

평면형 능동 위상 배열 레이더용 안테나 시스템 개발

Development of Planar Active Array Antenna System for Radar

전상미 · 나형기 · 김수범 · 이정원 · 김동윤 · 김선주* · 안창수* · 이창희**

Sang-Mi Chon · Hyung-Gi Na · Soo-Bum Kim · Jeong-Won Lee · Dong-Yoon Kim ·
Seon-Joo Kim* · Chang-Soo Ahn* · Chang-Hee Lee**

요 약

본 논문에서는 레이더용 평면형 능동 위상 배열 안테나 시스템의 설계 및 제작 그리고 측정 결과를 소개한다. 설계된 안테나는 X-대역에서 대역폭 10 %를 만족하며, 이중 슬롯 급전 마이크로스트립 패치 안테나와 편파 스위치의 사용으로 이중 편파 사용이 가능하다. 배열 구조는 16×16의 삼각 배열 구조이고, 각 배열은 출력 40 dBm 이상의 TR(Transmit & Receive) 모듈로 구성된다. TR 모듈은 디지털 감쇄기와 위상 변위기를 포함하고 있어서 임의의 빔 형성/빔 조향을 할 수 있으며, 전자적 빔 조향 범위는 방위각/고각 방향으로 각각 ±60° 범위에서 가능하다. 또한 수신 구조는 부배열로 구성하여 수신 패턴은 각 채널로부터의 RF 빔 합성으로 얻어진다. 안테나의 성능 검증을 위해서 근접 전계 측정 시설에서 안테나 패턴을 측정하였으며, 패턴 측정 결과는 예측된 빔 패턴과 거의 일치하였고, 이로부터 제어에 의한 빔 조향/빔 형성이 가능함을 확인할 수 있었다.

Abstract

The design and implementation of planar Active Phased Array Antenna System are described in this paper. This Antenna system operates at X-band with its bandwidth 10 % and dual polarization is realized using dual slot feeding microstrip patch antenna and SPDT(Single Pole Double Through) switch. Array Structure is 16×16 triangular lattice structure and each array is composed of TR(Transmit & Receive) module with more than 40 dBm power. Each TR module includes digital attenuator and phase shifter so that antenna beam can be electronically steered over a scan angle(±60°). Measurement of antenna pattern is conducted using a near field chamber and the results coincide with the expected beam pattern. From these results, it can be convinced that this antenna can be used with control of beam steering and beam shaping.

Key words : Active Array Antenna, Beam Steering Algorithm

I. 서 론

기존의 레이더는 단일 고출력 송신기에서 증폭된 신호를 전력 분배 회로를 통해 각 배열에 분산시킨 후 기계 구동식으로 회전하는 기계 구동식 안테나(MSA: Mechanically Steering Antenna) 또는 각 배열

의 위상 변화 등을 통해 빔 조향하는 수동 위상 배열 안테나(PESA: Passive Electronically Steering Antenna)를 사용하는 경우가 대부분이었으나, 최근에는 분산된 저출력 송신기를 수백 개 혹은 수천 개 이상 사용하여 일부 모듈의 고장이 발생하더라도 전체 시스템에는 큰 영향이 없고, 개별 배열의 크기/위상을 변화

「이 연구는 2006 ~ 2009년까지 국방과학연구소의 관리 하에 연구되었음.」

(주)LIG넥스원 초고주파연구센터(Microwave R&D Lab, LIG Nex1)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

**국방기술품질원 M&S(M&S, Defense Agency for Technology and Quality)

· 논문 번호 : 20090930-114

· 수정완료일자 : 2009년 12월 7일

시켜 다양한 빔 형성이나 빔 조향이 가능한 능동 위상 배열 안테나(AESA: Active Electronically Steering Antenna)를 선호하게 되었다^{[1],[2]}. 본 논문에서는 X-band TR 모듈을 사용하여 축소형 능동 위상 배열 안테나 시스템을 설계 및 제작한 내용을 소개하고, 레이더에서 요구되는 다양한 빔 형성 및 빔 조향이 제어에 의해 가능함을 확인하기 위해서 근접 전계 측정 시설을 사용하여 안테나 패턴을 측정한 결과를 나타내었다.

II. 설계 시 고려사항

설계된 평면형 능동 위상 배열 안테나 시스템은 축소형으로 제작하여 16×16 배열을 가지며, 배열 구조는 다음과 같은 사항을 고려하여 설계하였다. 위상 배열 안테나에서는 각 배열의 위상을 조절함으로써 원하는 방향(θ_o)에서의 수신 크기가 최대가 되도록 설계하는데, 이는 파장(λ)과 배열 간격(d)에 따라 달라진다. 또한 원하는 방향(θ_o) 외에 위상이 2π 의 배수가 되는 방향에서 각 배열의 수신 신호의 합은 최대가 되는데, 이를 그레이팅 로브라 하며, 1차원 배열에서 이러한 관계를 수식으로 나타내면 다음과 같다^{[3],[4]}.

$$2\pi \frac{d}{\lambda} (\sin\theta - \sin\theta_o) = 2\pi p, \quad p = \pm(1, 2, \dots) \quad (1)$$

그레이팅 로브가 발생하는 각도를 θ_p 라고 하면 이는 앞의 식으로부터 다음과 같이 정리된다.

$$\sin\theta_p = \sin\theta_o + \frac{p\lambda}{d} \Rightarrow \frac{d}{\lambda} \leq \frac{1}{1 + \sin\theta_o} \quad (2)$$

