

Design and Fabrication of Dual Linear Polarization Antenna for mmWave Application using FR-4 Substrate

Tea-Il Choi*, Joong-Han Yoon**

*Professor, Dept. of Health Administration, Kwangju Women's University, Kwangju, Korea

**Professor, Dept. of Electronic and Electronics Eng., Silla University, Pusan, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose 1×2 array antenna with dual linear polarization characteristics for mmWave band operation. The proposed antenna is designed two microstrip feeding structure and FR-4 substrate, which is thickness 0.4 mm, and the dielectric constant is 4.3. The size of 1×2 array antenna is $2.33 \text{ mm} \times 2.33 \text{ mm}$, and total size of array antenna is $13.0 \text{ mm} \times 6.90 \text{ mm}$. From the fabrication and measurement results, bandwidths of 1.13 GHz (28.52~29.65 GHz) for port 1 and 1.08 GHz (28.45~29.53 GHz) for port 2 were obtained based on the impedance bandwidth. Cross polarization ratios are obtained from 7.68 dBi to 16.90 dBi in case of vertical polarization, and from 7.46 dBi to 15.97 dBi in case of horizontal polarization for input port 1, respectively. Also, cross polarization ratios are obtained from 8.59 dBi to 13.72 dBi in case of vertical polarization and from 9.03 dB to 14.0 dB in case of horizontal polarization for input port 2, respectively.

▶ **Key words:** Patch Antenna, mmWave, Antenna Feeding Structure, Dual Linear Polarization, Cross Polarization Ratio

[요 약]

본 논문에서는 mmWave 대역에서 이중 직선편파 특성을 갖는 1×2 배열안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 두 개의 마이크로스트립 선로 급전구조를 갖도록 하였으며 유전율은 4.3이고 두께가 0.4 mm인 RF-4 유전체 기판위에 설계되었다. 제안된 1×2 배열안테나의 패치안테나 크기는 각각 $2.33 \text{ mm} \times 2.33 \text{ mm}$ 이며 전체 기판의 크기는 $13.0 \text{ mm} \times 6.90 \text{ mm}$ 이다. 제작 및 측정결과, 급전 위치가 포트 1일 때 1.13 GHz (28.52~29.65 GHz) 그리고 급전 위치가 포트 2일 때 1.08 GHz (28.45~29.53 GHz) 임피던스 대역폭을 얻었다. 급전 위치가 포트가 1일 때 편파분리도는 수직편파의 경우, 7.68 dBi에서 16.90 dBi 범위의 수평편파의 경우, 7.46 dBi에서 15.97 dBi 범위의 측정값을 얻었다. 급전 위치가 포트 2일 때 편파분리도는 수직편파의 경우, 8.59 dBi에서 13.72 dBi 범위의 수평편파의 경우, 03 dBi에서 14.0 dBi 범위의 측정값을 각각 얻었다.

▶ **주제어:** 패치 안테나, 밀리미터파웨이브, 안테나 급전 구조, 이중 선형편파, 교차편파도

-
- First Author: Tea-Il Choi, Corresponding Author: Joong-Han Yoon
 - *Tea-Il Choi (skc@kwu.ac.kr), Dept. of Health Administration, Kwangju Women's University
 - **Joong-Han Yoon (jhyoon@silla.ac.kr), Dept. of Electronic and Electronics Eng., Silla University
 - Received: 2022. 02. 14, Revised: 2022. 02. 14, Accepted: 2022. 03. 16.

I. Introduction

5G는 5세대 이동통신을 뜻하며 최대속도가 20 Gbps에 달하는 최신 이동통신기술이다. 5G의 3대 강점인 초고속성(eMBB, enhanced Mobile BroadBand : 최대 20 Gbps)·초저지연성(URLLC, Ultra-Reliable and Low Latency Communications : 최대 1ms)·초연결성(mMTC, massive Machine Type Communications : 최대 100만 개 연결) 서비스를 모두 지원함으로써 개인을 위한 B2C 서비스를 넘어 산업 전반의 핵심 인프라로 B2B 환경에 최적화된 무선통신네트워크를 제공하는데 의미가 있다.

