

X-대역 공랭식 항공기탑재용 소형/경량화 능동위상배열안테나장치 설계 및 제작

Design and Fabrication of X-Band Air-Cooled, Compact, and Lightweight Active Electronically Scanned Array Antenna Unit for Aircraft Installation

정형진 · 한재섭 · 강맹창 · 이창현 · 박병학 · 김영완 · 김혜빈

Hyoung-Jin Jung · Jae-Sub Han · Maeng-Chang Kang · Chang-Hyun Lee ·
Byeong-Hak Park · Young-Wan Kim · Hye-Bin Kim

요 약

경공격기, 무인기와 같은 항공기 또는 드론에 능동형 전자 주사식 위상배열 레이더(active electronically scanned array: AESA)를 적용하기 위해서는 소형/경량화된 능동위상배열안테나장치와 공랭 방식의 방열구조로 설계된 레이더 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 국내 최초 항공기탑재용 X-대역 공랭식 소형, 경량화 능동위상배열안테나장치의 설계 및 제작 결과를 기술하였다. 능동위상배열안테나장치를 공랭식으로 방열하기 위해 주 발열원인 반도체송수신모듈(transmit receive module: TRM)에 방열핀을 적용하여 열 해석 및 시험을 통해 열적 안정성을 확인하였다. 능동위상배열안테나장치의 유효 등방성 복사전력(effective isotropic radiated power: EIRP)은 00.00 dBmi 이상, 수신이득 대 잡음비(gain to noise temperature ratio: G/T)는 0.00 dB/k 이상, $\pm 70^\circ$ 까지 광각 스캔이 가능하다.

Abstract

To apply active electronically scanned array (AESA) radars to aircraft, such as light attack aircraft, unmanned aerial vehicles, and drones, a radar system designed with a compact and lightweight AESA antenna device and an air-cooled heat dissipation structure is required. This paper presents the design and fabrication results of the first domestic X-band air-cooled, compact, and lightweight active phased array antenna device for aircraft. To dissipate heat from the AESA antenna unit by air cooling, a heat dissipation fin was applied to the transmit - receive module, the main heat source, and the thermal stability was confirmed through thermal analysis and testing. The effective isotropic radiated power of the AESA antenna unit was over 00.00 dBmi, its gain-to-noise temperature ratio was over 0.00 dB/k, and wide-angle scanning was possible up to $\pm 70^\circ$.

Key words: AESA Antenna Unit, Air Cooled, Compact, Lightweight, Air-Cooled Active Electronically Scanned Array Antenna Unit

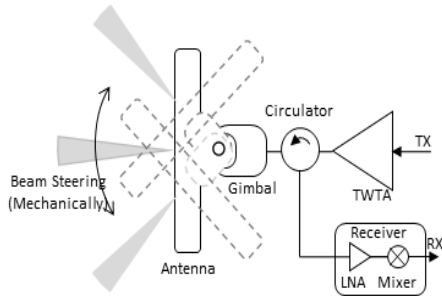
I. 서 론

레이더는 전자기파로 표적의 거리/방위/고도 등의 정보를 획득하는 표적탐지를 수행하는 시스템이다^[1]. 그림 1

LIG넥스원 초고주파기술개발단(Microwave and Antenna R&D Lab., LIG Nex1)

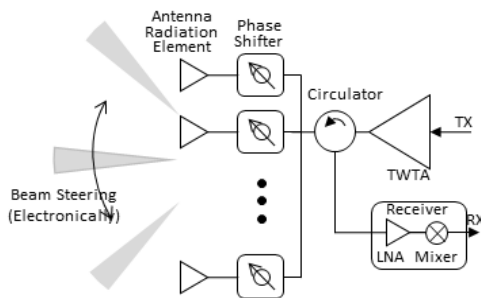
· Manuscript received June 7, 2023 ; Revised June 26, 2023 ; Accepted July 31, 2023. (ID No. 20230607-039)

· Corresponding Author: Hyoung-Jin Jung (e-mail: Hyoungjin.jung2@lignex1.com)



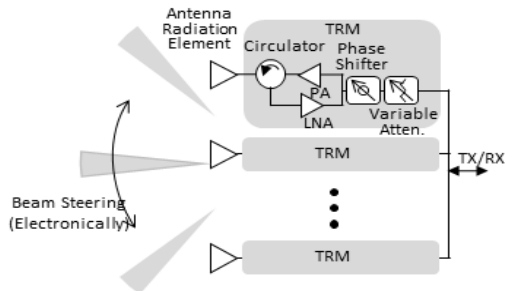
(a) 기계식 레이더 안테나장치 구조

(a) Structure of MSA's antenna unit



(b) 수동형 전자 주사식 위상배열 레이더 안테나장치 구조

(b) Structure of PESA's antenna unit



(c) 능동형 전자 주사식 위상배열 레이더 안테나장치 구조

(c) Structure of AESA's antenna unit

그림 1. 레이더 안테나장치 구조

Fig. 1. Structure of radar antenna unit.

은 레이더 안테나장치 구조이다. 기계식 레이더(mechanically scanned array: MSA) 안테나장치는 단일 송신기를 보유하고 짐발이 구동하여 안테나를 움직여 송/수신 빔을 조향하고, 수동형 전자 주사식 위상배열 레이더(passive electronically scanned array: PESA)는 단일 송신기에 각 채널별로 위상변위기가 있어 송/수신 빔을 조향한다. 최근 다중 표적을 탐지/추적할 수 있으며, 미사일 유도 등 동시

에 여러 임무를 수행할 수 있는 다기능 레이더(multi function radar) 형태로 발전하고 있고 항공기탑재용 레이더 또한 공대공/공대지/공대해 등 다중 임무를 동시에 수행하는 능동형 전자 주사식 위상배열 레이더(active electronically scanned array: AESA)로 개발이 되고 있다.

