

근전계 빔 집속 시험 기법을 활용한 평면위상배열레이다 시스템 복사 및 빔 조향 특성 검증

Verification of Radiation and Beam-Steering Characteristics for Planar-Phased Array Radars Using Near-Field Beam Focusing

김영완 · 이재민 · 정채현 · 박종국 · 이유리 · 김종필 · 김선주*

Young-Wan Kim · Jaemin Lee · Chae-Hyun Jung · Jongkuk Park · Yuri Lee · Jong-Phil Kim · Sunju Kim*

요 약

본 논문에서는 근전계 빔 집속(near-field beam focusing: NFBF) 시험을 활용한 평면위상배열레이다 시스템의 성능 검증 방안을 제시하고 결과의 유효성을 확인하였다. 제시한 시험 기법은 안테나 개구면 크기 두 배 거리의 근전계 영역에서 레이더 시스템을 검증하는 방안으로 야외가 아닌 전자파 무반향실 내에서 원전계 성능 시험과 동일하게 레이더 시스템을 검증할 수 있었다. 이를 위해 근전계 에너지를 사용한 빔 집속 시험의 시험 구성도 및 검증 절차에 대하여 기술하였다. 또한 빔 조향된 근전계 빔 집속 시험에 대한 수학적 검증을 통해 개별채널의 추가적인 위상 보상값을 수치화하였다. 이론적인 검증에 기반하여 실제 근전계 빔 집속 시험을 수행하였고 이상적인 결과와의 비교를 통해 시험 방법의 유효성을 확인하였다.

Abstract

In this study, we propose a verification method for a planar-phased array radar system using a near-field beam focusing(NFBF) test method. We then confirmed the validity of the results. The proposed method can be used to verify a radar system in the near-field range of twice the antenna aperture size, and this is done in the same manner as the field system performance test conducted in a non-outdoor electromagnetic anechoic chamber. The test configuration and procedure for verifying the NFBF using near-field energies were reviewed. In addition, the phase compensation values of additional individual channels were quantified through mathematical verification of the beam-steered NFBF test. Based on a theoretical verification, the actual NFBF test was performed and the validity of the test method was confirmed through comparison with ideal analytical results.

Key words: Near-Field Beam Focusing(NFBF), Near-Field Beam Steering, Near-Field Phase Control

I. 서 론

최근 레이더 기술은 전자식 빔조향 방식을 사용하는

AESA(Active Electronically Scanned Array) 방식으로 발전되고 있다. AESA 방식의 레이더는 고성능의 안정적 운용을 위해 분산형 반도체 송신기를 적용하며, 탐지, 추적을

「이 연구는 국방과학연구소 지원으로 연구되었음.」

LIG넥스원 감시정찰연구소(Surveillance and Reconnaissance Research Group, LIG Nex1, Korea)

*국방과학연구소 항공기레이더 체계단(Aircraft Radar System Group, Agency for Defense Development, Korea)

· Manuscript received December 24, 2018 ; Revised January 30, 2019 ; Accepted February 9, 2019. (ID No. 20181224-130)

· Corresponding Author: Young-Wan Kim (e-mail: Kimyoungwan@lignex1.com)

통합시키는 다기능 레이더나 항공기용 레이더에 주로 사용되고 있다. 이러한 능동 위상배열레이더는 클러스터 및 제밍 시험을 포함한 실시간 성능 시험을 수백 미터 이상의 야외 시험장에서 수행하여야 한다. 야외에서 시험을 수행할 경우 실내 시험장인 전자파 무반향실에서와 다르게 불필요한 반사 성분이 존재하여 레이더의 실시간 성능 시험에 영향을 미칠 수밖에 없으며, 원하는 성능이 나오지 않는 경우, 장비 자체의 문제인지, 외부환경 문제인지 구별이 안되는 경우가 많다. 이러한 영향성을 최소화하기 위해 레이더에 적용되는 배열안테나의 특성검증과 유사하게 실내 근전계 시험장에서 레이더 시스템의 성능을 검증하고자 하는 필요성이 크게 대두되고 있다. 실내 근전계 시험장에서 배열 안테나의 성능 검증에 대한 연구는 이미 많이 진행되어 적용되고 있다^{[1]~[3]}. 하지만, 현재까지 레이더의 실시간 성능 시험은 야외에서 수행하고 있으며, 앞서 언급한 바와 같은 문제를 해결하기 위해 안테나 개구면의 위상 분포를 조절하여 근전계 영역으로 에너지를 집중시켜 형성된 초점면(focal plane: FP)에서 레이더 시스템 성능 검증이 가능한 근전계 빔 집속(NFBF) 시험 기법에 대한 연구가 진행되고 있다^{[4],[5]}.

