

## 28GHz 밀리미터파대역 혼 어레이 안테나 설계

진덕호<sup>1\*</sup> · 이제호<sup>2</sup>

### The design of Horn array antenna for 28GHz millimeter wave band

Duck-Ho Jin<sup>1\*</sup> · Je-Ho Lee<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Graduate Student, Department of information and communication, Tech University of Korea, Siheung, 15073 Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Electronics Engineering, Tech University of Korea, Siheung, 15073 Korea

#### 요약

본 논문에서는 28GHz 대역의 5G 이동 통신 중계용 혼 안테나의 방사 패턴, 반사손실 등의 성능을 고려하여 중계용 안테나를 설계하였다. 안테나 소자를 위상 배열하여 5G 이동통신 중계기용 혼 Array를 설계하고 성능을 분석하였다. 밀리미터파 대역 통신에서는 기존의 WCDMA(3G), LTE(4G)와 달리 송수신 간의 높은 경로 손실이 발생한다. 5G 밀리미터파 혼 안테나 설계에서는 안테나의 이득, 대역폭뿐만 아니라, 안테나 소자 간 격리도, 이득 등의 안테나 성능을 추가로 고려해야 한다. 28GHz 대역의 단일 혼 안테나(1×1)와 배열 혼 안테나(2×4)의 안테나 이득은 각각 약 10.44dBi와 19.58dBi, 반사손실도 -18dB 이하의 특성을 되도록 설계하여 측정 결과로부터 구현의 타당함을 입증하였고, 5G 이동 통신 중계 시스템에 응용에 적합함을 보였다.

#### ABSTRACT

In this paper, the relay antenna was designed in consideration of the performance of the 28GHz band 5G mobile communication relay horn antenna, such as radiation pattern and return loss. A horn array for 5G mobile communication repeater was designed by arranging the antenna elements in phase, and the performance was analyzed. Unlike conventional WCDMA (3G) and LTE (4G), in millimeter wave band communication, high path loss occurs between transmission and reception. In the design of a 5G millimeter wave horn antenna, antenna performance such as isolation and gain between antenna elements as well as gain and bandwidth of the antenna must be additionally considered. The antenna gain of the single horn antenna (1×1) and the array horn antenna (2×4) in the 28GHz band is about 10.44dBi and 19.58dBi, respectively, and the return loss is designed to be less than -18dB. It has proven its validity and has been shown to be suitable for application to 5G mobile communication relay system.

**키워드** : 혼 안테나, 5G 이동 통신 중계기, 어레이 안테나, 다층 구조

**Keywords** : Horn antenna, 5G mobile communication repeater, array antenna, multi-layer structure

Received 26 September 2022, Revised 4 October 2022, Accepted 22 October 2022

\* Corresponding Author Duck-Ho Jin(E-mail:dhjin@imsco.kr, Tel:+82-31-455-2605)

Graduate Student, Department of information and communication, Tech University of Korea, Siheung, 15073 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.11.1672>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© 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.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

4차 산업혁명 시대에 밀리미터파 5G 이동 통신 기술의 상용화를 위한 전 세계적으로 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다[1]. 5G 이동 통신 기술은 초광대역을 통한 빠른 데이터 전송속도뿐만 아니라, 저지연·고신뢰 데이터 전송이 가능하게 한다. 이를 통해 물체 감지 및 사람의 감각 중 가장 빠르게 인지할 수 있는 촉각 민감도 수준의 저지연 시간을 요구되는 ‘촉각 인터넷’ 서비스도 향후 목표를 삼고 있다. [2]

5G 이동 통신 서비스는 초저지연, 초고속, 초연결이라는 핵심 성능을 제시하고, 기존 이동 중 가입자 간 음성이나 데이터 서비스를 넘어 모든 사물을 연결하고 4차 산업을 견인하고 있는 5G와 AI(인공지능)로 집약되고 있으며, 미래 기술의 목표를 가지고 시작하였지만 [2], 아직 목표성능에는 미치지 못하고 있다.

