

개구 결합 급전 구조를 갖는 이중 선형편파 패치 안테나의 설계 및 제작

윤중환*

Design and Fabrication of Dual Linear Polarization Patch Antenna with Aperture Coupled Feeding Structure

Joong-Han Yoon*

요약

본 논문에서는 4.7 GHz 특화망 대역에 적용할 수 있는 개구결합 급전을 갖는 이중 선형편파 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 격리도 향상을 위해 일반적인 개구 결합급전을 갖고 상층과 하층에 각각 급전점을 갖도록 설계하였다. 각각의 기판의 크기는 34.0 mm×34.0 mm (W×L)이며 두께(h) 1.0 mm, 그리고 비유전율이 4.4 인 FR-4 기판을 사용하였다. 또한 상층의 윗면에 12.7 mm×14.6 mm (W2×L3)의 패치를, 하층의 아랫면에 24.0 mm×1.6 mm의 급전선로를, 접지면에 1.0 mm×7.7 mm(S×T)의 크기를 갖는 슬롯을 설계하여 패치로 급전되도록 하였다. 제작 및 측정 결과로부터, -10 dB 반사손실을 기준으로 배열 안테나의 경우, 입력포트 1에서 300.0 MHz (4.52~4.82 GHz), 입력포트 2에서 170.0 MHz (4.65~4.82 GHz)의 대역폭을 얻었으며 전달계수 S21은 -30 dB 이하의 값을 얻었다. 또한 각 급전포트에서의 편파분리도를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose DLP(Dual Linear Polarization) antenna with aperture coupled feeding structure for private network. The proposed antenna has general aperture coupled structure and design two port between top and bottom layer to obtain the enhanced isolation. Also, The size of each substrate(top and bottom layer) is 34.0 mm(W)×34.0 mm(L), which is designed on the FR-4 substrate which thickness (h) is 1.0 mm, and the dielectric constant is 4.4. Also, the size of patch antenna is 12.70 mm(W2)×14.60 mm(L3), and it is located on the top layer. The size of feeding line is 24.0 mm(W2)×1.6 mm(L3), and is located at the bottom layer. Also, rectangular slot is located on the ground plane between top layer and bottom layer. From the fabrication and measurement results, bandwidths of 300 MHz (4.52 to 4.82 GHz) for feeding port 1, and 170 MHz (4.65 to 4.82 GHz) for feeding port 2 are obtained on the basis of -10 dB return loss and transmission coefficient S21 is got under the -30 dB. Also, cross polarization isolation between each feeding port obtained

키워드

Cross Polarization, DLP(Dual Linear Polarization), Private Network, Aperture Coupled Feeding, Two Port Feeding Structure

교차 편파, 이중 선형 편파, 특화망, 개구 결합 급전, 이중 단자 급전 구조

* 교신저자 : 신라대학교 전기전자공학과
• 접수일 : 2023. 09. 12
• 수정완료일 : 2023. 10. 27
• 게재확정일 : 2023. 12. 27

• Received : Sep. 12, 2023, Revised : Oct. 27, 2023, Accepted : Dec. 27, 2023
• Corresponding Author : Joong-Han Yoon
Department of Electrical and Electronic Engineering, Silla University,
Email : jhyoon@silla.ac.kr

I. 서 론

세계적인 디지털 대전환에 따라 확대되는 5G 통신 관련 시장을 선점하기 위해 5G 통신을 활용한 융합서비스 개발 및 확산이 활발히 논의되고 있는 시점에서 기존 이동통신사에서 제공하는 public 5G 이외에 특화망 5G (private 5G)에 대한 수요가 제기되었다. 5G 특화망은 특별한 목적을 갖고 일부 영역에 한정하여 5G 망을 구축할 때 이동통신 3사의 공중망보다 안정적으로 서비스를 제공할 수 있어 스마트공장, 물류, 스마트 오피스 등과 같은 다양한 융합서비스를 제공할 수 있다[1].

5G 특화망 주파수는 기존 이동통신사업자의 28 GHz 대역 주파수와 인접한 28.9~29.5 GHz 대역(600 MHz 폭)에서 우선 공급하며 6 GHz 이하 대역은 지역적 공동사용 등을 통해 4.72~4.82 GHz 대역(100 MHz 폭)이 확정되었다. 특화망은 특정 구역 내에서 네트워크를 구성하는 LAN과 같은 기능을 담당하지만 기존 네트워크와는 다른 특징들을 갖고 있다[2].

