
Sierpinski 프랙탈 구조를 가지는 정삼각형 패치와 SSFIP 구조에 의한 위성방송 수신용 마이크로스트립 안테나의 개발

심 재륜*

Development of Microstrip Antenna for Satellite Broadcasting Receptions Based on the
Sierpinski Equilateral Triangular Patch and SSFIP(slot-strip-foam-inverted patch) structures

Jaeruen Shim*

본 논문은 2002년도 정보통신부지원 정보통신기초기술연구지원사업으로 이루어졌음

요 약

위성방송 수신용 마이크로스트립 안테나를 설계하고 이를 제작하여 안테나 성능을 측정하였다. 마이크로 스트립 패치 모양은 Sierpinski 프랙탈 구조를 가지는 정삼각형 패치를 이용하였고 안테나 구조는 다층의 SSFIP(slot-strip-foam-inverted patch) 구조를 이용하였다. Sierpinski 프랙탈 구조가 가지는 특징을 이용하여 원형 편파 발생을 위한 sequential 회전 기법을 적용하였으며, 이를 기본 안테나로 하여 8x2의 배열 안테나로 확장하였다. 제작된 안테나의 반사계수와 방사패턴의 측정 결과 시뮬레이션 결과와 비슷한 결과를 얻었다.

ABSTRACT

A microstrip array antenna is designed and tested for satellite broadcasting receptions. The Sierpinski equilateral triangular patch and SSFIP(slot-strip-foam-inverted patch) structures are used. The Sierpinski geometry is composed of 3 equilateral triangular patch and is easy to generate a circular polarization by sequential rotation array techniques. This 1x3 Sierpinski equilateral triangular patch antenna is extended to 8x2 array antenna for satellite broadcasting receptions. The measurement results of the reflection coefficients and the radiation patterns of the manufactured array antenna show good agreements with the simulation results.

키워드

마이크로스트립 안테나, Sierpinski 프랙탈 구조, SSFIP 구조

1. 서 론

정삼각형 패치[1]는 구형(rectangular)이나 원형(circular) 패치에 비해 안테나의 크기가 작은 장점이 있지만 이의 구조를 이용한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 정삼각형 패치를 이용하여 배열

안테나로 확장하면 기존의 사각형 패치가 차지하는 면적과 크기보다 줄일 수 있는 장점이 있다.

프랙탈(fractal) 구조는 전체를 부분과 부분으로 나누었을 때 부분안에 전체의 모습을 갖는 기하학적인 도형이다. Sierpinski 프랙탈 구조는 정삼각형의 패치 중앙에서 역정삼각형 모양으로 반복해

*부산외국어대학교 디지털정보공학부
접수일자 : 2003. 9. 5

서 제거해 나가는 구조이고 1회 반복 제거에 의한 Sierpinski 프랙탈 구조는 3개의 정삼각형 패치를 기본으로 구성되어 있다. 이러한 구조의 특징은 원형 편파 발생을 위한 sequential 회전 기법의 적용이 쉽다는 것이다[6].

본 연구에서는 대표적인 프랙탈 구조인 Sierpinski 프랙탈 구조를 이용하여 기본 안테나를 설계하고 이를 확장한 8x2의 배열 안테나를 설계 제작한다. 특히 Sierpinski 프랙탈 구조에서 정삼각형 패치로 구성된 3개의 안테나 포트간의 분리도를 증가시키기 위해 하이브리드(hybrid) 전력 분배기를 사용하였다. 또한, 광대역의 대역 특성을 얻기 위해 SSFIP(slot-strip-foam-inverted patch) 구조를 이용한 다층 기판을 사용하였다. SSFIP 구조는 중간에 foam을 삽입하는 것을 특징으로 한다. 또한, 하층기판은 비유전율이 크고 두께가 두꺼운 기판을 사용하는 반면, 상층기판은 비유전율이 낮고 두께가 작은 기판을 주로 사용한다.

본 연구의 해석 도구로는 Ensemble 8.0을 이용하였다. 위성방송 수신용 안테나의 요구 규격은 중심주파수 11.85GHz에 300MHz의 대역폭을 가지고, 이득은 20~25dBi (국내에서 DBS 수신) 정도이고 편파는 좌회전 원형 편파이다[7].

