

CPW-fed to CPS 전이 급전에 의한 이중 테이퍼드 발룬을 포함한 평판형 Yagi-Uda 다이폴 안테나 설계

A Planar Yagi-Uda Dipole Antenna with Dual Tapered Balun by CPW-fed to CPS

이 현 진* · 김 태 홍[†]
(Hyeonjin Lee · Tea-Hong Kim)

Abstract - In this paper, we proposed a broadband planar Yagi-Uda dipole antenna with dual tapered balance and unbalance (balun) by CPW-fed to CPS. This antenna consisted of driver, three directors, dual tapered balun and CPS-fed to CPS. The fed structure of CPW-fed to CPS had a benefit points much simpler than other planar Yagi-Uda antennas and provided design more flexibility in arranging the reflector. The proposed antenna is introduced dual tapered balun to improve the impedance matching. It balun is inserted between the CPW-ground and the CPS. The proposed antenna is exhibited the bandwidth of 4.78 GHz (1.94~6.72 GHz) ($S_{11} < -10$ dB) and the gain of 4.9~7.2 dBi within that bandwidth. This antenna will applicate wireless communication.

Key Words : Broadband antenna, CPW-fed to CPs trasion, Dipole antenna, Tapered balun

1. 서 론

최근 이동통신 서비스의 급속한 발전으로 그 적용 범위가 확장됨에 따라 무선 통신의 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 이 때문에 단말기의 소형화에 의한 안테나의 소형 경량화는 더욱 필요충분적인 사항이 되었다. 일반적인 무선 통신용 안테나는 전 방향성의 넓은 빔폭을 가지는 방사특성을 보여야한다. 넓은 빔폭의 전 방향성 특성을 가지는 대표적인 안테나로는 마이크로스트립 패치 안테나가 있지만, 구조의 특성상 광대역 구현이 어려운 문제점이 있다[1]. 광대역의 전방향성 안테나를 얻기 위해 무지향성의 다이폴안테나에 평면 반사판을 적용해 방향성 다이폴안테나를 설계하였다. 다이폴안테나는 공진 점에서의 임피던스가 정규화 값 50 Ω과 정합하기가 용이하기 때문에 마이크로스트립 패치 안테나보다 넓은 대역폭을 가진다[2],[3]. 공진형 안테나는 그 크기가 성능과 밀접한 관계를 가지기 때문에 소형화에 한계를 가진다. 그리하여 소형화가 요구되는 안테나 설계를 할 경우 안테나의 크기가 작아지면서 방사특성이 저하되는 상반된 관계를 확인하고, 이를 유념 해설계해야 할 필요가 있다. 평면형 Yagi-Uda 안테나는 대역폭이 넓고, 설계가 간단하고 제작비가 저렴한 장점이 있어서 최근에 많이 연구되고 있다. MS-CPS 전이 구조를 사용한 quasi-Yagi 안테나

는 가장 일반적으로 사용되고 있는 평면형 Yagi-Uda 안테나 구조이다[4]~[10]. 이 구조의 안테나는 평면형 Yagi-Uda 안테나의 급전선로인 CPS 선로에 발룬을 설치하였고, 마이크로스트립 선로에 신호를 여기하여 안테나가 동작하도록 설계하였다. 두 번째 급전 구조로는 CPW-CPS 전이 구조를 사용하여 급전하는 방법의 Yagi-Uda 안테나가 있다[11]. 이 구조의 안테나는 발룬을 사용하지 않고 안테나의 CPW의 급전선로를 사용하여 CPS 전이 구조의 안테나에 비하여 보다 간단한 급전구조를 가진다[12]. 세 번째 급전 구조로는 전이 구조를 사용하지 않고 마이크로스트립 선로로 급전하는 Yagi-Uda 안테나가 있다[13]. 이 구조에서는 안테나의 드라이브(driver) 소자로 사용되는 다이폴의 팔(arm)을 각각 기판 앞, 뒷면에 배치하여 설계하였다. 상기 급전구조를 가지는 평면형 Yagi-Uda 안테나들은 광대역특성을 가지며, 크기가 작아서 시스템의 소형화가 가능한 장점이 있으나, 접지면을 안테나의 반사기(reflector)로 사용하기 때문에 반사기의 최적화가 이루어지지 않게 되어서 안테나의 복사특성이 저하되는 단점이 있다[14]. 또한 마이크로스트립 선로로 급전되는 평면형 Yagi-Uda 안테나는 기판 양면 모두를 에칭(etching) 하므로 제작상의 어려운 문제가 있다. 본 논문에서는 이중 테이퍼드 발룬과 CPW-CPS 전이 급전 구조를 이용 하였다. 이 구조의 안테나는 기판에 접지면이 필요 없기 때문에 기존의 전이구조를 사용하여 설계한 안테나들에 비하여 반사기의 설계를 용이하게 할 수 있다.

