

다중 포트 Magic-T 급전 구조에 의한 8×8 패치 배열 안테나의 빔 분할 설계

Beam-Splitting Design of an 8×8 Patch Array Antenna Using a Multiport Magic-T Feed Structure

백 민 철 · 민 경 식* · 여 유 석

Min-Cheol Paek · Kyeong-Sik Min* · You-Seok Yeoh

요 약

본 논문에서는 다중 포트용 Magic-T 급전 구조를 응용한 8×8 패치 배열 빔 분할 안테나의 설계기법을 제안한다. 제안된 안테나는 별도의 위상 제어회로 없이 4개의 sub-array 간 동위상/역위상 분배를 구현하여, 선택된 급전 포트에 따라 1개, 2개, 4개의 빔이 방사된다. 8×8 배열로부터 발생할 수 있는 전송 손실 증가, 포트 간 결합 증가 및 방사 성능 저하를 최소화하기 위한 최적 배열 설계를 하였다. 설계 중심주파수에서 측정된 반사계수는 -15 dB 이하의 양호한 특성을 보였으며, 포트 간 격리도는 동작 대역 전반에서 -30 dB 이하를 유지하였다. 포트 1, 포트 2 그리고 포트 3의 측정된 피크 이득은 각각 19.41, 12.78, 20.74 dBi로 나타났다. 마이크로스트립 라인 급전에 슬롯 라인을 도입하여 위상제어를 구현함으로써, 8×8 배열 방사 안테나의 구조적 변경 없이 빔을 명확하게 분할할 수 있었다.

Abstract

This paper proposes the design of an 8×8 patch array beam-splitting antenna employing a Magic-T feeding structure for multiports. The proposed antenna achieves in-phase and out-of-phase excitations among four subarrays without using an additional phase-control circuit, enabling the radiation of one, two, or four beams according to the selected feed port. An optimized array configuration was adopted to suppress the increase in transmission loss, interport coupling, and radiation performance degradation that can occur in an 8×8 array. The measured reflection coefficient was less than -15 dB at the design center frequency, and the interport isolation was maintained below -30 dB over the operating band. The measured peak gains for Ports 1, 2, and 3 were 19.41, 12.78, and 20.74 dBi, respectively. By introducing a slot line into the microstrip feed network for phase control, clear beam splitting was achieved without the structural modification of the 8×8 radiating array.

Key words: Magic-T, Beam-Splitting, Patch Antenna Array, Multiport Feeding, Ku-Band

「본 과제(결과물)는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25483332).」

「본 결과물은 LPKF Korea의 안테나 시제품 제작 지원을 받아 수행된 연구입니다. 제작 지원에 도움을 주신 LPKF Korea 이용상 대표님, 조진상 차장님께 감사드립니다.」

「본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 부산시의 재원으로 부산엔지니어링센터의 지원을 받아 수행된 지역성장 인재양성체계(앵커)의 결과입니다(2026-ANCHOR-02-002-039).」

국립한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, National Korea Maritime & Ocean University)

*국립한국해양대학교 전자전기정보공학부 전파모빌리티융합공학전공(Major of Radio Mobility Convergence Engineering, National Korea Maritime & Ocean University)

· Manuscript received April 1, 2026 ; Revised April 22, 2026 ; Accepted June 24, 2026. (ID No. 20260401-022)

· Corresponding Author: Kyeong-Sik Min (e-mail: ksmin@kmou.ac.kr)