본 논문에서는 측정 거리에 따른 안테나 성능 검증 이론에 대해 소개하고, 이론적으로 검증된 2D(D: 개구면 최장 거리)만큼 떨어진 거리에서 근전계 빔 집속 시험 기법으로 평면위상배열레이더 시스템의 원전계 빔 성능을 검증하였다. 빔 집속 시험 시 집속점의 위치에 따른 경로차를 보상해 주기 위한 추가적인 위상 제어값을 이론적으로 검증한 후 제어 명령값 적용 절차에 대하여 서술하였다. 추가로 근전계 시험을 통해 빔조향 특성을 검증하기 특정 빔 집속점에서의 조향된 패턴의 수신 신호 크기를 측정하는 빔 응답 특성을 검증하였다. 본 논문에서 검증하고자 하는 빔 집속 시험 기법은 실내 소형 전자파 무반향실에서 수행되었으며, 기존 시뮬레이션 및 측정 결과와 비교를 통해 제시한 시험 기법의 유효성을 검증하였다.

II. 본 론

2-1 근전계 빔 집속 시험 기법 이론

본 논문에서는 근전계 빔 집속 시험을 수행하기 위해

근전계 시험장 내에서 안테나의 근전계 에너지를 이용하였다. 근전계 영역별 빔 집속 특성에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으며, 실제 개구면의 최대 크기의 1~2배 사이의 간격에서 가장 좋은 빔 집속 특성을 보인다는 연구는 이미 검증된 바 있다^[4]. 개구면 크기 대비 거리의 비율로 보면 반사판을 이용해 평면파를 만들어 줌으로써 원전계 측정 거리를 줄일 수 있는 compact range보다 가까운 영역에서 빔 집속 특성이 가장 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 적응형 레이더의 빔 집속 시험 검증을 위한 신호 파면 분산(signal wavefront dispersion)량을 분석하여 근전계와 원전계 시험 결과의 유사성을 확인할 수 있다. 소위 근전계 적응형 빔 집속 기법은 일반적인 빔 집속 특성을 이용하여 원전계와 동일하게 실시간 안테나 방사 특성을 검증하는 기법으로 근전계 빔 집속 특성을 측정 거리에 따라 확인할 수 있다. 이를 검증하기 위해 우선 배열안테나의 신호 파면 분산 효과를 정의하는 식을 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.^[5]

$$\gamma_{FF} = \frac{BL}{c} \sin \theta_i \quad (1)$$

원전계 상태를 만족하는 최소 거리 $\frac{2D^2}{\lambda}$ 이상의 거리를 가정하는 식으로 물리적으로는 입사각(θ_i)에 따라 결정되는 분산량으로 규정할 수 있다. 적응형 배열 안테나의 개구면 가장자리간(L: array length)의 분산량(γ_{FF} : far-field dispersion)을 규정하는 가장 단순하지만 효율적인 모델로서 얼마나 적응형 레이더의 원전계와 근전계 빔 집속이 유사한가를 통찰할 수 있는 지표이다. 대역폭(B: bandwidth)과 개구면 양 끝점간의 time delay를 곱하는 식으로 입사각이 90°인 endfire incidence의 경우 최대값을 가지며, 입사각이 0°인 broadside incidence의 경우 제로가 되어 최적의 상태를 유지한다는 것을 식을 통해 확인할 수 있다. 식 (1)에서 c 는 빛의 속도를 가정한다.

다음은 비교를 위해 근전계 상태에서의 분산량(γ_{NF} : near-field dispersion) 식을 정의할 수 있다.

$$\gamma_{NF} = \frac{BL}{c} \frac{(r_1 - r_2)}{L} \quad (2)$$

원전계와 달리 source 위치에 따라 바뀌는 상대적인 거

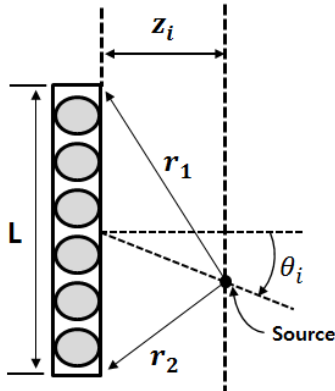


그림 1. 근전계 빔 집속 구성도
Fig. 1. Configuration of near-field beam focusing.

리에 따라 분산량이 결정됨을 식 (2)와 그림 1을 통해 확인할 수 있다. θ_i 는 개구면 중심으로부터의 입사되는 각도를 나타낸다.

측정하고자 하는 배열안테나와 source 사이의 거리인 z_i 에 따른 분산량 비교를 위해 식 (1), 식 (2)을 공통 항인 $\frac{BL}{c}$ 로 나누고, 등가로 가정하여 우리는 새로운 식 (3)을 얻을 수 있다.

