

이동체 감지를 위한 마이크로스트립 인셋 패치 안테나 설계 및 제작

이상민*, 박동희**

Design and Fabrication of Microstrip Inset Patch Antenna for Moving Object Detection

Sang-Min Lee*, Dong-Hee Park**

본 연구는 2020년 한국교통대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임

요 약

본 논문은 5.8GHz 대역의 도플러 레이더 감지센서 모듈을 개발하기 위한 마이크로스트립 배열 패치 안테나를 설계한다. 패치 안테나의 최적화를 위한 방법은 인셋 여기 임피던스를 50Ω과 100Ω으로 반사손실 S_{11} 의 중심주파수와 대역폭을 비교하였다. 또한 모듈의 가격을 낮추기 위한 기판의 종류는 비교적 비용이 저렴한 FR4-epoxy와 Teflon 기판으로 제작하여 각각 반사손실 S_{11} 과 안테나의 이득을 비교하였다. 따라서 본 논문은 최종적으로 2×2 배열 패치 안테나를 설계 및 제작하여 결과를 비교하였으며 중심주파수의 오차가 Teflon 기판이 FR4-epoxy 기판보다 약 20MHz의 낮은 오차를 나타내어 최적의 조건을 갖는 안테나는 Teflon 기판으로 제작된 100Ω 인셋 여기 2×2 배열 패치 안테나이며, 최대 이득은 $\theta = 0^\circ$ 에서 시뮬레이션은 9dB이득 제작 측정결과는 7dB의 이득을 갖는 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, we design a microstrip array patch antenna to develop a Doppler radar detection sensor module in the 5.8GHz band. In order to optimize the patch antenna, the inset excitation impedance was 50Ω and 100Ω, and the center frequency and bandwidth of the return loss S_{11} were compared. In addition, the types of substrates for lowering the cost of the module were manufactured with relatively inexpensive FR4-epoxy and Teflon substrates, and the return loss S_{11} and the gain of the antenna were compared, respectively. Therefore, this paper finally designed and fabricated a 2×2 array patch antenna and compared the results. The error of the center frequency was about 20 MHz lower than that of the FR4-epoxy substrate, so the optimal antenna was the Teflon substrate. It is a 100Ω inset excitation 2×2 array patch antenna fabricated with, and the maximum gain is $\theta = 0^\circ$ and the simulation is 9dB gain. The measurement result is 7dB.

Keywords

microstrip antennas, microstrip array antennas, inset patch antennas, occupancy monitoring, doppler radar

* 한국교통대학교 산학협력단 교수

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9123-2725>

** 한국교통대학교 전자공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0297-3852>

· Received: Nov. 17, 2020, Revised: Dec. 16, 2020, Accepted: Dec. 19, 2020

· Corresponding Author: Dong-Hee Park

Department of Electric Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Daehak-ro Chungju-si, Chungbuk 380-702, Korea, Tel.: +82-43-841-5364, Email: dhpark@ut.ac.kr

I. 서 론

최근 이동형 물체 및 인체의 움직임을 감지하여 사고 예방 및 보안 등에 활용하기 위한 센싱 기술이 크게 발전하고 있다[1]. 기존 보안용으로 사용되고 있는 적외선 및 열 감지 센서는 실외에서 환경적 영향을 많이 받는 단점을 갖고 있다[2][3]. 이에 반해서 마이크로파를 이용한 감지센서는 기존 적외선 및 열 감지 센서의 단점을 보완하고 감지 폭과 거리를 더 넓힐 수 있는 장점이 있다[4][5].

국내에서 마이크로파를 이용한 감지센서는 2008년에 방송통신위원회에서 주파수 10.525GHz 대역이 분배된 이후 개발되었다. 이 시기에 감지센서를 위한 주요주파수 대역은 2.4GHz, 10GHz, 그리고 24GHz대 이다. 추가로 2018년에 과학기술정보통신부는 고시 제2018-38호에 따라 물체 감지센서를 위한 5GHz대역의 기술기준을 제시하였다[6].

