

# 정상 환경 상태에서 다중 빔 탐색 레이더의 표적 고도 추출

## Target Altitude Extraction for Multibeam Surveillance Radar in Normal Environmental Condition

정 명 수 · 박 동 철\*

Myung-Soo Chung · Dong-Chul Park\*

### 요 약

다중 빔 탐색 레이더는 디지털 빔 형성 기술을 이용하여 수신시 적층 빔을 형성하는 최신의 3D(3 Dimensional) 레이더 기술이다. 본 논문에서는 다중 빔 3D 레이더의 빔 형성기 설계 개념 및 다중 경로 현상이 없는 정상 환경 상태에서 표적 고도 추출 방법을 제안하고 고찰해 보고자 한다. FFT(Fast Fourier Transform) 수신 빔 형성기에서 안테나 정현 공간(sine space) 좌표계 기반으로 표적 고도 추출 알고리즘에 대해 기술하였다. 제안된 알고리즘은 1개의 look-up 테이블을 이용하여 다양한 고도 및 레이더 주파수 대역에 대해서 일치하는 결과가 나오는 것을 시뮬레이션으로 확인하였다.

### Abstract

The multibeam surveillance radar is a state-of-art of 3D radar technology. It applies the stacked beam-on-received realized by a digital beamformer. In this paper, a design concept of beamformer and a method of target altitude extraction for multibeam surveillance radar in the normal environmental condition considering no multipath situations are proposed and investigated. The extraction algorithm based on antenna sine space coordinated system in a FFT digital beamformer is described. The proposed algorithm is simulated by 1 look-up table data and confirmed to have consistent results in accordance with a variety of target altitudes and a full radar frequency range.

Key words : Mutibeam Surveillance Radar, FFT Digital Beamforming, Target Altitude Extraction

### I. 서 론

다중 빔 레이더 기술은 함정용 레이더인 MW-08 및 SMART-L 레이더에 적용되는 기술로, 다중 빔 레이더의 시스템 구현 기술에 대한 연구가 국내에서 이루어지지 않고 있었다<sup>[1],[2]</sup>.

다중 빔 레이더는 디지털 빔 형성 기술을 이용하여 수신시 적층 빔을 형성하는 디지털 빔 형성 레이더로 기존의 RF단에서 빔을 형성하는 스택 빔(stacked-beam) 레이더와 펜슬 빔(pencil-beam) 3D 탐색 레이더에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 다중 빔을

형성하는 디지털 빔 형성의 가장 큰 장점은 레이더 ECCM(Electronic Counter Counter Measure) 기능을 위해 필요한 수신 적응 빔(adaptive beam)을 형성할 수 있다는 것이다<sup>[3]</sup>. 또 다른 장점은 안테나 방위각 회전시 수신 빔이 지나갈 때까지 계속 표적을 볼 수 있으므로, 클러터 및 채프 등과 같은 비표적 특성을 쉽게 제거할 수 있는 것이다. 또한, 다중 빔은 동시에 여러 개 빔을 수신하므로, 대칭 기법 등과 같은 특성을 이용하여 저고도 표적의 다중 경로 현상을 효과적으로 제거할 수도 있다<sup>[4],[5]</sup>.

동시 빔(simultaneous beam)을 사용하여 고각을 추

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

\*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20070723-077

· 수정완료일자 : 2007년 9월 7일

출하는 방식은 진폭 모노 펄스 방식, 위상 인터페로 측정(phase interferometry) 방식 및 다중 빔 방식 등으로 나눌 수 있다. 상기 방식 모두 단일 송신 빔으로 측정 고각 범위 전체에 송신하고 측정 범위에 대해서 2개 혹은 그 이상의 수신 빔을 동시에 형성하여 고각 정보를 추출하는 것이다<sup>[3]</sup>.

모노 펄스 방식은 안테나의 합(sum) 및 차(diff.) 빔을 형성하여 수신되는 두 신호의 크기 비를 이용하여 각도 정보를 측정하는 방식이며, 위상 인터페로 측정 방식은 수신 안테나가 각도 방향에서 서로 다르게 위치하여 두 신호의 위상 차이를 추출하여 방향을 탐지하는 방식이다.

