

이중 직교 원형편파 도파관 안테나

Dual-Orthogonal Circular Polarized Waveguide Antenna

이 혁 · 정 원 선 · 정 경 영*

Hyok Lee · Won-Sun Chung · Kyung-Young Jung*

요 약

본 논문에서는 챔버 환경에서 실제 GNSS 신호를 구현하기 위한 이중 직교 원형편파 도파관 안테나를 제안한다. 제안한 안테나는 원형편파 특성을 위한 편파 변환기 septum 구조와 광대역 특성을 갖는 동축-도파관 트랜지션으로 구성된다. 설계된 안테나는 2개 포트를 통해 각각 RHCP와 LHCP 방사 패턴이 형성되고, 이중 직교 특성을 갖는다. 구현된 안테나는 GNSS 대역에서 12 dB 이상의 이득, 3 dB 이하의 축비, 10 dB 이상의 반사 손실 특성 등을 갖는다.

Abstract

We present a dual-orthogonal circularly polarized waveguide antenna for modeling real GNSS signals in a shielded chamber. The proposed antenna consists of a septum structure for a circular polarization radiation pattern and a coaxial-to-waveguide transition for broadband characteristics. The designed antenna has dual orthogonal characteristics and forms RHCP and LHCP radiation patterns through the two ports. The fabricated antenna had gain characteristics higher than 12 dBic, an axial ratio of less than 3 dB, and a return loss higher than 10 dB in the GNSS band.

Key words: GNSS, Horn Antenna, Septum, Circular Polarization, Dual-Orthogonal

I. 서 론

사용자에게 위치 및 항법, 시각 정보를 제공하는 위성 항법시스템은 4차 산업혁명 시대가 도래함에 따라 미래 국가 성장 동력의 핵심 인프라로 주목받고 있다. 내비게이션 등 주로 사용하던 길 안내 서비스 정도에 머물렀던 위성항법 서비스의 활용 분야는 위성, 통신, 금융, 국방, 해양 등 사업의 전 분야로 급속히 확대되고 있으며, 자율주행자동차의 주행 안전도를 높이기 위한 V2X 기술과 연

계한 위치측위 용도로 활용되고 있다. 현재 운용 중인 위성항법시스템은 각 국가의 상황과 특성에 따라 필요한 서비스가 다르기 때문에 다양한 주파수 대역이 활용되고 있다^{[1],[2]}.

위성항법 시스템은 1.164~1.3 GHz와 1.559~1.61 GHz 대역에서 주로 동작한다. 개별 위성항법 시스템들은 협대역 신호를 사용하지만, 재밍과 정밀 위치 분석 등의 기능 향상을 위해 둘 이상의 주파수 대역을 사용하거나, 이중 직교 원형편파 특성을 활용하기도 한다^{[2]~[4]}. 이에 자동

「이 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원 (No. 20016516, 소재부품기술개발사업)의 지원으로 연구되었음.」

한국자동차연구원(Korea Automotive Technology Institute)

*한양대학교 융합전자공학부(Department of Electronic Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received July 3, 2024 ; Revised August 7, 2024 ; Accepted September 19, 2024. (ID No. 20240703-009S)

· Corresponding Author: Kyung-Young Jung (e-mail: kyjung3@hanyang.ac.kr)

차에 장착된 위성항법 관련 제품의 성능 시험과 서비스 검증을 위하여 차폐된 테스트베드 환경에서 실제 위성 신호를 모사할 수 있는 장비가 필요하다.

본 논문에서는, 챔버 환경에서 실제 GNSS 신호를 구현하기 위한 이중 직교 원형편파 도파관 안테나를 제안한다. 제안하는 안테나는 원형 편파 특성 구현을 위한 편파 변환기와 광대역 특성 구현을 위한 동축-도파관 트랜지션으로 구성된다.

