

# 5G 단말용 28 GHz 배열안테나의 안테나 타입별 성능 비교 연구

## Performance Comparison of 28 GHz Array Antennas for 5G Mobile Devices

김선률 · 홍영택 · 방지훈 · 최재훈

Sun-Ryul Kim · Young-Taek Hong · Ji-Hoon Bang · Jae-Hoon Choi

### 요 약

본 논문에서는 다이폴, 슬롯, 패치 세 가지 기본타입 안테나 소자를 이용하여 28 GHz 5G 단말용 배열안테나를 설계하고 성능을 비교 분석하였다. 안테나 소자 간 격리도는  $S_{21}$ 을 기준으로 비교하였으며, 다이폴, 슬롯, 패치 타입이 각각 -13.76 dB, -16.88 dB, -11.47 dB로 슬롯 타입 안테나가 가장 높은 격리도 특성을 갖는다. 또한 빔 커버리지 성능 비교를 위하여 배열안테나의 빔 폭, 최대 빔 조향 각도 등의 성능을 분석하였다. 최대 빔 조향 각도는 슬롯 타입이 63°로 가장 넓고, 패치 타입이 36°로 가장 좁은 조향 특성을 가진다. 실제 단말기 사용 환경에서의 안테나 성능을 확인하기 위해서 단말기가 talk mode와 data mode에서 동작할 때의 특성을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 비교 분석 결과, 28 GHz 5G 단말용 배열안테나 소자로 슬롯 타입 배열안테나가 가장 적합한 것을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, three types of array antennas for 5G mobile devices operating at 28 GHz were designed, and their performances were compared. The isolation between antenna elements was compared based on  $S_{21}$ . The  $S_{21}$  of dipole, slot, and patch type are -13.76 dB, -16.88 dB, and -11.47 dB, respectively, with the slot-type antenna having the highest isolation. In order to compare the beam coverage performance, several characteristics such as beam width and maximum beam steering angle were analyzed. The analysis shows that the slot type has the widest steering angle of 63° while the patch type has narrowest with 36°. In addition, to verify the performance of the antennas in the actual usage environment of the device, antenna characteristics in talk mode and data mode were analyzed through simulation. The results confirmed that the slot-type array antenna is the most suitable array antenna element for 28 GHz 5G mobile devices.

Key words: mmWave, 5G Device, Beam Steering, Beam Coverage

### I. 서 론

최근 밀리미터파 5G 통신 기술의 상용화를 위한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다<sup>[1],[2]</sup>. 5G 이동통신

기술은 초광대역을 통한 빠른 데이터 전송속도뿐만 아니라, 고신뢰/초저지연 통신, 대량연결 등을 가능하게 하며 기존 4G 이동통신과 차별화되는 기술 진화를 목표로 삼고 있다<sup>[3]</sup>.

「이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 2018-0-00732, 밀리미터파 대역 5G 단말용 배열안테나의 병목기술 해결을 위한 기초 연구)」

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received November 9, 2018 ; Revised January 2, 2019 ; Accepted January 11, 2019. (ID No. 20181109-113)

· Corresponding Author: Jae-Hoon Choi (e-mail: choijh@hanyang.ac.kr)

밀리미터파 대역 통신에서는 기존의 마이크로파 대역에서와는 달리 송수신 간의 높은 경로손실이 발생한다. 5G 밀리미터파 단말에서는 이를 보상해 주기 위하여 4G에서 사용하는 전방향성(omnidirectional) 안테나 대신 고이득의 배열안테나가 사용된다.

5G 밀리미터파 단말용 배열안테나 설계에서는 안테나의 이득, 대역폭뿐만 아니라, 안테나 소자 간 격리도, side-lobe level(SLL) 등의 안테나 성능이 추가적으로 고려되어야 한다. 그 중 가장 도전적으로 해결해야 할 과제 중 하나는 넓은 통신 커버리지를 확보하는 것이다<sup>4)</sup>. 넓은 통신 커버리지를 확보하기 위해서는 안테나의 빔 커버리지를 최대로 가져가는 것이 매우 중요하다. 최근 5G 단말용 배열안테나 설계에 관하여 fan-beam 패턴 및 빔 조향 기술을 사용한 연구가 진행되었다<sup>5)</sup>. Fan-beam 패턴이란 지향성 방사패턴의 일종으로 main-lobe의 빔폭이 한 면에 대해서는 매우 넓고, 다른 한 면에서는 매우 좁은 납작한 형태의 방사패턴을 의미한다. 배열안테나의 fan-beam 패턴과 빔 조향 기술을 이용하여 넓은 빔 커버리지를 확보할 수 있으며, 180°의 빔폭을 갖는 fan-beam 패턴과 ±90°의 빔 조향 각도를 확보할 경우 배열안테나는 최대의 빔 커버리지를 가질 수 있다.