다중 빔 방식은 수신 신호의 크기 비를 이용하는 방식이며, 통상적으로 모노 펄스 빔인 합 및 차 빔을 형성하여 모노 펄스 기울기 값이 저장된 look-up 테이블을 이용하여 정확한 각도 정보를 추출한다<sup>[6]</sup>. 하지만 재밍이 있을 경우에는 정확하지 않으므로 부엽 재밍 제거 기법 및 주엽 재밍 제거 기법 등과 같은 추가적인 처리 기법에 대한 많은 연구가 수행되어 정확도를 높이고 있다<sup>[7],[8]</sup>. 또한 다중 빔 방식에서 부엽 차단 기능을 포함하는 모노 펄스 방식도 제시되었으나<sup>[9]</sup>, 디지털 빔 형성기에서 Taylor 분포가 적용되는 합 빔과 차 빔을 형성하는 추가적인 가중치 함수를 계산할 수 있어야 하므로 그만큼 빔 형성기가 복잡해진다. 이러한 기술의 적용 가능성 및 필요 기술의 개발을 위해 다중 빔 레이더의 디지털 빔 형성기 설계 개념 및 개발 방향에 대한 고찰이 필요하다.

본 논문에서 다중 빔 레이더 시스템 개념에 대해 살펴보고, FFT 디지털 빔 형성기에 대한 설계 개념을 고찰한다. 다중 빔의 가장 큰 장점인 적응 빔 형성 개념은 수신 다중 빔의 부엽 준위(sidelobe level)의 널(null)을 일치시켜, 안테나 고각 회전으로 수행 가능한 방안을 제시한다. 또한, 고각의 정확도를 향상하기 위한 고각 추출 알고리즘은 모노 펄스 기법보다 간단한 두 빔의 패턴 크기 차이를 이용하면서 안테나 정현 공간(sine space) 좌표계에서 조향각에 관계없이 빔 폭이 일정하다는 개념을 적용한 방안을 제안하고 수식을 유도하였다. 제안된 고각 추출 알고리즘의 검증을 위해 다양한 표적 고도 및 레이더 사용 주파수에 대해 시뮬레이션으로 확인하였다.

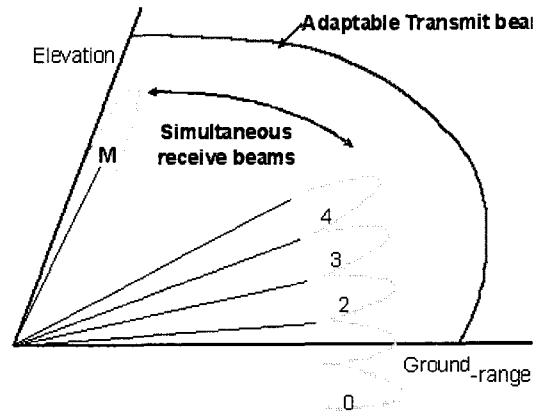


그림 1. 다중 빔 레이더 운용 원리  
Fig. 1. Operational principle of multibeam radar.

## II. 다중 빔 레이더 시스템 개념

그림 1은 본 논문에 적용된 다중 빔 레이더 시스템의 운용 원리이다. 다중 빔 레이더 시스템은 수평 방향의 1열 배열 안테나를 수직 방향으로 여러 개로 적층하는 평판형 안테나를 사용한다. 수평 방향의 빔의 모양과 방향은 배열면에 대해서 고정되어 있지만, 고도 방향의 빔은 수신 신호를 이용하여 디지털 빔 형성기로 구현된다<sup>[5]</sup>.

송신 빔은 각 배열 안테나의 선형 배열 합성으로 형성되며, 운용자가 요구하는 탐지 볼륨에 맞게 설계된다. 각 배열 안테나는 반도체 송신 모듈에 연결되어 있고, 각 반도체 송신 모듈의 입력단에 위치하는 저전력 위상 변위기를 가지고 있다. 저전력 위상 변위기는 송신 빔의 패턴을 형성하고 합정용 레이더에 적용되는 전자적 빔 안정화 기능을 구현시킬 수 있다.

배열 안테나는 방위각 방향으로 좁은 빔 폭을 갖지만 고도 방향으로는 상당히 큰 빔 폭을 가지며, 모든 배열 안테나는 표적 반사 신호를 수신한다. 개별 수신기가 각 배열 안테나에 연결되어 수신된 신호의 디지털 샘플링 신호를 출력한다. 관련된 전자 장비는 회전하는 안테나 장치에 위치하며, 수신된 디지털 신호는 광섬유 인터페이스를 통해 고정 설치된 신호 처리기 장비로 연결된다. 신호 처리기의 빔 형성기에서 가장적인 수신 빔을 디지털적으로 형성한 후에 레이더 정보인 표적 거리, 방위, 고각 및 속도

등을 측정할 수 있도록 도플러 처리, 비데오 탐지 및 플롯 추출기로 더 처리된다.