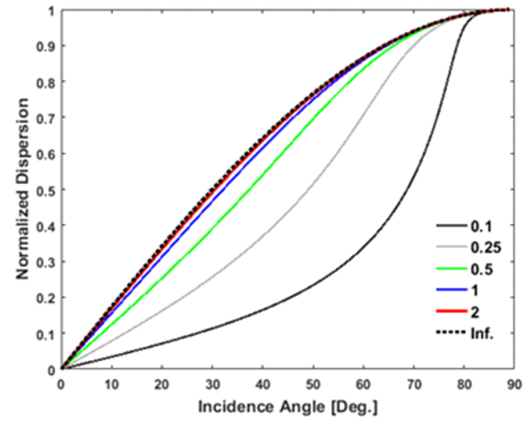
$$\sin\theta_i = \frac{(r_1 - r_2)}{L} \quad (3)$$

식 (3)은 분산량을 물리적인 형상 이외의 항목으로 정규화시켜 $\frac{z_i}{L}$ 값을 비교하여 θ_i 에 따른 정규화된 분산량을 확인함으로써 원전계와 근전계의 유사성을 비교할 수 있는 식이다.

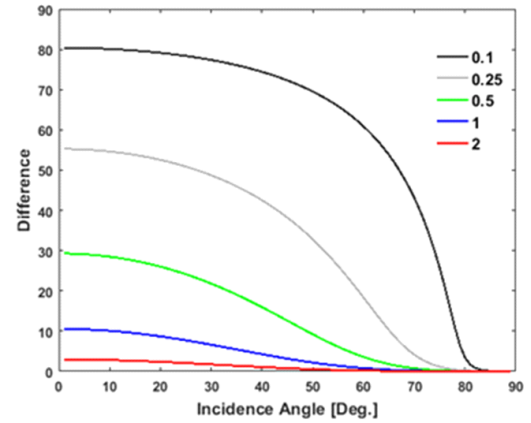
그림 1의 형상을 식 (3)에 치환하여 r_1, r_2 에 대한 식 (4)로 유도함으로써 $\frac{z_i}{L}, \theta_i$ 에 대한 함수로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_1 &= \sqrt{\left(\frac{L}{2} + z_i \times \tan\theta_i + z_i^2\right)} \\ r_2 &= \sqrt{\left(\frac{L}{2} - z_i \times \tan\theta_i + z_i^2\right)} \end{aligned} \quad (4)$$

이를 그림 2로 표현하여 확인할 수 있다. 그림 2(a)는 $\frac{z_i}{L}$ 의 값을 0.1부터 무한대까지 변화시켜 가며 정규화된



(a) 정규 분산량
(a) Normalized dispersion



(b) 분산량 차이
(b) Dispersion difference

그림 2. $\frac{z_i}{L}$ 에 따른 분산량 비교

Fig. 2. Dispersion comparison due to $\frac{z_i}{L}$.

파면 분산량을 나타내었다. 무한대의 원전계 분산 경향과 개구면 크기 L 의 2배인 경우 분산계수가 약 3 % 이하의 거의 유사한 경향을 나타냄을 그림 2(b)를 통해 확인할 수 있었다. 이렇게 신호 파면 분산량을 비교하여 실제 원전계와 가장 유사한 성능을 낼 수 있는 근전계 거리에 대한 검증은 이론적으로 확인할 수 있었다.

2-2 빔 조향에 따른 위상 제어 이론

이론적으로 검증된 빔 집속 거리에서 source의 입사각

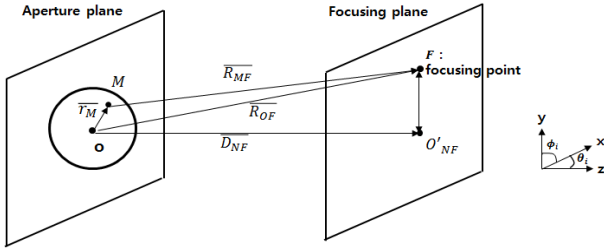


그림 3. 빔 조향에 따른 경로 보상 형상
Fig. 3. Configuration of path compensation due to beam steering.

변화에 따라 다시 말해 위상배열안테나가 빔 조향을 할 경우의 빔 집속 특성 검증을 위해서는 개별 소자별 추가적인 위상 제어가 필요하게 된다. 빔 조향 빔 집속 특성 검증을 위해 개별 채널별 위상 제어량은 그림 3을 통해 수학적으로 검증할 수 있다. 그림 3에서 보는 것처럼 기본적으로 빔 조향이 없는 상태에서의 빔 집속 특성은 집속점(focal point)이 위치한 집속면의 O'_{NF} 에서 검증할 수 있지만, 배열안테나 개구면과 Z방향의 동일한 거리의 임의의 F 지점으로 조향된 상태에서의 빔 집속 특성을 검증하기 위해서는 빔 조향에 따른 배열소자 위치별 경로차 (ΔR_M)를 보상해야만 한다.

$$\Delta R_M = \overline{R_{MF}} - \overline{R_{OF}} \quad (5)$$

$$\overline{R_{OF}} = |\overline{R_{OF}}| (\hat{n}_x \sin \theta_i \cos \phi_i + \hat{n}_y \sin \theta_i \sin \phi_i + \hat{n}_z \cos \theta_i) \quad (6)$$