따라서 본 논문은 5.8GHz 대역의 도플러 레이더 감지센서 모듈을 개발하기 위한 마이크로스트립 배열 패치 안테나를 설계한다. 이와 같은 마이크로파 감지 센서 모듈에서 안테나 설계는 매우 중요한 부분이다[7][8]. 본 논문에서 설계한 안테나는 마이크로 스트립 배열 패치 구조이다. 마이크로스트립 배열 패치 안테나는 제조 및 설계가 용이하고 대량생산과 저비용의 장점을 갖는 반면에 좁은 대역폭과 낮은 이득을 갖는 단점이 있다[9][10]. 이와 같은 단점을 보완하기 위한 방법으로 안테나의 정합 조건을 최적화 하였다. 따라서 최적화를 위한 여기구조는 입력 임피던스 50Ω과 100Ω을 갖는 구조를 각각 설계하여 반사손실 S_{11} 의 중심주파수와 대역폭을 비교하였다. 또한 모듈의 가격을 낮추기 위한 기판의 종류는 비교적 비용이 저렴한 FR4-epoxy와 Teflon 기판을 선택하여 각각 반사손실 S_{11} 과 안테나의 이득을 비교하여 최적의 조건을 갖는 기판을 선택하였다.

따라서 본 논문은 최종적으로 2x2 배열 패치 안테나를 설계 및 제작하여 결과를 비교하였으며, 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

II. 안테나 설계

마이크로 스트립 배열 패치 안테나의 크기를 사용 중

인 파장과 비교하여 비교적 작게 설계하기 위해서는 유전체의 두께가 두껍고 또 비유전율 값이 큰 기판을 선택한다. 본 연구에서는 마이크로스트립 기판의 비용이 비교적 저렴하고, 안테나의 크기가 작으면서 이득을 높일 수 있도록 비유전율 값이 4.0 이상이며 두께가 1.5mm 이상 되는 두 종류의 기판을 선택하여 표 1에 제시하였다.

표 1. 패치 안테나 설계를 위해 선택한 기판의 특성
Table 1. Characteristics of the substrate chosen for the patch antenna design

Substrate material constant	FR4-epoxy	Taconic teflon
ϵ_r	4.4	4.3
$\tan\delta$	0.02	0.0033
Board thickness h mm	1.6	1.57
Conductor thickness t um	35	35

설계된 패치 안테나는 안테나의 물리적 특성을 보다 잘 이해하기 위하여 이론적으로 가장 많이 사용되는 전송선 모델법으로 근사적 크기를 결정하였다[11]. 이를 바탕으로 세부적 크기 조절은 모의실험 툴을 이용해 설계하였다. 설계된 인셋 여기 단일 패치 안테나 구조는 그림 1과 같다. 패치 안테나의 인셋 여기 방법은 에지 여기 방법과 비교하여 여기점 위치를 선택한 임피던스 값에 비교적 잘 일치시킬 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 그림 1에 제시된 인셋 여기 패치 안테나를 기본으로 중심주파수 5.8485 GHz를 갖는 도플러 레이더 배열 안테나를 설계하여 그림 2에 제시하였다.

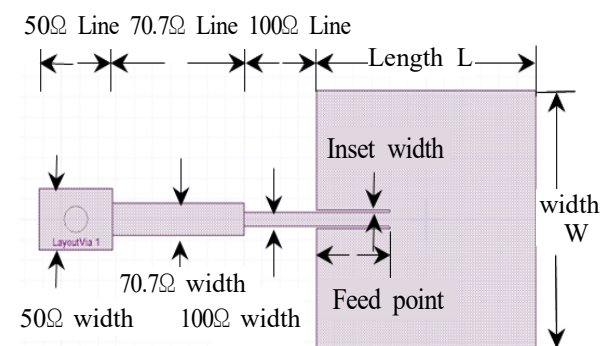
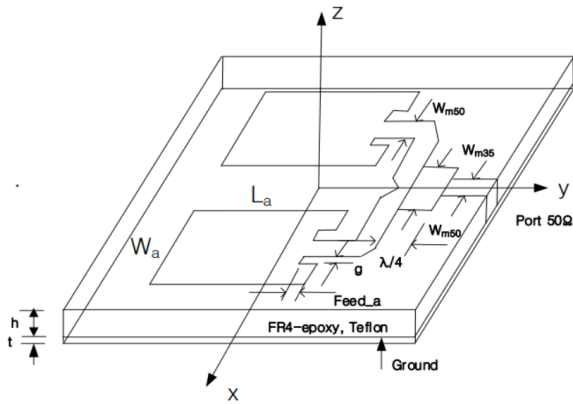
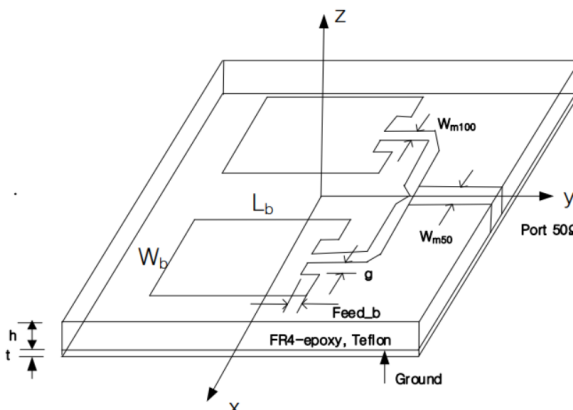


