

# 밀리미터파 대역 5G 특화망 서비스를 위한 고부엽 특성의 4×4 위상배열안테나 설계

## Design of a 4×4 Phased Array Antenna with High Sidelobe Characteristic for Millimeter-Wave Band 5G Dedicated Network Services

오 명 준\*, 문 정 익\*\*, 이 정 남\*\*, 정 영 배\*\*\*

Myeong-Jun Oh\*, Jung-Ick Moon\*\*, Jung-Nam Lee\*\*, Young-Bae Jung\*\*\*

### Abstract

This paper proposes a high-gain phased array antenna that can provide private network communication services for large office spaces, factories, and other large-scale facilities, specifically designed for millimeter-wave band 5G (5th generation) networks. The proposed antenna features a 4×4 array structure with eight sub-arrays, each consisting of a 1×2 series array. To achieve high side-lobe characteristics, an offset array structure is applied by shifting even-numbered rows by one unit, combined with power tapering to adjust the size of individual radiating elements. This design achieves a high side-lobe level (SLL) of 22.3 dB and a high gain of 18.1 dBi. Additionally, the antenna provides gain characteristics of at least 15.2 dBi and 17.4 dBi within the intended beam steering range of  $\pm 45^\circ$  in the azimuth direction and  $\pm 10^\circ$  in the elevation direction, ensuring smooth communication services over a wide service area.

### 요 약

본 논문에서는 밀리미터파 대역 5G(5th generation) 특화망을 위하여 대규모 사무공간이나 공장 등에 사설망 통신서비스를 제공할 수 있는 고이득 위상배열 안테나를 제안한다. 본 안테나는 1×2의 직렬 배열을 부배열로 8개 단자로 구성된 4×4 배열 구조를 가졌으며, 높은 부엽특성을 구현하기 위하여 개별 방사부의 크기를 조정하는 전력 테이퍼링(Tapering)과 함께 짝수 행의 배열을 1  $\lambda_g$ 만큼 이격하는 오프셋(offset) 배열구조를 적용하여 22.3 dB의 높은 부엽레벨(SLL: Side-lobe level)과 18.1 dBi의 고이득 특성을 구현하였다. 또한, 목적하는 빔 조향범위인 수평(Azimuth) 방향  $\pm 45^\circ$ , 수직(Elevation) 방향  $\pm 10^\circ$ 에서 최소 15.2 dBi와 17.4 dBi의 이득특성을 구현하여, 넓은 서비스 영역 내에서 원활한 통신서비스가 제공되도록 하였다.

*Key words* : Antenna, Phased array, Privacy network, Millimeter wave, FR2

\* Electronics Engineering, Hanbat National University, Deajeon 34158, South Korea

\*\* Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Daejeon 34129, South Korea

★ Corresponding author : E-mail : ybjung@hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1136

※ Acknowledgment : This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2023-00216221, Development of service coverage extension technologies for 5G-Advanced mobile communications based on reconfigurable intelligent surface). This results was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (MOE) (2021RIS-004).

Manuscript received Aug. 20, 2024; revised Aug. 23, 2024; accepted Aug. 23, 2024.

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.

### I. 서론

4차 산업혁명으로 대두된 AR(Augmented Reality)/VR(Virtual Reality)과 함께, 일반 가전과 공장자동화에 보편적으로 적용되는 IoT(internet of things)을 포함한 광범위한 데이터 수요가 빅데이터 시대를 불러왔다. 이러한 기술적 수요에 대응하기 위하여 국내에서는 2019년 4월 세계 최초의 5G이동통신이 상용화되었으며, 기존에 유례가 없던 밀리미터파 대역 통신서비스의 개막을 알렸다[1].

5G 표준에 정의된 주파수대역은 FR(Frequency Ranges)1과 FR2 두 가지이며, FR1은 410MHz~7.125 GHz 사이의 주파수를, FR2는 24.25~52.6 GHz 사이의 주파수를 포함한다[2].

