

새로운 6-단자 급전 회로망을 이용한 이중 직교 원형 편파를 갖는 소형 고이득 GPS 안테나

Small-Sized High-Gain GPS Antenna with Dual-Orthogonal Circular Polarization Using a New Six-Port Feed Network

엄 순 영 · 신 천 식

Soon-Young Eom · Cheon-Sig Sin

요 약

본 논문에서는 새로운 6-단자 급전 회로망을 이용하여 이중 직교 원형 편파를 생성하는 소형 고이득 GPS 안테나 설계, 제작 및 성능에 관하여 기술한다. 제안된 6-단자 급전 회로망은 2개의 입력 직교 단자와 4개의 출력 단자(동일 진폭 & 0° 또는 180° 위상)들을 가지므로 선형 편파 특성을 갖는 4개의 방사 소자 급전에 적합하다. 소형화 및 고이득 특성을 갖는 이중 직교 원형 편파 안테나 구현을 위하여, 안테나 중심부에 6-단자 급전 회로망을 두고, 외곽에 4개의 방사 소자들을 배치한다. 제한된 공간을 고려하여 선택된 방사 소자는 선형 편파 특성을 갖는 입체형 프린트 다이폴 소자로, 90°씩 회전 배치된다.

GPS L_1 대역(1,575.42±12 MHz)에서 최적화 설계된 안테나의 크기는 직경(D) 130 mm($0.68 \lambda_0$), 높이 40 mm($0.21 \lambda_0$) 이하이다. 벡터망 분석기로 측정된 안테나의 입력반사손실 및 단자간 격리 특성은 대역 내에서 각각 17.1 dB, 18.0 dB 이상으로 우수하다. 또한, 무반사실에서 측정된 안테나 이득 및 효율은 각각 8.69 dBi(@bore-sight) 이상 그리고 83 % 이상이며, 이중 직교 원형 편파의 축비 특성은 0.2 dB 이하(@bore-sight), 1.8 dB(@ 3 dB 빔폭) 이하로 매우 우수함을 알 수 있다.

Abstract

In this study, the design, fabrication, and performance of a small high-gain global positioning system (GPS) antenna that generates dual orthogonal circular polarization using a novel six-terminal feeding network is presented. The proposed six-terminal feeding network has two input quadrature terminals and four output terminals having the same amplitude and 0° or 180° phase. Therefore, it is suitable for feeding the four radiating elements with linear polarization characteristics. To realize a dual orthogonal circular polarization antenna with miniaturization and high gain characteristics, the six-terminal power supply network is positioned in the center of the antenna, and the four radiating elements are arranged on the outside. The radiating element selected after considering the limited space is a three-dimensional printed dipole element with linear polarization characteristics which is rotated by 90°.

The antenna size designed optimally in the GPS L_1 band (1,575.42±12 MHz) is less than 130 mm ($0.68 \lambda_0$) in diameter (D) and 40 mm ($0.21 \lambda_0$) in height. The antenna's input return loss and port isolation characteristics measured with a vector network analyzer are excellent within the band at 17.1 dB and 18.0 dB or more, respectively. In addition, the antenna gain, and efficiency measured in the anechoic chamber are 8.69 dBi (@bore-sight) or more and 83 % or more, respectively. Furthermore, it can be seen that the axial ratio characteristics of the dual orthogonal circular polarization wave are very good, with less than 0.2 dB (@bore-sight) and less than 1.8 dB (@ 3 dB beam width).

Key words: GPS Antenna, Dual-Orthogonal Circular Polarization, Six-Port Feed Network, Axial Ratio

「본 연구는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2020-0-01629).」

한국전자통신연구원 (Electronics and Telecommunications Research Institute)

· Manuscript received November 8, 2021 ; Revised November 18, 2021 ; Accepted December 4, 2021. (ID No. 20211108-101)

· Corresponding Author: Soon-Young Eom (e-mail: syeom@etri.re.kr)

I. 서 론

GPS 신호는 약 2만 km 상공에 위치한 위성으로부터 방송(broadcasting) 형식의 신호로 송신되며, 수신 감도가 약 -130 dBm/대역폭 수준으로 매우 미약하여 간섭(재밍) 신호에 취약하다. 그러므로, 자율 주행 차량, 선박, 드론, 비행기 등에 탑재된 무선 단말 장치 내부에 탑재된 GPS 능동 수신기들은 외부 간섭으로부터 보호하는 것은 중요한 이슈이다.

종래에 많이 사용해 오던 다중 안테나 기반의 항재밍 안테나 기술은 적응형 빔성형 배열 안테나 기술로서 서로 이격 배치된 다수개의 배열 안테나로 수신된 간섭 신호(재머) 방향의 정보를 획득하여 복잡한 고속 신호 처리를 통하여 제거(널링)하는 방법으로 항재밍 성능은 우수하나 매우 고가이며, 고전력 소모 및 부피가 큰 단점들을 갖는다. 이러한 고가, 고전력의 고성능 항재밍 기술 응용은 소형, 저전력, 경량의 보급형 항재밍 제품 개발에 한계가 있다.