그림 1. 인셋 여기 단일 패치 안테나 설계 구조
Fig. 1. Inset excitation single patch antenna design structure



(a) 50Ω 인셋 여기
(a) 50Ω inset excitation



(b) 100Ω 인셋 여기
(b) 100Ω inset excitation

그림 2. 50Ω 및 100Ω 인셋 여기를 갖는 배열 패치 안테나 구조

Fig. 2. Array patch antenna structure with 50Ω and 100Ω inset excitation

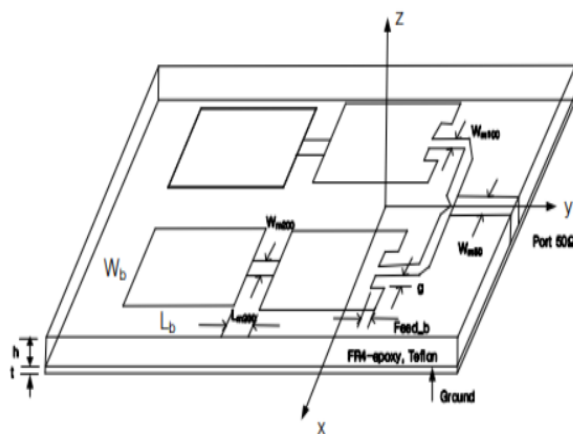


그림 3. 5.8485GHz의 중심 주파수를 갖는 2x2 배열 패치 안테나 구조

Fig. 3. Structure of a 2x2 array patch antenna with a center frequency of 5.8485GHz

여기점 임피던스는 50Ω과 100Ω 두 경우를 고려했다. 이 때 사용된 유전체 기판은 표 1에서 제시된 FR4-epoxy와 Teflon이다. 배열 소자의 전력분배를 위하여 T-junction 분배기를 사용하였으며, 최종 설계된 2x2 배열 패치 안테나는 그림 3과 같고 각 변수의 수치 값은 표 2에 제시하였다.

표 2. 제안한 배열 패치 안테나의 최적 파라미터 [mm]

Table 2. Design parameters of proposed antenna

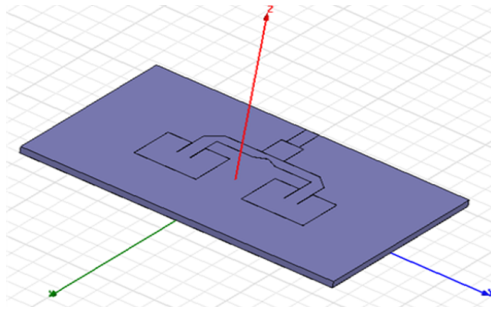
Parameter	Value	Parameter	Value
W_a	14.5	W_{m50}	3.0
L_a	11.76	W_{m35}	5.12
W_b	13.5	Feed_a	5.28
L_b	11.5	Feed_b	3.95
W_{m100}	0.7	g	0.1
L_{m200}	11	W_{m200}	0.4

III. 측정 결과의 비교

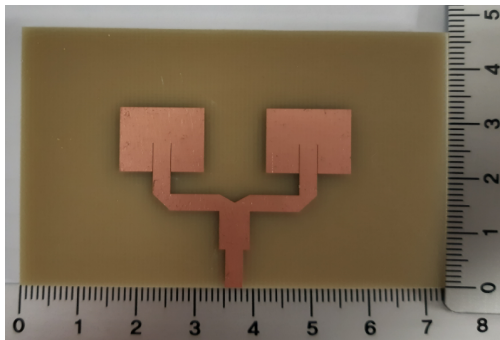
본 논문에서는 마이크로파 도플러 센서 모듈의 안테나를 설계 및 해석하기 위하여 그림 2와 같은 50Ω과 100Ω 인셋 여기를 갖는 배열 패치 구조를 선택했다. 또 선택한 기판은 FR4-epoxy와 Teflon 기판을 이용해 제작하였다. 그림 4(a)는 설계된 50Ω 인셋 여기 패치 안테나의 시뮬레이션 구조이며 그림 4(b)는 제작된 패치 안테나 구조를 나타낸다.