실수 좌표계에서 sine 값은 최대값이 1이므로 $\sin\theta_p$ 가 1 이상이 되는 조건, 즉 배열 간격이 식 (2)의 우측을 만족하는 조건에서는 그레이팅 로브가 발생하지 않게 된다. 앞의 식에서 알 수 있듯이 그레이팅 로브가 발생하는 조건은 배열 간격(d), 파장(λ), 빔 조향 각(θ_o)에 의해 결정되며, 2차원 배열에서는 방위각/고각(ϕ, θ) 방향으로의 빔 조향과 배열 구조 및 배열 간격을 동시에 고려하여야 한다. 2차원 배열구조로는 크게 사각 배열 구조와 삼각 배열 구조가 있으며, 그림 1, 2에 배열 간격 및 배열 형상을 나타내었다.

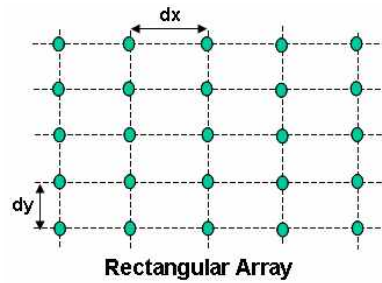


그림 1. 사각 배열 구조
Fig. 1. Rectangular array structure.

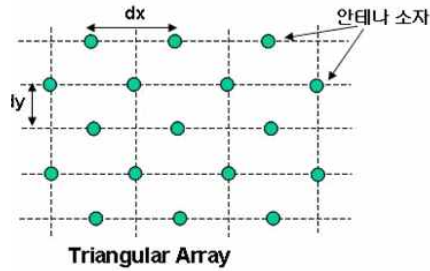


그림 2. 삼각 배열 구조
Fig. 2. Triangular array structure.

각 구조에 대해서 그레이팅 로브가 발생하는 관계식은 다음의 식에 나타내었다^[4].

사각 배열 구조

$$\sin\phi_p = \sin\phi_o + \frac{p\lambda}{d_x}, \quad \sin\theta_p = \sin\theta_o + \frac{q\lambda}{d_y} \quad (3)$$

삼각 배열 구조

$$\begin{aligned} \sin\phi_p &= \sin\phi_o + \frac{p\lambda}{d_x} \\ \sin\theta_p &= \sin\theta_o + \frac{q\lambda}{d_y}, \quad \text{for } p = (\pm 2, \pm 4, \dots) \\ \sin\theta_o &+ \frac{(q-0.5)\lambda}{d_y}, \quad \text{for } p = (\pm 1, \pm 3, \dots) \end{aligned} \quad (4)$$

실제 좌표계에서는 방위각/고각 방향으로의 sine 값의 제공의 합이 1 이하이므로 그레이팅 로브는 다음의 식을 만족하는 조건에서 발생하게 된다.

$$(\sin\phi_p)^2 + (\sin\theta_p)^2 \leq 1 \quad (5)$$

그림 3에 같은 배열 간격일 경우, 각 배열 구조에서의 그레이팅 로브 발생 영역을 시뮬레이션한 결과를 나타내었다. 가로축과 세로축은 각각 방위각/ 고각 방향으로의 빔 조향각을 뜻하며, 안테나 정면에

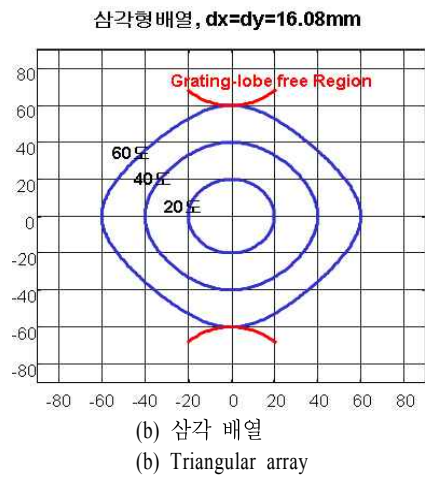
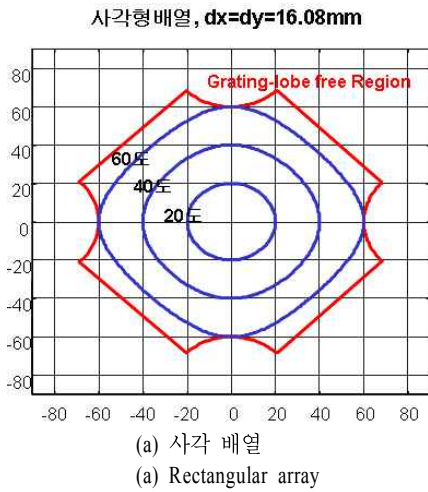


그림 3. 그레이팅 로브 발생 영역
Fig. 3. Grating lobe region.

서의 법선 벡터와 빔 조향 방향과의 각도 차이(20°/40°/60°)를 기준선으로 나타내었다. 그리고 기준선 외곽에 표시된 선 외부에서 그레이팅 로브가 발생하게 되는데, 같은 배열 간격일 경우 사각 배열 구조에서 그레이팅 발생 영역이 더욱 많이 발생하게 되므로, 일반적으로 빔 조향 범위가 넓은 능동 위상 배열 레이더에서는 공간을 효율적으로 사용하면서 그레이팅 로브를 피하기 위해서 삼각 배열 구조를 많이 사용한다^{[5]~[7]}.

