



C-대역 데이터링크용 고이득 평판 안테나 설계

장경월*¹, 이주*², 이동국**¹, 방재훈**², 안병철***

Design a High-Gain Planar Antenna for C-Band Data-Link Applications

Qiong-Yue Zhang*¹, Li-Shu*², Dong-Kook Lee**¹, Jae-Hoon Bang**², and Bierng-Chearl Ahn***

본 논문은 중소기업청 창업성장기술개발과제(S2433412)의 지원에 의해 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 주파수 5.0~5.8GHz에서 동작하는 고이득 평판 안테나를 설계, 제작하였다. 제안된 안테나는 사각 금속함, 커플링 패드를 포함한 급전회로망, 스페이서 역할을 하는 우레탄 폼, 방사 소자 및 레이돔으로 구성된다. C-대역에서 주파수 대역폭을 충분히 만족하기 위해 전자기적 결합 방식의 패치 안테나를 이용하였다. 평판 안테나의 급전회로망은 균일전력분배 방식으로 설계하였다. C-대역에서 최소 27dBi의 이득을 얻기 위하여 평판 안테나의 가로 축 및 세로 축으로 각각 16개의 방사 소자를 36mm로 배열 하였다. 본 논문의 유용성을 확인하기 위하여 최종 설계된 16×16 배열 안테나를 제작, 측정하였다. 측정된 안테나는 주파수 4.83~5.91GHz에서 2.5이하의 정재파 특성과 27.8~28.4dBi의 이득을 갖는다.

Abstract

In this paper, a high-gain planar antenna is designed and fabricated at 5.0~5.8GHz. The proposed antenna consists of a rectangular metallic block, a feed network including coupling pads, a polyurethane foam as a spacer, radiating elements and a radome. The electromagnetic coupling patches are employed for satisfying required frequency bandwidth in the C-band. The feed network of the planar antenna is designed with uniformly distributed power divisions. In order to obtain the minimum gain of 27 dBi at C-band, 16 elements having the array with a space of 36mm are arranged in transverse and longitudinal axes, respectively. To confirm the usefulness of the proposed antenna, the 16×16 array antenna is designed and implemented. The implemented antenna has a VSWR of less than 2.5 and a maximum gain of 27.8~28.4dBi over 4.83~5.91GHz.

Keywords

C-band data-link, EM coupled patch, planar antenna, patch array, feed network

* 충북대학교 전자통신공학과

- ORCID¹: <http://orcid.org/0000-0003-0385-4039>

- ORCID²: <http://orcid.org/0000-0003-2674-9004>

** 두타기술(주)

- ORCID¹: <http://orcid.org/0000-0002-5554-9805>

- ORCID²: <http://orcid.org/0000-0003-3900-0019>

*** 충북대학교 전자통신공학과(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7977-8760>

· Received: Jan. 22, 2018, Revised: Mar. 12, 2018, Accepted: Mar. 15, 2018

· Corresponding Author: Bierng-Chearl Ahn

Dept. of Radio and Communication Eng., Chungbuk National University,

Cheongdae-ro 1, Cheong-ju city, Chungbuk, Korea

Tel.: +82-43-261-3194, Email: bician@cju.ac.kr

1. 서론

무인기 시스템은 조종사 없이 무선 데이터링크를 이용하여 비행체의 상태 정보 확인, 임무 전달, 운행 경로 지정 등을 수행한다. 무인기용 데이터링크는 상태 및 임무 정보를 제공하는 지상통신장치와 무인기에서 수집된 정보를 전송하고 지상으로부터의 명령을 받는 탑재통신장치로 구분된다[1][2]. 데이터링크에서 지상통신장치와 탑재통신장치 간의 가시선 거리를 증가시키기 위해서는 흔히 고이득 안테나가 적용된다.

C-대역 고이득 안테나 형식으로는 반사경 안테나 [3][4], 혼 배열 평판 안테나[5][6], 패치형 배열 안테나[7]-[9] 등이 있다. 반사경 안테나는 반사경, 급전 피드와 주변 구조물에 의해 부피가 커지는 문제가 있고, 혼 배열 안테나는 금속 재질로 이루어지므로 같은 대역 내에서 안테나의 중량이 증가되어 주변 장비의 하중을 높게 한다. 이와 달리 패치형 배열 안테나는 무게를 충분히 낮출 수 있으나, 충분한 주파수 대역폭을 얻는 데 한계가 있다.

