

논문 2006-43TC-8-12

정삼각 마이크로스트립 원형편파 안테나 설계

(Design of Equilateral Triangular Microstrip Antennas for Circular Polarization)

황 호 순*, 이 동 철*, 임 정 섭*, 장 재 삼*, 이 문 수**

(Ho-Soon Hwang, Dong-Cheol Lee, Jung-Sup Lim, Jae-Sam Chang, and Mon-Soo Lee)

요 약

본 논문에서는 원형 편파(CP)용 단일급전 정삼각 마이크로스트립 안테나(ETMA)를 설계하고 실험적으로 연구하였다. 이 안테나는 정삼각 마이크로스트립 패치에 하나의 좁은 슬롯이나 길이가 다른 교차 슬롯을 넣어 동축 급전위치를 적절하게 조정하여 쉽게 우선회 원형편파(RHCP)와 좌선회 원형편파(LHCP)를 얻는다. 삼각 마이크로스트립 패치 안테나의 크기는 주어진 주파수에서 전통적인 직사각형이나 원형 패치 보다 작다. 두께 60 mils 인 유전체 기판에 수평으로 좁은 슬롯이 인쇄된 단일 급전 정삼각 마이크로스트립 패치 안테나와, 같은 유전체 기판에 길이가 다른 교차 슬롯이 인쇄된 정삼각 마이크로스트립 패치 안테나가 있다. 안테나의 방사 특성은 앙상블(Ver.5.0) 소프트웨어로 계산하여 실험결과와 비교하였다. 그 결과 보통 원형 편파 설계와 비교해서 약 17%~21%의 안테나 크기가 감소하였다.

Abstract

In this paper, single-feed equilateral triangular microstrip antennas(ETMA) for circular polarization(CP) are designed and studied experimentally. It is demonstrated that by embedding a narrow slot or a cross of unequal slot lengths in the triangular patch, circularly polarized radiation RHCP(right-hand circularly polarized wave), LHCP(left-hand circularly polarized wave) of microstrip antennas can easily be achieved using by strategically positioned coaxial single probe feed. And the size of a triangular microstrip patch antenna is smaller than that of a conventional rectangular or circular patch at a given frequency. A single-feed ETMA with a horizontal narrow slot is printed on the substrate of 60 mils thick and the other ETMA with a corss slot of unequal slot lengths is printed on the same substrate. The antenna radiation characteristics are calculated by ENSEMBLE(Ver. 5.0) software, and compared with the experimental results. This results show that the antenna size reduction of about 17%~21% is obtained as compared to the regular-size CP design.

Keywords : 원형편파(CP), 단일슬롯, 교차슬롯, ETMA.

I. 서 론

위성 방송이나 LMSS(land mobile satellite service)와 같이 위성을 이용한 위성 무선통신에서는 전파가 전리층을 통과 하면서 지자기 영향을 받아 Faraday 회전을 일으킨다. 이 현상으로 발생하는 편파손실은 선형편파 보다 원형편파가 훨씬 작고, 원형편파를 사용할 경

우 전파 채널 할당율을 2배로 할 수 있기 때문에 위성 통신에서는 원형편파를 주로 사용한다. 최근에는 GPS, Globalstar, 위성 DMB등의 디지털 휴대 이동 무선통신에서도 다중경로 영향을 줄이고 송수신 안테나의 방향에 구애 받지 않는 원형편파의 사용이 증가하는 추세에 있다. 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나를 얻는 방법으로 90° 이상기를 이용하는 이중 급전방법과 정사각형 패치의 모서리를 잘라 내거나 대각선으로 슬롯을 두는 방법, 원형 패치에 교차슬롯을 두는 방법 등의 단일 급전방법이 있다. 일반적으로 단일급전 방법은 이중 급전 방법에 비해 구조가 간단하며, 원형편파를 얻기 위해 별도의 이상기를 사용하지 않으므로 크기가 작고

* 정희원, 경상대학교 전자공학과
(Gyeongsang National University)

** 종신회원, 경상대학교 컴퓨터정보통신연구소
(Research Institute of Computer and Information
Communicaion, Gyeongsang National University)
접수일자: 2006년3월22일, 수정완료일: 2006년8월18일

삼입손실과 방사 손실을 줄일 수 있는 이점이 있다. 패치 안테나의 크기는 유전율과 기판의 두께에 관계되지만, 패치의 모양에도 좌우된다. 일반적으로 정삼각형의 패치 면적이 정사각형이나 원형패치에 비해 17%~21% 정도 작다^[1].

