CPS 급전 방식의 광대역 Yagi-Uda 안테나

A Broadband CPS-Fed Yagi-Uda Antenna

한경호 · 박용배 · 추호성* · 박익모

Kyungho Han · Yongbae Park · Hosung Choo* · Ikmo Park

요 약

본 논문에서는 CPS 급전 방식의 광대역 Yagi-Uda 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 CPS 급전 선로를 사용하여 기존에 설계된 Yagi-Uda 안테나들에 비하여 간단한 급전 구조를 가지며 기판에 접지면이 필요 없기 때문에 reflector의 설계를 자유로이 할 수 있다. 정합 선로를 설계하기 위하여 선폭이 두꺼운 선로와 선폭이 얇은 선로 사이에 테이퍼된 선로를 삽입하여 최적의 CPS 급전 선로 구조를 설계하였다. 제안한 Yagi-Uda 안테나는 −10 dB 반사 손실을 기준으로 3.9~5.9 GHz의 대역폭을 가지고 대역폭 내에서 6.5~8 dBi의 이득을 가진다. 중심 주파수인 4.9 GHz에서 이득은 7.4 dBi이고, 반전력 빔폭은 x-z 평면에서 98°, x-y 평면에서 73°이다.

Abstract

This paper presents a broadband CPS-fed Yagi-Uda antenna. The antenna has a feedline structure much simpler than other Yagi-Uda antennas and it provides more design flexibility in arranging the reflector. To improve the impedance matching, a tapered CPS line is inserted between the thick and thin feedlines. The proposed antenna exhibits the bandwidth of 3.9~5.9 GHz (|G| < −10 dB) and the gain of 6.5~8 dBi within that bandwidth. At the center frequency of 4.9 GHz, the antenna shows the gain of 7.4 dBi, and HPBW of 98° along the x-z plane and 73° along the x-y plane.

Key words : Broadband Antenna, Yagi-Uda Antenna, Coplanar Stripline

I. 서 론

기판 위에 설계된 평면형 Yagi-Uda 안테나는 대역폭이 넓고, 설계가 간단하고 제작비용이 저렴한 장점이 있기 때문에 최근에 많이 연구되고 있다[1]~[3]. 이들 Yagi-Uda 안테나는 각각 서로 다른 급전 구조를 가지고 있으며, 주요 급전 방법으로는 Microstrip-Coplanar Strip(MS-CPS), Coplanar Waveguide-Coplanar Strip(CPW-CPS) 전이 구조를 이용한 방법과 microstrip 선로로 급전하는 방법 등이 있다. 먼저 MS-CPS 전이 구조를 사용한 quasi-Yagi 안테나는 가장 일반적으로 사용되고 있는 평면형 Yagi-Uda 안테나 구조이다[4]~[11]. 이 구조의 안테나는 Yagi-Uda 안테나의 기본 급전 선로인 CPS 선로에 발룬을 연결하였고, microstrip 선로로 신호를 여기하여 안테나가 동작하도록 설계하였다. 두 번째 급전 구조로는 CPW-CPS 전이 구조를 사용하여 급전하는 방법의 Yagi-Uda 안테나가 있다[12]. 이 구조의 안테나는 발룬을 사용하지 않고 안테나의 급전 선로를 CPW로 사용하여 MS-CPS 전이 구조를 사용하는 안테나에 비하여 보다 간단한 급전 구조를 가진다. 세 번째 급전 구조로는 전이 구조를 사용하지 않고 microstrip 선로로 급전하는 Yagi-Uda 안테나가 있다[13],[14]. 이 구조에서는 안테나의 driver 소자로 사용되는 다이폴의 절반을 각각 기판 앞, 뒷면에 배치하여 설계하였다. 기판 앞면에 배치된 driver에는 microstrip 선로를 연결하였

아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

*홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronics and Electrical Engineering, Hongik University)

