

## 위성통신용 항공기 탑재 소형 적층 구조 능동위상배열 안테나 설계

Designing Low-Profile Stack-Up Airborne Satellite Datalink  
Phased Array Antenna

이재우 · 윤현상 · 노성민 · 이상필

Jaewoo Lee · Hyunsang Youn · Sungmin Noh · Sangpill Lee

## 요 약

본 논문에서는 항공기 탑재를 고려하여 소형화, 모듈화 기법을 적용한 Ku-band 배열 안테나 시스템을 설계하고 그 성능을 확인하였다. 배열 안테나 시스템은 방사체, 개구 결합 급전 슬롯, 전력 결합기, 빔포머 IC와 제어회로 등으로 적층 구조를 통해 모듈화되어 있다. 안테나 급전을 위해 다층 적층 구조에서 수직 급전을 위해 개구 결합 급전 구조와 cavity 구조가 적용되어 있다. 배열 안테나는 5.8 dBi의 단일 소자를 16×16 배열로 구성하였으며  $\theta=0^\circ\sim60^\circ$  범위에서 조향된다. 배열 안테나의 최대이득은 27.2 dBi이며  $\theta=60^\circ$ 까지 조향하였을 때 약 2.5 dB의 이득 저하를 보여준다.

## Abstract

In this study, a Ku-band phased array antenna system for aircraft datalink was developed. The antenna system was packed into a module comprising antenna, aperture coupled feeding slot, power combiner, beam-former IC, and control line. The system has a multi-layer stacked structure. A cavity and an aperture coupled slot feeding structures have been applied for the feeding antenna. The 16×16 array antenna has a patch antenna with a gain of 5.8 dBi. The beam can be steered in-between  $\theta=0^\circ\sim60^\circ$ . The maximum gain was 27.2 dBi at broadside and the beam shows a 2.5 dB gain degradation at  $\theta=60^\circ$ .

Key words: Aperture Coupled Feeding, Pased Array Antenna, Stack-Up Structure, Dumbbell-Slot, Satcom Datalink

## I. 서 론

항공기에 탑재되는 안테나는 지상에 설치되는 안테나에 비해 무게, 크기 등 물리적 설계 조건이 제한되며 항공기 자세변화에 대하여 보상이 필요하다. 능동위상배열을 이용한 빔 조향 시스템은 통신, 레이더 등 빔 조향이 필요한 여러 분야에서 사용되고 있다. 위상배열 안테나는 각 방사소자의 급전 크기, 위상 조절을 통해 기계적 구동부

없이 빔을 빠르게 조향할 수 있으며 각 방사소자의 가중치 조절을 통해 side lobe의 레벨을 제한하거나 특정 방향에서 null을 생성하여 재밍신호에 대응하는 등 항공기 탑재 안테나로서의 활용도가 높다. 또한 적층 구조를 통하여 빔포머 IC, 급전회로, 방사체 등을 적층 구조를 통해 일체화하여 배열 안테나 시스템을 더욱 작고 가볍게 구성할 수 있다<sup>[1][2]</sup>. 특히 항공기에 탑재하기 위한 배열 안테나 시스템의 경우 높이가 낮을수록 냉각과 개구면 확

엘아이지넥스원(주) C4I연구소(C4I Lab, LIGNex1 Co. Ltd.)

· Manuscript received August 31, 2023 ; Revised September 18, 2023 ; Accepted September 18, 2023. (ID No. 20230831-069)

· Corresponding Author: Sangpill Lee (e-mail: leesangpill@lignex1.com)

보에 유리하여 동일한 조건에서 더 높은 성능을 낼 수 있다<sup>[3]</sup>.

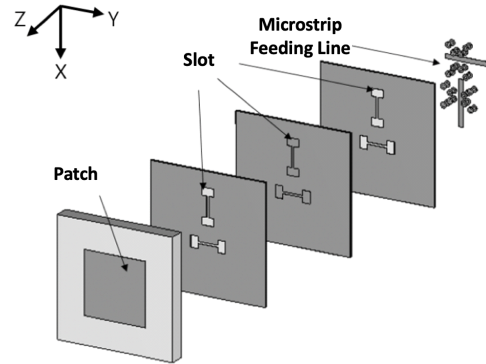
위상배열 시스템에서 빔포머 IC는 경로 손실 최소화를 위해 방사체 바로 뒷면에 부착되어야 하며 이를 위해 수직 급전 구조를 고려하여야 한다. 수직 급전 구조 중 개구 결합 급전 방식은 적층 구조에서 널리 쓰이는 급전 방식으로, 개구 결합 급전 방식은 via를 통한 직접 급전 방식 대비 제작이 간단하고 슬롯의 크기, 형태 조절을 통해 운용 주파수 대역, 격리도 등의 성능 최적화가 용이하다<sup>[4]~[10]</sup>. 하지만 다층 구조에서 개구 결합을 통한 급전 시에 누설과 등으로 인해 슬롯층이 단일층일 때 대비 안테나 성능이 열화되는데, 이때 cavity 구조를 통해 누설파를 차단하여 성능을 개선할 수 있다<sup>[9]~[13]</sup>.

