발룬의 평형도 해석을 이용한 소형화된 광대역 Quasi-Yagi 안테나 설계

Design of Compact and Broadband Quasi-Yagi Antenna Using Balance Analysis of the Balun

우동식 · 김인복 · 김영곤 · 김강욱

Dong Sik Woo · In-Bok Kim · Young-Gon Kim · Kang Wook Kim

요 약

본 논문에서는 초광대역 마이크로스트립-coplanar stripline(CPS) 발룬의 평형도 해석을 이용한 광대역 특성을 가지는 소형화된 quasi-Yagi 안테나를 제안하였다. 기존 구조의 밑면의 반사기를 제거하고, 접지면을 반사기로 사용하여 안테나 크기를 줄였다. 그리고 마이크로스트립 선로에서 평형 선로인 CPS로 변환해 주는 평면형 발룬의 특성을 확인하기 위해 CPS 출력 포트에서 크기 및 위상 불평형 특성을 조사하고 분석하여 광대역 안테나 급전에 적합함을 보였다. 해석 결과, 7~20 GHz 이상까지 각각 1 dB 이하, $180 \pm 5^\circ$ 이내의 크기 및 위상 불평형 특성을 얻었다. 제안된 발룬을 적용하여 최종 설계한 안테나는 6.9~15.1 GHz(74.5 %)의 넓은 주파수 대역폭을 가졌고, 이득은 3.7~5.5 dBi, 10 dB 이상의 전후방비, 그리고 방사 효율은 전 대역에서 평균적으로 94 %의 우수한 특성을 가졌다.

Abstract

In this paper, a compact, broadband quasi-Yagi antenna utilizing balance analysis of the ultra-wideband microstrip-to-coplanar stripline(MS-to-CPS) balun is proposed. The antenna size was reduced by removing the reflector on bottom layer and ground plane is used as a reflector. A planar balun that transforms from microstrip(MS) to balanced coplanar stripline(CPS) is characterized in the amplitude and phase imbalances at CPS output ports are investigated and discussed. As compared with the conventional balun, the proposed MS-to-CPS balun demonstrated very wideband performance from 7 to over 20 GHz. From the simulation study, amplitude and phase imbalances are within 1 dB and $\pm 5^\circ$, respectively. The implemented antenna provides very wide bandwidth from 6.9 to 15.1 GHz(74.5 %). The gain of the antenna is from 3.7 to 5.5 dBi, the front-to-back ratio is more than 10 dB, and the nominal radiation efficiency is about 94 %.

Key words : Microstrip Antenna, Coplanar Stripline(CPS), Broadband Antenna, Balun, Balance Analysis

I. 서 론

N. Kaneda와 Y. Qian에 의해 처음 소개된 진행파형 평면형 quasi-Yagi 안테나^{[1]~[3]}는 광대역, 소형, 고

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구 결과로 수행되었음(NIPA-2012-H0401-12-1006).」

경북대학교 전자공학과(School of Electronics Engineering, College of IT Engineering, Kyungpook National University)

· Manuscript received October 19, 2012 ; Revised December 26, 2012 ; Accepted December 27, 2012. (ID No. 20121019-118)

· Corresponding Author : Kang Wook Kim (e-mail : kang_kim@ee.knu.ac.kr)

이득, 저가, 쉬운 제작 및 마이크로파 집적회로(MICs)와 쉽게 연결되는 장점으로 인해 마이크로파 및 밀리미터파 대역의 위상 배열(phased-array) 안테나, 공간 전력 합성(spatial power combining), 능동 배열(active-array) 및 이미징(imaging) 시스템에 널리 사용되어지고 있다^[3]. Quasi-Yagi 안테나의 구조는 기존의 Yagi-Uda 다이폴 배열과 거의 유사하지만, 유전체 위에 인쇄된 복사기(driver)가 TE₀ 모드의 표면파(surface wave)를 발생시킨다는 큰 차이점을 가진다. 일반적으로 표면파는 낮은 방사 효율(radiation efficiency), 높은 교차 편파(cross-polarization)와 강한 상호 결합(mutual coupling) 등 좋지 못한 특성을 가지게 하지만, quasi-Yagi 안테나에서는 유전체 내에서의 표면파를 적극 활용하여 방사에 사용하였다. 잘려진(truncated) 밀면 그라운드층은 이 표면파의 반사기(reflector) 역할을 하게 되어 전방으로 우수한 방사 특성을 가지게 한다. 그리고 복사기에서 발생한 표면파는 도파기(director)에서 강하게 결합되어 방향성을 향상시켜 전후방비(F/B ratio)와 임피던스 대역폭을 향상시킨다^{[3],[9]}.

