

링형 밸런을 이용한 실내 DTV 수신용 광대역 준-야기 안테나

이종익¹ · 여준호^{2*}

Broadband Quasi-Yagi Antenna with a Ring-type Balun for Indoor DTV Reception

Jong-Ig Lee¹ · Junho Yeo^{2*}

¹Division of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea

^{2*}School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

요약

본 논문에서는 실내 디지털 TV(DTV) 수신용 3소자 광대역 준-야기 안테나 (quasi-Yagi antenna; QYA) 설계 방법에 대해 연구하였다. 제안된 QYA는 마이크로스트립(microstrip; MS) 선로와 다이폴 투사기를 급전하는 코플래너 스트립(coplanar strip; CPS) 선로 간 밸런을 새로운 형태로 구성하였다. 제안된 밸런은 MS 선로 종단을 CPS에 단락 핀으로 연결하여 구성하였으며, CPS 선로와 반사기를 원형 링 도체로 연결하였다. 제안된 구조의 안테나를 지상파 DTV 방송 주파수 대역인 470-806 MHz 대역에서 동작하도록 설계하였다. FR4 기판 상에 270 mm × 150 mm 크기로 제작된 안테나는 전압정재파비가 2 이하인 주파수 대역 470-820 MHz, DTV 대역 내 배열 축 방향으로의 이득 > 4.0 dBi, 전후방비 > 8.4 dB 인 양호한 특성을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we studied a design method for a broadband 3-element quasi-Yagi antenna (QYA) for indoor digital television (DTV) reception. The proposed QYA employs a novel balun between a microstrip (MS) line and a coplanar strip (CPS) line feeding the driver dipole. The proposed balun is constructed by connecting the end of MS line to CPS line through a shorting pin, and the CPS and ground reflector are connected through a circular ring-type conductor. An antenna, as an design example for the proposed antenna, is designed for the operation in the frequency band of 470-806 MHz for terrestrial DTV. The antenna fabricated on an FR4 substrate with a size of 270 mm × 150 mm showed a good performance such as a frequency band of 470-820 MHz for a voltage standing wave ratio < 2, a gain > 4.0 dBi, and a front-to-back ratio > 8.4 dB over the DTV frequency band.

키워드 : 준-야기 안테나, 링형 밸런, 광대역 안테나, DTV 안테나

Key word : quasi-Yagi antenna, ring-type balun, broadband antenna, DTV antenna

Received 09 January 2017, Revised 10 January 2017, Accepted 24 February 2017

* Corresponding Author Junho Yeo(E-mail:jyeo@daegu.ac.kr, Tel:+82-53-850-6642)

School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.5.906>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

준-야기 안테나(quasi-Yagi antenna; QYA)는 유전체 기판의 한 면에 인쇄된 코플래너 스트립(coplanar strip; CPS)으로 급전되는 다이폴 투사기(driver), 접지면 반사기(reflector), 그리고 스트립 도파기(director)로 구성될 수 있다[1-4]. QYA는 적절히 넓은 대역폭, 이득 및 지향성을 갖고, 고이득 특성을 갖도록 배열 안테나를 구성하는 것이 용이하여 RF통신용 트랜시버, 레이다 등에 응용되고 있다.

3-소자 QYA에 대한 기존 연구들[1-3]에 의하면 소자 사이의 배열 간격과 소자들의 폭을 균일한 구조로 택한 경우 안테나 이득과 주파수 대역폭은 제한되므로 적절히 넓은 대역폭과 이득을 동시에 얻기 어려워서 이득과 대역폭 중에서 적절한 타협이 필요하다. 그러나 최근 연구들에서는 QYA의 3개 소자들의 폭과 간격을 비균일하게 구성하여, 넓은 대역폭과 적절하고 고른 이득 분포를 갖도록 설계한 결과들이 보고된 바 있다[5-7].

