

3.5 GHz 대역에서 동작하는 DLP 배열 안테나의 설계 및 제작

윤중환*

Design and Fabrication of DLP Array Antenna for 3.5 GHz Band

Joong-Han Yoon*

요약

본 논문에서는 3.5 GHz 대역에 적용 가능한 DLP(Dual Linear Polarization) 배열 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 1×4 배열 안테나로 구성되어 있으며 두 개의 입력포트를 갖도록 설계하였다. 또한 임피던스 매칭을 위해 십자가 구조가 패치 아래 부분과 연결하였다. 각 안테나는 18.85 mm(W1)×18.85 mm(L1)의 크기를 갖으며 1×4 배열 안테나 전체 구조는 236.0 mm(W)×60.2 mm(L)의 크기를 갖으며 두께(h) 1.6 mm, 그리고 비유전율이 4.3인 FR-4 기판 위에 설계하였다. 제작 및 측정결과로부터, -10 dB 반사손실을 기준으로 입력 포트 1에서 70 MHz (3.54~3.61 GHz), 입력포트 2에서 75 MHz (3.55~3.625 GHz)의 대역폭을 얻었으며 전달 계수 S21은 -20dB 이하의 값을 얻었다. 또한 두 입력단자 사이의 교차편파의 값을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose DLP(Dual Linear Polarization) array antenna for 3.5 GHz band. The proposed antenna has 1×4 array antenna and design two port network. A cross shape is inserted at the bottom of the patch for impedance matching. The size of each patch antenna is 18.85 mm(W1)×18.85 mm(L1), array antenna is designed on the FR-4 substrate, which is 236.0 mm(W)×60.2 mm(L), thickness (h) 1.6 mm, and the dielectric constant is 4.3. From the fabrication and measurement results, bandwidths of 70 MHz (3.54 to 3.61 GHz) for input port 1, 75 MHz (3.55 to 3.625 GHz) for input port 2 are obtained on the basis of -10 dB return loss and transmission coefficient S21 is under the -20 dB. Also, cross polarization between two port obtained.

키워드

DLP(Dual Linear Polarization), Array Antenna, Antenna Feeding Structure, Cross Polarization, 3.5 GHz band
이중 선형 편파, 배열 안테나, 안테나 급전 구조, 교차 편파, 3.5 GHz 대역

1. 서론

2018 평창 동계올림픽에서 5G 시범 서비스를 처음 도입된 후, 2019년 4월에 세계 최초로 5G 상용화 서비

스를 시작하였다. 5G는 6 GHz 이하 중·저대역(Sub-6)과 24 GHz 이상의 초고주파 대역(밀리미터·mmWave)을 활용한다. 국내 통신사들은 5G 주파수로 3.5 GHz와 28 GHz 대역을 각각 할당 받았으며 지난해 4월 세계

* 교신저자 : 신라대학교 스마트전기전자공학부
• 접수일 : 2021. 09. 08
• 수정완료일 : 2021. 10. 28
• 게재확정일 : 2021. 12. 17

• Received : Sep. 08, 2021, Revised : Oct. 28, 2021, Accepted : Dec. 17, 2021
• Corresponding Author : Joong-Han Yoon
Division of Smart Electrical and Electronic Engineering, Silla University,
Email : jhyoon@silla.ac.kr

최초로 상용화한 5G 서비스는 3.5 GHz 대역에 해당한다. 하지만 본격적인 5G 통신시대가 되기 위해서 넓은 대역폭과 빠른 속도로 많은 양의 데이터를 전송할 수 있는 28 GHz 대역에서의 통신서비스가 필요하다. 특히 AR(증강현실)·VR(가상현실) 콘텐츠를 비롯해 클라우드 게임 서비스, 고화질 동영상 스트리밍 서비스, 그리고 방대한 데이터를 실시간 처리해야 하는 자율주행차 혹은 플라잉카(하늘을 나는 차), 무인운반차 등의 서비스를 위해서는 초고속·초저지연·초대용량 통신이 가능한 28 GHz 대역 통신 시스템이 필요하며 또한 향후 서비스 범위는 더욱 더 확대해 나갈 것이다[1-2].