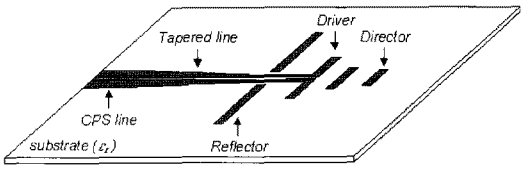
· 논 문 번 호 : 20090327-034

· 수정완료일자 : 2009년 6월 25일

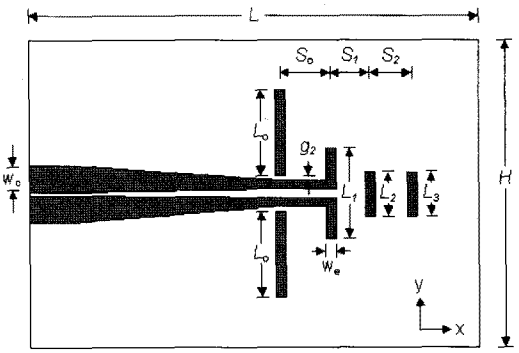
고, 뒷면의 driver에는 접지면을 연결하여 급전한 구조이다. 상기 급전 구조를 가지는 Yagi-Uda 안테나들은 광대역 특성을 가지며, 크기가 작아서 시스템에 소형화가 가능한 장점이 있다. 그러나 접지면을 안테나의 reflector로 사용하기 때문에 reflector의 최적화가 이루어지지 않게 되어서 안테나의 복사 특성이 저하되는 단점이 있다. 또한, microstrip 선로로 급전되는 Yagi-Uda 안테나는 기판 양면 모두를 에칭하여야 되기 때문에 정확한 제작이 어려운 문제도 있다. 본 논문에서는 CPS 급전 방식의 광대역 Yagi-Uda 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 CPS 급전 선로를 사용하여 MS-CPS, CPW-CPS 전이 구조를 사용한 안테나들에 비하여 간단한 급전 구조를 구현하였다. 이 구조의 안테나는 기판에 접지면이 필요 없기 때문에 기존의 전이 구조를 사용하여 설계한 안테나들에 비하여 reflector의 설계를 자유롭게 할 수 있다. 그러나 CPS 선로는 microstrip 선로나 CPW에 비하여 높은 선로 임피던스를 가지기 때문에 50 Ω 정합된 선로를 설계하기가 어려운 문제가 있다. 따라서 안테나 설계 시 최적화된 reflector와 급전 선로 구조를 고려하여야 한다. 제안한 안테나 구조에서는 CPS 급전 선로 양쪽에 reflector를 배치하여 후방 복사되는 전자기파를 효과적으로 반사할 수 있게 하였고, 50 Ω 정합된 선로를 설계하기 위하여 선폭이 두꺼운 선로와 선폭이 얇은 선로 사이에 테이퍼된 선로를 삽입하여 안테나를 최적화하였다.

Ⅱ. 안테나 구조 및 특성

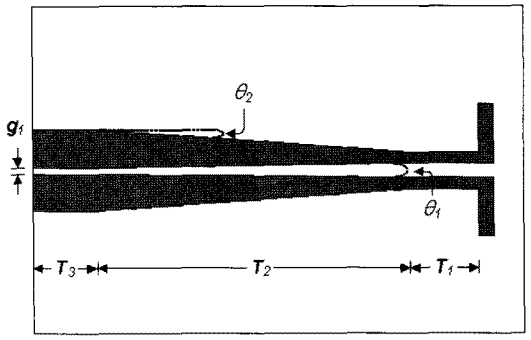
그림 1에는 제안한 Yagi-Uda 안테나의 구조를 나타내었다. 안테나는 급전 소자인 driver와 기생 소자인 reflector와 director, 그리고 급전 선로인 CPS 선로로 구성되어 있다. Driver의 길이는 L_1이고, driver 양단에는 CPS 선로를 연결하여 급전하였다. 50 Ω 정합된 CPS 선로의 선폭은 driver의 선폭에 비하여 두꺼워서 driver에 그대로 연결하면 Yagi-Uda 안테나의 driver가 정상적으로 동작하지 않는다. 따라서 선폭이 두꺼운 선로와 선폭이 좁은 선로 사이에 선형 테이퍼된 선로를 삽입하여 driver에 연결된 급전 선로의 선폭을 줄였다. CPS 급전 선로에서 선폭이 얇은 선로의 길이는 T_1이고, 테이퍼된 선로의 길이는 T_2이며, 선폭이 두꺼운 선로의 길이는 T_3이다. CPS 선로 안쪽은 θ_1만큼 테이퍼링 하였고, 선로 바깥쪽은 θ_2만큼 테이퍼링 하였다. 정합된 CPS 선로 사이 간격은 g_1이고, 선폭은 w_c이다. Driver의 왼쪽에는 reflector를 배치하였고, reflector의 길이는 L_0이다. Driver와 reflector 사이 간격은 S_0이고, CPS 선로와 reflector 사이의 간격은 g_2이다. Driver 오른쪽에는 두 개의 director를 배치하였고, 첫 번째 director와 두 번째 director의 길이는 각각 L_2, L_3이다. Driver와 첫 번째 director 사이 간격은 S_1이고, 첫 번째 director와 두 번째 di-



(a) 입체도
(a) 3-dimensional view



(b) 정면도
(b) Top view



(c) CPS 급전 선로
(c) CPS feedline

그림 1. 안테나 구조
Fig. 1. Antenna structure.

rector 사이 간격은 S_2이다. 제안한 Yagi-Uda 안테나의 driver와 reflector 그리고 director의 선폭은 모두 w_e이다.