QYA를 급전하기 위해서는 불평형 선로인 마이크로 스트립(microstrip; MS) 혹은 코플래너 도파관(coplanar waveguide; CPW)과 평형선로인 CPS 혹은 평행 스트립(parallel strip)간 밸런(balun)이 필요하다. 밸런은 QYA의 임피던스 특성에 직접적인 영향을 미치게 되므로, 광대역 QYA를 설계하기 위해서는 다이폴과 함께 밸런도 설계하여야 한다. 밸런 없이 직접 불평형 선로와 평형 선로를 연결시킨 경우, 광대역 정합특성은 얻을 수 있으나 복사패턴은 심각한 비대칭성을 갖게 된다[4].

기존의 밸런 중에서 급전선을 두 개의 전송선로로 나눈 후 상호 간 180도 위상차를 갖도록 하고, 이 두 선로를 CPS 선로가 되도록 하는 방법을 이용한 연구들[1-3]이 있다. MS 선로와 CPS 선로 간 밸런을 이용한 QYA [1,2]와 CPW와 CPS 선로 간 밸런을 이용한 것[3]이 있었다. 이 방법들의 단점은 주파수 대역폭 50% 이상의 광대역 특성을 얻기가 어렵고, 접지면 내부에 (혹은 접지면 위에) 밸런을 위한 별도의 공간을 필요로 하게 되므로 QYA의 소형화가 곤란하고 QYA를 배열 안테나로 구성하였을 때 급전선로가 복잡해지는 것 등이다.

3소자 QYA를 급전하는 MS 선로를 CPS 선로 상에 구현하고 선로의 종단을 CPS에 연결하여 별도의 공간을 필요로 하지 않는 내장형 밸런을 구성한 연구들[5-7]

이 보고된 바 있다. 이러한 안테나 내장형 밸런에 있어서 급전 선로와 안테나 간의 광대역 임피던스 정합을 위해서는 다이폴에 근접하는 도파기뿐만 아니라 급전점의 위치도 적절히 조절하여야 한다. 반사기로부터 급전점까지의 거리가 가까울수록 밸런의 길이는 줄어들게 되고 배열 축 방향으로의 안테나 크기도 줄일 수 있게 된다. 횡방향으로 안테나의 크기를 줄이는 대표적인 방법으로서 크기에 주된 영향을 미치는 배열 소자인 다이폴과 반사기를 보우타이(bow-tie)형으로 하는 방법[8]과 다이폴과 반사기의 끝을 구부리는 탑로딩(top-loading) 방법[9, 10] 등이 있다. 따라서 QYA의 소형화를 위해서는 밸런과 배열 소자의 크기를 함께 소형화시키는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 3소자 광대역 QYA를 지상파 디지털 TV(DTV) 대역(470-806 MHz) 방송 수신용으로 설계하되, 링형 밸런을 이용한 새로운 구조를 채택하고 안테나의 크기를 기존 연구들에서 제시된 것들에 비해 감소되도록 하였다. 제안된 밸런은 QYA를 급전하는 CPS 선로와 MS 선로 간 밸런은 MS선로 종단을 CPS 선로에 단락핀으로 연결하고 CPS 선로와 접지면 반사기는 링형 스트립으로 연결시킨 구조이다. MS 선로를 슬롯선로에 바로 연결한 기존의 밸런에 비해 제안된 구조가 QYA의 배열 축 방향으로 길이를 단축시킬 수 있으며, 반사기의 끝부분을 구부려서 안테나의 폭을 감소시킬 수 있다. FR4 기판 상에 제작된 안테나의 특성을 실험하고 시뮬레이션과 비교하여 본 연구의 타당성을 검증하고, 제안된 안테나구조가 DTV 대역용 안테나로서 적합한 것을 확인한다.

II. 안테나의 구조 및 설계

2.1. 안테나 구조

그림 1은 제안된 3소자 QYA 구조이며, DTV의 포트와 정합되도록 특성 임피던스가 75옴인 MS 선로로 급전된다. QYA는 CPS로 급전되는 다이폴(D0), 접지면 반사기(R0), 다이폴에 근접하는 영역에 배치된 도파기(D1)로 구성된다. MS선로와 CPS 선로 간 밸런은 기존 연구들에서 제시되지 않은 새로운 형태이며, 접지면 반사기와 다이폴 사이에 내장되어 있고, MS 선로의 종단은 CPS 선로에 단락핀으로 연결되어 있다.