본 논문에서 설계된 안테나는 빔 조향 방위각/고각 각각 $\pm 60^\circ$ 범위 내에서 그레이팅 로브가 발생하지 않도록 배열 간격을 도출하였으며, 삼각 배열 구

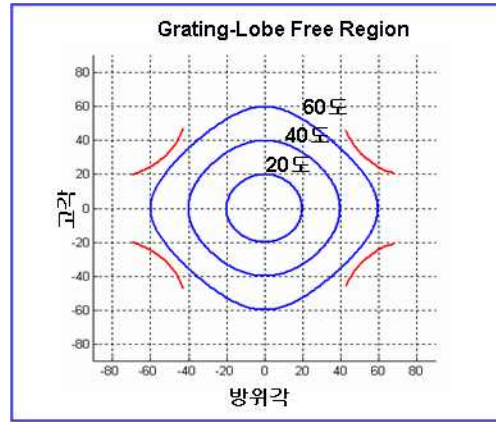


그림 4. 그레이팅 로브 발생 영역(삼각 배열, $dx=14.7\text{mm}$, $dy=19.5\text{mm}$)
Fig. 4. Grating lobe region(triangular array, $dx=14.7\text{mm}$, $dy=19.5\text{mm}$).

조에서 시뮬레이션을 통해서 계산된 배열 간격은 $dx=19.5\text{mm}$, $dy=14.7\text{mm}$ 이고, 이 구조에서의 그레이팅 로브 발생 영역은 그림 4에 나타내었다. 그런데 실제로 안테나 제작은 여러 개의 TR 모듈로 이루어진 단위 모듈들로 구성되는데, 기계적인 측면에서 단위 모듈을 세로로 구성하는 것이 편리하므로 배열 간격은 $dx=14.7\text{mm}$, $dy=19.5\text{mm}$ 로 설정하였다.

III. 안테나 시스템 구성

앞에서 설계된 배열 구조를 바탕으로 제작된 안테나 형상과 구성도는 그림 5, 6에 각각 나타내었다.



그림 5. 제작된 능동 위상 배열 안테나
Fig. 5. Developed active phased array antenna(APAA).

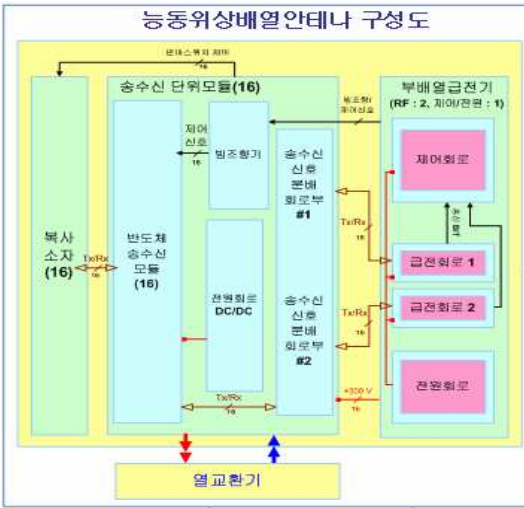


그림 6. 능동 위상 배열 안테나 구성도
Fig. 6. APAA block diagram.

제작된 안테나에서 각 배열은 출력 40 dBm 이상의 TR 모듈로 구성되며, TR 모듈의 전원/제어/방열을 효율적으로 관리하기 위해서 여러 개의 TR 모듈을 하나의 송수신 단위 모듈로 구성하였다. 하나의 송수신 단위 모듈은 16개의 TR 모듈로 구성되며, 각 TR 모듈의 크기/위상을 제어하기 위한 빔 조향기와 전원 공급기 그리고 RF 분배기를 포함하고 있다(그림 7).

복사 소자는 이중 슬롯 급전 마이크로스트립 원형 패치 안테나와 편파 스위치로 구성되어 선택적인 이중 편파의 사용이 가능하며, 조립이 용이하도록 송수신 단위 모듈 단위로 제작하였다(그림 8).

복사 소자와 송수신 단위 모듈의 연결은 blind-mate 커넥터를 사용하여 바로 체결하고, 이러한 송

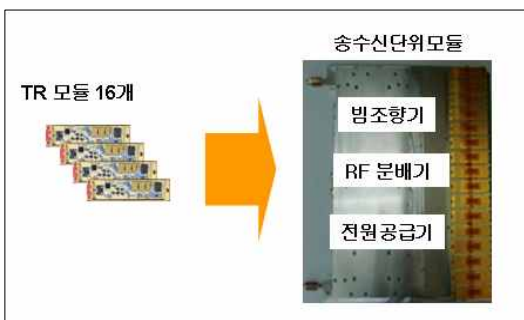


그림 7. 송수신 단위 모듈
Fig. 7. Transmit/receive plank.

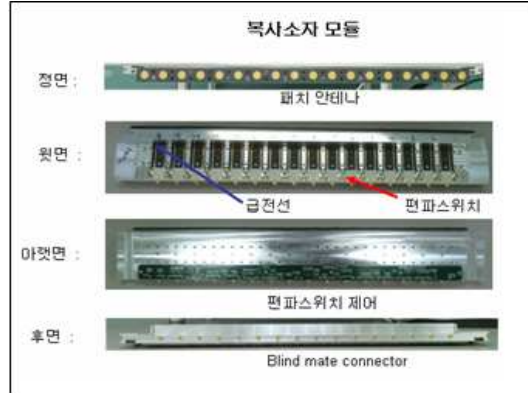


그림 8. 복사 소자 모듈
Fig. 8. Radiating element module.

