THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2026 October; 37(10), 993～1001.

https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2026.37.10.993
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

광각 빔조향 Ku-대역 위상 배열 안테나의 Active VSWR 개선을 위한 비아 펜스 적용 적층형 패치 안테나 설계

Design of a Via-Fence-Loaded Stacked Patch Antenna for Active VSWR Improvement in Wide-Angle Scanning Ku-Band Phased Arrays

신건영 · 김영완 · 채희덕 · 박종국

Geonyeong Shin · Youngwan Kim · Heeduck Chae · Jongkuk Park

요 약

본 논문에서는 antenna-on-board 구조의 Ku-대역 위상 배열 안테나에서 광각 빔조향 시 발생하는 active VSWR 열화를 개선하기 위해 비아 펜스(via fence)를 적용한 적층형 패치 안테나를 제안한다. 제안 구조는 하단의 beamforming IC와 연계되는 스트립라인 기반 급전을 가지며, 비아-스트립라인-패치로 이어지는 다층 PCB 구조로 구현된다. 특히 본 연구에서는 확장형 배열을 고려한 단위 모듈 검증을 위해 144채널 PCB 시제품을 제작하였다. 소자 외곽에 배치된 비아 펜스는 소자 간 상호 결합 특성의 균형성을 개선하여 광각 빔조향에서의 active VSWR 특성을 향상시킨다. 제작된 시제품의 측정 결과, 원추형(conical) 빔조향 기준으로 최대 70°까지 active VSWR 3.0 이하를 만족하였으며, 해당 조건을 유지하는 대역폭은 10 %로 나타났다. 이는 스트립라인 급전 기반 antenna-on-board에서 비아 펜스가 광각 조향 시 active VSWR 개선에 효과적인 구조임을 보여준다.

Abstract

This study proposes a via-fence-loaded stacked patch antenna for improving the active VSWR degradation in wide-angle scanning Ku-band phased arrays based on an antenna-on-board architecture. The proposed antenna employs a stripline-based feeding structure integrated with a beamforming IC and is implemented as a multilayer PCB consisting of a via-stripline-patch transition. A 144-channel PCB prototype was fabricated to validate the proposed structure as a scalable array unit module. The via fence surrounding each element enhances the symmetry of mutual coupling between adjacent elements, thereby improving active VSWR performance. The measurement results of the fabricated prototype show that the active VSWR remains below 3.0 up to a maximum conical scanning angle of 70°. Furthermore, the active VSWR remained below 3.0, over a 10 % bandwidth. These results demonstrate that the via fence is effective in improving the active VSWR performance under wide-angle scanning conditions in a stripline-fed antenna-on-board architecture.

Key words: Antenna-on-Board, Wide-Angle Scanning, Ku-Band, Via Fence, Active VSWR

「이 연구는 LIG 디펜스&에어로스페이스 연구비의 지원으로 연구되었음.」
LIG 디펜스&에어로스페이스(LIG Defense&Aerospace)
· Manuscript received June 8, 2026 ; Revised June 18, 2026 ; Accepted July 17, 2026. (ID No. 20260608-053)
· Corresponding Author: Geonyeong Shin (e-mail: geonyeong.shin@ligdna.com)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서 론

광각 빔조향이 가능한 Ku-대역 위상 배열 안테나는 위성 통신, 레이다 및 차세대 무선 통신 시스템에서 넓은 커버리지와 운용 유연성을 제공하기 위해 필수적이다[1]. 한편, 탑재체 및 플랫폼의 공간 제약과 경량화 요구로 인해 저자세(low-profile) 구조가 선호되며, BFIC(beamforming integrated circuit)와 결합된 다층 PCB 기반 AoB(antenna-on-Board) 형태에 적합한 패치 안테나가 복사 소자로 널리 사용되어 왔다[2].

