

## 7.9:1 대역폭을 가지는 소형화된 금속 평판형 비발디 안테나 설계

나운영<sup>\*1</sup>, 김기홍<sup>\*2</sup>, 허지원<sup>\*\*</sup>, 이현호<sup>\*3</sup>, 박상영<sup>\*4</sup>, 최성곤<sup>\*\*\*</sup>

### Design of a Miniaturized Metal-Plate Vivaldi Antenna with 7.9:1 Bandwidth

Un-Yeong Na<sup>\*1</sup>, Ki-Hong Kim<sup>\*2</sup>, Jiwon Heo<sup>\*\*</sup>, Hyeon-Ho Lee<sup>\*3</sup>, Sang-Yeong Park<sup>\*4</sup>,  
 and Seong-Gon Choi<sup>\*\*\*</sup>

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된  
 지역지능화혁신인재양성사업임(IITP-2025-RS-2020-II201462)

#### 요 약

비발디 안테나는 테이퍼형 구조를 채택하여 광대역 주파수 응답과 높은 방사 효율을 제공하는 초광대역 안테나의 대표적인 형태로 알려져 있다. 또한 간단한 설계와 경제적인 비용으로 제작이 가능하며, 소형화 및 방향성 제어를 위한 특성에도 유리하다. 본 논문에서는 금속 평판형을 사용하여 후방 단락구조를 사용하지 않고, 테이프 슬롯 길이를 최소화함으로써 소형화된 비발디 안테나를 설계하였다. 광대역 특성 및 방향성의 장점을 유지하면서 보다 넓은 광대역 지원과 측면 방사를 억제하여 방사 패턴을 더욱 집중적이고 방향성 있게 하기 위하여 개구부 및 급전부의 설계를 제시하였다. 제안된 안테나는 반사파를 최소화하고 광대역에서의 안정적인 임피던스 정합을 위하여 지수형 테이퍼를 적용하였다. 설계된 안테나는 3.3–26GHz의 주파수 대역에서  $-10\text{dB}$  이하의 반사계수를 보였으며,  $7.58\text{dBi}$ 의 최대 이득 레벨과  $11.4\text{dBi}$ 의 전후방비를 나타내었다.

#### Abstract

The Vivaldi antenna is known as a representative form of ultra-wideband antenna that provides a broadband frequency response and high radiation efficiency by adopting a tapered structure. In addition, it can be manufactured with a simple design and at an economical cost, and it is advantageous for miniaturization and directional control. In this paper, a miniaturized Vivaldi antenna is designed by employing a metal plate and by not using a back short structure and by minimizing the tapered slot length. The design of the aperture and the feed section is proposed to maintain the advantages of the broadband characteristics and directivity of the Vivaldi antenna while providing wider broadband support and suppressing side radiation to make the radiation pattern more focused and directional. The proposed antenna has an exponential taper to minimize reflected waves and achieve stable impedance matching over a wide band. The designed antenna exhibited a reflection coefficient of less than  $-10\text{dB}$  in the frequency band of 3.3–26.0GHz, with a maximum gain level of  $7.6\text{dBi}$  and a front-to-back ratio of  $11.4\text{dBi}$ .

#### Keywords

ultra-wideband, vivaldi, tapered slot, impedance matching, simulation-based

\* 충북대학교 전자통신공학전공  
 - ORCID<sup>1</sup>: <https://orcid.org/0009-0002-8783-8334>  
 - ORCID<sup>2</sup>: <https://orcid.org/0009-0009-4235-1478>  
 - ORCID<sup>3</sup>: <https://orcid.org/0009-0002-2645-7191>  
 - ORCID<sup>4</sup>: <https://orcid.org/0009-0003-8606-5074>  
 \*\* 충북대학교 산업인공지능연구센터  
 - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1100-8644>

\*\*\* 충북대학교 정보통신공학부 교수(교신저자)  
 - ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5326-8321>

• Received: Feb. 13, 2025, Revised: Mar. 28, 2025, Accepted: Mar. 31, 2025  
 • Corresponding Author: Seong-Gon Choi  
 Dept. of Information and Communication Engineering, Chungbuk National University  
 Tel.: +82-43-261-2484, Email: [sgchoi@chungbuk.ac.kr](mailto:sgchoi@chungbuk.ac.kr)

## I. 서 론

비발디 안테나는 1979년 P. J. Gibson[1]에 의해 처음 제안되었다. 그의 논문 "The Vivaldi Aerial"은 안테나의 설계와 동작 원리를 자세히 설명한 최초의 문헌으로, 피터 김슨은 이 안테나를 테이퍼드 슬롯 안테나의 변형으로 제안했으며, 특히 고주파에서의 방사 효율과 광대역 특성을 극대화하기 위한 설계로 주목받았다.

