전방향성 E & H면 슬릿 Folded형 마이크로스트립 패치 안테나

Slit Folded Type Microstrip Antenna for Omnidirectional E-plane and H-plane

김 종 래 · 우 종 명 · 오 승 엽

Jong-Lae Kim · Jong-Myung Woo · Seung-Hyeub Oh

요 약

본 논문에서는 SIR(Stepped Impedance Resonator) 구조를 이용한 compact한 slit-folded형 마이크로스트립패치 안테나를 제작하였다. 기존의 길이 방향의 $\lambda_g/2$ 공진을 이용한 평면형 마이크로스트립패치 안테나를 길이방향 중심에서 반으로 접어서 마이크로스트립 급전선으로 급전하여 전방향성 방사패턴을 얻은 Folded형 마이크로스트립 안테나를 적층형으로 제작시 급전선의 영향을 줄이기 위하여 급전방법을 상하면 패치사이의 접지면 위에 설계하여 급전핀을 세웠다. 또한 평면형 H형 SIR 구조를 Folded형 안테나에 적용한 슬릿 folded형 안테나는 기존의 folded형 안테나에 비하여 27.5 % 더 소형화하였다. 기존의 folded형 마이크로스트립 안테나는 E면 (zx-plane) 과 H면 (xy-plane)의 평균이득이 거의 1.8 dB 정도의 차이를 보였으나 본 논문에서 제안한 슬릿 folded형은 E & H-plane의 평균이득차이가 0.1 dB로 거의 같음을 알 수 있다.

Abstract

A linearly polarized folded type and H-shape slit folded type microstrip patch antenna at GPS(center frequency: 1.575 GHz) were designed and fabricated by folding a conventional single $\lambda_g/2$(λ_g:wavelength) rectangular patch a half along the length direction at the center of patch and inserting ground plane in the middle. As a result, two types of omnidirctional radiation patterns for E-plane (for zx-plane) in the direction of the length of patch and H-plane (for xy-plane) have been acquired. The experimental results show that the average gains of folded type and slit folded type for omnidirectional E-plane and H-plane are −1.5 dBd (−2.4 dBd) and −3.27 dBd(−2.5 dBd). Slit folded type microstrip patch antenna was more miniaturized than folded type microstrip patch antenna by 27.5 %. In case of slit folded type antenna, average gains of omnidirectional radiation pattern for E & H-plane are almost same.

Key words : Omnidirecion, Folded Patch Antenna

Ⅰ. 서 론

최근 주목받는 휴대단말기 및 PDA(Personal Digital Assistant)의 GPS(f=1.575GHz) 시스템용 안테나의 경우 무엇보다도 작은 크기가 요구된다. 따라서 휴대용 GPS 안테나로서는 고이득보다는 소형화가 중요시되고 있어 고유전체를 사용한 마이크로스트립 패치 안테나가 적합하다 볼 수 있다[1],[2]. 그러나 안테나의 크기는 일반적으로 파장에 비례하므로, 단순한 평면구조의 마이크로스트립 안테나의 경

충남대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Chungnam Nat'l University)