그림 5는 여기점 50Ω을 갖는 배열 패치 안테나의 반사계수 S_{11} 에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과이다. 이 S_{11} 에 대한 시뮬레이션과 측정 결과를 비교해 볼 때 Teflon의 결과가 FR4-epoxy의 결과보다 잘 일치하고 있다.

그림 6(a)는 설계된 100Ω 인셋 여기 패치 안테나의 시뮬레이션 구조이며 그림 6(b)는 제작된 패치 안테나 구조를 나타낸다. 그림 7은 여기점 100Ω을 갖는 배열 패치 안테나의 반사계수 S_{11} 에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과의 비교이다. 100Ω 인셋 여기의 경우도 그림 5의 결과처럼 Teflon의 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 보인다. 또한 그림 5와 그림 7의 결과 비교에서 100Ω 인셋 여기 방법이 50Ω 인셋 여기 방법보다 더 좋은 결과를 나타낸다.

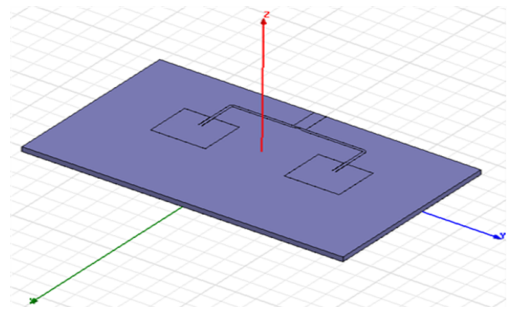


(a) 안테나 시뮬레이션 구조
(a) Antenna simulation structure

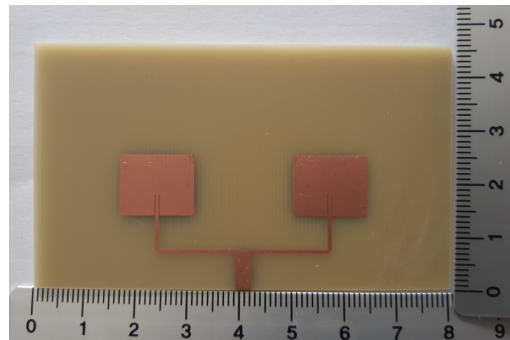


(b) 제작된 안테나 구조
(b) Fabricated antenna structure
그림 4. 여기점 50Ω, 패치(14.5×11.76)mm²,
기판 (73×47)mm² 배열구조

Fig. 4. Excitation point 50Ω, patch (14.5×11.76)mm², substrate (73×47)mm² array structure



(a) 안테나 시뮬레이션 구조
(a) Antenna simulation structure



(b) 제작된 안테나 구조
(b) Fabricated antenna structure
그림 6. 여기점 100Ω, 패치(13.5×11.5)mm²,
기판 (80.2×46.6)mm² 배열구조

Fig. 6. Excitation point 100Ω, patch (13.5×11.5)mm², substrate (80.2×46.6)mm² array structure

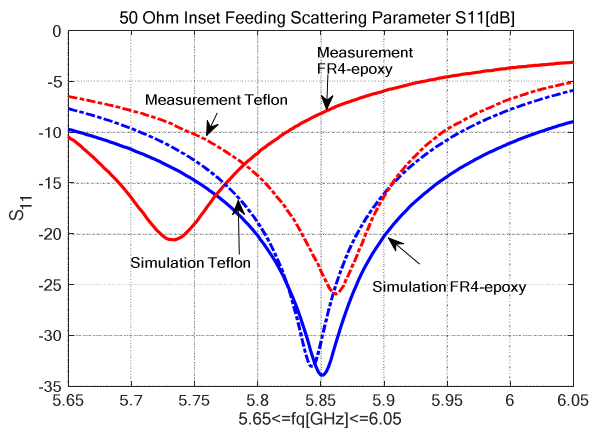


그림 5. FR4-epoxy와 Teflon 기판에서 여기점 50Ω을 갖는 배열 안테나의 반사손실 S₁₁의 해석 및 측정 결과 비교

Fig. 5. Analysis and measurement result of return loss S₁₁ of array antenna with 50Ω excitation point on FR4-epoxy and Teflon substrate

그림 4와 그림 6에서 제시된 안테나 이득의 해석 및 측정결과는 θ 가 -180° 부터 $+180^\circ$ 까지 변화할 때 $\phi=0^\circ$ 와 $\phi=90^\circ$ 에서 관찰하였다.

