

## 변형된 마이크로스트립-동일면 스트립 선로 밸런을 이용한 이중 다이폴 준-야기 안테나의 대역폭 향상

여준호<sup>1</sup> · 이종익<sup>2\*</sup> · 백운석<sup>3</sup>

### Bandwidth Enhancement of Double-Dipole Quasi-Yagi Antenna Using Modified Microstrip-to-Coplanar Strip line Balun

Junho Yeo<sup>1</sup> · Jong-Ig Lee<sup>2\*</sup> · Woon-Seok Baek<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

<sup>2\*</sup>Division of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan 47011, Korea

<sup>3</sup>Department of Computer and Communication Military Science, Dongyang University, Yeongju 36040, Korea

#### 요약

본 논문에서는 변형된 내장형 밸런을 사용하여 이중 다이폴 준-야기 안테나(double-dipole quasi-Yagi antenna; DDQYA)의 대역폭을 향상하는 방법에 대하여 연구하였다. 변형된 내장형 밸런은 동일면 스트립 선로의 중앙으로 삽입된 마이크로스트립 선로로 구성되며, 마이크로스트립 선로의 끝은 급전점에서 단락 핀으로 동일면 스트립 선로와 연결되어 있다. 변형된 내장형 밸런의 구조는 DDQYA의 대역폭을 향상시키기 위해 조정하였다. 또한, 제안된 밸런의 back-to-back 구조에서의 성능을 기존 밸런과 비교하였다. 최적화된 변형된 내장형 밸런을 가진 DDQYA 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험한 결과 전압 정재파비(voltage standing wave ratio; VSWR) < 2 이하인 대역은 1.56-3.04 GHz(64.4%)이고, 대역폭이 기존의 밸런을 가진 DDQYA에 비해 증가함을 확인하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, a method of enhancing the bandwidth of a double-dipole quasi-Yagi antenna (DDQYA) using a modified integrated balun is presented. The modified integrated balun consists of a microstrip (MS) line inserted along the center of a coplanar strip (CPS) line and the end of the MS line is connected to the CPS line through a shorting pin at the feed point. The geometry of the modified integrated balun is adjusted to improve the bandwidth of the DDQYA. In addition, the performance of the proposed balun in a back-to-back configuration is compared with a conventional balun. The proposed antenna with the optimized modified integrated balun is fabricated on an FR4 substrate, and the experiment results show that the antenna has a frequency band of 1.56-3.04 GHz(64.4%) for a VSWR < 2, which shows enhanced bandwidth compared to the DDQYA with the conventional balun.

**키워드** : 대역폭 향상, 이중 다이폴 준-야기 안테나, 변형된 마이크로스트립-동일면 스트립 선로 밸런, 이동 통신

**Key word** : bandwidth enhancement, double dipole quasi-Yagi antenna; modified microstrip-to-coplanar strip line balun, mobile communication

Received 16 November 2015, Revised 10 December 2015, Accepted 24 December 2015

\* Corresponding Author Jong-Ig Lee(E-mail:leeji@gdsu.dongseo.ac.kr, Tel:+82-51-320-1761)

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

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.3.457>

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

최근 4세대 이동통신 서비스의 발전과 함께 음성 및 멀티미디어의 대용량 고속 데이터를 처리가 요구되고 있으며, 다양한 무선 통신 서비스를 이용하기 위해서는 여러 주파수 대역의 신호를 수신할 수 있는 광대역 안테나가 필요하다[1]. 특히, 인쇄기판을 이용하여 제작이 용이한 광대역 지향성 평면 안테나는 안정된 이득과 적은 후방 방사 요구되는 기지국 및 중계용 안테나에 많이 사용되고 있다.

