 많은 도플러

레이더가 다양한 목적으로 연구되고 있다[5, 6]. 그림 1은 전체 도플러 레이더 시스템의 블록도를 보인 것이다. 송신기와 수신기가 시스템 소형화를 위하여 동일한 안테나를 사용한다. 시스템 구성은 PLL(Phase Lock Loop)에서 2.4 GHz CW(Continuous Wave) 신호를 발생하고, 분배기를 통하여 한 신호는 안테나로 송신하고, 다른 신호는 밸런(Balun)을 통하여 혼합기로 입력을 시킨다. 수신 안테나를 통하여 들어오는 심장박동에 의해 반사된 신호를 저잡음 증폭기(LNA, Low Noise Amplifier)를 통하여 혼합기로 입력을 시킨 후, 혼합기(Mixer)에서는 도플러 주파수의 신호가 출력되어 나온다. 이 신호들을 각각 저역통과 필터(LPF, Low Pass Filter)를 통과시킨 후, I, Q 두 채널에서 신호를 얻는다. 시스템의 소형화와 효율을 위하여 하나의 안테나를 이용하여 송신과 수신을 모두 수행하고, 선형 편파 안테나 대신 원형 편파 안테나를 구조를 사용한다. 원형편파 안테나는 PLL을 이용하여 ISM 대역인 2.47 GHz 주파수에서 정현파를 송신하고, 수신한다. 레이더 시스템은 우수 원형편파(RHCP, Right Hand Circularly Polarization)를 송신하고, 심장으로부터 반사된 신호인 좌수 원형편파(LHCP, Left Hand Circularly Polarization)를 수신하는 구조이다.

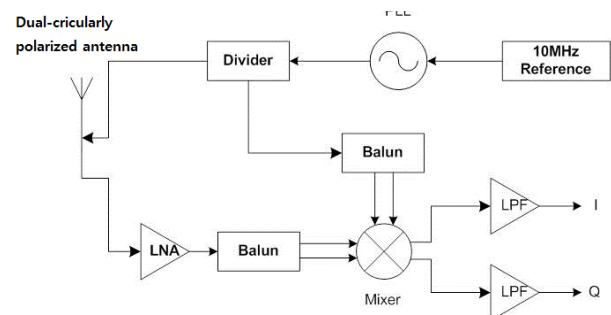


그림 1 도플러 레이더 시스템의 블록도
Fig. 1 Block diagram of Doppler Radar system

* Dept. of Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology, Korea

† Corresponding Author : Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Dongkang College, Korea

E-mail : hyeonjin@dkc.ac.kr

접수일자 : 2015년 6월 29일

수정일자 : 2015년 7월 28일

최종완료 : 2015년 8월 10일

2.2 소형 원형편파 안테나 설계

원형편파 안테나의 구조는 단일 급전 혹은 이중 급전, 패치 모양 등 많은 구조가 있다. 전체 시스템의 소형화를 위해서 그림 2의 정사각 패치의 중간에 각각 슬릿을 두고, 대각선 방향에서 급전을 하여 원형편파 안테나를 구조를 갖는 안테나를 설계하였다[7]. 슬릿의 두 쌍은 정사각형 패치에서 x, y 축 방향으로 잘라져 있다.

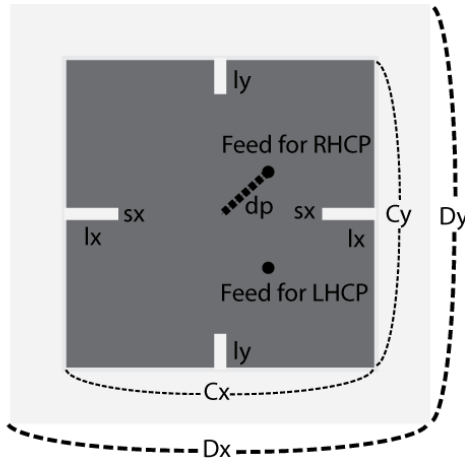


그림 2 소형 이중 원형편파 안테나의 구조
Fig. 2 Structure of compact dual-circularly polarized antenna

소형 안테나의 단점인 협대역 특성을 개선하기 위하여 기판의 두께가 두꺼운 3.2 mm, 비유전율이 4.4인 에폭시 기판을 이용하여 설계하였다. 정사각 패치의 크기는 26 mm x 26 mm 이고, 접지면의 크기는 35 mm x 35 mm 이다. x 축 평면상의 슬릿의 길이는 lx, 슬릿의 폭은 sx, y 축 평면상의 슬릿의 길이는 ly, 슬릿의 폭은 sy 이다. lx 와 ly 의 길이의 차와 대각선 방향으로 급전으로 인하여 원형편파가 이루어진다. lx 가 ly 보다 큰 경우 오른쪽 위쪽 부분이 RHCP가 이루어지고, 오른쪽 아래 방향은 LHCP가 된다.