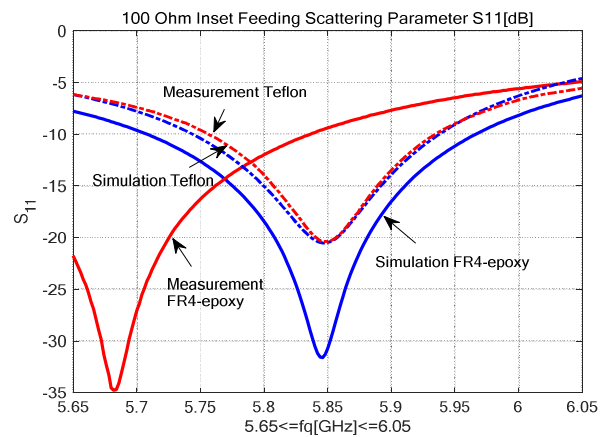


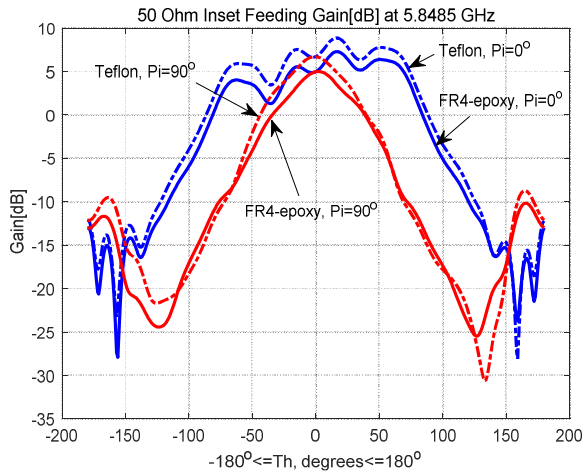
그림 7. 여기점 100Ω, FR4-epoxy, Teflon S₁₁ 해석 및 측정 결과 비교

Fig. 7. Excitation point 100Ω, FR4-epoxy, Teflon S₁₁ analysis and comparison of measurement results

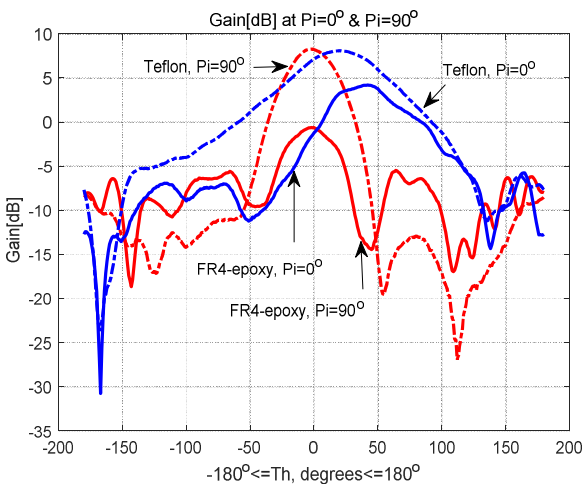
그림 8은 50Ω 인셋 여기 패치 안테나의 시뮬레이션과 측정된 이득을 각각 나타낸다. 그림 8(a)에서 시뮬레이션의 최대 이득은 $\theta=0^\circ$ 에서 대략 6dB를 갖는다.

또 이득과 관련하여 $\phi=0^\circ$ 에서 빔폭은 대략 160° 이며, $\phi=90^\circ$ 에서는 대략 80° 의 빔 폭을 갖는다. 그림 8(b)의 측정 결과에서 최대 이득은 $\theta=0^\circ$ 에서 Teflon 기판의 경우 대략 7dB를 갖는다. 또 $\phi=0^\circ$ 에서 빔폭은 대략 100° 이며, $\phi=90^\circ$ 에서는 대략 60° 를 갖는다.