본 연구에서는 원형편파 마이크로스트립 안테나의 소형화를 위해 정삼각형 패치에 교차 슬롯을 사용하며^[2], 비교를 위해 일단 슬롯을 사용한 안테나도 함께 설계한다^[3]. 정삼각 패치에 식각된 일자형 슬롯과 교차형 슬롯으로 인하여 형성되는 전류분포(방향)를 Ensemble S/W에 의한 시뮬레이션으로 분석하여 원형편파를 위한 최적의 급전점을 삼각 패치의 중심선 좌우에 정함으로써 RHCP 와 LHCP를 얻을 수 있다^[4]. 또 슬롯의 길이를 조정하여 공진주파수와 필요한 임피던스 대역폭을 얻도록 설계한다^[5]. IMT-2000 주파수 대역(1.855 - 2.2 GHz)에서 설계 제작된 안테나의 원형편파 특성과 일자 슬롯을 사용할 경우에 비해 교차 슬롯을 사용한 경우 안테나 크기가 얼마나 감소하는지 검토한다^[6].

II. 정삼각 마이크로스트립 원형 편파 안테나

1. 공진모드와 주파수

그림 1은 한 변의 길이가 a 인 ETMA의 구조를 나타낸 것으로 (a)는 윗면에서, (b)는 측면에서 본 구조이며, 유전체 기판은 비유전율이 ϵ_r 이고 두께가 h 이다. 이 안테나의 TM_{mn} 모드에 관한 공진 주파수(f_r)는

$$f_r = \frac{ck_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}}(m^2 + mn + n^2)^{1/2} \quad (1)$$

이고,

여기서, k_{mn} 은 파수이고, c 는 자유공간에서 빛의 속도이다. 또한 종단효과(end effects)와 프링징(fringing fields) 효과를 고려한 실효 변 길이(a_{eff}) 및 실효 유전율(ϵ_e)을 적용하면 기본 모드인 TM_{10} 모드의 공진주파수 f_r 는

$$f_r = \frac{2c}{3a_{eff}\sqrt{\epsilon_e}} \quad (2)$$

이며,

여기서, 실효 유전율(ϵ_e) 과 실효 변 길이(a_{eff})는 각각

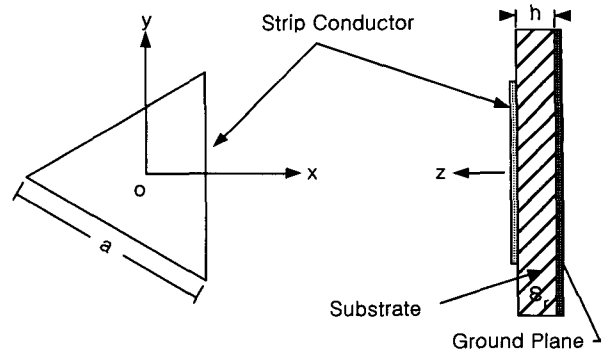


그림 1 정삼각 마이크로스트립 패치 안테나 구조
(a) 윗면 (b) 측면
Fig. 1. Configuration of the ETMA.
(a) Top view (b) Side view

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{4} \left(1 + \frac{12h}{a}\right)^{-1/2} \quad (3)$$

$$a_{eff} = a + \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

이다^[7].

2. 안테나 설계 및 원형 편파

안테나 설계는 Moment Method로 작성된 안테나 해석용 소프트웨어(Ensemble Ver. 5.0)를 사용하였고, 설계된 ETMA는 유전율이 ϵ_r 이고, 두께 h 인 유전체 기판 위에 변의 길이가 a 인 정삼각 마이크로스트립 패치를 두고, 삼각 패치 내부에 그림 2와 같이 수평으로 폭이 좁은 단일 슬롯(길이 l , 폭 w , $l \gg w$)을 둔 안테나와 그림 3과 같이 길이가 서로 다른(길이 l_x, l_y , 폭 w , $l \gg w$) 교차 슬롯을 가지는 안테나 구조로 되어있다. 각 안테나의 내부 슬롯 중심은 ETMA의 기본 모드인 TM_{10} 모드의 영(zero) 전위 점에 둔다. 따라서 안테나의 내부 슬롯에 의해 전자계의 변화가 발생하게 되며, 슬롯에 직각 방향으로는 TM_{10} 모드의 등가 표면 전류 경로가 길어지게 되고, 슬롯에 평행한 방향으로는 변화가 거의 없다. 이 때문에 TM_{10} 모드를 두 개의 직교 모드로 분리할 수 있게 된다. 이때 슬롯의 길이와 급전 위치를 조절하여 축비를 변화시킴으로써 두 직교 모드가 크기가 같고 90° 의 위상차를 가지는 원형 편파를 만들어 낼 수 있다. 그림 2에서 급전 점의 위치는 두 직교 모드의 50Ω 임피던스 레직 L_1 과 L_2 상에 있고, L_1 과 L_2 가 교차하는 점 A는 삼각패치의 좌반부에 위치하여 RHCP를 만들고, 삼각 패치의 중심선(y축)을 기준으로

