

# 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 레이더에 저 피탐지 특성을 갖도록 설계되며, 이러한 특성은 기체 형상 설계나 전파 흡수 물질(RAM: Radar Absorbing Material) 적용 등의 방법을 통하여 구현된다<sup>[1],[2]</sup>. 초고주파 대역에서 낮은 RCS 특

성을 갖도록 설계된 점에 대한 대응기술로서 VHF 대역 레이더 개발이 요구되고 있다. VHF 대역 레이더의 파장은 스텔스 항공기의 날개, 엔진, 연료탱크 등의 크기와 유사하거나 더 크기 때문에 외부 형상에 의한 낮은 RCS 특성을 무력화시킬 수 있다<sup>[1],[2]</sup>. 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)

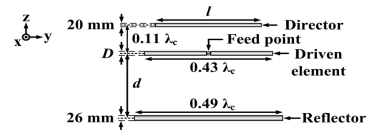
· Corresponding Author: Jaehoon Choi (e-mail: choijh@hanyang.ac.kr)

나 등이 활용된다<sup>[3]~[5]</sup>. 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<sup>[3]</sup>. 국내에는 VHF 대역 능동 위상 배열안테나에 관한 연구가 부족한 실정이고, 러시아의 경우는 VHF 대역 탐지/추적 레이더로 IL 119 Nebo SVU를 운용 중이며, 단일 복사소자가 84개 배열된 형태이다<sup>[1]</sup>. 본 논문에서는 VHF 대역 능동 위상 배열안테나를 구현하기 위한 2x2 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.

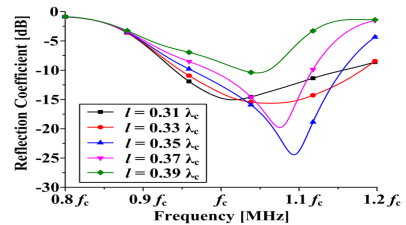
## II. 안테나 설계 및 특성

### 2.1 단일 복사소자 설계

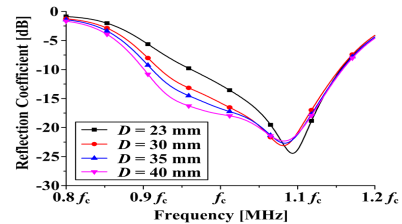
이론에 따라 설계된 복사소자 구조는 그림 1(a)와 같으며, 알루미늄으로 제작되었다. 그림 1(b)는 도파기 길이( $l$ ) 변화에 따른 반사계수 특성이며,  $l$ 의 변화는 임피던스에 영향을 주는 것을 볼 수 있다. 처음에  $l$ 을  $0.39\lambda_c$ (VHF 대역 중심주파수  $f_c$ 에서의 파장)로 설계했지만 임피던스 매칭이 좋지 않아서  $l$ 을 조정하였다.  $l$ 을  $0.35\lambda_c$ 로 변화시킴으로써 최적의 임피던스 매칭 특성을 구현할 수 있었으며,  $-10$  dB 반사계수 대역이 목표 대역( $0.98 \sim 1.02 f_c$ )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<sup>[3]</sup>. 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  $d=0.25\lambda_c$ 일 때 후방방사가 최소화되지만<sup>[3]</sup>, 제안된 구조에서는  $d$ 가 감소될수록 이득 및 전후방비가 증가하는 경향을 확인할 수



(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( $l=0.35\lambda_c$ )  
(c) Simulated reflection coefficients for various  $D$  values when  $l$  is  $0.35\lambda_c$

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.  $d$ 의 변화에 따른 복사소자 모의실험 결과 비교  
Table 1. Simulated result comparisons for various  $d$  values of a radiating element.

Length of $d(\lambda_c)$	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

있다. 대역폭은 약간 감소되지만 목표 대역을 만족하며, 지향성 증가 및 안테나 크기 감소 등의 장점을 고려하여 최종적으로  $d=0.16\lambda_c$ 인 복사소자를 설계하였다.