5G 단말용 배열안테나 설계에 대하여 국내외에서 다양한 연구가 수행되고 있으나, 안테나 타입별 성능 비교에 관한 연구는 미비한 상황이다. 최근 노치, 슬롯, 메쉬-그리드 패치의 세 가지 안테나 타입을 이용하여 5G 단말용 배열안테나를 설계하고, 실제 사용 환경에서 성능을 비교분석한 연구가 발표되었다<sup>4)</sup>.

본 논문에서는 28 GHz 5G 단말용 1×8 배열안테나에 적용하기 위하여 세 가지 기본 타입(다이폴, 슬롯, 패치) 안테나의 성능을 비교 분석하였다. 각 안테나 타입별 반사손실, 방사패턴 등의 성능을 고려하여 단일안테나를 설계하고, 안테나 소자를 반 파장 간격으로 배열하여 5G 단말용 배열안테나를 설계하였다. 설계된 배열안테나들의 성능을 talk mode, data mode 등의 실제 사용 환경에서 비교분석하였다. 본 연구에서는 ANSYS사의 HFSS<sup>6)</sup>를 이용하여 안테나를 설계하였고, CST사의 CST Studio Suite<sup>7)</sup>를 사용하여 talk mode, data mode에서의 안테나 성능을 분석하였다.

## II. 단일안테나 설계

그림 1은 28 GHz 5G 단말용 배열안테나를 위한 세 가지 기본 타입 단일안테나의 구조를 나타낸다. 다이폴 안테나의 경우 Taconic RF-35 ( $\epsilon_r = 3.5, \tan\delta = 0.0018$ ) 기판을 사용하였다. 최근 발표된 5G 단말용 배열안테나 설계에서 제안된 구조들을 바탕으로 기판의 윗면에는 급전선로와 하나의 폴이, 아랫면에는 그라운드와 나머지 하나의 폴을 갖는 구조로 다이폴 안테나를 설계하였다<sup>8)</sup>. 슬롯 안테나의 경우, Arlon AD430( $\epsilon_r = 4.3, \tan\delta = 0.003$ ) 기판을 사용하였고, 기판의 윗면에는 급전선로가 있고, 아랫면에는 슬롯을 포함하는 그라운드가 있는 구조로 설계하였다<sup>9)</sup>. 패치 안테나의 경우, 기판의 두께와 유전율이 안테나 성능에 미치는 영향을 고려하여 낮은 유전율의 Taconic TLY( $\epsilon_r = 2.2, \tan\delta = 0.0009$ ) 기판을 사용하였고, 0.254 mm(10 mil)의 기판 두께로 다른 안테나보다 상대적으로 두꺼운 기판을 사용하였다. 일반적으로 사용되는 inset fed microstrip patch antenna 구조로 윗면에는 패치가, 아랫면에는 그라운드를 갖는 구조로 설계하였다.

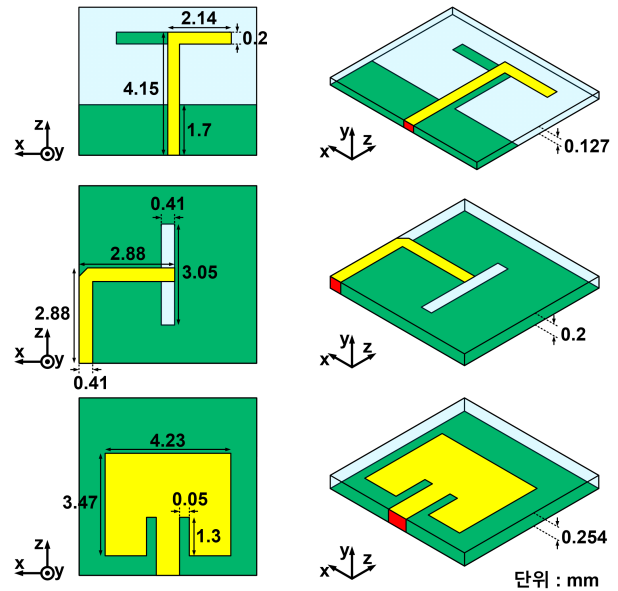


그림 1. 28 GHz 5G 단말용 배열안테나를 위한 세 가지 형태의 안테나 소자의 기본 구조

Fig. 1. Basic structure of three types of antenna elements for array antennas for 28 GHz 5G mobile devices.

