

Thinned 기반 개구면 공유형 S/C-대역 배열 안테나 설계 기법

Design Method of Shared Aperture S/C-Band Array Antenna Based on Thinned

이 동 환 · 정 태 용 · 황 금 철

Dong Hwan Lee · Taeyong Jeong · Keum Cheol Hwang

요 약

본 논문에서는 최적화 알고리즘을 활용한 thinned 배열 기반 개구면 공유형 S/C-대역 배열 안테나 설계 방식을 제안한다. 제안된 안테나의 동작 주파수는 S-대역은 3~3.2 GHz이며, C-대역은 6~6.4 GHz 대역이다. 단일 소자 설계를 위하여 RF-35 2개의 기판이 활용되었으며 상기 동작 대역에서 -10 dB 이하 반사계수를 만족하였다. 측정된 안테나 이득은 S/C-대역에서 각각 6.64 dBi, 6.65 dBi를 달성하였다. 단일 복사소자를 바탕으로 binary-GLPSO(genetic learning particle swarm optimization) 알고리즘을 활용하여 thinned 기반 개구면 공유형 배열 안테나를 설계하였다. 송신부 S-대역 배열 안테나의 HPBW(half-power beamwidth)는 9° 이며 수신부 C-대역 배열 안테나의 부엽준위는 -20 dB 확보되었다.

Abstract

This paper proposes a design method for thinned array-based aperture-sharing antenna for S/C-band applications. The operating frequencies of the proposed antenna are 3~3.2 GHz in the S band and 6~6.4 GHz in the C band. The single element design uses two RF-35 substrates and achieves a reflection coefficient below -10 dB in the aforementioned operating bands. The measured antenna gains are 6.64 and 6.65 dBi in S and C bands, respectively. To realize aperture sharing for the designed S/C-band single-radiating element, a thinned array-based aperture-sharing array antenna is proposed using the binary genetic learning particle swarm optimization (GLPSO) algorithm. The S-band array antenna of the transmitter shows a half-power beamwidth (HPBW) of 9° , and the sidelobe level of the C-band array antenna of the receiver is -20 dB.

Key words: Shared Aperture Array Antenna, Nonlinear Radar, Dual-Band Array Antenna, Optimization Algorithm

I. 서 론

비선형 레이다는 표적으로부터 산란되는 신호가 아닌 표적에 내장된 반도체 소자를 여기시켜 발생하는 2차 고조파를 탐지하는 레이다이다. 이러한 이유로 수신 대역은 송신 대역의 2배수이다. 송·수신 주파수가 다를 경우 bi-static 방식이 활용되는데 이는 시스템의 크기를 증가시

킨다. 따라서 서로 다른 대역의 안테나를 동일한 개구면에 위치시키는 개구면 공유형 배열 안테나가 연구되어 왔다^[1]. 선행 연구의 경우, 송신 및 수신 대역 간 차이가 크지 않기 때문에 배열 안테나 설계 시 grating lobe에 대한 영향을 회피할 수 있다. 그러나 본 연구의 경우, 송/수신 간 대역 차이가 2배이므로 grating lobe가 발생될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 최적화 알고리즘을 활용한

「이 연구는 2024년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방기술 연구개발사업임 (No.912902601).」
성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

· Manuscript received September 9, 2024 ; Revised September 18, 2024 ; Accepted October 21, 2024. (ID No. 20240909-094)

· Corresponding Author: Keum Cheol Hwang (e-mail : khwang@skku.edu)

thinned 기반 S/C-대역 개구면 공유형 배열 안테나의 설계 방식을 제시한다.

II. S/C-대역 단일 복사 소자 설계 및 측정

그림 1은 배열 안테나를 구성하는 S- 및 C-대역 단일 복사 소자를 각각 보여주고 있다. 2개의 RF-35($\epsilon=3.5$) 기판으로 구성되어 있으며 기판 두께는 각각 0.51 mm, 1.52 mm이다. 두 기판의 접착을 위하여 RO4450F($\epsilon=3.5$) 재질의 접착층이 활용되었다. 안테나는 중앙의 방사패치와 기생패치, 급전부와 연결된 급전패치로 구성된다. SMA 커넥터의 내심은 상단의 안테나 급전패치와 연결된다. 중앙의 방사패치는 급전패치를 통해 간접 급전된다. 안테나 형상에 대한 매개변수는 표 1에서 보여준다.

