

2:1 임피던스 대역폭 비를 가지는 광대역 quasi-Yagi 안테나 설계

Design of a Broadband Quasi-Yagi Antenna with a 2:1 Impedance Bandwidth Ratio

이종익*, 여준호**, 박진택***

Jong-Ig Lee*, Jun-Ho Yeo**, and Jin-Taek Park***

요 약

본 논문에서는 임피던스 대역폭 비가 2 : 1 이상의 광대역 특성을 갖고 이득이 최소 3.5 dBi 이상인 quasi-Yagi 안테나(QYA) 설계방법에 대해 연구하였다. QYA는 코플래너 스트립에 내장된 마이크로스트립으로 급전되며, 평면 다이폴과 그에 근접하는 도파기, 그리고 접지면 반사기 등 3 개의 소자로 구성된다. 폭이 넓은 직사각 패치 모양의 도파기를 스트립 다이폴 가까이 두어서 광대역 정합 특성을 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 1.6–3.5 GHz (대역폭 비 2.2 : 1) 대역용으로 최적화된 3 소자 QYA를 FR4 기판 상에 90 mm × 90 mm 크기로 제작하여 특성을 실험하였다. 실험결과, VSWR < 2 인 임피던스 대역은 1.56–3.74 GHz(대역폭 비 2.4 : 1), 피크이득은 4.2–6.3 dBi이고, 전후방비(FBR)는 13.6 dB 이상 이다.

Abstract

In this paper, we studied a design method for a quasi-Yagi antenna (QYA) with broadband characteristics of an impedance bandwidth ratio greater than 2 : 1 and a gain > 4 dBi. The QYA is fed by a microstrip line fabricated on a coplanar strip line and it consists of 3 elements; a planar dipole, a nearby director close to the dipole, and a ground plane reflector. By placing a wide rectangular patch-type director near to the dipole driver, broadband characteristics are achieved. An optimized 3-element QYA for operation over 1.6–3.5 GHz (bandwidth ratio 2.2 : 1) is fabricated on an FR4 substrate with a size of 90 mm by 90 mm and tested experimentally. The results show an impedance bandwidth of 1.56–3.74 GHz (bandwidth ratio 2.4 : 1) for VSWR < 2, a peak gain of 4.2–6.3 dBi, and a front-to-back ratio (FBR) > 13.6 dB within the bandwidth.

Key words : Quasi-Yagi antenna, planar antenna, impedance bandwidth ratio, balun, broadband antenna

I. 서 론

PCB 기판 상에 제작되는 평면 안테나(planar

antenna)는 금속 재질의 안테나에 비해 무게가 가볍고, PCB 기술을 이용하여 정밀 제작과 대량생산이 용이하다. 또한 제작비용이 저렴하고 RF 회로와의

* 동서대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Dongseo University)

** 대구대학교 정보통신공학부(School of Computer and Communication Engineering, Daegu University)

*** 창신대학교 모바일통신공학과(Department of Mobile Communication Engineering, Changshin University)

· 제1저자 (First Author) : 이종익, 교신저자 : 여준호

· 투고일자 : 2012년 8월 13일

· 심사(수정)일자 : 2012년 8월 17일 (수정일자 : 2012년 10월 24일)

· 게재일자 : 2012년 10월 30일

연결이 용이한 장점도 갖고 있다 [1]. 따라서 기존의 도선(wire)으로 구성된 다양한 형태의 안테나들을 평면 안테나로 구현하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 평면 quasi-Yagi 안테나(QYA)는 코플래너 스트립(coplanar strip ; CPS)으로 급전되는 다이폴 투사기(driver), 접지면 반사기(reflector), 그리고 스트립 도파기(director)로 구성될 수 있다 [2—6]. QYA는 적절히 넓은 대역폭과 지향성을 갖고 있어서 RF통신용 트랜시버, 레이더 등에 응용되고 있다. 3소자 QYA에 대한 기존 연구결과[4]에 의하면 5 dBi 이상의 이득 특성을 갖는 QYA의 대역폭은 약 17% 정도이고, 대역폭이 약 45%의 광대역 특성을 갖기 위해서는 이득이 3—5 dBi 로 2 dB 정도 감소되어야 한다. 보다 넓은 대역폭과 적절하고 고른 이득을 갖도록 하기 위해서는 대수주기 안테나(Log-periodic antenna; LPA) [7]를 사용하는 것이 일반적이지만 LPA의 설계 과정이 QYA에 비해 복잡하고 고이득 특성을 갖도록 배열안테나를 구성하는 것이 용이하지 않다.