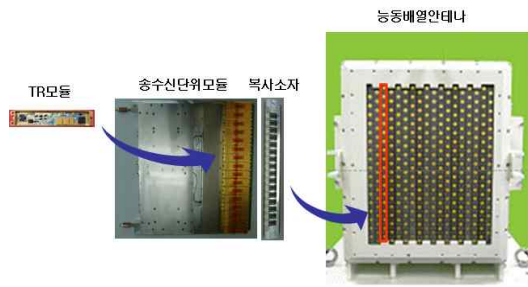


그림 9. 송수신 단위 모듈 형상 및 조립 과정
Fig. 9. TR plank shape & antenna set-up procedure.

수신 단위 모듈을 가로 방향으로 16개를 연결하여 전체 안테나 시스템을 구성하도록 하였으며, 다음의 그림에 TR 모듈 및 송수신 단위 모듈과 전체 배열 안테나가 구성되는 과정을 나타내었다.

또한 전체 배열 안테나는 16개의 송수신 단위 모듈에 RF 신호 및 RF/전원/제어 등을 분배하는 부배열 급전기(그림 10)를 후면에 포함하고 있다.

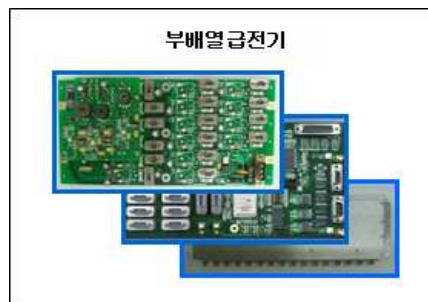


그림 10. 부배열 급전기
Fig. 10. Subarray feeder.

IV. 빔 조향 알고리즘

능동 위상 배열 안테나 시스템의 제일 큰 장점은 전자적으로 빠른 빔 조향이 가능하다는 점이다. 본 안테나 시스템에서는 빔 조향을 위한 제어 명령 전송 및 계산 시간을 줄이고자 분산형으로 각 단위 모듈 단위에서 빔 계산을 수행하도록 하였다.

4.1 빔 조향기 운용 방안

빔 조향기는 내부 메모리에 빔 형성 데이터(BS_mag, BS_phase)와 각 배열 간 차이를 보정하기 위한 정렬값(Cal_mag, Cal_phase)을 저장하고 있어서, 원하는 빔을 위한 빔 형성 번호(p)와 빔 조향각(고각 θ , 방위각 ϕ)이 명령으로 들어오면 m 번째 단위 모듈에서 n 번째 배열에 해당되는 위치에서의 크기/위상은 다음과 같은 방법으로 계산한다.

$$\text{크기} : \text{Cal_mag}(m, n, f) + \text{BS_mag}(m, n, p) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{위상} : & \text{Cal_phase}(m, n, f) \\ & + \text{BS_phase}(m, n, p) + \text{phase}(m, n) \end{aligned} \quad (7)$$

$\text{Cal_mag}(m, n, f)$: 주파수 f 에서 배열간 차이 정렬 크기값

$\text{Cal_phase}(m, n, f)$: 주파수 f 에서 배열간 차이 정렬 위상값

$\text{BS_mag}(m, n, p)$: p 번째 빔 형성 데이터 크기값

$\text{BS_phase}(m, n, p)$: p 번째 빔 형성 데이터 위상값

$\text{phase}(m, n, \theta, \phi)$: 빔 조향에 따른 위상 계산값

앞의 식에서 빔 형성 데이터와 정렬값은 빔 조향기 내의 메모리에 저장되어 있으므로 빔 조향에 따른 위상만을 계산하면 되는데, 이는 다음과 같이 구하여진다^{[1],[2]}.

$$\begin{aligned} \text{phase}(m, n, \theta, \phi) \\ = k_o x(m, n) \sin(\phi) + k_o y(m, n) \sin(\theta) \end{aligned} \quad (8)$$

$x(m, n), y(m, n)$: (m, n) 번째 배열의 x, y 좌표
 k_o : 공기중에서의 전파 상수

빔 조향기는 각 송수신 단위 모듈에 하나씩 분산형으로 제작하고 각각 계산하도록 하여 16개의 송수신 단위 모듈에서 계산이 동시에 이루어진다. 또한 제어나 데이터 전송에 필요한 시간을 줄이기 위해서

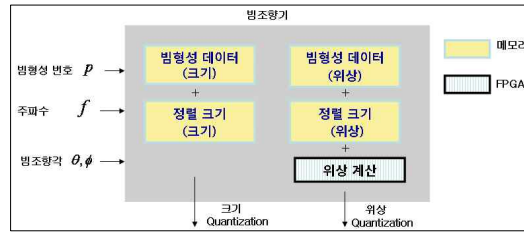


그림 11. 빔 조향기 알고리즘
 Fig. 11. Beam steering algorithm.

각 배열간 차이 보정값과 빔 형성 데이터는 미리 빔 조향기 내의 메모리에 저장하여 운용 시 선택되도록 하였다. 따라서 전체 배열의 개수가 증가하더라도 하나의 송수신 단위 모듈 내에 포함된 TR 모듈의 개수가 일정하다면 빔 데이터 계산 시간은 증가하지 않게 된다. 이상과 같이 개발된 안테나 시스템에서는 빔 조향기가 분산형으로 되어 있어서 계산량이 적고 배열 제어가 간단하게 이루어진다. 또한 빔 조향기는 고장 모듈 배제 기능을 포함하고 있어서 고장모듈 발생 시 해당되는 TR 모듈의 RF path를 차단할 수 있다.