능동위상배열안테나장치는 AESA 레이더에서 다수의 TRM(transmit receive module)이 적용되어 송신 신호 증폭, 수신신호 저잡음 증폭, 위상 및 이득을 가변하여 다양한 빔 형성 및 조향이 가능해 다중 모드/다기능으로 동작할 수 있게 한다^{[2],[3]}. MSA와 PESA에서 사용하는 TWTA(travelling wave tube amplifier)와 같은 단일 송신기 형태로 송신 신호를 증폭하는 레이더는 높은 동작 전압으로 동작하고 송신기가 고장 발생 시 운용을 할 수 없는 단점을 보유하고 있어 효율성과 신뢰성이 낮다^{[4],[5]}. 그러나 AESA의 안테나장치에 사용하는 TRM은 반도체 소자로 적용되어 낮은 동작 전압과 여러 개의 증폭기가 병렬로 결합하기 때문에 일부 증폭기가 고장이 발생하더라도 점진적 성능 저하(graceful degradation)가 되어 전체 성능에 치명적인 영향을 주지 않고 임무를 수행할 수 있는 장점을 보유하고 있다^[6].

본 논문에서는 경공격기 및 고등훈련기와 같은 항공기 노즈 레이더의 협소한 장착 공간 및 제한적인 냉각용량에 적용할 수 있는 국내 최초 X-대역 공랭식 소형/경량화 능동위상배열안테나장치를 설계/제작하였다.

능동위상배열안테나장치의 주 발열원인 TRM의 발열량을 고려해 방열 핀을 설계하여 외부에서 인가되는 냉각공기를 통해 공랭식으로 방열이 될 수 있게 제작하였으며, 다른 구성품은 전도를 통해 방열이 되도록 열 해석과 시험을 통해 열적 안정성을 확보하여 능동위상배열안테나장치의 성능을 확인하였다. II 장에서는 능동위상배열안테나장치 및 구성품 설계/제작 결과, III 장에서는 능동위상배열안테나장치의 성능시험 결과를 기술하였다.

II. 능동위상배열안테나장치 및 구성품 설계/제작

원뿔모형과 유사한 형태의 경공격기 및 고등훈련기 항공기 노즈 레이더 내부 능동위상배열안테나장치를 장착하기 위해선 장치의 두께가 소형화되어야 한다. 그림 2와

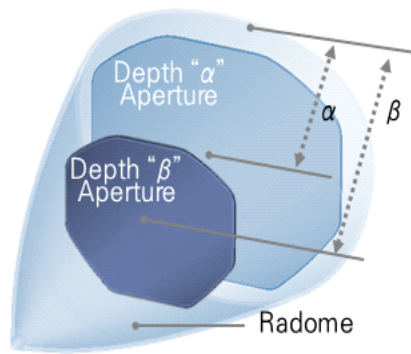


그림 2. 능동위상배열안테나장치 두께에 따른 개구면
Fig. 2. Aperture difference of active phased array antenna device thickness.

같이 능동위상배열안테나장치의 두께가 작을수록 개구면이 넓어지게 되고 복사소자와 송수신 채널수를 많이 적용할 수 있어 안테나의 이득과 전체 송신 출력이 증가하여 EIRP(effective isotropic radiated power)와 G/T(gain to noise temperature ratio) 성능이 향상되게 된다⁷⁾. 따라서 레이돔 형상을 모델링을 하여 공랭식 방열구조, 냉각공기의 입력 덕트 등을 고려해 개구면의 크기를 최대화하여 설계하였고, 개구면에 적용 가능한 안테나복사소자와 TRM의 채널수를 결정하였다.

그림 3은 설계된 능동위상배열안테나장치의 기능블록

도이다. RF신호를 방사하고 수신하는 안테나복사소자조립체, 송신 RF신호증폭, 수신 RF신호 저잡음 증폭, 빔연산, 송/수신 위상가변, 수신이득 제어 기능을 수행하는 TR조립체, 송/수신 경로 급전을 수행하는 RF급전조립체, 송수신처리장치로부터 제어 명령을 수신하여 각 조립체 제어수행, 송/수신 신호 및 타이밍을 제어, 구성품 BIT 정보 수집 및 전달하는 안테나제어조립체, 송수신처리장치로 인가받은 송신 신호를 증폭하는 안테나구동증폭조립체, 모노펄스신호를 형성하는 모노펄스형성조립체, 생성된 수신 모노펄스신호를 송수신처리장치로 전송하는 경로를 제공하는 안테나스위치조립체, 제어/전원/타이밍을 각 조립체에 공급하는 모체판조립체, 전원공급장치로부터 인가받은 전원을 변환하여 구성 조립체에 전원공급 기능을 수행하는 안테나전원공급조립체, 능동위상배열안테나장치 구성품의 고정과 보호 및 냉각공기를 분기할 수 있게 설계된 안테나하우징조립체로 구성된다. 그림 4는 능동위상안테나장치 구성품의 적층 구조이다.

