

# 테이퍼드 발룬을 포함한 계단형의 다이폴 안테나 설계 및 구현

## A Step Type Dipole Antenna with Tapered Balun by CPW-fed to CPS

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

**Abstract** - In this paper, a step type driver dipole antenna with a tapered balance and unbalance (balun) by a coplanar waveguide (CPW) to coplanar strip (CPS) transition is proposed. The proposed antenna consisted of step type driver, a CPW to CPS transition and tapered balun. The proposed antenna is realized the multi and wide resonate frequency band to introduce the step type driver and tapered balun. The step type driver is acted as a director too. This antenna could be more easily designed than the conventional printed quasi-Yagi dipole antenna. The operating frequency bandwidth was 650 [MHz] (2.65~3.3 GHz), 900 [MHz] (4.7~5.6 GHz) under a return-loss criterion of less than 10 dB. The measurements of the proposed antenna exhibited good results in the wideband operating frequency and radiation pattern. The proposed antenna can support wireless communications applications.

**Key Words** : CPW-fed to CPS, Dipole antenna, Tapered balun

### 1. 서 론

오늘날 이동 통신은 시시각각으로 비약적인 발전을 하고 있다. 특히, RFID, WiFi (5 GHz 대역), PCS(1.8 GHz 대역) 그리고 블루투스(Blue tooth 2.4 GHz 대역) 등은 필수적인 휴대 단말기의 서비스 대역이다. 뿐만 아니라 시간이 지날수록 더욱 광범위한 통신 거리와 소형화된 단말기를 필요로 하고 있으며, 다양한 무선 통신 서비스를 제공하기 때문에 무선통신의 송수신 기기인 안테나 역시 다중 및 광대역 안테나가 요구되어진다. 이러한 광대역 안테나 설계 방법에는 안테나 구조를 변경 안테나의 임피던스를 제어하여 대역을 매칭 시키는 방법[1-3]과 안테나에 기생소자 또는 비아홀(via hole) 등 안테나의 구조를 변경하는 방법으로 다중 공진을 하게 함으로써 대역폭을 제어하는 방법[4, 5] 등 다양한 기술적 방법이 있다. 이 외에도 자성 유전 물질 (Magneto Dielectric Material)을 이용하여 안테나의 소형화 및 광대역 설계를 수행하고 있다[6-13]. 평면형 다이폴 안테나는 설계가 간단하고 제작비가 저렴한 장점이 있기 때문에 최근에 많은 연구가 되고 있다. Yagi-Uda 안테나는 각각 서로 다른 급전구조를 가지고 있으며, 일반적인 급전 방법은 Microstrip Coplanar Strip (MS-CPS), CPW-CPS) 전이(transition) 구조를 이용한 방법과 마이크로스트립 선로로 급전하는 방법