본 연구에서는 대역폭 비(bandwidth ratio)가 2 : 1 (대역폭이 약 66.7%) 이상인 광대역 특성을 갖고, 이득이 3.5 dBi 이상인 지향성 QYA를 설계하는 방법에 대해 연구하였다. CPS에 내장되고 종단이 단락된 마이크로스트립에 의해 QYA는 급전되며, 평면 다이폴과 그에 근접하는 직사각 패치 형태의 도파기, 그리고 접지면 반사기로 구성된다. 제작 공정이 간편하도록 마이크로스트립 선로의 종단을 개방시키지 않고 굳이 via 홀(혹은 단락 핀)을 통해 단락시킨 구조를 선택한 것은 광대역 정합특성이 상대적으로 우수하기 때문이다. 각 소자의 폭, 길이, 소자 사이 간격 등을 조절하여 광대역특성을 얻을 수 있다. 제안된 안테나 구조는 상용 해석 툴인 Computer Simulation Technology (CST) 사의 Microwave Studio를 이용하여 시뮬레이션 되었다. 자세한 안테나의 설계 방법, 시뮬레이션 및 실험 결과를 제시하고 설명하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

그림 1은 제안된 안테나 구조로서, 유전체기판의 한 면에 코플래너 스트립으로 급전되는 다이폴(D_0),

접지면 반사기(R_0), 도파기(D_1)가 프린트된다. 급전 마이크로스트립 선로는 코플래너 스트립에 내장되어 있어 밸런을 위한 별도의 공간을 줄일 수 있고, 종단은 단락되어 있다. 평면 안테나 제작공정에 있어서 가능하면 단락 종단된 구조 보다 개방 종단된 구조로 안테나 패턴을 구현하는 것이 바람직하지만, 많은 시뮬레이션을 통해 단락 종단된 구조가 임피던스 정합 특성이 우수하고 보다 넓은 대역폭을 확보하는데 유리한 것이 확인되어 그림 1과 같이 마이크로스트립 선로의 종단을 단락시킨 구조를 선택하였다. 대역폭 비 2 : 1 이상의 광대역 특성을 갖는 안테나의 설계 예로서 $VSWR < 2$ 인 대역이 1.6—3.5 GHz이고 이득이 3.5 dBi 이상인 안테나를 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 1.6 mm, 손실탄젠트 0.025)에 설계하는 과정을 소개한다.

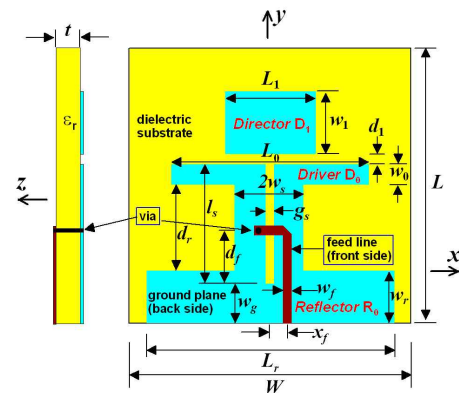


그림 1. 고려된 Quasi-Yagi 안테나.
Fig. 1. Quasi-Yagi antenna under consideration.

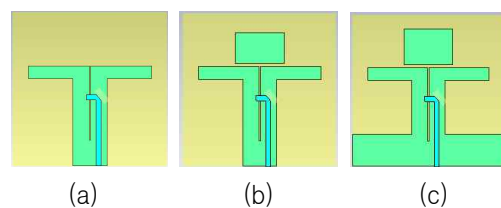


그림 2. 3 가지 안테나 구조들.
(a) D_0 , (b) D_0+D_1 , (c) $D_0+D_1+R_0$.
Fig. 2. Three antenna structures.
(a) D_0 , (b) D_0+D_1 , (c) $D_0+D_1+R_0$.

그림 2에는 제안된 그림 1의 QYA를 설계하기 위한 단계별 3 가지 안테나 구조들(D_0 , D_0+D_1 , $D_0+D_1+R_0$)이 제시되어 있다.