2-1 안테나복사소자조립체 설계 및 제작

안테나복사소자 배열 구조는 삼각 배열을 적용하여 동일한 개구면에서 사각 배열 구조보다 배열 간격을 넓게 하여 빔조향 특성을 개선시킬 수 있었다. 구 좌표계 최대

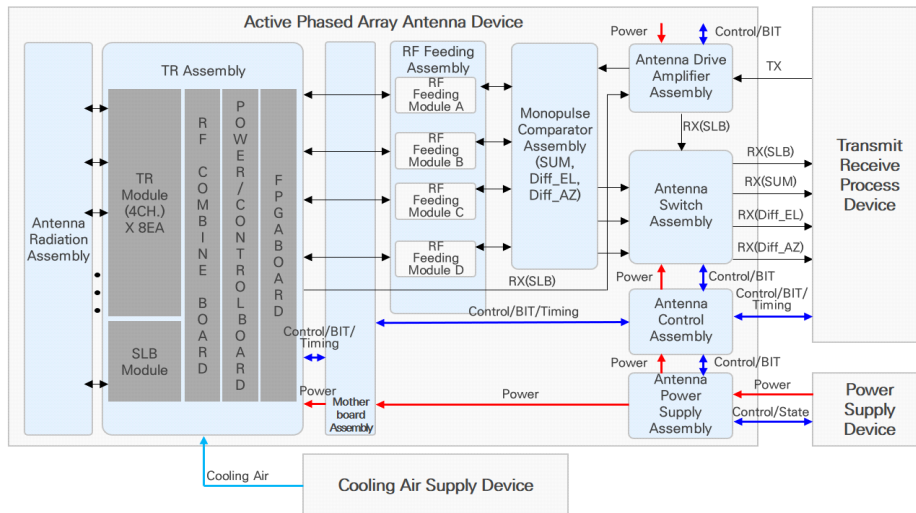


그림 3. 능동위상배열안테나장치 기능블록도
Fig. 3. Block diagram of active phased array antenna device.

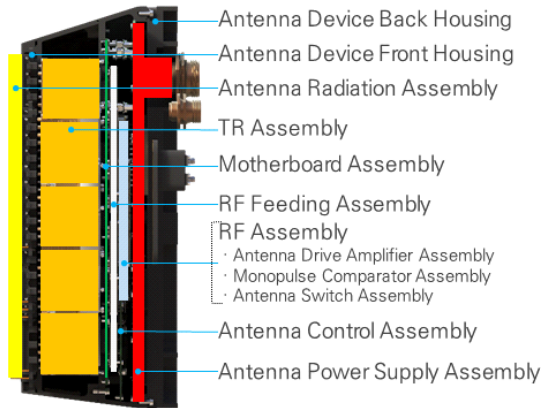


그림 4. 능동위상배열안테나장치 구성품 적층 구조
Fig. 4. Layer structure of active phased array antenna device's component.

70°(θ -cut) 광각 빔조향 특성을 확보할 수 있는 배열간격으로 최적화하여 그림 5와 같이 총 500개급의 복사소자 조립체를 설계하였다. 안테나복사소자조립체에 적용된 단일 복사소자는 그림 6과 같이 다이폴 구조의 높이를 최소화할 수 있는 구조로 최적화를 수행하였으며, 단일복사소자 기준 이득과 빔폭은 표 1과 같다. 실제 안테나복사소자의 성능 검증은 넓은 빔폭의 단일복사소자 패턴 특성을 고려해 CR(compact-range) 측정을 통해 이득과 빔폭 특성을 검증하였다. 시뮬레이션과 실제 측정결과는 그림 7을 통해 확인할 수 있다. 대형 개구면에 부착된 단일복

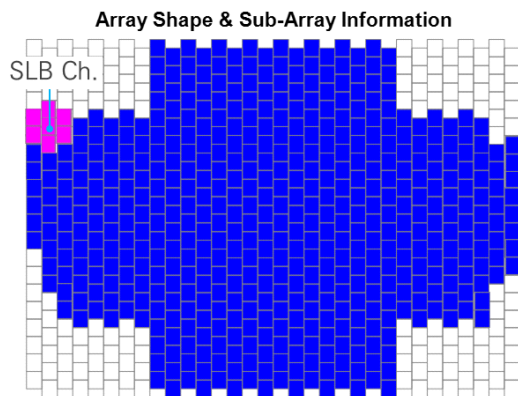


그림 5. 능동위상배열안테나장치 안테나복사소자 배열
Fig. 5. Array of active phased array antenna device's antenna radiate elements.

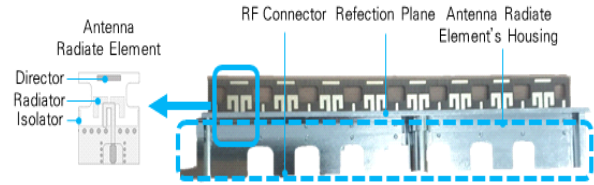


그림 6. 설계된 안테나복사소자조립체 및 제작 형상
Fig. 6. Designed antenna radiation assembly and manufacturing shape.

표 1. 안테나복사소자조립체 측정결과

Table 1. Measurement of antenna radiation assembly.

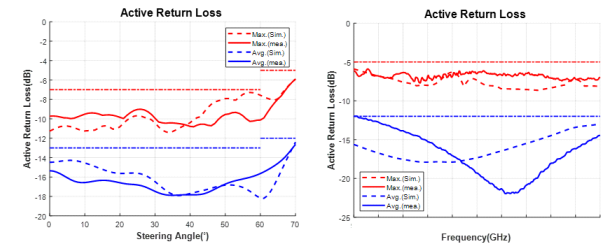
Component		Design value	Sim. result	Meas. result
Gain	Fl	>4 dBi	4.64 dB	4.61 dB
	Fc		5.16 dB	5.01 dB
	Fh		5.5 dB	5.27 dB
Max. active return loss	$0^\circ \leq \theta < 60^\circ$	<-7 dB	-7.23 dB@ 57.8°	-8.97 dB@ 26.3°
	$60^\circ \leq \theta < 70^\circ$	<-5 dB	-6.01 dB@ 70°	-5.98 dB@ 70°

사소자 패턴 측정 시 발생하는 넓은 개구면의 표면전류와 인접 안테나 커플링, 그리고 기타 노이즈로 인해 ripple이 발생하였으나, 시뮬레이션 패턴과 상당히 유사한 형상으로 잘 측정된 것을 확인할 수 있다. 표 2의 능동반사계수 검증은 500개급이 모두 조립된 상태에서의 복사소자 간 커플링을 측정하고 수학적인 계산을 통해 능동반사계수의 주파수/조향각별 특성을 검증하였다.

