

24 GHz 백스캐터 시스템을 위한 EBG 구조 설계

이건웅, 김성민*

한국과학기술원

{geonung24, *songmin}@kaist.ac.kr

Design of EBG Structures for 24 GHz Backscatter System

Lee Geon Ung, Kim Song Min

KAIST.

요약

밀리미터파 백스캐터 시스템에서 높은 데이터 전송률을 달성하기 위하여 고이득 안테나 배열 설계가 요구되고 있으며, 이로 인한 상호 간섭(mutual coupling) 문제가 주요한 과제로 대두되고 있다. 본 논문에서는 안테나 간 기판을 통해 전달되는 표면파를 억제하여 격리도를 향상시키기 위한 24 GHz 대역 EBG(Electromagnetic Band-Gap) 구조를 설계한다. Ansys HFSS 시뮬레이션을 이용해 설계된 EBG 구조의 성능을 분석한 결과, 미적용 모델 대비 안테나 간 격리도(S21)가 최대 10dB 개선됨을 확인하였다. 본 연구 결과는 안테나 배치 간격이 좁은 밀리미터파 대역 백스캐터 시스템에서 신호 간섭을 줄여 통신 신뢰성을 확보하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

I. 서 론

사물인터넷(IoT) 기술의 발전과 함께 배터리 없이 구동 가능한 백스캐터(Backscatter) 통신이 차세대 네트워크 기술로 주목받고 있다. 특히, 높은 데이터 전송률과 태그 소형화에 유리한 밀리미터파 대역에서의 백스캐터 시스템 활용 연구가 활발하게 이뤄지고 있으며, 탐지거리 확보를 위한 안테나 빔포밍 이득을 확보할 수 있는 Van-atta 배열을 적용한 연구가 활발하다 [1, 2, 3].

하지만 이와 같은 밀리미터파 대역의 고이득 안테나 배열 설계는 제한된 공간 내에 다수의 안테나를 배치하고, 이러한 밀집 배치에 따른 낮은 격리도(Isolation)는 안테나간 심각한 상호 간섭(Mutual Coupling) 문제를 야기한다. 이는 신호의 왜곡을 발생시키고 시스템의 통신 신뢰성을 저하시키는 주된 원인이 된다. 특히, 고주파 대역 안테나에서 주로 사용되는 기판을 공유하는 평면형 패치 안테나 구조에서는 유전체 기판 내부를 따라 흐르는 표면파(Surface Wave)에 취약하여 누설 신호가 인접 안테나로 유입되어 간섭을 심화시킨다.

따라서 고이득 안테나 배열을 적용한 밀리미터파 백스캐터 시스템의 안정적인 동작을 위해서는 좁은 이격 거리 내에서도 구조적으로 간섭을 차단할 수 있는 기법이 필수적이다. 이에 본 논문에서는 기판을 통해 전달되는 표면파를 억제하는 EBG(Electromagnetic Band-Gap) 구조를 제안한다. 시뮬레이션을 통해 검증한 결과, 제안된 구조는 EBG 미적용 모델 대비 안테나 간 격리도를 최대 10 dB 향상시키는 효과를 확인하였다.

II. 본론

1. 시뮬레이션 환경 및 기판 물성

본 연구에서는 24 GHz 밀리미터파 대역에서의 전자기적 특성을 정밀하게 분석하기 위해 3D 전자기장 시뮬레이션 툴인 Ansys HFSS 를 이용하여 안테나 및 EBG 구조를 설계하였다. 기판은 밀리미터파 대역에서의 신호 손실을 최소화하고 안정적인 유전율을 확보하기 위해 Rogers RO4003C 를 선정하였다. 시뮬레이션에 적용된 기판의 두께는 8 mil(약 0.203 mm)이며, 동박(Copper)의 두께는 0.5 oz(약 0.018 mm)으로 실제 공정에서 요구하는 사양으로 설정하였다.

2. 시뮬레이션을 활용한 EBG 최적화

그림 1 과 같이 Top 면과 Ground 가 Via 을 통해 연결되는 머쉬룸(Mushroom) 타입 EBG 을 기반으로 24 GHz EBG 을 설계하였다 [5]. EBG 형상과 치수에 따라 특정 L, C 값이 유도된다. 본 연구에서는 HFSS 를 활용하여 EBG 의 형상과 치수를 24 GHz 에 맞도록 최적화하였다. 특히, 실제 PCB 생산 공정에서 발생할 수 있는 패턴 치수 오차와 기판 유전율의 미세한 변화를 고려하여 설계 마진을 확보하였다. 공정 오차로 인해 공진 주파수가 의도치 않게 이동하는 것을 고려하여, 시뮬레이션상의 목표 대역을 실제 타겟인 24 GHz 주파수 대역보다 넓은 주파수 대역에서 동작하도록 파라미터를 조절함으로써, 실제 제작 시 안정적으로 24 GHz 대역을 커버할 수 있도록 설계하였다. 최적화된 EBG 의 형상 및 배열 구조는 그림 2 와 같다.

