

두 개의 기생 패치를 갖는 고 이득 · 광대역 SAP 안테나

High Gain and Broadband SAP Antenna with Two Parasitic Patches

김 정 한 · 김 용 진 · 이 흥 민

Jung-Han Kim · Yong-Jin Kim · Hong-Min Lee

요 약

본 논문에서는 SDMB(Satellite Digital Multimedia Broadcasting) 시스템에서 동작하는 고 이득 · 광대역 안테나를 구현하였다. 제안된 안테나는 표면파를 억제하기 위한 SAP(Shorted Annular Patch) 구조와 이득, 대역폭 그리고 지향성을 개선시키기 위하여 $0.25 \lambda_0$ 간격을 갖는 3차원 배열의 기생 SAP로 구성되었다. 원형 패치상의 서로 반대 방향으로 놓인 두 개의 슬릿을 이용하여 RHCP(Right Hand Circular Polarization)로 동작하도록 하였다. 모의 실험 결과, 제안된 안테나의 최대 방사 이득은 기존의 마이크로스트립 패치 안테나에 비해서 5.22 dBi 개선된 12.6 dBi로 나타났다. 제작된 안테나는 동작 주파수 2.63 GHz에서 최대 방사 이득이 10.5 dBi로 나타났다. 측정된 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 기존의 마이크로스트립 패치 안테나에 비해서 300 MHz 개선된 360 MHz(2.488 ~ 2.848 GHz)이며, HPBW(Half Power Beam Width)는 45.8° , FBR(Front Back Ratio)은 15.49 dBi로 나타났다. 3 dB 축비 대역폭은 220 MHz(2.54 ~ 2.76 GHz)를 얻었다.

Abstract

In this paper, the high gain and broadband antenna operating for SDMB(Satellite Digital Multimedia Broadcasting) system is realized. The proposed antenna consists of the SAP(Shorted Annular Patch) structure, which inhibits surface-wave and the parasitic SAP element with spacing of $0.25 \lambda_0$ in order to improve gain, bandwidth and directivity. The RHCP(Right Hand Circular Polarization) is generated by two slits, which are made along the periphery of the circular patch at the diametrically opposite points. The simulated maximum gain of the proposed antenna is 12.6 dBi, which is better 5.22 dBi than maximum gain of the conventional microstrip patch antenna. The measured maximum gain is 10.5 dBi at operating frequency 2.63 GHz. Also, the measured impedance bandwidth($VSWR \leq 2$) of the proposed antenna is 360 MHz(2.488 ~ 2.848 GHz), which is better 300 MHz than the bandwidth of the conventional microstrip patch antenna. The measured HPBW(Half Power Beam Width) of the proposed antenna is 45.8° , and the measured FBR(Front to Back Ratio) is 15.49 dBi. The 3 dB axial ratio bandwidth is 220 MHz(2.54 ~ 2.76 GHz).

Key words : SDMB, Shorted Annular Patch, High Gain, Surface-Wave

I. 서 론

다양한 위성 통신 서비스의 확대와 이용자의 급증에 따라서 최근 무선 통신 시스템은 고속, 대용량, 경제화로 나아가는 추세이다. 이러한 무선 통신 시스템을 구현하기 위해서는 고 이득, 고 효율의 안테

나 개발이 필요하다. 그 중 마이크로스트립 안테나는 소형화, 저 자세화 및 경량화 구현이 용이하며, 제작비용이 저렴하고 실장이 용이하여 우주선, 위성, 미사일, 이동 통신 등 많은 분야에 응용되고 있다. 그러나 저 효율, 저 전력, 높은 Q값으로 인하여 대역폭이 협소하고 비교적 낮은 지향성을 가지고 있

「본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2007-000-10315-0) 지원으로 수행되었음.」