이러한 많은 장점과 필요성이 있음에도 불구하고, 5G가 사회 전반에 걸친 핵심 무선네트워크로 발전하기 위해서는 아직도 해결되어야 할 난제들이 존재한다. 기본적으로 28 GHz 대역은 직진성이 강하며 전파 도달거리가 3.5 GHz의 10~15%에 그칠 정도로 매우 짧다. 따라서 기존 무선망에 비해 더 촘촘하게 기지국을 설치해야 한다는 점에서 설비 구축에 기하급수적인 비용과 상당히 긴 시간이 소요될 수밖에 없다.

따라서 통신업계에서는 3.5 GHz 대역을 전국망으로 서비스하고 28 GHz 대역을 B2B 서비스를 위한 용도로 사용하는 방안을 제시하고 있으며 미국 최대 통신사 버라이즌과 일본 1위 통신사 도코모 역시 전철역, 공항, 경기장 등 ‘핫스팟’ 190여 곳에 28 GHz 대역 기지국을 설치하고 중대역 주파수를 활용해 5G망 확충에 주력하고 있는 실정이다[3-4].

이와 같은 상황에서 6 GHz 이하 중·저대역(Sub-6) 5G 무선 시스템에 대한 지속적인 업그레이드 개발이 요구되고 있으며 모바일 기기 수의 증가와 대용량 콘텐츠 이용량의 폭발적인 증가로 인해 제한된 주파수내에서 더 많은 데이터를 전송하기 위해 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있으며 안테나 관점에서도 여러가지 방법들이 제시되고 있다[5-7].

한편 채널 용량을 증가시킬 수 있는 방법 중에 하나로 제안된 다양한 이중 편파 안테나에 대한 연구가 진행되어 왔으며 가볍고 쉽게 이중 직선편파 적용이 가능한 장점으로 패치 안테나가 연구되어 왔다[8-13].

본 논문에서는 중·저대역(Sub-6) 5G 무선 시스템에 적합한 이중 직선편파 특성을 갖는 배열안테나를 제작하고자 한다. 제안된 안테나의 DLP(Dual Linear Polarization) 특성을 나타내는 편파분리도가 최소

15dB 이상이 되도록 설정하였으며 또한 일반적인 안테나 특성인 반사손실(-10dB 기준), 방사패턴, 최대이득을 얻기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 주어진 조건을 바탕으로 최적화 된 시뮬레이션 결과를 나타내었으며 이러한 결과를 바탕으로 비유진율 4.3의 FR-4 유전체 기판위에 제안된 배열 안테나를 제작하였다. 제작 후 측정을 통해 DLP 안테나의 특성을 나타내는 편파분리도를 비롯한 일반적인 안테나 특성인 반사손실, 방사패턴, 이득에 대한 결과를 나타내었다.

II. 제안된 안테나 구조

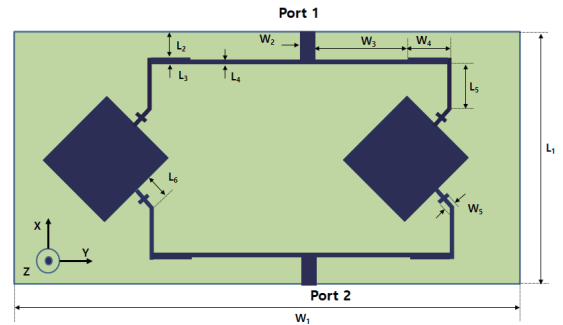


그림 1. 제안된 1×2 배열 DLP 안테나의 구조
Fig. 1 Structure of the proposed 1×2 Array DLP antenna

그림 1은 제안된 DLP 배열 안테나의 구조를 나타내었다. 제안된 배열 안테나는 패치 안테나의 일반적인 구조와 동일하다. 즉, 윗면은 요구되는 성능을 만족시키기 위해 설계된 패치구조를 나타내고 있으며 아랫면은 그림에 나타나 있지 않지만 접지면으로 구성되어 있다. 또한 제안된 안테나는 두 개의 입력단자(Port 1, Port 2)를 갖고 있으며 임피던스 매칭을 위해 패치와 급전선로 사이에 십자가 모양의 선로($W_5 \times L_6$)를 삽입하였다.

