

PIN 다이오드를 이용한 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 동작 주파수 변환

Switchable Frequency of an Equilateral Triangular Microstrip Antenna with PIN Diodes

김 보 연 · 성 영 제 · 김 영 식

Boyon Kim · Young-Je Sung · Young-Sik Kim

요 약

본 논문에서는 PIN 다이오드의 on/off 특성을 이용해 공진 주파수가 변하는 정삼각형 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. PIN 다이오드가 off 상태에서는 T 형태 스퍼라인(Spur-line)의 영향으로 스퍼라인 주위로 전류가 돌아서 흐르기 때문에 안테나의 공진 주파수가 1.22 GHz를 보였으나, PIN 다이오드가 on 상태일 때는 T 형태의 스퍼라인이 I 형태 슬롯라인(Slot-line)으로 바뀌고, 이 I 형태의 슬롯라인에 의해 전류가 영향을 덜 받아서 안테나의 공진 주파수가 1.82 GHz를 나타내었고, 이는 일반적인 정삼각형 마이크로스트립 안테나와 공진 주파수와 차이가 거의 없었다. 제안한 안테나는 PIN 다이오드가 on, off 상태에서 모두 교차 편파가 -20 dB 미만의 방사 패턴을 가진 선형 편파 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper a novel design of equilateral-triangular microstrip antenna using PIN diode for switching the resonant frequency is presented and experimentally studied. The proposed antenna has changed the resonant frequency by length of spur-lines on the patch, and PIN diodes are utilized to switch the spur-line on and off. The shape of the spur-line is changed according to the on and off states of PIN diode and the equilateral triangular microstrip antenna has different resonant frequencies in accordance with them. The resonant frequency is 1.22 GHz with off states since the surface currents flow the periphery of T shape spur-lines, while the resonant frequency is 1.82 GHz with on states since the surface currents are little effect with the conventional equilateral triangular microstrip antenna. The radiation pattern of the proposed antenna has a good linear polarization with the cross polarization of -20 dB both with on and off states.

Key words : Switchable Frequency, Equilateral-Triangular, Microstrip, PIN Diode

I. 서 론

마이크로스트립 안테나는 작고, 가볍고, 그리고 간편한 제작으로 인해 군사 및 상업적으로 위성파 무선 통신에서 폭 넓게 사용되고 있다^{[1][2]}. 하지만 마이크로스트립 안테나는 좁은 대역폭의 단점을 가

지고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 좁은 대역폭의 개선은 이중 또는 다중의 주파수를 가지는 마이크로스트립 안테나에 대한 연구가 보고되고 있다^{[3]~[7]}. 본 논문에서는 일반적으로 알려져 있는 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 패치면에 PIN 다이오드가 off 상태일 때 동작하는 T 형태의 스퍼라

고려대학교 전파공학과(Department of Radio Sciences and Engineering, Korea University)

· 논문 번호 : 20040831-113

· 수정완료일자 : 2004년 11월 2일

인과 PIN 다이오드가 on 상태일 때 동작하는 I 형태의 슬롯라인을 이용해서 주파수 변환 마이크로스트립 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다.

먼저 PIN 다이오드의 on/off 상태일 때 동작하는 두 가지 형태의 안테나를 각각 설계하였고, 이를 Passive 안테나라 명명하였다⁸⁾. PIN 다이오드가 off 상태에서는 T 형태 스퍼라인을 삽입하였고, T 형태 스퍼라인의 길이가 길어질수록 패치면에 흐르는 전류 분포가 스퍼라인 주위를 흐르는 경향을 모의 실험을 통해 확인하였다. 이는 곧 전기적인 길이의 증가를 가져옴으로써, 결국 공진 주파수의 감소를 나타낸다. 한편, PIN 다이오드가 on 상태에서는 T 형태의 스퍼라인이 I 형태 슬롯라인으로 바뀌게 된다. I 형태의 슬롯라인은 그 두께가 얇고(0.5 mm) 패치면의 옆면과 평행하게 있어 전류분포가 일반적인 정삼각형 마이크로스트립 안테나와 거의 차이가 없기 때문에 패치면에 흐르는 전류는 I 형태의 슬롯라인에 영향을 거의 미치지 못한다. 그러므로 공진 주파수의 변화가 거의 없다.

Passive 안테나의 패치면에 있는 T 형태 스퍼라인의 Inset 부분에 PIN 다이오드를 실제 구현하였고, 또한 이 PIN 다이오드를 동작시키기 위한 DC 바이어스를 설계한 안테나를 Active 안테나라 명명하였다. 한편 PIN 다이오드의 동작을 위한 DC 바이어스 라인인 안테나의 성능에 영향을 미치지 않도록 설계하였다. 이 Active 안테나를 Passive 안테나의 모의 실험값과 비교를 통해 타당성을 검증하였고, Active 안테나를 실제로 제작 및 측정하였다.

각 부분의 해석과 설계를 위해 FEM 방식의 해석법을 사용하는 HFSS와 회로 해석용 시뮬레이터인 ADS를 이용하였다. ADS의 경우 Active 안테나의 모의 실험을 위해서 PIN 다이오드가 on 상태일 때는 저항으로, off 상태일 때는 캐패시터로 동작하도록 모델링을 하였으며, 실제 제작한 Active 안테나의 결과와 매우 유사한 것을 확인하였다. 모의 실험을 통해 주파수 변환 안테나를 실제 제작한 안테나의 삽입 손실과 방사 패턴을 비교하였고, T 형태의 스퍼라인과 I 형태의 슬롯라인의 길이에 따른 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 이득에 대해 분석하였다.

