

하이브리드 후렉틀 확장 크로스 안테나

Hybrid Fractally Expanded Cross Antenna

장정민 · 이상설

Jung-Min Chang · Sang-Seol Lee

요 약

마이크로스트립 선로로 구성된 십자 형태의 진행파형 크로스 안테나를 기본 구조로 하여 이를 후렉틀 확장시킨 안테나를 새롭게 제안하였다. 진행파형으로 후렉틀 안테나를 구성할 때 확장 차수가 증가하면 전류의 전파길이 증가한다. 진행파 안테나의 동작 매커니즘에 따른 여러 손실로 인해 전파 길이가 증가하면 전력 분포가 불균일하게 되어 안테나의 성능을 저하시킨다. 안테나 성능 저하를 줄이기 위해 전체 후렉틀 구조를 몇 개의 후렉틀 소그룹으로 나누고 각각의 후렉틀 소그룹을 전력분배 회로로 연결한 하이브리드 형식의 후렉틀 안테나를 제안하였다. 2차, 3차, 4차 확장된 하이브리드 후렉틀 크로스 안테나를 제작하여 특성을 측정하였고 후렉틀 확장 차수의 증가에 따른 안테나 성능 변화를 해석하였다.

Abstract

A new fractal geometry of the traveling wave type cross antenna is newly presented. In the conventional type of the traveling wave antenna, the electrical length of the radiating conductor increases as the order of fractal expansion increases. But, increased length of the current path degrades the performance of the antenna from the various loss mechanism of the traveling wave type antenna. To reduce the antenna performance degradation, the new hybrid fractal antenna which divides the entire fractal structure into some smaller ones and connects each smaller fractal group with a power divider is presented. The secondly, thirdly and fourthly expanded hybrid fractal cross antennas are fabricated and their performances are examined by measurements. Influences of the fractal order to the antenna performance are examined.

I. 서 론

무선통신 서비스가 단순한 음성의 전달을 넘어 다양한 멀티미디어 정보를 전달하는 단계에 이르렀다. 정보전달의 고급화, 고속화로 인하여 통신대역폭의 광대역화가 요구되고 있다. 특히, 시스템 최단 말부를 구성하는 핵심부분인 안테나의 광대역화가 중요한 과제가 되고 있다. 한편, 주파수 재사용, 수신효율 향상 등의 이유로 위성통신이나 광대역 이동통신 서비스 시스템에서 원형 편파가 사용되고

있거나 사용이 검토되고 있다. 이에 따라 원형편파 특성을 갖는 광대역 안테나 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 박형 특성을 이용할 수 있는 평면형 광대역 원형편파 안테나가 많은 관심을 받고 있다. 평면형 안테나로 마이크로스트립 패치의 배열을 이용한 위상배열 안테나가 사용되고 있다. 하지만 위상배열 안테나는 사용 대역폭이 좁고 복잡한 매칭회로와 급전 회로망을 설계해야 하는 단점을 갖는다.

본 논문에서는 광대역 원형편파 특성을 구현하기

한양대학교 공과대학 전자전기공학부(Division of Electronic and Computer Engineering, Hanyang University)

· 논문 번호 : 20000426-047

· 수정완료일자 : 2000년 9월 27일

위해 Roederer에 의해 제안된 크로스 안테나^{[1]-[4]}를 기본구조로 하였고 안테나의 복사특성을 향상시키기 위하여 크로스 안테나를 후렉틀 구조로 확장하였다. 크로스 안테나는 진행파 안테나의 일종으로서 유전체상에 마이크로스트립 선로를 십자 형태로 배열한 것이다. 마이크로스트립 선로의 한쪽 끝은 동축케이블에 의해 급전되고 다른 쪽 끝은 정합부하로 종단된다. 크로스 안테나는 진행파 안테나로서 복잡한 급전회로망 설계를 피할 수 있는 장점을 가지며, 정합부하로 종단되기 때문에 광대역 특성이 나타난다. 또한, 4개의 반파장 선형편파 복사기 쌍을 순차적으로 90°씩 회전시킨 구조로 우수한 원형편파 특성이 나타난다.