5G 이동 통신 가입자의 증가에 따라 데이터 통신량의 급격한 증가가 발생하고 있으며, 5G 가입자당 트래픽은 2만 6,056MB로 LTE 가입자당 트래픽의 세 배 가까이 되고 있다[3]. 트래픽 증가에 따른 주파수(‘서브6’) 대역 3.5GHz와 28GHz 주파수는 밀리미터파(mmWave)로 불리는 초고주파 대까지 함께 사용하는 것을 고려하고 있다. 이동 통신의 데이터 전송속도는 사용하는 주파수의 대역폭이 얼마나 넓은지에 영향을 받는다.

한편 밀리미터파는 일반적으로 EHF(Extremely High Frequency) 대역으로 불리는 30 - 300GHz 대역 주파수로 그 파장 길이가 1cm - 1mm를 갖는 대역을 의미한다. 5G 무선통신 시스템에서 송수신기 사이의 신호 전파 과정을 살펴보면 대기 감쇠 및 강우 감쇠, 자유 공간 경로 손실, 산란에 의한 손실, 실내외 투과 손실, 산란과 회절 등 여러 전파 손실이 존재하고 이동 통신 시스템 설계 시 고려해야 한다. 5G 밀리미터파 혼 배열 안테나 설계에서는 안테나의 이득, 대역폭뿐만 아니라, 안테나 빔 폭 등의 안테나 성능이 추가로 고려되어야 한다. 그중 가장 도전적으로 해결해야 할 과제 중 하나는 넓은 통신 서비스 커버리지를 확보하는 것이다[4]. 넓은 통신 서비스 커버리지를 확보하기 위해서는 주파수 대역폭이 넓어야 하며, 안테나의 빔 특성을 유지하는 것이 매우 중요하다. [5][6]

5G 안테나 연구는 크게 antenna-on-chip(AoC)와 antenna-in-package (AiP)의 두 축으로 개발되고 있다.

AoC는 저비용 모놀리식 공정(monolithic process)을 통해 CMOS RF 프런트 엔드 회로와 통합된 안테나이며, AiP는 5G 단말 안테나, RFIC, 그리고 다양한 소자들을 하나의 패키지(package) 내에서 작동하는 것을 목표로 하고 있다.

본 논문에서는 28GHz 대역 5G 이동 통신 중계기용 사용 가능한 저가용 고정 빔포밍 안테나 구조를 갖는 단일 혼 안테나(1\*1)와 배열 혼 안테나(2\*4)를 적용하는 것을 목표로 안테나를 설계 및 두 가지 안테나의 성능을 방사 패턴, 반 손실 등의 성능을 고려하여 혼 안테나를 비교 설계하였다.

## II. 도파관 혼 안테나

도파관 내 파이프 형태의 진행파 전류분포는 도파관의 세로와 가로 길이에 의존하기 때문에 혼 배열 안테나 설계를 위해서는 먼저 도파관에 맞는 구현 방식을 선택해야 한다. 그림 1은 도파관(waveguide)을 구성하는 금속은 도전율  $\sigma_c = \infty$ 인 완전도체로 가정하고, 도파관 내부는 투자율  $\mu$ , 유전율  $\epsilon$ , 도전율  $\sigma = 0$ 인 무손실 유전체로 채워져 있으며, 도파관 안테나 구조이다.

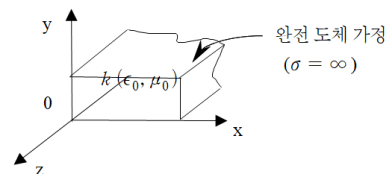


Fig. 1 Structure of a square waveguide horn antenna

도파관에서 전파 가능한 성분은 차단주파수가 사용 주파수보다 낮은 저차 모드(lower order mode)이며, 차단주파수가 사용 주파수보다 높은 고차 모드(higher order mode)들은 감쇠상수가 커서 전파가 거의 되지 않는다. 각 혼 간의 간격을 다르게 하고 혼 내벽 절삭 깊이 및 단수를 조정하면 기울기를 조정하면 혼의 컨덕턴스를 조절할 수 있으며 방사되는 빔의 크기와 방향을 변화시킨다. 전자기장 성분에 대한 구성 요소별로 다음과 같이 수식화가 선행되어야 하는데,

