

급전 위치 변경을 통한 Fabry-Perot Cavity 안테나 이득 개선

Gain Enhanced Fabry-Perot Cavity Antenna by Changing the Source Feeding Position

최 다 은 · 한 지 은 · 김 동 호

DaEun Choi · JiEun Han · Dongho Kim

요 약

본 논문은 급전 소자의 위치와 방사 방향을 변경하여 안테나 이득을 높일 수 있는 FPC(Fabry-Perot cavity) 안테나 설계 방법을 제안한다. 제안한 방법으로 설계된 FPC 안테나는 기존 FPC 안테나에서는 고려하지 못한 전파의 위상을 제어할 수 있기 때문에 기존보다 평평한 파면을 형성하고 더 높은 이득을 실현할 수 있다. 또한, 본 논문에서는 부엽 준위를 낮추기 위해 부분반사표면(PRS: partially reflective surface) 셀의 반사 크기를 테이퍼링하였다. 제작된 FPC 안테나의 개구면 효율은 24 %로 기존 FPC 안테나보다 2배 이상 향상됐으며, -31.5 dB의 낮은 부엽 준위를 갖는다.

Abstract

In this study, we developed a new design method to enhance the gain of Fabry-Perot cavity (FPC) antennas by adjusting the source-feeding position. Our proposed FPC antenna utilizes wave phase manipulation, which has not been previously explored in conventional FPC antennas, to achieve a flat wavefront and improve antenna gain. The proposed method significantly increased the aperture efficiency to 24 %, which is double that of conventional FPC antennas. Additionally, we employed tapered reflection phases for the partially reflective surface (PRS) cells to reduce high sidelobe levels in FPC antennas. As a result, our proposed antenna exhibits an impressive sidelobe level of -31.5 dB.

Key words: Fabry-Perot Cavity Antenna, High Aperture Efficiency, Artificial Magnetic Conductor, Tapering, Low Sidelobe

I. 서 론

FPC(Fabry-Perot cavity) 안테나는 부분반사표면(PRS: partially reflect surface), 접지면, 단일급전소자로 구성되는 간단한 구조의 고이득 안테나이다^{[1]~[5]}. FPC 안테나가 간단한 구조로도 고이득을 형성할 수 있는 이유는 PRS와

접지면 사이 거리나 접지면에 반사되는 전파의 위상을 조절하여 FP(Fabry-Perot) 공진 조건을 만족시키도록 설계하기 때문이다.

그러나 기존 FPC 안테나의 급전소자는 접지면에 위치하도록 설계되었는데, 이때 구조의 특성상 급전 안테나에서 방사되어 접지면에 반사되지 않고 바로 PRS를 투과하

「이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2020R1A2C2013466).」

세종대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Sejong University)

· Manuscript received November 25, 2022 ; Revised December 8, 2022 ; Accepted April 20, 2023. (ID No. 20221125-099)

· Corresponding Author: Dongho Kim (e-mail: dongkim@sejong.ac.kr)

는 파가 존재할 수밖에 없다. 이러한 투과파는 위상을 제어할 수 없기 때문에 파면 형성에 기여하지 않고 이는 이득 저하를 야기한다.

본 논문에서는 이득 저하의 원인이 되는 위상 제어가 불가능한 투과파를 해결하기 위해 기존의 FPC 안테나와는 달리 급전 안테나에서 방사되는 모든 전파가 ground에 반사되도록 급전 소자를 안테나 덮개부인 PRS에 두었다. 그리고 AMC(artificial magnetic conductor) 접지면을 이용해 모든 전파가 목표 파면에서 동일한 위상이 되게 하여 이득을 높였다. 이에 더불어 PRS 단위 셀의 반사 크기를 테이퍼링하여 기존 FPC 안테나의 높은 부엽 준위를 크게 낮췄다. 모든 시뮬레이션은 CST Studio Suite를 사용했다^[6].