후렉틀^[5]은 기존의 유클리디안 기하학으로 정의될 수 없는 복잡한 형상을 묘사하기 위해 만델브로트^[6]에 의해 도입된 소수차원을 갖는 기하개념이다. 이 후렉틀 개념은 여러 분야로 응용되었고 전자기학의 맥스웰 이론과 결합하여 후렉틀 전자기동역학^{[7],[8]}으로 발전하였다. 또한, 안테나 배열이론과 결합하여 후렉틀 안테나^{[9],[10]}로 발전하여 후렉틀 전자기동역학의 한 분야를 형성하였다.

마이크로스트립 선로를 이용하여 진행파형으로 후렉틀 안테나를 구성할 때, 확장 차수가 증가하면 안테나의 전체 길이가 증가한다. 진행파 안테나의 동작 메커니즘에 따른 손실로 인해 전류 전파 길이의 증가는 안테나 복사특성을 저하시킨다. 이러한 성능 저하를 방지하기 위해 전체 구조를 몇 개의 후렉틀 소그룹으로 나누고 각 그룹을 전력분배 회로로 연결한 하이브리드형의 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 전체적으로는 크로스 안테나의 후렉틀 확장 형태를 유지하면서 내부적으로는 몇 개의 후렉틀 소그룹으로 나누어지게 된다. 각각의 후렉틀 소그룹들은 후렉틀 형태로 배치되고 전력분배 회로에 의해 연결되는 구조를 갖는다.

각 후렉틀 성장단계의 하이브리드 후렉틀 크로스 안테나를 제작, 측정하고 측정 결과를 토대로 안테나 특성을 해석하였다. 또한 후렉틀 확장이 안테나 성능에 미치는 영향을 고찰하였다.

2.1 크로스 안테나의 기본구조

그림 1은 크로스 안테나 기본구조를 나타낸 것으로 이 안테나를 후렉틀 확장을 위한 초기 구조, 즉 제너레이터^[11]로 사용하였다. 제너레이터는 유전체상에 마이크로스트립 선로를 십자형으로 배열한 것으로 확장된 후렉틀 안테나의 마이크로스트립 선로 한쪽 끝은 동축 케이블에 의해 급전되고, 다른 쪽 끝은 선로의 특성임피던스에 의해 정합 종단된다. 제너레이터의 각 가지는 평행한 반파장 선형 복사기 쌍과 복사기 사이에 위치한 위상천이기로 구성된다. 선형 복사기는 $\lambda_0/2$ 의 길이를 갖고, 위상천이기는 $\lambda_0/4$ 의 길이를 갖는다. 여기서, λ_0 는 스트립 선로의 유효 파장이다. 한 개의 가지는 $1.25\lambda_0$ 의 길이를 가지므로 $2\pi + \pi/2$ 의 위상지연을 나타낸다. 각 가지에서 복사되는 선형 편파된 전자기파는 한 가지에서 다음 가지로 $\pi/2$ 만큼씩의 위상차를 가지면서 순차적으로 회전하게 된다. 따라서 전류가 스트립 선로를 전파하는 동안 손실이 없다고 가정하면 전체 복사파는 완전한 원형편파를 형성한다. 두 개의 종단점 중 어느 것을 급전점으로 하는가에 따라 좌선회 원형편파, 우선회 원형편파를 선택할 수 있다.

전류는 마이크로스트립 선로를 전파해 가는 동안 도체 손실, 유전체 손실, 복사로 인해 근사적으로 지수함수의 형태로 감쇠된다. 종단까지 전파해 온 전류는 종단저항에 의해 흡수되나 종단에서의 불완전

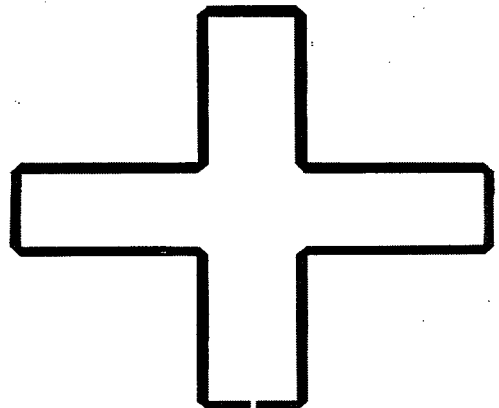


그림 1. 크로스 안테나 기본 구조

Fig. 1. Fundamental structure of the cross antenna.

