

6G 무선통신 시스템용 고지향성 Luneburg 렌즈 안테나

최윤선, 최동수, 정방철, 우중명

충남대학교

yschoi0703@o.cnu.ac.kr, onlypray4u@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr, jmwoo@cnu.ac.kr

Luneburg Lens Antenna for 6G Wireless Communications Systems

Yoon-Seon Choi, Dong-Su Choi, Bang Chul Jung, Jong-Myung Woo

Chungnam National University

요약

6G 통신 기술의 다중 MIMO 시스템에 적용하기 위한 luneburg 렌즈 안테나로써, 방사기인 도파관의 지향성을 증대시키고, 도파관의 위치에 따라 렌즈를 통과해 나오는 전파의 방사 방향 조절이 가능한 빔 특성을 확인하였다. 시뮬레이션 결과, 방사기로 사용할 도파관은 설계 중심주파수 9.375 GHz에서 -20 dB의 S_{11} 특성을 얻었으며, 빔 폭은 E-plane 방향으로 104° , H-plane에 대하여 62° 를 얻었다. 또한, luneburg 렌즈의 직경에 따른 굴절률, 즉 유전체의 유전 상수를 이용하여 원하는 빔 폭 구현을 위한 렌즈를 설계하여, 3개의 안테나가 동시에 급전 시, 독립적으로 방사됨을 확인하였고, 이로부터 빔 조향 안테나로써의 구현 가능성을 확인하였다.

I. 서론

최근 6세대 무선 통신 시스템에 대한 관심이 뜨겁다. 또한, 무선통신 시스템의 주파수 대역은 기술의 발전에 따라 점점 높아지고, 고출력, 장거리 전송에 대한 요구 또한 증대되고 있다. 따라서, 고주파수 대역에서 무선통신의 효율적이고 원활한 송수신을 가능하게 하는 기술에 대한 다양한 연구를 필요로 한다. 이에 널리 사용되는 빔 조향 안테나는 신호를 원하는 특정 방향으로 집중시킴으로써 송출 전력을 증폭하지 않으면서 수신기에 전달되는 신호 품질을 향상시킬 수 있다 [1]. 한편, 전파가 유전 물질을 통과할 때, 이동 거리에 따라 서로 다른 위상 지연을 겪게 되는 원리를 안테나에 이용한 것이 렌즈 기반 안테나이다[2][3]. 따라서, 본 논문에서는 다양한 렌즈 구조 중 구 대칭성 구조로 멀티 빔 형성이 가능한 luneburg 렌즈[4]를 이용하여 빔 특성을 도출하고자 한다. 이를 위해 먼저, 렌즈의 원하는 위치로 전파 신호를 인가하기 위한 급전기로 도파관을 사용하여 설계하였다. 다음으로, 유전 상수 변경을 통한 luneburg 렌즈 안테나를 설계하고, 최종적으로, 도파관 급전에 의한 빔 지향 및 빔 스캐닝의 가능성을 확인하였다. 이들 결과들에 대해 기술하고자 한다.

II. 본론

먼저, 급전기로 사용할 도파관을 그림 1(a) 구조와 같이 설계하였다. 표준 도파관 WR-90의 경우, X-band(설계 중심주파수 9.375 GHz, $\lambda = 3.2$ cm) 구형 도파관의 폭 a 는 22.86 mm, 높이 b 는 10.16 mm이다.

시뮬레이션 결과, 그림 1(b)에 나타난 바와 같이, 도파관의 S_{11} 특성은 중심주파수 9.375 GHz에서 -20 dB를 얻었다. 그림 1(c), (d)에는 표준 도파관의 E-plane과 H-plane 방사패턴을 나타내었다. 빔 폭은 E-plane 방향으로 104° , H-plane에 대하여 62° 를 얻었다.

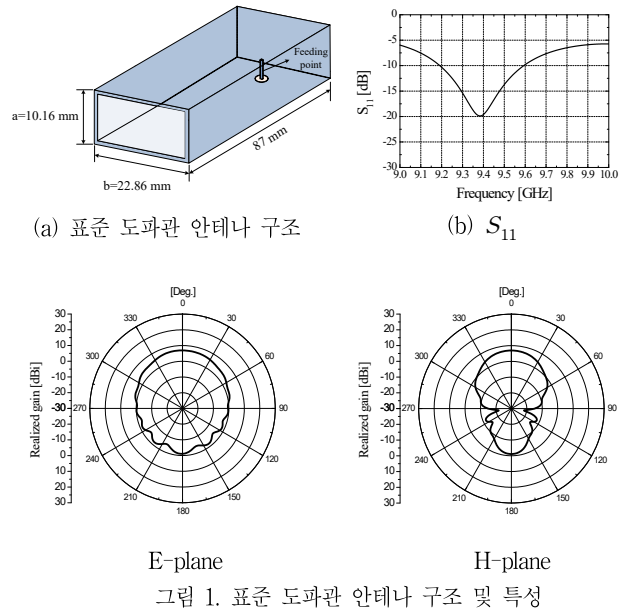


그림 1. 표준 도파관 안테나 구조 및 특성

다음으로, 그림 2에 나타난 luneburg 렌즈 구조의 기본 원리[5]를 살펴보면, 렌즈의 굴절률은 렌즈의 중심점에서 가장 크고, 구의 외부로 갈수록 공기에 가까운 값을 갖는다. 이러한 굴절률은 구를 이루는 유전체의 유전 상수로 나타낼 수 있으며, 이는 식 (1)과 같이, 구의 반경에 대한 함수로 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_r = 2 - (r/R)^2 \quad (1)$$

여기서, ϵ_r 은 물질의 비유전율, r 은 렌즈의 중심으로부터의 거리, R 은 렌즈의 반지름을 의미한다.

