

휴먼 카운팅 시스템을 위한 공기 유전체 층을 갖는 광대역 패치 안테나

최현호* · 윤태순**

Broadband Patch Antenna with the Air-Dielectric for the Human Counting System

Hyun-Ho Choi* · Tae-Soon Yun**

요약

본 논문에서는 휴먼 카운팅 시스템을 위한 광대역 패치 안테나가 공기 유전체 층을 이용하여 설계, 제작 및 측정되었다. 제안된 안테나는 5 mm의 공기 유전체 위에 정사각형 구조의 패치 구조를 가지며, CPW 전송선로 구조의 입력부와 패치면의 수직 연결은 계단형 임피던스 구조로 구현하였다. 3차원 EM 설계를 통해 최적화된 광대역 패치 안테나는 16.6 * 16.6 * 5.0 mm³의 크기로 3D 프린터를 이용하여 안테나 지그를 제작하여 지그 위에 제작되었다. 제작된 안테나는 7.2 ~ 9.8 GHz 주파수에서 2:1 이하의 VSWR과 5.71 dBi의 최대 이득을 가지며, 70°의 반전력 빔폭 특성을 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, the broadband patch antenna for human counting systems is designed and fabricated using the air dielectric substrate. Proposed antenna has a patch structure of the square structure with a 5 mm air layer and the vertical connection between the patch antenna and CPW feeding line is realized the stepped impedance structure. Optimized antenna through a 3D EM simulator is fabricated on a jig by manufacturing an antenna jig using a 3D printer with a size of 16.6 * 16.6 * 5 mm³. Proposed antenna is measured with the maximum gain of 5.71 dBi and the VSWR of below 2:1 at a frequency of 7.2 to 9.8 GHz. Also, a half power beam width characteristic of the antenna is measured 70°.

키워드

Human Counting, Air-dielectric, Patch Antenna, Coplanar Waveguide, Stepped-impedance structure
휴먼 카운팅, 공기 유전체, 패치 안테나, 코플래너 웨이브가이드, 계단형 임피던스 구조

I. 서론

최근의 사물인터넷의 부각으로 인해 사물인터넷(Internet of Things : IoT)와 스마트 디바이스와의 연동을 통해 다양한 센서들을 활용하여 정보를 수집하

거나 스마트 기기에서 원격으로 제어 할 수 있는 다양한 기술들이 개발되고 있다.

빅데이터 시장의 일부를 형성하는 공간정보 및 실내 네비게이션 등의 실내수요가 증가함에 따라 특정 한 위치에서 사람의 이동성 및 정보를 정확하게 파악

* 호남대학교 전기전자공학과 (ehjm0062@naver.com)

** 교신저자 : 호남대학교 전자공학과

• 접수 일 : 2017. 04. 21

• 수정완료일 : 2017. 07. 13

• 게재확정일 : 2017. 08. 01

• Received : Apr 21, 2017, Revised : July 13, 2017, Accepted : Aug 01, 2017

• Corresponding Author : Tae-Soon Yun

Dept. of Electronic Engineering, Honam University

Email : easteryun@gmail.com

할 수 있는 센서 개발이 매우 필요하게 되었다. 그중 현재 이용되고 있는 출입문 인체 계수기에는 다양한 센서(카메라 및 PIR 등)가 적용되어 사용되고 있다 [1-4]. 그러나 개인 프라이버시, 실시간 오류를 범하여 정밀하면서 개인을 노출하지 않은 휴먼 카운팅을 수행하지는 못한다. 또한 동작되는 온도, 습도, 조명 등과 같은 환경적인 요인은 센서 동작에 많은 오류를 발생시킬 수 있다. 이를 개선하기 위해 고주파를 이용하여 센서를 구동한다면, 환경적 요인에 의한 센서 동작의 영향을 최소화할 수 있으므로 기존 센서들의 문제점을 보완하고 정밀도가 높은 인체 감지를 구현할 수 있다. 이를 위해 고주파 송수신 장치가 필요하고 본 논문에서는 인체 감지에 필요한 휴먼 카운팅 시스템의 송수신이 가능한 공기 유전체 층을 갖는 광대역 안테나를 설계, 제작 및 측정에 대하여 기술하였다.