식 (5)로 정의된 개별 소자별 경로차를 구하기 위해 배열안테나 개구면 중심에서 빔 조향 포인트까지의 경로를 식 (6)과 같이 규정할 수 있으며, 임의의 빔 조향 명령 (θ_i, ϕ_i)에 대해 구면 좌표 방향 벡터를 이용하여 표현할 수 있다. 개구면 중심과 집속면의 중심간의 거리 D_{NF} 는 식 (6)의 z방향 성분과 거리가 같으므로 식 (7)과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$|\overline{R_{OF}}| \cos \theta_i = D_{NF} \quad (7)$$

식 (7)을 식 (6)에 적용하여 식(8)과 같이 개구면 중심에서 조향된 초점까지의 경로 $\overline{R_{OF}}$ 를 재정의 할 수 있다.

$$|\overline{R_{OF}}| = \hat{n}_x D_{NF} \tan \theta_i \cos \phi_i + \hat{n}_y D_{NF} \tan \theta_i \sin \phi_i + \hat{n}_z D_{NF} \quad (8)$$

다음으로는 각 개별소자 위치의 보상값을 구하기 위해 식 (9)를 정의 할 수 있다. 식 (9)에서 $\overline{r_M}$ 은 배열안테나의 개구면 중심에서 임의의 개별소자까지의 경로를 나타내며 식 (9)는 테일러 근사식을 적용하기 위해 식 (10)과 같이 유도하여 테일러 근사식을 적용하면 경로차에 대한 식 (11)을 최종적으로 유도할 수 있다.

$$|\overline{R_{MF}}| = |\overline{R_{OF}} - \overline{r_M}| = \sqrt{|\overline{R_{OF}}|^2 - 2\overline{R_{OF}} \cdot \overline{r_M} + |\overline{r_M}|^2} \quad (9)$$

$$R_{MF} = R_{OF} \left(1 - 2 \frac{\hat{n}_i \cdot \overline{r_M}}{R_{OF}} + \left(\frac{r_M}{R_{OF}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$\Delta R_M = |\overline{R_{OF}}| - |\overline{R_{MF}}| = -\hat{n}_i \cdot \overline{r_M} + \frac{1}{2} \frac{r_n^2 - (\hat{n}_i \cdot \overline{r_M})^2}{R_{OF}} + \frac{1}{2} \frac{r_n^2 (\hat{n}_i \cdot \overline{r_M})}{R_{OF}^2} + \dots \quad (11)$$

결국 M번째 개별 채널의 빔 조향에 따른 경로차 ΔR_M 은 위상 상수를 곱한 $k_0 \Delta R_M$ 만큼의 위상 보상값으로 적용되어야 한다. 식 (11)의 1차 항인 $\hat{n}_i \cdot \overline{r_M}$ 은 원전계 기준 보상값으로 일반적인 원전계 상태에서 빔 조향에 따른 보상값이며, 2차, 3차항은 근전계 시 추가적으로 보정해 줘야 하는 값이다. 이전 절에서 검증한 개구면의 2배 거리를 가정한 측정이 이루어진다면, 3차항의 $\left(\frac{r_M}{R_{OF}} \right)^2$ 이 매우 작아 $\left(r_M = \frac{R_{OF}}{4} \right)$ 생략해도 되는 항목으로 추가적인 제어에서 제외되어도 큰 영향이 없는 항목이라고 유추할 수 있다. 결국 빔 조향된 상태에서의 빔 집속 특성 검증을 위해서는 식 (11)로 유도된 근전계 상태에서의 2차항의 추가적인 빔 제어 명령이 수행되어야 정확한 빔 집속 특성 시험을 수행할 수 있게 된다.

그림 4에서처럼 빔 조향 명령에 따라 기본적인 위상 제

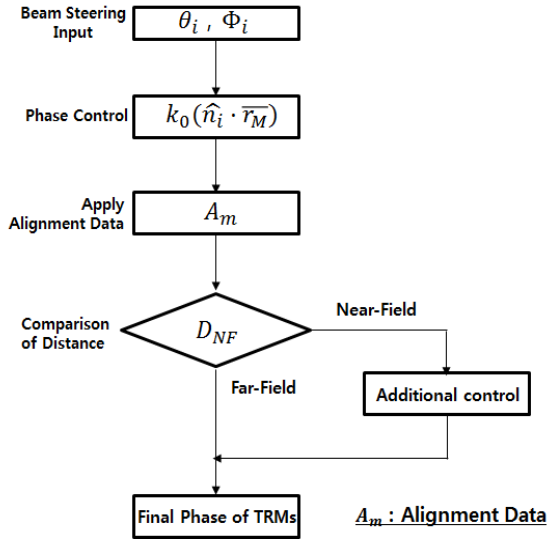


그림 4. 빔 조향에 따른 경로차 적용 개념
Fig. 4. Concept of path difference compensation due to beam steering.

어값을 계산하고, 다음 절에서 소개할 위상 정렬값을 적용한 후 거리를 통해 원전계/근전계 여부를 판단한 후, 근전계 영역의 거리 측정을 위해서는 식 (11)에서 유도한 추가적인 위상 제어값을 적용하여야 정확한 근전계 빔 집속을 이용한 빔 조향 특성을 검증할 수 있게 된다.