본 논문에서는 제1장 서론에 의해, 제2장에서는 T

형태 스퍼라인을 통한 주파수 변환 마이크로스트립 안테나의 설계에 대해 알아보았고, 제3장에서는 제안한 안테나의 실험 결과를 나타냈으며, 마지막으로 제4장에서는 결론을 도출하였다.

II. 제안한 안테나 설계

본 장에서는 T 형태 스퍼라인을 가진 주파수 변환 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 설계에 대해 제안한다. 안테나가 선형 편파의 특성을 가질 수 있도록 패치면의 밑변의 중심으로부터 수직으로 떨어진 거리에 50 Ω의 프로브 급전을 하였다⁹⁾. 안테나를 설계하기에 앞서 Passive 형태(T 형태 스퍼라인의 Inset 부분에 구현될 PIN 다이오드의 on/off 특성을 컨덕터로 표현)로 설계하였고, 이를 검증하기 위해 Active 형태(스퍼라인의 Inset 부분에 실제로 PIN 다이오드를 구현하고, 이를 동작시키기 위해 DC 바이어스 라인을 연결하여 on/off 특성을 표현)로 설계하였다.

2-1 공진 주파수 설계

정삼각형 마이크로스트립 안테나의 한 변의 길이 l 과 유전율 ϵ_r 을 이용한 TM_{10} 모드에서 동작하는 공진 주파수를 결정하는 식은 아래와 같다¹⁰⁾.

$$f_{10} = \frac{2c}{3l_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

$$l_r = l \left[1 + 2.199 \left(\frac{h}{l} \right) - 12.853 \left(\frac{h}{\sqrt{\epsilon_r} l} \right) \left(\frac{h}{l} \right) + 16.436 \left(\frac{1}{\epsilon_r} \right) \left(\frac{h}{l} \right) + 6.182 \left(\frac{h}{l} \right)^2 - 9.802 \left(\frac{h}{\sqrt{\epsilon_r} l} \right) \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right] \quad (2)$$

여기서 c 는 자유 공간에서의 빛의 속도이고, h 는 기관의 높이를 나타낸다. 식 (2)는 정삼각형 한 변의 길이 l 을 유효값 l_r 로 바꾸고 기관의 유전 상수는 그대로 두는 방법이다. 그리고 TM_{10} 모드에서 동작하는 공진 주파수를 실험적, 이론적인 결과에 커브 피팅을 적용함으로써 얻어진 결과이다.

식 (1)과 (2)를 이용해서 높은 차수의 모드를 형성하는 공진 주파수를 설계할 수 있다.

$$f_{mn} = f_{10} (m^2 + mn + n^2)^{1/2} \quad (3)$$

식 (1)과 (2)를 이용해서 유전율 $\epsilon_r=4.4$, 높이가 $h=1.6$ mm인 FR4 기판을 이용해서 TM_{10} 에서 동작하는 한 변의 길이 $l=50$ mm인 정삼각형 마이크로 스트립 안테나의 공진주파수는 1.916 GHz인 것을 알 수 있었다.

2-2 Passive 안테나

그림 1은 두 개의 T 형태의 스퍼라인과 I 형태의 슬롯라인을 가진 정삼각형 마이크로 스트립 안테나의 Passive 형태의 on/off 상태를 제안하고 있다. Passive 안테나는 패치면에 있는 양쪽 T 형태의 스퍼라인과 I 형태의 슬롯라인의 크기가 동일하게 설계되

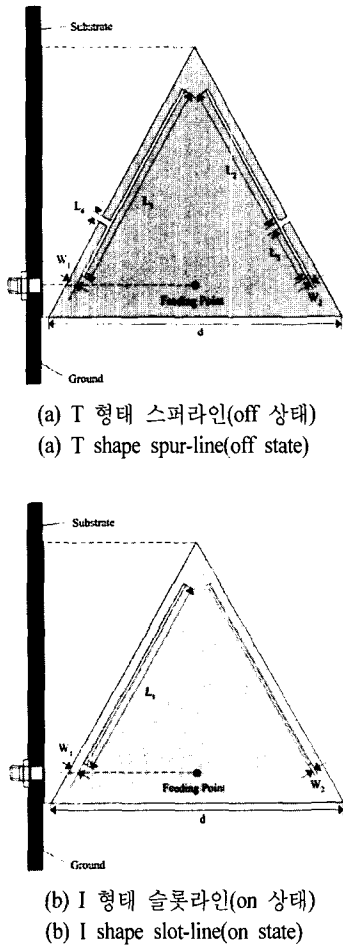


그림 1. 두 개의 T 형태 스퍼라인과 I 형태 슬롯라인을 가지는 안테나의 Passive 구조
Fig. 1. Geometry of a passive antenna with a pair of T and I shape spur-lines.

었고, 50 Ω 프로브 급전이 패치면의 밑변의 중심으로부터 수직으로 5 mm에 해당되는 곳이기에 구조가 대칭적이고 안정적인 특징을 가지고 있다. 설계에 필요한 기판은 FR4로써 정삼각형 한 변의 길이가 $d=50$ mm, 유전율 $\epsilon_r=4.4$, 그리고 두께 $h=1.6$ mm이다. 다이오드 on/off 특성의 변환을 알아보기 위해 Passive on 상태와 Passive off 상태의 안테나를 설계하였다. Inset 부분은 $L_4=1.0$ mm \times $W_1=1.5$ mm의 크기를 가지는 직사각형 형태로 PIN 다이오드의 전체 크기에 맞게 설계되었다.