현대 사회는 초고속 통신과 정밀 탐지가 필수적인 시대를 맞이하고 있으며, 이에 따라 초광대역(UWB, Ultra-Wideband) 기술에 대한 수요가 급증하고 있다. UWB 기술은 넓은 주파수 대역을 활용하여 높은 데이터 전송 속도와 우수한 신호 품질을 제공하며, 통신, 레이더, 의료 영상 등 다양한 응용 분야에서 핵심 기술로 자리 잡고 있다[2]. 이러한 기술적인 욕구를 충족시키기 위해 초광대역 특성을 가진 효율적인 안테나 개발이 필수적이다[3].

비발디 안테나는 테이퍼형 구조를 채택하여 광대역 주파수 응답과 전파의 점진적인 확장을 통해 반사 손실을 최소화하여 높은 방사 효율을 제공하는 대표적인 초광대역 안테나의 형태이다[4]. 비발디 안테나는 간단한 설계와 경제적인 비용의 제작이 가능하며, 소형화 및 방향성을 가지는 제어기기에도 유리한 특성을 가진다[5]. 이러한 장점으로 인해 비발디 안테나는 통신 시스템, 고해상도 레이더, 비침습 의료 기기, 위성 통신 등 다양한 첨단 기술 분야에서 널리 활용되고 있다[6].

비발디 안테나는 인쇄회로 기판 형태로 구현되기도 하지만 금속 평판형으로 구현하여 손실을 줄이거나 기계적 강도를 증가시킬 수 있다[7]-[9]. 금속 평판형으로 비발디 배열 안테나를 구현할 경우 크기를 최소화하여 전체 안테나의 무게를 감소시킬 필요가 있다. 기존 비발디 안테나의 구조에서는 원형 또는 사각형 후방 단락부를 사용하였다[7]-[9].

본 논문에서는 첫째 후방 단락부를 사용하지 않고, 둘째 테이퍼 슬롯의 길이를 최소화함으로써 크기가 최소화된 간단한 구조의 비발디 안테나를 설계하였다. 슬롯부 테이퍼링 설계를 통해 메인 로브의 방향성 특성을 강화하고 불필요한 측면 방사를

억제하기 위하여 개구부 및 슬롯의 최적화 및 급전 피드에서의 불필요한 전자기파 방사 억제를 위한 임피던스 정합 최적화 설계를 진행하였다. 설계에는 Dassault Systems Simulia 사의 CST Studio Suite™을 사용하였다. 국내외 여러 논문에서 안테나 구조의 실험결과와 이 시뮬레이션 통과의 해석결과가 일치함이 입증되었다[10]-[12]. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통한 제안한 안테나의 설계를 제시하였다. 다음 장에서는 제안한 비발디 안테나의 설계 과정과 특성을 제시한다.

## II. 비발디 안테나 설계

그림 1은 본 논문에서 제안한 비발디 안테나와 기존의 비발디 안테나의 크기와 구조[7]-[9]를 개구 높이가 동일한 조건에서 비교한 것이다. 그림 1(a)은 본 논문에서 제안한 안테나 구조를 보인 것으로 원형 후방 단락회로를 사용하지 않고 테이퍼 슬롯의 길이를 최소화함으로써 크기를 소형화하였다.

본 논문에서 제안한 안테나의 경우 안테나 길이 대 높이 비는  $L / H = 1.18$ 이며, 기존 안테나의 경우  $L' / H = 2.85$ 가 되어, 본 논문의 안테나의 경우 기존 구조 대비 길이가  $L' / L = 2.4$ 배 축소되었다.

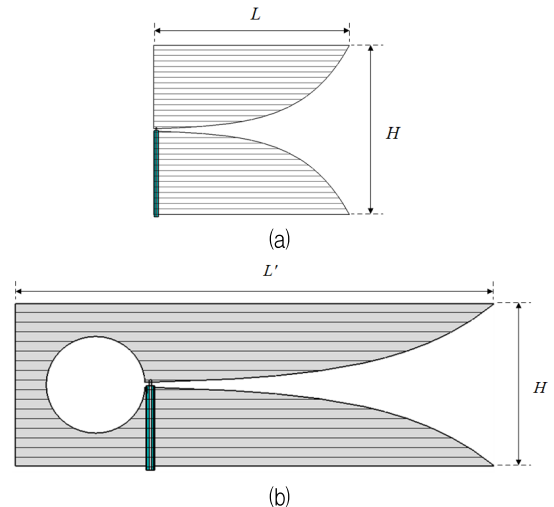


그림 1. 비발디 안테나 구조 (a) 제안한 비발디 안테나의 구조, (b) 기존 비발디 안테나 구조

Fig. 1. Structure of vivaldi antenna (a) Proposed structure of Vivaldi antenna, (b) Existing structure of Vivaldi antenna

