

자연모사 기반 광대역 새싹 안테나 설계

Design of a Nature-inspired Wideband Sprout-leaf Antenna

우 동 식*, 배 성 현*

Dongsik Woo*, Sunghyun Bae*

Abstract

This paper presents a nature-inspired wideband sprout-leaf shaped antenna with end-fire radiation pattern. A sprout-leaf shape angled-radiator was designed for wide beamwidth radiation patterns for motion detection sensors. An extended and truncated ground plane was used as a reflector for end-fire radiation patterns. To feed the balanced radiator, a broadband microstrip (MS) to coplanar stripline (CPS) balun was utilized with excellent amplitude and phase balance. The proposed antenna demonstrates wide frequency bandwidth from 8.5 to 14.5 GHz with wide beamwidth and the radiation efficiency of 90%. The measured gain is from 4 to 5 dBi and front-to-back ratio was 10 to 20 dB. It has been shown that the proposed antenna can be used for imaging sensors, phased array systems, and radars that require a wide bandwidth and a directional radiation pattern.

요 약

본 논문에서는 광대역 지향성 방사패턴을 가지는 자연에서 영감을 얻은 새싹 모양 안테나를 제안한다. 모션감지 센서 응용을 위해 넓은 빔폭을 가지는 새싹 모양의 기울어진 방사체를 설계하였다. 확장된 잘려진 접지면을 반사기로 작용하도록 하여 지향성 방사패턴을 가지도록 하였다. 평형 방사체를 급전하기 위하여 우수한 진폭 및 위상 평형도를 가지는 광대역 발룬을 활용하였다. 제안된 안테나는 8.5에서 14.5 GHz의 넓은 주파수 대역폭과 넓은 빔폭을 가졌으며, 방사 효율은 90% 정도이었다. 측정된 이득은 4에서 5dBi이며, 전후방비는 10~20dB이었다. 제안된 안테나는 광대역 넓은 빔폭과 지향성 방사패턴을 요구하는 이미징 센서, 위상 배열 시스템 및 레이더 등에 활용될 수 있음을 보였다.

Key words : nature-inspired, sprout-leaf, wideband antenna, coplanar stripline, balun

1. 서론

최근 부각되고 있는 자연모사기술(Nature-Inspired Technology)은 자연에 존재하는 여러 현상 그리고 살아있는 생명체의 구조, 원리 및 메커니즘으로부터 영감(inspiration)을 얻어 이것을 공학적으로 응용하는 기술을 말하는 것으로 생태모방(biomimicry), 생

체모방 공학(biomimetics), 바이오닉스(bionics), 바이오그노시스(biognosis), 바이오 창조공학(bionical creativity engineering) 등과 같은 단어와 함께 사용되고 있다. 이러한 자연모사기술을 다양한 응용 분야에 적용하여 성능의 개선이나 새로운 접근을 통한 창의적 응용기술이 지속적으로 보고되고 있다[1].

* Dept. of Aviation Information & Communications Engineering, Kyungwoon University

★ Corresponding author

E-mail : shbae@ikw.ac.kr, Tel : +82-54-479-1312

Manuscript received May. 30, 2020; revised Jun. 23, 2020; accepted Jun. 24, 2020.

This research was supported by a Research Grant of Kyungwoon University in 2020.

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.

한편, 무선통신 시스템의 빠른 발전으로 기지국이나 휴대용 단말기, 사물인터넷(internet of things), 5G 등에 사용되는 안테나는 소형, 경량, 다른 시스템과의 통합, 다중 대역 및 광대역 동작 등과 같은 점점 더 엄격한 기준이 요구되고 있다[2]. 평면형 마이크로스트립 안테나(MSA)는 이러한 요구 조건에 부합하는 매력적인 특성을 가져 고정(fixed) 또는 모바일(mobile) 무선통신 응용으로 가장 널리 사용되고 있다[3-4].

