

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.1.121>

JIIBC 2022-1-18

육각형 대칭 패턴 프랙탈 모노폴 안테나에 대한 연구

A Study on Fractal Monopole Antenna with Hexagonal Symmetrical Pattern

장대순*, 강상원*

Tae-Soon Chang*, Sang-Won Kang*

요약 본 연구는 변형된 힐버트 커브 프랙탈 모노폴 구조를 단순화하여 육각형 대칭 패턴을 가지면서 모노폴 형태로 구현한 안테나에 대한 것이다. 힐버트 커브 프랙탈 모노폴 구조를 단순화하여 소형화했을 뿐 아니라 성능 개선을 모색하기 위해 복사기 구조를 육각형 대칭 패턴으로 구현했다. 기판 유전체의 비유전율은 4.7이며, 미앤더 형태로 대칭 구조를 갖는 총 선로길이는 59 mm이다. 안테나의 크기는 10 mm × 10 mm × 0.8 mm이고, 선폭은 0.4 mm이다. 안테나 측정 지그의 크기는 64 mm × 21 mm × 1 mm이다. 공진주파수는 1.57 GHz 이고, 주파수 범위는 1.51 ~ 1.615 GHz이다. 주파수대역폭은 105 MHz이다. 안테나 이득은 YZ-plane의 측정이득은 2.32 dBi 이고, XZ-plane의 경우 -1.03 dBi를 얻었다. 결과적으로 육각형 대칭 패턴 프랙탈 구조를 이용하여 안테나 소형화를 이루었으며, 복사기 구조 변화로 안테나 성능 개선이 용이함을 확인했다.

Abstract This study is about an antenna implemented in the form of a monopole having a hexagonal symmetric pattern by simplifying the modified Hilbert curve fractal monopole structure. The modified Hilbert curve fractal monopole structure was simplified and miniaturized, and the radiator was implemented in a hexagonal symmetrical pattern to improve performance. The dielectric constant of substrate is 4.7, and the total line length with a meander-shaped symmetrical structure is 59 mm. The size of the antenna is 10 mm × 10 mm × 0.8 mm, and the line width is 0.4 mm. The size of the antenna measuring jig is 64 mm × 21 mm × 1 mm. The resonant frequency is 1.57 GHz, and the frequency range is 1.51 to 1.615 GHz. The frequency bandwidth is 105 MHz. As for the antenna gain, the measurement gain of the YZ-plane was 2.32 dBi, and that of the XZ-plane was -1.03 dBi. As a result, we confirmed that antenna miniaturization is possible using a hexagonal symmetric pattern fractal structure. In addition, we confirmed that the antenna performance can be easily improved by changing the structure of the radiator.

Key Words : fractal antenna, monopole antenna, Hexagonal symmetry pattern

*정희원, 서일대학교 정보통신공학과
접수일자 2021년 12월 31일, 수정완료 2022년 1월 28일
게재확정일자 2022년 2월 4일

Received: 31 December, 2021 / Revised: 28 January, 2022 /
Accepted: 4 February, 2022

**Corresponding Author: kangsan7@seoil.ac.kr

Dept. of Information and Communication Engineering, Seoil University, Korea

1. 서 론

안테나의 소형화에 있어 프랙탈 기하학 구조가 효과적이다. 안테나의 크기를 줄이기 위한 연구에서 비롯된 구조인 프랙탈 안테나는 다중 공진 특성을 이용한 다중 대역 안테나에 이용된다^{[1]-[5],[8]}. Kang 등의 연구^[7]에서 변형된 힐버트 커브 프랙탈 구조를 이용한 GPS 통신용 안테나를 제안한 바가 있다. 본 논문에서는 복잡한 안테나 구조를 간단하게 구현하기 위해서 육각형 대칭 패턴 프랙탈 모노폴 안테나를 제안했다. 먼저 기존 안테나인 변형된 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 안테나의 수식적 이해에서 시작하여 본 연구에서 제안하는 육각형 대칭 패턴 안테나의 구현 절차를 소개하고 한다. 시뮬레이션과 측정으로 통해 그 타당성을 확인하고자 한다. 안테나의 시뮬레이션을 위해서 안테나 분석틀인 HFSS를 사용하였다.