그림 1(b)의 구조의 반사계수 특성과 방사패턴 특성을 비교한 결과 본 논문에서 제안한 그림 1(a) 구조보다 하한 주파수가 약 0.7배 낮아지고 상한 주파수는 동일하였다. 이는 그림 1(b)의 경우 테이퍼 슬롯의 길이가 더 크기 때문이다. 방사패턴의 경우 그림 1b의 경우 높은 주파수에서는 원형 후방 단락 부에서의 방사로 인해 그림 1(a)의 경우와 약간의 차이를 보임을 확인하였다.

비발디 안테나의 방사 패턴은 개구부의 형상과 개방 각도에 의해서 결정되며, 개구부의 형태를 점진적으로 확장하는 형태로 조정하면 사이드 로브 억제에 효과가 있다. 따라서 방사기의 양측 금속 도체는 테이퍼 슬롯 개구 형성을 위해 서로 반대 방향으로 넓어진다. 모든 테이퍼 슬롯은 반사를 감소시키기 위해 연속 천이를 갖는 지수, 타원 또는 선형구조로 설계된다. 전파가 자연스럽게 테이퍼 슬롯으로 방출되도록 유도하며, 후방 방사를 억제하는데 도움을 준다[13].

동축 급전선로의 위치는 임피던스 정합에 직접적인 영향을 미칠 수 있으며, 급전선로의 임피던스  $Z_0$ 와 안테나의 입력 임피던스  $Z_{in}$ 이 동일하거나 최대한 가까울 때 이루어진다. 급전 지점의 임피던스는 안테나 방사기와 동축 급전선로 중심선 간의 거리와 관련이 있으며 급전 위치가 바뀌면  $Z_{in}$ 이 변하게 된다.

보통 비발디 안테나는 임피던스 정합을 최적화하기 위해 급전 위치를 개구부에서 적절한 거리를 두고 배치를 한다.  $Z_{in}$ 이  $50\Omega$ 이 되도록 하기 위하여 일반적으로는 급전 위치를 슬롯의 중심선 근처에 배치를 하고 있으며, 보다 낮은 임피던스를 얻을 수 있다. 개구부의 폭, 길이 및 동축 급전선로의 위치를 최적화 하기 위한 과정을 안테나 반사계수의 변화를 통하여 제시하였다.

## 2.1 테이퍼 슬롯 개구 설계

그림 2는 본 논문에서 제안한 안테나의 설계변수를 보인 것이다. 여기서  $L$ 은 슬롯의 총 길이,  $H$ 는 개구면 높이,  $G_0$ 는 시작 위치에서 슬롯 폭을 나타내며,  $G(z)$ 는 슬롯 길이방향 위치  $z$ 에서의 슬롯 폭,  $L_2$ 는 슬롯이 시작되는 지점에서 동축 급전 선로의 중심부까지의 간격이다.  $H_3$ 은 동축선 종단에서 돌

출된 동축선 유전체의 높이를 의미한다. 이러한 돌출된 동축선 유전체는 슬롯 선로와 동축선 간의 변환부에서 발생할 수 있는 반사를 줄여 광대역 특성을 얻는 데 도움이 된다.

비발디 안테나는 지수형 테이퍼가 임피던스의 점진적 변화를 가능하게 하여 넓은 대역에서 반사계수를 줄이며, 슬롯이 파장에 비해 커질수록 방사 효율이 증가하여 대역폭도 넓어진다. 슬롯 폭은 다음과 같은 식 (1)에 의해서 지수적으로 증가한다[14].

$$G(z) = G_0 e^{rz} \quad (1)$$

여기서  $G(z)$ 는 위치  $z$ 에서의 슬롯 폭,  $G_0$ 는 테이퍼 시작점에서의 최소 폭,  $r$ 은 지수 확장 계수,  $z$ 는 슬롯 길이 좌표이다.

