

논문 2006-43TC-5-21

T형 슬릿을 갖는 GPS 수신용 마이크로스트립 패치 안테나 설계 및 제작

(Design and Fabrication of Microstrip Patch Antenna with T-shaped Slits for GPS)

이 은 진*, 이 권 익**, 김 흥 수***

(Eun Jin Lee, Kwoun Ig Lee, and Heung Soo Kim)

요 약

본 논문에서는 GPS 수신용 안테나인 T형 슬릿을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 설계·제작하였다. T형 슬릿을 삽입한 마이크로스트립 패치 안테나는 슬릿이 없는 패치 안테나 보다 낮은 주파수에서 공진한다. 이것으로부터 패치의 크기를 축소시킬 수 있다. T형 슬릿을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 공진 주파수를 계산하기 위하여 패치 표면의 전류 분포로부터 공진 주파수 공식을 유도하였다. Ensemble 6.0을 이용하여 근사식의 정확성을 검증하였다. 이렇게 구해진 공식을 이용하여 1.575GHz에서 동작하는 최적의 안테나를 설계하였으며, 그 결과 T형 슬릿을 갖는 안테나의 경우 29%까지 안테나의 크기를 감소시킬 수 있었다. 또한 슬릿을 갖는 마이크로스트립 안테나는 대역폭은 매우 좁기 때문에 협대역 특성을 개선하기 위해 구형 슬릿을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였다. 제작된 T형을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 공진 주파수는 1.575GHz이고 대역폭은 50MHz를 얻었다.

Abstract

In this paper, a microstrip patch antenna with the T-shaped slits is designed and fabricated for GPS. The resonant frequency of the microstrip patch antenna with the slits is lower than that of a microstrip patch antenna without the slits so it can be reduced the size of patch. In order to calculate resonant frequency of the microstrip patch antenna with the slits, the resonant frequency formulas are derived from the surface current distribution on microstrip patch antenna. Using the Ensemble 6.0 simulation tool, the accuracy of approximate equations is verified. The microstrip patch antenna with the slits is designed by using these equations. The size of the designed antenna with T-shaped slits can be reduced to 29% compared with that without the slits. The microstrip patch antenna with slits have a very narrow bandwidth. In order to improve the narrow bandwidth of microstrip patch antennas with the slits, a microstrip patch antenna with rectangular slot is proposed. As the result of the measurements, the resonant frequency of the proposed microstrip patch antenna with the T-shaped slits is 1.575GHz and the bandwidth is about 50MHz.

Keywords : GPS, T-shaped Slits, Slot

I. 서 론

최근 ITS나 레저용 등 다양한 분야에서 위치 정보

시스템인 GPS가 널리 사용되어지고 있다. 특히 GPS 장비는 차량에 탑재하거나 개인이 휴대하게 되므로 장비의 소형화, 경량화가 더욱 더 중요시되고 있다. 또한 GPS 장비의 일부인 GPS 수신용 안테나도 소형화, 경량화 되어야한다. 기존의 GPS 수신용 안테나는 모노폴, 헬리컬, 마이크로스트립 패치 등의 형태로 구현되고 있으며, 이 중 마이크로스트립 패치 안테나는 소형, 경량 이면서 대량생산이 가능하기 때문에 최근 많이 사용되고 있다.

* 학생회원, ** 정회원, 제주대학교 통신공학과
(Depr. of Telecommunication Eng., Cheju Nat'l Univ.)

*** 평생회원, 제주대학교 통신컴퓨터공학부
(Faculty of Telecommunication and Computer Eng., Cheju Nat'l Univ.)

접수일자: 2006년1월18일, 수정완료일: 2006년5월15일

마이크로스트립 패치 안테나의 좁은 대역폭을 개선하기 위한 방법으로는 유전체가 가지고 있는 물리적 성질을 이용하는 방법^[1], 기생소자를 적층하는 방법^[2], 구형 패치 내에 U-슬롯을 구성하는 방법^[3-4] 등 다양한 연구결과들이 보고되었다. 이중 구형 패치 내에 U-슬롯을 구성하는 방법은 K. F. Lee에 의해 U-슬롯 안테나가 제안되었다. U-슬롯 안테나는 기생소자를 적층시키거나 패치의 주위에 배열하지 않고서도 광대역 특성을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. U-슬롯은 30%이상의 광대역 특성을 갖는 연구 결과가 보고되었으며 최근 국내에서도 많이 연구되고 있다.

