

간접급전 패드를 이용한 이중 대역 GPS 배열 안테나 설계

Design of Dual-Band GPS Array Antenna Using In-Direct Feeding Pad

강승석 · 서승모* · 변강일** · 추호성

Seung-Seok Kang · Seung-Mo Seo* · Gangil Byun** · Hosung Choo

요 약

본 논문에서는 간접급전 패드를 이용한 이중 대역 GPS 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 GPS L1 대역에서 공진하는 상부패치, L2 대역에서 공진하는 하부패치, 중간층에 위치하는 2개의 간접급전 패드로 구성되며, 광대역 원형 편파 특성 구현을 위해 하이브리드 칩커플러를 사용하여 두 급전 포트 사이에 90°의 위상차를 갖도록 급전하였다. 제안된 개별 안테나의 측정 결과, 전면 방향 이득은 GPS L1, L2 대역에서 각각 3.0 dBic, 5.1 dBic를 나타내며, 축비 특성은 각각 3.3 dB, 0.3 dB를 나타내는 것을 확인하였다. 제안된 안테나를 동일한 유전체 기판 가장자리에 7소자 배열하여 제작하여 active element pattern을 측정할 결과, 전면 방향 이득은 GPS L1, L2 대역에서 각각 -0.4 dBic, -2.4 dBic를 나타내어 GPS 배열안테나의 개별 소자로 사용 가능함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose the design of a dual-band GPS antenna using in-direct feeding pads. The antenna consists of an upper patch for the GPS L1 band, a lower patch for the GPS L2 band, and two pads on the middle layer for feeding the two radiating patches. A hybrid chip coupler with a phase difference of 90° is employed at the two feeding ports for achieving a broad circular polarization (CP) bandwidth. The proposed antenna shows bore-sight gains of 3.0 dBic(L1) and 5.1 dBic(L2), and axial ratios of 3.3 dB(L1) and 0.3 dB(L2) by measurement. The active element patterns of the fabricated array with 7 elements show bore-sight gains of -0.4 dBic (L1) and -2.4 dBic(L2), respectively. It proves that the proposed antenna structure is suitable for use in GPS array applications.

Key words: GPS Antenna, In-Direct Feeding, Dual-Band, Feeding-Pad, High-Dielectric

I. 서 론

위성 위치 확인 시스템(GPS)은 실시간으로 물체에 대한 정확한 위치 정보를 제공하며, 과거에는 차량, 선박, 항공 등 제한된 분야에서 사용하였지만, 최근 GPS 시스템

은 개개인의 휴대용 무선 통신기기, 디지털 카메라 등 일상생활 전반에서 사용되고 있다^{[1][2]}. 이에 따라 고성능 다기능 소형 GPS 수신 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 GPS 신호 수신율을 높이기 위하여, 다수 소자의 안테나를 배열하여 다중경로 전파 환경

「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 전자정보통신공학과(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*국방과학연구소(Agency of Defense Development)

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

· Manuscript received January 24, 2017 ; Revised March 24, 2017 ; Accepted May 5, 2017. (ID No. 20170124-01S)

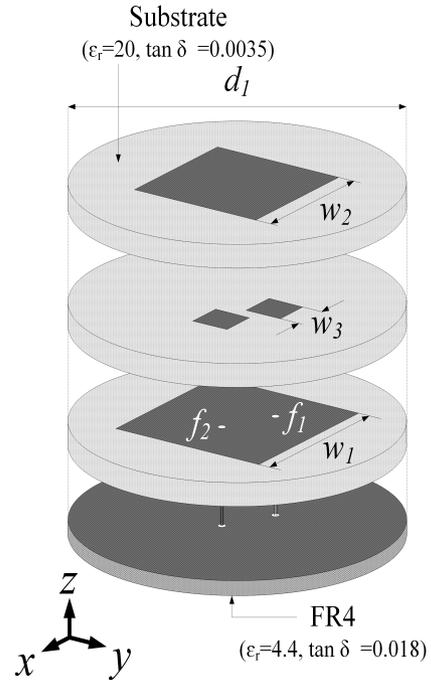
· Corresponding Author: Hosung Choo (e-mail: hschoo@hongik.ac.kr)

이나 재밍에 의한 간섭을 최소화 하는 연구가 많이 진행되고 있다^{[2],[3]}. GPS 신호를 수신할 때 전파환경에 의한 위상 왜곡이 발생하게 되는데^[6], 이를 보다 정확히 보정하기 위해서 GPS 안테나는 이중대역에서 동작하며^[7], 위성의 위치 또는 멀티패스 등에 따른 수신율 저하를 방지하기 위해 가능한 넓은 빔폭을 가지고, 우선회 원형편파 복사특성을 가지도록 설계한다^{[1],[2],[5],[14]}. 소형 이중대역 GPS 안테나에 대한 연구로서 패치 안테나가 많이 연구되고 있고, 이를 급전구조에 따라 분류하면 GPS L1/L2 대역의 공진부에 모두 직접급전되는 경우^[4], 한 대역의 공진부에 직접급전되며 커플링의 형태로 다른 대역의 공진부에 간접급전되는 경우^[5], 그리고 두 대역의 공진부에 모두 간접급전되는 경우^[6]의 3가지로 구분할 수 있다. 직접급전을 포함하여 설계된 안테나의 경우, 급전 핀과 직접 연결된 공진 패치가 임피던스 매칭에 영향을 주어, 공진 주파수 튜닝이 어렵고, 매칭 대역폭이 협소한 단점이 있다. 반면 두 공진 대역 패치에 모두 간접 급전되는 형상의^[6] 경우, 두 대역에 대한 독립적인 주파수 조절이 가능하여 설계가 용이하나, CP 대역폭과 이득이 감소되는 단점을 가진다.