등이 있다. 먼저MS-CPS 전이 구조를 사용한 평면형 quasi-Yagi 안테나는 일반적으로 사용되고 있는 평면형 Yagi-Uda 안테나구조이다[4-11]. 이 구조의 안테나는 평면형 Yagi-Uda 안테나의 기본급전선로인 CPS 선로에 여러 형태의 발룬(balun)을 연결하였고, 마이크로스트립 선로 급전으로 안테나가 동작하도록 설계하였다. 두 번째 급전구조로는 CPW-fed to CPS 전이구조를 사용하여 급전하는 방법의 Yagi-Uda 안테나가 있다[12]. 이 구조의 안테나는 발룬을 사용하지 않고 안테나의 급전선로를 CPW로 사용하여 CPS 전이구조를 사용하는 안테나에 비하여 보다 간단한 급전구조를 가진다. 세 번째 급전구조로는 전이구조를 사용하지 않고 마이크로스트립 선로로 급전하는 평면형 Yagi-Uda 안테나가 있다[13, 14]. 본 논문에서는 테이퍼 발룬을 포함한 CPW-fed to CPS 급전방식의 다중 광대역 계단형태의 드라이브 다이폴 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 CPW-fed to CPS 전이 급전선로를 사용하여 MS-CPS 사용한 안테나들에 비하여 간단한 급전구조로 구현 할 수 있다. 이 구조의 안테나는 기판에 접지 면이 필요 없기 때문에 기존의 전이 구조를 사용하여 설계한 안테나에 비하여 반사기의 설계를 자유롭게 할 수 있다. 그러나 CPW-fed to CPS 전이 선로는 마이크로스트립 급전 선로에 비하여 비균형 급전 선로이므로 입력 임피던스의 정합이 필요하다. 본 논문에서는 이와 같은 비대칭 급전 선로의 임피던스 정합을 위하여 테이퍼드 발룬을 제안하여 50 [Ω] 정합된 선로를 설계하였다. 제안한 안테나 구조에서는 CPW 선로에서 CPS 선로로 전이되는 부분에 테이퍼드 발룬을 설치하여 임피던스 정합에 의한 광대역의 공진 대역을 얻었으며 일반적인 다이폴 안테나 드라이브의 구조를 계단형태로 변형하여 드라이버(driver)의 불연속에 의한 다중 공진 주파수를 유도하였고, 또한 물리적인 길이를 줄일 수 있어서 안테나를 소

\* 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 8월 14일

최종완료 : 2015년 8월 20일

형화 하고자 하였다.

### 2. 소형 안테나의 특성

동작주파수에서 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 수신 시스템에서는 대체적으로 큰 문제가 되지 않으며 물리적인 소형 안테나는 크기, 무게, 비용, 그리고 휴대할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 일반적으로 전기적 소형 안테나는 중앙에 급전 점을 갖은 도선으로 된 단형 다이폴이다. 단형 다이폴의 전류분포는 근사적으로 정현파 형이며 다이폴 팔의 양 종단의 전류값이 0(zero)이 되고 중앙에서 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 변위전류밀도  $j\omega\epsilon E$ 를 유도하고 이어서 변위전류는 전원에서 외부로 전파하는 전자파를 발생시키게 된다. 도선전류가 회로의 집중회로 소자 사이를 결합시켜 주는 것처럼 변위전류는 자유 공간에서 송신안테나를 수신안테나와 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  $-jZ_0 \cot(\beta S)$ 가되기 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,  $\Delta z$ 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).

### 3. 안테나 구조 및 특성

그림 1은 제안한 계단형태의 드라이브 다이폴 안테나의 구조를 나타내었다. 이 안테나는 급전 소자의 CPW-fed to CPS, 방사체의 계단형 드라이브와 정합 발룬 테이퍼드로 구성되어 있다. 일반적으로 직선형으로 구성되는 방사체를 계단 모형으로 설계하였다. 또한 CPW-fed to CPS 급전에서 비대칭의 CPW 과 대칭의 CPS 선로의 전이를 통한 부정합을 정합하기 위하여 CPW와 CPS 사이에 테이퍼드 발룬을 구성하여 임피던스의 정합을 이루었다. 안테나의 특성상 불연속에 의한 공진 발생의 원리를 이용하여 다중 불연속을 만들어서 다중 공진을 만들고자 하였으며 이는 공진 주파수

의 대역을 확장하는 효과를 얻을 수 있었다. 또한 안테나의 소형화를 요구하는 오늘날의 요구에 맞는 안테나의 물리적인 크기를 줄일 수 있다.