본 논문에서는 데이터링크용 지상통신장치에서 요구되는 패치형 고이득 배열 안테나를 설계, 제작하였다. 주파수 5.0~5.8GHz 범위에서 충분한 정재파 성능과 이득 특성을 얻기 위해 전자기적 결합 방식에 의한 광대역 패치 구조를 제안하였다. C-대역 데이터링크용 고이득 평판 안테나의 설계 및 제작 과정은 다음과 같다.

II. 안테나 설계

그림 1은 본 논문에서 제안된 C-대역 데이터링크용 고이득 평판 안테나의 구성이다. 제안된 안테나는 사각 금속함 내에 급전 회로망과 커플링 패드가 인쇄된 Taconic®사의 TLX-9 기판, 4mm의 두께를 갖는 폴리우레탄 폼, 방사소자가 배열된 폴리이미드 필름 및 안테나 레이돔용 폴리카보네이트 플라스틱 재료로 구성된다. 표 1은 본 논문에서 제안한 안테나의 설계 규격이다. 본 논문에서는 C-대역에서 14.8% 이상의 대역폭과 최소 27dBi의 최대 이득을 갖는 광대역 평판 안테나를 설계, 제작하였다.

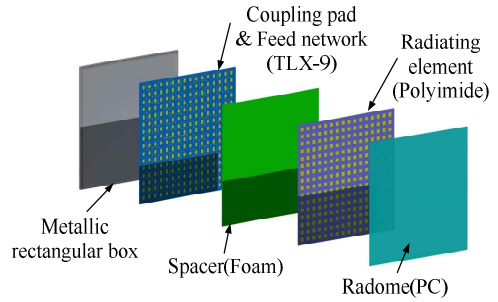


그림 1. 제안된 평판 안테나
Fig. 1. Proposed planar antenna

표 1. C-대역 평판 안테나 규격
Table 1. Specifications of the C-band planar antenna

Parameters	Values
Frequency	5.0 ~ 5.8GHz
Polarization	H-pol.
Gain	greater than 27dBi
Beamwidth	greater than 4°
VSWR	less than 2.5

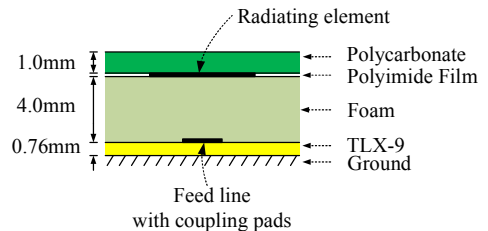


그림 2. 평판 안테나의 측면 형상
Fig. 2. Side view of the planar antenna

표 1에서 보인 주파수 대역폭과 이득 특성을 얻기 위해 방사소자로 전자기적 결합 방식의 패치를 적용하였다. 전자기적 결합 방식을 갖는 패치 안테나의 측면 구조는 그림 2와 같다. 마이크로스트립 선로에 의해 직접 연결되는 사각 패드는 4mm의 두께를 갖는 우레탄 폼 위에 있는 방사소자를 전자기적 결합 방식으로 급전시켰다. 그림 2에 제시된 각 층별 안테나 재료의 유전율과 손실 탄젠트는 표 2와 같다.

본 논문에서 제안된 평판 안테나의 설계 과정은 다음과 같다. 그림 2의 안테나의 층별 구조를 반영하여 단일 패치와 급전회로망을 순차적으로 설계하였다. 다음으로 방사소자의 수를 2배씩 증가하면서

미세 임피던스 튜닝과 이득 최적화 설계를 진행하였다. C-대역 고이득 평판 안테나의 최적 설계에는 CST사에서 제공하는 Microwave Studio™ v. 2016을 이용하였다.

