

소형 광대역 원편파 안테나의 시뮬레이션 기반 설계

오토건뱃 델겔*¹, 김선각**², 장경월*², 박정용***³, 류충한*³, 안유진*⁴, 김철영****⁵, 안재형*****⁶

Simulation-based Design of a Small Wideband Circularly-polarized Antenna

Otgonbat Delger*¹, Sun Kak Kim**², Qiongyue Zhang*², Jungyong Park***³, Choonghan Ryu*³, Youjin Ahn*⁴, Choul-Young Kim****⁵, and Jae-Hyeong Ahn*****⁶

이 논문은 충북대학교 국립대학육성사업(2022) 지원을 받아 작성되었음

요약

본 논문에서는 소형 광대역 원편파 안테나의 시뮬레이션 기반 설계 방법을 제시한다. 제안된 안테나는 상부 기판, 하부기판, 4개의 역 F형 방사소자, 직렬 급전 회로망, 유전체로 둘러싸인 4개의 급전 금속봉, 2개의 단락 스트리브를 포함하는 수직 기판 등으로 구성된다. 상부 기판에는 튜닝 스트립을 가지는 4개의 방사소자가 배치된다. 직렬 급전 회로망은 하부기판에 배치되어 4개의 방사소자에 동일 크기 전력과 순차적으로 90° 위상차를 가지는 신호를 공급한다. 단락형 스트립의 길이와 상부 기판과 하부기판 사이의 거리를 조정함으로써 최적 특성을 가지는 소형 광대역 원편파 안테나를 설계하였다. 설계에는 상용 시뮬레이션 툴을 이용하였다. 설계된 안테나는 70×70×14mm³의 크기, 0.865–0.928GHz에서 -10dB 이하의 반사계수, 3.2dBic 이상의 이득, 4dB 이하의 축비 특성을 가진다.

Abstract

This paper presents a simulation-based design method of a small wideband circularly-polarized antenna. The proposed antenna consists of an upper substrate, a lower substrate, four inverted-F radiating elements, a series feed network, four metal posts enclosed by a dielectric cylinder and a vertical substrate containing two short-circuited subs. Four radiating elements with a tuning strip are placed on the upper substrate. A series feed network is placed on the lower substrate and provides four radiating element with a signal of an equal magnitude and a successive 90° phase delay at each radiating element. A wideband circularly-polarized antenna having optimum characteristics is designed by adjusting the length of the shorted strip and the distance between the upper and lower substrates. A commercial simulation tool has been employed in the design. The designed antenna has 70×70×14mm³, a reflection coefficient of less than -10dB, a gain greater than 3.2dBic and an axial ratio of less than 4dB at 0.865–0.928GHz.

Keywords

small antenna, wideband antenna, inverted-F antenna, circular polarization, simulation

* 충북대학교 대학원 전자통신공학전공 박사과정
- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0001-7364-9984>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0003-0385-4039>
- ORCID³: <https://orcid.org/0009-0008-6185-5615>
- ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0002-4675-9667>
** (주)네오세미텍 대표이사
- ORCID: <https://orcid.org/0005-4120-4792>
*** (주)테크브릿지 대표이사
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2838-076X>

**** 충남대학교 전자공학과 교수
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5532-7399>
***** 충북대학교 정보통신공학부 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1526-9999>
· Received: Oct. 28, 2023, Revised: Nov. 16, 2023, Accepted: Nov. 19, 2023
· Corresponding Author: Jae-Hyeong Ahn
Dept. of Information and Communication Engineering, Chungbuk National University
Tel.: +82-43-261-2483, Email: jhahn@cbnu.ac.kr

I. 서론

소형 광대역 원편파 안테나는 무선인식, 저전력 광역망 통신 등의 용도로 휴대 장비에 사용되는 장치로서 소형화에 관한 많은 연구가 진행되고 있다 [1][2]. 무선인식의 경우 사물에 부착된 태그와 리더기 사이를 무선으로 연결하여 해당 물체에 대한 정보를 얻는 장치이며 이때 선형편파 태그의 자세가 임의적이므로 리더기에서는 원편파를 사용하여 송신과 수신을 한다[3][4]. 저전력 광역망 통신의 경우에 소형 종단 단말기에 부착되는 안테나가 임의 방향이 될 수 있으므로 기지국 장비나 라우터 장비에는 원편파 안테나를 사용하는 것이 유리하다.

전 세계에서 사용되는 무선인식 대역 주파수 범위는 0.865-0.928GHz이며, 각국마다 이 주파수 범위 중에서 특정 대역을 할당하고 있다. 이 주파수 대역 중에서 국가별로 0.868 GHz, 0.915 GHz, 0.920 GHz 대역은 저전력 광역망 통신에 사용되기도 한다. 전체 주파수 대역을 모두 커버하기 위해서는 비교적 큰 크기의 안테나가 요구된다[5][6]. 이와 같은 안테나들은 비교적 넓은 주파수 범위에서 반사계수뿐만 아니라 충분한 축비 특성을 얻을 수 있는 반면에 축비 범폭이 제한적이고 안테나 크기로 인해 휴대용으로 사용되는데 한계가 있다.

이와 같은 문제들을 해결하기 위하여 국가별 사용 주파수 대역에 맞춘 소형 광대역 원편파 안테나에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 휴대에 적합한 무선인식 리더 안테나로서 방사소자 표면에 교차 슬롯[6], U-자형 슬롯[7] 및 아령 형태의 슬롯[8] 등을 배치함으로써 안테나 크기를 충분히 줄일 뿐만 아니라 원하는 원편파 특성을 얻는 구조가 발표되었다. 또한 4개의 방사소자에 연속적으로 90°의 위상차를 공급하여 소형 원편파 안테나가 소개되기도 하였다 [9]. 이와 같은 소형 원편파 안테나는 좁은 반사계수 및 축비 대역폭이 충분하지 않아서 전세계 무선인식 주파수 대역에서 동작하지 않는 한계가 있다. 예로서 참고문헌 [10]의 안테나는 대각선 크기가 0.19파장으로 소형인 반면 동작 주파수는 0.909-0.918GHz로서 대역폭이 0.9%로서 매우 협대역 특성을 보인다.