I. 서 론

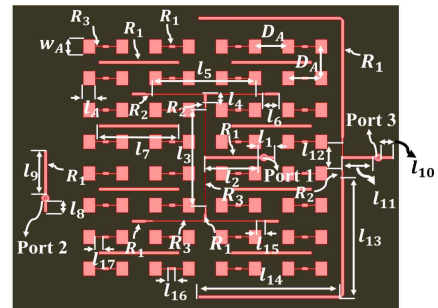
최근 무선 통신 및 레이더 응용 분야에서 데이터 전송 품질 개선 및 정확한 방향 추정을 위해 빔 분할 안테나의 필요성이 커지고 있다^{[1]-[4]}. 빔 분할을 구현하기 위한 방법으로는 반사 배열 안테나의 sub-array 간 전계강도 차이를 유도하는 위상 가중치를 적용하는 방법^{[1],[2]}, 메타표면을 이용하여 방사 위상과 전류 분포를 재구성함으로써 분할 빔을 형성하는 방식^[3] 등이 있으며, Magic-T 급전 구조를 활용해 빔 분할을 간결하게 구현하려는 연구 또한 지속적으로 보고되고 있다^{[4]-[6]}. 반면에 반사 배열 안테나를 활용한 빔 분할 구현은 위상 가중치 산출에 반복적인 연산이 필요해 많은 시간과 높은 연산 비용이 필요한 단점이 있으며^[1], 참고문헌 [3]과 같은 메타표면을 활용한 빔 분할의 경우 유닛셀 설계와 배열 구조 정렬 등 추가 설계 변수가 동반되는 경우가 많다. 반면 Magic-T 급전 구조는 마이크로스트립 라인과 슬롯 라인 결합 구조를 활용하여 비교적 간단하게 구현할 수 있다는 장점이 있으며^[7], 이를 활용한 빔 분할 구현은 선택적 포트 급전을 통해 빔 분할을 직접적으로 제어할 수 있다는 장점이 있다. 본 저자들은 선행 연구에서 마이크로스트립 라인과 슬롯 라인이 결합하여 위상을 조절하는 Magic-T 다중 포트 급전 구조와 4×4 패치 배열을 결합하여, 3개의 급전 포트의 선택적 급전만으로 1개, 2개 그리고 4개의 방사 빔을 형성하는 Ku-band 빔 분할 안테나를 제안하였다^[8]. 그러나 배열 크기가 4×4에 머물러 분할 빔의 이득이 제한적이었으며, Magic-T 기반 수동 급전 구조의 패치 배열이 확장될 경우 손실 증가, 제작 공차 누적 및 포트 간 결합 증가로 인해 격리 및 방사 성능 저하가 발생할 수 있어 배열 확장 관점의 검증에는 한계가 있었다. 따라서 본 논문에서는 선행 Magic-T 기반 다중 포트 급전 구조를 Ku-band 대역 8×8 패치 배열로 확장한 빔 분할 안테나를 제안한다. 제안 안테나는 Magic-T의 동위상 및 역위상 전력 분배 특성을 활용하여 빔 분할을 제공하며, 배열 확장에도 불구하고 급전 손실 증가 영향을 완화하여 높은 이득을 확보하고자 하였다. 이에 본 논문에서는 모의실험과 제작된 안테나의 측정을 통해 포트 간 격리도 유지, 포트별 방사패턴의 빔 분할 개수, 피크 이득 관점에서 빔 분할

설계의 타당성을 검증하고자 하였다.

II. 제안 안테나 구조 및 빔 분할 원리

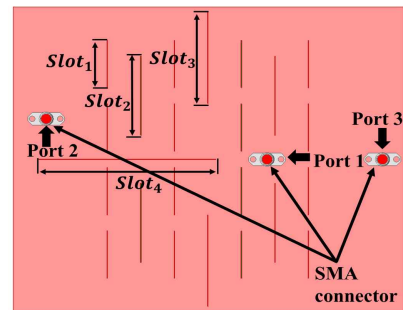
2.1 제안 안테나 구조

그림 1은 8×8 배열 안테나의 구조를 나타내며, 그림 1(a) 및 그림 1(b)는 각각 제안 안테나의 상면과 하면의 모식도이다. 설계 및 제작에 사용된 안테나는 170×140×0.51 mm 크기를 갖는 RT/Duroid 5880(ϵ_r : 2.2, $\tan\delta$: 0.0009) 기판을 통해 구현되었다. 안테나 상면에는 급전을 위한 마이크로스트립 라인 급전 선로와 방사를 위한 패치 소자들이 배치되며, 하면에는 역위상 구현을 위한 슬롯 라인이 형성되어 있다. 상면의 마이크로스트립 라인 선로에는 급전을 위해 하면에서 수직 방향으로 SMA 커넥터가 연결되었다. 각각의 급전 포트에 SMA 커넥터가 연결된 마



(a) 상면 모식도

(a) Top-view schematic



(b) 하면 모식도

(b) Bottom-view schematic

그림 1. 설계된 안테나 구조

Fig. 1. Designed antenna structure.

표 1. 설계 파라미터

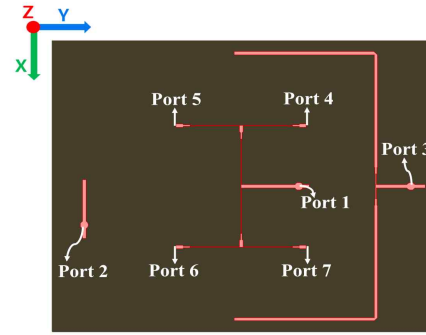
Table 1. Design parameters.

Parameter	Value (mm)	Parameter	Value (mm)
R_1	1.5	l_{12}	12.1
R_2	0.86	l_{13}	54.85
R_3	0.4	l_{14}	63.5
l_1	2.7	l_{15}	3.1
l_2	23.72	l_{16}	2.8
l_3	45.6	l_{17}	3.2
l_4	3.1	l_A	5.4
l_5	46	W_A	6.4
l_6	6.2	D_A	14.6
l_7	35.4	$slot_1$	21.8
l_8	4.6	$slot_2$	36.4
l_9	19.8	$slot_3$	42
l_{10}	4.5	$slot_4$	77.6
l_{11}	13.6		

이크로스스트립 라인 선로에는 임피던스 정합을 위한 l_1 , l_8 , l_{10} 길이를 가지는 open stub가 적용되었다. 모든 슬롯 라인의 폭은 제작의 편의성을 위해 0.3 mm로 통일하여 설계되었다. 제안 안테나는 상용틀인 Ansys 사의 HFSS로 설계 및 모의실험되었으며 자세한 설계 파라미터는 표 1에 나타내었다.