II. CPW 전송 선로 해석

입력부의 CPW(coplanar waveguide) 전송 선로는 Conformal Mapping을 사용하여 구현하였으며 Conformal Mapping은 구조적 해석을 위해 임의의 변환 함수를 이용하여 변환을 하는 것을 뜻한다. 변환을 통해 CPW구조에서의 주 신호 선로와 접지면 사이의 정전 용량을 계산할 수 있고, Quasi-static 근사 해석 방법을 사용하여 유효 유전율 및 특성 임피던스를 계산할 수 있다 [5].

$$\epsilon_{re} = \frac{C}{C_{air}} \tag{1}$$

$$Z_{line} = \frac{1}{c \cdot \sqrt{\epsilon_{re}} \cdot C_{air}} \tag{2}$$

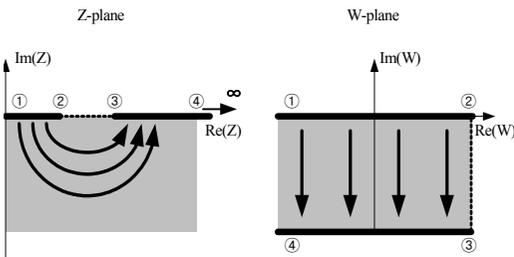


그림 1. Conformal 변환
Fig. 1 Conformal transformation

식 (1)과 식 (2)에서 c 는 자유 공간에서의 광속도, C 는 총 정전 용량, C_{air} 는 유전체를 자유 공간으로 대체한 경우의 정전용량, ϵ_{re} 는 유효 유전율을 나타낸다. Conformal Mapping를 나타낸 것이 그림 1이다.

Conformal Mapping을 사용하여 유한한 유전체 두께를 갖는 구조를 해석 한다. 유전체의 두께가 유한한 경우는 Conformal Mapping을 통해 그림 2와 같이 유전체층을 변환할 필요가 있다. 그림 2와 같이 임의의 평면 (t-plane)으로 변환할 때 사용되는 함수는 식 (3)과 같다.

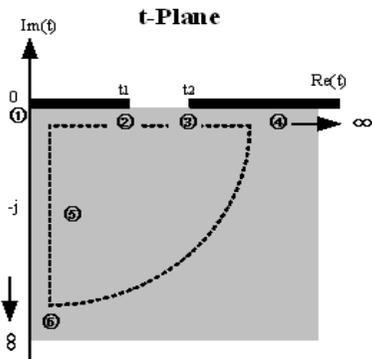


그림 2. CPW 구조의 Conformal 변환
Fig. 2 Conformal transformation of CPW structure

$$t = \sinh\left(\frac{\pi \cdot z}{2h}\right) \tag{3}$$

식 (3)을 함수로 변환하여 유전체층의 정전 용량을 구하면 식 (4)와 같으며 변수 k_2 는 식 (5)와 같다.

$$C_3 = 2\epsilon_0(\epsilon_r - 1) \frac{K(k_2)}{K'(k_2)} \tag{4}$$

$$k_2 = \frac{t_1}{t_2} = \frac{\sinh(\pi a/2h)}{\sinh(\pi b/2h)} \tag{5}$$

위의 식들을 최종적으로 정리하여 유효 유전율과 특성 임피던스의 근사적인 값들을 유도할 수 있다. 유효 유전율과 특성 임피던스는 식 (6), 식 (7)과 같다 [6-8].

$$\epsilon_{re} = 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{K(k_2)}{K'(k_2)} \frac{K'(k_1)}{K(k_1)} \quad (6)$$

$$Z_{CPW} = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \frac{K'(k_1)}{K(k_1)} \quad (7)$$

