

단층 간접급전구조를 이용한 이중대역 GPS 안테나 설계

Design of Dual-Band GPS Antenna Using a Single-Layer Coupled-Feed Structure

허 준 · 변강일* · 추호성 · 계영철

Jun Hur · Gangil Byun* · Hosung Choo · Youngchul Kay

요 약

본 논문에서는 배열 개별소자의 격리도 특성과 설계 복잡도 개선을 위한 단층 간접급전구조 이중대역 GPS 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 중앙의 급전패치와 외곽의 이중루프로 구성되며, 이중루프는 급전패치로부터 생성된 전자기장에 의해 전류가 유기된다. 제안된 급전구조는 이중루프 사이에 강한 근접장을 밀집시키므로 소형 배열안테나의 소자간 격리도 특성을 개선할 수 있다. 이러한 특성을 확인하기 위해 일반적인 상용 안테나와 자체분포 및 격리도 특성을 비교하였으며, 근접영역에서의 자체제기 및 격리도가 상용 안테나에 비해 각각 평균 3 dB, 2 dB 개선되어 소형 CRPA 배열안테나에 적합함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose a dual-band GPS antenna using a single-layer coupled-feed structure for improvement of isolation and design complexity. The proposed antenna consists of a central feed patch and outer dual loops, and the loops are electromagnetically fed by the feed patch to induce currents. This feeding network can improve the isolation between antenna elements arranged in small arrays because the magnetic field strength near the antenna is minimized by confining the fields around the dual loops. The isolation characteristics of the proposed antenna are compared with those of the conventional multi-layer patch antenna, and the average field strength and the isolation are improved by 3 dB and 2 dB, respectively, which verifies that the antenna is suitable for small CRPA arrays.

Key words: GPS Array, CRPA Array, Coupled Feed, Isolation

I. 서 론

최근 군수분야를 중심으로 재밍신호의 영향을 최소화하기 위해 CRPA(Controlled Reception Pattern Antenna) 배

열안테나를 이용하여 원하지 않는 신호방향으로 합성패턴의 null을 생성하는 기술이 사용되고 있다^{[1]~[3]}. 이러한 CRPA 배열안테나는 항재밍 기능을 수행함과 동시에 위성 신호를 수신해야 하므로 주로 마이크로스트립 패치

「This research was supported by Civil Military Technology Cooperation(CMTC) and the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(no. 2015R1A6A1A03031833)..」

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*홍익대학교 과학기술연구소(Research Institute of Science and Technology, Hongik University)

· Manuscript received January 8, 2016 ; Revised March 4, 2016 ; Accepted August 31, 2016. (ID No. 20160108-07S)

· Corresponding Author: Youngchul Kay (e-mail: hschool@hongik.ac.kr)

안테나가 사용되며, 이중대역에서 동작하도록 적층형 구조를 가지는 것이 일반적이다. 하지만 적층형 구조는 일부 방사패치를 유전체 내부에 포함하므로 안테나 제작 및 주파수 튜닝이 어려운 단점이 있다^{[4]-[6]}. 또한, 루프 구조를 방사체로 이용하는 연구, 모서리를 식각하여 원형편파 특성을 도출한 연구들이 진행되었으나^{[7],[8]}, 배열 시 인접한 소자 간 커플링에 의해 안테나 성능이 저하되어 CRPA 배열안테나를 통한 항재밍 기능을 수행하기 어렵다. 이와 같이 다수의 GPS 개별소자로 구성된 CRPA 배열안테나가 제한된 공간에 장착될 경우, 인접한 소자 간 커플링에 의해 안테나 성능이 저하되므로^[9], 정합회로 및 하이브리드 칩 커플러를 이용하여 안테나 성능을 극대화하는 연구가 활발히 진행되고 있다^{[10],[11]}. 하지만 이러한 기존의 연구들은 추가적인 PCB 회로를 요구하므로 제작 단가가 높고, 설계 복잡도가 증가하는 단점을 가진다.