그림 2는 S- 및 C-대역 단일 소자에 대한 S_{11} 및 최대 이득을 보여주고 있다. 동작 대역(3.0~3.2 GHz, 6.0~6.4 GHz)에서 S/C-대역 안테나 모두 시뮬레이션 및 측정된 결과가 유사하며 -10 dB 이하 반사계수를 만족하였다. 설계된 안테나는 S/C-대역에서 각각 6.65 dBi 및 6.64 dBi의 최대이득을 가진다.

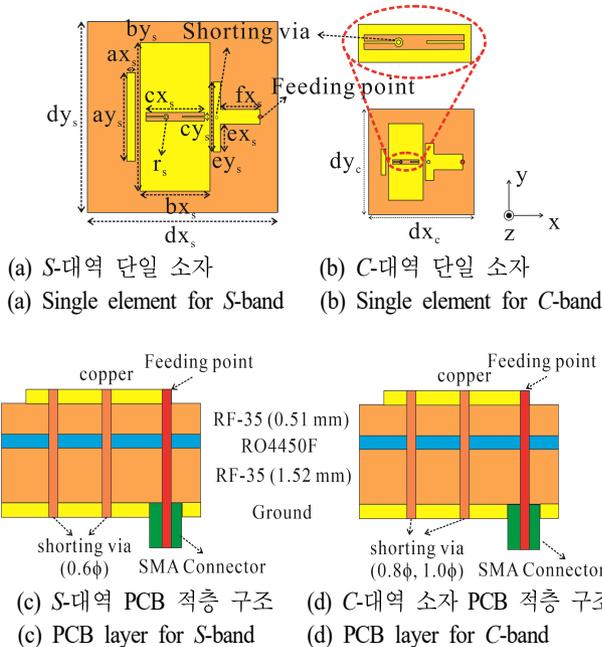


그림 1. 단일 복사 소자 구조
 Fig. 1. Structure of radiating element.

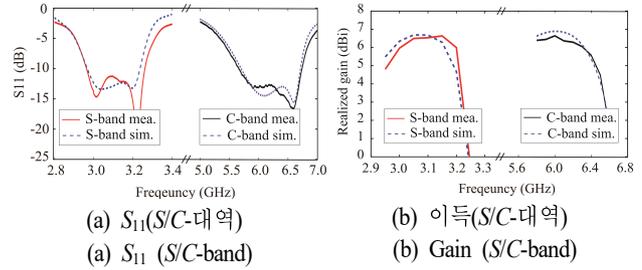


그림 2. 제안된 단일 복사 소자 S_{11}
 Fig. 2. S_{11} of proposed single element.

그림 3은 S/C-대역 단일 복사소자의 제작된 형상 및 측정 환경을 보여주고 있다. 제작된 안테나는 원 전계 측정장에서 성능시험이 진행되었다. 그림 4는 단일 소자의 중심 주파수(3.1, 6.2 GHz)에서 방사 패턴을 나타낸다. 시뮬레이션 및 측정된 두 결과는 서로 유사하며 우수한 지향성 안테나의 패턴임을 확인할 수 있다.

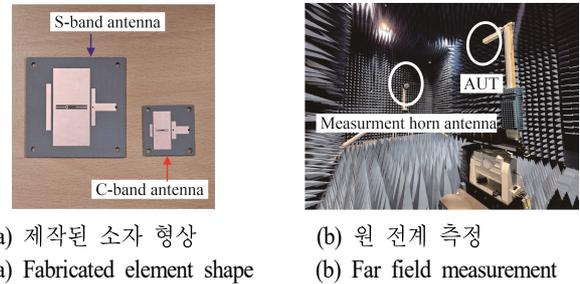


그림 3. 제작된 단일 복사 소자 및 측정 환경
 Fig. 3. Fabricated shape and measurement environment.

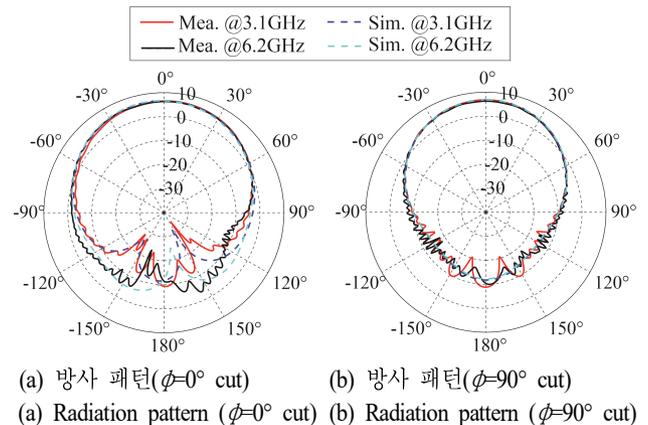


그림 4. 시뮬레이션/측정된 단일 소자 방사 패턴
 Fig. 4. Simulated/measured radiation pattern of single element.