향후 전개될 4차 산업혁명시대에는 모든 사물과 서비스가 네트워크를 통해 유기적으로 연동되는 5G 통신 특성을 활용하여 기계·로봇, 디바이스, 액추에이터(Actuator) 등을 실시간으로 신속하고 정밀하게 제어할 수 있게 되면서 산업 용도로 활용성이 더욱 증가하고 있다. 특히 증강현실(AR)이나 가상현실(VR)과 같은 실감미디어 서비스나 산업의 지능화를 추진하고 있는 스마트공장, 자율 비행 드론 및 자동차와 같은 자율 이동체, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅 등과 같은 서비스들이 가능해 질 것으로 판단된다[1-3].

하지만 현재 시장 수요 불투명, 실내용 장비 개발 지연 등을 이유로 실증 및 시범사업만을 진행하고 있으며 본격적인 망 구축은 진행되고 있지 않다. 따라서 5G 통신의 활성화를 위해 한정지역(Local Area)에서 제한된 서비스 요구사항을 충족시킬 수 있는 특화망에 요구가 전세계적으로 증가하고 있다[4].

향후 급격히 증가될 것으로 예상되는 5G 통신 서비스를 구현하기 위해 핵심지표를 달성하기 위한 연구들이 여러 연구기관 및 산업체에서 진행되고 있으며 특히 관련 부품인 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5-6]. 최근 5G 통신을 위한 안테나 개발은 모바일 단말 내의 기존 4G 안테나와 5G 안테나의 공존 가능성 및 Sub 6 GHz 주파수를 사용하는 5G 안테나를 어떻게 구현할 것 인지에 대한 연구가 진행되고 있으며 더불어 모바일 단말 내의 mmWave 5G 안테나 배열 후보군들에 대한 지속적인 개발이 요구되고 있는 실정이다. 또한 최적의 5G 통신을 위한 비 모바일 환경에서의 안테나 개발 및 메타물질을 활용한 RF 소자 연구에 대해서도 중요한 연구 이슈이다[7-9].

한편 모든 통신시스템에서 각 채널 용량을 증가시킬 수 있는 다양한 방법들이 연구되었고 그 중에 하나로 다양한 이중 편파 안테나에 대한 연구가 진행되어 왔으며 가볍고 쉽게 이중 직선편파 적용이 가능한 장점으로 패치 안테나가 연구되어 왔다[10-14]. 직교편파는 안테나의 편파가 서로

공간적으로 또는 시간적으로 직각이 되어 두 편파 성분 사이에 에너지 교환이 일어나지 않는 경우를 의미한다. 예로서 수직편파와 수평편파, 좌현편파와 우현편파는 서로 직교하는 편파이다. 이중편파 안테나는 1개의 안테나에 입력단자를 2개 설치하고 각 단자에서 서로 직교하는 편파를 생성하도록 한 것이며 동일한 주파수 대역을 사용하면서 수직편파로 신호 1을 송신하고 수평편파로 신호 2를 송신하므로 주파수 이용률을 2배로 증가시킬 수 있다. 이러한 이중직선편파를 적용한 안테나에 대한 연구는 현재 사용되고 있는 이동통신 주파수 대역에서 진행되어 왔으며 향후 초고속 광대역 서비스를 위한 mmWave 5G 주파수 대역인 28 GHz 대역에 적용된 연구는 아직 발표되어 있지 않다.

본 논문에서는 28 GHz 대역 5G 무선 시스템에 적합한 이중 직선편파 특성을 갖는 단일 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 안테나의 이중 선형편파 특성을 얻기 위해서 이중 급전 구조로 설계하였으며 단일 및 1×2 배열안테나에 적용하였다. 일반적인 안테나 특성인 반사손실(-10dB 임피던스 대역폭 기준), 방사패턴, 최대이득을 얻기 위한 CST 상용 툴을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 이러한 결과를 바탕으로 비유전율 4.3의 FR-4 상용 유전체 기판 위에 제안된 단일 및 배열 안테나를 제작하였다. 제작 결과로부터, 제안된 안테나의 일반적인 특성 그리고 이중 선형편파 특성 결과를 나타내었다.