DLP 특성을 갖는 단일안테나에 대한 설계를 진행한 후 1×2 배열 안테나에 대한 설계를 진행하였다. 1×2 배열 안테나에서, 각 안테나 패치의 크기는 19.04 mm × 19.04 mm이며 전체 기판의 크기는 116.0 mm × 45.50 mm이다. 고 이득을 갖는 DLP 안테나를 설계하기 위해 1×4 배열 안테나 설계하였다. 그림 2는 제안된 1×4 배열 DLP 안테나의 구조를 나타내었다. 그림 1에서 설

계한 1×2 배열 안테나 설계를 확장하였으며 1×4 배열 DLP 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나의 설계 사양으로는 sub-6G 대역에서 요구되는 주파수 대역과

최대이득을 갖도록 설계하였다. 설계 시 상용툴인 CST을 사용하였으며 설계된 안테나의 최적화된 수치는 표 1에 나타내었다.

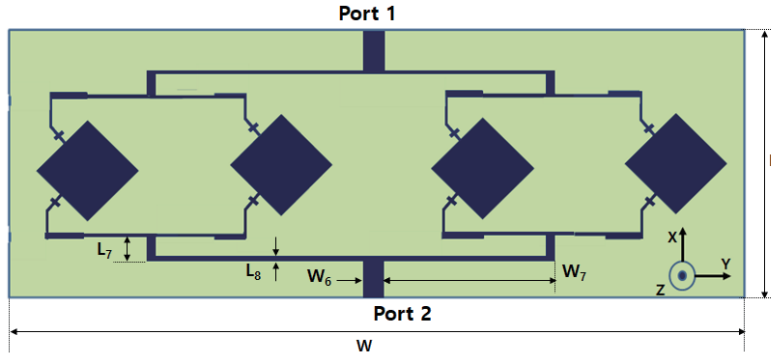


그림 2. 제안된 1×4 배열 DLP 안테나 구조
Fig. 2 Structure of the proposed 1×4 Array DLP antenna

표 1. 설계된 안테나의 파라메타
Table 1. parameter of the designed antenna

Parameters	Value [mm]	Parameters	Value [mm]
L	236.0	W	60.2
L ₁	116.0	W ₁	45.50
L ₂	4.72	W ₂	3.54
L ₃	1.86	W ₃	18.2
L ₄	0.82	W ₄	10.8
L ₅	5.82	W ₅	3.2
L ₆	5.50	W ₆	3.54
L ₇	6.24	W ₇	53.5
L ₈	0.8		

그림 3은 제안된 1×4 배열 DLP 안테나의 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. -10 dB 반사손실을 기준으로 급접점을 포트 1로 설정했을 때 70 MHz (3.53~3.66 GHz) 대역폭을 얻었으며 3.6 GHz에서 -13.0 dB의 반사손실을 얻었다. 또한 급접점을 포트 2로 설정했을 때 75 MHz (3.55~3.625 GHz)의 대역폭을 얻었으며 3.6 GHz에서 -15.38 dB의 반사손실을 얻었다. 전달계수 S21은 측정주파수 대역에서 -20dB 이하의 값을 얻었다. 즉, 측정주파수 3.42 GHz에서 -33.40 dB, 3.50 GHz에서 -32.14 dB, 3.60 GHz에서 -25.16 dB, 그리고 3.70 GHz에서 -32.59 dB의 측정결과를 얻었다. 시뮬레이션 결과와 비교할 때 협대역의 대역폭을 얻었다.