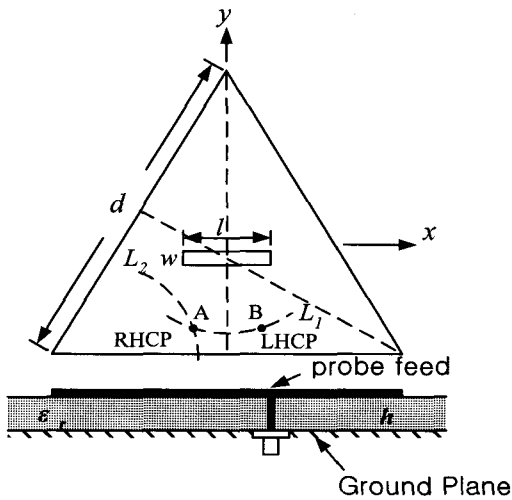


그림 2. 수평슬롯을 가진 ETMA의 원형편파 단일 급전 구조
 Fig. 2. Geometry of the single-feed ETMA with a horizontal narrow slot for CP radiation.

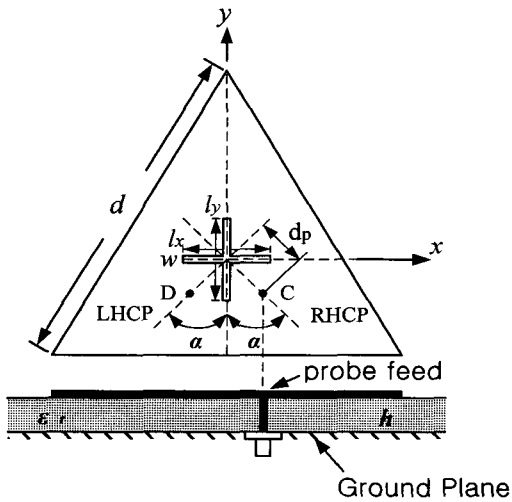


그림 3. 길이가 다른($l_x < l_y$) 교차슬롯을 가진 ETMA의 원형편파 단일급전 구조
 Fig. 3. Geometry of the single-feed compact ETMA with a cross slot of unequal slot lengths($l_x < l_y$) for CP radiation.

로 점 A에 대칭인 점 B는 L_1 상에서 LHCP로 동작한다.

그림 3은 삼각 패치 내부에 길이가 서로 다른 두 개의 슬롯($l_x < l_y$)이 직각으로 교차되어 있고, 슬롯의 교차점은 ETMA의 기본 모드인 TM_{10} 모드의 영(zero) 전위 점에 둔다. 이 경우 두 직각 슬롯에 의한 삼각 패치의 전자계의 변화로 두 직교 모드의 표면전류 경로가 수직과 수평으로 모두 길어지게 된다. 이때 슬롯의 길이와 급전 위치를 조절하여 축비를 변화시킴으로써 두 직교 모드가 크기가 같고 90° 의 위상차를 가

지는 원형 편파를 만들어 낼 수 있다. 따라서 서로 다른 두 교차 슬롯의 길이(l_x 와 l_y)를 조절하고, 그림 3과 같이 중심 선(y축)에 대해 각 $\alpha = \tan^{-1}(l_x/l_y)$ 로 기울어진 점선상의 급전점 C는 삼각 패치의 우반부에 위치하여 RHCP를 만들고, 삼각 패치의 중심선(y축)을 기준으로 점 C에 대칭인 점 D는 삼각패치의 좌반부에 위치하여 LHCP로 동작하게 된다.

III. 안테나 설계 및 제작

정삼각형의 방사 패치상에 수평으로 단일 슬롯을 가진 패치 안테나와 각각 길이가 다른 교차 슬롯을 가진 ETMA를 제작하였다. 안테나의 급전은 동축 프로브로 단일 급전하였고, 사용된 유전체 기판은 Rozers사의 TMM-4로서 두께가 60 mils, 유전율(ϵ_r)이 4.6이며, 중심 주파수는 IMT-2000 주파수 대역으로 하였다. 안테나의 설계와 방사 특성 계산에는 모멘트 법을 이용한 안테나 해석용 소프트웨어 Ensemble (Ver. 5.0)을 사용하였다.