최근 자연에서 영감을 얻어 형상을 설계하는 자연모사 기술을 접목한 자연모사 안테나에 관한 연구가 점차 증가하고 있다. 박쥐의 귀 모양의 형상이나, 말벌의 곡선 등 동물의 모양을 활용한 안테나 등이 보고되었으며, 식물의 다양한 잎 모양을 모사한 안테나들이 몇몇 보고되고 있다. 웨어러블 프랙탈(fractal) 안테나, 자스민(jasmine) 꽃이나 은행잎 모양의 UWB 모노폴 안테나, 대역저지 특성을 가지는 튜립 안테나, 광대역 특성을 위한 castor 잎 모양의 self-complementary 안테나, 단풍(maple) 및 holly 잎 모양의 안테나, 장미 잎 모양 안테나 등 다양한 안테나들이 보고되었다[5-10]. 그러나 이러한 안테나들은 대부분 모노폴 안테나와 유사하여, 넓은 빔 폭과 광대역 특성을 가지지만 안테나 이득이 낮아 지향성 방사 패턴이 필요한 레이더나 이미징 시스템 및 위상배열 시스템 등에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 새싹의 잎(sprout-leaf) 형상에서 영감을 얻어 설계한 새싹 모양의 방사체를 가지는 광대역 새싹 안테나를 제안하고 그 특성을 분석하였다. 새싹 모양의 방사체는 넓은 빔 폭을 가지도록 설계하기 위하여 각도에 따른 빔 폭 및 방사특성을 해석하여 최적의 기울어진 각도를 선정하였다. 잘려진(truncated) 접지면은 후방방사(backward radiation)를 억제하는 반사기(reflector) 역할을 하도록 접지면과 방사체의 간격을 조정하여 지향성 방사패턴을 가지도록 하였다. 평형 방사체의 급전을 위해 마이크로스트립(MS, microstrip) 선로에서 코플래너 스트립(CPS, coplanar strip) 선로로 임피던스와 필드를 변환해주는 광대역 발룬(balun)을 사용하였다. X대역 주파수에서 비교적 이득 편차가 적고 빔 폭이 넓어 지향성 방사특성이 필요한 마이크로파 센서 및 레이더 등에 응용 가능하도록 설계하고 모의해석 및 측정을 통하여 검증하였다.

II. 본론

1. 새싹 안테나 설계

새싹 안테나는 그림 1과 같이 크게 급전을 위한 발룬 설계와 기울어진 타원형 방사체, 그리고 잘려진 접지면으로 구성된다. 먼저 MS-to-CPS 발룬을 설계하여 특성을 파악한 후, 방사체에 발룬을 연결하고, 접지면을 적절하게 조정하여 전체 새싹 안테나를 완성하였다.

새싹 모양의 방사체는 그림 1(a)의 사진과 같은 새싹잎의 형상에서 영감을 얻어 기울어진 타원(angled-ellipse) 모양으로 설계하였다.

