濟州大學校 尖端技術硏究所 論文集, 第14卷, 2%. pp.170-175, 2003. 12
Cheju Nat'l Univ Res. Inst. Adv. Tech Jour., Vol.14. No.2, pp.170-175, 2003. 12

다중 공진 특성을 갖는 프랙탈 안테나에 관한 연구

강 부 식* · 김 홍 수**

A Study on the Fractal Antenna for Multiple Resonance Characteristics

Boo-Sik Kang* · Heung-Soo Kim**

Abstract

Fractal antenna is an antenna using fractal geometry that involves a recursive generating methodology that results in contours with infinitely intricate fine structures. Fractal geometry has space filling properties and **self** similar structure. In this paper, the fractal antenna's properties that can be utilized to miniaturize antennas and act in multi band are examined and the fractal antennas with Koch curve are farbricated and the characteristics of fractal antennas are measured.

Key words : Fractal antenna. Koch curve, Multi band

Ⅰ. 서 론

현대의 통신 시스템은 이동성과 다양한 정보를 얻기 위하여 보다 더 작은 크기와 더 넓은 대역폭을 갖는 안테나를 필요로 한다. 이와 같은 이유가 프랙탈(fractal) 구조를 안테나에 적용하는 계기가 되었고 최근에 안테나의 특성을 개선시키기 위해 여러 가지 모양의 프랙탈 구조를 안테나에 적용하는 연구들이 진행되어 왔다[1].

프랙탈은 라틴어의 '쪼개진'이라는 fractus에서 나온 용어이며 불규칙하고 복잡한 구조를 갖는 모양들이 쪼개져서 생기는 여러 개의 불규칙한 모양의 조각들을 연상시키기 때문에 fractus를 변형시킨 프랙탈이란 용어가 만들어 졌다. 프랙탈의 역사는 19세기 후반과 20세기 초반의 칸토어(Cantor), 피노(Peano), 힐버트(Hilbert), 코흐(Koch), 씨어핀스키(Sierpinski), 줄리아(Julia), 하우스돌프(Hausdorff) 등에게까지 거슬러 올라갈 수 있으나 자연을 기술하는 새로운 기하학의 도구로서 그 중요성을 인식 받게 된 것은 1975년 맨델브로트(Mandelbrot)에 의해서였다[2].

프랙탈 구조는 무한히 복잡하고 미세한 구조들로 외형을 이루는 반복 발생 방법론을 포함하며 구름이나 해안선 등과 같이 자연에서 발견되는 복잡한 대상들을 모형화 하는데 이용되고 있으며 지질학, 대기과학, 생리학, 영상압축 등의 분야에서 광범위하게 이용되고 있다[3].

이와 같은 프랙탈 구조를 안테나에 적용함으로써

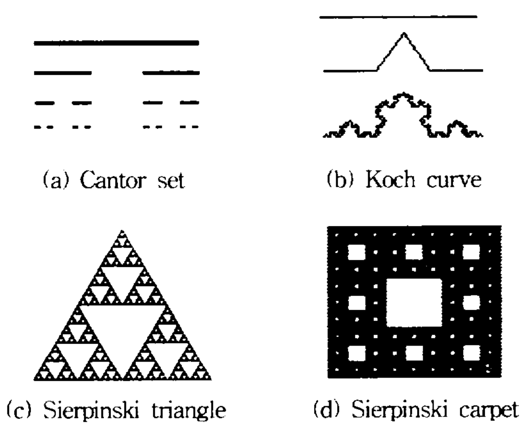
* 제주대학교 대학원 통신공학과
Department of Telecommunication Engineering. Graduate School, Cheju Nat'l Univ.
** 제주대학교 통신컴퓨터공학부, 첨단기술연구소
Faculty of Telecommunication & Computer Eng., Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. of Adv. Tech.

얻을 수 있는 가장 큰 장점은 안테나의 크기를 줄일 수 있는 소형화와 다중 대역(multi band) 특성이다 [4]. 프랙탈은 공간을 채우는 특성(space filling property)을 가지고 있기 때문에 전기적으로 큰 구조를 가지는 안테나가 작은 면적에 모아질 수 있으며 전기적 길이는 안테나 설계에서 중요한 역할을 하기 때문에 실용적인 소형화 기법으로 이용될 수 있다. 다중 공진 특성은 안테나를 여러 주파수 대역에서 동작하도록 하기 때문에 다기능 또는 광대역 안테나로 이용될 수 있게 한다.