II. 안테나 설계

그림 1은 광대역 특성을 갖는 동축-도파관 트랜지션 구조이다. 도파관 내부의 동축 내심 다단 구조를 이용하여 광대역 특성을 구현한다^{[5],[6]}. 도파관 크기는 해당 주파수 대역에서의 규격인 WR-650(165.1×82.55 mm) 대신 160×80 mm 크기로 설정하였다.

그림 2는 트랜지션의 설계 파라미터 변화에 따른 S_{11} 특성을 보여준다. 공진 주파수는 동축 내심 길이인 hf에 가장 큰 영향을 받고, 도파관의 단락 스텔브 길이 Ls와 동축 내심의 다단 두께인 반경 ri2는 공진 주파수와 임피던스 정합에 동시에 영향을 준다. 동축 내심의 다단 부분의 높이 hf2는 임피던스 정합에 가장 큰 영향을 준다. 설계된 트랜지션 파라미터 값은 표 1과 같다. 각 파라미터 특성을 분석할 때 다른 파라미터들은 표 1 값으로 고정하였으며, 파라미터를 순차적으로 변화시키며 최적화 하였다.

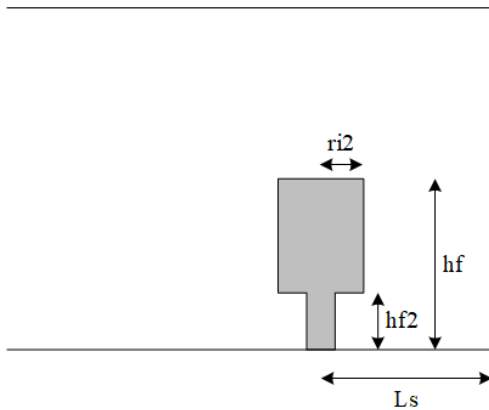


그림 1. 트랜지션 구조
Fig. 1. Transition structure.

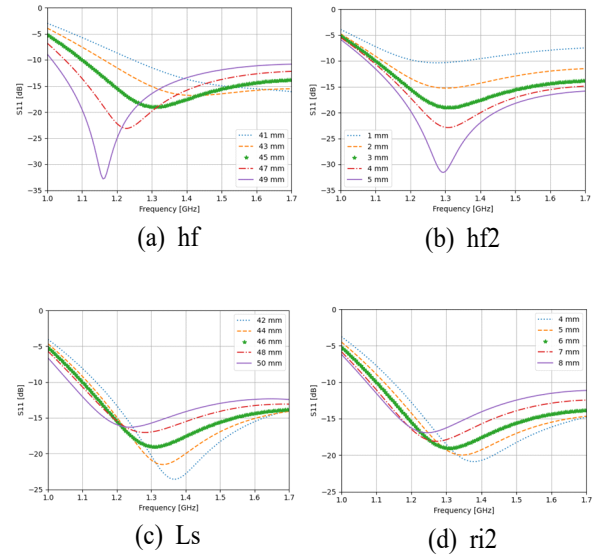


그림 2. 트랜지션 S_{11} 특성
Fig. 2. Transition S_{11} characteristics.

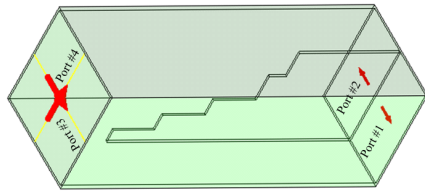
표 1. 트랜지션 설계 파라미터 결과
Table 1. Transition design parameters.