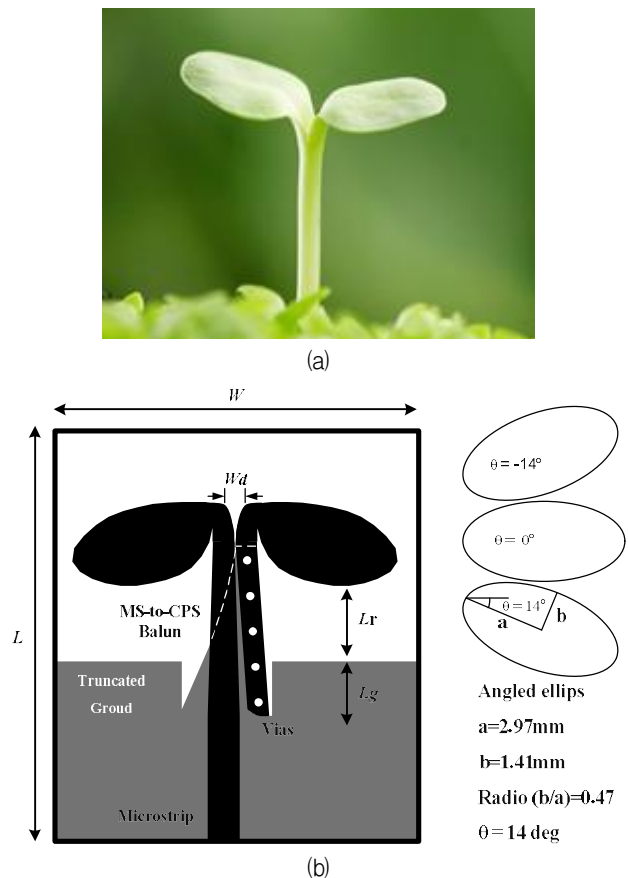


Fig. 1. Geometry of the proposed sprout-leaf antenna (L=15.5, W=12.8, Lg=3.17mm, Lr=2mm, Wd=0.58mm, dimensions are in mm) (a) sprout-leaf photo, (b) antenna layout.

그림 1. 제안된 새싹 안테나의 형상 (a) 새싹잎 사진, (b) 안테나 레이아웃

이때 그림 1(b)의 타원의 기울어진 각도 θ 를 $+14^\circ$, 0° , -14° 로 순차적으로 바꾸어 가며 방사특성 및 산란계수를 분석하였다. 기울어진 각도 중 가장 넓은

빔 폭을 가지는 θ 가 $+14^\circ$ 인 경우를 선정하여 전체 특성을 분석하였다. 설계된 타원 모양의 방사체는 장축($a=2.94\text{mm}$)와 단축($b=1.41\text{mm}$)의 비가 0.47이 되도록 하여 새싹 모양과 유사하도록 설계하였다.

타원의 장축 $2a$ 의 길이 5.94mm 은 공기 중의 $\lambda_0/4$ 길이와 연관이 있으며 설계하고자 하는 주파수인 X에서 Ku 대역에서 원하는 특성을 가지도록 최적화하였다. W_d 는 CPS 임피던스와 안테나의 입력 임피던스간 정합이 잘 되고, 높은 주파수 대역에서 방사가 자연스럽게 일어나도록 0.58mm 정도로 최적화하였다. 잘려진 접지면은 안테나의 반사기로 동작하기 위하여 방사체와 접지면 사이의 간격 L_r 과 L_g 을 조정하여 후방방사가 잘 억제되도록 최적화하였고, 전후방비(front-to-back ratio)가 10dB 이상 되도록 설계하였다.

2. MS-to-CPS 발룬 설계

평면형 안테나에 사용되는 급전선로는 MS, CPW (coplanar waveguide), CPS, 슬롯선로(slotline) 등이 대표적이다. 이와 더불어 전송선로 간의 다양한 연결을 위한 전이구조(transition) 혹은 발룬을 사용하여 소형이면서 급전이 쉽고, 다양한 평면형 소자 등과 집적하여 손실을 최소화하는 연구도 다양하게 이루어져 왔다[11-12]. 평형 방사체를 급전하는 가장 일반적인 방법은 180° 위상지연을 가지는 MS-to-CPS 발룬을 이용하는 방법이다[13]. 하지만 정확하게 중심 주파수에서만 기모드(odd-mode) 신호가 여기(excitation)되기 때문에, 중심에서 벗어난 주파수에서는 위상 불평형이 급격히 증가함으로 인하여 방사특성이 열화되는 단점이 있다. 발룬의 특성을 확인하는 가장 일반적인 방법은 back-to-back 연결을 통해 산란계수를 확인해 보는 것이지만, 크기 및 위상의 불평형(imbalance)의 정도를 확인해 보면 명확히 발룬의 특성을 규명할 수 있다[14]. 본 논문에서는 광대역 안테나에 발룬을 사용하기 위하여, 불평형 MS 선로에서 평형 CPS으로 자연스러운 필드변환과 테이퍼 함수에 따른 최적의 임피던스 변환을 가지는 MS-to-CPS 발룬을 설계하였다. 변환되는 임피던스는 50Ω 의 MS 선로에서 106Ω 의 CPS 선로로 변환되도록 하였다. CPS 선로의 크기는 한쪽 선로의 선폭을 0.76mm , 선로 사이의 간격은 0.127mm 로 설정하여 106Ω 이 되도록 하여 방사체의 안테나 입력임피던스(Z_a)에 맞도록 하였다.