II. 본 론

정합으로 인해 반사된 전류는 교차편파를 발생시킨다. 이러한 교차편파는 종단저항을 최적화하여 최소화 할 수 있다. 제너레이터의 마이크로스트립 선로 전체 길이는 $5\lambda_e$ 이다.

2.2 후렉틀 확장된 크로스 안테나

그림 2는 제너레이터를 2차 후렉틀 확장시킨 안테나를 나타낸 것이다.

후렉틀 확장은 자기 유사 확장으로서 제너레이터의 각 가지마다 자신을 복제한 새로운 크로스 안테나를 발생시킨다. 한 번의 후렉틀 확장마다 4배의 자기 복제를 나타내며 따라서 N 차로 확장시킬 때 4^{N-1} 개의 제너레이터를 갖는다.

2차 확장된 안테나는 각 가지에 한 개씩, 4개의 제너레이터를 갖는다. 각 가지는 $4\lambda_e + 0.75\lambda_e$ 의 길이를 가지며 따라서 각 가지는 $2\pi - \pi/2$ 의 위상 지연이 나타난다. 2차 확장 안테나를 구성하는 각 제너레이터는 원형 편파를 복사하며 이 전자기파는 한 가지에서 다음 가지로 $\pi/2$ 만큼씩의 위상차를 가지면서 순차적으로 회전한다. 따라서 손실이 없다고 가정하면 전체복사파는 원형 편파를 유지한다. 각 가지에서 복사된 전자기파의 합은 전체 휠드의 지향성 이득을 증가시킨다. 2차 확장을 하면 마이크로

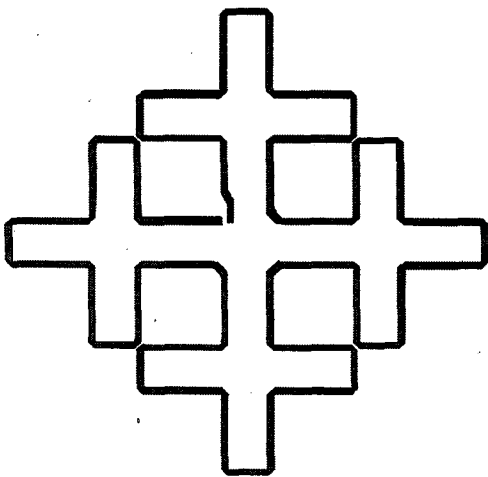


그림 2. 2차 후렉틀 확장된 크로스 안테나
Fig. 2. The secondly fractal expanded cross antenna.

스트립 도체 전체의 길이는 $19\lambda_e$ 가 된다. 그림 3은 3차 후렉틀 확장된 안테나를 나타낸 것이다. 3차 확장은 4개의 2차 확장 구조와 16개의 제너레이터로 구성되고, 마이크로스트립 선로의 전체 길이는 $76\lambda_e$ 이다. 급전된 전력은 안테나를 진행하는 동안 도체 손실, 유전체 손실, 반사와 복사에 의한 손실을 겪게 된다. 따라서 전체길이가 $76\lambda_e$ 에 달하는 긴 길이의 진행파 안테나는 손실로 인한 전력분포의 불균등으로 인해 성능의 저하가 심각하게 나타난다. 크로스 안테나의 길이는 대략 $5\lambda_e$ 에서 $15\lambda_e$ 일 때 최적의 특성을 갖는 것으로 밝혀졌다^[1]. 따라서, 최적의 길이로 후렉틀 확장시키기 위해 중심부에 $1\lambda_e$ 길이의 간단한 전력분배 회로를 추가하였다. 전력분배 회로는 급전된 전력을 세기가 동일하고 위상이 90° 씩 순차적으로 지연되는 4개의 신호로 나누어 각 가지에 분배하였다. 이 경우, 3차 확장 구조는 한 개의 급전점과 4개의 종단점을 갖는다. 3차 확장 구조를 구성하는 4개의 2차 확장 안테나 각각에서 복사되는 원형편파 휠드가 전력분배 회로에 의해 90° 씩의 위상차를 가지면서 순차적으로 회전하므로 전체 복사파는 원형편파를 유지한다.