안테나의 소형화를 위한 방법도 다양하게 연구되고 있다. 안테나의 소형화 방법으로는 유전체가 가지고 있는 물리적 성질을 이용하는 방법^[5]과 패치 표면 전류가 흐를 수 있는 전기적인 길이를 동일 면적 내에서 최대한 늘려 낮은 주파수에서 공진을 발생시키는 방법^[6] 등이 있다. 전자의 경우에 유전율이 높은 세라믹을 이용하여 동일한 공진 주파수를 갖는 다른 안테나보다 크기를 더욱 줄일 수 있지만 세라믹 특성상 충격에 약하고 임피던스 정합을 위한 튜닝이 곤란하다.

본 논문에서는 GPS 수신용(1.564~1.585GHz)안테나로 사용될 수 있는 마이크로스트립 패치 안테나를 설계, 제작한다. 안테나의 협대역 특성을 개선하기 위하여 구형 슬릿을 삽입한다. 또한 안테나의 크기를 줄이기 위하여 패치의 각 변에 T형 슬릿을 삽입하는 형태를 제시한다. 제시된 T형 슬릿을 갖는 패치의 특성을 분석하고 적절한 패치 크기를 찾는다. 설계 파라미터에 의해 원형 편파 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하여 제작한다. 제작된 안테나의 반사 손실을 벡터 회로망 분석기로 측정하고 계산치와 비교·분석한다.

II. 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나 설계

1. 구형 슬롯 마이크로스트립 패치 안테나

그림 1은 구형 슬롯을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 구조이다. GPS 수신용 안테나로 사용하기 위해 급전점을 그림 1과 같이 대각선상에 위치시켜 원형편파를 얻었으며, 패치의 중앙에 길이가 l_s , 폭이 w_s 인 구형 슬롯을 삽입한다.

그림 2(a)는 마이크로스트립 패치 길이에 의해 발생하는 공진 주파수 f_{n1} 에서 패치의 표면 전류 분포이며, 그림 2(b)는 구형 슬롯에 의해 발생하는 공진 주파수

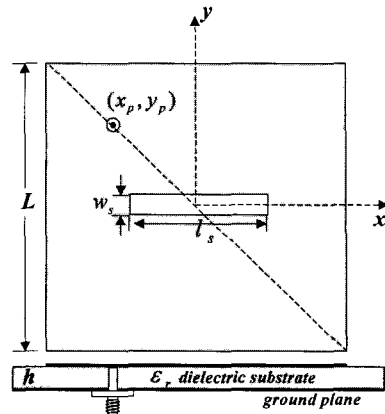
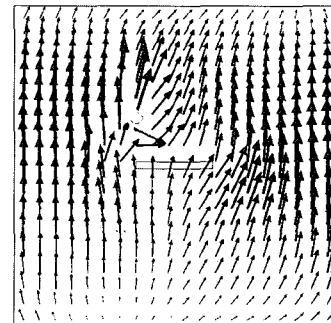
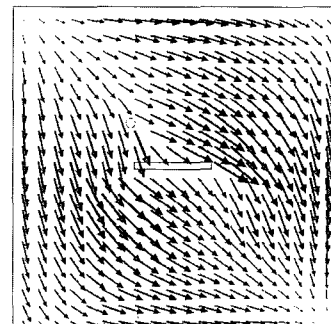


그림 1. 구형 슬롯을 갖는 안테나 설계
Fig. 1. Antenna with rectangular slot.



(a) f_{n1} 일 때 표면전류분포

(a) Surface current distribution at f_{n1}



(b) f_{n2} 일 때 표면전류분포

(b) Surface current distribution at f_{n2}

그림 2. 정사각형 슬롯을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 표면전류분포

Fig. 2. Surface current distribution on microstrip patch antenna with rectangular slot.

f_{n2} 에서 패치의 표면 전류 분포이다. 그림2(a)의 패치 표면 전류 분포로부터 패치에 의해 발생하는 공진 주파수 f_{n1} 은 다음과 같이 구할 수 있다^[7].

$$f_{n1} = \frac{c}{2(L + \Delta L)\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \tag{1}$$

$$\epsilon_{r_{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{L} \right]^{-1/2} \quad (1-1)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{r_{eff}} + 0.3) \left(\frac{L}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{r_{eff}} - 0.258) \left(\frac{L}{h} + 0.8 \right)} \quad (1-2)$$

여기서 c 는 자유공간에서 광속, L 은 패치의 길이, ϵ_r 은 기판의 비유전율, h 는 기판의 두께이다.