경기대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

· 논문 번호 : 20070518-12S

· 수정완료일자 : 2007년 8월 6일

으며, 이득이 일반적으로 5~8 dBi로 낮다^[1]. 이러한 특성으로 인해 높은 지향성과 이득을 요구하는 레이더나 위성 통신 분야에서는 사용에 한계가 있다. 높은 지향성과 고 이득을 달성하기 위해서 두 패치 간의 간격이 약 $0.5 \lambda_0$ 인 적층 패치 구조를 이용하여 약 9 dBi의 이득을 얻는 방법이 연구되었으나^[2] 안테나의 무게를 증가시키는 두꺼운 유전체 기판을 사용해야 하는 단점이 있으며, 단일 소자로 높은 이득을 갖는 helical 안테나의 경우는 일정 이상의 이득과 지향성을 갖는 축 모드를 여기시키기 위해서 코일의 간격과 직경이 증가하는 단점을 갖고 있다.

따라서 본 논문에서는 일반적인 마이크로스트립 안테나에서 발생하는 표면파를 억제하고 후방 방사를 감소시키는 SAP 구조를 이용하여 이득을 개선시키고^{[3]-[6]}, $0.25 \lambda_0$ 의 간격을 갖는 3차원 배열 구조인 기생 SAP 안테나를 설계하여 이득과 대역폭 그리고 지향성이 더욱 개선된 고 이득 · 광대역 안테나를 제안한다.

II. SAP Antenna 설계

그림 1에 모의 실험에서 사용된 일반적인 마이크로스트립 안테나와 SAP 안테나의 구조를 나타내었다. 각각의 안테나는 두께가 1.6 mm이고, $150 \times 150 \text{ mm}^2$ 크기의 Teflon ($\epsilon_r = 2.2$) 기판으로 설계되었다. 그림 1(a)에 나타낸 일반적인 마이크로스트립 안테나는 패치와 그라운드가 유전체에 의해서 분리되어 있다. 그러나 그림 1(b)에 나타낸 SAP 안테나의 경우, 패치와 접지면이 원통형 실린더에 의해서 단락되어졌으며, 원통형 실린더 내부는 유전체가 존재하지 않고 공기로 채워져 있다. 이러한 구조적인 차이점으로 인하여 SAP 안테나는 임피던스 정합이 용이하며, 표면파를 억제시키는 장점을 갖는다.

일반적인 마이크로스트립 안테나는 패치의 중심에서 0 Ω의 입력 임피던스를 가지며 패치의 가장자리에서는 200~300 Ω의 값을 갖는다. 따라서 급전 위치 변화에 따른 허용 오차의 범위가 커지므로 임피던스 정합이 어렵다. 하지만 SAP 안테나의 경우, 패치의 가장자리에서 100~150 Ω의 입력 임피던스를 가지므로 보다 쉽게 임피던스 정합을 할 수 있다. SAP 안테나의 가장 큰 장점은 마이크로스트립 안

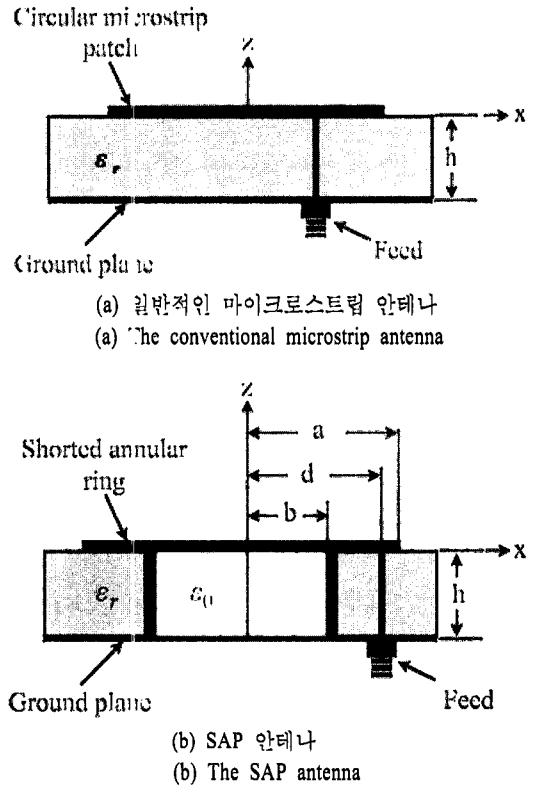


그림 1. 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나와 SAP 안테나 구조
Fig. 1. The geometry of the conventional microstrip patch and SAP antenna.

