

에이치(H)자 형태의 기생패치를 가진 초광대역 안티포달 비발디 안테나

정동근*

Ultra-wideband Antipodal Vivaldi Antenna with H-shaped Parasitic Patches

Dongkeun Jung*

Department of Smart Electronics, Gumi Campus of Korea Polytechnic, Gumi, Gyeongbuk 39257, Korea

요 약

초광대역 안테나는 위성통신, 레이더, 리모트 센싱 시스템, 전파 망원경, 마이크로웨이브 화상 시스템 등의 여러 가지 용도로 쓰인다. 수많은 형태의 광대역 안테나 구조들이 있으나, 테이퍼 슬롯 비발디 안테나는 가격, 무게, 스캔 각도, 종형 복사, 쉬운 급전과 시스템 구성의 용이성 등의 장점이 있다. 이 논문에서는 개선된 안티포달 비발디 안테나를 제안하였다. 설계에 있어서 H자 형태의 기생패치 구조를 채택하였으며 이를 통해 전체 작동 주파수에 있어서 방사특성을 개선하는 능력을 나타내었다. 비유전율(ϵ_r) 2.2, 유전체 두께 0.7874mm의 RT/duroid 5880기판을 사용해 제안된 안테나의 시제품을 제작하고 측정한 결과 7.8-52.5GHz에 걸쳐 -10dB 반사손실 대역폭과 9-12dBi의 이득을 보였으며 이는 시뮬레이션 결과와 합리적으로 일치함을 확인하였다.

ABSTRACT

Ultra-wideband antennas are desired for several applications including satellite communications, radars, remote sensing system, telescopes, and microwave imaging systems. There are many types of wideband antenna structures, but the tapered slot Vivaldi antenna is advantageous in terms of cost, weight, scan angle capabilities, end-fire radiation, and ease of feeding and system integration. In this paper, a modified antipodal Vivaldi antenna is presented. A novel AVA with H-shaped parasitic patches has the capacity to improve the radiation characteristics in the whole operation frequencies. A prototype of the modified antenna with RT/duroid 5880 substrate of a relative dielectric constant (ϵ_r) of 2.2, and a thickness of 31mil is fabricated and experimentally studied as well. It measures a $|S_{11}|$ of less than -10dB and gain of 9-12dBi over 7.8-52.5GHz which shows reasonable agreement with the simulated one.

키워드 : 안티포달 비발디 안테나, 평면 안테나, 테이퍼 슬롯 안테나, 초광대역 안테나

Key word : Antipodal Vivaldi antenna(AVA), Planar antenna, Tapered slot antenna(TSA), Ultra-wideband(UWB) antenna

Received 25 July 2017, Revised 27 July 2017, Accepted 16 August 2017

* Corresponding Author Dongkeun Jung(E-mail:dkjung@kopo.ac.kr, Tel:+82-54-468-5255)

Department of Smart Electronics, Gumi Campus of Korea Polytechnic, Gumi, Gyeongbuk 39257, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.9.1642>

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. 서론

초광대역 시스템은 매우 좁은 펄스신호를 송수신하는 강력한 안테나 성능을 필요로 한다.

이들 초광대역 시스템을 위한 여러 가지 형태의 안테나가 고안되고 개발되어왔다. Gibson[1]에 의해 제안된 비발디 안테나는 최초에는 동일평면에 소자를 배치하였으나 뒤에 안티포달로 개발[2]되었는데 테이퍼 슬롯 안테나(tapered slot antenna, TSA)라고 불리는 새로운 종류의 광대역 안테나이다. TSA는 좋은 방사특성으로 광대역을 제공하는 지향성의 종형 방사 소자이다[3-6]. 주된 장점은 평면회로와 쉽게 결합할 수 있는 평면 배치형태라는 점이다. TSA는 방사 슬롯과 함께 진도성의 두 개의 가늘고 긴 조각으로 형성되어 안테나와 자유공간의 임피던스 결합을 행하는 변환기(balun transformer)로 이루어진다. TSA는 작은 크기와 우수한 주파수 영역 및 시간 영역 특성을 특징으로 하며, UWB 안테나 배열을 구성하는 것도 가능하다[7, 8]. 안테나 배치의 기하학적 구성이 평면이지만 표면과 평행한 평면상의 대칭적인 방사패턴을 만드는 것이 가능하다.