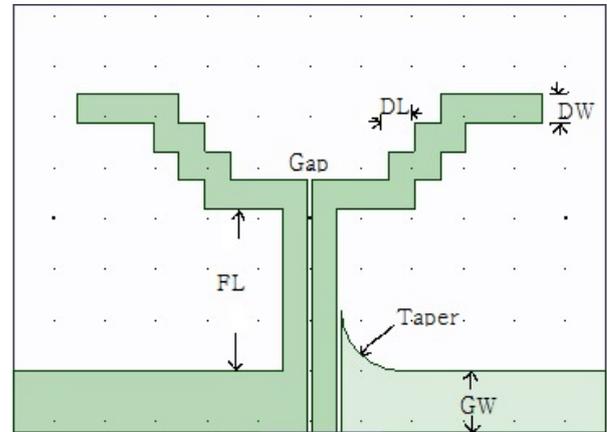


그림 1 제안한 다이폴 안테나의 구조

Fig. 1 Geometry of proposed antenna

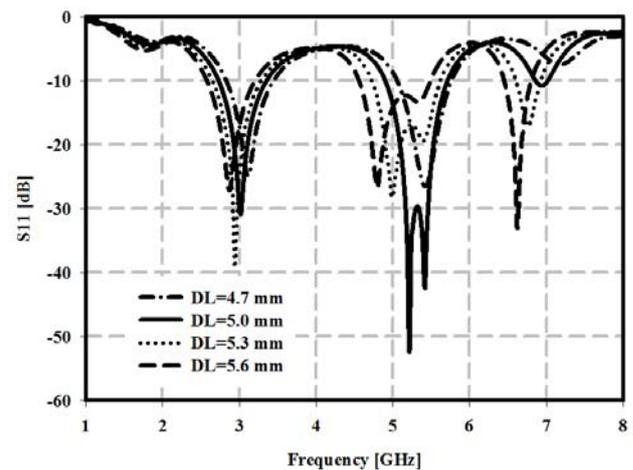


그림 2 DL의 길이 변화에 따른 안테나의 반사계수

Fig. 2 Return loss of proposed antenna against variation length of DL

그림 2에서 계단 형태의 다이폴의 DL의 길이를 변화하여 최적화 광대역의 공진 주파수 대역을 찾고자 하였다. DL의 길이를 4.6에서 5.6 mm까지 0.3 mm 간격으로 조절하여 최적화 값을 구하였다. 여기서 5 mm에서 최적의 공진 주파수를 얻을 수 있었다. 그림 3은 CPW to CPS 선로 사이의 불연속 전이에 의한 임피던스의 부정합을 최소화하기 위하여 테이퍼드 발룬을 구성하였다. 본 연구에서 테이퍼드 길이를 4에서 10 mm까지 2 mm 간격으로 변화시켜서 최적의 임피던스 정합을 이루고자 하였으며 6 mm일 때 최적 및 최대 광대역의 공진 특성을 얻을 수 있었다. 그림 4는 CPW 선로 사이의 갭(gap)의 변화에 따른 임피던스의 변화를 보고자 하였다. 갭의 간격을 0.18에서 3.0 mm까지 0.04 mm 간격으로 변화 시켰으며 대체적으로 큰 변화가 없으나 0.26 mm에서 가장 정규화 임피던스 50 Ω에 가장 근사한 특성을 나타

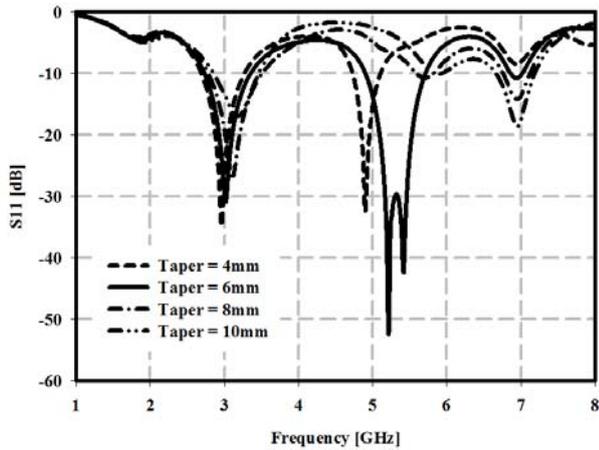


그림 3 테이퍼드의 길이 변화에 의한 반사계수  
 Fig. 3 Return loss of proposed antenna against variation length of Tapered