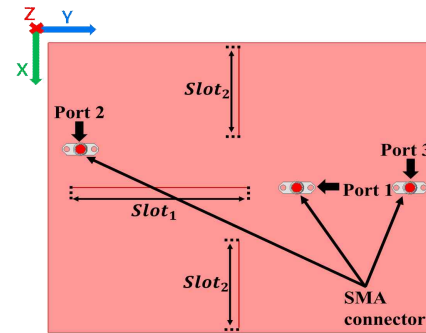
2-2 Magic-T 급전 구조

그림 2는 8×8 배열 안테나의 Magic-T 다중 포트 급전 구조를 나타낸다. 그림 2(a)는 Magic-T 다중 포트 급전 구조의 상면을 나타내었으며, 마이크로스트립 라인 급전 선로가 위치된다. 그림 2(a)에서 port 1, port 2, 그리고 port 3은 입력을 위한 주 급전 포트이고 port 4~port 6, 그리고 port 7은 4개의 sub-array를 급전하기 위한 서브 포트에 해당된다. 4개의 서브 포트는 각각 4×4 패치 어레이 안테나에 1:1로 대응하여 급전한다. 그림 2(b)는 하면의 구조로, 주 급전 포트 3개는 각각 SMA 커넥터와 연결되어 있다. 슬롯 라인 slot 1과 slot 2는 마이크로스트립 라인과 결합하여 역위상의 전계 위상을 구현하기 위해 고려되었다.



(a) 급전 구조의 상면 모식도

(a) Top-view schematic of the feeding structure



(b) 급전 구조의 하면 모식도

(b) Bottom-view schematic of the feeding structure

그림 2. Magic-T 다중 포트 급전 구조

Fig. 2. Magic-T multi port feed structure.

본 구조는 마이크로스트립 라인 경로를 통한 동위상 분배와 슬롯 라인-마이크로스트립 라인 결합 경로를 통한 역위상 분배를 통해 급전 포트의 선택적 급전에 따라 서브 포트의 위상이 변화되며, 이는 sub-array 간 위상 조합 재구성으로 이어진다.

그림 3은 모의실험된 주 급전 포트 급전에 따른 전달계수의 위상을 나타내었다. 먼저 port 1 급전 시를 나타낸 그림 3(a)를 살펴보면 S_{41} , S_{51} , S_{61} 그리고 S_{71} 의 위상이 모두 동위상으로 나타나, 서브 포트 port 4~port 6, 그리고 port 7의 출력이 전 대역에서 동위상을 유지함을 확인할 수 있다. 다음으로 port 2 급전 시를 나타낸 그림 3(b)를 살펴보면 S_{42} , S_{52} 가 동위상으로 동작하고, S_{62} 와 S_{72} 가 동일 위상으로 동작하여 서브 포트 port 4, port 5 및 port 6, port 7이 두 그룹으로 각각 동위상을 형성함을

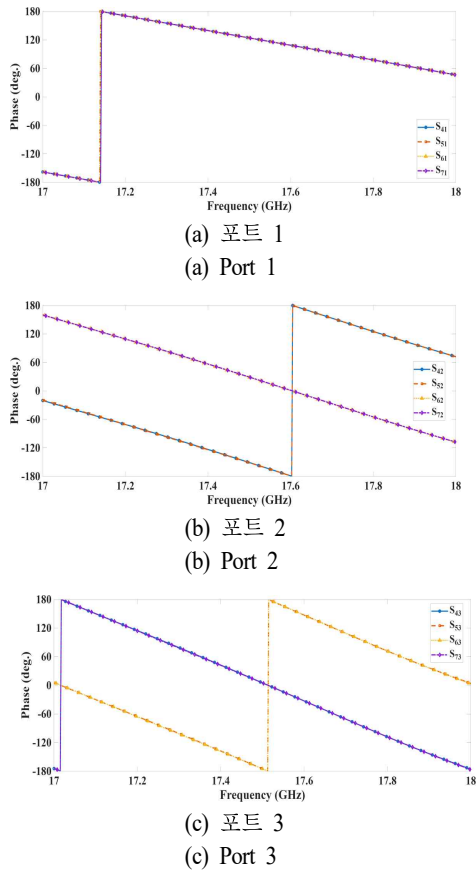
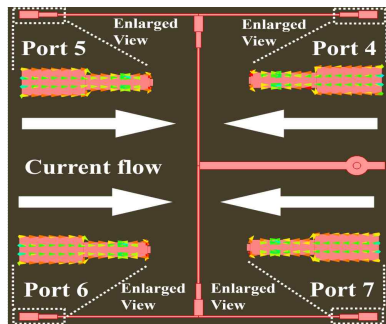


그림 3. 3개의 주 급전 포트에 의한 전달계수 위상
Fig. 3. Transmission coefficient phases by excitation at the three main feed ports.