많은 TSA들이 슬롯라인 급전을 채용한 평면 안테나 구조에 초점을 두었다. 그러나 슬롯라인 임피던스를 마이크로스트립으로 천이하는 광대역 정합의 어려움으로 가동 대역폭을 제한하게 된다. 이 문제를 완화하기 위해 Gazit[2]은 마이크로스트립과 병렬 스트립선로, 대칭의 양면 슬롯라인으로 구성된 balun을 사용한 개선된 급전 체계를 제안하였다[9]. balun 변환기는 기관의 양쪽에 인쇄되어 있는 대칭점으로 배열된 2개의 스트립 도체에 급전한다[10, 11].

안티포달 및 동일 평면상 TSA 공히 슬롯의 테이퍼 형상은 수학적 함수에 의해 제어되며 응용형태에 따라서 테이퍼의 세 가지 기본 형상인 비선형 테이퍼(지수 또는 비발디), 선형 테이퍼, 일정폭 테이퍼 중에 하나가 사용된다[12, 13].

이 논문에서는 H 형상의 기생 패치를 비발디 안테나 구조에 포함시켜 안티포달 TSA의 가동 대역폭을 확대한 개선된 디자인을 제안하였다.

설계된 안테나를 기관두께 0.7874mm, 비유전율 $\epsilon_r = 2.2$, 금속두께 0.035mm의 RT/duroid 5880 기관으로 제작하고 설계를 검증하기 위해 측정된 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

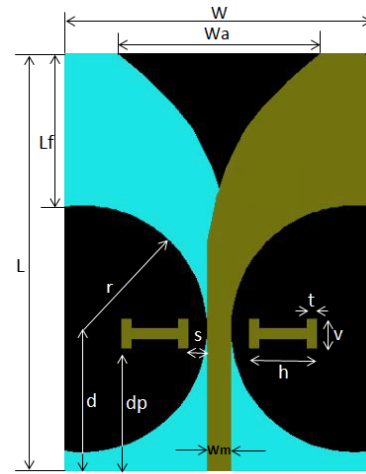


Fig. 1 Configuration of the antipodal tapered slot antenna with H-shaped parasitic patches.

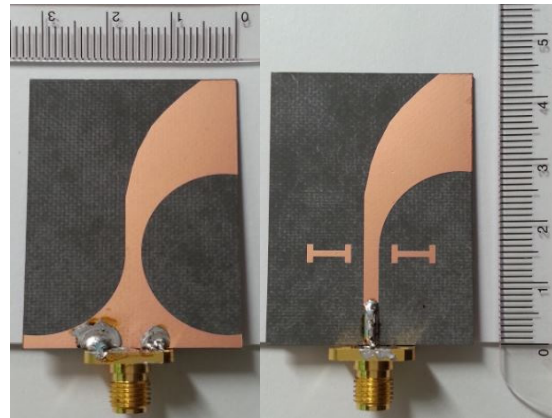


Fig. 2 Photograph of the bottom (left) and top (right) view of Vivaldi antenna with the parasitic patches.

II. 안테나 설계

그림 1에 제안된 안테나의 구성을 주요 설계변수와 함께 나타내었다. 그림 2는 유전체 기관의 양면 상에 소자를 인쇄하고 조립한 안테나 시작품의 사진이다.

주요 설계변수로는 cut TSA 방사소자의 폭 W 와 아래쪽 반경 r , H 형상 기생 패치의 두께 t , 폭 v 와 길이 h 및 스트립 선로와의 거리 s 와 방사소자와의 거리 등으로 하였으며, 시뮬레이션은 Flomerics사의 Micro-

Stripes v9.0을 이용하였다. 설계과정에서 H 형상 기생 패치의 효과를 검토하기 위해 이를 포함하지 않은 경우와 좌우 1개씩 및 2개씩 포함한 경우에 대해 시뮬레이션을 거쳐 방사특성이 좋고 대역폭이 넓은 좌우 1개씩 포함한 모델을 최적화 하였으며 표 1에 매개변수를 변경하면서 모델링하는 과정에 도출된 몇몇 사례들의 반사손실 대역폭을 비교해 보았다.