4.2 배열 간 차이 보정

원하는 빔을 형성하기 위해서는 각 배열의 크기, 위상을 기준값에 맞추는 과정이 필요하며, 본 안테나 시스템은 계측기를 사용하여 각 배열의 송신/수신 모드에서의 크기, 위상값을 측정할 후 기준값과의 차이(정렬값)를 빔 조향기 내의 메모리에 저장하도록 하였다. 그림 12에 배열 간 차이 보정을 위한 측정 구성도를 나타내었으며, 각 배열에서의 크기/위상 측정값은 PC에서 기준값과의 차이를 계산하여

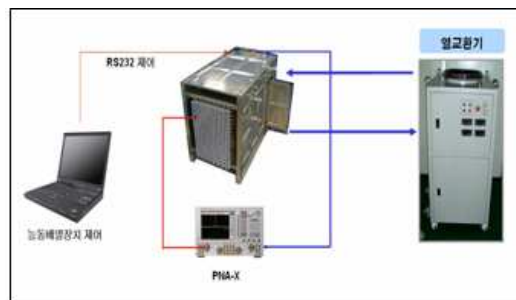


그림 12. 안테나 정렬을 위한 측정 구성도
 Fig. 12. Measurement setup for antenna calibration.

MEASURED MAGNITUDE

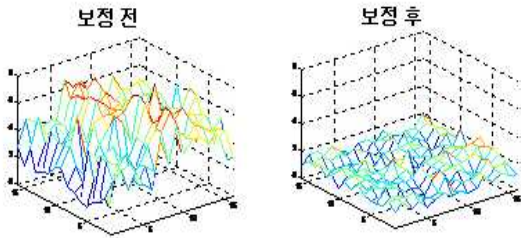


그림 13. 배열 간 차이 보정 이전과 이후의 크기 측정값

Fig. 13. Measured magnitude before and after calibration.

MEASURED PHASE

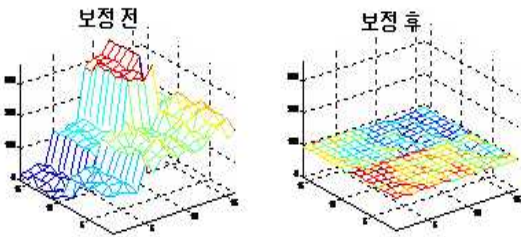


그림 14. 배열 간 차이 보정 이전과 이후의 위상 측정값

Fig. 14. Measured phase before and after calibration.

빔 조향기 내의 메모리 데이터를 RS-232를 통해서 수정하였다. 보정 이전/이후의 결과를 그림 13, 14에 나타내었으며, 보정하기 이전에는 TR 모듈 간의 편차, 그리고 채널 간의 경로 차에 의해 크기/위상의 편차가 각각 1.36 dB, 81.87°이지만 보정한 이후에는 편차 범위를 0.4 dB, 4.92°로 줄어들게 됨을 볼 수 있다. 그림 13, 14에서 가로축은 단위 모듈 번호를, 세로축은 배열 번호를 의미하며 높이는 각 배열 위치에서의 크기와 위상을 나타낸 것이다.

V. 측정 결과

안테나 제작 후 안테나의 성능과 제어에 의한 빔 조향/빔 형성을 확인하기 위해서 근접 전계 측정 시설을 사용하여 안테나 패턴을 측정하였으며, 사용된 안테나 좌표계 및 챔버 내의 장치 구성도는 그림 16에 나타내었다. 안테나 패턴 측정은 각 주파수별로 측정하였으나, 여기에서는 사용 주파수 대역 중

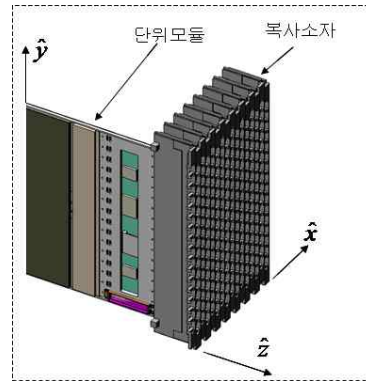


그림 15. 안테나 좌표계

Fig. 15. Antenna coordinate.



그림 16. 안테나 패턴 측정 구성도

Fig. 16. Antenna pattern measurement setup.

심 주파수에서의 송신 패턴과 수신 패턴을 측정 결과를 나타내었다. 송신 패턴은 uniform 분포, 수신 패턴은 taylor 분포(sidelobe -35 dB)인 빔 형성 번호를 선택하였고, 임의 방향으로의 빔 조향을 확인하기 위해서 방위각/고각이 각각 0°/0°와 20°/30°인 경우에 대해서 측정하였다.

5-1 송신 패턴

송신 빔은 uniform 분포를 사용하였으며, 송신 모드에서는 고출력을 방사하므로 duty를 5 % 이하로 낮추어서 펄스 모드로 측정하여 평균 전력을 낮추었다. 빔 조향의 정확도와 빔 형성 제어를 확인하기 위해서 표 1에 측정 결과로부터 얻은 빔의 최대 위치와 빔 폭을 나타내었으며, 빔 조향 제어 대비 최대 위치 측정값은 방위각 고각 모두 약 0.3° 이내에 들

표 1. 빔 조향 제어에 따른 송신 패턴 측정 결과
Table 1. Transmit pattern results with beam control.

