

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2014.14.1.125

JIIBC 2014-1-17

# 힐버트 커브 프랙탈 구조를 이용한 GPS 수신 안테나 설계 및 제작

## Design and Fabrication of the GPS Receiving Antenna using Hilbert Curve Fractal Structure

강상원\*

Sang-Won Kang\*

**요약** 본 논문에서는 힐버트 커브 프랙탈 구조를 이용한 GPS 수신 안테나를 제안하였다. 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 구조를 이용하면 안테나 크기가 증가되므로 다이폴 구조를 모노폴 형태로 변형하여 안테나 크기를 소형화하였다. 힐버트 커브 프랙탈 구조를 이용하기 위하여 복사기의 전류방향을 서로 반대 방향으로 하였다. 최적화된 안테나의 크기는  $10 \times 10 \times 0.8$ [mm]이고, 선폭은  $0.25$ [mm]이다. 공진주파수는  $1.58$ [GHz]이고, 주파수 범위는  $1.52$ [GHz]~ $1.65$ [GHz]이다. 주파수대역폭은  $130$ [MHz]이다. 안테나 최대 이득은  $3.09$ [dBi]이다.

**Abstract** In this paper, design and fabrication of the GPS receiving antenna using Hilbert curve fractal structure was proposed. The size of the antenna was miniaturized by transforming dipole structure into monopole structure because its size increases if Hilbert curve fractal dipole structure is used. To use a Hilbert curve structure, the current directions of the radiator were made oppositely each other. The size of the antenna is  $10 \times 10 \times 0.8$ [mm], the line width is  $0.25$ [mm]. The resonant frequency is  $1.58$ [GHz] and its range is  $1.52$ [GHz] ~  $1.65$ [GHz]. Frequency bandwidth is  $130$ [MHz]. Antenna maximum gain is  $3.09$ [dBi].

**Key Words** : Hilbert, Fractal, Antenna, GPS, Resonant frequency

### 1. 서론

정보통신산업의 급격한 발전으로 각종 정보통신기기의 소형화 및 실용화가 비약적인 발전을 해왔다. 무선통신 단말기는 사용자의 편리성과 휴대성을 증대시키기 위해서 더욱 더 소형화가 되어가고 있다. 소형화 된 무선통신 단말기에 적용하기 위해서는 안테나의 소형화가 필수적이다. 최근 많은 주목을 받고 있는 하나의 안테나 기술은 디자인 측면에 프랙탈 기하학 구조를 접목시키

고 있다. 프랙탈 기하학의 용어는 기하학 구조의 자기 유사성에 있다.<sup>[5]</sup> 이는 1970년대에 B. B Mandelbrot에 의해 만들어졌다. 최근 연구 동향을 살펴보면 2001년 펜실베이니아 대학의 K. J Vinoy가 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 안테나를 제시하였다. K. J Vinoy가 제안한 안테나는 프랙탈 반복 차수를 증가하면서 자기인덕턴스(self-inductance)를 증가시켜 원하는 공진주파수를 결정하는 방법이다.<sup>[1],[2]</sup>

프랙탈 안테나는 이전의 다른 소형 안테나 설계로는

\*정회원, (주) 페스엔유 기술연구소

접수일자: 2013년 12월 26일, 수정완료: 2014년 1월 26일

게재확정일자: 2014년 2월 7일

Received: 26 December, 2013 / Revised: 26 January, 2014

Accepted: 7 February, 2014

\*Corresponding Author: e-mail : kangsan7@hanmail.net  
FESnU, Gocheon-dong, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Korea

이루기 힘든 초기 성능을 제공할 수 있다. 또한 안테나의 크기를 줄이기 위한 연구에서 비롯된 구조인 프랙탈 안테나는 다중 공진 특성을 이용한 다중 대역 안테나에 이용된다.<sup>[4]</sup> 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 안테나는 동일한 점유 영역을 가진 다른 안테나 보다 낮은 공진 주파수를 보이는 소형 평면 안테나이다.<sup>[1],[3]</sup>

본 논문에서는 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 구조와 안테나 크기 측면에서는 다이폴 구조보다는 모노폴 구조가 소형화하기 쉽다는 것에서 착안하여 힐버트 커브 프랙탈 구조를 이용한 GPS 수신안테나를 제안하였다.

## II. 안테나 이론

### 1. 힐버트 커브 프랙탈 다이폴

힐버트 커브 다이폴 안테나의 관련 식을 식(1) 부터 식 (7)에 나타내었다.<sup>[2]</sup> 그림 1은 힐버트 커브 기하학 구조의 3차 반복을 나타내었다.