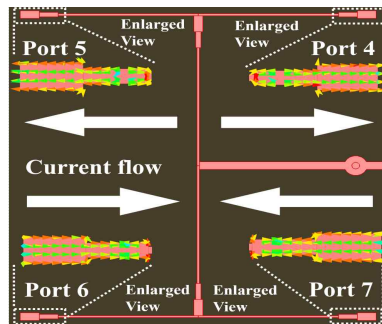
확인하였다. 그리고, 두 그룹 간에는 대역 전반에서 약 180°의 위상차가 유지되어, 슬롯 라인-마이크로스트립 라인 결합을 통한 역위상이 형성됨을 나타낸다. 마지막으로 주 급전 포트 port 3 급전 시를 나타낸 그림 3(c)를 살펴보면 S_{43} 와 S_{73} 이 동위상, S_{53} 와 S_{63} 이 동위상으로 동작하며, 서브 포트 port 4, port 7과 port 5, port 6 사이에 약 180°의 위상차가 유지된다. 결과적으로 Magic-T 급전 구조는 별도의 위상 제어회로 없이 포트 선택적 급전만으로 sub-array 간 위상 조합을 재구성할 수 있으며, 이에 따라 빔 분할을 구현할 수 있다.

2-3 급전 포트별 위상 분포 및 빔 형성 원리

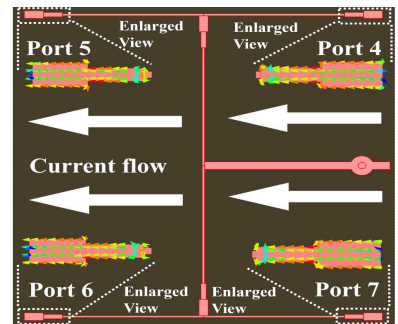
그림 4는 급전 포트에 따른 급전 선로의 표면 전류 분포를 나타내었다. Port 1 급전 시 표면 전류 분포를 나타낸 그림 4(a)를 살펴보면, 그림 3에서 S_{41} , S_{51} , S_{61} 그리고 S_{71} 의 위상이 모두 동위상을 나타내고 있으나, 급전 구조의 물리적 대칭에 의해 중심축을 기준으로 좌·우 포트의 표면 전류가 서로 반대 방향으로 흐르는 것을 확인할 수 있다. 이에 급전 포트에 따른 sub-array의 전계 위상 분포를 나타낸 그림 5(a)를 살펴보면 sub-array 2와 3이 동위상을 이루고, 1과 4가 동위상을 이룬다. 반면, sub-array 2와 3의 위상은 1과 4의 위상과 180° 차이를 가지는 역위상으로 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 sub-array 2와 3, sub-array 1과 4가 180°의 위상차를 가지는 빔을 각각



(a) 포트 1 급전 시 표면 전류 분포
(a) Surface current distribution by port 1 excitation

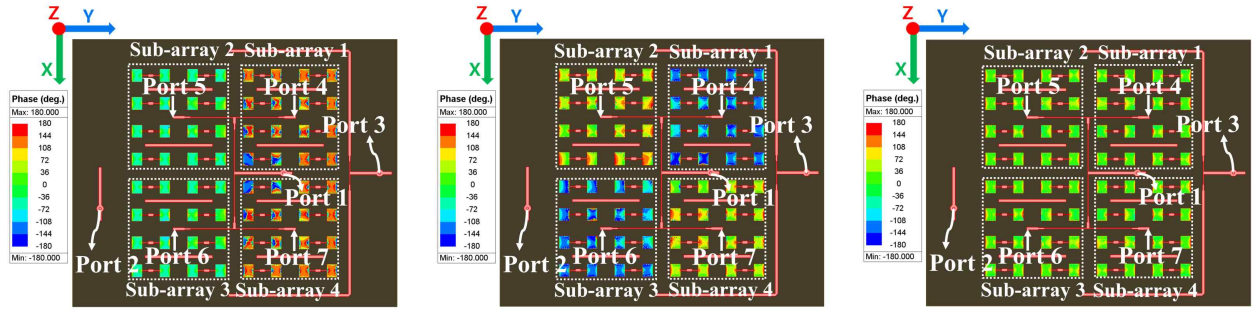


(b) 포트 2 급전 시 표면 전류 분포
(b) Surface current distribution by port 2 excitation



(c) 포트 3 급전 시 표면 전류 분포
(c) Surface current distribution by port 3 excitation

그림 4. 급전 포트에 따른 급전 선로의 표면 전류 분포
Fig. 4. Surface current distributions on the feed line according to the excited port.



