JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 4 : 672~678 Apr. 2017

변형된 밸런을 갖는 DTV 수신용 3소자 준-야기 안테나

이종익[1] · 여준호[2*]

3-Element Quasi-Yagi Antenna with a Modified Balun for DTV Reception

Jong-Ig Lee[1] · Junho Yeo[2*]

[1]Division of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea
[2*]School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

요 약

본 논문에서는 지상파 디지털 TV방송 수신용 광대역 준-야기 안테나(quasi-Yagi antenna; QYA)의 설계방법에 대해 연구하였다. 제안된 안테나는 FR4 기판의 한 면에 인쇄된 다이폴 투사기(driver)와 이에 근접하는 직사각형 패치 모양의 도파기(director), 접지면 반사기(reflector)로 구성된다. 마이크로스트립(microstrip; MS) 선로와 코플래너스트립(coplanar strip; CPS) 선로 간의 밸런(balun)은 CPS 선로 중앙을 따라 삽입된 직사각형 MS 패치이고 종단의 한 쪽은 CPS 선로에 단락 핀으로 연결되어 있다. DTV용 주파수 대역(470－806 MHz) 동작에 적합하도록 안테나를 설계하고 여러 가지 특성을 관찰하였다. 설계된 안테나는 전압정재파비가 2 이하인 주파수 대역 430－842 MHz, DTV 대역 내 배열 축 방향으로의 이득 > 3.7 dBi, 전후방비 > 7.4 dB 인 양호한 특성을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we studied a design method for a broadband quasi-Yagi antenna (QYA) for terrestrial digital television (DTV) reception. The proposed antenna is composed of a dipole driver, a rectangular patch type director close to the dipole, and a ground reflector printed on an FR4 substrate. A balun between a microstrip line and a coplanar strip (CPS) line is a rectangular patch inserted along the center of the CPS. The end of the balun is connected to the CPS line through a shorting pin. 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, and the characteristics of the designed antenna are examined. The antenna has a good performance such as a frequency band of 430－842 MHz for a voltage standing wave ratio < 2, a gain > 3.7 dBi, and a front-to-back ratio > 7.4 dB.

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

Key word : quasi-Yagi antenna, modified balun, broadband antenna, DTV antenna

Received 08 November 2016, **Revised** 10 November 2016, **Accepted** 17 November 2016

* **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.2017.21.4.672 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/li-censes/ 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

PCB 기판 상에 구현되는 평면 준-야기 안테나(quasi-Yagi antenna; QYA)는 다이폴 투사기(driver), 접지면 반사기(reflector), 그리고 스트립 도파기(director)로 구성될 수 있다[1-3]. 전체 안테나를 급전하는 동축 선로 혹은 마이크로스트립(microstrip; MS) 선로가 불평형 급전선로이고, 주 복사소자인 다이폴은 평형선로로 급전되는 소자이므로 정합을 위한 밸런(balun)이 필요하다. QYA는 적절히 넓은 대역폭과 지향성을 갖고 있어서 RF통신용 트랜시버, 레이다 등에 응용되고 있다.

3소자 QYA에 대한 기존 연구결과[1,2]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) [4]를 사용하는 것이 일반적이지만 LPA의 설계과정이 QYA에 비해 복잡하고 고이득 특성을 갖도록 배열안테나를 구성하는 것이 용이하지 않다. 최근 연구에서는 대역폭을 다이폴에 근접하는 영역에 직사각형 패치형 도파기를 부가하여 광대역 특성을 구현한 연구결과가 보고되었다[5]. QYA를 급전하기 위해서는 불평형 선로인 MS 선로와 평형선로인 코플래너 스트립 (coplanar strip ; CPS) 선로 간 밸런이 필요하다. 밸런은 QYA의 임피던스 특성에 직접적인 영향을 미치게 되므로, 광대역 QYA를 설계하기 위해서는 다이폴 뿐만 아니라 밸런도 함께 설계하여야 한다.