한편 5G 통신시스템에는 대용량 데이터를 송수신하기 위해 이중 선형 편파를 활용하게 되어 있으며 이중편파를 갖는 안테나에 대한 많은 연구가 이미 진행되어 왔다[3-12]. 이중편파 안테나는 서로 직교하는 두 편파를 이용하여 하나의 안테나에서 서로 다른 두 개의 전송신호를 송수신할 수 있는 방법으로 단일편파 안테나에 비해 공간효율이 매우 뛰어나며 다. 그러나 이중편파 안테나에는 두 편파의 분리도(cross polarization isolation)가 확보되지 않는다면 이중 편파에 따른 채널 이득은 매우 감소하게 된다[12]. 따라서 높은 편파 분리도를 얻기 위해 많은 설계 기법들이 제시되고 있다[13]. 이러한 연구 중에 개구 결합 급전 구조를 적용한 연구들이 최근 제시되고 있으며 이러한 구조는 두 포트 간의 분리도가 향상된 결과를 제시하고 있다[14-15].

본 논문에서는 특화망 주파수 대역 중에 하나인 6 GHz 이하 주파수 대역인 4.7 GHz에 적용되는 이중 직선편파 특성을 배열안테나를 설계하고자 한다. 제안된 안테나는 격리도 향상을 위해서 개구결합급전 구조[14]를 제안하였으며 일반적인 안테나 특성인 반사손실(-10 dB 기준), 방사패턴, 최대이득 그리고 편파분리도를 얻기 위해 시뮬레이션을 진행하였다. 주어진

조건을 바탕으로 최적화된 시뮬레이션 결과를 바탕으로 비유전율 4.4의 FR-4 유전체 기판위에 설계된 적층 안테나를 제작하였다. 제작 후 측정을 통해 일반적인 안테나 특성인 반사손실, 방사패턴 그리고 이득뿐만 아니라 DLP 안테나의 특성을 나타내는 편파분리도에 대한 결과를 나타내었다. 2장에서는 제안된 안테나의 구조와 시뮬레이션 결과를 설명하고 그 결과를 바탕으로 3장에서는 제작 및 측정결과를 설명하였고 4장에서는 본 논문의 결과를 설명하였다.

II. 제안된 안테나 구조와 시뮬레이션

그림 1은 일반적인 개구결합급전 구조를 갖는 이중 선형편파 안테나의 구조를 나타내었다. 같은 크기의 두 개의 동일한 특성을 갖는 기판을 서로 적층하였으며 상층 윗면에 일정한 크기를 갖는 패치 안테나를 위치시키고 하층 아랫면에 라인형태의 급전선로를 설계하였다. 또한 상층과 하층 사이에 접지면에 존재하고 하층의 선로로부터 패치로의 급전을 위해 접지면에 사각 모양의 슬롯을 삽입하였다. 또한 이러한 구조는 단일평면에 두 개의 급전포트를 위치시키는 것보다 우수한 격리도를 확보할 수 있다. 상층의 마이크로 스트립 안테나로의 급전점을 포트 1 그리고 하층의 선로를 활용한 급전점을 포트 2로 설정하였다. 이러한 구조는 갖는 이중선형 편파 특성을 갖는 단일안테나에 대한 설계를 진행한 후 1×2 배열안테나를 순차적으로 설계하였다.

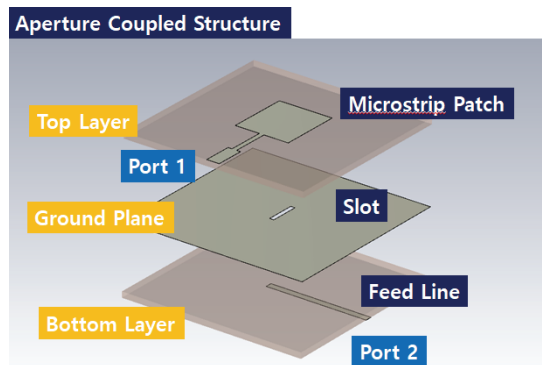


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1 Proposed antenna structure

그림 2는 제안된 안테나의 상세도를 나타내었다. 그림 2(a)는 패치와 슬롯 그리고 그림 2(b)는 급전선로의 위치와 모양을 나타내었다. 그림 2(c)는 제안된 안테나의 측면도를 나타내었다. 측면도에서 알수 있듯이 상층에 패치, 하층에 급전선로, 그리고 윗층과 아래층 사이에 접지면이 존재하고 있다. 전체 기관