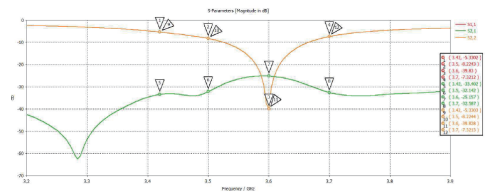


그림 3. 그림 2의 안테나 설계과정에 따른 시뮬레이션 반사손실
Fig. 3 Simulation reflection loss according to the antenna design process of Figure 2

그림 4, 5, 6, 7은 제안된 안테나의 시뮬레이션 3D 방사패턴을 나타내었다. 그림 4은 3.42 GHz 주파수에서 그림 5은 3.50 GHz에서 그림 6는 3.60 GHz에서 그림 7은 3.70 GHz에서 방사패턴을 나타내었다. 각 주파수에서 배열 안테나의 방사패턴 특성을 시뮬레이션 결과로부터 확인하였다. 포트 1에서 급전을 했을 때, 시뮬레이션 결과로부터 최대이득은 각각 3.42 GHz에서 3.69 dBi, 3.50 GHz에서 5.54 dBi, 3.60 GHz에서 7.19 dBi, 그리고 3.70 GHz에서 4.43 dBi의 결과를 얻었다.

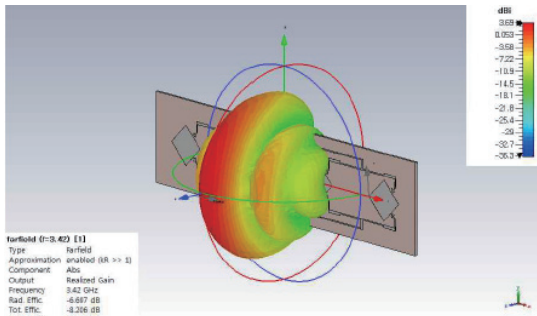


그림 4. 급전점이 포트 1일 때 3.42 GHz에서 시뮬레이션된 3-D 방사패턴

Fig. 4 Simulated 3-D radiation pattern in 3.42 GHz when feeding point is port 1

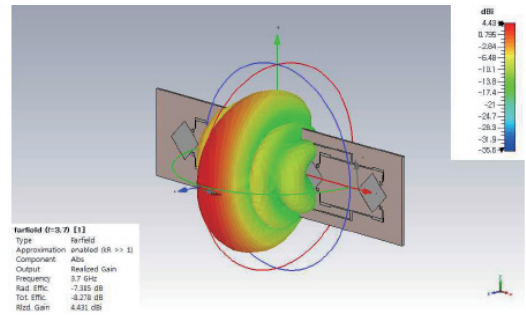


그림 7. 급전점이 포트 1일 때 3.70 GHz에서 시뮬레이션된 3-D 방사패턴

Fig. 7 Simulated 3-D radiation pattern in 3.70 GHz when feeding point is port 1

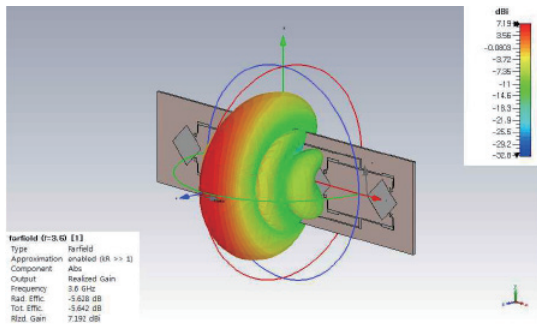


그림 5. 급전점이 포트 1일 때 3.50 GHz에서 시뮬레이션된 3-D 방사패턴

Fig. 5 Simulated 3-D radiation pattern in 3.50 GHz when feeding point is port 1

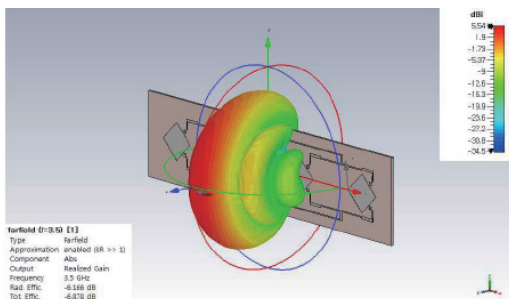


그림 6. 급전점이 포트 1일 때 3.60 GHz에서 시뮬레이션된 3-D 방사패턴

Fig. 6 Simulated 3-D radiation pattern in 3.60 GHz when feeding point is port 1

한편 포트 2에서 급전을 했을 때, 시뮬레이션 3D 방사패턴의 최대이득은 각각 3.42 GHz에서 3.69 dBi, 3.50 GHz에서 5.54 dBi, 3.60 GHz에서 7.19 dBi, 그리고 3.70 GHz에서 4.43 dBi의 결과를 얻었으며 각 주파수에서 3D 방사패턴의 그림은 생략하였다. 이와 같은 시뮬레이션 결과로부터 제안된 안테나를 실제 제작 및 측정하였다.