소형 평판 안테나의 설계에 대한 시뮬레이션은 시간영역 유한차분(Finite-Difference Time-Domain, FDTD)법에 의하여 수행되었다. FDTD 법은 전자기현상을 지배하는 맥스웰 방정식의 미분방정식을 이산화하여 차분방정식으로 변환하여 직접 계산하는 수치해석적인 방법이다[8]. 시뮬레이션에 사용된 이산화 파라미터 값은 x, y, z 축 방향으로 각각 $\Delta x=0.5$, $\Delta y=0.5$, $\Delta z=0.4$ mm 이고, 시간간격(Δt)은 0.883 psec 이다. 흡수경계조건(Absorbing boundary condition)은 완전 정합층(Perfectly matched layered) 법을 이용하였고, 레이어 개수는 8개이다. FDTD의 시뮬레이션 반복회수는 총 20,000 시간 스텝을 수행하였다. 입력 신호로는 펄스폭 $32\Delta t$ 를 가지는 가우시안 펄스를 이용하였다. 전체 이산화 수는 x, y, z 축 방향으로 110, 110, 28 이다. 슬릿의 폭과 길이, 급전점의 위치는 시뮬레이션을 통하여 최적의 값이 도출되었다. 표 1은 설계된 안테나의 파라미터 값이다. Dp 는 안테나의 중심에서 급전점까지의 거리를 나타낸다.

표 1 안테나 설계에 사용된 파라미터값

Table 1 Parameter values used to antenna design

파라미터	값 [mm]	파라미터	값 [mm]
Dx	35	Dy	35
Cx	26	Cy	26
sx	1	lx	4.5
sy	1	ly	3
dx	4	dy	4
dp	4.24		

그림 3은 입력 포트에서 FDTD 시뮬레이션의 전압과형을 보인 것이다. 반복회수는 20,000회로 전압신호는 충분히 정상상태에 도달된 것을 확인할 수 있다.

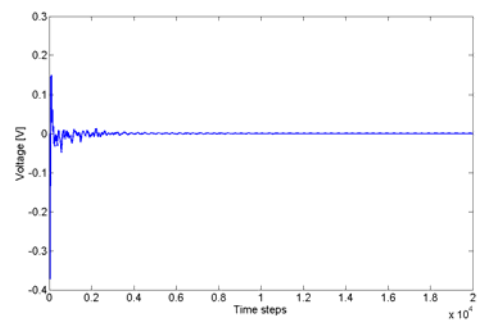


그림 3 입력 포트에서 가우시안 펄스 입력에 따른 전압 신호
Fig. 3 Voltage signal according to Gaussian pulse input at the input port

그림 4는 안테나의 방사패턴으로 일반 패치 안테나의 방사패턴과 유사함을 알 수 있다. 2.47 GHz 주파수에서 6 dBi의 최대 이득이 나오는 것을 알 수 있다.

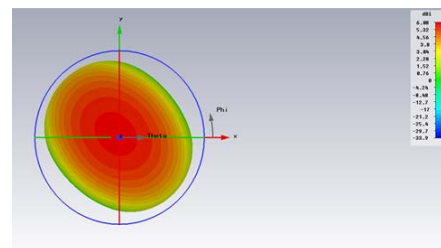


그림 4 안테나 방사패턴
Fig. 4 Antenna radiation pattern

2.3 소형 원형편파 안테나를 이용한 레이더 제작

그림 5는 설계된 파라미터대로 제작한 안테나와 FDTD 시뮬레이션치와 비교한 반사손실(Return loss)를 dB로 표현한 값이다. 설계 주파수인 2.47 GHz에서 공진이 이루어지고, 시뮬레이션 값과 두 원형편파의 측정치가 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 그림 1의 블록도에서 안테나를 제외한 회로도에 대한 인쇄회로기판(PCB, Printed Circuit Board) 레이아웃이다.

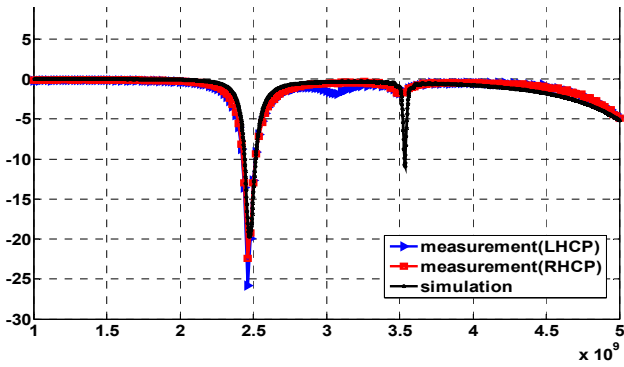


그림 5 시뮬레이션치와 측정치의 반사손실 비교
 Fig. 5 Comparison of the simulated and measured return loss