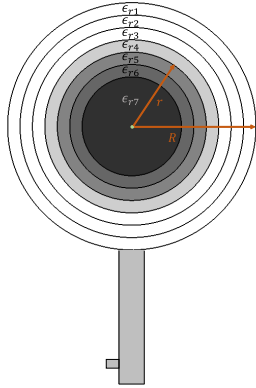


그림 2. luneburg lens 안테나 구조

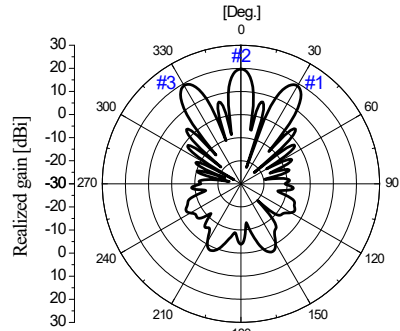
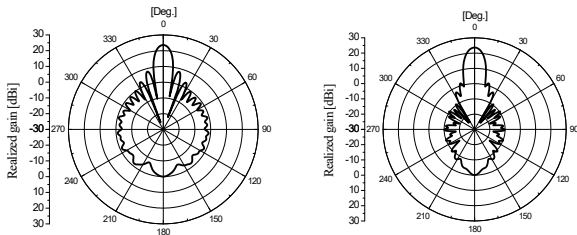


그림 5. luneburg lens 안테나 빔 조향 특성



E-plane H-plane
그림 3. luneburg 렌즈 안테나 방사패턴

III. 결론

본 논문은 6G 통신 기술의 다중 MIMO 시스템에 적용하기 위한 luneburg 렌즈 안테나 설계로써, 방사기인 도파관을 이용하여 빔 조향 특성 및 스캐닝 특성을 확인하였다. 그 결과, 안테나의 빔 폭이 E-plane 방향으로 11°, H-plane에 대하여 9.5°의 특성을 얻었다. 또한, 3개의 도파관에 동시 급전 시 각각 3개의 독립적 지향 특성을 얻었다. 따라서, 방사기 안테나의 지향성을 증대시키고, 방사기의 위치에 따라 렌즈를 통과해 나오는 전파의 방사 방향 조절이 가능한 빔 특성을 구현할 수 있는 빔 조향 안테나로의 역할이 가능함을 검증하였다.

luneburg 렌즈 안테나의 직경은 6λ (192 mm)로 설정하였고, 시뮬레이션 결과는 그림 3에 나타난 바와 같이, 안테나의 빔 폭이 E-plane 방향으로 11°, H-plane에 대하여 9.5°의 특성을 얻었다. 따라서, 렌즈를 이용하여 방사기인 도파관 안테나의 지향성을 증대시킬 수 있음을 확인하였다.

최종적으로, 방사기의 위치에 따라 방사 방향 조절이 가능하도록 구현하기 위한 구조를 그림 4에 나타내었다. 방사기를 배치하는 각도에 따라 빔을 원하는 방향으로 조향하기 위함이다. 방사기는 중심 안테나를 기준으로 하여 E-plane 쪽의 30° 각도로 배치하였다. 시뮬레이션 된 빔 패턴 결과는 그림 5에 나타내었다. 그 결과, 방사기를 배치한 각도인 30°로 빔 조향된 특성을 확인할 수 있으며, 이로써 방사기의 위치에 따라 렌즈를 통과해 나오는 전파의 방사 방향 조절이 가능함을 증명하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2021-0-00486, ABC-MIMO: 증강 빔라우팅 기반 차세대 다중 입출력 통신 시스템)

참고 문헌

[1]정재호, et al. "초고주파대역 무선통신시스템 기술 동향.", 2019.
 [2]Gomez-Correa, J. E., et al., "Three-dimensional ray tracing in spherical and elliptical generalized Luneburg lenses for application in the human eye lens.", *Applied optics*, vol.55, no.8, pp.2002-2010, 2016.
 [3]Gao, Ju, et al, "Beam steering performance of compressed Luneburg lens based on transformation optics." *Results in Physics*, vol.9, pp. 570-575, 2018.
 [4]Saghlatoon, Hossein, et al. "X band 3D-Printed Electrically-Small Luneburg Lens." *2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting. IEEE*, 2020.
 [5]우종명, "반사판 부착 반구형 르네베르그렌즈 안테나 (Hemisphere Type Luneburg Lens Antenna with a Reflector)." *한국전자과학회논문지*, vol. 11, no. 6, pp. 1006-1014, 2000.

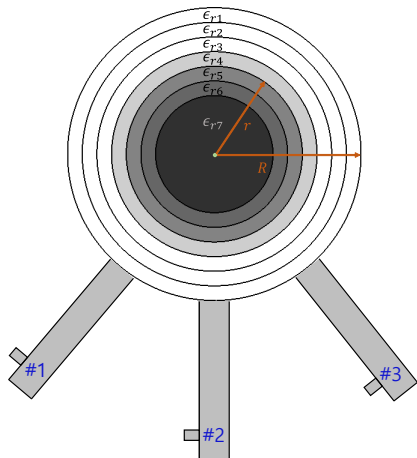


그림 4. luneburg lens 안테나 배열 구조