II. Proposed Antenna Structure

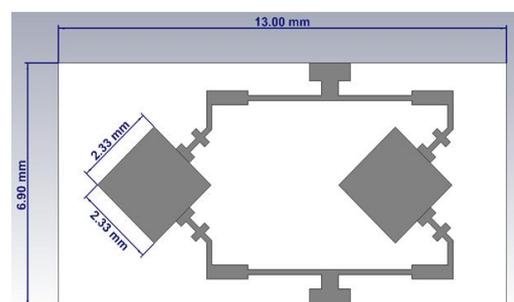


Fig. 1. Simulation reflection loss of the proposed antenna

그림 1는 제안된 이중 선형편파 1×2 배열 안테나의 구조를 나타내었다. 설계된 안테나는 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나의 기본 구조와 동일하다. 즉, 윗면은 요구되는 성능을 만족시키기 위해 설계된 패치구조를 나타내고 있으며 아랫면은 그림 1에 표시되어 있지 않지만 금속면으로 구성된 접지면이다. 또한 제안된 안테나는 이중 선

형편파 특성을 갖도록 두 개의 입력포트(Port 1, Port 2)를 갖고 있도록 설계하였다.

단일 패치 안테나의 크기는 2.38 mm×2.38 mm이며 전체 기판의 크기는 4.74 mm×4.74 mm이다. 단일 안테나를 설계한 후 이를 확장하여 1×2 배열안테나 설계를 진행하였다. 향후 설계를 진행할 예정인 1×4 배열 혹은 1×8 배열안테나 설계에 바탕이 되고자 하였다. 설계된 1×2 배열안테나의 크기는 2.33 mm×2.33 mm이며 전체 기판의 크기는 13.0 mm×6.90 mm이다. 제안된 설계사양으로는 28 GHz 대역에서 최대이득을 갖도록 설계하였다. 설계시 상용 툴인 CST을 사용하여 최적화된 수치를 얻었다.

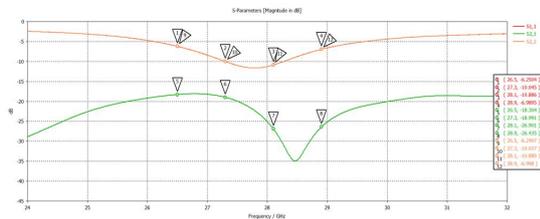


Fig. 2. Simulation reflection loss of the proposed antenna

그림 2는 제안된 이중 선형편파 1×2 배열 안테나의 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 시뮬레이션 결과, -10 dB 반사손실을 기준으로 급전위치를 포트 1로 설정했을 때와 포트 2로 설정했을 때 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 반사계수 S11에 대한 시뮬레이션 결과로부터, 1.05 GHz (27.3~28.35 GHz) 대역폭을 얻었으며 전달계수 S21는 측정주파수 대역에서 -18.15 dB 이하의 값을 얻었다. 즉, 측정주파수 28.1 GHz에서 -26.90 dB의 측정결과를 얻었다.

그림 3, 4는 주파수가 28.1 GHz에서 각각 안테나 급전 위치를 포트 1 그리고 포트 2일 때 시뮬레이션된 3D 방사 패턴을 나타내고 있다. 최대 이득은 5.38 dBi를 각각 얻었다. 다른 주파수에서도 비슷한 결과를 얻었다. 즉, 최대이득은 각각 26.5 GHz에서 5.40 dBi, 27.3 GHz에서 5.98 dBi, 그리고 28.9 GHz에서 3.54 dBi의 결과를 얻었다. 한편 다른 주파수에서 얻어진 시뮬레이션된 3D 방사패턴은 생략하였다.

그림 5, 6는 제안된 안테나의 시뮬레이션 2D 방사패턴을 나타내었다. 전 방향을 나타내는 0도에서 동일편파와 교차 편파는 급전위치가 포트 1일 때 28.1 GHz에서 각각 5.27 dBi 그리고 -18.94 dBi이며 급전위치가 포트 2일 때 28.1 GHz에서 각각 5.262 dBi 그리고 -18.76 dBi의 시뮬레이션 결과를 얻었으며 다른 주파수에서도 유사한 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다. 이러한 제안된 안테나의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 제작 및 측정하였다.