광대역 지향성 평면 안테나 중에서 평면 준-야기 안테나(quasi-Yagi antenna; QYA)는 다이폴 안테나의 대역폭과 이득을 향상시키기 위해 반사기(reflector)와 도파기 (director)를 추가한 구조로서 다양한 급전방식을 이용하여 연구되고 있다[2]. 평면 QYA의 경우, 급전선로의 절단된 접지면을 반사기로 사용하고 반사기는 전송선로를 통해 다이폴 투사기(driver)와 연결한다. 도파기는 적절한 거리를 두고 다이폴 투사기 위에 위치한다. 반사기는 저주파 대역의 이득을 향상시키고, 도파기는 고주파 대역의 대역폭과 이득을 향상시킨다[3].

평면 이중 다이폴 준-야기 안테나(double-dipole QYA; DDQYA)는 두 개의 길이가 다른 다이폴과 절단된 접지면으로 구성되며, 이들 소자들이 전송선로를 통해 직렬로 연결되어 있고 도파기를 추가할 수 있다[4]. 평면 DDQYA는 평면 QYA의 다이폴 투사기에 길이가 다른 다이폴 투사기가 전송선로를 통해 추가로 연결된 구조로 볼 수 있다. 또한, 두 다이폴의 길이와 간격을 조절하여 광대역 혹은 이중 대역 특성을 얻을 수 있어 설계의 자유도가 높은 장점이 있다.

접지면의 크기를 최소화하기 위해 동일면 스트립(coplanar strip; CPS) 선로의 중심에 삽입된 마이크로 스트립(microstrip; MS) 선로로 구성된 내장형 밸런을 이용한 DDQYA가 제안되었다. VSWR < 2인 주파수 대역이 1.70~2.80 GHz(49%)이고 1.70~2.60 GHz 대역에서 5.5~6.3 dBi의 안정된 이득을 얻을 수 있었다[5]. 유전체 기판의 양쪽 면에 인쇄된 평행 스트립(parallel strip) 선로로 연결된 마름모 다이폴과 직사각형 다이폴로 구성된 DDQYA 구조를 이용하여 2.45 GHz(2.4~2.485 GHz)와 5 GHz(5.15~5.85 GHz) 무선 랜 대역에서 동작하는 이중 대역 안테나를 제안하였다. VSWR < 2인 주파수 대역이 2.32~2.77 GHz(17.8%)와 4.25~

6.3 GHz(34.8%)이고 두 대역에서 4 dBi 이상의 이득을 얻을 수 있었다[6].

본 논문에서는 변형된 내장형 밸런을 사용하여 DDQYA의 대역폭을 향상하는 방법에 대하여 연구하였다. 제안된 DDQYA의 기본 구조는 밸런을 제외하고 참고문헌 [5]의 안테나 구조와 동일하다. 변형된 내장형 밸런은 CPS 선로의 중심에 삽입된 MS 선로로 구성되며, MS 선로의 끝은 급전점에서 단락 핀으로 CPS 선로와 연결되어 있다. 먼저, 제안된 밸런의 back-to-back 구조에서의 성능을 기존 밸런과 비교하여 대역폭이 향상됨을 확인하였다. 그리고, 변형된 내장형 밸런 구조와 관련된 설계 변수가 DDQYA의 입력 VSWR과 이득과 같은 안테나 성능에 미치는 영향을 조사하여 DDQYA의 대역폭을 향상시키기 위한 최종 설계 변수를 도출하였다. 안테나의 특성을 시뮬레이션하고 설계 변수를 최적화하기 위하여 상용 툴인 CST사의 Microwave Studio (MWS)를 이용하였다. 최종 설계된 DDQYA를 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 1.6 mm) 상에 제작하여 특성을 확인하였다.

## II. 안테나 구조 및 설계

### 2.1. 안테나 구조

그림 1은 기존의 내장형 밸런과 제안된 밸런을 가진 DDQYA 안테나의 구조이다. 안테나가 인쇄된 기판의 전면에는 두 개의 길이가 다른 다이폴 안테나 ( $D_1$  및  $D_2$ ), 반사기 역할을 하는 접지면 ( $R_0$ ), 그리고 이들을 연결하는 CPS 선로로 구성된다. 첫 번째 및 두 번째 다이폴의 길이와 폭은 각각  $l_1, w_1, l_2, w_2$ 이고, 첫 번째 다이폴과 반사기 사이의 간격과 두 다이폴 사이의 간격은 각각  $s_1$ 과  $s_2$ 이다. 접지면인 반사기의 길이와 폭은 각각  $l_g$ 와  $w_g$ 이다. CPS 선로의 전체 폭은  $w_{CPS}$ 이다.