그림 2는 Passive 안테나의 패치면에 흐르는 전류 분포에 대한 모의 실험 결과를 나타내고 있다. (a)는 PIN 다이오드가 off 상태일 때, 전류가 패치면에 삽입된 T 형태의 스퍼라인 주위를 돌아서 흐르고 있다. 패치면에 흐르는 분포가 T 형태의 스퍼라인 주위를 돌아서 흐르기 때문에 전체적으로 전기적인 길이의 증가를 가져온다. 이로 인해, 공진 주파수가 내

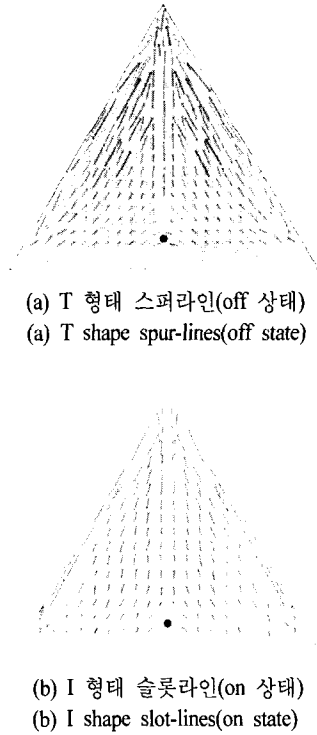


그림 2. 모의 실험을 통해 얻은 패치면에 흐르는 전류 분포
Fig. 2. Simulated surface current distribution on the patch.

러가는 것을 예상할 수 있다. 반면에 T 형태의 스퍼라인의 전체 길이가 길어질수록 공진 주파수는 감소하고, 반대로 스퍼라인의 길이가 짧아질수록 공진 주파수가 올라갈 것이다⁶⁾. (b)는 PIN 다이오드가 on 상태일 때의 전류 분포를 보여주고 있다. PIN 다이오드가 on 상태일 때는, T 형태의 스퍼라인이 I 형태의 슬롯라인으로 바뀌게 된다. I 형태의 슬롯라인은 패치면의 옆면에 평행하고, 그 두께가 얇아서 전류 분포가 일반적인 정삼각형 안테나의 전류 분포와 별 차이가 없다. 그러므로 공진 주파수가 거의 변하지 않는다.

2.3 DC 바이어스 라인

패치면에 있는 T 형태 스퍼라인의 Inset 부분에 구현한 PIN 다이오드의 on/off 상태를 동작시키기 위해 그림 3에서와 같이 DC 바이어스 라인을 설계하였다. DC 바이어스 라인이 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 패치면에 미치는 영향을 최소화하였으며, DC 바이어스 라인의 길이는 공진 주파수에 대한 $\lambda_g/4$ 로 설계하였고, T 형태 스퍼라인을 가진 안테나에서는 33.16 mm이다. 이는 그림 3의 a점에서는 패치면과 DC 바이어스 라인이 단락 상태(Short)이지만, $\lambda_g/4$ 의 길이로 인한 b점에서는 RF 신호는 개방 상태(Open)이므로 DC 전류만 바이어스 라인을 통해 RF 신호는 흐르지 못하게 하는 효과를 가지고 있다. DC 바이어스 라인의 두께는 0.1 mm로 최소화하였고, 169 Ω 에 해당되는 높은 임피던스를 가지므로 패치면과 부정합을 이루게 되어서 RF 신호가 패치면에서 DC 바이어스 라인으로 흐르지 못해 DC 바이어스 라인으로 인한 전체 안테나의 특성에는 변화가 거의 없다. DC 바이어스 라인과 연결된 금속판의 크기는 $L_{D2} \times W_{D2} = 3.0 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$ 의 정사각형이고,

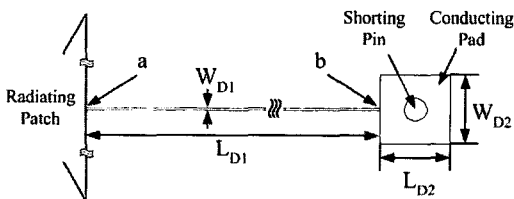


그림 3. DC 바이어스 라인의 구조
Fig. 3. Configuration of DC bias line.

Shorting-Pin을 접지면과 연결한 후, 접지면에 10 pF의 DC Block 캐패시터를 설치해서 DC 전류가 접지면으로 흐르는 것을 방지하였다.

DC 바이어스 라인을 통해 DC 전원이 공급되면 (Forward Bias), PIN 다이오드의 on 상태는 증가적으로 저항이므로 단락 상태가 된다. 이와 반대로, DC 전원 공급이 없으면(Reverse Bias), 다이오드는 off 상태를 나타내고, 증가적으로 캐패시터이므로 개방 상태가 되어 주파수 변환을 일으키게 된다.

2.4 최종 제안한 T 형태 스퍼라인을 가진 Active 안테나

그림 4에서는 두 개의 T 형태 스퍼라인의 Inset 부분에 삽입된 PIN 다이오드의 on/off 상태를 동작시키기 위해 DC 바이어스 라인을 설치한 주파수 변환 마이크로스트립 안테나를 최종적으로 제안하고 있다. 안테나의 패치면에 삽입된 두 개의 T 형태의 스퍼라인과 PIN 다이오드를 동작시키는데 필요한 세 개의 DC 바이어스 라인을 설계하였다. 세 개의 DC 바이어스 라인 중 PIN 다이오드와 연결된 두 개는 양극 (+)의 DC 바이어스 라인이고, 나머지 하나는 기판의 접지면과 연결된 음극 (-)의 접지 라인이다. 다이오드를 동작시키기 위한 양극의 DC 전류가 패치면에 흐르지 못하도록 9 pF의 DC Block 캐패시터를 각

