

5G 단말기용 이중대역 평면 다이폴-스트립 배열 안테나 설계

정 봉 식

Design of Dual-band Planar Dipole-Strip Array Antenna for 5G Handset

Bongsik Jeong

본 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음

요 약

본 논문에서는 28GHz와 39GHz에서 동작하는 이중대역 4x1 다이폴-스트립 배열 안테나를 AiP(antenna-in-package)에 적용할 수 있는 구조로 설계하였다. 다이폴 안테나는 마이크로스트립 선로에 의해 급전되고 스트립은 다이폴과의 결합으로 급전되는 구조이다. 다이폴 안테나의 두 폴은 선로 급전을 이용하기 위해 기판의 양면에 분리되어 배치된다. 한 폴은 접지면 상에 있고, 다른 폴은 기판의 다른 면에 위치한다. 배열 안테나의 이웃하는 포트 간의 위상차 β 가 변함에 따라 배열 안테나의 이득과 빔 조향각은 변한다. 위상차가 0~135°로 변할 때, 28GHz와 39GHz에서의 이득은 각각 8.9~8.2dB와 10.2~9.4dB로 변하고, 빔 조향각은 각각 0~39°와 0~30°로 변한다. 설계된 배열 안테나는 크기가 24.5mm×3.34mm×0.324mm로 두께가 얇고, 두 대역에서 -10dB 대역폭은 26.6~29.7GHz와 37.6~40.3GHz로서 약 3GHz의 대역폭을 갖는다.

Abstract

In this paper, a dual-band 4x1 dipole-strip array antenna operated at 28GHz and 39GHz is designed to be applied to antenna-in-package(AiP). The dipole antenna is fed by a microstrip line and the strip is fed by a coupling with the dipole. Two poles of the dipole antenna are arranged separately on both sides of the substrate to utilize the line feed; one pole is on the ground plane, and the other pole is located on the other side of the substrate. As the phase difference between the neighboring ports of the array antenna changes, the gain and beam steering angle of the array antenna change. When the phase difference is changed to 0~135°, the gain at 28GHz and 39GHz changes to 8.9~8.2dB and 10.2~9.4dB, respectively, and the beam steering angle changes to 0~39° and 0~30°, respectively. The designed array antenna has a thin thickness of 24.5mm×3.34mm×0.324mm in size and -10dB bandwidth of 26.6~29.7GHz and 37.6~40.3GHz in both bands, which has a bandwidth of about 3GHz.

Keywords

planar dipole, linear array, dual-band, AiP

* 동아대학교 전자공학과 교수
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2771-7728>

• Received: Dec. 28, 2021, Revised: Jan. 27, 2022, Accepted: Jan. 30, 2022
• Corresponding Author: Bongsik Jeong
Dept. of EE, Dong-A University, Busan, Korea
Tel.: +82-51-200-7702, Email: bsjeong@dau.ac.kr

1. 서 론

최근 5G 안테나에 대한 연구가 활발하다. 5G 주파수 대역에는 sub-6GHz 대역과 밀리미터파 대역이 있다. 현재 5G 서비스는 sub-6GHz 대역인 3.5GHz 대역을 사용하고 있지만, 초고속, 저지연, 대용량 특성을 갖는 5G 서비스를 제공하기 위해서는 28GHz와 39GHz의 밀리미터파 대역을 사용해야 한다. 그러나 밀리미터파 대역에서는 경로 손실이 크게 발생하므로 큰 이득의 배열 안테나를 단말기 가장자리에 배치하고, 소자 사이의 위상차를 실시간으로 조절하여 빔 조향각을 조절하게 한다[1]-[3].