Table. 1 Comparison of bandwidth with several cases

Parasitic patch quantity	r [mm]	d [mm]	s [mm]	Band width [GHz]	Frequency range [GHz]
0	15	21		7.8	12.0-19.8
0	13	19		24.5	11.0-35.5
1	13	19	3	31.2	11.5-42.7
2	13	19	3	26.5	11.5-38.0
1	13	19	2	32.5	11.5-43.5
1	13	17	2	44.0	8.5-52.5
1	13	15	2	44.7	7.8-52.5
2	13	15	2	42.5	8.0-50.5
0	13	15		41.5	7.8-49.3

비발디 안테나에 있어서 하한 주파수는 두 방사소자의 폭 W와 비유전율 ϵ_r 에 의해 결정된다[3].

$$W = \frac{c}{f_L} \frac{1}{1.5\sqrt{\epsilon_r}}$$

여기서 c는 빛의 속도, f_L 은 하한 주파수이다. 위 식으로부터 하한주파수 3.45MHz가 얻어지는데 그림 19에서 첫 번째 -10dB 이하 대역 주파수와 일치함을 확인할 수 있다.

표 2에는 그림 1에 표시한 주요 파라미터들의 최적화된 규격을 나타냈다.

Table. 2 Final optimal dimension values(Unit: mm)

Dimension	Value	Dimension	Value
W	32.4	Wm	2.4
Wa	21.6	s	2
L	44	h	7
Lf	16.5	v	3
r	13	t	1
d	15	dp	13

이 안테나는 50Ω SMA 커넥터로부터 2.4mm 마이크로스트립 선로를 거쳐 급전되며, 양면의 평행 스트립 선로는 폭이 2.4mm로 일정하고 접지면의 슬롯라인과 함께 balun으로 작용한다. 안테나는 32.4 × 44 mm²의 크기를 가지는데 선행연구 사례[11]에 비해 64.8%의 면적비율로 소형화되었다.

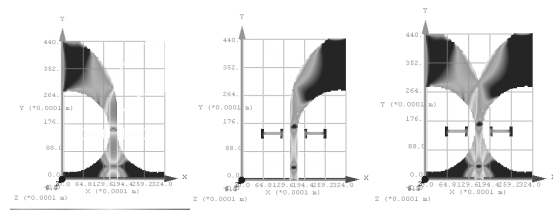


Fig. 3 Surface current distribution of the proposed antenna at 9GHz. ground plane (left), radiation patch plane (center)

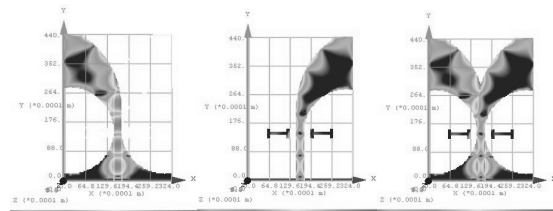


Fig. 4 Surface current distribution of the proposed antenna at 16GHz. ground plane (left), radiation patch plane (center)

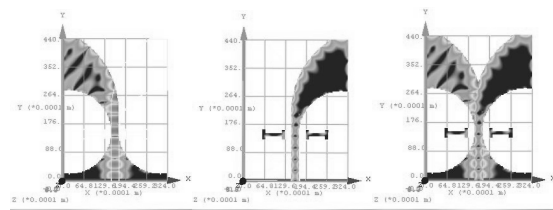


Fig. 5 Surface current distribution of the proposed antenna at 30GHz. ground plane (left), radiation patch plane (center)