본 연구에서는 지상파 디지털 TV(DTV) 방송 수신용 안테나를 광대역 QYA로 설계하고 소형화하는 방법에 대해 연구하였다. DTV용 대역(470－806 MHz)내에서 전압정재파비(VSWR) < 2 인 광대역 특성(대역 폭이 약 53% 이상)을 만족하고, 대역 내 이득이 최소 3 dBi 이상인 지향성 QYA를 설계하는 방법에 대해 연구하였다. QYA를 급전하는 CPS 선로와 MS 선로 간 밸런은 CPS 선로 중앙으로 삽입된 직사각형 스트립 패치이고, 종단의 한 쪽은 CPS 선로에 단락 핀으로 연결되어 있다[6]. 이러한 형태의 밸런은 기존의 것들에 비해 형상이 단순하고 별도의 공간이 필요 없이 CPS 내장형으로 안테나를 소형화하는데 유리하고 제작이 용이하며 광대역 특성을 갖는다.

RF4 기판에 크기 300 mm(폭) × 150 mm(길이) 이내로 안테나를 설계한다. 직사각형 도파기는 다이폴에 근접하는 영역에 두어서 고주파 대역의 특성을 개선하고 다이폴과 반사기는 반-보우타이 형으로 소형화한다[5]. DTV 대역 동작에 적합하도록 제안된 구조의 QYA를 설계하기 위하여 안테나의 파라미터들을 조정하고, 설계된 안테나의 특성(반사계수, 전류분포, 복사패턴, 이득 등)을 관찰한다. 단, 기존의 DTV수신용 안테나에 관한 많은 연구들[7,8]이 대부분 이동통신 단말기나 랩탑 컴퓨터 등에 대한 것이었고, DTV 수신 안테나의 포트 임피던스를 50옴으로 가정하였으나, 본 연구에서는 실제 DTV의 안테나 포트의 임피던스인 75옴을 가정하였다. DTV 수신용으로 설계된 안테나를 FR4 기판에 제작하고 특성을 실험한 후 시뮬레이션 결과와 비교하여 본 연구의 타당성을 검증하였다. 또한 DTV에 안테나를 직접 연결하고 공영 방송 수신 성능을 확인하였다.

Ⅱ. 안테나의 구조 및 설계

2.1. 안테나 구조

그림 1은 제안된 QYA 구조로서, CPS로 급전되는 다이폴(**D₀**), 접지면 반사기(**R₀**), 도파기(**D₁**)로 구성된다. 급전 MS 선로는 DTV의 포트 임피던스인 75옴과 정합되도록 특성 임피던스가 75옴이 되도록 한다. 급전 MS선로와 CPS 선로 간 밸런은 CPS 선로 중앙을 따라 삽입된 직사각형 MS 패치이며, 참고문헌 [5]의 급전구조와 같이 MS선로를 CPS 선로 한 쪽에 내장시키는 경우에 비해 급전구조가 단순하고 제작이 용이하다. 밸런의 종단은 단락 핀으로 CPS와 연결되어 있다. 안테나가 광대역 특성을 갖도록 도파기 **D₁**은 다이폴에 근접한 영역에 위치하고 안테나를 소형화하기 위해 다이폴과 반사기는 반-보우타이(bow-tie)형(혹은 V형)으로 구성된다[5].

그림 1에서 기판의 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 및 길이 L_r, CPS 선로의 폭 $2w_s$ 및 간격 g_s, 직사각형 패치 모양의 밸런의 길이 l_b 및 폭 w_b, 다이폴과 반사기 사이의 거리 d_0, 다이폴과 도파기 사이의 거리 d_1, 급전 MS 선로의 폭 w_f, 급전점의 단락핀의 직경 0.8 mm이고 밸런의 길이 l_b는 d_f보다 1 mm 길게 하였

다. 다이폴과 반사기를 반-보우타이 형으로 하기 위해 삼각형 패치를 부가하였으며, 각각의 높이는 h_0와 h_r이다. 유전체 기판은 비유전율이 ϵ_r = 4.4이고 두께가 t = 1.6 mm, 손실탄젠트 tanδ= 0.025인 FR4 기판으로 가정하였다.