III. 제작 및 측정결과

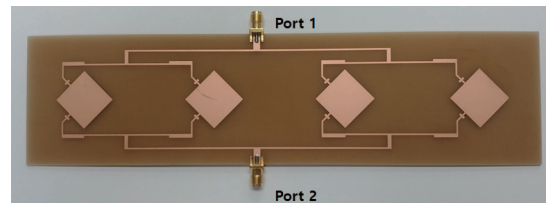


그림 8. 제안된 안테나의 프로토타입

Fig. 8 Prototype of the proposed antenna

그림 8은 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 표 1의 파라미터 수치를 사용하여 제작된 1×4 배열 DLP 안테나이다. 그림 9은 실제 제작한 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. 그림 9(a)은 S11에서의 반사손실 특성을 나타내었으며 그림 9(b)는 S22에서의 반사손실 특성을 나타내었다. 또한 그림 9(c)는 제안된 안테나의 전달계수를 나타내었다. 측정결과, -10 dB 반사손실을 기준으로 급전점을 포트 1로 설정했을 때 70

MHz (3.54~3.61 GHz) 대역폭을 얻었으며 3.6 GHz에서 -13.0 dB의 반사손실을 얻었다. 또한 급전점을 포트 2로 설정했을 때 75 MHz (3.55~3.625 GHz)의 대역폭을 얻었으며 3.6 GHz에서 -15.38 dB의 반사손실을 얻었다. 전달계수 S21은 측정주파수 대역에서 -20dB 이하의 값을 얻었다. 즉, 각 측정주파수에서 각각 -33.40 dB, -32.14 dB, -25.16 dB, -32.59 dB의 측정결과를 얻었다. 시뮬레이션 결과와 비교할 때 협대역의 대역폭을 얻었다.

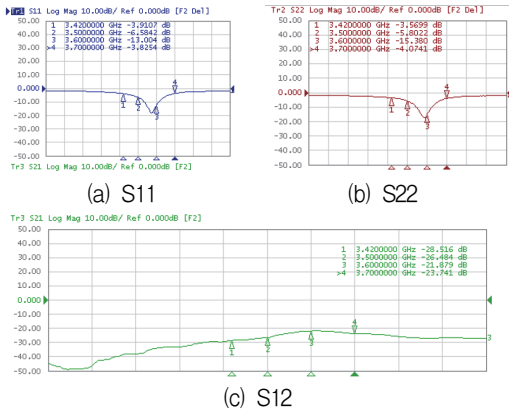


그림 9. 제안된 안테나의 측정된 반사손실 : (a) S11, (b) S22, 그리고 (c) S12

Fig. 9 The measured return loss results of the proposed antenna: (a) S11, (b) S22, 그리고 (c) S12

그림 10, 11, 12, 13은 제작된 안테나의 입력 포트 1에서 3D 방사패턴을 측정된 결과이다. 그림 10은 3.42 GHz 주파수에서, 그림 11은 3.50 GHz에서, 그림 12는 3.60 GHz에서, 그리고 그림 13은 3.70 GHz에서 측정된 3D 방사패턴을 나타내었다. 측정된 3D 방사패턴은 전체적으로 전방향으로 배열안테나의 방사패턴 특성을 나타내었다. 최대이득은 각 주파수에서 4.59 dBi, 6.75 dBi, 8.13 dBi, 그리고 3.54 dBi을 얻었다.