반면에, 근래에 전파 교란 신호에 대응하기 위한 단일 능동 안테나를 이용한 연구^{[1]~[4]}가 진행된 바 있으며, 전파 교란 간섭 신호를 억압하기 위해 이중 직교 원형 편파 수신 특성을 갖는 단일 안테나가 사용되었다. 특히, 소형, 저전력 소모, 낮은 외형 등의 특징을 요구한다. 그러나, 소형 & 고이득 특성의 이중 직교 원형 편파 수신 특성을 갖는 단일 능동 안테나에 대한 연구는 아직 진행된 바 없다.

종래의 단일 방사 소자를 사용하여 이중 직교 원형 편파를 생성하는 GPS(global positioning system) 안테나는 그림 1과 같이 다양한 방법으로 안테나를 구현하여 사용해 왔다.

그림 1(a), 그림 1(b)는 단일 방사 소자에 인위적인 변형을 두어 이중 직교 성분의 위상차를 생성하여 이중 원형 편파를 생성하였다. 이러한 안테나 구조는 안테나 이득이 낮으며, 입력 정합 및 축비 특성은 약 3 % 이내의 협대역 특성을 보인다. 반면에, 그림 1(c)는 단일 방사 소자에 90° 하이브리드 결합기 소자의 회로 동작 특성을 이용하여 이중 직교 급전함으로써 이중 원형 편파를 생성하였다. 이러한 안테나 구조는 안테나 이득이 낮으며, 입

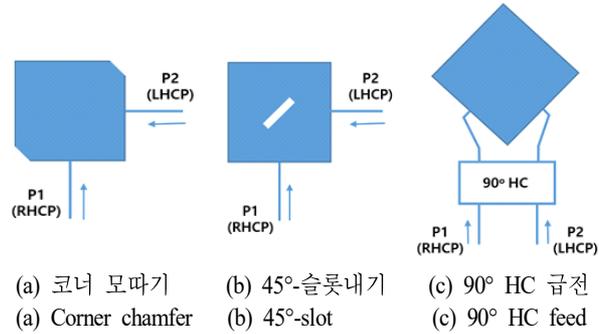


그림 1. 단일 방사 소자로 이중 직교 원형 편파를 생성하는 다양한 방법

Fig. 1. Different methods of generating dual orthogonal circularly polarized waves with a single radiating element.

력 정합 및 축비 특성이 약 10 % 정도의 대역에서 동작한다.

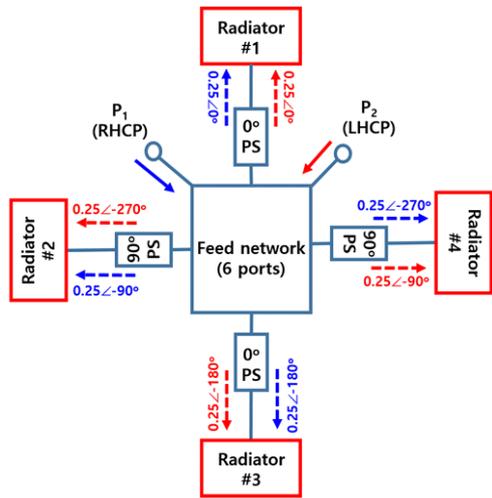
종래의 4개의 방사 소자를 사용하여 이중 원형 편파를 생성하는 안테나 구현 방법은 다수개(2 또는 4개)의 90° 하이브리드 결합기 소자를 이용한 구조를 이용하였으나, 입출력 단자 수가 많고, 또한 각 배열 소자이 원형 편파 동작하도록 이중 급전되므로 회로 구현시 면적이 크게 요구되며, 급전용 전송 선로 길이가 길어서 삽입 손실이 크며, 90° 하이브리드 결합기 소자의 전기적인 특성으로 인한 대역폭이 10 % 이하로 제한을 받는다^{[5]~[7]}.

반면에, 본 논문에서는 제한된 공간내 구현이 가능하며, 입력 정합 특성 및 직교 단자간 격리 특성이 우수한 6-단자 단일 급전 회로망 구조를 사용하여 소형, 고이득 특성의 이중 직교 편파를 생성할 수 있는 새로운 GPS 안테나 구조를 제안하고자 한다.