(a) 포트 1 급전에 의한 위상 분포
(a) Phase distribution by port 1 excitation

(b) 포트 2 급전에 의한 위상 분포
(b) Phase distribution by port 2 excitation

(c) 포트 3 급전 시 위상 분포
(c) Phase distribution by port 3 excitation

그림 5. 3개의 급전 포트에 대한 모의실험된 전계 위상 분포

Fig. 5. Simulated electric-field phase distributions on the patch array for 3-feeding port.

방사하여 총 2개의 빔이 나타난다^{[9],[10]}. 같은 원리로 port 2 급전 시, 표면 전류 분포를 나타낸 그림 4(b)를 살펴보면 그림 3에서 S_{42} , S_{52} 가 동위상을 이루고, S_{62} 와 S_{72} 가 동위상을 형성하지만, 전류의 방향이 서브 포트인 port 4와 port 6이 같은 방향으로 흐르고, port 5와 port 7이 동일 방향을 나타낸다. 따라서 그림 5(b)를 살펴보면 체커보드 형태의 sub-array 위상 분포가 형성되어 각 sub-array가 각각 1개의 빔을 방사하여 총 4개의 빔이 형성된다^{[9],[10]}. 마지막으로 포트 3 급전 시 표면 전류 분포를 나타낸 그림 4(c)를 살펴보면, 그림 3의 S_{43} 과 S_{73} 이 동위상이고, S_{53} 과 S_{63} 이 동위상이며, 두 그룹 간에는 역위상 관계가 형성되지만 그림 5(c)와 같이 급전 구조의 물리적 형태에 의해 모두 같은 방향으로 전류가 흐른다. 따라서 1개의 고이득 단일 빔이 형성된다^{[9],[10]}. 결과적으로 제안 안테나는 Magic-T 급전 구조의 위상 분배 특성을 이용하여, 위상 제어회로 없이 선택적 포트 급전만으로 sub-array의 위상을 제어함으로써 원하는 빔 분할을 구현하였다.

III. 제안 안테나 성능 비교

4×4에서 8×8로 배열이 확장되면 급전 손실의 누적, 제작 공차 누적, 그리고 다중 포트 구조에서의 포트 간 결합 증가가 동반될 가능성이 있으며, 이는 패턴 형상 열화 및 이득 저하로 이어질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Magic-T 급전 구조의 타당성을 검증하기 위해 참고문헌 [8]의 4×4

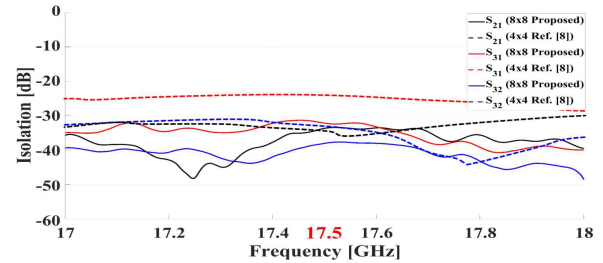


그림 6. 8×8 배열 안테나와 참고문헌 [8]의 4×4 배열 안테나 간 측정 격리도 비교

Fig. 6. Measured isolation comparison between the 8×8 array antenna and the 4×4 array antenna in Ref. [8].

구조와 포트 간 격리도, 측정 피크 이득 관점에서 비교·분석하고자 한다. 그림 6은 8×8 배열 안테나와 참고문헌[8]의 4×4 배열 안테나의 측정 격리도 특성을 비교한 결과이다. 4×4 배열 안테나의 격리특성이 가장 열악한 S_{31} 이 -23 dB의 격리 특성을 보인 반면, 8×8 배열 안테나의 S_{31} 은 설계 주파수 대역에서 격리도가 -30 dB 이하를 유지하였다. 격리특성이 가장 열악한 S_{31} 격리도를 기준으로 약 7 dB 이상의 개선효과를 얻었으며, 배열 확장에 따른 포트 간 결합 증가 우려가 나타나지 않음을 확인하였다.

그림 7은 제안 8×8 배열 안테나와 참고문헌[8]의 4×4 배열 안테나에 대해 17.2~17.8 GHz 대역에서 측정된 피크 이득을 비교한 결과이다. 실선은 8×8 배열 안테나를, 파선은 참고문헌 [8]의 4×4 배열 안테나를 나타내었다. 참고문헌 [8]의 4×4 배열 안테나의 피크 이득에 비해 중심주파수 17.5 GHz에서 포트 1, 포트 2 그리고 포트 3에

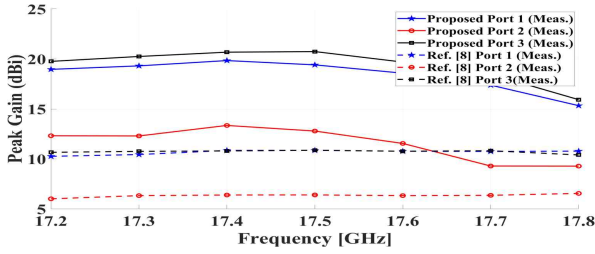


그림 7. 8×8 배열 안테나와 참고문헌 [8]의 4×4 배열 안테나 간 측정 피크 이득 비교

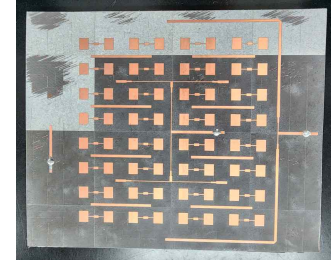
Fig. 7. Measured peak gain comparison between the 8×8 array antenna and the 4×4 array antenna in Ref. [8].