$$E_y = (E_1 e^{-j\beta x} + E_1' e^{j\beta x}) e^{-j\beta z} \quad (1)$$

$$H_x = -\frac{1}{\eta} \sin\theta (E_1 e^{-j\beta x} + E_1' e^{j\beta x}) e^{-j\beta z} \quad (2)$$

$$H_z = \frac{1}{\eta} \cos\theta (E_1 e^{-j\beta x} - E_1' e^{j\beta x}) e^{-j\beta z} \quad (3)$$

boundary조건( $E_1 + E_1' = 0$ )을 적용하면,

$$E_y = E_0 \sin\beta x e^{-j\beta z} \quad (4)$$

$$H_x = -\frac{1}{\eta} \sin\theta E_0 \sin\beta x e^{-j\beta z} \quad (5)$$

$$H_z = \frac{j}{\eta} \cos\theta E_0 \cos\beta x e^{-j\beta z} \quad (6)$$

위 식은 다음과 같은 식으로 단순화되어 최종적으로는 해당 field가 컨덕턴스값으로 표현될 수 있다.[7] 수식 7은 도파관 전자파 모드를 적용하여,

$$g(x) = g_1 \sin^2 \frac{\pi x}{a} \quad (7)$$

여기서  $g_1$ 은

$$g_1 = 2.09 \frac{\lambda_g a}{\lambda b} \cos^2 \frac{\pi \lambda}{2\lambda_g} \quad (8)$$

$x$ 는 도파관 넓은 면의 중심부터의 위치에 나타내며,  $a$ 와  $b$ 는 도파관의 크기를 나타낸다.  $\lambda$ 와  $\lambda_g$ 는 파장과 도파관 파장을 나타낸다. 그리고 협벽을 따라  $\theta$ 의 각도로 기울어져 있으면 고유 임피던스는 다음 식으로 데이터 중복을 최소화 할 수 있다.

$$g(\theta) = g_0 \sin^2 \theta \quad (9)$$

$g_0$ 는  $a, b, \lambda$ 와  $\lambda_g$ 에 의한 함수이다.

도파관 없을 때 도파관 내의  $TE_{10}$  모드의 자장은

$$H_z = H_1 \cos \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta z} \quad (10)$$

$$H_x = \frac{j\beta a}{\pi} H_1 \sin \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta z} \quad (11)$$

단 여기서  $\beta = \sqrt{\omega^2 \mu \epsilon - (\pi/a)^2}$  이다.

따라서 수식 12는 도파관을 따라 발생하는 자장의 크기에 대한 설명이다.

$$H_z = H_z \sin\theta - H_x \cos\theta = H_1 \sin\theta e^{-j\beta z \sin\theta} \quad (12)$$

이 식에서 도파관 외부로 복사되는 전력은 기울임 각도  $\theta$ 에 비례함을 알 수 있다.

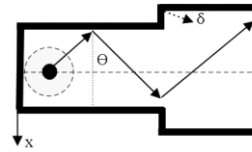


Fig. 2 Propagation and reflection models

그림 2처럼 기울임 각도를 조절하게 되면 결국 도파관의 절삭 길이  $\delta$ 가 변화한다. 즉 고주파의 경우에는 하나의 도체로 둘러싸인 속이 빈 관, 즉 도파관(waveguide)을 통해 전력을 전달하면 상대적으로 감쇠를 줄일 수 있다.

### III. 안테나 설계

본 논문에서는 26.5~27.3GHz 대역에서 동작하는 Ka 대역의 도파관의 규격을 WR28(EIA 규격)로 선정하고 시뮬레이션을 진행하였다. 안테나의 설계 목표는 표 1과 같다.