테나에서 발생하는 표면파를 억제하여 이득을 개선시키고 후방 방사를 감소시키는 것이다.

먼저, 표면파를 억제하는 SAP 안테나의 동작 원리를 이해하기 위해서 그라운드로부터 높이 z_0 에서 x 축 방향으로 자류 링(magnetic current ring)을 갖는 헤르츠안 다이폴 안테나를 그림 2에 나타내었다. 이 미소 다이폴에 의해서 발생하는 TM_0 표면파 ϕ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\phi = A(z, z_0) H_1^{(2)}(\beta_{TM_0} \rho) \sin \phi \quad (1)$$

여기서, $A(z, z_0)$ 는 크기, β_{TM_0} 는 TM_0 표면파 전파 상수, $H_1^{(2)}$ 는 second Hankel function, ρ 는 외부 반경 a 이다.

다음으로, 표면파의 위상을 계산하기 위해 사용된 자류 링의 구조를 그림 3에 나타내었다. 만약 관찰점이 자류 링으로부터 충분히 멀다고 가정한다면 링

의 각 점으로부터 방사되는 표면파의 위상은 다음과 같다.

$$e^{j\beta_{TM_0}b} = e^{j\beta_{TM_0}a\cos(\phi - \phi')} \quad (2)$$

여기서, ϕ 는 관찰점에서 바라본 각이며, ϕ' 는 링의 한 점과 전원이 이루는 각이다. 식 (1), (2)를 이용한 자류 링의 표면파 계 성분 ψ 는 다음과 같다.

$$\psi = -H_1^{(2)}(\beta_{TM_0}\rho)B(z) \cdot \int_0^{2\pi} \cos\phi' \cos(\phi - \phi') e^{j\beta_{TM_0}a\cos(\phi - \phi')} a d\phi' \quad (3)$$

여기서, $B(z) = \int_0^h A(z, z_0) dz_0$ 이다.

식 (3)에서 Jacobi-Anger 전개식과 푸리에 급수 그리고 항등 함수를 이용하여 구해진 표면파 감소를 위한 기본적인 설계 방정식은 다음과 같다.

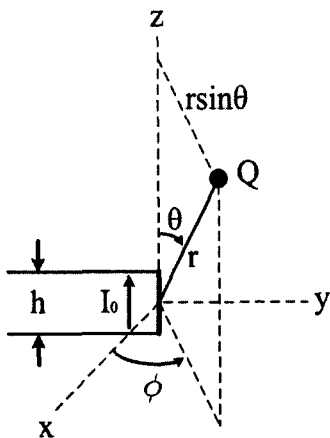


그림 2. 헤르츠안 다이폴 안테나
Fig. 2. The Hertzian dipole antenna.

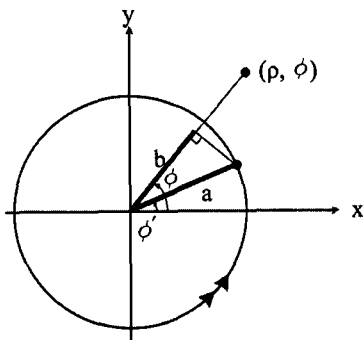


그림 3. 자류 링
Fig. 3. The magnetic current ring.

$$\psi = -2\pi a B(z) H_1^{(2)}(\beta_{TM_0}\rho) \cos\phi J_1'(\beta_{TM_0}a) \quad (4)$$

여기서, $J_1'(x) = 1/2[J_0(x) - J_2(x)]$ 이다.