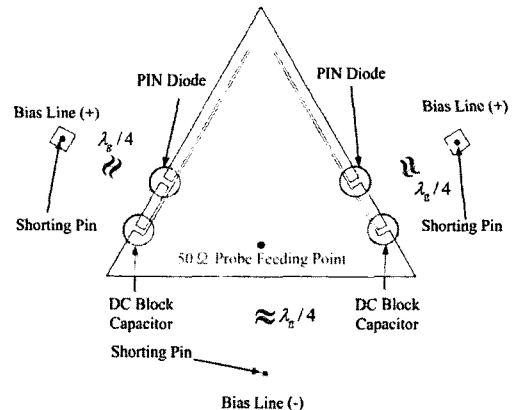


그림 4. 제안한 두 개의 T 형태 스퍼라인과 세 개의 DC 바이어스 라인을 가진 정삼각형 마이크로스트립 안테나 구조

Fig. 4. Proposed structure of an equilateral-triangular microstrip antenna with a pair of T shape spur-lines and three DC bias lines.

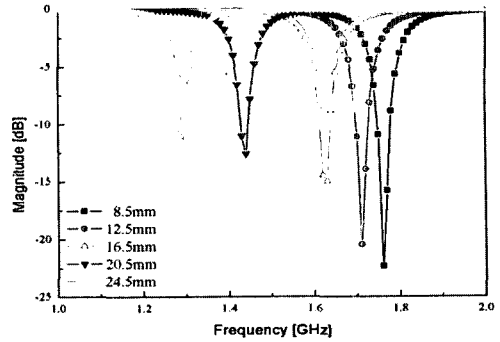
스퍼라인의 끝 부분에 설치하였다. 사용된 PIN 다이오드는 MA-COM사의 MA4P274CK-287 모델로써 Common Cathode 방식이다. 회로 시뮬레이터인 ADS를 이용해서 PIN 다이오드의 on 상태의 등가 모델인 3 Ω 저항과 off 상태의 등가 모델인 0.35 pF의 캐패시터를 사용하였다. 하지만 Common Cathode 방식의 PIN 다이오드는 그 내부에 두 개의 PIN 다이오드가 병렬로 결합된 상태이므로 실질적으로 모의 실험에서는 1.5 Ω의 저항과, 0.70 pF의 캐패시터를 적용하였다. DC 바이어스 라인에 인가한 전압은 0.72 V이고, 이때 흐르는 전류의 양은 2 mA로 매우 안정된 상태를 유지하였다.

III. 실험 결과

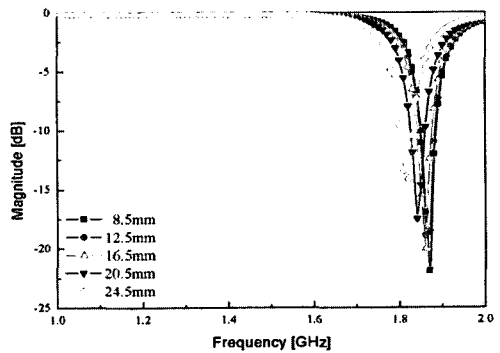
PIN 다이오드를 이용한 주파수 변환 정삼각형 마이크로스트립 안테나를 제작 및 측정하였다. PIN 다이오드의 on/off 상태를 이용한 주파수 변환 특성을 모의 실험값과 실제 제작한 안테나의 측정값과 비교 분석하였다. 먼저 T 형태의 스퍼라인의 길이에 대한 Passive 안테나의 반사 손실을 비교하였고, 이를 통해 Active 안테나의 모의 실험 결과와 실제 제작, 측정한 결과를 비교 분석하여 타당성을 검증하였다.

3-1 Passive 안테나

그림 5는 T 형태 스퍼라인과 I 형태의 슬롯라인의 길이에 따른 Passive 안테나의 반사 손실의 모의 실험 결과를 나타내고 있다. (a)는 PIN 다이오드가 off 상태일 때, T 형태 스퍼라인에 대한 결과이고, (b)는 PIN 다이오드가 on 상태일 때, I 형태 슬롯라인의 결과를 나타내고 있다. 그림 5(a)는 그림 1(a)에서 L_3 의 값을 9 mm로 고정시키고, L_2 의 길이를 8.5 mm에서 24.5 mm로 변화시키면서, 스퍼라인의 길이에 따른 반사 손실을 알아보았다. 즉, T 형태 스퍼라인의 길이가 길어짐에 따라 공진 주파수가 감소하는 것은 그림 2(a)에서 패치면에 흐르는 전류가 T 형태 스퍼라인 주위로 돌아서 흐르기 때문이다. 그러므로 전기적인 길이의 증가로 인해 공진 주파수가 감소하는 것을 확인하였다. 그림 5(b)는 PIN 다이오드가 on 상태일 때, 그림 1(b)와 같이 I 형태 슬롯라인의 길이를 변화시키면서, 그에 따른 반사 손실의 결과를 나타



(a) T 형태 스퍼라인(off 상태)
(a) T shape spur-lines(off state)



(b) I 형태 슬롯라인(on 상태)
(b) I shape slot-lines(on state)

그림 5. T 형태 스퍼라인과 I 형태 슬롯라인의 길이에 따른 반사 손실 모의 실험 결과

Fig. 5. Simulated return losses for various lengths of T shape spur-lines and I shape slot-lines.