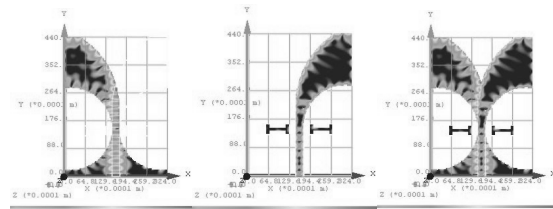


Fig. 6 Surface current distribution of the proposed antenna at 45GHz. ground plane (left), radiation patch plane (center)

방사소자의 아래쪽은 반경 r 로 이루어지고 위쪽 곡선은 타원 형태이다. 급전부 좌우에 배치한 H자 형태 기생패치는 방사소자의 에지를 흐르는 전류의 공진기로 작용해 작동 주파수대역이 기생패치가 없는 경우에 비해 약 7.71% 확대되었다.

표 2에서 확인할 수 있듯이 안테나의 방사소자 아래쪽 반경은 치수변경 시험을 거쳐 13mm로 하였고, 방사패치의 수직 폭을 결정짓는 반경의 중심 수직좌표는 15mm에서 최적 값이 되었다. H 형태 기생패치는 스트립 선로와의 간격 2mm, 폭 1mm, 길이 7mm, 너비 3mm로 하였을 때 최적화 되었다. 이때 방사면의 수직방향 폭은 16.5mm이며 balun의 길이는 14.5mm이다.

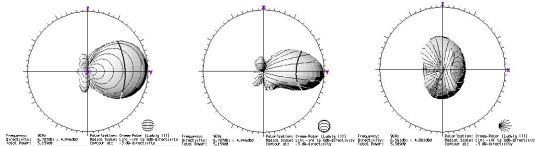


Fig. 7 Co-polar radiation patterns in X-Y, X-Z, Y-Z plane at 9GHz.

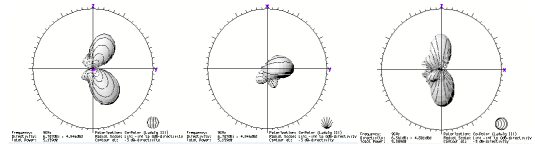


Fig. 8 Cross-polar radiation patterns in X-Y, X-Z, Y-Z plane at 9GHz.

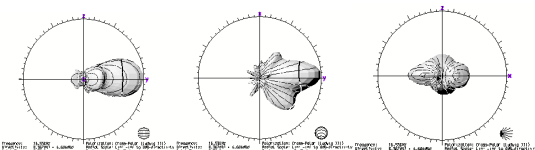


Fig. 9 Co-polar radiation patterns in X-Y, X-Z, Y-Z plane at 16GHz.

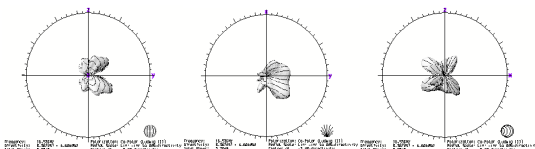


Fig. 10 Cross-polar radiation patterns in X-Y, X-Z, Y-Z plane at 16GHz.

그림 3, 4, 5, 6은 각각 9GHz, 16GHz, 30GHz, 45GHz일 때의 제안된 안테나 상의 전류분포를 나타내는데, 각 그림의 왼쪽은 접지 면에서 본 전류분포이고, 중간은 방사패치 면에서 본 전류분포이며, 오른쪽은 상하면이 결합된 상태의 전류분포이다.

그림 7, 9, 11, 13은 각각 9GHz, 16GHz, 30GHz, 45GHz일 때의 동일편파(co-polarization) 방사패턴을 나타내며, 그림 8, 10, 12, 14는 각각 9GHz, 16GHz, 30GHz, 45GHz일 때의 교차편파(cross-polarization) 방사패턴을 나타낸다.

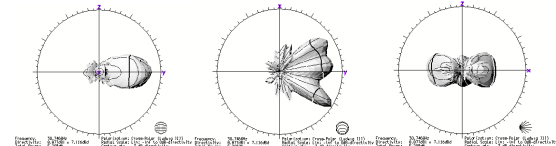


Fig. 11 Co-polar radiation patterns in X-Y, X-Z, Y-Z plane at 30GHz.