편파	빔 조향 제어 (방위각/고각)	최대 위치 측정값 (방위각/고각)	빔 폭 측정값 (방위각/고각)	빔 폭 예측값 (방위각/고각)
Vpol	0°/0°	0.1°/0°	6.82°/5.15°	6.73°/5.00°
	20°/30°	19.7°/29.7°	7.35°/5.93°	7.17°/5.95°
Hpol	0°/0°	0.0°/-0.3°	6.81°/5.10°	6.73°/5.00°
	20°/30°	19.8°/29.9°	7.32°/6.00°	7.17°/5.95°

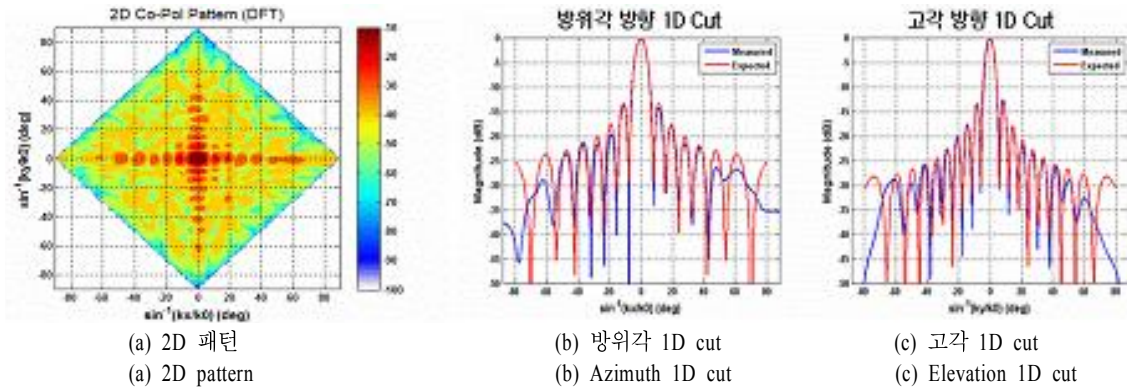


그림 17. 송신 패턴(Vpol., 0°/0°)
Fig. 17. Transmit pattern(Vpol., 0°/0°).

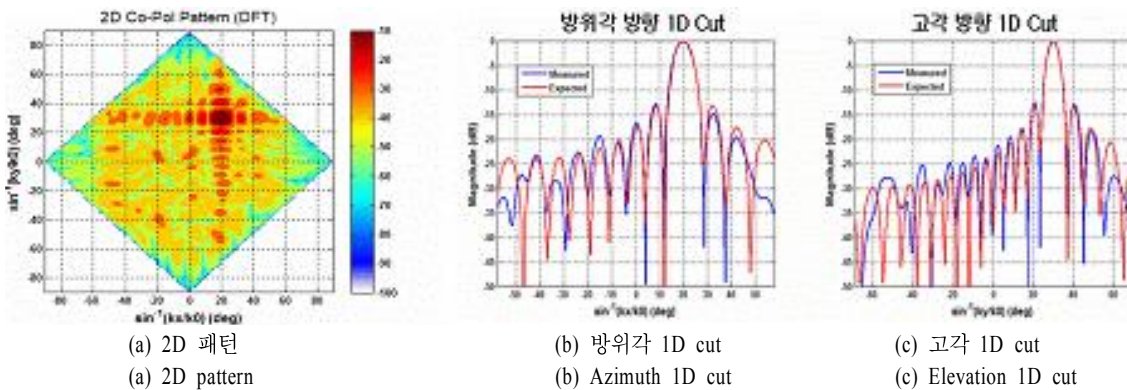


그림 18. 송신 패턴(Vpol., 20°/30°)
Fig. 18. Transmit pattern(Vpol., 20°/30°).

어오고 빔 폭은 예측값 대비 약 2.5 %의 오차 범위 내로 들어옴을 확인할 수 있었다.

그림 17은 Vpol에 대해서 uniform 분포로 빔 조향하였을 경우의 빔 패턴 측정 결과를 2D 패턴과 방위각/고각 방향으로의 1D cut으로 각각 나타내었으며, 1D cut 그림은 예측되는 패턴과 비교하였다. 2D 패턴은 sine-좌표계를 적용한 것이며, 가로축으로는 방

위각, 세로축으로는 고각에 대해서 나타내었다.

또한 능동 위상 배열 안테나에서의 송신 출력은 EIRP(Effective Isotropically Radiated Power)를 통해서 알 수 있으므로, 빔 조향 0°/0° Vpol에서의 EIRP를 측정하였으며, 측정값과 예측값과의 비교는 표 2에 나타내었다. 측정된 EIRP와 예측값과의 차이는 0.3 dB 발생하며, 이는 개별 TR 모듈의 출력과 복사 소

표 2. 송신 EIRP
Table 2. Transmit EIRP.

	예측값	비교
총출력	64.08 dBm	40 dBm×256
안테나 이득	27.02 dB	Directivity: 29.52 dB 복사 소자 Loss: 2.5 dB - 편파 스위치: 1 dB - 패치 안테나: 1.5 dB
EIRP	91.10 dBm	총출력+안테나 이득 (dB)
측정 EIRP	90.80 dBm	예측값과의 차이: 0.3 dB

자의 손실이 모든 배열에서 전부 동일한 값이 아니므로 안테나 게인과 총출력의 예측값에서의 오차에 의한 것으로 판단된다.

