

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.

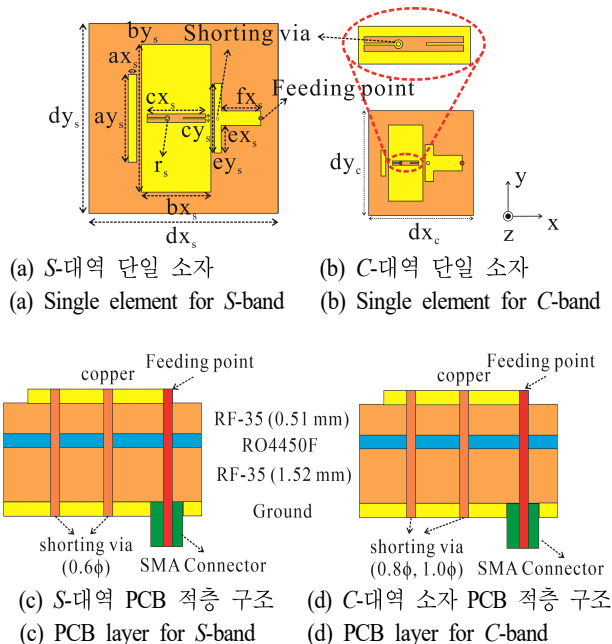


그림 1. 단일 복사 소자 구조
Fig. 1. Structure of radiating element.

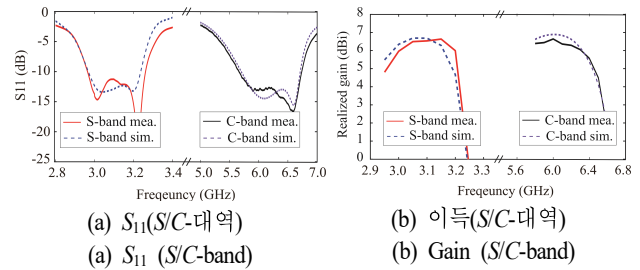


그림 2. 제안된 단일 복사 소자 S_{11}
Fig. 2. S_{11} of proposed single element.

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.

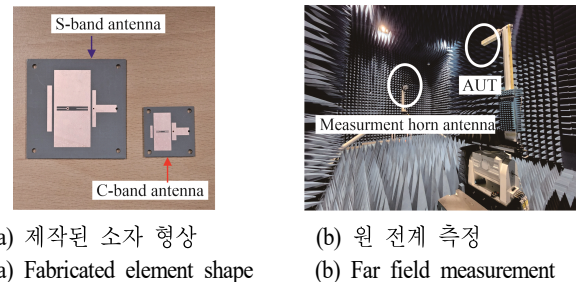


그림 3. 제작된 단일 복사 소자 및 측정 환경
Fig. 3. Fabricated shape and measurement environment.

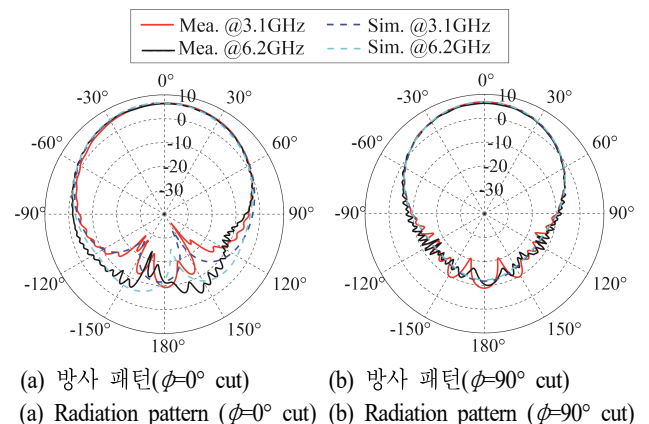


그림 4. 시뮬레이션/측정된 단일 소자 방사 패턴
Fig. 4. Simulated/measured radiation pattern of single element.

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	1.6ϕ
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	1.2ϕ

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

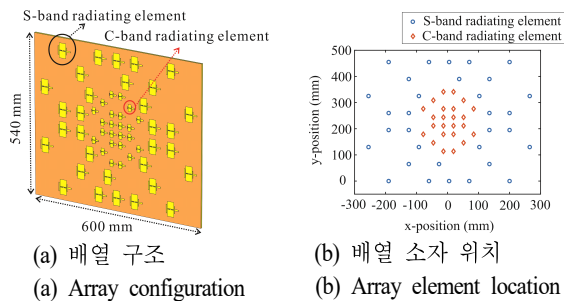


그림 5. 제안된 개구면 공유형 S/C-대역 배열 안테나 형상
Fig. 5. Tx/Rx array antenna shape.