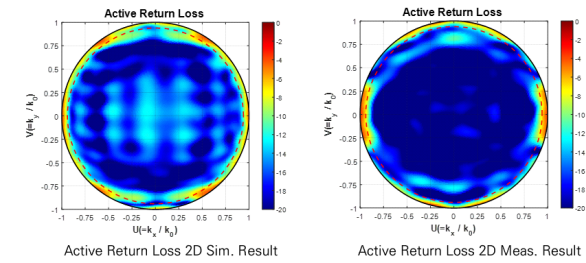
검증을 통해 안테나복사소자조립체의 목표 규격을 모두 만족하였으며, 그림 7과 표 2을 통해 유효성을 확인할 수 있다.

2.2 TR조립체 설계 및 제작

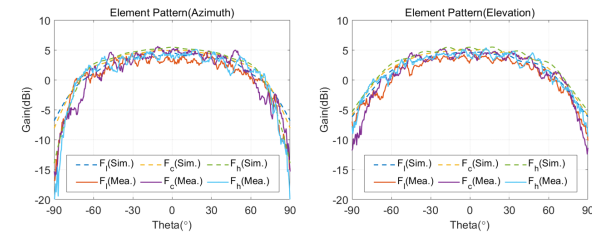
TR조립체는 RF신호 고출력 전력 증폭, 수신 저잡음 증폭, 위상과 이득을 가변 할 수 있는 빔 포머(beamformer), 송수신 신호의 고조파를 억제하는 저역 필터(low pass filter)가 적용된 평면 Brick구조의 TRM과 전원공급과 위상제어를 위해 빔연산 및 제어 기능을 보유하는 보드는 적층구조(tile)인 Quasi-tile 구조로 설계하여 Brick구조와



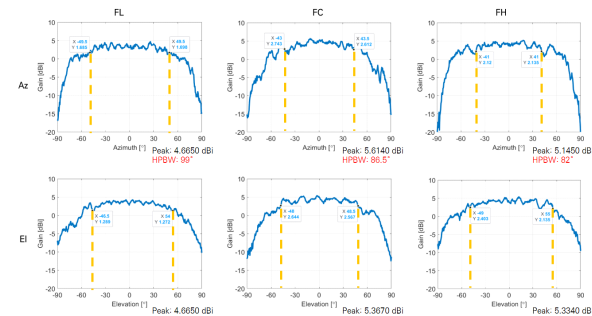
(a) 빔조향/주파수에 따른 능동반사손실 측정결과
(a) Meas. results of reflection coefficient according to beam steering and frequency



(b) 능동반사손실 2D 시뮬레이션 및 측정결과 중심주파수
(b) 2D sim. and meas. results of reflection coefficient loss center frequency



(c) 단일복사소자 이득 시뮬레이션 및 측정결과
(c) Sim. and meas. gain results of antenna radiate elements



(d) 단일복사소자 빔폭 시뮬레이션 및 측정결과
(d) Sim. and meas. beam width results of antenna radiate elements

그림 7. 안테나복사소자/조립체 측정 결과
Fig. 7. Meas. results of antenna radiate element and assembly.

표 2. TR조립체 측정결과표
Table 2. Measurement table of TR assembly.

Component	Design value	Meas. result
TX output power	>39.0 dBm	41.70 dBm
Pulse droop	<1.5 dB	1.08 dB max pulse width
Rx gain	>28.0 dB	Min. 34.59 dB
Noise figure	<3.9 dB	Max 3.71 dB
TX phase variation	Possession	Possession
RX phase variation	Possession	Possession
RX mag. variation	Possession	Possession
Beam calculate	Possession	Possession
Power consume	Under 138 W	121.64 W
Size (W×H×D) mm	123.5×76.0×62.2±0.2	123.45×75.99×62.1
Weight	Under 900 g	820 g

tile구조의 크기, 무게, 구조 설계 등 단점을 보완하였다^[8]. 그림 8과 같이 4채널의 TRM 8개 적용하여 32채널 구조의 TR조립체를 설계 및 제작하였으며, 공랭식 방열을 위해 주요 발열원인 TRM에 방열 핀을 적용하였다. 또한 구성품의 공용화 설계를 진행하여 필요 시 TR조립체의 수량 확장이 가능하여 능동배열안테나장치의 성능을 향상시킬 수 있다.

제작된 TR조립체의 측정결과와 성능은 그림 9와 표 3과 같다. 송신출력 41.70 dBm 이상, 최대펄스 폭에서 1.08 dB 이하의 드롭, 수신 이득은 최소 34.59 dB, 잡음지수 최

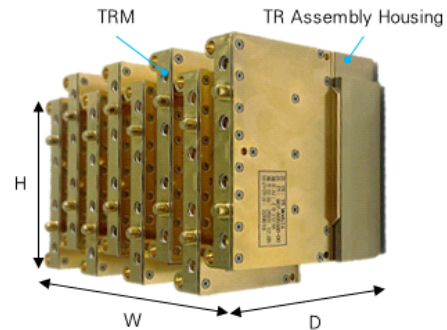


그림 8. 설계된 TR조립체 및 제작 형상
Fig. 8. Designed TR assembly and manufacturing shape.