5G 배열 안테나는 다이폴, 패치, 대수 주기 안테나 등 다양한 안테나를 배열하여 설계된다. 배열 안테나는 경로 손실을 줄이기 위해 AiP(Antenna-in-Package)와 AoC(Antenna-on-Chip) 형태로 설계된다. AiP는 배열 안테나와 RFIC(Radio Frequency Integrated Circuit)를 하나의 패키지 내에 제작되고, AoC는 안테나와 RF 모듈을 집적회로 형태로 제작된다. 나아가 배열 안테나는 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 공정에 따라 AiP 형태로 설계되며, 디스플레이에 투명 안테나를 넣은 AoD(Antenna-on-Display) 형태로 제작되기도 한다[4]-[7].

5G 밀리미터 배열 안테나는 28GHz와 39GHz 대역을 많이 사용하며, 이중대역 안테나를 요구하기도 한다. 배열 안테나의 이중대역 특성은 공진주파수가 서로 다른 2개의 배열 안테나를 사용하거나 2개의 공진주파수를 생성하는 1개의 배열 안테나를 사용한다. [4]는 다층 LTCC 기판에 수직으로 접힌 다이폴과 근접 결합으로 급전되는 사각 패치를 배열하여 이중대역 특성을 얻고, [7]은 다층 기판에 수평 다이폴 배열과 수직 모노폴 배열로 이중대역 특성을 얻는다. [8]은 단층 유전체 기판에 병렬 연결된 이중 슬롯과 접힌 루프에 따로 급전하여 이중대역 특성과 빔 조향 특성을 얻었다. [9]과 [10]는 직각으로 꺾인 길이가 다른 슬롯을 배열하거나, 적층된 사각 패치와 사각 링을 배열시켜 이중대역 특성과 빔 조향 특성을 얻도록 설계되었다. [4]와 [7]은 LTCC 형태로 안테나를 설계하여 경로 손실과 잡음지수를 줄이면서 안테나 크기를 줄이도록 설계하였다.

본 논문에서는 단층의 유전체 기판의 평면상에

놓인 다이폴과 스트립을 사용하여 이중대역 특성을 얻고, 비아(Via)를 사용하지 않아 제작이 쉬운 두께가 얇은 단일 급전의 이중대역 배열 안테나를 설계하고자 한다. 다이폴은 마이크로스트립 선로로 급전되고, 스트립은 다이폴에 결합되는 구조이다. 2장에서는 안테나 구조를 설명하고, 3장에서는 다이폴-스트립 안테나와 다이폴-스트립 배열 안테나의 특성을 분석하여 이중대역 4x1 배열 안테나를 설계한다. 그리고 4장에서 결론을 맺는다.

II. 안테나 구조

그림 1은 단일 유전체 기판에 다이폴과 스트립을 사용한 이중대역 5G 안테나 구조이다. 28GHz 대역은 다이폴에 의해 결정되고, 39GHz 대역은 스트립의 길이에 의해 결정된다. 다이폴의 양 끝은 다이폴의 길이를 줄이는 효과를 주기 위해 다이폴을 수직으로 꺾어 스트립을 감싸게 한다. 그리고 다이폴의 두 폴은 기판의 양면으로 분리되어 비아없이 급전 스트립과 연결되고, 기생 스트립은 다이폴의 한 폴과 좁은 간격을 두고 위치한다. 급전 구조는 마이크로스트립 선로와 이중 선로의 조합으로 구성된다. 다이폴은 이중 스트립으로 급전되고, 스트립은 다이폴에 간격을 두고 결합되어 기생소자처럼 동작한다. 급전 선로 입력단에는 다른 선로와의 연결을 쉽게 하도록 마이크로스트립의 선로 폭이 계단 형으로 증가한 형태이다. 유전체 기판은 비유전율 ϵ_r 이 2.2이고, 두께 h 가 0.254mm이다.