II. 본 론

그림 1(a)에는 기존 FPC 안테나의 구조와 동작 원리가 나타나 있다. FPC 안테나는 그림처럼 급전 소자로부터 방사되는 전파가 PRS를 투과할 때 파면을 형성하도록 PRS와 접지면 사이에 FP 공진을 만족시켜 수직 방향으로

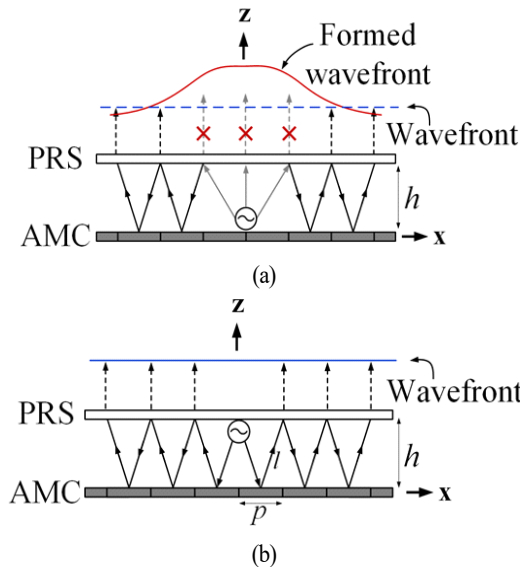


그림 1. (a) 기존 FPC 안테나와 (b) 제안된 FPC 안테나의 구조 및 동작 원리, $p=20$ mm, $h=31.5$ mm, $l=33.05$ mm

Fig. 1. The operation principle of (a) a conventional FPC antenna and (b) the proposed FPC antenna.

의 고이득 빔을 형성한다. 이때, FP 공진 조건은 PRS와 접지면 사이 거리(h)를 조절하거나, AMC 접지면의 반사 위상을 조절하여 만족시킬 수 있다.

그러나, 그림 1(a)의 기존 FPC 안테나처럼 급전 소자가 접지면에 위치해 있을 경우, AMC 접지면에 반사되지 않고 PRS를 투과하는 일부 전파(회색 선)가 존재한다. 이 투과파들은 급전 소자에서 PRS까지 각기 다른 경로로 진행하기 때문에 모두 다른 위상 지연을 가지는데, AMC 접지면에 반사되지 않아 위상을 조절할 수 없다. 그렇기 때문에 AMC 접지면에 반사된 투과파들이 형성하는 파면에 기여하지 못하고, 이는 안테나 이득을 저하시키는 원인이 된다.

본 논문에서는 위상 제어가 불가능한 투과파가 발생하지 않게 하고, 모든 투과파의 위상 제어가 가능하도록 하기 위해서 그림 1(b)와 같이 급전 소자를 PRS 중앙에 위치시켜 AMC 접지면을 향해 방사하도록 했다. 이와 같이 급전 소자의 위치를 바꾸게 되면, 급전부에서 방사되어 PRS를 투과하는 모든 전파가 AMC 접지면에 반사되므로 AMC 셀을 통해 투과파의 위상을 조절할 수 있다. PRS의 셀 크기가 모두 동일한 경우, 평평한 파면 형성을 위한 각 AMC 셀의 반사 위상은 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\phi_{AMC} = 2\beta l - \phi_{PRS} \quad (1)$$

이때, β 는 자유공간에서의 위상 상수이고, l 은 AMC 단위 셀과 PRS 단위 셀 사이의 전파 경로 길이, ϕ_{AMC} 와 ϕ_{PRS} 는 각각 PRS와 AMC의 반사 위상이다.

제안하는 방법처럼 급전 소자를 PRS에 두기 위해 본 연구에서는 패치 안테나를 그림 2와 같이 설계했으며, 두께 1.52 mm의 Taconic RF-35 유전체 기판을 사용했다.

그림 3 및 그림 4는 제안된 안테나의 PRS와 AMC를 구성하는 단위 셀 구조와 반사 계수 혹은 반사 및 투과 계수를 나타낸 것이다. PRS 단위 셀은 mesh grid의 크기인 a 를 조절하여 반사 계수를 변화시킬 수 있고, AMC 단위 셀은 사각 패치 크기인 b 를 조절하여 반사 위상을 변화시킬 수 있다. 두 단위 셀 모두 1.52 mm 두께의 Taconic RF-35 유전체 기판을 사용했다.

그림 5는 제안된 FPC 안테나의 PRS와 AMC 접지면의 형상이다. 제안된 안테나의 PRS는 FPC 안테나의 고질적

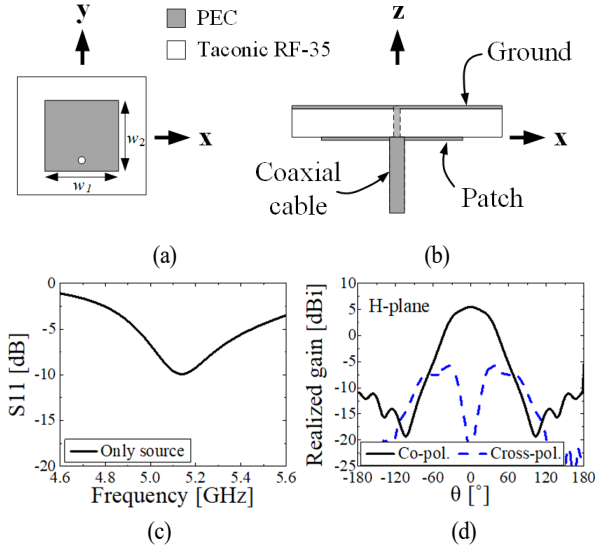


그림 2. 패치 안테나의 (a) 하면과 (b) 측면 구조 및 (c) S_{11} 과 (d) H-평면 방사 패턴, $w_1=15$ mm, $w_2=14.8$ mm