· 논 문 번 호 : 20020703-076

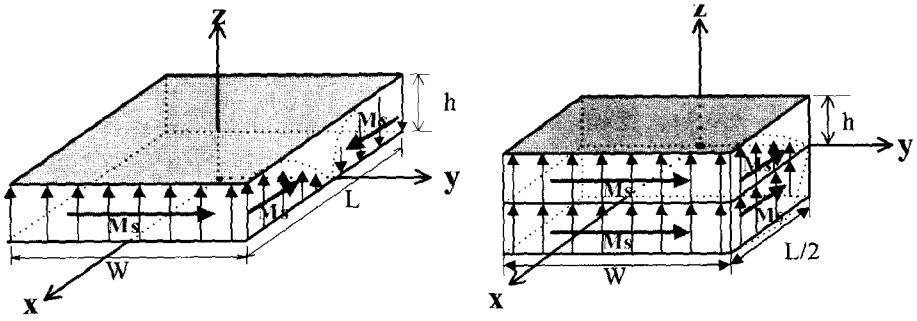
· 수정완료일자 : 2002년 9월 5일

우 비유전율에 의한 면적 단축에는 한계가 있다고 할 수 있다. 본 논문에서는 유전체에 의한 소형화와는 별도로 같은 유전체 상에서 마이크로스트립 패치 안테나의 패치 크기를 줄일 수 있는 방법의 한 예로, SIR(Stepped Impedance Resonator) 구조를 이용하고 있다[3]. 더 나아가서 평면형 형태의 마이크로스트립 안테나를 $\lambda_g/2$ (λ_g: 유전체내에서의 관내파장) 패치길이의 중심에서 반으로 접은 folded 마이크로스트립 안테나가 사용되어지고 있다. 본 논문에서는 이미 발표되었던 folded형 안테나의[4] 상면 패치부근에 설계된 급전선 급전 방식을 적층형으로 제작시 급전선의 영향을 줄이고자 급전방법을 상하면 패치 사이의 접지면 위에 설계하여 급전핀을 세웠다. 일반 평면형의 H형 SIR 구조를 Folded형 마이크로스트립 안테나에 적용한 H 형태의 슬릿 folded형 안테나를 제작하여 안테나의 크기를 더욱 소형화하고 기존 folded형 마이크로스트립 안테나의 E면(zy-plane)과 H면(xz-plane)의 평균이득 차이를(1.8 dB)를 현저히 줄여서 같은 평균이득을 갖도록 하고자한다. Folded형 안테나의 E면 과 H면의 방사패턴이 전 방향성인 이유가 기존의 folded형에서는 언급이 되어 있지 않았다. 본 논문에서는 전방향성 방사패턴을 갖는 이유가 그림 1(b)에 도시된 바와 같이 TM_{100} 모드의 자계 전류밀도 MS가 일반적인 평면형의 경우와 유사하게 방사개구에서는 2MS로 동위상으로 합쳐지며 비방사 개구에서는 상쇄되어진다. 그러나 전계 분포가 전부 같은 방향으로 분포하므로 전계의 편파를 고려할 때 xy-plane의 방사패턴이 전방향성인 것으로 사료된다. 이 구조 자체의 특이성으로 인하여 방사패턴은 E면 과 H면이 각각 전방향성과 '8' 형태를 가질 수 있다. 그림 1에 일반형 평면 마이크로스트립 패치 안테나의 자류밀도분포[1]와 본 논문에서 제안한 folded형 안테나의 구조의 자류밀도 분포를 나타내었다.

본 논문에서는 평면형태의 H형 SIR 구조를 folded 형태에 적용하여 E면과 H면의 방사패턴이 전방향성을 가지며 안테나의 소형화를 이룰 수 있는 구조 설계에 주안점을 두었다. 그래서 SIR 구조를 folded형 마이크로스트립패치 안테나에 응용하고자 평면형 마이크로스트립 안테나에서 SIR 구조의 단축효과 및 제반특성을 분석하였다.

Ⅱ. SIR 구조의 이론적 해석

본 논문에서 이용한 SIR 구조는 대역통과필터[5] 및 안테나 소형화[3] 제작시에 유용하게 사용되고 있는 구조로 그림 2에 나타내었다. 이 구조는 좌우대칭형태를 이루며 서로 다른 두 개의 특성 임피던스 Z_1과 Z_2 또는 어드미턴스 Y_1과 Y_2로 이루어져 있다. 이때 SIR 공진기 구조의 길이 θ_T는 임피던스비율 $K(Z_2/Z_1)$가 $0<K<1$ 일 때 최소가 되어지고 $K>1$ 일 때 최대가 된다. 이 조건은 식 (1)를 θ_1에 대하



(a) Magnetic current density distribution for for the TM100 modeon the radiating slots[1]

(b) The expected magnetic current density for folded type microstrip patch induced from (a)

그림 1. TM_{100} 모드에서의 사각평면 마이크로스트립 안테나와 folded형 마이크로스트립 패치 안테나의 전계와 자류밀도

Fig. 1. Electric field and magnetic current density distribution for TM_{100} mode for rectangular microstrip patch and folded type microstrip antenna.

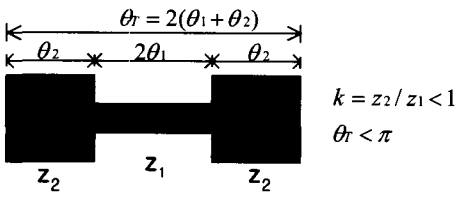


그림 2. SIR 공진기 구조
Fig. 2. Structures of the SIR.

여 미분함으로써 구할 수 있고 식 (2)에 나타내었다.