표 2. 각 층별 안테나 재료의 유전율과 손실 탄젠트
Table 2. Dielectric constants and loss tangents for antenna materials at layers

Materials	Dielectric constant(ϵ_r)	Loss tangent($\tan \delta$)
Polycarbonate	2.78	0.003
polyimide film	3.5	0.001
Foam	1.08	0.0009
TLX-9	2.5	0.0019

그림 3은 최적 설계된 단일 패치의 형상과 주요 특성이다. 그림 3(a)에서 실선은 방사 패치의 형상과 치수이고 점선은 커플링 패드와 급전 선로의 정보를 제공한다. 커플링 패드는 100Ω의 마이크로스트립 패치에 직접 연결되고 방사소자는 수직 방향으로 4mm 떨어져 있는 커플링 패드와 전자기적 결합에 의해 동작한다. 그림 3(b)는 단일 패치의 정제파 특성으로 주파수 4.97~5.81GHz에서 2.5 이하를 만족한다. 중심 주파수 5.4GHz에서 단일 패치의 이득 패턴은 그림 3(c)와 같이 8.7dBi의 최대 이득과 대칭적인 전자계면 이득 패턴을 갖는다.

그림 3에서 설계된 단일 패치를 기반으로 16×16 배열 구조를 설계하였다. 단일 패치의 기본 크기가 약 0.5 파장이고 소자 간격이 1파장 이상이 되는 경우 grating lobe가 발생되므로 소자간 간격은 0.6~0.8 파장 범위에서 정하는 것이 바람직하다. 표 1의 안테나 사양을 고려하여 가로 축 및 세로 축 방향으로의 소자 간격을 모두 36mm(중심 주파수에서 0.65 파장)로 하였다. 이와 같은 경우 주파수 5.0~5.8GHz에서 소자 간격은 0.6~0.7 파장의 범위를 갖는다. CST의 MWS 프로그램에서 제공하는 배열 설계 프로그램에 의하면 16×16 배열 구조는 최대 이득 31.6dBi, 3dB 빔폭 4.8°, -13.2dB 이하의 부엽 레벨을 보인다. 계산된 이득 값은 이상적인 경우로 급전회로 손실, 개구 효율에 의한 손실 등이 모두 무시된 경우이다.

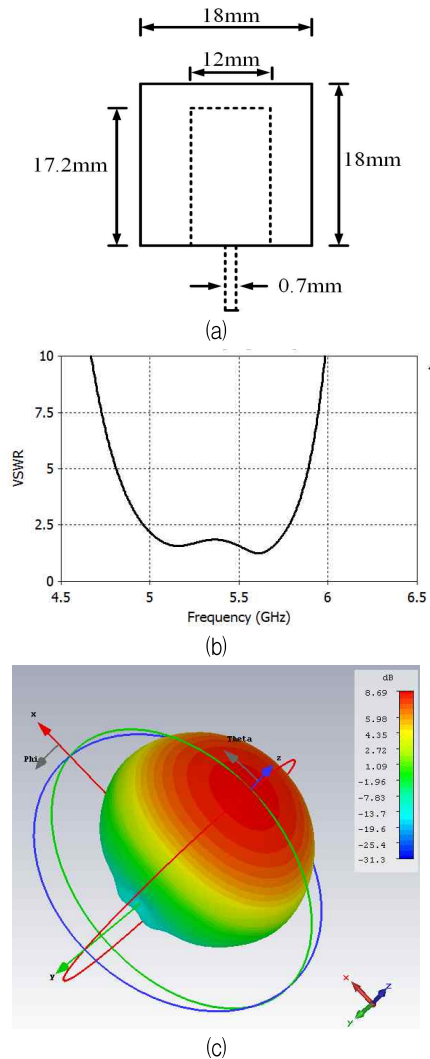


그림 3. 설계된 단일 패치의 (a) 형상 및 치수 (b) 반사계수 (c) 이득 패턴

Fig. 3. (a) Geometry and dimensions, (b) reflection coefficient (c) gain pattern of the designed single patch

다음으로 균일 전력 분배 방식을 갖는 급전회로망을 설계하였다. 그림 4는 2×2 배열 구조에 적용되는 급전회로망의 기본 구조와 설계 결과이다. 급전회로망의 모든 포트(Port 1~ Port 5)와 연결되는 모든 선로는 100Ω의 특성 임피던스를 갖는다. 두 개의 입력 선로를 동일 길이로 연결한 후 다시 100Ω 선로를 연결하기 위해 70.7Ω의 특성 임피던스를 갖는 1/4파장 임피던스 변환기를 배치하였다. 이와 동일한 방법으로 2×2 배열 구조용 급전 회로망을 설계하였다.