2.3 빔 정렬 시험 구성 및 시험 결과

본 논문에서는 앞선 절의 이론적 검증을 통해 확인된 거리 약 2D만큼의 측정 간격을 적용하여 근전계 시험장 내에서 빔 집속 시험을 수행하였다. 시험 구성도는 그림 5와 같다. 배열안테나는 피측정 안테나인 프로브 안테나와 거리 약 2D만큼 거리를 유지하여 시험을 수행하였다. 근전계 빔 집속 시험을 수행하기 전 먼저 배열 소자별 정렬 시험을 수행하였다. 배열 안테나의 각 채널은 개구면의 각 위치에 따라 프로브 안테나 중심과의 크기 및 위상차가 다르므로 개별채널 경로별 데이터(크기/위상)를 추출한 후 빔 집속을 하고자 하는 초점면에서 이러한 경로차이를 보상하여 정렬 시험을 수행하였다.

그림 5와 같이 회로망 분석기의 포트 1, 2에 배열안테나와 프로브 안테나를 연결한 후 일정한 속도로 계산된 시점에 프로브 안테나를 이동하며 배열안테나 각 채널의

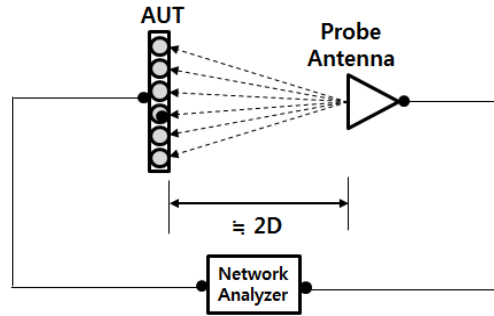


그림 5. 정렬 시험 구성도
Fig. 5. Configuration of alignment test.

S-파라미터를 측정함으로써 정렬 상태를 확인하고 빔 조향이 없는 상태의 정렬 데이터를 뽑을 수 있다. 추출한 정렬 데이터를 적용하여 동일한 시험을 수행한 후의 개구면 채널별 크기 및 위상 상태는 그림 6을 통해 확인할 수 있다. 정렬 수행 전인 그림 6(a), 그림 6(b)를 보면 정렬 전에 채널별 크기, 그리고 물리적인 경로차에 의해 위상이 채널 위치별로 상이함을 확인할 수 있다. 그림 6(c), 그림 6(d)를 보면 정렬 후에는 이러한 경로차이가 보상되어 프로브 안테나 기준으로 각 채널의 위치에서 크기 및 위상이 거의 동일한 상태의 수준을 확인할 수 있다. 이 상태의 채널 정렬값은 이후 시험에서 기준값으로 배열안테나에 적용되어 모든 시험이 수행되어진다.

2.4 빔 집속 시험 구성 및 시험 결과

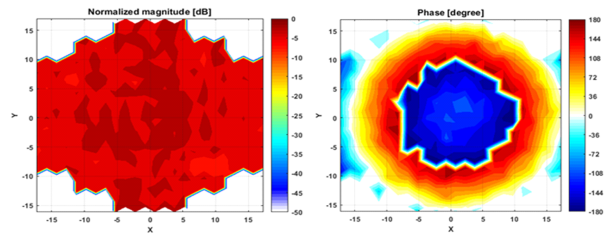
빔 집속 시험을 위한 정렬이 완료되면, 정렬 데이터를 적용하여 평면위상배열레이다의 빔 집속 시험을 수행한다. 시험에 사용된 배열안테나는 총 1,024개의 배열소자로 구성되며, 가로 세로 간격은 각각 15 mm, 17 mm의 삼각배열 형태로 최적화되어 원하는 빔을 형성할 수 있다. 제원은 표 1과 같다.

근전계 빔 집속 시험의 기본 구성은 그림 7과 같다. 평면위상배열레이다 내부의 송수신장치에서 동기화된 신호를 프로브를 통해 인가한 후 레이다를 통해 수집된 데이터를 광저장장치의 로깅 데이터를 통해 확인하였다. 시험장비는 평면위상배열레이다와 프로브 스캐너의 동기화된 타이밍을 제어하여 원하는 빔 조향 시나리오를 평면위상배열레이다에 인가하여 조향된 빔 집속 특성을 확

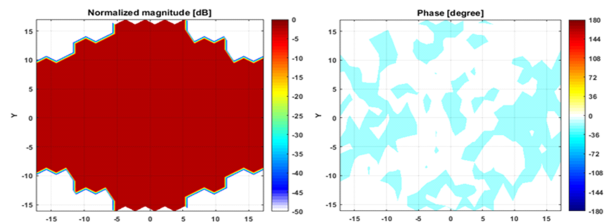
인할 수 있다. 빔 집속 특성을 확인하기 위해 거리 약 2D 만큼 떨어진 프로브를 통해 조향 시나리오별로 측정한다.

