THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2018 Jun.; 29(6), 473～476.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2018.29.6.473
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

VHF 대역 능동 위상 배열안테나 구현을 위한 2×2 부배열 안테나 설계에 관한 연구

Study on 2×2 Subarray Antenna for Implementation of VHF Band Active Electronically Scanned Array

김성필 · 한준용* · 장윤희** · 최재훈

Sungpeel Kim · Junyong Han* · Younhui Jang** · Jaehoon Choi

요 약

본 논문에서는 VHF 대역 능동 위상 배열안테나를 구현하기 위한 2×2 부배열 안테나 설계에 대해 연구하였다. 야기-우다 안테나가 복사소자로 적용되었으며, 복사소자의 투사기 굵기 및 도파기 길이 등을 최적화하여 대역폭 확장 및 소형화를 달성하였다. 또한, 그리드 반사기를 사용하여 전후방비를 개선하였고, 무게와 바람저항을 감소시켰다. 제작된 2×2 부배열 안테나는 목표대역(0.98～1.02 f_c)을 충분히 만족하며, 10.61 dBi의 최대 이득 및 26 dB 이상의 양호한 전후방비 특성을 가진다.

Abstract

Herein, a 2×2 subarray antenna is designed to implement a VHF band active electronically scanned array. The Yagi‐Uda antenna is used as a radiating element. The bandwidth enhancement and miniaturization of the Yagi-Uda antenna are achieved by optimizing the diameter of a driven element and the length of a director. In addition, the grid reflector is utilized to improve the front-to-back ratio(FBR) and to reduce both the wind resistance and overall system weight. The fabricated 2×2 subarray antenna fully covers the VHF target band(0.98～1.02 f_c). The measured maximum gain is 10.61 dBi and the FBR is larger than 26 dB.

Key words: VHF Band Radar, Array Antenna, Yagi-Uda Antenna, Grid Reflector

Ⅰ. 서 론

스텔스 항공기는 다양한 방법의 RCS(Radar Cross Section) 저감 기술을 적용하여 레이다에 저 피탐지 특성을 갖도록 설계되며, 이러한 특성은 기체 형상 설계나 전파 흡수 물질(RAM: Radar Absorbing Material) 적용 등의 방법을 통하여 구현된다[1],[2]. 초고주파 대역에서 낮은 RCS 특성을 갖도록 설계된 점에 대한 대응기술로서 VHF 대역 레이다 개발이 요구되고 있다. VHF 대역 레이다의 파장은 스텔스 항공기의 날개, 엔진, 연료탱크 등의 크기와 유사하거나 더 크기 때문에 외부 형상에 의한 낮은 RCS 특성을 무력화시킬 수 있다[1],[2]. 원거리 표적을 탐지하기 위해서는 높은 지향성을 갖는 안테나가 요구되며, VHF 대역 지향성 안테나로는 야기-우다 안테나, 대수주기 안테

「이 논문은 2017년도 한화시스템(주)의 재원을 지원 받아 수행된 연구임.」

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronics & Computer Engineering, Hanyang University)
*한화시스템(Hanwha Systems)
**국방과학연구원(Agency for Defense Development)

· Manuscript received March 7, 2018 ; Revised April 30, 2018 ; Accepted May 4, 2018. (ID No. 20180307-030)

· Corresponding Author: Jaehoon Choi (e-mail: choijh@hanyang.ac.kr)

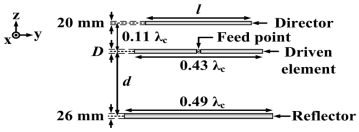
ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

나 등이 활용된다[3]~[5]. 참고문헌 [4]에서 제안된 VHF 대역 안테나 구조는 길이가 2 m에 달하여 배열안테나 복사소자로 사용하기에 적절하지 않다. 또한, 일반적인 야기-우다 안테나는 대역폭이 좁은 단점이 있다[3]. 국내에는 VHF 대역 능동 위상 배열안테나에 관한 연구가 부족한 실정이고, 러시아의 경우는 VHF 대역 탐지/추적 레이다로 1L 119 Nebo SVU를 운용 중이며, 단일 복사소자가 84개 배열된 형태이다[1]. 본 논문에서는 VHF 대역 능동 위상 배열안테나를 구현하기 위한 2×2 부배열 안테나를 연구하였다. 대역폭 확장 및 소형화된 야기-우다 안테나를 복사소자로 적용하였으며, 전후방비 증가 및 무게와 바람저항 감소 등을 위해 그리드 반사기가 적용되었다. 본 연구결과는 실제 운용 환경을 위한 안테나 지지대와 하우징 구조 영향도 고려되어 향후 VHF 대역 능동 위상 배열안테나 연구에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