III. 광대역 안테나 설계

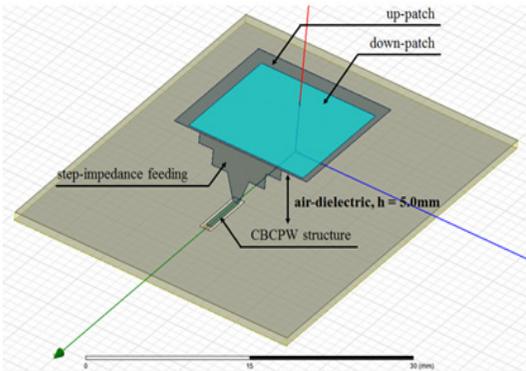


그림 3. 공기 유전체 층을 갖는 광대역 안테나 구조
Fig. 3 Structure of the patch antenna with the air-dielectric

휴먼 카운팅 시스템에서 사용되는 주파수 대역은 UWB 대역의 일부인 7.2 ~ 10.2 GHz를 사용함에 따라 광대역 특성을 갖는 안테나가 필요하고 공기층을 유전체로 하였을 때 안테나의 손실 특성이 우수하다 [9-10]. 본 논문에서는 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나 구조와 다르게 그림 3과 같이 기판 밑면에서부터 5 mm 떨어진 구조로 패치 안테나를 구현하였다. 즉, 공기층을 유전체로 구성하였다. 안테나 패치의 모양은 정사각형 구조로 윗면과 밑면으로 구성되고, 안테나의 입력부는 유전율 2.55, 기판 두께 0.76mm의 테프론 기판 위에 CPW 전송 선로를 구현하고 안테나의 상부 패치면과 계단형 임피던스 선로로 연결하였다.

CPW 전송 선로의 신호선 폭과 접지와와의 간격은 유효 유전율 식 (6)과 특성 임피던스 식 (7)를 이용하여 계산하였으며, 0.76 mm의 유전체 두께를 입력하여 신호선 폭과 접지와와의 간격은 각각 0.6 mm, 0.3 mm

로 계산되었다.

전자파 방사를 위한 패치는 5mm 높이에 14.6 × 14.6 mm²의 크기로 설계되었으며, 방사 특성의 최적화를 위해 4.5mm 높이에 12.6 × 12.6 mm²의 패치가 삽입되었다. 또한, 입력부와 안테나 패치의 수직 연결은 그림 3에서 나타난 바와 같이 계단 임피던스 구조로 최적화 되었는데, 그 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 안테나 연결부의 설계 파라미터

Table 1. Designed parameters of the connection part of the patch antenna

Parameters		Values
1 st line	width	9.0 mm
	length	1.0 mm
2 nd line	width	5.8 mm
	length	1.5 mm
3 rd line	width	1.4 mm → 3.0 mm
	length	2.5 mm

안테나 설계 결과는 그림 4에 나타난 바와 같이 설계 대역폭 7.2 ~ 10.2 GHz에서 2:1 이하의 VSWR (voltage standing wave ratio) 특성을 가졌다. 또한, 안테나의 방사패턴은 그림 5와 같이 일반적인 패치 안테나와 유사하게 z-축 방향으로 방사되는 패턴을 가졌고, 설계된 광대역 안테나의 최대 이득은 9.14 dBi, x축 방향 (φ = 90°)의 반전력 빔폭은 80°이다.