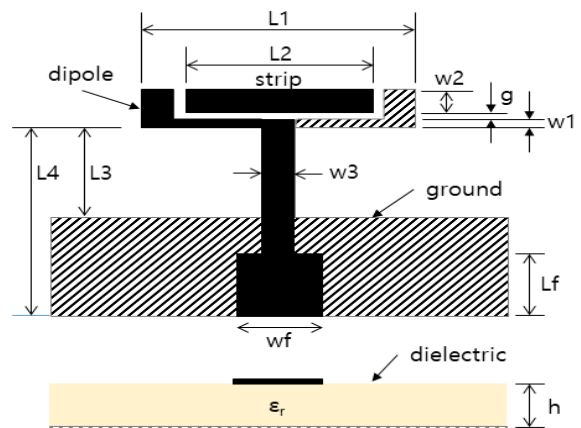


그림 1. 이중대역 다이폴-스트립 안테나
Fig. 1. Dual-band dipole-strip antenna

III. 결과 및 분석

그림 1의 다이폴-스트립 안테나의 파라메타에 따른 특성 변화를 살펴보고자 한다. 그림 2는 다이폴 길이 $L1$ 에 따른 안테나의 반사손실을 Ansys 2021 R1으로 해석한 것이다. 이때 안테나의 나머지 파라메타 값은 표 1에 주어져 있다. 여기서 h 는 유전체 기판의 두께이다. 그림 3은 스트립 길이 $L2$ 에 따른 안테나의 반사손실을 구한 것이다. 이때 낮은 주파수 대역 $fc1$ 이 낮아지는 것은 $L2$ 의 증가에 따라 다이폴의 양 끝의 수직한 부분의 폭이 작아져서 다이폴이 등가적으로 길어지는 효과로 보인다. 그림 4는 스트립 폭 $w2$ 에 따른 반사손실을 보여준다. 스트립 폭의 변화는 높은 주파수 대역 $fc2$ 가 낮아지도록 한다. 그림 5는 다이폴과 스트립 사이의 간격 g 에 따른 반사손실이다. g 가 증가하면 $fc1$ 의 변화는 없지만, $fc2$ 는 약간 낮아진다.

그림 6은 다이폴과 스트립 도체면 상에서의 전류 분포를 보여주고 있다. 28GHz에서는 다이폴 길이가 반 파장이 되도록 전류가 분포하고, 39GHz에서는 스트립 길이가 반 파장이 되게 전류가 분포한다. 따라서 다이폴과 스트립의 길이, 스트립의 폭을 조절함으로써 이중대역 특성을 얻을 수 있고, 다이폴과 스트립 간격을 조절하여 각 대역에서의 반사손실 특성을 미세하게 조절할 수 있다.

표 1. 안테나 파라메타
Table 1. Antenna parameters

Variable	Value(mm)	Variable	Value(mm)
L1	5	w1	0.06
L2	2.75	w2	0.16
L3	1.8	w3	0.1
Lf	0.5	wf	0.5
g	0.14	h	0.254