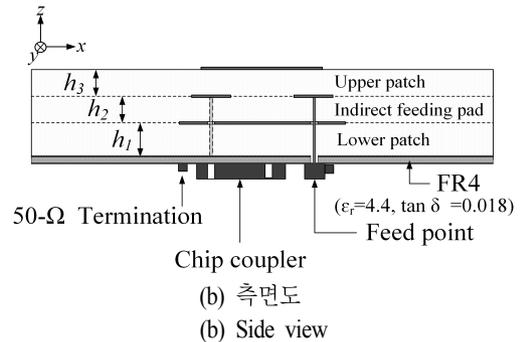
본 논문에서는 패치 간접급전 구조의 대역폭 저감을 개선할 수 있는, 간접급전 패드 구조를 활용한 2중 대역 GPS 안테나를 제안하였다. 상부에 위치한 사각 패치는 L1 대역에서 공진하며, 하부에 위치한 사각 패치는 L2 대역에서 공진하고, 두 패치 사이에 위치한 분리된 두 개의 사각패드로부터 급전된다. 두 개의 사각패드는 그라운드 하단의 PCB 기판에 위치한 하이브리드 칩커플러의 두 출력포트와 비아를 통해 연결되며, 두 개의 출력포트는 90도의 위상차를 가지고, 소형화를 위하여 $\epsilon_r=20$ 의 세라믹 유전체를 사용하였다. 제작된 안테나는 전면 방향 이득이 GPS L1/L2 대역에서 각각 3 dBic, 5.2 dBic로 이중대역 GPS 안테나로 적합함을 확인하였다.

II. 패드 간접급전 구조 안테나 설계

그림 1은 제안된 간접급전 패드를 이용한 이중대역 안테나의 구조를 나타낸다. 제안된 안테나의 급전 구조는 두 공진 대역에 모두 간접급전하기 위하여 상·하부패치



(a) 조감도
(3) 3-D view



(b) 측면도
(b) Side view

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

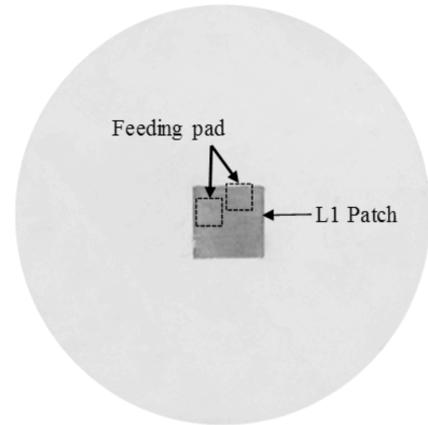
사이에 $w_3 \text{ mm} \times w_3 \text{ mm}$ 크기의 사각패드가 위치하며, 패드의 중심에 급전 핀이 직접 연결된다. 세라믹 기판 하층에는 L2 대역에서 공진하기 위한 $w_1 \text{ mm} \times w_1 \text{ mm}$ 크기의 공진 패치가 위치하며, 급전 핀과 교차하는 지점에 직경 2 mm의 홀을 뚫어 급전 핀이 하부패치에 직접 연결되지 않는 구조를 가진다. 기판 상층에는 L1 대역 공진을 위한 $w_2 \text{ mm} \times w_2 \text{ mm}$ 크기의 공진 패치가 위치한다. 안테나는 상층, 하층, 중간층 모두 직경 d_1 인 고유전율 유전체 기판

($\epsilon_r = 20, \tan \delta = 0.0035$)을 적층한 형태로, 각 층의 두께는 h_1 mm, h_2 mm, h_3 mm이다. CP 특성 구현을 위하여 세라믹 유전체 하단에는 FR-4($\epsilon_r = 4.4, \tan \delta = 0.018$)를 사용하여 설계된 칩커플러 회로 기판이 부착되어 있으며, 한 개의 입력 포트와 두 개의 출력 포트가 구성되어 있다. 입력 포트를 통해 인가된 신호는 하이브리드 칩커플러를 통하여, 서로 90° 위상차를 나타내며, 전력이 3 dB 감쇄되어 2개의 출력 포트에 전달된다. 그림 1(a)에서 f_1, f_2 는 유전체 기판의 중심을 원점으로 하는 급전핀의 위치를 의미한다. 0° 의 위상을 갖고 급전되는 핀의 위치는 f_1 , 90° 의 위상을 갖고 급전되는 핀의 위치는 f_2 로 구성되며, 칩커플러 보드 상단의 접지면과 세라믹 유전체 중간층의 2개의 간접급전 패드와 연결된다. 안테나 방사 패치의 최적화된 크기는 GPS L1/L2 대역의 관내 파장을 고려하여 각 주파수 대역에서 약 반 파장의 크기를 가지며, 자세한 설계변수를 표 1에 정리하였다.

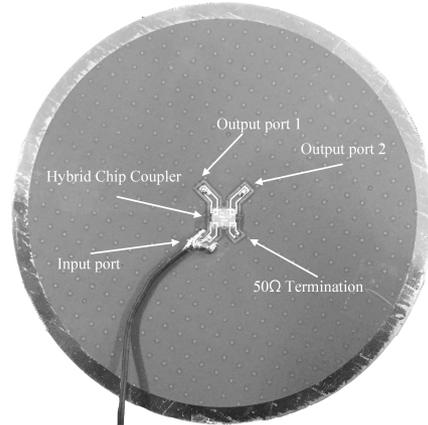
그림 2는 제작된 안테나의 사진을 나타낸다. 안테나 제작에 사용된 기판은 세라믹 파우더를 소성하고, 각 층의 두께가 2 mm, 5 mm, 2 mm가 되도록 가공하여 제작하였다. 공진패치 및 간접급전패드는 세라믹 기판 상단과 사이에 삽입하여 제작하였다. 칩커플러 회로기판은 Anaren사의 XC1400P-03S^[9] 하이브리드 칩커플러, coplanar waveguide, 50 Ω 칩저항으로 구성되어 있으며, 1~2 GHz 범위에서 두 개의 급전 핀 사이에 90° 의 위상차와 3 dB 감쇄된 전력이 두 개의 출력포트로 전달된다.

표 1. 제안된 안테나의 최적화된 설계 변수
Table 1. Optimized value of the proposed antenna.