시뮬레이션의 경우 FR4-epoxy 기판과 Teflon 기판을 이용한 패치 안테나 이득은 큰 차이가 없으나 측정 결과에서는 많은 차이를 나타낸다. 이는 두 기판의 손실 탄젠트 차이로부터 온 결과로 예측할 수 있다.



(a) Simulations



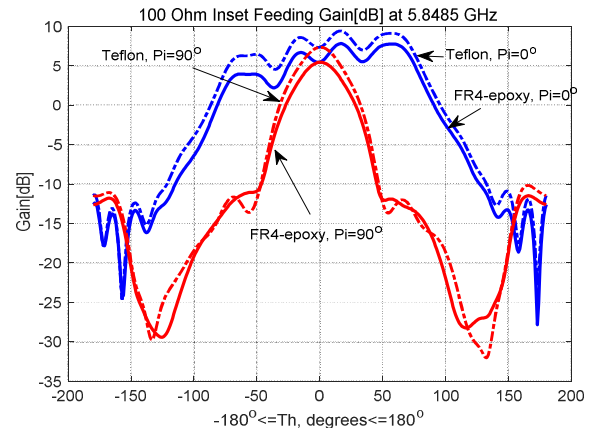
(b) Measurements

그림 8. FR4-epoxy와 Teflon 기판 내에 50Ω 인셋 패치 안테나 이득(dB) 결과 비교

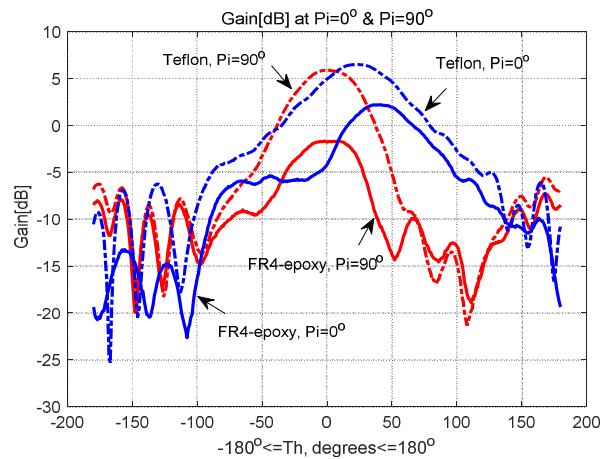
Fig. 8. Comparison of 50Ω inset patch antenna gain (dB) results in FR4-epoxy and Teflon substrates

그림 9는 100Ω 인셋 여기 패치 안테나의 시뮬레이션과 측정된 이득을 나타낸다. 그림 9(a)의 최대 이득은 $\theta=0^\circ$ 에서 대략 7dB를 갖는다. 또 이득관련 $\phi=0^\circ$ 에서 빔폭은 대략 160° 이며, $\phi=90^\circ$ 에서는 대략 60° 를 갖는다. 그림 9(b)의 측정 결과에서 최대 이득은 $\theta=0^\circ$ 에서 Teflon 기판의 경우 대략 6dB를 나타낸다. 또 이득관련 $\phi=0^\circ$ 에서 빔폭은 대략 100° 이며, $\phi=90^\circ$ 에서는 대략 60° 를 갖는다.

그림 5, 7, 8 그리고 9의 결과로부터 최적의 조건을 갖는 인셋 여기 방법과 기판으로 100Ω 인셋 여기와 Teflon 기판을 선택하였다. 따라서 본 논문은 100Ω 인셋 여기를 확장하여 2×2 배열 패치 안테나를 설계한 결과를 그림 10에 제시하였다.