5-2 수신 패턴

수신 구조는 부배열로 나누어져 있으므로, 각 채널에서의 측정 데이터를 처리하여서 전체 빔 패턴을 형성하였다. 수신 패턴 역시 빔 조향의 정확도와 빔 형성 제어를 확인하기 위해서 표 3에 측정 결과로부터 얻은 빔의 최대 위치와 빔 폭을 나타내었으며, 빔

표 3. 빔 조향 제어에 따른 수신 패턴 측정 결과
Table 3. Receive pattern results with beam control.

편파	빔 조향	최대 위치(측정값)	빔 폭(측정값)	빔 폭(예측값)
Vpol	0°/0°	0°/0°	9.18°/6.95°	9.35°/6.90°
	20°/30°	19.9°/29.8°	9.95°/8.09°	10.01°/8.06°
Hpol	0°/0°	-0.2°/-0.2°	9.12°/6.92°	9.35°/6.90°
	20°/30°	19.8°/29.8°	9.96°/8.05°	10.01°/8.06°

조향 제어 대비 최대 위치 측정값은 방위각 고각 모두 약 0.2° 이내에 들어오고 빔 폭은 예측값 대비 약 2.5 %의 오차 범위 내로 들어옴을 확인할 수 있었다.

송신 패턴 결과에서와 마찬가지로 Vpol에서의 2D 패턴과 1D cut을 나타냈으며, 예측값과 비교한 결과도 함께 나타내었다. 수신 패턴에서는 부엽 수준이 예측값과 비교하였을 때 약간 올라오는 것을 볼 수 있는데, 이는 예측치가 -35 dB 이하를 목표로 하는 이상적인 경우이지만, 각 배열 간의 오차 및 상호 결합 효과에 의해서 예측치보다 증가하게 되는 것이다. 그러나 빔 형성은 제어에 의해서 변형이 가능하므로 낮은 부엽 수준의 빔 형성을 원할 경우에는 안테나 분포를 더욱 낮은 부엽 수준을 가지는 분포를 선택하면 된다.

VI. 결 론

X-band TR 모듈을 사용하여 축소형 능동 위상 배열 안테나 시스템을 제작하고, 빔 조향 알고리즘을 적용하여 제어에 의한 안테나 패턴을 측정된 결과를 나타내었다. 송수신 단위 모듈 단위로 빔 조향 알고

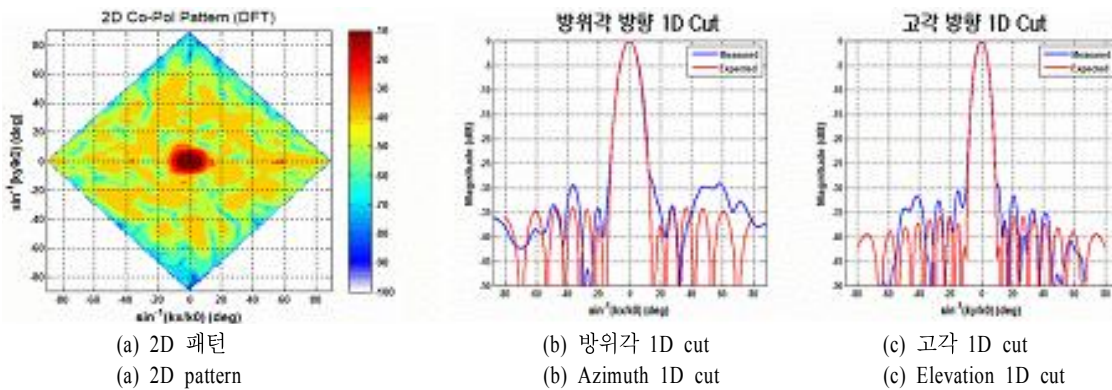


그림 19. 수신 패턴(Vpol, 0°/0°)
Fig. 19. Receive pattern(Vpol, 0°/0°).

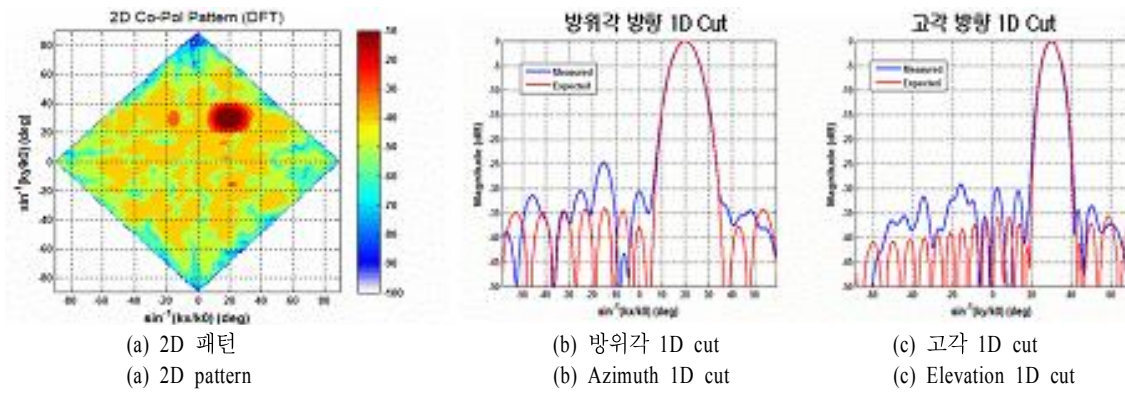


그림 20. 수신 패턴(Vpol., 20°/30°)
Fig. 20. Receive pattern(Vpol., 20°/30°).