본 논문에서는 광대역 고격리도 특성을 가지는 이중편파 방사소자를 이용한 항공기 탑재 위성통신용 위상배열 안테나 시스템을 설계, 제작하였다. 안테나는 Ku-band에서 설계되었으며 최적의 설계구조를 위해 cavity가 적용된 적층 구조와 H형태의 슬롯을 이용한 이중편파 개구 결합 구조를 통해 급전된다. 이러한 적층 구조 설계기법을 통해 빔포머 IC, 제어회로, 전력분배기, 안테나 패치 등을 하나의 모듈로 통합하고 EM 시뮬레이션을 통해 대역과 격리도를 최적화하였다.

## II. 단일 소자 설계

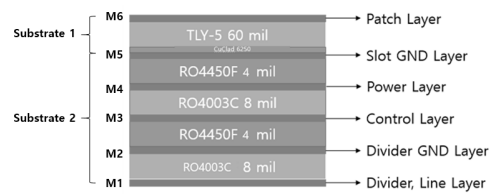
그림 1(a)는 배열 안테나의 단일 소자 형태이다. 안테나의 편파는 채널 용량을 늘리기 위해 이중편파 안테나로 설계되었다. 적층 구조에서 광대역, 고 격리도 특성을 달성하기 위해 H형태의 슬롯을 사용한 개구 결합급전 방식과 슬롯의 주변부를 감싸는 형태로 배치된 via를 이용한 cavity 구조를 도입하였다.

그림 1(b)는 안테나의 적층 구조를 나타낸다. 안테나 패치와 급전 구조를 비롯하여 다수의 전원 라인, 제어 라인, RF 라인이 서로 간섭 없이 배선되어야 하며 소형화를 위해 많은 수의 계층(multi layer PCB)을 필요로 한다. PCB 기판은 크게 두 부분으로 분리되며, 그 중 상부는 높이가 60 mil인 Taconic TLY-5( $\epsilon_r=2.2$ ,  $\tan \delta=0.0009$ ) 기판이 사용되었으며, 하부는 높이가 4 mil인 RO4450F( $\epsilon_r=$



(a) 안테나 적층 구조 투시도

(a) Perspective view of the antenna stack-up structure



(b) 안테나 적층 구조 측면도

(b) Side view of the stack-up structure

그림 1. 안테나 적층 구조 형태

Fig. 1. Stack-up structure of the antenna.

3.52,  $\tan \delta=0.004$ ) 기판과 높이가 8 mil인 RO40033C( $\epsilon_r=3.55$ ,  $\tan \delta=0.002$ ) 기판이 사용되었다. 전력분배기는 M1층에 배치되어 있으며, M2층~M5층에 형성된 슬롯을 통해서 방사체에 급전되는 구조를 가진다. 이때 M2층~M5층에 구성된 슬롯은 동일한 형태와 치수를 가진다. M6층은 방사체가 배치되어 있다.

### 2-1 수직 급전 구조 분석

그림 2는 적층 구조에서 패치안테나에 적용 가능한 수직 급전 구조이다. 적층 구조에서 하단의 마이크로스트립 전송선에서 상단의 패치 안테나로 급전하는 구조는 크게 개구 결합 급전 방식과 via를 통한 급전 방식으로 구분할 수 있다. 그림 2(a)는 via를 이용한 coaxial feeding 방식, 그림 2(b)는 직사각형 형태의 슬롯을 이용한 개구 결합 급전 방식, 그림 2(c)는 H형태의 슬롯을 이용한 개구 결합 급전 방식이다.