설계 변수	값
d_1	127 mm
w_1	27.3 mm
w_2	21.0 mm
w_3	7.8 mm
h_1	2 mm
h_2	5 mm
h_3	2 mm
f_1	(-5.7 mm, 3.0 mm)
f_2	(3.6 mm, 7.8 mm)



(a) 전면도
(a) Top view



(b) 후면도
(b) Bottom view

그림 2. 제작된 안테나 사진
Fig. 2. Photographs of the fabricated antenna.

III. 측 정

제안된 안테나의 성능을 검증하기 위하여 제작된 안테나는 전파 무반사실에서 성능을 측정하였다. 그림 3은 제안된 안테나의 하이브리드 칩커플러 입력단에서의 반사계수 측정값과 시뮬레이션값을 비교한 그래프이다. 하이브리드 칩커플러를 포함한 시뮬레이션값을 계산하기 위하여 Advanced Design Software(ADS)^[8]를 사용하여 4포트 칩커플러 회로(1입력, 2출력, 50 Ω 터미네이션)를 모델링하였고, EM 시뮬레이션을 통하여 도출된 안테나의 2 ports S-parameter 정보와 칩커플러 회로의 2×2 S-parameter를 결

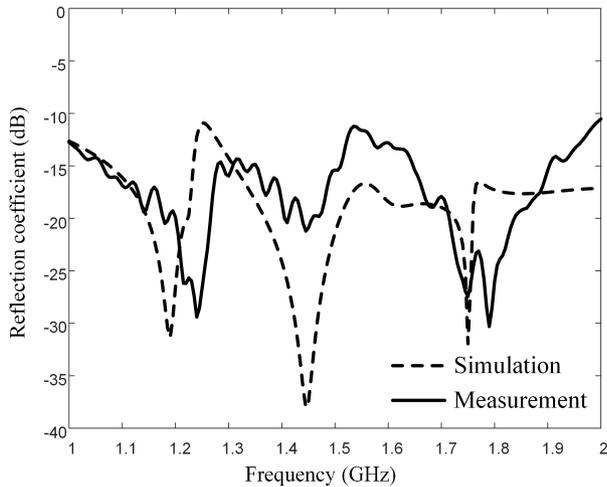


그림 3. 제안된 안테나의 반사 계수
Fig. 3. Reflection coefficient of the proposed antenna.

합하였다. 2 ports *S*-parameter 정보는 FEKO EM simulation software를 이용하여 도출하였으며, 측정 데이터와 동일하게 1~2 GHz에서 201개의 주파수 포인트에서 계산된 데이터를 이용하였다. 그래프에서 점선은 반사계수의 시뮬레이션값을 나타내고, 1.5754 GHz에서 -17.1 dB, 1.2276 GHz에서 -19.7 dB를 나타낸다. 실선은 반사계수의 측정값을 나타내고, -13.1 dB(1.5754 GHz), -25.7 dB(1.2276 GHz)를 나타내어 시뮬레이션값과 측정값이 유사함을 확인할 수 있다.

그림 4는 제안된 안테나의 전면방향 이득에 대한 측정값과 시뮬레이션값을 비교한 그래프이다. 점선은 시뮬레이션값을 의미하며, + 마커는 전파 무반사실의 측정값을 나타낸다. 측정값은 1.5754 GHz에서 3.0 dBic, 1.2276 GHz에서 5.1 dBic를 나타낸다. 1.5~2.0 GHz까지 약 500 MHz 주파수 범위에서 0 dBic 이상의 전면 방향 이득을 나타내므로, 제안된 안테나 급전구조는 GPS L1 대역에서 설계 민감도가 낮음을 확인할 수 있다.

그림 5는 제안된 안테나의 축비성능에 대한 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교한 그래프이다. 측정된 안테나의 축비성능은 1.575 GHz에서 3.3 dB, 1.227 GHz에서 0.3 dB의 값을 나타낸다. 1.55~1.85 GHz의 주파수 범위에서 모두 3 dB 이하의 축비 성능을 나타내며, 이는 약 19%의 CP 대역폭을 나타낸다.

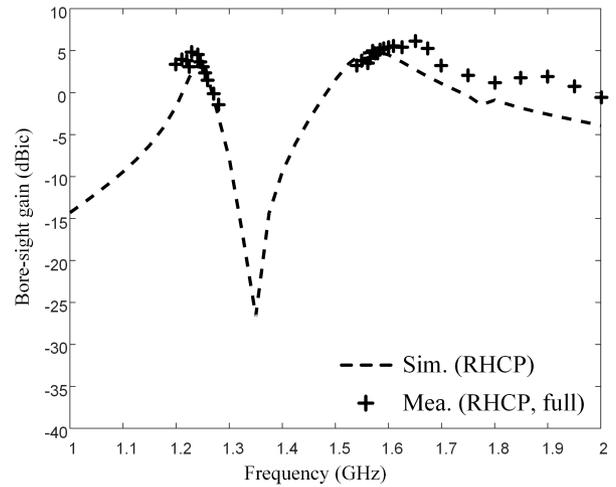


그림 4. 제안된 안테나의 전면 방향 이득
Fig. 4. Bore-sight gain of the proposed antenna.

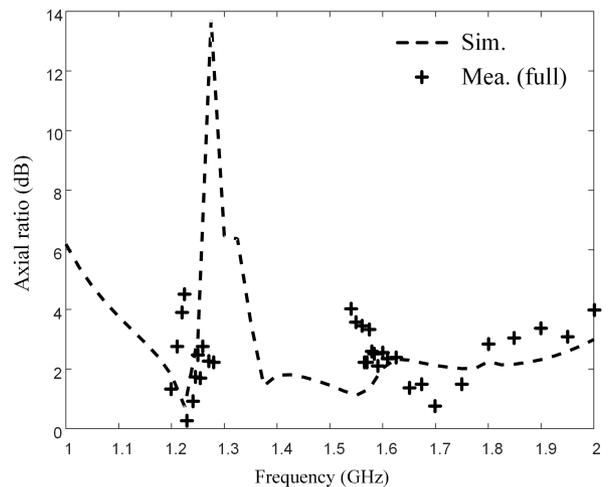


그림 5. 제안된 안테나의 축비 성능
Fig. 5. Axial ratio of the proposed antenna.