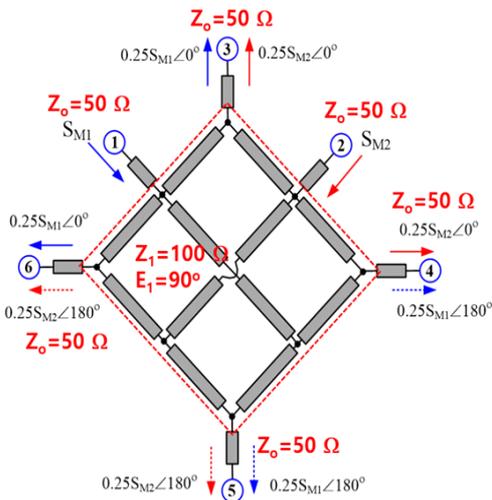
II. 제안된 이중 직교 원형 편파 안테나 설계

그림 2는 제안한 이중 직교 원형 편파 안테나 내부 구성 블록도 및 6-단자 급전 회로망을 보여준다. 선형 편파를 갖는 안테나 방사 소자는 90°씩 회전하면서 상하좌우에 4개가 놓여진다. 방사 소자들의 입력 단에는 0° 및 90° 위상 지연용 전송 선로가 놓여지며, 그 중심부에는 본 논문에서 제안하는 6-단자 급전 회로망이 위치한다. 제안하는 평면형 급전 회로망은 입력 단자가 2 개 그리고 출력 단자가 4개로 구성된다. 6-단자 급전 회로망 내부는 그림

새로운 6-단자 급전 회로망을 이용한 이중 직교 원형 편파를 갖는 소형 고이득 GPS 안테나



(a) 안테나 내부 블록도
(a) Antenna internal block diagram

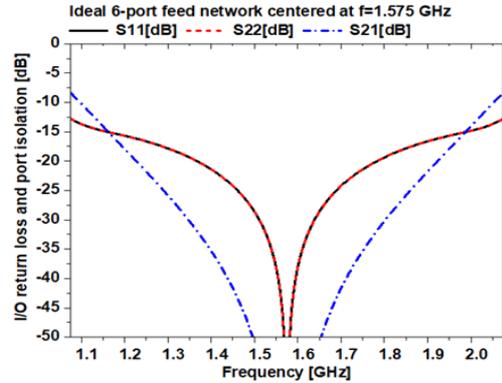


(b) 6-단자 급전 회로망
(b) 6-port feed network

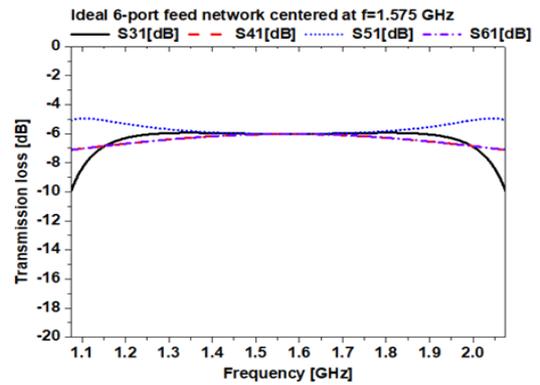
그림 2. 안테나 내부 블록도 및 6-단자 급전 회로망
Fig. 2. Antenna internal block diagram and 6-port feed network.

2(b)와 같으며, 입출력 특성 임피던스를 50 Ω 로 가정하면, 내부의 전송 선로들의 전기적 특성(Z_1)은 모두 100 Ω 의 특성 임피던스에 90°의 전기적 길이(E_1)를 갖는다. 중심부의 교차 부분은 전기적으로 RF 크로스오버된다.

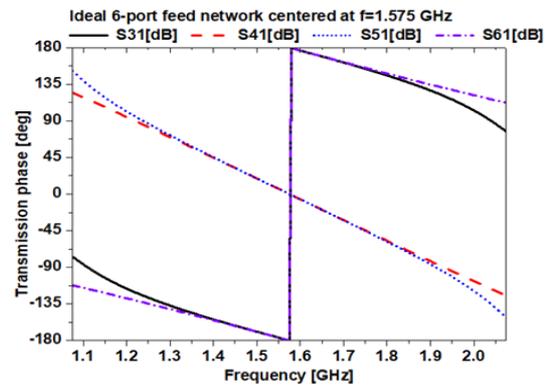
GPS L_1 중심 주파수($f_c=1.575$ GHz)에 기준에서 시뮬레이션된 이상적인 6-단자 급전 회로망의 전기적인 특성은 그림 3과 같다.



(a) 입력반사손실 및 단자간 격리 특성
(a) Input return loss and port isolation characteristics



(b) 전달 손실 특성
(b) Transmission loss characteristic



(c) 전달 위상 특성
(c) Transmission phase characteristic

그림 3. 6-단자 급전 회로망의 이상적인 전기적인 특성 (시뮬레이션 @ $f_c=1.575$ GHz)

Fig. 3. Ideal electrical characteristics of 6-port feed network (simulation centered at $f_c=1.575$ GHz).

그림 3(a)는 제안하는 6-단자 급전 회로망의 광대역 입력 정합 특성과 높은 격리 특성을 보여주며, 그리고 그림 3(b)는 출력 단자에 나타나는 광대역 전달 손실 특성을 보여준다. 그림 3(c)는 4개의 출력 단자에 나타나는 위상 특성으로 주파수 변화에 따른 위상 분산 특성을 보여준다. 중심 주파수($f_c=1.575$ GHz)에서 상대적으로 180° 의 위상차를 보여준다.