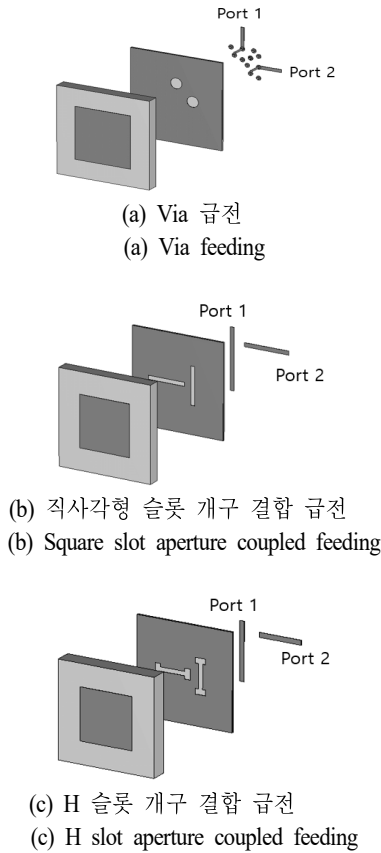
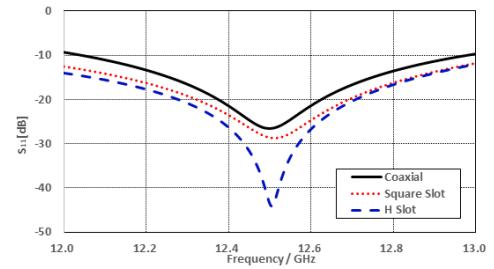


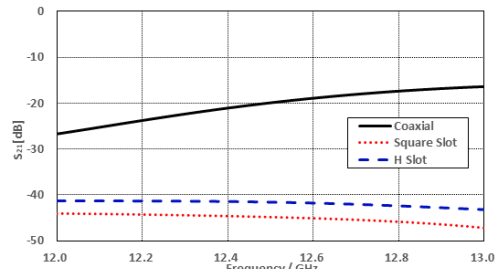
그림 2. 적층 구조에서 패치안테나에의 급전 구조  
Fig. 2. Feeding structures for a patch antenna in stack-structure.

그림 3은 각 급전 구조에 따른 이중편파 안테나의 반사계수 및 격리도이다. 그림 2(c)의 H형태 슬롯을 통한 개구 결합 급전 구조는 반사계수가 최소  $-42.7$  dB로 세 구조 중 가장 낮으며 격리도는 직사각형 형태의 슬롯을 사용한 경우가 가장 높지만 H형태 슬롯 구조에서도 40 dB이상의 높은 격리도를 나타낸다.

개구 결합 구조에서는 안테나가 존재하는 상부 기판과 제어 및 급전라인이 존재하는 하부 기판이 분리되어 PCB 제작이 쉬우며, 안테나 성능을 최적화하기에도 용이하다. 본 논문에서는 제작의 용이성과 운용 대역 내 반사손실 최소화 및 이중편파 운용 시 수직/수평편파 간 격리도 향상을 고려하여 그림 2(c)의 H형태 슬롯을 통한 급전 구조를 적용하였다.



(a)  $S_{11}$



(b)  $S_{21}$

그림 3. 각 수직 급전 구조에서 시뮬레이션 된 반사계수 및 격리도

Fig. 3. Reflection and isolation of each vertical feeding structure.

## 2.2 다층기판구조에서의 Cavity 구조분석

그림 4(a)는 앞서 2-1에서 설계한 2층 개구 결합 급전 구조의 측면도이며 그림 4(b)는 실제 제작된 빔포밍IC와 제어회로, 전력분배기 등이 포함된 다층구조를 나타낸다. 다층구조 슬롯을 통해 개구 결합급전 시 누설과 등으로 인해 성능이 감소한다. Via를 통해 cavity 구조를 형성하면 누설과 손실을 막아 이러한 성능 감소를 최소화 할 수 있다<sup>[2]</sup>.

그림 5는 그림 4(b)와 같은 다층 개구 결합 구조의 후면도를 나타낸다. 각 구조에서 cavity 구조 형성을 위한 via의 수가 변화한다.

그림 6(a)는 Type A~E의 다섯 가지 급전 구조가 적용된 안테나의 시뮬레이션된 반사계수를 나타내며, 그림 6(b)는 시뮬레이션된 안테나 효율을 나타낸다.

Type A 구조는 2-1에서 설계한 2층 개구 결합 급전 구조로 다층 적층 구조의 성능 최적화 목표이다. 이 구조에서 반사계수  $-10$  dB 기준 대역폭은 11.5 %이며 안테나

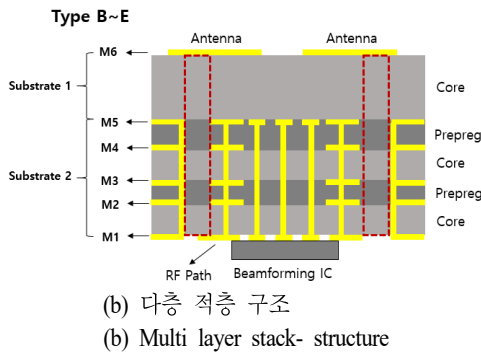
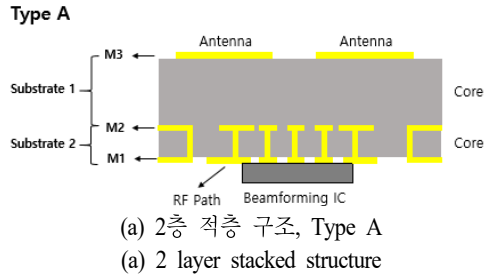


그림 4. 개구 결합안테나의 측면도  
Fig. 4. Side view of the aperture coupled antenna.