그림 9. 설계된 TR조립체 송신출력 및 잡음지수 측정 결과
Fig. 9. Meas. results of TR assembly's Tx output power & noise figure.

표 3. 측정 TR조립체 위상오차에 따른 능동위상배열안테나장치 패턴 분석결과 표

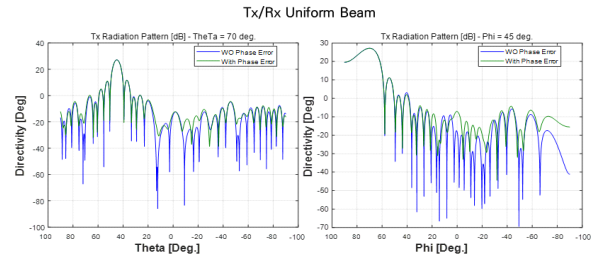
Table 3. Beam pattern analysis result table of all TR assembly channel phase error.

Component		2D SLL	Directivity	Beam pointing	
				Theta	Phi
Tx/Rx uniform	Wo error	-15.17 dB	27.18 dBi	70.01°	45.00°
	W error	-14.71 dB	27.14 dBi	70.01°	45.00°
Rx Taylor	Wo error	-27.85 dB	25.83 dBi	70.01°	45.00°
	W error	-26.90 dB	25.71 dBi	69.88°	44.98°

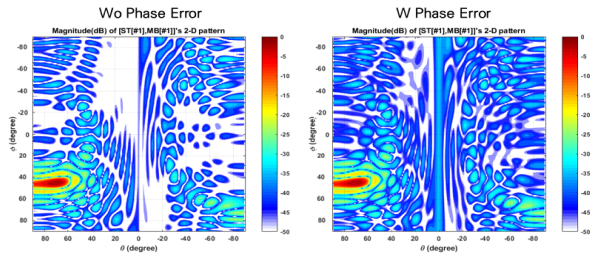
대 3.71 dB, 크기 123.45×75.99×62.1 mm, 무게 820 g으로 측정되었다. 또한 TR조립체의 빔 연산과 위상가변을 확인하기 위해 빔 조향값 $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$ 로 능동위상배열안테나장치 TR조립체 전 채널의 위상을 측정 후 빔 조향 ideal 상태와 측정오차로 인한 빔 패턴 변화를 확인하였고 결과는 그림 10과 같다.

2-3 안테나장치하우징 방열 설계 및 제작

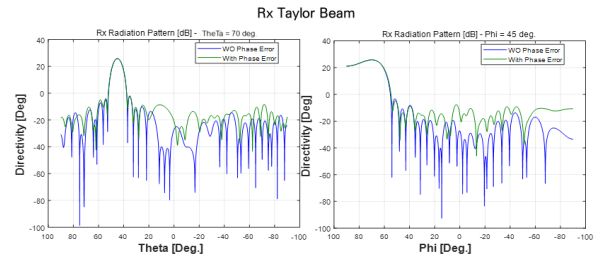
능동위상배열안테나장치는 장치 외부에서 입력되는 냉각공기를 이용하여 주요 발열원 TRM을 공랭식으로 방열하게 된다. TRM 구성품 HPA(high power amplifier), LNA(low noise amplifier), 빔포머, 수동소자의 방열량을 산출하고 열 저항으로 모델링 설계를 진행하였으며 제한된 냉각공기를 이용하여 방열을 수행하여야 하므로 TRM과 냉각공기의 접촉면과 열전도율을 향상시키기 위해 최적화된 방열 핀 수량과 두께를 설계하였다. 기술보안상의 이유로 방열 핀 설계에 대한 사항은 기술하지 않았다.



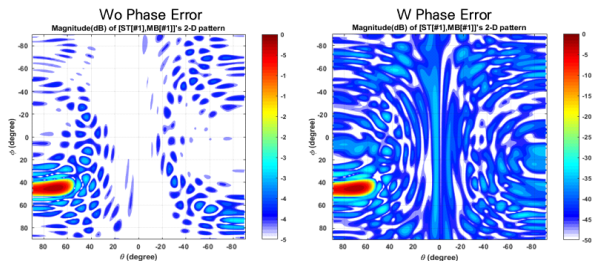
(a) $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$ 빔조향 Tx/Rx 균일분포 1D 패턴
(a) $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$ beam steering Tx/Rx uniform 1D pattern



(b) $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$ 빔조향 Tx/Rx 균일분포 2D 패턴
(b) $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$ beam steering Tx/Rx uniform 2D pattern



(c) $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$ 빔조향 Rx Taylor분포 1D 패턴
(c) $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$ beam steering Rx Taylor 1D pattern



(d) $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$ 빔조향 Rx Taylor분포 2D 패턴
(d) $\theta=70^\circ$, $\phi=45^\circ$ beam steering Rx Taylor 2D pattern

그림 10. 측정 TR조립체 위상오차에 따른 능동위상배열안테나장치 패턴 분석결과

Fig. 10. Beam pattern analysis result of all TR assembly channel phase error.