그림 2는 세 가지 타입 단일안테나의 반사손실을 나타낸다. 10 dB 반사손실 대역폭은 다이폴 안테나가 6.17 GHz (25.42~31.59 GHz)로 가장 넓은 동작대역폭을 갖는다.

그림 3은 세 가지 단일안테나의 방사패턴을 나타낸다. 세 안테나의 최대 방사 방향 및 패턴의 형상을 고려하여 슬롯안테나는 급전선로가 90° 꺾인 구조를 가지도록 하였다. 안테나의 최대이득과 10 dB 반사손실 대역폭을 표 1에 정리하였다. 최근 국내에서는 28 GHz 주파수 대역 이용을 위하여 2.4 GHz(26.5~28.9 GHz) 대역폭을 할당하였다. 이와 비교했을 때 다이폴과 슬롯 타입 안테나의 10 dB 반사손실 대역폭은 할당된 대역 모두를 만족한다.

### III. 배열안테나 설계

그림 4는 ‘II. 단일안테나 설계’ 단계에서 설계한 세 가지 기본 타입 안테나를  $0.5\lambda$  간격으로 8개씩 배열하여 설계한 5G 단말용 배열안테나로써 각각의 구조와 기관, 변수들은 그림 1에 나타난 단일안테나와 동일하다. 기관 크기는 5G 단말기의 크기를 고려하여 130 mm×65 mm 로 하였으며, 기관의 상단부에 배열안테나를 배치하였다.<sup>[10]</sup> 다이폴과 슬롯 안테나의 경우 fan-beam의 중심이 +z 방향에 위치할 수 있도록 하였고, 패치안테나의 경우 +z 방향으로 최대방사를 할 수 있도록 기관의 상단 끝부분이 90° 꺾이도록 설계하였다<sup>[11]</sup>.

본 시뮬레이션에서는 제안된 배열안테나들의 격리도, 방사패턴, 빔 조향 성능을 비교하였다. 그림 5는 제안된 배열안테나들의  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$ 로 각 안테나 소자 간의 격리

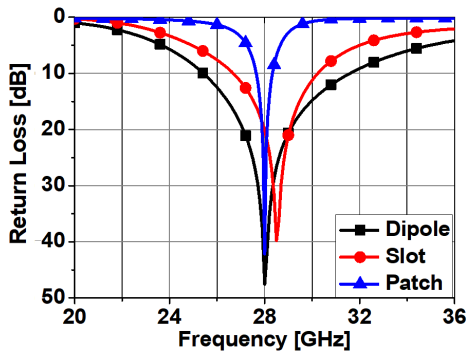
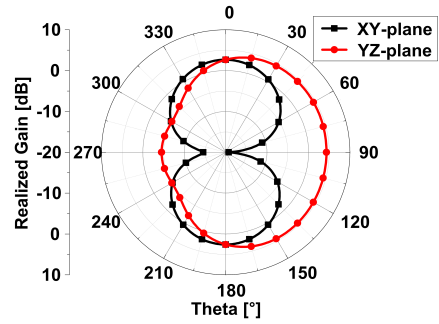
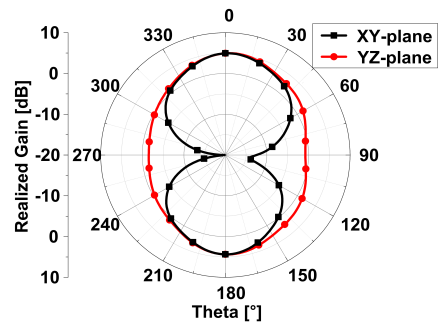


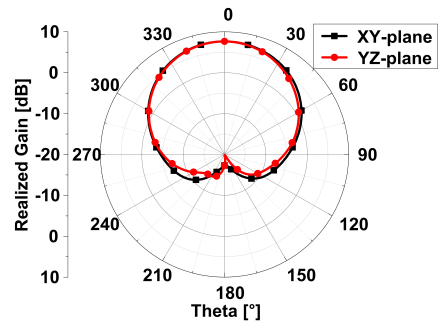
그림 2. 다이폴, 슬롯, 패치 단일안테나의 반사손실  
Fig. 2. Return loss of dipole, slot and patch antenna.



(a) 다이폴  
(a) Dipole



(b) 슬롯  
(b) Slot



(c) 패치  
(c) Patch

그림 3. 단일안테나의 방사패턴

Fig. 3. Radiation pattern of single antenna.

표 1. 다이폴, 슬롯, 패치 단일안테나의 특성

Table 1. Characteristics of dipole, slot and patch antennas.