본 논문에서는 배열 개별소자의 격리도 특성과 설계 복잡도 개선을 위한 단층 간접급전구조 이중대역 GPS 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 중앙의 급전패치와 외곽의 이중루프 구조로 구성되며, 이중루프는 급전패치로부터 유기된 전류에 의해 간접급전된다. 또한, 원형편파 특성을 도출하기 위해 이중루프를 식각한 형상으로 설계하였으며, 급전패치의 두 모서리 또한 식각하여 급전패치와 이중루프 사이에 균일한 이격을 유지하였다. 제안된 형상은 중앙의 급전패치와 외곽의 이중루프를 단층구조에 구현하였으며, 이러한 단층 간접급전구조는 이중루프 사이에 강한 근접장을 밀집시키므로 안테나 유전체 외부로 누설되는 필드 세기를 최소화하여 소형 배열안테나 소자 간 격리도 특성을 개선할 수 있다. 제안된 간접급전구조의 성능 적합도를 확인하기 위해 안테나 형상을 고유전 세라믹 기판에 인쇄하여 제작하였으며, 전파무반사실에서 반사계수, 이득, 축비 등의 안테나 성능을 측정하였다. 또한, 일반적인 이중대역 적층구조 안테나와 자계분포 및 격리도 특성을 비교하였으며, 일반적인 안테나에 비해 제안된 안테나의 커플링 특성이 개선되어 소형 CRPA 배열 안테나에 적합함을 확인하였다.

II. 안테나 형상

그림 1은 제안된 이중대역 GPS 안테나의 형상을 보여

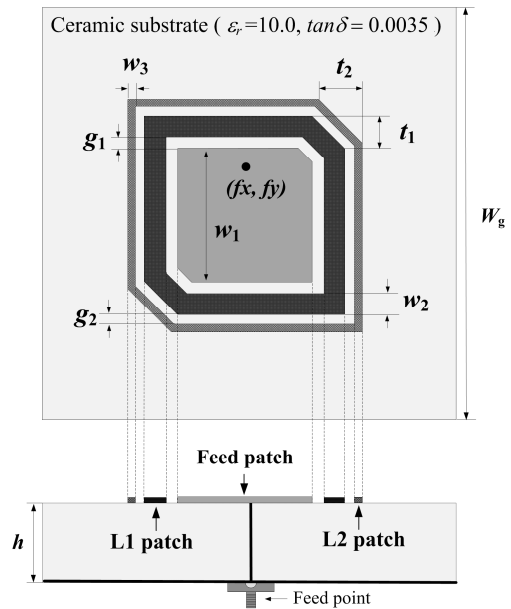


그림 1. 제안된 패치안테나 형상
Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

준다. 단층구조를 사용하여 이중대역을 구현하였으며, 폭 (w_g) 40 mm, 높이(h) 10.9 mm의 고유전 기판(Taconic, $\epsilon_r = 10, \tan \delta = 0.0035$) 위에 인쇄된 중앙의 급전패치와 외곽의 이중루프 구조로 구성되어 있다. 급전패치의 한 변의 길이 (w_1)는 GPS L1 대역에서 대략 $\lambda_g/4$ 가 되도록 설계하였으며, 급전 핀의 위치(f_x, f_y)를 조절하여 정합 특성을 도출하였다. 이중루프는 폭 w_2 와 w_3 를 가지며, 각각 GPS L1과 L2 대역에서 공진하도록 한 파장의 길이를 갖도록 설계하였다. 원형편파 특성을 도출하기 위해 이중루프를 각각 t_1, t_2 길이만큼 식각하고, 급전패치 또한 동일한 형상을 갖도록 설계하여 이중루프와의 갭(g)에 균일한 필드가 유기되도록 하였으며, 두 공진주파수의 간격을 조절하기 위해 이중루프 사이의 갭(g_2)을 튜닝하였다. 제안된 안테나는 FEKO EM simulator를 이용하여 설계하였으며^[12], 최적 설계 변수들을 표 1에 나타내었다.

III. 안테나 측정 및 분석

그림 2는 제작된 안테나의 형상을 보여주며, 전파무반사실에서 안테나 성능을 측정하였다. 그림 3은 제안된 안테나의 반사계수 시뮬레이션 및 측정결과를 보여준다. 점선은 시뮬레이션 값을 나타내며, 실선은 측정값을 나타낸

표 1. 제안된 안테나의 설계 변수

Table 1. Design parameters of the proposed antenna.