The relationship between θ_T and θ_1 :

$$\tan\frac{\theta_T}{2} = \frac{1}{1-K}\cdot\left(\frac{K}{\tan\theta_1}+\tan\theta_1\right) \quad (when\ K\neq 1) \tag{1}$$

$$\theta_T = \pi \quad (when\ K=1)$$

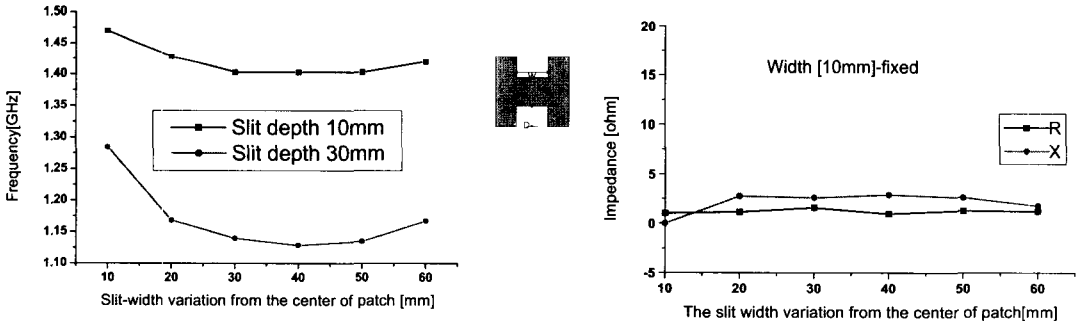
$$\theta_1 = \tan^{-1}(\sqrt{K}) = \theta_2 \tag{2}$$

위 식으로부터 전체공진길이 θ_T의 최소화의 주된 요소는 슬릿의 너비보다 슬릿의 깊이가 됨을 알 수 있다. 이를 검증하기 위하여 중심주파수 1.575 GHz인 길이 84×너비 90 mm 마이크로스트립 패치 안테나에 좌우 대칭이 되도록 직사각형 슬릿을 구현하여 SIR 구조를 구현하였다. 그림 3에서 나타난 바와같이 고정된 슬릿 깊이에 대해 슬릿의 폭이 증가하면서 공진주파수는 저하되는 추세를 보이다가 슬릿의 폭이 패치 전체공진길이의 θ_T가 84 mm에서 $2\theta_1 \cong$ 40 m 부근을 경계로 포화됨을 알 수 있다. 즉 $\theta_1 = \theta_2$인 20 mm에서 공진주파수가 최저가 됨을 알 수 있다. 공진 주파수가 낮아지는 구간 동안에는 임피던스의 리액턴스성분 L이 증가하여 공진길이가 길어져 보이는 것으로 추정된다.

일반적으로 마이크로스트립 패치안테나의 패치 면적 축소 방법은 동일한 면적의 패치에 다양한 슬릿형태를 구현하여 주파수를 최하점까지 저하시킨 후 공진길이를 잘라나가면서 주파수를 원래의 원하는 공진주파수까지 상승시켜 전체면적을 줄이는 방법을 사용하고 있다. 즉 공진주파수를 얼마만큼 하향시킬 수 있느냐가 안테나의 크기를 축소시키는 중요요소이다.

그림 4 (c), (d)로부터 슬릿의 개수가 증가함에 따라 공진주파수가 하향됨을 확인할 수 있으며 임피던스 변화도 인덕턴스 L 성분이 증가하여 전체적인 공진길이가 길어져 보임을 확인할 수 있었다. 3쌍의 직사각형 슬릿을 사용한 경우보다 한쌍의 슬릿의 깊이를 20 mm로 고정시키고 슬릿너비를 50 mm로 사용한 그림 4(a)에 도시된 SIR 구조는 그림 4(b)의 전류경로가 3쌍의 직사각형 슬릿을 사용한 것보다 전류경로는 짧지만 공진주파수 하향이 더 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이 두가지 경우를 비교해 볼 때 직사각형 슬릿을 사용하여 안테나의 크기를 줄인다면 SIR 구조를 사용하는 것이 단순하면서도 효율적이라 할 것이다.

그림 5에 나타낸 바와 같이 슬릿의 형태가 다양해지면 슬릿부분과 패치 부분의 임피던스를 계산하기가 어려움으로 SIR 구조로 해석하기가 어렵다고 사료된다. 다양한 기하학적인 슬릿의 형태에 따라 공진주파수 저하도 다양할 것이다. 어떠한 모양의 슬릿을 사용해도 공진 주파수는 낮아지는데 이는



(a) (b)

그림 3. 슬릿의 폭과 깊이에 따른 공진주파수 변화 및 너비에 따른 임피던스 변화
Fig. 3. The resonance frequency variation and impedance variation vs. slit width and depth.