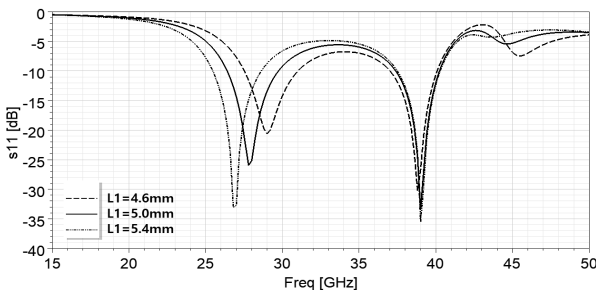


그림 2. 다이폴 길이 $L1$ 에 따른 반사손실
Fig. 2. Return loss according to dipole length $L1$

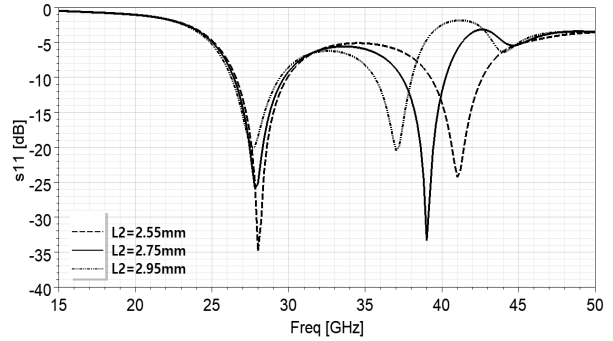


그림 3. 스트립 길이 $L2$ 에 따른 반사손실
Fig. 3. Return loss according to strip length $L2$

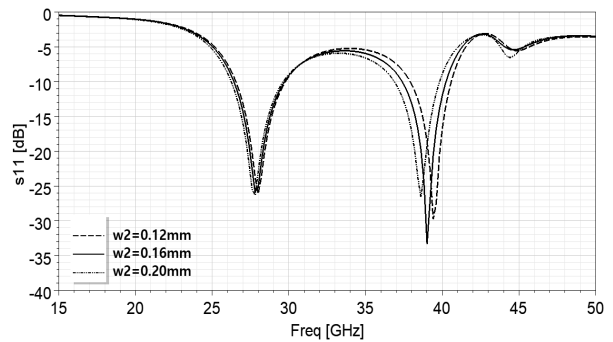


그림 4. 스트립 폭 $w2$ 에 따른 반사손실
Fig. 4. Return loss according to strip width $w2$

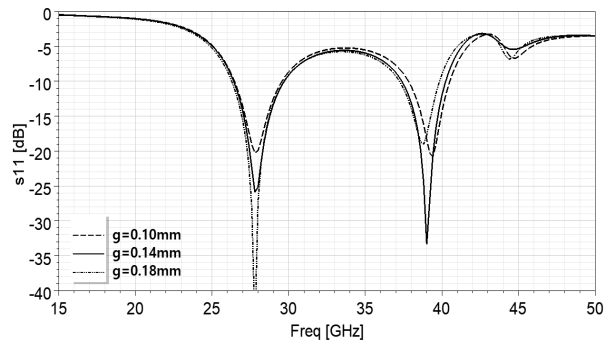


그림 5. 다이폴과 스트립 간격 g 에 따른 반사손실
Fig. 5. Return loss according to gap g of dipole and strip

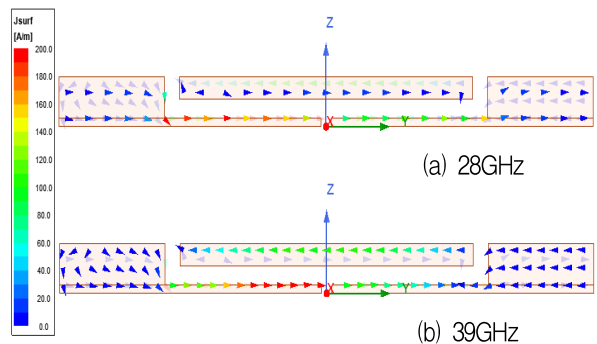


그림 6. 다이폴과 스트립 면상의 전류분포
Fig. 6. Current distribution on the dipole and strip

그림 7은 다이폴-스트립 안테나 4개를 다이폴 길이 방향으로 d 간격으로 선형 배열한 이중대역 4x1 배열 안테나 구조이다. 여기서 4개의 포트(p1, p2, p3, p4)에 인가되는 전류 크기는 같고, 이웃하는 두 포트에 인가되는 위상은 p1에서 p4로 갈수록 β 만큼 증가하도록 인가한다.

그림 8은 배열 안테나의 이웃하는 소자 사이의 간격 d 에 따른 반사손실을 해석한 것이다. 표 1에서 스트립의 간격 w_2 는 0.14mm이다. d 에 따라 f_{c1} 과 f_{c2} 는 변화가 거의 없으며, d 가 5mm일 때에는 f_{c1} 이 약간 증가한다. 이는 이웃하는 다이폴 사이의 간격이 매우 좁아 공진주파수에 영향을 미치게 된다.