지금까지의 quasi-Yagi 안테나들은 방사 소자의 설계는 거의 유사하지만, 주요 차이점은 급전에 사용되는 발룬의 구조와 방식에 있었다. 급전에 사용된 주요 발룬은 MS-to-CPS^{[1]-[4]}, Coplanar waveguide (CPW)-to-CPS^{[5],[6]}, MS-to-slotline^[7], 그리고 결합된 MS-to-CPS^{[8],[9]} 발룬 등이 있다. 이중 가장 일반적으로 사용되고 있는 180° 위상 지연을 이용한 MS-to-CPS 발룬^[10]은 중심 주파수 근처에서 제한된 주파수 범위 내에서만 유효한 기모드(odd-mode)의 신호가 여기(excitation)되어 동작 주파수가 제한되고, 중심 주파수에서 멀어질수록 방사 특성이 열화된다. 따라서 광대역 안테나에 발룬을 적용하기 이전에 발룬의 특성을 먼저 확인해야 할 필요가 있다. 발룬(혹은 전이 구조)을 해석하기 위해 주로 사용된 방법은 back-to-back 연결을 통해 삽입 손실과 반사 손실을 확인하는 정도였다. 그러나 발룬의 크기 및 위상의 불평형(imbalance)을 확인해 보면 발룬의 정확한 특성을 파악할 수 있으며, 사용될 안테나에 대한 적합성을 판단할 수 있다. 지금까지 대부분의 quasi-Yagi 안테나 설계에 있어 발룬의 불평형성에 대한 평가와 분석이 간과되어 왔었다^{[11]-[9]}. 그뿐 아니라 마이크로스트립

선로와 발룬, CPS 선로와 안테나 사이의 연결에 대한 설계 원리나 임피던스 정합에 대한 설명이 부족하였다. 또한, 광대역 quasi-Yagi 안테나를 설계하기 위해 반사 손실 대역폭에만 주안점을 두고 설계 파라미터를 최적화하는 연구가 주를 이루어왔다. 하지만 발룬과 안테나를 분리하여 설계하지 않고, 발룬까지 포함한 안테나 구조에 대하여, 넓은 주파수 범위에 대하여 3차원 전자기 해석을 수행하고 최적화함으로써 많은 설계 시간을 소모하게 하였다. 사용된 기관 또한 CPS의 임피던스를 낮춰 설계가 쉽고 크기를 줄이기 위해 주로 높은 유전율의 기관을 사용하였으나, 비교적 가격이 높고, 방사 효율을 악화시키는 단점이 있었다.

본 논문에서는 기존의 quasi-Yagi 안테나^[4]에 사용하였던 초광대역 MS-to-CPS 발룬의 불평형 특성을 추가한 개선된 성능을 가지는 소형 광대역 quasi-Yagi 안테나를 제안하였다. CPS 밀면에 적용하였던 반사기를 접지면으로 대체하여 CPS 선로 길이를 줄여 기존 설계의 53 %의 크기로 줄였으며, 3 포트 검증 회로를 통해 발룬의 크기 및 위상의 불평형 정도를 분석하여 광대역 안테나에 사용 가능한 여부를 판단하였다. 전체적으로 임피던스 매칭의 관점에서 입력 마이크로스트립 선로에서 발룬, CPS 평형 급전선, 그리고 안테나까지 연결하는 간편한 quasi-Yagi 안테나 설계 방법을 제안하였다. 이를 바탕으로 최대 대역폭을 가지는 quasi-Yagi 안테나를 설계하여 기존 구조에 비하여 20 % 이상의 대역폭을 개선하였고, 대역 내에서 균일한 방사 특성을 얻어 설계법을 검증하였다.