먼저 반사기(R_0)와 도파기(D_1)가 없이 단일소자 다이폴(D_0)만으로 구성된 그림 2(a)의 D_0 구조는 임피던스 정합특성을 시뮬레이션 한 결과, 그림 3에서 보는 바와 같이, 원하는 주파수 대역(1.6–3.5 GHz)의 하한 주파수인 1.6 GHz보다 약간 높은 1.7 GHz에서 공진된다. VSWR < 2 인 대역은 1.51–1.93 GHz(임피던스 대역폭비 1.28 : 1, 대역폭 약 24.4%)이다. 이때 파라미터들은 $W=L=90$, $L_0=72$, $w_0=7.5$, $w_s=10$, $g_s=0.7$, $l_s=43.5$, $w_g=15$, $w_f=3$, $x_f=5$, $d_f=25$, $L_r=20$ 이고 단위는 mm이다. 1.7 GHz에서 시뮬레이션에 의한 이득 값은 약 2.1 dBi이다. 코플래너 스트립 선로의 특성 임피던스는 대략 96옴 정도이고 마이크로스트립 선로는 50옴 이다.

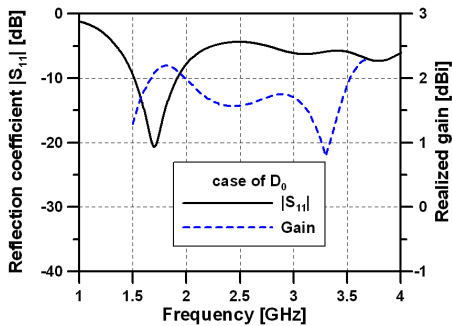


그림 3. 다이폴 투사기(D_0)의 특성.

Fig. 3. Characteristics of dipole driver (D_0).

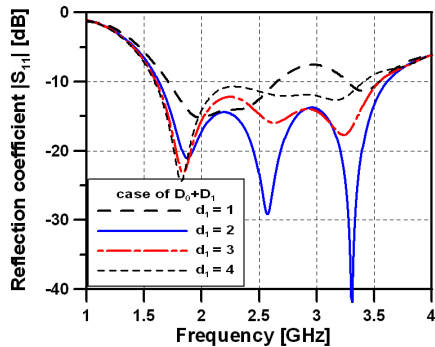
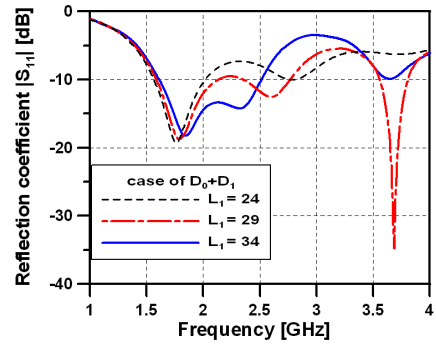


그림 4. 간격 d_1 의 영향.

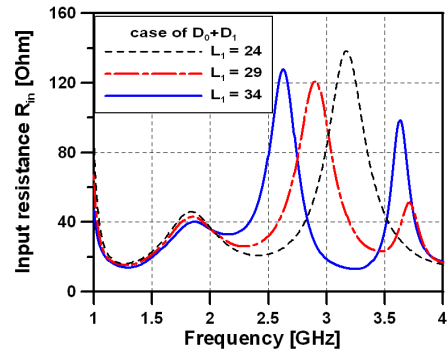
Fig. 4. Effect of distance d_1 .

다음으로 고주파 대역(1.9–3.5 GHz)의 정합특성을 개선하여 임피던스 대역폭을 넓히기 위해 도파기 D_1 을 다이폴 D_0 에 근접한 영역에 위치시킨다(그림 2의 $D_0 + D_1$ 구조). 그림 4는 길이와 폭이 각각 $L_1=29$, $w_1=21$ 인 도파기와 투사기 사이의 거리 d_1

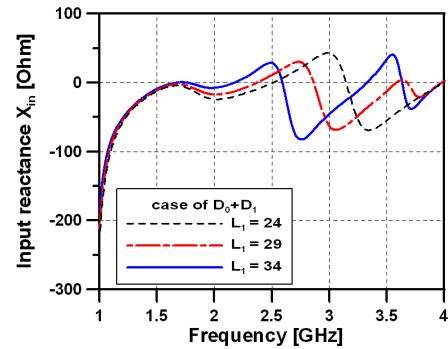
이 임피던스 정합 특성에 미치는 영향을 나타낸다. 그림 4에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 결과 d_1 이 2–3 일 때 양호한 광대역 특성이 관찰되어 $d_1 = 2$ 로 고정하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 도파기의 길이 L_1 의 영향 ($w_1=7$ mm). (a) 반사계수 (b) 입력 레지스탄스 (c) 입력 리액탄스.