기존의 내장형 밸런의 경우, CPS 선로의 한쪽 선로를 접지면으로 하는 MS 선로가 있으며, 끝부분은 단락 핀(via)을 이용해 CPS의 다른 한쪽과 연결된다. MS 선로의 길이 즉 급전점의 위치를 조정하여 특성임피던스 50옴( $\Omega$ )인 MS 선로와 정합을 시킬 수 있다. CPS 선로의 중심으로부터 MS 선로의 중심까지의 거리는  $x_f$ 이고, 반사기로부터 급전점까지 MS 선로의 길이는  $y_{in}$ 이다. CPS 선로의 중심에 있는 슬롯의 폭은  $w_{s1}$ 이다. 50옴

MS 선로의 폭은  $w_f$ 이다.

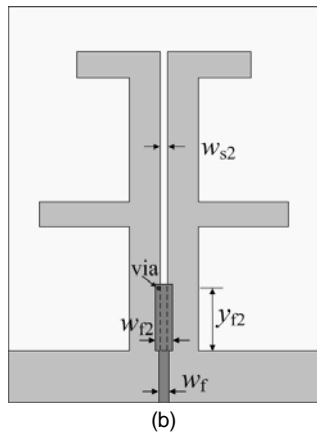
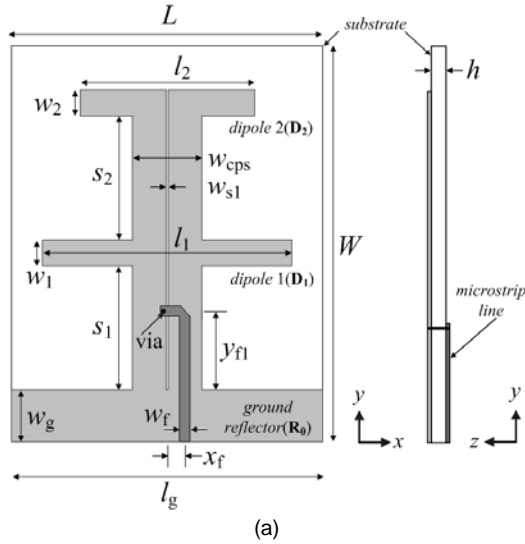


Fig. 1 Geometry of DDQYA with (a) conventional and (b) proposed baluns

제안된 내장형 밸런의 경우, CPS 선로 중심의 뒷면에 MS 선로가 있으며, 끝부분이 단락 핀 (via)을 통해 전면의 CPS의 한쪽과 연결된다. 50옴 MS 선로의 폭은  $w_f$ 이고, CPS 선로에 삽입된 MS 선로의 폭은  $w_{f2}$ 이다. 반사기로부터 급전점까지 삽입된 MS 선로의 길이는  $y_{f2}$ 이다. 이 때, CPS 선로의 중심에 있는 슬롯의 폭은  $w_{s2}$ 이다. 표 1에는 그림 1의 DDQYA의 설계 변수들이 제시되어 있다. 제안된 내장형 밸런의 주요 설계 변수 조정을 통한 특성 변화는 II.3 절에 설명되어 있다.

Table. 1 Design parameters of DDQYA

Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
$L$	90	$w_f$	3
$W$	115	$l_g$	90
$l_1$	72	$w_g$	15
$w_1$	7.5	$w_{s1}$	0.7
$s_1$	36	$x_f$	5
$l_2$	50.4	$y_{f1}$	23
$w_2$	7.5	$w_{s2}$	2.1
$s_2$	36	$w_{f2}$	5
$w_{cps}$	20	$y_{f2}$	18

## 2.2. 밸런 특성 비교

제안된 내장형 밸런의 성능을 기존의 밸런과 비교하기 위하여 그림 2와 같이 동일한 밸런을 서로 마주보도록 배치하는 back-to-back 구조를 시뮬레이션하였다. 서로 마주보는 밸런 사이의 간격은  $l_{CPS} = 44$  mm이다.