	Dipole	Slot	Patch
Maximum gain [dBi]	5	5	8
10 dB return loss bandwidth [GHz]	6.17	3.56	0.68

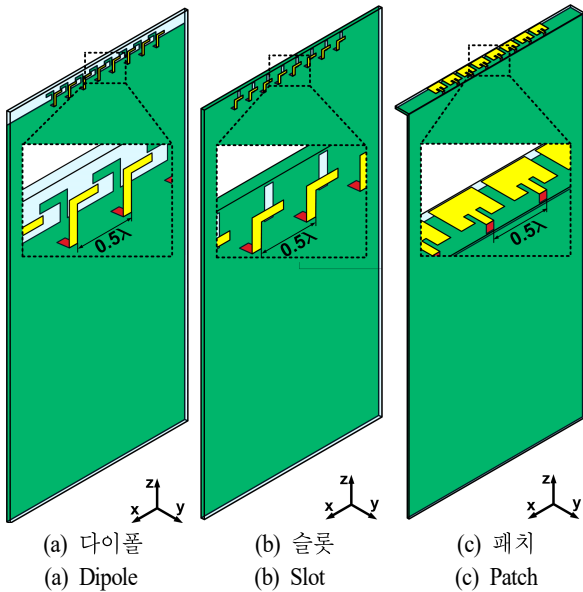


그림 4. 28 GHz 5G 단말용 배열안테나의 구조  
 Fig. 4. Design of array antennas for 28 GHz 5G mobile devices.

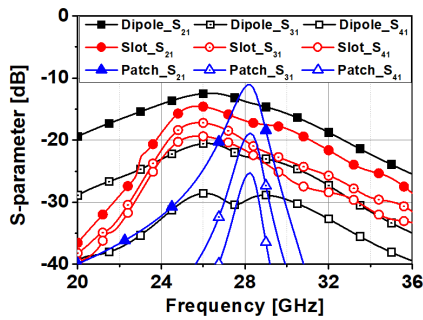
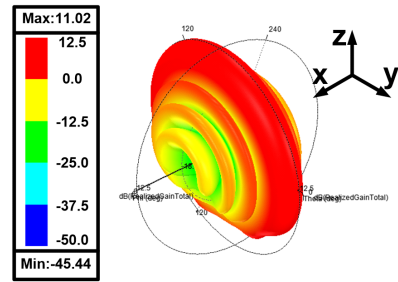


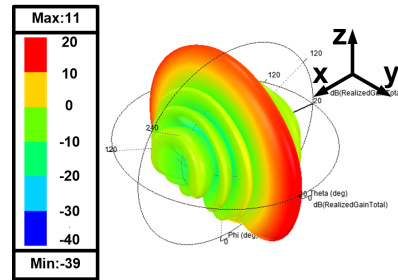
그림 5. 다이폴, 슬롯, 패치 배열안테나의  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$   
 Fig. 5.  $S_{21}$ ,  $S_{31}$  and  $S_{41}$  of dipole, slot and patch array antennas.

도 특성을 나타낸다.

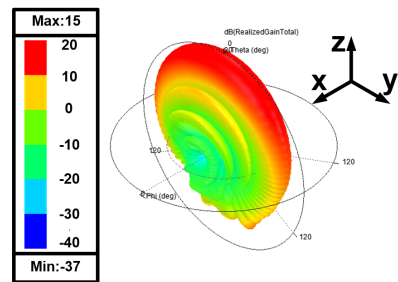
격리도 특성이 나쁠 경우, 안테나에 급전된 신호가 인접한 안테나로 인가되어 전체 배열안테나의 효율을 감소시키고 원하는 방향으로 방사를 할 수 없게 된다. 28 GHz에서 패치 타입의 경우가 소자 간 간섭이 가장 크고, 슬롯 타입이 소자 간 간섭이 가장 작다.  $S_{21}$ 의 경우 안테나 소자간 거리가 매우 인접하기 때문에 격리도 특성이 좋지 않지만,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$ 은 안테나 간 거리가 상대적으로 멀기 때



(a) 다이폴  
 (a) Dipole



(b) 슬롯  
 (b) Slot



(c) 패치  
 (c) Patch

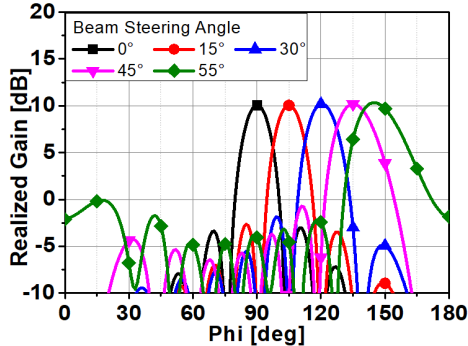
그림 6. 배열안테나의 방사패턴  
 Fig. 6. Radiation pattern of array antenna.