표 1. 단일 복사 소자 설계 파라미터(단위: mm)

Table 1. Design parameters of a radiating element (unit: mm).

ax_s	3	ay_s	30	bx_s	23.9	by_s	50.3
cx_s	20.6	cy_s	2.8	dx_s	65	dy_s	65
fx_s	13.6	ex_s	2.4	ey_s	24	r_s	1.6 ϕ
ax_c	1.5	ay_c	8	bx_c	11.2	by_c	24.5
cx_c	8.3	cy_c	1.1	dx_c	32.5	dy_c	32.5
fx_c	8.28	ex_c	2.8	ey_c	11.3	r_c	1.2 ϕ

III. 개구면 공유형 S/C-대역 배열 안테나 설계 기법

그림 5는 제안된 개구면 공유형 S/C-대역 송/수신 배열 안테나 형상 및 배열 소자 위치를 보여준다. 안테나 전체 면적은 $600 \times 540 \text{ mm}^2$ 이다. S-대역 소자는 72개의 소자로 구성된 8×9 배열 안테나 중 32개(TF(thinning factor)= $32/72=44.4\%$)로 구성되어 있으며, C-대역 소자는 48개의 소자로 구성된 8×6 배열 안테나 중 24개(TF= $24/48=50\%$)로 구성되어 있다.

그림 6은 제안된 개구면 공유형 배열 안테나 구성을 위하여 고안된 배열 구조 최적화 개념도이다. S-대역 안테나는 레이더의 송신부로서 낮은 부엽준위보다 좁은 HPBW가 중요하다. 반면 C-대역 배열 안테나는 수신부로서 낮은 부엽준위를 확보하는 것은 중요하다. 따라서 상대적으로 크기가 큰 S-대역 배열 안테나의 중심부는 비우고 C-대역 배열을 중앙의 빈공간에 위치시킨다.

그림 7은 thinned 배열 안테나 최적화 과정을 보여준다. 먼저 전체 배열안의 S/C-대역 안테나 소자들이 각각 위치하는 공간을 지정한다. 지정된 위치에서 임의로 소자가

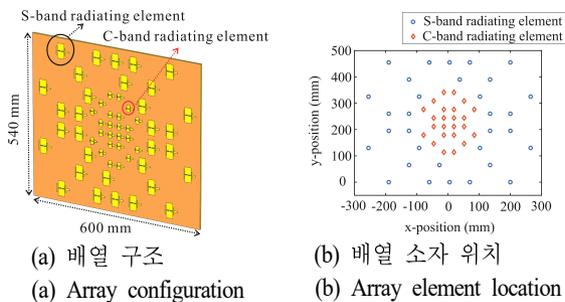


그림 5. 제안된 개구면 공유형 S/C-대역 배열 안테나 형상
Fig. 5. Tx/Rx array antenna shape.

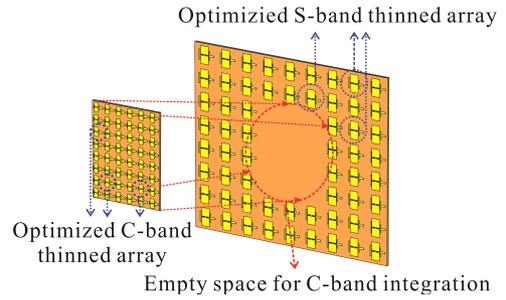
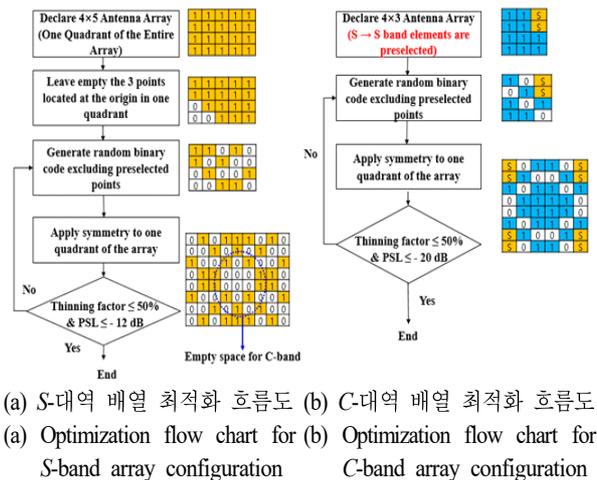


그림 6. 제안된 개구면 공유형 배열 안테나 설계 개념도
Fig. 6. Design concept for proposed shared aperture array antenna..