그림 4는 4개의 3차 후렉틀 안테나로 구성된 4차 후렉틀 확장 안테나를 나타낸 것이다. 4차 확장할 때 64개의 제너레이터와 256개의 선형복사기 쌍을 가지며, 마이크로스트립 선로의 전체길이는 $303\lambda_e$.

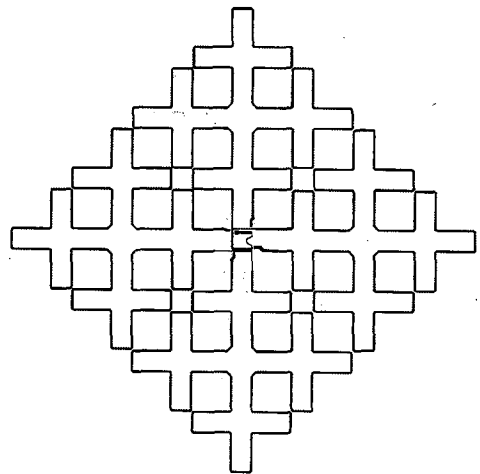


그림 3. 3차 후렉틀 확장된 크로스 안테나
Fig. 3. The thirdly fractal expanded cross antenna.

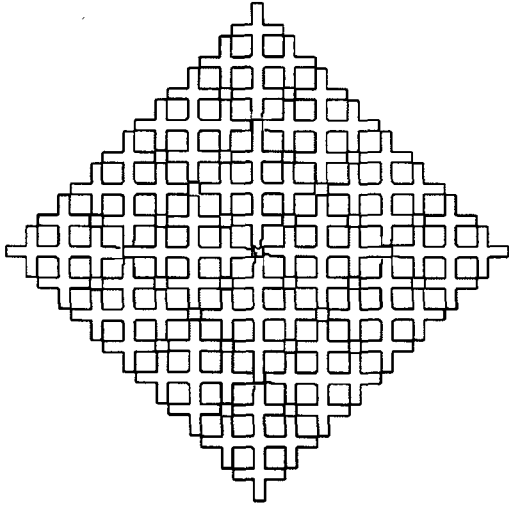


그림 4. 4차 후렉틀 확장 크로스 안테나
Fig. 4. The fourthly fractal expanded cross antenna.

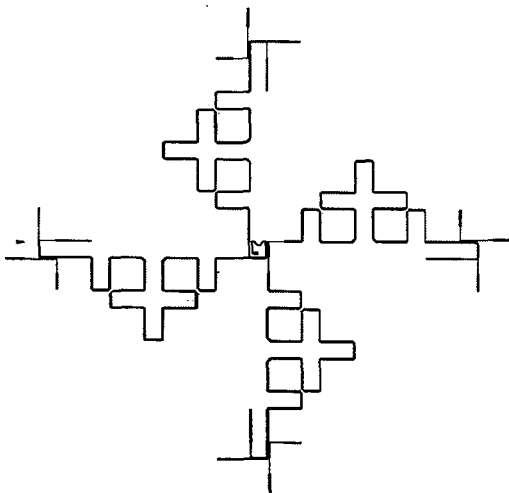


그림 5. 4차 확장 안테나의 급전회로망
Fig. 5. Feeding network of the fourthly expanded antenna.

이다. 전류의 전파길이를 적절히 유지하기 위해 중앙에 다시 $1\lambda_e$ 길이의 전력분배 회로망을 추가하였다. 따라서, 부가된 전력분배 회로망의 수는 5개로 전체 길이는 $5\lambda_e$ 이다. 이 구조는 한 개의 급전점과 16개의 중단점을 갖는다.

그림 5는 4차 후렉틀 확장 안테나의 급전회로망을 나타낸 것이다. 중앙과 4개의 부중앙을 연결하는

4개의 $9.25\lambda_e$ 길이의 마이크로스트립 선로들은 안테나 복사기와 전력분배 회로망의 역할을 동시에 수행한다.