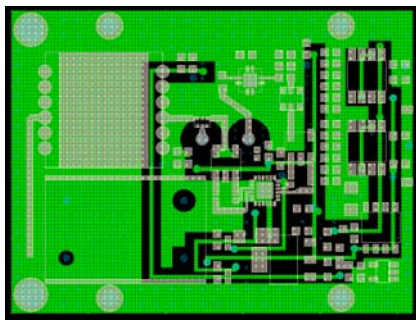
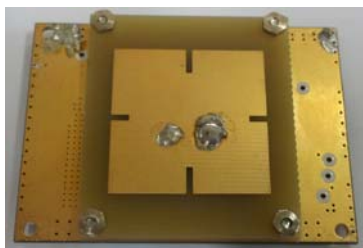


그림 6 도플러 레이더의 PCB 레이아웃(50mm * 40mm)
 Fig. 6 PCB layout of Doppler radar(50mm * 40mm)

그림 7은 제작된 도플러 레이더의 사진을 보인 것이다. 전체 시스템의 크기를 줄이기 위하여 안테나 부분을 회로의



(a) 안테나 부분 (앞면)
 (a) Antenna part(Front plane)



(b) 회로 부분 (뒤면)
 (b) Circuit part(Back plane)

그림 7 제작된 도플러 레이더의 제작 사진
 Fig. 7 Photograph of the fabricated Doppler radar

반대부분에 부착하였다. 회로 부분에서 안테나 사이는 직접 연결하였다. 전체 시스템의 크기는 안테나를 포함하여 $65 \times 45 \times 6 \text{ mm}^3$ 이다.

2.4 실험 및 고찰

제작된 도플러 레이더를 이용하여 실험을 하였다. 실험자는 도플러 레이더로부터 50 cm 떨어진 거리에서 움직임 없이 앉아서 측정하였다. 그림 8은 그림 1의 I, Q 채널에서 나오는 시간영역의 로우(raw) 데이터를 후리에 변환을 통하여 주파수 영역으로 변환된 결과이다. 0.4 Hz 와 1 Hz 부근에서 신호가 주변 신호보다 크게 나오는 것을 알 수 있다. 이것은 호흡과 심박에 의한 도플러 주파수 이다. 또한, 1 Hz 부근의 심박 신호는 일반적으로 호흡 신호에 비해서 10분의 1 정도로 작은 것을 알 수 있다.

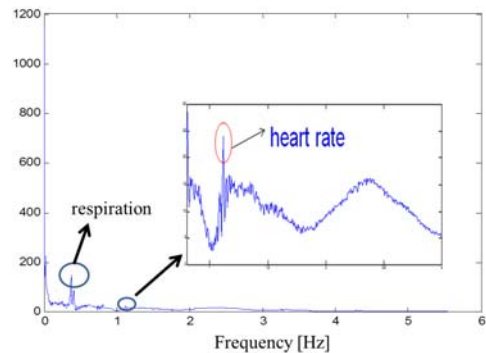


그림 8 주파수 영역에서 측정 결과
 Fig. 8 Measured result in frequency domain

그림 9는 I, Q 채널에서 나오는 신호를 가지고, 심박 및 호흡 각각 대역통과필터로 걸린 후의 얻어진 호흡과 심박의 시간영역에서의 신호를 보인 것이다. 우리는 그림 9로부터 깨끗한 심박 및 호흡 신호를 얻을 수 있었다.

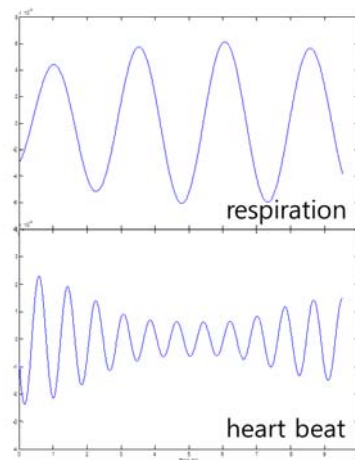


그림 9 측정 결과로부터 얻어진 심박과 호흡 신호
 Fig. 9 Heart beat and respiration signal gained from the measured result

그림 10은 실험자와 도플러 레이더 사이의 측정거리의 변화에 따른 측정결과를 FFT하여 주파수 영역에서 도시한 것이다. 인체와 너무 근접한 1 cm 떨어진 경우(a)에는 인체와 안테나 사이의 간격이 너무 좁아 안테나 특성 자체가 변하므로 호흡 신호도 찾을 수 없었고, 50 cm 떨어졌을 경우 호흡 신호의 구분이 뚜렷하게 나타났고, 90 cm 떨어진 경우에는 신호 레벨이 작아져서 파형은 볼 수 있으나 잡음의 영향이 커지는 것을 알 수 있었다.