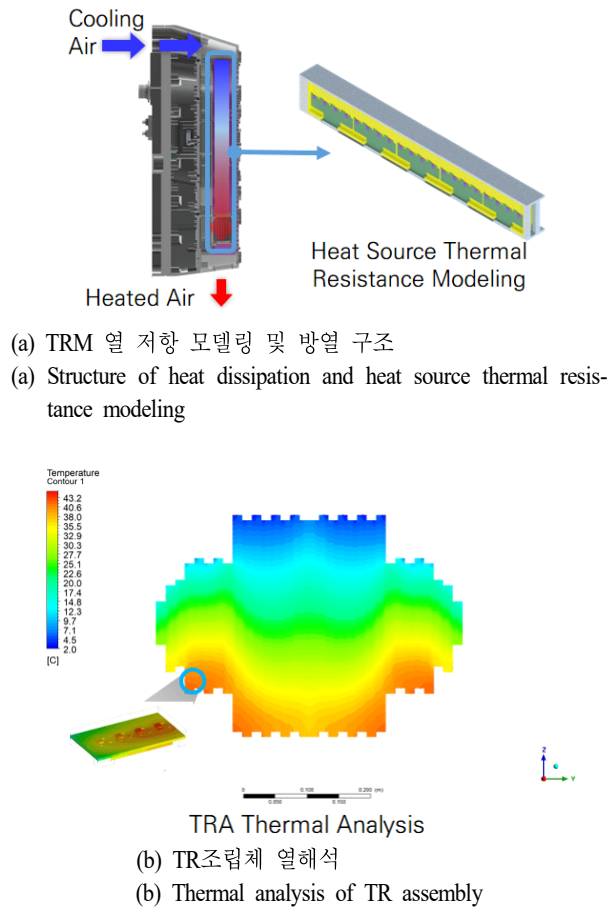


그림 11. 안테나장치 하우징 설계
Fig. 11. Design of antenna device housing.

안정적인 냉각공기의 분기, 압력과 유속을 고려하여 구조 안정성을 위한 설계를 진행하였다^[9](그림 11). 냉각한 공기가 회수가 되는 것이 아니라 레이돔 내부로 토출되므로 냉각공기 토출구를 통해 유입되는 전자기파를 차단하기 위해 안테나장치하우징에 EMI가스켓을 적용하였다.

III. 능동위상배열안테나장치 성능시험 결과

능동위상배열안테나장치 성능을 위해선 원전계 시험(far-field range), 근접전계 시험(near-field range), compact range 시험 등이 필요하다. 송신/수신 평면상의 모든 빔조향각에 대한 성능 검증, 주변 환경 영향을 최소화, 근접전계 데이터를 측정 후 수학적 변환을 통해 원 전계 측정

패턴으로 변환 및 분석이 가능한 근접전계 시험을 통해 성능을 확인하는 것이 가장 탁월하다^[10]. 근접전계 시험을 수행하기 전 능동위상배열안테나장치를 무반향 챔버 내에 설치 후 기계적 정렬 수행하였다. 모든 송신, 수신채널의 위상정렬을 위해 개별채널의 위상과 크기를 측정하여 위상 정렬 및 크기 보정값을 안테나제어조립체에 장입하여 전기적 정렬을 진행하였다(그림 12).

본 논문에서 운용주파수 중 중심주파수에 대한 측정결과를 기술하였으며, 능동위상배열안테나장치 채널별가중치로 송신/수신 균일분포(uniform weight)를 적용하였다. 또한 수신 테일러분포(Taylor weight) 시험을 진행하였고 수신 모노펄스 빔 패턴을 확인하기 위하여 수신 합, 차고각/방위각의 패턴 시험도 진행하였다. 근접전계 시험진행을 위해 근접전계시험용 시험장비와 GUI를 개발하여 시나리오 기반으로 시험을 진행하였고 장치 상태 BIT(built in test)를 확인할 수 있다.

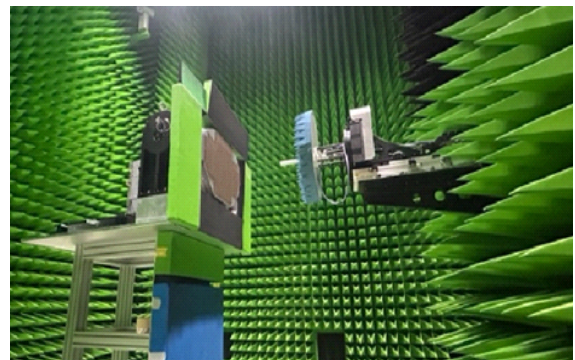
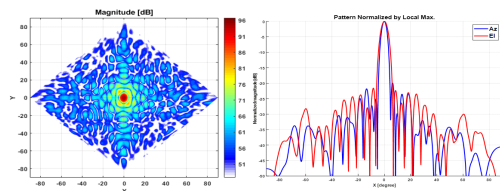


그림 12. 능동위상배열안테나장치 근접전계 시험 사진
Fig. 12. Picture of active phased array antenna device near-field range test.

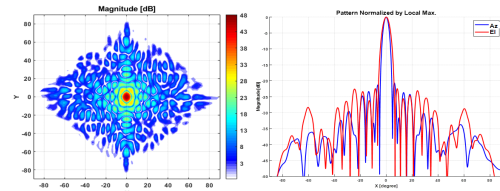
표 4. 송/수신 빔폭 및 부엽

Table 4. Tx/Rx beam width and side lobe.