종래에는 안테나 개발에 있어서 이론과 실험에 기반한 설계 결과를 제작 및 측정을 통해 확인하는

방법이 사용되었다. 최근 수년간 컴퓨터 하드웨어와 시뮬레이션 기술의 비약적 발전으로 시뮬레이션 툴을 사용한 안테나 설계가 가능한 단계가 되었다. 몇몇 특수한 경우를 제외하고 학술논문에서 CST Studio Suite와 ANSYS HFSS 같은 시뮬레이션 툴의 결과와 측정 결과가 잘 일치하여 현재에는 시뮬레이션만으로도 안테나 설계가 가능하게 되었다.

본 논문에서는 0.865-0.928GHz 주파수 범위에서 동작하며(7% 대역폭) $70 \times 70 \times 14 \text{mm}^3$ 크기의 소형(0.9GHz에서 대각선 크기 0.30파장)인 안테나를 시뮬레이션 툴을 기반으로 설계하였다. 대역폭이 증가된 역 F형 안테나 4개를 상부 기판에 배치하고 급전 회로망을 하부 기판에 배치하였다. 제안된 안테나의 기본 동작 원리를 설명하고 최적 설계된 안테나의 치수와 성능을 제시하였다.

II. 안테나 구성요소 설계

그림 1은 본 논문에서 설계한 소형 광대역 원편파 안테나의 구조이다. 제안된 안테나는 4개의 방사소자가 인쇄된 상부 기판, 각 방사소자에 동일 전력과 연속적으로 90°의 위상차를 공급하는 급전 회로망이 인쇄된 하부 기판, 2개의 단락 스텐브가 인쇄된 4개의 수직 기판, 방사소자 급전용 4개의 금속봉과 이를 둘러싼 원통형 유전체로 구성된다. 수직 기판에는 2개의 얇은 단락 스텐브가 인쇄되어 방사소자와 하부 기판 뒷면의 접지면을 전기적으로 연결된다. 4개의 금속봉은 원통형 유전체로 둘러싸여 있으며 방사소자와 급전 회로망을 전기적으로 연결할 뿐만 아니라 상부 기판과 하부 기판을 견고하게 조립하는 기능을 동시에 수행한다.

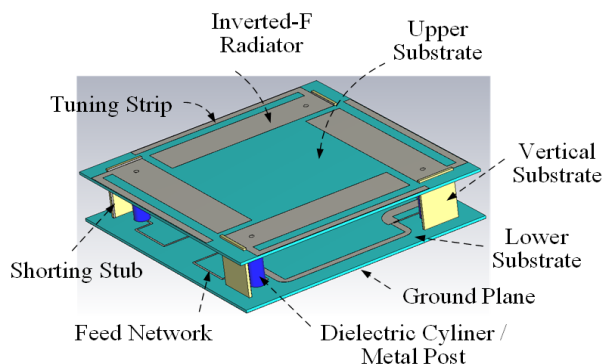


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of the proposed antenna

제안된 안테나는 두께 0.76mm, 유전상수 3.2, 손실 탄젠트 0.003을 갖는 Isola 사의 IS680 기판을 이용하여 설계되었다. 표 1은 본 논문에서 설계된 소형 광대역 원편파 안테나의 설계규격이다. 통상적으로 축비 규격을 3dB로 설정하는 소형 안테나의 경우 이를 완화하여 축비를 최대 6dB까지 규격화하기도 한다. 축비 3dB와 6dB의 경우 편파 정합손실이 0.13dB와 0.45dB로 약 0.32dB 차이가 발생하지만 이러한 손실을 감수하고라도 광대역 주파수 범위에서 사용할 현실적인 필요가 있기 때문이다.

표 1. 제안된 안테나의 설계규격
Table 1. Design specifications of the proposed antenna

Parameters	Value
Frequency(GHz)	0.865–0.928
Polarization	LHCP
Gain(dBic)	≥ 3
Reflection coefficient(dB)	≤ -10
Axial ratio(dB)	≤ 4
Size(mm)	$\leq 70 \times 70 \times 15$

그림 2은 방사소자의 급전 구조를 설명한 것으로 그림 1의 상/하부 기판의 유전체 부분을 제거한 모습이다. 본 논문에서 사용한 방사소자는 역 F형 안테나이다. 급전 회로망으로부터 전달받은 전력은 원통형 유전체로 둘러싸인 금속봉을 거쳐 방사소자에 전달된다. 금속봉 하단은 급전 회로망과 전기적으로 연결된 후 하부기판의 비아홀을 통과하여 하부기판 뒷면의 금속패드에 땀납으로 연결된다.

금속봉 연결 패드 주변에는 별도의 환형 링이 있어서 금속봉이 하부기판 뒷면의 접착면에 단락되는 것을 방지한다. 수직 기판에 인쇄된 2개의 선로는 방사소자와 접지판을 연결함으로써 임피던스 정합을 용이하게 하는 단락 스텐브의 역할을 한다.