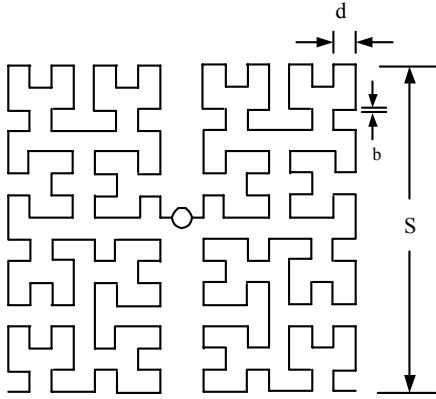


그림 1. 힐버트 커브 기하학 구조  
Fig. 1. Hilbert curve geometry

힐버트 커브 프랙탈 다이폴 구조를 이용하면 점유 영역이 동일할 경우 낮은 주파수를 갖지만 안테나의 소형화 측면에서는 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 구조보다는 모노폴 형태로 변형하여 안테나를 구현하는 것이 소형화가 가능하다.

안테나 복사기 프랙탈 구조를 이용하기 위해서 복사기의 전류 방향을 서로 반대방향으로 하였다.

힐버트 커브 프랙탈 구조에서는 근접한 와이어 부분에서 역 커플링이 발생하는 작용하는 단점이 있다.<sup>[1]</sup>

### 2. 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 수식

힐버트 커브 프랙탈 구조는 그림 1의  $d$ 와  $S$  값은 식 (1), 식(2)에 나타내었다.

$$d = \frac{l}{2^n - 1}, \quad m = 4^{n-1} \quad (1)$$

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

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,  $\eta$ 는 자유공간의 고유임피던스이다.

단락선로의 입력 임피던스를 구하면 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서,  $\beta$ 는 위상정수를 나타낸다.

총 길이  $S$ 로부터 직선 도체의 자기인덕턴스는 식 (5)에 나타낼 수 있다.

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

총 임피던스를 구하는 식은 식(6)과 같다.

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

여기서,  $\mu_0$ 는 진공투자율이다.

힐버트 커브 안테나의 초기 공진 조건식은 식(7)과 같이 나타낼 수 있다. 총 인덕턴스는 반파장 다이폴 안테나의 공진과 같고, 대략적인 길이  $l = \lambda/2$ 과 같다.

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

## III. 3장 안테나 설계

### 1. 제안한 안테나

제안한 안테나는 GPS통신의 L1대역(1575.42[MHz])에 사용하기 적합한 힐버트 커브 프랙탈 구조로 변형하여 안테나를 설계하였다. 안테나의 비유전율  $\epsilon_r = 4.7$ 이고, 안테나 높이  $h=0.8$ [mm]인 FR4를 사용하였다. 안테나 크기는  $10 \times 10 \times 0.8$ [mm]의 크기를 갖는다. 안테나 측

정 지그의 크기는 64×21×1[mm]이고, 급전 방식은 CPW 구조를 이용하였고, SMA 커넥터를 이용하여 급전하였다. 그림 2는 제안된 안테나 구조를 나타내었다.

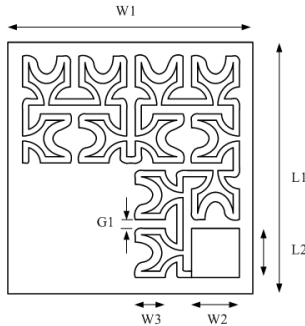


그림 2. 제안된 안테나의 구조  
Fig. 2. The structure of proposed antenna

급전패드의 크기는 1.95×1.95[mm]이다. 급전패드의 크기와 단위 프랙탈 크기를 동일하게 하였다. 단일 프랙탈 안의 간격은 0.2[mm]이다. 대역폭 증가를 위하여 힐버트 커브 프랙탈 구조의 직각부분을 둥근 형태와 반원 형태로 변형하여 이용하였다. 제안한 안테나의 공진 길이는 단일 프랙탈 구조를 증가시키는 방법을 사용하였다. 이는 프랙탈 구조가 증가하면 자기 인덕턴스 성분이 증가가 되므로 GPS 대역의 공진 길이를 얻을 수 있다. 제안한 안테나의 총 길이는 92[mm]이다. 제안한 안테나 길이는 대략적으로  $\lambda/2$  길이를 갖는다. 표 1은 설계된 안테나 제원을 나타내었다.