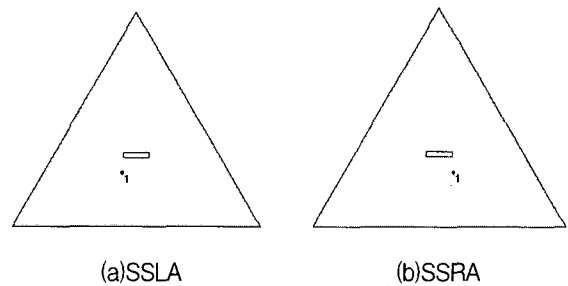


그림 4. 단일슬롯을 가진 단일급전 ETMA ;(a),(b)
 Fig. 4. The single-feed ETMA with a single slot; (a),(b).

표 1. 단일슬롯을 가진 단일급전 ETMA 규격
 Table 1. Specifications of the single-feed ETMA with a single slot.

Antennas	Single-slot	
	(a)SSLA	(b)SSRA
Permittivity(ϵ_r)	4.6	4.6
Thickness(mil)	60(TMM-4)	60(TMM-4)
Conductor	Copper	Copper
Patch length(mm)	48.0	48.0
Slot	l_x (mm)	4.9
	w (mm)	1.0
Feeding position(x,y)	21.3 , 10.32	26.7 , 10.32
Probe impedance	50 Ω	50 Ω
Polarization	RHCP	LHCP
Frequency band	1.8-2.2 GHz	1.8-2.2 GHz

그림 4의 (a)와 (b)는 설계된 단일슬롯 ETMA로서 그림 (a)는 슬롯 아래 좌측 점 1에, 그림 (b)는 슬롯 아래 우측 점 1에 동축 프로브로 급전시키고, 이를 각각 SSLA (Single Slot Left-feeding Antenna : 이하 SSLA), SSRA (Single Slot Right- feeding Antenna : 이하 SSRA)로 구분한다.

단일 슬롯을 가진 단일 급전 ETMA의 설계 규격은 표 1과 같다.

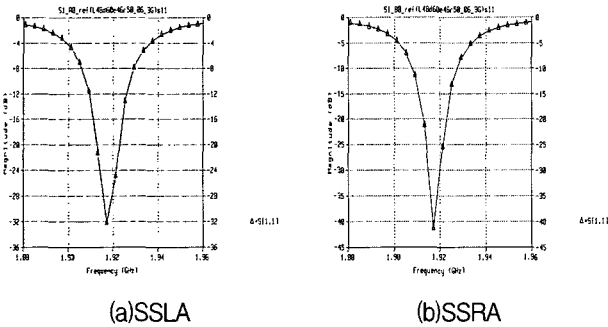


그림 5. 안테나의 반사손실:(a),(b)
Fig. 5. Calculated return loss of the antennas:(a),(b).

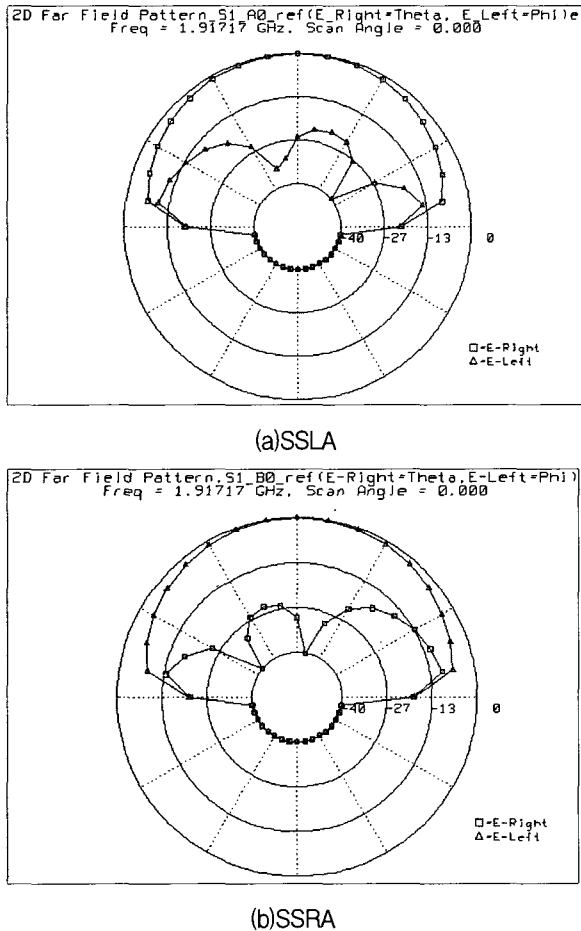


그림 6. 안테나의 2차원 방사패턴:(a),(b)
Fig. 6. Far field 2D patterns of the antennas:(a),(b).