II. 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 안테나

힐버트 커브 프랙탈 다이폴 안테나는 동일한 점유 영역을 가진 다른 어떤 안테나보다 낮은 공진 주파수를 보인다^{[1]-[5]}. 그림 1에서 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 안테나를 볼 수 있으며 안테나 구조에 있는 화살표는 전류 벡터 정렬을 나타낸다. 최대한의 인덕턴스를 얻기 위해서 스파이럴 인덕터와 유사한 평판형 구조를 보이며, 이 구조에서 와이어가 근접하게 결합된 병렬부분 어디에서든 전류벡터가 증가한다. 이를 통해 더 큰 자기 인덕턴스와 더 낮은 공진주파수를 얻을 수 있다.

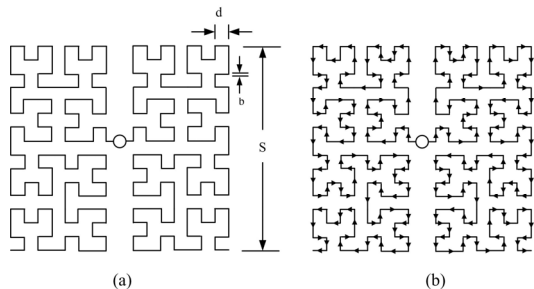


그림 1. 힐버트 커브 프랙탈 다이폴
Fig. 1. Hilbert curve fractal dipole

힐버트 커브 다이폴 안테나의 관련 식을 식 (1) 부터 식 (7)에 나타내었다^{[3][7]}. 그림 1은 힐버트 커브 기하학 구조의 3차 반복을 나타내었다.

그림 1의 d 와 s 값은 식 (1), 식 (2)에 나타내었다.

$$d = \frac{l}{2^n - 1} \quad (1)$$

$$S = (2^{2n-1} - 1)d \quad (2)$$

여기서, l 은 선의 길이이고, n 은 차수를 나타낸다.

평행선로의 임피던스 값은 길이 b 와 두께 d 로 나타낼 수 있다.

$$Z_0 = \frac{\eta}{\pi} \log \frac{2d}{b} \quad (3)$$

여기서, η 는 자유공간의 고유임피던스이다.

단락선로의 입력임피던스를 구하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{in} = \frac{Z_0}{\omega} \tan \beta d \quad (4)$$

여기서, β 는 위상정수를 나타낸다.

총 길이 S 로부터 직선 도체의 자기인덕턴스를 구해 식 (5)에 나타내었다.

$$L_S = \frac{\mu_0}{\pi} S \left(\log \frac{8S}{b} - 1 \right) \quad (5)$$

총 임피던스를 구하면 식(6)과 같다.

$$L_T = \frac{\mu_0}{\pi} S \left(\log \frac{8S}{b} - 1 \right) + m \frac{\eta}{\pi} \left(\log \frac{2d}{b} \tan \beta d \right) \quad (6)$$

여기서, μ_0 는 진공투자율이다.

힐버트 커브 안테나의 초기 공진 조건식은 식 (7)에 나타내었다.

$$f = \frac{\mu_0 \lambda}{\pi} \frac{1}{4} \left(\log \frac{2\lambda}{b} - 1 \right) \quad (7)$$

위의 공식을 이용하여 기존 안테나인 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 구조가 설계된다. 안테나의 공진 주파수를 결정하는데 있어 와이어 구조와 레이아웃은 중요한 요소이다. 공진 주파수가 형성되면 동일한 기본 설계 방법을 갖는 안테나의 총 와이어 길이와 구조는 무관하게 같은 공진 성능 특성을 갖는다^[6]. 그림 2에서 기존 안테나인 변형된 힐버트 커브 프랙탈 모노폴 구조를 볼 수 있다. 기본 구조에서 직각 부분을 둥근 형태로 변경하고, 힐버트 커브 구조를 이용하기 위해 복사기의 전류 방향을 서로 반대로 한 것을 확인가능하다.