Fig. 5. Effect of director length L_1 ($w_1=7$ mm). (a) reflection coefficient (b) input resistance (c) input reactance.

도파기 D_1 의 폭(w_1)과 길이(L_1)의 영향을 점검하기 위해 폭을 $w_1=7$ 로 고정시키고 길이 L_1 을 변화시켜 본 결과 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 고주파

대역의 정합특성은 개선되지 않는다. 이것은 그림 5(b) 및 그림 5(c)에 제시된 바와 같이 2 GHz 이하의 저주파 대역에서는 근접 도파기에 의한 임피던스 특성의 변화가 크지 않으나 고주파 대역에서의 공진 주파수는 도파기의 길이 L_1 에 따라 민감하게 변화되며 공진 임피던스가 120 옴 이상으로 매우 큰 값인 것에 기인한다. 이 때, 입력 임피던스($Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$)는 마이크로스트립 선로 종단에서 바라본 안테나의 임피던스이다. 여러 번의 시뮬레이션 결과 도파기의 폭 w_1 이 증가됨에 따라 고주파 대역의 공진 임피던스가 점차 감소되어 50옴 급전 선로와의 임피던스 정합 특성이 개선되는 것을 확인하였다.

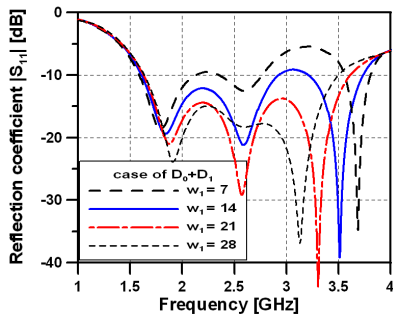


그림 6. 도파기의 폭 w_1 의 영향.
Fig. 6. Effect of director width w_1 .

그림 6은 $L_1 = 29$ 일 때 w_1 의 영향을 나타내며, w_1 이 증가됨에 따라 2.1—3.5 GHz 대역의 정합특성이 점차 개선되고, $w_1 = 21$ 일 때 VSWR < 2 인 대역은 1.62—3.63 GHz (대역폭 비 2.24 : 1)로 원하는 광대역 특성(대역폭 비 2 : 1 이상)을 만족한다.

그림 6에서와 같이 w_1 을 증가시켜서 $D_0 + D_1$ 의 구조를 광대역 정합 특성을 갖도록 한 후 반사기 R_0 를 추가하여 그림 2(c)의 $D_0 + D_1 + R_0$ 구조를 구성하면 임피던스 정합 특성에는 큰 변화가 없으면서 이득 특성을 개선할 수 있다. 그림 7은 길이 $L_r=90$, 폭 $w_r=21$ 인 반사기를 거리 $d_r=30$ 에 두었을 때 반사계수의 변화를 나타내며, 도파기의 길이와 폭은 각각 $L_1=29, w_1=21$ 이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 반사기를 추가하였을 때 임피던스 대역(1.54—3.55 GHz)은 $D_0 + D_1$ 구조의 대역(1.62—3.63 GHz)에 비해 약간 낮은 주파수 방향으로 천이 된 것을 제외하면 큰

변화가 없으므로 제안된 안테나의 임피던스 대역 특성은 $D_0 + D_1$ 구조에 의해 결정됨을 알 수 있다.