제안한 안테나는 CST사의 3D EM simulator인 Microwave Studio(MWS)를 사용하여 설계하였다. 안테나의 기판으로는 Rogers사의 RT-Duroid 6010(비유전율 10.2, 두께 0.635 mm)을 사용하였고, 기판 전체의 면적은 83×60 mm^{2}이다. 먼저, 50 Ω 정합된 선로를 설계하기 위하여 CPS 선로의 특성 임피던스를 계산하였다. CPS 선로의 초기 설계 변수는 아래의 근사식을 사용하여 계산하였고[15], MWS를 사용하여 최적화하였다.

$$Z_{cps} = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \frac{K(k)}{K(k')} \tag{1}$$

$$\frac{K(k)}{K(k')} = \begin{cases} \left[\frac{1}{\pi} ln(2\frac{1+\sqrt{k'}}{1-\sqrt{k'}}) \right]^{-1} & for \quad 0 \le k \le 0.7 \\ \frac{1}{\pi} ln(2\frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}}) & for \quad 0.7 \le k \le 1 \end{cases} \tag{2}$$

$$k = \frac{s}{s+2w} \quad , \quad k' = \sqrt{1-k^2} \tag{3}$$

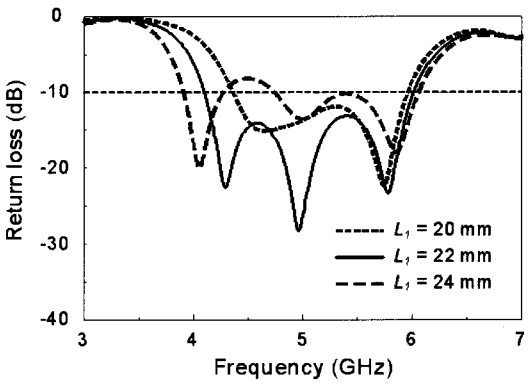
식 (1)에서 Z_{cps}는 CPS 선로의 특성 임피던스이고, s는 CPS 선로 사이 간격이며, w는 CPS 선로의 선폭이다. 기판의 유효 유전율(ε_{eff})은 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\varepsilon_{eff} = 1 + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \frac{K(k')K(k_1)}{K(k)K(k'_1)} \tag{4}$$

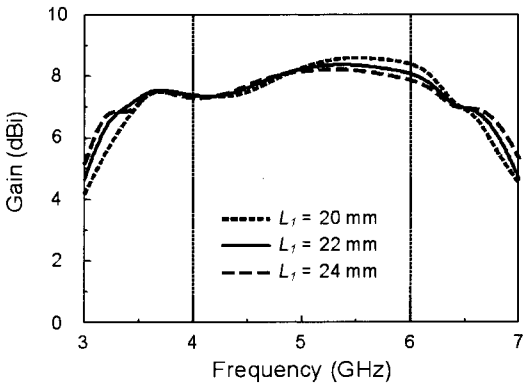
$$k_1 = \frac{sinh(\pi a / 2h)}{sinh(\pi b / 2h)} \tag{5}$$

$$a = \frac{s}{2} \quad , \quad b = \frac{s}{2} + w \tag{6}$$

식 (4)와 식 (5)에서 ε_r은 기판의 비유전율이고, h는 기판의 두께이다. 다음은 주요 설계 변수들의 변화에 따른 안테나의 반사 손실과 이득 특성을 살펴보았다. 안테나의 이득은 안테나가 비교적 정합이 잘 되는 4~6 GHz 사이에서의 특성을 확인하였다. 그림 2에는 driver의 길이에 따른 안테나의 특성을