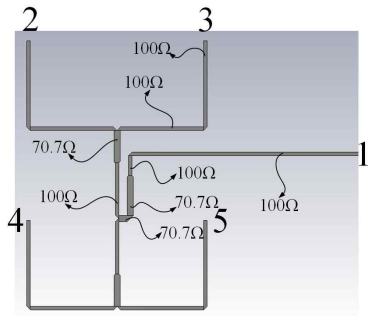


그림 4. 2×2 배열용 급전회로망
Fig. 4. A feed network for the 2×2 array

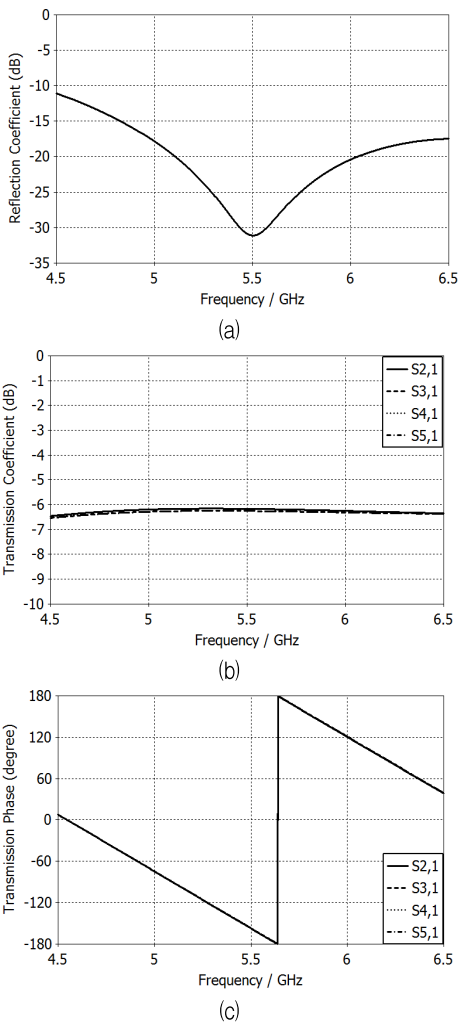


그림 5. 설계된 급전회로망 성능 (a) 반사계수 (b) 전달계수 크기 (c) 전달위상
Fig. 5. Performance on the designed feed network (a) reflection coefficient, (b) transmission magnitude (c) transmission phase

그림 5는 설계된 급전회로망의 성능이다. 설계된 급전회로망은 주파수 5.0~5.8GHz에서 -17.8dB 이하의 반사계수와 -6.15~ -6.2dB의 전달계수 및 동위상 특성을 갖는다.

그림 3의 단일 패치와 그림 4의 급전회로망을 이용하여 2×2 배열 구조를 설계하였다. 2×2 배열 구조는 단일 패치의 커플링 패드와 급전회로망의 1/4 파장 임피던스 변환기의 길이를 미세 조정하여 최적의 정재파 특성을 얻었다. 그림 6은 설계된 2×2 배열 구조의 형상과 주요 성능이다. 2×2 배열 구조는 주파수 4.92~5.82GHz에서 2.5 이하의 정재파비를 만족한다. 또한 동일 주파수 내에서 13.2~14.7dB의 최대 이득과 대칭적인 전자계면 패턴을 갖는다.