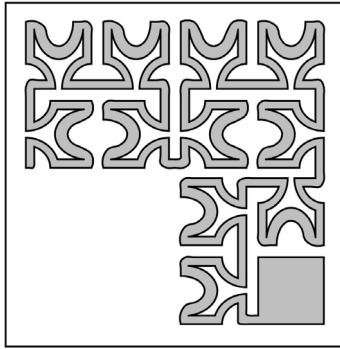


그림 2. 변형된 힐버트 커브 프랙탈 모노폴 구조
 Fig. 2. Modified Hilbert curve fractal monopole structure

III. 육각형 대칭 패턴 프랙탈 안테나

Kang 등이 제안한 변형된 힐버트 커브 프랙탈 모노폴 구조는 매우 복잡하다. 이 구조를 간단하게 구현하기 위하여 그림 3과 같이 육각형 대칭 패턴 프랙탈 모노폴 구조로 변경하였다. 여기서 모양을 육각형으로 표현한 것은 안테나 중심에 육각형 구조의 복사기를 구현하기 위한 것이다. 힐버트 커브 구조를 이용하기 위해 복사기의 전류 방향을 서로 반대로 하였다. 안테나의 소형화를 위해서 미앤더 형태로 라인을 구부리되 대칭 구조를 통해서 전류의 방향을 서로 반대로 하는 효과를 유도했고 전체적인 선의 길이가 59 mm가 되도록 했다. 이는 전기적인 길이가 0.31λ 에 해당된다.

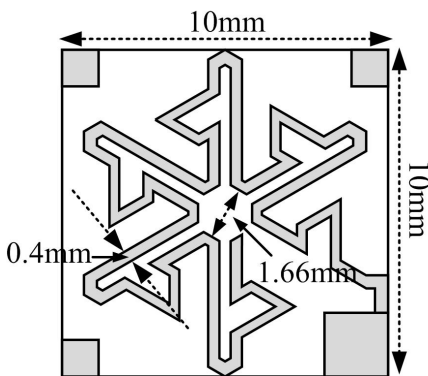


그림 3. 육각형 대칭 패턴 프랙탈 모노폴 안테나의 단면도
 Fig. 3. Top view of hexagonal symmetry pattern fractal monopole

안테나의 크기는 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ 이다. 급전패드는 $1.95\text{ mm} \times 1.95\text{ mm}$ 이며, 안테나 기판은 비유전율이 4.7인 FR4이다. 선폭은 0.4 mm이다

며, 가운데 복사기 부분은 육각형이고 마주 보는 면의 거리차이는 1.66 mm이다. 급전은 CPW 구조와 SMA 커넥터로 했다.

그림 4에서 육각형 대칭 패턴 프랙탈 모노폴 안테나의 반사손실을 나타내었다. 시뮬레이션에서 얻은 공진주파수는 1.57 GHz이고, 주파수 범위는 1.49 GHz ~ 1.64 GHz이다. 주파수대역폭은 150 MHz이다.

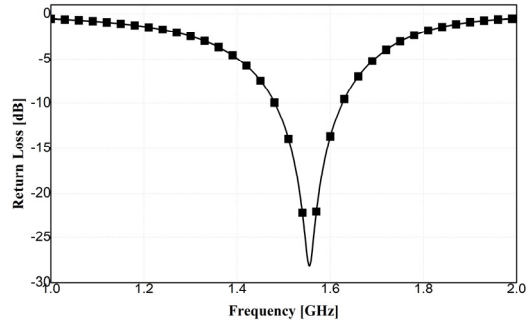


그림 4. 육각형 대칭 패턴 프랙탈 모노폴 안테나의 반사손실
 Fig. 4. Return loss of hexagonal symmetry pattern fractal monopole

IV. 안테나 제작 및 측정

그림 5에 제작한 육각형 대칭 패턴 프랙탈 모노폴 안테나의 실물 사진을 나타내었다. 안테나 크기는 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ 이다. 제작한 안테나의 반사손실을 측정하기 위해서 에질런트사의 E5071C Vector Network Analyzer를 이용했다. 그림 6에서 반사손실의 시뮬레이션값과 측정값의 비교를 볼 수 있다. 제작된 구조에서 측정된 공진주파수는 1.57 GHz 이고, 주파수 범위는 1.51 ~ 1.615 GHz이다. 주파수대역폭은 105 MHz 이다. 따라서 시뮬레이션 결과와 측정결과를 보면 공진주파수 차이는 없었으며, 주파수대역폭 차이는 45 MHz로 나타났다. 그림 7의 (a)와 (b)에서 제안한 안테나 YZ-plane과 XZ-plane 상에서의 이득을 나타내었다. 육각형 대칭 패턴 프랙탈 모노폴의 YZ-plane 상에서의 최대이득은 2.32 dBi이고, XZ-plane의 경우 최대이득은 -1.03 dBi의 결과를 얻었다. 측정된 패턴을 보면 기존 모노폴 안테나와 같은 무지향성 패턴을 보이고 있다. XZ-plane 상에서의 측정 패턴을 보면 260° 부분과 95° 부분에서 약간의 찌그러진 패턴을 보인다.