내고 있다. 하지만 PIN 다이오드가 on 상태일 때는 I 형태의 슬롯라인의 길이가 변해도, 슬롯라인의 두께가 얇고, 패치면과 평행하게 놓여 있으므로, 그림 2(b)와 같이 패치면에 흐르는 전류 분포가 I 형태의 슬롯라인에 영향을 덜 받으므로 일반적인 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 전류 분포와 차이가 거의 없다. 이는 (b)의 결과와 같이 공진 주파수의 변화가 거의 없음을 증명하고 있다.

3-2 Passive 안테나와 Active 안테나의 비교

그림 6은 Passive 안테나와 Active 안테나의 모의 실험 결과이다. 기본 파라미터 값은 Passive 안테나와 Active 안테나 모두 정삼각형 패치 한 변의 길이 $d = 50$ mm, 유전율 $\epsilon_r = 4.4$, 두께 $h = 1.6$ mm이고, T 형태 스퍼라인에서 $L_1 = 34.5$ mm, $L_2 = 24.5$ mm, $L_3 =$

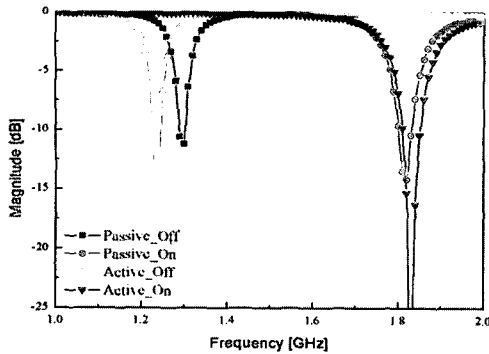


그림 6. Passive 안테나와 active 안테나의 모의 실험 결과 비교
 Fig. 6. Simulated return losses passive antenna versus active antenna.

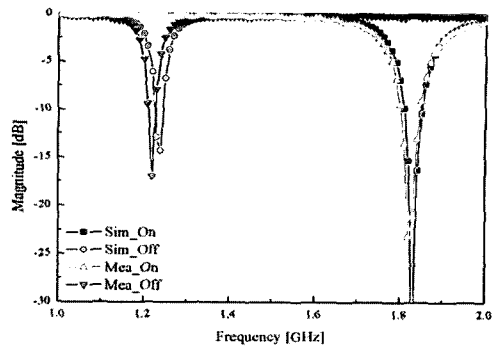


그림 7. T 형태 스퍼라인을 가진 active 안테나의 모의 실험과 실제 측정된 반사 손실
 Fig. 7. Simulated and measured return losses results of active antenna with a pair of T shape spurlines.

9.0 mm, $W_1 = 1.5$ mm, 그리고 $W_2 = 0.5$ mm로 설계하였다.

Passive 안테나의 경우, off 상태는 1.30 GHz에서 -11.23 dB의 반사 손실을 나타내었고, on 상태에서는 1.82 GHz에서 -14.19 dB의 반사 손실을 나타내었다. Active 안테나의 경우, off 상태에서는 1.24 GHz에서 -14.32 dB의 반사 손실을 나타내었고, on 상태에서는 1.83 GHz에서 -34.60 dB의 반사 손실을 나타내었다. PIN 다이오드의 on 상태에서는 Passive 안테나와 Active 안테나간의 특성이 거의 일치함을 확인하였다. 하지만 off 상태에서 Passive 안테나와 Active 안테나의 공진 주파수에서 약 4.6 %의 차이가 발생하였으며, 이는 Active 안테나의 off 상태에서 모의 실험을 할 때, 모델링 과정에서 PIN 다이오드의 등가모델인 캐패시터 성분이 패치면에 영향을 끼쳐 공진 주파수가 약간 내려갔기 때문이다. Passive 안테나의 on/off 특성과 Active 안테나의 on/off 특성, 네 가지 경우 모두 정합이 잘 되는 것을 확인하였다.

3-3 Active 안테나

그림 7은 T 형태 스퍼라인을 가진 Active 안테나의 모의 실험과 실제 측정된 반사 손실에 대한 비교한 결과이다. 그림 6을 통해서 Passive 안테나의 결과와 Active 안테나의 결과가 유사함을 증명하였고, 이를 토대로 실제 제작 및 측정하였다. PIN 다이오드의 on/off 특성에 따라 주파수가 변하는 것을 알 수

있다. PIN 다이오드가 on 상태에서는 모의 실험 값은 반사 손실이 1.83 GHz에서 -34.60 dB를 나타내었고, -10 dB 대역폭은 1.81~1.85 GHz이고, 이는 2.19 %에 해당한다. 실제 측정값은 반사 손실이 1.82 GHz에서 -23.15 dB를 나타내었고, -10 dB 대역폭은 1.81~1.85 GHz이고, 이는 2.20 %에 해당한다. PIN 다이오드가 off 상태에서는 모의 실험 값은 반사 손실이 1.24 GHz에서 -14.32 dB를 나타내었고, -10 dB 대역폭은 1.23~1.25 GHz이고, 이는 1.61 %에 해당된다. 실제 측정된 값은 반사 손실이 1.22 GHz에서 -17.01 dB를 나타내었고, -10 dB 대역폭은 1.21~1.23 GHz이고, 이는 1.64 %에 해당한다. Active 안테나의 모의 실험과 실제 제작, 측정된 공진 주파수의 차이가 거의 없었고, 네 가지 경우 모두 정합이 잘 되는 것을 확인하였다.