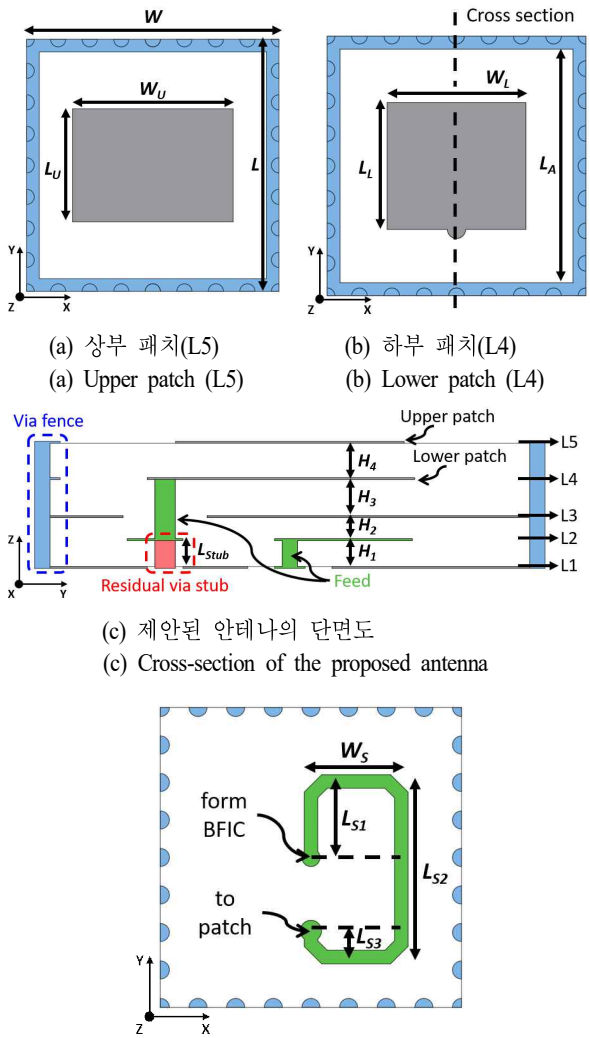
빔조향 각도가 변함에 따라 복사 소자 간 상호 임피던스 특성이 변화하기 때문에 넓은 조향 범위에서 안정적인 AVSWR(active voltage standing wave ratio)을 확보하기란 쉽지 않다[3]. 이를 해결하는 방안으로 cavity-backed 패치 구조가 제안되었으며, 이는 표면파 및 상호결합을 억제하여 AVSWR 개선에 기여할 수 있는 것으로 알려져 있다[4]. 하지만 cavity-backed 형태는 추가적인 금속 구조를 요구하기에, 다층 PCB 기반 AoB를 구현하기에는 한계가 있다. 이와 같은 배경에서, SIW(substrate integrated waveguide) 혹은 SIC(substrate integrated cavity) 기반의 비아 펜스(via fence) 구조가 적용된 안테나가 제안되었다[5],[6]. 하지만, 전원 및 빔포밍 층을 갖는 다층 AoB 구조에서는 언급된 연구와 같이 PCB 전층을 관통하는 probe feed 적용에 제약이 존재한다. 이에 따라, 하단 BFIC와의 연계를 위해 내층 스트립라인 기반 급전 구조가 일반적으로 적용되고 있다[1].

패치 안테나의 AVSWR 특성은 형상과 급전 구조에 영향을 받기 때문에[7], 본 논문에서는 Ku-대역 AoB에서의 다층 PCB 제작성을 고려한 적층형 패치(stacked patch) 안테나를 설계 및 검증하고자 한다. 이를 위해 Ⅱ장에서는 복사 소자 설계 및 비아 펜스 적용에 따른 광각 빔조향 특성을 비교한다. Ⅲ장에서는 확장형 배열 안테나의 기본 단위 모듈인 144채널 시제품을 통해 설계의 유효성을 검증한다. 마지막으로 Ⅳ장에서 결론을 제시한다.

Ⅱ. 비아 펜스가 적용된 적층형 패치 안테나

2-1 AoB를 고려한 스트립라인 급전 구조

그림 1에서 보이듯, 제안된 안테나는 L1~L5까지 총 5개의 층으로 설계되었다. 실제 AoB에서는 L1 하부에 전원 및 제어층과 BFIC를 포함하는 빔포밍 층이 추가로 구성되지만, 본 연구의 목적은 AoB에 적합한 안테나의 AVSWR 개선 효과를 검증하는 데 있다. 따라서 안테나 구조 및 급전 선로에 의한 영향을 중심으로 분석하기 위해 L1~L5의 안테나층만을 고려하여 설계 및 분석을 수행하였다. 본 연구의 다층 PCB는 RO4000 계열의 저손실 유리섬유 기판을 기반으로 적층하였으며, 설계 및 해석에서 상대



(a) 상부 패치(L5)
(a) Upper patch (L5)

(b) 하부 패치(L4)
(b) Lower patch (L4)

(c) 제안된 안테나의 단면도
(c) Cross-section of the proposed antenna

(d) 스트립라인 급전 구조(L2)
(d) Stripline feed structure (L2)

그림 1. 비아 펜스가 적용된 적층형 패치 안테나 구성
Fig. 1. Configuration of a via-fence-loaded stacked patch.

유전율(ϵ_r) 3.66과 손실 탄젠트($tan\delta$) 0.0037을 적용하였다. 또한, 제안된 안테나 설계 및 전자기 해석은 CST MWS의 transient solver를 이용하여 수행하였다.

그림 1(c)에서 초록색으로 표시된 급전 선로는 하단 BFIC의 입출력 신호가 비아를 통해 L2에 위치한 스트립라인과 연결되고, 반대편 끝단에서 다시 비아를 통해 L4의 하부 패치로 연결되는 구조를 갖는다. 스트립라인은 그림 1(d)와 같이 C-형상으로 설계되어, AoB에서 BFIC의 입출력 위치와 패치 안테나의 급전 위치 간 레이아웃 유연성을 확보할 수 있도록 하였다. 또한, 상대 유전율 3.66 기준 1.45 λ_g($2W_s+L_{S1}+L_{S2}+L_{S3}$=0.757 λ_0)의 전기적 길이를 확보하여, 향후 공진형 수동소자 추가를 고려한 구조로 설계하였다.