앞에서와 같은 메커니즘에 의해 4개의 3차 확장된 구조는 각각 원형편파를 복사하면서 중앙의 전력분배 회로에 의해 90° 씩의 위상지연을 가지고 순차적으로 회전한다. 따라서 전체 복사파의 편파특성은 원형편파를 유지하면서 지향성이 향상된다. 이러한 방식으로 각 $1\lambda_e$ 길이의 단순한 5개의 전력분배 회로망을 추가하여 손실에 의한 안테나 성능저하를 방지하면서 전체 길이가 $303\lambda_e$ 에 이르는 크로스 안테나의 후렉틀 구조를 구현하였다.

Ⅲ. 시뮬레이션 및 고찰

2차, 3차, 4차 확장 하이브리드 후렉틀 크로스 안테나를 앙상블(Ensemble) 프로그램을 이용하여 시뮬레이션하고 제작하여 성능을 분석하였다.

$\epsilon_r = 2.5$ 인 테프론 유전체를 기판으로 사용하고 50Ω 동축케이블로 급전하였다. 또한 입력단 정합을 위해 급전부에 다단 $\lambda_e/4$ 임피던스 변환기를 사용하였다. 표 1은 제작된 안테나의 설계 데이터이다.

그림 6은 제작된 2차, 3차, 4차 확장 후렉틀 크로

표 1. 후렉틀 확장된 안테나의 설계데이터
($\epsilon_r = 2.5, h = 1.575\text{mm}$)

Table 1. Specification of the fractal expanded antenna.

설계변수 \ 확장차수	N=2	N=3	N=4
중심주파수(GHz)	7.5 GHz	7.75 GHz	7.75 GHz
복사기의 길이($\lambda_e/2$)	15 mm	15 mm	15 mm
복사기 쌍의 수	16	64	256
마이크로스트립 선로 폭	1.26 mm	0.803 mm	0.803 mm
선로의 특성임피던스	100Ω	120Ω	120Ω
안테나의 전체 길이	$19\lambda_e$	$76\lambda_e$	$303\lambda_e$

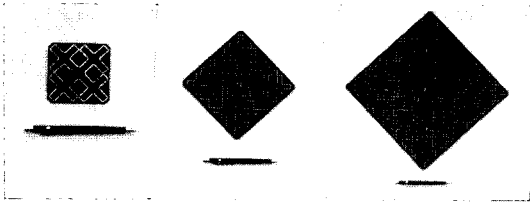


그림 6. 2차, 3차, 4차 후렉탈 확장된 크로스 안테나
 Fig. 6. The secondly, thirdly, fourthly fractal expanded antenna.

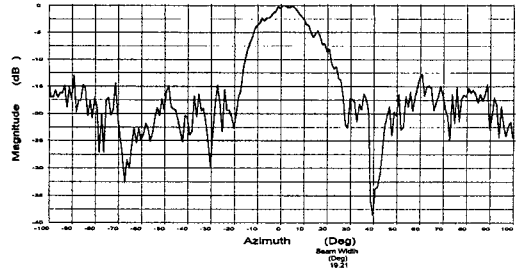


그림 8. 2차 후렉탈 확장 안테나의 복사패턴
 Fig. 8. Radiation pattern of the secondly fractal expanded antenna.

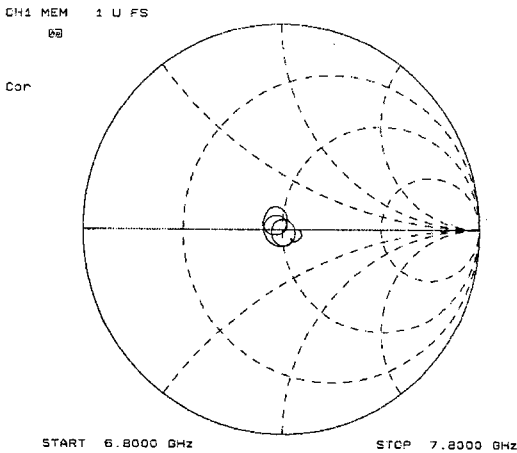


그림 7. 2차 후렉탈 확장 안테나의 입력 임피던스의 주파수 특성
 Fig. 7. Frequency characteristics of the input resistance of the secondly fractal expanded antenna.