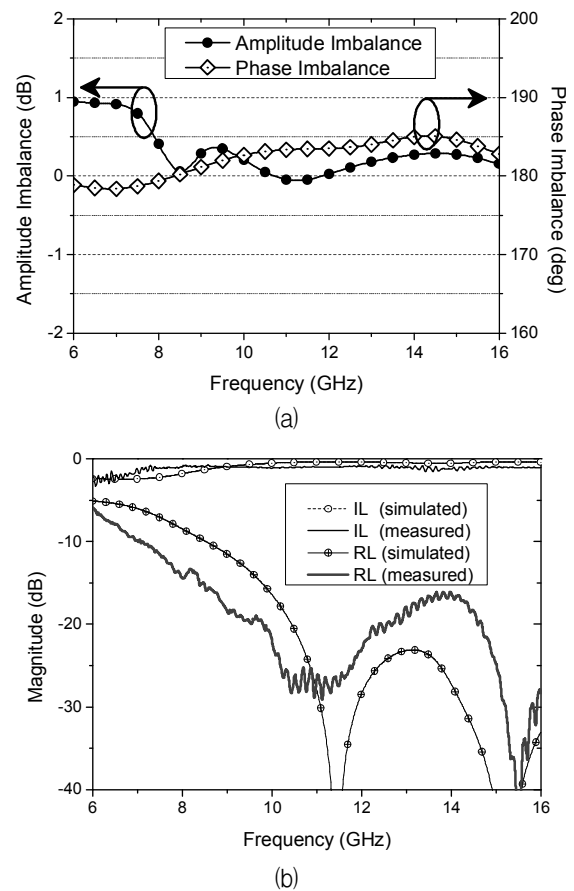


Fig. 2. Performance of the MS-to-CPS balun
(a) amplitude and phase imbalance, (b) S-parameters.

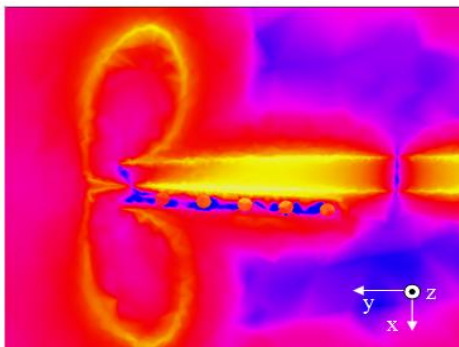
그림 2. MS-to-CPS 발룬의 특성

(a) 크기 및 위상 불평형, (b) 산란계수

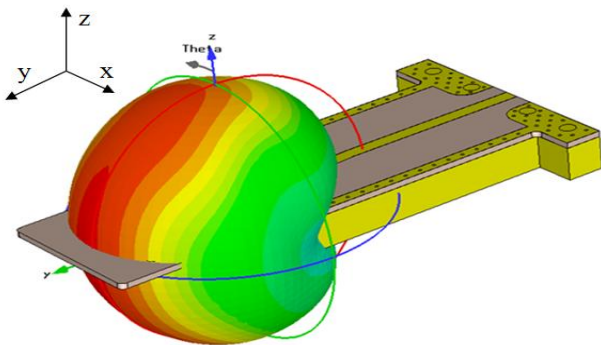
발룬의 평형도 해석을 수행 결과 그림 2(a)와 같이 전체 동작 주파수 내에서 $\pm 0.5\text{dB}$ 정도의 진폭 평형(amplitude imbalance)과 $180 \pm 4^\circ$ 의 위상 평형(phase imbalance)의 우수한 특성을 가짐을 확인하였다. 발룬을 back-to-back 형태로 연결하여 삽입 손실 및 반사손실 특성을 확인하였다. 측정 결과 그림 2(b)와 같이 7에서 20GHz 까지 1dB 이하의 삽입손실과 10dB 이상의 반사손실 특성을 가지며 모의해석과도 비교적 잘 일치한다. 따라서, 본 새싹 안테나의 급전 발룬으로 충분한 성능을 가져 제안된 안테나의 급전에 적합함을 알 수 있다. 설계된 새싹잎 모양의 평형 방사체를 MS-to-CPS 발룬과 임피던스의 관점에서 연속성 있게 연결해주는 간단한 방식으로 전체 안테나를 쉽게 설계할 수 있음을 알 수 있다. 발룬의 우수한 특성으로 인하여 방사체 고유의 특성이 전체 안테나에서도 그대로 적용됨을 모의해석을 통해서 확인할 수 있다.