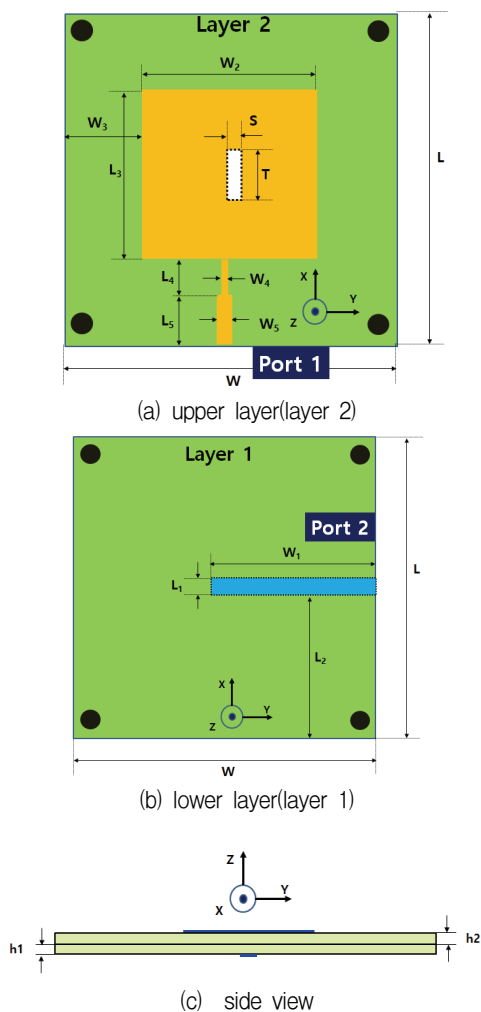


그림 2. 제안된 안테나의 구조 : (a) 상위층 (layer 2) (b) 하위층 (layer 1) 그리고 (c) 측면도
 Fig. 2 Configuration of the proposed antenna : (a) upper layer(layer 2) (b) lower layer(layer 1) and (c) side view

의 크기는 34.0 mm×34.0 mm ($W \times L$)이며 각 기관은 유전율이 4.4이고 두께가 1.0 mm인 FR-4를 사용

하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 윗면에 12.7 mm×14.6 mm ($W_2 \times L_3$)의 크기를 갖는 패치가 상층 윗면에 위치해 있으며 상층의 급전선로를 통해 포트 1에 의해 급전된다. 접지면에 위치한 슬롯은 1.0 mm×7.7 mm ($S \times T$)의 크기를 갖고 있으며 또한 패치로의 급전을 위한 선로는 하층의 아랫면에 존재하며 24.0 mm×1.6 mm ($W_1 \times L_1$)의 크기를 갖도록 설계하였다. 이러한 설계는 상용 툴인 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 사용하여 수행되었다. 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 반사손실 특성을 그림 3에 나타내었다. -10 dB 시뮬레이션 반사손실의 경우, 급전포트를 포트 1로 설정했을 때 105 MHz (4.72~4.825 GHz) 대역폭을 얻었으며 4.7725 GHz에서 -14.15 dB의 반사손실을 얻었다. 또한 급전포트를 포트 2로 설정했을 때 135 MHz (4.69~4.825 GHz)의 대역폭을 얻었으며 4.7575 GHz에서 -36.48 dB의 반사손실을 얻었다. 시뮬레이션 전달계수 S21은 특화망 주파수 대역에서 -40 dB 이하의 값을 얻었다. 즉, 4.72 GHz에서 -44.68 dB, 4.77 GHz에서 -46.11 dB, 그리고 4.82 GHz에서 -47.81 dB의 시뮬레이션 결과를 얻었다.

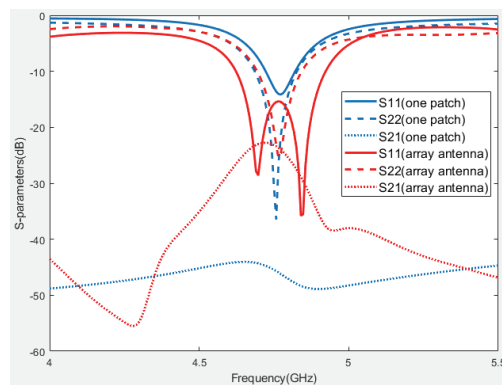


그림 3. 급전점이 포트 1과 포트 2일 때 제안된 안테나의 시뮬레이션 반사손실 (S11, S22), 전달계수 (S21)

Fig. 3 Simulation reflection loss (S11, S22), transmission coefficient (S21) according to the proposed antenna, at the feeding point port 1 and feeding point port 2.