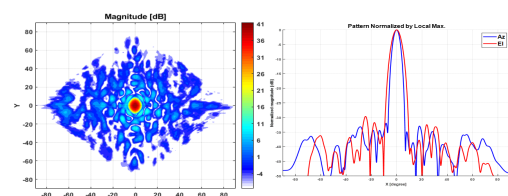
		Az_HPBW	El_HPBW	Az_SLL	El_SLL
Tx	Sim.	3.99°	5.46°	-22.67 dB	-21.76 dB
	Mea.	4.013°	5.363°	-19.886 dB	-21.184 dB
Rx	Sim.	3.99°	5.46°	-22.67 dB	-21.76 dB
	Mea.	4.012°	5.358°	-20.679 dB	-22.441 dB
Rx	Sim.	4.86°	6.77°	-34.29 dB	-32.97 dB
	Taylor Mea.	4.869°	6.655°	-31.961 dB	-29.632 dB



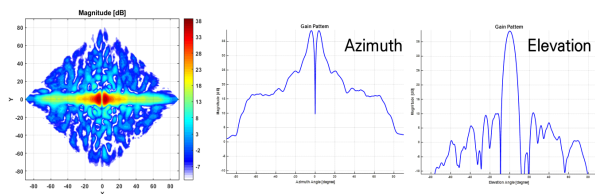
(a) 송신 uniform weight 2D(좌)/1D(우) 패턴
(a) Tx uniform weight 2D(left)/1D(right) pattern



(b) 수신 uniform weight 2D(좌)/1D(우) 패턴
(b) Rx uniform weight 2D (left)/1D (right) pattern



(c) 수신 Taylor weight 2D(좌)/1D(우) 패턴
(c) Rx Taylor weight 2D (left)/1D (right) pattern

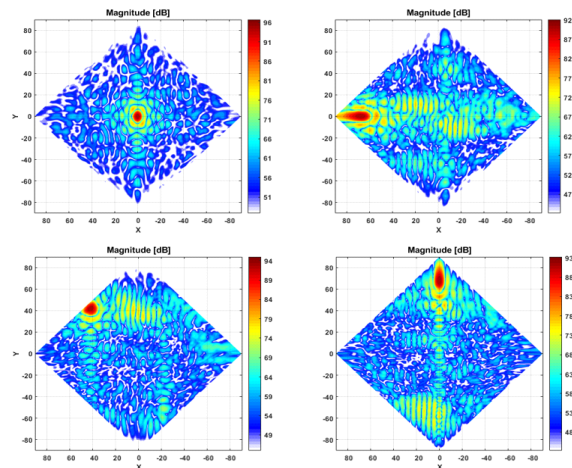


(d) 수신 Azimuth 2D(좌)/1D(우) 패턴
(d) Rx azimuth 2D (left)/1D (right) pattern

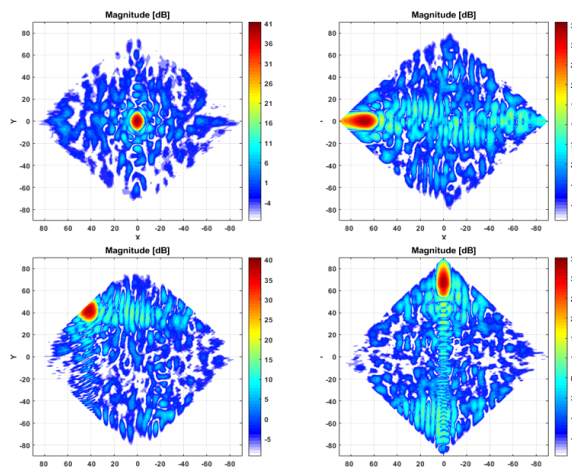


(e) 수신 elevation 2D(좌)/1D(우) 패턴
(e) Rx elevation 2D (left)/1D (right) pattern

그림 13. 능동위상배열안테나장치 송/수신 빔패턴
Fig. 13. Tx/Rx beam pattern of active phased array antenna device.



(a) 송신 uniform 빔 조향(0° 0°,70° 0°,70° 45°,70° 90°)패턴
(a) Tx uniform beam steering (0° 0°,70° 0°,70° 45°,70° 90°) pattern



(b) 수신 테일러 빔 조향(0° 0°,70° 0°,70° 45°,70° 90°)패턴
(b) Rx Taylor beam steering (0° 0°,70° 0°,70° 45°,70° 90°) pattern

그림 14. 능동위상배열안테나장치 송/수신 빔 조향
Fig. 14. Tx/Rx beam steering pattern of active phased array antenna device.

송신 균일분포 측정결과(표 4), 반전력 빔폭(half power beam width) 방위각 4.013°/고각 5.363°, 사이드 로브(side lobe) 크기는 방위각 -19.886 dB/고각 -21.184 dB이며 수신 균일분포는 HPBW 방위각 4.012°/고각 5.358°, SLL 방위각 -20.679 dB/고각 -22.441 dB, 수신 테일러는 HPBW 방위각 4.869°/고각 6.655°, SLL 방위각 -31.961 dB/고각 -29.632 dB로 측정되었다(그림 13). EIRP는

표 5. 레이더 안테나장치 크기 및 무게 제원 비교

Table 5. Comparison of radar antenna device's size and weight specification.

	This work	EL-2032	Ref. [7]
Depth	1	1.88	1.56
Height	1	0.86	1.57
Width	1	0.86	1.20
Weight	1	1.15	-
Cooling system	Air cooling	Air cooling	Water cooling

000.00 dBmi 이상, G/T는 0.00 dB/k 이상으로 측정되었으며, 기술보안상의 이유로 비표 처리하였다. 그림 14와 같이 70° 광각 조향이 가능하다.