그림 5는 표 1과 같은 규격으로 설계된 안테나의 반사 손실을 나타낸 것으로, SSLA와 SSRA가 거의 같은 특성을 보인다.

그림 6은 표 1과 같은 규격으로 설계된 안테나의 2차원 방사 패턴이며, (a)SSLA와 (b)SSRA의 위상 특성이 서로 반대되어 나타난다.

그림 7은 표 1과 같은 규격으로 설계된 ETMA의 표면 전류분포를 나타 낸 것으로, 표면전류가 (a)SSLA는 삼각 패치의 꼭지 점에서 아래쪽으로 동시에 좌변에서 우측 모서리 쪽으로 향하고, (b)SSRA는 삼각 패치의 꼭지 점에서 아래쪽으로 동시에 우변에서 좌측 모서리 쪽을 향해 분포하고 있다. 이것은 안테나의 급전 위치에 따라 서로 반대 방향으로 표면 전류가 분포하고 있어 RHCP 와 LHCP로 동작함을 알 수 있다.

그림 8의 (a)와 (b)는 설계된 교차슬롯 ETMA로서 (a)는 교차슬롯 우측 아래 점 1에, (b)는 교차슬롯 좌측 아래 점 1에 동축 프로브로 급전시키고, 이를 각각 (a)는 CSRA(Cross Slot Right- feeding Antenna:이하 CSRA), (b)는 CSLA(Cross Slot Left-feeding Antenna:이하 CSLA)로 구분하였다.

교차 슬롯을 가진 단일급전 ETMA의 설계 규격을 표 2와 같이하여 시뮬레이션 한 결과 중심 주파수 1.917

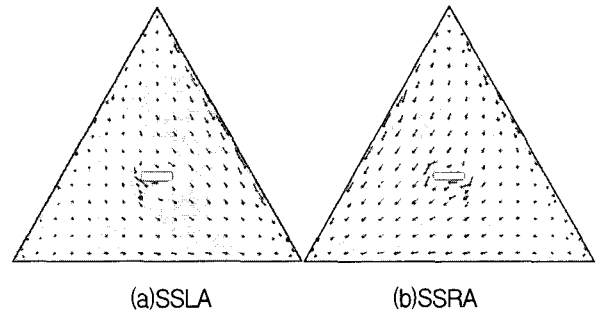


그림 7. 단일급전 ETMA의 표면전류분포;
(a)SSLA, (b)SSRA
Fig. 7. Surface current of the single feed ETMA ;
(a)SSLA, (b)SSRA.

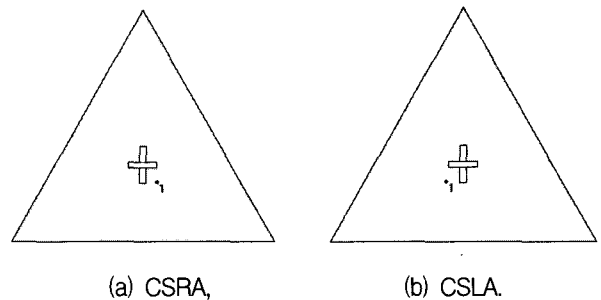


그림 8. 교차슬롯 단일급전 ETMA
Fig. 8. The single-feed ETMA with a cross slot.

~1.977GHz에서 대역폭은 약 20MHz, 반사손실은 -32dB ~ -43dB, 축비는 0.6~1.0dB로 그림 8의 (a)CSRA와 (b)CSLA의 안테나 특성이 거의 같게 나타났다. 방사패턴은 E면($\phi = 0^\circ$)과 H면($\phi = 90^\circ$)에서 (a)CSRA와 (b)CSLA가 서로 반전되어 나타난다. 입력 임피던스는 중심주파수에서 각각 50Ω에 정합시켜 0.8mm SMA 콘넥터로 단일 프로브 급전하였다.

그림 9는 표 2와 같은 규격으로 설계된 ETMA의 표면 전류분포를 나타낸 것이다. 그림 (a)CSRA는 삼각패치의 좌측 모서리에서 우변쪽으로 동시에 아래 변에서 삼각형의 꼭지점 쪽을 향하고, 그림 (b)CSLA는 삼각패치의 우측 모서리에서 좌변 쪽으로, 동시에 아래 변에서 삼각형의 꼭지점을 향해 안테나의 표면전류가 분포하고 있다. 이것은 안테나의 급전위치가 삼각패치의 수직 중심선에 좌우 대칭으로 놓여있어, RHCP와 LHCP로 동작함을 보인다

표 2. 단일슬롯을 가진 단일급전 ETMA의 규격
Table 2. Specifications of the single-feed ETMA with a single slot.