QYA는 배열 축(+y) 방향으로 적절한 지향성을 갖도록 도파기는 다이폴 보다 짧게 하고 반사기는 길게 한다. 따라서 반사기의 길이에 의해 QYA의 폭(W)이 결정되므로 그림 1과 같이 반사기의 끝부분을 구부린 탑로딩[9]으로 소형화할 수 있다.

그림 1에서 기관의 폭 W, 길이 L 및 두께 t, 다이폴의 길이 L_0 및 폭 w_0 , 도파기의 길이 L_1 및 폭 w_1 , 반사기의 폭 w_r , CPS 선로의 폭 w_{CPS} , 길이 l_{CPS} 및 간격 g_s , 링형 밸런의 반경 r_b 및 폭 w_b , 다이폴과 도파기 사이의 거리 d_0 , 급전 MS 선로의 폭 w_f , 급전점의 단락핀의 직경 0.8 mm이고 반사기 끝부분에 추가된 패치의 높이는 h_r 이다. 유전체 기관은 비유전율이 $\epsilon_r = 4.4$ 이고 두께가 $t = 1.6$ mm, 손실탄젠트 $\tan\delta = 0.025$ 인 FR4 기관으로 가정하였다.

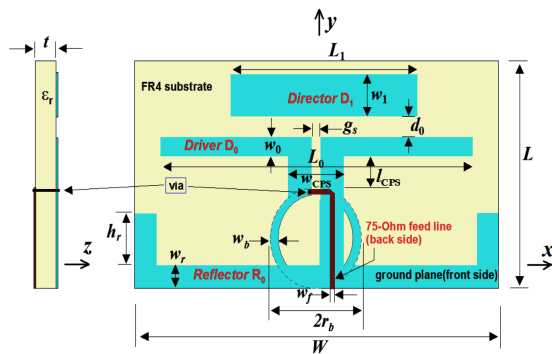


Fig. 1 Geometry of the proposed QYA

2.2. 안테나 설계

제안된 구조의 안테나를 DTV용 주파수 대역(470-806 MHz)에 적합하도록 설계하기 위해 안테나의 특성을 많은 시뮬레이션을 통해 분석하였으며, 해석은 상용 전자기 문제 해석 툴인 CST 社의 Microwave Studio (MWS)를 사용하였다. 설계목표는 DTV용 대역 내에서 전압정재파비(voltage standing wave ratio; VSWR) < 2 및 이득 > 3 dBi 조건을 동시에 만족하는 안테나를 설계 하되, 안테나의 크기는 270 mm × 150 mm 이내로 제한 하였다.

이것은 기존 연구[5]에서 제시된 크기(300 mm × 200 mm)에 비해 축 방향으로 25%, 횡방향으로 10% 각각 감소(면적은 32.5% 감소)시켜 소형화하고 성능(주파수 대역, 이득 등)은 유사하게 유지하는 것이다.

좀 더 광대역과 고이득을 얻기 위해서는 대수주기 안테나 구조를 택할 수 있으나 상대적으로 크기가 커지고 설계가 복잡해지는 단점이 있다.

시뮬레이션에서 관찰된 주요 결과를 요약하면 다음과 같다[5, 7].

- 다이폴의 길이(L_0)는 주로 저주파 대역의 공진 주파수에 영향을 미친다.
- 도파기를 다이폴에 근접한 영역에 두면 고주파 대역의 임피던스 정합과 이득을 개선할 수 있다.
- 반사기를 추가하면 저주파 대역의 이득과 임피던스 정합을 개선할 수 있고, 끝부분을 구부리면 소형화할 수 있다.