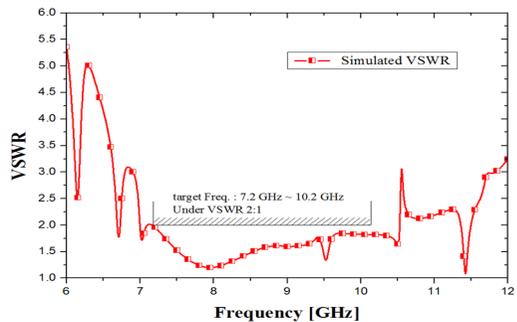


그림 4. 설계된 안테나의 VSWR 특성
Fig. 4 VSWR characteristic of the designed antenna

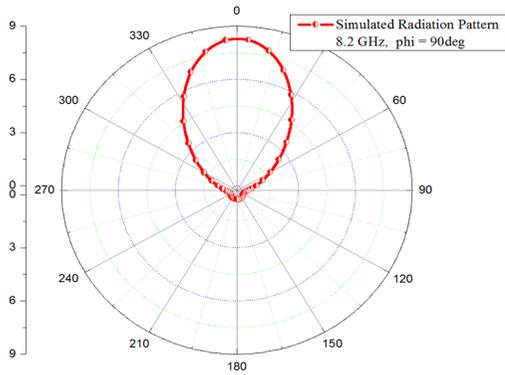


그림 5. 설계된 안테나의 방사 패턴
Fig. 5 The radiation pattern of the designed antenna

IV. 광대역 안테나 제작

광대역 패치 안테나 제작에 앞서 그림 6(a)에 나타난 바와 같이 3D 프린터를 이용하여 안테나 지그를 제작하였다. 지그는 필라멘트 ABS로 두께 0.5mm로 제작되었다. 3D 프린터로 제작된 지그는 CPW 전송 선로가 구현된 테프론 기판 위에 고정하고, 동박 테이프를 이용하여 제작된 안테나 패치를 부착하여 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나는 그림 6(b)와 같다.

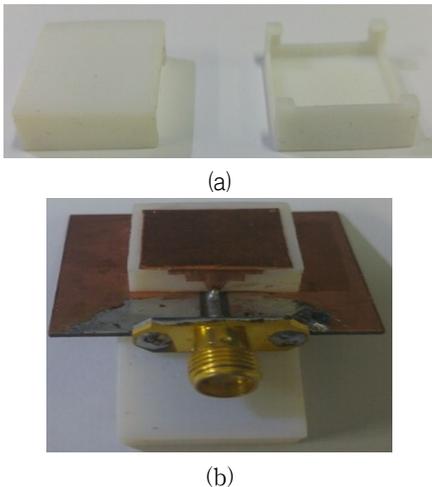


그림 6. (a) 3D 프린터를 이용하여 제작된 안테나 지그 및 (b) 광대역 안테나
Fig. 6 Fabricated (a) antenna jig fabricated using 3D printer and (b) broadband antenna

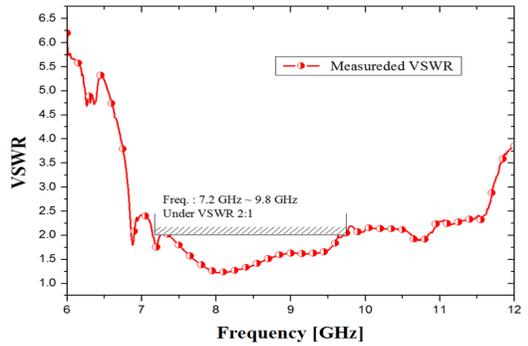


그림 7. 제작된 안테나의 VSWR 특성
Fig. 7 VSWR Characteristics of engineered antennas

제작된 광대역 패치 안테나의 VSWR 측정 결과는 그림 7에 나타난 바와 같이 대역폭 7.2 ~ 9.8 GHz에서 2:1 이하의 VSWR 특성을 가졌다. 설계 결과와 측정 결과의 오차는 설계에서 지그의 유전체 손실을 반영하지 않았고, 안테나를 수작업으로 제작하여 발생한 것으로 분석되었다. 이는 필라멘트 ABS의 물성 정보를 반영하여 설계하고 스프레이 방식으로 안테나 패치를 제작함으로써 오차를 줄일 수 있을 것이라 기대한다.

그림 8은 각각 7.2 GHz, 8.2 GHz, 9.8 GHz, 10.2 GHz에서 측정된 안테나 방사패턴이다. 주 설계주파수인 8.2 GHz에서 5.71dBi의 최대 이득을 가지며 x축 방향 ($\phi = 90^\circ$)의 반전력 빉폭은 70° 이다.