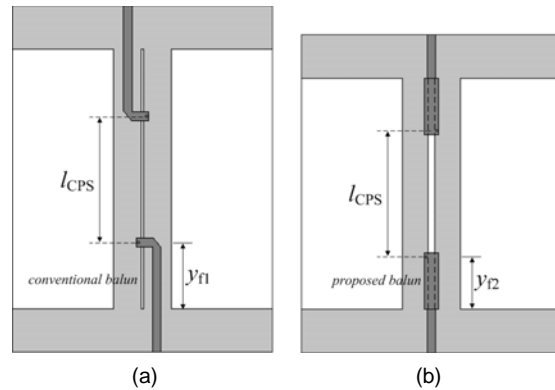


Fig. 2 back-to-back configuration: (a) conventional and (b) proposed baluns

그림 3은 기존의 밸런과 제안된 밸런의 back-to-back 구조에서의 반사계수( $S_{11}$ )와 전달계수( $S_{21}$ ) 특성이 나타나 있다. 기존의 내장형 밸런의 경우,  $VSWR < 2$ 인 주파수 대역이 1.69–3.00 GHz(55.9%)이고, 대역 내에서 삽입 손실이 2.4 dB 이하이다. 반면에, 제안된 밸런의 경우, 1.05–2.71 GHz(88.3%)이다. 주파수 대역의 상한 주파수는 2.71–3.11 GHz 대역에서 임피던스 정합이 개선된다면 3.11 GHz까지 확장될 수 있다. 삽입 손실은 1.30–2.71 GHz 대역에서 2.1 dB이하이지만, 1.30 GHz 이하의 주파수 대역에서는 2.1–5.1 dB이다. 제안된 밸런을 가진 DDQYA는 1.5 GHz 이상의 대역에서 동작하

므로 사용하는데 문제가 없다. 따라서 제안된 밸런의 대역폭이 기존의 밸런보다 훨씬 넓음을 알 수 있다.

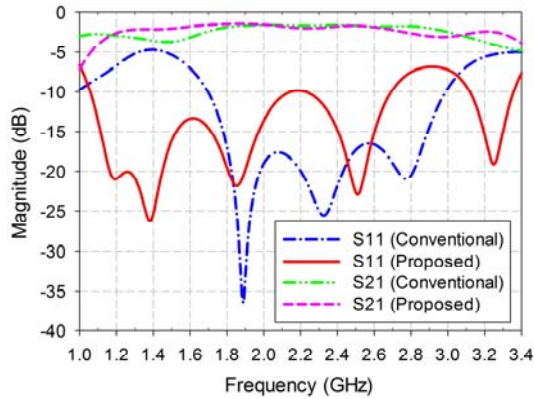


Fig. 3 Performance comparison of back-to-back configuration

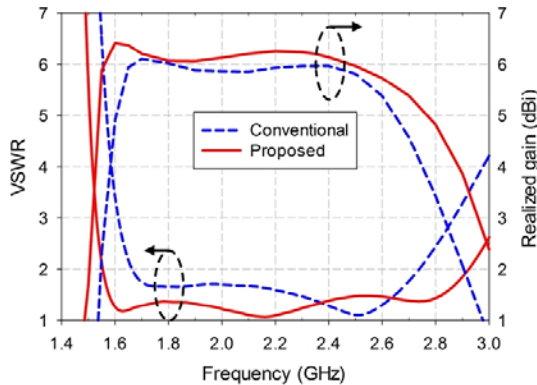


Fig. 4 Performance comparison of DDQYA with proposed and conventional baluns

그림 4는 제안된 밸런을 가진 DDQYA의 입력 VSWR과 이득 특성을 기존의 밸런을 가진 DDQYA와 비교하였다. 기존의 밸런을 가진 DDQYA의 경우, VSWR < 2인 주파수 대역이 1.66–2.74 GHz(49.1%)이고 대역 내에서 이득은 4.0–6.1 dBi이다. 제안된 밸런을 가진 DDQYA의 경우, VSWR < 2인 주파수 대역이 1.55–2.93 GHz(61.6%)로 대역폭이 증가하였고, 대역 내에서 이득은 3.8–6.4 dBi이다. 기존의 밸런을 사용하였을 경우와 비교하여 VSWR 특성에서 레벨 변화가 발생하나 VSWR < 2를 만족하여 특성에는 문제가 없다.