국내에서는 3개 이동통신 사업자에 FR1 서비스로 3.5 GHz 대역이 할당되었으며, 초미의 관심사가 되었던 FR2 서비스를 위하여 28 GHz가 배정되었다. 그러나, FR2 대역은 사업성 부족 등의 문제로 2023년 5월 모든 사업자가 주파수를 반납하면서 일반 소비자를 대상으로 하는 통신서비스는 사실상 종료된 상황에 있다. 이에 따라 정부는 기존에 개발된 FR2 통신 기술을 바탕으로 스마트팩토리, 원격교육, 사내 독립무선망 등 B2B(business-to-business)를 포함한 특정 서비스를 목표로 하는 '이음 5G'라는 특화망 서비스 구축에 나섰다.

특화망은 다양한 분야에서 수요가 증가하고 있다. KT MOS는 삼성서울병원에 삼성전자의 5G 장비로 특화망을 구축하였으며, 이를 통하여 실시간 원격수술과 다양한 교육 서비스를 계획하고 있다[3]. 또한, (주)뉴젠스는 놀이공원인 롯데월드에 특화망을 구축함으로써 초고속 5G망을 기반으로 모션센서, 카메라, 모션 시뮬레이터 등을 이용하여 가상현실 놀이기구 체험 서비스를 제공하고 있다[4].

해외에서는 대표적으로, 테슬라(Tesla)가 베를린의 대규모 자동차 제조라인(Giga Berlin)에 사설(Private) 5G 망을 구축함으로써 자동차 제조과정을 혁신적으로 자동화하여 비용과 제조 시간을 절약하고 있다[5].

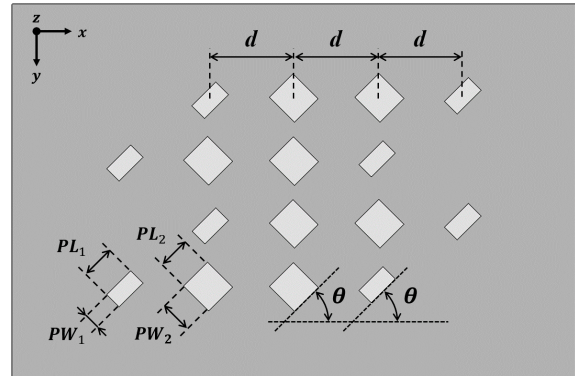
상술한 5G 특화망을 효과적으로 구현하기 위해서는 고주파 대역에서 발생하는 공간 손실을 보상하기 위한 고이득 안테나와 다양한 기기와의 통신 채널 구현을 위한 고속의 빔 조향 성능이 요구된다.

본 논문에서는 실내외 넓은 공간에서 밀리미터파 대역 5G 특화망을 구현하기 위하여, 광각의 빔 조향 제어가 가능한 고이득 위상배열안테나를 제안한다. 본 안테나는

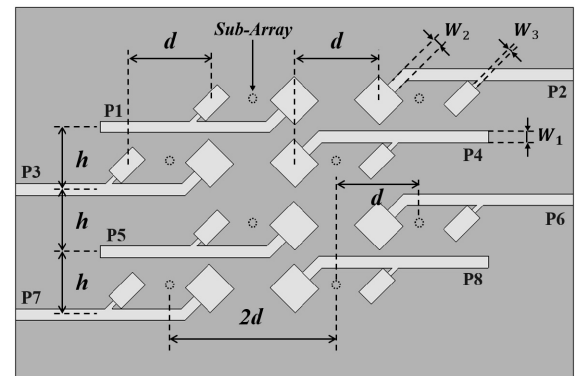
목적하는 성능을 구현하기 위하여 1×2 직렬 부배열을 이용하여 4×4 배열 구조로 설계되었으며, 22.3 dB의 고부엽 특성과 함께 18.1을 이득 특성을 갖는다.

### II. 45° 선형편파 배열안테나

#### 1. 안테나 배열설계 및 분석



(a) 상층 방사부



(b) 상층기판을 제거한 전체 배열

Fig. 1. Proposed Proximity Coupled Structural Array Antenna.

그림 1. 제안하는 근접전계 급전방식의 배열안테나

그림 1과 표 1은 제안한 FR2 대역 고이득 빔 조향 위상배열 안테나의 구조 및 설계 파라미터값이다. 다양한 환경 각도에서 발생하는 도래되는 선형편파를 수신하기 위하여 45° 선형편파를 적용하였다. 안테나는 0.508 mm 두께의 Taconic社의 TLY-5( $\epsilon=2.2, \tan\delta=0.009$ ) 기판을 사용하였으며, 광대역과 고이득 특성을 위하여 하층 기판의 급전선을 통해 상층의 방사부에 전자기 전력을 인가하는 근접전계 급전방식(Proximity coupling)을 적용하였다.