$D_0 + D_1$ 구조의 이득 특성은 그림 8에서 보는 바와 같이 주파수가 증가됨에 따라 근접도파기 D_1 에 의해 이득이 점차 증가되는 경향을 보인다. 저주파 대역 차단 주파수에 근접하는 1.7 GHz에서의 이득 2.4 dBi는 근접 도파기 D_1 없이 다이폴 D_0 만 있는 경우의 이득(2.1 dBi)과 근접한다. 반사기에 의해 저주파 대역에서 이득이 개선되어, 그림 8과 같이, 원하는 대역 내에서 3.9 dBi 이상으로 유지된다. 그림 7과 그림 8의 특성을 종합해 볼 때 제안된 안테나 구조로 대역폭 비 2 : 1 및 이득 3.5 dBi 이상의 목표 성능을 만족하는 특성을 구현하였으므로 최적화 되었다고 볼 수 있다. 최적화된 QYA는 원하는 광대역 특성(대역폭 비 2.3 : 1)과 함께 기존 광대역 QYA[4]의 이득 (3—5 dBi)에 비해 개선된 3.9—5.8 dBi의 이득을 갖는 우수한 특성을 갖는다.

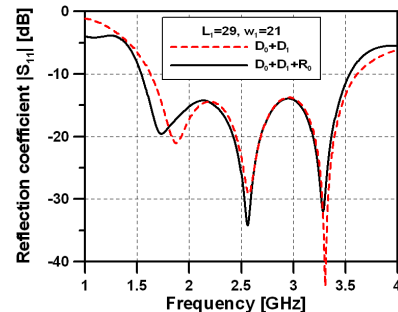


그림 7. 반사계수에 대한 반사기 R_0 의 영향.
Fig. 7. Effect of reflector R_0 on reflection coefficient.

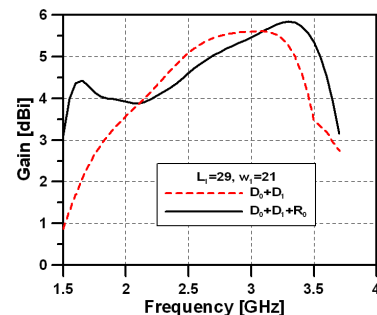


그림 8. 이득에 대한 반사기 R_0 의 영향.
Fig. 8. Effect of reflector R_0 on realized gain.

III. 제작 및 실험결과

시뮬레이션을 통해 얻은 최적화된 안테나의 파라미터들을 이용하여 FR4 기판 상에 QYA를 90 mm × 90 mm 크기로 그림 9와 같이 제작하였다.

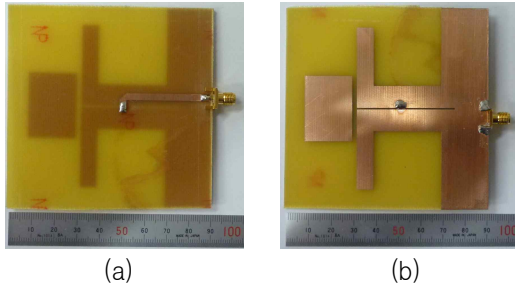


그림 9. 제작된 안테나. (a) 전면 (b) 후면
Fig. 9. Fabricated antenna. (a) front side (b) back side

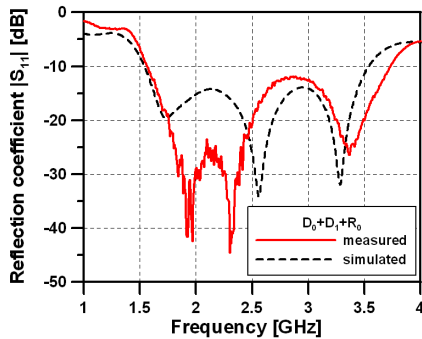


그림 10. 측정된 입력 반사계수.
Fig. 10. Measured input reflection coefficient.

제작된 안테나의 반사계수 특성은, 그림 10에 제시된 바와 같이, VSWR < 2 인 대역이 1.56–3.74 GHz 로서 이론치 1.54–3.55 GHz와 잘 일치한다. 안테나의 폭과 길이는 각각 90 mm로서 차단주파수 1.56 GHz에서 0.47 파장에 해당된다.

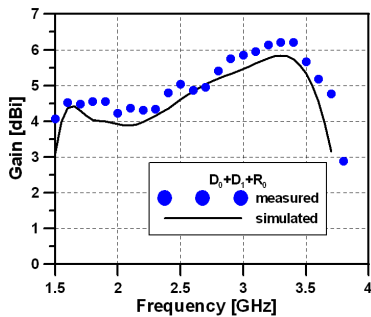


그림 11. 측정된 안테나 이득.
Fig. 11. Measured antenna gain.