### 2.3. 밸런 특성 시뮬레이션

제안된 밸런을 가지는 DDQYA의 대역폭과 이득은 CPS 선로의 중심에 있는 슬롯의 폭  $w_{s2}$ , CPS 선로에 삽입된 MS 선로의 폭  $w_{l2}$ , 반사기로부터 급전점까지 삽입된 MS 선로의 길이는  $y_{l2}$ 에 의해 결정된다. 이들 설계 변수의 변화에 대한 제안된 DDQYA 특성의 영향을 조사하였다.

그림 5는 CPS 선로의 중심에 있는 슬롯의 폭  $w_{s2}$ 의 변화에 따른 DDQYA의 입력 VSWR과 이득 특성의 변화를 나타내고 있다. 다른 설계 변수는 표 1과 동일하다.  $w_{s2}$ 가 0.7 mm에서 2.1 mm로 증가함에 따라 입력 반사 계수의 VSWR < 2인 주파수 대역의 하한 주파수가 낮아지고 상한 주파수가 높아지게 되어 대역폭이 증가함을 알 수 있다. 예를 들면,  $w_{s2} = 0.7$  mm일 때는 2.23–2.66 GHz 대역에서 입피턴스 정합이 나빠져서 VSWR < 2인 주파수 대역이 1.57–2.23 GHz(37.4%)와 2.66–2.85 GHz(6.9%)이고, 대역 내에서 이득은 각각 5.4–6.3 dBi와 3.3–4.6 dBi이다.  $w_{s2} = 2.1$  mm로 증가하면 VSWR < 2인 주파수 대역이 1.55–2.93 GHz(61.6%)이고, 대역 내에서 이득은 3.8–6.4 dBi이고 평균 이득이 증가하였다.

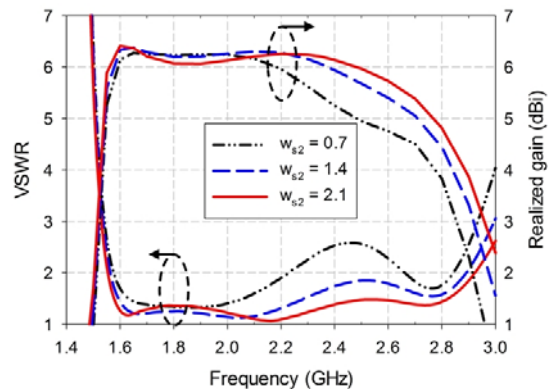


Fig. 5 Input VSWR and gain variations as functions of  $w_{s2}$

CPS 선로에 삽입된 MS 선로의 폭  $w_{l2}$ 의 변화에 따른 DDQYA의 입력 VSWR과 이득 특성의 변화가 그림 6에 나타나 있다. 다른 설계 변수는 표 1과 동일하다.  $w_{l2}$ 가 5 mm에서 8 mm로 증가함에 따라 입력 반사 계수의 VSWR < 2인 주파수 대역의 하한 주파수가 높아지고 상한 주파수가 낮아지게 되어 대역폭이 감소함을 알 수

있다. 예를 들면,  $w_{l2} = 5$  mm일 때는  $VSWR < 2$ 인 주파수 대역이 1.55–2.93 GHz(61.6%)이고, 대역 내에서 이득은 3.8–6.4 dBi이다.  $w_{l2} = 8$  mm로 증가하면 1.76–2.06 GHz 대역에서 입피턴스 정합이 나빠져서  $VSWR < 2$ 인 주파수 대역이 1.60–1.76 GHz(9.52%)와 2.06–2.87 GHz(32.9%)이고, 대역 내에서 이득은 각각 5.7–6.1 dBi와 3.5–6.1 dBi이다.