시뮬레이션 결과로부터 얻어진 최적화된 수치를 표 1에 나타내었다.

표 1. 설계된 안테나의 파라미터
Table 1. Parameter of the designed antenna

Parameters	Value [mm]	Parameters	Value [mm]
L	43.0	W	43.0
L ₁	1.0	W ₁	24.0
L ₂	21.7	W ₂	18.73
L ₃	15.1	W ₃	11.0
L ₄	9.0	W ₄	1.0
L ₅	7.0	W ₅	3.0
h ₁	1.0	h ₂	1.0

III. 제작 및 측정결과

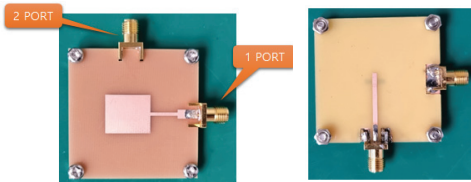
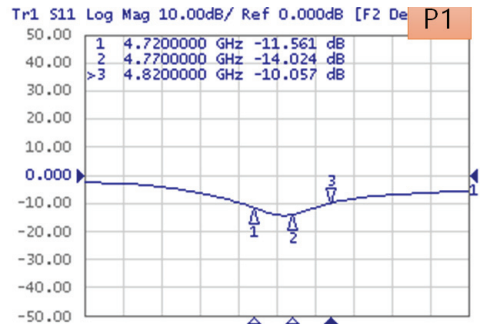


그림 4 제안된 안테나의 프로토타입 : (a) 평면도 그리고 (b) 측면도

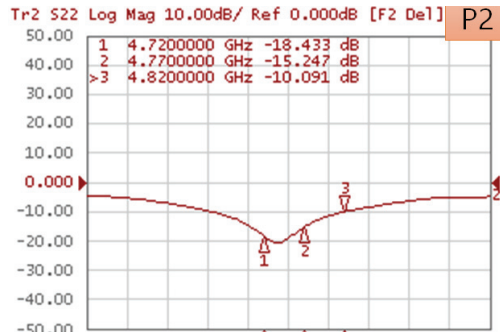
Fig. 4 Prototype of the proposed antenna : (a) front view and (b) side view

그림 4은 시뮬레이션 결과로부터 안테나 성능을 최적화시킨 각 파라미터 값을 적용하여 제작된 안테나를 나타내고 있다. 그림 4(a)은 제작된 안테나의 위면을 나타내고 있으며 패치와 포트 1의 형상을 보여주고 있다. 그림 4(b)은 제작된 안테나의 아랫면을 나타내고 있으며 접지면의 개구면과 급전선로의 형상을 보여주고 있다. 그림 5은 제작한 안테나의 반사손실 그리고 전달 계수 특성에 대한 측정결과를 나타내었다. 그림 5(a)은 S11에서의 측정된 반사손실 특성을 나타내었으며 그림 5(b)은 S22에서의 측정된 반사손실 특성을 나타내었다. 또한 그림 5(c)은 제안된 안테나의 측정된 전달계수를 나타내었다. 측정결과, -10 dB 반사손실을 기준으로 급전점을 포트 1로 설정했을 때 100.0 MHz (4.74~4.84 GHz) 대역폭을 얻었으며 4.77 GHz에서 -14.427 dB의 반사손실을 얻었다. 이러한 결과는 시뮬레이션과 측정결과가 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 또한 급전점을 포트 2로 설정했을 때 150.0 MHz

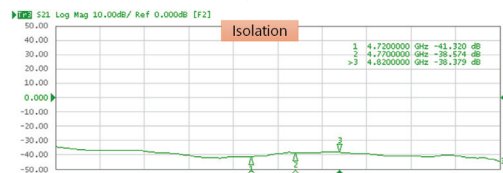
(4.67~4.82 GHz)의 대역폭을 얻었으며 4.77 GHz에서 -15.247 dB의 반사손실을 얻었다. 전달계수 S21은 측정주파수 대역에서 -40 dB 안팎의 값을 얻었다. 즉, 각 측정주파수(4.72 GHz, 4.77 GHz, 4.82 GHz)에서 각각 -41.320 dB, -38.574 dB, 그리고 -38.379 dB의 측정결과를 얻었다. 전달계수 S21은 격리도를 나타내는 지표로서 예상대로 급전포트 1과 2와의 분리를 통해 좋은 측정결과를 얻을 수 있었다.