Parameters	Optimized value(mm)
w_1	16
w_2	3.9
w_3	0.9
w_g	40
g_1	1.2
g_2	1.0
t_1	8.5
t_2	10.2
h	10.9
f_x	0
f_y	7

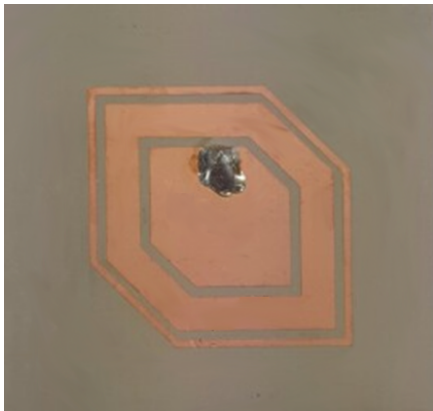


그림 2. 제작된 안테나 형상

Fig. 2. Photograph of the fabricated antenna.

다. 제안된 안테나는 1.575 GHz에서 -13 dB, 1.227 GHz에서 -9.1 dB의 측정값을 가지며, 시뮬레이션 결과와 유사한 경향성을 가진다. 고주파 대역의 반사계수에 비해 저주파수 대역의 반사계수가 낮으나, 이러한 반사계수에 의한 이득저감의 차이는 약 0.2 dB이다. 따라서 저주파수 대역과 고주파수 대역의 이득은 비슷한 경향을 보인다.

그림 4는 전면방향 이득특성을 보여주며, 점선은 시뮬레이션, 실선과 '+' 마크는 각각 실험실(semi) 및 전파무반사실(full)의 측정결과를 나타낸다. 제안된 안테나는 1.575 GHz에서 5 dBic, 1.227 GHz에서 3 dBic의 시뮬레이

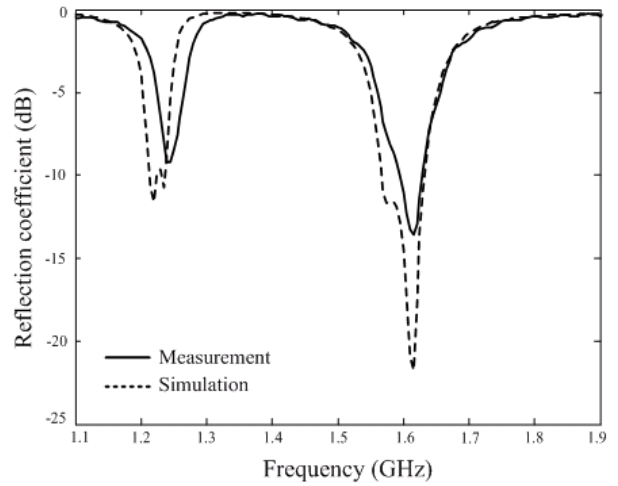


그림 3. 안테나 반사계수 특성

Fig. 3. Reflection coefficients of the proposed antenna.

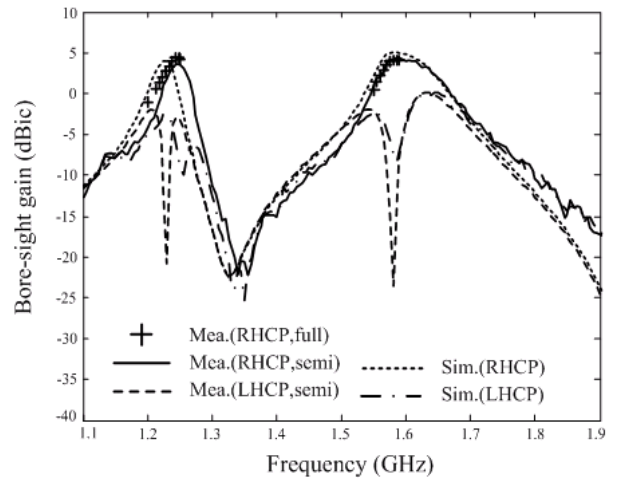


그림 4. 안테나 전면방향이득

Fig. 4. Bore-sight gain of the proposed antenna.