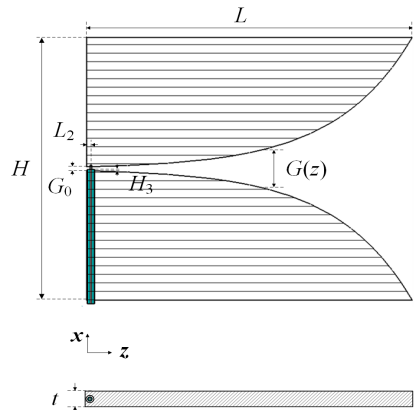


그림 2. 제안한 안테나의 설계변수

Fig. 2. Design parameters of the proposed antenna

슬롯 폭이 변함에 따라 슬롯 선로의 특성 임피던스  $Z_0(z)$ 는 근사적으로 다음 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다[13].

$$Z_0(z) \approx 30\pi \frac{K(k)}{K(k')} ; k' = \sqrt{1-k^2} ; k = G(z)/H \quad (2)$$

여기서,  $K$ 는 제1종 완전타원적분 함수이다. 슬롯 폭이 넓어질수록  $Z_0(z)$ 는 증가하며,  $r$ 이 크면  $G(z)$ 가 급격히 증가하여  $Z_0(z)$ 가 빠르게 증가하며,  $r$ 이 작으면  $Z_0(z)$  변화가 완만해져서 더 안정적인 임피던스 정합을 제공한다.

비발디 안테나의 대역폭은 테이퍼 계수  $r$ 과 슬롯 길이  $L$ 에 따라 다음과 같은 식 (3)에 의해서 정의된다[3].

$$BW \propto \frac{e^{rL} - 1}{r} \quad (3)$$

$r$ 이 클수록 넓은 대역폭을 얻을 수 있지만, 임피던스 정합이 어려우며,  $L$ 이 증가하면 넓은 대역폭과 함께 안테나의 크기도 커진다. 따라서  $r$  값을 조정하여  $Z_0(z)$ 와  $50\Omega$  간의 임피던스 정합은 시뮬레이션 툴을 이용하여 최적화하였다.

그림 3은 개구부의 폭을 52mm에서 93mm까지 변경하면서 계산한 반사계수의 결과이다. 지수 확장 계수의 초기값은 보통 0.05 정도로 설정하고, 시뮬레이션을 통한 최적화 과정을 통하여 최적의 값을 찾았다. 반사계수의 특성에 있어서 -10dB의 마진을 2dB 이하로 설정할 경우, 향후 추가적인 설계 및 제작 동안 발생할 수 있는 고차 모드 공차로 인한 안정적인 동작 확보가 어려울 수 있으므로 최소한 2dB에 근접 또는 이상의 마진을 고려하였다. 개구부 폭이 52-62mm인 경우에는 -10dB의 특성은 확보되나 대역폭은 22.5GHz를 나타내었다. 그리고 개구부 폭이 82-93mm인 경우에는 23.2GHz의 광대역 특성이 확보되었으나 고차 모드로 인한 -10dB 특성이 약해지는 결과를 나타내었다. 최종적으로 개구부 폭이 74mm로 설정하였을 때, 22.9GHz의 대역폭과 안정적인 -10dB의 반사계수 특성을 확보할 수 있었다.

높은 주파수에서는 개구의 크기가 파장에 비해 점점 커지며 이에 따라 개구 방사저항이 변한다[14]. 반사계수가 17GHz에서는 -20dB 이하인데 26GHz에서는 -10dB까지 증가한다. 개구 크기를 조정해도 17GHz 이상에서는 반사계수가 크게 개선되지 않았다. 17GHz 이상의 주파수에서는 안테나 표면 전류 분포가 매우 복잡하여 안테나 요소 간의 간섭이 발생할 가능성이 커지게 되며[15], 이러한 간섭은 고주파 대역에서 반사계수를 증가시키는 추가적인 요인으로 작용한다. 다음 절에서는 슬롯에 대한 급전부 위치의 최적화를 통하여 광대역 반사계수 특성을 얻는 과정을 제시하였다.

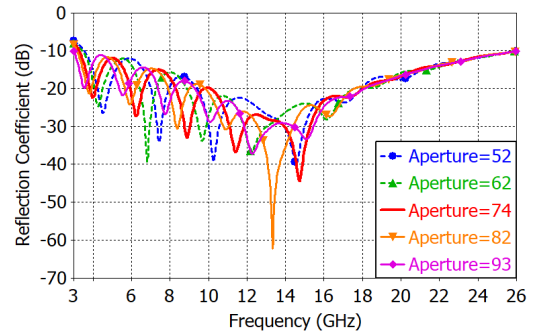


그림 3. 개구부 높이에 따른 반사계수  
Fig. 3. Reflection coefficient vs the aperture height

## 2.2 급전부 설계

그림 4는 동축 급전 프로브의 위치  $L_2$ 에 따른 반사계수 특성을 나타낸 것이다. 슬롯 종단으로부터 동축선 프로브의 거리가 작을수록 반사계수의 특성이 개선되는 것을 알 수 있다.