II. 발룬 설계 및 평형도 해석

2-1 발룬 설계 및 제작

그림 1(a)은 본 논문에 사용된 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬을 back-to-back으로 연결한 구조이다. 마이크로스트립 모드에서 CPS 모드로 자연스럽게 전이되도록 참고문헌 [11]를 참고하여 설계하였다. 접지면은 필드 정합과 임피던스 정합을 위하여 최적화된 Klopfenstein 테이퍼 선로로 설계하여 주어진 길이 내에서 반사 손실을 최소화 하였고, CPS의 한 쪽 선로는 동일한 포텐셜을 가지게 하기 위해 via

(a) 제작된 발룬(back-to-back)
(a) Fabricated balun(back-to-back)

(b) 측정 결과(접지면 확장: GND EXT)
(b) Measured results(ground extension: GND EXT)

그림 1. 제작된 발룬 및 측정 결과

Fig. 1. Fabricated balun and measured results.

로 연결하였다. 일반적으로 CPS 선로의 특성 임피던스는 마이크로스트립 선로에 비하여 비교적 높다. 본 논문에서는 CPS 선로 사이의 간격이 0.127 mm, CPS 선로의 선폭이 0.762 mm인 107 Ω 의 CPS 선로를 급전선으로 사용하였고, 발룬을 통해 50 Ω 에서 107 Ω 로 변환되도록 하였다. 발룬의 전이 길이(L_{bal})는 6.6 mm, back-to-back 연결 구조에서 CPS 선로 길이(L_{cps})는 5.33 mm로 정하여 해석하였다. 사용된 기판은 그림 1과 같이 ROGERS사의 0.508 mm 두께의 RO4003® ($\epsilon_r=3.38$, $\tan \delta=0.0027$)을 이용하였고, 3차원 구조 해석은 ANSYS®사의 HFSS™를 사용하였다. 그림 1(a)에 밑면 사진에서 보는 바와 같이 기존 발룬 구조에 비하여 접지면을 확장하였다. 이는 높

은 주파수 대역에서 접지면이 안테나의 반사기로 좋은 성능을 가지게 하기 위함이다. 측정 결과, 그림 1(b)와 같이 7~20 GHz 이상까지 단일 전이 구조에 대하여 1 dB 이하의 삽입 손실과 10 dB 이상의 반사 손실을 가지며, 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 또한, 접지면 확장에 의한 발룬의 특성의 변화는 거의 없음을 확인하였다.

2-2 발룬의 평형도 해석(Balance Analysis)

발룬은 불평형 선로와 평형 선로 간에 신호를 변환시켜 주는 회로이다. 본 연구에서와 같이 안테나에 적용하기 전에 발룬의 특성을 확인하는 것은 중요하며, 평형 선로에서 크기와 위상의 평형도를 해석하면 더욱 유용한 정보를 얻을 수 있다^[12]. 다이폴 같은 평형 안테나를 급전하기 위하여서는 CPS 선로 간에 크기가 동일하고, 180도의 위상차가 나도록 여기시켜 주어야 한다. 좋지 못한 평형 특성은 안테나의 방사 특성의 열화를 가져온다. CPS 선로에서의 평형도 분석을 위해 그림 2(a)와 같이 3개의 포트를 가지는 검증 회로를 이용하여 CPS 출력 포트에서 크기와 위상 특성을 분석하였다.

참고문헌 [12]에서 제시한 방법을 참고하여 출력단의 CPS 선로를 대칭적으로 두 개의 마이크로스트립 포트로 변환시켜주어 크기 및 위상의 불평형 특성을 조사하였다. 참고문헌 [3]에 사용된 180° 위상 지연을 이용한 MS-to-CPS 발룬^[10]의 위상 불평형 특성을 조사해 본 결과, 동작 주파수의 경계주파수 영역에서 급격하게 평형 특성이 열화되었고, 동작 주파수 영역 내에서 180°±20°의 좋지 못한 위상 불평형 특성을 가짐을 확인하였다. 이는 경계주파수 영역에서 quasi-Yagi 안테나 고유의 대역폭을 제한될 수 있음을 알 수 있다. 따라서 발룬의 평형도 해석을 통하여 사용 가능한 최대 대역폭을 정확하게 평가해 볼 수 있으며, 안테나의 대역폭이 발룬의 대역폭보다 넓은 경우, 최적 대역폭을 가지는 안테나를 설계할 수 있다. 또한, 단순한 back-to-back 특성만으로 사용 가능한 대역폭을 정확하게 산출하는 것은 무리가 있음을 알 수 있다. 해석 결과, 그림 2(b)와 같이 6~16 GHz 주파수 범위 내에서 1 dB 이내의 크기 불평형 특성을 가졌다. 위상 불평형의 경우는 178°에서 185°로 유지되어, 전 대역에서 7° 이내의 우수한 특

(a) 검증 회로의 레이아웃
(a) Test layouts

(b) 시뮬레이션 결과
(b) Simulated results

그림 2. 평형도 해석을 위한 검증 회로
Fig. 2. Test circuit for balance analysis.