표 1 제안된 안테나의 파라미터  
Table 1. The parameter of proposed antenna

W1[mm]	10	L1[mm]	10
W2[mm]	1.95	L2[mm]	1.95
W3[mm]	1.23	G1[mm]	0.4

## 2. 시뮬레이션 결과

제안한 안테나를 구현하기 위하여 3D 시뮬레이터인 HFSS를 이용하여 최적화 한 후 설계한 특성을 측정하여 성능을 확인하는 방법으로 연구를 진행하였다. 그림 3은 힐버트 커브 프랙탈 구조를 이용한 GPS 대역의 시뮬레이션 데이터를 나타내었다.

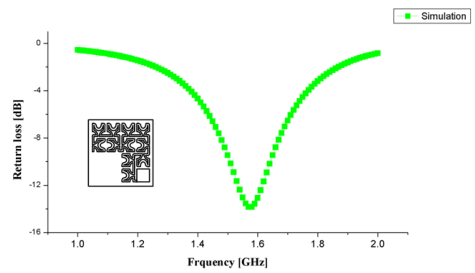


그림 3. 시뮬레이션 안테나의 반사손실  
Fig. 3. Return loss of simulation antenna

시뮬레이션 된 공진주파수는 1.575[GHz]이고, 반사손실은 -13.8[dB]이다. 주파수 범위는 1.5[GHz]~1.64[GHz]이다. 주파수대역폭은 140[MHz]이다. GPS 동작 주파수가 1.575[GHz]이므로, 시뮬레이션 결과와 비교하여 보면 GPS 대역에서 동작 되는 것을 확인 할 수 있다.

## IV. 안테나 제작 및 측정

### 1. 안테나 제작

그림 4는 제작된 안테나 사진을 나타내었다. 안테나 재질은 FR4를 사용하였고, 안테나 지그와 안테나의 급전패드를 일치하기 위하여 안테나의 아랫면에 금도금을 하여 복사기를 구현하였다. 금도금 두께는 1[Oz]로 하였다.

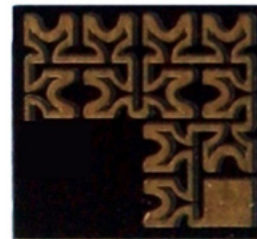


그림 4. 제작된 안테나의 사진  
Fig. 4. Photograph of fabricated antenna

### 2. 안테나 측정

제작된 안테나의 반사손실 측정은 에질런트사의 E5071C Vector Network Analyzer를 이용하여 측정하였다. 복사패턴 측정은 대전 테크노파크의 Antenna far Filed Chamber를 이용하여 측정하였다. 그림 5는 측정된 안테나의 반사손실을 나타내었다.

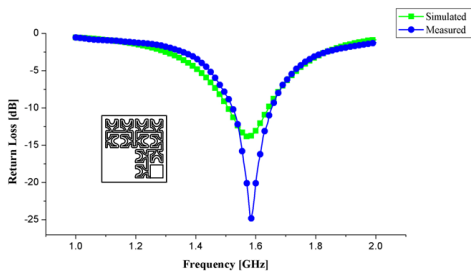


그림 5. 측정된 안테나의 반사손실  
Fig. 5. Return loss of measured antenna

측정된 공진주파수는 1.58[GHz]이고, 주파수 범위는 1.52[GHz]~1.65[GHz]이다. 주파수대역폭은 130[MHz]이다. 측정된 반사손실 결과가 시뮬레이션 결과보다 공진주파수에서 더 낮게 측정되었다. 안테나 제작시 금도 금 두께가 1[Oz]인 결과로 추정되고, VSWR=2이하 즉 반사손실 값이 -9.54[dB]이하의 값을 가지면 안테나로써 동작을 한다는 것을 알 수 있다.

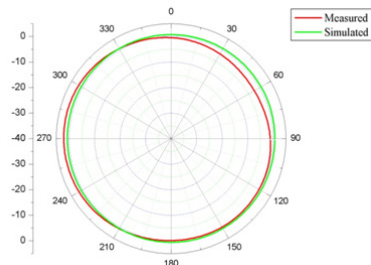
시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교하여 표 2에 나타내었다. 시뮬레이션과 측정 결과의 공진주파수 차이는 5[MHz]이고, 주파수대역폭 차이는 10[MHz] 차이를 확인할 수 있다.