션 값을 가지며, 측정의 경우 각각 4.1 dBic(1.575 GHz), 2 dBic(1.227 GHz)의 값을 가진다. 또한, 두 대역의 교차편파 레벨(cross polarization level)은 1.575 GHz에서 10.5 dB, 1.25 GHz에서 14.8 dB로 우선회 원형편파 특성이 나타난다.

이러한 전면방향 편파특성을 확인하기 위해 안테나 측비 특성을 그림 5에 나타내었으며, 시뮬레이션과 측정 결과를 각각 점선과 '+' 마크로 표시하였다. 제안된 안테나는 두 대역에서 1.7 dB(1.575 GHz), 1.9 dB(1.227 GHz)의

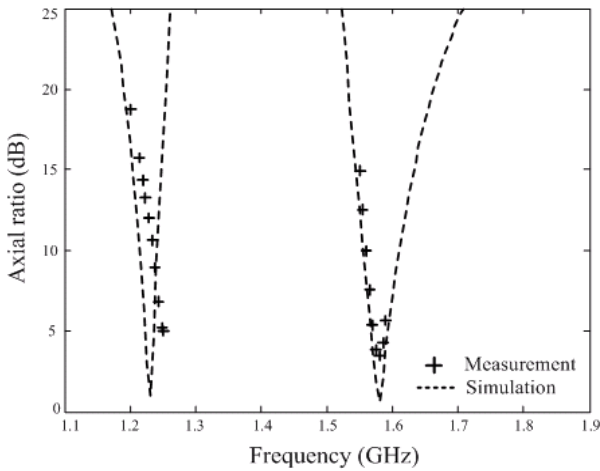


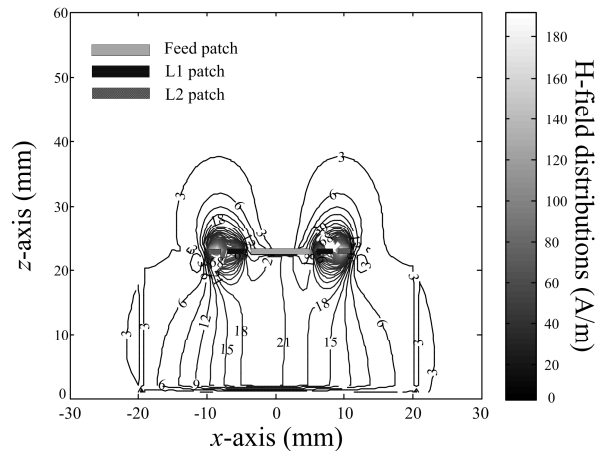
그림 5. 안테나 축비 특성

Fig. 5. Axial ratio of the proposed antenna.

시뮬레이션 최솟값을 가지며, 측정의 경우 3.8 dB (1.575 GHz), 5 dB(1.25 GHz)의 값을 나타낸다.

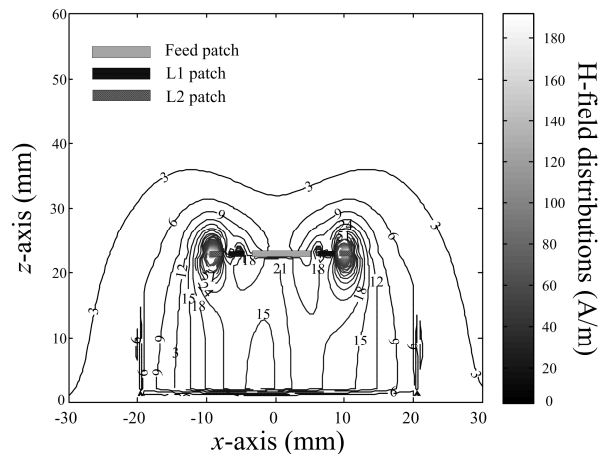
그림 6(a)와 6(b)는 제안된 안테나의 1.575 GHz와 1.227 GHz에서의 z - y 평면 자기 분포를 보여준다. 필드를 계산하기 위해 y 축과 z 축에서 0.5 mm 간격으로 각각 121개의 포인트를 관찰하였다. 그림 6(a)에 나타난 L1대역의 경우, L1 루프패치 주변에 필드가 밀집되어 있으며, 급전패치와 L1 루프패치 사이의 간격인 $x=\pm 8.5$ mm에서 최대값 194.7 A/m의 필드세기를 갖는다. 그림 6(b)에 나타난 L2 대역의 경우, L2 루프패치인 $x=\pm 9.5$ mm에서 최대값 179.8 A/m를 갖는 것을 알 수 있다.