6-단자 급전 회로망의 이상적인 전기적 특성은 표 1에 요약하여 정리한다.

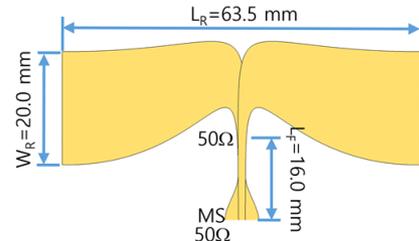
본 연구에서는 이중 직교 원형 편파를 갖는 협대역 안테나 설계에 관한 것으로 출력단에 위상 분산 기울기를 보정하는 기술이 사용되지 않는다. 만약에 이중 직교 원형 편파를 갖는 광대역 안테나 설계에 6-단자 급전 회로망을 사용할 경우에는 내부 회로망에 위상 분산 기울기 회로를 사용하여 중심 주파수에서 벗어난 주파수 대역에서 위상 보정을 위한 위상 기울기를 강하게 제어할 필요가 있다^[8].

표 1에 제시된 출력 특성 관계를 이용하면, 그림 2(b)의 6-단자 급전 회로망의 출력 단자 2, 4에 90° 지연 선로를 추가한다면, 낮은 축비의 원형 편파 특성 구현을 위한 조건인 90° 씩 순차적으로 회전(반시계 방향 @ P_1 입력, 시계 방향 @ P_2 입력)하는 급전 회로를 구성할 수 있다. 입력 단자 P_1 과 P_2 로 입력된 신호는 서로 직교 격리되며, 4개의 방사 소자로부터 자유 공간으로 방사된 신호는 공간 결함을 통하여 각각 독립적인 우수한 성능의 우현 편파(RHCP) 및 좌현 편파(LHCP)를 생성한다.

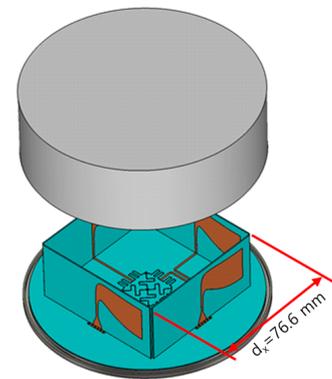
표 1. 6-단자 급전 회로망의 이상적인 전기적 특성
Table 1. Ideal electrical characteristic of 6-port feed network.

Item	1.255~1.895 GHz (fractional bandwidth ratio : 40 %)	Note
Input return loss	16 dB Min.	broadband characteristics
Port isolation	22 dB Min.	
Transmission loss	-6.0 ± 0.5 dB Max.	
Transmission phase	$180^\circ \pm 36.6^\circ$ Max.	A circuit that can control the phase dispersion slope is required.

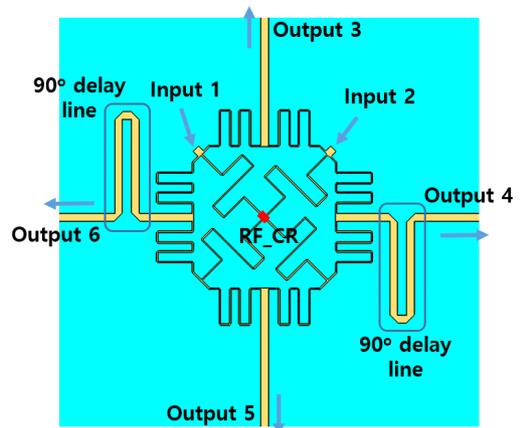
단위 방사 소자 구조는 선형 편파 특성을 갖는 다양한 방사 소자들이 사용될 수 있으나, 본 논문에서는 소형화된 GPS $L_1(f=1.575$ GHz) 안테나 구현을 위하여, 그림 4(a)



(a) 프린트 다이폴 소자(양면, 유전체 판 제거)
(a) Printed dipole element (double-sided, dielectric sheet removed)



(b) 삼차원 안테나 형상
(b) 3-D antenna shape



(c) 삼차원 안테나 형상
(c) PCB layout of six-port feed network

그림 4. 제안된 이중 직교 원형 편파 안테나
Fig. 4. Proposed dual orthogonal circular polarized antenna.