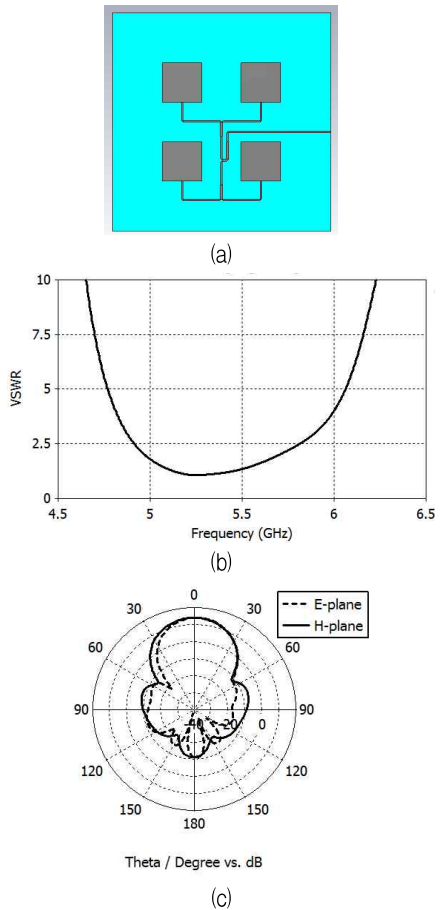


그림 6. 설계된 2×2 배열의 (a) 형상, (b) 반사계수 및 (c) 전자계면 이득 패턴(f = 5.4GHz)
Fig. 6. (a) Geometry, (b) reflection coefficients and (c) E- and H-plane gain patterns(f = 5.4GHz) of the designed 2×2 array

그림 6의 2×2 배열 구조를 기반으로 2×4, 4×4, 4×8, 8×8 배열을 설계하였다. 2×2 배열 구조를 배수로 확장하면서 임피던스 정합 특성을 미세 조정하였다. 안테나 배열 구조가 2배수로 커지는 경우 전체 이득은 약 2.5~3dB 정도 증가되는 것을 확인하였다. 그림 7은 배열 구조에 따른 안테나 반사계수 결과이다. 모든 배열 구조는 주파수 4.89~5.83GHz에서 2.5 이하의 정재파비를 만족한다.

그림 8은 이상의 과정을 통해 최종 설계된 16×16 배열 안테나의 형상이다. 안테나 조립 과정에서 사용되는 볼트의 크기와 위치는 상용 프로그램에 의한 분석 과정을 거쳐 정하였다. 안테나의 최종단은 50Ω 선로로 변환한 후 microstrip-to-coaxial 변환부 [10]를 통해 SMA 커넥터에 연결된다. 최종 설계된 16×16 배열 안테나의 특성은 3장에서 안테나 측정 결과와 함께 제시한다.

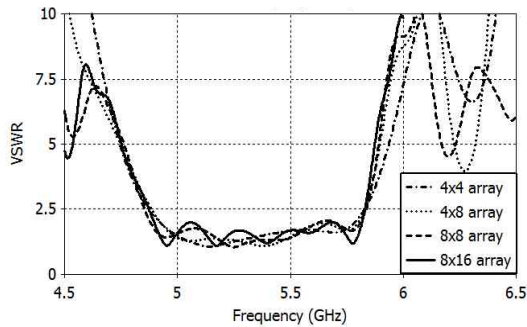


그림 7. 배열 구조에 따른 정재파 성능
Fig. 7. VSWR performance of the array structures

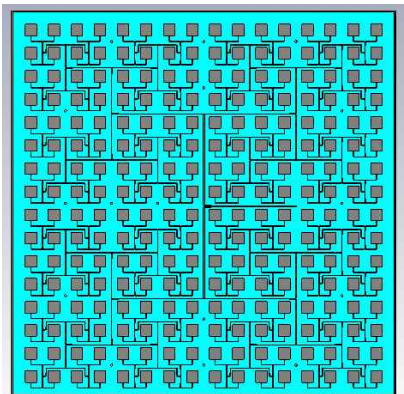
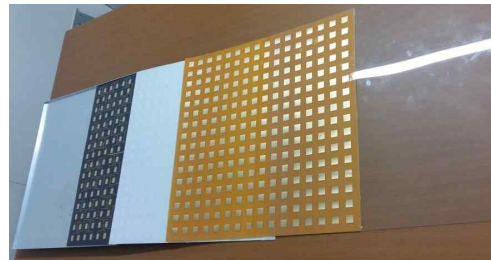