제안된 안테나 구조를 지상파 DTV용으로 적합한 특성을 갖도록 파라미터 값들을 조절하였으며, 표 1에 제시된 바와 같다. 자세한 설계과정은 본 연구와 유사한 기존 연구들[5,7]에서 제시된 절차를 참고하기 바란다.

Table. 1 Design parameters of proposed QYA

Parameter	Value (mm)	Parameter	Value (mm)
L	150	l_{CPS}	40
W	270	w_{CPS}	30
L_0	270	g_s	2.5
w_0	10	d_0	8
L_1	127	w_f	1.38
w_1	20	r_b	30
h_r	20	w_b	8
w_r	10	t	1.6

표 1의 파라미터들을 갖는 안테나의 반사계수 특성은 그림 2에 제시된 바와 같다. VSWR이 2 이하인 주파수 대역은 464-821 MHz (55.56%)로 DTV 대역을 포함한다. 도파기 D1이 없는 경우의 반사계수로부터 다이폴의 길이가 저주파 차단 주파수인 470 MHz에 근접하는 주파수에서 공진되도록 결정되어야 하는 것을 볼 수 있다. 또한 도파기 유무에 의해 임피던스가 변화되므로 급전점의 위치를 조정해야 한다.

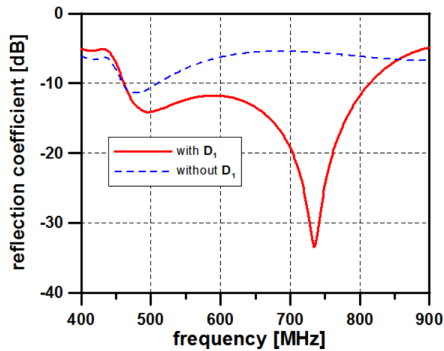


Fig. 2 Reflection coefficient of the antenna designed for DTV reception

몇 가지 주요 파라미터들이 안테나의 정합 특성에 미치는 영향을 제시하고자 한다. 그림 3은 도파기의 폭에 의한 영향을 나타내며, 480 MHz 이하의 저주파 대역에서는 거의 영향이 없고 고주파 특성에 주로 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

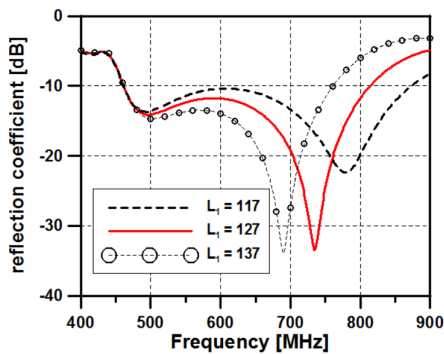


Fig. 3 Effects of director length L_1 .

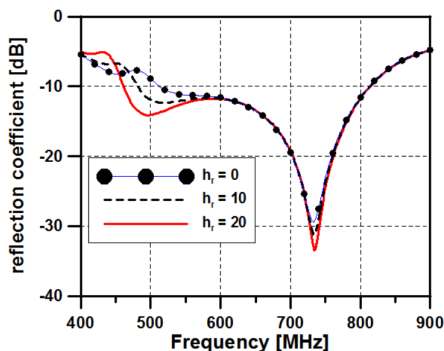


Fig. 4 Effects of h_r .

그림 4는 안테나의 폭 (x 방향)을 줄이기 위한 반사기의 탐로딩 부분의 영향을 나타내며, 550 MHz 이상의 고주파 대역에서는 거의 영향이 없고 구부러진 끝부분의 길이(h_r)가 길어질수록 저주파 대역 차단 주파수가 감소되어 소형화됨을 볼 수 있다.

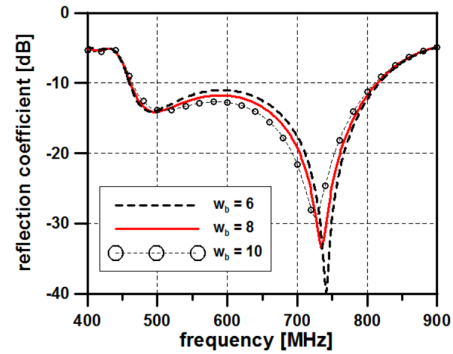


Fig. 5 Effects of w_b .