표 1. 평면위상배열안테나 제원
Table 1. Planar phased array antenna data.

Frequency	X-band
Radiation elements	1,024
Element distance	15/17 mm
Array type	Triangular planar



(a) 크기(정렬 전) (b) 위상(정렬 전)
(a) Magnitude(before alignment) (b) Phase(before alignment)



(c) 크기(정렬 후) (d) 위상(정렬 후)
(c) Magnitude(after alignment) (d) Phase(after alignment)

그림 6. 근전계 크기/위상
Fig. 6. Near-field magnitude/phase.

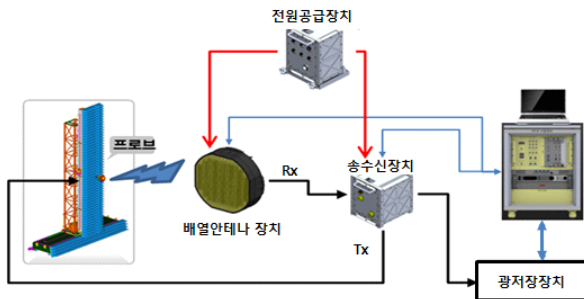


그림 7. 빔 집속 시험 시험 구성도
Fig. 7. NFBF test configuration.

방위각(Az), 고각(EI) 채널 근전계의 크기 데이터는 그림 8~그림 13을 통해 확인할 수 있다. 빔은 조향하지 않은 중심상태와 방위각, 고각 방향으로 각각 20도 조향한 빔 패턴 상태의 근전계 크기 데이터를 수집하였다. 빔 집속 특성이 우수한 것으로 검증된 2D만큼의 거리에서 측정된 근전계 데이터는 모두 우수한 빔 집속 특성을 보였으며, 방위각, 고각 방향 모노펄스를 위한 차 채널 신호 인가에 따른 빔 집속 특성도 확인할 수 있었다.

측정하고자 하는 채널의 빔 집속된 특성을 정량적으로 검증하기 위해 평면위상배열레이다 시스템의 빔 조향 응답 특성을 추가적으로 검증하였다. 이를 검증하기 위해 평면위상레이다 시스템의 빔 조향에 따른 집속면 중심점에서의 응답 신호 레벨을 측정하였다. 그림 14에서 보는

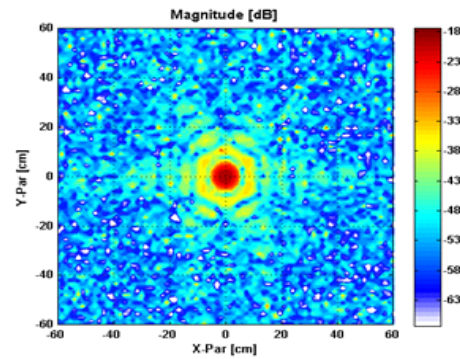


그림 8. 합채널 빔 집속
Fig. 8. Beam focusing of sum channel(streering angle @ Az:0°/El:0°).

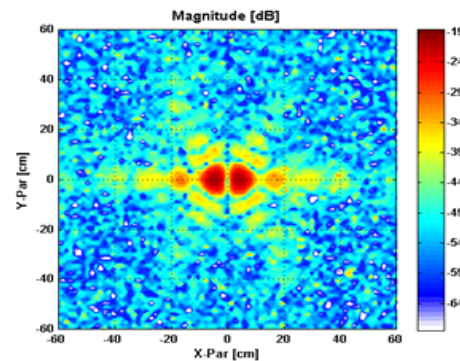


그림 9. 방위각 차채널 빔 집속
Fig. 9. Beam focusing of Del.Az channel(streering angle @ Az:0°/El:0°).

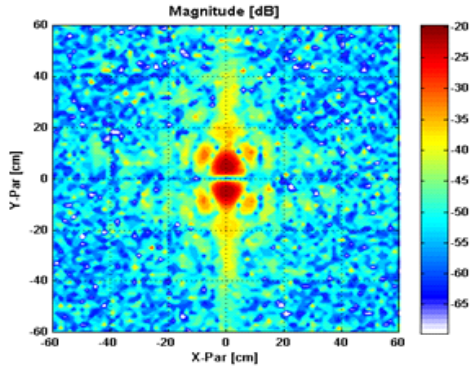


그림 10. 고각 차채널 빔 집속
Fig. 10. Beam focusing of Del.El channel(streering angle @ Az:0°/El:0°).

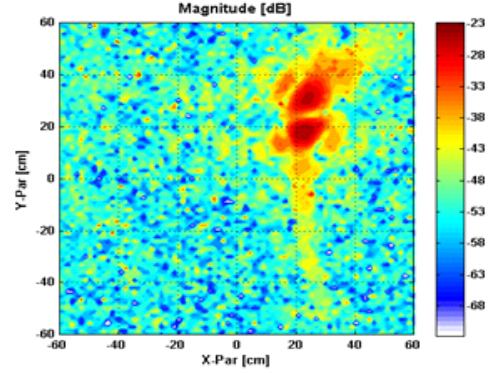


그림 13. 고각 차채널 빔 집속
Fig. 13. Beam focusing of Del.El channel(streering angle @ Az:20°/El:20°).

