

Ka 대역 안테나 빔 패턴 추정을 위한 커플링 라인 감지 보드 연구

홍석연, 남승구, 이보영, 최세환
한국전자기술연구원

sy116.hong@keti.re.kr, senggu@keti.re.kr, boyounglee@keti.re.kr, shchoi@keti.re.kr

Study on the Beam Estimation for Ka-Band Antennas via Coupling-Line Detection Board

Seokyeon Hong, Seunggoo Nam, Boyoung Lee, Sehwan Choi
Korea Electronics Technology Institute

요약

본 논문에서는 Ka 대역 배열 안테나의 빔 조향 성능을 추정하기 위한 새로운 형태의 커플링 라인 감지 보드를 제안한다. 기존의 안테나 빔 패턴 측정 방식은 원거리장(Far-field) 환경이나 챔버와 같은 넓은 공간과 고가의 네트워크 분석기를 필요로 한다. 반면, 본 연구에서 제안하는 방식은 안테나 근거리장영역에 커플링 라인이 패턴화된 보드를 배치하여, 커플링된 신호를 파워 디텍터(Power Detector)를 통해 DC 전압으로 변환함으로써 빔의 방향과 크기를 추정한다. 28 GHz 대역에서 제작된 감지 보드와 1x4 배열 안테나를 이용한 측정 결과, 빔의 조향 각도(Boresight, 좌/우 틸팅)에 따라 감지된 전압 레벨의 변화가 시뮬레이션 결과와 일치하는 경향성을 보였다. 본 방식은 저비용, 소형화가 가능하여 양산 단계에서의 안테나 성능 검증에 유용하게 활용될 수 있다.

I. 서 론

전통적인 안테나 방사 패턴 측정은 무반향실(Anechoic Chamber) 내에서 회전 모터와 흡수체를 이용하여 원거리장 조건을 형성한 후 수행된다. 이러한 방식은 정확한 빔 패턴을 얻을 수 있으나, 넓은 설치 공간과 높은 구축 비용, 그리고 긴 측정 시간이 소요된다는 단점이 있다. 또한, 근거리장 스캐닝(Near-field scanning) 방식 역시 고가의 장비가 필요하며 측정 시간이 오래 걸린다.

이에 본 논문에서는 안테나 근접 영역에 주파수 선택 표면(FSS) 기술을 적용한 커플링 라인 감지 보드를 배치하여 안테나 빔을 추정하는 효율적인 방식을 제안한다. 제안된 방식은 고가의 RF 장비 대신 파워 디텍터 IC를 활용하여 안테나에서 방사된 신호를 DC 전압 레벨로 변환, 이를 분석하여 빔의 조향 상태를 파악한다. 이는 공간 효율성과 비용 효율성을 극대화할 수 있는 솔루션이다.

II. 감지 보드 설계 및 구조

본 연구에서는 28 GHz 대역의 AiP(Antenna-in-Package) 빔 추정을 위해 TLY-5 기판(두께 1.52 mm)을 사용하여 감지 보드를 설계하였다. 감지 보드는 안테나 상단 8.7 mm(보어사이트 기준 최대 커플링 지점) 위치에 배치되었으며, 안테나 방사 성능에 미치는 영향을 최소화하도록 설계되었다. 보드에는 5.2 mm 간격으로 금속 커플링 라인이 배치되어 있으며, 각 라인의 끝단에는 ADL6010 파워 디텍터가 장착되어 있다.

안테나에서 방사된 RF 신호는 커플링 라인을 통해 파워 디텍터로 전달되고, 신호의 세기에 비례하는 DC 전압으로 변환된다.

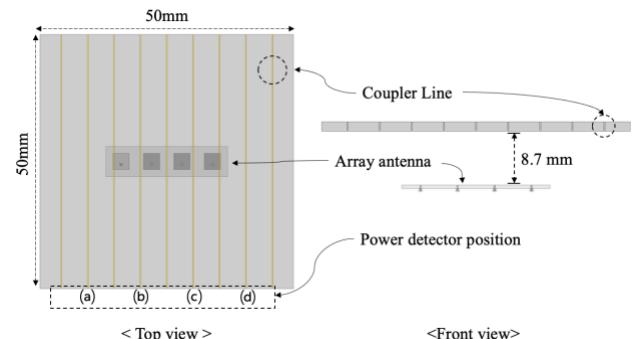


Fig 1. Positioning and design of the detection board

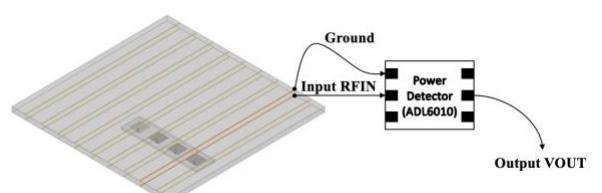


Fig 2. Topology of the beam estimation board.

III. 시뮬레이션 및 측정 결과

제안된 방식의 검증을 위해 1×4 배열 안테나의 빔을 Boresight(0도), 좌측 20도, 우측 20도로 조향했을 때의 전압 변화를 시뮬레이션 및 측정하였다. 측정 결과, 빔이 조향된 방향에 위치한 커플링 라인 및 파워 디렉터에서 더 높은 DC 전압이 검출되는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 예를 들어 Boresight 빔(Case 2)의 경우 중앙부의 디렉터에서 가장 높은 전압이 측정되었으며, 빔이 기울어질 경우(Case 1, 3) 해당 방향의 디렉터 전압 레벨이 상승하였다. 이는 근거리장에서 획득한 DC 전압 데이터만으로도 안테나의 빔 조향 방향과 이득 크기를 대략적으로 추정할 수 있음을 의미한다. 또한, 감지 보드 유무에 따른 안테나 방사 패턴 비교 결과, 보드가 안테나의 원거리장 방사 성능에 미치는 영향은 미미한 것으로 확인되었다.