링형 밸런의 폭(w_b)은 그림 5에서 보는 바와 같이 저주파 대역 차단 주파수 및 고주파 대역 차단 주파수에는 큰 영향을 미치지 않지만 대역 내에서 임피던스 정합특성에 다소 영향을 주는 것을 볼 수 있다.

이와 같은 영향을 고려하고 파라미터들을 조절하여 DTV 주파수 대역에 적합한 QYA를 설계하였으며, 표 1에 제시된 바와 같다. 반사기와 CPS 사이 밸런의 y 방향 길이는 $2r_b - w_r = 50$ mm이며, 이는 동일한 용도로 설계된 QYA[5]에서 사용된 밸런의 길이 70 mm에 비해 약 30% 감소된 것이므로 제안된 링형 밸런이 소형화에 유리한 것임을 알 수 있다.

제안된 밸런 구조가 QYA를 급전하기에 적합한 동작을 하고 있는지 점검하기 위해 안테나의 표면전류 분포를 점검하였으며, 그림 6에 제시된 바와 같이 DTV용 주파수 대역에서 안테나의 표면전류가 y 축을 중심으로 좌우 대칭적으로 분포되는 것을 관찰할 수 있다. 전류분포로부터 저주파 대역에서는 다이폴과 반사기가 주된 안테나로 동작하고, 고주파 대역에서는 다이폴과 도파기가 결합되어 안테나로 동작하고 있음을 볼 수 있다.

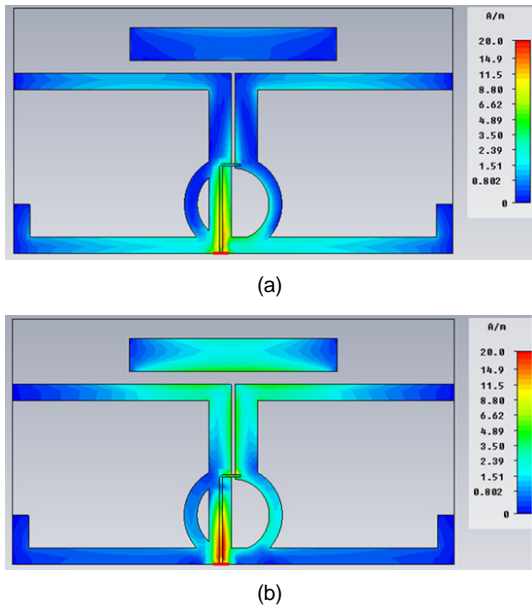


Fig. 6 Surface current distributions: (a) 500 MHz and (b) 800 MHz

그림 7은 DTV 수신용으로 설계된 안테나의 복사패턴이며, 배열 축 방향(+y 방향)으로 지향성을 갖고 DTV 대역 내에서 이득 3.9 dBi 이상, 전후방비(front-to-back ratio; FBR) 8.4 dB 이상을 유지하는 양호한 특성을 보인다.

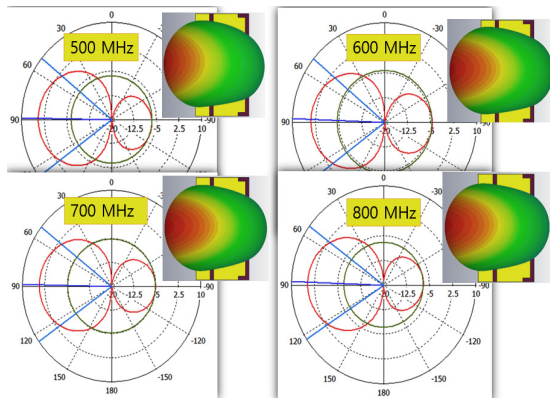


Fig. 7 Radiation patterns.