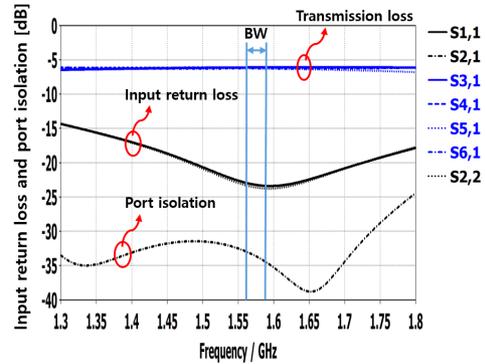
에 보이는 바와 같이, 입체형 프린트 다이폴 방사 소자를 사용한다. 반 파장 이하의 소형화 안테나 구현을 위하여, 결정된 방사 소자들 간 배열 배치 간격은 76.6 mm(0.4 파장)이다. 이러한 근접 배열 간격에서는 방사 소자들 간의 상호 결합 특성이 매우 강하므로 입력 단자들의 입력 정합 및 격리 특성이 열화된다. 그림 4(b)의 삼차원 안테나 형상으로 부터, 인접한 방사 소자들 간에는 서로 직교 형상을 보이거나 간격이 매우 가까우므로 마주 보는 방사 소자들 간 상호 결합 특성보다 더 강한 결합이 생긴다. 즉, 협소한 배열 간격에 따른 인접한 방사 소자들 간의 상호 결합 특성은 동작 주파수 대역 내에서 약 9.0 dB 이상인 반면에, 마주 보는 방사 소자들 간의 상호 결합 특성은 동작 주파수 대역 내에서 약 15.0 dB 이상이다.

4 개의 방사 소자들 간 배치 간격을 고려할 때, 프린트 다이폴 소자의 방사 길이는 76.6 mm(0.4 파장) 보다 작아야 한다. 또한, 인접한 상호 결합 특성을 반영하여, 최적화 결정된 프린트 다이폴 소자의 길이는 63.5 mm(0.33 파장)이다. 다이폴 소자 길이가 실제 공진 길이보다 작게 설계됨으로써, 공진 정합 주파수 대역이 약 0.1 GHz 정도 올라간다. 만약에 전체 안테나 크기에 제한을 받지 않을 경우에는 배열 배치 간격을 늘리고, 다이폴 소자의 공진 길이를 증가시키면 요구 주파수 대역에서 공진하도록 할 수 있다.

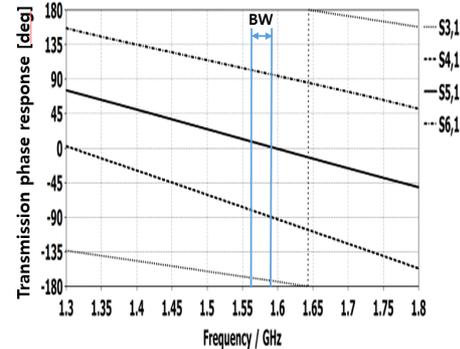
프린트 다이폴 방사 소자는 TRF45 기판(Taconic 사, $E_r=4.5$, $H=0.61\text{mm}$, $T=0.018\text{ mm}$, $\tan \delta=0.0035@10\text{ GHz}$)의 양면에 구현된다. RF 급전은 마이크로스트립 선로에서 양면 평행 스트립 선로(double-sided parallel stripline)로 변환되는 발룬 회로로 이루어진다. 안테나 부피의 소형화를 위해, 급전 길이는 약 16.0 mm 로 0.25 파장(22.4 mm @ 1.575 GHz)보다 짧다. 그러나, 발룬 회로는 동작 대역내에서 거의 1:1 임피던스 변환이 이루어지도록 설계된다.

본 논문에서 제안하는 6-단자 급전 회로망 회로는 TRF45 기판(Taconic 사, $E_r=4.5$, $H=0.61\text{mm}$, $T=0.018\text{ mm}$, $\tan \delta=0.0035@10\text{ GHz}$)에 구현된다. 그림 4(c)의 6-단자 급전 회로망은 GPS L_1 ($f=1.575\text{ GHz}$) 대역에서 최적화 시뮬레이션된 전기적 성능은 그림 5와 같다.

1.3~1.8 GHz(비대역폭율 : 32.3 %) 대역 내에서 2 개의 직교 입력 단자의 입력 반사 손실 특성은 14.0 dB 이상,



(a) 입력 반사손실 및 단자간 격리 특성
(a) Input return loss and port isolation characteristics



(b) 전달 위상 특성
(b) Transmission phase characteristic

그림 5. 6-단자 급전 회로망의 시뮬레이션된 전기적 특성(GPS L_1 대역 최적화)
Fig. 5. Simulated electrical characteristics of 6-port feed network(Optimized at GPS L_1 band).

입력 직교 단자들 간 격리 특성은 25.0 dB 이상, 전달 손실 특성은 $-6.0\pm 0.5\text{ dB}$ 이하로 우수하게 동작함을 알 수 있다. 그림 3에서 제시된 이상적인 시뮬레이션 결과에서 예상된 바와 같이, 전달 위상 특성은 GPS L_1 대역 내에서는 $90.0^\circ\pm 2.0^\circ$ 위상 간격(phase step)을 보인 반면에 대역 외에서는 점차 증가하는 위상 분산 특성을 보인다. 그러나, 본 연구에서는 GPS L_1 대역에서 동작하는 협대역/소형/고이득 안테나를 설계하므로 6-단자 급전 회로망에 위상 분산 기울기 보정 회로를 사용하지 않는다.