본 안테나는 1×2 직렬 부배열이 수평방향으로 2개, 수직방향으로 4개 배치되어 있으며, 각각의 부배열에 입력되는 신호의 위상을 제어함으로써 빔 조향이 가능하다. 이때 급전부는 수평방향의 종단에 구성되어 있으며,

이에 따른 입력신호에 위상오차(180°)를 보상하기 위하여 좌, 우 부배열을 수직방향으로 대칭이 되도록 설계하였다.

Table 1. Design parameters of proposed antenna.

표 1. 제안하는 안테나의 설계 변수

Parameters	Value	Parameters	Value
$PL_1$	2.9 mm	$W_1$	1 mm
$PW_1$	1.5 mm	$W_2$	0.9 mm
$PL_2$	2.86 mm	$W_3$	0.4 mm
$PW_2$	3 mm	$d$	7.22 mm
$\theta$	45°	$h$	5.35 mm

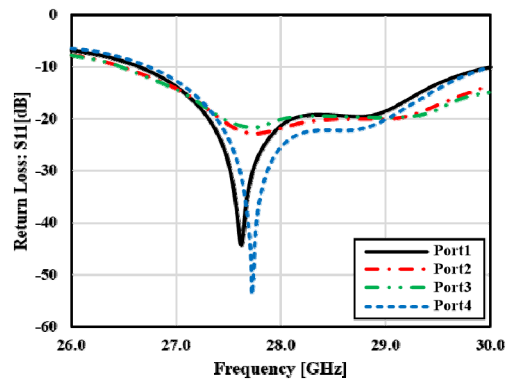
소자 안테나의 방사부는 각각  $2.9 \times 1.5 \text{ mm}^2$ ,  $2.86 \times 3 \text{ mm}^2$  크기로 설계되어 바깥쪽에 위치한 방사소자의 폭을 축소함으로써 개별 방사소자로 방사되는 신호전력을 조정하는 전력 테이퍼링(Tapering) 효과를 통하여 높은 부엽특성을 구현하였다.

방사소자 간의 간격은  $1\lambda_g(d)$ 로 수평으로 놓인 두 개의  $1 \times 2$  직렬 부배열 간의 거리가  $2\lambda_g(2d)$ 가 됨으로써 그레이팅 로브(grating lobe)의 발생으로 인한 부엽성능 열화와 이에 따른 높은 이득 저하가 예상된다. 이를 해결하기 위하여, 그림 1의 (b)와 같이 짝수 행의 배열을 거리  $d$ 만큼의 좌측으로 이격하는 오프셋 배열구조를 적용하였으며, 이를 통하여, 수평방향에서 바라볼 때 부배열의 간격이  $1\lambda_g$ 가 되도록 함으로써 전체 배열안테나의 부엽 성능을 개선하고 빔 조향 제어를 통한 넓은 빔 커버리지를 구현하였다.

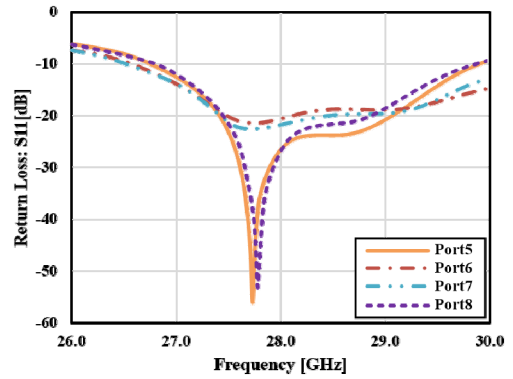
본 배열은 상단 1열의 좌측과 우측에 1번과 2번 단자 (Port)가 구비되어 있으며, 가장 하단에 배치된 4열의 좌측과 우측에 7번과 8번 단자가 배치되어, 총 8개의 단자로 구성되었으며, 모든 안테나의 설계 및 성능분석은 Dassault 사의 상용 전자기 시뮬레이션 CST Studio Microwave Studio를 사용하였다.

