

이동통신 기지국용 광대역 quasi-Yagi 안테나에 관한 연구

이종익¹, 여준호^{2*}

¹동서대학교 전자공학과, ²대구대학교 정보통신공학부

Study on a broadband quasi-Yagi antenna for mobile base station

Jong-Ig Lee¹ and Junho Yeo^{2*}

¹Department of Electronics Engineering, Dongseo University

²School of Computer and Communication Engineering, Daegu University

요약 본 논문에서는 마이크로 스트립으로 급전되는 quasi-Yagi 안테나(QYA)의 이득과 대역폭 개선방법에 대해 연구하였다. QYA의 광대역 특성은 평면 기판 상에 코플래너 스트립으로 급전되는 평면 다이폴 투사기와 그에 근접하는 기생 도파기로부터 얻을 수 있다. 도파기와 접지면 반사기를 추가하여 대역 내 안정된 이득분포를 갖도록 한다. 단락 중단된 마이크로 스트립 선로와 슬롯 선로로 구성된 안테나 내장형 밸런에 의해 QYA를 급전하며, 급전위치를 조절하여 광대역 임피던스 정합을 얻는다. 1.75–2.7 GHz 대역을 포함하고 이득이 4.5 dBi 이상인 QYA를 설계하고 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 1.6mm)상에 제작하였다. 실험결과 제작된 안테나는 대역폭 59.7%(1.55–2.87 GHz), 안정된 이득(4.7–6.5 dBi), 10 dB 이상의 전후방비 등의 우수한 특성을 보였다. 실험결과와 컴퓨터 시뮬레이션 결과가 잘 일치하여 본 연구의 타당성을 검증하였다.

Abstract In this paper, a method for the improvement in the gain and bandwidth of a microstrip-fed broadband planar quasi-Yagi antenna (QYA) is studied. The broadband characteristics of the QYA are achieved from the coplanar strip-fed planar dipole driver and a parasitic director close to the driver. In order to obtain stable gain variation over the required frequency band, a director and a ground reflector are appended to the driver having a nearby parasitic director. The QYA is fed through an integrated balun composed of a microstrip line and a slot line which are terminated in a short circuit. By adjusting the feeding point, a broadband impedance matching is obtained. A QYA with an operating frequency band of 1.75–2.7 GHz and a gain > 4.5 dBi is designed and fabricated on an FR4 substrate with dielectric constant of 4.4 and thickness of 1.6mm. The experimental results show that the fabricated antenna has good performance such as a broad bandwidth of 59.7%(1.55–2.87 GHz), a stable gain between 4.7–6.5 dBi, and a front-to-back ratio > 10 dB. The measured data agree well with the simulation, which validates this study.

Key Words : Microstrip antenna, Quasi-Yagi antenna, Broadband antenna, Microstrip balun

1. 서론

평면 기판 상에 프린트 기법으로 제작된 quasi-Yagi 안테나(QYA)는 접지면 가장자리를 반사기(reflector)로 사용하고 다이폴 투사기(driver)를 코플래너 스트립(coplanar strip; CPS)선로로 급전하며, 적절한 거리에 도파기(director)를 뒤편으로써 지향성을 얻을 수 있다[1,2].

QYA는 적절한 이득과 전후방비(front-to-back ratio; FBR)를 갖고 소형이며 비교적 넓은 대역폭을 갖고 있어 레이더, 방향탐지 안테나, RF송수신기용 안테나 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

급전선로인 마이크로 스트립(microstrip; MS)선로 혹은 코플래너 도파관(CPW)과 CPS선로를 테이퍼 선로(tapered line)에 의해 광대역 정합을 시키는 방법[3,4]이

*Corresponding Author : Junho Yeo

Tel: +82-10-2351-4131 email: jyeo@daegu.ac.kr

접수일 12년 06월 19일

수정일 (1차 12년 07월 09일, 2차 12년 07월 16일)

게재확정일 12년 09월 06일

있으나 정합회로에 의해 급전선로의 길이가 증가되어야 하는 단점이 있다. 최근 별도의 밸런(balun) 회로 없이 CPW-to-CPS 변환구조에 의해 QYA를 급전한 연구결과 [5]가 보고 된 바 있다. 그러나 구조가 간단해지는 반면, 예상대로 복사패턴이 배열 축에 대해 비대칭적인 경향을 보이는 단점을 보였고, 대역폭은 44%, 이득은 3.4-7.4 dBi 이었다.