그리고 그림2(b)에서 볼 수 있듯이 그림2(a)의 패치 표면 전류 분포보다 길게 형성되는 것을 확인할 수 있다. 구형 슬롯에 의한 공진 주파수 f_{r2} 는 패치에 의한 공진 주파수 f_{r1} 보다 낮은 주파수를 발생시킬 것이다. 구형 슬롯에 의한 공진 주파수 f_{r2} 일 때의 패치 표면 전류 분포로부터 평균 표면 전류의 전기적인 길이를 다음과 같이 근사적으로 유도할 수 있다^[3-4].

$$A \approx l_s + w_s + \frac{L}{2} + \frac{L}{4} + \Delta L \quad (2)$$

여기서 l_s 는 구형 슬롯의 길이이며, w_s 는 구형 슬롯의 폭이다. 식 (2)을 이용하여 구형 슬롯에 의한 공진 주파수 f_{r2} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_{r2} = \frac{c}{2A\sqrt{\epsilon_{r_{eff}}}} = \frac{c}{2 \left(l_s + w_s + \frac{L}{2} + \frac{L}{4} + \Delta L \right) \sqrt{\epsilon_{r_{eff}}}} \quad (3)$$

식 (3)을 검증하기 위해 계산에 의한 공진 주파수 f_{r2} 와 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 공진 주파수 f_{r2} 를 비교한다. 이때 사용된 기판의 비유전율 $\epsilon_r = 4.3$ 이고 두께 $h=1.6\text{mm}$ 이다. 구형 슬롯의 파라미터 l_s 와 w_s 를 임의로한 세가지 모델을 선정한다.

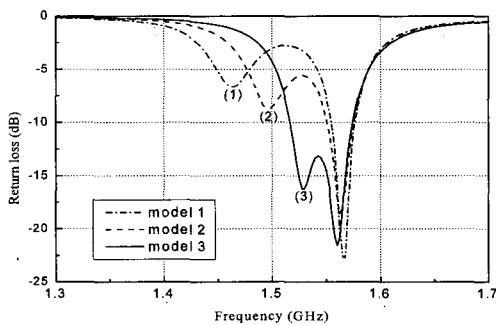


그림 3. 구형 슬롯을 갖는 안테나의 반사손실
Fig. 3. Return loss of antenna with rectangular slot.

표 1. 구형 슬롯을 갖는 안테나의 파라미터에 따른 공진 주파수

Table 1. Resonant frequency as parameters of antenna with rectangular slot.

| | l_s (mm) | w_s (mm) | 계산식(3) 결과 | 시뮬레이션결과 | 오차 |
|---------|---------------|---------------|-----------|--------------|---------|
| model 1 | 15 | 1 | 1.425GHz | 1.461GHz (1) | +0.636% |
| model 2 | 12 | 2 | 1.486GHz | 1.495GHz (2) | +0.602% |
| model 3 | 11 | 1 | 1.541GHz | 1.526GHz (3) | -0.1% |

그림 3은 세가지 모델에 대한 구형 슬롯의 파라미터를 이용하여 얻어진 반사손실 특성이며 이 결과를 표1에 다시 정리하였다. 표1을 살펴보면 식 (3)에 의해 계산되어진 결과와 그림3의 시뮬레이션 결과에 대한 오차 범위는 약 $\pm 1\%$ 이내였으며, 식 (3)의 정확성을 검증할 수 있었다.