그림 6의 (a)와 (b)는 제안된 안테나의 1.5754 GHz의 방사 패턴에 대한 시뮬레이션값과 측정값을 *z*-*x* 평면과 *z*-*y* 평면에서 비교하여 나타낸 그림이다. 1.5754 GHz에서 *z*-*x* 평면의 경우 최대 이득은 $\theta=2^\circ$ 에서 5.4 dBic, 반 전력 빔폭 (HPBW)은 80.7° 이고, *z*-*y* 평면의 경우 $\theta=3^\circ$ 에서 5.7 dBic, 반 전력 빔폭은 79.6° 를 나타낸다.

그림 7의 (a)와 (b)는 제안된 안테나의 1.2276 GHz에서의 방사패턴에 대한 시뮬레이션값과 측정값을 *z*-*x* 평면과

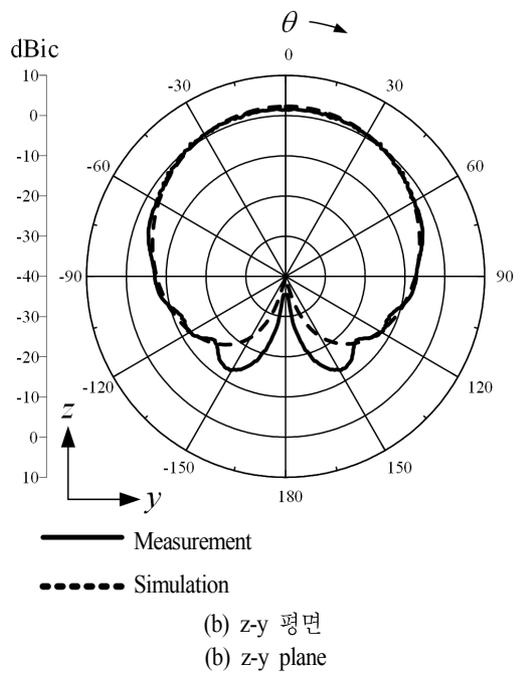
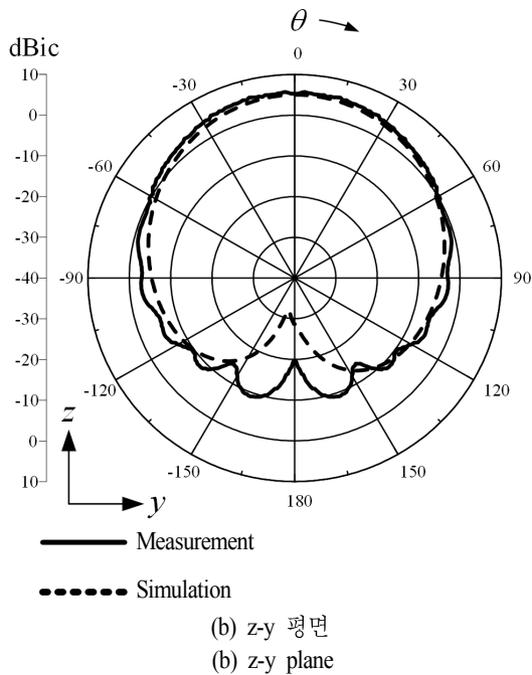
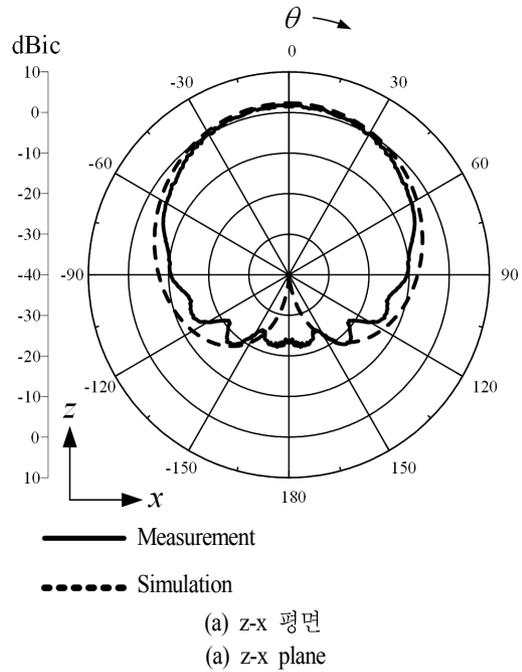
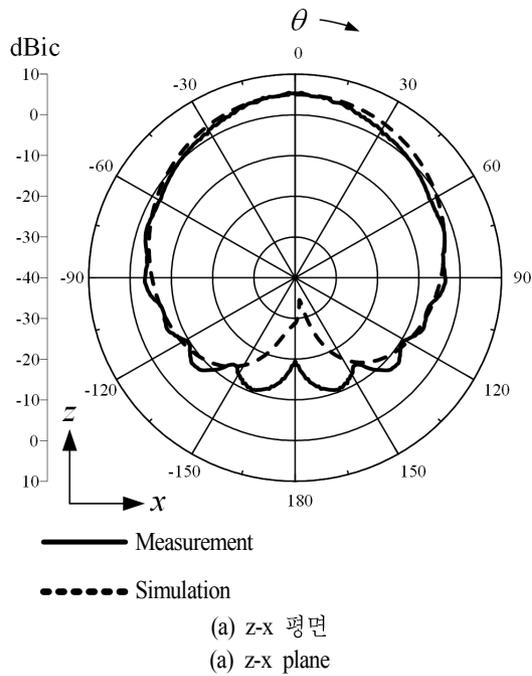


그림 6. 제안된 안테나의 2-D 패턴(1.5754 GHz)
Fig. 6. 2-D patterns of the proposed antenna(1.5754 GHz).