ri2	6 mm	hf	45 mm
Ls	46 mm	hf2	3 mm

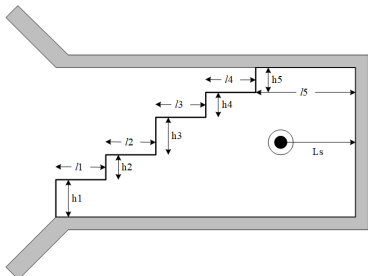
그림 3은 편파변환기 구조와 편파 원리를 보여준다. 그림 3(a)와 같이 입력 포트(포트 1과 포트 2)는 160×80 mm 크기 직사각형 도파관이고 출력 포트(포트 3과 포트 4)는 160×160 mm 크기 정사각형 도파관 구조로 구성된다. 두 입력 포트는 다단 septum 구조를 이용하여 구분하고, 그림 3(c) 및 그림 3(d)처럼 각각의 입력포트에 신호가 인가되었을 때, 다단 septum 구조로 인하여 RHCP와 LHCP의 원형편파를 갖게 된다. 출력 포트는 정사각 개구면에 수직과 수평 편파로 직교 특성을 갖는다^{[7]~[9]}. 직교 특성을 혼 안테나에 적용하여 이중 직교 원형 편파 도파관 안테나가 구현된다. 다단 septum 편파 변환기 설계 파라미터는 표 2와 같다.

III. 안테나 제작 및 특성

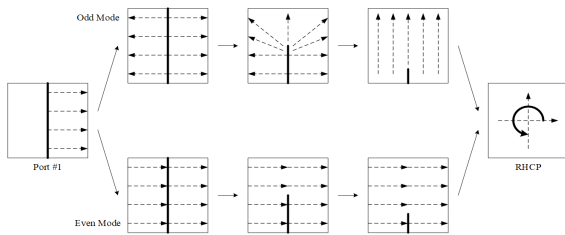
그림 4는 제작된 혼 안테나이다. 그림 1의 트랜지션 구



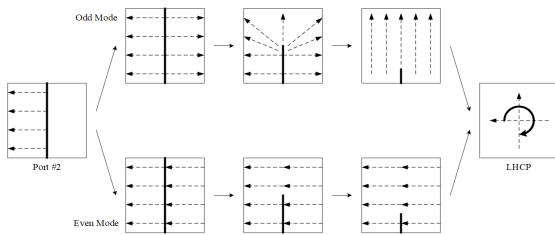
(a) 포트 구성
(a) Port configuration



(b) 편파 변환기 구조
(b) Stepped septum polarizer structure



(c) 포트 1 RHCP 구현 원리
(c) Principles of RHCP on Port 1



(d) 포트 2 LHCP 구현 원리
(d) Principles of LHCP on Port 2

그림 3. 다단 septum 편파변환기 구조와 편파 원리
Fig. 3. Stepped septum polarizer structure and principles of CP.

조와 그림 3의 다단 septum 구조를 적용한다. 개구면의 크기는 300×300 mm이고, 100 mm 길이를 갖는다. 혼 안테나는 2개의 부분과 다단 septum 구조를 조합하여 제작

표 2. 다단 septum 편파변환기 설계 파라미터
Table 2. Step septum polarizer design parameters.

h_1	22.0 mm	l_1	60.0 mm
h_2	26.5 mm	l_2	60.0 mm
h_3	26.5 mm	l_3	50.0 mm
h_4	50.0 mm	l_4	25.0 mm
h_5	35.0 mm	l_5	100.0 mm

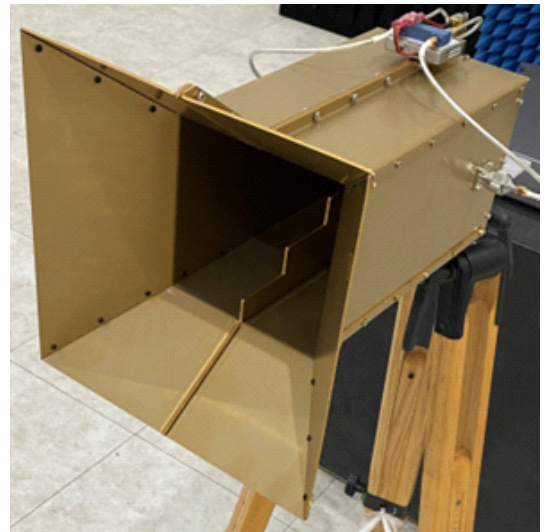


그림 4. 제작된 안테나 구조
Fig. 4. Fabricated antenna structure.