2-2 2x2 부배열 안테나 설계

앞서 설계된 복사소자를 이용하여 2x2 부배열 안테나를 제안하였다. 적절한 간격으로 배열해야 상호 커플링 영향을 최소화하여 목표 성능을 구현할 수 있으며, 일반적으로  $0.5 \lambda_c$  이상의 간격으로 배열한다<sup>[6]</sup>. 따라서 설계된 복사소자의 급전부를 기준으로 x축 방향으로  $0.52 \lambda_c$ , y축 방향으로  $0.54 \lambda_c$  간격으로 배열한 안테나를 설계하였다. x축 방향과 y축 방향으로의 배열간격을 다르게 설정한 이유는 최종 목표인 7x12 배열안테나 구조에서 주빔 조향 시 grating lobe나 부엽의 크기가 커지는 현상이 발생하여, CST<sup>[7]</sup>를 사용하여 최적화한 결과이다. 그림 2는 반사기 형태에 따른 2x2 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  $0.1 \lambda_c$  정도로 설계할 때 도체판 반사기 수준의 성능을 나타내며, 그리드 간격이

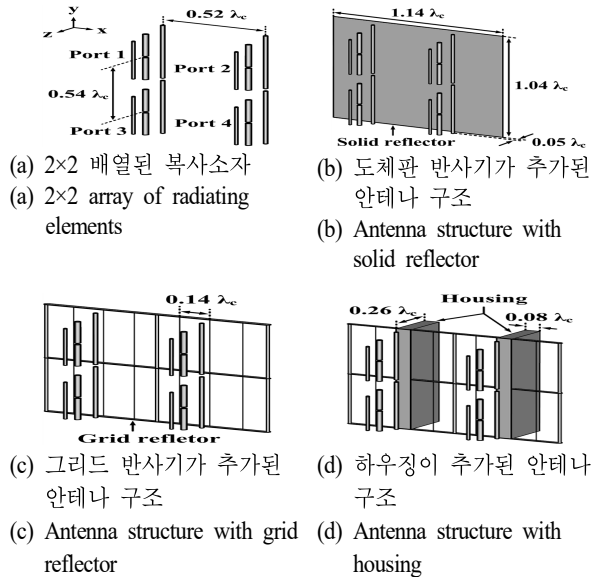


그림 2. 반사기 형태에 따른 2x2 부배열 안테나 구조  
Fig. 2. Structure of 2x2 subarray antenna with various reflector types.

표 2. 반사기 형태에 따른 2x2 배열안테나 모의실험 결과 비교

Table 2. Simulated result comparisons for various reflector types of 2x2 subarray antenna.

Structure of 2x2 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<sup>[8][9]</sup>. 본 논문에서는 그림 2(c)와 같이 그리드 간격이  $0.14 \lambda_c$ 일 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 2x2 부배열 안테나를 나타낸다. 복사소자 간격 유지 및 무게지탱을 위해 지지대(MC nylon;  $\epsilon_r=3.7$ ,  $\tan \delta=0.02$ )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 S파라미터를 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 전자과 야외시험장에서 측정하였으며, 제

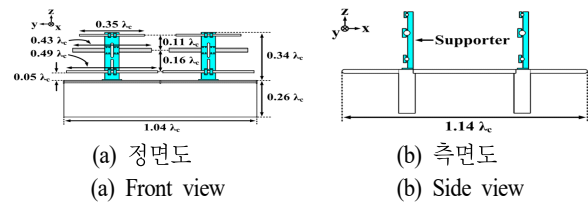


그림 3. 제안된 2x2 부배열 안테나 구조  
Fig. 3. Structure of the proposed 2x2 subarray antenna.

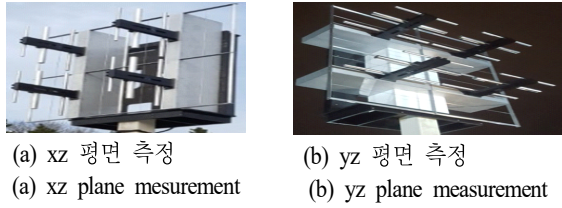
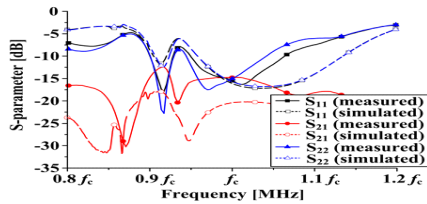
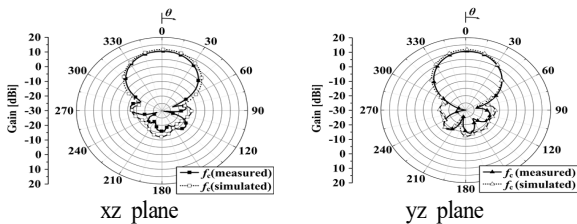


그림 4. 방사패턴 측정을 위해 설치된 2×2 부배열 안테나  
Fig. 4. Measurement setups of 2×2 subarray antenna.

작된 안테나 지그(Bakelite;  $\epsilon_r=1.5$ )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



(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, "미앤더 라인을 이용한 사다리꼴 다이폴 구조의 VHF 대역 능동 위상 배열안테나 복사소자 연구," 한국전자과학회논문지, 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.