II. 1x3 기본 안테나

2.1 정삼각형 패치 안테나

정삼각형 마이크로스트립 패치 안테나의 공진 은 각 변의 길이 a 에 의해 TM₁₀ 모드(mode)가 발생하고 이의 공진 주파수 f 는 다음과 같다[8].

$$f_{m,n,l} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{m^2 + mn + n^2} \quad (1)$$

식 (1)에서 a 는 정삼각형 패치의 각 변의 길이이고, ϵ_r 은 기판의 비유전율이고, c 는 빛의 속도이다.

실제 정삼각형 패치의 공진 주파수 f 를 계산하기 위해서는 정삼각형 패치의 가장자리 효과(fringe effect)를 고려한 식 (2)와 같은 유효 길이 a_{eff} 에 의해 최종 결정된다[9].

$$a_{eff} = a \sqrt{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r a_{eq}} \left[\ln\left(\frac{a}{2h}\right) + 1.41\epsilon_r + 1.77 + \frac{h}{a}(0.238\epsilon_r + 1.65) \right]} \quad (2)$$

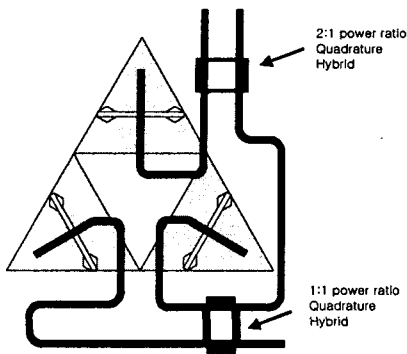
여기서, h 는 기판의 두께이고, a_{eq} 는 정삼각형 패치의 실제 면적 S 에 의한 등가 길이로 식 (3)에 의해 구한다.

$$a_{eq} = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (3)$$

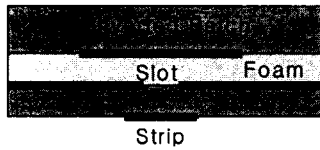
2.2 1x3 기본 안테나 : SSFIP 구조

그림 1은 3개의 정삼각형으로 이루어진 Sierpinski 프랙탈 구조를 가지는 마이크로스트립 안테나이다. 각 정삼각형의 한변의 길이는 10.7mm로 이는 마이크로스트립 기판의 특성을 고려한 공진 길이에 의해 계산되었다. 광대역 특성을 얻기 위해 잘 알려진 SSFIP(slot-strip-foam-inverted patch) 구조를 선택하였고 SSFIP 구조의 특징은 중간에 foam을 삽입하고, 하층기판은 비유전율이 크고 두께가 두꺼운 기판을 사용하고, 상층기판은 비유전율이 낮고 두께가 작은 기판을 사용한다. 본 연구에서는 중간 foam의 두께를 100mil로 설정하였다.

그림 1에서 보듯이 Sierpinski 프랙탈 구조의 특징을 이용하여 원형 편파 발생을 위해 각 3개의 안테나에 120°의 위상차를 주었다. 또한, 안테나 포트(port)간의 분리도(isolation)를 높이기 위해 하이브리드(hybrid) 전력 분배기를 사용하였다.



(a) 1x3 기본 안테나



(b) SSFIP 구조

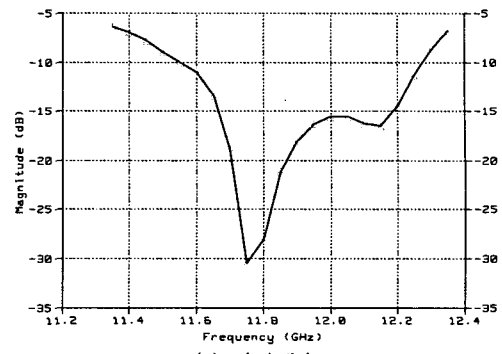
그림 1. 1x3 기본 안테나의 구조 및 급전 방법
Fig. 1 Geometry and feeding method of 1x3 Sierpinski based antenna

표 1에 본 연구에서 사용한 SSFIP 구조의 기판 특성을 정리하였다.