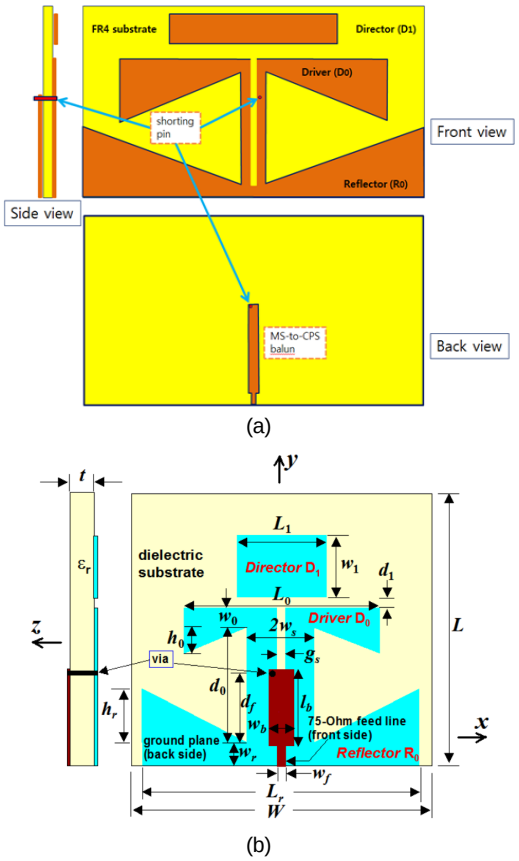


Fig. 1 Geometry of the proposed QYA: (a) geometry and (b) definition of geometrical parameters

2.2. 안테나 설계

제안된 구조의 안테나를 설계함에 있어서 DTV용 주파수 대역(470－806 MHz)에서 전압정재파비(voltage standing wave ratio; VSWR) < 2 및 이득 > 3 dBi 조건을 만족하는 안테나를 설계하되, 안테나의 크기는 300 mm × 150 mm 이내로 제한하였다. 다양한 파라미터 변화에 의한 안테나의 특성을 시뮬레이션하기 위해 상용 전자기 문제 해석 툴인 CST 社의 Microwave Studio (MWS)를 사용하였다.

시뮬레이션을 통해 여러 가지 파라미터들이 안테나 특성에 미치는 영향을 관찰하였으며, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다[5].

- 다이폴의 길이는 저주파 대역 공진 주파수에 영향을 미친다.
- 도파기를 다이폴에 근접한 영역에 두면 고주파 대역의 임피던스 정합과 이득을 개선할 수 있다.
- 반사기를 부가하면 저주파 대역의 이득을 개선할 수 있고 반-보우타이 형으로 하면 소형화 할 수 있다.

제안된 안테나 구조를 지상파 DTV용으로 적합한 특성을 갖도록 설계하였으며, 파라미터들은 표 1에 제시된 바와 같다.

Table. 1 Design parameters of proposed QYA

Parameter	Value (mm)	Parameter	Value (mm)
L	150	h_0	40
W	280	h_r	45
L_0	220	w_s	10
w_0	10	g_s	2
L_1	140	d_0	90
w_1	25	d_1	12
L_r	280	l_b	70
w_r	10	w_b	5
w_f	1.38	t	1.6

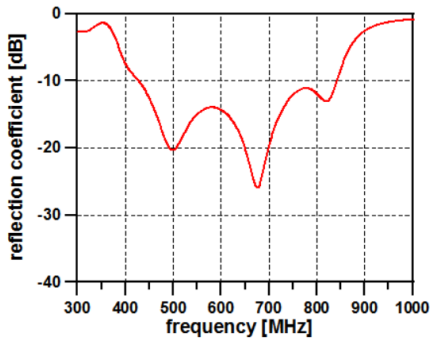
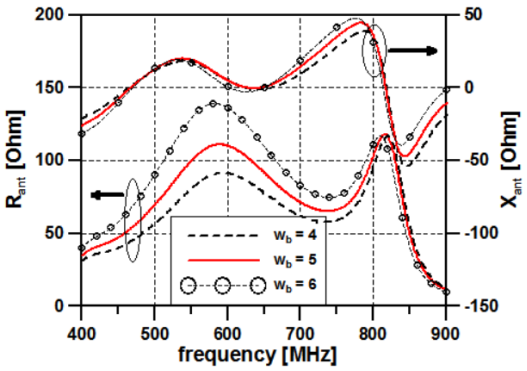