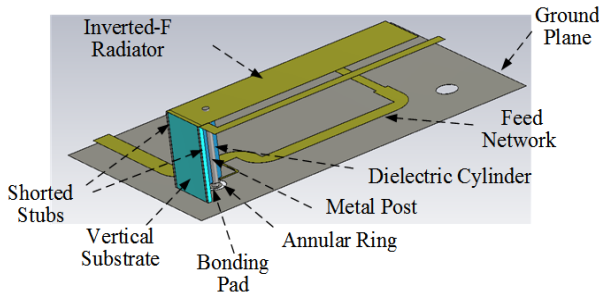
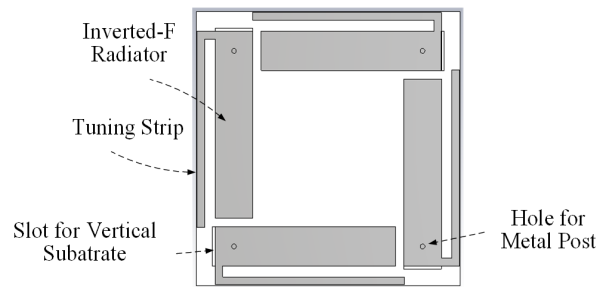
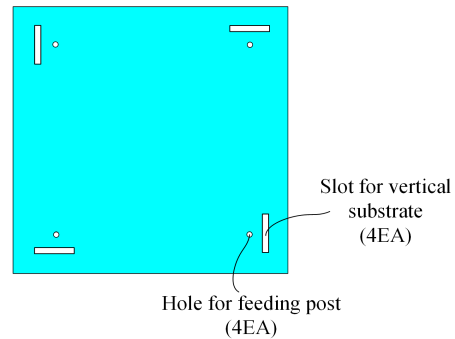


그림 2. 방사소자 급전구조
Fig. 2. Structure for feeding the radiating element

그림 3은 방사소자가 인쇄된 상부 기판의 윗면과 아랫면 형상이다. 기판의 윗면에는 4개의 방사소자가 위치하고 방사소자 급전용 금속봉과 수직 기판을 연결하기 위한 슬롯들이 배치되어 있다. 소형이면서 넓은 대역폭을 얻기 위해 그림 3(a)와 같은 구조를 적용하였다. 안테나 크기를 충분히 줄이기 위하여 방사소자는 좁은 폭을 갖는 튜닝 스트립이 전기적으로 연결된 모노폴 소자를 적용하였다. 상부 기판의 아랫면은 금속봉과 수직 기판을 기구적으로 연결할 수 있는 슬롯과 홀이 존재한다.



(a) 상부 기판 윗면
(a) Upper substrate front side



(b) 상부 기판 뒷면
(b) Back side

그림 3. 방사소자

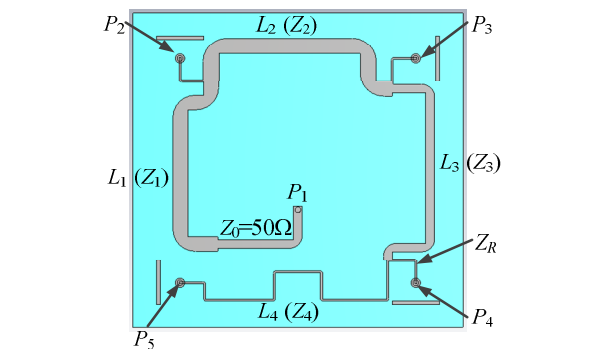
Fig. 3. Radiating element

그림 4는 급전 회로망이 설치된 하부기판의 앞면과 뒷면의 형상이다. 하부기판의 앞면에는 동축 케이블로부터 입력된 신호를 동일 전력과 순차적으로 90°의 위상차를 갖는 신호를 공급하는 직렬급 전 방식의 급전 회로망이 배치된다. 하부기판의 뒷면에는 금속봉과 수직 기판을 고정할 수 있는 비아홀과 슬롯이 있다.

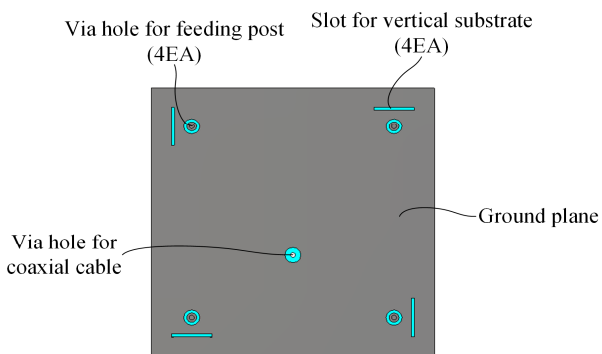
그림 4(a)의 급전 회로망은 5개의 포트(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)로 구성되며 포트 1(P_1)은 특성 임피던스 50 Ω을 갖는 동축 케이블과 직접 연결된다.

포트 1에서 입사된 전력은 나머지 4개의 포트에 동일 전력과 연속적으로 90°의 위상차를 갖는 신호로 분배된다. 그림 4(a)의 급전 회로망에서 포트 1과 연결된 선로의 특성 임피던스는 50Ω이고 나머지 4개 포트와 연결되는 가지(Branch) 선로의 특성 임피던스(Z_R)는 모두 100Ω으로 하였다. 그림 4의 급전 회로망은 각 가지 선로에서 전력 분배 조건과 임피던스 정합 조건을 고려하여 설계하였다.

포트 2(P_2)를 구성하는 T-접합에서부터 시작하여 100Ω의 특성 임피던스를 갖는 가지 선로와 연결되는 포트 4까지 순차적으로 설계하여 최적화하였다. 각 선로(L_1-L_4)의 특성 임피던스와 길이를 아래에 제시하였다. 다른 선로에 비해 L_4 가 길어진 것은 각 접합부에서 방사소자로 연결되는 가지 선로의 길이가 포함되기 때문이다. 설계된 급전 회로망의 치수는 다음과 같다(단위: mm): $Z_1=35.4\Omega$, $Z_2=33.3\Omega$, $Z_3=50.0\Omega$, $Z_4=100.0\Omega$, $L_1=55.52$, $L_2=61.83$, $L_3=58.18$, $L_4=69.95$.