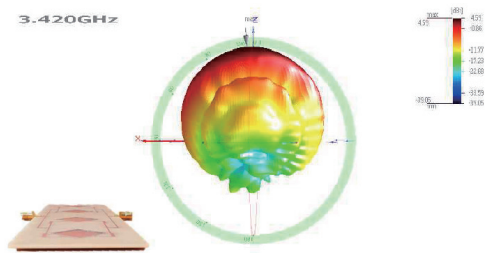


그림 10. 급전점이 포트 1일 때 3.42 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴

Fig. 10 Measured 3-D radiation pattern in 3.42 GHz when feeding point is port 1

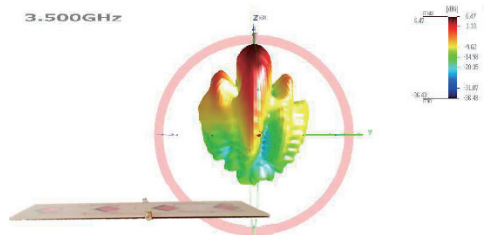


그림 11. 급전점이 포트 1일 때 3.50 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴

Fig. 11 Measured 3-D radiation pattern in 3.50 GHz

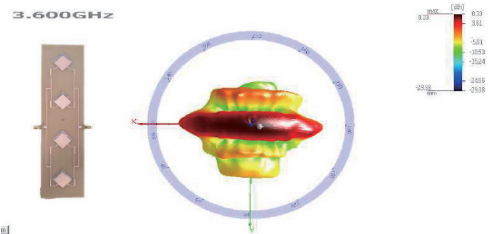


그림 12. 급전점이 포트 1일 때 3.60 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴

Fig. 12 Measured 3-D radiation pattern in 3.60 GHz when feeding point is port 1

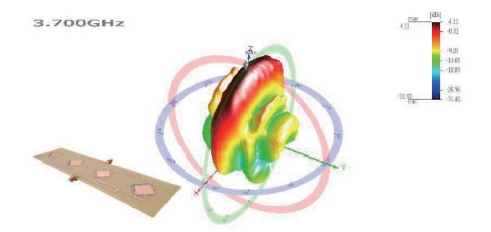


그림 13. 급전점이 포트 1일 때 3.70 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴

Fig. 13 Measured 3-D radiation pattern in 3.70 GHz when feeding point is port 1

한편 그림 14, 15, 16, 17은 제작된 안테나의 입력 포트 2에서 3D 방사패턴을 측정된 결과이다. 그림 14은 3.42 GHz 주파수에서, 그림 15은 3.50 GHz에서, 그림 16는 3.60 GHz에서, 그리고 그림 17은 3.70 GHz에서 측정된 3D 방사패턴을 나타내었다. 측정된 3D 방사패턴은 전체적으로 배열안테나의 방사패턴 특성을 나타내었다. 최대이득은 각 주파수에서 4.27 dBi, 6.47 dBi, 8.33 dBi, 그리고 4.13 dBi을 얻었다.