그림 2는 배열안테나를 구성하는 8개 단자에 대한 대 한 반사손실 시뮬레이션 결과를 도식하고 있다. -10dB 기준 반사손실 대역폭은 26.73~29.94 GHz(BW=3.21 GHz)로 5G 특화망에서 제공하는 전체 주파수대역(28.5~29.5 GHz)에서 동작이 가능하다.

그림 3은 제안한 배열안테나의 원역장(Far-field) 방사패턴에 대한 시뮬레이션 결과를 도식하고 있으며, 주요한 성능지표를 표 2에 정리하였다. 배열안테나는 18.1

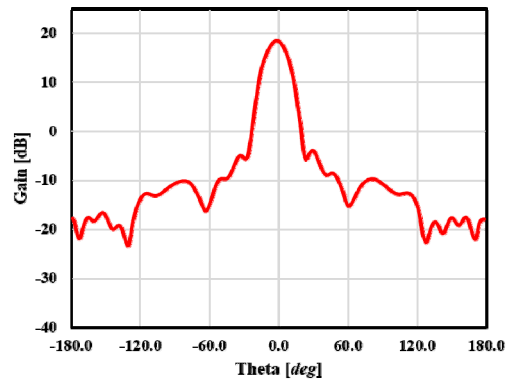


(a) 단자 1~4의 반사손실

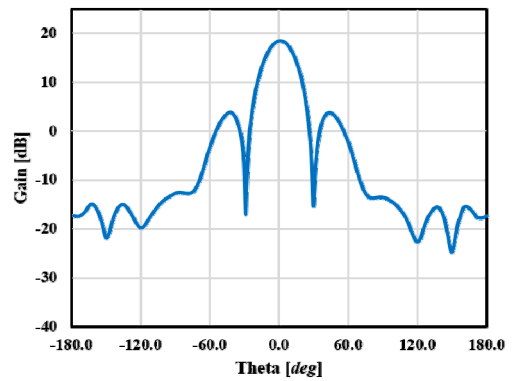


(b) 단자 5~8의 반사손실

Fig. 2. Return loss simulation results of sub-arrays. 그림 2. 부배열 안테나의 반사손실 시뮬레이션 결과



(a) 수평패턴



(b) 수직패턴

Fig. 3. Radiation pattern of the proposed array antenna. 그림 3. 제안된 배열 안테나의 방사패턴 특성

dbi의 고이득 특성을 나타내고 있으며, 소자 안테나의 전력 테이퍼링 기법을 적용한 수평방향(xz-평면)의 부엽레벨은 균일한 전력분포를 적용한 수직방향(yz-평면)에 비하여 7.5 dB 개선된 -22.3 dB로 나타났다.

Table 2. Simulation results of the proposed array antenna.

표 2. 제안된 배열 안테나의 시뮬레이션 결과

조향각(0°, 0°)	수평패턴	수직패턴
안테나 이득	18.1 dBi	18 dBi
빔 폭(3dB)	19.1°	24.8°
부엽레벨	-22.3 dB	-14.8 dB

2. 안테나 빔 조향제어 특성분석

상술한 바와 같이, 본 안테나는 수평방향으로 ±45°, 수직방향으로 ±10°의 빔 조향 범위가 요구되며, 8개의 부배열의 입력되는 전자기 신호의 위상제어를 통하여 목적하는 방향으로 빔을 지향(pointing)한다.

$$AF = \sum_{n=1}^N A_n e^{j\beta_n} = 1 + e^{j(kd \cos\theta + \beta)} + \dots + e^{j(N-1)(kd \cos\theta + \beta)} \quad (1)$$

$$= \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos\theta + \beta)} = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\psi} \quad (2)$$

$$\psi = kd \cos\theta + \beta$$

식 (1), (2)는 다수의 소자 안테나를 선형으로 배열한 선형 위상배열 안테나의 방사 특성을 나타내는 배열인자(Array factor)에 대한 수식이다[6]. 수식에 따라,  $\psi = 0$  일 때 배열안테나는 최대값을 가지며, 이를 통해 원하는 빔의 조향각  $\theta$ 에 대한 배열안테나의 소자 간격  $d$ 와 소자 안테나 간의 위상차  $\beta$ 를 추출할 수 있다.