MS와 CPS 사이의 광대역 밸런을 동일면 상에 구성하는 방법이 제안[1]된 이후 다양한 급전방법을 이용한 X-밴드(8-12GHz)용 광대역 QYA 설계와 응용에 대한 많은 연구결과들[5-8]이 발표되었으며, 최근에는 L-밴드(1-2GHz)용으로 설계한 결과[8]도 보고되었다. 다른 방법으로 MS와 CPS 사이의 밸런을 CPS상에 제작함으로써 기판 상에 밸런을 위한 별도의 공간을 필요로 하지 않고 광대역 정합특성을 얻을 수 있는 방법[9]이 있다. 이 경우 MS는 단락회로로 종단된 CPS를 가로질러 다이폴 투사기를 급전하며, 급전점으로부터 약 사분파장 길이에서 MS는 개방회로로 종단된다. 마이크로 스트립으로 급전되는 광대역 평면 다이폴 안테나에 대한 최근 연구에서 CPS 상의 급전점 위치를 조정하여 광대역 임피던스 정합을 구현한 연구[10]가 보고 된 바 있다.

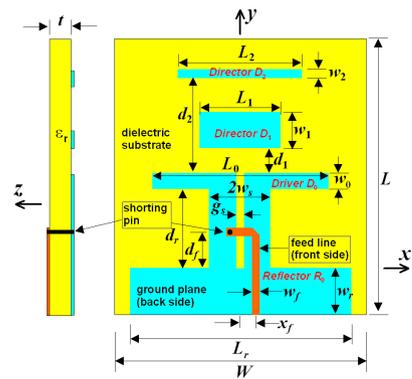
QYA에 대한 연구결과[2]에 의하면 광대역 정합특성 (~48%)을 얻으면 이득이 3-5 dBi로 낮아지고, 그와 반대로 이득을 2 dB(5-7 dBi)정도 높이려면 대역폭을 감소(~17%)시켜야 하므로 광대역과 고이득을 동시에 만족하는 특성의 안테나는 구현이 어렵다. 이상 최근까지 연구된 광대역 QYA에 대한 결과들을 종합해 볼 때, 대역폭은 약 45% 정도로 비교적 광대역이나 대역 내 최소 이득이 3 dBi 정도로 비교적 작다는 단점을 갖고 있다. 따라서 기존 QYA와 유사한 광대역 특성을 유지하면서 이득이 개선된 QYA 설계방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 대역폭이 최소 45% 이상이고 이득이 4.5 dBi 이상인 광대역 QYA 설계 방법을 제안한다. 제안된 방법을 이용한 설계 예로서 PCS(1.8GHz: 1.75-1.87GHz), WCDMA(2.0GHz: 1.92-2.17GHz), WiBro (2.35GHz: 2.3-2.38GHz), WLAN(2.45GHz: 2.4-2.48GHz), WiMAX (2.6GHz: 2.5-2.69GHz) 대역을 모두 수용할 수 있는 안테나를 설계해 보고자 한다. 상용 설계 툴인 CST사의 Microwave Studio (MWS)를 이용하여 안테나의 특성을 시뮬레이션하고 안테나의 설계 파라미터를 최적화하였다. 샘플 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 반사계수, 복사패턴, 이득 등을 측정하여 시뮬레이션과 잘 일치함을 확인하여 연구결과의 타당성을 검증하였다.