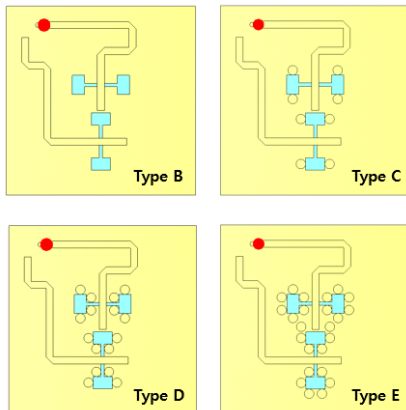
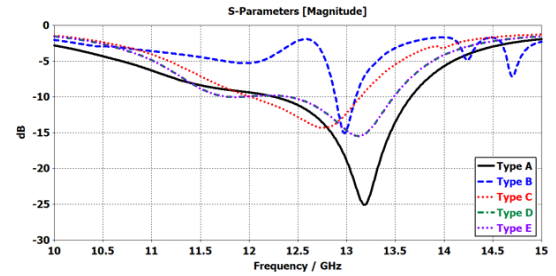


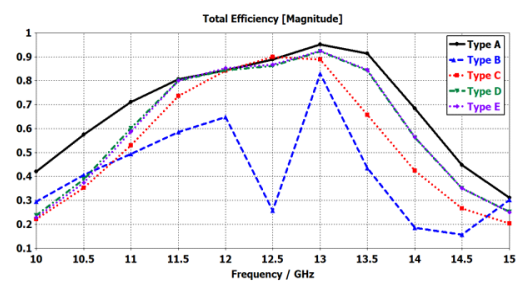
그림 5. 다층 개구 결합안테나의 후면도  
Fig. 5. Back view of multi layer PCB aperture coupled feeding antenna.

효율은 85~95 %이다.

Type B~D에서 cavity 형성을 위한 via hole의 개수는 그림 5와 같이 증가하며 Type B의 경우와 같이 cavity 형성 없이 다층구조로만 구성할 경우 Type A 대비 성능 저하가 큰 것을 확인할 수 있다. Via hole 증가에 따라 대역



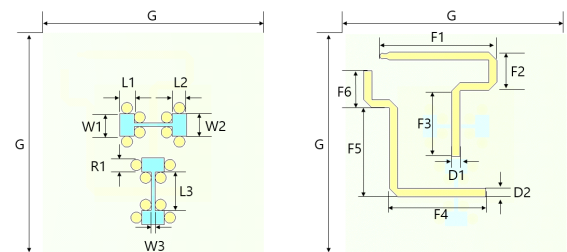
(a) 반사계수  
(a) Reflection coefficients



(b) 안테나 효율  
(b) Total efficiency

그림 6. Type A-E 안테나의 시뮬레이션 분석 결과  
Fig. 6. Simulated result of the type A-E antenna.

폭과안테나 효율은 설계 목표치인 Type A의 대역폭과 안테나 효율로 근접하나 Type D와 E의 성능의 차이는 크지 않아 성능 개선효과에 한계가 있는 것으로 판단된다. 따라서 Type D의 급전 구조를 적용하였다. Type D의 급전 구조를 차용한 안테나의 반사계수  $-10$  dB 기준 대역폭



(a) M2-M5층의 후면도 (b) M1층의 후면도  
(a) Bottom view of the layer (b) Top view of the layer M1  
M2-M5

그림 7. 제안된 안테나의 급전 구조  
Fig. 7. The geometric of proposed antenna element.

표 1. 급전 구조 설계 파라미터

Table 1. The design parameters of proposed feeding structure.

Slot, Via		Feeding line	
Parameter	(mm)	Parameter	(mm)
$L_1$	0.78	$F_1$	6.13
$L_2$	0.78	$F_2$	2.1
$L_3$	2.07	$F_3$	3.45
$W_1$	1.22	$F_4$	5.27
$W_2$	1.22	$F_5$	4.84
$W_3$	0.21	$F_6$	2.05
$R_1$	0.6	$D_1$	0.45
		$D_2$	0.45

은 8.7 %이며 안테나 효율은 85~92 %이다.

그림 7(a)는 cavity 형성을 위한 via의 최적 형상 및 배치를 나타낸다. 두 슬롯은 이중편파를 형성한다. 그림 7(b)는 안테나에 급전하기 위한 마이크로스트립 선로이다. 표 1은 제안된 안테나 급전 구조의 설계 파라미터이다.