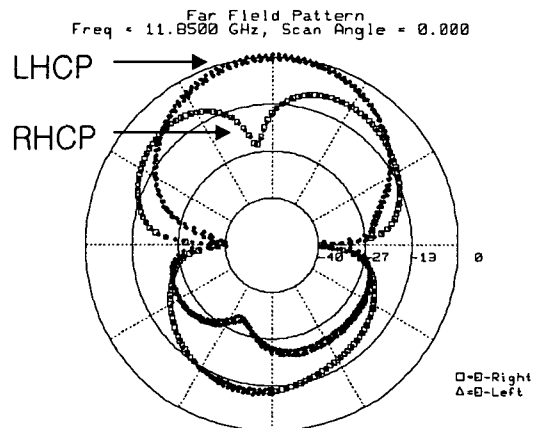
표 1. SSFIP 구조의 기판 특성

상층기판	비유전율 2.2, 두께 20mil (RT/DUROID 5880)
Foam	비유전율 1.1, 두께 100mil
하층기판	비유전율 10.2, 두께 25mil (RT/DUROID 6010LM)

그림 2는 그림 1에서 보여준 Sierpinski 프랙탈 구조를 이용한 1x3 기본 안테나에 대한 반사계수와 방사패턴의 결과이다. (a) 반사계수의 경우, -10dB를 기준으로 전 대역에서 원하는 반사계수를 얻었다. (b) 방사패턴의 경우, LHCP(Left Handed Circular Polarization)의 크기가 RH-CP(Right Handed Circular Polarization)의 크기보다 25dB 정도 높게 설계되었다.



(a) 반사계수



(b) 방사패턴

그림 2. 1x3 기본 안테나의 반사계수와 방사패턴
Fig. 2 Reflection coefficients and radiation pattern of 1x3 Sierpinski based antenna

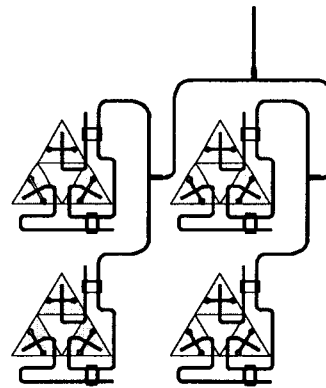


그림 3. 2x2 배열 안테나
Fig. 3 2x2 array antenna

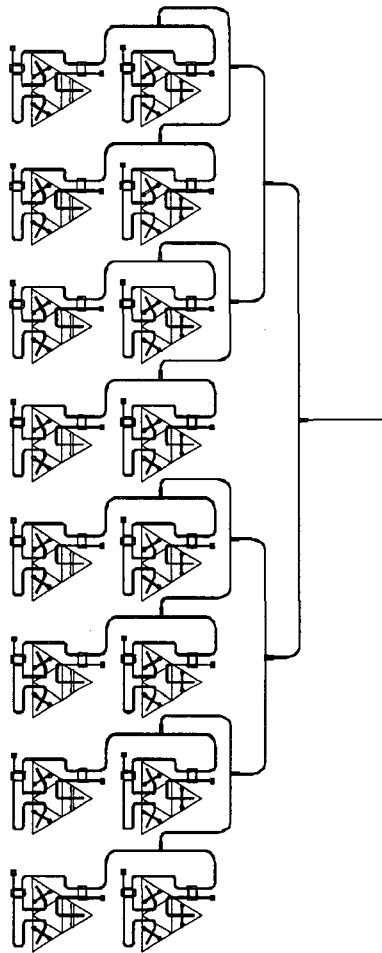


그림 4. 8x2 배열 안테나
Fig. 4 8x2 array antenna

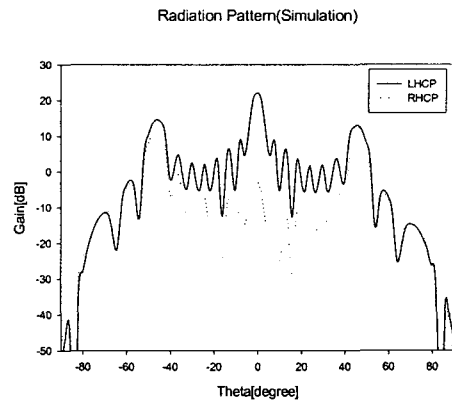
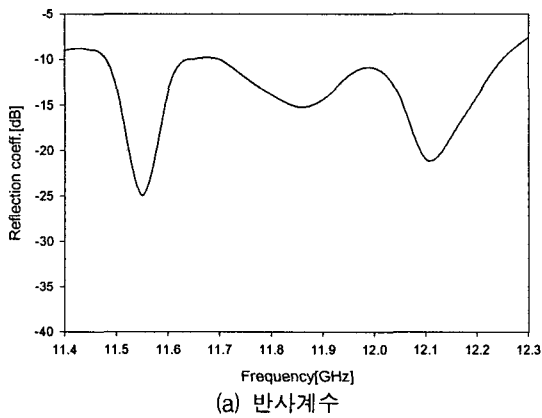