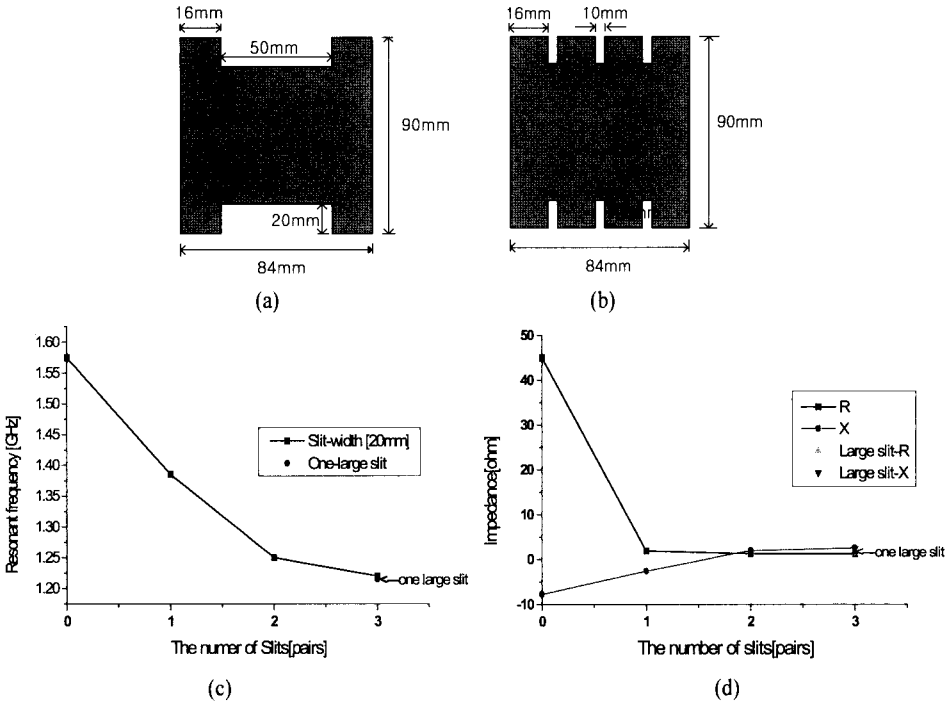


그림 4. 동일면적패치상에서의 SIR 구조와 슬릿의 개수에 따른 공진주파수 추이와 임피던스 변화
Fig. 4. The resonance frequency and impedance variation for SIR and the resonance frequency and impedance variation vs. the number of slits.

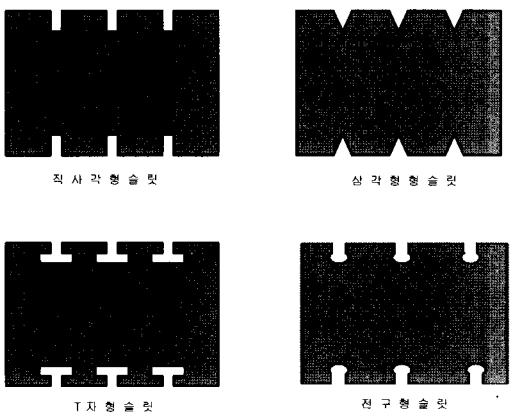


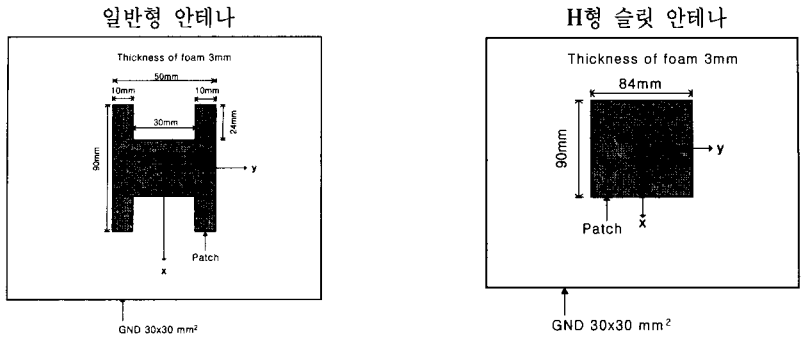
그림 5. 제작된 4가지 슬릿 구조
Fig. 5. The fabricated 4 types of slits.

앞서 언급한 바와 같이 전류경로가 길어져 전체적 공진 길이가 길어져 보이는 것으로 사료된다. 또한 슬릿을 사용한 경우 -10 dB 반사손실 대역폭 역시 줄어드는데 이는 패치면적이 줄어들면서 전류밀도가 낮아지는 것에 의한 것으로 사료된다. 안테나 크기의 소형화에 따른 대역폭이 감쇠는 일반적인 경향일 것이다. 표 1에 4가지 해당 슬릿형태에 따른 공진주파수, -10 dB 대역폭 및 반사손실을 요약, 정리하였다.