문에 격리도 특성이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 28 GHz에서  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$  모두 슬롯 안테나가 가장 좋은 성능을 갖는 것을 확인하였다.

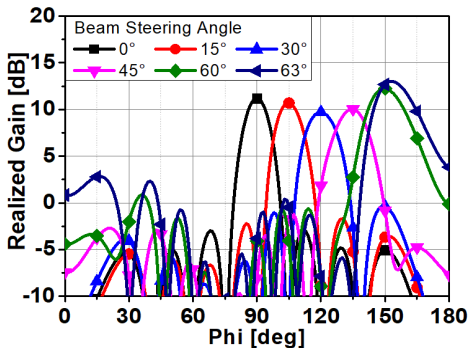
그림 6은 각 타입 배열안테나의 방사패턴을 나타낸다. 다이폴과 슬롯 타입의 경우 yz 평면에서 넓은 fan-beam 패턴을 가지며, 패치 타입의 경우 상대적으로 좁은 fan-beam 패턴을 보인다.

그림 7은 제안된 배열안테나의 빔 조향 성능을 각 타입

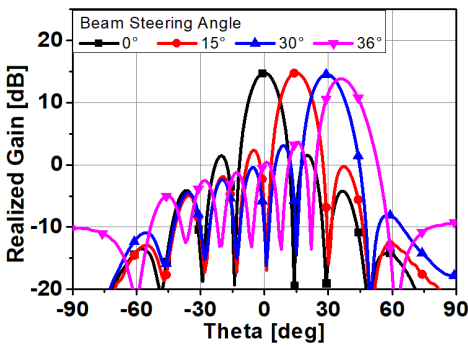
별 최대이득 방향을 기준으로 나타낸 것이다. 안테나 빔 조향 시 side-lobe의 크기가 증가하며, 이는 안테나 성능의 저하를 일으킨다. 빔 조향이 가능한 최대 각도를 비교하



(a) 다이폴  
(a) Dipole



(b) 슬롯  
(b) Slot



(c) 패치  
(c) Patch

그림 7. 자유공간에서 배열안테나의 빔 조향 성능  
Fig. 7. Beam steering performance of array antenna in free space.

기 위하여 SLL이 10 dB가 되는 각도를 기준으로 하여 성능을 분석하였다<sup>[12]</sup>. 최대 빔 조향 각도는 슬롯 타입이 63°로 가장 넓고, 패치 타입이 36°로 가장 좁은 조향 특성을 가진다. 다이폴과 슬롯 타입은 최대 빔 조향 각도를 넘어설 경우 반대방향에서 발생하는 side-lobe에 의한 SLL이 문제가 되며, 패치 타입의 경우 main-lobe와 인접한 첫 번째 side-lobe에 의해 빔조향이 제한된다. 표 2에 세 가지 타입 배열안테나의 격리도, 최대이득, 빔 폭, 최대 빔 조향 각도를 정리하였다.

자유공간에서는 슬롯 타입 배열안테나가 빔 커버리지 측면에서 다른 타입과 비교하여 좋은 특성을 갖는 것을 확인하였다. 그러나 단말용 안테나의 경우 인체가 가까이 위치한 상황에서 사용되기 때문에 인체를 이용한 실제 사용 환경에서의 성능 분석이 수행되어야 한다. 본 연구에서는 인체의 머리와 손 팬텀을 이용하여 talk mode와 data mode 사용 환경을 모델링하고, 안테나 성능을 분석하였다. 그림 8은 시뮬레이션 수행을 위한 talk mode와 data mode 사용 환경을 나타내며, 시뮬레이션에 사용된 인체 모델은 CST<sup>[7]</sup>에서 제공하는 SAM head phantom과 PDA hand phantom을 사용하였다. Talk mode의 경우, 머리 모의인체와 안테나 간 이격 거리를 30 mm로 설정하여 성능을 분석하였다. SAR 분석에는 1 g 평균값을 기준으로 하였고, 팬텀의 밀도는 1,000 kg/m<sup>3</sup>, 안테나의 입력전력은 24 dBm으로 하였다.

표 3은 talk mode에서 시뮬레이션된 세 가지 배열안테나의 빔 폭, 최대 빔 조향 각도, 최대 이득, 최대 SAR 특성을 나타낸다. 시뮬레이션 결과, 5 dB 빔 폭, 10 dB 빔 폭 모두 슬롯 타입이 다른 타입에 비해 매우 넓은 것을 확인할 수 있다. 다이폴 안테나의 경우, 최대 빔 조향 각도는 49.7°로 가장 넓지만 빔 폭이 매우 좁아진 것을 확인할

표 2. 다이폴, 슬롯, 패치 배열안테나의 성능  
Table 2. Performance of dipole, slot, patch array antenna.