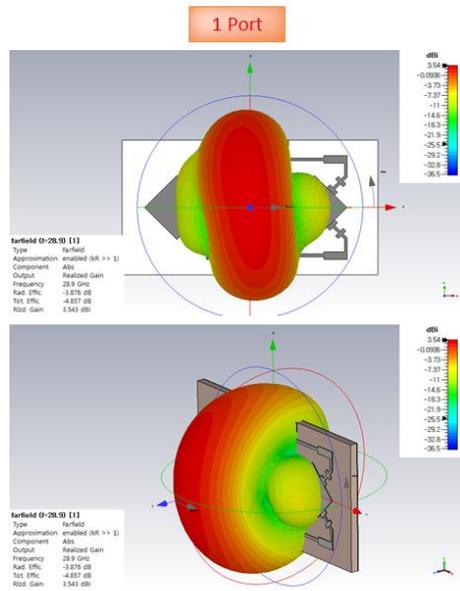


Fig. 3. Simulated 3-D radiation pattern in 28.1 GHz when feeding point is port 1

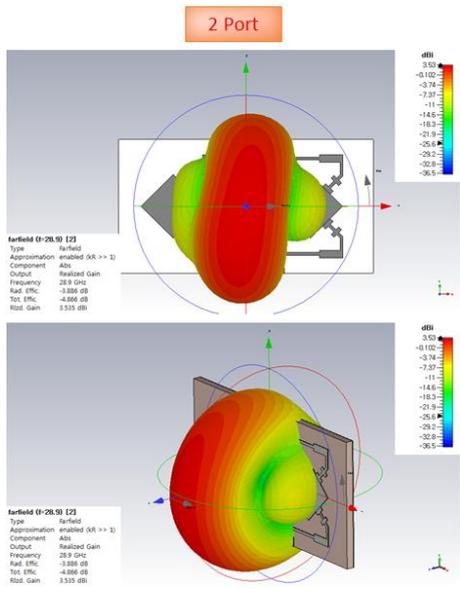


Fig. 4. Simulated 3-D radiation pattern in 28.1 GHz when feeding point is port 2

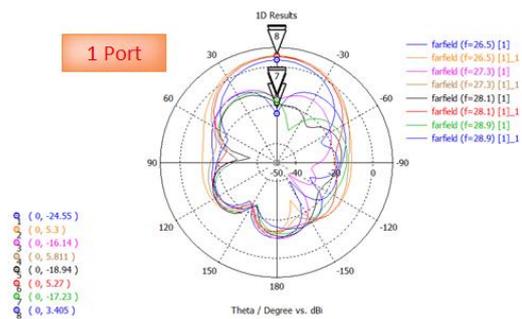


Fig. 5. Simulated 2-D radiation pattern when feeding point is port 1

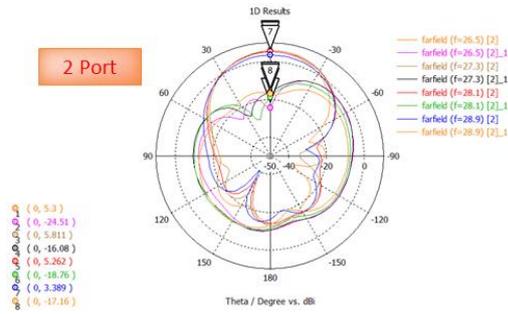


Fig. 6. Simulated 2-D radiation pattern when feeding point is port 2

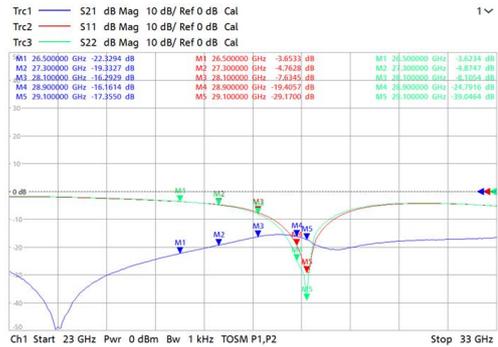


Fig. 8. Measured return loss results of the 1x2 array antenna

III. Fabrication and Measurement

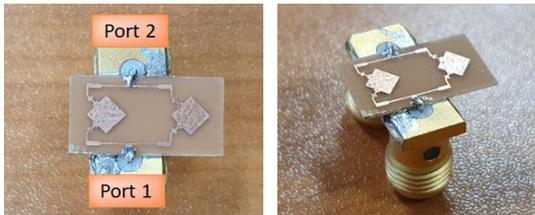


Fig. 7. Prototype of the proposed 1x2 array antenna

그림 7은 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 각 성분의 크기를 사용하여 제작된 1x2 배열 이중 선형 편파 안테나이다. 그리고 그림 8은 1x2 배열 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. 빨간색 선은 급전위치가 포트 1에서 급전되었을 때 반사손실(S11)을, 초록색 선은 급전위치가 포트 2에 있을 때 반사손실(S22)을, 그리고 파란색 선은 포트 1과 포트 2 사이에 전달계수(S21)를 나타내고 있다.