그림 5. 8x2 배열 안테나의 반사계수와 방사패턴
Fig. 5 Reflection coefficients and radiation pattern of 8x2 array antenna

III. 8x2 배열 안테나

위성방송 수신을 위해 1x3 기본 안테나를 8x2의 배열 안테나로 확장하였다. 그림 3은 1x3 기본 안테나를 2x2 배열 안테나로 확장한 그림으로 안테나간의 간격은 34mm로 11.85GHz에서 $1.38\lambda_0$ 이다. 이는 grating lobe의 발생이 가능한 배열 간격이다. 이러한 간격을 주게 된 이유는 Sierpinski 프랙탈 구조에서 3개의 정삼각형 패치끼리의 안테나간 상호 간섭을 감소시키기 위해 하이브리드 전력 분배기를 사용하였기 때문이다.

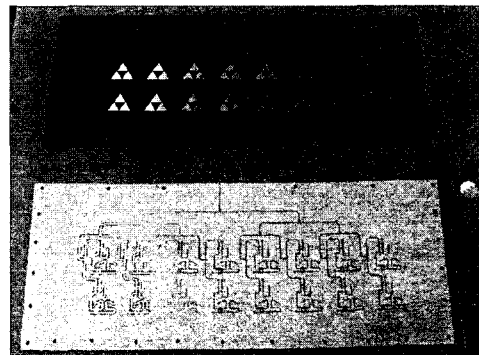


그림 6. 제작된 8x2 배열 안테나
Fig. 6 Manufactured 8x2 array antenna

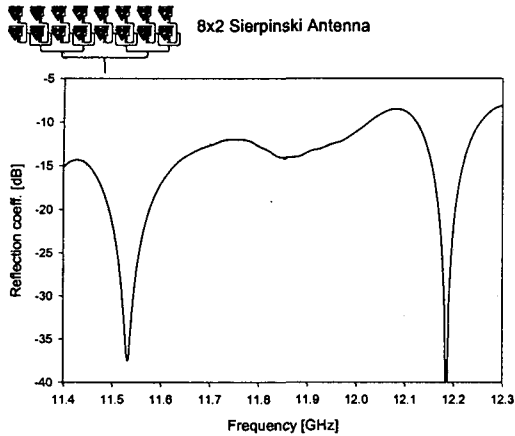
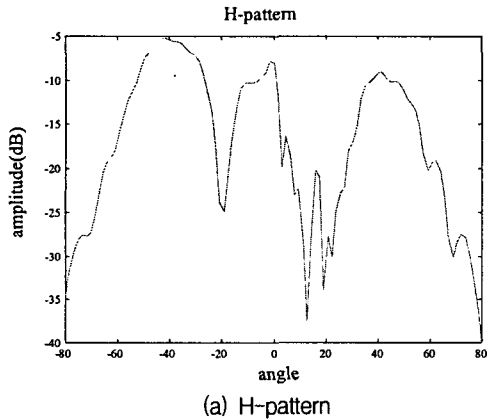
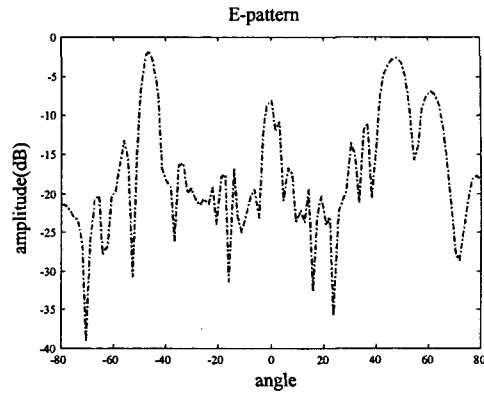


그림 7. 8x2 배열 안테나의 반사계수 측정 결과
Fig. 7 Measurement results of reflection coefficients of 8x2 array antenna

그림 4는 8x2 배열 안테나의 전체적인 패턴이다. 그림 5는 8x2 배열 안테나의 반사계수와 방사 패턴에 대한 시뮬레이션 결과이다. (a) 반사계수의 경우, 전 주파수 대역에서 모두 -10dB 이하의 값을 가진다. (b) 방사패턴의 경우, 시뮬레이션 결과에 의한 8x2 배열 안테나의 이득은 23dBi이다. 또한, 그림에서 보듯이 LHCP와 RHCP의 크기 차이를 보여주고 이의 차이는 broadside 방향에서 약 24dB 정도로 충분히 AR(Axial Ratio)를 만족한다.