그림 8. 최종 설계된 16×16 배열 안테나
Fig. 8. Finally designed 16×16 array antenna

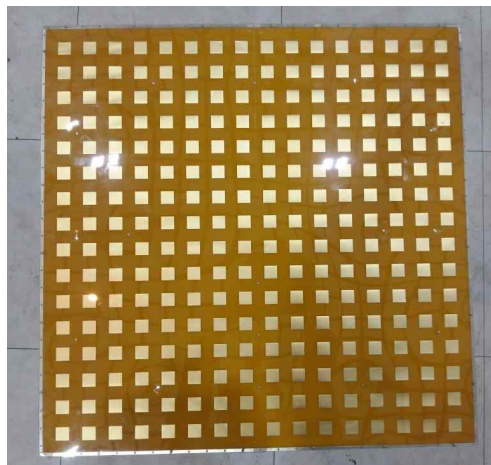
III. 제작 및 측정

그림 8의 최종 설계된 안테나는 실제 제작 및 측정을 통해 성능을 확인하였다. 그림 9(a)는 안테나 제작을 위해 준비된 재료들로 좌측부터 사각 금속함, 커플링 패드와 급전 회로망이 인쇄된 TLX-9 기판, 두께 4.0mm의 우레탄 폼, 방사 소자가 있는 폴리이미드 필름 및 레이돔용 폴리 카보네이트가 순차적으로 배열되어 있다. 그림 9(a)의 사각 금속함에 준비된 안테나 재료를 순차적으로 적층한 후 레이돔 표면에서 저두(Low Head) 볼트로 고정하였다. 사각 금속판 뒷면에는 TLX-9 기판에 인쇄된 급전부와 연결되는 panel mount 형태의 SMA 커넥터가 연결된다.

이상과 같이 제작된 안테나의 성능은 회로망 분석기와 근접전계시스템을 이용하여 측정되었다. 그림 10은 평판 안테나의 정재파 측정 결과이다.



(a)



(b)

그림 9. (a) 안테나 재료 및 (b) 조립된 평판 안테나
Fig. 9. (a) Parts and (b) assembly of the planar antenna

제작된 안테나는 주파수 4.83~5.91GHz에서 본 과제의 규격인 정재파 2.5를 만족한다.

그림 11은 근접전계시스템을 이용한 안테나 이득 패턴 측정 모습이다. 안테나 이득 패턴 측정 과정에서 근접전계시스템의 주요 설정 항목은 표 3과 같다.

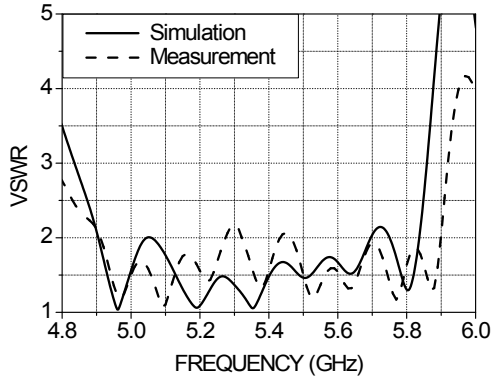


그림 10. 제작된 안테나의 정재파 성능
Fig. 10. VSWR performance of the fabricated antenna

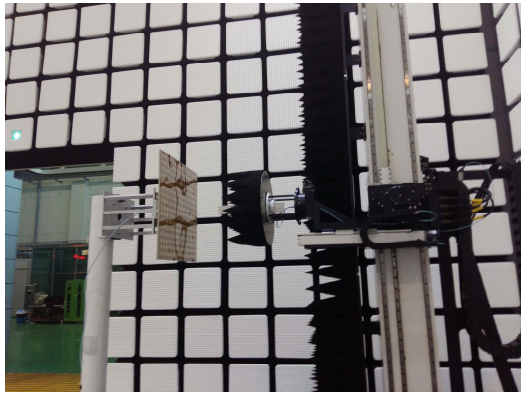


그림 11. 근접전계시스템을 이용한 안테나 이득 패턴 측정

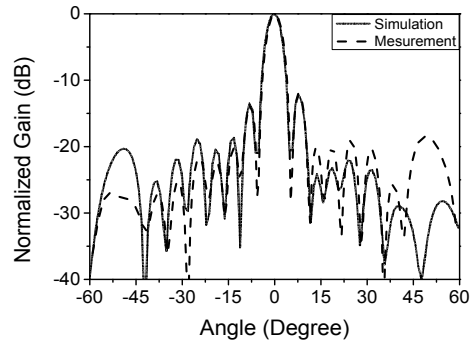
Fig. 11. Measurements of the antenna gain patterns with a near-field system

