

전송 효율을 높인 Transmitarray Antenna

김현건, 장태환*
한양대학교 ERICA 캠퍼스 전자공학부

rb8285@hanyang.ac.kr, *hundredwin@hanyang.ac.kr

A High Transmission Efficiency Transmitarray Antenna

Kim Hyeon Geon, Jang Tae Hwan*
Hanyang Univ Erica Campus Department of Electronic Engineering.

요약

본 논문은 28GHz에서 동작하는 세 개의 금속 층으로 이루어진 Transmitarray Antenna를 (이하 TA) 제안한다. 각 단위 셀은 두 개의 유전체 기판 위에 장착된 세 개의 구리 층과 여덟 개의 비아로 구성되어 있다. 제안된 TA는 100개의 단위 셀로 Array를 정 사각형 모양으로 구성하고 패치의 모양은 Spiral Shape dipole에서 팔을 한번 더 구부린 형태로 비아와 함께 전송 성능을 향상시키기 위해 채택되었다. 비아를 사용하여 최대 전송 성능을 개선한 단위 셀은 28GHz에서 전송 크기가 약 -3dB 이상에서 260°의 위상 변화 범위를 달성했고 TA는 시뮬레이션 결과 28GHz에서 17.15dBi의 이득, 7.6%의 1dB 이득 대역폭을 가지게 된다.

I. 서론

최근 데이터 사용량의 증가로 인해 넓은 대역폭을 갖는 5G 주파수 대역에 대한 수요가 증가하고 있다. 5G 네트워크는 특히 데이터 전송 속도와 연결성 면에서 좋은 개선안이지만, 고주파수 대역에서 경로 손실이라는 큰 문제에 직면해 있다. TA (Transmit array Antenna)는 이득의 향상, 빔 조향, 적은 경로 손실 그리고 비교적 작은 형태의 장점으로 위성 통신 기술에 적합해 많은 관심을 받고 있다.[1] TA는 Transmit array로 이루어진 안테나 요소와 Feed source로 구성된 구조를 가진다. Transmit array는 Feed antenna에 의해 조명될 때 각 단위 셀의 위상을 조절함으로써 원하는 방사 패턴을 얻을 수 있다. [1]에서는 세 개의 금속 층에서 Spiral-dipole shape의 단위 셀이 제시되었으며 [2],[3]에서 두 개의 금속 층에서 Cross dipole과 Spiral shape dipole 형태를 결합하여 360° 위상 변화 범위를 가지는 더 경량화 된 단위 셀이 제시되었다. 본 논문에서의 TA는 공기층을 사용하지 않아 [1]에서보다 경량화 된 모양을 제시하고, 비아를 사용하고 [2][3]에서 패치의 형태를 개량하여 전송 성능을 향상시킨 단위 셀 모양을 제시한다.

II. 본론

2.1 단위 셀 설계

그림 1.은 제안된 TA에서 유전체 위에 3개의 구리 패치층을 가진 단위 셀의 형태를 보여준다. 제안된 단위 셀의 작동 주파수는 28GHz이며 단위 셀 사이의 거리(S)는 반 파장(0.5λ₀)인 5.2mm를 채택하였고 유전체는 1.58mm의 두께를 가지는 Taconic-TLY(ε_r=2.2, tanδ=0.0009) 기판을 사용하였다. 패치 디자인은 공간 활용률이 좋고 부드러운 기울기를 가지며 좋은 위상 이동 범위를 얻게 되어 요소가 대역 특성을 가지게 되는 Spiral shape dipole을 제한된 단위 셀 크기 내에서