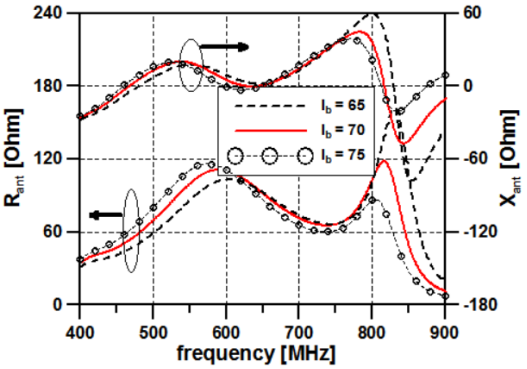
Fig. 2 Reflection coefficient of the antenna designed for DTV reception

표 1의 파라미터들을 갖는 안테나의 반사계수 특성은 그림 2에 제시된 바와 같다. VSWR이 2 이하인 주파수 대역은 430－842 MHz (64.78%)로 DTV 대역을 포함한다.

본 연구에서 사용된 밸런이 안테나 임피던스($Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant}$)에 미치는 영향은 그림 3에 제시된 바와 같다. 밸런의 폭(w_b)은 리액턴스(X_{ant})에는 큰 영향이 없으나 주로 레지스턴스(R_{ant})에 영향을 미친다. 밸런의 길이(l_b)는 대략 600 MHz 이하의 저주파 대역에서 주로 레지스턴스에 영향을 미치고, 그 이후 760 MHz 정도까지는 큰 영향을 미치지 않으나 고주파 대역에서는 임피던스에 큰 변화를 준다. 따라서 밸런의 폭과 길이를 조절하여 저주파 및 고주파 대역의 임피던스 정합 특성을 적절히 조절할 수 있다.



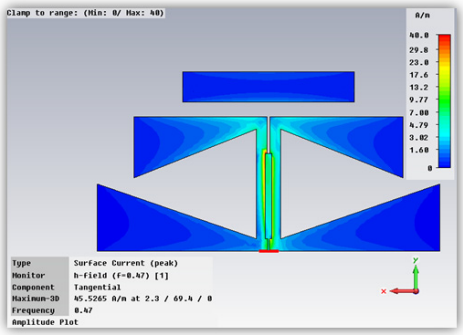
(a)



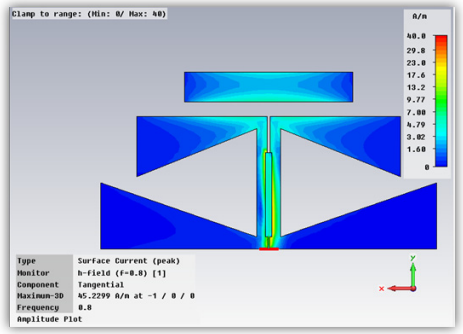
(b)

Fig. 3 Effects of balun on antenna impedance $Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant}$: (a) balun width w_b and (b) balun length l_b

그림 4는 표 1의 설계 변수를 가지는 안테나의 전류 분포를 나타낸다. DTV용 주파수 대역(470－806 MHz)에서 안테나의 표면전류가 대칭적으로 분포되므로 제안된 안테나의 밸런이 제대로 동작되고 있음을 보여준다. 저주파 대역인 470 MHz에서는 다이폴과 반사기에 강한 전류분포를 보여서 도파기는 큰 영향이 없이 다이폴과 반사기가 주된 안테나로 동작되고 있음을 볼 수 있다. 이와는 대조적으로 고주파 대역인 800 MHz에서는 다이폴과 도파기의 결합에 의해 유기된 전류가 도파기에도 분포됨을 볼 수 있다.