그림 9는 배열 안테나의 4개의 포트 중에서 두 포트 사이의 산란계수를 보여준다. 여기서 d 는 5.5mm이다. 28GHz와 39GHz에서 산란계수는 -12dB 이하가 됨을 알 수 있다. 이웃하는 두 포트 p1과 p2, p2와 p3, p3과 p4 사이의 산란계수는 28GHz에서 -12dB이고, 39GHz에서 -30dB 정도이다. 이는 28GHz에서 s31과 s42보다 약 10dB 큰 값에 해당한다. 따라서 포트간 격리도는 12dB 이상이 된다.

그림 10과 11은 이웃하는 소자 사이의 위상차가 45° 일 때 3차원 복사패턴과 y-z면과 x-z면 상의 2차원 E면/ H면 복사패턴이다. 그림으로부터 28GHz에 비해 39GHz에서의 복사패턴은 부엽 수가 상대적으로 많은 것을 볼 수 있다. 이는 이웃하는 두 스트립 사이의 길이가 두 다이폴 사이의 길이에 비해 전기적으로 더 길기 때문이다.

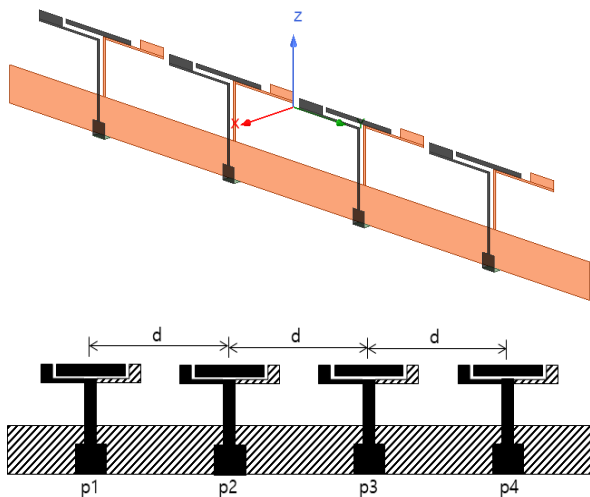


그림 7. 이중대역 4x1 다이폴-스트립 배열 안테나
Fig. 7. Dual-band 4x1 dipole-strip array antenna

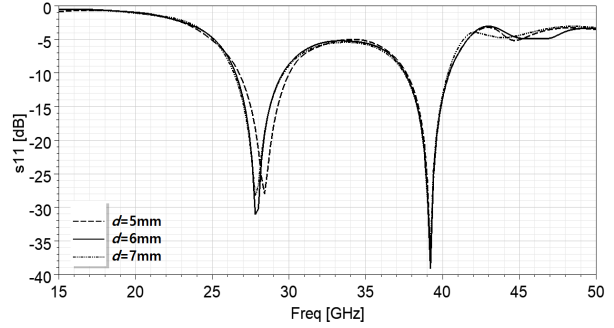


그림 8. 두 소자 사이의 간격 d 에 따른 반사손실
Fig. 8. Return loss according to interval d between two elements