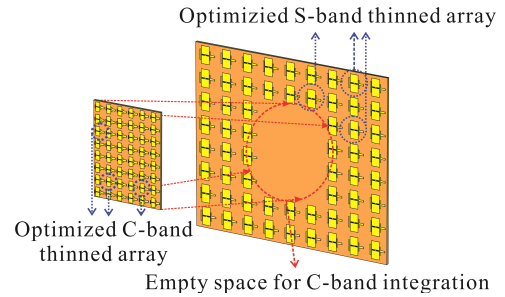


그림 6. 제안된 개구면 공유형 배열 안테나 설계 개념도
Fig. 6. Design concept for proposed shared aperture array antenna..

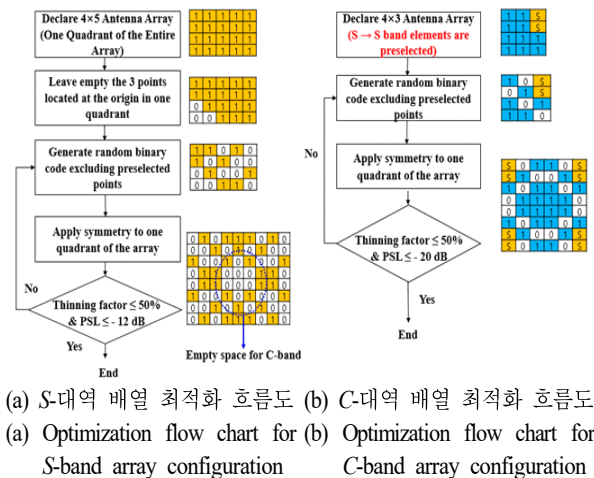


그림 7. 제안된 배열 안테나 구조 최적화 흐름도
Fig. 7. Optimization flow chart for proposed array antenna.

위치하게 하고 안테나 패턴을 시뮬레이션한다. 안테나 패턴의 PSL(peak side lobe)이 S/C-대역 각각 -12 , -20 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,

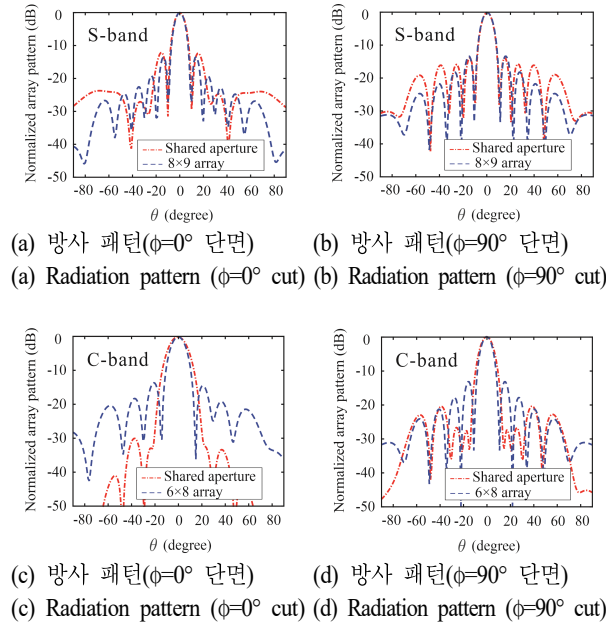


그림 8. 제안된 개구면 공유형 및 conventional 배열 안테나 빔 특성 비교

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

8×9 배열과 비교적 유사한 것을 확인할 수 있다. C-대역 배열 결과의 경우, uniform 급전 상태에서 배열 형상으로 -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

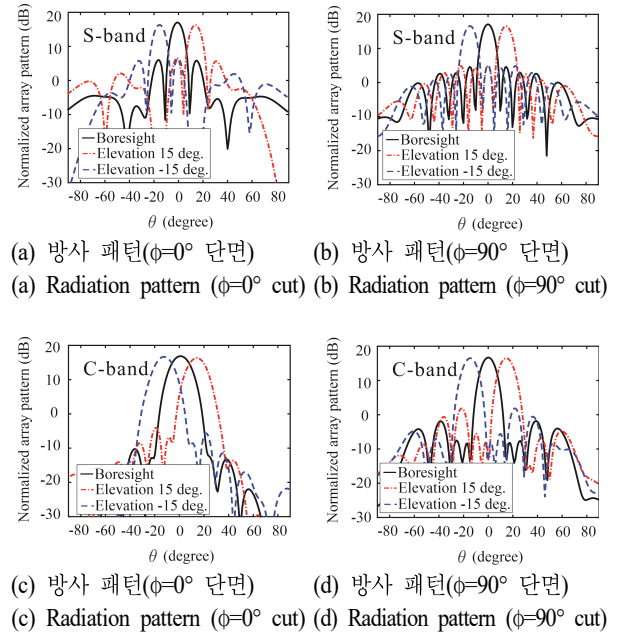


그림 9. 제안된 배열 안테나 빔 조향 패턴

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]

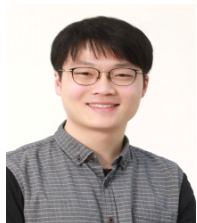
<https://orcid.org/0000-0002-8074-1137>



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