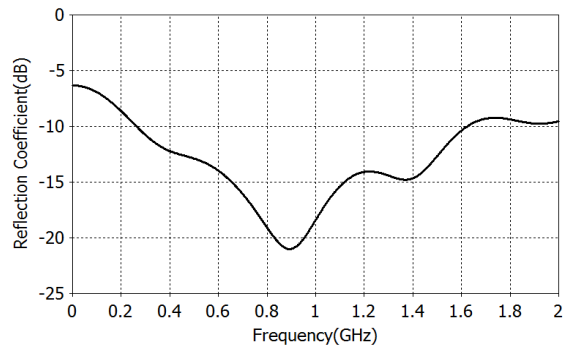
(a) 하부기판 앞면
(a) Lower substrate front side



(b) 하부기판 뒷면
(b) Back side

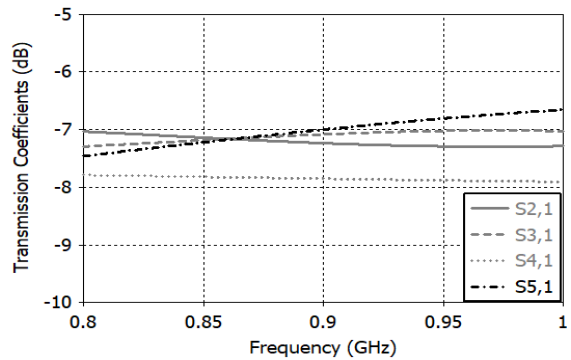
그림 4. 급전 회로망
Fig. 4. Feed network

그림 5는 설계된 급전 회로망의 성능이다. 그림 5(a)로부터 설계된 급전 회로망은 설계 주파수 865-928MHz에서 -18dB 이하의 반사계수 성능을 가짐을 확인할 수 있다. 그림 5(b)에 의하면 입력포트에서 각 출력포트로의 전달계수는 -7.9dB에서부터 -7.0 dB의 값을 보인다. 이는 평균값 -7.45dB에서 ±0.45dB의 오차를 갖는 값이다. 이상적인 경우 각 포트로의 전달계수는 -6dB이다.



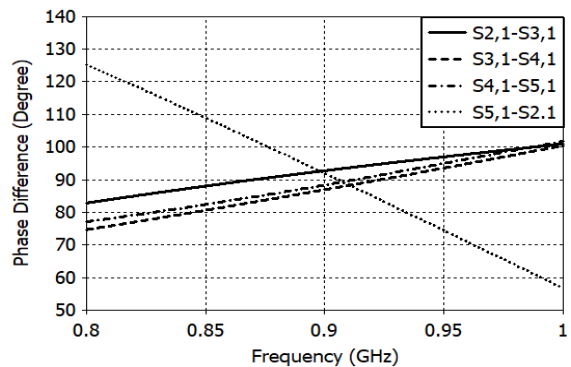
(a) 반사계수

(a) Reflection coefficient



(b) 전달계수

(b) Transmission coefficient



(c) 포트 간 위상차

(c) Transmission phase difference

그림 5. 설계된 급전 회로망의 성능

Fig. 5. Performances of the designed feed network

이를 기준으로 급전 회로망은 평균 1.45dB의 손실을 가진다. 손실의 원인은 마이크로스트립 선로 고유의 손실, 선로로부터의 방사, 불연속 구조에서 여기된 표면파 등에 기인한다. 그림 5(c)에 의하면 출력포트 간 위상차는 82.5°-93.9°로서 평균값은 88.2°를 기준으로 ±5.7°의 오차를 보인다. 평균값은 목표값 90°와 1.8°의 차이를 보인다.

다음으로 상부 기판에 인쇄된 4개 방사소자의 설계 과정을 설명한다. 그림 6은 상부 기판에 배치된 4개의 방사소자와 수직 기판, 유전체로 둘러싸인 금속봉의 설계변수이다. 4개의 방사소자가 배치된 상부 기판의 크기가 제한적이므로 모든 소자가 배열된 경우에서의 상호 결합 효과를 충분히 고려하여야 한다.

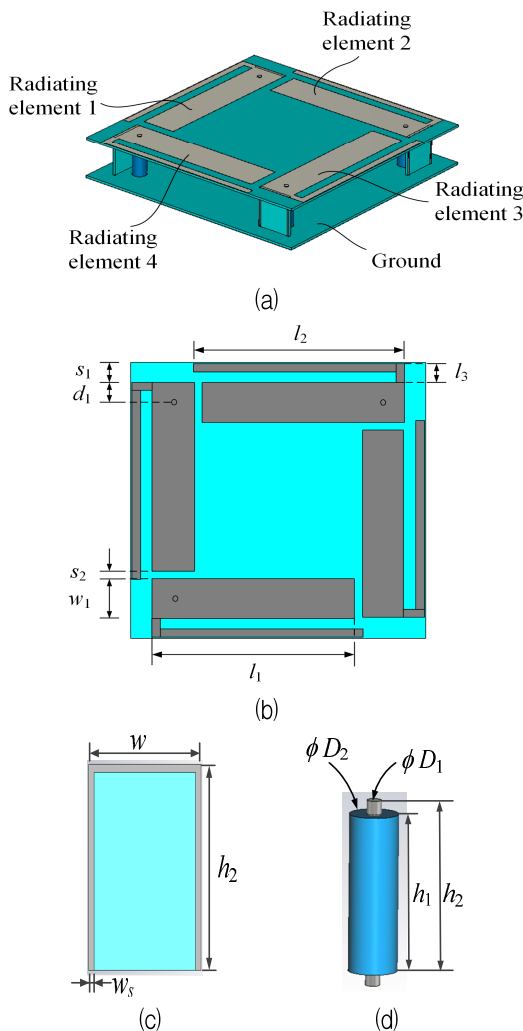


그림 6. 방사소자의 설계변수 (a) 조립된 구조, (b) 방사부, (c) 단락용 스트립, (d) 급전용 금속봉
Fig. 6. Design parameters of the radiating element (a) Assembled structure, (b) Radiator, (c) Shorting strip, (d) Metal post for feeding

방사소자의 최적 설계는 상부 기판 위에 모든 소자가 배치된 상태에서 수행되었다. 초기 방사소자의 치수는 금속봉 하단에 개별적으로 델타 갭 전원을 인가한 후 결정되었다.