그림 7은 제안된 안테나와 일반적인 상용 안테나의 근접영역에 분포하는 z - y 평면 평균 자기 세기를 FEKO EM simulator를 통해 비교한 결과이다. 일반적인 상용 안테나는 모서리가 식각된 하부의 사각 방사패치(GPS L2)와 상부의 사각 방사패치(GPS L1)가 적층된 구조이며^[4], 유전체의 크기는 $40 \times 40 \times 7.8$ mm²이다. 상부와 하부의 방사패치는 GPS L1/L2대역에서 동작하며, 각각 27.9 mm, 33.2 mm의 약 반파장 길이의 폭을 갖도록 설계하였다. 점선은 일반적인 적층구조 안테나의 자기 세기이고, 실선은 제안된 안테나의 자기 세기를 나타낸다. 두 안테나 모두 방사패치가 위치한 영역으로부터 멀어질수록 자계의 세기가 감소하는 경향을 보이며, 제안된 안테나의 경우 $x=\pm 20$ mm 위치에서 일반 안테나에 비해 1.575 GHz에서 2 dB,



(a) GPS L1 대역

(a) GPS L1 band



(b) GPS L2 대역

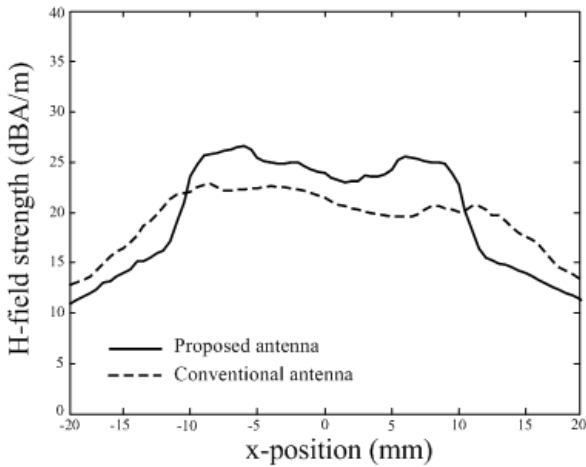
(b) GPS L2 band

그림 6. 주파수 대역 별 z - y 평면 자기 분포

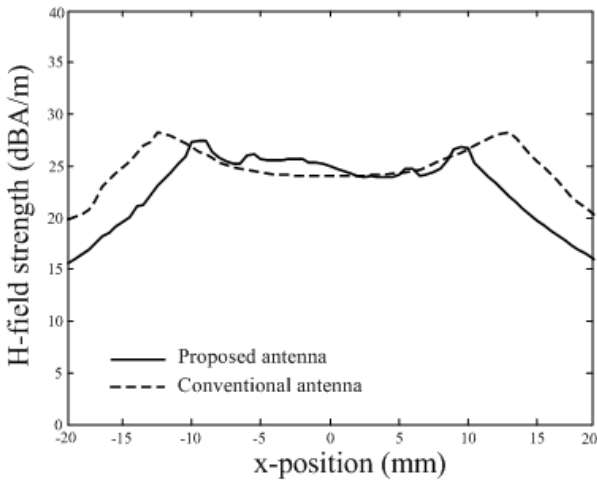
Fig. 6. H-field distributions in z - y plane according to frequency.