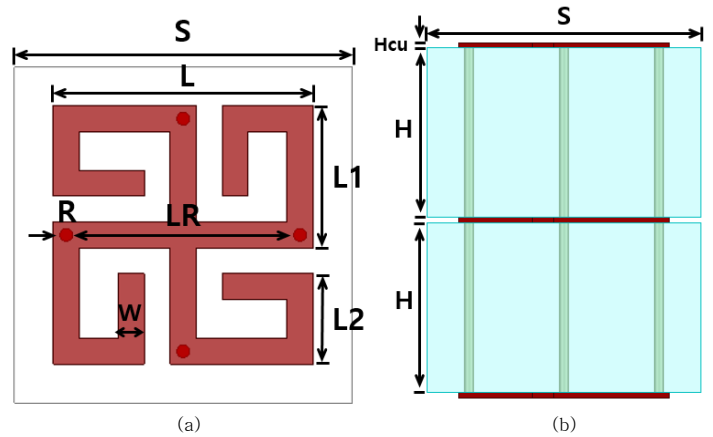


그림 1. (a) Spiral Shape dipole unit cell (b) 3층의 패치 구조

표 1. 단위 셀 치수

Parameter	Value (mm)	Parameter	Value (mm)
S	5.2	H	1.58
L	3.2	Hcu	0.0018
L1	1.76	R	0.2
L2	1.12	W	0.32
LR	2.88		

전통적인 다이폴 요소의 길이를 변경하는 것만으로는 전송 성능이 충분하지 않다고 판단하여 대칭을 유지한 채로 다이폴 팔을 한번 더 구부려 다이폴 길이를 연장한 이후 8개의 비아를 사용하여 전송 성능을 향상시켰다. 이를 통해 약 260°의 위상 변화 범위를 가지면서 기존의 비슷한 형태의 단위 셀과 비교해 보았을 때 전송 성능이 향상되고 보다 경량화 된 모습을 볼 수 있고[1], 하나의 통일된 디자인으로 두 개 이상의 디자인을 사용해야 하는 복잡성을 개선시켰다. [2][3]

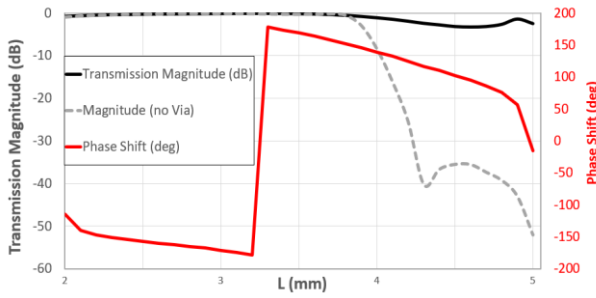


그림 2. 전송 크기와 위상 지연 및 비아의 유무 차이.

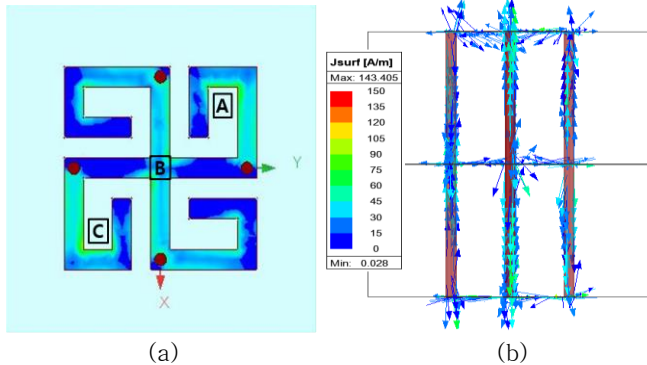


그림 3. (a) 패치에 흐르는 전류 분포 (b) 비아에 흐르는 전류 벡터.

L을 2mm에서 5mm까지 조절하면서 그림 2.에서 Plot된 단위 셀의 위상 지연 범위와 전송 크기를 얻는다. W, L1, L2, LR 등의 값은 L의 큰 범위 변화를 유지하기 위해 L에 의존적인 값을 가지며 그림 2.에서 볼 수 있듯이 더욱 선형적인 기울기를 가질 수 있게 해준다. 보다 상세한 치수는 Table 1에 나타나 있다. L이 2mm에서 5mm로 변화할 때 약 260°의 위상 변화 범위를 가진다. 그림 2.에서 검은색 실선과 회색 점선은 각각 비아의 유무에 따른 전송 성능을 보여준다. 이를 비교해보면 L = 3.75mm 부근부터 비아가 없는 단위 셀의 전송 크기가 확연하게 떨어짐을 보여준다. 그림 3.에서는 단위 셀에서의 전류 분포와 벡터를 나타낸다. 그림 (a)에서는 전체 단위 셀 위에 장착된 패치의 전류 분포를 나타낸다. A, B, C의 위치에서 전류가 흐르는 것으로 패치 요소 각각의 길이 변화는 위상 변화에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.[3] 그림 (b)에서는 비아를 통한 상부 하부의 패치 간의 에너지 전송 흐름을 나타낸다. 비아를 통한 에너지 전송이 무시할 수 없을 정도의 크기를 가지고 있어 전송 성능 향상을 기대할 수 있다.