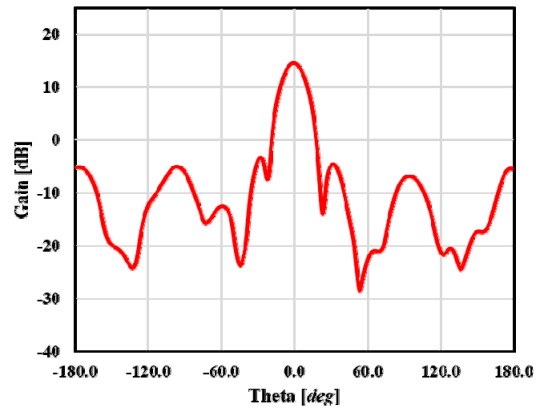
우선, 식 (2)를 통하여 수평방향 빔 제어를 위한 부배열 간 위상차  $\beta_x$ 를 구할 수 있다. 이를 통하여 [표 3]과 같이 짝수 행과 홀수 행의 부배열에는 각각 동일한 위상차가 적용되었으며, 좌측과 우측 부배열 간에  $2\beta_x + 180^\circ$  위상 차이를 설정했다.

Table 3. Phase control of individual ports for horizontal beam steering.

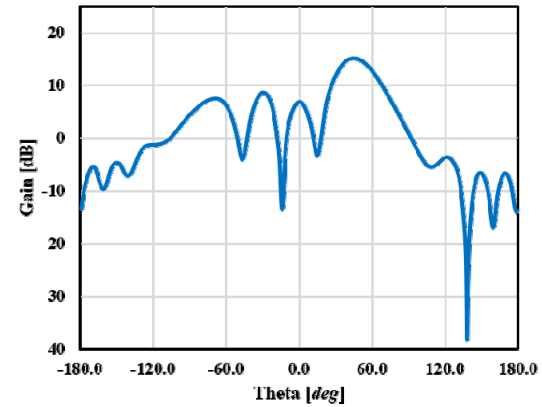
표 3. 수평방향 빔 조향을 위한 단자 별 위상 제어

단자	위상	단자	위상
1	$\beta_x$	2	$3\beta_x + 180^\circ$
3	$0^\circ$	4	$2\beta_x + 180^\circ$
5	$\beta_x$	6	$3\beta_x + 180^\circ$
7	$0^\circ$	8	$2\beta_x + 180^\circ$

그림 4와 표 4는 수평방향 최대 지향각 45°에 대한 방사패턴 시뮬레이션 결과와 주요 성능지표를 나타낸다. 본 결과를 통하여 확인된 주 빔은 46.25°를 지향하고 있어 1.25°의 오차를 나타낸다. 본 오차는 배열안테나의 수평방향 빔폭 19.1°를 고려 시 무시할 수준이며, 이때의 안테나 이득은 15.2 dBi로 빔이 조향되지 않은 수평방향 지향각 0°에서의 최대 이득 대비 2.9 dB 저하되었으며, 부엽레벨은 18.0 dB로 빔 조향 전에 비교하여 4.3 dB 열화되었음을 확인할 수 있다. 이는 제안된 배열안테나의 요구성능인 빔 조향 범위 내에서의 최대 이득변화량 3 dB와 최소 부엽레벨 15 dB 이상을 만족한다.



(a) 수평패턴



(b) 수직패턴

Fig. 4. Radiation pattern for beam tilt angle of 45° in azimuth.

그림 4. 수평방향 45° 빔 조향 시 방사패턴 특성

Table 4. Antenna main performance for beam tilt angle of 45° in azimuth.

표 4. 수평방향 45° 빔 조향 시 안테나 주요 성능

조향각(45°, 0°)	수평패턴	수직패턴
안테나 이득	15.2 dBi	15.2 dBi
빔 폭(3dB)	18.0°	32.3°
부엽레벨	-18.0 dB	-6.4 dB

수평방향 빔 조향 방식과 동일하게, 식 (2)를 통하여 안테나의 수직방향 빔 제어를 위한 부배열 간 위상차  $\beta_y$  를 구할 수 있으며, 이를 통하여 표 5과 같이 부배열 각 행의 위상차를  $\beta_y$ 로 적용하였으며, 좌측과 우측 부배열 간에 180° 위상 차이를 설정했다.

Table 5. Phase control of individual ports for vertical beam steering.