(a) 반사 손실
(a) Return loss

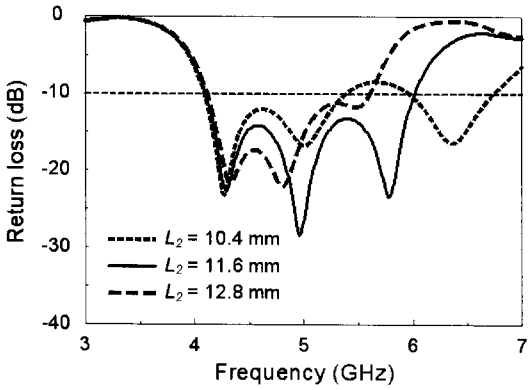


(b) 이득
(b) Gain

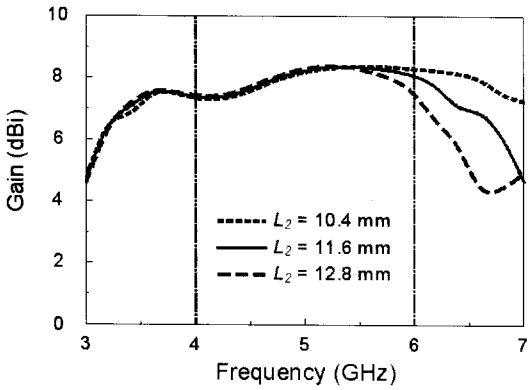
그림 2. Driver의 길이에 따른 안테나의 특성
Fig. 2. Characteristic of antenna with respect to the length of the driver.

나타내었다. Driver의 길이를 20 mm에서 24 mm까지 2 mm 간격으로 늘렸을 때 저주파 영역에서 대역폭의 변화가 많이 나타나는 것을 알 수 있다. Driver 길이의 증가에 따라서 안테나의 이득은 저주파 영역에서 증가하고 고주파 영역에서는 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 3에는 첫 번째 director의 길이에 따른 안테나의 특성을 나타내었다. 첫 번째 director의 길이를 10.4 mm에서 12.8 mm까지 1.2 mm 간격으로 증가하였을 때 고주파 영역에서 반사 손실의 변화가 커지고, 안테나의 이득이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 저주파 영역에서의 반사 손실과 이득 특성에는 거의 변화가 없다. 따라서 첫 번째 director의 길이는 고주파 영역에서의 안테나 특성에 영향을 준다는

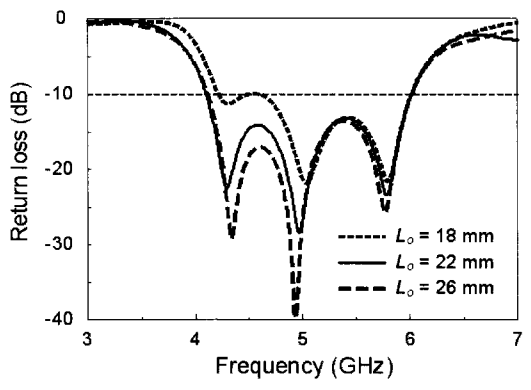


(a) 반사 손실
(a) Return loss

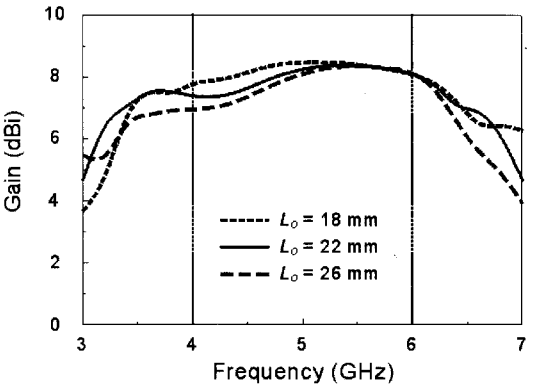


(b) 이득
(b) Gain

그림 3. 첫 번째 director의 길이에 따른 안테나의 특성
Fig. 3. Characteristic of antenna with respect to the length of the first director.



(a) 반사 손실
(a) Return loss



(b) 이득
(b) Gain

그림 4. Reflector의 길이에 따른 안테나의 특성
Fig. 4. Characteristic of antenna with respect to the length of the reflector.

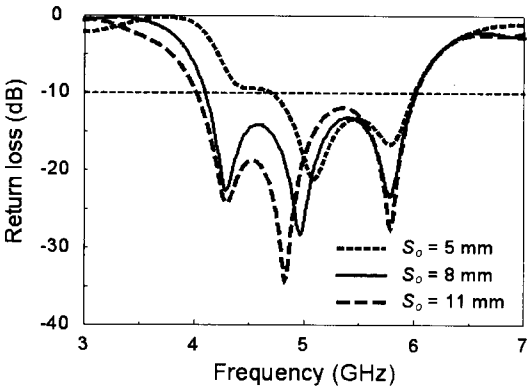
것을 알 수 있다.