다음으로 앞서 설계된 급전 회로망과 금속봉을 직접 연결한 후 전체 안테나를 설계하였다. 각 방사소자의 임피던스 정합은 수 기판의 선로 폭(w)과 상부 기판과 하부기판 사이의 간격 h_1 을 조정하여 정합하였다. 이상과 같이 최적 설계된 안테나의 설계 치수는 다음과 같다 (단위: mm): $l_1=47.20$, $l_2=49.50$, $l_3=4.80$, $d_1=5.00$, $h_1=12.30$, $h_2=14.50$, $D_1=1.27$, $D_2=4.15$, $s_1=5.00$, $s_2=2.80$, $w=10.00$, $w=10.0$, $w_3=0.50$.

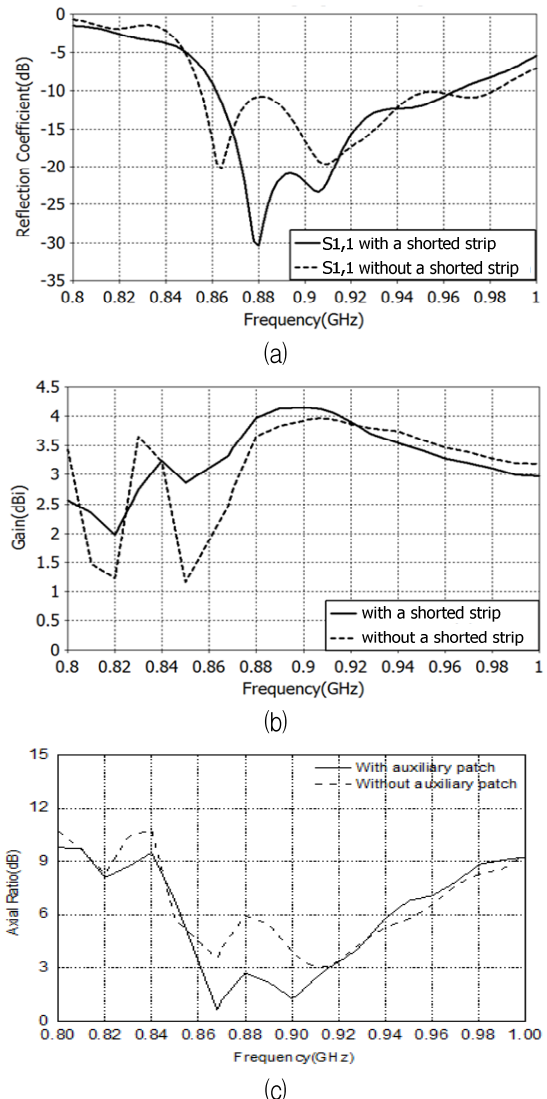


그림 7. 튜닝 스트립의 유무에 따른 안테나 성능 (a) 반사계수, (b) 이득, (c) 축비
Fig. 7. Antenna performances with and without a tuning strip (a) Reflection coefficient, (b) Gain, (c) Axial ratio

본 논문에서는 제안된 안테나의 설계 방법을 설명하기 위하여 변수 조절법을 이용하였다. 그림 7은 방사소자와 직접 연결된 튜닝 스트립의 유무에 따른 안테나 성능이다. 튜닝 스트립이 적용되는 경우 원하는 주파수 범위에서 공진특성을 얻기 위해 역 F형 방사소자의 길이를 재조정할 필요가 있다. 튜닝 스트립이 없는 경우 반사계수 대역폭은 증가하나 전체 특성이 나빠짐을 알 수 있다. 반면에 튜닝 스트립이 적용된 경우 반사계수 대역폭은 다소 줄어들지만 임피던스 정합 특성이 보다 개선됨을 알 수 있다.

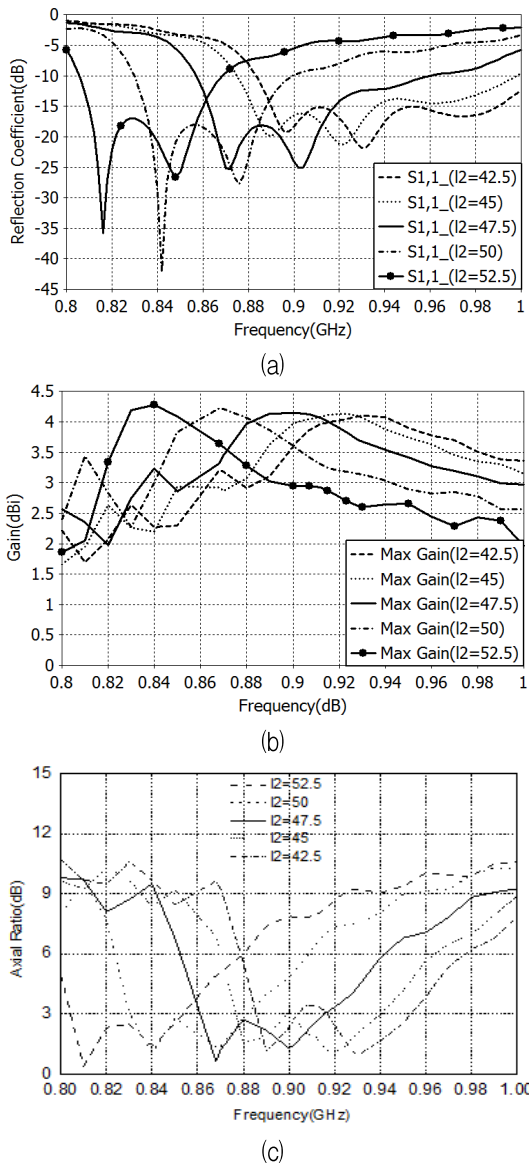


그림 8. 튜닝 스트립의 길이 l_2 에 따른 안테나 성능
(a) 반사계수, (b) 이득, (c) 축비

Fig. 8. Antenna performance versus the tuning strip length l_2
(a) Reflection coefficients, (b) Gain, (c) Axial ratio

튜닝 스트립이 있는 경우 주파수 0.865-0.928GHz에서 안테나의 이득은 3.2dBic 이상이며, 축비는 4dB 이하이다. 튜닝 스트립의 사용으로 안테나 특성의 개선됨을 확인할 수 있다.