그림 7. 제안된 안테나의 2-D 패턴(1.2276 GHz)
Fig. 7. 2-D patterns of the proposed antenna(1.2276 GHz).

z-y 평면에서 비교하여 나타낸 그림이다. 반 전력 빔폭은 z-x 평면, z-y 평면에서 각각 85.8°, 86.6°를 나타내며, 최대

이득은 각각 $\theta=3^\circ$ 에서 3.3 dBic, $\theta=1^\circ$ 에서 3.2 dBic를 나타낸다.

표 2는 제안된 안테나의 전면방향이득과 3 dB 축비 대역폭을 참고문헌 [2], [4], [5], [15]에 제안된 다른 GPS 안테나와 비교한 표를 나타낸다. 제시된 참고문헌에 나타난 GPS 안테나의 CP 대역폭이 5 % 이하의 범위인 것에 비해 제안된 안테나의 3 dB 축비 대역폭은 20 %에 가까운 값을 나타낸다.

IV. 분석

그림 8은 제안된 안테나 형상에서 다른 모든 설계 변수는 고정하고, 상부패치의 한 변의 길이(w_2)만 20~23 mm 까지 1 mm 간격으로 변화시켰을 때 전면 방향 이득의 변화를 시뮬레이션을 통하여 비교하여 나타낸 그래프이다. 안테나의 전면방향 주파수 특성은 하이브리드 칩 커플러의 출력포트와 연결된 각 안테나 포트의 임피던스 정합특

표 2. GPS 안테나간 특성 비교

Table 2. Characteristic compare between GPS antennas.

	최대이득(dBic)	3 dB 축비 대역폭(%)
Ref [2]	4.1	-
Ref [4]	2.2	1.4
Ref [5]	5.5	1.6
Ref [15]	3.7	2.5
Proposed	3.0	19.0

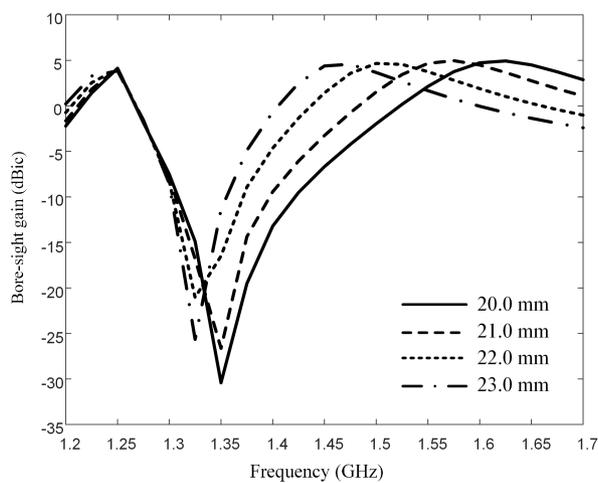


그림 8. w_2 에 따른 전면 방향 이득 변화
Fig. 8. Bore-sight gain according to w_2 .

성에 의해 결정되는 방사효율과 관계되므로, w_2 에 따라 전면방향 이득의 주파수 특성이 변한다. 따라서 w_2 의 변화에 무관하게 저주파수 쪽의 공진주파수는 1.227 GHz로 일정하지만, 고주파수 쪽의 공진주파수는 w_2 가 20 mm일 때 1.625 GHz, 23 mm일 때 1.475 GHz로 변하는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 제안된 안테나의 다른 설계변수를 모두 고정하고, 하부패치의 한 변의 길이(w_1)만 24.3~27.3 mm 범위에서 1 mm 간격으로 변화시켰을 때, 전면 방향 이득 변화를 시뮬레이션을 통해 비교하여 나타낸 그래프이다. w_1 의 변화와 무관하게 고주파수 쪽의 공진주파수는 1.575 GHz로 일정하지만, 저주파수 쪽의 공진주파수는 w_1 이 24.3 mm일 때 1.375 GHz, 27.3 mm일 때 1.227 GHz로 변하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 제안된 안테나는 두 공진주파수 대역에서 상부 또는 하부패치의 크기를 조절하여 두 주파수 대역에서 독립적으로 공진주파수를 조절할 수 있는 장점이 있다. 이는 다 소자 배열 또는 외부 회로가 삽입되는 상황 등에서 커플링에 의해 발생하는 공진주파수 천이 현상으로 안테나 이득 성능이 감소하였을 때, 패치 크기만 조절하여 공진주파수를 맞추어 안테나 이득 성능을 손쉽게 끌어 올릴 수 있는 장점이 있다.

그림 10은 제안된 안테나의 상·하부패치 중심을 기준으로 $x = -1$ mm (-20 mm $< y < 20$ mm, 0 mm $< z < 30$ mm

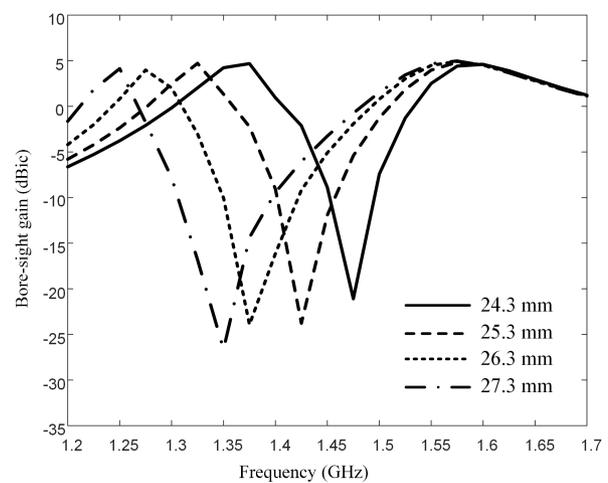


그림 9. w_1 에 따른 전면방향 이득 변화
Fig. 9. Bore-sight gain according to w_1 .