(a) S11



(b) S22



(c) S21

그림 5. 제안된 안테나의 측정된 특성 : (a) 반사손실(S11), (b) 반사손실(S22), 그리고 (c) 전달계수(S21)

Fig. 5 The measured return loss results of the proposed antenna: (a) reflection coefficient(S11), (b) reflection coefficient(S11), and (c) transmission coefficient(S21)

그림 6은 제작된 안테나의 입력 포트 1에서 3D 방사패턴을 측정된 결과이다. 그림 6(a)는 4.72 GHz, 그림 6(b) 4.74 GHz, 그림 6(c)는 4.78 GHz, 그림 6(d)는 4.82 GHz 주파수에서 측정된 3D 방사패턴을 나타내었다. 측정된 3D 방사패턴은 전체적으로 전방향의 방사패턴 특성을 나타내었다. 최대이득은 측정 주파수에서 각각 3.14 dBi, 3.51 dBi, 4.38 dBi, 그리고 5.12 dBi을 얻었다. 그림 7은 제작된 안테나의 입력 포트 2에서 3D 방사패턴을 측정된 결과이다. 그림 7(a)는 4.72 GHz, 그림 7(b) 4.74 GHz, 그림 7(c)는 4.78 GHz, 그림 7(d)는 4.82 GHz 주파수에서 측정된 3D 방사패턴을 나타내었다. 측정된 3D 방사패턴은 전체적으로 전방향의 방사패턴 특성을 나타내었다. 최대이득은 측정 주파수에서 각각 3.19 dBi, 3.08 dBi, 2.53 dBi, 그리고 2.31 dBi을 얻었다.

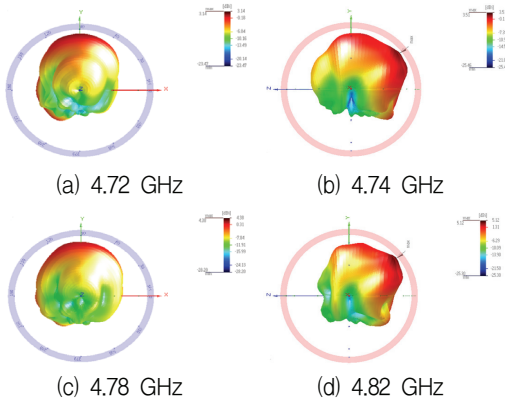


그림 6. 급전점이 포트 1일 때 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 6 Measured 3-D radiation pattern when feeding point is port 1

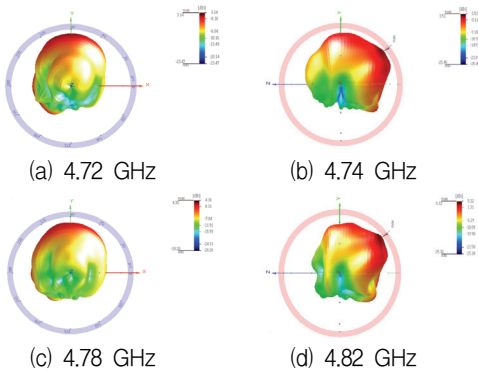


그림 7. 급전점이 포트 2일 때 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 7 Measured 3-D radiation pattern when feeding point is port 2

그림 8은 1×2 배열안테나의 제작결과를 나타내고 있다. 그림 4의 결과를 바탕으로 확장된 형상이며 임피던스 매칭을 위해 선로 중심에 스텐브를 삽입하였다. 그림 8(a)은 제작된 안테나의 위면을 나타내고 있으며 패치와 포트 1의 형상을 보여주고 있다. 그림 8(b)은 제작된 안테나의 아랫면을 나타내고 있으면 접지면의 개구면과 급전선로의 형상을 보여주고 있다.

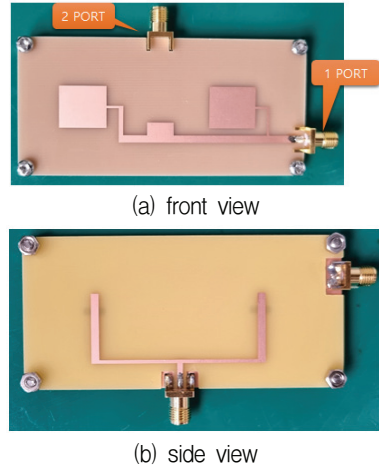


그림 8 제안된 안테나의 프로토타입 : (a) 평면도 그리고 (b) 측면도
Fig. 8 Prototype of the proposed antenna : (a) front view and (b) side view