성을 가졌다. 일반적으로 응용되는 소자에 따라 다르지만, 1.5 dB 이내의 크기 불평형과 $180^\circ \pm 5^\circ$ 의 위상 불평형 특성을 잘 설계된 발룬이라고 할 때^[12], 제안된 발룬의 특성은 quasi-Yagi 안테나뿐만 아니라 Bow-tie 안테나 및 테이퍼 슬롯 안테나와 같은 다양한 형태의 광대역 안테나에 적용하기에 유용함을 알 수 있었다^{[13],[14]}.

III. 안테나 설계 및 제작 결과

설계된 광대역 MS-to-CPS 발룬을 이용한 quasi-Yagi 안테나의 구조를 그림 3에 나타내었다. 방사 역할을 하는 복사기와 기생 소자인 도파기 그리고 반사기 역할을 하는 접지면을 포함한 방사부에 설계된

그림 3. 제안된 안테나의 구조와 설계 파라미터(단위: mm)($L_1=6.22$, $L_2=7.87$, $W_1=1.78$, $W_2=1.52$, $S_d=0.89$, $S_r=5.88$, $S_g=0.127$, $L_{cps}=1.27$, $W_{cps}=0.76$, $L_{bal}=6.6$, $G_{ext}=2$)

Fig. 3. Configurations of the proposed antenna and design parameters(unit: mm)($L_1=6.22$, $L_2=7.87$, $W_1=1.78$, $W_2=1.52$, $S_d=0.89$, $S_r=5.88$, $S_g=0.127$, $L_{cps}=1.27$, $W_{cps}=0.76$, $L_{bal}=6.6$, $G_{ext}=2$).

발룬을 연결하면 전체 안테나가 완성된다. 안테나의 설계시 발룬을 제외한 방사부만 분리하여 시뮬레이션 하였고, 급전점 포트 임피던스는 CPS 특성 임피던스와 동일한 107 Ω 으로 두고 수행하였다. 본 논문에서는 최대의 대역폭을 얻는 것을 목표로 하여 복사기와 도파기를 최적화 하였다. 복사기 간의 간격(S_g)은 0.127 mm, 복사기의 길이(L_2)는 대략 9 GHz에서 $\lambda_0/4$ 에 해당되며, 전체 동작 주파수 대역중 낮은 주파수 대역에서의 특성을 결정한다. 반면, 도파기 길이(L_1)와 복사기와의 간격(S_d)은 높은 주파수 대역의 특성에 영향을 준다. 밀면과 복사기 간의 간격(S_r)은 전 대역에서 좋은 전후방비를 얻도록 선정하였다. 본 논문에서 S_r 은 12 GHz에서 $\lambda_0/4$ 길이에 해당하는 5.72 mm로 선정하였다. 전체적 안테나의 크기는 중심 주파수 기준 19 mm $\times$ 20 mm($0.63 \lambda_0 \times 0.67 \lambda_0$)로 이전 설계^[4]의 53 %에 해당하는 작은 크기이다. RT/Duroid 6010® ($\epsilon_r=10.2$)나 Alumina ($\epsilon_r=9.8$)와 같은 고유전율 기판을 사용한다면 향후 더욱 소형화된 안테나의 설계가 가능할 것으로 판단된다. 먼저 반사기를 제거하고 접지면을 반사기로 사용하여 전체 크기를 줄였다. 이때 접지면 확장 길이(G_{ext})에 따른 안테나의 특성의 변화를 확인해 보았다. 시뮬레이션

(a) 접지면 확장(G_{ext})에 따른 반사계수 비교
(a) Comparison of reflection coefficient as a function of ground plane extension(G_{ext})

(b) 반사계수 비교
(b) Comparison of reflection coefficient

(c) VSWR 특성
(c) Simulated and measured VSWR

그림 4. 안테나 측정 결과
Fig. 4. Measured results of the antenna.