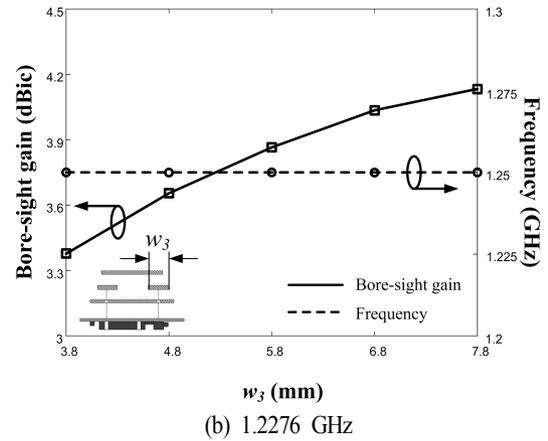
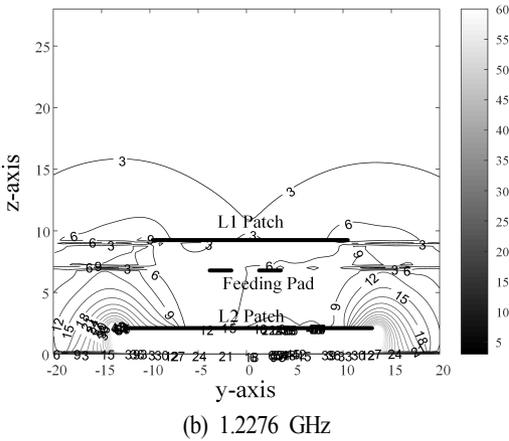
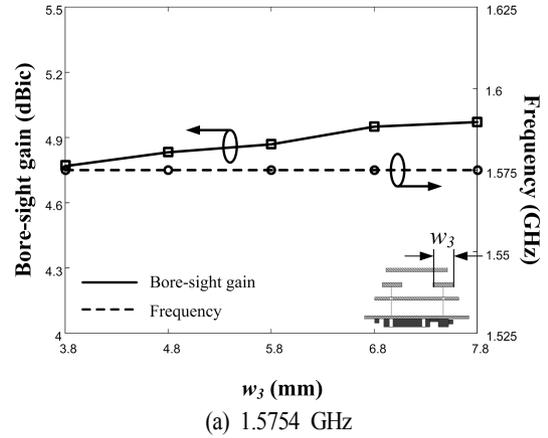
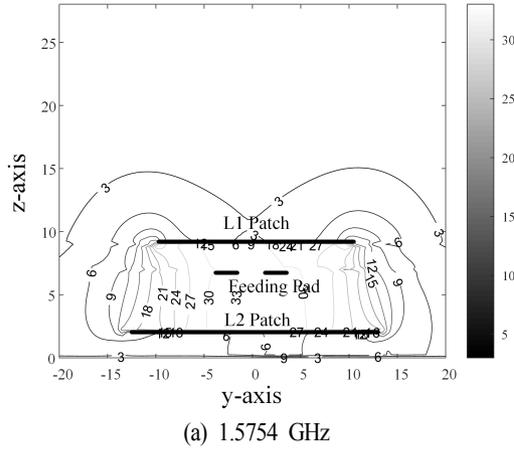


그림 10. 제안된 안테나의 H-field 분포
Fig. 10. H-field distribution of the proposed antenna.

범위 내의) 위치에서의 단면의 H-field 분포를 201×121 point에서 관찰한 결과를 나타낸다. 1.5754 GHz의 경우, 하부패치와 상부패치 사이에 강한 자계가 분포하며, 1 W의 전력이 입력될 시 자계의 최대값은 34.4 A/m를 나타낸다. 반면에, 1.2276 GHz의 경우, 그라운드 면과 하부패치 사이에 강한 자계가 분포하며, 동일한 전력이 인가될 시, 자계의 최대값은 129.6 A/m를 나타낸다. 주파수에 따라 자계가 밀집한 위치가 상이하므로 상부 또는 하부패치의 크기를 조절하여도, 서로 다른 주파수 대역의 성능에는 영향을 거의 주지 않고, 독립적으로 공진주파수 조절이 가능하다.

그림 11(a), 그림 11(b)는 제안된 안테나 형상에서 다른 변수를 모두 고정하고, 간접급전 패드의 크기(w_3)만 3.8~

그림 11. w_3 의 변화에 따른 전면방향 이득 변화
Fig. 11. Bore-sight gain according to w_3 .

7.8 mm 범위에서 1 mm 간격으로 변화할 때, 전면방향 이득 성능의 변화를 시뮬레이션을 통해 비교한 그래프이다. 실선은 GPS L1/L2 대역에서 전면 방향 이득이 최대가 되는 공진주파수에서의 전면 방향 이득 값을 나타내며, 점선은 공진주파수를 나타낸다. GPS L1/L2 대역에서 w_3 의 변화에 따라 전면 방향 이득은 각각 0.2 dB, 0.7 dB의 차이를 보이지만, 공진주파수의 경우 각각 1.575 GHz, 1.25 GHz로 일정한 값을 나타낸다.

그림 12(a), (b)는 제안된 안테나의 다른 모든 변수를 고정하고, 상층 유전체 두께(h_3)를 1~5 mm까지 1 mm 간격으로 조절하였을 때, 전면 방향 이득 성능의 변화를 시뮬레이션을 통해 비교하여 나타낸 그래프이다. 실선은 GPS L1/L2 대역에서 전면 방향 이득이 최대가 되는 공진주파