한편 1x2 배열안테나의 측정결과, -10 dB 반사손실을 기준으로 급전위치를 포트 1로 설정했을 때 1.13 GHz (28.52~29.65 GHz) 대역폭을 얻었으며 29.1 GHz에서 -29.17 dB의 반사손실 특성(S11)을 얻었다. 또한 급전위치를 포트 2로 설정했을 때 1.08 GHz (28.45~29.53 GHz)의 대역폭을 얻었으며 29.1 GHz에서 -39.04 dB의 반사손실 특성(S22)을 얻었다. 전달계수 S21는 측정된 대역폭 내에서 -15.85 dB 이하의 값을 얻었다. 시뮬레이션 결과와 비교할 때 협대역의 대역폭을 얻었다. 이러한 측정결과는 시뮬레이션 결과와 유사한 대역폭을 얻었지만 주파수 대역은 상위대역으로 이동한 결과를 얻었다.

그림 9, 10, 11, 그리고 12는 급전위치가 포트 1일 때 제작된 1x2 배열안테나의 2D 방사패턴을 측정한 결과이다. 그림 9와 그림 10은 각각 동일 및 교차 편파를 갖는 Pol.-V의 측정한 결과를 나타내었으며 그림 11와 그림 12는 각각 동일 및 교차 편파를 갖는 Pol.-H의 측정한 결과를 나타내었다.

또한 그림 13, 14, 15, 그리고 16는 급전위치가 포트 2일 때 제작된 1x2 배열안테나의 2D 방사패턴을 측정한 결과이다. 그림 13와 그림 14는 각각 동일 및 교차 편파를 갖는 Pol.-V의 측정한 결과를 나타내었으며 그림 15와 그림 16은 각각 동일 및 교차 편파를 갖는 Pol.-H의 측정한 결과를 나타내었다.

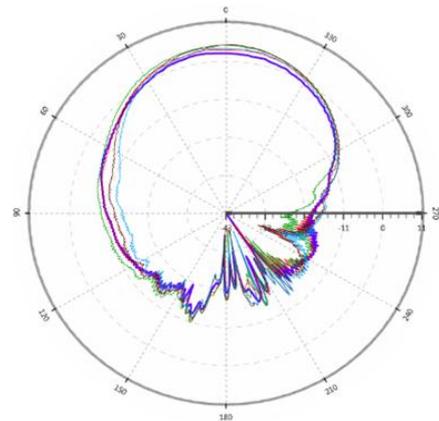


Fig. 9. Measured 2-D co-pol. radiation patterns when feeding point is port 1 at the 1x2 array antenna(Pol.-V)

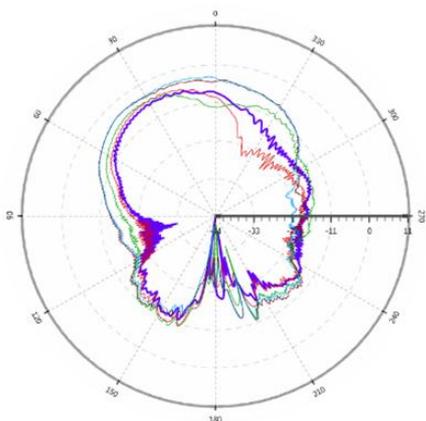


Fig. 10. Measured 2-D radiation patterns when feeding point is port 1 at the 1x2 array antenna(Pol.-V)