본 논문에서는 CPW 와 CPS 선로의 정합을 위하여 이중 테이퍼 발룬을 제안하여 두 비대칭 선로 에서 나타나는 부정합을 정합하고자 하였다. 또한 안테나의 공진 특성에서 기본공진 즉 제일 공진에서 정규화 값인 50 Ω의 임피던스를 얻고자 하였다. 일반적으로 동작 파장에 비하여 월등히 방사체가 작은 소형 안테나에서는 제 1, 제 3 공진에서 정규

* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Dongkang College, Korea

[†] Corresponding Author : Dept. of Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology, Korea

E-mail : kthfrog@naver.com

접수일자 : 2015년 6월 29일

수정일자 : 2015년 7월 25일

최종완료 : 2015년 8월 17일

화 값의 임피던스가 나타나는 경우가 일반적이다. 또한 기판에 접지 면이 따로 필요 없기 때문에 반사기의 다시 설계하여야 하나 본 연구에서는 이중의 테이퍼드 발룬이 반사기의 역할을 하여 효과적인 전자기파의 반사가 이루어지도록 하였다.

2. 소형 안테나 특성

동작 주파수에서 길이가 파장보다 작은 안테나를 전기적 소형 안테나(electrically small antenna)라 한다. 파장에 비하여 짧은 정도는 적용 대상에 따라서 결정되지만 일반적으로 1/10 이하 길이를 말한다. 소형 다이폴 안테나에서 전기적인 크기와 물리적인 크기는 매우 다를 수 있다. 저주파에서 동작하는 안테나는 물리적으로는 크지만 전기적으로는 작다. 전기적인 소형 안테나는 효율이 낮은 편이나 수신시스템에서는 대체적으로 큰 문제가 되지 않으며 물리적인 소형 안테나는 크기, 무게, 비용 그리고 휴대할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 일반적인 전기적 소형 안테나는 중앙에 급전 점을 갖은 도선으로 된 단형 다이폴이다. 단형 다이폴의 전류분포는 근사적으로 정현파형이며 다이폴 팔의 양 종단의 전류 값이 0이 되고 가운데에서 최대가 되는 삼각형 형태를 하고 있다. 단형다이폴의 팔의 길이는 한 파장보다 매우 짧으므로 정현파 전류 일부만이 팔에 나타나며 그 형태는 거의 선형이다. 입력전류는 시간에 따라서 정현적으로 변하므로 다이폴의 전류와 전하 분포도 동일하게 변한다. 이와 같은 전하의 축적은 다이폴 주변 공간에 변위 전류밀도 $j\omega E$ 를 유도하고 이어서 변위전류는 전원에서 외부로 전파하는 전자파를 발생시키게 된다. 도선 전류가 회로의 집중회로 소자 사이를 결합시켜 주는 것처럼 변위전류는 공간에서 송신 안테나를 수신 안테나와 결합시켜주는 역할을 한다. 단형다이폴의 입력 임피던스는 용량성이다. 안테나의 종단에서 급전 점까지의 거리가 $\lambda/4$ 보다 짧을 때는 입력 임피던스가 용량성이 된다. 이것은 전송선로 이론에 의하여 종단에서의 거리 S 인 곳의 임피던스는 $-jZ_0 \cot(\beta s)$ 가 되기 때문이다. 단형다이폴안테나의 리액턴스 근사식은 다음 식 (1)과 같다.