결과, 그림 4(a)와 같이 0에서 3 mm로 가변하였을 경우 대역폭의 변화는 거의 없었으며, 방사 패턴의 경우 G_{ext} 가 증가함에 따라 높은 주파수 대역에서 후엽 특성이 개선되었다. 본 논문에서는 전 대역에서 고른 전후방비 특성을 갖도록 2 mm의 G_{ext} 로 선정하였다. 한편, 발룬에 의한 대역폭의 변화를 확인해 보기 위하여, 그림 3과 같이 복사기와 도파기만으로 구성된 경우(A), 반사기까지 포함한 경우(B, 발룬은 제외) 그리고 발룬까지 포함한 전체 안테나(C)의 반사 계수를 HFSS를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 해석 결과, 그림 4(b)와 같이 반사기와 발룬에 의한 대역폭의 변화가 거의 없음을 확인하였고, 안테나 고유의 특성이 잘 유지됨을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 그림 4(c)와 같이 VSWR이 2인 기준으로 하였을 때 6.9~15.1 GHz(74.5 %)의 대역폭을 가져 X/Ku 대역에 걸쳐 넓은 주파수 범위를 가졌으며, 측정 결과 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였다.

그림 5는 안테나의 이득과 방사 효율을 보여주고 있다. 측정된 안테나의 이득은 3.7~5.5 dBi를 가졌다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과 사이의 이득의 차이는 제작 및 측정 오차에 의해 발생한 것으로 판단된다. 11 GHz 이상에서의 비교적 낮은 이득은 측정 시스템과 제작 오차, 그리고 반사 손실의 열화에 일부 기인한 것으로 판단된다. 방사 효율은 시뮬레이션 결과 평균적으로 94 % 정도이다.

8 GHz와 14 GHz에서 안테나 표면에서의 전류밀도 분포를 HFSS를 이용하여 해석한 결과는 그림 6과 같다. 낮은 주파수대역인 8 GHz 대역에서는 복사기가 주요 방사 특성을 결정하는 것을 확인할 수 있으며, 반면 높은 주파수 대역인 14 GHz에서는 도파기가 기생 소자로 동작하여 복사기와 강하게 결합되어 안테나 방사 특성을 결정한다는 것을 볼 수 있다. 그러므로 도파기의 길이와 복사기와의 간격을 조절하여 높은 주파수 대역의 특성을 최적화 할 수 있다. 반면, Yagi-Uda 이론에 근거하여 도파기 길이와 복사기 사이의 간격을 조절하면 대역폭은 좁아지지만 이득을 향상시키는 설계가 가능하다.

한편, 위상 배열과 이미징 시스템에 적용 가능성을 확인하기 위하여, 상호 결합(mutual coupling) 특성을 조사하였다. 수평 및 수직 배열 구조에서 각각의 인

그림 5. 안테나 이득과 효율

Fig. 5. Antenna gain and efficiency.

그림 6. 전류 밀도 분포

Fig. 6. Current density distribution.

접한 두 안테나 소자 사이의 결합의 정도를 전달계수(S_{21})를 통해 간단히 확인하였다. 수평 간격이 21 mm, 수직 간격이 15 mm의 경우 2×2 배열에 대한 상호 결합 특성을 그림 7과 같이 시뮬레이션 하였다. 안테나 간격이 $0.7 \lambda_0$ (21 mm)일 때, 수평 상호 결합은 동작 주파수 내에서 $-17 \sim -30$ dB 이하 격리 특성을 얻었다. 수직 상호 결합은 기판 사이의 수직 간격이 $0.5 \lambda_0$ (15 mm)일 때, $-15 \sim -30$ dB 이하의 격리도를 얻었다. 상대적으로 수직 결합이 수평 결합보다 큰 것은 H-면의 빔 폭이 E-plane에 비하여 크기 때문이다. 배열 환경에서도 단일 안테나의 반사 손실과 방사 특성에 큰 변화가 없어 배열 소자로서 사용가능함을 확인하였다.

그림 8은 제작된 안테나의 측정된 방사 패턴을 보여주고 있다. 측정된 방사 패턴은 비교적 균일하고, 주파수에 따라 큰 편차가 없음을 알 수 있다. 특히 10 dB 반사 손실의 경계에 해당하는 8 GHz와 14 GHz에서도 중심 주파수와 거의 유사한 특성을 가져

(a) 배열 구성도

(a) Array structure

(b) 시뮬레이션 결과

(b) Simulated results

그림 7. 상호 결합 특성

Fig. 7. Mutual coupling characteristic.