서 각각 8.51, 6.38, 9.70 dB 향상되었다. 이론적으로 4×4 배열에서 8×8 배열로 배열을 4배 증가시키면 6 dB의 이득 증가를 얻을 수 있다. 그림 7의 이득 측정 비교에서 3 개의 급전 포트 모두 6 dB 이상의 이득이 증가된 것으로 관측된 이유는 사용된 유전체의 손실에 가장 크게 기인한다고 할 수 있다. 8×8 배열 안테나의 기판은 4×4 배열 안테나의 기판보다 비유전율이 낮고 손실이 적은 저손실 기판을 적용한 점과 급전 구조의 최적화 설계에 따른 차이가 복합적으로 반영된 결과로 해석된다.

IV . 제작 및 측정 결과

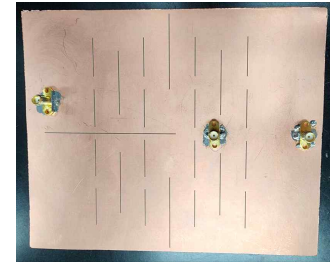
그림 8은 제작된 8×8 배열 안테나의 상면 및 하면 사진을 나타낸다. 제작된 안테나는 Anritsu 사의 37369D 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 반사계수 및 포트 간 격리도가 측정되었으며, 전자파 무반사실 환경에서 방사패턴과 피크 이득이 측정되었다.

그림 9는 제작된 8×8 배열 안테나의 측정 및 모의실험된 반사계수와 격리 특성을 나타낸다. 실선은 측정값을, 파선은 모의실험 값을 나타내었다. 그림 9(a)는 반사계수 특성을 나타내고 있으며, 설계 중심주파수 17.5 GHz에서 모의 실험된 S_{11} , S_{22} , S_{33} 는 각각 -38.43, -42.98, -30.02 dB이며, 측정값은 각각 -17.24, -15.08, -24.92 dB로 모두 -15 dB 이하의 양호한 반사 특성을 보였다. 측정 반사계수가 다소 저주파수로 이동된 것은 SMA 커넥터 및 솔더링에 따른 기생 성분 등이 누적된 영향으로 판단된다. 그림 9(b)는 격리 특성을 나타내고 있으며, 제안 안테나의 포트 간



(a) 제작된 안테나의 상면 사진

(a) Top-view photograph of the fabricated antenna

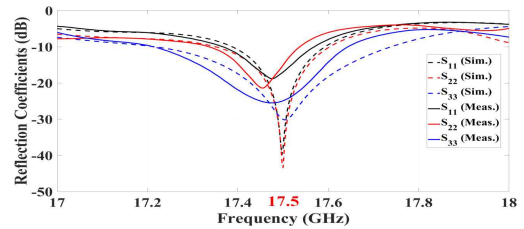


(b) 제작된 안테나의 하면 사진

(b) Bottom-view photograph of the fabricated antenna

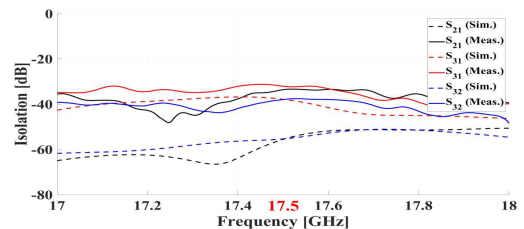
그림 8. 제작된 안테나 사진

Fig. 8. Fabricated antenna photograph.



(a) 반사계수

(a) Reflection coefficients



(b) 격리 특성

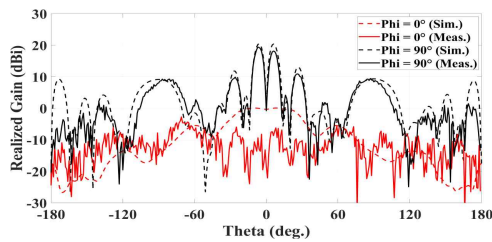
(b) Isolation characteristics

그림 9. 측정된 반사계수와 격리 특성에 대한 모의실험 결과와의 비교

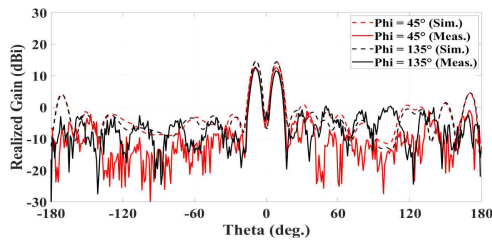
Fig. 9. Comparison of measured and simulated reflection coefficients and isolation characteristics.