본 논문에서는 마이크로스트립 다이폴 안테나에 코흐 곡선을 이용하여 프랙탈 안테나를 구성하고 프랙탈 안테나의 공진주파수 변화와 다중 공진 특성, 방사패턴을 분석한다. 그리고 프랙탈 안테나를 제작하여 프랙탈 안테나의 공진주파수 변화 및 다중 공진 특성을 시뮬레이션 결과와 비교 분석한다.

II. 프랙탈 특성

프랙탈은 전체를 여러 부분으로 나누었을 때 각각의 부분 안에 전체의 모습을 갖는 무한단계에서의 기하학적 도형이다. 프랙탈 도형은 자기닮음(self-similar structure)과 축척에 대한 불변(independent of scale) 특성을 가지며 이 구조를 반복적으로 발생시킴으로써 만들어진다. Fig. 1은 일반적인 프랙탈 구조의 예를 보인다.



(a) Cantor set (b) Koch curve

(c) Sierpinski triangle (d) Sierpinski carpet

Fig. 1. Fractal geometries

Fig. 1의 프랙탈 구조는 무한히 세분화 할 수 있고 세분화된 구조는 원래의 구조와 같은 자기 닮음 특성을 가진다. 이러한 특성이 유클리드 기하와는 다른 구조를 만들게 하고 프랙탈 차원이라고 하는 특성으로 프랙탈을 설명할 수 있게 한다. 기하 구조의 차원은 위상차원(topological dimension), 유클리드차원(Euclidean dimension), 자기닮음차원(self-similarity dimension), 하우스돌프차원(Hausdorff dimension) 등의 여러 가지 방법으로 정의될 수 있으며 프랙탈 구조를 가장 쉽게 설명할 수 있는 정의는 자기 닮음 차원이다. 프랙탈은 원래의 구조와 동일한 구조들이 작은 비율로 나누어지면서 만들어지게 되는데 원래의 구조가 축소 비율 f에 의해 m개로 나누어지는 경우 자기 닮음 차원은 다음과 같이 정의된다[5].

$$D = \frac{\log m}{\log\left(\frac{1}{f}\right)} \tag{1}$$

예를 들어 Fig. 1의 칸토어 집합은 원래의 선분을 1/3로 축소하여 세 개의 선분으로 나누고 가운데 선분을 제거하는 과정을 무한히 반복함으로써 얻어질 수 있다. 따라서 칸토어 집합의 프랙탈 차원은 f=1/3, m=2이므로 0.6309가 된다. 코흐곡선은 원래의 선분을 1/3로 축소하여 세 개의 선분으로 나누고 가운데 선분을 제거한 후 남아있는 선분을 삼각형 모양으로 연결하면 프랙탈 도형은 4개가 형성된다. 이와 같은 과정으로 Fig. 1의 (c)와 (d)의 도형도 만들 수 있다. Table 1은 Fig. 1의 프랙탈 도형들에 대한 축소비율과 조각의 개수, 프랙탈 차원을 나타낸다.

Table 1. Fractal dimension for the fractal geometries

프랙탈도형	축소비율 (f)	조각의 개수(n)	프랙탈 차원
Cantor set	1/3	2	0.6309
Koch curve	1/3	4	1.2619
Sierpinski triangle	1/2	3	1.5850
Sierpinski carpet	1/3	8	1.8928

원래 도형에서 프랙탈 도형을 만들기 위한 과정을 여러 번 반복함으로써 복잡한 모양의 프랙탈 도형을 만들 수 있고 반복 횟수가 증가할수록 프랙탈 차원이 증가한다. 프랙탈 차원의 증가는 결국 도형의 물리적 길이나 면적을 증가시키는 효과를 가져오기 때문에 안테나를 설계하는데 있어서는 공진주파수의 감소를 가져오게 된다. 따라서 원래의 도형이 가지고 있던 전체 길이를 그대로 유지하면서 프랙탈 도형을 반복적으로 적용하면 실제 안테나 길이가 증가하는 결과가 되고 공진 주파수가 낮아지게 된다. 이 현상으로부터 원래의 공진 길이보다 더 작은 길이로 안테나를 만들 수 있다. 그리고 프랙탈 도형을 적용함으로써 여러 대역에서 공진이 일어나기 때문에 이를 적절히 조절함으로써 다중 대역에서 동작하는 안테나를 만들 수 있다.