### 2-3 단일 소자 설계 결과

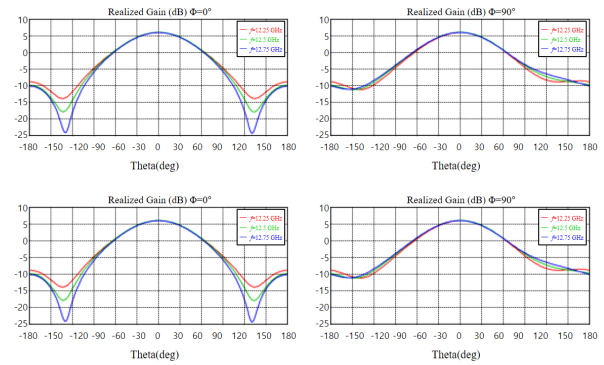
그림 8(b)는 단일 복사소자의 2D&3D 방사 패턴을 보여준다. 복사소자의 이득은 중심주파수에서 5.8 dBi이며 -3 dB 빔폭은 90.1°이다.

표 2는 제안된 안테나와 동일한 대역에서 설계된 개구 결합 급전방식의 항공기 탑재용 안테나를 설계한 참고문헌 [13]의 안테나와의 주요 성능 파라미터 비교이다. 개구 결합 안테나의 개구면을 다층으로 구현함에도 불구하고 임피던스 정합이나 이득과 같은 주요 성능이 단층 계층 구조 대비 우수하며, 별도의 급전 격리 구조가 부재함에도 불구하고 격리도 개선 효과 및 수준이 우수함을 알 수 있다.

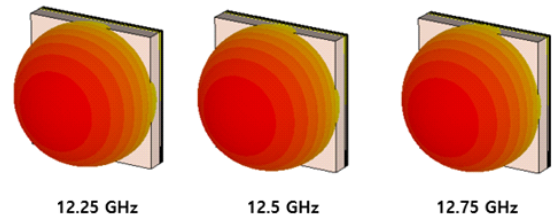
제안된 안테나 구조는 기존의 개구 결합 안테나 구조에 비해서 2가지 구조적 차별성을 지닌다.

기존의 개구 결합 안테나의 단일 슬롯 계층 구조에 비해 제안된 안테나의 cavity 구조가 적용된 다층 슬롯 계층 구조는 능동위상배열 안테나 시스템 구현 시 집적화 및 회로 구현에 유리한 장점이 있다.

또한 다층 슬롯 계층 구조를 구현을 위해서 슬롯 주위



(a) 2D 패턴  
(a) 2D pattern



(b) 3D패턴  
(b) 3D pattern

그림 8. 단일 소자의 시뮬레이션된 방사패턴

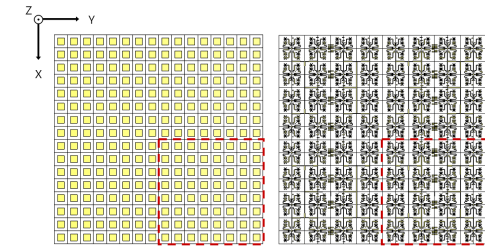
Fig. 8. Simulated radiation pattern of the unit element.

표 2. 주요 성능 파라미터 비교

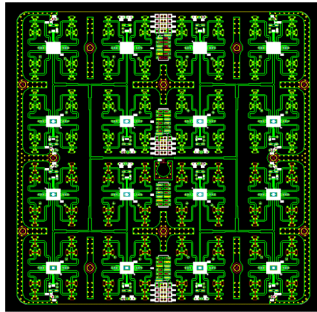
Table 2. Comparison of the main performance parameters of proposed feeding structure.

Parameter	Ref. [13]	Proposed structure
Thickness	1.8 mm (W/o control layer)	2.25 mm (W/ control layer)
Feeding slot layer	Single layer	Multi layer
Feeding isolation structure	Metal wall, slot shape	Slot shape
-10 dB BW	600 MHz	1.5 GHz
Isolation	Better than 20 dB	Better than 40 dB
Antenna gain	5 dBi	5.8 dBi

에 위치한 via가 급전 간 분리시켜주는 역할을 수행하므로 기존의 이중 급전 안테나 구조에서 격리도 개선을 위해서 존재하는 metal wall과 같은 추가 구조물이 필요 없다는 장점이 있다.



(a) 16×16 배열 안테나 전면도, 후면도  
(a) VTop view of 16×16 phased array antenna system



(b) 8×8 부배열의 아트웍 설계  
(b) Artwork design of the 8×8 subarray antenna system

그림 9. 배열 안테나 형상

Fig. 9. Design of a phased array antenna system.