표 2 시뮬레이션과 측정 데이터의 비교  
Table 2. Comparison of the simulation and measured data

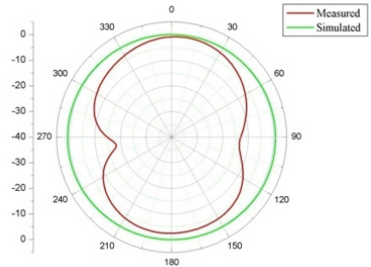
안테나	시뮬레이션[MHz]		측정 [MHz]	
	공진주파수	대역폭	공진주파수	대역폭
제안된 안테나	1575	140	1580	130

GPS 위성 신호를 수신하기 위해 가장 많이 사용되는 안테나 구조는 마이크로스트립 패치 구조이다. 패치 안테나의 편파는 원편파를 사용한다. 원편파 중에서도 RHCP를 많이 사용되어진다. 제안된 안테나의 편파는 선형편파(LP)특성을 갖고 있다. 원편파에 비해 선형편파를 이용할 경우 이론상으로는 수신률이 -3[dB] 저해된다. 수신률 저하는 GPS 대역의 저잡음 증폭기(LNA)를 이용하여 해결 가능하다. GPS 대역의 LNA 소자 중 가장 많이 사용되어지는 모델이 BFP540을 이용하여 1단 LNA를 설계하면 LNA 증폭도가 15[dB]이상의 특성을 제공하고 2단을 사용 할 경우 28[dB]이상의 LNA 증

폭도를 갖는다. 그러므로 GPS대역의 저잡음 증폭기(LNA) 성능이 향상되어 선형편파를 이용하여도 GPS대역의 위성신호를 수신하는 것에는 문제가 되지 않는다. 제안된 안테나의 이득을 측정할 결과를 보면 YZ-plane의 최대이득은 3.09[dBi]이고, XZ-plane의 최대이득은 -0.67[dBi]이다. 이득 측정 주파수는 1.575[GHz]이다. 그림 6은 1.575[GHz]에서 복사이득을 나타내었다.



(a) YZ-plane



(b) XZ-plane

그림 6. 측정된 안테나의 이득  
Fig. 6. Gain of measured antenna

## V. 결론

본 논문에서는 힐버트 커브 프랙탈 구조를 이용하여 GPS 통신을 가능케 하는 안테나를 설계하였다. 힐버트 커브 프랙탈 다이폴 구조를 이용하면 안테나 크기가 증가되므로 다이폴 구조를 모노폴 형태로 변형하여 안테나 크기를 소형화하였다. 힐버트 커브 프랙탈 구조를 이용하기 위하여 복사기의 전류방향을 서로 반대 방향으로 하였다. 힐버트 커브 프랙탈 안테나 이론을 바탕으로 3D 설계가 가능한 HFSS를 이용하여 최적화 하였고, 최적화된 설계치를 가지고 비유전율  $\epsilon_r = 4.7, h=0.8[\text{mm}]$

인 FR4를 이용하여 안테나를 설계하였다.

제작된 안테나의 크기는  $10 \times 10$ [mm]이고, 공진주파수는 1.58[GHz]이고, 동작주파수 대역은 1.52[GHz]~1.65[GHz]이다. 동작주파수 대역의 반사손실 기준은 -10[dB]이하를 만족하므로 GPS 대역 통신이 가능한 것을 확인 할 수 있다. 또한 기존의 마이크로스트립 패치 안테나에 비해 제작 방법이 간단하고, 안테나 크기가 작기 때문에 소형화가 가능하다. 본 논문에서 제안한 안테나 구조를 이용하여 안테나 크기를 더욱 소형화하여 Wi-Fi, WLAN, Bluetooth, Home RF, Zigbee 무선통신에 활용할 수 있도록 연구가 필요할 것이다.

## 저자 소개

### 강 상 원(정회원)



- 1999년 세명대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 : 건국대학교 전자정보통신과 (공학석사)
- 2013년 : 건국대학교 전자정보통신과 (공학박사)
- 현 재 : (주)페스앤유 연구소장

<관심분야 : 안테나 및 RF 부품>

## References

- [1] C. A Balanis, Modern Antenna Handbook, Wiley, 2008.
- [2] K. J. Vinoy, K. A. Jose, V. K. Varadan, V. V. Varadan, "Resonant Frequency of Hilbert Curve Fractal Antennas," IEEE AP Society International Symposium, pp. 648-651, 2001.
- [3] 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 20, 2001.
- [4] IL Kwon Kim, Koch Fractal Shape Microstrip Coupled Line and Its Application on RF Passive Devices for Wireless Communications, Ph.D., Yonsei University. 2006.
- [5] S. R Best, "On the significance of current<sub>12</sub> vector alignment in establishing the resonant frequency of small-filling wire antennas," IEEE AWPL, Vol. 2, pp 201-204, December 2003.
- [6] Sung-il Park, Sun-il Kim, "Development of Indoor Repeater LHCP antenna with Dual Bands" JIBC, Vol. 13, No. 5, pp. 221-227, 2013.