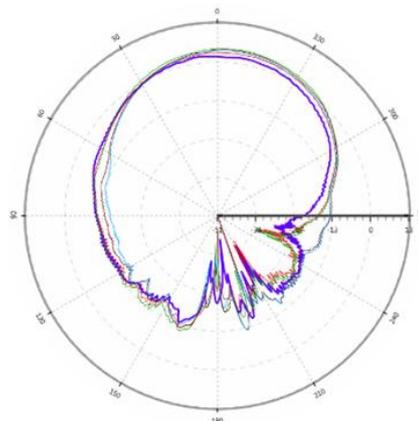


Fig. 13. Measured 2-D co-pol. radiation patterns when feeding point is port 2 at the 1x2 array antenna(Pol.-V)

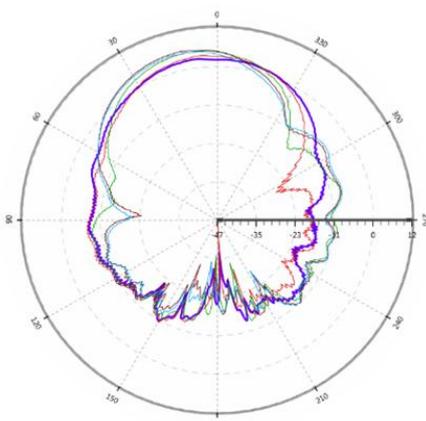


Fig. 11. Measured 2-D co-pol. radiation patterns when feeding point is port 1 at the 1x2 array antenna(Pol.-H)

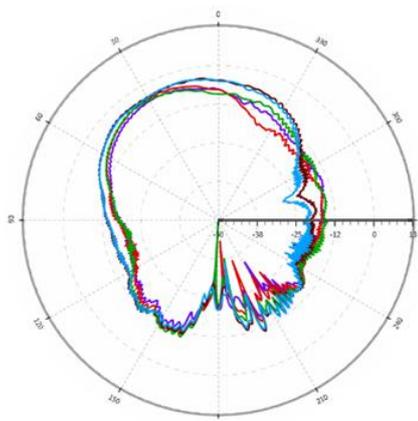


Fig. 14. Measured 2-D cross-pol. radiation patterns when feeding point is port 2 at the 1x2 array antenna(Pol.-V)

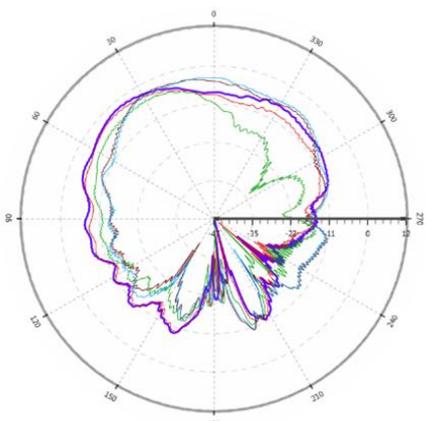


Fig. 12. Measured 2-D cross-pol. radiation patterns when feeding point is port 1 at the 1x2 array antenna(Pol.-H)

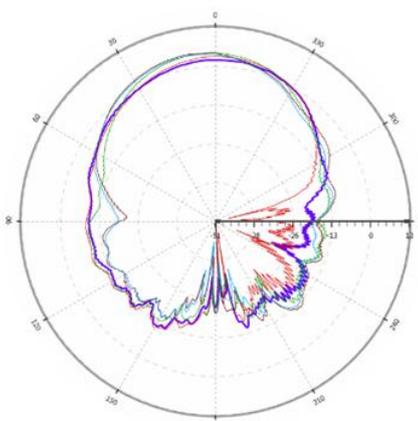


Fig. 15. Measured 2-D co-pol. radiation patterns when feeding point is port 2 at the 1x2 array antenna(Pol.-H)