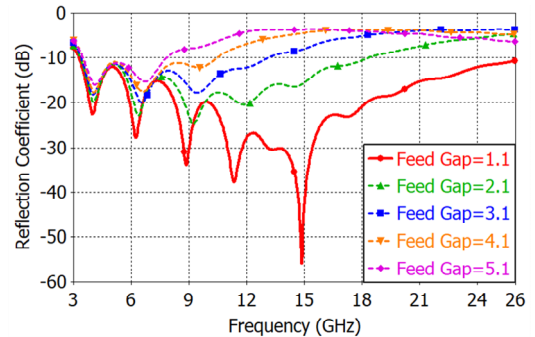


그림 4. 동축 급전 프로브 위치에 따른 반사계수  
Fig. 4. Reflection coefficient vs the coaxial feed probe position

## 2.3 안테나 최적화 설계

앞서 설명한 테이퍼 슬롯 개구부 및 급전부 설계를 통하여 슬롯 테이퍼와 동축 급전선로의 위치에 따른 반사계수 변화를 확인하였다. 본 장에서는 설계의 최종 단계로서 테이퍼 슬롯 개구부와 동축선로 급전부를 최적화하고, 최적설계된 비발디 안테나의 반사계수, 이득패턴 및 주파수에 따른 이득 변화를 제시하였다.

슬롯의 길이  $L$ 은 39.0mm로 고정된 상태에서 개구 높이  $H$ 를 조정하여 앞의 그림 3에서와 같이 시

작 주파수가 3.3GHz이 되도록 설계하였다. 슬롯의 시작점 폭  $G_0$ , 동축선 프로브 위치  $L_2$ , 동축선 유전체 돌출부 높이  $H_3$ 를 동시에 조정하여 반사계수가 3.3GHz에서부터 26.0GHz까지 -10dB 이하가 되도록 하였다. 최종 최적 설계된 안테나의 치수를 표 1에 제시하였다.

표 1. 설계된 안테나의 치수(단위: mm)

Table 1. Dimensions of the designed antenna(Unit: mm)

| Parameters | Values | Parameters | Values |
|------------|--------|------------|--------|
| $L$        | 85.8   | $H$        | 74.0   |
| $L_2$      | 1.1    | $H_3$      | 0.6    |
| $G_0$      | 1.1    | $t$        | 4.5    |

그림 5는 최종 설계된 안테나의 반사계수 특성을 보인 것이다. 설계된 안테나는 3.3–26.0GHz에서 반사계수가 -10dB 이하인 특성을 보였다. 동작 하한 주파수는 슬롯 길이  $L$ 에 의해 결정된다. 설계된 안테나의 경우 동작 하한 주파수인 3.3GHz에서 슬롯의 길이는 0.43파장이다. 또한 개구 높이  $H$ 는 이 주파수에서 0.81파장이다. 설계된 안테나의 상한 주파수는 급전점에서의 불연속 효과와 개구 방사저항 값 의해 제한된다. 상한 주파수 26.0GHz에서 개구 높이는 7.4파장이다.

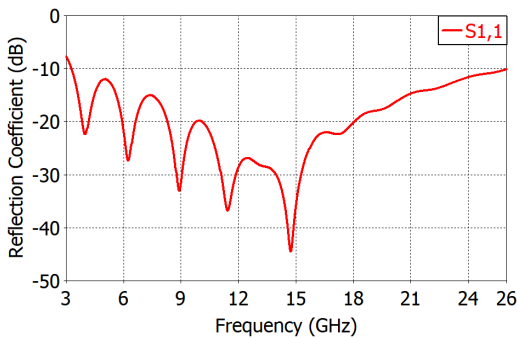


그림 5. 설계된 안테나의 반사계수 특성

Fig. 5. Reflection coefficient of the designed antenna

그림 6와 그림 7은 설계된 안테나의 이득 패턴을 1D 및 3D 형태로 보인 것이다. 전계면 패턴 ( $\Phi = 90^\circ$ )과 자계면 패턴 ( $\Phi = 0^\circ$ )의 대칭성이  $-90^\circ$ 에서부터  $+90^\circ$ 까지 우수함을 알 수 있다. 주파수 3, 14.5, 26GHz에서 각각의 이득은 4.5, 7.1, 7.58dBi이며 부엽 레벨은 각각 -6.3, -5.2, -2.0 dBi이다. 전후

방비는 각각 6.9, 10.0, 11.4dBi로 나타났다. 전후방비가 높을수록 전방으로 더 많은 신호를 집중시킬 수가 있어 안테나의 직진성이 향상된다.