### III. 배열 안테나 설계

그림 9는 Ku-band에서 동작하는 배열 안테나의 형상을 나타낸다. 16×16 배열 안테나는 모노펄스 추적을 위해 4개의 8×8 부배열로 구성되어 있다. 복사소자 tile은 단일 복사소자의 256개를 16×16 배열한 형태로 그림 9와 같이 구성된다. Tile의 전체 크기는 192 mm로,  $\theta=0^\circ \sim 90^\circ$ 인 빔조향 요구조건에 따라 최대빔조향각도인  $60^\circ$ 를 조향할 수 있도록 격자역을 고려하여 배열 간격을  $0.51 \lambda$  (12 mm)으로 설계하였으며, 위상을 조절하기 위한 빔포머 IC은 4채널 AWMF-0146이 사용되었다.

그림 10은 복사소자 tile의 이득 및 패턴의 시뮬레이션 결과를 나타내었으며, 전체이득은 약 27.3 dBi,  $-3$  dB 빔폭은 약  $6.3^\circ$ 이다.

그림 11은 최대빔조향각도  $\theta=60^\circ$ 에서( $\phi=0^\circ$ ), 배열 안테나의 방사패턴 시뮬레이션 결과를 나타내며, 설계 목표인 최대빔조향각에서 이득과 broadside의 이득차는 2.55 dB 이내이다(표 3).

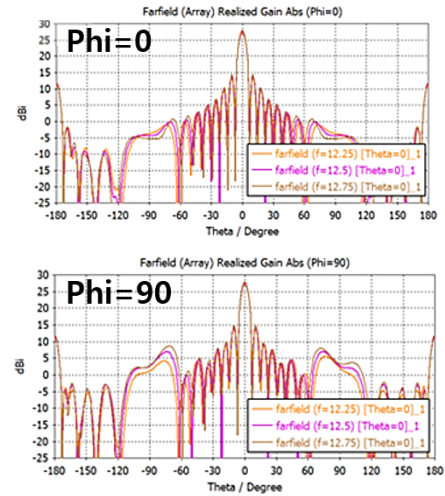


그림 10. 16×16 배열의 시뮬레이션된 방사패턴

Fig. 10. EM simulated results of 16×16 phased array antenna system.

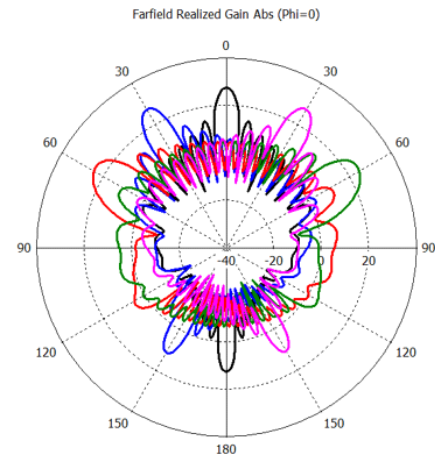


그림 11. 16×16 배열 안테나 지향각 조향( $\phi=0^\circ, 180^\circ, \theta=0^\circ \sim 60^\circ$ ) EM 해석 결과

Fig. 11. EM simulation results of main beam steering ( $\phi=0^\circ, 180^\circ, \theta=0^\circ \sim 60^\circ$ ).

### IV. 배열 안테나 제작

제작된 능동위상배열 안테나의 최종 제작 형상과 성능을 측정하기 위한 근접전계측정시스템은 그림 12와 같다.

그림 13은 근접전계측정시스템에서 측정한 안테나의 2D 방사 패턴이며, 표 4는 측정된 패턴의 이득과 빔폭이



표 3. 16×16 배열 안테나 빔 조향( $\phi=0^\circ$ ,  $\theta=0^\circ\sim60^\circ$ ) EM 해석 결과

Table 3. EM simulation results of main beam tilting ( $\phi=0^\circ$ ,  $\theta=0^\circ\sim60^\circ$ ).

Beam dir. (deg)	Gain (dBi)	$\Delta$ Gain (dB)
-60	24.42	2.55
-30	27.22	0.05
0	27.3	-
30	27.16	0.14
60	24.49	2.51

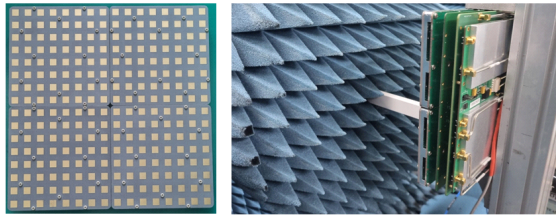


그림 12. 제작된 능동위상배열 안테나 형상 및 근접전계 측정시스템

Fig. 12. Antenna figure and nearfield scanning measurement system.