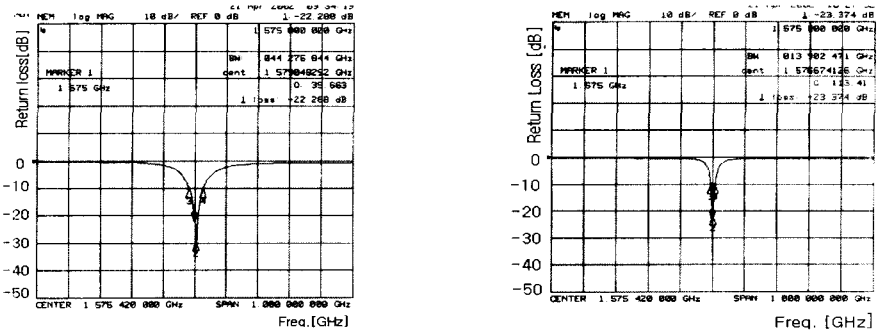
SIR 구조를 이용한 folded형 마이크로스트립안테나 제작에 앞서서 중심주파수 1.575 GHz 인 크기가 길이 84×너비 90 mm이며 반사손실 -22.2 dB, 최대이득 7.5 dBd, 3 dB 빔폭이 E면이 60.5°, H면이 72°인 일반형 마이크로스트립안테나와 길이 50×너비 90 mm이며 반사손실 -23.3 dB, 최대이득 6.5 dBd, 3 dB 빔폭이 E면이 66.4°, H면이 86.4°인 직사각형 슬릿을 이용한 H 모양의 마이크로스트립

표 1. 슬릿형태에 따른 공진주파수 및 대역폭
Table 1. Resonant frequency and bandwidth for different slit types.

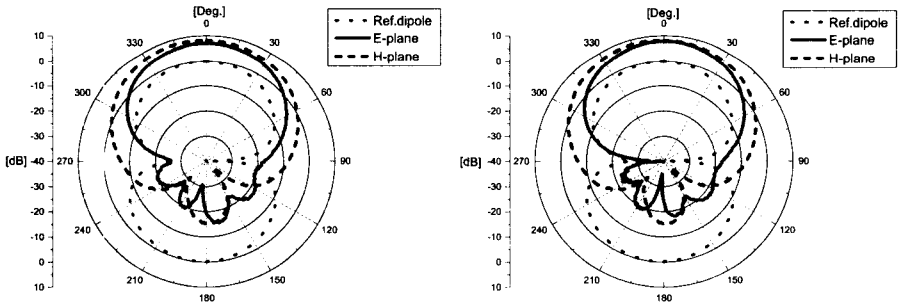
	공진주파수 [GHz]	-10 dB 대역폭 [MHz]
삼각형 슬릿	1.345	21.4
직사각 슬릿	1.28	15
전구형 슬릿	1.26	15.6
T자형 슬릿	1.2	12.6



(a) 구 조



(b) 반사손실



(c) 방사패턴

그림 6. 일반형 마이크로스트립 안테나와 H 형 마이크로스트립 안테나의 여러 가지 특성

Fig. 6. The measured characteristics for conventional microstrip antenna and H-shape microstrip antenna.

패치안테나를 제작하였다. 그림 6에 제작 측정된 안테나들의 구조, 반사손실 및 방사패턴을 나타내었다. H 형 슬릿 마이크로스트립안테나 제작시 비교적 안테나 매칭을 용이한 직사각형 슬릿의 폭을 30 mm 깊이를 24 mm로 선정하였다.

패치안테나의 크기는 길이 84×너비 90 mm에서 길이 50×너비 90 mm[단축률 : 44.4 %]로 줄었으며 -10 dB 반사손실 대역폭은 44 MHz[2.8 %]에서 13.9 MHz[0.88 %]로 30.1 MHz 감소하였다. 방사패턴은 두가지 경우 전형적인 평면형 마이크로스트립 안테나의 패턴을 나타내었다. H 형의 경우 3 dB 빔폭이 평면형에 비하여 넓어진 것을 볼 수 있는데 이는 대역폭의 감소와 더불어 패치면적의 축소로 인한 전류밀도가 작아진 것에 의한 것으로 사료된다. 평면형 패치 안테나에서의 SIR 구조를 안테나의 크기를 더욱 축소시키고 E면 및 H면의 방사패턴이 전방향성한 방사패턴을 가지도록 먼저 folded형 안테나를 제안하였고 이 구조에 SIR 구조의 직사각형