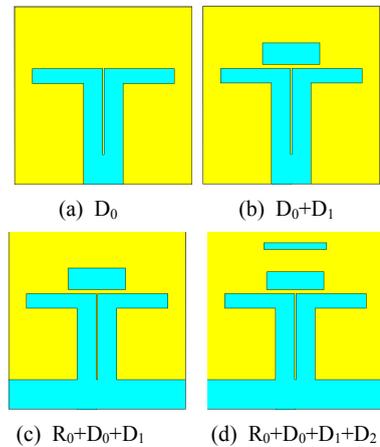
2. 안테나 구조 및 설계

2.1 안테나 구조

그림 1은 본 연구에서 고려된 QYA 구조이다. 전면에는 MS이 구성되고, 접지면이 존재하는 후면에는 QYA와 이를 급전하는 CPS이 위치한다. 근접 기생소자 도파기(director) D_1 을 갖는 다이폴 투사기(driver) D_0 는 CPS으로 급전되며, 급전점 위치 d_f 를 조절하여 특성임피던스 50옴인 MS와 광대역 정합을 시킬 수 있다. QYA 급전을 위한 MS와 CPS 사이의 밸런을 CPS상에 구현하되, 마이크로 스트립중단을 단락시키는 방법으로 밸런을 구현한다.



[그림 1] QYA 구조
[Fig. 1] QYA under consideration



[그림 2] 4 가지 안테나 구조들
[Fig. 2] Four antenna structures

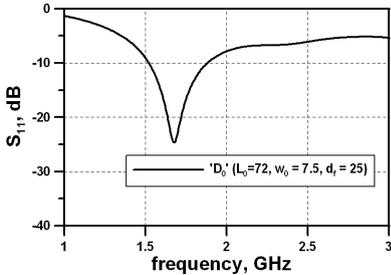
그림 2(a)와 같이 QYA의 투사기를 다이폴 안테나 단독으로 구성하면 충분히 넓은 대역폭을 얻기 어려우므로 그림 2(b)와 같이 근접영역(거리 d_1)에 기생소자 D_1 을 위치하여 고주파 대역의 특성을 개선한다. 부가적으로 접지

면을 반사기(R_0)로 구성한 것은 그림 2(c) 구조이고, 최종적으로 도파기 D_2 를 추가한 것은 그림 2(d)의 구조이다.

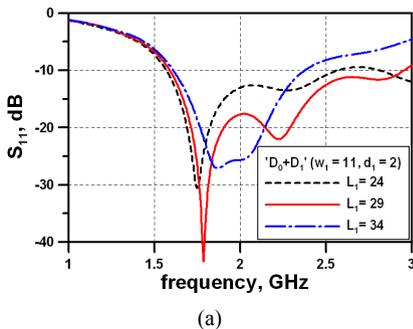
2.2 안테나 설계

먼저, 그림 3에 투사기(D_0)만으로 구성된 다이폴 안테나를 급전선로와 정합시켰을 때의 반사계수 특성이 제시되어 있다. 각 파라미터 값들은 $W=L=90$, $d_r=36$, $L_r=2$, $w_s=20$, $w_r=15$, $L_0=72$, $w_0=7.5$, $g_s=0.7$, $w_f=3$, $d_f=25$, $x_f=5$ 이고 단위는 mm이다. 다이폴을 급전하는 마이크로 스트립과 슬롯선로의 특성임피던스는 각각 50옴과 100옴 정도이고, 급전점의 위치(d_f)를 조절하여 다이폴과 급전선로의 임피던스정합을 얻을 수 있다. 반사계수가 $|S_{11}| < -10$ dB인 대역은 1.53–1.88 GHz (약 20.5%)이고 공진 주파수(1.68 GHz)에서 이득은 2.0 dBi 정도로 전형적인 다이폴의 이득(약 2.2 dBi)에 근접한다.