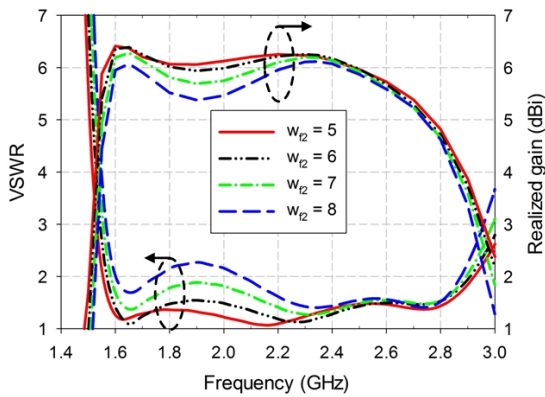


Fig. 6 Input VSWR and gain variations as functions of  $w_{l2}$

그림 7은 반사기로부터 급전점까지 삽입된 MS 선로의 길이는  $y_{l2}$ 의 변화에 따른 DDQYA의 입력 VSWR과 이득 특성의 변화를 나타내고 있다. 다른 설계 변수는 표 1과 동일하다.  $y_{l2}$ 가 18 mm에서 22 mm로 증가함에 따라 입력 반사계수의  $VSWR < 2$ 인 주파수 대역의 하한 주파수가 높아지고 상한 주파수가 낮아지게 되어 대역폭이 감소함을 알 수 있다.

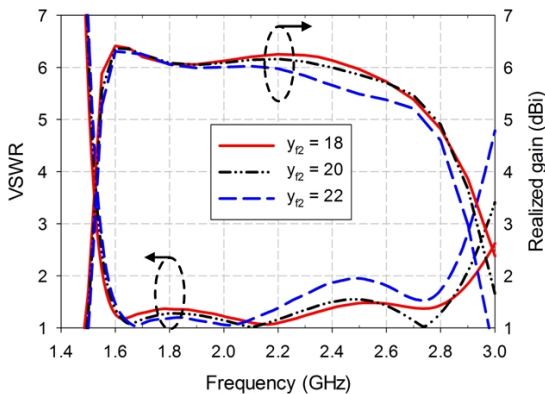


Fig. 7 Input VSWR and gain variations as functions of  $y_{l2}$

예를 들면,  $y_{l2} = 18$  mm일 때는  $VSWR < 2$ 인 주파수 대역이 1.55–2.93 GHz(61.6%)이고, 대역 내에서 이득은 3.8–6.4 dBi이다.  $y_{l2} = 22$  mm로 증가하면  $VSWR < 2$ 인 주파수 대역이 1.57–2.83 GHz(57.3%)이고, 대역 내에서 이득은 4.1–6.3 dBi이다. 특성 시뮬레이션 결과를 통해 대역폭을 향상시키기 위해 선택된 제안된 밸런의 설계 변수는  $w_{s2} = 2.1$  mm,  $w_{l2} = 5$  mm,  $y_{l2} = 18$  mm이다.

### III. 안테나 제작 및 실험 결과

최종 설계된 제안된 밸런을 가진 DDQYA를 FR4 기판( $\epsilon_r = 4.4$ , 두께 = 1.6 mm, loss tangent = 0.025)을 이용하여 제작하였다. 그림 8의 제작된 안테나의 크기는 90 mm × 115 mm이다.