$$X_A = -\frac{120}{\pi} \frac{\Delta z}{\lambda} \left[\ln\left(\frac{\Delta z}{2a}\right) - 1 \right] \Omega \quad (1)$$

(여기서, X_A 는 입력 임피던스, Δz 는 다이폴의 길이, a 는 도선의 반지름 이다.) 단형 다이폴의 전체 임피던스는 $R_r + R_{ohmic} + jX_A$ 이다 (R_r 방사 저항, R_{ohmic} 손실 저항을 나타낸다).

그림 1은 본 논문에서 제안한 안테나구조 이다. 이는 여기 신호가 CPW 선로에 여기 되어서 CPS선로 전이되는 CPW to CPS 급전 구조이다.

3. 안테나 구조 및 특성

본 연구에서 제안한 이중 테이퍼드 발룬이 CPW 접지면과 CPS 선로의 전이되는 곳에 위치하여서 불균형 선로에서 균형 선로로 전이되는 과정의 임피던스 부정합을 최소화하고자 하였다. 드라이브의 길이 D, D_1, D_2, D_3의 지향기

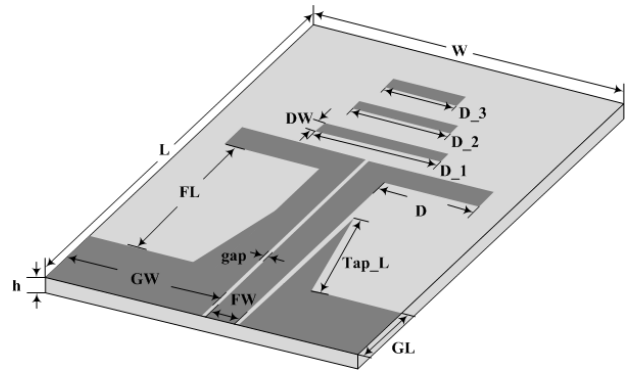


그림 1 본 논문에서 제안한 안테나의 구조

Fig. 1 Geometry of proposed antenna

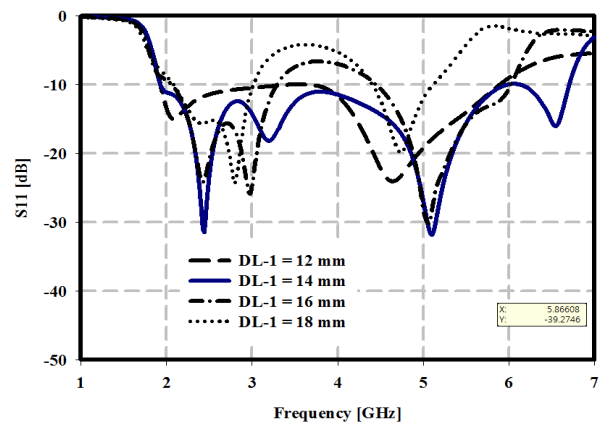


그림 2 안테나 드라이브의 길이(DL-1) 변화에 따른 반사계수
Fig. 2 Return loss of proposed antenna against variation length of driver