(a)

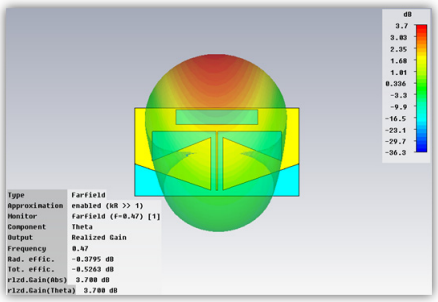


(b)

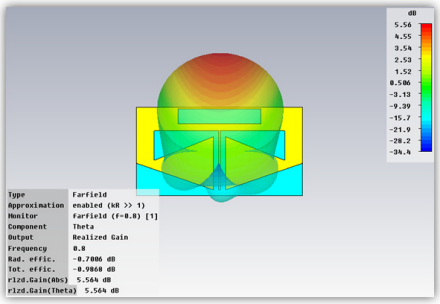
Fig. 4 Surface current distributions: (a) 470 MHz and (b) 800 MHz

그림 5는 DTV 수신용으로 설계된 안테나의 복사패턴을 나타내며, 전체적으로 배열 축 방향(+y 방향)에 근접한 방향으로 지향성을 갖는다. 470 MHz에서 배열 축 방향으로의 이득 3.7 dBi, 전후방비(front-to-back ratio; FBR) 7.4 dB이고, 800 MHz에서 이득 5.6 dBi, FBR 14.5 dB이다. DTV용 전체 대역에서 이득은 3.7 dBi 이상, FBR은 7.4 dB 이상으로 유지되는 양호한 특성을 보인다. 이상의 시뮬레이션 결과들을 볼 때, 제안된 밸런을 이용한 안테나는 기존 밸런을 이용한 안테나[5]에 대

등한 성능을 보이고, 안테나의 크기는 기존 안테나의 크기(200 mm × 240 mm)에 비해 상대적으로 약 13% 감소되었다.



(a)



(b)

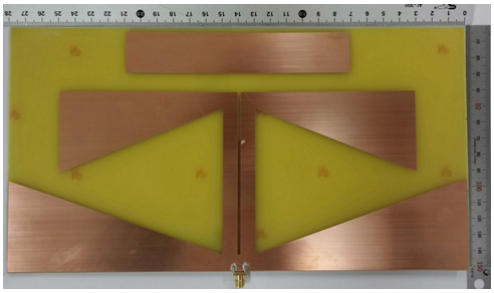
Fig. 5 3D Radiation patterns: (a) 470 MHz and (b) 800 MHz

Ⅲ. 안테나 제작 및 실험 결과

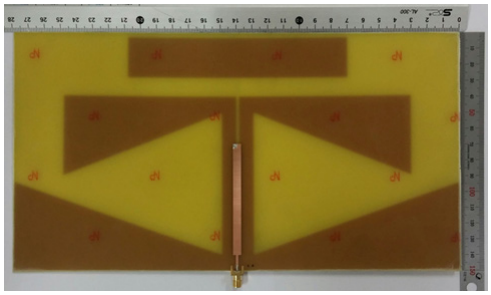
그림 6은 제작된 QYA의 사진이며, 안테나의 크기는 280 mm × 150 mm이다.

제작된 안테나의 VSWR은 네트워크분석기(Agilent 사 N5230A)를 이용하여 측정하였고, 결과는 그림 7에 나타나 있다. 시뮬레이션 결과와 비교하여 일부 주파수 대역(744－808 MHz 대역에서 VSWR이 2를 초과하며 최대치는 2.28)을 제외하고는 VSWR < 2인 주파수 대역이 441－864 MHz로 시뮬레이션(430－842 MHz)과 잘 일치한다.

제작된 안테나의 복사패턴과 이득은 전파무반향실에서 측정되었다. 그림 8은 E-면과 H-면 복사패턴 측정결과이다. QYA는 배열 축 방향으로 지향성을 갖고 FBR은 470 MHz에서 5.3 dB인 것을 제외하고는 500 MHz 이상에서는 7.5 dB이상으로 유지되며 주파수에 따라 증가된다(예를 들면, 800 MHz에서 FBR = 17.6 dB).