그림 8은 튜닝 스트립의 길이 l_2 의 변화에 따른 안테나 성능이다. 튜닝 스트립의 길이 l_2 가 증가할 경우 동작 주파수가 낮아짐을 알 수 있다. 주파수별 안테나 이득 및 축비 특성에 있어서 튜닝 스트립 길이의 증가와 함께 동작 주파수 대역이 낮아짐을 알 수 있다. 따라서 튜닝 스트립의 길이를 조정하여 원하는 주파수 범위를 얻을 수 있다.

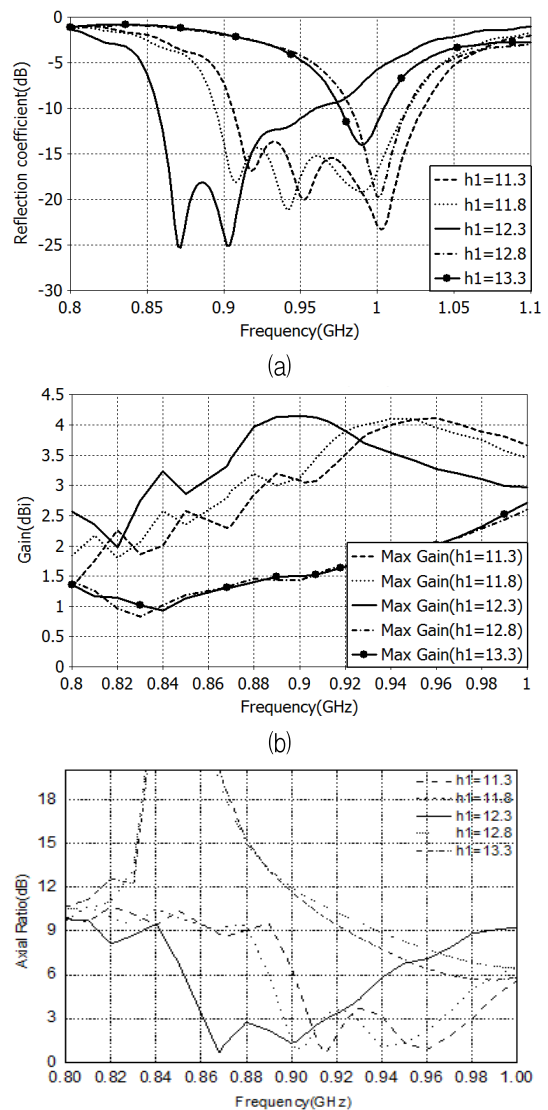


그림 9. 높이 h_1 에 따른 안테나 특성
(a) 반사계수, (b) 이득, (c) 축비

Fig. 9. Antenna performance versus height h_1
(a) Reflection coefficients, (b) Gain, (c) Axial ratio

그림 9는 상부 기판과 하부기판 사이의 높이 h_1 의 변화에 따른 안테나 특성이다. 높이 h_1 이 11.8-12.8mm 범위를 벗어나는 경우(11.3mm 혹은 13.3mm) 동작 대역폭이 줄어들 뿐만 아니라 임피던스 정합이 악화된다. 뿐만 아니라, 안테나 이득이 저하되고 축비가 증가한다. 간격 h_1 이 11.8-12.8mm 범위에 있는 경우에도 안테나 성능이 h_1 의 변화에 민감함을 알 수 있다. 따라서 두 기판 사이의 간격 h_1 은 충분한 계산 결과를 바탕으로 선정하였다.

III. 안테나 조립체 성능

그림 10은 이상과 같이 최적 설계된 안테나 구성 요소를 조립하여 완성한 소형 광대역 원편파 안테나의 모습이다. 안테나의 급전을 위해 하부기판 뒷면에 동축케이블을 직접 연결하였다.

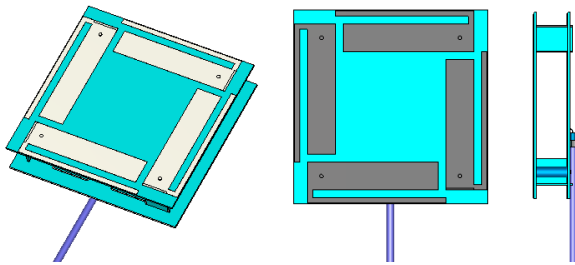


그림 10. 설계된 소형 RFID 리더 안테나
Fig. 10. Designed small RFID reader antenna

그림 11은 최종 설계된 안테나의 반사계수이다. 주파수 0.856-0.960GHz 범위에서 -10dB 이하의 반사계수 성능을 보인다. 설계목표는 0.865-0.928GHz 범위에서는 -10dB 이하의 반사계수 특성이다.

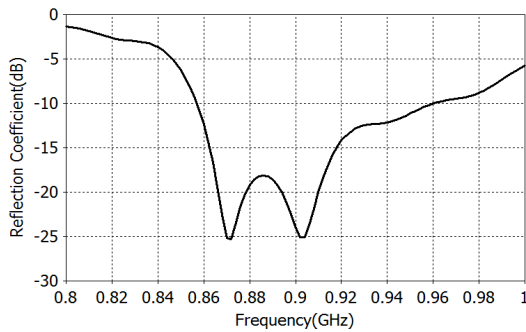
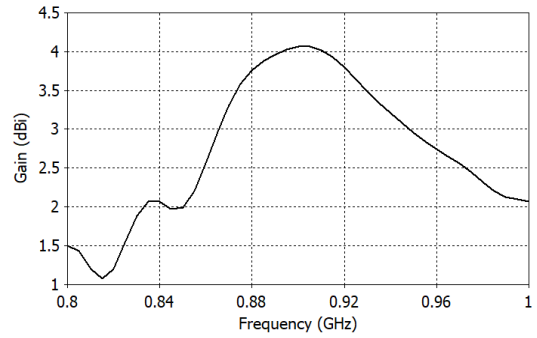
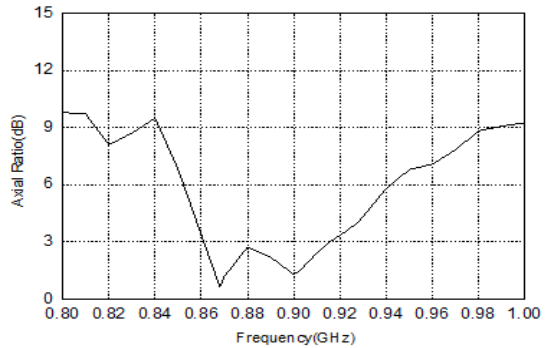