TM_0 표면파계 ψ 성분을 억제하기 위해서는 외부 반경에 따른 Bessel 도함수가 0이 되어야 한다. 이러한 조건에 만족되어지는 값은 다음과 같다.

$$J_1'(\beta_{TM_0}a) = 0$$

$$\beta_{TM_0}a = x'_{1n} = 1.8412, 5.331, 8.536, \dots \quad (5)$$

가장 작은 자류 링을 가지기 위해서 $x'_{11} = 1.8412$ 로 결정되었다. 이는 가장 작은 반경을 갖는 원형 패치 설계와 일치한다. 또한, 전기적으로 얇은 기판일 경우 $\beta_{TM_0} \approx k_0$ (k_0 : 자유공간상에서 전파 파수)가 된다. 이를 이용하여 설계되어진 외부 반경(a)은 28.94 mm이다.

다음으로 초월 방정식을 사용하여 공진 주파수를 결정하는 내부 반경을 설계한다. 초월 방정식을 이용하여 설계되어진 내부 반경(b)은 16.2 mm이다. 실제 제작을 위해서 이론적인 설계 값과 가장 유사한 M-type의 동 파이프(내부 반경: 13.4 mm, 두께: 0.89 mm)를 내부 반경으로 선택하여 모의 실험을 하였으며, 2.63 GHz의 공진 주파수를 형성하기 위해 외부 반경(a)은 29.5 mm로 최적화 되었다.

이론적인 내·외부 반경과 실제 제작을 고려한 내·외부 반경을 적용한 모의 실험 결과를 그림 4에

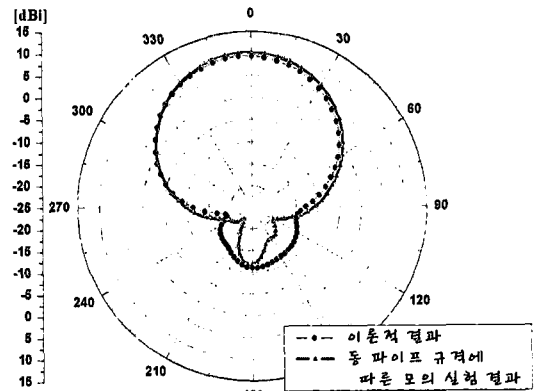


그림 4. 내·외부 반경의 변화에 따른 방사 패턴의 모의 실험 결과(2.63 GHz)
Fig. 4. The simulated result of radiation pattern by variation of inside and external radius(2.63 GHz).

두 개의 기생 패치를 갖는 고 이득 · 광대역 SAP 안테나

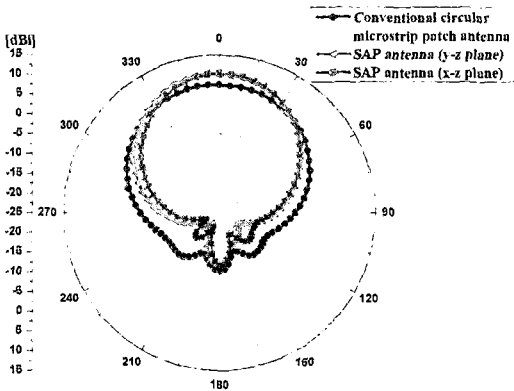


그림 5. 일반적인 마이크로스트립 안테나와 SAP 안테나의 방사 패턴 비교(2.63 GHz)

Fig. 5. The comparison of radiation pattern between the conventional microstrip antenna and SAP antenna(2.63 GHz).

나타내었다. 모의 실험 결과, 실제 제작을 고려한 M-type의 동 파이프를 적용한 결과에서 후방 방사가 감소하는 특성을 얻을 수 있었으며, 이론적인 결과와 동일한 결과를 나타내었다.

이러한 결과를 바탕으로 설계되어진 SAP 안테나와 일반적인 마이크로스트립 안테나의 방사 패턴을 그림 5에 나타내었다. SAP 안테나는 마이크로스트립 안테나에 비해서 최대 방사 이득이 2.82 dBi 증가하였고, 안테나를 포함하는 수평 평면 방향(90°, -270°) 전력 성분은 약 5.28 dBi 감소하였다.