6-단자 급전 회로망 구현은 소형화를 위해 비결합 특성의 미엔더라인 선로들이 사용되며, 중심부의 교차 선로인 RF 크로스오버는 동작 주파수가 낮아서 짧은 와이어 선

로 대체하였다. 이 때 사용된 와이어 선로의 연결 길이 및 연결 높이는 1.0 mm 이내로 $0.005 \lambda_0$ 이하이므로 입출력 정합 특성에 영향을 주지 않는다. 출력 단자 2, 4에는 90° 순차적 위상 지연을 위해, 비결합 90° 지연 선로들이 추가된다. 6-단자 급전 회로망 회로와 4개의 방사 소자들 간 연결을 위한 바닥면에서 입체면으로의 급전 천이 특성은 동작 주파수 대역 내에서 20.0 dB 이상의 우수한 입력 정합 특성을 갖는다. 직교 입력 단자 1, 2로부터 입력된 신호는 6-단자 급전 회로망을 통하여 동일 진폭으로 분배된 후, 출력 단에 추가적으로 배치된 0° (기준 선로) 및 90° 위상 지연 전송 선로에 의해 직교 원형 편파를 형성하기 위한 안테나의 진폭 및 위상 분포를 형성한다. 이러한 방사 소자 배열 및 급전 진폭 및 위상 분포는 매우 우수한 측비 특성을 제공한다. 또한, 4개의 각 방사 소자들이 z-방향(@ 수직)으로 최대 방사 특성을 제공하므로 제한된 공간(안테나 크기) 대비 높은 안테나 이득을 제공할 수 있다.

III. 안테나 제작 및 성능

최적화 설계 과정을 통하여 제작된 이중 직교 원형 편파 안테나 시제품은 그림 6과 같다. 안테나의 크기는 직



그림 6. 제작된 이중 직교 원형 편파 안테나 시제품 사진
Fig. 6. Fabricated dual orthogonal circular polarized antenna prototype.

경(D)이 130 mm ($0.68 \lambda_0$)이고, 높이(H)가 40 mm($0.21 \lambda_0$) 이하이며, 바닥면에 2개의 SMA(F) 입력 단자들을 갖는다. 원통형 레이돔의 재질은 ABS(acrylonitrile butadiene styrene copolymer) 수지이며, 두께는 2.0 mm이다.

벡터 회로망 분석기를 사용하여 측정된 안테나 시제품의 입력반사손실 및 단자간 격리 특성은 그림 7에 제시한다. 측정된 입력반사손실 및 단자간 격리 특성은 동작 주파수 대역($1,575.42 \pm 12$ MHz) 내에서 각각 17.1 dB 이상 그리고 18.0 dB 이상으로 우수한 입력 정합 특성 및 단자간 격리 특성을 보여준다. 각 방사 소자들의 입력단 부정합 특성은 직교 단자로 직접 전달되기 때문에 단자간 격리 특성의 주파수 대역 특성은 방사 소자들의 입력 정합 특성에 크게 영향을 받는다. 그림 7의 측정 결과로부터, 단자간 격리 특성이 대역 외에서 급격히 열화되는 이유는 프린트 다이폴 방사 소자가 소형화 설계됨으로써, 단위 방사 소자의 입력 정합이 협대역 특성을 갖기 때문이다.

동작 주파수 대역($1,575.42 \pm 12$ MHz) 내에서, 6-단자 급전 회로망의 삽입 손실은 동작 대역 내에서 평균 0.3 dB 이하이며, 각 출력들 간 삽입 손실 차이는 0.1 dB_{pp} 이하 그리고 위상 오차는 $\pm 2.0^\circ$ 이하이다.

또한, 이중 직교 원형 편파 GPS L_1 안테나의 중심 주파수($f=1.575$ GHz)에서 측정된 이차원 방사 패턴 특성은 그림 8에 제시한다. 측정된 방사 특성으로부터, 중심 주파수에서 안테나 이득은 8.69 dBi (@정방향) 이상임을 알 수 있다. 측정된 이득 값은 안테나의 직경이 중심 주파수