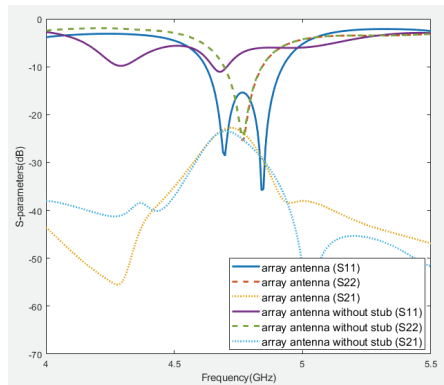


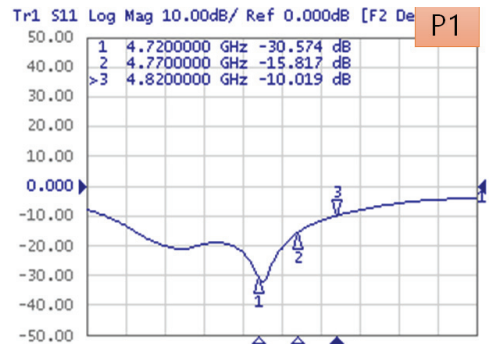
그림 9. 배열안테나에서 스텐브가 존재할 경우와 존재하지 않을 경우 시뮬레이션 반사손실 (S11, S22), 전달계수 (S21)
Fig. 9 Simulation reflection loss (S11, S22), transmission coefficient (S21) according to the proposed array antenna with stub and without stub.

그림 9은 스텐브의 존재유무에 따른 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 스텐브가 존재하지 않을 경우 S11의 반사손실 계수가 열화되고 있음을 확인하였으며 스텐브가 존재하는 경우 상대적으로 양호한 반사손실(S11) 특성을 얻었다.

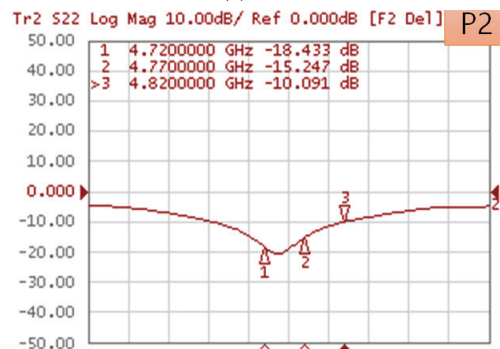
그림 10은 제작한 안테나의 반사손실 그리고 전달 계수 특성에 대한 측정결과를 나타내었다. 그림 10(a)은 S11에서의 측정된 반사손실 특성을 나타내었으며 그림 10(b)은 S22에서의 측정된 반사손실 특성을 나타내었다. 또한 그림 10(c)은 제안된 안테나의 측정된 전달계수를 나타내었다. 측정결과, -10 dB 반사손실을 기준으로 급전점을 포트 1로 설정했을 때 300.0 MHz (4.52~4.82 GHz) 대역폭을 얻었으며 4.77 GHz에서 -15.817 dB의 반사손실을 얻었다. 이러한 결과는 시뮬레이션과 측정결과가 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 또한 급전점을 포트 2로 설정했을 때 170.0 MHz (4.65~4.82 GHz)의 대역폭을 얻었으며 4.77 GHz에서 -15.247 dB의 반사손실을 얻었다. 전달계수 S21은 측정주파수 대역에서 -20 dB 이하의 값을 얻었다. 즉, 각 측정주파수(4.72 GHz, 4.77 GHz, 4.82 GHz)에서 각각 -31.594 dB, -33.179 dB, 그리고 -31.347 dB의 측정결과를 얻었다. 단일 안테나의 경우와 마찬가지로 급전포트 1과 2와의 분리를 통해 좋은 측정결과를 얻을 수 있었다.

그림 11은 제작된 안테나의 입력 포트 1에서 3D 방사패턴을 측정된 결과이다. 그림 11(a)는 4.72 GHz, 그림 11(b) 4.74 GHz, 그림 11(c)는 4.80 GHz, 그림 11(d)는 4.82 GHz 주파수에서 측정된 3D 방사패턴을 나타내었다. 최대이득은 측정 주파수에서 각각 6.40 dBi, 6.59 dBi, 6.31 dBi, 그리고 5.65 dBi을 얻었다.

그림 12은 제작된 안테나의 입력 포트 2에서 3D 방사패턴을 측정된 결과이다. 그림 12(a)는 4.72 GHz, 그림 12(b) 4.74 GHz, 그림 12(c)는 4.80 GHz, 그림 12(d)는 4.82 GHz 주파수에서 측정된 3D 방사패턴을 나타내었다. 최대이득은 측정 주파수에서 각각 3.64 dBi, 4.99 dBi, 4.99 dBi, 그리고 4.84 dBi을 얻었다.