1.227 GHz에서 4.8 dB 낮은 자기세기를 유지한다.

안테나 근접영역에서의 자기세기 감소는 배열소자 간격리도 개선에 유리하며, 이를 확인하기 위해 동일한 두 개의 안테나를 배치시킨 후 거리(D)를 조절해가며 격리도 특성을 비교하였다. 그림 8은 제안된 안테나와 일반적인 상용 안테나의 격리도를 시뮬레이션을 통해 비교하였으며, D 를 0 mm에서 15 mm까지 1 mm 간격으로 변화시키며 이중대역(GPS L1/L2)에서의 평균 격리도 세기를 나타내었다. 격리도 세기는 결합량을 나타내는 커플링의 절



(a) GPS L1 대역
(a) GPS L1 band



(b) GPS L2 대역
(b) GPS L2 band

그림 7. 안테나 근접영역의 자계 세기 변화

Fig. 7. Variations of H-field strengths in proximity of the antenna.

댓값으로 15 mm의 이격거리에서 두 안테나는 유사한 격리도 특성을 유지하지만, 이격거리가 가까워질수록 제안된 안테나의 격리도 특성이 개선되어 10 mm 이하의 근접한 거리에서 평균 2 dB 개선된 격리도 특성을 갖는다.

그림 9는 제안된 안테나를 이용한 3소자 배열안테나의 전면방향 이득 시뮬레이션 값을 보여주며, 2D 패턴을 그림 10에 나타내었다. 그림에 나타낸 배열안테나 성능은 Ant.1의 전면방향 이득이다. 실선은 단품 안테나의 성능

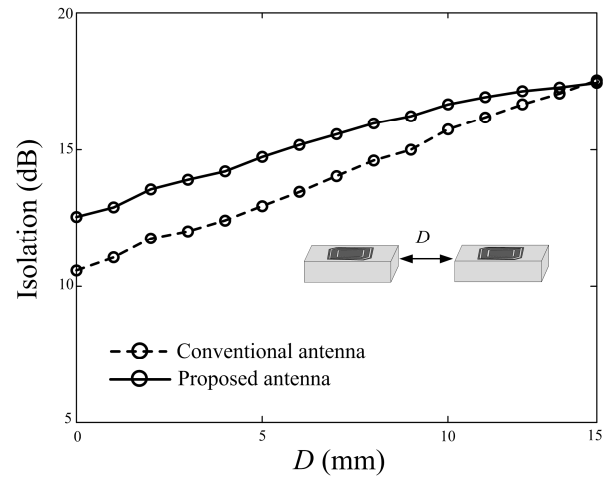


그림 8. 이격거리에 따른 커플링 변화

Fig. 8. Variations of the coupling according to distance.

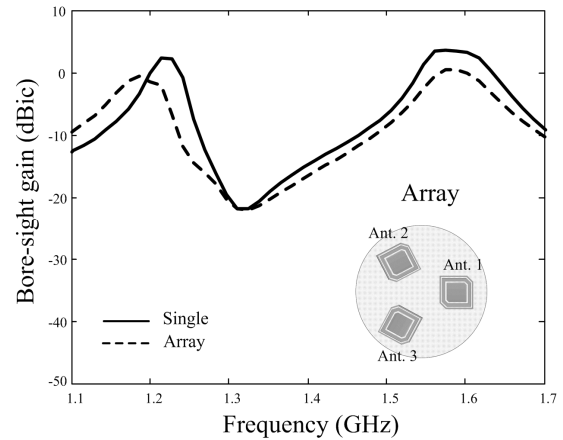


그림 9. 3소자 배열안테나의 전면방향이득

Fig. 9. Bore-sight gain of the 3-element array.

을 나타내며, 점선은 배열안테나의 성능을 나타낸다. 배열안테나의 개별소자는 직경 120 mm의 그라운드 위에 120° 간격으로 배치되며, 반경 36 mm에 위치하므로 배열소자 간 이격거리는 60 mm(0.9 λ)이다. 이 경우, 배열안테나의 이득은 전면방향에서 0.5 dBic, -0.7 dBic이며, 단품안테나 이득 대비 4.5 dB, 3.7 dB 감소하나, -1 dBic 이상의 성능을 유지함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 단층 간접급전구조를 이용한 이중대역