그림 11. 설계된 안테나의 반사 계수
Fig. 11. Reflection coefficient of the designed antenna

그림 12는 최종 설계된 안테나의 주파수에 따른 이득과 축비 특성이다. 그림 12(a)의 주파수별 안테나 이득으로서 원하는 주파수 0.865-0.928GHz에서 3.2dBic 이상의 이득 특성을 얻었다. 그림 12(b)는 주파수 0.865-0.928GHz에서 안테나의 축비가 4dB 이하임을 보인다.



(a)



(b)

그림 12. 설계된 안테나의 성능 (a) 이득, (b) 축비
Fig. 12. Performance of the designed antenna
(a) Gain, (b) Axial ratio

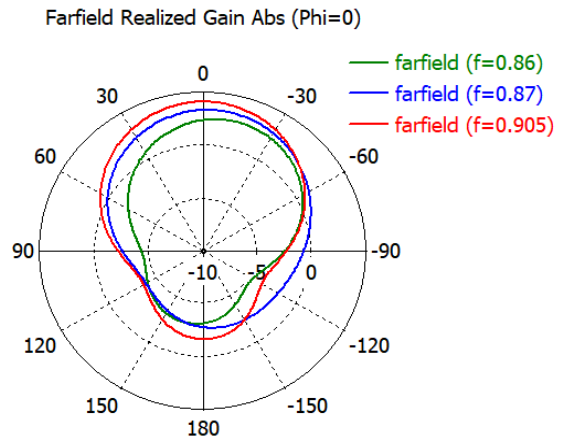


그림 13. 설계된 안테나의 이득 패턴 ($\phi = 0^\circ$)
Fig. 13. Gain patterns of the designed antenna ($\phi = 0^\circ$)

그림 13과 그림 14는 주파수 0.86GHz, 0.87GHz, 0.905GHz에서의 설계된 안테나의 이득 패턴을 $\phi = 0^\circ$ 인 면과 $\phi = 90^\circ$ 인 면에서 보인 것이다. 원편파 안테나에서 예상되듯이 두 평면에서의 이득 패턴 상의 빔폭이 유사함을 알 수 있다.

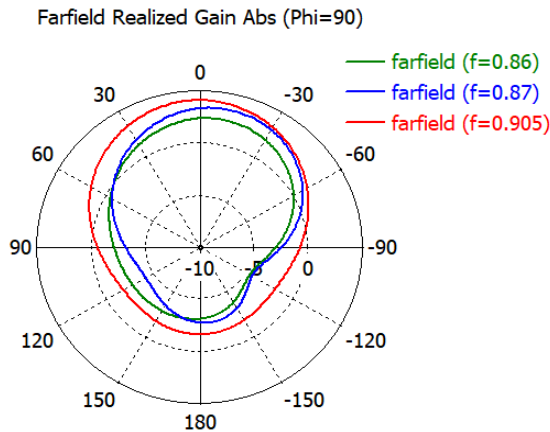
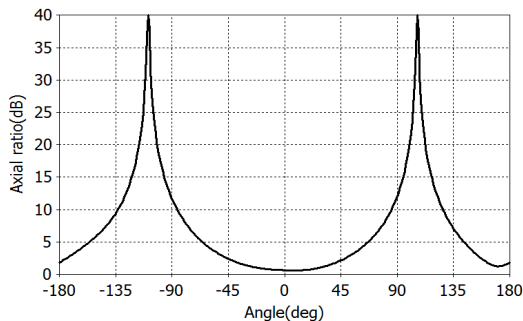
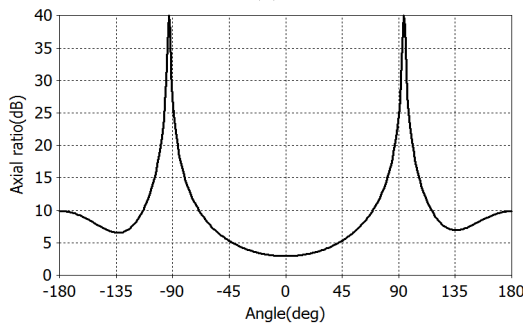


그림 14. 설계된 안테나의 이득 패턴 ($\phi = 90^\circ$)
 Fig. 14. Gain patterns of the designed antenna ($\phi = 90^\circ$)



(a)



(b)

그림 15. 설계된 축비패턴 (a) 0.868GHz, (b) 0.915GHz
 Fig. 15. Axial ratio patterns of the designed antenna (a) 0.868GHz, (b) 0.915GHz

그림 15는 주파수 0.868GHz와 0.915GHz에서의 설계된 안테나의 축비 패턴을 보인 것이다.