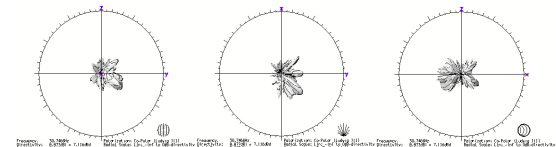


Fig. 12 Cross-polar radiation patterns in X-Y, X-Z, Y-Z plane at 30GHz.

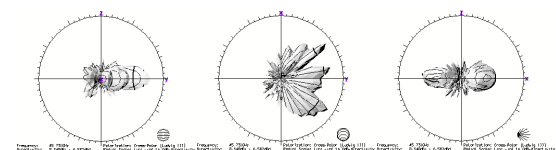


Fig. 13 Co-polar radiation patterns in X-Y, X-Z, Y-Z plane at 45GHz.

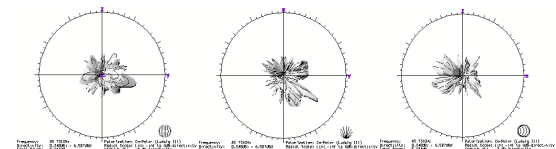


Fig. 14 Cross-polar radiation patterns in X-Y, X-Z, Y-Z plane at 45GHz.

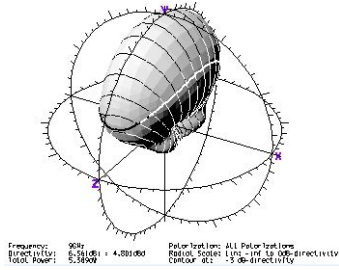


Fig. 15 Radiation pattern of all polarizations directed in the end-fire direction at 9GHz.

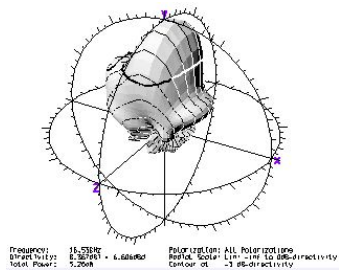


Fig. 16 Radiation pattern of all polarizations directed in the end-fire direction at 16GHz.

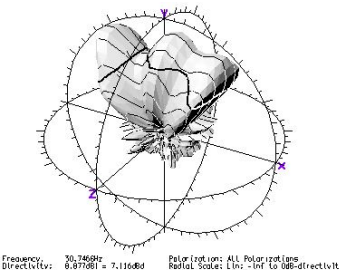


Fig. 17 Radiation pattern of all polarizations directed in the end-fire direction at 30GHz.

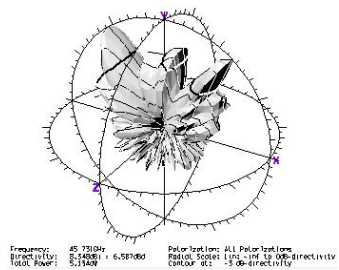


Fig. 18 Radiation pattern of all polarizations directed in the end-fire direction at 45GHz.

그림 15, 16, 17, 18은 9GHz, 16GHz, 30GHz, 45GHz 일 때 end-fire 방향(y방향, 위쪽)으로의 전체 방사패턴을 나타내는데 각각의 주파수에 있어서 지향성 좋은 진행파를 잘 방사하고 있음을 알 수 있으며, 45GHz에서는 교차편파가 다소 커진 것을 볼 수 있다.

III. 측정결과 및 논의

시작품의 S 파라미터 측정은 HP 8756A 네트워크 분석기로 하였고, 방사패턴 측정은 구마모토대학 전자파 무반사실 내부에서 행하였다.

측정된 임피던스와 방사특성을 시뮬레이션 결과와 비교하였으며 그림 19는 조립된 시작품의 측정 및 시뮬레이션 반사손실을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 제안된 안테나는 7.8GHz에서 52.5GHz까지 넓은 임피던스 대역폭을 제공한다.