2-2 다층 PCB 기반 적층형 패치 안테나

패치 안테나는 저자세 형상으로 인해 AoB 구현에 널리 활용되어 왔으나, 단일 패치 구조는 상대적으로 좁은 대역폭을 갖는 한계가 있다[8]. 이를 보완하기 위해 본 논문에서는 그림 1과 같이 상부와 하부 패치로 구성된 적층형 패치 구조를 적용하여 광대역 특성을 확보하고자 하였다.

제안된 안테나는 비아-스트립라인-패치로 연결되는 다층 PCB 기반 급전 구조를 갖는다. 이와 같은 구조에서는 스트립라인(L2)과 하부 패치(L4)를 연결하는 비아 천이 구조가 필수적으로 적용된다. 실제 다층 PCB 제작 과정에서는 비아 천이 구조에 back-drill 공정을 적용하여 불필요한 연장성분을 제거하더라도, 그림 1(c)의 붉은색 부분과 같이 잔여 stub 형태로 남게 된다. 특히 Ku-대역에서는 상대적으로 짧은 파장으로 인해 이러한 잔여 stub의 영향이 크게 나타날 수 있으므로, 이를 고려한 설계가 요구된다.

그림 2는 비아 펜스가 적용되지 않은 적층형 패치 안테나에서 잔여 stub 길이(L_{Stub})에 따른 임피던스 궤적 결과이다. 그림 2의 붉은선으로 표시된 L_{Stub}=0인 경우(Ant. 1), 0.95~1.05f_0 대역에서 임피던스 궤적이 $|\Gamma|$=0.3 circle 내부에 형성된다. 반면, L_{Stub}가 증가할수록 임피던스 궤적이 점차 capacitive한 방향으로 변화하며, 일부 주파수에서는 $|\Gamma|$=0.3 circle을 벗어나는 결과를 확인할 수 있다. 이는 stub에 의한 추가적인 reactance 성분이 입력 임피던스에

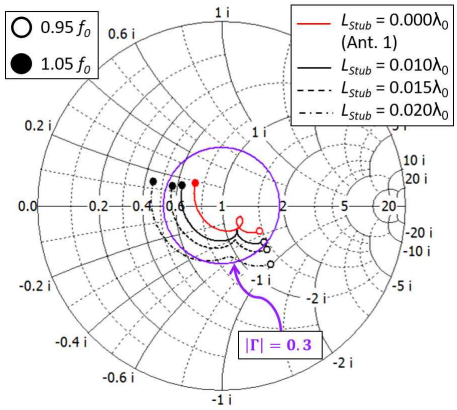


그림 2. 잔여 stub 길이(L_{Stub})에 따른 임피던스 궤적
Fig. 2. Impedance trajectory according to residual stub length (L_{Stub}).

영향을 주기 때문이다.

조향각에 따라 배열 내 상호 임피던스 특성이 변화하므로, 광각의 빔조향 범위에서 안정적인 AVSWR 특성을 확보하기 위해서는 개별 소자의 반사계수 특성이 중요하다. 이에, 원치 않는 reactance 성분을 발생시키는 잔여 stub를 고려한 설계가 필수적이므로 다층 PCB 제작 간 예상되는 잔여 stub 길이인 L_{Stub}=0.01 λ_0를 반영하여 비아 펜스 적용 안테나를 설계하였으며, 상세 설계 변수는 표 1에 정리하였다. 비아 펜스는 그림 1의 파란색 영역과 같이 L1~L5를 연결하는 구조로, 인접 소자 사이에 배치되었다. 각 변에는 전자기적 차폐를 위해 λ_g/8 이하인 0.0625

표 1. 제안된 안테나의 설계 변수
Table 1. Design parameters of the proposed antenna.

Parameter	λ_0	Parameter	λ_0
W	0.5	W_S	0.15
L	0.5	L_{S1}	0.127
W_U	0.32	L_{S2}	0.286
L_U	0.22	L_{S3}	0.044
W_L	0.27	H_1	0.025
L_L	0.24	H_2	0.021
L_{Stub}	0.01	H_3	0.036
L_A	0.45	H_4	0.034

λ_0: 중심 주파수(f_0)에서의 파장.

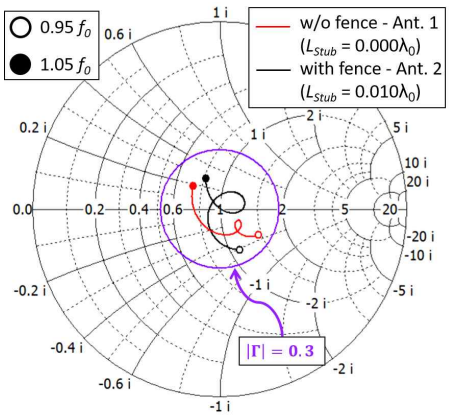


그림 3. 비아 펜스 적용 여부에 따른 임피던스 궤적
Fig. 3. Impedance trajectory with or without via fence.