측정된 이득 분포 또한 그림 11과 같이, 4.2–6.3 dBi로서 시뮬레이션 결과와 잘 일치하므로 본 연구에서 제시한 결과들이 타당함을 입증한다.

E-면과 H-면 복사패턴은 그림 12에서 보는 바와 같이 배열 축(y) 방향으로 지향성을 갖고, 교차편과 레벨이 최대 전력밀도에 비해 -21 dB 이하로 유지되고, 전후방비(front-to-back ratio ; FBR)는 대역 내에서 13.6 dB 이상으로 유지되는 양호한 특성을 갖는다.

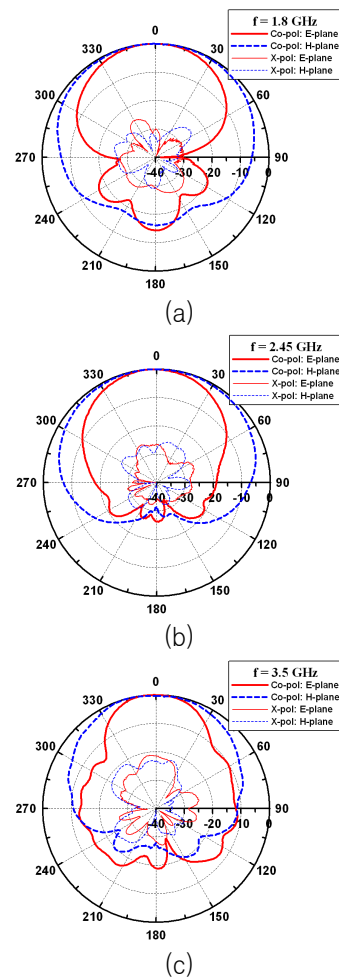


그림 12. 측정된 복사패턴.
Fig. 12. Measured radiation pattern.
(a) 1.8 GHz (b) 2.45 GHz (c) 3.5 GHz.

V. 결론

본 논문에서는 임피던스 대역폭 비가 2 : 1 이상인 광대역 정합특성을 갖고 이득이 3.5 dBi 이상인 3소

자 quasi-Yagi 안테나(QYA) 설계 방법을 연구하였다. 종단이 단락된 마이크로스트립으로 QYA가 급전되고 다이폴을 급전하는 코플래너 스트립 선로에 밸런이 내장된 구조이다. 스트립 다이폴 투사기에 비해 폭이 훨씬 넓은 직사각 패치형 도파기를 투사기에 근접하는 영역에 두어서 광대역 정합특성을 구현하였다. 1.6–3.5 GHz 대역용으로 최적화된 3소자 QYA를 FR4 기판 상에 제작하여 실험한 결과, 임피던스 대역은 1.56–3.74 GHz(대역폭 비 2.4 : 1), 이득은 4.2–6.3 dBi로서 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였다. 대역 내 전후방비는 13.6 dB 이상이었다. 제안된 안테나는 PCB 기판 상에 인쇄 기법으로 제작되므로 적절한 마이크로스트립 급전 회로를 부가하게 되면 고 이득 배열 안테나로 구성이 용이하여 레이더용 안테나 등으로 응용이 유망하고, 광대역 지향성 안테나이므로 방향 탐지용 안테나, 반사판 안테나 시스템의 피더(feeder) 안테나로도 응용이 유망하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipibon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, 2001.
- [2] 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.
- [3] J. Sor, Y. Qian, and T. Itoh, "Coplanar waveguide fed quasi-Yagi antenna," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 1, pp. 1–2, Jan. 2000.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] C.A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed., New York: Wiley, 2005.

이 종 익 (李鍾益)



1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1998년 3월~12월 : 금오공과대학교 연구교수

1999년 3월~현재: 동서대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 평면 안테나, 전자파 산란

여 준 호 (呂駿浩)



1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 8월 : 미국 Pennsylvania State University 전기공학과 (공학박사)
 1994년 3월~1999년 6월 : 국방과학

연구소 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

박 진 택 (朴鎭澤)



1980년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)

1981년 2월~1991년 2월 : 미육군 정보체계사령부 국방통신 대구통제국 선임통제관
 1991년 3월~현재: 창신대학교 모바일통신공학과 교수
 관심분야 : 안테나 설계, 전자파 산란