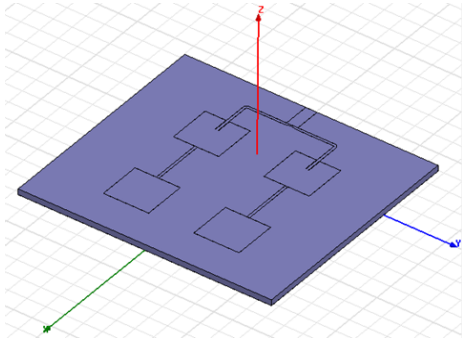
(a) Simulations



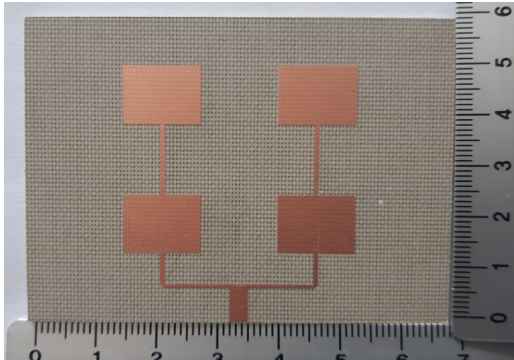
(b) Measurements

그림 9. 여기점 100Ω, FR4-epoxy, Teflon 기판 패치 안테나 이득(dB) 결과 비교

Fig. 9. Excitation point 100Ω, FR4-epoxy, Teflon substrate patch antenna gain (dB) result comparison



(a) 안테나 시뮬레이션
(a) Antenna simulation

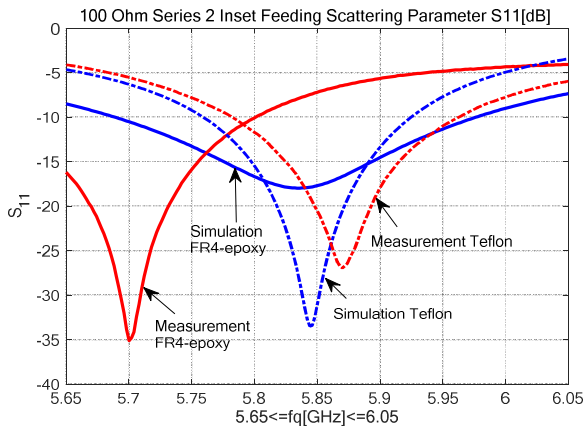


(b) 제작된 안테나
(b) Fabricated antenna

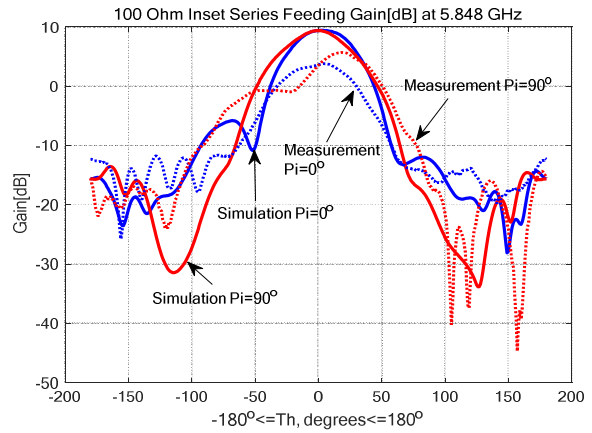
그림 10. 여기점 100Ω, 인셋 여기 2X2 패치 배열 안테나 구조

Fig. 10. Excitation point 100Ω, inset excitation 2X2 patch array antenna structure

그림 11(a)은 여기점 100Ω을 갖는 2×2 배열 패치 안테나의 반사계수 S_{11} 에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과를 제시하였다. 여기서 중심주파수의 오차는 Teflon 기판의 경우가 FR4-epoxy 기판보다 약 20 MHz 정도의 낮은 오차를 나타낸다.



(a) S_{11}



(b) 안테나 이득
(b) Antenna Gain

그림 11. 100Ω 인셋 여기 2×2 배열 패치 안테나의 반사손실 S_{11} 과 이득(dB) 결과 비교
Fig. 11. 100Ω inset excitation 2×2 return loss S_{11} vs. gain (dB) result of array patch antenna

그림 11(b)에서는 100Ω 인셋 여기 2×2 배열 패치 안테나의 복사 이득을 제시한다. 최대 이득은 $\theta=0^\circ$ 에서 시뮬레이션의 경우 대략 9dB의 이득을 갖고 측정 결과는 대략 7dB의 이득을 갖는다. 빔폭은 $\phi=0^\circ$ 와 $\phi=90^\circ$ 에서 대략 $70^\circ \sim 80^\circ$ 를 갖는다. 최종적으로 그림 8(b)와 그림 9(b)와의 비교에서 2×2 배열 패치 안테나의 이득 그림 11 9(b)가 더 잘 일치함을 보인다.

IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 물체 및 인체의 움직임에 기존 적외선 센서, 열 감지 센서 보다 넓은 감지 범위와 민감도 문제 등을 해결할 수 있고 좁은 대역폭과 높은 이득을 필요로 하는 이동체 감지에 적용 가능한 여기 인셋 구조를 갖는 마이크로스트립 도플러 센서 배열 안테나를 제안하였다.

결과적으로 이동체 감지에 적용 가능한 여기 인셋 구조 마이크로스트립 도플러 센서 배열 안테나의 최적 설계를 위해서 여기점 50Ω과 여기점 100Ω의 특성을 분석한 결과 Teflon 기판에 여기점 100Ω을 갖는 인셋 패치 안테나가 더 좋은 결과를 제시하였다.

또한 향후에는 마이크로파 도플러 센서 안테나의

성능을 개선하기 위하여 병렬과 직렬이 혼합된 여러 구조를 갖는 최적화된 배열 안테나 설계로 확장할 예정이다.

References

- [1] Ehsan Yavari, Hsun Jou, Victor Lubecke, and Olga Boric-Lubecke, "Doppler radar sensor for occupancy monitoring", 2013 IEEE Topical Conference on Power Amplifiers for Wireless and Radio Applications, Santa Clara, CA, USA, pp. 145-147, Jan. 2013
- [2] Wei-Guo Chen, Ren-Jr Chen, Jian-Yu Li, and Ping-Hsun Wu, "Compact X-band FMCW Sensor Module for Fast and Accurate Vehicle Occupancy Detection", Proceedings of ISAP 2014, Kaohsiung, Taiwan, pp. 155-156, Dec. 2014
- [3] Young-Sun Kim, So-Hyun Park, Pil-Su Hyun, Seong-Ho Yoon, and Hyeong-Woo Cha, "Stop and moving human body detection system using a pyroelectric infrared sensor", Proceedings of KIIT Conference, pp. 57-62, Jun. 2007.
- [4] Wonho Lee, Euihwan Sa, Jinsoo Kim, Hyungji Yoon, and Hyungwoo Cha, "Development of detection module for stationary and moving human body using chopper method", Proceedings of KIIT Conference, pp. 151-152, Jun. 2015.
- [5] Jong-ho Choi, "USN-based Silver Life Care System", Journal of KIIT, Vol. 6, No. 6, pp. 37-45, Dec. 2008.
- [6] Ministry of Science and ICT Notification No. 2018-38
- [7] K. F. Lee and K. M. Luk, "Microstrip patch antennas", World Scientific, Singapore, 2010.
- [8] P. S. Kim, J. H. Lee, J. S. An, T. H. Kim, and D. H. Ha, "Design and Fabrication of 5.8GHz Band Microstrip Array Antenna", Journal of the KIEES, Vol. 13, No. 1, pp. 478-483, Nov. 2003.
- [9] W. Ren, "Compact Dual-band Slot Antenna for 2.4/5 GHz WLAN Applications", Progress In

Electromagnetics Research B, Vol. 8, pp. 319-327, 2008.

- [10] Y. C. Lin and K. J. Hung, "Design of dual-band slot antenna with double T-match stubs", Electronics Letters, Vol. 42, No. 8, pp. 438-439, Apr. 2006.
- [11] Jae-Pyo Hong, Byung-Mun Kim, Hyeok-Woo Son, and Young-Ki Cho, "A Study on The Inset Fed Rectangular Microstrip Patch Antenna for S-band Applications", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 18, No. 10, pp. 2359-2366, Oct. 2014.

저자소개

이 상 민 (Sang-Min Lee)



2002년 02월 : 충북대학교
반도체공학(공학사)
2011년 08월 : 충북대학교
정보통신공학과(공학석사)
2018년 02월 : 충북대학교
정보통신공학과(공학박사)
2019년 03월 ~ 현재 : 한국교통

대학교 조교수

관심분야 : 안테나설계, 전자파 해석, 전장 신뢰성 분석

박 동 희 (Dong-Hee Park)



1985년 2월 : 청주대학교
전자공학과(공학사)
1987년 2월 : 중앙대학교
전자공학과(공학석사)
1992년 8월 : 중앙대학교
전자공학과(공학박사)
1997년 : 펜실베이니아 주립대학교

전기공학과 Post-Doc

1992년 4월 ~ 현재 : 한국교통대학교 전자공학과 교수
관심분야 : 밀리미터파 안테나 설계 및 해석, 광파 및 전자파응용