그림 5. 제작한 안테나 사진
Fig. 5. Photograph of fabricated antenna

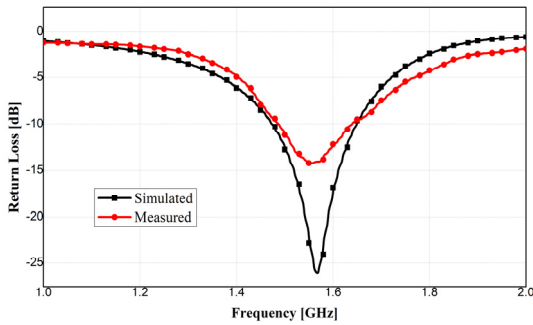


그림 6. 반사손실의 시뮬레이션값과 측정값의 비교
Fig. 6. Comparison of simulated and measured return loss

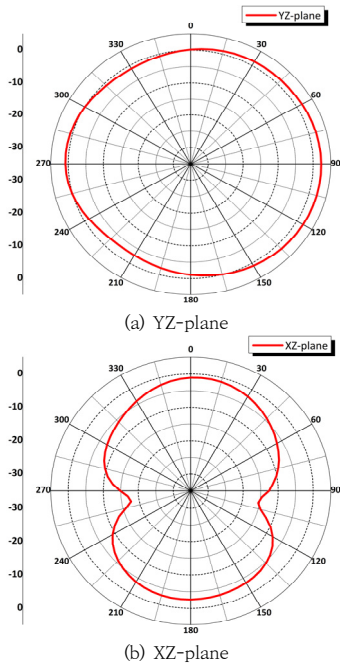


그림 7. 복사패턴
Fig. 7. Radiation pattern

V. 기준 안테나와의 비교

그림 8은 변형된 힐버트 커브, 육각형 패턴 안테나의 측정된 공진주파수와 대역폭을 나타내고 있다.

표 1에서 두 안테나의 공진주파수와 대역폭 비교를 확인할 수 있다. 시뮬레이션 공진주파수는 1.575 GHz이고, 대역폭은 변형된 힐버트 커브 구조, 육각형 대칭 패턴이 동일한 150 MHz이다.

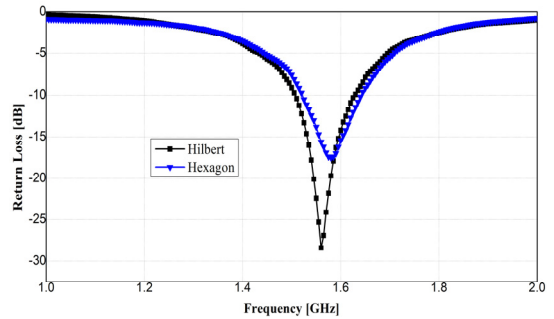


그림 8. 변형된 힐버트 커브와 육각형 패턴의 반사 손실 측정 결과 비교
Fig. 8. Comparison of return loss measurement result of modified Hilbert curve and hexagonal pattern antenna

표 1. 안테나 구조에 따른 공진주파수와 대역폭 비교
Table 1. Comparison of the resonant frequency and bandwidth for antenna structure

안테나구조	시뮬레이션 (GHz)		측정 (GHz)	
	공진주파수	대역폭	공진주파수	대역폭
변형된 힐버트 커브	1.57	0.15	1.56	0.13
육각형 대칭 패턴	1.57	0.15	1.57	0.105

표 2에서 안테나 복사기 길이와 저항 값을 비교하였다. 안테나의 총 선로길이를 저항 값을 비교해 보면 변형된 힐버트 커브 프랙탈 모노폴 안테나의 총 선로길이는 96 mm이고, 육각형 대칭 프랙탈 구조의 총 선로길이는 59 mm로 나타났다. 안테나 복사기 구조의 저항 값을 비교하여 보면 변형된 힐버트 커브 모노폴 프랙탈 안테나의 저항 값은 1.1 Ω 이며, 육각형 대칭 패턴 프랙탈 안테나의 저항 값은 1.02 Ω 임을 확인하였다. 제한한 안테나인 육각형 모양 GPS 안테나 안테나의 저항이 변형된 힐버트 커브 모노폴 프랙탈 안테나에 비해 0.93배 작은 저항을 갖는 것을 확인하였다.