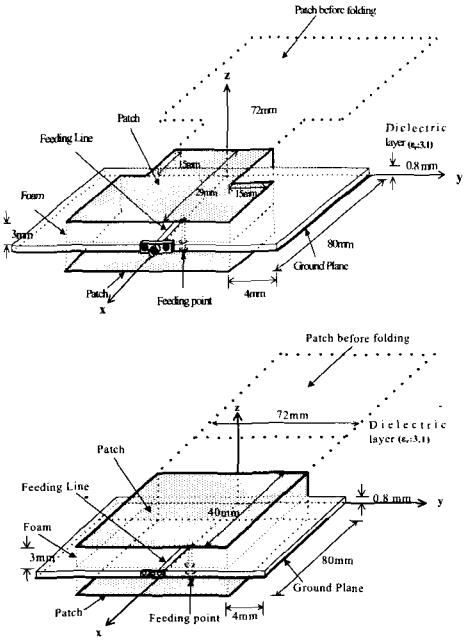


그림 7. Folded형 안테나와 슬릿 folded형 안테나의 구조

Fig. 7. Structures for folded type and slit-folded type microstrip antennas.

슬릿을 적용하여 슬릿 folded형 마이크로스트립 안테나를 설계·제작하였다.

Ⅲ. 슬릿 Folded 형 마이크로스트립 안테나

그림 7에서는 발표 제안되었던 folded형 직선편파 마이크로스트립 패치 안테나[6]와 SIR구조를 적용한 슬릿 folded형 마이크로스트립 안테나 구조를 나타내었다. 급전방식은 비유전율 3.1, 두께 0.8 mm의 에폭시기판을 사용하여 상단 부분에 50 Ω feeding line으로 급전선을 구현하고 끝단에서 급전핀을 접합시킨 후 기판 상하단의 두께 3mm의 foam(ε_r:1.0)위에 고정되어 있는 패치의 급전점과 급전 기판의 접지면 방향으로 홀을 낸 후 대칭적인 전계분포를 이루기 위해 하면 패치에 급전하였을 경우를 나타내고 있다. 전체적인 구조는 $\lambda_g/2$ (84 mm) 마이크로스트립 패치 안테나를 접은 형태이므로 크기를 평면형인 84×90 mm^{2}에서 folded형은 40×72 mm^{2}이고 슬릿 folded형은 29×72 mm^{2}의 크기로 축소시켰다. Slit-folded형의 경우가 folded형에 비하여 패치의 면적이 27.5 % 더 단축되었다.

평면형 형태의 마이크로립 안테나를 그림 1에서 같이 $\lambda_g/2$ 패치길이의 중심에서 반으로 접음으로서 TM_{100} 모드의 자계 전류밀도 MS가 일반적인 평면형의 경우와 유사하게 방사개구에서는 2Ms로 동위상으로 합쳐지고 및 비방사 개구에서 상쇄되어지지만 전계 분포가 전부 같은 방향으로 분포하므로 편파를 고려할 때 방사패턴은 E면과 H면이 각각 전방향성 과 '8' 형태를 가질 수 있다. 그림 8과 9에 그림 7 구조의 folded형과 슬릿 folded형 안테나의 반사손실과 방사패턴을 나타내었다. 반사손실은 두 경우 모두 −20 dB 이하를 나타내며 −10 dB 대역폭은 folded형이 61 MHz[3.87 %]를 슬릿 folded 형이 65 MHz[4.13 %]를 나타내었다. 평면형 44 MHz[2.8 %]에 비하여 면적이 72 % 단축되었음에도 대역폭이 넓어진 것을 확인할 수 있는데 이는 접힌 부분에서의 전류의 왜곡현상에 기인한 것으로 사료된다.

그림 9에 나타낸 방사패턴을 검토해 보면 두 경우의 방사패턴은 z-x plane 상에서 E면의 방사패턴은 전방향성을 나타낸다. folded형의 최대이득은 경우최대 최소 이득차이와 평균이득은 2.0 dB와 −1.5 dBd를 나타내었고 슬릿 folded형의 경우 최대이득은 −1.3 dBd이고 최대 최소 이득차이와 평균이득은 4.1 dB와 −2.4 dBd를 나타내었다. 그리고 z-y plane 상에서의 H면의 방사패턴은 '8' 자 형태를 나타내었는데 wire 안테나와 정 반대의 특성이다. −3 dB 빔폭은 folded형은 전방 80.64°와 후방 120.95°이고 슬릿 folded형이 전방 100.8°, 후방 112.32°를 나타내었다.