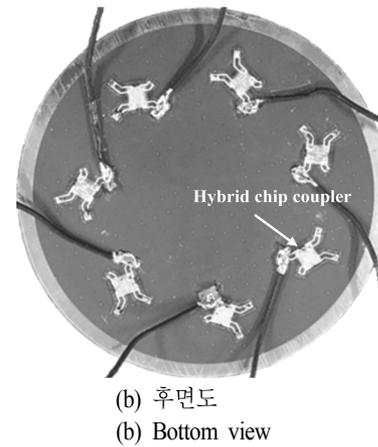
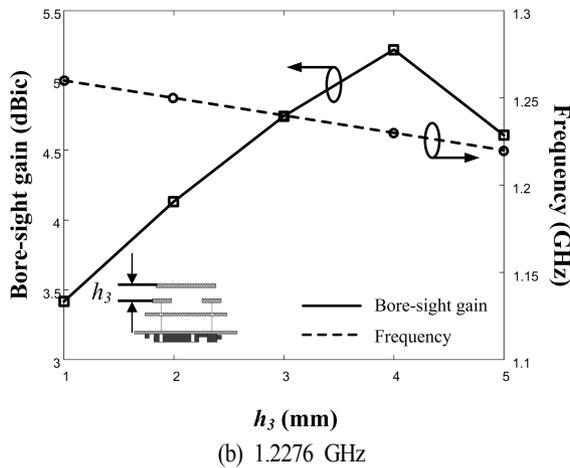
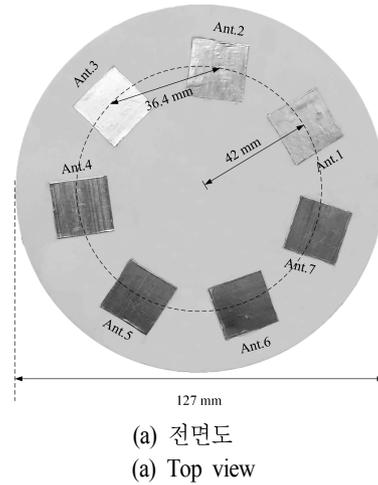
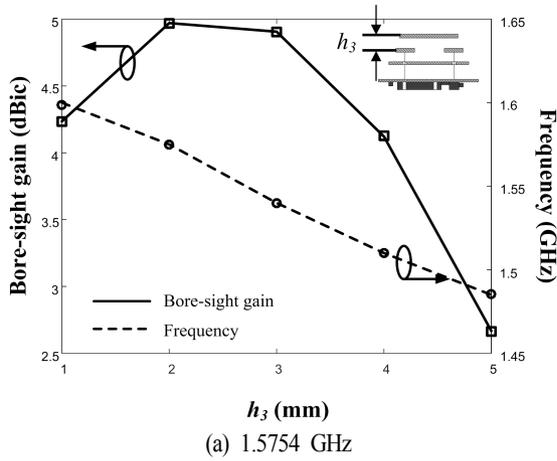


그림 12. h_3 의 변화에 따른 전면방향 이득 변화
Fig. 12. Bore-sight gain according to h_3 .

그림 13. 제작된 배열안테나의 사진
Fig. 13. Photographs of the fabricated array.

수에서의 전면 방향 이득 값을 나타내며, 점선은 공진주파수를 나타낸다. GPS L1 대역의 경우, h_3 이 1~5 mm로 증가함에 따라 공진주파수가 1.60 GHz에서 1.485 GHz로 약 115 MHz 변화하며, GPS L2 대역의 경우 1.26 GHz에서 1.22 GHz로 공진주파수가 약 40 MHz 변화한다. 상층 유전체 기판 두께를 조절하였을 때, L1 대역의 공진주파수가 L2 대역의 공진주파수보다 크게 변화하기 때문에, 이를 이용하여 두 공진주파수 간의 간격을 조절할 수 있다.

그림 13은 제안된 안테나 급전 구조를 적용하여 동일한 직경을 가진 유전체 기판 외각에 7소자 배열하여 제작한 사진을 나타낸다. 개별 소자의 배열 반경은 42 mm이며, 원형 기판의 중심을 기준으로 51.4°씩 회전하도록 배치하

였다. 칩커플러 회로 기판은 7개의 하이브리드 칩커플러가 접지면을 공유하되, 개별적으로 신호 전달이 가능하도록 coplanar waveguide를 삽입하여 제작하였다.

그림 14는 제작된 7소자 배열안테나에서 Ant. 1의 active element pattern을 전파 반무반사실(semi anechoic chamber)에서 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교한 그래프이다. Ant. 2~Ant. 7은 50 Ω termination을 연결하고, Ant. 1에만 신호를 인가하여 시뮬레이션하였으며, 측정은 전면 방향에서의 active element pattern 이득을 측정하였다. 제작된 배열안테나는 1.5754 GHz에서 -0.2 dBic, 1.2276 GHz에서 -2.4 dBic의 결과를 나타낸다. 제안된 7소자 배열안테나의 인접 소자 간 최소 거리는 $\lambda/20$ 이며, 제안된 안테나

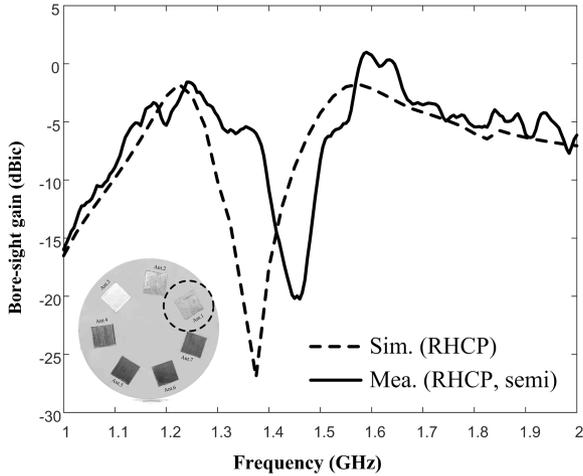


그림 14. Ant. 1의 전면방향 active element pattern 이득
Fig. 14. Bore-sight gain for an active element pattern of Ant. 1.

가 전기적으로 작은 공간에 밀집하여 장착될 경우, 배열 소자 간 커플링에 의해 이득이 저감되는 것이 일반적이다. 1.5754 GHz에서 제안된 안테나의 배열 시 이득 저감은 3.2 dB로 유사한 공간에 더 적은 수의 안테나 소자를 배열한 참고문헌 [18]의 결과와 유사하므로, 제안된 안테나는 소형 배열안테나 시스템에 적합하다.