그림 4에는 reflector의 길이에 따른 안테나의 특성을 나타내었다. Reflector의 길이를 18 mm에서 22 mm까지 2 mm 간격으로 증가하였을 때 저주파 영역에서의 반사 손실 특성이 개선되고 이득이 감소하나, 고주파 영역에서의 반사 손실과 이득 특성은 변화가 적은 것을 확인할 수 있다. 따라서 reflector의 길이는 저주파 영역에서 안테나의 특성에 더 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

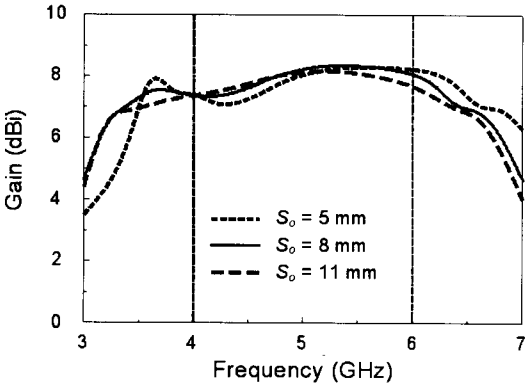
그림 5에는 driver와 reflector 사이 간격에 따른 안테나의 특성을 나타내었다. Driver와 reflector 사이 간격이 5 mm에서 11 mm까지 3 mm 간격으로 증가함에 따라서 저주파 영역에서의 반사 손실 특성에 많은 영향을 주는 것을 확인할 수 있다. 이는 reflector의 길이에 따른 안테나의 특성 변화와 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 안테나의 이득은 저주파 영역에서 증가하고, 고주파 영역에서는 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 6에는 CPS 선로 사이의 테이퍼된 각도(θ_1)에 따른 안테나의 특성을 나타내었다. CPS 선로 바깥쪽에 테이퍼된 각도 θ_2는 4°로 고정시키고, 선로 안쪽의 테이퍼된 각도 θ_1을 0°에서 2°까지 변화하였다. 각도를 1°로 증가시켰을 때 반사 손실 특성이 개선되었고, 2° 이상 증가하였을 때는 반사 손실 특성이 저하되는 것을 확인할 수 있다. 안테나의 이득은 테이퍼된 각도의 증가에 따라서 저주파 영역에서 감소하였고, 고주파 영역에서는 증가하였다.

표 1에는 앞서 수행한 설계 변수별 특성을 바탕으



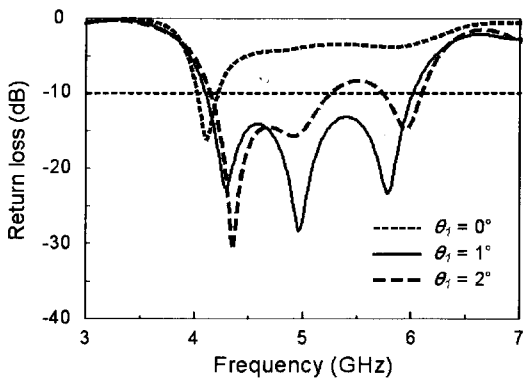
(a) 반사 손실
(a) Return loss



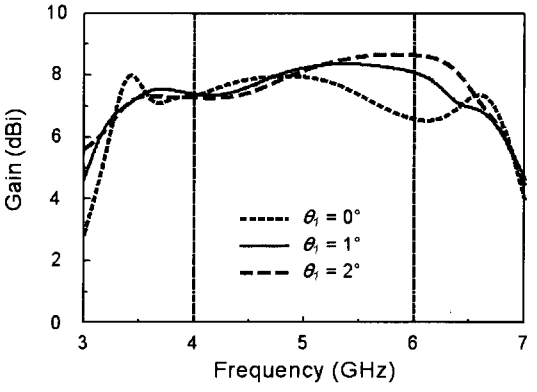
(b) 이득
(b) Gain

그림 5. Driver와 reflector 사이 간격에 따른 안테나의 특성

Fig. 5. Characteristic of antenna with respect to the distance between driver and reflector.



(a) 반사 손실
(a) Return loss



(b) 이득
(b) Gain

그림 6. 테이퍼된 각도(θ_1)에 따른 안테나의 특성

Fig. 6. Characteristic of antenna with respect to the tapered angle(θ_1).

표 1. 최적화된 안테나의 설계 변수

Table 1. The design parameter of the optimized antenna.

설계 변수	설계 값(mm)	설계 변수	설계 값 (mm)
L_o	22	T_1	10
L_1	22	T_2	29
L_2	11.6	T_3	8
L_3	8	w_e	2
S_o	8	w_c	4
S_1	2	g_1	0.13
S_2	5	g_2	1

로 최적화한 안테나의 설계 값들을 나타내었고 CPS 정합 선로의 테이퍼된 각도인 θ_1=1°이고, θ_2=4°이다. 그림 7에는 표 1의 설계 값을 이용하여 제작한 안테나의 사진을 나타내었고, 제작된 안테나의 반사손실은 Agilent사의 network analyzer N5230A를 사용하

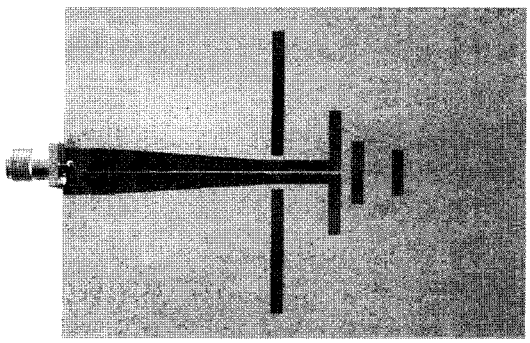


그림 7. 제작된 Yagi-Uda 안테나

Fig. 7. Photograph of the fabricated Yagi-Uda antenna.