또한 z-y plane 상에서의 E-plane의 방사패턴은 '8'자 형태를 나타내는데 folded형은 −3 dB 빔폭이 전.후방 120.84°이고 슬릿 folded형이 전·후방 96.84°로 대칭형태를 이루었다. x-y plane 상에서의 H-plane의 방사패턴은 전방향성을 난타낸다. x-y plane상의 전방향성인 H-plane의 방사패턴의 경우 folded형은 최대이득은 −0.5 dBd이고 최대 최소 이득차이와 평균이득은 6.1 dB와 −3.27 dBd를 나타내었다. 슬릿 folded형의 경우는 최대이득은 −1.1 dBd이고 최대 최소 이득차이와 평균이득은 4.3 dB와 −2.5 dBd를 나타내었다. E면(zx-plane)과 H면(xy-plane)의 전방향성 방사패턴의 경우를 비교해

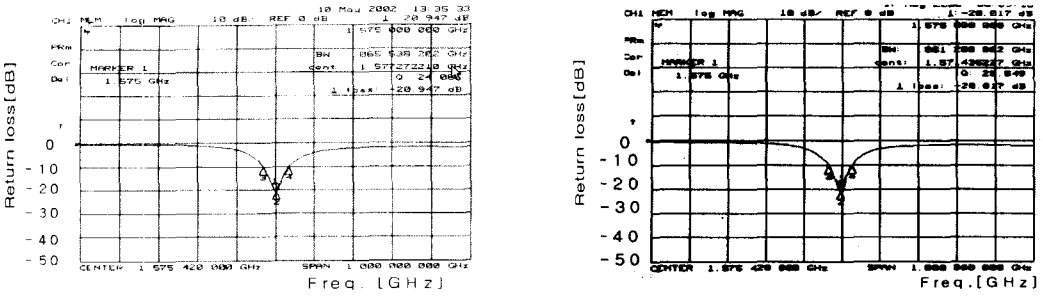


그림 8. Folded형과 슬릿 folded형 안테나의 반사손실

Fig. 8. Return losses for folded type and slit-folded type microstrip antennas.

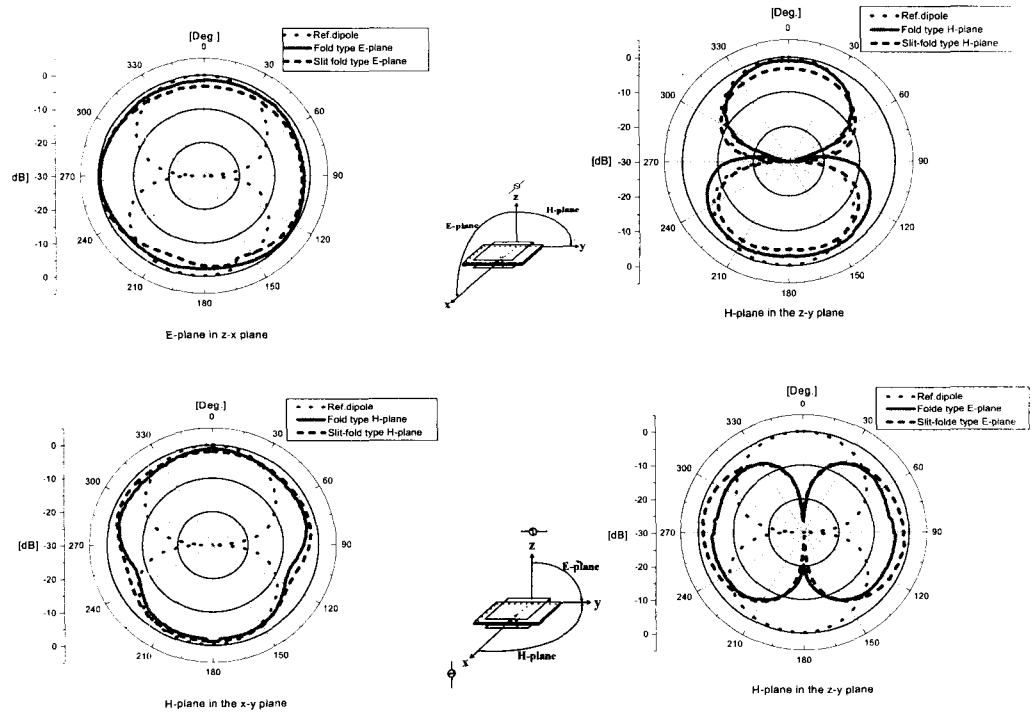


그림 9. Folded 형과 슬릿 folded형 안테나의 실측 방사패턴

Fig. 9. Measured radiation patterns for folded type and slit-folded type antenna.