III. 안테나 제작 및 실험 결과

그림 8은 제작된 QYA의 사진이며, 안테나의 크기는 270 mm × 150 mm이다.

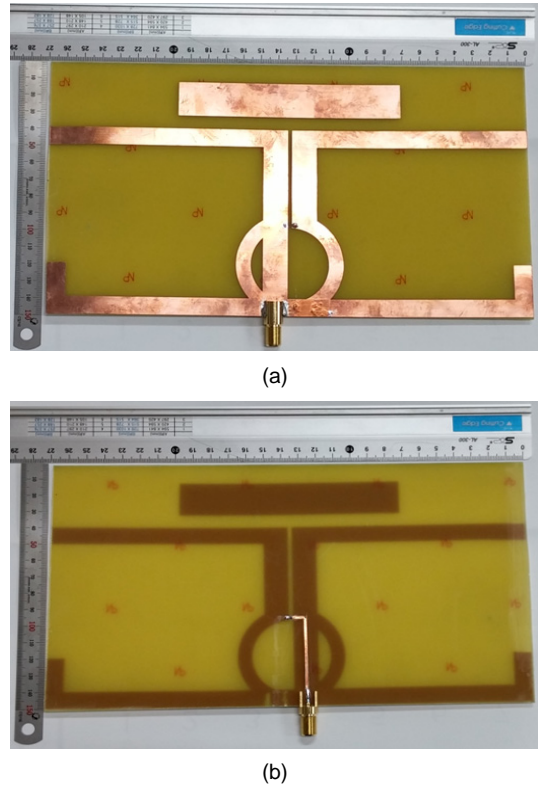


Fig. 8 Photograph of fabricated antenna: (a) front side and (b) back side

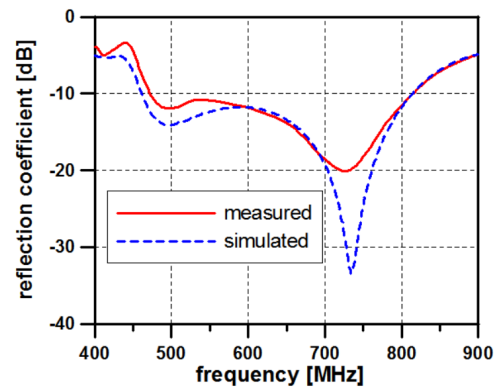


Fig. 9 Reflection coefficient of fabricated antenna.

제작된 안테나의 반사계수는 네트워크분석기 (Agilent사 N5230A)를 이용하여 측정하였고, 결과는 그림 9에 제시된 바와 같다. VSWR < 2인 주파수 대역이 470-820 MHz로 시뮬레이션(464-821 MHz)과 잘 일치함을 볼 수 있다.

그림 10은 제작된 안테나의 E-면과 H-면 복사패턴 측정결과이며, QYA는 배열 축 방향으로 지향성을 갖는다. 안테나의 측정된 이득은 4 dBi 이상, FBR은 7.1 dB 이상으로 유지되는 것을 확인하였다. 기존 연구[5]의 안테나(측정된 이득 3.5 dBi 이상)에 비해 크기는 감소되었으나 이득은 개선된 것이다.

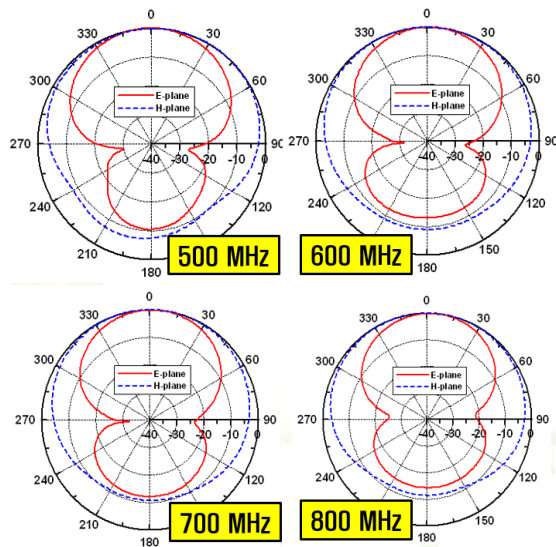


Fig. 10 Measured radiation patterns of fabricated antenna.