(a) S11



(b) S22

(c) S21

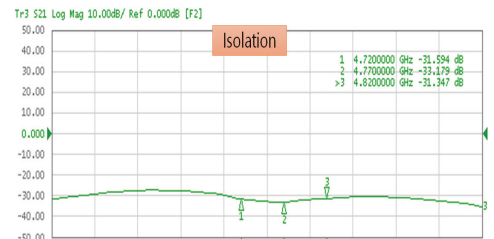


그림 10. 제안된 안테나의 측정된 특성 : (a) 반사손실(S11), (b) 반사손실(S22), 그리고 (c) 전달계수(S21)

Fig. 10 The measured return loss results of the proposed antenna: (a) reflection coefficient(S11), (b) reflection coefficient(S11), and (c) transmission coefficient(S21)

제안된 안테나의 중요한 특성 중에 하나인 편파분리도는 Co-pol.과 Cross-pol.의 차이를 나타내고 있다. 배열 안테나의 경우 포트 1 급전 시, 측정된 안테나의 Co-pol.의 최대값은 5.33~6.57 dBi의 결과를 얻었으며 Cross-pol.의 최대값은 -4.04~-2.91 dBi의 결과

를 얻어 8.24~10.14 dBi의 편파분리도를 얻었다. 또한 포트 2 급전 시, 측정된 안테나의 Co-pol.의 최대값은 3.09~5.08 dBi의 결과를 얻었으며 Cross-pol.의 최대값은 -4.38~-3.67 dBi의 결과를 얻어 8.24~10.14 dBi의 편파분리도를 얻었다.

IV. 결론

본 논문에서는 최근 이슈가 되고 있는 5G 특화망 대역에서 동작하는 개구 결합급전 구조를 갖는 이중 선형 편파 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 두 개의 기판을 일반적인 적층형태로 배치하였으며 두 포트간의 이격도를 향상시키기 위해 상층 윗면에 패치와 급전선로(port 1)를 그리고 하층 아랫면에 급전선로(port 2)를 설계하였으며 두 층사이에 슬롯을 사용하여 급전되도록 비교적 단순하도록 설계하였다. 상용틀인 HFSS를 사용하였으며 시뮬레이션 결과부터 안테나를 제작하였다. 배열 안테나의 측정결과, -10 dB 반사손실을 기준으로 급전점을 포트 1로 설정했을 때 300.0 MHz (4.52~4.82 GHz) 대역폭을 얻었으며 4.77 GHz에서 -15.817 dB의 반사손실을 얻었다. 이러한 결과는 시뮬레이션과 측정결과가 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 또한 급전점을 포트 2로 설정했을 때 170.0 MHz (4.65~4.82 GHz)의 대역폭을 얻었으며 4.77 GHz에서 -15.247 dB의 반사손실을 얻었다. 전달계수 S21은 측정주파수 대역에서 -20 dB 이하의 값을 얻었다. 즉, 각 측정주파수(4.72 GHz, 4.77 GHz, 4.82 GHz)에서 각각 -31.594 dB, -33.179 dB, 그리고 -31.347 dB의 측정결과를 얻었다. 편파분리도는 배열 안테나의 경우 포트 1 급전 시, 측정된 안테나의 Co-pol.의 최대값은 5.33~6.57 dBi의 결과를 얻었으며 Cross-pol.의 최대값은 -4.04~-2.91 dBi의 결과를 얻어 8.24~10.14 dB의 편파분리도를 얻었다. 또한 포트 2 급전 시, 측정된 안테나의 Co-pol.의 최대값은 3.09~5.08 dBi의 결과를 얻었으며 Cross-pol.의 최대값은 -4.38~-3.67 dBi의 결과를 얻어 8.24~10.14 dB의 편파분리도를 얻었다. 제안된 안테나는 다른 이중 선형 편파 안테나 구조 중에서도 이격도가 양호한 구조임을 확인하였으며 향후 편파분리도 향상을 위해 방사패턴의 특성을 갖는 2x2 배열 안테나를 구현 등 다양한 구조에 대한 검토가필요할 것으로 판단된다.