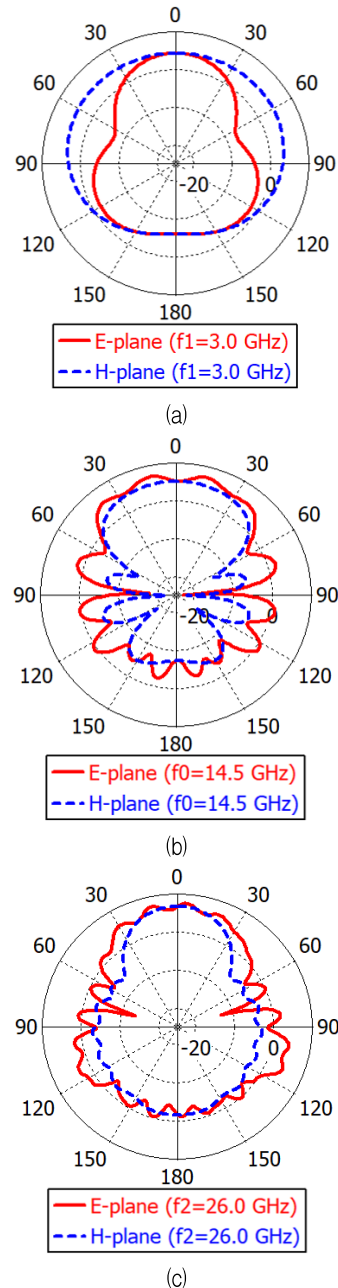


그림 6. 설계된 안테나의 1D 이득 패턴

(a) 3.0GHz, (b) 14.5GHz, (c) 26.0GHz  
Fig. 6. 1D gain patterns of the designed antenna  
(a) 3.0GHz, (b) 14.5GHz, (c) 26.0GHz

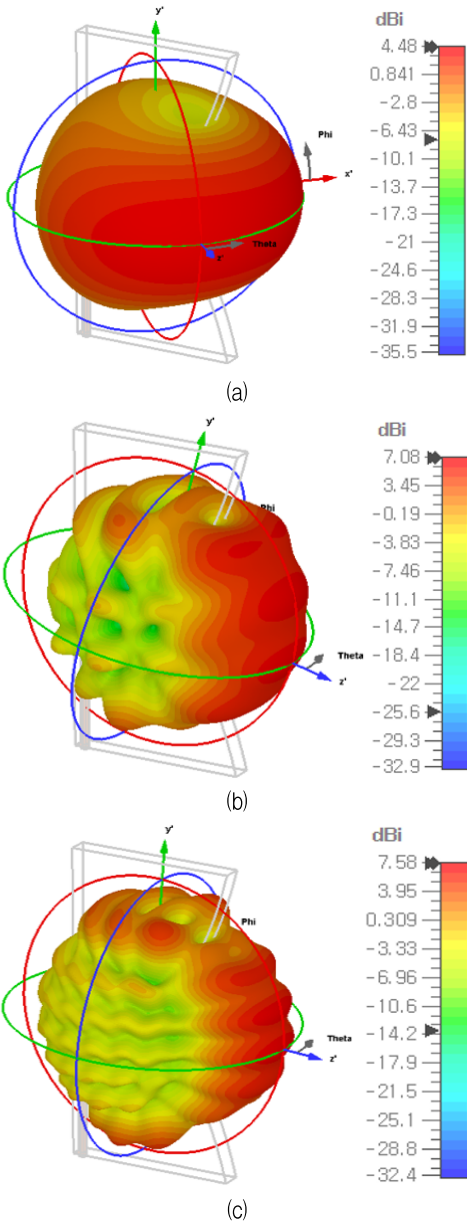


그림 7. 설계된 안테나의 3D 이득 패턴. (a) 3.0GHz, (b) 14.5GHz, (c) 26.0GHz

Fig. 7. 3D gain patterns of the designed antenna. (a) 3.0GHz, (b) 14.5GHz, (c) 26.0GHz

그림 8은 테이퍼 슬롯 개구부 및 급전부의 최적화를 통하여 설계된 비발디 안테나의 주파수별 이득 계산 결과이다. 안테나 이득은 3.3-26GHz에서 4.5-8.2dBi의 값으로 형성되었다. 비발디 안테나의 특성으로 점진적으로 확장되는 개구부를 통해 방사되는 전자기파는 주파수가 증가함에 따라 개구면에

서의 방사가 더욱 집중되어 안테나의 이득이 증가함을 알 수 있다.