및 테이퍼드 발룬의 높이 Tap_L 등으로 설계된 안테나 구조이다. 그림 2는 안테나 드라이브의 길이를 변화하여 주파수 대역을 최적화 하였다. 오늘날 안테나의 소형화에 따라 안테나 동작 주파수에 비하여 매우 짧은 파장의 다이폴안테나를 설계하여야 하는 까닭에 소형 안테나에서 드라이브 파장 길이 변화는 안테나 특성에 매우 민감한 변화 특성을 나타낸다. 본 논문에서는 드라이브 길이를 12에서부터 18 mm까지 2 mm의 간격으로 변화를 주어 최적을 찾아가 하였다. 여기서 18 mm 일 때 최적 값을 얻었으며 이는 진공중의 동작 파장의 $0.26 \lambda_0$ 의 길이 이다. 즉, 이는 $\lambda_0/4$ 다이폴 안테나의 파장의 길이에 근접하고 있어서 $\lambda_0/4$ 파장 다이폴 안테나로 동작함을 확인할 수 있다. 그림 3은 제안된 안테나의 다이폴 팔의 폭을 변화시켰을 때의 반사계수를 나타낸 그림이다. 그림 3은 팔 (arm)의 폭이 증가 할 때 이차 공진에서의 주파수가 낮은 쪽으로 이동되고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 급전 선로와 다이폴의 팔 사이에서 정합정도에 따라서 임피던스 주파수가 변화하는 현상이다. 본 논문에서 제안한 다이폴 팔의 폭은 3.3에서 4.2 mm까지 0.3 mm 간격으로 변화를 주었다. 폭이 3.3 mm 일 때 가장 광대역의 공진주파수를 얻을 수 있었다. 여기서 CPS 선로의 폭은 3.9 mm로 고정하였다.

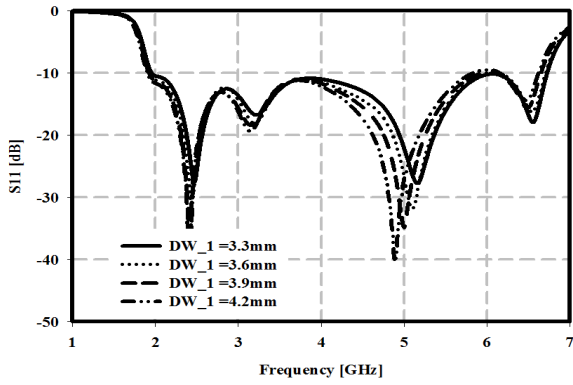


그림 3 안테나 드라이브의 폭 변화에 따른 반사계수
 Fig. 3 Return loss of proposed antenna against variation width of driver

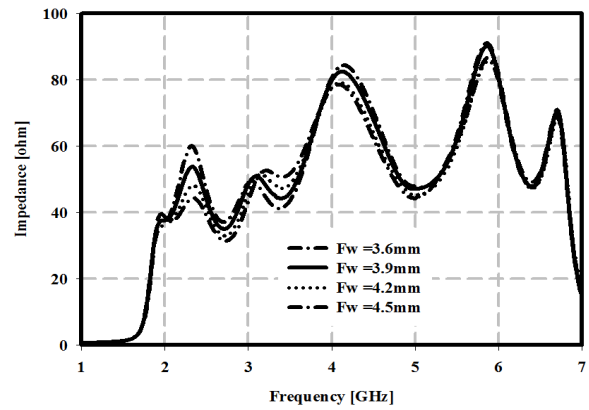


그림 5 제안된 안테나의 급전 선로(Fw)의 폭 변화에 따른 반사계수
 Fig. 5 Return loss of proposed antenna against variation width of Fw

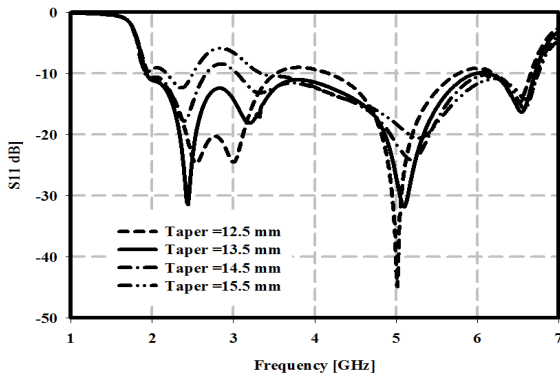


그림 4 제안된 안테나의 테이퍼 발룬의 높이 변화에 따른 반사계수
 Fig. 4 Return loss of proposed antenna against variation height of taper