	Dipole	Slot	Patch
Isolation( $S_{21}$ ) [dB]	-13.76	-16.88	-11.47
Maximum gain [dBi]	11.02	11	15
5 dB beamwidth [°]	257.27	273.63	113.32
Maximum beam steering angle [°]	55	63	36



수 있다. 이는 빔 조향 시 발생하는 side-lobe가 머리 모의 인체에 의해 자유공간에서와 다르게 발생하기 때문이다. 이러한 인체에 의한 방사패턴의 왜곡 문제는 향후 밀리미터파 5G 단말용 배열안테나 설계에 있어서 필수적으로 고려되어야 한다.

표 4는 data mode에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 슬롯 타입의 경우 최대 빔 조향 각도 측면에서 우수한 성능을 갖지만 5 dB 빔 폭은 자유공간에서 273.63°인 것과 비교하여 109.66°로 매우 좁아진 것을 확인할 수 있다. 이는 talk mode에서와 마찬가지로 방사패턴이 손 팬텀에 의한 반사로 한쪽으로 집중되기 때문이다. 10 dB 빔 폭으로 확인한 결과, 슬롯 타입이 283.5°로 자유공간에서의 데이터와 비슷한 결과를 확인할 수 있다.

자유공간에서와 팬텀을 이용한 비교 분석 결과를 종합하여, 본 연구에서는 빔 커버리지 측면에서 가장 좋은 특성을 나타내는 슬롯 타입 안테나를 5G 배열안테나 소자로 적합할 것으로 판단하였다.

표 3. Talk mode에서 다이폴, 슬롯, 패치 배열안테나의 특성  
Table 3. Characteristics of dipole, slot, patch antenna in talk mode.

	Dipole	Slot	Patch
5 dB beamwidth [°]	31.3	131.32	14.3
10 dB beamwidth [°]	52.5	154.1	121.5
Maximum beam steering angle [°]	49.7	30	36
Maximum gain [dBi]	14	11.2	17.23
Maximum SAR [W/kg]	2.56	0.959	0.4

표 4. Data mode에서 다이폴, 슬롯, 패치 배열안테나의 특성  
Table 4. Characteristics of dipole, slot, patch array antenna in data mode.

	Dipole	Slot	Patch
5 dB beamwidth [°]	241.3	109.66	101.22
10 dB beamwidth [°]	280.9	283.5	169.72
Maximum beam steering angle [°]	53	54.3	35
Maximum gain [dBi]	13.8	13.6	15
Maximum SAR [W/kg]	0.151	0.349	0.133

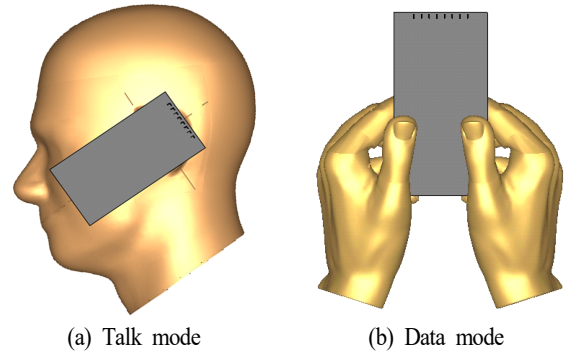


그림 8. 머리와 손 팬텀을 이용한 시뮬레이션 환경  
Fig. 8. Simulation environment using head and hand phantom.

#### IV. 측정 결과

슬롯 배열안테나의 성능을 검증하기 위하여 급전선로를 포함하는 배열안테나 시제품을 제작하였다.

그림 9는 제작한 슬롯 배열안테나를 나타낸다. 빔 조향 성능을 검증하기 위하여 microstrip delay line을 이용한 급전선로가 사용되었다. 그림 9(a), 그림 9(c)는 동일한 위상 분배를 하도록 설계된 급전선로 및 배열안테나를 나타내며, 그림 9(b), 그림 9(d)는 30° 빔 조향이 되도록 microstrip delay line을 추가한 배열안테나의 위, 아랫면을 나타낸다.