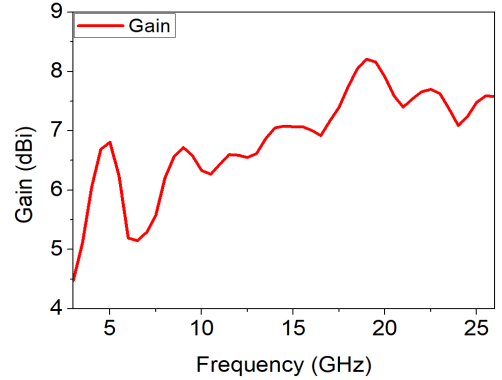


그림 8. 설계된 안테나의 이득  
Fig. 8. Gain of the designed antenna

#### IV. 결 론

초광대역 기술은 넓은 주파수 대역을 활용하여 높은 데이터 전송 속도와 우수한 신호 품질을 제공하여 다양한 응용 분야에서 널리 활용하고 있다. 본 논문에서는 이러한 용도에 사용할 수 있는 3.3-26.0GHz에서 동작하는 금속 평판형 비발디 안테나를 설계하였다. 후방 단락부를 사용하지 않고 슬롯부분의 길이를 최소함으로써 길이가 축소된 비발디 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 22.7GHz의 -10dB 대역폭 특성(7.9:1)을 나타내었으며 7.58dBi의 최대 이득 레벨과 11.4dBi의 전후방비를 나타내었다. 본 논문에서 제안한 비발디 안테나는 7.9:1 이상의 초광대역 특성이 요구되는 3-10GHz 대역 초광대역(UWB) 안테나, 레이더 시스템, 3-5GHz 대역 5G 무선 통신 및 위성 통신 시스템에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### References

- [1] P. J. Gibson, "The Vivaldi aerial", 9th European Microwave Conference, Brighton, UK, pp. 101-105, Sep. 1979. <https://doi.org/10.1109/EUMA.1979.332681>.
- [2] D. J. Lee and B. J. Ko, "Design of Vivaldi

- antenna suitable for impulse-like waveform radiation", J. Korea Inst. Inform. Eletron. Comm. Tech., Vol. 17, No. 1 pp. 59-66, Feb. 2024. <https://doi.org/10.17661/jkiiect.2024.17.1.59>.
- [3] W. E. Yang and T. H. Nam, "Design and implementation of planar UWB antenna with dual band rejection characteristics", J. Korea Inst. Electr. Electron. Eng., Vol. 27, No. 1, pp. 109-115, Mar. 2023. <https://doi.org/10.7471/ikeee.2023.27.1.109>.
- [4] I. Mehmood, A. M. Qureshi, M. Muaz, and C. B. Ali, "Design and development of a Vivaldi antenna array for airborne X-Band applications", Proc. 7th Int. Conf. Aero. Sci. Eng. (ICASE), Islamabad, Pakistan, pp. 1-9, Feb. 2021. <https://doi.org/10.1109/ICASE54940.2021.9904164>.
- [5] J. H. Yun, D. S. Park, D. H. Jang, and K. C. Hwang, "Isolation Improvement in Vivaldi Antennas Using DSRR", J. Korea Inst. Electromag. Eng. Sci., Vol. 29 No. 10, pp. 739-744, Oct. 2018. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2018.29.10.739>.
- [6] Y. Liu, W. Zhou, S. Yang, W. Li, P. Li, and S. Yang, "A novel miniaturized Vivaldi antenna using tapered slot edge with resonant cavity structure for ultrawideband applications", IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., Vol. 15, pp. 1881-1884, Mar. 2016. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2542269>.
- [7] Z. Li, X. Kang, J. Su, H. Zhang, and D. Piao, "Dual polarized Vivaldi antenna for digital television applications", Proc. ISAP 2016, Okinawa, Japan, pp. 384-385, Oct. 2016. <https://doi.org/10.34385/proc.38.POS1-50>.
- [8] M. I. M. Ghazali, K. Y. Park, J. A. Byford, J. Papapolmerou, and P. C. hahal, "3D printed metalized-polymer UWB high-gain Vivaldi antenna", Proc. 2016 IEEE MTT-S Int. Microw. Sym. (IMS), San Francisco, CA, USA, May 2016. <https://doi.org/10.1109/MWSYM.2016.7540075>.
- [9] R. W. Kindt and W. R. Pickles, "Ultrawideband all-metal flared-notch array radiator", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 58, No. 11, pp. 3568-3575, Nov. 2010. <https://doi.org/10.1109/TAP.2010.2071360>.
- [10] J. Lindgren, "Evaluation of CST Studio Suite for Simulation of Radar Cross-Section", M. S. Thesis, Umeå University, 2021.
- [11] M. Kozlov and R. Turner, "A comparison of Ansoft HFSS and CST Microwave Studio simulation software for multi-channel coil design and SAR estimation at 7 T MRI", PIERS Online, Vol. 6, No. 4, pp. 395-399, Jan. 2010. <https://doi.org/10.2529/PIERS09092092851>.
- [12] F. Bačová and M. Beňová, "Exploring the impact of high-frequency electromagnetic fields in railway compartment: A CST Studio Suite simulation study", Proc. 2024 ELEKTRO, Zakopane, Poland, May 2024. <https://doi.org/10.1109/ELEKTRO60337.2024.10556939>.
- [10] J. H. Kim, I. G. Lee, S. E. Lee, Y. S. Bae, and K. C. Hwang, "Ultra-wideband Vivaldi array antenna for active phased array radar", J. Korea Inst. Electromag. Eng. Sci., Vol. 35 No. 7, pp. 604-607, Jul. 2024. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2024.35.7.604>.
- [11] D. M. Pozar, "Microwave Engineering", New York: Wiley, pp. 262, 2011.
- [12] J. Eichenberger, E. Yetisir, and N. Ghalichechian, "High-gain antipodal Vivaldi antenna with pseudoelement and notched tapered slot operating at (2.5 to 57) GHz", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 67, No. 7, pp. 4357-4366, Jul. 2019. <https://doi.org/10.1109/TAP.2019.2906008>.
- [13] J. S. Ryue, "A numerical method for wave reflection and transmission due to local non-uniformities in waveguides at high frequencies", J. Korea Inst. Acoust. Soc., Vol. 29 No. 5, pp. 314-324, Jul. 2010. <https://doi.org/10.7776/ASK.2010.29.5.314>.
- [13] B. C. Wadell, "Transmission Line Design