Antennas		Cross-slot	
		(a)CSRA	(b)CSLA
Permittivity(ϵ_r)		4.6	4.6
Thickness(mil)		60(TMM-4)	60(TMM-4)
Conductor		Copper	Copper
Patch length(mm)		46.26	46.26
slot	l_x (mm)	4.9	4.9
	l_y (mm)	6.4	6.4
	w (mm)	1.0	1.0
Feeding position(x,y)		25.7, 10.55	20.57, 10.55
Probe impedance		50 Ω	50 Ω
Polarization		RHCP	LHCP
Frequency band		1.8-2.2 GHz	1.8-2.2 GHz

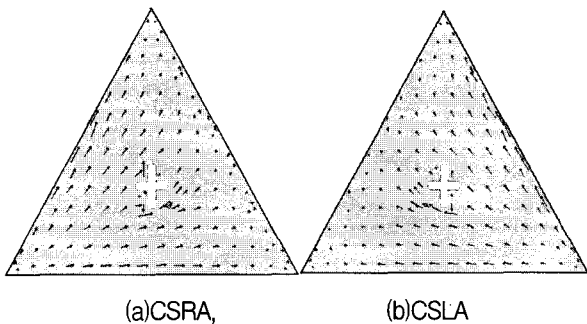
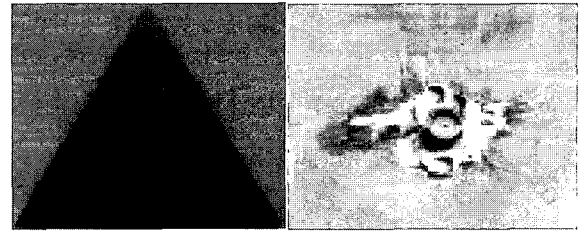
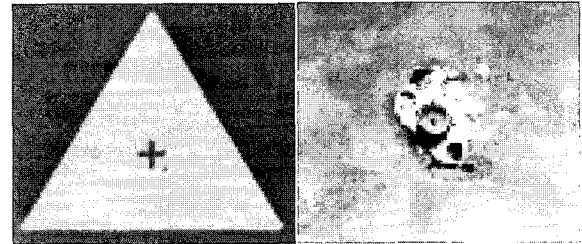


그림 9. 단일급전 ETMA의 표면전류분포:(a)CSRA, (b)CSLA
Fig. 9. Surface current of the single feed ETMA:(a)CSRA, (b)CSLA.



(a)SSRA



(b)CSRA

그림 10. 제작된 동축 프로브급 ETMA;
(a) SSRA, (b) CSRA
Fig. 10. The fabricated of the single feed ETMA ;
(a) SSRA, (b) CSLA.

그림 10은 단일슬롯과 교차슬롯으로 제작된 삼각 마이크로스트립 안테나의 전면과 후면 사진이다

IV. 안테나 측정

그림 11은 회로망 분석기(network analyzer, Anritsu 37369A)를 사용하여 제작된 CSRA의 반사손실을 측정 한 것으로 중심주파수는 2.005GHz, 대역폭은 71MHz 이고 입력 임피던스는 50.3Ω 이다.

그림 12는 설계된 안테나 SSRA 와 CSRA 의 축비를 측정 비교한 것이다. 제작 안테나의 동작 중심주파수에서 축비가 0.6~0.8dB로 원형편파 특성을 가지며,

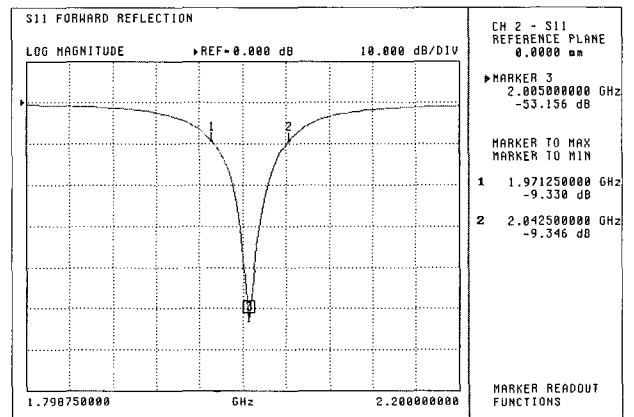


그림 11. CSRA 의 반사손실 측정
Fig. 11. Measured return loss of the CSRA.