그림 10은 제안된 급전선로를 포함하는 슬롯 배열안테나의 반사손실을 시뮬레이션과 측정 결과로 비교한 그래

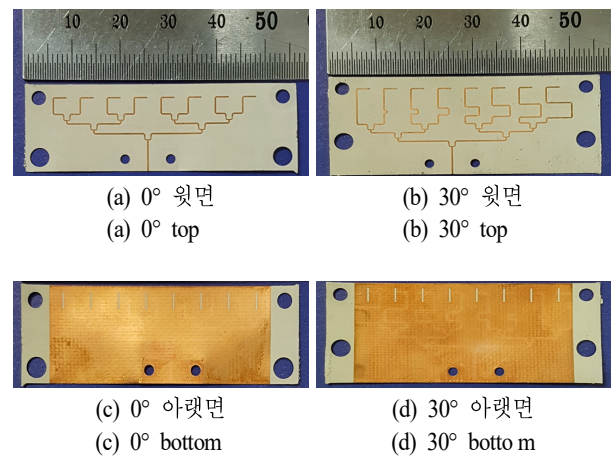


그림 9. 제작한 슬롯 배열안테나  
Fig. 9. Manufactured slot array antenna.

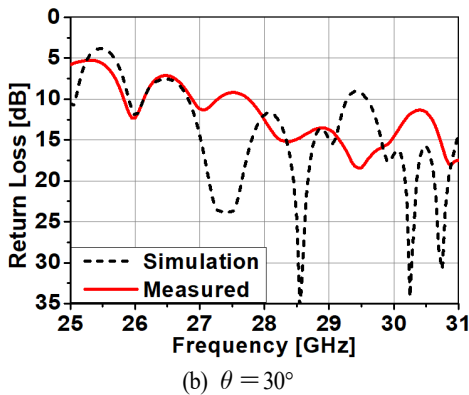
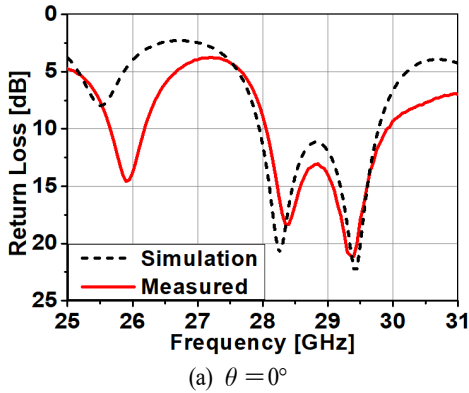


그림 10. 조향 각도( $\theta$ )에 따른 제작한 슬롯 배열안테나의 반사손실  
 Fig. 10. Return loss of manufactured slot array antenna.

프이다. 측정된 10 dB 반사손실 대역폭은 1.85 GHz으로 시뮬레이션 값인 1.83 GHz와 비슷한 결과를 얻었다.

그림 11은 제작한 슬롯 배열안테나의 yz 평면 방사 패턴을 나타낸다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 유사한 것을 확인하였으며, 측정된 최대이득은 11.4 dBi이다.

그림 12는 제작한 슬롯 배열 안테나의 빔 조향 성능 결과를 나타낸다. 점선으로 표시된 시뮬레이션 그래프는 그림 7(a)의 값과 같다. 빔 조향 각도가 0°와 30° 경우 모두 시뮬레이션과 유사한 성능을 갖는 것을 확인하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 28 GHz에서 다이폴, 슬롯, 패치 세 가지 기본 타입 배열안테나의 성능 비교 연구를 수행하였다. 자유공간에서 각 배열안테나의 빔 폭, 빔 조향 성능을

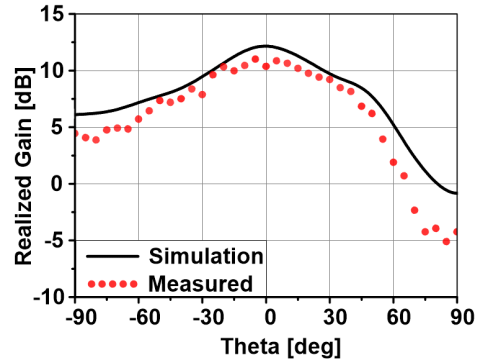


그림 11. 제작한 슬롯 배열안테나(0°)의 yz평면에서 방사 패턴  
 Fig. 11. Radiation pattern in yz plane of manufactured slot array antenna(0°).

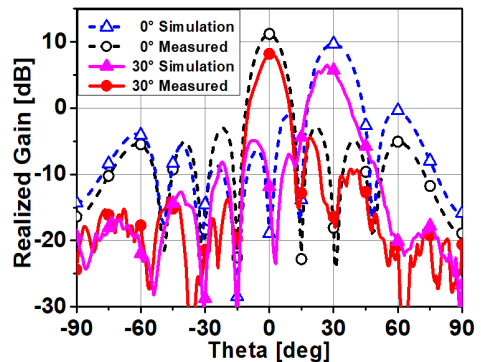


그림 12. 제작한 슬롯 배열안테나(0°, 30°)의 xz평면에서 방사패턴  
 Fig. 12. Radiation pattern in xz plane of manufactured slot array antenna(0°, 30°).