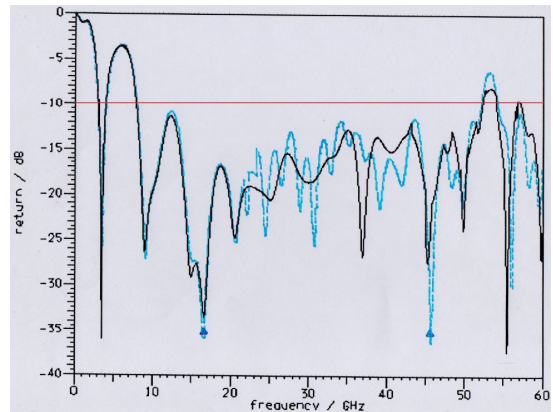


Fig. 19 Simulated (dashed) and measured (line) return loss characteristics of the fabricated prototype.

그림 20에 조립된 시작품 안테나의 여러 가지 작동 주파수에 대한 측정된 E-면 및 H-면 방사패턴을 나타냈다. 방사패턴은 측정값 및 시뮬레이션에서 잘 일치하였는데, 종형(end-fire, y-)방향을 따라 최대 방사를 제공하고 주파수의 증가와 함께 좁은 빔 폭을 나타내었다. 주로브(bore sight)에서는 부엽 없이 평탄한 방사패턴을 나타내는데 이는 지향성의 위상 변화가 작고 완만함을 의미한다. 높은 작동주파수에서는 교차편파가 증가함을 볼 수 있는데 이것은 사용된 기판두께(0.7874mm)에

기인한 것으로 사료된다. 통상 기판두께가 두꺼워질수록 하한 주파수가 높아지고, 높은 주파수에서 고차의 교차편파방사가 커지게 된다.

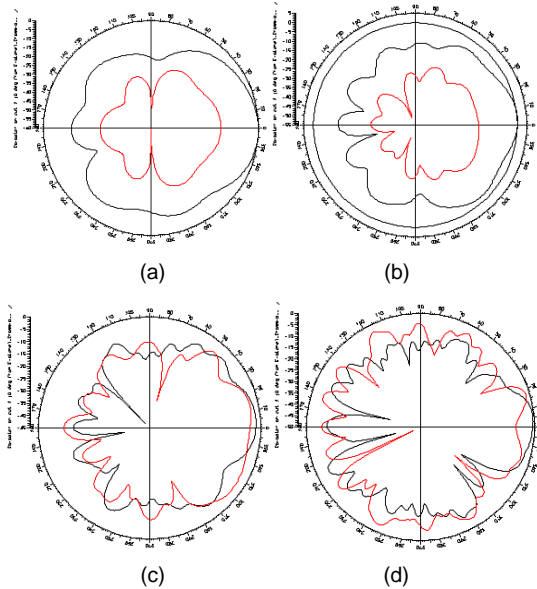


Fig. 20 Measured E-plane radiation patterns at (a) 9GHz, (b) 16GHz, (c) 30GHz, (d) 45GHz, respectively. Co-pol (black), Cross-pol (red).

그림 21에 제안된 안테나의 측정된 주파수 대 이득 특성을 나타내었다. 그림으로부터 9GHz에서 9.501dBi를 넘어서고 30GHz에서 11.87dBi의 최대 이득을 나타낼 수 있는데 측정된 이득 값은 시뮬레이션 결과와 대체로 유사하였다.

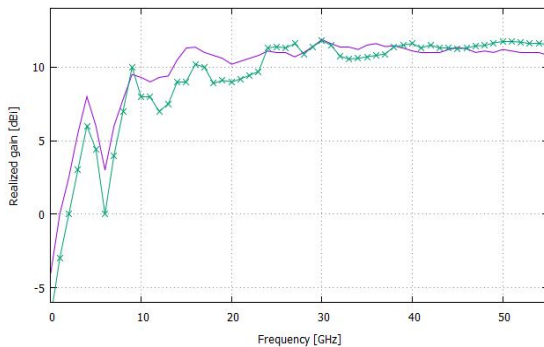


Fig. 21 Simulated (asterisk) and measured (line) gain versus frequency of the fabricated prototype antenna.