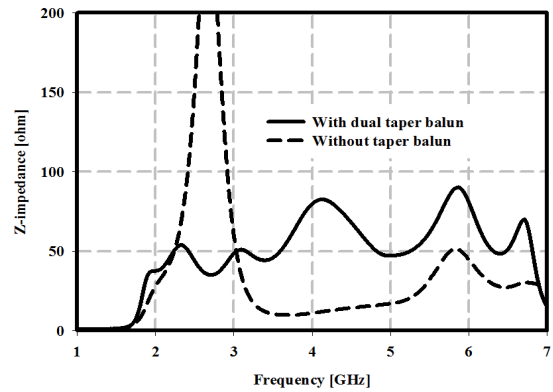


그림 6 테이퍼 발룬이 있는 때와 없을 경우의 임피던스를 비교
 Fig. 6 Compare tapered balun to without tapered balun of impedance

그림 4는 제안된 안테나의 테이퍼 발룬의 높이 변화에 따른 반사계수를 나타낸 그림이다. 그림 4는 발룬의 높이를 조절하여 급전선로인 CPW 선로와 다이폴에 신호를 전송하는 CPS 선로간의 불균형 선로 (CPW) 간에 임피던스 정합을 위하여 제안한 이중 테이퍼드 발룬으로 12.5에서 15.5 mm까지 1 mm 간격으로 높이를 변화하여 최적의 임피던스 정합을 찾아가 하였다. 여기서 높이가 13.5 mm일 때 가장 최적의 공진주파수를 얻을 수 있었다. 그림 5는 제안된 안테나의 급전 선로의 폭 변화에 따른 반사계수를 나타냈으며 드라이브 선로와 정합을 위하여 CPS 선로의 폭을 최적화 하였다. 선로의 폭 (Fw)를 3.6 에서 4.5 mm까지 1 mm의 간격으로 변화 시켰을 때 반사계수 변화를 나타내었다. 여기서 3.9 mm일 때 최적의 특성을 얻을 수 있었다. 그림 6과 7에서 본 연구에서 제안한 CPW to CPS 선로의 불균형 급전 선로의 임피던스의 정합을 위하여 테이퍼드 발룬을 제안한 경우와 일반적인 발룬이 없는 평면형 Yagi-Uda 안테나의 임피던스와 반사 계수를 비교한 그림으로 테이퍼드 발룬이 없는 일반 안테나의 경우의 기본공진에서 임피던스는 300 옴의 값을 나타내고 제안한 테이퍼가 있는 안테나의 경우는 정규화 임피던스 50 옴 값을 나타내고 있음을 확인할

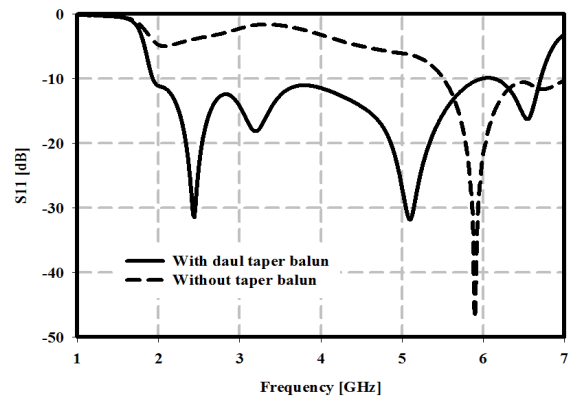


그림 7 테이퍼 발룬이 있는 때와 없을 경우의 반사계수를 비교
 Fig. 7 Compare width return loss taper balun and without taper balun

수 있다. 그림 7의 반사계수의 -10 dB을 기준으로 할 때 낮은 주파수 대역에서 기본공진이 일반 소형 안테나의 경우 매우 미약 공진특성 (점선), 제안한 안테나는 충분한 광대역의 공진 (실선)을 보여주고 있다.