### III. 디지털 빔 형성기의 설계 및 고각 추출

본 논문에서 적용된 빔 형성기는  $N$ 개의 디지털 입력 신호를 이용하여  $M+1$ 개의 수신 빔을 형성한다. 일반적인 디지털 빔 형성기는 다중 빔 형성 및 다중 빔 고각 회전(elevation rotation), 적응 널링(adaptive nulling) 및 오차 보정(calibration) 기능을 동시에 수행한다. 디지털 빔 형성기는 고각 방향으로 수신되는  $N$ 개 수신 신호를 이용하여  $N$  포인트 FFT를 사용하여 안테나 정현 공간(sine space) 좌표계에서 동일한 빔 간격으로 그림 2는  $N$ 이 24개 경우의 형성된 빔이다<sup>[10]</sup>. 그림에서  $\pm 12$ 번 빔 위치에 형성된 빔은 상호 중복되어 표현되어 있다. 안테나 복사 소자의 소자 패턴(element pattern)은  $\sqrt{\cos(\theta)}$ 로 가정하였다. 그리고 빔 모양을 결정하기 위해 FFT에 식 (1)과 같은 정현파 가중치를 적용하였다<sup>[11]</sup>.

$$W_n = \sin\left(\pi \frac{n-0.5}{N}\right) \quad (1)$$

여기서  $n=1, \dots, N$

$N$ : 빔 형성기에 입력되는 안테나 배열수

그림 3은 안테나 고각에 대한 24 포인트 FFT 안테나 패턴이다. 고각 영역에서는 고각이 클수록 빔 폭

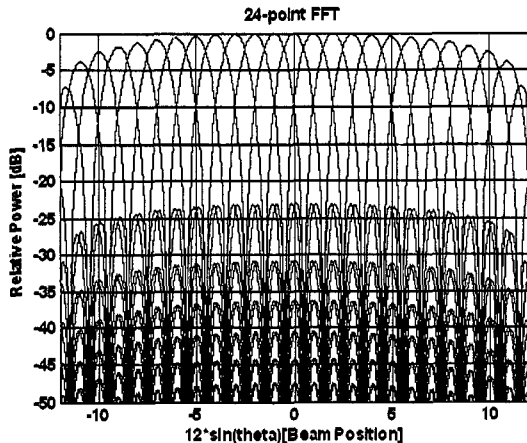


그림 2. 정현 공간에 대한 24 point FFT 안테나 패턴

Fig. 2. 24-point FFT antenna pattern with respect to sine space.

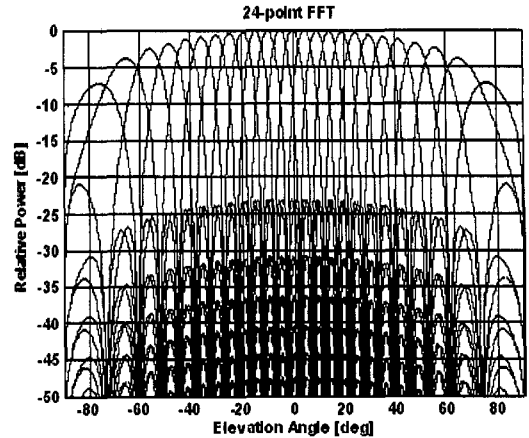


그림 3. 안테나 고각에 대한 24 point FFT 안테나 패턴

Fig. 3. 24-point FFT antenna pattern with respect to elevation angle.

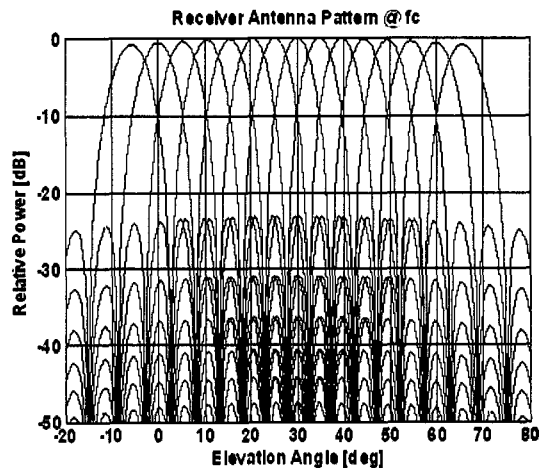


그림 4. 중심 주파수에서의 다중 빔 수신 안테나 패턴  
Fig. 4. Multibeam received antenna pattern at center frequency.

이 넓어지는 것을 알 수가 있다. 이는 빔 조향 방향이 클수록 실제 안테나 개구면이 작아져서 나타나는 현상이다. 또한, 수신 빔의 패턴에서 부엽 준위상의 널이 상호 일치됨을 확인하였다. 이는 단순 안테나 고각 회전으로 적응 널링 방식의 적용이 가능하다는 것을 의미한다.