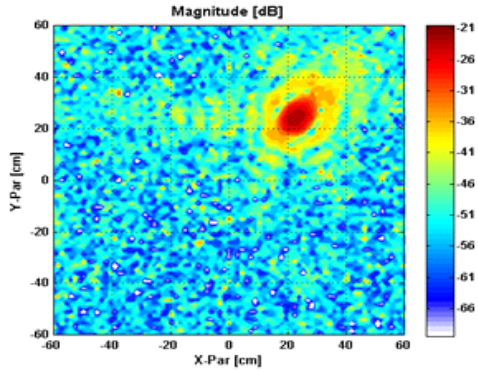


그림 11. 합채널 빔 집속
Fig. 11. Beam focusing of sum channel(streering angle @ Az:20°/El:20°).

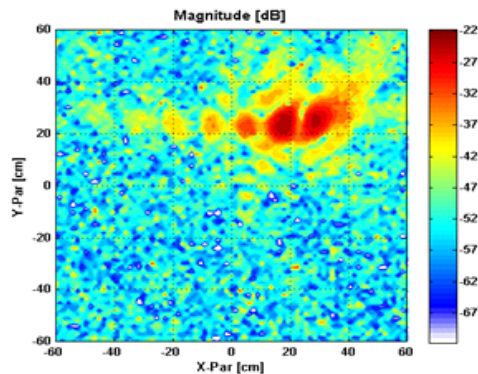


그림 12. 방위각 차채널 빔 집속
Fig. 12. Beam focusing of Del.Az channel(streering angle @ Az:20°/El:20°).

것처럼 프로브는 초점면 중심의 고정된 점에서 평면위상 배열레이다의 빔을 -20° 에서 20° 까지 조향하면서 빔 집속면 고정된 개구면 중심점에서의 응답 신호 크기를 조향각별로 측정하였다.

응답신호 크기 측정결과는 이상적으로 계산된 값과 거의 유사한 특성을 그림 15 및 그림 16을 통해 확인할 수 있었다. 각 채널 근전계 빔 집속 상태에서 원전계 패턴의 응답 신호 크기(Meas, MeaD)가 이상적인 계산값(IdealS, IdealD)과 거의 유사함을 확인할 수 있었으며, 근전계 빔 집속 이론에서 검증된 거리에서 실제 측정 결과가 이론과 동일함을 검증할 수 있었다. 조향에 따른 응답신호 크기는 실제 패턴과 비슷한 모양이지만, 실제는 평면위상배

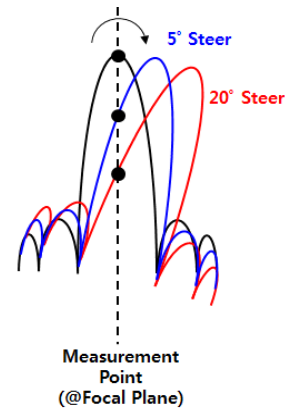


그림 14. 빔 응답 개념
Fig. 14. Beam response concept.

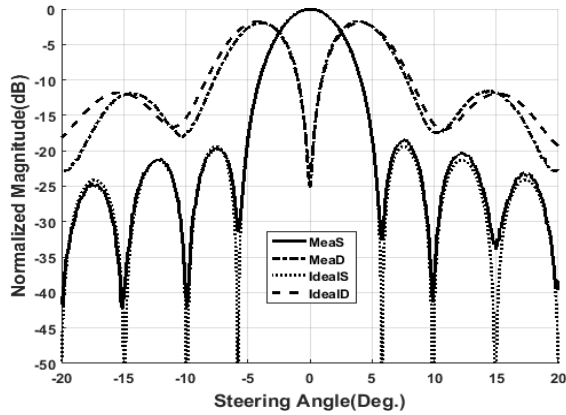


그림 15. 빔 조향에 따른 방위각 빔 응답 비교
Fig. 15. Azimuth beam response comparison due to beam steering(@ Sum/Del ch.).

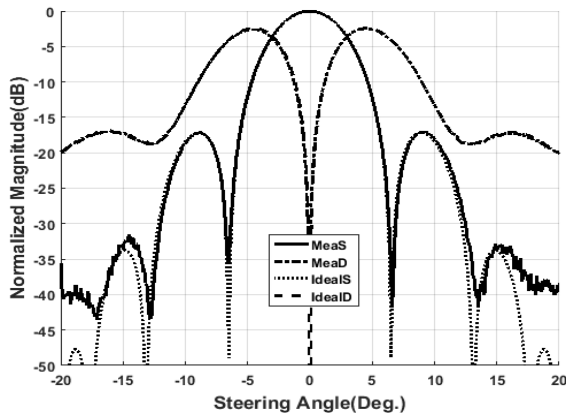


그림 16. 빔 조향에 따른 고각 빔 응답 비교
Fig. 16 Elevation beam response comparison due to beam steering (@ Sum/Del ch.).