2. T형 슬릿을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나

본 논문에서는 패치의 크기를 줄이기 위한 방법으로 T형 슬릿을 삽입하는 형태를 제안한다. 이것은 패치의 전기적인 길이를 증가시켜 낮은 주파수에서 공진을 일으킬 수 있다. 정사각형 마이크로스트립 패치 안테나에서 패치의 각 변에 동일한 크기의 T형 슬릿을 삽입한 구조를 그림4에 나타내었다. 그림5는 T형 슬릿을 갖는 정사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 표면 전류 분포를 나타내었다. 그림에서 패치의 표면 전류 분포는 T형 슬릿을 따라 형성되는 것을 볼 수 있다. 이는 기존 패치 길이 L 보다 길어져 기존 공진 주파수보다 낮은 공진 주파수 특성을 가지므로 안테나의 크기를 감소시킬 수 있을 것이다.

그리고 그림 5의 표면 전류 분포의 전기적 길이를 다

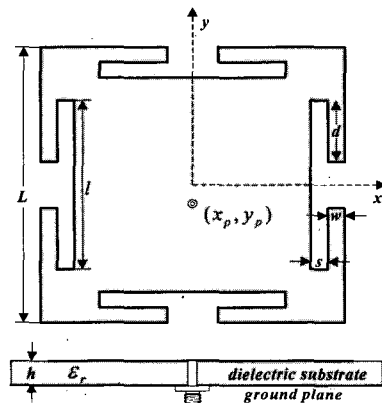


그림 4. T형 슬릿을 갖는 안테나
Fig. 4. Antenna with T-shaped slits.

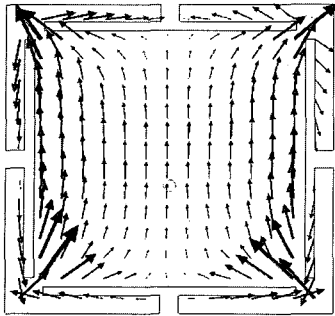


그림 5. T형 슬릿을 갖는 안테나의 표면 전류 분포
Fig. 5. Surface current distribution on the antenna with T-shaped slits.

음과 같이 근사적으로 나타낼 수 있다.

$$L_T \approx l + 2d + 2s \quad (4)$$

여기서 l, d, s 는 그림4에 나타낸 것과 같이 슬릿의 크기와 관련된 파라미터이다. 식 (4)로부터 T형 슬릿에 의한 공진주파수 f_T 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_T = \frac{c}{2L_T \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} = \frac{c}{2(l + 2d + 2s) \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (5)$$

우선 T형 슬릿에 의한 공진 주파수의 근사식 (5)의 정확성을 검증하기 위해 식 (4)의 파라미터 값을 표2와 같이 선정하여 그림4의 T형 슬릿을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나를 설계한다. 그림6은 패치 길이 $L=45\text{mm}$ 일 때 표2의 설계 파라미터를 이용한 T형 슬릿을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 시뮬레이션 결과이다. 그림6의 시뮬레이션 결과는 표2에 다시 나타내었다.

T형 슬릿의 길이 l, d, s 에 대한 식 (5)의 계산 결과와 그림6의 시뮬레이션 결과로부터 공진 주파수를 비교하였을 때 오차 범위는 $\pm 5\%$ 내였으며, 식 (5)의 정확성을 검증할 수 있었다. 식 (5)을 이용하여 패치 길이 $L=45\text{mm}$ 인 경우 슬릿의 크기를 최대로 하여 얻을 수

표 2. T형 슬릿을 갖는 안테나 파라미터에 따른 공진 주파수
Table 2. Resonant frequency as parameters of antenna with T-shaped slits.

| | l, d, s (mm) | 계산식 (5) 결과 | 시뮬레이션결과 | 오 차 |
|---------|-------------------|------------|----------|---------|
| model 1 | 30, 12, 2 | 1.282GHz | 1.322GHz | +3.026% |
| model 2 | 32, 9, 3 | 1.328GHz | 1.385GHz | +4.101% |
| model 3 | 32, 9, 1 | 1.487GHz | 1.454GHz | -2.270% |

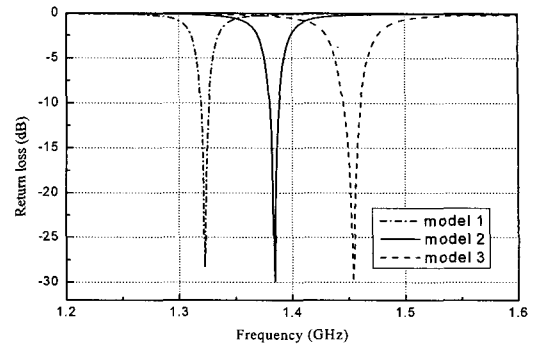


그림 6. T형 슬릿을 갖는 안테나의 반사손실
Fig. 6. Return loss of the antenna with T-shaped slits.