주파수에 따라 고른 방사 특성을 얻었다. E-plane의 3 dB 빔 폭은 대략 80° 이며, 전후방비는 10~25 dB의 특성을 가졌다. 측정된 교차 편파 레벨은 기존 연구와 비슷한 정도이나, H면의 경우는 최대 -10 dB 정도로 다소 높은 편이다. 제안된 안테나의 전체 특성은 표 1에 이전 연구와 비교하여 정리하였다. 기존에 보고한 안테나^[4]에 비하여 20 % 이상의 향상된 동작 대역폭을 가지며, 전반적인 특성은 유사하지만, 이전 설계 대비 53 %의 크기로 줄었고, 대역 내에서 균일한 방사 특성을 얻을 수 있었다. 제안된 안테나를 RT/Duroid 6010®과 같은 고유전율($\epsilon_r=10.2$) 기판

그림 8. 측정된 방사 패턴

Fig. 8. Measured radiation patterns(CO-POL: co-polarization, X-POL: cross-polarization).

표 1. Quasi-Yagi 안테나 성능 요약

Table 1. Performance summary of the quasi-Yagi antennas.

Parameters	Unit	참고문헌 [3]	참고문헌 [4]	본 연구
동작 주파수 및 대역폭	GHz	7.2~12	10.6~18.3	6.9~15.1
	%	48	53.3	74.5
이득	dBi	3.4~5.1	4.5~5.5	3.7~5.5
빔 폭(3 dB)	deg(°)	110	78~85	70~87
전후방비	dB	> 12	8~15	10~25
교차 편파	dB	< -12	< -12	< -10
방사 효율	%	93	94	94
크기	mm	13×20	20×36	19×20
사용된 기관		RT/Duroid 6010® ($\epsilon_r=10.2$, $t=0.762$ mm, $\tan \delta=0.0023$)	RO4003®($\epsilon_r=3.38$, $t=0.508$ mm, $\tan \delta=0.0027$)	

을 이용하여 설계한다면 더욱 소형화된 안테나를 제작할 수 있을 것으로 판단된다. 높은 이득을 필요로 하는 시스템에 적용하기 위해 이득을 높이는 방법은 방사체인 도파기의 크기와 복사기 사이의 간격을 조절하고, 도파기의 개수를 추가하면 가능하지만 설계 파라미터가 많아지고 대역폭이 줄어드는 관계가 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 크기와 대역폭이 개선된 소형 광대역 quasi-Yagi 안테나를 소개하였다. CPS 선로 밑면의 반사기를 접지면으로 대체하여 이전 연구의 53 %에 해당하는 크기로 소형화 하였다. 따라서 CPS 선로와 반사기의 결합에 의한 간섭을 줄일 수 있어 밀리미터파 주파수와 같이 높은 주파수에도 응용 가능성을 보였다. MS-to-CPS 발룬의 크기 및 위상 불평형도를 조사한 결과, 동작 주파수보다 훨씬 넓은 대역에서 $180^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 이내의 우수한 위상 특성을 얻었다. 해석된 발룬을 광대역 quasi-Yagi 안테나에 적용하여 6.9~15.1 GHz(74.5 %)의 넓은 대역에서 균일한 방사 특성을 얻어 기존 안테나에 비하여 20 % 이상 향상된 대역폭을 얻을 수 있었다. 또한, 전체적으로 입력 마이크로스트립 선로에서 발룬 그리고 방사체인 안테나까지를 임피던스 매칭의 관점에서 독립적으로 설계하고, 연결함을 통해 간편한 quasi-Yagi 안테나 설계 방법을 제시하였다. 제안된 안테나는 마이크로파 및 밀리미터파 대역의 소형, 광대역 위상배열 시스템과 이미징 시스템 등에 좋은 대안이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] N. Kaneda, Y. Qian, and T. Itoh, "A novel Yagi-Uda dipole array fed by a microstrip-to-CPS transition", in *Proc. 1998 Asia Pacific Microwave Conf. Dig.*, pp. 1413-1416, Dec. 1998.
- [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] W. Deal, N. Kaneda, J. Sor, Y. Qian, and T. Itoh, "A new quasi-Yagi antenna for planar active antenna arrays", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 48, no. 6, pp. 910-918, Jun. 2000.
- [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. Tech. Lett.*, vol. 50, pp. 2068-2071, Aug. 2008.
- [5] J. Sor, Y. Qian, and T. Itoh, "Coplanar waveguide fed quasi-yagi antenna", *Electron. Lett.*, vol. 36, pp. 1-2, Jan. 2000.
- [6] H. K. Kan, R. B. Waterhouse, A. M. Abbosh, and M. E. Bialkowski, "Simple broadband planar CPW-fed quasi-Yagi antenna", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 18-20, 2007.
- [7] S. X. Ta, B. C. Kim, H. S. Choo, and I. M. Park, "Wideband quasi-Yagi antenna fed by microstrip-to-slotline transition", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 54, pp. 150-153, Jan. 2012.
- [8] B. Edward, D. Rees, "A broadband printed dipole with integrated balun", *Microw. Jour.*, pp. 339-344, May 1987.
- [9] K. M. K. H. Leong, Y. Qian, and T. Itoh, "Surface wave enhanced broadband planar antenna for wireless applications", *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, vol. 11, pp. 62-64, Feb. 2001.
- [10] Y. Qian, T. Itoh, "A broadband uniplanar microstrip-to-CPS transition", *1997 Asia Pacific Microwave Conf. Dig.*, pp. 609-612, Dec. 1997.
- [11] Y. G. Kim, D. S. Woo, K. W. Kim, and Y. K. Cho, "A new ultra-wideband microstrip-to-CPS transition", *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, pp. 1563-1566, Jun. 2007.
- [12] B. Jokanovic, V. Trifunovic, and B. Reljic, "Balance measurements in double-Y baluns", *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, vol. 149, no. 6, pp. 257-260, 2002.
- [13] D. S. Woo, Y. G. Kim, Y. K. Cho and K. W. Kim, "Ultra-wideband Fermi antenna using microstrip-to-CPS balun", *IEICE Trans. Comm.*, vol. EB-93-B, no. 8, pp. 2219-2222, Aug. 2010.
- [14] D. S. Woo, Y. G. Kim, I. B. Kim, Y. K. Cho and