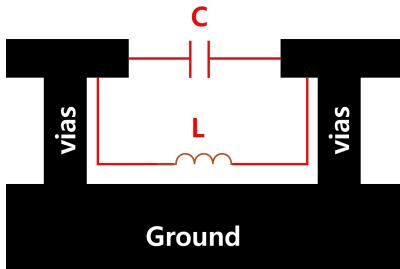


그림 1 머쉬룸 EBG 구조의 단면도 및 LC 등가 회로

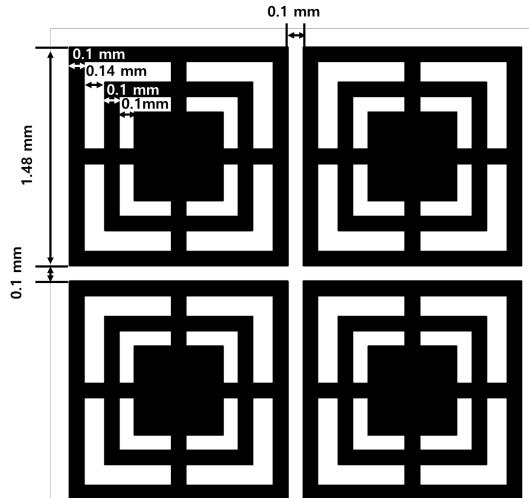


그림 2 24 GHz EBG 설계 구조

3. 안테나와 EBG 구성

본 연구에서는 24 GHz 중심 주파수에서 동작하는 백스캐터 태그를 가정하여 두 개의 안테나 배열과 그 사이와 바깥에 EBG 어레이가 배치된 구조를 기반으로 23.5 ~ 25.5 GHz 대역에서 시뮬레이션을 수행하였다.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

설계된 구조의 효용성을 검증하기 위해, EBG 미적용 모델과 적용 모델 간의 상호 결합 특성(S_{21})을 중점적으로 비교 분석하였다. 그림 3과 같이 시뮬레이션 결과, EBG 구조가 적용된 모델은 미적용 모델 대비 최대 10 dB 향상되었고, 최대 약 -42 dB의 격리도(S_{21})를 확보하였다. 이는 2 열로 배치된 EBG 배열이 기판을 타고 흐르는 표면파를 효과적으로 차단함으로써, 근접 배치된 안테나 간의 간섭 문제를 해결하고 시스템의 통신 신뢰성을 크게 높일 수 있음을 시사한다.

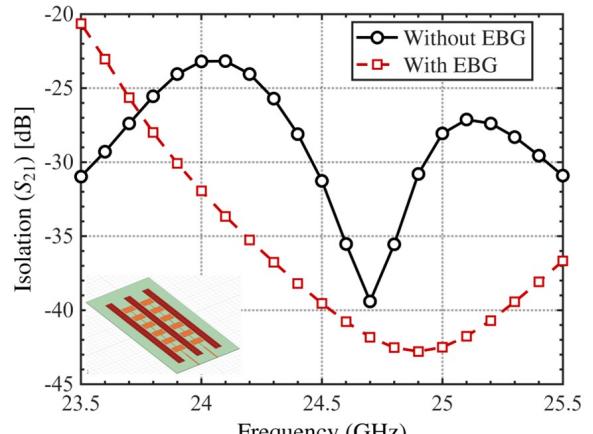


그림 3 EBG 적용에 따른 안테나 간 격리도 시뮬레이션 결과

III. 결론

안테나 간의 높은 격리도 확보는 전반적인 통신 신뢰성을 결정짓는 핵심 지표이다. 특히 고이득 안테나 배열을 적용한 백스캐터 시스템에서는 회로와 안테나 간 거리 간격에 제약이 있어 추가적인 격리도를 확보해줄 구조적 설계가 필수적이다. 본 논문에서 제안하고 검증한 EBG 구조는 24 GHz 대역에서 안테나 간 상호 결합을 효과적으로 차단함으로써, 밀리미터파 백스캐터 시스템의 성능을 보장하는 핵심 요소로서 기능할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00213816). We would like to acknowledge the technical support from ANSYS Korea.

참 고 문 현

- [1] E. Soltanaghaei et al., "Millimetro: mmWave retro-reflective tags for accurate, long range localization," in Proc. MobiCom, 2021, pp. 69– 82.
- [2] M. H. Mazaheri, A. Chen, and O. Abari, "mmTag: a millimeter wave backscatter network," in Proc. ACM SIGCOMM, 2021, pp. 463– 474.
- [3] K. M. Bae, H. Moon, S.-M. Sohn, and S. M. Kim, "Hawkeye: Hectometer-range subcentimeter localization for large-scale mmWave backscatter," in Proc. ACM MobiSys, Helsinki, Finland, 2023, pp. 303– 316.
- [4] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Microstrip antennas integrated with electromagnetic band-gap (EBG) structures: a low mutual coupling design for array applications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 51, no. 10, pp. 2936– 2946, Oct. 2003.
- [5] D. Sievenpiper, "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 47, no. 11, pp. 2059–2074, Nov. 1999