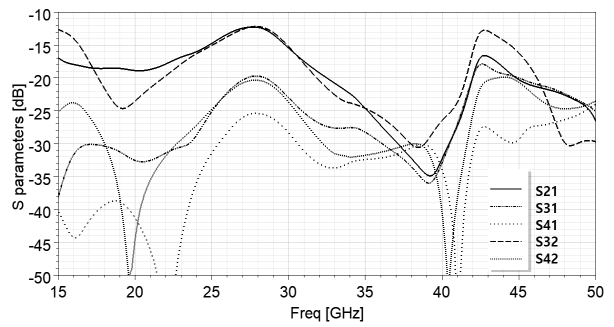


그림 9. 두 포트 사이의 산란계수
Fig. 9. Scattering parameters between two ports

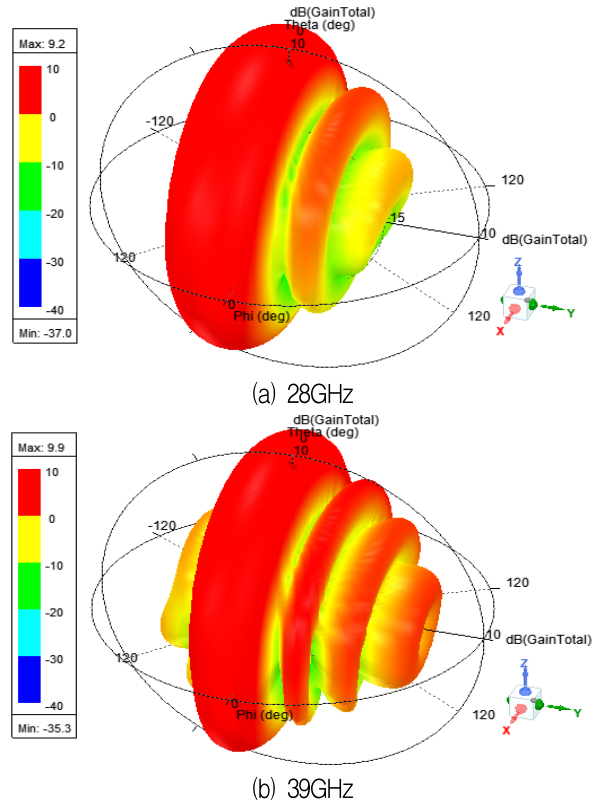


그림 10. 배열 안테나의 3차원 복사패턴($\beta=45^\circ$)
Fig. 10. 3D radiation patterns of array antenna ($\beta=45^\circ$)

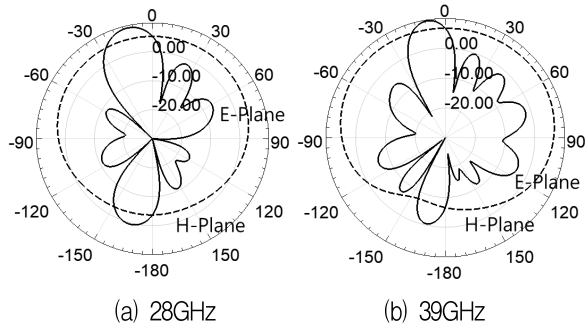


그림 11. 배열 안테나의 2차원 복사패턴($\beta=45^\circ$)
 Fig. 11. 2D radiation patterns of array antenna ($\beta=45^\circ$)

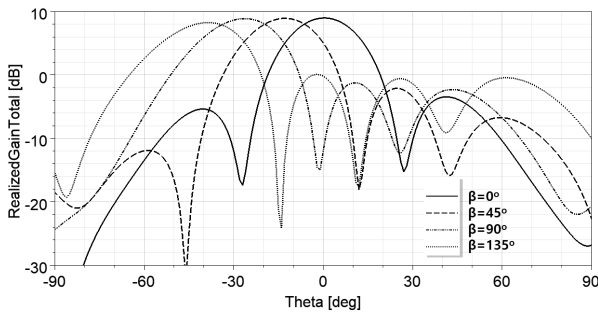


그림 12. 위상차 β 에 따른 배열 안테나의 빔 조향각
 Fig. 12. Beam steering angles of array antenna according to phase difference of β

그림 12는 이웃하는 두 포트 사이의 위상차 β 에 따른 이득과 빔 조향각을 보여주고, 표 2는 β 에 따른 최대 이득 G와 빔 조향각 θ 을 정리한 것이다. β 가 0~135로 변할 때, 28GHz에서의 이득은 8.9~8.2dB가 되고, 39GHz에서는 10.2~9.4dB가 된다. 이는 39GHz에서의 전기적인 배열 길이가 28GHz에 비해 크므로 더 큰 이득을 갖는다. 그리고 28GHz에서의 최대 빔 조향각은 39°이고, 39GHz에서는 30°가 되므로 28GHz에서의 빔 조향각이 크게 나타난다.