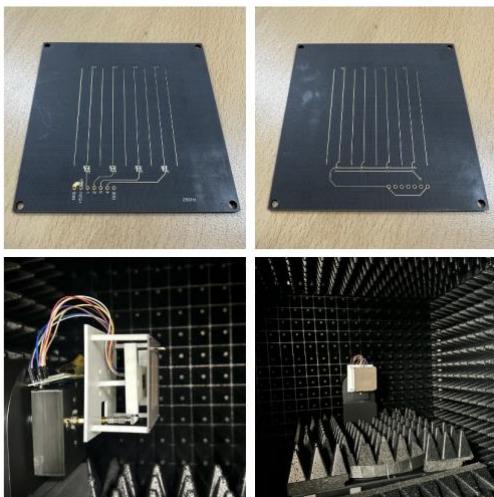


Fig 3. The fabricated model and the measurement environment

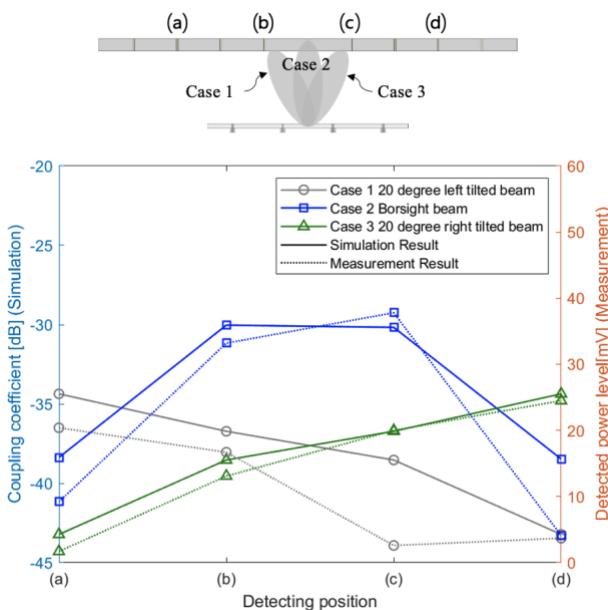


Fig 4. Comparison of the simulation and measurement results.

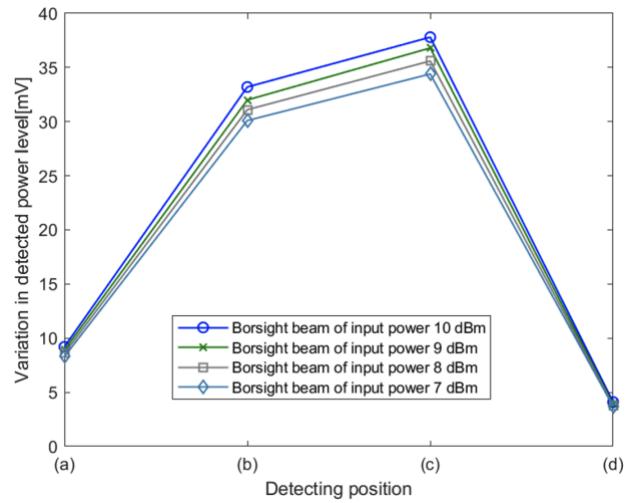


Fig 5. Measurement results of the boresight beam in terms of input power

IV. 결론

본 논문에서는 별도의 고가 RF 측정 장비 없이 파워 디렉터와 커플링 라인 보드만으로 안테나 빔 패턴을 추정할 수 있는 기법을 구현하고 검증하였다. 제안된 방식은 기준 챔버 방식 대비 시스템 구축 비용과 공간을 획기적으로 줄일 수 있다. 비록 원거리장 정밀 측정에 비해 해상도는 낮을 수 있으나, AiP 양산 공정에서의 불량 검출이나 시스템 운용 중 실시간 성능 모니터링 등 저비용·고속 검증이 필요한 분야에서 높은 활용도를 가질 것으로 기대된다..

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2026년도 중소기업기술정보진흥원 연구비 지원에 의한 연구임. [RS-2024-00446298, 6G Massive MIMO 기지국용 공간필터 일체형 안테나 모듈]

참 고 문 헌

- [1] L. H. Chang et al., "An X-band waveguide jig for pre-screening testing of fully-integrated elementary phased-array transceiver antenna-in-package," in Proc. PIERS, 2018, pp. 1248–1253.
- [2] S. Hong, Y. Kim, and J. Oh, "Automobile laminated glass window embedded transmitarray and ray tracing validation for enhanced 5G connectivity," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 70, no. 8, pp. 6671–6682, 2022.
- [3] S. Hong, S. Nam, S. Choi, J. Joo and J. Han, "Advanced Beam Estimation for Antennas Via Patterned Coupling-Line Detection Board in Ka-Band," J. Electromagn. Eng. Sci., vol. 24, no. 5, pp. 524–529, Sep. 2024.