그림 8은 최종 제안한 두 개의 T 형태 스퍼라인을 가지는 Active 안테나의 방사 패턴으로써, PIN 다이오드의 on/off 상태에 따른 E-Plane과 H-Plane에서의 주 편파(Co-Polarization)와 교차 편파(Cross-Polarization)를 보여주고 있다. 최대 이득은 on 상태에서는 -0.18 dBi를 나타내었고, off 상태에서는 -6.02 dBi를 나타내었다. 그림에서와 같이 PIN 다이오드의 on/off 상태에서 E-Plane과 H-Plane 모두 주 편파와 교차 편파의 차이가 -20 dB 이상 나고 있어 좋은 선형 편파 특성을 나타내고 있다.

표 1은 T 형태 스퍼라인을 가진 정삼각형 마이크로

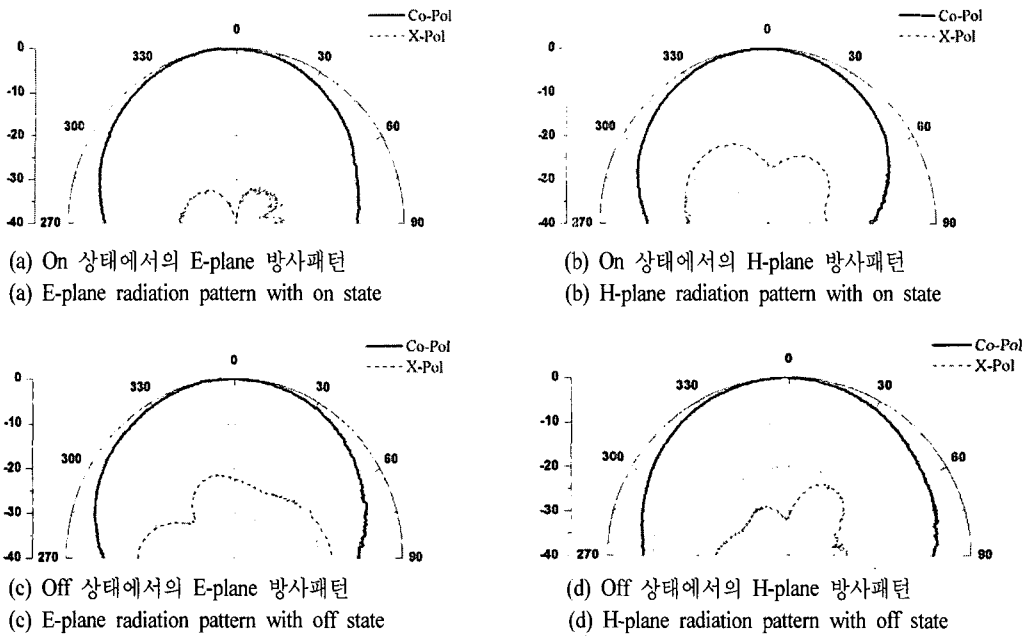


그림 8. Active 안테나의 on, off 상태에서의 방사 패턴
 Fig. 8. Radiation patterns of on and off states of an active antenna.

표 1. T 형태 스퍼라인의 길이(L_3)에 따른 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 모의 실험 결과
 Table 1. Simulated return loss and gain for various lengths(L_3) of T shape spur-lines.

Spur lines [mm]	Off state			On state			$G_1 - G_0$ [dBi]
	f_{off} [GHz]	S_{11} [dB]	G_0 [dBi]	f_{on} [GHz]	S_{11} [dB]	G_1 [dBi]	
6.5	1.78	-25.18	1.523	1.87	-24.29	2.500	0.977
8.5	1.76	-22.34	1.441	1.87	-21.90	2.411	0.970
10.5	1.74	-24.26	1.237	1.87	-23.45	2.446	1.209
12.5	1.71	-20.45	1.047	1.86	-18.86	2.313	1.266
14.5	1.67	-18.32	0.570	1.86	-19.35	2.295	1.725
16.5	1.63	-14.97	-0.100	1.86	-20.05	2.287	2.387
18.5	1.50	-13.08	-1.448	1.85	-18.78	2.216	3.664
20.5	1.44	-12.60	-2.199	1.84	-17.50	2.184	4.383
22.5	1.38	-13.28	-3.506	1.83	-15.90	2.198	5.704
24.5	1.30	-11.23	-5.374	1.82	-14.19	1.765	7.139

로스트립 안테나의 반사손실과 이득에 대해 분석하였다. 분석은 HFSS를 이용한 모의 실험과 스퍼라인의 길이가 14.5 mm에 해당되는 안테나의 샘플을 추출하여 실제 제작하였다. PIN 다이오드의 on/off 특성에 따라 분류하였고, T 형태 스퍼라인의 길이에 따른 공진 주파수와 이득을 각각 확인하였다. 샘플

을 추출해서 실제 제작한 안테나는 T 형태 스퍼라인에 의해 변하는 공진 주파수에서 중간에 해당하는 것으로 모의 실험을 검증하기 위한 것이다. 그림 5에서와 같이 PIN 다이오드가 off 상태에서는 T 형태 스퍼라인의 길이가 짧아질수록 공진 주파수는 올라가고, T 형태 스퍼라인의 길이가 길어질수록 공진

주파수가 내려가는 것을 확인하였다. 공진 주파수가 스퍼라인의 길이에 영향을 받듯이, 안테나의 이득도 스퍼라인의 길이에 영향을 받았다. 스퍼라인의 길이가 길어질수록 안테나의 이득이 낮아지는 이유는 식 (1), (2)에 의해서 설계된 1.916 GHz에서 동작하는 안테나의 패치면의 크기가 상대적으로 작게 보이기 때문이다^[11]. On 상태에서는 I 형태 슬롯라인의 길이가 변해도 공진 주파수의 변화가 없는 것처럼 이득에서도 전체 안테나의 특성에 영향이 없음을 확인하였다^[12]. 그러므로 전체적으로 제안한 안테나 모두 on 상태에서의 이득이 off 상태에서의 이득보다 높은 것을 알 수 있었다.