Ⅱ. 안테나 설계 및 특성

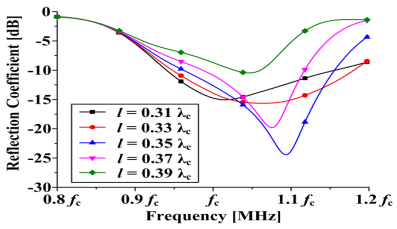
2-1 단일 복사소자 설계

이론에 따라 설계된 복사소자 구조는 그림 1(a)와 같으며, 알루미늄으로 제작되었다. 그림 1(b)는 도파기 길이(l) 변화에 따른 반사계수 특성이며, l의 변화는 임피던스 매칭에 영향을 주는 것을 볼 수 있다. 처음에 l을 0.39 λ_c(VHF 대역 중심주파수 f_c에서의 파장)로 설계했지만 임피던스 매칭이 좋지 않아서 l을 조정하였다. l을 0.35 λ_c로 변화시킴으로써 최적의 임피던스 매칭 특성을 구현할 수 있었으며, −10 dB 반사계수 대역이 목표 대역(0.98~1.02 f_c)을 포함하였다. 그림 1(c)는 투사기의 굵기(D) 변화에 따른 반사계수 특성이다. 투사기는 다이폴 안테나로 볼 수 있으며, 다이폴 안테나의 대역폭은 굵기를 두껍게 변화시킴으로써 확장시킬 수 있다[3]. 제작된 안테나 구조가 견딜 수 있는 무게를 고려하여 D=40 mm까지 증가시켰고, 이 경우의 대역폭은 21.57 %로 최초 설계된 D=23 mm일 때의 대역폭인 16.27 %에 비해 5.3 % 증가하였다. 표 1은 반사기와 투사기 사이의 간격(d) 변화에 따른 배열안테나 성능 모의실험 결과이다. 이론적으로는 d=0.25 λ_c일 때 후방방사가 최소화되지만[3], 제안된 구조에서는 d가 감소될수록 이득 및 전후방비가 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 대역폭은 약간 감소되지만 목표 대역을 만족하며, 지향성 증가 및 안테나 크기 감소 등의 장점을 고려하여 최종적으로 d=0.16 λ_c인 복사소자를 설계하였다.



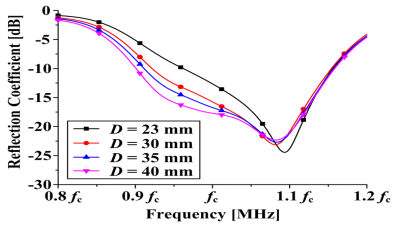
(a) 복사소자 정면도

(a) Front view of a radiating element



(b) l 값에 따른 모의실험된 반사계수 변화(D=23 mm)

(b) Simulated reflection coefficients for various l values when D is 23 mm



(c) D 값에 따른 모의실험된 반사계수 변화(l=0.35 λ_c)

(c) Simulated reflection coefficients for various D values when l is 0.35 λ_c

그림 1. 도파기 길이(l) 변화 및 투사기 굵기(D) 변화에 따른 모의실험된 반사계수 특성

Fig. 1. Simulated reflection coefficient characteristics for various director length(l) and diameter of driven element(D) values.

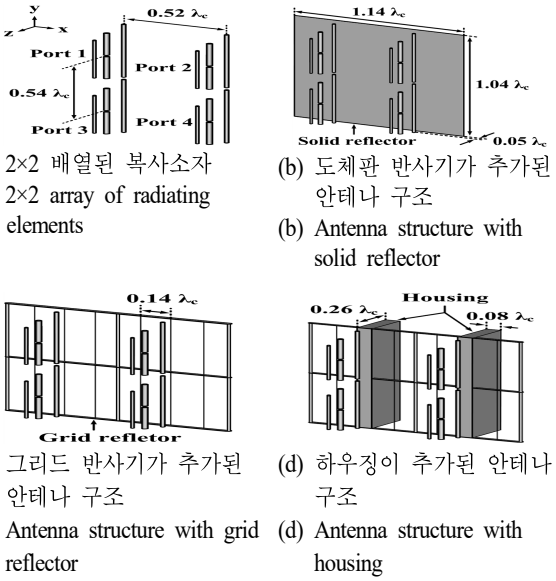
표 1. d의 변화에 따른 복사소자 모의실험 결과 비교

Table 1. Simulated result comparisons for various d values of a radiating element.