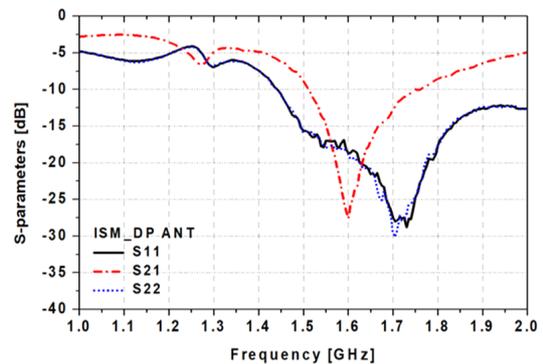
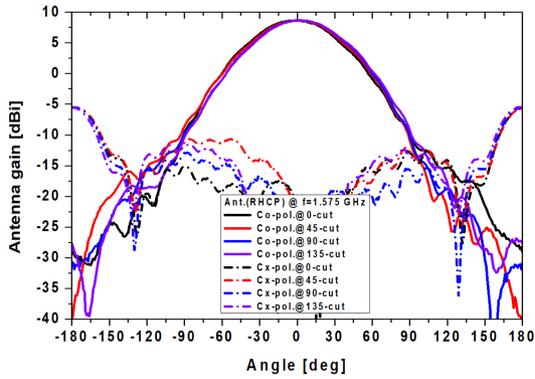
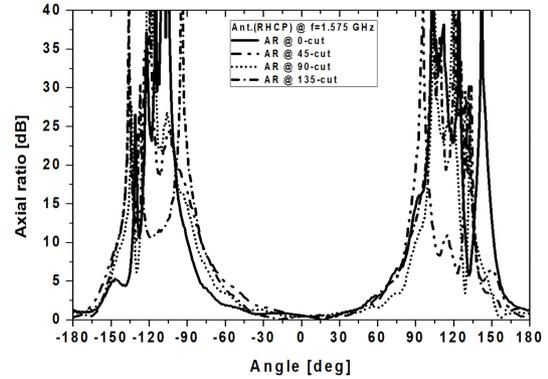


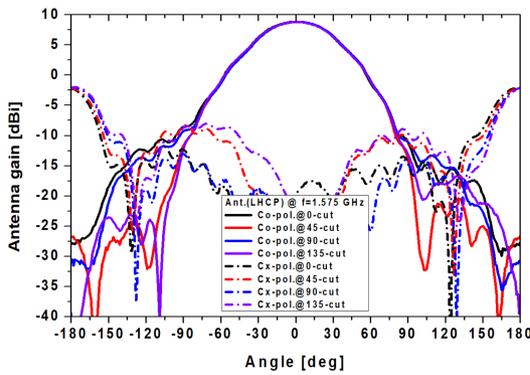
그림 7. 제작된 GPS L_1 안테나의 측정된 입력 반사 손실 및 단자간 격리 특성
Fig. 7. Measured input return loss and port isolation characteristic of fabricated GPS L_1 antenna.



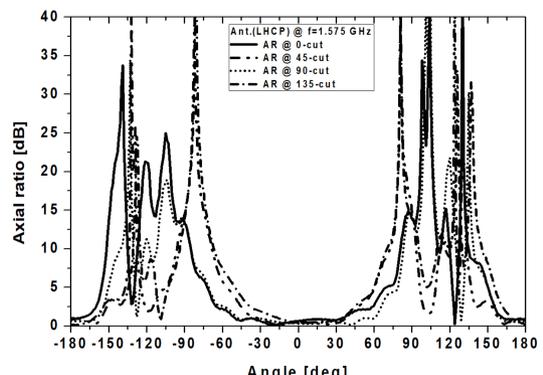
(a) 우현편파
(a) RHCP



(a) 우현편파
(a) RHCP



(b) 좌현편파
(b) LHCP



(b) 좌현편파
(b) LHCP

그림 8. 이중 직교 원형 편파($f=1.575$ GHz)를 사용하는 GPS 안테나의 측정된 방사 패턴

Fig. 8. Measured radiation pattern of GPS antenna with dual orthogonal circular polarization ($f=1.575$ GHz).

에서 0.68λ 인 점을 고려할 때, 최대 지향성 대비 약 2.1 dB 가 높은 값이다. 이것은 4개의 방사 소자들이 공간 결합하는 물리적인 영역이 최소 0.87λ 이상임을 의미하므로, 실제 안테나 유효 직경은 약 165.7 mm 정도이다. 그러므로, 안테나 설치시 주변 간섭체로부터 영향을 받지 않도록 주의해야 한다.

또한, 이중 직교 원형 편파 GPS L_1 안테나의 중심 주파수($f=1.575$ GHz)에서 측정된 축비 특성은 그림 9에 제시한다. 4 개 단면(0° , 45° , 90° , 135° -cut)에서 측정된 이중 직교 원형 편파의 축비 특성은 0.2 dB 이하(@정방향), 1.8 dB 이하(@ 3 dB 빔폭 내)의 우수한 특성을 보여준다. 우

그림 9. 이중 직교 원형 편파($f=1.575$ GHz)를 사용하는 GPS 안테나의 축비

Fig. 9. Measured axial ratio of GPS antenna with dual orthogonal circular polarization ($f=1.575$ GHz).

수한 축비 특성은 제안된 새로운 급전 회로망 구조로 인한 4개의 안테나 소자들로부터 방사되는 주 편파 및 교차 편파 성분이 상호 보강 및 상쇄되는 효과로 이해될 수 있다.