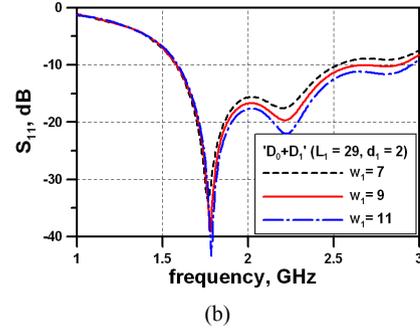
다이폴 안테나(D_0)만으로는 대역폭이 제한되므로, 본 논문에서는 적절한 크기의 도파기(D_1)를 급전 다이폴에 매우 근접한 영역($d_1=2-3$ mm)에 도파기를 부가시키는 방법으로 대역폭을 개선시킨다. 전형적인 QYA의 설계에 있어서 도파기와 투사기 간격(d_1)은 공진 주파수에서 0.1–0.2 파장 정도이나, 본 논문의 간격(d_1)은 다이폴의 공진 주파수(1.68 GHz)에서 약 0.01–0.02파장에 해당된다.



[그림 3] 다이폴 투사기(D_0)의 반사계수
[Fig. 3] Reflection coefficient of dipole driver (D_0)



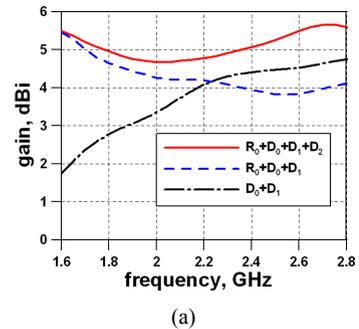
(a)



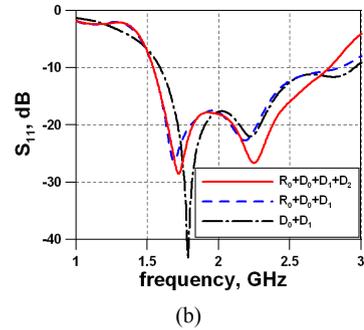
(b)

[그림 4] 근접 도파기(D_1)의 영향. (a) 길이 L_1 , (b) 폭 w_1
[Fig. 4] Effect of nearby director(D_1). (a) length L_1 and (b) width w_1

양호한 광대역 특성이 관찰되도록 간격 $d_1=2$ 로 고정하였으며, 도파기의 폭(w_1)과 길이(L_1)를 조절하여 원하는 대역(1.75–2.7 GHz)에 적합한 광대역특성을 얻을 수 있다. 그림 4(a)에서 도파기의 길이 L_1 을 증가시켰을 때 고주파 대역의 정합특성이 개선될 수 있고, 하한 차단 주파수가 점차 증가됨을 볼 수 있다. 이 때, $L_r=2w_s+g_s$ 로서 반사기 없이 투사기와 도파기만으로 구성된다.



(a)



(b)

[그림 5] 반사기 R_0 와 도파기 D_2 의 영향. (a) 이득, (b) 반사계수
[Fig. 5] Effects of reflector R_0 and director D_2 . (a) peak gain and (b) reflection coefficient

그림 4(b)에서 보는 바와 같이 폭 w_1 을 증가시켰을 때, 하한 차단 주파수는 약간 증가되고 $w_1 > 9$ 일 때 원하는 대역을 포함하는 광대역 정합특성을 얻을 수 있다.

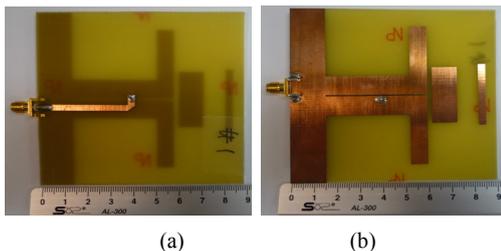
광대역 특성을 갖도록 근접 도파기(D_1)의 폭과 길이를 $w_1=11$, $L_1=29$ 로 고정하면, -10 dB 대역은 1.59–2.95 GHz로서 요구되는 주파수 대역(1.75–2.7 GHz)을 포함하며 대역폭은 약 60%로서 기존 광대역 QYA[2]에 비해 약 10% 이상 개선된 것이다.