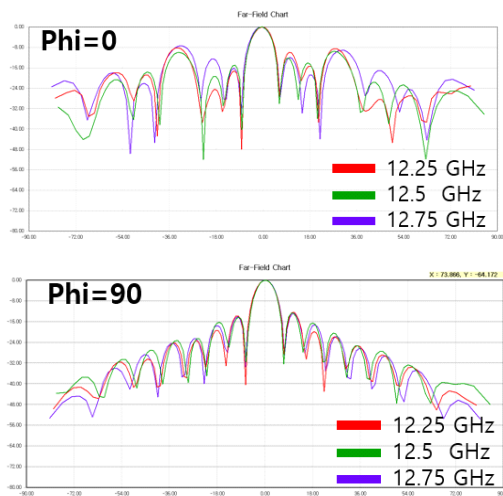


그림 13. 제안된 16×16 배열 안테나의 패턴(2D) 측정 결과

Fig. 13. Measurement results of proposed 16×16 phased array antenna system.

표 4. 제안된 16×16 배열 안테나의 측정 결과

Table 4. Measurement results of proposed 16×16 phased array antenna system.

Freq. (GHz)	Gain (dBi)	3 dB BW ( $\phi=0^\circ$ ) (deg)	3d B BW ( $\phi=90^\circ$ ) (deg)
12.25	27.1	6.65	6.4
12.5	27.22	6.5	6.35
12.75	27.11	6.33	6.15

다. 측정된 방사체의 이득은 약 27.3 dBi, -3 dB 빔폭은 약 6.4°이다.

그림 14는  $\theta=60^\circ$ 로 메인 빔을 조향하였을 때 근접전

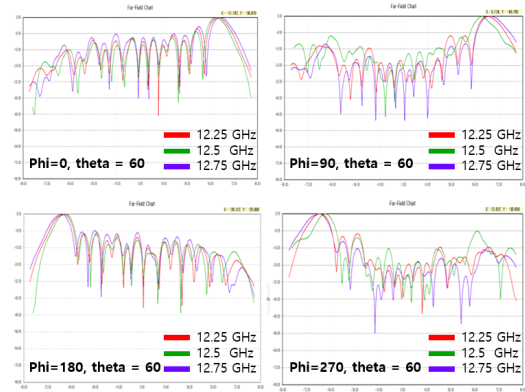


그림 14. 제안된 16×16 배열 안테나의 패턴(2D) 측정 결과( $\theta=60^\circ$ )

Fig. 14 Measurement results of proposed 16×16 phased array antenna system ( $\theta=60^\circ$ ).

표 5. 제안된 16×16 배열 안테나의 빔 조향시 broadside 대비 이득변화 측정 결과( $\theta=60^\circ$ )

Table 5. Measurement antenna gain degradation compared to broadside beam of proposed 16×16 phased array antenna system ( $\theta=60^\circ$ ).

Beam dir. ( $\phi$ , deg) $\theta=60^\circ$	12.25 GHz (dB)	12.5 GHz (dB)	12.75 GHz (dB)
$\phi=0$	4.92	2.04	0.75
$\phi=90$	4.35	1.7	1.66
$\phi=180$	4.33	1.45	1.29
$\phi=270$	4.92	2.04	1.08

계측정시스템에서 측정한 12.25 GHz, 12.5 GHz, 12.75 GHz에서의 안테나의 2D 방사 패턴이며, 표 5는 broadside 대비 이득 감소치이다. 최대 빔 조향 시 이득 변화는 약 4.92 dB 이하이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 항공기 탑재를 고려하여 소형화, 모듈화 기법을 적용한 Ku-band 배열 안테나 시스템을 설계하였다. 배열 안테나 시스템은 방사체, 개구 결합 급전 슬롯, 전력 결합기, 빔포머 IC와 제어회로 등 적층 구조를 통해 모듈화되어 있다. 적층 구조에서 수직 급전을 위해 제작과 안테나 튜닝이 용이한 개구 결합 급전 구조를 적용하였다. 또한 cavity 구조를 적용하여 다층 적층 구조로 인한 성능저하를 최소화하였다. 단일 소자의 이득은 시뮬레이션 결과 이득은 5.8 dBi이다. 배열 안테나는 단일 소자를 16×16 배열로 구성하였으며  $\theta=0^{\circ}\sim60^{\circ}$  범위에서 조향된다. 배열 안테나의 빔 패턴 측정 결과 broadside 방향에서의 최대이득은 27.2 dBi이며  $\theta=60^{\circ}$ 까지 조향하였을 때 약 4.92 dB의 이득 저하를 보여준다.