2. 안테나의 모의해석 및 측정결과

안테나의 모의해석에는 3차원 full-wave 시뮬레이터인 ANSYS HFSS를 사용하였고, CST Microwave Studio로 비교 검증하였다. 모의해석을 통해 확인한 전장(electric field) 분포는 그림 3(a)와 같다. 새싹 방사체에서 정확하게 공진이 일어남을 전장 분포를 통하여 확인할 수 있으며 후방으로 방사되는 전장은 접지면 반사기로 상쇄되어 후방으로 방사되지 않고 전방 방향으로 중첩됨을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 3. The performance of the simulated antenna

- (a) Electric field distribution at 12 GHz,
- (b) 3D radiation pattern at 12 GHz.

그림 3. 모의해석된 안테나 특성

- (a) 전장 분포 (b) 3차원 방사패턴(12GHz)

그림 3(b)는 12GHz에서 CST로 모의해석한 안테나의 3차원 방사 패턴이다. 해석결과 안테나 전방(+y축)으로 지향성 방사 패턴이 잘 형성됨을 알 수 있다. 모의해석을 바탕으로 최종 제작된 안테나는 그림 4와 같다. 제작에 사용된 기판은 비유전율 ϵ_r 이 3.38, 두께가 0.508mm인 Rogers사의 RO4003이며, 전체 안테나의 크기는 12.8 × 15.5 mm로서 비교적 작은 크기를 가진다.

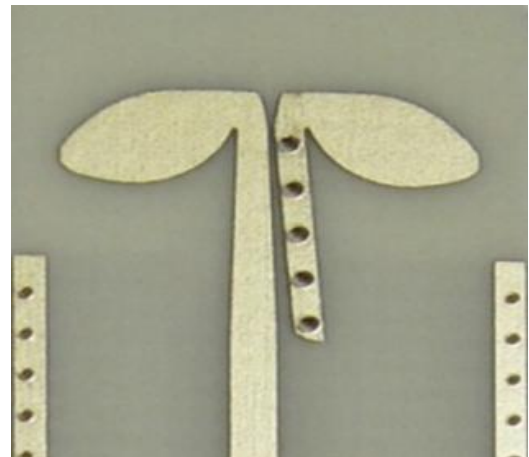


Fig. 4. Fabricated sprout-leaf antenna.

그림 4. 제작된 새싹 안테나

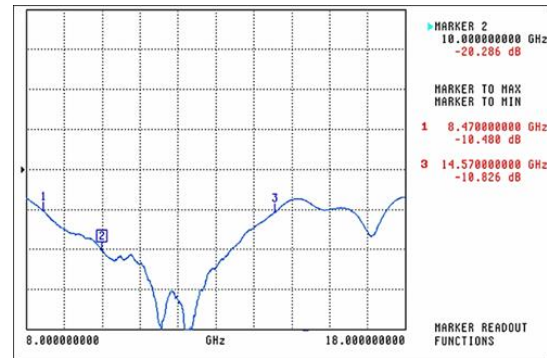


Fig. 5. Measured return loss(S11).