제안된 안테나의 실제 DTV 방송 수신 성능을 확인하였으며, 시험환경은 인근의 DTV 송신소로부터 직선 거리 8 km 이상 떨어져 있고, 가시경로를 벗어난 음영 지역의 건물 실내에서 공영 6개 방송(SBS, KBS1,2, EBS1,2, MBC)을 정상적으로 시청할 수 있는지 점검하였다. 그 결과 전체 6개 방송을 이상 없이 수신하는 양호한 성능을 보였다. 따라서 본 논문의 연구결과가 타당하고 제안된 안테나가 DTV 수신용 안테나로서 활용하기에 적합한 것임을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 다이폴을 급전하는 CPS과 MS 선로 간의 밸런을 새로운 링형으로 제안하고, 이를 이용한 DTV 방송수신용 광대역 QYA의 새로운 급전방법에 대해 연구하였다.

제안된 밸런을 이용하여 축 방향으로의 길이를 기존 연구의 안테나에 비해 25% 감소시키고 접지 반사기의 양 끝 부분에 탐로딩하여 안테나의 폭을 10% 감소시켜 소형화(면적은 32.5% 감소)하였다. 제안된 구조의 안테나를 지상파 DTV 방송 주파수 대역에서 동작하도록 설계하고 FR4 기판 상에 제작하였다. 제작된 안테나의 특성을 실험한 결과들이 시뮬레이션과 잘 일치하였고, 기존 연구의 안테나와 성능이 유사하며, 실제 DTV 방송을 수신하는 성능이 양호한 것을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

[1] Y. Qian, W. R. Deal, N. Kaneda, and T. Itoh, "Microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics," *Electronics Letters*, 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 Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 8, pp. 1158-1160, Aug. 2002.

[3] J. Sor, Y. Qian, and T. Itoh, "Coplanar waveguide fed quasi-Yagi antenna," *Electronics Letters*, vol. 36, no. 1, pp. 1-2, Jan. 2000.

[4] G. Zheng, A. A. Kishk, A. W. Glisson, and A. B. Yakovlev, "Simplified feed for modified printed Yagi antenna," *Electronics Letters*, vol. 40, no. 8, pp. 464-466, Apr. 2004.

[5] J. I. Lee, J. Yeo, and Y. K. Cho, "Broadband compact quasi-Yagi antenna for indoor digital TV," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 12, pp. 2859-2863, Dec. 2013.

[6] J. Yeo and J. I. Lee, "Broadband compact series-fed dipole pair antenna with simplified integrated balun," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 56, no. 8, pp. 1731-1734, Aug. 2014.

- [7] J. I. Lee and J. Yeo, "Design of a simple three-element quasi-Yagi antenna with a broad impedance bandwidth up to 2.4 : 1," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 27, no. 17, pp. 2247-2262, Sep. 2013.
- [8] J. Yeo and J. I. Lee, "Series-fed two-dipole array antenna using bow-tie elements with enhanced gain and front-to-back ratio," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 26, nos. 11-12, pp. 1641-1649, Aug. 2012.
- [9] J. Yeo and J. I. Lee, "Size reduction of series-fed two dipole array antenna using top-loaded elements," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 10, pp. 2288-2293, Oct. 2013.
- [10] J. Yeo and J. I. Lee, "Modified series-fed two dipole array antenna with reduced size," *IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 214-217, 2013.



이종익(Jong-Ig Lee)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1998년 3월 ~ 12월 : 금오공과대학교 연구교수
1999년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 메카트로닉스 융합공학부 교수
※관심분야 : 평면 안테나, 전자파 산란



여준호(Junho Yeo)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (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 부교수
※관심분야 : AMC, EBG, FSS 설계 및 안테나 응용, RFID 및 광대역 안테나, 전자파 산란