표 5. 수직방향 빔 조향을 위한 단자별 위상 제어

단자	위상	단자	위상
1	0°	2	180°
3	$\beta_y$	4	$\beta_y + 180^\circ$
5	$2\beta_y$	6	$2\beta_y + 180^\circ$
7	$3\beta_y$	8	$3\beta_y + 180^\circ$

그림 5와 표 6은 수직방향 최대 지향각 10°에서의 방사패턴 특성과 주요 성능지표를 나타낸다. 본 결과를 통하여 확인된 주 빔은 12°를 조향하고 있다. 이때의 안테나 이득은 빔 조향 전 수직방향 빔 지향각 0° 대비 -0.7 dB 낮아진 17.4 dBi이며, 부엽레벨은 -11.9 dB로 빔 조향 전과 비교하면 2.9 dB 열화되었음을 확인할 수 있다.

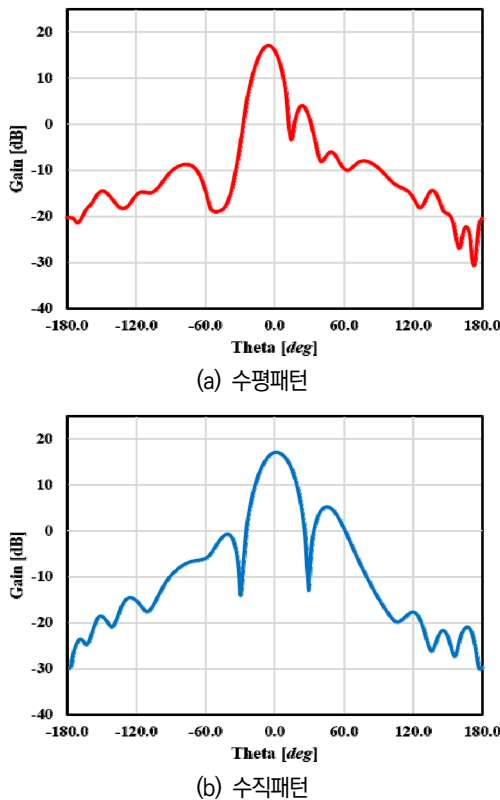


Fig. 5. Radiation pattern for beam tilt angle of 10° in elevation.

그림 5. 수직방향 10° 빔 조향 시 방사 패턴 시뮬레이션 결과

Table 6. Antenna main performance for beam tilt angle of 10° in elevation.

표 6. 수직방향 10° 빔 조향 시 안테나 주요 성능

빔 조향각(0°, 10°)	t수평패턴	수직패턴
안테나 이득	17.4 dBi	17.4 dBi
빔 폭(3dB)	18.4°	25.1°
부엽레벨	-13.1 dB	-11.9 dB

## 2. 측정 결과

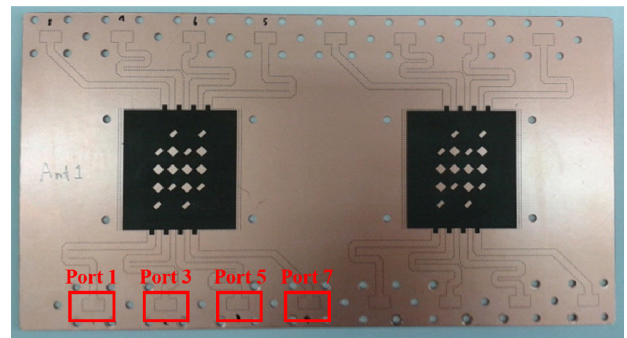


Fig. 6. Photo of the fabricated array antenna.

그림 6. 제작한 배열 안테나의 사진

그림 6은 제작된 배열 안테나의 시제품을 보여주고 있다. 부배열의 급전을 위한 개별 단자는 고주파 대역에서의 저손실 특성을 구현하기 위하여, WR-28 규격의 도파관 구조로 제작하였다.

안테나는 대각 대칭 구조로 대각에 위치한 단자가 서로 동일한 성능을 보이므로, 그림 6과 같이 총 4개의 단자에 대하여 반사 손실 및 방사 패턴을 특성을 측정하였다.