그림 5. 측정된 반사손실(S11)

산란계수의 측정은 40GHz까지 측정 가능한 Anritsu사의 범용 test fixture 38801K와 65GHz까지 측정 가능한 37397C 백터 네트워크 분석기를 사용하였다. 제작된 안테나를 네트워크 분석기로 측정된 반사손실(S11) 특성은 그림 5와 같다. 8.5에서 14.5 GHz까지 6GHz 대역 내에서 52%의 대역폭을 가졌다. 그림 6은 9, 10, 11 GHz에서 각각 측정된 E면의 방사패턴이다. 0° 방향으로 80° 이상의 넓은 빔폭을 가지면서, 모의해석한 결과와 같이, 충분히 억제된 후방 방사 특성을 가졌다. 또한 측정된 주파수에서 비교적 고른 이득 및 우수한 방사특성을 가짐을 알 수 있다. 이는 새싹 모양 방사체의 동작 대역폭보다 훨씬 넓은 주파수 대역에서 MS-to-CPS 발룬의 크기와 위상 불평형 특성이 우수함에 기인하는 것이며, 잘려진 접지면도 넓은 주파수 대역에서 반사기로 잘 동작하기 때문이다. 전체 동작 주파수에서 측정된 이득은 그림 7과 같이 4~5.5 dBi 정도 이며, E면과 H면의 3 dB 빔폭은 각각 85°, 90°

정도이었다. 모의 해석한 방사효율은 90% 이상으로 부정합에 의한 반사나 손실이 없이 안테나로 잘 급전됨을 알 수 있다.

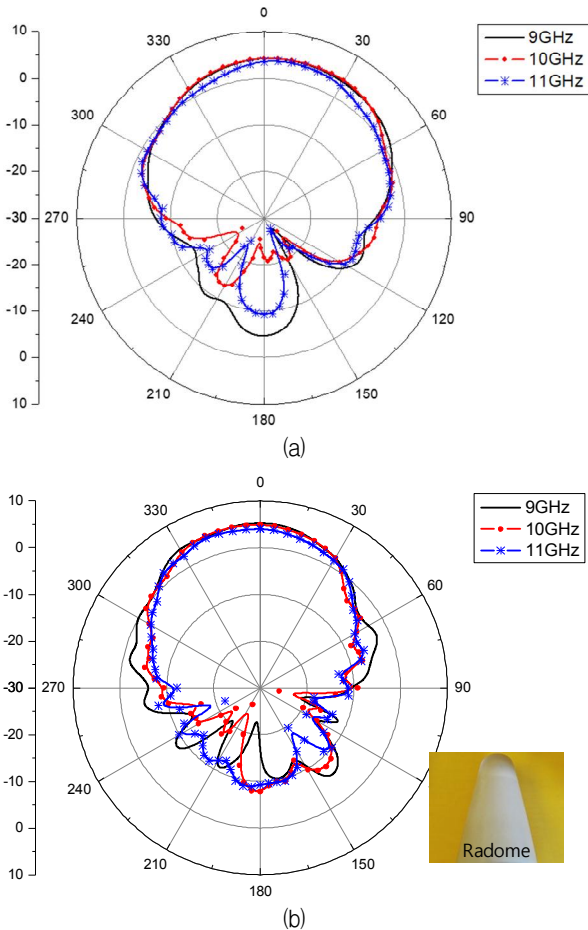


Fig. 6. Measured E-plane radiation patterns at 9, 10, 11 GHz (a) without radome, (b) with radome.

그림 6. 측정된 E면 방사패턴

(a) 레이돔이 미사용, (b) 레이돔사용

최종적으로 레이돔 등과 같은 외부 구조물을 사용하여 다양한 레이더 센서로의 활용성을 검증하기 위하여 그림 6(b)와 같이 레이돔을 씌운 상태에서 방사 패턴을 재측정 하였다. 측정 결과 빔 폭은 평균 6° 정도 줄어들었으며, 최대 방사 방향인 0° 방향으로 안테나 이득은 변화가 거의 없었다. 전체적으로 동작 주파수 내에서 전후방비는 10~20dB, 교차편파(cross-polarization)는 -10dB 이하의 특성을 가졌으며 E와 H면의 빔폭이 넓고, 전후방비가 우수하고 특히 H면의 방사패턴은 주파수에 따른 편차가 매우 적어 각종 마이크로파 센싱용 위상배열 및 레이더 안테나의 용도로 사용될 수 있음을 성능을 통하여 검증하였다.