0.868GHz에서 최소 축비는 안테나면 법선 기준 0° 에서 발생하며 그 값은 0.7dB이다. 0.868GHz에서 5dB 축비 빔폭은 131° 이다. 주파수 0.915GHz에서 최소 축비는 2.9dB이며 5dB 축비 빔폭은 82° 이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2층 기판으로 구성되고 4개의 모노폴 방사소자와 직렬 방식의 급전 회로망을 갖는 소형 광대역 원편파 안테나를 시뮬레이션 기반으로 설계하였다. 방사소자로서 튜닝 스트립을 가지는 역 F형 안테나 4개를 사용하였다. 직렬 급전 회로망을 이용하여 가지 선로에서 단계별로 최적 설계하여 포트별 -7.9dB부터 -7.0dB의 전달계수와 82.5° - 93.9° 범위의 포트 간 위상차를 얻었다. 각 방사소자와 급전 회로망은 원통형 유전체로 둘러싸인 금속봉에 의해 연결되며 수직 기판에 인쇄된 2개의 단락 스테브를 사용하여 임피던스 정합 특성을 얻었다. 튜닝 스트립의 길이와 2층 기판 사이 간격을 조정하여 이득과 축비 특성을 최적화하였다. 본 논문에서 설계한 안테나는 0.865-0.928 GHz에서 -10dB 이하의 반사계수, 3.2dBic 이상의 이득 및 4dB 이하 축비 특성을 가진다. 본 연구의 결과는 소형 광대역 원편파 특성이 요구되는 서비스의 휴대장치 안테나 구현에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

References

[1] K. Finkenzeller, RFID Handbook, 2nd Ed. New York, Wiley, 2004.
 [2] Z. H. Chen, X. M. Qing, and H. L. Chung, "A universal UHF RFID reader antenna", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 57, No. 5, pp. 1275-1282, May 2009. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2009.2017290>.
 [3] E. D. Giampaolo, F. Martinelli, and F. Romanelli, "Exploiting polarization mismatch to estimate the orientation of rotating UHF RFID tags", IEEE Journal of Radio Frequency Identification, Vol. 7, pp. 284-292, Mar. 2023. <https://doi.org/10.1109/JRFID.2023.3263383>.

- [4] F. Xue, Y. Zhang, J. Li, and H. Liu, "Circularly polarized cross-dipole antenna for UHF RFID applicated in the warehouse environment", *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 38654-38664, Mar. 2023. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3253542>.
- [5] R. Cao and S.-C. Yu, "Wideband compact CPW-fed circularly-polarized antenna for universal UHF RFID reader", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 63, No. 9, pp. 4148-4151, Sep. 2015. <https://doi.org/10.1109/TAP.2015.2443156>.
- [6] Z. Wang, S. Fang, S. Fu, and S. Jia, "Single-fed broadband circularly-polarized stacked patch antenna with horizontally meandered strip for UHF RFID applications", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 59, No. 4, pp. 1066-1073, Apr. 2011. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2011.2114010>.
- [7] C. Phatra and P. Krachodnok, "A circularly polarized antenna for UHF RFID reader", 2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, May 2014. <https://doi.org/10.1109/ECTIC on.2014.6839812>.
- [8] K. Park, S. Xu, J. Heo, O. Delger, B.-C. Ahn, and G.-Y. Ariuand, "Design of a circularly-polarized UHF RFID reader antenna with four dumbbell slots", *Journal of KIIT*, Vol. 21, No. 5, pp. 61-68, May 2023. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.5.61>.
- [9] J.-H. Bang, C. Bat-Ochir, H.-S. Koh, E.-J. Cha, and B.-C. Ahn, "A small and lightweight antenna for handheld RFID reader applications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 11, pp. 1076-1079, Sep. 2012. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2012.2217311>.
- [10] S. Liu, Z. Wang, and Y. Dong, "Electrically small circularly polarized antenna based on capacitively loaded loop", *IEEE Antennas and*

Wireless Propagation Letters, Vol. 21, No. 9, pp. 1767-1771, Sep. 2022. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2022.3179520>.

저자소개

오트건бат 델겔 (Otgonbat Delger)



2014년 1월 : Mongolian University of Science and Technology, 전기공학(석사)
2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학 박사과정
관심분야 : 안테나, RF, 초고주파

김 선 각 (Sun Kak Kim)



1995년 8월 : 충북대학교
경영학과(학사)
2016년 2월 : 충북대학교
나노반도체공학(석사)
2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 박사과정
2015년 5월 ~ 현재 : (주)

네오세미텍 대표이사

관심분야 : 전자회로, 유무선통신, 반도체

장 경 월 (Qiongyue Zhang)



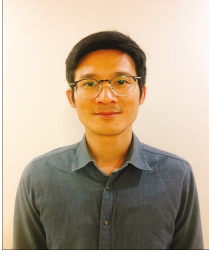
2017년 8월 : 충북대학교
국어국문학과(학사)
2019년 2월 : 충북대학교
전파통신공학과(석사)
2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 박사과정
관심분야 : 안테나 설계

박 정 용 (Jungyong Park)



2010년 2월 : 충북대학교
정보통신공학부(학사)
2012년 8월 : 충북대학교
전기공학과(석사)
2017년 8월 ~ 현재 : (주)테크브릿지
대표이사
관심분야 : 회로설계, 유무선 통신

류 충 한 (Choonghan Ryu)



2006년 3월 : 성균관대학교
화학공학/고분자공학부(학사)
2008년 3월 : 성균관대학교
화학공학/고분자공학부(석사)
2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 박사과정
관심분야 : 고주파 반도체, 통신

안 유 진 (Youjin Ahn)



2021년 2월 : 충남대학교
전기전자통신공학교육과(학사)
2021년 3월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통과공학과 석박사통합 과정
관심분야 : 무선네트워크, 안테나

김 철 영 (Choul-Young Kim)



2002년 2월 : 충남대학교
전자공학과(학사)
2004년 2월 : 한국과학기술원
전자공학과(석사)
2008년 2월 : 한국과학기술원
전자공학과(박사)
2011년 3월 ~ 현재 : 충남대학교

전자공학과 교수

관심분야 : 레이더, MMIC, 시스템

안 재 형 (Jae-Hyeong Ahn)



1991년 8월 : 한국과학기술원
전기 및 전자공학과(공학박사)
1987년 ~ 현재 : 충북대학교
정보통신공학부 교수
관심분야 : 영상처리 및 영상 정보
처리, 멀티미디어 제작 및 정보
제공, 인터넷 통신 및 프로그래밍