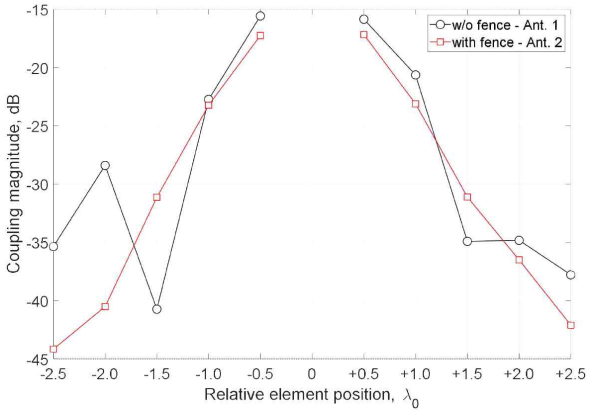
λ_0(0.12 λ_g) 간격으로 9개의 비아를 위치시켰다.

그림 3은 제안된 비아 펜스 적용 적층형 패치 안테나(Ant. 2)의 임피던스 궤적 결과를 나타낸다. 그림 3의 결과에서 보이듯, Ant. 2는 잔여 stub에 의해 발생하는 추가적인 capacitive reactance 성분이 보상되도록 설계되었으며, 그 결과 잔여 stub가 없는 적층형 패치에 준하는 $|\Gamma|$ =0.3 circle 내부에 임피던스 궤적이 형성되는 결과를 확인할 수 있다.

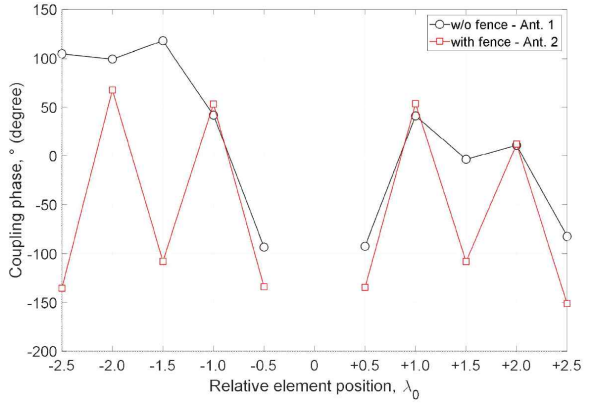
2-3 비아 펜스에 따른 광각 빔조향 특성

본 절에서는 144채널 유한 배열 조건에서 AVSWR 특성을 분석하였다. 확장형 배열의 단위 모듈로 활용하기 위해 구조적으로 대칭인 정사각 배열(square lattice) 형태를 채택하였으며, x-/y-방향 모두 0.5 λ_0 간격으로 구성하였다. 배열 외곽 소자와 달리 주기성이 유지되는 내부 소자를 기준으로 특성을 분석하였다.

먼저 비아 펜스 적용에 따른 인접 소자 간 결합 특성 변화를 확인하기 위해, AVSWR 분석에 사용된 기준 소자를 중심으로 주변 소자와의 결합 특성을 비교하였다. 그림 4는 기준 소자로부터 상대적 위치에 따른 결합 크기 및 위상 분포를 나타낸다. Ant. 1에서는 동일한 거리에 놓인 좌우 인접 소자에서 결합 크기 및 위상 분포에서 비대칭적 특성이 확인된다. 반면 비아 펜스가 적용된 Ant. 2에서는 좌우 인접 소자에서 보다 균형적인 결합 특성이 형성됨



(a) 크기
(a) Magnitude



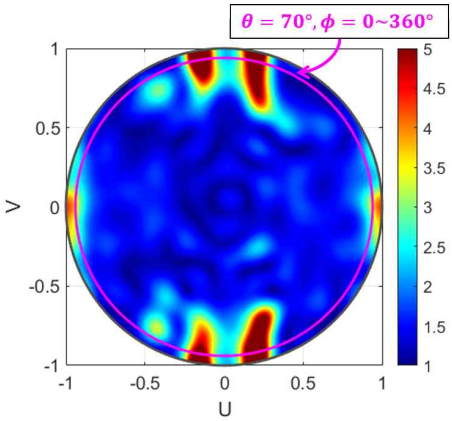
(b) 위상
(b) Phase

그림 4. 비아 펜스 적용 여부에 따른 인접 소자 간 상호 결합 특성
Fig. 4. Mutual coupling characteristics between adjacent elements with and without via fence.