이 때, 이득 특성은 그림 5(a) [D_0+D_1 로 표기됨]에서 보는 바와 같이 주파수가 증가될수록 도파기 D_1 에 의해 배열 축 y방향으로 지향성이 개선되어 2.2 GHz 이상의 고주파 대역에서는 4 dBi 이상으로 유지되나 저주파 대역에서는 목표로 하는 4.5 dBi에는 다소 큰 차이를 보인다. $L_r=W$ 의 반사기(R_0)를 부가 [$R_0+D_0+D_1$ 로 표기됨]하면 임피던스 정합특성에는 큰 변화가 없이 저주파 대역의 이득이 개선된다. 마지막으로 도파기 D_2 (단, $d_2=22.5$, $L_2=32$, $w_2=3.3$)를 추가로 부가 [$R_0+D_0+D_1+D_2$ 로 표기됨]하면 전 대역에 걸쳐 4.5 dBi 이상으로 이득이 유지되고, 임피던스 정합 특성도 -10 dB 대역이 1.55–2.77 GHz(56.5%)로서 원하는 대역을 포함하므로 목표로 하는 특성을 만족하도록 최적화되었다고 볼 수 있다.

따라서 반사기는 저주파 대역의 이득을 개선시키고, 도파기는 전 주파수 대역의 이득을 향상시키는데, 저주파에서 고주파로 갈수록 개선량이 증가되는 것을 볼 수 있다. 최적화된 QYA의 대역이 1.55–2.77 GHz(약 56.5%)로 광대역이고, 대역 내에서 이득은 4.67–5.66 dBi로 기존 광대역 QYA[2]의 이득(3–5 dBi)에 비해 1.5 dB 이상 개선되었고 고른 이득분포를 보인다.

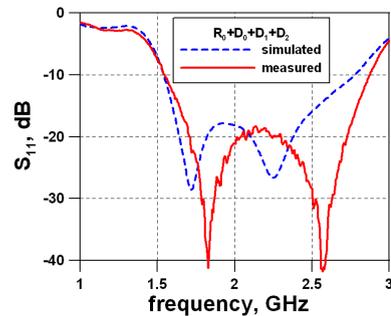
2.3 안테나 제작 및 측정결과

시뮬레이션 결과로부터 얻은 최적의 안테나 파라미터들로 FR4 기판($\epsilon_r = 4.4$, 두께 $t = 1.6$ mm, loss tangent = 0.02)에 그림 6과 같이 안테나를 제작하였다.

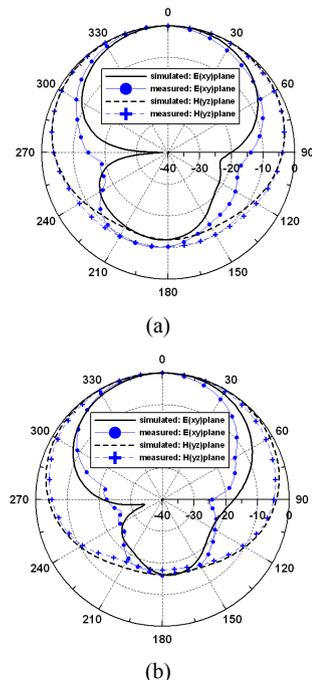


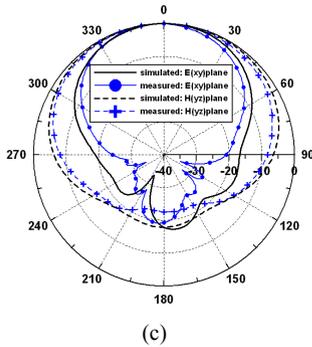
[그림 6] 제작된 QYA 사진 (a) 전면, (b)후면
[Fig. 6] Photographs of fabricated QYA. (a) front side and (b) back side