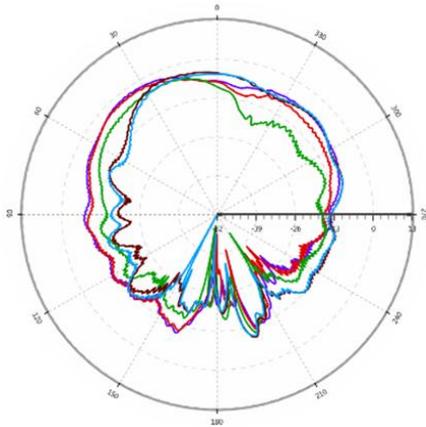


Fig. 16. Measured 2-D cross-pol. radiation patterns when feeding point is port 2 at the 1×2 array antenna(Pol.-H)

제안된 안테나의 중요한 특성 중에 하나인 편파분리도는 급전위치가 포트 1과 포트 2일 때 각 주파수에 수직 편파 및 수평 편파에서 동일편파와 교차편파의 차이로 설명할 수 있다. 표 1는 급전위치가 각각 포트 1과 포트 2일 때 측정된 동일편파의 최대값과 교차편파의 최대값을 나타내었다. 측정결과로부터, 급전위치가 포트가 1일 때 수직편파의 경우, 편파분리도는 7.68 dBi에서 16.90 dBi 범위의 측정값을 얻었으며 수평편파의 경우, 편파분리도는 7.46 dBi에서 15.97 dBi 사이 값을 얻었다. 급전위치가 포트 2일 때 수직편파의 경우, 편파분리도는 8.59 dBi에서 13.72 dBi 범위의 측정값을 얻었으며 수평편파의 경우, 편파분리도는 9.03 dBi에서 14.00 dBi 범위의 측정값을 얻었으며 얻었다.

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

Freq. (GHz)	1×2 Array Antenna(Port 1)			
	Pol. V (dBi)		Pol. H (dBi)	
	Co-pol. Gain	Cross-pol. Gain	Co-pol. Gain	Cross-pol. Gain
26.5	2.33	-7.98	2.27	-8.01
27.3	3.45	-9.24	3.31	-8.63
28.1	4.74	-12.16	4.79	-11.18
28.9	4.86	-4.69	4.88	-4.43
29.1	3.90	-3.78	4.00	-3.46

(a) When feeding point is port 1

Freq. (GHz)	1×2 Array Antenna(Port 2)			
	Pol. V (dBi)		Pol. H (dBi)	
	Co-pol. Gain	Cross-pol. Gain	Co-pol. Gain	Cross-pol. Gain
26.5	1.91	-7.43	2.19	-7.42
27.3	3.30	-7.60	3.41	-7.71
28.1	4.67	-9.05	4.69	-9.31
28.9	4.35	-4.60	4.39	-4.70
29.1	3.80	-4.79	3.89	-5.14

(b) When feeding point is port 2

IV. Conclusions

본 논문에서는 mmWave 대역에서 이중 직선편파 특성을 갖는 1×2 배열안테나를 설계 및 제작하였다. 두 개의 급전 구조를 갖도록 설정하였다. 상용 톨인 CST를 사용하여 유전율 4.3, 두께 0.4 mm인 RF-4 상용 기판에 제안된 안테나를 설계하였으며 최적화된 결과로부터 설계된 안테나를 제작, 측정하였다. 측정결과, 한편 1×2 배열안테나의 측정결과, -10 dB 반사손실을 기준으로 급전위치를 포트 1로 설정했을 때 1.13 GHz (28.52~29.65 GHz) 대역폭을 얻었으며 29.1 GHz에서 -29.17 dB의 반사손실 특성(S11)을 얻었다. 또한 급전위치를 포트 2로 설정했을 때 1.08 GHz (28.45~29.53 GHz)의 대역폭을 얻었으며 29.1 GHz에서 -39.04 dB의 반사손실 특성(S22)을 얻었다. 전달계수 S21는 측정된 대역폭 내에서 -15.85 dB 이하의 값을 얻었다. 또한 급전위치가 포트가 1일 때 편파분리도는 수직편파의 경우, 7.68 dBi에서 16.90 dBi 범위의 측정값을 얻었으며 수평편파의 경우, 7.46 dBi에서 15.97 dBi 사이 값을 얻었다. 또한 급전 위치가 포트 2일 때 편파분리도는 수직편파의 경우, 8.59 dBi에서 13.72 dBi 범위의 측정값을 얻었으며 수평편파의 경우, 9.03 dBi에서 14.00 dBi 범위의 측정값을 얻었으며 얻었다. 이 연구는 향후 mmWave 5G 통신 시스템 구축 시 대용량 고속 데이터 전송을 위한 방안의 하나로서 제안될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] J. Park, and B. Kim "Trends and Technical Requirements for 5G Mobile Communication Systems," The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences Vol.10, No.11, pp. 1257-1264, Nov. 2015, DOI : 10.13067/JKIECS.2015.10.11.1257
- [2] G. Kang, H. Lee, S. Park, W. Kang, and B. Kwon, "Current trends of 5G wireless technology," The TTA Journal, Vol. 163, pp. 51-57, Jan. 2016.
- [3] H. Kim, "Understanding of 5G service implementation technology," The Korean Institute of Broadcast and Media Magazine, Vol. 24, No. 3, pp. 10-22, July, 2017.
- [4] D. Min, Y. Shin, and J. Ahn, "Research on the trend in private 5G introduction I a foreign country," Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 35, No. 5, pp. 139-150, May 2020. DOI : <https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350513>
- [5] 5G Americas white paper, "Advanced antenna systems for 5G," Technical report, Aug. 2019.
- [6] S. Lee, Y. Y. Yun, J. Park, M. Chu, Y. Kim, J. Choi, and W.