그림 13은 표 1에서 0.14mm의 스트립 폭과 5.5mm의 소자 간격으로 최종 설계된 이중대역 4x1 배열 안테나의 반사손실 특성을 구한 것이다. 안테나의 대역폭은 28GHz대역에서 3.1GHz(26.6~29.7GHz)이고, 39GHz대역에서 2.7GHz(37.6~40.3GHz)이다. 따라서 두 주파수 대역폭은 약 3GHz로 두 대역이 요구하는 대역폭을 만족함을 알 수 있다.

표 3은 본 논문의 안테나 크기, 대역폭, 최대 이득을 타 논문들의 결과와 비교한 것이다. 본 논문의 안테나 크기는 24.5mm×3.34mm×0.324mm로서 다른 논문과 달리 두께가 가장 얇다는 것을 알 수 있다.

표 2. 위상차에 따른 빔 조향각과 이득

Table 2. Beam steering angles and gains according to phase difference

$\beta [^\circ]$	28GHz		39GHz	
	$\theta [^\circ]$	G [dB]	$\theta [^\circ]$	G [dB]
0	0	8.94	0	10.2
45	13	8.89	9	9.64
90	27	8.84	20	8.92
135	39	8.21	30	9.43

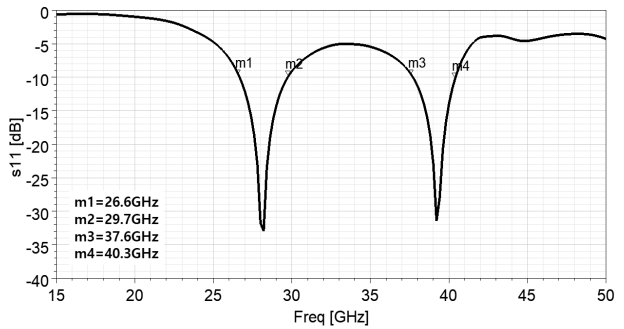


그림 13. 이중대역 4x1 배열 안테나의 반사손실
 Fig. 13. Return loss of dual-band 4x1 array antenna

표 3. 본 논문과 타 논문과의 결과 비교

Table 3. Comparison between this paper and other papers

Ref.	Antenna size[mm]	Bandwidth [GHz]	Peak gain [dB]
[11]	patch 27.5×28.5×0.66	3.65/ 2.19	10.06/ 10.2
[4]	patch 19×4.4×1.12 dipole 19×1.2×1.12	3.35/ 5.85 3.34/ 4.07	10.5/ 11.9 8.7/ 10.0
This	dipole 24.5×3.34×0.324	3.10/ 2.70	8.94/ 10.2

IV. 결 론

본 논문에서는 단일 유전체 기판에 다이폴과 스트립을 다이폴의 길이 방향으로 선형 배열하고, 다이폴은 마이크로스트립 선로로 급전하고 스트립은 다이폴과의 결합으로 급전되는 28GHz와 39GHz 이중대역 4x1 배열 안테나를 설계하였다. 여기서 다이폴의 두 폴은 유전체 기판의 양면에 따로 위치하고 스트립은 접지면의 반대 면에 존재한다. 본 구조는 단일 유전체 기판을 통과하는 비아(via)가 없으므로 AiP 형태로 쉽게 제작할 수 있다. 설계된 안테나는 두께가 0.324mm로서 얇고, 소자 사이의 위

상차가 -135° ~ 135° 일 때, 두 주파수 대역에서 최대 빔 조향각은 78° 와 60° 이고, 최대 이득은 8.94dB와 10.2dB이고, 주파수 대역폭은 약 3GHz로 충분한 대역폭을 가지고 있다. 향후 본 안테나를 AiP 형태로 설계할 때 얇으면서도 쉽게 설계할 것으로 판단한다.