IV. 결론

에이치(H)자 형태의 기생패치를 부가한 안티포달 초광대역 컷 테이퍼 슬롯 안테나(cut TSA)를 제안하였다. 방사 슬롯의 테이퍼는 상부에 타원형상을 채택하고 하부에 반원을 이용해 구성하였으며 기생패치의 공진효과에 의해 넓은 주파수 대역에 걸쳐 방사가 이루어지게 하였다. 방사 슬롯의 크기와 기생패치의 크기 및 위치는 경험적으로 얻었으며 시작품을 조립해 시험한 결과 하한 주파수 7.8GHz에서 상한 주파수 52.5GHz까지 작동하였다. 지향성의 종형(end-fire) 진행과 방사를 하는 좋은 방사특성을 나타내었으며 시뮬레이션과 측정값이 잘 일치하였다. 높은 주파수에서의 교차편파 방사의 감소를 위해서는 차후 연구에서 사용기판의 선택에 유의할 필요가 있는 것으로 여겨지며, 본 논문의 결과는 향후 리모트 센싱 등의 광대역 통신 분야에 기여할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] P. J. Gibson, "The Vivaldi aerial," in *Proceeding of the 9th European Microwave Conference*, Brighton, UK, pp. 101-105, Sep. 1979.
- [2] E. Gazit, "Improved design of the Vivaldi antenna," *IEE Proceeding Part H-Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 135, no. 2, pp. 89-92, Apr. 1988.
- [3] J. Y. Siddiqui, Y. M. M. Antar, A. P. Freundorfer, E. C. Smith, G. A. Morin, T. Thayaparan, "Design of an ultrawideband tapered slot antenna using elliptical strip conductors," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 251-254, Mar. 2011.
- [4] M. Sun, Z. Chen, X. Qing, "Gain enhancement of 60-GHz antipodal tapered slot antenna using zero-index metamaterial," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 4, pp. 1741-1746, Apr. 2013.
- [5] R. Natarajan, J. V. George, M. Kanagasabai, A. K. Shrivastav, "A compact antipodal Vivaldi antenna for UWB applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 1557-1560, Mar. 2015.
- [6] I. T. Nassar, T. M. Weller, "A novel method for improving antipodal Vivaldi antenna performance," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 7, pp. 3321-

- 3324, Jul. 2015.
- [7] E. Takemoto, A. Hirose, "Propeller-shaped antenna: A steerable ultrawideband planar antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 1140-1143, Jun. 2014.
- [8] A. M. De Oliveira, M. B. Perotoni, S. T. Kofuji, J. F. Justo, "A palm tree antipodal Vivaldi antenna with exponential slot edge for improved radiation pattern," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 1334-1337, Feb. 2015.
- [9] A. M. Abbosh, "Miniaturized microstrip-fed tapered-slot antenna with ultrawideband performance," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 8, pp. 690-692, Jun. 2009.
- [10] P. Fei, Y. C. Jiao, W. Hu, F. S. Zhang, "A Miniaturized antipodal Vivaldi antenna with improved radiation characteristics," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 127-130, Feb. 2011.
- [11] K. Kikuta, A. Hirose, "Compact folded-fin tapered slot antenna for UWB application," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 1192-1195, Jan. 2015.
- [12] J. H. Yeo, J. I. Lee, "Design of Compact Stepped Open Slot Antenna for UWB Applications," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 1-7, Jan. 2017.
- [13] Y. S. Ha, G. R. Kim, Y. K. Choi, J. H. Yoon, "Design of UWB Antenna with Fork-type structure and circular patch," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 10, pp. 1837-1844, Oct. 2016.



정동근(Dongkeun Jung)

1988년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 공학사
1990년 8월: 금오공과대학교 전자공학과 공학석사
2004년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 공학박사
1988년 1월~1996년 2월: 오리온전기(주) 종합연구소 선임연구원
1996년 2월~현재 : 한국폴리텍대학 구미캠퍼스 스마트전자과 교수
2002년 12월~2003년 1월: 일본 구마모토대학 방문연구원
2017년 1월~3월: 일본 구마모토대학 방문연구원
※관심분야 : 안테나, 통신시스템, 임베디드 시스템