Fig. 2. Structure of the feeding patch antenna seen from the (a) bottom and (b) side, and its (c) S_{11} and (d) an H-plane radiation pattern.

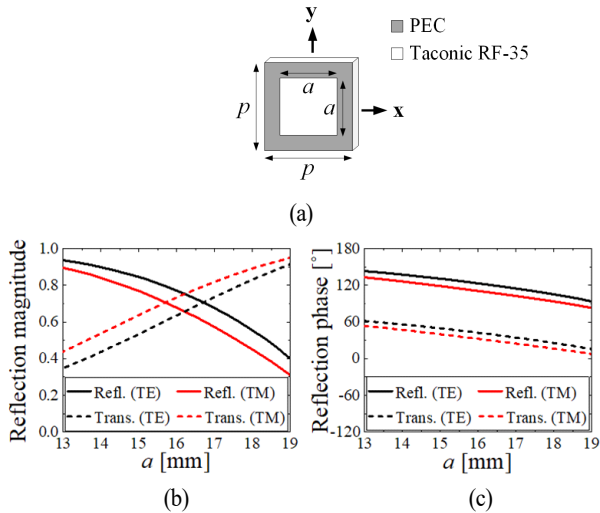


그림 3. PRS 단위 셀의 (a) 형상, a 에 따른 (b) 반사 및 투과 크기, (c) 반사 및 투과 위상, $p=20$ mm, a 는 PRS 셀 mesh grid의 크기

Fig. 3. The PRS unit cell (a) design, (b) its reflection and transmission magnitudes, and (c) phase according to a .

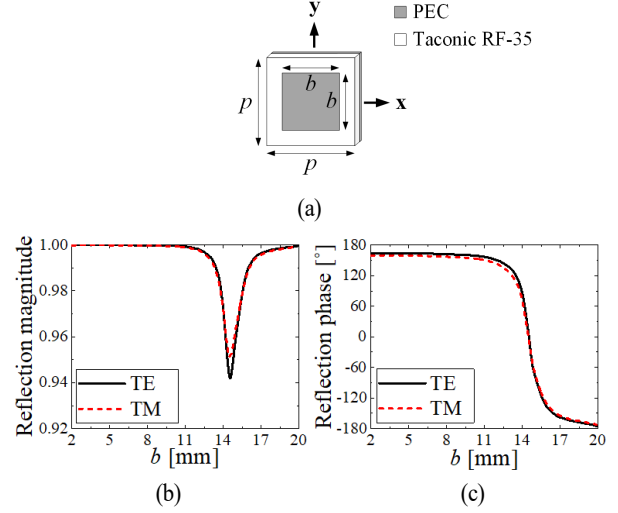


그림 4. AMC 단위 셀의 (a) 형상, b 에 따른 (b) 반사 크기 및 (c) 반사 위상, b 는 필요한 AMC 셀 패치의 크기

Fig. 4. The AMC unit cell (a) design, (b) its reflection magnitude, and (c) phase according to b .

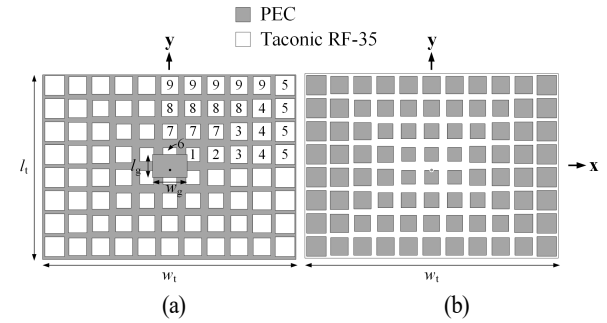


그림 5. 설계 안테나의 (a) PRS, (b) AMC, $w_1=220$ mm, $l_1=180$ mm, $w_2=30$ mm, $l_2=20$ mm

Fig. 5. The geometry of (a) the PRS and (b) the AMC ground plane of the proposed antenna.