Table. 1 Antenna Specifications

| Item             | Single horn antenna | Array horn antenna |
|------------------|---------------------|--------------------|
| Center frequency | 26.9GHz             | 26.9GHz            |
| Bandwidth        | 800MHz              | 800MHz             |
| Gain             | >10dBi              | >17dBi             |
| Reflectivity     | 2.0 : 1             | 2.0 : 1            |
| Radiation width  | >30°                | >5°                |

도파관의 내부가 공기이므로 유전체 손실을 무시할 수 있으며, 도파관을 따라 전달되는 신호의 전력분포는 각 도파관의 형태에 따라서 결정되며 S 파라미터 관점에서 보면 다음과 같은 관계를 가진다.

$$G = \frac{1 - [S_{21}]^2 - [S_{11}]^2}{[S_{21}]^2} \quad (13)$$

전송선 문제를 다룰 때 유용한 세 가지 물리량인 입력 임피던스, 반사 계수, 정재파비를 확인할 수 있다.

그림 3은 HFSS를 사용하여 3D EM 시뮬레이션 모델링과 Waveguide Single Horn Antenna 방사 빔 폭 패턴 (2D, 3D)의 안테나 해석을 통해 정확한 데이터를 얻을 수 있다. 도파관에 내부 치수는 (W) 16mm \* (D) 16mm \* (S) 7mm로 구성하였으며, S에 따라 빔 폭에 조절 할 수 있다.

### 3.1. 단일 혼 안테나 설계

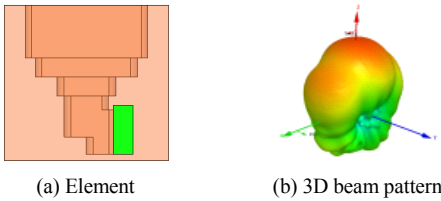
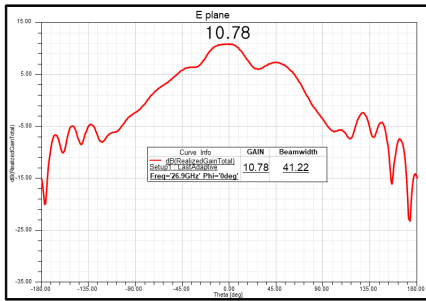
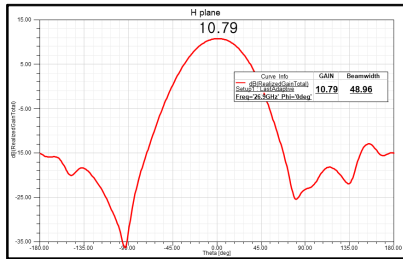


Fig. 3 Waveguide Single Horn Antenna Schematic



(a) E-Plane Radiation Pattern



(b) H-Plane Radiation Pattern

Fig. 4 2D beam pattern of single horn antenna

그림 4는 HFSS 2D EM 시뮬레이션 모델링을 이용한 Waveguide 단일 혼 안테나의 빔 패턴 시뮬레이션 값이다. E면은 전계 벡터를 포함하는 면이며 최댓값이 10.78dB이며, H면은 자계 벡터를 포함하는 면의 최댓값이 10.79dB 값 갖는 방사 패턴을 해석된 결과를 표2로

나타내었다.

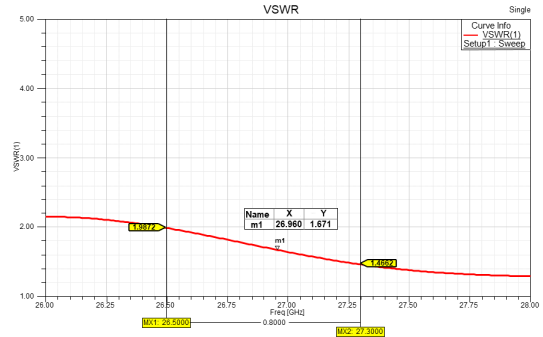


Fig. 5 Single horn antenna reflection coefficient

그림5는 주파수에 따른 반사 계수를 나타내며, 단일 혼 안테나 해석된 결과를 표 2로 나타내었다.