K. W. Kim, "Broadband antennas using a planar ultra-wideband balun", *11th IEEE Int'l, Conf. Co-*

mm. Tech., ICCT 2008, pp. 305-308, Nov. 2008.

우 동 식

2002년 2월: 경북대학교 전자전기
컴퓨터학부 (공학사)
2004년 2월: 경북대학교 전자공학
과 (공학석사)
2004년 3월~현재: 경북대학교 전
자공학과 박사과정
2009년 10월~현재: 이엠와이즈통

신(주) 선임연구원

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 시스템 설계, 초
광대역 안테나 설계 및 부품 설계 및 패키징.

김 영 곤

2006년 2월: 경북대학교 전자전기
컴퓨터학부 (공학사)
2008년 2월: 경북대학교 전자공학
과 (공학석사)
2008년 3월~현재: 경북대학교 전
자공학과 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 회로 설계,

초광대역 발륜, 광대역 믹서 및 주파수 체배기

김 인 복

2008년 2월: 경북대학교 전자전기
컴퓨터학부 (공학사)
2010년 2월: 경북대학교 전자공학
과 (공학석사)
2010년 3월~현재: 경북대학교 전
자공학과 박사과정

[주 관심분야] 다이오드 검파기, 믹

서 및 주파수 체배기, 마이크로파 및 밀리미터파 안테나
및 시스템 설계

김 강 욱

1985년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학사)
1987년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학석사)
1996년 7월: University of Califor-
nia, Los Angeles. 전자공학과 (공
학박사)

1987년~1990년: 한국전기연구소 연구원

1996년~1998년: University of California, Los Angeles. Post-
Doctor 연구원

1998년~1999년: P-Com, Inc. 마이크로파 설계연구원

1999년~2001년: Narda DBS Microwave, RF 설계연구원

2001년~2005년: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조교수

2006년~2011년: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수

2011년~현재: 경북대학교 IT대학 전자공학과 교수

2007년 5월~현재: 이엠와이즈통신(주) 대표이사

[주 관심분야] 마이크로파 통신시스템 및 서브시스템, 마
이크로파 및 밀리미터파 부품 및 패키징, 무선 통신용
안테나, 전자기 상호 작용 및 전자기 수차 해석