비교하였고, 실제 사용 환경을 고려한 인체 팬텀에서 성능을 비교 분석하였다. 안테나 성능 비교 결과, 배열안테나의 빔 커버리지 면에서 슬롯 타입이 우수한 성능을 갖는 것을 확인하였으며, 시제품 제작 및 측정을 통해 성능을 검증하였다. 실제 사용 환경에서 인체에 의한 안테나 성능저하 문제를 극복하기 위하여 인체에 둔감한 특성을 가지는 안테나 설계에 대한 연구가 추가적으로 요구된다.

본 논문에서 수행된 비교분석 연구 결과는 향후 밀리미터파 5G 단말용 배열안테나 개발에 활용 가능할 것으로 사료된다.

## References

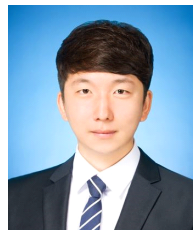
- [1] H. Xia, T. Zhang, L. Li, and F. Zheng, "A low-cost dual-polarized 28 GHz phased array antenna for 5G communications," in *2018 International Workshop on Antenna Technology (iWAT)*, Nanjing, 2018, pp. 1-4.
- [2] N. Ojaroudiparchin, M. Shen, and G. F. Pedersen, "Design of Vivaldi antenna array with end-fire beam steering function for 5G mobile terminals," in *2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, Belgrade, 2015, pp. 587-590.
- [3] Samsung Electronics, *Who & How: Making 5G NR Standards*, pp. 3-7, 2018.
- [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, 2017.
- [5] W. Hong, K. Baek, Y. Lee, Y. Kim, and S. Ko, "Study and prototyping of practically large-scale mmWave antenna systems for 5G cellular devices," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 9, pp. 63-69, Sep. 2014.
- [6] ANSYS. *ANSYS HFSS, V18*. Available: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss>.
- [7] Computer Simulation Technology. *CST Microwave Studio, ver. 2017*. Available: <https://www.cst.com/2017>.
- [8] N. O. Parchin, M. Shen, and G. F. Pedersen, "UWB MM-Wave antenna array with quasi omnidirectional beams for 5G handheld devices," in *2016 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB)*, Nanjing, 2016, pp. 1-4.
- [9] J. Bang, J. Choi, "A SAR reduced mm-wave beam-steerable array antenna with dual-mode operation for fully metal-covered 5G cellular handsets," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 6, pp. 1118-1122, Jun. 2018.
- [10] N. O. Parchin, M. Shen, and G. F. Pedersen, "End-fire phased array 5G antenna design using leaf-shaped bow-tie elements for 28/38 GHz MIMO applications," in *2016 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB)*, Nanjing, 2016, pp. 1-4.
- [11] M. Stanley, Y. Huang, H. Wang, H. Zhou, A. Alieldin, and S. Joseph, "A capacitive coupled patch antenna array with high gain and wide coverage for 5G smartphone applications," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 41942-41954, 2018.
- [12] M. Khalily, R. Tafazolli, T. A. Rahman, and M. R. Kamarudin, "Design of phased arrays of series-fed patch antennas with reduced number of the controllers for 28-GHz mm-Wave applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1305-1308, 2016.

### 김 선 료 [한양대학교/석사과정]



2015년 2월: 한양대학교 융합전자공학부 (공학사)  
 2018년 8월 ~ 현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 밀리미터파 안테나 설계

### 홍 영 택 [한양대학교/석·박사 통합과정]



2013년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)  
 2013년 3월 ~ 현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석·박사 통합과정  
 [주 관심분야] 밀리미터파 안테나 설계, WBAN 시스템, 전자파해석



방 지 훈 [한양대학교/석·박사 통합과정]



2016년 2월: 동양미래대학교 정보통신공학과 (공학사)  
2016년 3월 ~ 현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석·박사 통합과정  
[주 관심분야] 초고주파 회로해석 및 설계, 안테나 해석 및 설계

최 재 훈 [한양대학교/교수]



1980년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)  
1986년: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학석사)  
1989년: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학박사)  
1989년~1991년: 미국 Arizona State University 연구교수  
1991년~1995년: 한국통신위성사업단 연구팀장  
1995년~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수  
[주 관심분야] 이동통신 / 의료용 안테나 설계, 무선전력전송, WBAN 시스템, EMC