## References

- [1] J. Joo, J. Lee, J. Park, H. S. Jin, Y. D. Kang, and I. T. Han, et al., "A study of dual channel side-lobe blanking beam pattern formation optimized for digital active phased array antennas of multi-function radar systems," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 1, pp. 62-71, Jan. 2020.
- [2] I. Park, C. Seo, and H. Ku, "Sidelobe suppression beam-forming using tapered amplitude distribution for a microwave power transfer system with a planar array antenna," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 22, no. 1, pp. 64-73, Jan. 2022.
- [3] H. J. Jung, J. S. Han, M. C. Kang, C. H. Lee, B. H. Park, and Y. W. Kim, et al., "Design and fabrication of X-band air-cooled, compact, and lightweight active electronically scanned array antenna unit for aircraft installation," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 34, no. 8, pp. 618-628, Aug. 2023.
- [4] D. M. Pozar, "A microstrip antenna aperture coupled to a microstrip line," *Electronics Letters*, vol. 21, no. 2, pp. 49-50, Jan. 1985.
- [5] M. Civerolo, D. Arakaki, "Aperture coupled patch antenna design methods," in *2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation(APSURSI)*, Spokane, WA, Jul. 2011, pp. 876-879.
- [6] Z. Aijaz, S. Shrivastava, "Effect of the different shapes: Aperture coupled microstrip slot antenna," *International Journal of Electronics Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 103-105, Jan. 2010.
- [7] D. Huang, Z. Du, "Wideband dual-band dual-polarised antenna with less layer radiating patch," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 13, no. 8, pp. 1214-1218, Jul. 2019.
- [8] J. I. Oh, H. Cho, J. H. Lee, S. H. Han, C. Lee, and J. W. Yu, "Cavity PCB process-based Ka-band phased array with offset-fed aperture coupled patch antenna," in *2022 52nd European Microwave Conference(EuMC)*, Milan, Sep. 2022, pp. 684-687.
- [9] H. Youn, Y. W. Kim, Y. H. Han, J. Y. Park, and B. Lee, "Design of wideband high-isolation dual-polarized aperture coupled microstrip patch antenna," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 5, pp. 414-420, May 2020.
- [10] J. D. Díaz, J. L. Salazar, J. A. Ortiz, C. Fulton, N. Aboserwal, and R. Kelley, et al., "A dual-polarized cross-stacked patch antenna with wide-angle and low cross-polarization for fully digital multifunction phased array radars," in *2016 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology(PAST)*, Waltham, MA, Oct. 2016, pp.1-4.
- [11] S. C. Chae, J. W. Kim, J. S. Yoo, H. Cho, and J. W. Yu, "Design of aperture coupled feeding Ku-band phased array antenna on multi-layer PCB for satellite commu-



nications," in *2019 49th European Microwave Conference (EuMC)*, Paris, Oct. 2019, pp. 1080-1083.

- [12] S. H. Park, K. T. Kim, J. W. Seo, and T. Joo, "Design and implementation of a conformal Tx active phased-array antenna composed of planar subarrays," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and*

*Science*, vol. 31, no. 12, pp. 1042-1052, Dec. 2020.

- [13] T. Joo, K. Kim, Y. Kim, C. Hwang, and J. Seo, "Design of a conformal Rx phased array antenna system for Ku-band satellite communications," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 6, pp. 495-509, Jun. 2020.

이 재 우 [엘아이지넥스원(주)/수석연구원]

<https://orcid.org/0009-0003-8353-6248>



2009년 2월: 홍익대학교 전자공학과 (공학사)  
2009년 3월~2022년 10월: LG전자 MC연구소  
2022년 2월~현재: 엘아이지넥스원 C4I연구소 수석연구원  
[주 관심분야] Antenna, RF, UAV Datalink System Design & Optimization, Satellite Communication System

노 성 민 [엘아이지넥스원(주)/수석연구원]

<https://orcid.org/0009-0005-9353-9113>



2000년 3월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 3월~2009년 2월: 단국대학교 전자컴퓨터공학과 (공학석사)  
2009년 2월~2011년 12월: 하이게인안테나 연구원  
2011년 12월~현재: 엘아이지넥스원(주) C4I연구소 수석연구원  
[주 관심분야] UAV Datalink System Design & Optimization, Satellite Communication System

윤 현 상 [엘아이지넥스원(주)/연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3215-0663>



2020년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)  
2020년 3월~2022년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)  
2022년 2월~현재: 엘아이지넥스원(주) C4I연구소 연구원  
[주 관심분야] Antenna, RF, 수동소자, 무선전력전송, 항공기 데이터링크, 위성통신 등

이 상 필 [엘아이지넥스원(주)/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9421-0986>



2001년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 2월: 광운대학교 통신공학과 (공학석사)  
2007년~현재: 엘아이지넥스원(주) C4I연구소 수석연구원  
[주 관심분야] UAV Datalink System Design & Optimization, Satellite Communication System