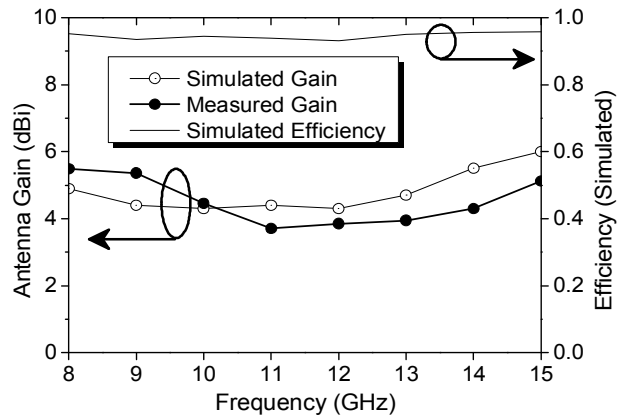


Fig. 7. Antenna gain and simulated efficiency.

그림 7. 안테나 이득과 모의해석된 효율

Table 1. The performance summary of the sprout-leaf antenna.

표 1. 새싹 안테나의 성능요약

Parameter	Unit	Value
operating frequency	GHz	8.5 ~ 14.5 (52%)
gain	dBi	4 ~ 5.5
beam width (3 dB)	deg(°) typ.	E 85 / H 87
front-to-back ratio	dB	10 ~ 20
cross-polarization	dB	< -10
radiation efficiency	%	> 90
size	mm	12.8 × 15.5
substrate	RO4003, t=0.508mm $\epsilon_r=3.38$, $\tan\delta=0.0027$	

설계된 새싹 안테나의 전체 성능 요약은 표1과 같으며 그림 8은 모션 감지 및 거리 측정용으로 제작된 X대역 FEM(Front-End Module)에 제안된

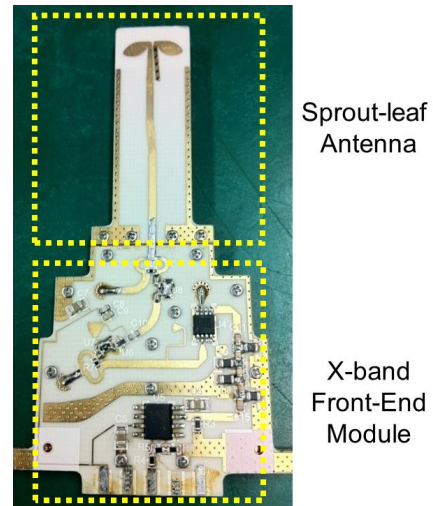


Fig. 8. X-band FEM for motion detection.

그림 8. 모션감지용 X대역 FEM 모듈

새싹 안테나를 장착한 사진이다. 제안된 새싹 안테나는 지향성 특성이 필요한 광대역 마이크로파 센서 등과 같은 분야에 다양하게 응용될 수 있음을 검증하였다.

III. 결론

본 논문에서는 새싹에서 영감을 얻어 설계한 자연모사기술 기반 소형 광대역 새싹 안테나를 제안하였다. 기울어진 타원으로 새싹 모양의 방사체를 설계하였고, 잘린 접지면을 반사기로 활용하여 안테나 크기를 줄이고, 후방방사를 억제하여 지향성을 가지도록 하였다. 새싹잎 모양의 방사체는 14° 정도 기울어져 있어 3dB 빔폭이 80° 이상이면서 지향성을 가지는 방사패턴을 얻을 수 있었다. 안테나보다 넓은 대역폭을 가지는 MS-to-CPS 발룬을 이용하여 제안된 안테나는 8.5~14.5 GHz의 넓은 대역폭 내에서 비교적 고른 방사 패턴과 이득을 가질 수 있었다. 전후방비는 10dB 이상, 교차편파는 -10dB 이하, 효율은 90% 이상을 가졌다. 동작 주파수 내에서 제안된 새싹 안테나는 균일하면서도 우수한 지향성을 가져 광대역 마이크로파 위상 배열 및 이미징 시스템 등에 다양하게 적용 가능할 수 있을 것이다.