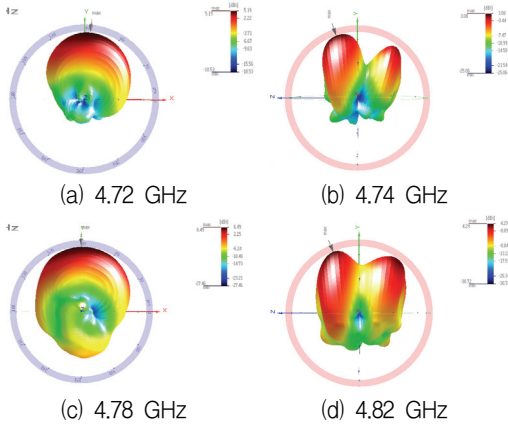


그림 11. 급전점이 포트 1일 때 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 11 Measured 3-D radiation pattern when feeding point is port 1

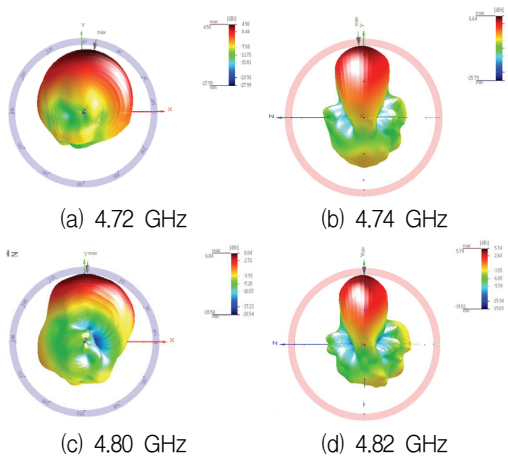


그림 12. 급전점이 포트 2일 때 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 12 Measured 3-D radiation pattern when feeding point is port 2

감사의 글

본문은 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술 관리평가원(KEIT)의 지원을 받아 수행된 연구결과 중 일부임. (소재부품기술개발사업-초고주파·저잡음·저손실 LTCC 필터, 액티브 안테나 및 이를 적용한 5G 특화망용 중계 모듈 개발, 과제번호 : 20022409).

Reference

[1] B. Park, "Industrial utilization and spectrum uses of 5G," *5G Forum Issue Report*, vol. 16, Mar. 2023, pp. 21-30.

[2] Korea Communications Agency, "5G private network guideline," *Technical report*, Oct. 2021.

[3] 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, June 2021, pp. 395-400.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] H. Nawaz and A. Niazi, "Characterization of dual polarized monostatic patch antennas for full duplex applications," *Engineering Repors*, vol. 2, no. 6, June 2020, pp. 1-15.

[8] J. Yoon, "Design and fabrication of DLP Array Antenna for 3.5 GHz Band," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 6, June 2021, pp. 1037-1044.

[9] V. Nguyen, P. Dzagbletey, and J. Chung, "Design of slotted patch antenna with dual linear polarization," In *Proc. KIEES Summer*

Conf., Jeju, Korea, Aug. 2021, pp. 360.

[10] J. Yoon, "Design and fabrication of Dual Linear Polarization Antenna for 28 GHz Band," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 1, Jan. 2022, pp. 13-22.

[11] J. Yoon and C. Yu, "Design and fabrication of dual linear polarization stack antenna for 4.7 GHz frequency band," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 2, Apr. 2023, pp. 251-258.

[12] J. Jung, G. Seo, and J. Ru, "A study on 8×4 dual-polarized array LTCC -based ME dipole antenna structure," *J. Microelectron. Packag. Soc.*, vol. 28, no. 3, Mar. 2021, pp. 25-32.

[13] M. Mirmozafari, G. Zhang, C. Fulton, and R. Doviak, "Dual-polarization antennas with high isolation and polarization purity," *IEEE Antennas and Propagation Mag.*, vol. 61, no. 1, Feb. 2019, pp. 50-63.

[14] O. Kim, G. Kim, and S. Rhee, "Wideband slot-coupled microstrip antenna with the reflector," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 6, Dec 2019, pp. 1045-1052.

[15] J. Jung, G. Jung, and J. Ru, "Wideband dual polarization patch antenna for 5G based on Modified polyimide," In *Proc. KIEES Summer Conf.*, Goseong, Gangwon-do, Korea, Aug. 2023, pp. 438.

저자 소개

윤중한(Joong-Han Yoon)



1992년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1994년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2003년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 2005년 8월 인하대학교 Post-Doc.
 2006년 11월 요코하마 국립대학 Post-Doc.
 2008년 8월 삼성전기 책임연구원
 2008년 9월~현재 신라대학교 전기전자공학과 교수
 ※ 관심분야 : 전파전파 및 안테나