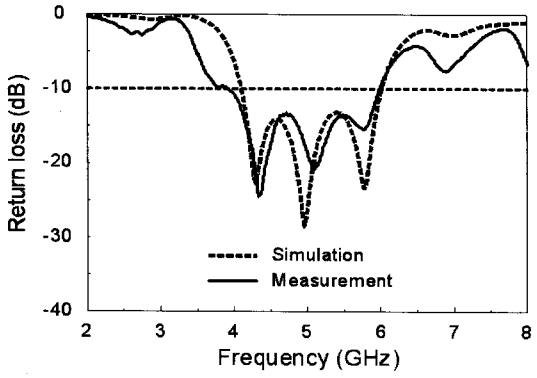
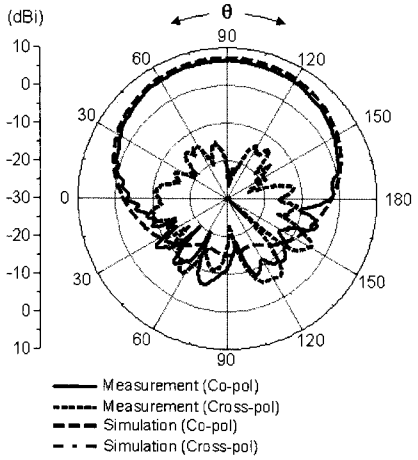
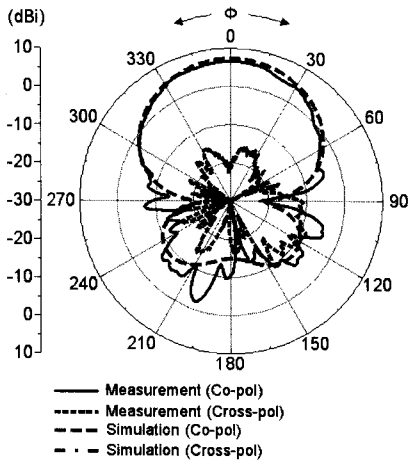


그림 8. 최적화된 안테나의 반사 손실
Fig. 8. Return loss of the optimized antenna.

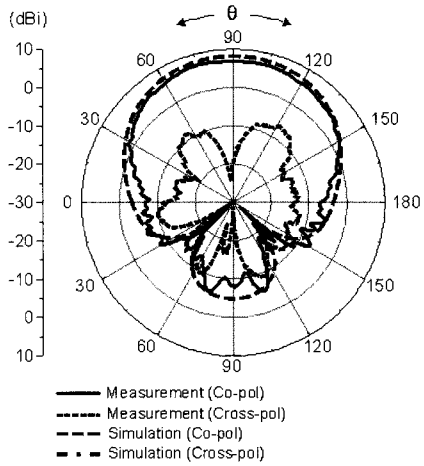


(a) x-z 평면
(a) x-z plane

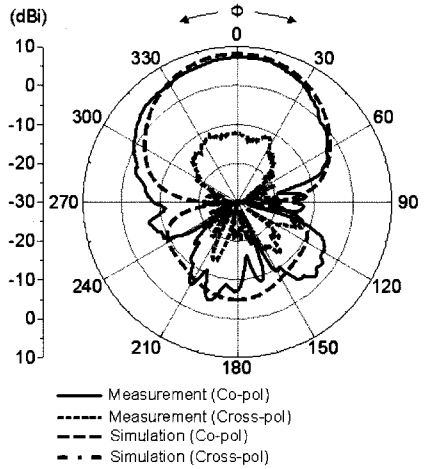


(b) x-y 평면
(b) x-y plane

그림 9. 4.1 GHz에서의 복사 패턴
Fig. 9. Radiation patterns at 4.1 GHz.