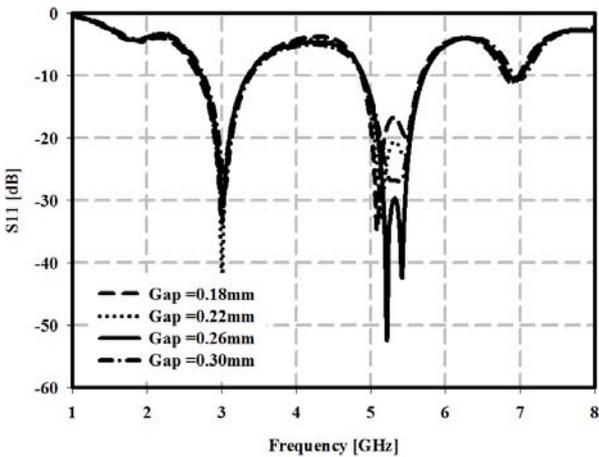


그림 4 Gap 변화에 의한 실효 임피던스  
 Fig. 4 Return loss of proposed antenna against variation Gap

내었다. 그림 5에서 그림에서와 같이 3 GHz에서 다이폴 전체에 균등하게 전류분포가 되어 있는 것을 볼 수 있으며 전류의 경로가 왼쪽 팔 (arm)에서 오른쪽 팔로 전류가 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 다이폴 안테나의 특성을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 그림 6는 5.22 GHz에서 다이폴 팔에 나타난 전류 분포를 보이고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 팔의 끝부분에서만 전류분포가 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 위에서와 반대 방향으로 오른쪽 팔에서 왼쪽 팔로 전류가 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 다이폴 안테나의 급전 신호의 위상이 바뀌었음을 알 수 있다. 이 또한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

제작된 안테나의 사진을 그림 7에 나타내었다. 테프론 (teflon) 기판을 에칭에 의하여 설계 안테나를 제작하였으며 급전을 위하여 SMA 커넥터를 접속하였다.