III. 기생 SAP 안테나 설계

SAP 안테나가 일반적인 마이크로스트립 안테나에 비해서 향상된 이득과 후방 방사 감소 특성을 갖는 사실을 모의 실험을 통해서 확인하였으나, 마이크로스트립 안테나가 갖는 협대역 특성은 개선되지 않았다. 따라서 본 절에서는 이러한 단점을 보완하고자 기생 패치를 $0.25 \lambda_0$ 간격으로 배열함으로써 발생하는 위상차와 급전에 따른 위상차를 이용하여 이득과 대역폭이 개선된 기생 SAP 안테나를 설계한다.

그림 6에 동일 진폭과 90°의 위상차 그리고 $0.25 \lambda_0$ 만큼 떨어진 두 등방성 점 전원을 나타내었다. 왼쪽 전원에서부터 +z 방향으로 진행하는 파들은 $0.25 \lambda_0$ 경로에 의해서 90°의 위상차를 갖고 오른쪽 전원 위치에 도달한다. 그러나 오른쪽 전원은 왼쪽

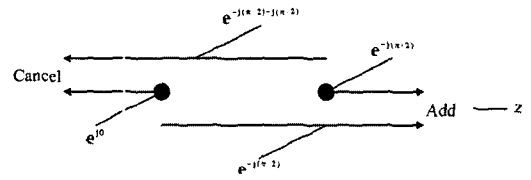


그림 6. 동일 진폭과 90°의 위상차 그리고 $0.25 \lambda_0$ 만큼 떨어진 두 등방성 점 전원

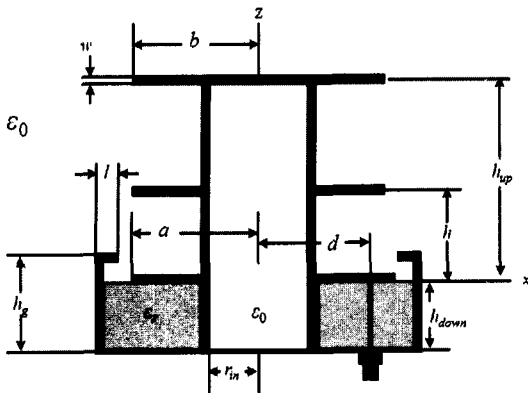
Fig. 6. The two isotropic point source with the same amplitude and the phase difference of 90°.

전원에 비해서 90° 늦게 급전된다. 이 경우, 오른쪽 점 전원에서 +z 방향으로 진행하는 파와 왼쪽 점 전원에서 +z 방향으로 진행하는 파의 전체 위상차는 0°이다. 따라서 +z 방향으로 진행하는 파는 원거리 계에서 서로 더해진다. 이와 반대로 오른쪽 전원에서 나와 -z 방향으로 진행하는 파들은 왼쪽 전원이 위치한 곳에서 왼쪽 전원의 파에 비해 180°(경로차로 인해서 90° 그리고 급전에서 90°) 위상차를 갖게 되므로 원거리 계에서 서로 상쇄된다.

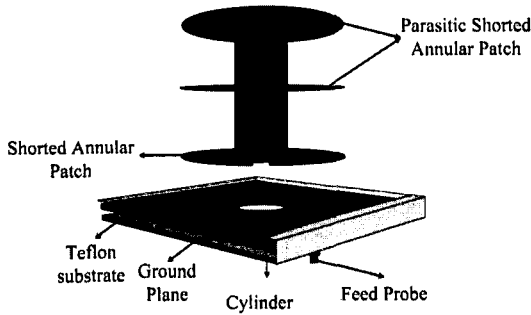
그림 7(a)에 제안된 기생 SAP 안테나의 구조를 나타내었다. 원통형 실린더는 각각의 패치와 그라운드 평면에 단락되어 있고 실린더 내부는 공기로 채워져 있으며, 각각의 패치는 $0.25 \lambda_0$ 의 간격을 갖는다. 또한, 원통형 실린더를 이용하여 급전되어진 기생 패치는 급전 경로에 따른 90°의 위상차를 갖게 된다. 그림 7(b)는 제안된 안테나의 3차원 구조를 나타내었다. 그림 7(c)는 RHCP로 동작하기 위해 사용된 원형 패치의 구조를 나타내었다. 크기는 같고 위상이 90°차이인 두 개의 독립적인 직교 모드를 형성하기 위해서 x축으로부터 -45°와 135°에 슬릿을 각각 부설하였다. 또한, 급전 위치는 패치의 중심에서 27.8 mm 떨어져 있다.