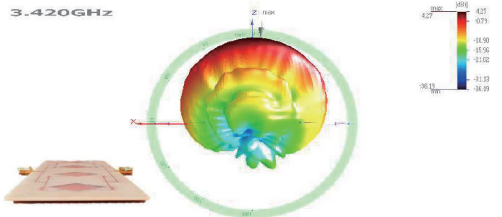


그림 14. 급전점이 포트 2일 때 3.42 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴

Fig. 14 Measured 3-D radiation pattern in 3.42 GHz when feeding point is port 2

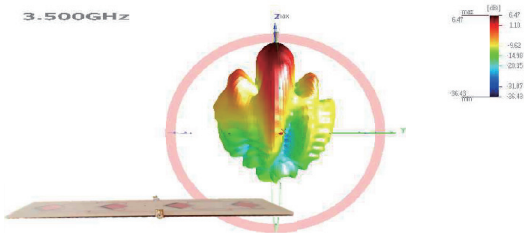


그림 15. 급전점이 포트 2일 때 3.50 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴

Fig. 15 Measured 3-D radiation pattern in 3.50 GHz when feeding point is port 2

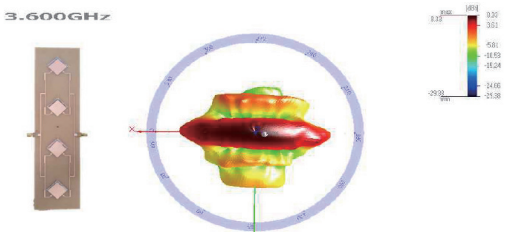


그림 16. 급전점이 포트 2일 때 3.60 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴

Fig. 16 Measured 3-D radiation pattern in 3.60 GHz when feeding point is port 2

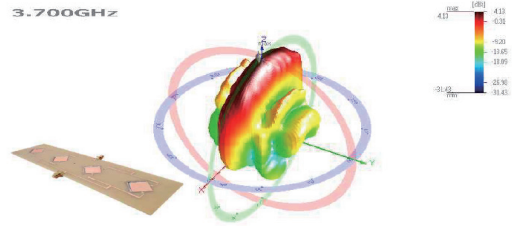


그림 17. 급전점이 포트 2일 때 3.70 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴

Fig. 17 Measured 3-D radiation pattern in 3.70 GHz when feeding point is port 2

제안된 안테나의 중요한 특성 중에 하나인 편파분리도는 표 2에 나타내었다. 편파분리도는 급전점이 포트 1과 포트 2일 때 각 주파수에 따른 편파 분리도를 나타내었고 편파분리도는 직교성분의 신호를 의미하므로 co-pol. 과 cross-pol.의 차이가 설명하고 있으며 입력포트가 1일 때 편파분리도는 16.83 dB에서 22.30 dB 사이 값을 얻었으며 입력포트가 2일 때 편파분리도는 19.38 dB에서 22.36 dB 사이 값을 얻었다.

표 2. 급전점이 각각 포트 1 그리고 포트 2일 때 측정된 co-pol. 과 cross-pol. 특성

Table 2. Measured characteristics of co-pol. and cross-pol (a) when feeding point is 1, (b) when feeding point is 2

Freq. (GHz)	1×4 Array Antenna(Port 1)				
	Pol. V (dBi)			Pol. H (dBi)	
	Peak Gain	Co-pol. Gain	Gross-p d. Gain	Co-pol. Gain	Gross-pol. Gain
3.42	4.58	4.54	-19.38	4.50	-20.11
3.50	6.75	6.68	-20.67	6.70	-22.30
3.60	8.10	8.06	-19.45	8.03	-20.32
3.70	3.53	3.44	-22.36	2.28	-16.83

(a) When feeding point is port 1

Freq. (GHz)	1×4 Array Antenna(Port 2)				
	Pol. V (dBi)			Pol. H (dBi)	
	Peak Gain	Co-pol. Gain	Gross-p d. Gain	Co-pol. Gain	Gross-pol. Gain
3.42	4.27	4.11	-13.36	3.64	-19.38
3.50	6.46	6.39	-13.18	5.53	-20.67
3.60	8.32	8.16	-17.33	7.18	-19.45
3.70	4.13	3.98	-22.27	4.35	-22.36