표 3. 근접전계시스템의 주요 설정

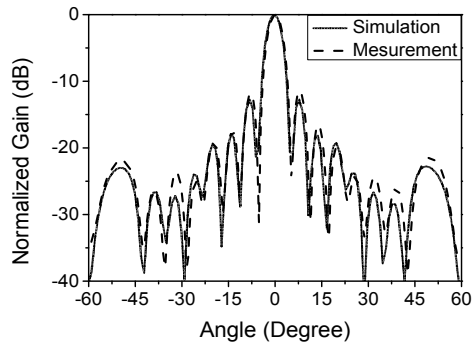
Table 3. Major setup factors in a near-field system

Setup parameters	Values
OEWG probe	WR187(47.5 × 22.1 mm)
Scan area	-72 cm < x, y < 72 cm
Sampling space	$\Delta x = \Delta y = 2.4$ cm (0.43 λ_0 at the center frequency)

그림 12는 근접전계시스템을 이용하여 측정된 주파수 5.4GHz에서의 이득 패턴이다. 전개면 및 자계면에서 계산 결과와 측정 결과가 잘 일치한다. 표 4는 주파수 5.0~5.8GHz에서 0.1GHz 단위로 측정된 평판 안테나의 주요 특성을 정리한 것이다.



(a) E-plane



(b) H-plane

그림 12. 평판 안테나 이득 측정 결과
Fig. 12. Gain pattern measurements of the planar antenna

표 4. 제작된 평판 안테나의 성능

Table 4. Performance of the fabricated planar antenna

f (GHz)	Gain (dBi)	3dB beamwidth		SLL(dB)		Antenna efficiency (%)
		E-plane	H-plane	E-plane	H-plane	
5.0	27.8	5.14°	5.25°	-12.5	-12.2	47.9%
5.1	27.8	5.05°	5.11°	-12.1	-12.2	46.5%
5.2	28.0	5.12°	4.95°	-11.8	-13.6	46.4%
5.3	27.9	4.94°	4.90°	-11.9	-12.1	43.4%
5.4	28.3	4.77°	4.78°	-11.4	-11.9	46.1%
5.5	27.8	4.67°	4.66°	-11.4	-12.2	39.7%
5.6	28.4	4.74°	4.61°	-14.1	-11.7	43.6%
5.7	27.9	4.46°	4.54°	-11.6	-12.1	38.1%
5.8	28.5	4.40°	4.35°	-11.5	-11.9	41.8%

제작된 안테나는 주파수 5.0~5.8GHz에서 27.8~28.4dBi의 최대 이득과 38.1%~47.9%의 개구 효율을 갖는다. 안테나 효율의 최소 값이 38.1%까지 저하된 이유는 급전회로망을 구성하는 선로에서의 손실이 최대 -2.5dB 까지 발생되기 때문으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 전자기적 결합 방식을 이용한 C-대역 데이터링크용 고이득 평판 안테나를 설계 제작하였다. C-대역 고이득 평판 안테나를 얻기 위하여 충분한 대역폭을 갖는 단일 방사 소자와 급전회로망을 설계한 후 2×2 배열, 4×4 배열, 8×8 배열 구조를 순차적으로 설계하였다. 최종 설계된 안테나는 제작 및 측정을 통해 정재파 및 이득 패턴을 측정하였다. 제작된 안테나는 주파수 4.83~5.91GHz 범위에서 2.5이하의 정재파 특성과 27.8~28.4dBi의 최대 이득, 38.1%~47.9%의 개구 효율을 갖는다. 본 논문의 결과는 향후 C-대역 데이터링크용 경량형 평판 안테나 개발시 유용한 도구로 활용될 수 있을 것이다.