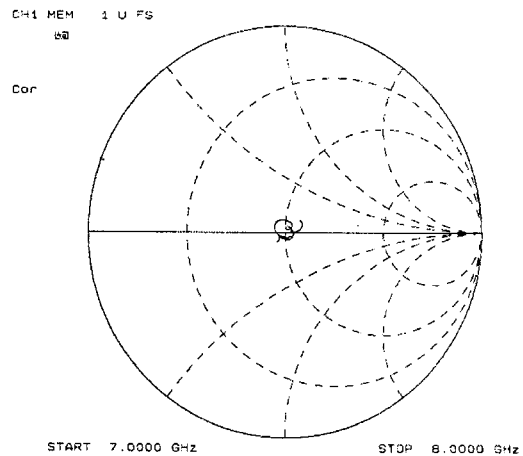


그림 9. 3차 후렉탈 확장 안테나의 입력 임피던스의 주파수 특성
 Fig. 9. Frequency characteristics of the the input resistance of the thirdly fractal expanded antenna.

스 안테나의 사진을 나타낸 것이다.

안테나 입력단의 반사 특성은 HP-8720C 회로분석기를 이용하여 측정하였다. 복사특성은 Flam & Russell사의 FR959 안테나 측정시스템으로 측정하였다.

그림 7은 2차 확장한 안테나의 경우 6.8~7.8 GHz에서의 입력임피던스의 주파수 특성을 나타낸 것이다. $SWR \leq 1.5$ 대역폭은 19%이다. 그림 8은 7.55 GHz에서 2차 확장한 안테나의 복사패턴이다. 이득은 13.1 dB이고, 3 dB 빔폭은 19.21° 이며 부엽 크기는 -12.7 dB이다.

그림 9는 3차 확장 안테나의 7.0~8.0 GHz 주파

수 대역에 대한 입력단의 반사특성을 측정한 결과이다. 3차 확장 안테나는 120Ω 마이크로스트립 선로로 구성하고 50Ω 급전 동축케이블과의 정합을 위해 다단 $\lambda_e/4$ 임피던스 변환기를 사용하였다. 정합부하는 120Ω 광대역 집중소자 칩저항을 이용하여 중단하였고 이 경우 $SWR \leq 1.5$ 인 대역폭은 약 20%였다.

CAD 시뮬레이션의 타당성을 확인하기 위해 7.75 GHz에서 3차 확장 안테나의 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 그림 10에서 비교한다. 이득은 18.5 dB이고 빔폭은 약 11° 이고 부엽크기는 -17.2 dB이다.

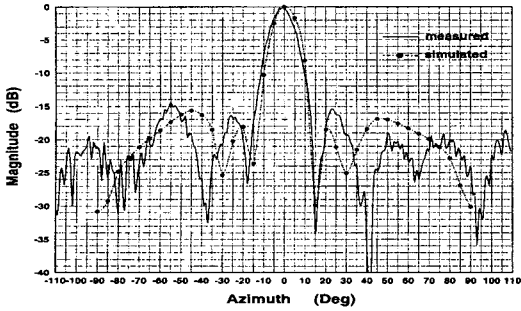


그림 10. 3차 후렉틀 확장 안테나의 복사패턴 ($f=7.75$ GHz)

Fig. 10. Radiation pattern of the thirdly fractal expanded antenna.

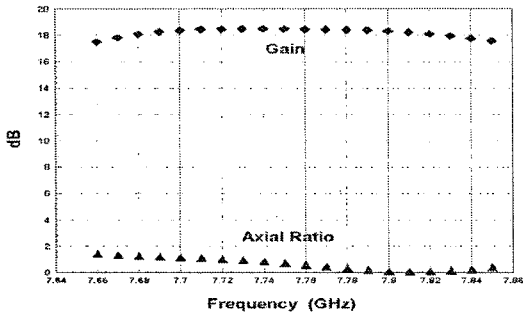


그림 11. 3차 후렉틀 확장 안테나의 지향성 이득과 축비

Fig. 11. Gain and axial ratio of the thirdly fractal expanded antenna.