V. 결 론

본 논문에서는 두 개의 간접급전 패드를 이용하여 L1 대역의 CP 대역폭을 개선한 소형 이중대역 GPS 안테나 구조를 제안하였다. 제안된 안테나는 적층된 두 개의 패치 사이 층에 급전 핀과 연결되는 간접급전 패드가 위치하며, 상층 패치는 간접급전 패드에 의하여, 하층 패치는 직접 연결되지 않고 통과하는 급전 핀에 의하여 전류가 유도되는 형태로 동작하며, $\epsilon_r = 20$ 의 고유전체를 사용하여 소자의 크기를 소형화하였다. CP특성을 구현하기 위하여 FR-4로 제작된 칩커플러 회로를 통하여 두 개의 급전 핀 사이에 90°의 위상차를 주어 급전하였다. 안테나 성능 측정 결과, 제작된 안테나는 전면 방향 이득이 각각 3.0 dBic, 5.2 dBic를 나타내며, 축비 특성은 0.3 dB, 3.3 dB를 나타낸다. 제안된 안테나는 1.5~2.0 GHz 주파수 범위에서 0 dBic 이상의 전면 방향 이득을 가지며, 1.55~1.85 GHz 주파수 범위에서 3 dB 이하의 축비 특성을 나타낸다. 제

안된 안테나는 두 주파수 대역에서 독립적인 주파수 튜닝이 가능한 특성을 가지며, 간접급전 패드가 접지면의 역할을 하지 않아 직접급전 구조의 특징을 나타내지 않는 것을 자계분포를 통해 확인하였다. 제안된 안테나 구조를 배열안테나로 확장하기 위하여, 동일한 크기와 유전체 기판에 7소자 배열하여 active element pattern을 측정한 결과, Ant. 1에 대하여 GPS L1/L2 대역에서 각각 전면 방향 이득 -0.2 dBic, -2.4 dBic를 나타내는 것을 확인하여, 제안된 안테나를 배열안테나로 확장하여 사용 가능함을 확인하였다.

References

- [1] Dae Hee Won, Jongsun Ahn, Eunsung Lee, Moonbeom Heo, Sangkyung Sung, and Young Jae Lee, "GNSS carrier phase anomaly detection and validation for precise land vehicle positioning", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 64, no. 9, pp. 2389-2398, Sep. 2015.
- [2] 김희영, 변강일, 손석보, 추호성, "이중 대역 GPS 배열 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 24(7), pp. 678-685, 2013년 7월.
- [3] Wasim Alshrafi, Ulrich Engel, and Thomas Bertuch, "Compact controlled reception pattern antenna for interference mitigation tasks of global navigation satellite system receivers", *IET Microw., Antennas Propag.*, vol. 9, no. 6, pp. 593-601, Jun. 2014.
- [4] J. S. Row, K. W. Lin, "Low-profile design of dual-frequency and dual-polarized triangular microstrip antennas", *Electron. Lett.*, vol. 40 no. 3, pp. 156-157, Feb. 2004.
- [5] Shi Chai Chen, Guang Cong Liu, XiangYu Chen, Ting Fen Lin, Xiang Guo Liu, and Zhi Qi Duan, "Compact dual-band GPS microstrip antenna using multilayer LTCC substrate", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 421-423, May 2010.
- [6] Gangil Byun, Seung Mo Seo, Ikmo Park, and Hosung Choo, "Design of small arrays for dual band GPS applications", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E97-B, no. 6, pp. 1130-1138, Jun. 2014.

- [7] FEKO, Altair, 2016, Available at: <http://www.altair.com>.
- [8] Advanced Design System (ADS), Keysight, 2016, Available: <http://www.keysight.com>.
- [9] Model XC1400P-03S, Anaren®, Available: <http://www.anaren.com>, 2012.
- [10] G. A. E. Vandenbosch, A. R. Van de Capelle, "Study of the capacitively fed microstrip antenna element", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 42, no. 12, pp. 1648-1652, Dec. 1994.
- [11] C. M. Su, K. L. Wong, "A dual-band GPS microstrip antenna", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 33, no. 4, pp. 238-240, May 2002.
- [12] T. M. Au, K. M. Luk, "Effect of parasitic element on the characteristics of microstrip antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 39, pp. 1247-1251, Aug. 1991.
- [13] N. C. Karmakar, M. E. Bialkowski, "Circularly polarized aperture-coupled circular microstrip patch antennas for band applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 47, no. 5, pp. 933-940, May 1999.
- [14] 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.
- [15] Maeng Chang Kang, Gangil Byun, and Hosung Choo, "Design of a miniaturized dual-band antenna for improved directivity using a dielectric-loaded cavity", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 58, no. 7, pp. 1591-1595, Jul. 2016.
- [16] D. H. Won, J. S. Ahn, E. S. Lee, M. B. Heo, S. K. Sung, and Y. J. Lee, "GNSS carrier phase anomaly detection and validation for precise land vehicle positioning", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 64, no. 9, pp. 2389-2398, Sep. 2015.
- [17] 허윤정, 조정호, 허문범, "GPS 위성 시계 이상 검출을 위한 위성 시계 오차 추정 정확도 향상", 한국항공우주학회지, 39(3), pp. 225-231, 2011년 3월.
- [18] G. Byun, S. M. Seo, I. Park, and H. Choo, "Design of small CRPA arrays for dual-band GPS applications", *IEICE Trans. Commun.*, vol. 97-B, no. 6, pp. 1130-1138, Jun. 2014.

강 승 석



2015년 8월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2015년 9월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] GPS 안테나, 차량 및 항공기 탑재 안테나 시스템

서 승 모



1998년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2001년 2월: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학석사)
 2006년 5월: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학박사)
 2007년~2010년: 삼성전자 DMC R&D 센터 선임연구원

2011년~현재: 국방과학연구소 선임연구원
 [주 관심분야] MOM 수치해석 기법 등

변 강 일



2010년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학사)

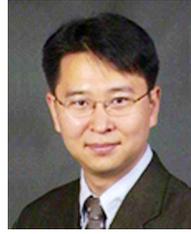
2012년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)

2015년 8월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학박사)

2015년 9월~현재: 홍익대학교 과학기술연구소 연구 교수

[주 관심분야] 빔포밍 배열안테나 기술, 안테나설계 및 위치최적화, 차량 및 항공기용 안테나, 방향 탐지 및 항재밍 배열안테나

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 전자전기공학부 교수

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