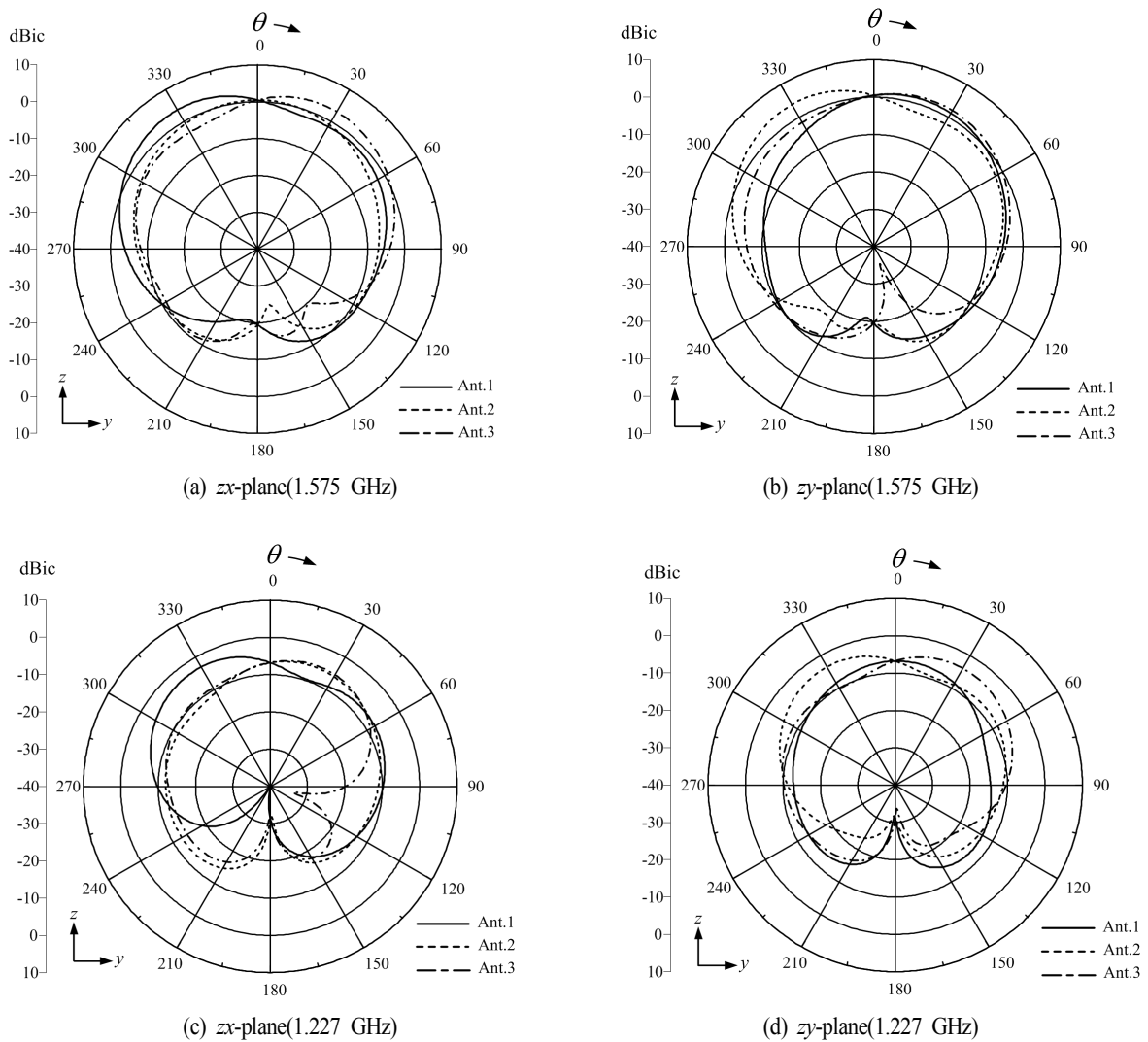


그림 10. 3소자 배열안테나의 2D 패턴
 Fig. 10. 2D patterns of the 3-element array.