(a) H-pattern



(b) E-pattern

그림 8. 8x2 배열 안테나의 방사패턴 측정 결과
Fig. 8 Measurement results of radiation pattern of 8x2 array antenna

IV. 측정 결과

그림 6은 제작된 8x2 배열 안테나의 사진이다. 제작된 안테나의 반사계수와 방사패턴의 측정은 HP 8510와 근접전계측정기인 NSI 장비를 이용하였다. 그림 7은 8x2 배열 안테나의 반사계수 측정 결과이다. 그림 7에서 보듯이 반사계수의 경우, 위성방송 수신 전 대역에서 원하는 결과를 얻었다.

그림 8는 8x2 배열 안테나의 방사패턴 측정 결과이다. 그림 9에서 보듯이 broadside 방향(각도가 0°)에서 최대 이득이어야 하지만, 약 ±40° 근처에서 grating lobe로 인한 방사패턴의 영향이 더 강하게 보인다. 측정된 방사패턴의 결과가 시뮬레이션 결과에 미치지 못한 이유가 Sierpinski 프랙탈 구조에서 정삼각형 패치끼리의 근접으로 인한 고려되지 못한 상호 결합 계수의 영향으로 판단된다.

V. 결론

위성방송 수신용 Sierpinski 프랙탈 구조를 가지는 8x2 마이크로스트립 배열 안테나를 설계하고 이를 제작하여 안테나의 성능을 측정하였다. Sierpinski 프랙탈 구조의 특성을 이용하여 원형편파 발생을 얻었고 광대역 특성을 위해 SSFIP

(slot-strip-foam-inverted patch) 구조를 이용하였다. 제작된 안테나의 반사계수와 방사패턴의 측정 결과 시뮬레이션 결과와 비슷한 결과를 얻었다. 방사패턴의 경우 실제 제작에서 발생하는 정삼각형 패치간의 상호 근접 영향에 대한 고려가 필요하다.

감사의 글

안테나 측정을 도와주신 포항공과대학교 안테나연구실에 감사드립니다

참고 문헌

[1] K. Lee, K. Luk, and J. Dahele, "Characteristics of the equilateral triangular patch antenna," *IEEE Trans on AP*, Vol. 36, No. 11, pp. 1510-1518, 1988

[2] J. Lu, C. Tang, and K. Wong, "Single feed slotted equilateral triangular microstrip antenna for circular polarization," *IEEE Trans on AP*, Vol. 47, No. 7, pp. 1174-1178, 1999

[3] G. A. Edgar, *Measure, Topology, and Fractal Geometry*, Springer-Verlag

[4] C. Puente, J. Romeu, and R. Pous, and A. Cardama, "On the behavior of the Sierpinski Multiband Fractal Antenna," *IEEE Trans. on AP*, Vol. 46, No. 4, pp. 517-524, 1998

[5] Z. Du, K. Gong, J. S. Fu, and B. Gao, "Analysis of microstrip fractal patch antenna for multi-band communication," *Electronics Letters*, Vo. 37, No. 13, pp. 805-806, 2001

[6] 심재륜, "Sierpinski 프랙탈 삼각형의 sequential 회전 기법에 의한 원형 편파 특성," *한국해양정보통신학회*, 제6권 3호, pp. 440-444, 2002년 5월

[7] 정영배 외, "변형된 적층 구조를 갖는 단일 급전 방식의 광대역 평판형 배열 안테나 연구," *한국전자과학회논문지*, 제 12권 제 6호, pp. 919-930, 2001년 10월

[8] Edited by H. F. Lee and W. Chen, *Advances in microstrip and printed ante-*

nas, John Wiley & Sons, Inc. 1997

[9] S. H. Al-Charchafchi, W. K. Ali, M. R. Ibrahim, and S. R. Barnes, "Design of a Dual Patch Triangular Microstrip Antenna," *Applied Microwave & Wireless*, pp. 61-67, March 1998

저자 소개

심재륜(Jaeruen Shim)



1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사
1992년 2월 포항공과대학교 전자 전기공학과 공학석사

1999년 8월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학박사
1992년 7월 ~ 1995년 6월 육군사관학교 교수부 전자공학과 전임강사, 2000년 3월 ~ 현재 부산외국어대학교 디지털정보공학부 조교수