(a)



(b)

Fig. 6 Photograph of fabricated antenna: (a) front side and (b) back side

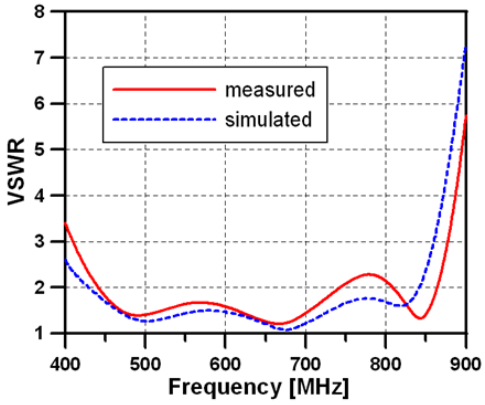
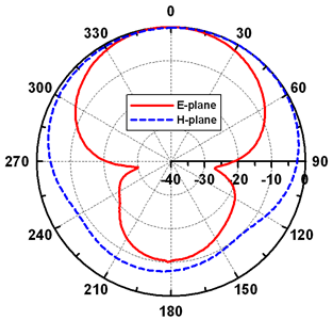
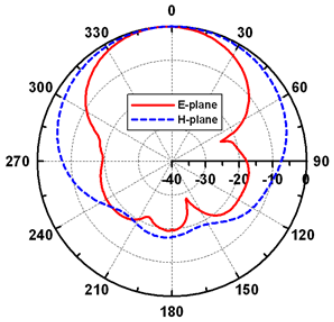


Fig. 7 Measured VSWR of fabricated antenna

그림 9는 이득 측정 결과이며 DTV 대역 내 최대 이득은 5.6 dBi이고, 최소 3.7 dBi 이상으로 유지되는 양호한 특성을 보인다.



(a)



(b)

Fig. 8 Measured radiation patterns of fabricated antenna: (a) 500 MHz and (b) 800 MHz

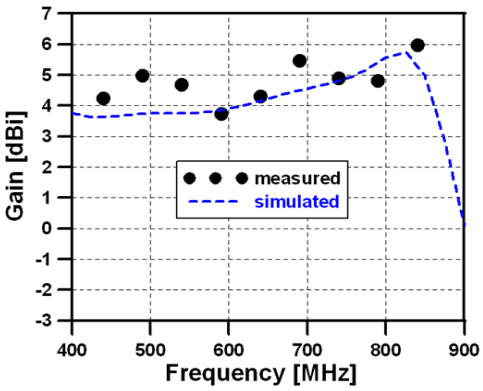


Fig. 9 Realized gain of fabricated antenna

제안된 안테나의 실제 DTV 방송 수신 성능을 확인하기 위해서 인근의 DTV 송신소로부터 직선거리 8 km 이상 떨어져 있고, 가시경로에서 벗어나 직접파를 수신할 수 없는 음영지역의 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. 결 론

본 논문에서는 변형된 밸런을 이용한 지상파 DTV 수신용 광대역 QYA의 새로운 급전방법에 대해 연구하였다. 다이폴을 급전하는 CPS과 MS 선로간의 밸런은 CPS 중앙에 삽입된 직사각형 패치이고, 패치의 한 쪽 끝은 CPS에 단락 핀으로 연결되어 있다. 밸런은 3소자 QYA에 내장되어 소형화에 적합하며, 또한 반-보우타이형 다이폴과 반사기를 채택하여 안테나를 소형화 하였다. 제안된 구조의 안테나를 지상파 DTV 방송 주파수 대역에서 동작하도록 설계하고 FR4 기판 상에 제작하였다. 제작된 안테나의 특성을 실험한 결과들이 시뮬레이션과 잘 일치하였고, 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,” *IIEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 8, pp. 1158-1160, Aug. 2002.

[3] 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.

[4] C. A. Balanis, *Antenna theory: Analysis and design*, 3rd ed., Hoboken, NJ: Wiley, 2005.

[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] K. L. Wong, C. I. Lin, T. Y. Wu, and J. W Lai, "A planar DTV receiving antenna for laptop applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 42, no. 6, pp. 483-486, Sep. 2004.

[8] J. Holopainen, O. Kivekäs, C. Icheln, and P. Vainikainen, "Internal broadband antennas for digital television receiver in mobile terminals," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 10, pp. 3363-3374, Oct. 2010.

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 전자공학과 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