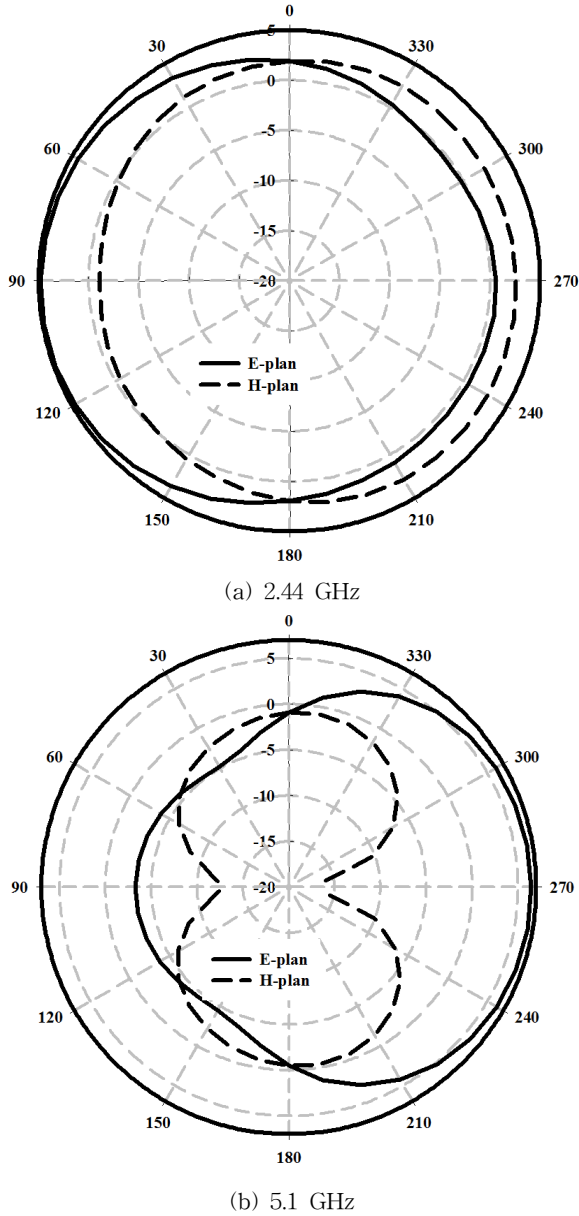


그림 8 제안한 안테나의 2.44 와 5.1 GHz 에서의 방사 패턴
Fig. 8 Radiation pattern of proposed antenna at 2.44 and 5.1 GHz

그림 8은 설계된 안테나의 시뮬레이션 방사 패턴이다. 2.44 GHz의 주파수 대역에서의 방사 패턴은 모노폴 안테나의 특성을 나타내고 있으며 5.1 GHz에서는 제 2(2nd) 공진에 의한 방사 패턴으로 다이폴 안테나의 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 그림 9는 제안한 안테나의 측정 및 시뮬레이션 반사계수로서 측정값과 시뮬레이션 값이 1.94~6.72 GHz의 대역에서 매우 근사한 결과를 보였으며, 제안한 안테나는 초 광대역의 주파수 대역을 얻었다.

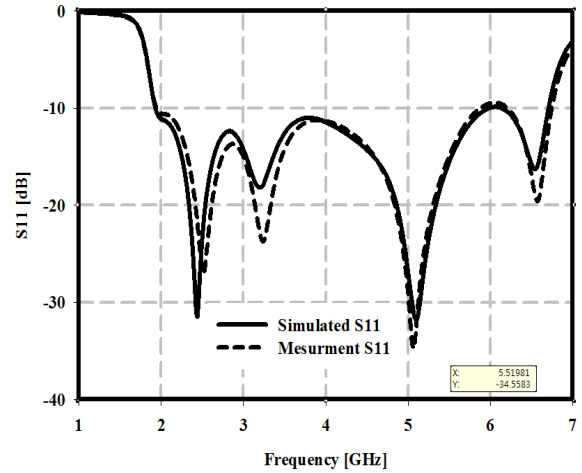


그림 9 제안한 안테나의 측정 및 시뮬레이션 반사계수
Fig. 9 Measured and simulated return loss of proposed antenna