격리도를 나타내는 S_{21} , S_{31} , S_{32} 의 설계 중심주파수 17.5 GHz에서 모의실험된 값이 각각 -55.62 , -37.91 , -55.42 dB이다. 측정 결과는 각각 -33.57 , -32.09 , -38.07 dB로 전반적으로 모의실험 결과와 유사한 수준의 높은 격리 특성을 보였다. 결과적으로 제안 안테나는 동작 대역 전반에서 모든 포트 간 격리 특성이 -30 dB 이하를 유지하여 우수한 격리 특성을 보였다.

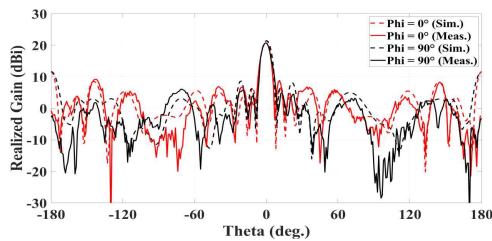
그림 10은 설계 중심주파수인 17.5 GHz에서 측정된 방사패턴을 나타내었다. 포트 1 급전 시의 특성을 보여주는 그림 10(a)를 살펴보면, $\phi=90^\circ$ 평면에서 $\Theta=\pm 6^\circ$ 부근으로



(a) 포트 1 급전에 의한 방사패턴
(a) Radiation patterns by port 1 excitation



(b) 포트 2 급전에 의한 방사패턴
(b) Radiation patterns by port 2 excitation



(c) 포트 3 급전에 의한 방사패턴
(c) Radiation patterns by port 3 excitation

그림 10. 17.5 GHz에서 모의실험된 방사패턴과 측정된 방사패턴 비교

Fig. 10. Comparison simulated and measured radiation patterns at 17.5 GHz.

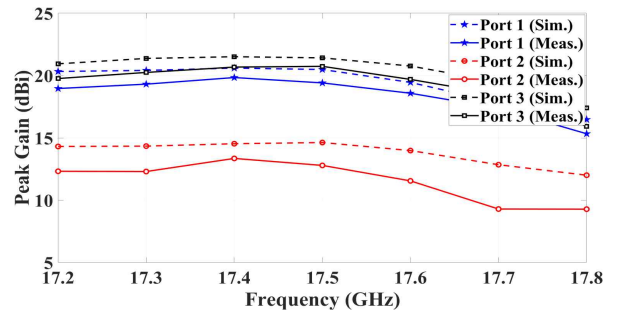


그림 11. 피크 이득
Fig. 11. Peak gain.

총 2개의 주 빔이 형성되었다. 포트 2 급전 시를 나타내는 그림 10 (b)의 경우, $\phi=45^\circ$ 및 $\phi=135^\circ$ 평면에서 $\Theta=\pm 9^\circ$ 방향으로 각각 두 개의 빔이 형성되어 총 네 개의 빔이 관측되었다. 그림 10 (c)를 살펴보면 포트 3에서 급전한 경우로 $\Theta=0^\circ$ 방향으로 1개의 주 빔이 형성되었다. 그림 10 (a)~그림 10(c)의 모의실험과 측정된 방사패턴은 잘 일치하였으며 설계한 대로 빔 분할된 방사패턴을 얻을 수 있었다.

그림 11은 제안 안테나의 17.2~17.8 GHz 대역에서 모의실험과 측정을 통해 얻은 피크 이득을 비교한 결과이다. 실선은 모의실험 결과를 나타내며, 파선은 측정 결과를 나타낸다. 측정 이득은 모의실험이득과 유사한 특성을 보이며, 동작 대역 전반에 걸쳐 두 결과가 비교적 잘 일치하였다. 포트 1의 급전에 의해 2개의 빔이 얻어졌으며 19.41 dBi의 피크이득이 관측되었다. 반면 포트 2의 급전으로부터 4개의 우수한 빔 분할 결과를 얻었으나, 급전 마이크로스트립 라인과 슬롯 라인의 잦은 결합으로 인해 전송손실이 커져서 이득이 감소되는 결과를 보였다. 포트 3의 경우도 포트 2와 같은 잦은 결합에 의한 전송 손실이 크게 나타났다. 향후, 전송손실을 개선할 보완책이나 새로운 설계에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

V. 결 론

본 논문에서는 Magic-T 다중 포트 급전 구조를 적용한 8×8 패치 배열 빔 분할 안테나를 제안하고, 선행 4×4 구조의 배열 확장 가능성을 검증하였다. 제안 안테나는 별도의 위상 제어회로 없이 4개의 sub-array 간 동위상 및 역