References

- [1] S. D Kim, S. E Hwang, W. D Kim, H. E Im, "Wisdom derived from nature, Nature Inspired Technology of Natural Simulation Technology," *Korea Evaluation Institute Of Industrial Technology PD Issue Report.*, vol.2012, no.4, 2012.
- [2] K. L. Wong, *Compact and broadband microstrip antennas*, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 2002.
- [3] G. Kumar and K. P. Ray, *Broadband microstrip antennas*, Artech House, Boston, Mass, USA, 2003.
- [4] In-Gon Lee, Ic-Pyo Hong, "Design of Planar Microstrip Antenna at UHF ISM band for the Safety Communication of Life at Sea," *Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol.16, No.1, pp.62-68, 2012.
- [5] J. A. Flint, "A biomimetic antenna in the shape of a bat's ear," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. vol.5 no.1, pp.145-147, 2006. DOI: 10.1109/LAWP.2006.873940
- [6] Nader Behdad, Mudar A. Al Joumayly and Meng Li, "Biologically inspired electrically small antenna arrays with enhanced directional sensitivity," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.10, pp.361-364, 2011. DOI: 10.1109/LAWP.2011.2146223
- [7] E. E. C. Oliveira, P. H. da F. Silva, A. L. P. S. Campos, S. G. Silva, "Overall size antenna reduction using fractal elements," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol.51, no.3, pp.671-675, 2009. DOI: 10.1002/mop.24171
- [8] Sudipta Chattopadhyay, *Trends in Research on Microstrip Antennas*, Intech, 2017.
- [9] O. M. H. Ahmed and A. R. Sebak, "A novel maple-leaf shaped UWB antenna with a 5.0-6.0 GHz band-notch characteristic," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol.11, pp.39-49, 2009. DOI: 10.2528/PIERC09091107
- [10] Lotfi-Neyestanak A. A., "Ultra wideband rose leaf microstrip patch antenna," *Progress in Electromagnetics Research*, vol.86, pp.155-168, 2008. DOI: 10.2528/PIER08090201
- [11] H. K. Kan, R. B. Waterhouse, A. M. Abbosh, and M. E. Bialkowski, "Simple broadband planar CPW-fed quasi-Yagi antenna," *Antenna and Wireless Propagation Letter*, pp.18-20, 2007. DOI: 10.1109/LAWP.2006.890751
- [12] 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. Technol. Lett.*, vol.50, no.8, pp.2068-2071, 2008. DOI: 10.1002/mop.23563
- [13] Y. Qian and T. Itoh, "A broadband uniplanar microstrip-to-CPS transition," *Asia Pacific Microwave Conf. Dig.*, pp.609-612, 1997. DOI: 10.1109/APMC.1997.654615
- [14] D. S. Woo, Y.-K. Cho, and K. W. Kim, "Balance analysis of microstrip-to-CPS baluns and its effects on broadband antenna performance,"

International Journal of Antennas and Propagation,
vol.2013, p.9, 2013. DOI: 10.1155/2013/651040

BIOGRAPHY

Dongsik Woo (Member)



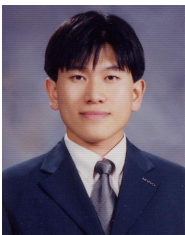
2002 : BS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2004 : MS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2013 : PhD degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2016~present : Assistant Professor, Dept. of Aviation Information & Communications Engineering, Kyungwoon University

Sunghyun Bae (Member)



2000 : BS degree in Electronics and electrical Engineering, Kyungpook National University.

2003 : MS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2005 : PhD course completion in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2017~Present : Assistant Professor, Dept. of Aviation Information & Communication Engineering, Kyungwoon University