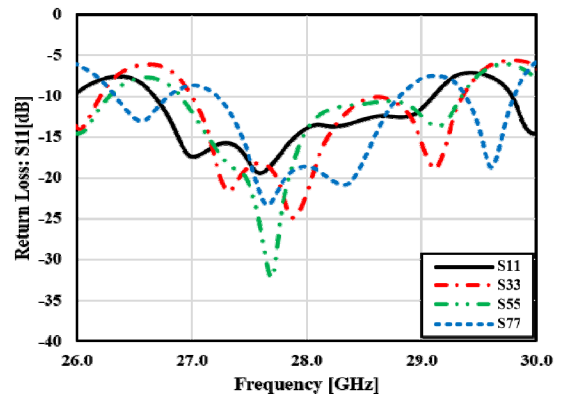
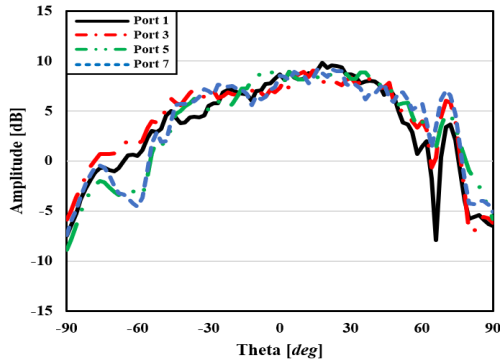


Fig. 7. Measured return loss of the fabricated sub-array antennas.

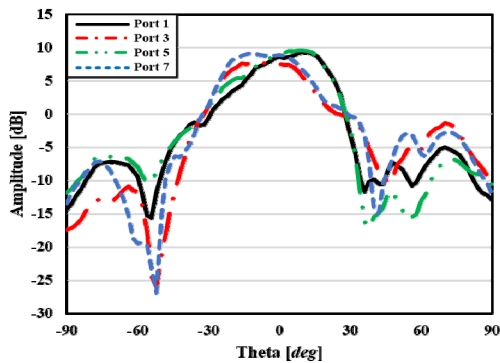
그림 7. 제작된 부배열 안테나의 반사손실 측정결과

그림 7은 제작된 안테나의 측정대상 4개 단자에 대한 반사 손실 측정 결과이다. 본 결과로부터 측정된 단자 간의

반사손실 특성이 상이함을 알 수 있으며, 7번( $S_{77}$ )의 경우 -10 dB 기준 반사 손실 대역은 27.3~28.6 GHz(BW=1.3 GHz)로 시물레이션 대비 1.91 GHz 정도의 대역폭 감소가 나타났다. 이는 안테나의 성능측정을 위하여 부배열과 단자 상이에 추가된 급전선 구조의 상이함에 기인하며, 5G 특화망을 위하여 되는 전체 주파수대역을 만족한다.



(a) 수평패턴



(b) 수직패턴

Fig. 8. Measured return loss of the fabricated sub-array antennas.

그림 8. 제작된 부배열 안테나의 방사패턴 측정결과

그림 8은 제작된 안테나의 부배열 방사 패턴 측정 결과이다. 그림 8의 (a)는 수직방향의 방사패턴으로 1번 단자로 측정된 부배열 이득은 9.25 dBi이며, 3번 단자의 경우, 7.74 dBi이고 5번과 7번 단자는 9.54 dBi와 9.15 dB의 이득특성을 보여주고 있다. 3번 단자의 이득저하의 경우, 전체 배열에서 개별단자의 물리적 위치에 따라 0°에서 최대 이득특성이 나타나지 않는 주 빔의 오프셋(offset)과 주변 부배열과의 전자기적 커플링(coupling) 효과 등에 의한 것으로 판단된다.

그림 8의 (b)는 수평방향의 방사 패턴으로 1번 단자에서 9.83 dBi, 3번 단자는 9.00 dBi의 이득특성을 보여주고 있으며, 5번과 7번 단자는 9.18 dB와 9.24 dB의 이득특성을 확인할 수 있다.