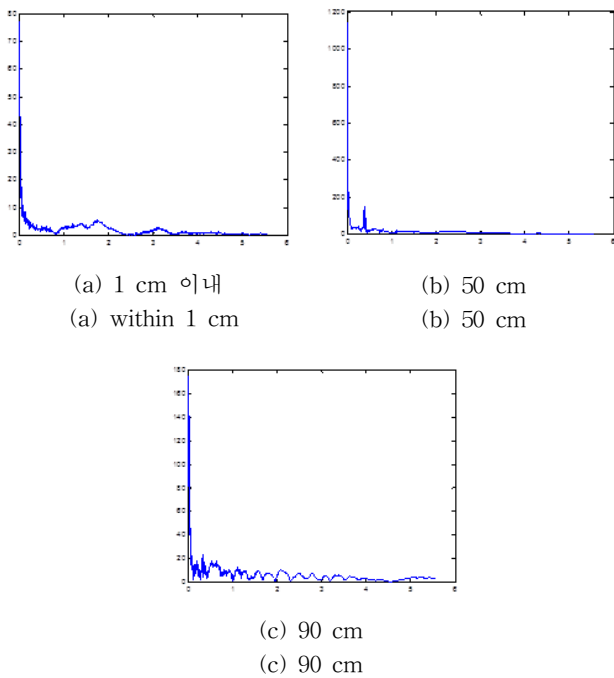


그림 10 측정 거리의 변화에 따른 측정결과
Fig. 10 Measured result according to the variation of measured distance

3. 결 론

이 논문에서는 소형 도플러 레이더를 제작하기 위하여 소형 이중 원형편과 안테나를 설계하고, 제작하였다. 이 논문에서 제안된 안테나는 ISM 대역인 2.47 GHz에서 공진을 하고, 크기는 $35 \times 35 \times 3.2 \text{ mm}^3$ 이다. 이 안테나를 이용하여 소형 도플러 레이더를 설계, 제작하였다. 전체 도플러 레이더의 크기는 안테나를 포함하여 $65 \times 45 \times 6 \text{ mm}^3$ 으로 소형으로 제작할 수 있었다. 실험으로부터 제작된 도플러 레이더를 이용하여 심박과 호흡신호에 대한 정보를 얻을 수가 있었고, 이를 이용하여 의학용 장치로 사용할 수 있음을 보였다.

References

[1] K. M. Chen, D. Mirsa, H. Wang, H. R. Chuang, E. Postow, "An X-band microwave life detection system", IEEE Trans. on Biomedical Engineering, vol. 33, pp. 697-701, 1986.

[2] J. C. Lin, "Microwave sensing of physiological movement and volume change: a review", Bioelectromagnetics, vol. 13, pp. 557-56, 1992.
 [3] J. C. Lin, "Non-invasive microwave measurement of respiration", Proc. IEEE 63, 1530, 1975.
 [4] J. C. Lin, "Microwave apexcardiography", IEEE MTT vol. 27, pp.618-620, 1979.
 [5] Olga Boric-Lubecke, Victor M. Lubecke, Isar Mostafanezhad, Byung-Kwon Park, Wansuree Massagram, Branka Joknovic, "Doppler radar architectures and signal processing for heart rate extraction", Dec., 2009.
 [6] F. K. Wang, T. S. Horng, K. C. Peng, J. K. Jau, J. Y. Li, and C. C. Chen, "Single-antenna Doppler radars using self and mutual injection locking for vital sign detection with random body movement cancellation", IEEE Trans., MTT, vol. 59, No. 12, pp. 3577-3587, 2011.
 [7] K. L. Wong, and J. Y. Wu, "Single-feed small circularly polarized square microstrip antenna" Electro. Lett. 33, pp. 1833-1834, Oct., 1997.
 [8] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", IEEE trans. Antennas pro., vol. 14, pp. 302-307, 1966.

저 자 소 개



김 태 홍 (金兌弘)

1997년 2월: 전남대학교 전자공학과(공학사)
 1999년 2월: 전남대학교 전자공학과(공학석사)

2005년 2월: 전남대학교 전자정보통신공학과(공학박사), 2002년 5월~2006년 2월: 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터 전문연구요원, 2006년 3월 ~ 2011년 2월: 충남대학교 전자과환경기술연구센터 연구교수, 2012년 4월 ~ 현재: 광주과학기술원 기전공학과 연구부교수

[주 관심분야] 전자파수치해석, RF시스템, 수동소자 설계,



이 현 진 (李玄辰)

1996년 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사), 1997년 펜실베이니아주립대학교 전기공학과 박사후 연구과정, 1992년 현재 동강대학교 전기전자과 교수

E-mail : hyeonjin@dkc.ac.kr