Fig. 8 Photograph of fabricated antenna

그림 9는 제작된 제안된 밸런을 가진 DDQYA의 입력 VSWR과 이득 특성을 기존의 밸런을 가진 DDQYA와 비교하였다. 제작된 안테나의 입력 VSWR은 회로망분석기(N5230A, Agilent社)를 이용하여 측정하였다. 기존의 밸런을 가진 DDQYA의 경우,  $VSWR < 2$ 인 주파수 대역은 시뮬레이션 결과 1.66–2.74 GHz(49.1%)이고, 측정 결과는 1.67–2.78 GHz(49.9%)이다. 제안된 밸런을 가진 DDQYA의 경우,  $VSWR < 2$ 인 주파수 대역은 시뮬레이션 결과 1.55–2.93 GHz(61.6%)이고, 측정 결과는 1.56–3.04 GHz(64.4%)이다. 측정 결과 대역의 상한 주파수가 증가하여 대역폭이 증가하였다. 측정 이득은 기존의 밸런을 가진 DDQYA는 대역 내에서 3.6–5.9 dBi이고,

제안된 밸런을 가진 DDQYA는 3.6–6.2 dBi이다. 측정 결과로부터 제안된 밸런을 가진 DDQYA의 임피던스 및 이득 대역폭이 기존의 밸런을 가진 DDQYA에 비해 많이 증가하였음을 알 수 있다.

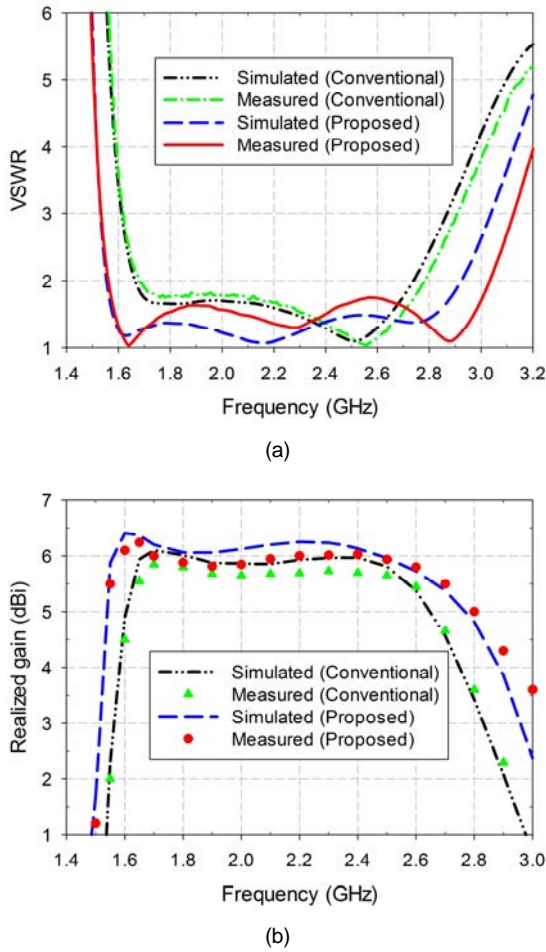


Fig. 9 Performance comparison of fabricated antenna: (a) Input VSWR and (b) gain

그림 10은 1.8 GHz, 2.3 GHz, 2.6 GHz에서 제안된 밸런을 가진 DDQYA의 E-면(x-y면)과 H-면(y-z면) 복사 패턴을 기존의 밸런을 가진 DDQYA와 비교하였다. 제안된 밸런을 가진 DDQYA의 복사 패턴이 기존의 밸런을 가진 DDQYA와 유사함을 알 수 있다. 또한 전후방비가 12 dB 이상으로 유지됨을 알 수 있다.