그림 8에 기생 SAP 안테나의 높이와 반경에 따른 안테나의 이득을 나타내었다. 높이(h_{up})와 반경(b)이 각각 53 mm, 33 mm일 경우에 가장 높은 방사 이득이 나타났지만 전 · 후방 비를 비교한 결과 높이(h_{up})와 반경(b)이 각각 55 mm, 29 mm일 때 가장 양호한 결과 값을 나타내었다. 본 논문에서 최적화된 모든 설계 파라미터는 CST사의 MWS(Micro Wave Studio) 3D field simulation tool을 사용하였다^[9].

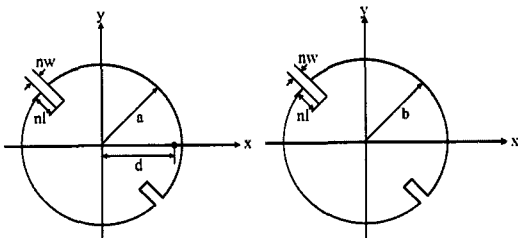
표 1에 제안된 안테나의 설계 파라미터와 최적화된 값을 나타내었다.



(a) 기생 SAP 안테나의 구조와 설계 파라미터
(a) The geometry and design parameters of parasitic SAP antenna



(b) 제안된 안테나의 3-D 구조
(b) The three-dimensional geometry of proposed antenna



(c) 원형 편파 발생을 위한 패치 구조
(c) The geometry of patch to generate circular polarization

그림 7. 제안된 기생 SAP 안테나의 구조
Fig. 7. The geometry of proposed parasitic SAP antenna.

IV. 안테나의 제작 및 특성 측정

그림 9에 제작된 안테나의 반사 손실을 나타내었다. 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 2.488~2.848 GHz (360 MHz)이며, 공진 주파수가 2.63 GHz에서 2.704 GHz로 상향되었다. 공진 주파수가 상향된 원인은

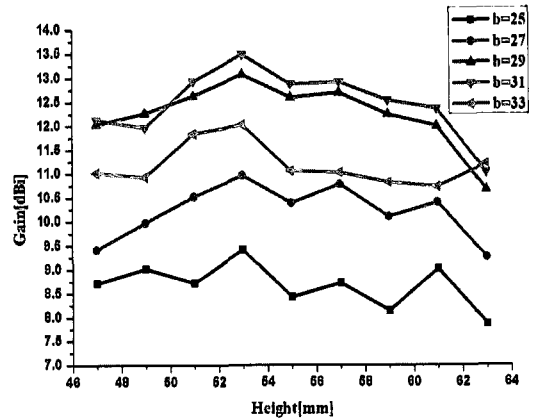


그림 8. 설계 파라미터 h_{up} 와 b 에 따른 이득의 변화
Fig. 8. The variation of gain against parameter h_{up} and b .

표 1. 제안된 단일 안테나의 설계 파라미터(단위: mm)
Table 1. The design parameters of proposed antenna (unit: mm).