하였으며, N-타입 커넥터로 급전하였다. 그림 5는 제작된 안테나의 설계 결과와 측정 결과를 비교하였다. 두 입력 포트는 대칭 구조이기 때문에 특성 또한 대칭 특성을 갖는다.

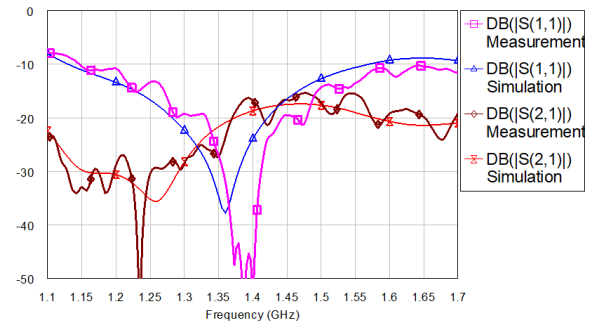
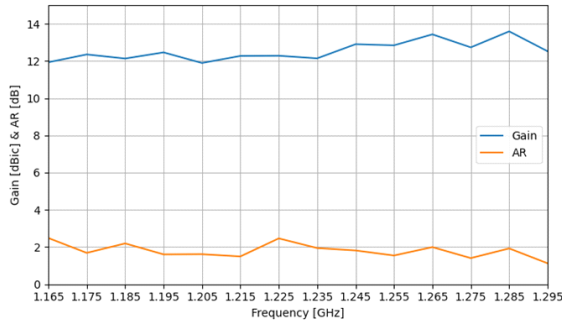


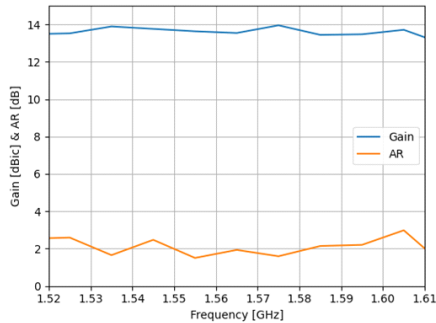
그림 5. 측정된 S 파라미터 특성
Fig. 5. Measured S-parameters.

그림 6은 제작된 안테나의 측정된 안테나 이득과 축비 특성을 보여준다. GNSS 전대역에서 축비는 3 dB 이하이고, 이득은 12~14 dBic 특성을 갖는다.

그림 7은 제작된 안테나의 방사 패턴 특성을 보여준다. 포트 1 입력 신호는 RHCP 특성을 갖고, 포트 2 입력 신호는 LHCP 특성을 갖는다.



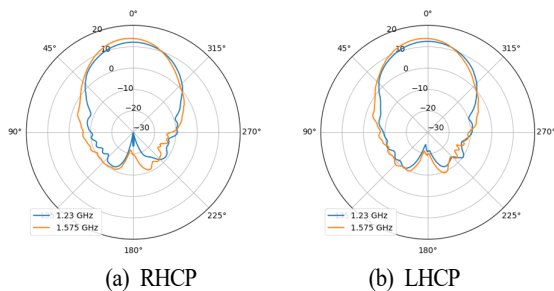
(a) 1.165~1.295 MHz



(b) 1.52~1.61 MHz

그림 6. 제작된 안테나 이득과 축비

Fig. 6. Fabricated antenna gain and axial ratio.



(a) RHCP

(b) LHCP

그림 7. 제작된 안테나 방사 패턴 특성

Fig. 7. Fabricated antenna radiation patterns.