제작된 안테나의 반사계수를 Vector Network Analyzer N5230A(Agilent社)를 이용하여 측정하였다. 그림 7은 제작된 안테나의 임피던스 정합 특성을 측정할 것으로서 제시된 주파수 대역 내에서 시뮬레이션 결과와 반사계수의 변화패턴이 유사하고 차단 주파수가 매우 근접하는 것을 볼 수 있다. 전체적으로 보았을 때 시뮬레이션 결과에 비해 양호하며 특히, 2.3 GHz 이상의 고주파 대역에서는 시뮬레이션 결과에 비해 정합 특성이 상당히 개선된 경향을 보인다. 반사계수가 -10 dB 이하인 대역폭은 시뮬레이션 결과 56.5%(1.55–2.77 GHz)와 측정결과 59.7%(1.55–2.87 GHz)가 잘 일치한다. 제작된 안테나의 크기는 90 mm × 90 mm로서 차단 주파수 1.55 GHz에서 약 $(0.47\lambda)^2$ 에 해당된다.



[그림 7] 제작된 QYA의 입력 반사계수
[Fig. 7] Input reflection coefficient of fabricated QYA



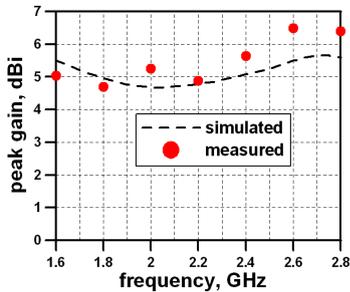


[그림 8] 제작된 안테나의 측정된 복사패턴: (a) 1.8 GHz, (b) 2.35 GHz, (c) 2.6 GHz

[Fig. 8] Measured radiation patterns of fabricated antenna: (a) 1.8 GHz, (b) 2.35 GHz, and (c) 2.6 GHz

그림 8은 전자파 무반사실에서 측정된 제작된 안테나의 E면(x-y면)과 H면(y-z면) 복사패턴을 시뮬레이션 결과와 비교하였으며, 이론치와 측정치가 비교적 잘 일치한다. 전후방비는 주파수에 따라 증가되며, 10 dB 이상으로 유지된다.

그림 9는 제작된 안테나의 이득 특성을 제시한 것으로 측정결과 4.5 dBi 이상이면서 안정된 이득분포(4.7–6.5 dBi)를 보인다. 측정된 이득이 고주파에서 이론치에 비해 0.5 dB 이상 개선된 것은 그림 7과 그림 8에서 보는 바와 같이 고주파에서 임피던스 정합 특성과 지향성이 이론치에 비해 개선된 것에 기인한다고 볼 수 있다.



[그림 9] 제작된 안테나의 이득 특성
[Fig. 9] Realized gain characteristics of fabricated antenna

3. 결론

본 논문에서는 안정된 이득분포를 갖는 광대역 quasi-Yagi 안테나(QYA) 설계방법을 제시하였다. 고려된 QYA 구조는 단락 종단된 마이크로 스트립으로 급전되는 밸런 일체형 QYA로서 다이폴 투사기, 두 개의 기생 도파기 및 접지면 반사기로 구성된다. 다이폴 투사기와 이에