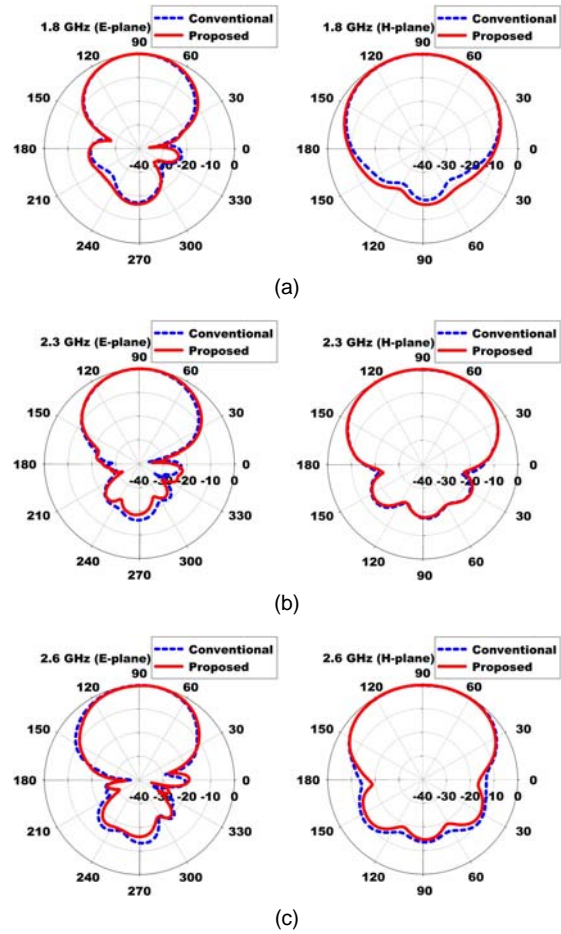


Fig. 10 Radiation patterns comparison of fabricated antenna: (a) 1.8 GHz, (b) 2.3 GHz, and (c) 2.6 GHz

#### IV. 결론

본 논문에서는 변형된 내장형 밸런을 사용하여 DDQYA의 대역폭을 향상하는 방법에 대하여 연구하였다. 변형된 내장형 밸런은 CPS 선로의 중심에 삽입된 MS 선로로 구성되며 MS 선로의 끝은 급전점에서 단락된 형태로 단락되어 있다. 제안된 밸런의 back-to-back 구조에서의 성능을 기존 밸런과 비교하여 대역폭이 향상됨을 확인하였다.

최종 설계된 변형된 내장형 밸런을 가진 DDQYA 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험한 결과 VSWR < 2 이하인 대역은 1.56–3.04 GHz(64.4%)이



고, 대역폭이 기존의 배열을 가진 DDQYA에 비해 증가함을 확인하였다.

제안된 안테나는 PCS, IMT2000, LTE 등의 다양한 이동통신을 지원하는 기지국 안테나 혹은 소출력 중계 기용 안테나에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] R. Waterhouse, *Printed Antennas for Wireless Communications*. Chichester, U.K.: Wiley, 2007.
- [2] N. Kaneda, W. R. Deal, Y. Qian, R. Waterhouse, and T. Itoh, "A broad-band planar quasi-Yagi antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 50, no. 8, pp. 1158–1160, Aug. 2002.
- [3] 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," *J. Electromagn. Waves Appl.*, vol. 27, no. 17, pp. 2247–2262, 2013.
- [4] F. Tefiku and C. A. Grimes, "Design of broad-band and dual-band antennas comprised of series-fed printed-strip dipole pairs," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 48, no. 6, pp. 895–900, Jun. 2000.
- [5] J. Yeo and J.-I. Lee, "Broadband series-fed two dipole array antenna with an integrated balun for mobile communication applications," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, no. 9, pp. 2166–2168, Sep. 2012.
- [6] J. M. Steyn, J. W. Odendaal, J. and Joubert, "Double dipole antenna for dual-band wireless local area networks applications," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 51, no. 9, pp. 2034–2038, Sep. 2009.



**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



**이종익(Jong-Ig Lee)**

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1998년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1998년 3월12월 : 금오공과대학교 연구교수  
 1999년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 메카트로닉스융합공학부 교수  
 ※관심분야 : 평면 안테나, 전자파 산란



**백운석(Woon-Seok Baek)**

1982년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1997년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1988년 2월 ~ 1995년 8월 : 국방과학연구소 선임연구원  
 1995년 9월 ~ 2000년 1월 : 동양대학교 정보통신공학과 조교수  
 2000년 2월 ~ 2010년 12월 : ㈜우리텔레콤 전무이사  
 2011년 1월 ~ 현재 : ㈜엘엔비 이사  
 2014년 3월 ~ 현재 : 동양대학교 컴퓨터정보통신공학과 부교수  
 ※관심분야 : EMI/EMC, 평면 안테나, 전자파 산란