24개 빔 중에서 -7번 빔 위치에서 +7번 빔 위치 사이의 15개를 선택하고, 고각 축에서 -6번 빔 위치(그림 2 참조)가 레이더 수평선과 일치하도록 수신 빔을 고각 방향으로 회전시켜 얻은 패턴은 그림 4와

같다.

주파수가 중심 주파수에 벗어나면 빔 폭이 가변되어 -6번 빔 위치가 정확하게 레이더 수평면을 바라보고 있지 않을 수 있으므로, 그에 따른 -6번 빔 위치가 수평선에 위치하도록 수신 빔 고각 회전을 하여야 한다. 그 회전량은 각 소자의 위상 변위량으로 조정할 수 있다. 주어진 주파수에서 빔 형성기에서 계산되는 안테나 빔은 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$B_k = \sum_{n=1}^N W_n e^{-jn\phi(k)} \quad (2)$$

여기서  $B_k$ : 특정 주파수에서 빔 번호  $k$ 의 복소수 크기

$W_n$ : 수신 빔의 안테나 가중치

$\phi(k)$ : 빔 번호  $k$ 가  $\theta_k$  고각 방향으로 조향하기 위한 안테나 소자간의 위상 차이

$\phi(k)$ 는 FFT 수식에서의  $k$ 번째 필터를 형성하는 경우의 위상 차이는  $2\pi k/N$ 이다. 안테나 배열 소자간의 위상 차이는 소자간의 간격 및 조향 각도의 관계인  $2\pi d \sin(\theta_k/\lambda)$ 이다. 따라서 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\phi(k) = \frac{2\pi k}{N} = \frac{2\pi d \sin(\theta_k)}{\lambda} \quad (3)$$

주어 주파수별로 빔 위치의 변화 각도와 고정된 안테나 틸트 각도를 안테나 중심축-수평면 각도로 정의하고 -6번 빔 위치가 수평선을 지향하는 각도와 레이더 운용 파장과의 관계는 다음식과 같다.

$$N \frac{d}{\lambda} \sin(-\theta_c) = -6.0 \quad (4)$$

여기서  $\theta_c$ : 안테나 중심축-수평면 각도

$\lambda$ : 레이더 운용 파장

$d$ : 배열 안테나 간격

$N$ : 안테나 배열수

배열 간격이 반파장을 유지하도록 배치하였다면, 중심 주파수에서의 안테나 중심축-수평면 각도는  $30^\circ (= \arcsin(6/12))$ 이다. 형성된 고각 빔에서 상호 중첩되지 않은 1개의 고각 빔 폭을  $L$ 개로 양자화하기 위해 나눈다면, 1개의 고각 빔 폭은  $1/L$  빔 유니

트(beam unit)로 나뉘어 계산될 수 있다. 만약 고각 전체가 14의 고각 빔 폭으로 구성되어 있다면 전체 고각 빔 유니트는  $14L$ 개가 된다. 만약에 누적된 빔 유니트 값이 안테나 수평면 기준의 표적 고각으로 표현되면 식 (5)과 같이 정현 공간 좌표계에 포함되어 나타낼 수 있다<sup>[12]</sup>.

$$N \frac{d}{\lambda} \sin(\theta_p - \theta_c) = \frac{k_i}{L} - 6.0 \quad (5)$$

여기서  $\theta_p$ : 표적의 고각

$k_i$ : 수평면에서 총누적 빔 유니트의 수

$\lambda$ : 레이더 운용 파장

$d$ : 배열 안테나 간격

$N$ : 안테나 배열수

$L$ : 1개 빔의 빔 유니트 수

수평면에서 총누적 빔 유니트의 수는 다음과 같이 주어진다.

$$k_i = (N_M - 1) \times L \pm k_d \quad (6)$$

여기서  $N_M$ : 최대값을 가진 고도 빔 번호

$k_d$ : 최대 빔과 이웃 빔 사이의 빔 유니트 편차

+: 상위 빔이 하위 빔보다 클 경우

-: 하위 빔이 상위 빔보다 클 경우

$L$ : 1개 빔의 빔 유니트 수

그림 5는 상위 빔(upper beam)이 하위 빔(lower beam)보다 클 경우로 식 (4)에서 +가 적용되는 경우

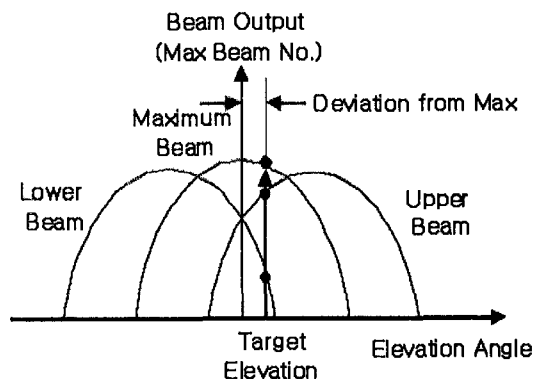


그림 5. 최대 빔과 상위 빔과의 빔 유니트 편차  
Fig. 5. The deviation of beam unit between maximum beam and upper beam.