III. 프랙탈 안테나

프랙탈 안테나는 일반적인 안테나 구조에 프랙탈 도형을 적용함으로써 구현된 안테나로 정의된다. 본 논문에서는 마이크로스트립 다이폴 안테나에 프랙탈 도형을 적용함으로써 프랙탈 안테나의 특성을 고찰한다.

3.1. Koch 곡선

길이가 L인 마이크로스트립 다이폴 안테나에 코흐 곡선을 적용하기 위해 길이 L인 선분에 축소 비율을 1/3로 설정한 후 가운데 선분을 없애고 가운데 부분을 삼각형 모양으로 연결하면 코흐 곡선의 프랙탈 모양이 만들어지게 된다. 이렇게 만들어진 코흐 곡선의 한 선분을 다시 축소 비율을 1/3로 설정하고 위의 과정을 여러 번 반복하여 적용하면 Fig. 2와 같은 구조를 만들 수 있다.

Fig. 2에서 코흐 곡선을 여러 번 반복 시켜 나가면 결국 안테나의 길이는 다음과 같이 증가하게 된다.

$$L_n = \left(\frac{4}{3}\right)^n L \tag{2}$$

여기서 n은 프랙탈 도형을 만들기 위한 반복 횟수를 나타내며 L은 다이폴의 길이를 나타낸다.

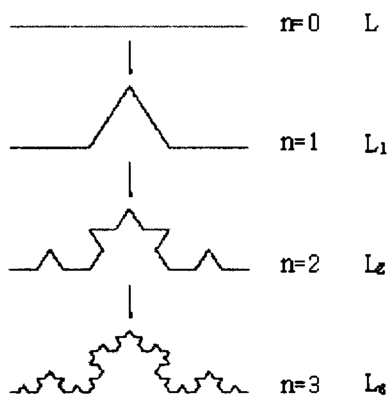


Fig. 2. Koch curve generation

3.2. 프랙탈 안테나의 특성

마이크로 스트립 다이폴 안테나에 프랙탈 도형을 적용함으로써 생기는 결과중의 하나는 안테나 길이에 있어서의 변화이다.

Table 2. Variation of antenna length with koch curve generation

반복횟수(Iteration)	안테나 길이(L_n)
0	L
1	1.33L
2	1.78L
3	2.37L

Table 2는 프랙탈 도형의 반복횟수에 따른 안테나 길이의 변화를 나타낸다. 프랙탈 도형의 반복 횟수가 증가할수록 안테나의 물리적인 길이는 고정이지만 프랙탈 도형의 주변을 포함하는 길이는 길어지게 된다. 결국 안테나 길이의 증가는 공진 파장의 변화를 가져오게 되고 더욱 낮은 주파수에서 공진을 일으키게 된다. 따라서 프랙탈 도형을 안테나에 적용한다는 것은 안테나의 물리적인 공진 길이를 짧게 할 수 있는 효과를 가져오게 함으로써 안테나의 소형화에 이용될 수 있다.

프랙탈 도형을 적용함으로써 생기는 또 다른 효과는 다중 공진 효과가 발생하는 것이다. 이것은 프랙탈 도형이 가지고 있는 자기 닮음 특성에 기인한 것으로 전체적인 구조를 부분적으로 나누었을 때 그 부분 안에 전체의 모습을 가지고 있기 때문에 다중 공진을 일으키게 된다.

프랙탈 안테나의 공진주파수 변화와 다중 공진 특성을 분석하기 위해 사용된 마이크로스트립 다이폴 안테나의 제원은 Table 3과 같다.

Table 3. Specifications of microstrip dipole antenna

유전율	기판두께	안테나 길이	공진주파수
2.6	1.6㎜	4㎝	2.66GHz

Fig. 3은 Table 3의 마이크로스트립 다이폴 안테나에 코흐 곡선을 적용하여 반복횟수에 따른 반사손실을 나타낸 결과로 프랙탈 도형을 반복시킬수록 공진주파수가 낮아짐을 알 수 있다.