능동위상배열안테나장치의 크기 및 제원은 본 논문에서 제작한 능동위상안테나장치를 기준으로 한 비율이며, 현재 경공격기 또는 고등훈련기에 적용된 ELTA社 MSA EL-2023과 국내에서 개발이 완료된 AESA 안테나장치^[7]와 비교하였으며, 표 5와 같다. EL-2032의 크기는 도파관 슬롯 타입의 안테나, 안테나를 구동하는 김발 및 구조물을 포함한 크기를 비교하였으며, 안테나와 송신기인 TWTA는 도파관으로 연결이 되어 있어 TWTA 부분은 제외하였다. 무게는 안테나, 김발, 구조물, TWTA를 포함하여 비교하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 국내 최초 경공격항공기에 탑재 가능한 X-대역 레이더의 공랭식 능동위상배열안테나장치를 설계 및 제작하였다. 공랭식으로 방열하기 위해 TRM에 방열핀을 적용하였으며 4채널의 TRM 8개를 적용해 32채널 구조의 TR조립체를 제작하였다. 500채널급 능동위상배열안테나장치의 유효 등방성 복사전력은 00.00 dBmi 이상, 수신이득 대 잡음비 0.00 dB/k 이상으로 측정되었고 $\pm 70^\circ$ 까지 광각 스캔이 가능한 것을 근접전계 시험을 통해 확인하였다. 공랭식으로 제작된 능동위상배열안테나장치는 대상 기체의 별도 냉각장치 추가 없이 기존 냉각구조를 활용하여 운용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 소형 경량화로 제작되어 협소한 레이더 안에서 장착이

가능하다.

모듈화 설계된 TR조립체 수량을 줄여 더 작은 크기로 제작이 가능하여 무인기 또는 드론에도 공랭식의 능동위상배열안테나장치 적용이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] M. I. Skolnik, *Introduction to RADAR Systems*, 3rd ed. New York, NY, McGraw-Hill, 2001.
- [2] M. E. Russell, "Future of RF technology and radars," in *2007 IEEE Radar Conference*, Waltham, MA, Apr. 2007, pp. 11-16.
- [3] D. N. McQuiddy, R. L. Gassner, P. Hull, J. S. Mason, and J. M. Bedinger, "Transmit/receive module technology for X-band active array radar," *Proceedings of the IEEE*, vol. 79, no. 3, pp. 308-341, Mar. 1991.
- [4] A. Mizuhara, "Bandwidth and group delay extension for an X-band 250 kW CW klystron for JPL/NASA deep space radar," in *Fifth IEEE International Vacuum Electronics Conference*, Monterey, CA, Apr. 2004, pp. 77-88.
- [5] R. Dionisio, G. Andriolo, "High power X-band helix TWT for airborne radar applications," in *Third IEEE International Vacuum Electronics Conference*, Monterey, CA, Apr. 2002, pp. 357-358.
- [6] H. J. Jung, J. W. Park, H. S. Jin, J. H. Lim, S. J. Park, and M. W. Kang, et al., "Design and fabrication of C-band GaN based on solid state high power amplifier unit for a radar system," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 9, pp. 685-697, Sep. 2017.
- [7] I. S. Hwang, Y. R. Lee, J. P. Kim, S. H. Jang, and S. J. Kim, "Design and implementation of an X-band low-profile active electronically scanned array for airborne radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 2, pp. 127-143, Feb. 2021.
- [8] I. S. Hwang, Y. R. Lee, and S. H. Jang, "Design and implementation of high-efficiency x-band transmit/receive

block for scalable active electronically scanned array antenna," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 7, pp. 588-598, Jul. 2020.

- [9] J. Y. Kim, G. Park, H. Kwon, D. J. Shin, H. Han, and B. Jeon, et al., "Numerical analysis of air cooling for transmit/receive modules of active electronically scanned array radar," *Transactions of the Korean Society of Me-*

chanical Engineers B, vol. 46, no. 11, pp. 593-601, Jul. 2022.

- [10] Y. W. Kim, H. D. Chae, J. K. Park, H. G. Na, and M. H. Jeon, "Measurement technique for the active phased array antenna," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 2, pp. 50-59, Mar. 2014.

정 형 진 [LIG 넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0009-0006-7149-4775>



2010년 2월: 명지대학교 정보공학과 (공학사)
2013년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2013년 1월~현재: LIG 넥스원(주) 선임연구원
[주 관심분야] 능동 위상 배열 안테나 시스템 RF H/W, RF IC 등

강 맹 창 [LIG 넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-4898-8869>



2015년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2017년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2023년 3월: 서울대학교 전기정보공학부 박사과정
2017년 3월~현재: LIG 넥스원(주) 선임연구원

[주 관심분야] 위상 배열 안테나, 능동 위상 배열 안테나 시스템 등

한 재 섭 [LIG 넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-4410-6240>

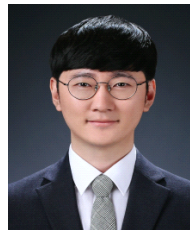


2005년 2월: 숭실대학교 정보통신공학과 (공학사)
2020년 8월: 연세대학교 통신방송공학과 (공학석사)
2004년 12월~2007년 4월: LG Philips LCD 엔지니어
2007년 10월~현재: LIG 넥스원(주) 수석연구원

[주 관심분야] 능동 위상 배열 안테나 시스템, 다기능 레이다, RF HW 등

이 창 현 [LIG 넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0297-2204>



2013년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2015년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2020년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2020년 1월~현재: LIG 넥스원(주) 선임연구원

[주 관심분야] 위상 배열 안테나, 메타구조 안테나, 능동 위상 배열 안테나 시스템 등

박 병 학 [LIG 넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-4052-7398>



2019년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)
2022년 8월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
2022년 10월~현재: LIG 넥스원(주) 연구원
[주 관심분야] 능동 위상 배열 안테나 시스템 RF HW 등

김 혜 빈 [LIG 넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0009-0009-0570-9039>



2020년 2월: 부산대학교 항공우주공학과 (공학사)
2022년 2월: 부산대학교 항공우주공학과 (공학석사)
2022년 5월~현재: LIG 넥스원(주) 연구원
[주 관심분야] 열 유동, 냉각 전산유체역학(CFD) 등

김 영 완 [LIG 넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-6404-8335>



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