의 최대 빔과 이웃빔 사이의 빔 유니트 편차를 보여 주고 있다.

식 (1)의 가중치를 이용하고 1개 빔 폭을  $L$ 개의 빔 유니트로 구분할 수 있도록  $k_d = 0, L$ 일 경우에 최대 값을 가지는 두 개 빔의 패턴의 크기 비는 식 (7)과 같이 구할 수 있다<sup>[11]</sup>. 식 (7)을 이용하여 두 빔에서 수신된 신호 크기의 비를 이용하여 최대 빔과 이웃 빔 사이의 빔 유니트 편차( $k_d$ )는  $L$ 이 512 경우에 그림 6과 같은 look-up 테이블을 이용하여 계산할 수 있다. 이웃 두 개 빔은 최대 빔 중심 지점에서 상호 대칭이므로 1/2 빔 폭 정보인  $L/2$  지점의 정보만 필요하다.

$$P(k_d) = 20 \log_{10} \left( \frac{\left| \sum_{n=1}^N W_n e^{2\pi j \frac{n}{N} (\frac{k_d}{L})} \right|}{\left| \sum_{n=1}^N W_n e^{2\pi j \frac{n}{N} (\frac{k_d}{L} - 1)} \right|} \right) \quad (7)$$

여기서  $N$ : 안테나 배열수

$k_d$ : 최대 빔과 이웃빔 사이의 빔 유니트 편차

$L$ : 1개 빔의 빔 유니트 수

표적 고각을 추출하기 위해 동일한 거리 셀의 데이터상에서 최대로 수신되는 최대 빔과 이웃빔 크기의 비를 가지고 식 (8)과 같이 레이더 수평면 기준의 표적 고각  $\theta_e$ 를 계산할 수 있다.

$$\theta_e = \theta_c + \sin^{-1} \left( \frac{2\lambda}{\lambda_c} \frac{k_d/L - 6}{N} \right) \quad (8)$$

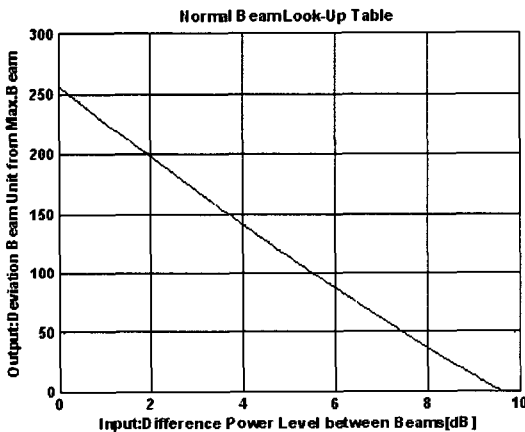


그림 6. 빔 유니트 편차 계산용 look-up 테이블  
Fig. 6. Beam look-up table for calculating the deviation of beam unit.

여기서  $\theta_c$ : 안테나 중심-수평면 각도

$\lambda$ : 레이더 사용 주파수 파장

$\lambda_c$ : 중심 주파수 파장

$k_d$ : 총 누적 빔 유니트의 수

$N$ : 안테나 배열수

$L$ : 1개 빔의 빔 유니트 수

레이더의 운용 고도 및 표적과의 거리를 안다면 지구 구형에 대한 표적 고도는 식 (9)와 같이 구할 수 있다<sup>[13],[14]</sup>.

$$h_t = \sqrt{\left( (R_E + h_r)^2 + r_i^2 - 2(R_E + h_r)r_i \cos(90 + \theta_e) \right)} - R_E \quad (9)$$

여기서  $h_t$ : 표적 고도

$h_r$ : 레이더 고도

$r_i$ : 표적 거리

$R_E$ : 4/3-지구-반경

$\theta_e$ : 레이더 수평면 표적 고각

#### IV. 시뮬레이션 및 결과

다중 경로 현상이 없는 정상 환경 상태에서 앞 절에서 정리된 수식을 확인하기 위해 사용된 레이더 및 표적 특성 변수는 표 1과 같다.