그림 8에서 측정 및 시뮬레이션 반사계수 결과가 매우 근사함을 확인할 수 있으며 제안한 안테나는 -10 dB 반사손

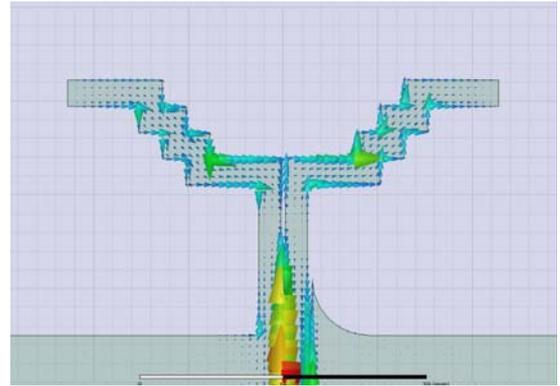


그림 5 3 GHz 에서의 전류밀도 경로  
 Fig. 5 Current path to 3 GHz

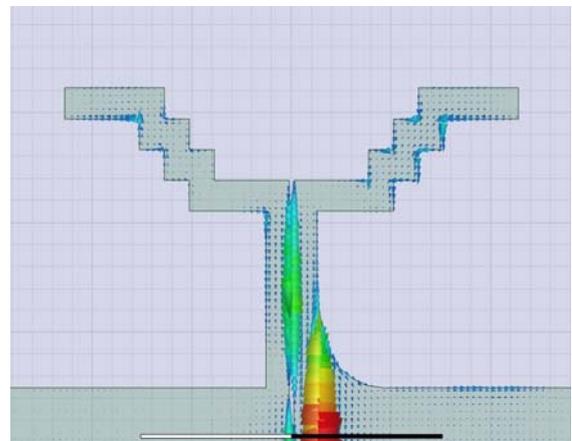


그림 6 5.22 GHz 에서의 전류밀도 경로  
 Fig. 6 Current distribution to 5.22 GHz

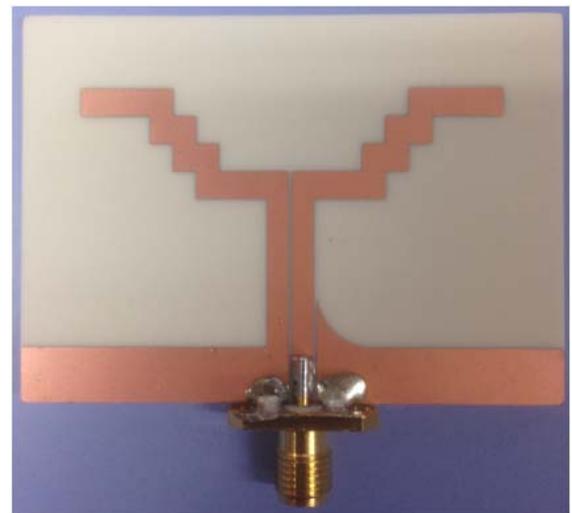


그림 7 제안한 안테나의 제작 사진  
 Fig. 7 Manufactured photograph of proposed antenna

실을 기준으로 650 MHz (2.65 ~ 3.3 GHz), 900 MHz (4.7 ~ 5.6 GHz)의 대역폭을 가지는 다중 광대역 주파수 대역을 얻었다. 그림 9는 설계된 안테나의 시뮬레이션 방사패턴이다.

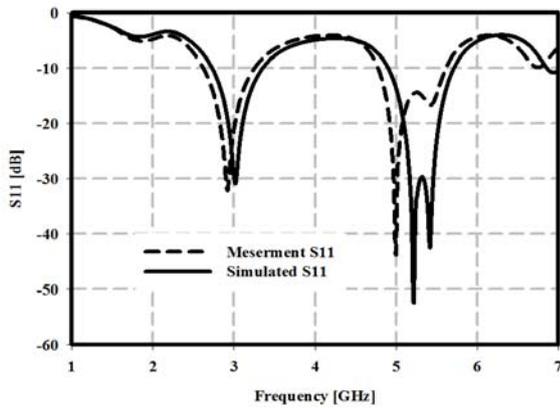
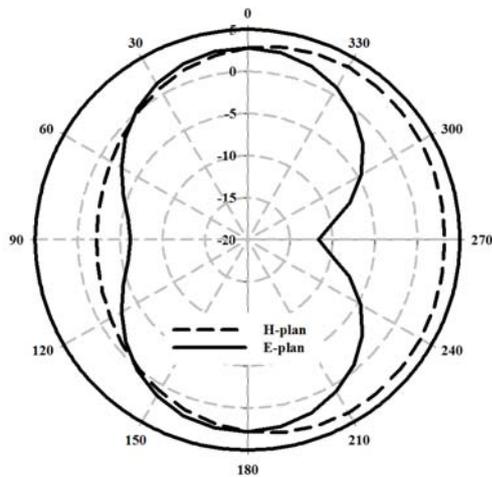
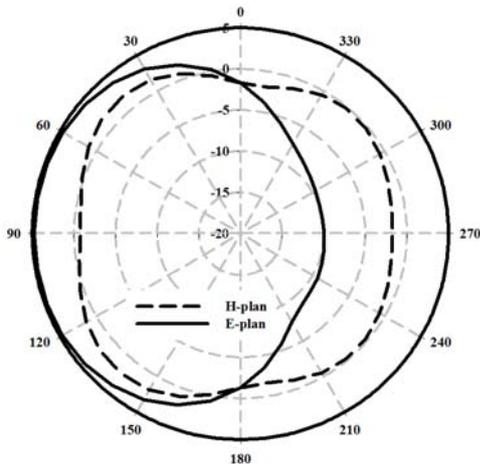