(a) x-z 평면
(a) x-z plane



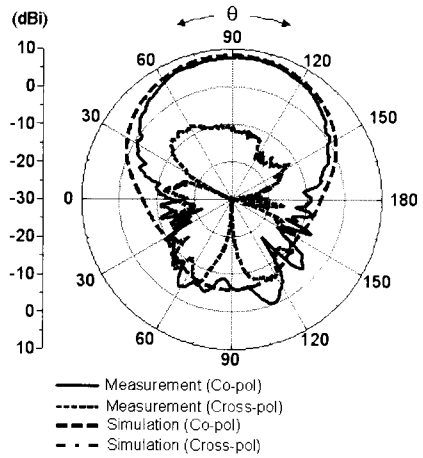
(b) x-y 평면
(b) x-y plane

그림 10. 4.9 GHz에서의 복사 패턴
Fig. 10. Radiation patterns at 4.9 GHz.

여 측정하였다.

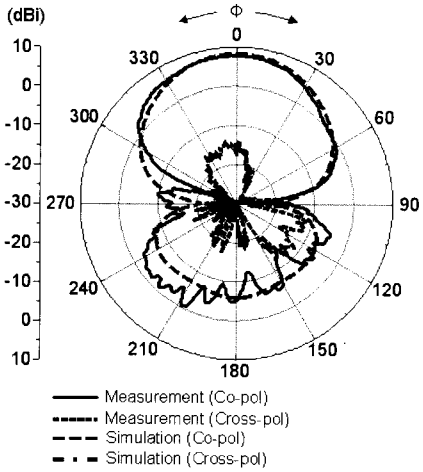
그림 8에는 제작된 안테나의 시뮬레이션한 반사 손실과 측정한 반사 손실 특성을 나타내었다. 시뮬레이션한 안테나의 반사 손실은 4.1~6.0 GHz의 대역폭을 가지고, 측정한 안테나의 반사 손실은 3.9~5.9 GHz의 대역폭을 가진다.

그림 9에서 그림 11까지는 제작된 안테나를 4.1 GHz, 4.9 GHz, 5.7 GHz에서 측정한 복사 패턴을 나타내었다. 4.1 GHz에서 안테나의 이득은 6.5 dBi이고, 반전력 빔폭은 x-z 평면에서 112.7°, x-y 평면에서 70°이다. 4.9 GHz에서 안테나의 이득은 7.4 dBi이고,



(a) x-z 평면

(a) x-z plane



(b) x-y 평면

(b) x-y plane

그림 11. 5.7 GHz에서의 복사 패턴

Fig. 11. Radiation patterns at 5.7 GHz.

반전력 빔폭은 x-z 평면에서 98°, x-y 평면에서 73°이다. 5.7 GHz에서는 7.8 dBi의 이득을 가지며, 반전력 빔폭은 x-z 평면에서 74.4°, x-y 평면에서 70.3°이다.

그림 12에는 최적화된 안테나의 주파수에 따른 이득 특성을 나타내었다. 제안한 Yagi-Uda 안테나는 대역폭 내에서 6.5~8 dBi 정도의 이득을 가지며, 기존에 설계된 Yagi-Uda 안테나들에 비하여 적은 이득 변화량을 가진다. 따라서 제안한 안테나는 광대역 무선 통신 시스템에서 주파수에 따른 송수신 전력의 편차를 보다 줄일 수 있기 때문에 신호를 안정적으로 주고 받을 수 있다.

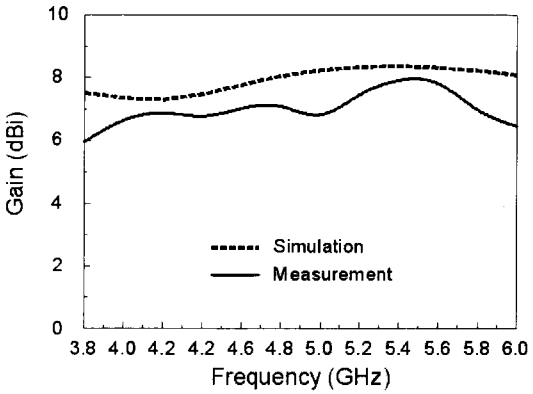


그림 12. 최적화된 안테나의 이득

Fig. 12. Gain of the optimized antenna.

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 CPS 선로로 급전되는 광대역 Yagi-Uda 안테나를 설계하였다. 제안한 안테나는 기존의 MS-CPS와 CPW-CPS 전이 구조를 삽입한 Yagi-Uda 안테나에 비하여 간단한 급전 구조를 가지며, 기판에 접지면이 필요 없기 때문에 reflector의 설계를 자유로이 할 수 있다. 제안한 안테나 구조에서는 CPS 선로 양쪽에 reflector를 배치하여 효과적인 전자기파의 반사가 이루어지도록 하였다. 그리고 선폭이 두꺼운 선로와 선폭이 얇은 선로 사이에 테이퍼된 선로를 삽입하여 최적화된 정합 선로를 설계하였다. 제안한 Yagi-Uda 안테나는 −10 dB 반사 손실을 기준으로 3.9~5.9 GHz의 대역폭을 가지고, 대역폭 내에서 6.5~8 dBi의 이득을 가진다. 중심 주파수에서 이득은 7.4 dBi이고, 반전력 빔폭은 x-z 평면에서 98°, x-y 평면에서 73°이다.