2차 확장 안테나에 비하여 빔폭이 8.2° 좁아지고 이득은 5.4 dB 증가하였다.

그림 11은 안테나의 이득과 축비의 주파수 특성을 나타낸 것이다. 최대이득은 7.75 GHz에서 18.5 dB이다. 축비는 동작대역에 걸쳐 0.15 dB에서 1.5 dB사이의 충분히 낮은 값을 유지하며 후렉틀 확장에서도 교차편파 성분은 증가하지 않았다. 최저의 축비는 최적 정합부하로 종단할 때 얻어졌다. 그림 12는 7.0~8.0 GHz 주파수 대역에서 4차 확장 안테나의 SWR의 측정 결과이다. $SWR \leq 1.5$ 인 대역폭은 약 20%로 2차 후렉틀 확장한 안테나와 비교하여 거의 변화를 보이지 않았다. 그림 13은 7.75 GHz에서의 4차 확장 안테나 복사패턴을 도시한 것이다. 이득은 23.7 dB, 3 dB 빔폭은 5.4° , 부엽크기는 -14

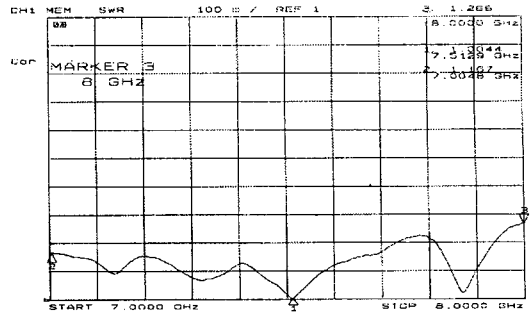


그림 12. 4차 후렉틀 확장 안테나의 SWR

Fig. 12. SWR of the fourthly fractal expanded antenna.

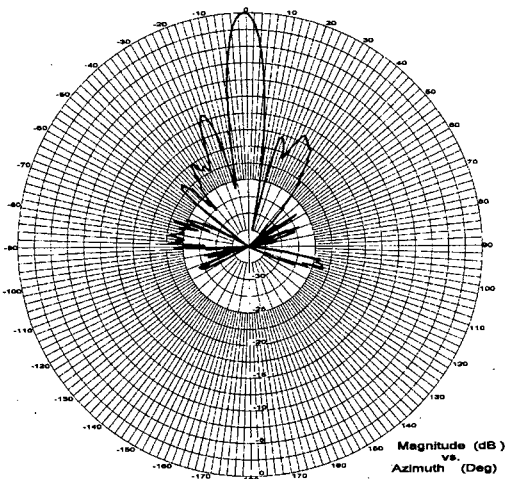


그림 13. 4차 후렉틀 확장 안테나의 복사패턴 ($f=7.75$ GHz)

Fig. 13. Radiation pattern of the fourthly fractal expanded antenna.

dB이다. 2차, 3차에 비하여 빔폭이 좁아지고 지향성 이득이 증가한다. 그림 14는 축비의 변화를 도시한 것이다. 축비는 동작대역에서 0.15~1.5 dB로써 충분히 낮은 교차편파 성분을 유지한다.

IV. 결 론

십자형 크로스 안테나를 기본 구조로 후렉틀 확장시킨 후렉틀 크로스 안테나를 새롭게 제안하였다. 후렉틀 확장 차수가 증가함에 따라 안테나의 전체

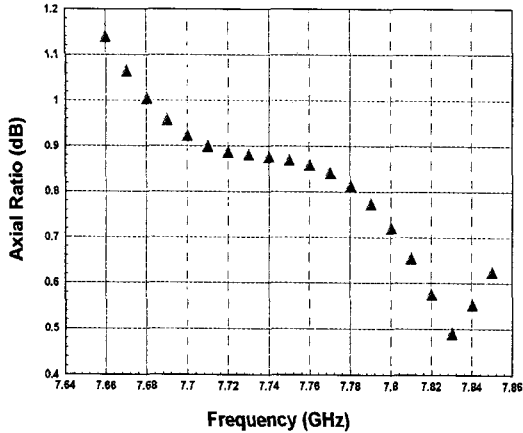


그림 14. 4차 후렉틀 확장 안테나의 축비

Fig. 14. Axial ratio of the fourthly fractal expanded antenna.