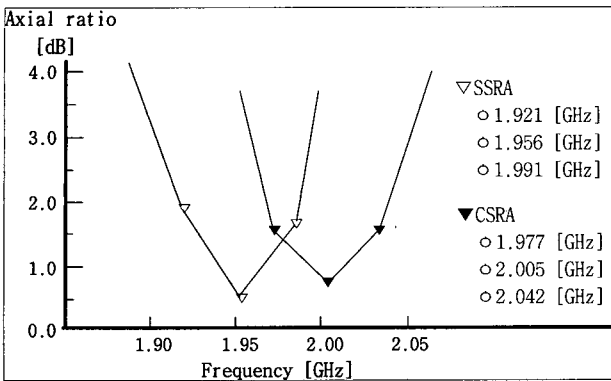
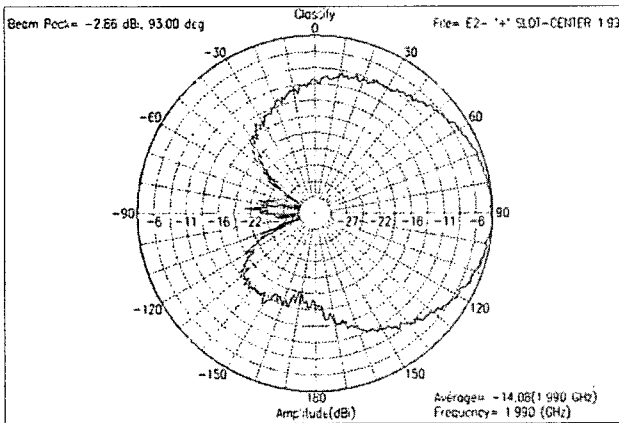
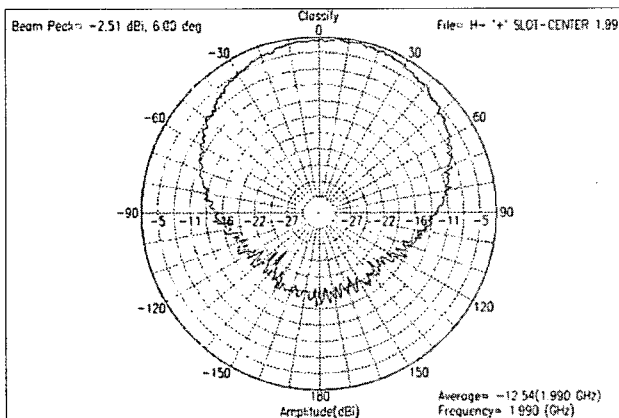


그림 12. 안테나의 축비 측정 ; (SSRA, & CSRA)
 Fig. 12. Measured axial ratio of the antennas: (SSRA & CSRA).



(a) E면 방사패턴
 (a) E-plane radiation pattern



(b) H면 방사패턴
 (b) H-plane radiation pattern

그림 13. 2GHz에서 CSRA 의 E / H -면 방사패턴
 Fig. 13. Measured E/H-plane radiation pattern at 2.00GHz of CSRA.

측정치는 설계치와 거의 같게 나타났다.

그림 13은 CSRA의 방사패턴으로 근계측정 장비 (ORBIT FR-959, FR Inc.)로 측정하였다. 그림 13의 (a)는 중심 주파수 2GHz에서 측정한 CSRA의 E면 방

표 3. 소형 원형편파 ETMA ; 안테나 변수
 Table 3. The compact CP design of ETMA ; antenna parameters.

Parameter	$l_x, l_y (mm)$	$d_p (mm)$	Center Freq
antenna 1	6.5 , 10.4	9.0	1916 MHz
antenna 2	11 , 14	7.5	1880 MHz
antenna 3	17.8 , 18	1.5	1768 MHz

사패턴, 그림 (b)는 CSRA 의 H면 방사패턴이다.

V. 결 론

본 논문에서 CP용 단일급전 ETMA를 설계, 제작하여 소형화 할 수 있는 방법을 연구하였다. 제작된 안테나의 편파 특성은 삼각 방사 패치 내부의 슬롯 크기를 단일슬롯(SSLA & SSRA) 안테나는 표 1의 규격으로 했고, 교차슬롯(CSRA & CSLA) 안테나는 표 2의 규격으로 하여 설계하여 LHCP와 RHCP를 유도했다. 제작된 ETMA (SSRA & CSRA)는 축비가 0.6~1.0 dB 정도로 측정되어 CP 특성을 만족하였다. 다만 안테나의 반사손실 특성이 급전점의 위치에 따라 매우 변화가 심하였다.