4. 결 론

본 논문에서는 CPW to CPS 선로의 급전구조에 이중 테이퍼 발륜을 제안하여 광대역 동작주파수 대역을 얻었다. 제안한 안테나는 기존의 CPW to CPS 구조에 이중 테이퍼 발륜을 구성한 평면형 다이폴 안테나를 설계하여 제 1(1st) 공진에서 정규의 임피던스를 갖을 것을 확인 하였고 이는 높은 안테나 이득을 얻을 수 있다. 제안한 이중 테이퍼 발륜을 포함한 평면형 다이폴 안테나는 -10 dB 반사손실을 기준으로 4.78 GHz (1.94~6.72 GHz)의 주파수 대역폭을 얻었고, 2.44 GHz에서 4.8 dBi, 5.1 GHz에서 7.2 dBi 이득의 양호한 결과를 얻었다.

References

- [1] 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, 2002.
- [2] H.J Lee, "DESIGN OF A HALF-RING TYPE DIPOLE ANTENNA FOR WLAN COMMUNICATIONS," *MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS / Vol. 56, No. 8, August 2014.*
- [3] 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.
- [4] 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*, 1999.
- [5] Kyungho Han, Yongbae Park, Hosung Choo, Ikmo Park, "A Broadband CPS-Fed Yagi-Uda Antenna", *韓國電磁波學會論文誌 第20 卷 第7 號 2009年 7月.*
- [6] H.J Lee, "CPW-fed to CPS Dipole Antenna of

Microstrip Tapered Balun with Triangular Loop Director," J Electr Eng Technol Vol. 9, No. 4, Junly, 2014

- [7] N. Kaneda, Y. Qian and T. Itoh, "A broadband microstrip-to waveguide transition using quasi-Yagi antenna," IEEE Trans. Microwave Theory and Techs., vol. 47, n° 12, pp. 2562-2567, December 1999.
- [8] C. Y. Hang, W. R. Deal, Y. Qian and T. Itoh, "Push-pull power amplifier integrated with quasi-Yagi antenna for power combining and harmonic tuning", Microwave Symposium Digest. 2000 IEEE MTT-S International, vol. 1,2000.
- [9] 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, 2008.
- [10] 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, 2008.
- [11] 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., 1998.
- [12] H. Song, M. Bialkowski, "Investigations into the operation of a microstrip-fed uniplanar quasi-Yagi antenna", IEEE AP-S Int. Symp. Dig., vol. 3, 2000.
- [13] H. Kan, R. Waterhouse, A. Abbosh, and M. Bialkowski, "Simple broadband planar CPW-Fed quasi-Yagi antenna", IEEE Ant. Wireless Propag. Lett., vol. 6, 2007.
- [14] S. Chen, P. Hsu, "Broadband microstrip-fed modified quasi-Yagi antenna", Wireless Communications and Applied Computational Electromagnetics, 2005.
- [15] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, " Antenna theory and Design, " Second edition.

저 자 소 개



이 현 진 (李 玄 辰)

1996년 전남대학교 대학원 전기공학과 (공학박사), 1997년 펜실베이니아주립대학교 전기공학과 박사후 연구과정, 1991년 ~ 현재 동강대학교 전기전자과 교수.

E-mail : hyeonjin@dkc.ac.kr



김 태 홍 (金 兌 弘)

2005년 2월: 전남대학교 전자정보통신공학과(공학박사), 2002년 5월~2006년 2월: 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터 전문연구요원, 2006년 3월 ~ 2011년 2월: 충남대학교 전자파환경기술 연구센터 연구교수

2012년 4월 ~ 현재: 광주과학기술원 기전공학과 연구부교수

[주 관심분야] 전자파수치해석, RF시스템, 수동소자 설계,