Table. 2 Single horn antenna analysis result data

| Item             | Single horn antenna | Array horn antenna |
|------------------|---------------------|--------------------|
| Center frequency | 26.9GHz             | 26.9GHz            |
| Bandwidth        | 800MHz              | 800MHz             |
| Gain             | >10dBi              | 10.78dBi           |
| Reflectivity     | 2.0 : 1 (>12dB)     | 1.98 : 1           |
| Radiation width  | Vertical            | >30°               |
|                  | Horizontal          | >30°               |

그림 6은 HFSS를 사용하여 3D EM 시뮬레이션 모델링과 Waveguide Single Horn Antenna 방사 빔 폭 패턴 (2D, 3D)의 안테나 해석을 통해 정확한 데이터를 얻을 수 있다. 도파관에 내부 치수는 (W) 15.3mm \* (D) 15.3mm \* (S) 6.8mm로 구성하였으며, S에 따라 빔 폭에 조절 할 수 있다.

### 3.2. 배열 혼 안테나 (2x4) 설계

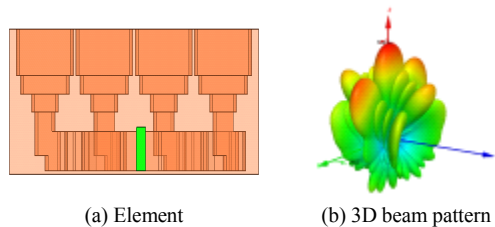
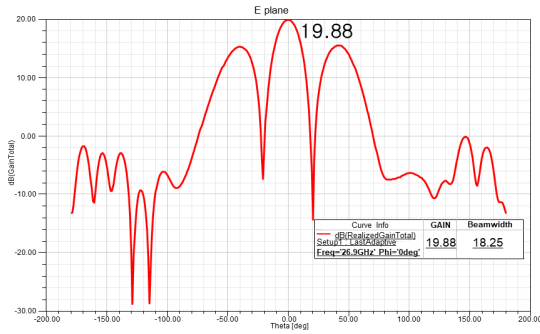
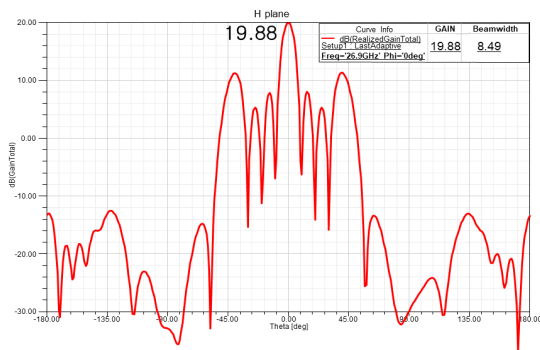


Fig. 6 Waveguide Horn Array Antenna Schematic



(a) E-Plane Radiation Pattern



(b) H-Plane Radiation Pattern

Fig. 7 2D Beam Pattern of Horn Array Antenna

그림 7은 HFSS 2D EM 시뮬레이션 모델링을 이용한 Waveguide 혼 배열 안테나의 빔 패턴 시뮬레이션 값이다. E면은 전계 벡터를 포함하는 면이며 최댓값이 19.88dB이며, H면은 자계 벡터를 포함하는 면의 최댓값이 19.88dB 값 갖는 방사 패턴을 해석된 결과를 표 3도 나타내었다.

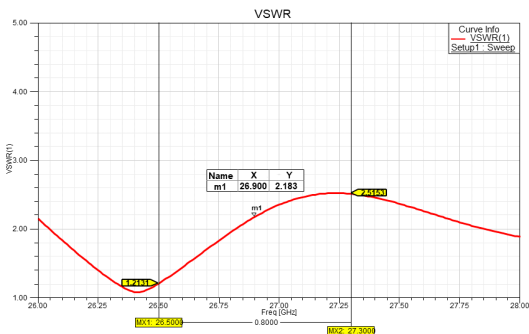


Fig. 8 Horn Array Antenna Reflection Coefficient

그림 8은 배열 혼 안테나 주파수에 따른 반사 계수를

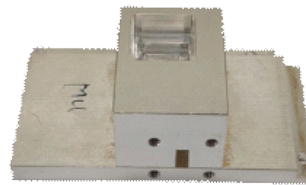
나타내며, 시뮬레이션 결과를 표 3로 나타내었다.