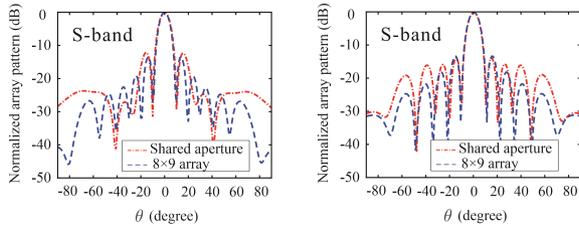


(a) S-대역 배열 최적화 흐름도 (b) C-대역 배열 최적화 흐름도
(a) Optimization flow chart for S-band array configuration (b) Optimization flow chart for C-band array configuration

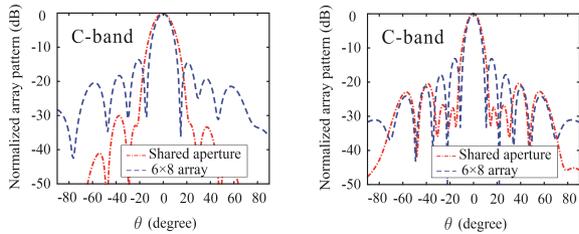
그림 7. 제안된 배열 안테나 구조 최적화 흐름도
Fig. 7. Optimization flow chart for proposed array antenna.

위치하게 하고 안테나 패턴을 시뮬레이션한다. 안테나 패턴의 PSL(peak side lobe)이 S/C-대역 각각 $-12, -20 \text{ dB}$ 이하 및 소자의 개수가 전체 배열의 50% 이하로 구성되게끔 목표를 두고 최적화를 진행한다^[2]. 최적화는 Matlab을 활용하였으며 알고리즘은 Binary-GLPSO를 적용하였다^[3]. 최적화 시간은 S/C-대역 배열안테나가 각각 약 21분, 13분이 소요되며 메모리는 1,634 MB가 사용되었다.

그림 8은 제안된 개구면 공유형 배열 안테나와 8×9 및 8×6 배열 안테나의 시뮬레이션 된 빔 특성 비교로 동작 대역의 중심 주파수에 대한 결과이다. 제안된 안테나는 동작 대역의 소자만 급전하고 이외의 소자는 $50\text{-}\Omega$ 정합하였다. 시뮬레이션은 EM simulation의 한 종류인 CST MWS를 활용하여 진행하였다. S-대역 배열 결과의 경우,



(a) 방사 패턴($\phi=0^\circ$ 단면) (b) 방사 패턴($\phi=90^\circ$ 단면)
 (a) Radiation pattern ($\phi=0^\circ$ cut) (b) Radiation pattern ($\phi=90^\circ$ cut)



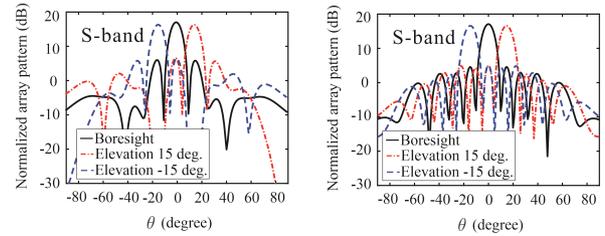
(c) 방사 패턴($\phi=0^\circ$ 단면) (d) 방사 패턴($\phi=90^\circ$ 단면)
 (c) Radiation pattern ($\phi=0^\circ$ cut) (d) Radiation pattern ($\phi=90^\circ$ cut)

그림 8. 제안된 개구면 공유형 및 conventional 배열 안테나 빔 특성 비교

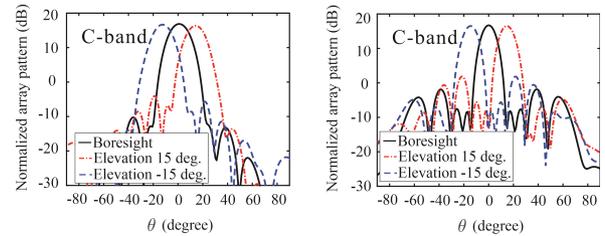
Fig. 8. Comparison of beam characteristic on proposed shared aperture and conventional array antenna.

8x9 배열과 비교적 유사한 것을 확인할 수 있다. C-대역 배열 결과의 경우, uniform 급전 상태에서 배열 형상으로부터 -20 dB 부엽준위를 확보하였다. 정량적 수치를 표 2에 제시한다.