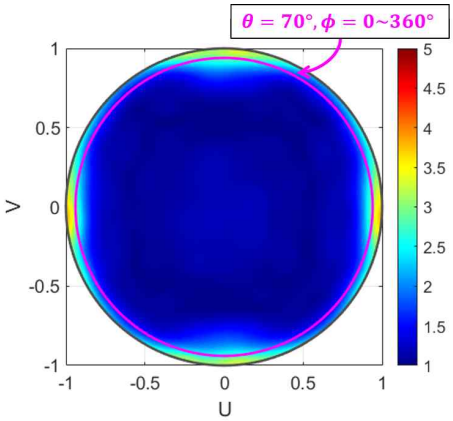
을 확인할 수 있다.

그림 4의 결과는 비아 펜스 구조가 인접 소자 간 상호 결합 특성의 균형성을 향상시키는 데 효과적임을 보여준다. 이러한 균형적인 결합 특성은 조향각 변화에 따른 능동 임피던스의 불균형을 감소시키는 데 기여할 수 있다. 이에, 제안된 구조의 광각 빔조향 성능을 확인하기 위해 조향각에 따른 AVSWR 특성을 분석하였다.

그림 5는 중심 주파수에서 내부에 놓인 기준 소자의 조향각에 따른 AVSWR을 u-v 도메인상에 나타낸 결과이다. Ant. 1과 Ant. 2의 광각 빔조향 특성을 비교하였으며, 분



(a) 비아 펜스 미적용(Ant. 1)
(a) Without via fence (Ant. 1)



(b) 비아 펜스 적용(Ant. 2)
(b) With via fence (Ant. 2)

그림 5. 144채널 유한 배열 내부 소자의 전 조향 범위 AVSWR(*u*-*v* 도메인)
Fig. 5. AVSWR of an interior element in a 144-channel finite array over the full scan region (*u*-*v* domain).

석은 θ=0°～90° 및 ϕ=0°～360°의 전 방향에 대해 수행하였다. 또한, 그림 5에는 본 연구의 최대 목표 조향각인 θ=70°의 경계선을 함께 표시하였다. 그림 5(a)의 Ant. 1은 목표 조향 범위 내, 일부 조향각에서 AVSWR이 3을 초과하는 영역이 나타난다. 특히 이러한 열화는 ϕ=90°, 0° 부근의 E-평면과 H-평면 방향에서 두드러지게 나타난다. 반면, 그림 5(b)의 Ant. 2는 목표 조향 범위 내, 모든 영역에서 AVSWR<3을 유지하는 안정적인 분포를 보인다.

이를 통해 비아 펜스 구조가 다층 PCB로 구현되는 Ku-대역 AoB를 위한 스트립라인 급전 구조를 갖는 적층형 패치 안테나에서 광각 빔조향 시 발생하는 AVSWR 열화 개선에 효과적임을 확인하였다.

추가적으로 비아 펜스 구조 적용에 따른 배열 안테나의 방사 특성 변화를 확인하기 위해, 144채널 유한 배열에서 조향각에 따른 방사패턴 분석을 수행하였다. 그림 6은 앞서 AVSWR 특성이 가장 취약하게 나타난 ϕ=75°인 평면에서 θ=0°, 35°, 70° 조향각에 대한 Ant. 1과 Ant. 2의 정규화된 이득 패턴 비교 결과를 나타낸다. AVSWR이 안정적으로 유지되는 조향각인 θ=0°, 35° 조건에서는 Ant. 1과 Ant. 2가 유사한 방사 특성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 반면, Ant. 1에서 AVSWR 열화가 나타나는 θ=70° 조향각에서 조향 손실은 Ant. 1이 11.5 dB, Ant. 2가 5.8 dB로 나타났다. 또한, 부엽 준위는 Ant. 1의 −9.6 dB에서 Ant. 2의 −14.56 dB로 개선되었다. 이러한 결과를 바탕으로 안정적인 AVSWR 확보가 광각 빔조향에서 방사 특성을 유지하는 데 기여함을 확인할 수 있다.

Ⅲ. 제작 및 측정 결과

3-1 단위 모듈 시제품 제작

앞서 검토한 Ant. 2 구조를 기반으로 144채널 단위 모

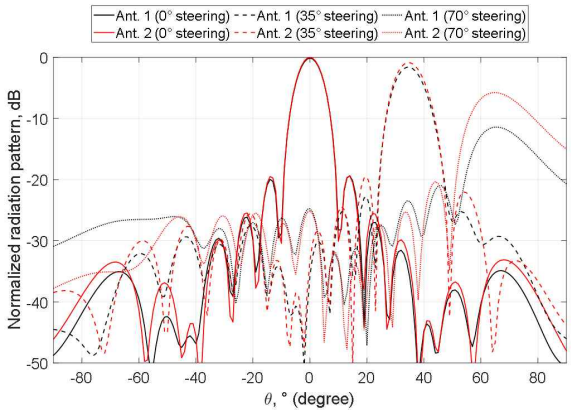
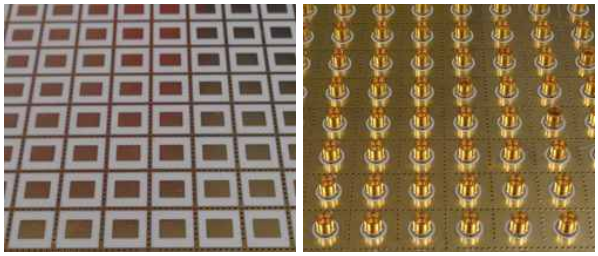


그림 6. 비아 펜스 적용 여부에 따른 조향각별 시뮬레이션 방사 패턴(ϕ=75° 평면)
Fig. 6. Simulated radiation patterns with and without via fence under different scan angles on the ϕ=75° plane.