Table. 3 Horn array antenna analysis result data

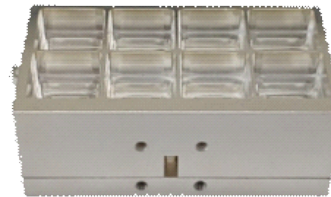
| Item             | Single horn antenna | Array horn antenna |
|------------------|---------------------|--------------------|
| Center frequency | 26.9GHz             | 26.9GHz            |
| Bandwidth        | 800MHz              | 800MHz             |
| Gain             | >17dBi              | 19.88dBi           |
| Reflectivity     | 2.0 : 1 (>12dB)     | 2.51 : 1           |
| Radiation width  | Vertical            | >5°                |
|                  | Horizontal          | >5°                |

#### IV. 혼 안테나 제작 및 시험 결과

본 절에서는 지금까지 설계된 단일 혼 안테나와 배열 혼 안테나를 제작하고 실험을 통하여 검증하였다. 그림 9는 실제 제작된 단일 혼 안테나와 배열 혼 안테나 사진이다. 제작된 안테나의 크기는 모두 70.5mm x 40mm x 21mm이다.



(a) Single Horn Antenna (1\*1)



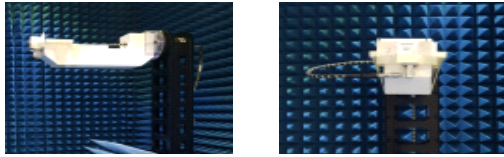
(b) Horn Array Antenna (2\*4)

Fig. 9 Photos of the antenna

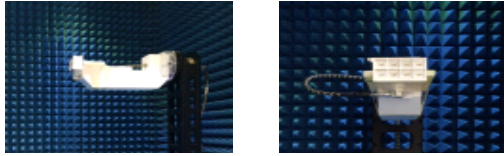
제작된 안테나는 무반사 챔버에서 성능 검증이 이루어져야 하며, 안테나를 정확히 측정하기 위해서 안테나의 위치를 정렬하여 측정하여야 한다. 그림 10에 제작된 혼 안테나를 무반사 챔버에서 측정하고 것을 보였다. 표 4는 무반사 챔버 측정 결과를 나타내었다.

Table. 4 Horn array antenna analysis result data

| antenna  | standard           |            | 주파수(GHz) |      |      |      |      |      |
|----------|--------------------|------------|----------|------|------|------|------|------|
|          |                    |            | 26.5     | 26.7 | 26.9 | 27.1 | 27.3 |      |
| 단일 혼 안테나 | Gain (dBi)         | E-Plane    | >10      | 10.1 | 10.4 | 10.5 | 10.5 | 10.4 |
|          |                    | H-Plane    | >10      | 10.1 | 10.3 | 10.4 | 10.3 | 10.4 |
|          | Reflectivity (dB)  | <2:1       | 1.45     | 1.44 | 1.53 | 1.60 | 1.62 |      |
|          | Radiation width(°) | Vertical   | >30      | 45.1 | 45.8 | 45.5 | 45.4 | 46.0 |
|          |                    | Horizontal | >30      | 39.9 | 39.0 | 38.3 | 39.1 | 40.3 |
| 배열 혼 안테나 | Gain (dBi)         | E-Plane    | >17      | 18.9 | 19.1 | 19.6 | 19.8 | 19.8 |
|          |                    | H-Plane    | >17      | 18.8 | 19.0 | 19.5 | 19.7 | 19.7 |
|          | Reflectivity(dB)   | <2:1       | 1.65     | 1.53 | 1.26 | 1.23 | 1.48 |      |
|          | Radiation width(°) | Vertical   | >5       | 8.7  | 8.6  | 8.4  | 8.3  | 8.3  |
|          |                    | Horizontal | >5       | 18.1 | 18.1 | 17.9 | 17.6 | 17.4 |