표 2에 이중 직교 원형편파 GPS L_1 안테나의 측정된 주요 방사 특성 파라미터(안테나 이득/효율, 3 dB 빔폭, 축비)들을 요약하여 정리한다. 방사 소자의 도전을 및 유전체 손실에 의한 방사 손실(0.3 dB), 6-단자 급전 회로망 손실 및 입력 정합 손실(0.4 dB) 그리고 입력 커넥터 손실(0.1 dB)을 포함한 안테나 전체 손실은 0.8 dB로 분석된다. 이것은 83 %에 해당되는 안테나 효율 값으로, 안테나 급전 회로망이 저손실 설계되었음을 알 수 있다.

표 2. 이중 직교 원형 편파를 갖는 GPS L₁ 안테나의 측정된 주요 방사 특성 파라미터

Table 2. Measured main radiation characteristic parameters of GPS L₁ antenna with dual orthogonal circular polarization.

Frequency (GHz)	Polarization	Antenna gain (dBi)	3 dB beamwidth [0°/90°]	Axial ratio (dB) @bore-sight
1.56342	RHCP	8.65	65.6°/65.5°	0.51
	LHCP	8.76	63.4°/63.2°	0.11
1.57542	RHCP	8.69	65.7°/65.6°	0.22
	LHCP	8.83	64.3°/64.1°	0.16
1.58742	RHCP	8.65	66.5°/66.1°	0.42
	LHCP	8.86	65.2°/64.7°	0.34

IV. 결 론

본 논문에서는 이중 직교 원형 편파를 생성하는 소형 고이득 GPS 안테나 구현을 위하여, 새로운 6-단자 급전 회로망을 제안하였다. 최적화 설계 및 제작된 안테나는 동작 대역 내에서 우수한 전기적 특성(고이득 & 고효율 및 낮은 축비 특성)을 보여주었다. 안테나의 전체 크기, 안테나 이득 및 대역폭 특성 등 각 안테나 요구 조건에 따라, 방사 소자들 간의 배열 배치 간격 및 방사 소자의 높이는 조절될 수 있다.

본 논문에서 제작한 이중 직교 원형 편파를 갖는 GPS L₁ 안테나는 하부에 항재밍 능동 모듈과 2-단자 접속(2-단자 Interface)하여 활용할 예정이다.

References

[1] W. De Wilde, J. M. Sleewaegen, B. Bougard, G. Cuypers, A. Popugaev, and M. Landmann, et al., "Authentication by polarization: A powerful anti-spoofing method," in *Proceedings of the 31st International Technical Meeting*

of the Satellite Division of The Institute of Navigation(ION GNSS 2018), Miami, FL, Sep. 2018, pp. 3643-3658.

[2] Y. H. Chen, S. Lo, A. Perkins, F. Rothmaier, D. Akos, and P. Enge, "Demonstrating single element null steering antenna direction finding for interference detection," in *Proceedings of the 2018 International Technical Meeting of The Institute of Navigation*, Reston, VA, Jan. 2018, pp. 240-259.

[3] Y. H. Chen, F. Rothmaier, D. Akos, S. Lo, and P. Enge, "Towards a practical single element null steering antenna," in *Proceedings of the 2017 International Technical Meeting of The Institute of Navigation*, Monterey, CA, Jan. 2017, pp. 879-889.

[4] E. McMilin, "Single antenna null steering for GPS & GNSS aerial applications," Ph.D. dissertation, Stanford University, Stanford, CA, 2016.

[5] X. D. Bai, X. L. Liang, Y. T. Sun, P. C. Hu, Y. Yao, and K. Wang, et al., "Experimental array for generating dual circularly-polarized dual-mode OAM radio beams," *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, p. 40099, Jan. 2017.

[6] J. F. Pintos, P. Minard, and P. Chambelin, "Antenna arrays with dual circular polarization," U.S. Patent, 8081135B2, Dec. 2011.

[7] S. C. Pavone, G. S. Mauro, L. D. Donato, and G. Sorbello, "Design of dual circularly polarized sequentially-fed patch antennas for satellite applications," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 6, p. 2107, 2020.

[8] S. Y. Eom, H. K. Park, "New switched-network phase shifter with broadband characteristics," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 38, no. 4, pp. 255-257, Aug. 2003.

엄 순 영 [한국전자통신연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9604-1442>



1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1991년 8월~1993년 7월: 이탈리아 Alenia Spazio사와 VSAT(DAMA-SCPC) 국제공동개발(과건)

2007년 7월~2008년 7월: 미국 조지아 공대 국제공동연구

2016년 1월~현재: 합동참모본부 무기체계 시험평가 위원회 민간 전문위원

2009년 9월~2021년 2월: 과학기술연합대학원대학교 한국전자통신연구원 스쿨 ICT(통신미디어공학) 전임교수

1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

[주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 및 시스템. 안테나 시스템, 위성/이동통신 RF 시스템 등

신 천 식 [한국전자통신연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3192-5543>



1990년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)

2000년 8월: 한양대학교 전자 통신공학과 (공학석사)

2013년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 박사수료

1990년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 근무

[주 관심분야] 위성통신, 위성항법 및 GPS 전파교란