(a) 상부 패치(L5) (b) 기준면(L1)
(a) Upper patch (L5) (b) Reference plane (L1)

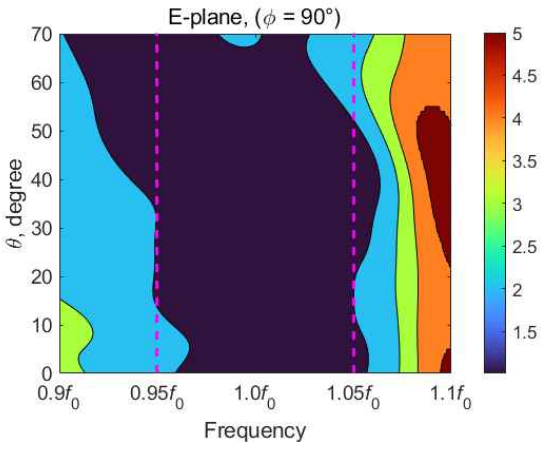
그림 7. 제작된 144채널 배열 안테나 시제품
Fig. 7. Fabricated 144-channel array antenna prototype.

듈 시제품을 제작하여 AVSWR 특성을 검증하였다. 그림 7은 제작된 시제품의 사진으로, 실제 AoB 구조 중 안테나에 해당하는 L1~L5 적층부만을 제작하였다. 시제품은 그림 7(b)와 같이 L1 면을 기준면으로 설정하고, 각 소자의 급전 비아에 RF 커넥터가 개별적으로 연결되도록 구성하였다. 해당 비아는 실제 AoB 환경에서는 BFIC 입출력과 연결되는 구조이나, 본 연구에서는 안테나만의 임피던스 및 AVSWR 특성을 분석하기 위한 측정 포트로 활용하였다. 이를 통해 최종적인 AoB 구현 이전 단계에서 안테나 단독의 능동 임피던스 특성을 검증하고자 하였다.

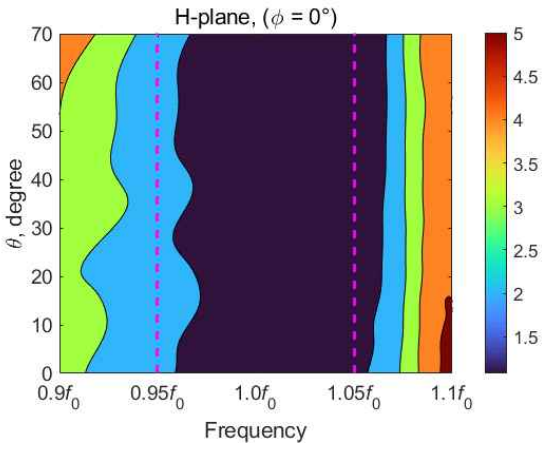
3-2 측정 결과 및 비교

그림 8 및 그림 9는 제작된 144채널 시제품의 AVSWR 결과를 나타낸다. 시제품의 AVSWR 결과는 회로망 분석기로 측정된 144채널에 대한 산란 계수와 빔조향 각도에 따른 이상적인 급전 가중치를 기반으로 계산되었다. 그림 5에서 보이듯 E-/H-평면 방향 광각 빔조향에서 AVSWR 열화가 두드러지게 나타나므로, 해당 방향에 대한 주파수 특성을 검증하고자 하였다. 그림 8과 9는 각각 내부 소자와 가장자리 소자에 대한 $0.9\sim1.1f_0$ 대역의 AVSWR 결과를 나타낸다. 그림 8에서 보이듯, 내부 소자는 $0.945\sim1.055f_0$ 대역에서 최대 조향각 θ=70° 기준 AVSWR < 3을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 가장자리 소자는 그림 9에서 보이듯, 주기성이 온전히 유지되는 내부 소자에 비해서 감소된 $0.95\sim1.05f_0$에서 AVSWR<3을 유지한다.