표 2. 복사기의 길이와 저항값 비교

Table 2. Comparison of the length and resistor value of the radiator

안테나 구조	공진주파수 (GHz)	와이어 길이 (mm)	저항 (Ω)
변형된 힐버트 커브	1.575	96	1.10
육각형 대칭 패턴	1.575	59	1.02

VI. 결 론

본 연구에서는 변형된 힐버트 커브 프랙탈 모노폴 구조를 단순화하여 육각형 대칭 패턴 프랙탈 모노폴 구조로 소형화하고 안테나 중심에 육각형 형태로 복사기를 구현한 안테나를 제안했다. 모노폴 형태로 구현된 안테나의 총 선로길이는 59 mm이며, 안테나의 저항값은 변형된 힐버트 커브 모노폴 프랙탈 구조보다 0.93배 작은 1.02 Ω 인 것을 확인했다. 따라서 제안한 구조는 기준이 되는 안테나보다 훨씬 단순하며 제작이 용이하고 다양한 복사기 변형을 통해 성능개선이 가능하다.

안테나 제작은 비유전율이 4.7인 FR4 유전체 기판을 사용하였다. 안테나의 크기는 10 mm × 10 mm × 0.8 mm이고, 선폭은 0.4 mm이다. 안테나 측정 결과 공진 주파수는 1.57 GHz이고, 주파수 범위는 1.51 ~ 1.615 GHz이다. 주파수대역폭은 105 MHz이다. 안테나 이득은 YZ-plane의 측정이득은 2.32 dBi 이고, XZ-plane의 측정이득은 -1.03 dBi 값을 얻었다.

향후 안테나의 구조를 더 단순화하며 안테나의 크기를 소형화하여 다른 주파수 대역에서도 손쉽게 안테나를 구현할 수 있도록 연구하고자 한다.

References

[1] C. Puente-Baliarda, J. Romeu, and A. Cardama, "The Koch monopole : a small fractal antenna", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 48, No. 11, pp. 1773-1781, Nov. 2000.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/8.900236>

[2] C. Puente-Baliarda, J. Romeu, R. Pous, and A. Cardama, "On the behavior of the Sierpinski multiband fractal antenna", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 46, No. 4, pp. 517-524, Apr. 1998.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/8.664115>

[3] K. J. Vinoy, K. A. Jose, V. K. Varadan and V. V. Varadan, "Resonant Frequency of Hilbert Curve Fractal Antennas", IEEE AP Society International Symposium, pp. 648-651, July 2001.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/APS.2001.960180>

[4] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Third Edition, WILEY, 2005.

[5] K. J. Vinoy, K. A. Jose, and V. K. Varadan, "Hilbert curve fractal antenna: a small resonant antenna for VHF/UHF applications", Microwave Optical Technol. Lett., Vol. 29, No. 4, May 2001.
 DOI: <https://doi.org/10.1002/mop.1136>

[6] S. R. Best, "A discussion on the significance of geometry in determining the resonant behavior of fractal and other non-Euclidean wire antennas", IEEE Antennas Propag. Mag., Vol. 45, No. 3, pp. 9-28, Jun. 2003.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/MAP.2003.1232160>

[7] S. W. Kang, "Design and Fabrication of the GPS Receiving Antenna using Hilbert Curve Fractal Structure", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 14, No. 1, pp.125-129, Feb. 2014.
 DOI: <http://doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.1.125>

[8] H. C. Ryu, "Design of a Broadband Sleeve Monopole Antenna by Using Matching Characteristics of the Sleeve", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society (JKAIS), Vol. 16, No. 10, pp. 6839-6845, Oct. 2015.
 DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.10.6839>

저 자 소 개

장 대 순(정회원)



- 2001년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)

- 2009년 2월 ~ 2011년 11월 : (주) 유니스트림 근무
- 2012년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신공학과 조교수
- 주 관심분야 : 안테나 설계, UWB system, 무선전력전송 등

강 상 원(정회원)



- 1999년 2월 : 세명대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 8월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2013년 8월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2006년 7월 ~ 2017년 12월 : (주) 페스앤유 연구소장
- 2020년 4월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신공학과 조교수
- 주 관심분야 : 안테나 설계, IoT 시스템, 스마트 팩토리 등