- Hong, "Current trends of 5G antenna," *Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science Magazine*, Vol. 29, No. 2, pp. 3-15, Mar, 2018.
- [7] I. Yoon, X. Yan, S. Kim, Y. Jo, and H. Park, "A study on the improvement of MIMO antenna isolation for mobile applications," *Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 10, No. 9, pp. 987-992, Sep. 2015. DOI: 10.13067/JKIECS.2015.10.9.987
- [8] S. Naqvi, N. Hussain, A. Iqbal, M. Rahman, M. Forsat, S. Mirjava, and Y. Amin, "Integrated LTE and millimeter-wave 5G MIMO antenna system for 4G/5G wireless terminals," *Sensor*, Vol. 20, No. 14, 3926, July 2020. DOI: 10.3390/s20143926
- [9] S. Hadi, and Z. Guifu, "Low cross polarization high isolation microstrip patch antenna array for multi-mission application," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 5026-5033, 2019. DOI:10.1109/ACCESS.2018.2889599
- [10] S. Kim, and J. Choi, "Array antenna with linear and circular polarization characteristics for 28GHz Band 5G mobile handset applications," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 31, No. 1, pp. 215-220, Jan. 2020. DOI: 10.5515/KJKIEES.2020.31.1.33
- [11] 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, pp. 156-162, Feb. 2016. DOI: 10.5515/KJKIEES.2016.27.2.156
- [12] J. Lee, T. Oh, J. Ha, and Y. Lee, "Design of dual-polarization antenna with high cross-polarization discrimination," *Journal of the Korean Institute of Information, Electronics, Telecommunications and Technology Science*, Vol. 10, No. 3, pp. 199-205, Mar. 2017. DOI: 10.17661/JKIIECT.2017.10.3.199
- [13] 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," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 22, No. 2, pp. 123-132, Apr. 2018. DOI: 10.12673/JANT.2018.22.2.123
- [14] J. Kim and Y. Sung, "Dual-Band microstrip patch antenna with switchable orthogonal linear polarization," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 18, No. 4, pp. 215-220, Oct. 2018. DOI: 10.26866/JEES.2018.18.4.215

Authors



Tea-II Choi received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electronics Engineering from Inha University, Korea, in 1985, 1988 and 1997, respectively. Dr. Choi joined the faculty of the Dept. of Health administration at

Kwangju Women's University in 1994. He is currently a Professor in the Department of Health administration. He is interested in wave propagation, antenna, optical communication, and data communication.



Joong-Han Yoon received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electronics Engineering from Inha University, Korea, in 1992, 1994 and 2003, respectively. Dr. Yoon joined the faculty of the Department of Electronics at

Silla University, Pusan, Korea, in 2008. He is currently a Professor in the Department of Electronics Electric, Silla University. He is interested in RF and antenna, radar.