표 2는 다층 PCB 형태의 AoB 구현에 적합한 광각 빔조



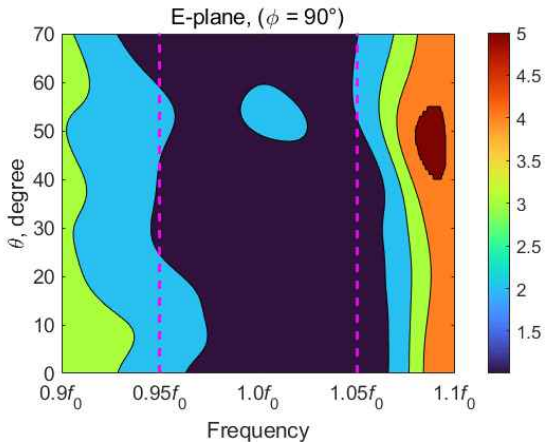
(a) E-평면
(a) E-plane



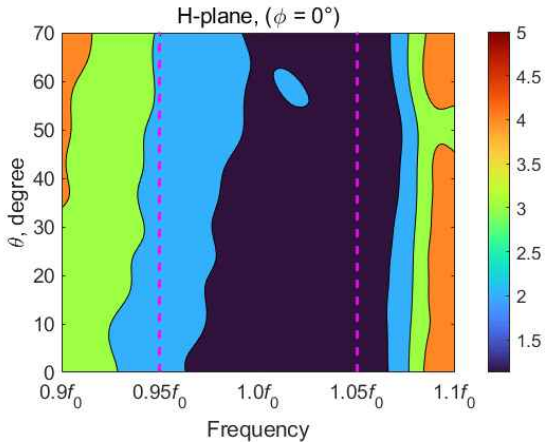
(b) H-평면
(b) H-plane

그림 8. 주파수에 따른 시제품의 AVSWR 결과(내부 소자)
Fig. 8. AVSWR results of prototype according to frequency (interior element).

향을 위한 AVSWR 개선 사례들을 비교한 표이다. 표 2에서 제시된 대역폭은 AVSWR<3 빔조향 범위를 유지하는 주파수 대역을 의미하며, 각 연구의 급전 방식/AVSWR 개선 방법을 정리하였다. 참고문헌 [5]는 15.7%의 대역폭을 확보하여 본 연구보다 넓은 주파수 특성을 보이나, E-평면과 H-평면의 조향 범위가 비대칭적이며 조향 범위 또한 제한적이다. 참고문헌 [6]은 대칭적인 조향 특성을 확보하였으나, 대역폭이 9 % 수준으로 좁고 조향 범위 또한 θ=45°



(a) E-평면
(a) E-plane



(b) H-평면
(b) H-plane

그림 9. 주파수에 따른 시제품의 AVSWR 결과(가장자리 소자)
Fig. 9. AVSWR results of prototype according to frequency (edge element).

까지로 제한된다. 특히 두 연구는 본 연구와 동일하게 비아 펜스 기반의 AVSWR 개선 구조를 적용하였으나, 급전 위치에 제약이 발생할 수 있는 probe feed 방식을 채택하고 있다. 반면, 참고문헌 [9] 및 참고문헌 [10]은 비아 펜스 대신 EBG(electromagnetic band gap) 구조와 기생 소자를 이용하여 AVSWR 특성을 개선한 연구이다. 해당 구조는 단층 PCB 기반으로 구현 가능하여 제작성이 우수하다는 장점이 있다. 또한, 넓은 조향 범위에서 AVSWR<3 특성을 확보하였으나, 대역폭은 각각 6.7 %와 4 % 수준으로 제한된다. 이에 반해, 본 연구는 다층 PCB 기반 AoB 구조를 고려한 스트립라인 급전 구조와 함께 10 %의 대역폭을 확보하였으며, E-/H-평면 모두에서 θ=70°까지의 안정적인 광각 빔조향 특성을 구현하였다.

표 2. PCB 공정으로 구현한 광각 빔조향 배열 비교 표
Table. 2. Comparison of wide-angle scanning array implemented using PCB process.

Ref.	Bandwidth (%)	Scan range (AVSWR < 3) (°)	Configuration
[5]	15.7	E-plane: 40 H-plane: 60	Probe feed/ via fence
[6]	9	E-plane: 45 H-plane: 45	Probe feed/ via fence
[9]	6.7	H-plane: 70 (1-D array)	Probe feed/ EBG structure
[10]	4	E-plane: 65 H-plane: 65	Probe feed/ parasitic element
This work	10	E-plane: 70 H-plane: 70	Stripline feed/ via fence

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 Ku-대역 다층 PCB 기반 AoB를 위한 광각 빔조향 위상 배열 안테나를 제안하였다. 제안된 구조는 BFIC와의 연계를 고려한 스트립라인 기반 급전 구조와 적층형 패치 안테나로 설계하였으며, 광각 빔조향 시 발생하는 AVSWR 열화를 완화하기 위해 비아 펜스를 적용하였다. 제안된 구조에서는 다층 PCB 공정에서 발생 가능한 잔여 stub의 영향을 고려하여 입력 임피던스를 분석하였으며, 비아 펜스를 통해 인접 소자 간 상호 결합 특성의 균형성이 개선되도록 설계하였다. 이를 검토하기 위해 비아 펜스 적용 유무에 따른 임피던스 궤적과 유한 배열 조건에서의 AVSWR 특성을 비교 분석하였으며, *u-v* 도메인에서 전 조향각의 특성을 확인하였다.