Length of d(λ_c)	0.11	0.16	0.21	0.25
−10 dB S_{11} bandwidth(%)	13.5	17.9	20.9	21.6
Peak gain(dBi)	6.77	6.69	6.46	6.26
FBR(dB)	14.06	13.89	13.71	13.41

2-2 2×2 부배열 안테나 설계

앞서 설계된 복사소자를 이용하여 2×2 부배열 안테나를 제안하였다. 적절한 간격으로 배열해야 상호 커플링 영향을 최소화하여 목표 성능을 구현할 수 있으며, 일반적으로 0.5 λ_c 이상의 간격으로 배열한다[6]. 따라서 설계된 복사소자의 급전부를 기준으로 x축 방향으로 0.52 λ_c, y축 방향으로 0.54 λ_c 간격으로 배열한 안테나를 설계하였다. x축 방향과 y축 방향으로의 배열간격을 다르게 설정한 이유는 최종 목표인 7×12 배열안테나 구조에서 주빔 조향 시 grating lobe나 부엽의 크기가 커지는 현상이 발생하여, CST[7]를 사용하여 최적화한 결과이다. 그림 2는 반사기 형태에 따른 2×2 배열안테나 구조를 나타내며, 각 경우의 성능을 표 2에 정리하였다. 전후방비를 개선하기 위해 복사소자 후방에 반사기를 추가하였으며, 도체판 반사기를 추가한 경우는 반사기가 없는 경우보다 전후방비가 크게 증가하였다. 하지만 도체판 반사기를 사용하면 무게 및 바람 저항이 증가하여 안테나 특성이 영향을 받게 되므로, 이를 최소화하기 위해 그리드 형태로 변형하였다. 일반적으로 그리드 간격을 0.1 λ_c 정도로 설계할 때 도체판 반사기 수준의 성능을 나타내며, 그리드 간격이



(a) 2×2 배열된 복사소자
(a) 2×2 array of radiating elements

(b) 도체판 반사기가 추가된 안테나 구조
(b) Antenna structure with solid reflector

(c) 그리드 반사기가 추가된 안테나 구조
(c) Antenna structure with grid reflector

(d) 하우징이 추가된 안테나 구조
(d) Antenna structure with housing

그림 2. 반사기 형태에 따른 2×2 부배열 안테나 구조
Fig. 2. Structure of 2×2 subarray antenna with various reflector types.

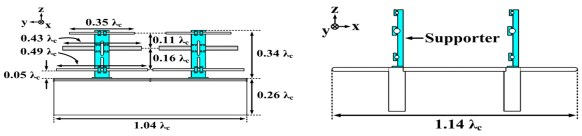
표 2. 반사기 형태에 따른 2×2 배열안테나 모의실험 결과 비교
Table 2. Simulated result comparisons for various reflector types of 2×2 subarray antenna.

Structure of 2×2 subarray ant.	(a)	(b)	(c)	(d)
−10 dB S_{11} bandwidth(%)	17.9	17.6	18.4	17.8
Peak gain(dBi)	11.92	12.08	11.94	11.9
FBR(dB)	17.03	25.55	25.15	25.28

너무 좁으면 그리드 간의 커플링이 증가하여 성능 열화가 발생하고, 너무 넓으면 불필요한 사이드 로브가 발생하게 된다[3],[5]. 본 논문에서는 그림 2(c)와 같이 그리드 간격이 0.14 λ_c일 때 최적 성능을 나타냈다. 그림 2(d)는 알루미늄 하우징이 추가된 구조이다. 송수신 모듈(TRM) 탑재 공간 확보 및 배열안테나 지탱을 위해 속이 비어있는 하우징을 설계하였다. 하우징을 추가함으로써 최대 이득은 약간 감소하였으나, 후방방사가 줄어들어 전후방비가 개선되었다. 이는 그리드 반사기의 금속 부분 증가에 의한 효과로 볼 수 있다. 그림 3은 최종 설계된 2×2 부배열 안테나를 나타낸다. 복사소자 간격 유지 및 무게지탱을 위해 지지대(MC nylon; ε_r=3.7, $\tan\delta$=0.02)를 추가하였다.

Ⅲ. 제작 및 측정 결과

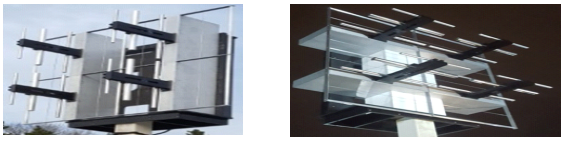
그림 4는 제작된 안테나 모습이다. 부배열 안테나의 3, 4번 포트를 50 Ω 터미널에 연결하고 1, 2번 포트를 급전시켜 *S*-파라미터를 측정하였으며, 그 결과는 그림 5(a)와 같다. 모의실험 및 측정된 −10 dB S_{11}, S_{22} 대역은 목표대역을 만족하며, S_{21}은 목표대역에서 모의실험 결과 −20.2 dB 이하이고, 측정 결과 −14.75 dB 이하이다. 방사패턴은 한국표준과학연구원 전자파 야외시험장에서 측정하였으며, 제



(a) 정면도
(a) Front view

(b) 측면도
(b) Side view

그림 3. 제안된 2×2 부배열 안테나 구조
Fig. 3. Structure of the proposed 2×2 subarray antenna.