그림 9는 표 1을 검증하기 위해 표 1의 비교군 중 분석을 위해 설계된 T 형태 스퍼라인의 길이가 14.5 mm에 해당되는 안테나의 모의 실험한 값과 실제 제작, 측정값에 대한 반사 손실을 나타내고 있다. 모의 실험값은 PIN 다이오드가 on 상태에서는 1.87 GHz에서 -20.69 dB이고, off 상태에서는 1.66 GHz에서 -30.47 dB를 나타내었다. 측정값은 PIN 다이오드가 on 상태에서는 1.89 GHz에서 -13.93 dB이고, off 상태에서는 1.72 GHz에서 -16.93 dB를 나타내었다.

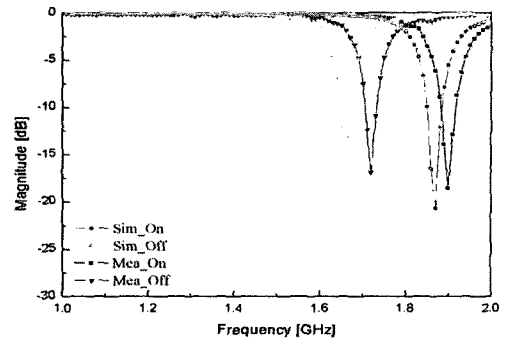


그림 9. 스퍼라인의 길이가 14.5 mm인 안테나의 on/off 상태에서의 반사 손실
Fig. 9. Return losses of on and off states with 14.5 mm of T shape spur-lines.

그림 10은 표 1과 그림 9에서 샘플 추출한 스퍼라인의 길이가 14.5 mm에 해당하는 안테나의 방사 패턴으로써, PIN 다이오드의 on/off 상태에 따른 E-Plane과 H-Plane에서의 주 편파(Co-Polarization)와 교차 편파(Cross-Polarization)를 보여주고 있다. 최대 이득은 on 상태에서는 0.48 dBi를 나타내었고, off 상태에서는 -1.52 dBi를 나타내어 그림 8의 방사 패턴과 같이 PIN 다이오드의 on/off 상태에서 E-Plane과

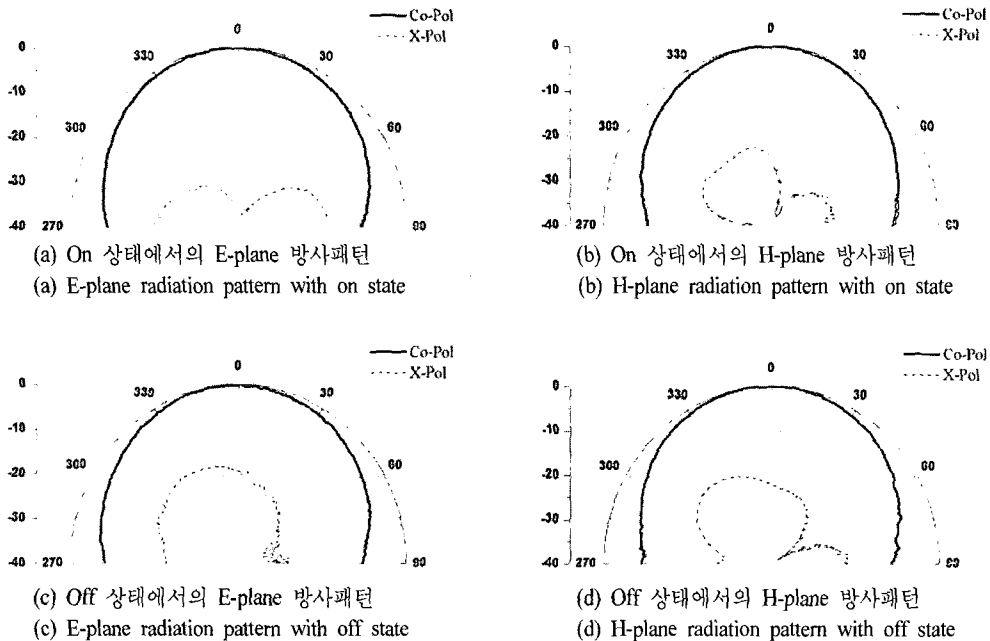
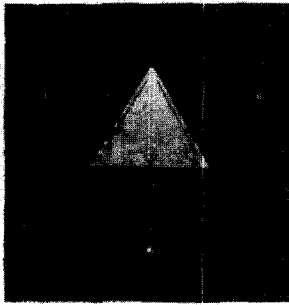
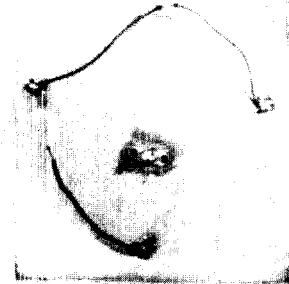


그림 10. 스퍼라인의 길이가 14.5 mm인 안테나의 on/off 상태에서의 방사 패턴
Fig. 10. Radiation patterns of on and off states with 14.5 mm of T shape spur-lines.



(a) 앞면
(a) Front side



(b) 뒷면
(b) Back side

그림 11. 제안한 T 형태 스퍼라인을 가진 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 실제 사진

Fig. 11. Photo of the proposed an equilateral-triangular microstrip antenna with a pair of T shape spur-lines.