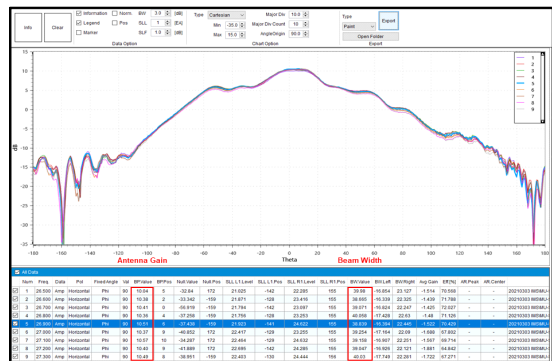
(a) Single Horn Antenna measurement in chamber



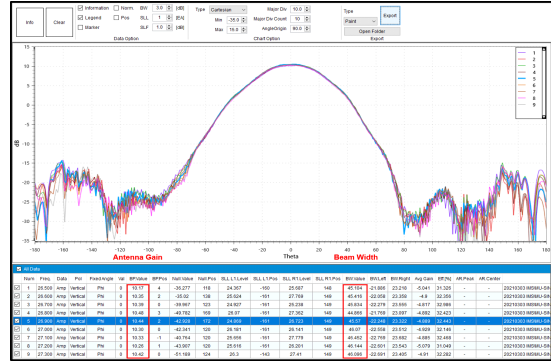
(b) Horn Array Antenna measurement in chamber

Fig. 10 Antenna measurement in an anechoic chamber

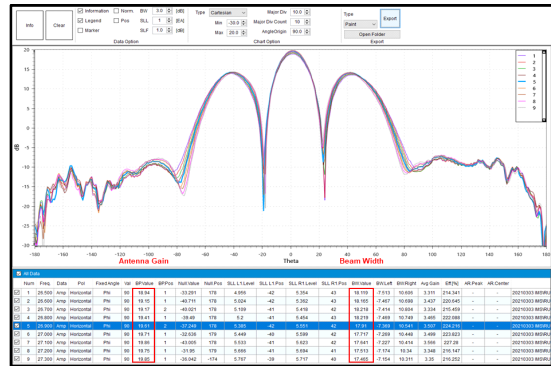
제작된 혼 안테나의 이득을 측정한 결과는 그림 11과 같으며, 시뮬레이션과 같이 전기적 특성을 가지며, 안테나 이득은 각각 10.44dBi, 19.58dBi로 우수한 결과를 얻었다.



(a) E-Plane Gain of Single Horn Antenna



(B) H-Plane Gain of Single Horn Antenna



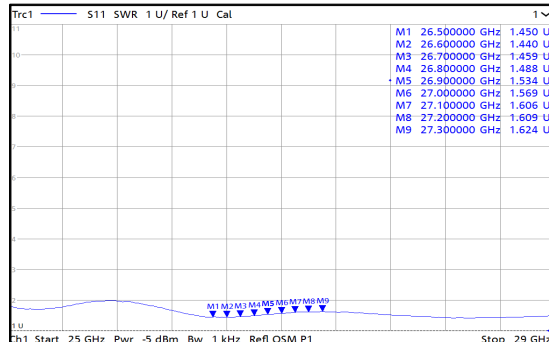
(C) E-Plane Gain of Horn Array Antenna



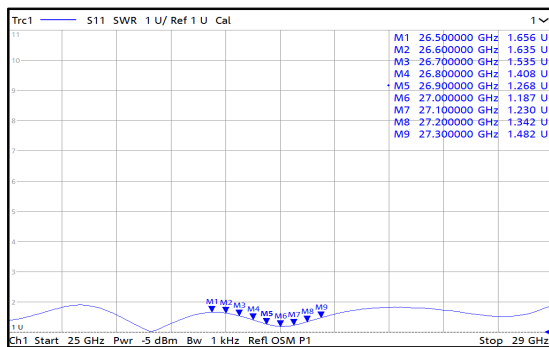
(D) H-Plane Gain of Horn Array Antenna

Fig. 11 Antenna Gain

그림 12는 안테나를 성능을 판단하는 반사 계수 측정치를 나타낸다. 측정된 데이터는 주파수 26.5~27.3GHz 대역에서 안테나의 VSWR 2.0:1 이하를 확인할 수 있다.