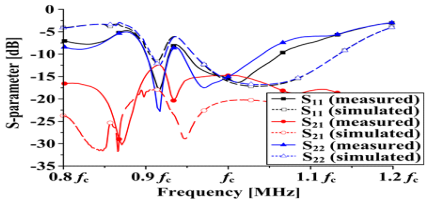


(a) xz 평면 측정
(a) xz plane mesurement

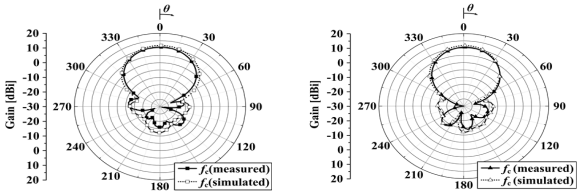
(b) yz 평면 측정
(b) yz plane measurement

그림 4. 방사패턴 측정을 위해 설치된 2×2 부배열 안테나
Fig. 4. Measurement setups of 2×2 subarray antenna.

작된 안테나 지그(Bakelite; ε_r=1.5)에 거치하였다. 동축 선로 및 N-type 커넥터를 이용하여 급전하였으며, 동시 급전을 위해 4-포트 전력분배기에 연결하였다. 그림 5(b)와 표 3은



(a) 포트 3, 4번 50 Ω 매칭 시의 모의실험 및 측정된 배열 안테나의 *S*-파라미터
(a) The simulated and measured *S*-parameters of the array antenna when ports 3 and 4 are matched with 50 Ω



xz plane　　yz plane

(b) 제작된 배열안테나의 방사패턴 측정 결과
(b) The measured radiation patterns of the fabricated antenna

그림 5. 2×2 부배열 안테나의 모의실험 및 측정 결과
Fig. 5. Simulated and measurement results of the 2×2 subarray antenna.

표 3. 2×2 부배열 안테나 모의실험 및 측정 결과 비교
Table 3. Simulated and measured result comparisons for 2×2 subarray antenna.

	Simulated result		Measured result	
	xz plane	yz plane	xz plane	yz plane
Peak gain(dBi)	11.74	11.76	10.61	10.61
FBR(dB)	24.04	23.98	26.67	26.23

지그 및 동축 선로와 연결된 부배열 안테나의 모든 포트를 동시 급전시켰을 때의 모의실험 및 측정된 방사패턴 결과이다. 전체적인 방사패턴 특성은 유사하였으나, 측정된 최대 이득이 모의실험에 비해 약 1.14 dB 정도 감소하였는데, 이는 야외 측정 환경 등의 요인 때문에 발생한 것으로 볼 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 야기-우다 안테나를 복사소자로 적용한 VHF 대역 2×2 부배열 안테나를 연구하였다. 도파기 길이 및 투사기 굵기 등을 조정하여 복사소자의 대역폭 확장 및 소형화를 달성하였으며, 그리드 반사기를 적용하여 전후방비 개선 및 무게와 바람저항을 감소시켰다. 제작된 배열안테나의 동작대역은 목표대역을 만족하며, 10.61 dBi의 최대 이득 및 26 dB 이상의 양호한 전후방비 특성을 가진다. 본 연구에서는 실제 배열안테나 운용 환경에서 안테나 성능에 영향을 미칠 수 있는 안테나 지지대와 하우징 구조의 영향도 고려하였으며, 향후 VHF 대역 능동 위상 배열안테나 연구에 활용될 것으로 사료된다.

References

[1] 김정렬, "스텔스와 대응 레이더 기술 현황 (2)," 국방과 기술, 391, pp. 84-93, 2011년 9월.

[2] H. Kuschel, "VHF/UHF radar. Part 1. characteristics," *Electronics and Communication Engineering Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 61-72, Apr. 2002.

[3] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd ed. John Wiley & Sons, 2005.

[4] X. Gao, Z. Shen, and C. Hua, "Conformal VHF log-periodic balloon antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 6, pp. 2756-2761, Jun. 2015.

[5] 박대성, 고영관, 최재훈, "미엔더 라인을 이용한 사다리꼴 다이폴 구조의 VHF 대역 능동 위상 배열안테나 복사소자 연구," 한국전자파학회논문지, 27(12), pp. 1027-1035, 2016년 12월.

[6] I. Gupta, A. Ksienski, "Effect of mutual coupling on the performance of adaptive arrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 31, no. 5, pp. 785-791, Sep. 1983.

[7] CST, CST STUDIO SUITE. ver. 2017, 2017.