설계 변수	a	b	d	h_{up}	h_{down}	h
길이(mm)	29.5	29	27.8	55	1.6	20.5
설계 변수	r_{in}	l	h_g	w	nl	nw
길이(mm)	13.4	3.3	3	0.3	13.6	5

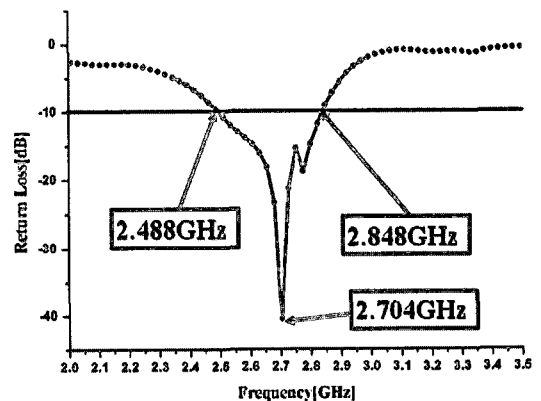


그림 9. 제작된 안테나의 반사 손실
Fig. 9. The measured return loss of fabricated antenna.

제작 과정에서 실린더의 외경과 기관의 내경이 정확하게 일치하지 않아 실린더의 외경을 갈아내었다. 그 결과, 모의 실험 결과보다 상향된 공진 주파수가

두 개의 기생 패치를 갖는 고 이득·광대역 SAP 안테나

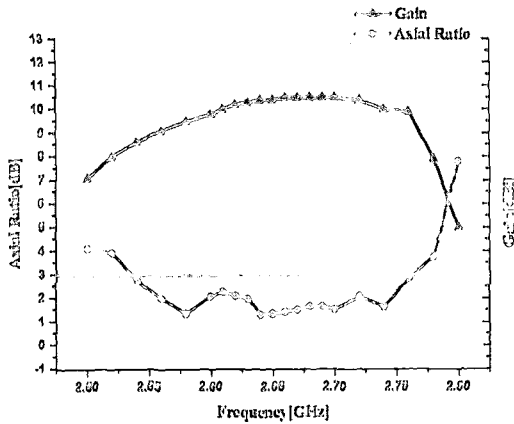


그림 10. 제작된 안테나의 이득과 3 dB 축비 대역폭
Fig. 10. The measured gain and 3 dB axial ratio bandwidth of fabricated antenna.

나타난 것으로 사료된다.

그림 10에 제작된 안테나의 이득과 3 dB 축비 대역폭을 나타내었다. 측정된 최대 방사 이득은 모의 실험 결과에 비해서 2.1 dBi 감소한 10.5 dBi를 나타내었다. 3 dB 축비 대역폭은 모의 실험 결과와 비슷한 2.54~2.76 GHz(220 MHz)를 나타내었다.

그림 11은 제작된 안테나의 방사 패턴이다. 제작된 안테나는 2.63 GHz에서 15.49 dB의 FBR 특성을 나타내었으며, HPBW는 45.8°로 모의 실험 결과와 유사한 결과를 나타내었다.

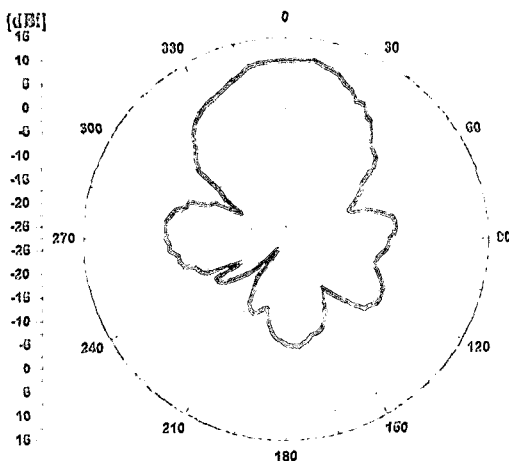
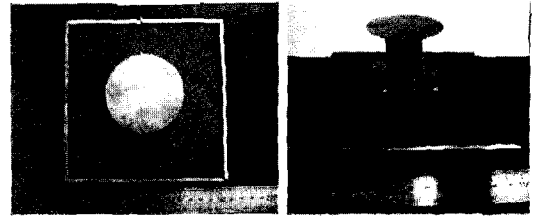


그림 11. 제작된 안테나의 방사 패턴(2.63 GHz)
Fig. 11. The radiation pattern of fabricated antenna (2.63 GHz).