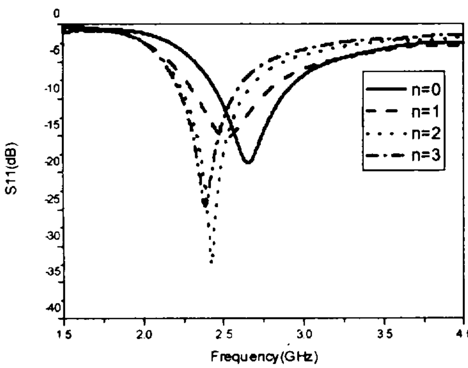


Fig. 3. Return loss of the iteration numbers for the Koch dipole antennas

Fig. 4는 다중 공진 특성을 확인하기 위해 주파수를 20GHz까지 확장시킨 결과로 기본 공진 주파수 이상의 여러 주파수에서 공진이 일어남을 알 수 있다. 마이크로 스트립 다이폴의 경우 공진은 기본주파수와 홀수 고조파에서 발생하지만 Koch 곡선을 적용한 프랙탈 안테나에서는 기본 공진 주파수의 정수배가 아닌 주파수들에서 공진이 일어나며 프랙탈을 만들기 위한 반복횟수가 증가 할수록 각 공진 주파수 사이의 간격이 좁아짐을 알 수 있다.

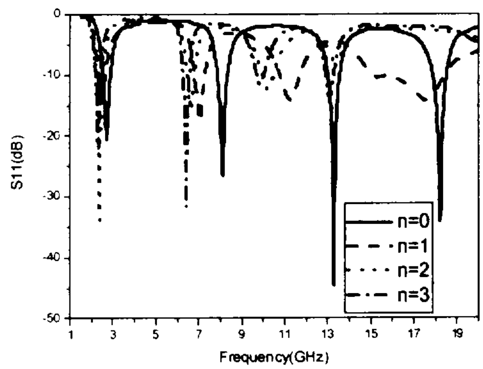


Fig. 4. Multiple resonant of the iteration numbers for the Koch dipole antennas

Fig. 5는 마이크로스트립 다이폴 안테나의 기본주파수와 여러 공진주파수들에 대한 방사패턴을 나타내었고 Fig. 6은 반복횟수가 2인 프랙탈 안테나의 기본 주파수와 여러 공진 주파수들에 대한 방사패턴을 나타낸다. 기본주파수의 경우에는 패턴의 특성이 거의 유사하며 기본주파수 이상의 공진주파수에서는 패턴의 특성이 달라짐을 알 수 있다. 이것은 자기 닮음 특성으로 인한 것으로 다중 대역 안테나에 적용하기 위해서는 기본 주파수 이상의 공진주파수에서의 방사패턴을 유지하기 위한 외삽(pertubation) 방법 등의 적용이 필요하다.

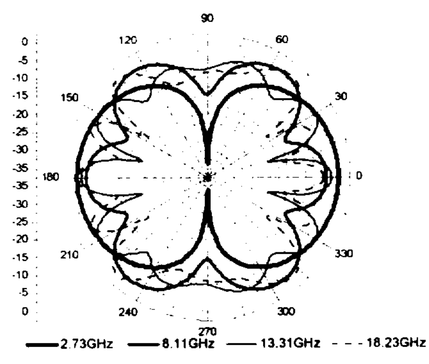


Fig. 5. Directivity of the microstrip dipole antenna

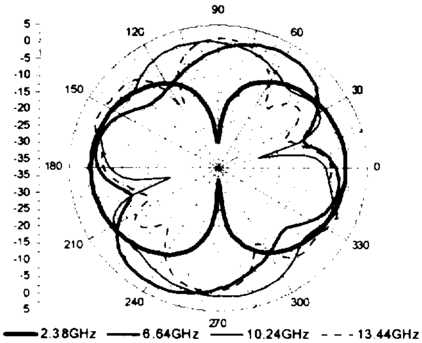


Fig. 6. Directivity of the fractal antenna (Koch curve, n=2)