참 고 문 헌

[1] W. Deal, N. Kaneda, J. Sor, Y. Qian, and T. Itoh, "A new quasi-Yagi antenna for planar active antenna arrays", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, no. 6, pp. 910-918, 2000.

[2] Y. Qian, R. Deal, N. Kaneda, and T. Itoh, "A uniplanar quasi-Yagi antenna with wide bandwidth and low mutual coupling characteristics", *IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 924-927, 1999.

[3] W. Deal, J. Sor, Y. Qian, and T. Itoh, "A broadband uniplanar quasi-Yagi active array for power combining", *IEEE Radio and Wireless Conference, RAWCON*, pp. 231-234, 1999.

[4] Y. Qian, W. Deal, N. Kaneda, and T. Itoh, "Microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics", *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 23, pp. 2194-2196, 1998.

[5] N. Kaneda, W. Deal, Y. Qian, R. Waterhouse, and T. Itoh, "A broadband planar quasi-Yagi antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 50, no. 8, pp. 1158-1160, 2002.

[6] E. Avila-Navarro, A. Segarra-Martinez, J. Carrasco, and C. Reig, "A low-cost compact uniplanar quasi-Yagi printed antenna", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 50, no. 3, pp. 731-735, 2008.

[7] D. Woo, Y. Kim, K. Kim, and Y. Cho, "Design of quasi-Yagi antennas using an ultra-wideband balun", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 50, no. 8, pp. 2068-2071, 2008.

[8] N. Kaneda, Y. Qian, and T. Itoh, "A novel Yagi-Uda dipole array fed by a microstrip to CPS transition", *Asia Pacific Microwave Conf. Dig.*, pp. 1413-1416, 1998.

[9] Y. Qian, T. Itoh, "Active integrated antennas using planar quasi-Yagi radiators", *Int. Conf. On Microwave and Millimeter Wave Technology*, pp. 1-4, 2000.

[10] H. Song, M. Bialkowski, "Investigations into the operation of a microstrip-fed uniplanar quasi-Yagi antenna", *IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, vol. 3, pp. 1436-1439, 2000.

[11] C. Ha, Y. Qian, and T. Itoh, "A modified quasi-Yagi planar antenna with wideband characteristics in C-band", *IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, vol. 3, pp. 154-157, 2001.

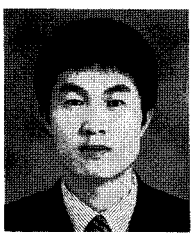
[12] H. Kan, R. Waterhouse, A. Abbosh, and M. Bialkowski, "Simple broadband planar CPW-Fed quasi-Yagi antenna", *IEEE Ant. Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 18-20, 2007.

[13] G. Zheng, A. Kishk, A. Glisson, and A. Yakovlev, "Simplified feed for modified printed Yagi antenna", *Electron. Lett.*, vol. 40, no. 8, pp. 464-466, 2004.

[14] S. Chen, P. Hsu, "Broadband microstrip-fed modified quasi-Yagi antenna", *Wireless Communications and Applied Computational Electromagnetics*, pp. 208-211, 2005.

[15] K. Gupta, R. Garg, I. Bahl, and P. Bhartia, *Microstrip Lines and Slotlines*, 2nd Ed., Artech House, pp. 375-411, 1996.

한 경 호



2006년 8월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
2009년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
2009년 4월~현재: Partron 안테나 개발팀
[주 관심분야] 안테나 설계

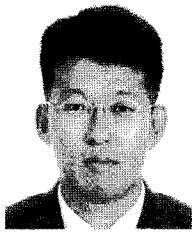
박 용 배

1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2003년 2월~2006년 8월: KT 인프라연구소 선임연구원
2006년 9월~현재: 아주대학교 전자공학부 조교수
[주 관심분야] 전자장 해석, 전자파 산란, EMI/EMC

추 호 성

1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 8월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
2003년 5월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)
2003년 6월~2003년 8월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)
2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 테그 및 리더 안테나

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 (공학사)
1989년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
1994년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
1994년~1996년: LG전자기술원
1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수
[주 관심분야] 초고주파 및 테라헤르츠파 수동소자 (안테나 포함) 설계 및 해석