있는 가장 낮은 공진 주파수 f_T 의 값은 0.882GHz이지만 주파수의 감소량만큼 패치의 크기를 축소하기 위해서는 T형 슬릿의 크기가 제한된다.

1.575GHz에서 공진하는 T형 슬릿을 갖는 패치의 최소 길이를 결정하기 위해 l, d, s, w 파라미터를 변화시킨다. 기존 패치 길이 45mm보다 패치의 크기가 작아짐으로 안테나 이득이 낮아지고 3dB 빔폭이 좁아진다. 이런 문제점을 최소화하기 위해 패치에 T형 슬릿의 면적을 가장 작게 하면서 가장 낮은 공진 주파수를 갖는 T형 슬릿을 선정하여야 한다. 가장 작은 T형 슬릿의 면적을 얻기 위해 그림4의 T형 슬릿에 대한 파라미터 l, d, s, w 중 s 와 w 값은 최소로 선택하고 표면 전류의 전기적 길이와 관련이 있는 l, d 는 최대의 값을 선택한다. 1.575GHz에서 공진하는 l, d 의 길이를 최대로 선택하여 얻어진 패치의 최소 크기는 식 (4)로부터 L 는 33mm를 얻을 수 있었다. 이때 $l=24\text{mm}, d=11\text{mm}, s=1\text{mm}, w=2\text{mm}$ 로 선정할 수 있었다.

이렇게 선정된 파라미터 값들을 이용하여 시뮬레이

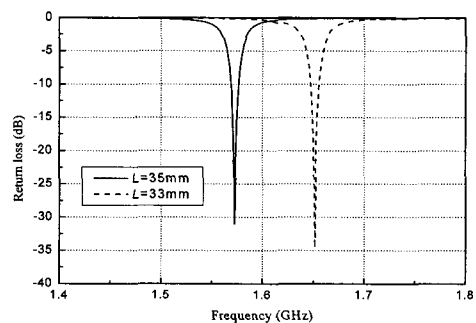


그림 7. T형 슬릿을 갖는 안테나의 반사손실
Fig. 7. Return loss of the antenna with T-shaped slits.

선한 결과 그림7에서와 같이 L 의 값이 33mm일 때 공진 주파수 f_T 가 1.650GHz로 계산치 보다 조금 높게 나타났다. 이를 1.575GHz에서 공진할 수 있게 하기 위해 $L=33\text{mm}$ 보다 길게 변화시켜본 결과 $L=35\text{mm}$ 일 때 원하는 공진 주파수를 얻을 수 있었다. 그림7은 T형 슬릿을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 반사 손실 특성으로 L 가 35mm일 때 중심 주파수에서 반사 손실은 -32dB이고 대역폭은 10MHz의 특성을 나타내었다.

2. 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나

앞의 시뮬레이션 결과로부터 T형 슬릿을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 경우 대역폭이 10MHz로 GPS 수신용 안테나로(1.564~1.585GHz)로 사용하기에 적합하지 않다. 대역폭 개선을 위해 구형 슬릿을 T형 슬릿을 갖는 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나에 삽입한다

그림 8는 구형 슬릿이 삽입된 T형 슬릿을 갖는 원형

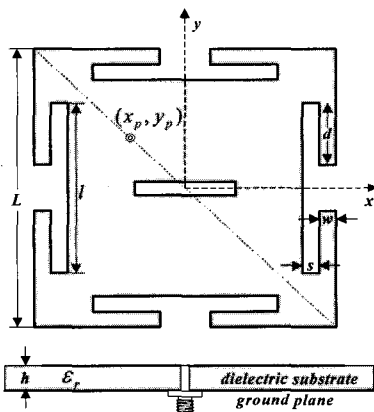


그림 8. 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나
Fig. 8. Circularly-polarized microstrip patch antenna.