근접하는 기생소자 도파기에 의해 광대역 특성을 갖고 CPS 선로상의 급전위치를 조절하여 50옴 급전선로와의 임피던스 정합한 후 반사기와 도파기를 부가하여 대역 내 안정된 이득분포를 구현하였다. PCS 대역(1.75–1.87 GHz)으로부터 WiMAX 대역(2.5–2.69 GHz)까지 수용하며 4.5 dBi 이상의 이득을 갖도록 안테나를 최적화 설계하고 FR4 기판 상에 제작하였다. 안테나의 특성을 측정 한 결과 대역폭은 59.7%(1.55–2.87 GHz), 이득 4.7–6.5 dBi, 전후방비 10 dB 이상으로 시뮬레이션 결과와 잘 일치하는 우수한 특성을 확인할 수 있었다. 따라서 제작된 광대역 QYA는 다양한 이동통신(PCS, IMT200, LTE) 및 무선 서비스(WiBro, WLAN, Bluetooth, WiMAX)를 통합하는 소출력(실내)중계기용 안테나로 응용하기에 적합할 것으로 기대되며, 마이크로 스트립 급전회로를 부가하여 광대역 고이득 배열 안테나로 용이하게 구성할 수 있어서 이동통신 기지국 안테나로 활용될 수 있다.

References

- [1] Y. Qian, W. R. Deal, N. Kaneda, and T. Itoh, "Microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics," *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 23, pp. 2194-2196, Nov. 1998.
- [2] N. Kaneda, W. R. Deal, Y. Qian, R. Waterhouse, and T. Itoh, "A broad-band quasi-Yagi antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 50, no. 8, pp. 1158-1160, Aug. 2002.
- [3] K. Han, Y. Park, and I. Park, "Broadband CPS-fed Yagi-Uda antenna," *Electron Lett.*, vol. 45, no. 24, pp. 1207-1209, Nov. 2009.
- [4] D. S. Woo, Y. G. Kim, K. W. Kim, and Y. K. Cho, "Design of quasi-Yagi antennas using an ultra-wideband balun," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 50, no. 8, pp. 2068-2071, Aug. 2008.
- [5] H. K. Kan, R. B. Waterhouse, A. M. Abbosh, and M. E. Bialkowski, "Simple broadband planar CPW-fed quasi-Yagi antenna," *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.*, vol. 6, pp. 18-20, 2007.
- [6] J. Sor, Y. Qian, and T. Itoh, "Coplanar waveguide fed quasi-Yagi antenna," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 1, pp. 1-2, Jan. 2000.
- [7] G. Zheng, A. A. Kishk, A. W. Glisson, and A. B. Yakovlev, "Simplified feed for modified printed Yagi antenna," *Electron. Lett.*, vol. 40, no. 8, pp. 464-466, Apr. 2004.

- [8] G. S. Shiroma and W. A. Shiroma, "A two-element L-band quasi-Yagi antenna array with omnidirectional coverage," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 55, no. 12, pp. 3713-3716, Dec. 2007.
- [9] B. Edward and D. Rees, "A broadband printed dipole with integrated balun," Microwave J., pp. 339-344, May 1987.
- [10] R. L. Li, T. Wu, B. Pan, K. Lim, J. Laskar, and M. M. Tentzeris, "Equivalent-circuit analysis of a broadband printed dipole with adjusted integrated balun and an array for base station applications," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 57, no. 7, pp. 2180-2184, Jul. 2009.

이 종 익(Jong-Ig Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학 (공학사)
- 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학 (공학석사)
- 1998년 8월 : 경북대학교 전자공학 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 12월 : 금오공과대학교 연구교수
- 1999년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

전자기산란, 평면안테나

여 준 호(Junho Yeo)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학 (공학사)
- 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학 (공학석사)
- 2003년 8월 : 미국 Pennsylvania State University 전기공학과(공학박사)
- 1994년 3월 ~ 1999년 6월 : 국방과학연구소 연구원
- 2003년 9월 ~ 2004년 6월 : 미국 Pennsylvania State University 박사 후 과정
- 2004년 8월 ~ 2007년 2월 : 한국전자통신연구원 RFID 시스템연구팀 선임연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 정보통신공학부 조교수

<관심분야>

AMC, EBG, FSS 설계 및 안테나 응용, RFID 및 광대역 안테나, 전자파 산란