(a) 평면도 (a) Top view
(b) 측면도 (b) Side view

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

표 2. 제안된 안테나의 특성
Table 2. The characteristics of proposed antenna.

	Microstrip antenna	SAP antenna	Proposed antenna (모의 실험)	Proposed antenna (측정 결과)
Gain	7.38 dBi	10.20 dBi	12.6 dBi	10.5 dBi
Bandwidth	59 MHz	69 MHz	165 MHz	360 MHz
HPBW	92.8°	60.7°	41.2°	45.8°
FBR	17.9 dB	21.7 dB	18.01 dB	15.49 dB

그림 12에 제작된 안테나의 사진을 나타내었으며, 제안된 안테나의 특성 측정 결과 값을 표 2에 나타내었다.

표 2에 나타난 바와 같이 일반적인 마이크로스트립 안테나에서 발생하는 표면파 성분을 억제하기 위해 사용된 SAP 구조는 수평 및 후방 방향으로 방사되어지는 전력을 감소시켜 이득이 2.82 dBi 증가하였다. 제안된 $0.25 \lambda_0$ 의 간격을 갖는 3차원 배열 SAP 안테나의 경우에는 이득이 5.22 dBi, 대역폭은 약 106 MHz 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 SDMB 대역에서 동작하는 공진 주파수가 2.63 GHz인 고 이득·광대역 SAP 안테나를 설계, 제작하였다. 제작된 기생 SAP 안테나의 측정 결과, 최대 방사 이득은 10.5 dBi로 모의 실험 결과보다 다소 낮게 나타났으나, 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 2.488~2.848 GHz(360 MHz)로 증가한 것으로 나타났다. 측정된 안테나의 HPBW는 45.8°, FBR은 15.49 dB이다. 제안된 두 개의 기생 패치를 갖는 기

생 패치를 갖는 SAP 안테나는 고 이득·광대역 특성을 가지고 있으므로 위성 통신 시스템이나 무선 통신 시스템에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley & Sons Inc, pp. 811-859, 1997.
- [2] R. Q. Lee, K. Lee, "Experimental study of the two layer electromagnetic coupled rectangular patch antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 38, no. 8, pp. 1298-1302, Jun./Aug. 1990.
- [3] D. R. Jackson, J. T. Williams, A. K. Bhattacharyya, R. L. Smith, S. J. Buchheit, and S. A. Long, "Microstrip patch designs that do not excite surface waves", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 41, pp. 1026-1037, Aug. 1993.
- [4] J. S. Baligar, U. K. Revankar, and K. V. Acharya, "Broadband stacked annular ring coupled shorted circular microstrip antenna", *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 21, pp. 1756-1757, Oct. 2000.
- [5] G. Mazzarella, G. Di Massa, "Shorted annular patch antenna", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 8, Mar. 1995.
- [6] L. Boccia, G. Amendola, G. Di Massa, and L. Giulicchi, "Shorted annular patch antennas for multipath rejection in GPS-based attitude determination", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, Jan. 2001.
- [7] E. Arneri, L. Boccia, G. Amendola, and G. Di Massa, "A high gain antenna for small satellite missions", in *Proc. Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, vol. 2, no. 2, pp. 1587-1590. Jun. 2004.
- [8] Emilio Arneri, Luigi Boccia, Giandomenico Amendola, and Giuseppe Di Massa, "A compact high gain antenna for small satellite applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 2, pp. 277-282, Feb. 2007.
- [9] *CST STUDIO SUITE™ 2006 MWS(Micro Wave Studio) manual*, CST Corporation.

김 정 한



2007년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학사)
 2007년 3월~현재: 경기대학교 전자공학부 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 이동 통신 시스템

이 흥 민



1972년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1974년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 전파 전파, RF 수동소자

김 용 진



2007년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학사)
 2007년 3월~현재: 경기대학교 전자공학부 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자