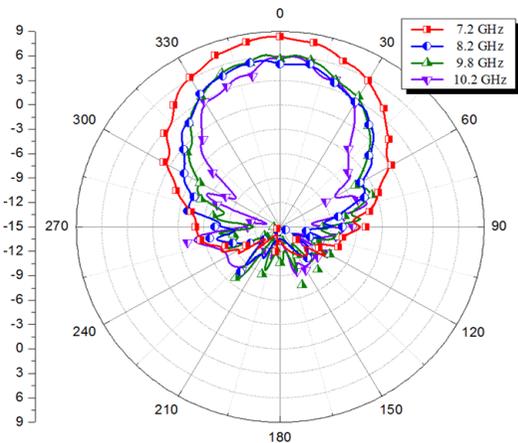


그림 8. 7.2 GHz, 8.2 GHz, 9.8 GHz 및 10.2 GHz에서의 제작된 안테나의 방사패턴
Fig. 8 Radiation pattern of the antenna at 7.2 GHz, 8.2 GHz, 9.8 GHz, and 10.2 GHz

V. 결 론

본 논문에서는 출입문에서의 휴먼 카운팅 시스템을 위한 공기 유전체 층을 갖는 광대역 패치 안테나 제안하였다. 제안되어 제작·측정된 안테나는 공기층을 유전체로 하며 계단형 임피던스로 입력부와 패치면이 연결되어 7.2 ~ 9.8 GHz 대역에서 VSWR 2:1 이하의 광대역 특성을 가지며 휴먼 카운팅에 주 주파수인 8.2 GHz에서 70°의 반전력 빔폭으로 5.71 dBi의 최대 이득을 가진다. 제안된 광대역 패치 안테나는 출입문에서 사용 가능한 휴먼 카운팅 시스템에 적용될 것이며, 본 논문에서 제안되는 CBCPW 전송 선로 연결부로 계단형 임피던스 구조를 갖는 공기층 유전체의 광대역 패치 안테나는 더 다양한 분야에 이용될 수 있을 것이다.

References

- [1] K. Lee, H. Sim, and J. Oh, "The Design and Implementation of Intruder Access Control System by based of Ubiquitous Sensor Network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 5, 2012, pp. 1165-1171.
- [2] H. Cha and W. Lee, "Development of Standing and Moving Human Body Sensing Module Using a Chopper of Shutter Method," *J. of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 53, no. 2, 2016, pp. 109-116.
- [3] H. Son and H. Park, "A Study on a Human Body Detection Secsor Using Microwave Radiometer Technologies," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 3, 2015, pp. 333-340.
- [4] T. S. Yun, "Harmonic-Suppressed Hairpin Bandpass Filter for the Microwave Radiometer," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 10, 2014, pp. 1169-1174.
- [5] K. Gupta, R. Garg, I. Bhal, and P. Bhartia, *Microstrip Lines and Slotlines* (Boston): Artech House, 1996.
- [6] S. Rhee, S. Lee, and O. Kim, "Stepped Impedance LPF Using MCSL," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 3, no. 3, 2008, pp. 153-157.

- [7] R. Simons, *Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems* (New York): Wiley, 2001.
- [8] S. Gevorgian, L. Peter, and E. Kollberg, "CAD Models for Shielded Multilayered CPW," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 43, no. 4, Apr. 1995, pp. 772-779.
- [9] S. Lee, "Analysis of the Effects by Multi-Stack-ing of Superstrates on Circular-Polarized Patc-h Antenna," *J. of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 51, no. 3, 2014, pp. 202-209.
- [10] H. Lee, "The Design and Fabrication for Wireless Repeater Patch Antenna if Wide-band Dual Polarization," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1287-1292.

저자 소개

윤태순(Tae-Soon Yun)



2000년 국민대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2006년 광운대학교 전파공학과 (공학박사)

2007년 10월~2008년 9월: The SUNY at Buffalo Post Doc.

2008년 10월~2010년 2월: 광운대 BK사업단 연구교수

2010년 3월~현재: 호남대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야 : 마이크로파 소자, 무선전력전송, CRLH 전송 선로

최현호(Hyun-Ho Choi)



2016년 호남대학교 이동통신공학과 (공학사)

2016년 3월~현재: 호남대학교 전기전자공학과 석사 과정

※ 관심분야 : 마이크로파 라디오미터, CRLH 전송 선로, 초고주파회로 및 시스템, 안테나