레이더 거리별로 레이더 수신 신호를 결정하기 위해 결정해야 하는 주요 변수(안테나 이득, 송신 출력 등)은 정규화한 값을 이용하기 위해 RCS가 2 m<sup>2</sup> 일경우의 탐지 성능이 80 km일 때 SNR=15 dB로 가정하였다.

표 1. 시뮬레이션에 적용된 레이더 및 표적 변수  
Table 1. Radar and target parameter for simulation.

레이더 변수		표적 변수				
탐지 기준( $R_0$ ) - RCS <sub>0</sub> : 2 m <sup>2</sup> - SNR=15 dB	80 km	표적 크기 (RCS) [m <sup>2</sup> ]	0.5			
주파수 [GHz]	$f_i, f_c, f_h$	속도 [mach]	0.9			
높이 [m]	15	운용 시나리오	일정 고도 접근			
표적갱신율 [s]	2.2	표적 고도 [m]	50	100	300	500
대역폭 [MHz]	400	시각 거리 [km]	20	30	40	50

빔 형성기를 거친 레이더 신호는 펄스 압축, 도플러 처리 및 CFAR 처리 단계를 거쳐 표적을 탐지한다. 최종 CFAR 단에서 SNR=15 dB를 유지하기 위한 신호 처리 입력단에 거리 및 도플러 방향의 잡음 발생 시 잡음 준위는 펄스 압축 이득 및 도플러 처리 이득으로 인한 이득 증가 요인을 나누어 약 -45 dB이다. 신호 준위는 신호 처리 이득의 제공으로 증가하므로 신호 처리 입력단의 신호 준위는 각 처리기의 이득의 제공으로 나누어준다. 표적이 다가오는 전력 이득의 증가는  $(RCS/RCS_0) \cdot (R_0/R)^4$ 를 고려하여 신호의 크기를 모델링하였다. 빔 형성기의 수평선 빔(Beam 1)에서 beam 4까지 신호가 입력되고 나머지 빔은 모두 잡음 준위 이하로 표시하지 않았다. 표적 고도 500 m일 경우의 신호 처리기에 입력되는 빔 형성기의 신호 최대값은 최대값이 그림 7과 같다. 30~5 km에서는 beam 1과 beam 2로 표적 고도를 추출하고 더 다가오면 beam 2/beam 3 및 beam 3/beam 4 순으로 표적 고도를 추출한다.

표적 운용 시나리오는 정상 상태에서 해면으로부터의 일정 고도 및 일정 속도로 접근하는 표적으로 단순화 하였다. 레이더 표적 갱신율은 안테나 회전 속도를 의미하며 일정 속도로 접근하는 표적의 거리 지점 계산에 사용된다. 사용된 레이더는 S-대역 주파수에서 약 14 % 대역폭을 가진다고 가정하여 레이더에서 사용 가능한 주파수 대역폭에서 알고리즘을 확인하였다.

시뮬레이션에서 접근 표적이 2 km 이내로 접근하면 프로그램이 종료되게 하였다. 4개의 표적 고도 및 3개의 주파수에 대해 정상 환경 상태에서 다중 빔 레이더의 표적 고도 추출 방법을 확인하였다.

송신 빔에 대해서는 운용 개념에 따른 빔 패턴을 형성하여 입력하였으나, 송신 빔은 측정 고각에서 상호 동일하므로 두 빔의 크기 비를 구하면 상호 상쇄되므로, 고각 측정에는 거의 영향이 없어 본 논문에서는 세부 내용을 언급하지 않고 향후 완성될 다중 경로 환경 상태에서 표적 고도 추출 내용과 관련된 논문에서 언급하고자 한다.

정상 환경 상태에서 표적 고도 50 m, 100 m, 300 m 및 500 m일 경우에 대해 시뮬레이션 한 결과를 그림 8에 나타냈다. 낮은 주파수에 상대적으로 오차가 크게 발생하는 것은 안테나 빔 폭이 상대적으로 넓

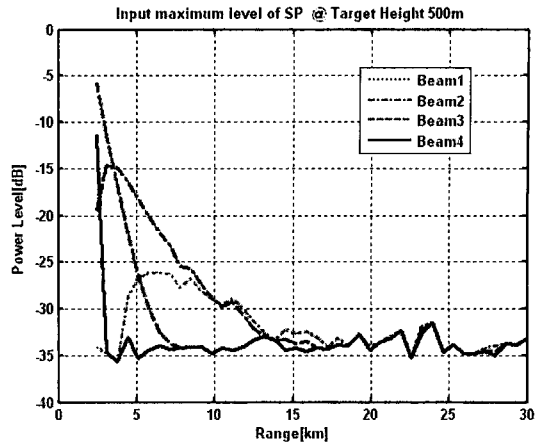


그림 7. 표적 고도 500 m일 경우의 신호 처리기에 입력되는 빔 형성기의 신호 최대값  
Fig. 7. Input maximum signal level of beamformer output(target height=500 m).