그림 8은 각각 수평패턴은 수직패턴 Theta가 0°일 때, 수직패턴은 수평패턴 Theta가 0°일 때의 단면으로 이때 자르는 단면의 각도를 절단 각(cut angle)이라고 한다. 상대적으로 빔 폭이 좁은 수직패턴은 절단 각에 따라 이득 차이가 크게 발생하기 때문에 수평패턴의 이득을 확인하는 것이 타당하다고 판단되었을 때, 수평패턴의 단자별 이득은 9.00~9.83 dBi로 확인된다. 요구되는 이득 7 dBi 이상의 성능을 만족한다. 안테나의 배열은 2배로 증가할 때마다 이득이 3 dB 증가하기에 목적하는 4×2 배열에 대한 이득은 안테나는 배열이 총 8배가 증가하여 배열이득은 9 dB 증가하기에 따라서 4×2 부배열 전체 이득은 18 dBi의 이상으로 예상되므로 설계결과에 부합하다고 판단된다.

### III. 결론

본 논문에서는 밀리미터파 대역 5G 특화망을 위하여 넓은 공간에서 통신서비스를 제공하기 위한 고이득 위상 배열 안테나를 제안한다.

본 안테나는 1×2의 직렬 배열을 부배열로 8개 단자로 구성된 4×4 배열 구조를 가졌으며, 높은 부엽특성을 구현하기 위하여 개별 방사부의 크기를 조정하는 전력 테이퍼링과 함께 짝수 행의 배열을  $1\lambda_g$ 만큼 이격하는 오프셋 배열구조를 적용하였다. 제안된 구조를 통하여 18.1 dBi의 고이득 특성과 22.3 dB의 부엽특성을 구현하였으며, 밀리미터파 대역 5G 특화망에 요구되는 전체 주파수대역을 만족하는 반사손실 특성을 확인하였다.

또한, 전기적 빔 조향 제어를 위한 안테나의 구조를 최적화하기 위하여, 수평으로 2개 단자와 수평으로 4개 단자를 배치함으로써 목적하는 수평방향의 빔 조향 범위  $\pm 45^\circ$ 와 수직방향  $\pm 10^\circ$ 를 만족하도록 하였다.

본 안테나는 수요가 날로 증가하고 있는 다양한 5G 특화망 서비스를 포함하여, 국외에서 서비스되고 있는 5G FR2 통신서비스에도 폭넓게 적용될 수 있다. 또한, 다중채널 송수신 모듈을 이용하여 능동위상배열을 구현함으로써 특성 구역에서 초고속 통신서비스를 제공할 수 있는 초소형 5G 펌토셀(Femto-cell) 기지국을 구현할 수 있을 것으로 기대된다.

### References

- [1] "World's first 5G... Korea's commercialization in 3 days," Mael Business Newspaper, April 04,

2019.

[2] Dilli, Ravilla. "Analysis of 5G wireless systems in FR1 and FR2 frequency bands." *2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*. IEEE, 2020. DOI: 10.1109/ICIMIA48430.2020.9074973

[3] "Case study on Private 5G service of "KT MOS" in Korea: Samsung Medical Center" *Netmanias*, May 30, 2023.

[4] "Case study on Private 5G service of "Newgens" in Korea: Amusement park (Lotte World)" *Netmanias*, May 12, 2023.

[5] "Tesla deploys private 5G in its factory in Berlin," *FIERCE Network*, May 9, 2024.

[6] Zooghby, A. E., *Smart Antenna Engineering*, Artech House, Inc., U.S., 2005.

## BIOGRAPHY

### Myeong-Jun Oh (Member)



2023 : BS degree in electronic and control engineering, Hanbat National University  
2023~ : Master's student, Hanbat National University

### Jung-Ick Moon (Member)



1996 : BS degree in electrical engineering, Yeungnam University  
1998 : MS degree in electrical engineering, Yeungnam University  
2000 : Ph.D degree in Electrical Engineering, KAIST  
2004~ : Principle researcher, Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

### Jung-Nam Lee (Member)



2004 : BS degree in Information and Communication Engineering, Hanbat National University  
2006 : MS degree in Information and Communication Engineering, Hanbat National University

2010 : Ph.D degree in Information and Communication Engineering, Hanbat National University

2010~2011 : Research professor, Hanbat National University

2011~ : Principle researcher, Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

### Young-Bae Jung (Member)



1998: BS degree in Radio Science and Engineering, Kwangwoon University  
2001: MS degree in Information and Communication Engineering, KAIST

2009: Ph.D degree in Information and communication Engineering, KAIST

2001~2011: Senior researcher, Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

2010~2012: Adjunct professor, University of Science and Technology(UST)

2011~Present: Full professor, Hanbat National University