(a) Reflection Coefficient of Single Horn Antenna



(b) Reflection Coefficient of Horn Array Antenna

Fig. 12 Antenna Reflection Coefficient

## V. 결론

본 논문에서는 5G 이동 통신 시스템의 28 GHz 대역에서 건물 내의 인 빌딩용 중계기에 적용되는 단일 혼 안테나와 배열 혼 안테나를 시물레이션 설계 및 제작하고 측정하여 성능을 비교하였다. 자유 공간에서 안테나의 방사 이득, 방사 폭 성능을 비교하였고, 실제 사용 환경을 고려한 방사 패턴에서 성능을 비교 분석하였다.

안테나의 성능 비교 결과, 방사 빔 커버리지 면에서 단일 혼 방식보다 배열 혼 안테나 방식이 방사 패턴 면에서 우수한 성능을 갖는 것을 확인하였고, 시제품의 제작 및 무반사 챔버 측정을 통해 성능을 이를 검증하였다. 실제로 사용되는 환경에서는 빔포밍이 안테나 성능 저하가 예상되고, 이 문제를 극복하기 위하여 더 많은 배열 특성을 가는 안테나 설계 연구가 추가로 요구된다. 본 논문에서 수행된 연구 결과는 향후 밀리미터파 5G 인 빌딩 중계기에 저비용, 저가형 장비에 활용하여 5G 서비스에 적용될 것으로 기대한다.

## References

- [ 1 ] H. Xia, T. Zhang, L. Li, and F. Zheng, "A low-cost dual-polarized 28 GHz phased array antenna for 5G communications," in *2018 International Workshop on Antenna Technology (iWAT)*, Nanjing, China, pp. 1-4, 2018.
- [ 2 ] Samsung Electronics, "Who & How: Making 5G NR Standards," Samsung Electronics, White Paper, pp. 3-7, 2018.
- [ 3 ] Ministry of Science and ICT, "Wireless Data Traffic Statistics," Ministry of Science and ICT, Technical Report, 2021.
- [ 4 ] K. Zhao, J. Helander, D. Sjoberg, S. He, T. Bolin, and Z. Ying, "User Body Effect on Phased Array in User Equipment for the 5G mmWave Communication System," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 864-867, Sep. 2016.
- [ 5 ] J. H. Na and H. K. Jwa, "28GHz technology trends and issues from a 5G small cell perspective," National Information Society Agency, Technical Report, Jan. 2021.
- [ 6 ] Younsun Kim, NR Physical Layer Design: NR MIMO, 3GPP RAN Workshop, Brussels, 24-25 Oct. 2018
- [ 7 ] L. P. Oliveira, A. M. P. AlvesS., and H. E. Hernandez-Figueroa, "A Novel Vertically Polarized Slotted Waveguide Array Antenna," in *Proceedings of 2007 The Second European Conference on Antennas and Propagation*, Edinburgh, Scotland, pp. 1-5, 2007.



진덕호(Duck-Ho Jin)

2004년 2월: 한국공학대학교 전자공학과 공학사  
 2016년 2월: 한국공학대학교 산업기술경영대학원 전자공학과 공학 석사  
 2022년 2월: 한국공학대학교 지.에대학원 정보통신 박사수료  
 2003년~2016년: ㈜기산텔레콤 연구소 책임연구원  
 2022년 3월~현재: ㈜아이엠에스 연구소 연구 소장  
 ※관심분야: 무선통신, 밀리미터파 전송, 안테나



이제호(Je-Ho Lee)

1989년 2월: 고려대학교 전기공학과 공학사  
 1991년 2월: 고려대학교 대학원 전기공학과 공학석사  
 2000년 8월: Polytechnic University (NYU) 전기공학과 박사  
 1991년~2004년 LG산전(선임연구원), LG전자(책임연구원), 코어세스(수석연구원), 특허청(통신 사무관)  
 2004년 3월~현재: 한국공학대학교 전자공학부 교수  
 ※관심분야: 무선통신시스템, 항행전자