인 문제인 높은 부엽 준위를 개선하기 위해 tapered PRS를 사용했다^[7]. 이때, 공진기 내부 전파가 진행하는 모드에 따라 두 구역 (TE, TM)으로 나누고, 진행 모드에 따라 PRS의 반사 계수 테이퍼링을 하였다. TE 구역은 그림 5(a)의 셀 1번부터 5번에 해당하는 구역으로, 반사 크기를 0.9에서 0.7까지 0.05씩 선형적으로 감소하도록 설계하였다. TM 구역은 셀 6번부터 9번에 해당하는 구역으로 반

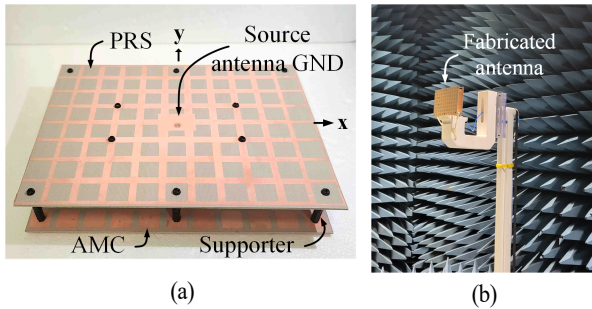


그림 6. 제작된 안테나의 (a) 구조 및 (b) 측정 환경
Fig. 6. The (a) structure and (b) measurement environment of the fabricated antenna.

사 크기는 각각 0.9에서 0.75까지 0.05씩 선형적으로 감소하도록 설계했다. TE 구역과 TM 구역의 전체 셀 배치는 x-축과 y-축 방향으로 모두 대칭을 이룬다.

제작된 전체 안테나 사진과 실제 측정 환경은 그림 6 (a)와 그림 6 (b)에 나타났다. 안테나 크기는 220.0 mm×160.0 mm×34.6 mm이고, 목표 주파수 5 GHz 기준으로 $3.67 \lambda \times 2.67 \lambda \times 0.58 \lambda$ 이다.

그림 7은 제작된 안테나의 반사 특성(S_{11})과 방사 패턴이다. 일반적으로 협대역 특성을 보이는 FPC 안테나와 달리 제안된 안테나는 약 10 % (4.90 GHz~5.46 GHz)의 넓은 대역폭을 보인다. 이는 PRS에 의해 급전 소자 접지면에 다수의 슬롯이 있는 효과가 생겨 구조에 의해 여러 주파수에서 공진이 발생하기 때문이다^[8]. 그림 7(a)는 패치안테나의 접지면이 모두 도체로 덮혀 있는 경우와 접지면에 슬롯이 있는 경우의 S_{11} 특성을 비교한 것이다. 접지면에 슬롯이 있는 패치 안테나의 경우, 다중 공진이 발생하는 것을 확인할 수 있다. S_{11} 특성은 안테나 제작과정에서 발생한 공정 오차로 시뮬레이션과 측정 결과 간의 차이가 있으나, 두 결과의 경향이 유사한 것을 확인할 수 있다.

그림 7(b)와 그림 7(c)는 시뮬레이션과 제작된 안테나의 H-평면과 E-평면의 방사 패턴 결과이고, 두 평면 모두 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 굉장히 잘 맞는 것을 확인할 수 있다.

제작된 안테나는 목표 주파수 5 GHz에서 14.7 dBi의 높은 이득과 H-평면에서 -31.7 dB의 굉장히 낮은 부엽 준위를 가지며, 개구면 효율은 24 %이다.

본 논문의 안테나와 유사한 AMC 접지면과 tapered

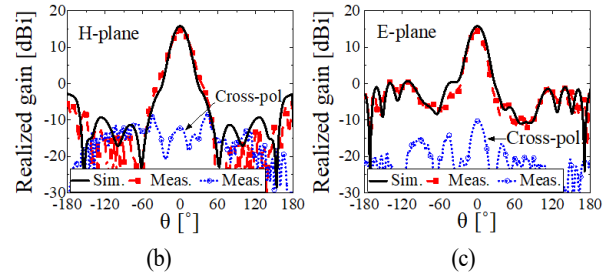
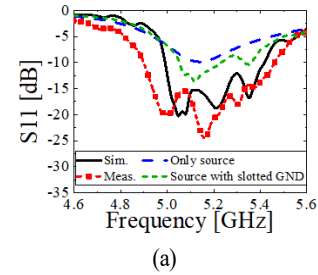


그림 7. 제작된 안테나의 (a) S_{11} 특성, (b) H-평면과 (c) E-평면 방사 패턴
Fig. 7. The (a) S_{11} , (b) an H-plane, and (c) an E-plane radiation pattern of the fabricated model.