H-Plane 모두 주 편파와 교차 편파간에 -20 dB 이상 차이가 있어서 좋은 선형 편파 특성을 나타내고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 PIN 다이오드의 on/off 특성을 이용해서 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 공진 주파수의 변환을 설계, 제작 및 측정하였다. 먼저 모의 실험을 통해 패치면에 삽입된 T 형태 스퍼라인의 길이에 따른 공진 주파수의 변화를 Passive 안테나를 통해 알아보았다. PIN 다이오드가 off 상태일 때는 패치면의 T 형태 스퍼라인에 의해서 전류 분포가 스

퍼라인 주위로 흐르기 때문에 전기적인 길이가 증가된다. 이에 따라 공진 주파수도 감소하게 되고 스퍼라인의 길이가 증가할수록 공진 주파수가 감소하는 것을 확인하였다. PIN 다이오드가 on 상태일 때는 패치면의 T 형태 스퍼라인이 I 형태의 슬롯라인으로 바뀌게 된다. 이때, 패치면에 흐르는 전류분포는 얇고, 패치면의 옆면과 평행한 슬롯라인 때문에 기존의 정삼각형 마이크로스트립 안테나와 유사하다. 그러므로 공진 주파수의 변화가 거의 없음을 확인하였다. Passive 안테나에 PIN 다이오드를 직접 설치하고, 이 PIN 다이오드를 동작시키기 위해 DC 바이어스 라인을 추가로 설치한 Active 안테나를 설계하였고, Passive 안테나와 비교 분석하였다. 최종 제안한 Active 안테나는 PIN 다이오드가 off 상태일 때, 1.22 GHz에서 동작하였고, on 상태일 때는, 1.82 GHz에서 동작하였다. 또한 정삼각형 마이크로스트립 안테나에 대한 이득을 PIN 다이오드의 on/off 상태의 중간 주파수를 택해 분석하였으며, 스퍼라인의 길이가 짧을수록 안테나의 이득이 더 좋다는 것을 알 수 있었다. 단일 시스템에서 PIN 다이오드를 이용한 주파수 변환은 앞으로 무선 이동통신에서 많이 쓰일 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Norwood, MA: Artech House, 1995.
- [2] J. R. James, P. S. Hall and C. Wood, *Microstrip Antenna Theory and Design*, London: Peter Peregrinus, 1981.
- [3] J. S. Dahele, K. F. Lee and D. P. Wong, "Dual frequency stacked annular-ring microstrip antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 35, no. 11, pp. 1281-1285, Nov. 1987.
- [4] J. Wang, R. Fralich, C. Wu and J. Litva, "Multi-functional aperture coupled stack patch antenna", *Electron. Lett.*, vol. 26, no. 25, pp. 2067-2068, Dec. 1990.
- [5] Jieh-Sen Kuo, Gui-Bin Hsieh, "Gain enhancement of a circularly polarized equilateral-triangular micro-

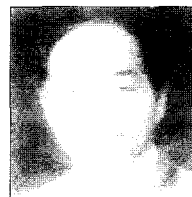
- strip antenna with a slotted ground plane", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 51, no. 7, pp. 1652-1656, Jul. 2003.
- [6] Ban-Leong Ooi, Shen Qin and Mook-Seng Leong, "Novel design of broad-band stacked patch antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 50, no. 10, pp. 1391-1395, Oct. 2002.
- [7] Jui-Han Lu, Kin-Lu Wong, "Single-feed dual-frequency equilateral-triangular microstrip antenna with a pair of spur lines", *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 12, pp. 1171-1173, Jun. 1998.
- [8] C. Luxeym, L. Dussopt, J. -L. Le Sonn and J.-M. Laheurte, "Dual-frequency operation of CPW-fed antenna controlled by pin diodes", *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 12, pp. 1171-1173, Jun. 1998.
- [9] Jui-Han Lu, Chia-Luan Tang and Kin-Lu Wong, "Novel dual-frequency and broad-band designs of slot-loaded equilateral triangular microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 48, no. 7, pp. 1048-1054, Jul. 2000.
- [10] W. Chen, K. F. Lee and J. S. Dahele, "Theoretical and experimental studies of the resonant frequencies of the equilateral triangular microstrip antenna", *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 40, pp. 1253-1256, Oct. 1992.
- [11] Shan-Cheng Pan, Kin-Lu Wong, "Dual-Frequency Triangular Microstrip Antenna with a Shorting Pin", *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 45, pp. 1889-1891, Dec. 1997.
- [12] Jeun-Wen Wu, Jui-Han Lu, "Compact design of dual-band triangular slot antenna for wireless communication", *IEEE Antenna and Propagation Society Int. Symp.*, Monterey, California, 2004.

김 보 연



2003년 8월: 고려대학교 전자 및 정보공학부 (공학사)
 2003년 9월~현재: 고려대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] DGS, 능동 소자를 이용한 Antenna 설계

김 영 식



1988년 5월: University of Massachusetts at Amherst (공학박사)
 1988년 5월~1989년 2월: University of Massachusetts at Amherst Post Doc.
 1978년 3월~1982년 1월: 홍익공업 대학 전자과 조교수
 1989년 3월~1993년 2월: ETRI 이동통신연구단 무선기술 연구실 실장
 1993년 3월~현재: 고려대학교 전파통신공학과 교수
 [주 관심분야] RF front-end system

성 영 제



2000년 2월: 고려대학교 전기전자 전파공학부 (공학사)
 2000년 3월~2002년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 고려대학교 전파공학과 박사과정
 [주 관심분야] 넓은 저지대역을 갖는 DGS 구조, DGS 구조를 이용한 RF 소자의 성능 개선, Reconfigurable patch antenna, 밀리미터파 대역 배열 안테나 설계