References

[1] S. Lee, Y. Yoon, J. Park, M. Chu, Y. Kim, J. Choi, and W. Hong, "5G Antenna Technology Trend", The proceedings of KEEES, Vol. 29, No. 2, pp. 3-15, Mar. 2018.

[2] S. Kim, Y. Hong, J. Bang, and J. Choi, "Performance comparison of 28GHz array antennas for 5G mobile devices", The Journal of KIEES, Vol. 30, No. 1, pp. 45-53, Jan. 2019, <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2019.30.1.45>.

[3] S. Kim, K. Lee, Y. Hong, and K. Kim, "Design of the Dual-band LTE 5G/WiMAX Microstrip Antenna", The Proceedings of 2016 KIIT Summer Conference, pp. 419-423, Jun. 2016.

[4] J. Seo, I. Yoon, J. Jung, J. Ryoo, J. Park, W. Lee, D. Ko, and J. Oh, "Miniaturized Dual-Band Broadside/Endfire Antenna-in-Package for 5G Smartphone", IEEE Transactions on AP, Vol. 69, No. 12, pp. 8100-8114, Dec. 2021, <https://doi.org/10.1109/TAP.2021.3088230>.

[5] Y. Zhang and D. Liu, "Antenna-on-Chip and Antenna-in-Package Solutions to Highly Integrated Millimeter-Wave Devices for Wireless Communications", IEEE Transactions on AP, Vol. 57, No. 10, pp. 2830-2841, Oct. 2009, <https://doi.org/10.1109/TAP.2009.2029295>.

[6] S. Lee, D. Choi, Y. Youn, and W. Hong, "Electrical Characterization of Highly Efficient, Optically Transparent Nanometers-thick Unit cells for Antenna-on-Display Applications", 2018 IEEE/MTT-S IMS, pp. 1043-1045, 10-15 Jun. 2018, <https://doi.org/10.1109/MWSYM.2018.8439303>.

[7] W. Li, W. Chung, and J. Chou, "Highly-Integrated Wideband 28 GHz and 39 GHz Array Antennas for 5G Mobile Phone Applications", 2020 IEEE

Intern. Symp. on AP and North American Radio Science Meeting, pp. 1581-1582, 5-10 Jul. 2020, <https://doi.org/10.1109/IEEECONF35879.2020.9330360>.

[8] W. Li, W. Chung, and K. Wong, "Highly-Integrated Dual-Band mmWave Antenna Array for 5G Mobile Phone Application", 2020 EuCAP, pp. 1-5, 15-20 Mar. 2020, <https://doi.org/10.23919/EuCAP48036.2020.9135212>.

[9] T. Choi, S. Kim, Y. Yoon, and H. Kim, "Wide-band slot Antenna on metal bezel for covering 28/39GHz in 5G Communication System", 2019 IEEE Intern. Symp. on AP and USNC-URSI Radio Science Meeting, pp. 29-30, 7-12 Jul. 2019, <https://doi.org/10.1109/APUSNCURSINRSM.2019.8888748>.

[10] S. Lee, S. Kim, and J. Choi, "Dual-Band Dual-polarized Proximity Fed Patch Antenna for 28/39 GHz 5G Millimeter-Wave Communications", 2019 EuCAP, pp. 1-5, 31 Ma.-5 Apr. 2019.

[11] T. Deckmyn, M. Cauwe, D. Vande Ginste, H. Rogier, and S. Agneessens, "Dual-Band(28,38) GHz Coupled Quarter-Mode Substrate-Integrated Waveguide Antenna Array for Next-Generation Wireless Systems", IEEE Transactions on AP, Vol. 67, No. 4, pp. 2405-2412, Apr. 2019, <https://doi.org/10.1109/TAP.2019.2894325>.

저자소개

정 봉 식 (Bongsik Jeong)



1987년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1990년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과(공학석사)
1995년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과(공학박사)
1995년 1월 ~ 1997년 2월 :

LG전자 선임연구원

1997년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 전자공학과 교수
관심분야 : 안테나, 무선전력전송