보면 folded형의 경우 H면의 경우가 E면의 경우보다평균이득이 1.77 dB 작음을 알수 있다. 이는 주어진 모드에서의 전계분포 차이에 기인한 것으로 사료된다. 슬릿 folded형의 경우는 E면(zx-plane)의 평균이득과 H면(xy-plane)의 평균이득이 0.1 dB 차이로 거의 같음을 알 수 있는데 이는 슬릿에 의하여 xy-plane 상으로의 개구 전계분포가 더 folded형 경우보다 집중되어 분포되어지는 효과를 나타낸 것으로 사료된다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 안테나의 크기를 줄일 수 있는 방법으로 SIR 구조를 사용하여 Folded형 안테나에 적용 슬릿 folded형 마이크로스트립 안테나를 제작하였다. 평면형 안테나에 4가지 형태의 슬릿 구조의 실험을 통하여 기하학적 형태에 따른 공진 주파수 추이현상을 살펴 보았다. 급전 방식을 기존에 발표된 folded형 안테나의 상면 패치 부근에 설계된 급

전선 급전 방식을 적층형으로 제작시 급전선의 영향을 줄이고자 급전방법을 상하면 패치사이의 gro 접지면면 위에 설계하여 급전핀을 세워 급전하였다. 슬릿 folded형태의 방사패턴의 E면과 H면이 각각 전방향성과 '8'자 형태를 가지는 특성을 나타내었다. 슬릿 folded형 안테나의 경우 면적이 folded형 안테나에 비하여 27.5 %로 더 줄었으며 E면 과 H면의 평균 방사이득이 folded형 안테나와는 달리 거의 같음을 확인할 수 있었다. 안테나의 크기를 줄일 수 있으면서도 -10 dB 반사손실 대역폭이 평면형 안테나 보다 더 넓음을 확인할 수 있었다. 위 결과들로부터 슬릿 folded형 안테나가 클립형태나 chip 형태로 제작된다면 이통통신 시스템에서 요구되는 소형화 광대역 특성을 만족시킬 것이다.

참 고 문 헌

[1] Balanis, *Antenna Theory*. Wiley, 1982.

[2] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl and Apisak Ittipiboon, *Microstrip antenna design handbook*. Artech House, 2001.

[3] Abdel Fattah Sheta, Samir F. Mahmoud, "A Novel H-Shaped Patch Antenna", *APS*, pp. 720-723, 2001.

[4] Antonio Faraone, Danny O. McCoy, "The Folded Patch Omnidirectional Antenna", *IEEE Int. Symp. Antennas Propagations*, Boston, Mass., pp. 712-715, 2001.

[5] Mitsuo Makimoto, Sadahiko Yamashta, "Band-pass Filters Using Parallel Coupled Stripline Stepped Impedance Resonators", *IEEE Trans. on Microwave theory and Techniques*, vol. MTT-28, no. 12, pp. 1413-1417, 1980.

[6] 김종래, 문상만, 우종명, 오승엽, "PCS용 Folded 마이크로스트립 패치안테나", 추계마이크로파 및 전파학술대회, vol. 24 no. 2, pp. 283-286, 2001년.

김 종 래

1993년 2월: 충남대학교 공과대학 물리학과 (이학사)
1996년 5월: 미국 인디아나 주립 Ball State University, Physics & Astronomy (이학석사)
1998년 3월~현재: 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] Microstrip Antenna and Microwavepassive devices

우 종 명

1985년: 건국대학교 전자공학 (공학사)
1990년: 건국대학교 전자공학 (공학석사)
1993년: Univ. of Nihon Antenna Master
1996년: Univ. of Nihon Antenna Ph. D.
1996년~현재: 충남대학교 전파공학과 조교수
[주 관심분야] 안테나 설계

오 승 엽

1971년: 연세대학교 전기공학 (공학사)
1973년: 연세대학교 대학원 전기공학 (공학석사)
1982년: 연세대학교 대학원 전기공학 (공학박사)
1977년 7월~1983년 3월: 충남대학교 전자공학과 조교수
1983년 4월~1988년 3월: 충남대학교 전자공학과 부교수
1985년 5월~1986년 5월: 미국 펜실바니아주립대학 객원연구원
1988년 4월~현재: 충남대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] RF 회로 설계 및 Antenna