GPS 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 간접급전구조를 통해 패치 사이의 간격에 근접자계를 밀집시켜 안테나 근접영역에서의 자계세기를 최소화함으로써 소자간 격리도 특성을 개선하였으며, 이중대역 특성을 단층구조에 구현하여 설계 및 제작의 복잡도를 줄였다. 이러한 간접급전구조의 성능 적합도를 확인하기 위해, 안테나 형상을 세라믹 고유전 기판에 인쇄하여 전파무반사실에서 측정을 진행하였다. 제안된 안테나는 이중대역(GPS L1/L2)에서 4.1 dBic, 2 dBic의 높은 전면방향이득을 가지고,

안테나 근접영역에서 일반적인 상용 안테나에 비해 평균 3 dB 이상 낮은 자계세기를 가지며, 그 결과 근접한 거리에서 격리도 특성이 평균 2 dB 이상 개선됨을 확인하였다.

References

[1] G. Byun, H. Choo, and S. Kim, "Improvement of pattern null depth and width using a curved array with two subarrays for CRPA systems", *IEEE Trans. Antennas Pro-*

- pag., vol. 63, no. 6, pp. 2824-2827, Jun. 2015.
- [2] Y. D. Zhang, M. G. Amin, "Anti-jamming GPS receiver with reduced phase distortions", *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 19, no. 10, pp. 635-638, Oct. 2011.
- [3] J. R. Lambert, C. A. Balanis, and D. Decarlo, "Improvement of pattern null depth and width using a curved array with two subarrays for CRPA systems", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 2, pp. 406-413, Feb. 2009.
- [4] X. -F. Peng, S. -S. Zhong, S. -Q. Xu, and Q. Wu, "Compact dual-band GPS microstrip antenna", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 44, no. 1, pp. 58-61, Jan. 2005.
- [5] C. -M. Su, K. -L. Wong, "A dual-band GPS microstrip antenna", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 33, no. 4, pp. 238-240, May, 2002.
- [6] D. M. Pozar, S. M. Duffy, "A dual-band circularly polarized aperture-coupled stacked microstrip antenna for global positioning satellite", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 45, no. 11, pp. 1618-1625, Nov. 1997.
- [7] S. -Y. Lin, K. -C. Huang, "A compact microstrip antenna for GPS and DCS application", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 3, pp. 1227-1229, Mar. 2005.
- [8] L. Boccia, G. Amendola, and G. D. Massa, "Performance evaluation of shorted annular patch antennas for high-precision GPS systems", *IET Microw. Antennas Propag.*, vol. 1, no. 2, pp. 465-471, Apr. 2007.
- [9] P. Ngamjanyaporn, C. Phongcharoenpanich, P. Akkaraekthalin, and M. Krairiksh "Signal-to-interference ratio improvement by using a phased array antenna of switched-beam elements", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 5, pp. 1819-1828, May 2005.
- [10] Y. -S. Wang, S. -J. Chung, "A miniature quadrifilar helix antenna for global positioning satellite reception", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 12, pp. 3746-3751, Dec. 2009.
- [11] G. Byun, H. Choo, and S. Kim, "Design of a dual-band quadrifilar helix antenna using stepped-width arms", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 4, pp. 1858-1862, Jan. 2007.
- [12] FEKO Suite 7.0, EM Software and Systems, 2014 [Online]. Available: <http://www.feko.info>

허 준



2014년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학사)
 2016년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
 2016년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 항공기 안테나, 배열안테나

변 강 일



2010년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2012년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
 2015년 8월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학박사)
 2015년 9월~현재: 홍익대학교 과학기술연구소 연구교수
 [주 관심분야] 빔포밍 배열안테나 기술, 안테나설계 및 위치최적화, 차량 및 항공기용 안테나, 방향 탐지 및 항재밍 배열 안테나

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 8월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
2003년 5월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)
2003년 6월~현재: 홍익대학교 전자전기

공학부 교수

[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더안테나

계 영 철



1980년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1982년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1991년 5월: University of Southern California, Electrical Engineering (공학박사)
1991년 8월~ 현재: 홍익대학교 전자전기

공학부 교수

[주 관심분야] 음성 신호 처리, 인식 알고리즘의 최적화, RFID용 태그 및 리더안테나