리즘을 적용하여 빔 조향기 내의 메모리나 계산 시간을 효율적으로 사용하였으며, 안테나 빔은 빔 조향기 내의 메모리에 저장되어 있는 빔 형성 번호를 선택하여 uniform 분포나 부엽 수준을 낮추기 위한 Taylor 분포 등을 선택할 수 있도록 하였다. 선택된 빔 형성 번호에 의해 크기/위상이 설정된 안테나 패턴 측정 결과는 예측값과 비슷하게 나타남을 볼 수 있으며, 출력 40 dBm 이상의 TR 모듈을 사용하여 송신 모드에서의 EIRP는 90 dBm 이상을 나타내었다. 또한 편파 스위치를 사용하여 이중 편파의 사용이 가능하도록 하였고, 안테나 패턴 측정 결과는 Vpol, Hpol 모두 예측값과 비슷하였다. 따라서 향후 이러한 방법으로 평면형 능동 위상 배열 안테나를 제작하여, 다양한 목적의 레이더 시스템에 활용 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] M. E. Russell, "Future of RF technology and radars", *Radar Conference, IEEE*, pp. 11-16, Apr. 2007.
[2] D. N. McQuiddy, R. L. Gassner, "Transmit/receive

module technology for X-band active array radar", *Proceedings of the IEEE*, vol. 79, Issue 3, pp. 308-341, Mar. 1991.

[3] Hubregt J. Visser, *Array and Phased Array Antenna Basics*, John Wiley & Sons, Ltd., 2005.
[4] Robert J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook, Second Edition*, Artech House.
[5] M. Uhlmann, J. S. Tanner, and G. Albarel, "Design characteristics of the AMSAR airborne phased array antenna", *Electronic Beam Steering (Ref. No. 1998/481), IEE Colloquium on*, Issue 28, pp. 3/1-3/5, Oct. 1998.
[6] M. Scott, "SAMPSON MFR active phased array antenna", *Phased Array Systems and Technology, 2003 IEEE International Symposium*, pp. 119-123, Oct. 2003.
[7] A. B. Smolders, "Design and construction of a broadband wide-scan angle phased-array antenna with 4096 radiating elements", *Phased Array Systems and Technology, IEEE International Symposium on 15-18*, pp 87-92, Oct. 1996.

전 상 미



1999년 2월: 포항공과대학교 전자전 기공학과 (공학사)
2006년 2월: 포항공과대학교 전자전 기공학과 (공학박사)
2006년 5월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원

[주 관심분야] 안테나 및 능동 위상 배열 레이더

이 정 원



1998년 2월: 한양대학교 전자전기 공학과 (공학사)
2003년 2월: 포항공과대학교 전자전 기공학과 (공학석사)
2003년 2월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원

[주 관심분야] 초고주파 능동 회로 설계, 초고주파 송수신, 능동 위상 배열 레이더

나 형 기



1991년 2월: 포항공과대학교 전자전 기공학과 (공학사)
1993년 2월: 포항공과대학교 전자전 기공학과 (공학석사)
1996년 2월: 포항공과대학교 전자전 기공학과 (공학박사)

1996년 1월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원, 책임연구원, 수석연구원

[주 관심분야] 안테나 및 능동 위상 배열 레이더

김 동 윤



2005년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)
2007년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
2007년 2월~현재: LIG넥스원(주) 주임연구원

[주 관심분야] 반도체 송수신 모듈, 능동 위상 배열 레이더

김 수 범



1997년 8월: 포항공과대학교 전자전 기공학과 (공학사)
2002년 8월: 포항공과대학교 전자전 기공학과 (공학박사)
2002년 9월~2003년 2월: 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부 박사후 연구원

2003년 8월~2005년 9월: 한국전자통신연구원 이동통신연구단 선임연구원

2005년 12월~현재: LIG넥스원(주) 연구개발본부 ISR 연구센터 책임연구원

[주 관심분야] 레이더/SAR 체계 설계, 능동 위상 배열레이더 설계

김 선 주



1986년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 3월~현재: 국방과학연구소 책임연구원

[주 관심분야] 반도체 송수신 모듈 설계, 능동 위상배열 레이더 시스템 설계, 항공기 레이더

안 창 수



2002년 8월: 고려대학교 전기전자
전파공학부 (공학사)
2005년 2월: 고려대학교 전파통신
공학과 (공학석사)
2005년 2월~현재: 국방과학연구소
선임연구원
[주 관심분야] 반도체 송수신 모듈
설계, 레이더 자원 관리 및 임무 스케줄링, 능동 위상배
열 레이더 시스템 설계

이 창 희



1980년 3월~1987년 2월: 홍익대학
교 전기공학과 (공학사)
1987년 3월~1990년 2월: 홍익대학
교 전기공학과 (공학석사)
1991년 3월~1997년 2월: 홍익대학
교 전기공학과 (공학박사)
1989년 9월~2006년 2월: 국방품질
관리소 경인분소, 항공분소
2006년 2월~ 2008년 1월: 국방기술품질원 감시정찰 정보
전자전 담당원
2008년 1월~현재: 국방기술품질원 M&S(모델링 엔드 시
뮬레이션)팀
[주 관심분야] 레이더 및 ESM 전자전 장비, EO/IR 감시정
찰 分野, M&S 전자전 시뮬레이터 등