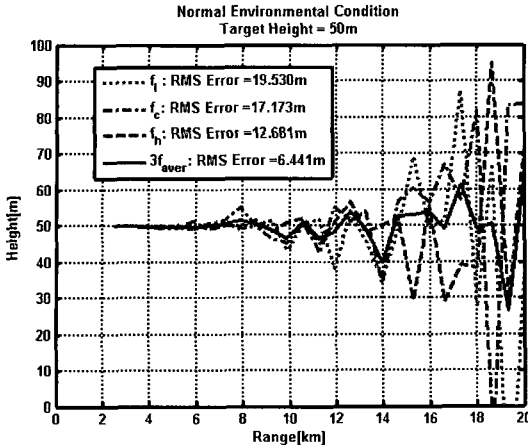
어져 잡음 신호의 오차의 영향이 다소 크게 나타났다. 3개 주파수 결과를 단지 산술 평균화하여도 오차가 상당히 감소되었다. 따라서 본 결과는 한 개 버스터에서 탐지한 신호로 계산한 결과이지만 만약에 여러개 버스터의 탐지한 결과를 평균화 한다면 수신 잡음에 의한 영향은 많이 감소될 것으로 예측된다.

결론적으로 단 1개의 look-up 테이블을 이용하더라도 다양한 주파수 상황에서 제안한 다중 빔 레이더의 표적 고도를 비교적 정확하게 추출하고 있어 본 논문에서 제안한 표적 고도 추출 기법이 타당함을 확인하였다.

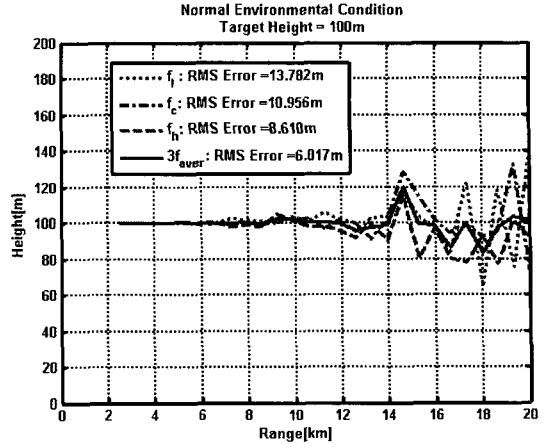
## V. 결 론

본 논문에서는 정상 환경 상태에서 다중 빔 3D 탐색 레이더의 표적 고도 추출을 위한 방법을 제안하고, 그 결과를 확인하였다. 또한, 다중 빔 레이더에서 가장 중요한 빔 형성기 설계 개념에 대해 살펴보았다. 특히 FFT 기법을 적용한 수신 빔 형성기에서 형성된 수신 빔의 패턴은 부엽 준위상의 널이 상호 일치됨을 확인하였다.

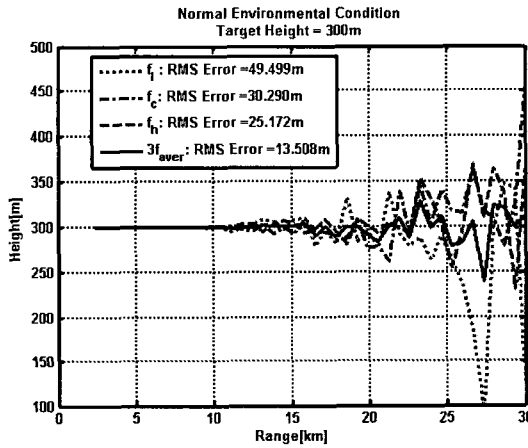
부엽 준위 널 일치는 수신 빔의 단순 고도 방향 회전으로도 적용 널링 형성이 가능하다는 것을 의미한다. 비록 안테나 효율적 측면에서 정현파 테이퍼링이 다소 떨어지더라도 가장 효과적인 다중 빔 레



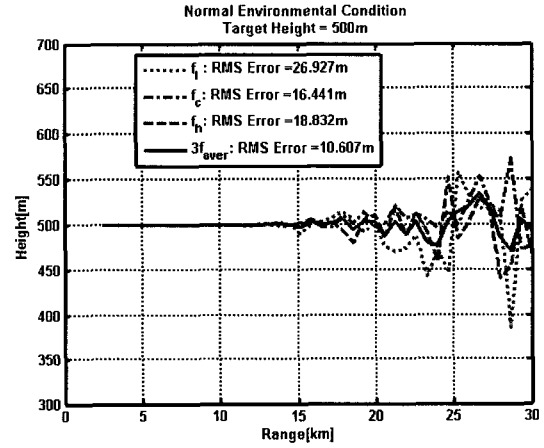
(a) Target height=50 m



(b) Target height=100 m



(c) Target height=300 m



(d) Target height=500 m

그림 8. 정상 환경 상태에서 시뮬레이션 결과

Fig. 8. Simulation results in normal environmental condition.