Ⅳ. 결과 및 고찰

프랙탈 안테나의 다중 공진 특성을 분석하기 위해 상대유전율이 2.5, 두께가 1.6㎜인 테프론 유전체 기판을 이용하여 프랙탈 안테나를 제작하였으며 제작된 안테나를 Fig. 7에 나타냈다. 안테나의 수평 길이는 모두 40㎜로 하였다. 따라서 마이크로스트립 다이폴 안테나는 전체길이가 40㎜이고 코흐 곡선을 적용한 안테나도 마찬가지로 40㎜인 길이를 갖지만 둘레의 길이가 생겨나기 때문에 길이가 길어지는 효과가 발생한다. 따라서 프랙탈 안테나는 1, 2, 3 각각의 반복과정에 대해 53.33㎜, 71.11㎜, 94.81㎜로 안테나 길이가 길어지는 효과가 생긴다.

Fig. 7. Fabricated Fractal antennas

Fig. 8은 제작된 안테나들에 대한 반사손실을 나타낸 것으로 Fig. 4의 프랙탈 특성과 마찬가지로 기본 주파수들이 프랙탈 반복횟수가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있고 그 이상의 공진주파수들도 마찬가지로 현저히 감소해 가는 것을 알 수 있으며 각 공진주파수들 간의 간격이 좁아짐을 알 수 있다. 이와 같은 공진주파수의 변화들을 적절히 조합함으로써 원하는 주파수에서 다중 공진을 시킬 수 있고 공진주파수들의 간격을 매우 가깝게 조절함으로써 광대역 특성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

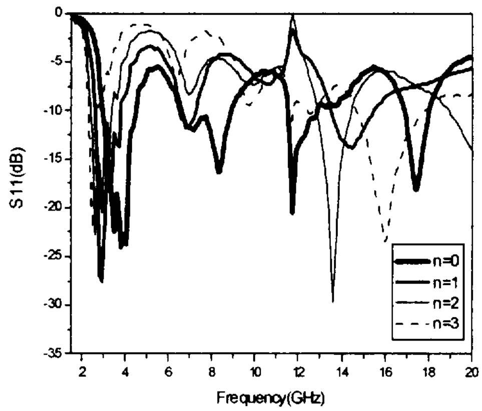


Fig. 8. Measured return loss of the iteration numbers for the Koch dipole antenna

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 안테나의 소형화와 다중대역특성을 구현하기 위한 방법으로 기존의 안테나 구조에 프랙탈 개념을 도입함으로써 구현이 가능한지를 확인하기 위해 프랙탈 안테나의 특성을 분석하였다. 코흐 곡선의 프랙탈 도형을 적용함으로써 시뮬레이션 결과와 제작을 통해 안테나의 크기를 줄일 수 있는 결과와 다중 공진 특성이 발생함을 확인하였다. 이와 같은 다중 공진 특성을 적절히 조합하여 원하는 다중 대역 또는 광대역 특성을 얻기 위해서는 코흐 곡선과 같은 구조에서 좀 더 복잡한 형태의 시어핀스키 가스켓이나 카펫과 같은 구조를 적용하는 방법, 대수주기 형태의 안테나에 프랙탈 도형을 적용하는 방법 등이 필요하다.

이와 같은 분석결과를 토대로 무선랜이나 무선 가입자망에서와 같이 서로 다른 대역의 주파수를 필요로 하는 안테나와 광대역 통신을 필요로 하는 UWB 시스템용 안테나의 개발에 프랙탈 안테나의 적용이 필요하다.

참고문헌

1) John P. Gianvittorio and Yahya Rahmat-Damii, 2002, Fractal Antennas : A Novel Antenna Miniaturization Technique and Applications, IEEE AP. Magazine, Vol.44, No.1, pp. 20-36.
2) 김용운, 2000, 프랙탈과 카오스의 세계, 우성.
3) A.Bunde and S.Havlin, 1994, Fractals in Science, 1st ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 197.
4) K.J. Vinoy, 2002, Fractal Shaped Antenna Elements for Wide and Multi Band Wireless Applications, Ph.D, Univ. of Pennsylvania.
5) H.N. Kritikos and D.L. Jaggard,1990, Recent Advances in Electromagnetic Theory, 1st ed., Springer-Verlag New York Inc., p. 183-224.