References

- [1] R. Jain, "Wireless datalink for unmanned aircraft systems: requirements, challenges and design ideas", in American Inst. of Aeronautics and Astronautics Infotech Aerospace, St. Louis, Missouri, USA, 2011.
- [2] İ. Çuhadar and M. Dursum, "Unmanned air vehicle system's data links", *J. of Automation and Control Eng.*, Vol. 4, No. 3, pp. 189-193, Jun. 2016.
- [3] S. Jenvey, J. Gustafsson, and F. Henriksson, "A portable monopulse tracking antenna for UAV communications", in *Int. Conf. of Unmanned Air Vehicle Systmes*, pp. 1-7, Apr. 2007.
- [4] R. C. Gupta, J. Pandya, K. K. Sood, and R. Jyoti, "Compact dual-band axially corrugated profiled horn for prime-focus reflector antenna", *Int. J. of Microw. Wirel. Tech.*, Vol. 3, No. 4, pp. 493-496, Aug. 2011.
- [5] E. Pucci, E. Rajo-Iglesias, J. L. Vazquez-Roy, and P. S. Kildal, "Planar dual-mode horn array with corporate-feed network in inverted microstrip gap waveguide", *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, Vol. 62, No. 7, pp. 3534-3542, Apr. 2014.
- [6] T. Sehm, A. Lehto, and A. Räsänen, "A large planar antenna consisting of an array of waveguide fed horns", in *Int. Conf. 26th EuMC*, pp. 610-613, Sep. 1996.
- [7] M. Ibrahim, S. Deif, and M. S. Sharawi, "A 14-element printed planar antenna array embedded within a UAV structure", in *Int. Conf. 2012 Loughborough Antennas and Propag.*, pp. 1-4, Nov. 2012.
- [8] R. N. Simons, R. Q. Lee, and G. R. Lindamood, "Electromagnetic coupling between coplanar waveguide and microstrip antennas", *Microw. Opt. Tech. Letters*, Vol. 5, No. 2, pp. 60-62, Feb. 1992.
- [9] S. B. Chakrabarty, M. Khanna, and S. B. Sharma, "Wideband planar array antenna in C Band for synthetic aperture radar applications", *Microw. Opt. Tech. Letters*, Vol. 33, No. 1, pp. 52-54, Apr. 2002.
- [10] M. Morgan and S. Weinreb, "A millimeter-wave perpendicular coax-to-microstrip transition", in *2002 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 817-820, Aug. 2002.

저자소개

장 경 월 (Qiong-Yue Zhang)



2017년 8월 : 충북대학교
국어국문학과(학사)
2017년 9월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 석사과정
관심분야 : 안테나 설계

이 주 (Li-Shu)



2014년 8월 : 충북대학교
정보통신공학과(공학사)
2016년 8월 : 충북대학교
전파통신공학과(석사)
2016년 9월 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 박사과정
관심분야 : 안테나 설계

이 동 국 (Dong-Kook Lee)



1990년 2월 : 국민대학교
전자공학과(공학사)
2001년 2월 : 충북대학교
전파공학과(공학석사)
2012년 8월 : 충북대학교
전파통신공학과(공학박사)
1990년 ~ 2000년 : 국방과학연구소

연구원

2000년 ~ 2014년 : (주)파인텔레콤 상무이사
2015년 ~ 2016년 : (주)뮤트로닉스 사업본부장
2016년 ~ 현재 : (주)두타기술 대표이사
관심분야 : 무인기 데이터링크, 안테나 시스템

방 재 훈 (Jae-Hoon Bang)



1997년 2월 : 충북대학교
전파공학과(공학사)
1999년 2월 : 충북대학교
전파공학과(공학석사)
2003년 8월 : 충북대학교
정보통신공학과(공학박사)
2003년 ~ 2007년 : (주) 극동통신
2008년 ~ 2009년 : 한국과학기술원 연구교수
2010년 ~ 2015년 : 충북대학교 전파통신공학과 초빙교수
2016년 ~ 현재 : (주)두타기술 수석연구원
관심분야 : 전자장 계산 이론, 무선통신기기, 안테나 설계

안 병 철 (Bierng-Chearl Ahn)



1981년 2월 : 서울대학교
전기공학과(공학사)
1983년 2월 : 한국과학기술원
전기전자공학과(석사)
1992년 12월 : University of
Mississippi 전기전자공학과(박사)
1983년 ~ 1986년 : (주) 금성정밀

주임연구원

1992년 ~ 1994년 : 국방과학연구소 선임연구원
1995년 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 교수
관심분야 : 전자파 응용, 안테나