열레이다와 정렬된 프로브의 중심점에서의 응답신호를 수집한 모양으로 실제 빔패턴과 거의 유사하지만 엄밀한 의미에서 실제 빔패턴과 동일하지는 않다. 또한 실제 빔 집속 시험을 이용한 원전계 패턴의 각도별 데이터를 추출하기 위해서는 조향을 고려한 패턴의 각도 위치별 위상, 크기 데이터를 측정 포인트별로 보정해야 하며, 정확한 빔 패턴 측정이 어렵다. 하지만 빔 응답신호의 크기 비교를 통해 사전 빔 집속을 위해 정렬된 특정 각도에서 정확한 빔 집속 특성을 확인할 수 있었으며, 거리 제한으로 야외에서 수행해야 하는 시험을 전자파 무반향실에서 검

증할 수 있었다.

III. 결 론

본 논문에서는 근전계 빔 집속 시험 기법을 이용하여 평면위상배열레이다 시스템의 성능을 실내 전자파 무반향실에서 검증할 수 있는 방안에 대하여 분석을 수행하고 실제 측정을 통해 유효성을 검증하였다.

먼저 문헌을 통해 확인한 거리의 시험 구성에 대해 이론적으로 검증을 수행하여 시험의 유효성을 확인하였다. 또한 빔 조향한 상태에서 빔 집속 시험을 위한 추가적인 위상 제어값에 대한 수학적인 검증을 수행하고 보상 절차에 대해 간략히 설명하였다. 실제 빔 집속 측정을 위한 시험 구성 및 방안에 대하여 제시하였으며, 근전계 빔 집속 시험 기법으로 측정된 복사 특성을 확인한 후 추가적으로 빔 응답 특성을 이상적인 결과와 비교 분석하여 시험구성 및 방안의 유효성을 확인 완료하였다.

본 논문에서 제시한 검증 방안을 토대로 이후에는 시스템의 빔 조향 성능뿐 아니라, 모의 표적을 이용한 각도 정확도 시험 등 추가적인 실시간 성능 검증 시험도 근전계 빔 집속 시험을 통해 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] 김영완, 이재민, 이유리, 김종필, 박종국, 박규철, 김선주, "근접전계 시험을 이용한 항공기용 평면형 능동위상배열안테나 송수신 빔 성능 검증에 관한 연구," 한국군사과학기술학회논문지, 22(1), pp. 61-68, 2018년 2월.
- [2] 채희덕, 김한생, 이동국, 정명득, 박종국, "근접 전계 시험 시설을 이용한 능동 위상 배열 안테나 송신 빔 패턴 측정," 한국전자과학회논문지, 22(12), pp. 1155-1164, 2011년 12월.
- [3] 채희덕, 이재민, 김영완, 김한생, 진형석, 박종국, "완전 디지털 레이다에 적용 가능한 능동위상배열안테나 근전계 수신 시험," 한국전자과학회논문지, 27(7), pp. 625-634, 2016년 7월.
- [4] J. W. Sherman, "Properties of focused aperture in the fresnel region," *RE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 10, no. 4, pp. 399-408, Jul. 1962.

- [5] A. J. Fenn, D. H. Temme, W. P. Delaney, and W. E. Courtney, "The development of phased-array radar tech-

nology," *Lincoln Laboratory Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 23-40, 1990.

김 영 완 [LIG넥스원/수석연구원]



2005년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)
2007년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2007년~현재: LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 시스템, 레이더 시스템

이 유 리 [LIG넥스원/수석연구원]



2005년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
2007년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2007년~현재: LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 반도체송수신모듈, 능동 위상 배열 레이더

이 재 민 [현재: LIG넥스원/선임연구원]



2011년 2월: 경기대학교 전자공학부 (공학사)
2013년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2013년 2월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 시스템, 레이더 시스템, 초고주파 수동 회로 설계

김 중 필 [LIG넥스원/수석연구원]



1998년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
1997년~2000년: 단암전자 주임연구원
2007년 8월: LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 시스템, 레이더 시스템, 초고주파 수동 회로 설계

정 채 현 [LIG넥스원/선임연구원]



2008년 2월: 충남대학교 전기정보통신공학과 (공학사)
2010년 2월: 한국과학기술원 전자전기공학과 (공학석사)
2010년 1월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] 안테나 설계 및 수치해석

김 선 주 [국방과학연구소/책임연구원]



1986년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년~현재: 국방과학연구소 책임연구원
[주 관심분야] 능동 위상 배열 레이더

박 중 국 [LIG넥스원/수석연구원]



1995년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
2001년 8월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
2001년 11월~현재: LIG넥스원 수석연구원

[주 관심분야] 위상 배열 안테나 설계, 능동 위상 배열 안테나 시스템, 레이더 시스템, 초고주파 수동 회로 설계 및 전자파 수치 해석