Handbook", Norwood, MA, USA: Artech House, pp. 85-86, 1991.

[14] P. M. Zin, Y. M. Nway, K. K. Win, and H. M. Tun, "Development of microstrip patch antenna design for GPS in Myanmar", Amer. J. Electromag. Appl., Vol. 8, No. 1, pp. 1-11, Feb. 2020. <https://doi.org/10.11648/j.ajea.20200801.11>.

저자소개

나 윤 영 (Un-Yeong Na)



2021년 8월 : 명지대학교  
건축학과(학사)  
2023년 8월 ~ 현재 : 충북대학교  
전자통신공학전공 석사과정  
2021년 3월 ~ 현재 :  
청주미래누리터 센터장  
관심분야 : 안테나, 전자파 응용

김 기 홍 (Ki-Hong Kim)



2002년 2월 : 동국대학교  
컴퓨터공학전공(학사)  
2016년 8월 : 충북대학교  
전자통신공학전공(석사)  
2023년 2월 ~ 현재 : 충북대학교  
전자통신공학전공 박사과정  
2004년 2월 ~ 현재 : KG모빌리티

기술연구소 책임연구원

관심분야 : 안테나, 전자파 응용

허 지 원 (Jiwon Heo)



2020년 2월 : 충북대학교  
전자통신공학전공(석사)  
2024년 8월 : 충북대학교  
전자통신공학전공(공학박사)  
2024년 10월 ~ 현재 : 충북대학교  
산업인공지능연구센터 연구원  
관심분야 : 안테나, RF, 전자파 응용

이 현 호 (Hyeon-Ho Lee)



2024년 8월 : 충북대학교  
정보통신공학부(학사)  
2024년 9월 ~ 현재 : 충북대학교  
전자통신공학전공 석사과정  
관심분야 : 네트워크 보안,  
블록체인, IoT

박 상 영 (Sang-Yeong Park)



2016년 2월 ~ 현재 : 충북대학교  
전자통신공학전공 석사과정  
2003년 2월 ~ 현재 : (주)뮤트로닉스  
상무이사  
관심분야 : 안테나, RF, 전자통신

최 성 곤 (Seong-Gon Choi)



1990년 2월 : 경북대학교  
전자공학전공(학사)  
1999년 2월 : 한국정보통신대학교  
네트워크전공(석사)  
2004년 2월 : 한국정보통신대학교  
네트워크전공(공학박사)  
2004년 3월 ~ 현재 : 충북대학교  
정보통신공학부 교수  
관심분야 : V2X, AI, 모바일 통신, 네트워크