내부 슬롯과 급전점 위치는 표 3과 같이 슬롯 길이가 길어 질 수록 급전점이 삼각 방사패치의 중심 쪽으로 이동하였고, 또한 단일 슬롯 보다는 교차슬롯을 씌워서 안테나의 크기(면적)를 기존의 원형이나 사각패치 안테나 보다 약 17%~21%줄일 수 있었다. 제작된 안테나(SSRA)의 중심주파수는 계산치 1.917GHz, 측정치 1.956GHz로 약 39MHz 높게 이동하였고, 교차슬롯 안테나(CSRA)에서는 계산치 1.977GHz, 측정치 2.005GHz로 약 27MHz 높게 나타났다. 안테나의 대역폭은 3.56%에서 3.64%로 계산치(20MHz) 보다 측정치(71.3MHz)가 약 50MHz 넓게 나타났으며, 두 안테나 모두 원형편파로서 3dB 축비를 만족하였다

특히 교차슬롯을 가진 ETMA는 표 3과 같이 똑 같은 크기의 삼각 방사패치에서 슬롯의 길이와 급전위치를 가감함으로써 사용 주파수를 다르게 할 수 있어 ETMA의 소형화를 유도할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] J.H.Lu, C.L.Tang, and K.L.Wong, "Circular Polarization design of a single-feed equilateral-triangular microstrip Ant." Electron.Lett., vol.34, pp.1833~34,

Oct. 23, 1997.
 [2] Ju-Han Lu, Member, IEEE Transactions on Antennas and propagation. vol. 47, No.7, pp.1174-1178, July 1999.
 [3] J.R.James and P.S.Hall, Handbook of Microstrip Antenna. London,U.K.:Peret Peregrinus,1989.
 [4] Y.Suzzuki,N.Miyano,and T.Chiba,"Circular Polarization from singly fed equilateral-triangular microstrip antenna,"Ints. Elect.Eng. Proc. Microwave Antennas Propagat., vol.134, pp. 194-198. Apr.1987.

[5] H.Iwasaki,"A circularly polarized small-size micro-strip antenna with a cross slot," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.44,pp.1399-1401, Oct.1996.
 [6] K. L. Wong and J. Y. Wu, "Single-feed small circularly polarized square microstrip antenna," Electron.Lett., vol.33, pp.1833-1834, Oct.23, 1997.
 [7] Balanis, Constantine A. (1997) Antenna Theory (second edition).John Wiley & Sons,Inc.:760-762.

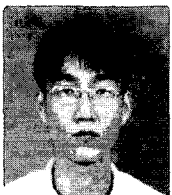
저 자 소 개



황 호 순(정회원)
 2002년 2월 경상대학교
 전자공학과 석사졸업
 2006년 2월 ~ 현재 경상대학교
 전자공학과 (박사과정)
 1978년 9월 ~ 현재 (주)KT 근무
 <주관심분야 : MW공학, 이동통신, ANT, WiBro >



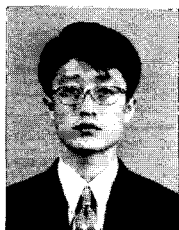
장 재 삼(정회원)
 1997년 2월 경상대
 전자공학과 졸업
 2000년 2월 경상대학교
 전자공학과 석사졸업
 2006년 ~ 현재 경상대학교
 전자공학과 (박사과정)
 <주관심분야 : 이동통신, RF, PLL, ANT 분야>



이 동 철(정회원)
 1994년 2월 경상대학교
 전자공학과 석사졸업
 1994년 ~ 1996년 금호정보통신
 연구소
 1996년 2월 경상대학교
 전자공학과 박사과정
 <주관심분야 : 무선통신시스템, ANT, RF회로 설계>



이 문 수(중신회원)
 1970년 2월 한국항공대
 항공통신공학과 졸업
 1980년 2월 한양대 대학원 전자통신공학과 석사졸업
 1984년 8월 한양대학교 전자통신공학과 박사졸업
 1981년 3월 ~ 1986년 2월 제주대 통신공학과 부교수
 1986년 8월 ~ 1987년 8월 미국 COMSAT연구소 연구원
 1986년 3월 ~ 현재 경상대 전자공학과 교수
 1997년 7월 ~ 1999년 8월 경상대부설 정보통신 연구센터소장
 1998년 8월 ~ 2000년 7월 전자파학회 영남지부 지부장
 2004년 1월 ~ 2005년 2월 미국 미시시피대학교 방문교수
 <주관심분야 : 이동통신, 마이크로파, 안테나 GIS 등>



임 정 섭(정회원)
 2001년 2월 경상대학교
 전자공학과 석사졸업
 2005년 2월 ~ 현재 경상대학교
 전자공학과 (박사과정)
 1999년 1월 ~ 현재 (주)KT 근무
 <주관심분야 : MW공학, ANT, WiBro >