그림 8 제안한 안테나의 측정 및 시뮬레이션 반사계수  
 Fig. 8 Measured and simulated return loss of proposed antenna



(a) 3 [GHz]에서의 방사 패턴  
 (a) Radiation pattern at 3 [GHz]



(b) 5.22 [GHz]에서의 방사 패턴  
 (b) Radiation pattern at 5.22 [GHz]

그림 9 제안한 안테나의 3 GHz, 5.22 GHz에서의 방사 패턴  
 Fig. 9 Radiation pattern of proposed antenna at 3 and 5.22 GHz

3 GHz의 주파수 대역에서의 방사 패턴은 다이폴 안테나의 특성을 나타내고 있으며 5.22 GHz에서는 제 2(2<sup>nd</sup>) 공진에 의한 방사패턴으로 모노폴 안테나의 특성을 나타내는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 비대칭 선로의 정합을 위한 테이퍼드 발룬과 다중 공진대역을 위하여 계단형 드라이브의 다이폴 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 기존의 CPW-fed to CPS 전이 구조에 비균형적인 선로의 임피던스 정합을 위하여 테이퍼 발룬을 구성하고 계단형의 드라이브 다이폴 안테나를 설계하였다. 제안한 테이퍼드 발룬은 비균형 선로(CPW)에서 균형 선로(CPS)로 전이되는 사이에 위치하였다. 제안한 안테나 구조에서는 테이퍼드 발룬이 정합 소자 및 반사기의 역할을 하여 효과적인 전자기파의 반사가 이루어지도록 하였다. 제안한 계단형 다이폴 안테나는 650 MHz (2.65 ~ 3.3 GHz), 900 MHz (4.7 ~ 5.6 GHz)의 대역폭을 얻을 수 있었으며 그 외의 다른 안테나 특성이 모두 다이폴 안테나의 특성을 갖은 안테나 이다. 이 결과는 무선통신용 안테나로 응용 될 수 있다.

#### References

- [1] Kai Chang, "Dual frequency coplanar strip dipole antenna", Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1994.
- [2] A. W. Glisson., 'Simplified feeding for a modified printed Yagi antenna', IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2003.
- [3] Huang, J., and Densmore, A.C.: 'Microstrip CPW-fed CPS dipole array antenna for mobile satellite vehicle applications', IEEE Trans. Antennas Propag., pp. 1024-1030, 1998.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.

- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Qian, Y., et al: 'Microstrip-fed quasi-CPW-fed CPS dipole antenna with broadband characteristics', *Electron. Lett.*, pp. 2194-2196. 1998.
- [14] Stutzman, W. L., and Thiele, G. A.: 'Antenna theory and design' (Wiley, New York, 1998, 2nd edn.) [6] Kaneda, N., et al.: 'A broadband planar quasi-CPWfed CPS dipole antenna', *IEEE Trans. Antennas Propag.*, pp. 1158-1160, 2002.
- [15] Zheng, G., et al.: 'Simplified feeding for a modified printed CPW-fed CPS dipole antenna'. *Proc. IEEE AP-S URSI Int. Symp.*, Columbus, OH, USA, Vol. 3, pp. 934-937. June 2003
- [16] Kai Chang., 'Frequency tunable CPW-fed CPS dipole antenna using varactors', *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium* 1998.
- [17] H. K. Kan. "Simple Broadband Planar CPW-Fed Quasi-Yagi Antenna]]>", *Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 6, 2007.

## 저 자 소 개



### 이 현 진 (李 玄 辰)

1996년 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사), 1997년 펜실베이니아주립대학교 전기공학과 박사후 연구과정, 1992년 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 전자과환경기술연구센터 연구교수  
2012년 4월 ~ 현재: 광주과학기술원 기전공학과 연구부교수  
[주 관심분야] 전자파수치해석, RF시스템, 수동소자 설계,