그림 9는 제안된 안테나의 중심 주파수에서 방위각 및 고각 15° 조향에 대한 빔 조향 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. S 대역 배열 안테나의 경우 정면 방향에서 이득은 21.9 dBi이다. 방위각 $\pm 15^\circ$ 조향시 이득은 각각 21.5



(a) 방사 패턴($\phi=0^\circ$ 단면) (b) 방사 패턴($\phi=90^\circ$ 단면)
 (a) Radiation pattern ($\phi=0^\circ$ cut) (b) Radiation pattern ($\phi=90^\circ$ cut)



(c) 방사 패턴($\phi=0^\circ$ 단면) (d) 방사 패턴($\phi=90^\circ$ 단면)
 (c) Radiation pattern ($\phi=0^\circ$ cut) (d) Radiation pattern ($\phi=90^\circ$ cut)

그림 9. 제안된 배열 안테나 빔 조향 패턴

Fig. 9. Pattern of beam scanning on proposed array antenna.

dBi, 21.1 dBi이며, 고각 $\pm 15^\circ$ 조향시 모두 21.4 dBi이다. C-대역 배열 안테나의 경우, 정면 방향에서 이득은 21.7 dBi이며, 방위각 $\pm 15^\circ$ 조향시 이득은 각각 21.4 dBi, 20.9 dBi이며 고각 $\pm 15^\circ$ 조향시 이득은 모두 21.5 dBi이다. S/C-대역 배열안테나 모두 thinned 기법을 적용하여 일반적인 배열안테나에 비해 급전되는 소자가 줄어 이득이 감소하는 경향을 보인다.

IV. 결 론

본 논문에서는 최적화 알고리즘을 활용한 thinned 기반 개구면 공유형 S/C-대역 배열 안테나 설계 기법을 제시한다. 3~3.2 GHz와 6~6.4 GHz 대역에서 동작하는 단일 소자를 설계하였으며 이를 제작하고 측정하였다. 설계된 단일 소자를 바탕으로 최적화 알고리즘을 활용해 thinned 기반 S/C-대역 배열 안테나 안테나를 구현하고 검증을 진행하였다. 제안된 S- 및 C-대역 배열안테나의 방사패턴은 각각 9° 수준의 HPBW와 -20 dB 부엽준위의 성능을 보인다. 따라서 제안된 기법은 송·수신 대역 간 차이가 큰 개구면 공유형 배열 안테나 설계시 활용할 수 있다.

표 2. 제안된 안테나의 빔 조향 성능 비교

Table 2. Comparison of beam scanning performance on proposed antenna.

	S-band				C-band			
	$\phi=0^\circ$		$\phi=90^\circ$		$\phi=0^\circ$		$\phi=90^\circ$	
	Prop.	Con.	Prop.	Con.	Prop.	Con.	Prop.	Con.
HPBW (°)	9	8.3	9.1	9.4	15.8	12.7	10.9	9.4
SLL (dB)	-12.2	-13.4	-13.8	-13.3	-29.8	-13.5	-20.4	-13.2

References

- [1] V. K. Kothapud, V. Kumar, "Shared aperture antenna technology for SAR: A review of the theory and applications," *Journal of Engineering Science & Technology Review*, vol. 10, no. 3, pp. 41-54, Jun. 2017.
- [2] R. L. Haupt, *Antenna Arrays: A Computational Approach*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2010.
- [3] Y. J. Gong, J. J. Li, Y. Zhou, Y. Li, H. S. H. Chung, and Y. H. Shi, et al., "Genetic learning particle swarm optimization," *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 46, no. 10, pp. 2277-2290, Oct. 2016.

이 동 환 [성균관대학교/석·박사통합과정]

<https://orcid.org/0000-0002-5834-1591>



2020년 2월: 성균관대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2020년 3월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석·박사통합과정
 [주 관심분야] 밀리미터파 안테나, 위상배열안테나, 최적화 알고리즘

황 금 철 [성균관대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-8074-1137>



2001년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (공학석사)
 2006년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (공학박사)
 2006년 1월~2008년 7월: 삼성탈레스 기술연구소 책임연구원
 2015년 3월~2018년 8월: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학부 부교수
 2018년 9월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
 [주 관심분야] 전자파 복사 및 산란 해석, 안테나, 최적화 알고리즘 등

정 태 용 [성균관대학교/석·박사통합과정]

<https://orcid.org/0000-0002-4779-937X>



2018년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
 2019년 9월~현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석·박사통합과정
 2018년 1월~2019년 4월: Keysight Technologies Korea Ltd. Engineer
 [주 관심분야] 위상배열안테나 설계, 필터 일체형 안테나 설계, 최적화 알고리즘