(b) When feeding point is port 2

IV. 결론

본 논문에서는 중·저대역(Sub-6) 5G 무선 시스템에 적합한 이중 직선편파 특성을 갖는 1×4 배열 DLP 안테나를 설계 및 제작하였다. 입력포트를 2개로 설정하였으며 임피던스 매칭을 위해 패치와 급전선로 사이에 십자가 모양의 선로($W_5 \times L_6$)를 삽입하였다. 상용 툴인 CST를 사용하였으며 시뮬레이션 결과로부터 안테나를 제작하였다. 측정결과로부터 -10 dB 반사손실을 기준으로 입력 포트 1 일 때 70 MHz (3.54~3.61 GHz) 대역폭을 얻었으며 3.6 GHz에서 -13.0 dB의 반사손실을 얻었다. 또한 입력 포트 2 일 때 75 MHz (3.55~3.625 GHz)의 대역폭을 얻었으며 3.6 GHz에서 -15.38 dB의 반사손실을 얻었다. 전달계수 S21은 측정주파수 대역에서 -20dB 이하의 값을 얻었다. 측정된 3D 방사패턴은 전체적으로 전방향으로 배열안테나의 방사패턴 특성을 나타내었으며 최대이득은 입력 포트 1에서 3.54 dBi~8.13 dBi를 그리고 입력 포트 2에서 4.13 dBi~8.33 dBi를 얻었다. 또한 편파분리도는 입력포트가 1일 때 16.83 dB~22.30 dB, 그리고 입력포트가 2일 때 19.38 dB~22.36 dB을 얻었다.

감사의 글

본문은 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술관리평가원(KEIT)의 지원을 받아 수행된 연구 결과 중 일부임.(소재부품패키지형기술개발사업-초고주파 소재를 이용한 중계기/스몰셀 안테나 모듈개발, 과제번호 : 20010608)

Reference

- [1] Y. Chen, "5G future mobile communication," *The Proc. of the Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 25, no. 4, Apr. 2014, pp. 3-12.
- [2] G. Kang, H. Lee, S. Park, W. Kang, and B. Kwon, "Current trends of 5G wireless technology," *The TTA Journal*, vol. 163, Jan. 2016, pp. 51-57.
- [3] KAIST, "Current trends and future perspectives of 5G network technology and industry," *Issue paper*, no. 19, Dec. 2020.
- [4] H. Yun, "5G mobile communication technology evolution and service directions," Master's Thesis, *Chonnam National University Graduate School of Electronic and Computer*, 2016.
- [5] T. Yun, "Broadband patch antenna for wireless LAN communication of 5 GHz band," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 3, 2021, pp. 395-400.
- [6] J. Jung and S. Park, "A study on adaptive pattern null synthesis for active phased array antenna," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 3, 2021, pp. 407-416.
- [7] I. Yoon, X. Yan, S. Kim, Y. Jo, and H. Park, "A study on the improvement of MIMO antenna isolation for mobile applications," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 9, 2015, pp. 987-992.
- [8] T. Song, Y. Lee, D. Park, S. Lee, H. Kim, and J. Choi, "A Multi-polarization reconfigurable microstrip antenna using PIN diodes," *J. of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 5, May 2013, pp. 492-501.
- [9] E. Lim, D. H. Lee, and S. Pyo, "Dual-Band orthogonal-polarization microstrip antenna for vehicle-to-nomadic devices communication," *J. of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 26, no. 7, 2015, pp. 606-612.
- [10] E. Lim and S. Pyo, "Orthogonal-polarized dual-band switchable microstrip antenna using PIN diodes loaded H-shape slot," *J. of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 27, no. 3, Feb. 2016, pp. 156-162.
- [11] J. Lee, T. Oh, J. Ha, and Y. Lee, "Design of dual-polarization antenna with high cross-polarization discrimination," *J. of the Korean Institute of Information, Electronics, Telecommunications and Technology Science*, vol. 10, no. 3, Mar. 2017, pp. 199-205.

- [12] J. Kim, H. Ryu, M. Chae, J. Kim, B. Park, and Y. Park, "Design and Fabrication of a dual linear polarization Sinuous antenna with improved cross polarization isolation," *J. of Advanced Navigation Technology*, vol. 22, no. 2, Apr. 2018, pp. 123-132.
- [13] J. Kim and Y. Sung, "Dual-Band microstrip patch antenna with switchable orthogonal linear polarization," *J. of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 4, Oct. 2018, pp. 215-220.

저자 소개



윤중환(Joong-Han Yoon)

1992년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1994년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2005년 8월 인하대학교 Post-Doc.

2006년 11월 요코하마 국립대학 Post-Doc.

2008년 8월 삼성전기 책임연구원

2008년 ~현재 신라대학교 전기전자공학과 교수

※ 관심분야 : 전파 및 안테나