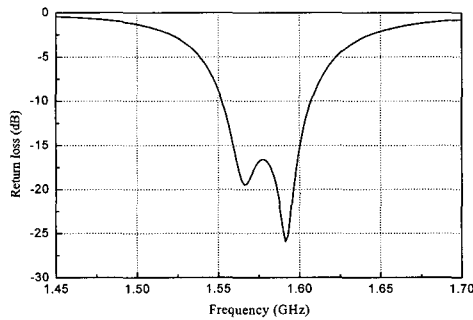


그림 9. 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 반사손실
Fig. 9. Return loss as circularly-polarized microstrip patch antenna.

편파 마이크로스트립 패치 안테나의 구조이다.

그림 9은 구형 슬릿이 삽입된 T형 슬릿을 갖는 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 반사 손실의 특성을 나타낸 것으로 공진 주파수는 1.575GHz이며 이때 반사 손실은 약 -26dB이고 대역폭은 1.552~1.609GHz인 약 57MHz이다.

그림10는 T형 슬릿을 갖는 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나 축비의 주파수 특성을 나타낸 것이며, 3dB 대역폭은 1.56~1.60GHz이다. 설계된 안테나는 GPS 수신용 안테나의 사용 대역인 1.564~1.585GHz를 만족하며 축비 특성 또한 양호함을 알 수 있다. Fig. 11은 T형 슬릿을 갖는 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴을 나타내었으며, 안테나 이득은 3.5dBi임을 알 수 있다.

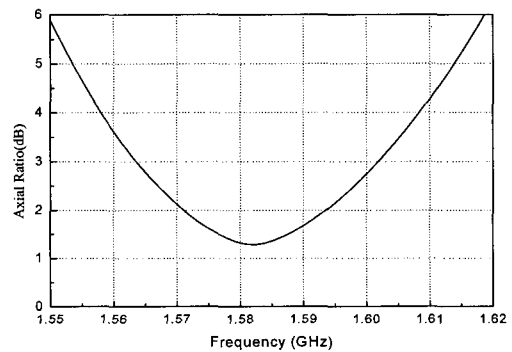


그림 10. 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 축비
Fig. 10. Axial ration circularly-polarized microstrip patch antenna.

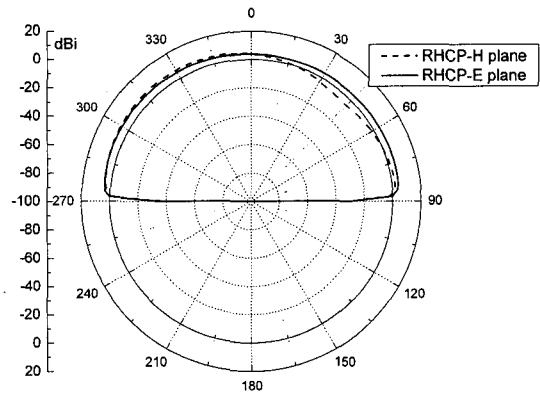


그림 11. 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴
Fig. 11. Radiation pattern for circularly-polarized microstrip patch antenna.

IV. 제작 및 측정

표3은 T형과 슬릿을 갖는 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나들의 제작 파라미터를 나타낸 것이며, 제작에 사용된 기판의 비유전율 $\epsilon_r = 4.3$ 이고 두께 $h=1.6\text{mm}$ 이다. 제작된 안테나에 대해 벡터 회로망 분석기(Anritsu 37369A)를 사용하여 반사 손실을 측정하였다.

그림 12은 제작된 T형 슬릿을 갖는 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 사진이며, 그림13은 주파수를 1.40GHz에서 1.75GHz로 변화시키면서 반사 손실의 변화를 측정한 결과이다. 공진 주파수는 1.575GHz이며 이때 반사 손실은 약 -28dB 이고 대역폭은 $1.553 \sim$

표 3. 안테나의 설계 파라미터
Table 3. Parameters of antenna for design.

| 패치길이 L (mm) | 슬릿(mm) | | | | 구형슬롯 (mm) | | 급전점 (mm) | |
|---------------------|--------|-----|------|-----|--------------|-------|-------------|-------|
| | l | w | d | s | l_s | w_s | x_p | y_p |
| 35 | 27 | 2 | 12.5 | 1 | 11 | 1 | -7 | 7 |

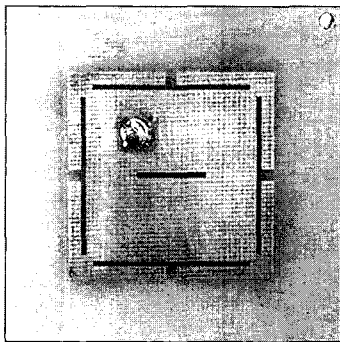


그림 12. 제작된 안테나
Fig. 12. The fabricated antenna.