제안된 구조의 검증을 위해 144채널 단위 모듈 시제품을 제작하고, E-/H-평면 방향에 대한 AVSWR 검증을 수행하였다. 검증 결과, 10 %의 대역폭에서 AVSWR<3을 만족하였으며, E-/H-평면 모두에서 θ=0°～70°의 광각 빔

조향 특성을 확인하였다. 또한, 기존 PCB 기반 광각 빔조향 배열 안테나 연구와의 비교를 통해, 제안된 구조가 AoB에서의 급전 레이아웃 자유도를 확보하면서 광각 빔조향 성능과 충분한 대역폭을 확보할 수 있음을 확인하였다. 이에 본 연구에서 검증한 비아 펜스 적용 적층형 패치 안테나는 향후 Ku-대역 AoB 기반 위상 배열 시스템의 단위 모듈로 활용될 것으로 기대된다.

References

[1] X. Luo, J. Ouyang, Z. H. Chen, Y. Yan, L. Han, Z. Wu, T. Yu, and K. Zheng, "A scalable Ka-band 1024-element transmit dual-circularly-polarized planar phased array for SATCOM application," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 156084-156095, Aug. 2020.

[2] S. Das, S. K. Sharma, S. W. Waldstein, J. M. Downey, B. L. Schoenholz, and S. M. Dever, "A flat-panel 8 × 8 wideband K-/Ka-band dual circularly polarized phased array antenna for CubeSat communications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 71, no. 5, pp. 4153-4166, May 2023.

[3] D. Pozar, D. Schaubert, "Analysis of an infinite array of rectangular microstrip patches with idealized probe feeds," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 32, no. 10, pp. 1101-1107, Oct. 1984.

[4] F. Zavosh, J. T. Aberle, "Infinite phased arrays of cavity-backed patches," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 42, no. 3, pp. 390-398, Mar. 1994.

[5] H. Liu, A. Qing, Z. Xu, Z. Yu, and S. Zhang, "Design of physically connected wideband SIW cavity-backed patch antenna for wide-angle scanning phased arrays," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 20, no. 3, pp. 406-410, Mar. 2021.

[6] H. Liu, T. Guan, C. Fu, S. Zhang, X. Xu, Z. and Xu, et al., "Improving scanning performance of patch phased array antenna by using a modified SIW cavity and sequential rotation technique," *Electronics*, vol. 13, no. 9, May 2024.

[7] D. M. Pozar, "Analysis of an infinite phased array of aperture coupled microstrip patches," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 37, no. 4, pp. 418-425, Apr. 1989.

[8] R. B. Waterhouse, "Design of probe-fed stacked patches," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 47, no. 12, pp. 1780-1784, Dec. 1999.

[9] R. Shi, Y. He, Z. Wan, J. Shi, and H. Sun, "Simple E-plane decoupling structure using embedded mushroom element for wide-angle scanning linear microstrip phased arrays," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 24, no. 2, pp. 339-343, Feb. 2025.

[10] B. F. Sun, X. Ding, Y. F. Cheng, and W. Shao, "2-D Wide-angle scanning phased array with hybrid patch mode technique," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 19, no. 4, pp. 700-704, Apr. 2020.

신 건 영 [LIG 디펜스&에어로스페이스/선임연구원]
https://orcid.org/0000-0001-5161-8685



2017년 2월: 충남대학교 전기공학과 (공학사)
2019년 2월: 충남대학교 전기공학과 (공학석사)
2022년 8월: 충남대학교 전기공학과 (공학박사)
2022년 10월~현재: LIG 디펜스&에어로스페이스 선임연구원
[주 관심분야] 안테나, 전자파이론

채 희 덕 [LIG 디펜스&에어로스페이스/팀장]
https://orcid.org/0000-0003-4609-1764



1999년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학사)
2001년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)
2008년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
2007년 3월~현재: LIG 디펜스&에어로스페이스 팀장
[주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 시스템, 레이다 시스템, 초고주파 수동 회로 설계 및 전자파 수치 해석

김 영 완 [LIG 디펜스&에어로스페이스/수석연구원]
http://orcid.org/0000-0001-6404-8335



2005년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)
2007년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2007년 2월~현재: LIG 디펜스&에어로스페이스 수석연구원
[주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 설계, 레이다 시스템, 초고주파 수동 회로 설계

박 종 국 [LIG 디펜스&에어로스페이스/소장]
https://orcid.org/0000-0001-5834-9238



1995년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
2001년 8월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
2001년 11월~현재: LIG 디펜스&에어로스페이스 소장
[주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 시스템, 레이다 시스템, 초고주파 수동 회로 설계 및 전자파 수치 해석