2.2 Transmit array Antenna 설계 및 시뮬레이션 결과

그림 4.는 Ansys HFSS를 사용하여 제안된 TA의 시뮬레이션 성능을 보여준다. 28GHz 대역에서 각도에 따른 방사 패턴이 집중된 빔의 형태로 나타난다는 것을 알 수 있고 주파수에 따른 이득 Plot으로 Via의 유무에 관한 주파수 대역폭 차이와 이득을 비교해볼 수 있다. 각각 28GHz에서 시뮬레이션 측정 이득이 17.15dBi, 15.38dBi, 30GHz에서 Peak gain을 가지며 19.0dBi, 16.46dBi의 이득을 달성한다. 첫 번째 사이드 로브의 값도 비아를 사용하는 것이 더 정돈되며 약 0.2dBi 값이 줄어든다. 표 2는 위의 내용을 요약 및 정리하여 수치를 비교한다. 시뮬레이션 이득 값이 2dB 가량 증가하면서 1dB 이득 대역폭은 조금 줄어들지만 더 우수한 전송 효율을 가진 TA의 성능을 검증한다.

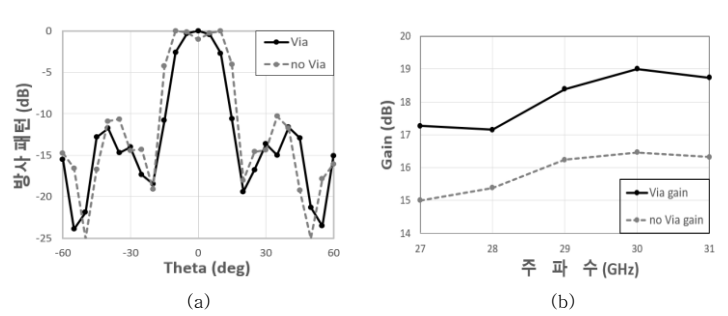


그림 4. 안테나 시뮬레이션 결과

표 2. TA 수치 비교

Ref.	주파수 (GHz)	Gain (dBi)	위상 변화 (°)	1dB 이득 대역폭 (%)
with Via	30	19.0	260	7.6
w/o Via	30	16.46	200	8.3

III. 결론

본 논문에서는 전송 효율을 높이기 위한 세 개의 금속 층과 여덟 개의 비아를 사용한 TA를 제안한다. 제안된 TA는 개량된 패치 모양으로 설계 복잡성이 개선되고 공기층을 사용하지 않아 두께, 질량 등에서 경량화되었다. 전통적인 모양에서 개량된 패치 모양과 비아는 단위 셀의 평균 전송성능을 향상시키기 위해 사용되었으며, 약 260°의 위상 변환 범위를 가지면서 L=3.75mm의 기점으로 더욱 우수한 전송 성능을 보여준다. 결과적으로 TA의 시뮬레이션 결과는 28GHz에서 17.15dBi의 이득, 30GHz에서 19dBi의 Peak gain을 가지며 7.6%의 1dB 이득 대역폭을 달성한다. 이 설계는 고효율 안테나 시스템 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

참고 문헌

- [1] A. H. Abdelrahman, A. Z. Elsherbeni and F. Yang, "High-Gain and Broadband Transmitarray Antenna Using Triple-Layer Spiral Dipole Elements," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 13, pp. 1288-1291, 2014, doi: 10.1109/LAWP.2014.2334663.
- [2] S. Yang, Z. Yan, M. Cai, F. Fan and T. Zhang, "A High-Efficiency Double-Layer Transmitarray Antenna Using Low-Loss Dual-Linearly Polarized Elements," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 19, no. 12, pp. 2378-2382, Dec. 2020, doi: 10.1109/LAWP.2020.3033460.
- [3] X. Yi, T. Su, X. Li, B. Wu and L. Yang, "A Double-Layer Wideband Transmitarray Antenna Using Two Degrees of Freedom Elements Around 20 GHz," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, no. 4, pp. 2798-2802, April 2019, doi: 10.1109/TAP.2019.2893265.