표 1. 타 논문과의 주요 수치 비교

Table 1. Important performance parameter comparison with other work.

Paper	Frequency [GHz]	Aperture area [$\lambda \times \lambda$]	Gain [dBi]	Aperture efficiency [%]
Ref. [3] ($\theta_t = 0^\circ$)	3	3.80×3.00	11.8	10.4
Our work	5	3.67×2.67	14.7	24.0

PRS 구조를 가지고 있지만, 급전부가 접지면에 위치해 있는 기존 FPC 안테나와의 비교값은 표 1에 나타나 있다. 참고문헌 [3]의 개구면 효율 결과적으로 기준에 비해 개구면 효율이 2배 이상 개선된 것을 확인할 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 급전 소자의 위치와 방사 방향을 바꾼 새로운 Fabry-Perot 공진기(FPC) 안테나 설계 방법을 제안

한다. 제안된 안테나에서는 기존 FPC 설계에서는 고려하지 못한 전파의 위상을 AMC 셀로 조절할 수 있으므로 더 평평한 파면을 형성하고, 높은 이득의 빔을 형성할 수 있다. 또한, 본 논문에서는 PRS 셀들의 반사 크기를 테이퍼링하여 부엽 준위도 획기적으로 낮췄다. 향후 제안된 안테나의 AMC 접지면 셀들의 반사 위상을 조절해 빔 조향 연구를 진행할 예정이며, 이로써 더 다양한 분야에서 활용될 것으로 기대된다.

References

- [1] G. V. Trentini, "Partially reflecting sheet arrays," *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 4, no. 4, pp. 661-671, Oct. 1956.
- [2] D. Kim, E. H. Kim, "A high-gain wideband antenna with frequency selective side reflectors operating in an anti-resonant mode," *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 442-445, Oct. 2015.
- [3] W. Jang, Y. Jeon, H. Maeng, J. Kim, and D. Kim, "Novel beam scan method of Fabry-Perot cavity(FPC) antennas," *Applied Science*, vol. 11, no. 22, p. 11005, Nov. 2021.

- [4] J. G. Lee, "Compact and robust Fabry-Perot cavity antenna with PEC wall," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 21, no. 3, pp. 184-188, Jul. 2021.
- [5] Y. G. Jeon, G. R. Yun, J. Kim, and D. Kim, "Polarization reconfigurable high-gain Fabry-Perot cavity antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 9, pp. 7727-7734, Sep. 2022.
- [6] Dassault Systemes, "CST studio suite: Electromagnetic field simulation software." Available: https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/?utm_source=cst.com&utm_medium=301&utm_campaign=cst
- [7] M. W. Niaz, Y. Yin, S. Zheng, and Z. Zhao, "Dual-polarized low sidelobe Fabry-Perot antenna using tapered partially reflective surface," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 30, no. 3, p. e22070, Nov. 2019.
- [8] R. Azim, A. K. M. M. H. Meaze, A. Affandi, M. M. Alam, R. Aktar, and M. S. Mia, "A multi-slotted antenna for LTE/5G sub-6 GHz wireless communication applications," *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, vol. 13, no. 5, pp. 486-496, Jun. 2021.

최 다 은 [국방기술진흥연구소/연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8368-2216>



2021년 2월: 세종대학교 전자정보통신공학과 (공학사)
2023년 2월: 세종대학교 전자공학과 (공학 석사)
2023 4월~현재: 국방기술진흥연구소 연구원
[주 관심분야] 고이득 안테나, FP 공진 안

테나, 메타 표면

한 지 은 [세종대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0009-0002-2385-5805>



2021년 2월: 세종대학교 전자정보통신공학과 (공학사)
2023년 3월~현재: 세종대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 고이득 안테나, FP 공진 안테나, 메타 표면

김 동 호 [세종대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-7861-4286>



1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

2000년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 3월~2006년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)

2000년 1월~2011년 2월: 한국전자통신연

구원 선임연구원

2011년 3월~현재: 세종대학교 전자정보통신공학과 교수

[주 관심분야] 반사배열(Reflectarray) 안테나, Fabry-Perot Cavity 안테나, 재구성 지능형 반사 표면(Reconfigurable Intelligent Surface), 메타 표면(Metasurface) 안테나, 전자장 이론, 인공전자기 구조체(AMC, FSS, PRS, EBG, Metamaterials) 등