위상 분배를 구현함으로써, 포트의 선택적 급전에 따라 1개, 2개, 4개의 빔 분할 방사를 구현하였다. 측정 결과, 설계 중심주파수 17.5 GHz에서 양호한 반사 특성과 우수한 포트 간 격리 특성이 관측되었다. 측정 방사패턴은 모의 실험 결과와 전반적으로 잘 일치하였다. 측정 이득은 빔 분할 수에 의존하여 차이를 뚜렷히 보였으며 급전 포트 2와 3의 경우는 마이크로스트립선로와 슬롯선로의 짝은 결합에 의한 전송손실이 커져서 이득이 다소 낮은 결과를 얻었다. 이를 통해 제안된 안테나는 배열 확장에 따른 손실 증가와 포트 간 결합 우려에도 불구하고 우수한 빔 분할 특성을 안정적으로 얻을 수 있었다. 이 연구 결과는 Ku-band 레이더 및 무선 통신 시스템용 다중 빔 포밍 안테나 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] K. K. Kim, S. M. Pyo, and J. W. Jung, "A study on phase weighting of reflectarray antenna system for dual-beam-forming based on split beam," *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 19, no. 5, pp. 799-808, Oct. 2024.
- [2] R. Elsharkawy, M. Hindy, A. R. Sebak, A. Saleeb, E. S. M. El-Rabaie, and A. M. R. Ragheb, et al., "Single- and double-beam reflectarrays for Ka band communication," *Sādhanā*, vol. 44, p. 106, Apr. 2019.
- [3] T. Z. Fadhil, N. A. Murad, M. K. A. Rahim, M. R. Hamid, and L. O. Nur, "A beam-split metasurface antenna for 5G applications," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 1162-1174, Jan. 2022.
- [4] Z. Deng, F. Zhang, M. Liang, Y. L. Yao, and F. Zhang, "A dual-port sum-difference beam antenna with simple structure and very high isolation," *Progress in Electromagnetics Research C*, vol. 74, pp. 41-49, May 2017.
- [5] R. Rashid, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "A 5.8-GHz planar beam tracking antenna using a magic-T," *Progress in Electromagnetics Research C*, vol. 76, pp. 159-170, Aug. 2017.
- [6] T. P. Phyo, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "A magic-T integrated 5.8-GHz repeater array antenna using dual-feed network," *Progress in Electromagnetics Research M*, vol. 80, pp. 1-11, Mar. 2019.
- [7] K. U-yen, E. J. Wollack, J. Papapolymerou, and J. Laskar, "A broadband planar magic-T using microstrip-slotline transitions," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 56, no. 1, pp. 172-177, Jan. 2008.
- [8] S. W. Yi, K. S. Min, and Y. S. Yeoh, "Design of a 4×4 beam-splitting patch antenna for Ku-band wave detection radar utilizing magic-T multi-port feeding," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 35, no. 7, pp. 546-554, Jul. 2024.
- [9] T. Tomura, J. Hirokawa, M. Ali, and G. Carpintero, "Spatial multiplexed wideband wireless link using E-band rectangular-coordinate orthogonal multiplexing (ROM) antennas," in *2021 International Topical Meeting on Microwave Photonics(MWP)*, Pisa, Nov. 2021.
- [10] T. Tomura, J. Hirokawa, M. Ali, and G. Carpintero, "Millimeter-wave multiplexed wideband wireless link using rectangular-coordinate orthogonal multiplexing (ROM) antennas," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 39, no. 24, pp. 7821-7830, Dec. 2021.

백 민 철 [국립한국해양대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0009-0007-7827-844X>



2026년 2월: 국립한국해양대학교 전파융합공학전공 (공학사)
2026년 3월~현재: 국립한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] 패치배열 안테나, Magic-T 급전 구조 설계

여 유 석 [국립한국해양대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-6913-968X>



2020년 3월~2022년 2월: 국립한국해양대학교 전파공학과 (공학석사)
2024년 2월: 국립한국해양대학교 전파공학과 박사 수료
2022년 3월~현재: 국립한국해양대학교 전파공학과 박사과정
[주 관심분야] 슬롯 배열 도파관 안테나, 전력 분배기 설계, 파도 관측 레이더

민 경 식 [국립한국해양대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-9827-0169>



1989년 2월: 국립한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
1991년 2월: 국립한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
1996년 2월: 일본 동경공업대학교 전기전자공학과 (공학박사)
2001년 2월~2002년 1월: 일본 요코하마

국립대학교 방문 교수

2017년 1월~2018년 1월: 미국 캘리포니아 주립대학교 (프레즈노) 방문 교수

2020년 1월~2020년 12월: 한국전자파학회 학회장

2024년 2월~2024년 12월: 국립한국해양대학교 대학원장

2021년 1월~현재: 한국전자파학회 명예회장

1997년 3월~현재: 국립한국해양대학교 전자전기정보공학부 전파모빌리티융합공학전공 교수

[주 관심분야] 슬롯 배열 도파관 안테나 설계 및 측정, FDTD 해석법 및 프로그램 개발, 광대역 MDM(Magneto-Dielectric Material) 안테나, 고이득 레이더 안테나, MIMO 안테나 설계