이다 빔 운용이 가능하다고 판단된다. 재밍 방향에 패턴의 널로 조향시킨다면 재밍이 들어오는 고도 빔 2개에는 영향을 주나, 나머지 고도 빔에 대한 영향은 전혀 주지 않는다는 것이다.

또한, 다중 빔 레이더는 동시에 여러 개 고도 빔에서 신호를 수신하므로 만약에 낮은 고도의 큰 표적에 대해서는 높은 고도로 유입이 가능하다. 만약에 패턴의 부엽 준위를 정확히 알고 있다면, 표적의 상대적인 크기로도 부엽에서 유입 여부도 확인 가능할 것으로 판단된다.

정상 상태에서 안테나 정현 공간 좌표계 기반의 표적 고도 추출 알고리즘에 대하여 필요한 수식 검

증은 본 연구에서 이루어졌으나, 실제 환경에서 존재하는 다중 경로 상황에서 표적 고도 추출에 대한 연구가 후속적으로 이루어져야 할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 윤태환, "국방 레이더 연구개발", 한국전자파학회, 2003 레이더 워크샵, pp. 84-99, 2003년 10월.
- [2] 주해연, "해군 레이더 운용 현황 및 발전 방향", 한국전자파학회, 2003 레이더 워크샵, pp. 104-114, 2003년 10월.
- [3] Merrill I. Skolnik, *Radar Handbook*, 2'nd Ed., McGraw-Hill Publishing Company, N.Y., pp. 20.1-

- 20.38, 1990.
- [4] B. Cantrell, F. Willwerth, L. Leibowitz, and C. Paris, "Development of digital array radar", *IEEE AESS Systems Magazine*, pp. 22-27, Mar. 2002.
- [5] Gerrit Dedden, "SMART-L mutibeam radar", *European Radar Conference*, Amsterdam, pp. 17-20, 2004.
- [6] Kai-Bor Yu, David J. Murrow, "Adaptive digital beamforming for preserving monopulse target angle estimation accuracy in jamming", *Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop 2000, Proceeding of the 2000 IEEE*, pp. 454-458, Mar. 2000.
- [7] Kai-Bor Yu, David J. Murrow, "Adaptive digital beamforming for angle estimation in jamming", *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, vol. 37, no. 2, pp. 508-523, Apr. 2001.
- [8] Gheorge I. Andrei, Ioan Vedinas, "Adaptive interference cancellation", *Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service, TELSIKS 2001, 5th International Conference*, vol. 1, pp. 73-76, Sep. 2001.
- [9] R. W. Lampe, L. J. Simonageli, "Efficient technique for adaptive nulling in multibeam antenna", *Antenna and Propagation Society International Symposium*, vol. 25, pp. 78-81, Jun. 1987.
- [10] Peter J. Kahrilas, *Electronic Scanning Radar Systems(ESRS) Design Handbook*, Artech House, Inc., pp. 173-208, 1981.
- [11] Warren L. Stutzman, Gray A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, pp. 173-191, 1981.
- [12] Randolph F. Follett, "High resolution broadband FFT beamformer simulation and analysis", *Autonomous Underwater Vehicle Technology, AUV'90, Proceeding of the Symposium*, pp. 254-259, Jun. 1990.
- [13] Lamont V. Blake, *Radar Range-Performance*, Artech House, Inc., Norwood, pp. 237-290, 1986.
- [14] Albert G. Huizing, Arne Theil, *Computer-Aided Radar Performance Evaluation Tool(CARPET), Ver. 2.0, User Manual*, TNO Physics and Electronics Laboratory, 2004.

## 정 명 수



테나

1985년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1987년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1987년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원  
 [주 관심분야] 레이더 시스템 및 안

## 박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)  
 1984년 12월: Univ. of California, Santa Barbara (공학박사)  
 1977년~1978년: Ruhr University, Bochum, Germany 방문교수  
 1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson  
 1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairperson  
 2000년~2001년: 한국전자파학회 회장  
 1976년~현재: 충남대학교 전파공학과 교수  
 2005년 4월~현재: 대덕 Wireless 포럼 회장  
 [주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Components, Antennas, EMI/EMC