IV. 결 론

본 논문에서는 GNSS 대역에서 사용되는 광대역 이중 직교 특성의 원형 편파 혼 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 광대역 임피던스 특성을 위해 동축 내심의 다단 스텝 구조를 이용하였고, 광대역 축비 구현을 위해 다단 septum 구조를 이용하였다. 구현된 안테나는 GNSS 대역에서 RHCP와 LHCP 특성을 동시에 갖도록 이중 직교 특성으로 설계되었다. 제안된 안테나는 이중 직교 원형편파 특성을 갖는 실제 위성 신호를 차폐된 테스트베드 환경에서 구현하여 자율주행자동차에 장착되는 V2X 통신 성능 검증에 활용 가능하리라 판단된다.

References

- [1] J. Jang, C. S. Im, S. K. Kim, H. W. Cho, B. G. Jeong, and J. P. Kim, "Evolution of satellite navigation services and element technology," *Proceedings of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 35, no. 2, pp. 11-23, Mar. 2024.
- [2] S. U. Lee, "Satellite navigation systems, jamming, and countermeasures," *Proceedings of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 5, pp. 52-59, Sep. 2022.
- [3] S. S. Jang, S. M. Seo, G. Byun, and H. Choo, "Design of dual-band GPS array antenna using in-direct feeding pad," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 5, pp. 355-365, May 2017.
- [4] S. Y. Eom, C. S. Sin, "Small-sized high-gain GPS antenna with dual-orthogonal circular polarization using a new six-port feed network," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 12, pp. 1045-1053, Dec. 2021.
- [5] M. E. Bialkowski, "Analysis of a coaxial-to-waveguide adaptor including a discended probe and a tuning post," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 43, no. 2, pp. 344-349, Feb. 1995.
- [6] B. Dansram, S. Xu, J. Heo, C. S. Lee, and B. C. Ahn,

"Design of a broadband transition from a coaxial cable to a reduced-height rectangular waveguide," *Applied Sciences*, vol. 2023, no. 13, pp. 11265-11276, Oct. 2023.

[7] J. Bornemann, V. A. Labay, "Ridge waveguide polarizer with finite and stepped-thickness septum," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 43, no. 8, pp. 1782-1787, Aug. 1995.

[8] D. S. Choi, Y. S. Choi, H. J. Lee, D. K. Ju, S. I. Lee, and J. M. Woo, "Design of circular polarized waveguide

antennas with hemispherical coverage for low-orbit satellite TC&R," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 11, pp. 959-970, Nov. 2021.

[9] D. S. Choi, Y. S. Choi, H. J. Lee, S. I. Lee, and J. M. Woo, "Design of a dual-mode waveguide CP antenna with a symmetric beamwidth using short stub for low-orbit satellite TC&R," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 5, pp. 398-404, Sep. 2023.

이 혁 [한국자동차연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9526-3414>



2001년 2월: 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학사)
2003년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)
2003년 3월~2008년 8월: LG전자 MC사업본부 선임연구원
2008년 9월~현재: 한국자동차연구원 책임

연구원

2016년 3월~현재: 한양대학교 융합전자공학과 박사과정
2015년 1월~현재: CISPR/D, ISO TC22 SC32 WG3 전문위원
[주 관심분야] V2X 통신, RF 능동회로, 차량용 안테나, EMC

정 경 영 [한양대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-7960-3650>



1996년: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
1998년: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
2008년: 미국 Ohio State University 전기및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1998년~2004년: SK하이닉스 선임연구원
2009년~2011년: 아주대학교 전자공학부

전임강사

2011년~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수
[주 관심분야] 전자파 수치해석, 안테나, 초고주파공학

정 원 선 [한국자동차연구원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-8009-7188>



2000년 2월: 아주대학교 기계공학과 (공학사)
2002년 2월: 아주대학교 기계공학과 (공학석사)
2012년 2월: 아주대학교 기계공학과 (공학박사)
2002년 1월~2007년 12월: LG산전 선임

연구원

2021년 1월~2022년 9월: 한국자동차연구원 커넥티드융합센터 센터장

2008년 1월~현재: 한국자동차연구원 수석연구원

[주 관심분야] 차량 통신 관제, 차량 보안 등