길이는 증가한다. 진행파형 안테나의 동작 매커니즘에 따른 여러 가지 손실로 인해 전파 길이의 증가는 안테나상에 전력의 불균등 분포를 발생시킨다. 이로 인해 복사패턴, 원형편파 특성 등에서 성능의 저하가 심각하게 나타난다. 간단한 전력분배 회로망을 추가함으로써 안테나의 성능저하를 막을 수 있었다. 2차, 3차, 4차 확장된 하이브리드 후렉틀 안테나를 설계하고, 측정에 의해 성능을 분석하였다.

후렉틀 확장차수가 증가함에 따라 안테나의 지향성 이득은 큰 폭으로 증가하나, 입력 SWR 대역폭과 교차편파 특성은 거의 변하지 않았다. 2~4차 확장에서 입력 $SWR \leq 1.5$ 대역폭은 약 20% 정도의 광대역 특성을 유지하고, 축비 역시 1.5 dB 이하로써 우수한 교차편파 특성을 나타낸다.

참 고 문 헌

- [1] A. G. Roederer, "The Cross Antenna: A New Low-Profile Circularly Polarized Radiator," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 38, no. 5, May, 1990.
- [2] A. G. Roederer, *French Patent 85 10463*, July 9, 1985.
- [3] A. G. Roederer, *United States Patent 4804965*, Feb. 14, 1989.
- [4] L. Shafai and A. A. Sebak, "Radiation characteristics and polarization of undulated microstrip line antennas," *Proc. Inst. Elec. Eng.*, vol. 132, no. 7, pp. 433-439, Dec., 1985.
- [5] B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman, New York, 1983.
- [6] M. F. Barnsley, R. L. Devaney, B. B. Mandelbrot, H. O. Peilgen, D. Saupe, R. F. Voss, Y. Fisher, and M. McGuire, *The Science of Fractal images*, New York: Springer-Verlag, 1988.
- [7] D. L. Jaggard, "On fractal electrodynamics," in *Recent Advances in Electromagnetic Theory*, edited by H. N. Kritikos and D. L. Jaggard, pp. 183-224, Springer-Verlag, New York, 1990.
- [8] D. L. Jaggard, "Fractal electrodynamics: Wave interactions with discretely self-similar structure," in *Electromagnetic Symmetry*, edited by C. E. Baum and H. N. Kritikos, pp. 231-280, Taylor and Francis, Bristol, Pa., 1995.
- [9] Y. Kim, and D. L. Jaggard, "The fractal random array," *Proc. IEEE*, 74(9), 1278-1280, 1986.
- [10] D. H. Werner and P. L. Werner, "Frequency independent features of self-similar fractal antenna," *Radio Sci.*, vol. 31, no. 6, pp. 1331-1343, Nov./Dec., 1996.
- [11] D. L. Jaggard, "Prolog to special section on fractals in electrical engineering," *Proc. IEEE*, vol. 81, no. 10, pp. 1423-1427, Oct., 1993.

장 정 민



1991년 2월: 한양대학교 전자통신
공학과(공학사)
1996년 8월: 한양대학교 전자통신
공학과(공학석사)
1996년 8월~1998년 2월: 삼성전
자 연구원
1999년 3월~현재: 한양대학교 전

자통신공학과 박사과정

[주 관심분야] RF 소자 및 안테나 설계

이 상 설



1937년 5월 30일생
1961년 한양대 전기공학과(공학사)
1974년 연세대학교(공학박사)
1977년 프랑스 그르노블대학(공학
박사)
1995년 한양대 공과대학 학장
1996년 대한전자공학회 회장

현재 : 한양대학교 전자전기공학부 교수

[주 관심분야] 안테나 및 전자파이론