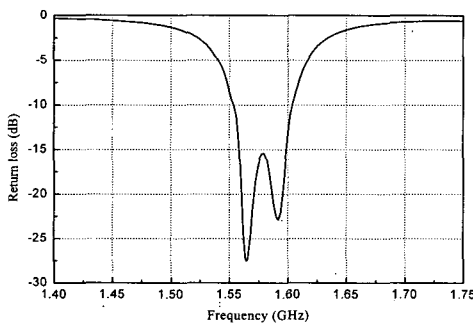


그림 13. 제작된 안테나의 반사손실
Fig. 13. Measured return loss of antenna.

1.603GHz인 약 50MHz이다.

V. 결론

본 논문에서는 GPS 수신용 안테나로 사용되는 원형편파 정사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 크기를 줄이기 위한 방법으로, 패치에 T형 슬릿을 삽입한 형태를 제안하였다. 또한 1.575GHz에서 동작하는 구형 마이크로스트립 패치 안테나에 비해 매우 좁아진 대역폭을 개선하기 위해 슬릿을 갖는 정사각형 마이크로스트립 패치 안테나의 중앙에 구형 슬롯을 삽입하여 설계하였고, 그 결과를 제작한 결과와 비교·분석하였다. T형 슬릿을 갖는 안테나의 경우 29%까지 안테나의 크기를 줄일 수 있었다. 또한 협대역 특성을 개선하기 위해 구형 슬롯을 패치 안테나의 중앙에 삽입하였다. 그 결과 T형 슬릿을 갖는 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 대역폭은 50MHz를 얻었다. 본 논문에서 제작한 T형 슬릿을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나는 수신용 안테나의 설계 제원을 만족하며, 소형으로서 휴대용과 차량용 단말기에도 활용이 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] Huynh T., Lee K. F., "Single-layer single-patch wideband microstrip antenna", *Electron. Lett.*, Vol. 31, pp.1310-1311, 1995.
- [2] Gupta K. C., Dumar G., "Nonradiation edges and four edges gap-coupled multiple resonator broad-band microstrip antenna", *IEEE trans. Antennas and Propagat.*, Vol. AP-33, pp.173-178, 1985.
- [3] Lee K. F., etc., "Experimental and simulation studies of the coaxially fed U-slot rectangular patch antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, Vol. 144, no. 5, pp. 354-358, 1997.
- [4] Lee K. F., Luk k. m., Yung Y. L., Tong K. F., and Huyng T., "Experimental study of the rectangular patch with a U-shaped slot", *IEEE APS Inter. Symp. Dig.*, pp. 10-13, 1996.
- [5] Waterhouse R. B., Stacked patches using high and low dielectric constant material combinations, *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, Vol. AP-47, pp. 1767-1771, 1999.
- [6] Yang K. P., Wong K, L., "Dual-band circularly-polarized square microstrip antenna, *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*", Vol. 49, no. 3, pp. 337-382, 2001.

[7] Balanis Constantine A., Antenna theory analysis and design, John Wiley & Sons, pp. 723-784, 1997.

— 저 자 소 개 —



이 은 진(학생회원)
2000년 제주대학교 통신공학과
학사 졸업.
2002년 제주대학교 통신공학과
석사 졸업.
<주관심분야 : 안테나, 전자파 수
치해석>



김 흥 수(평생회원)
1980년 한양대학교 전자통신
공학과 석사 졸업.
1990년 한양대학교 전자통신
공학과 박사 졸업.
1987년~제주대학교 통신컴퓨터
공학부 통신공학전공 교수
<주관심분야 : 전자파 산란, 안테나 설계>



이 권 익(정회원)
1993년 제주대학교 통신공학과
학사 졸업.
1997년 제주대학교 통신공학과
석사 졸업.
2005년 제주대학교 통신공학과
박사 졸업.

<주관심분야 : 안테나 및 전파전파, 전자파 수치
해석, 안테나 설계>