

## 탄도탄 동시 추적을 위한 복합전술에서의 다기능레이다 자원관리 방법에 관한 연구

### Resource Management Method of Multifunction Radar for Simultaneous Tracking of Ballistic Missiles in Combined Tactics

박명훈 · 고진용 · 김현승 · 전우중 · 권세웅 · 이기원

Myung-Hoon Park · Jin-Yong Go · Hyun-Seung Kim · Woo-Joong Jeon · Se-Woong Kwon · Ki-Won Lee

#### 요 약

군사 기술 발전으로 최근 무기체계의 발전이 다양화, 고속화되고 있다. 이에 따라 감시정찰 체계의 역할이 더욱 중요해지면서 다양한 목적을 수행하는 고성능의 레이더를 요구하고 있다. 이러한 요구를 충족하기 위해 하나의 레이더로 다양한 기능과 목적을 수행할 수 있는 다기능레이더가 주를 이루고 있다. 다기능레이더는 자원관리를 통해 일반적인 표적뿐만 아니라 탄도탄, 대함유도탄과 같은 위험 무기체계도 효율적으로 탐지할 수 있다. 또한 최근 북한의 탄도탄 무기체계의 기술이 발전하면서 탄도탄에 대한 대응(탐지 및 추적) 능력이 더욱 중요한 이슈가 되고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 M&S 도구를 통해 일반 표적을 탐지하는 상황에서 탄도탄의 동시 탐지 및 추적을 위한 자원관리 방법에 대해 분석하였다. 그 결과, 일반 표적 1,000대와 탄도탄 2대를 동시 탐지 및 추적하기 위한 자원관리 변화 결과를 도출하였다.

#### Abstract

With the advancements in the field of military technology, recently, the development of weapons systems has diversified and accelerated. Consequently, surveillance systems have become more important. Therefore, a high-performance radar that serves a variety of purposes is required. To meet these requirements, multifunction radar (MFR) that can serve a variety of performance aspects and purposes with single radar is the main part of the surveillance system. Through resource management of MFR, not only common targets, but also hazardous weapon systems, such as ballistic missiles or anti-ship guided missiles, can be detected efficiently. In addition, with the technological developments in the ballistic missile system of North Korea, the ability to respond to ballistic missiles is a challenge. In this study, resource management methods for simultaneous ballistic missile detection and tracking under the condition of detecting normal targets were analyzed using a modeling and simulation (M&S) tool. As a result, the outcomes of resource management changes to simultaneously detect and track 1,000 normal targets and two ballistic missiles were deduced.

Key words: Multi Function Radar, Resource Management, TBM Detection, Combined Tactics Analysis, Modeling and Simulation

#### I. 서 론

군사 기술이 발전함에 따라 무기체계 또한 복잡적이면  
서도 빠른 속도로 진화하고 있다. 감시정찰 체계인 레이

LIG넥스원(주) (LIG Nex1 Co., Ltd.)

· Manuscript received February 5, 2021 ; Revised March 4, 2021 ; Accepted March 22, 2021. (ID No. 20210205-015)

· Corresponding Author: Myung-Hoon Park (e-mail: myunghoon.park2@lignex1.com)

다만 하더라도 다양한 목적을 만족하는 기능을 요구하면서 더욱 고성능의 시스템이 요구되고 있는 실정이다. 이에 따라 하나의 레이더로 다양한 목적을 달성하고 기능을 다양하게 수행할 수 있는 다기능레이다의 발전이 가속화되고 있다.

다기능레이다는 대함과 대공 표적과 같은 일반 표적을 탐색 및 추적하면서 탄도탄과 대함유도탄과 같은 특수한 표적을 동시에 탐지/추적한다. 다기능레이다는 자원관리를 통해 성능을 목적에 맞게 자유롭게 변경할 수 있다. 정해진 탐지 시간(frame time) 자원 안에서 탐색과 추적 성능을 자유롭게 변경하여 임무를 수행하며, 한정된 자원 안에서 탐색자원과 추적자원은 반비례 관계를 가진다. 기존 연구에서도 추적 동기화 및 파형 가변 알고리즘을 통해 추적 시간 자원을 줄여 전체적인 탐색자원을 늘리고 레이더 성능을 향상시킨 연구가 진행되어 왔다<sup>[1]</sup>.

최근 북한의 탄도탄 기술이 지속적인 발전을 통해 고도화되어 탄도탄에 대한 위협이 나날이 증대되고 있다. 따라서 탄도탄을 탐지 및 추적하는 것은 다기능레이다의 필수 기능으로 요구되고 있다. 탄도탄은 특성상 비행속도가 빠르고 레이더 반사면적(RCS: radar cross section)이 작아 탐색 및 추적이 어렵다. 탄도탄을 추적하기 위해서는 높은 에너지와 빠른 갱신률이 필요하여 많은 추적자원(시간)을 할당해야 하기 때문에 다수의 탄도탄을 추적하기 위해서는 다른 성능의 저하가 불가피하다. 이를 위해 최소한의 성능 저하로 여러 대의 탄도탄을 동시에 추적하기 위한 자원관리 변경에 대한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 기존 다기능레이다의 성능 분석 모의분석도구(M&S: modeling and simulation)를 활용하여 다수의 일반 표적과 탄도탄의 복합전술에서의 동시 탐지 및 추적을 위한 자원관리 변경에 대해 분석하였다.

이를 위해 2장에서는 구성된 M&S 모델에 대해 기술하였고, 3장에서는 도구를 통한 변경된 자원관리에 따른 성능 결과를 기술하였다. 탄도탄을 동시에 탐지 및 추적하기 위한 자원관리 결과를 우선순위에 따른 일반 표적의 추적 수 감소량, 일반 표적의 추적 갱신률 감소량, 탐지성능 감소량을 지표로 도출하였다.

## II. M&S 모델 구성

본 논문에서 사용한 다기능레이다 성능 분석 시뮬레이

션은 탄도탄 탐지 모드를 포함한 다기능레이다 M&S 도구이다. 성능 분석을 위한 모델링은 크게 일반 표적 및 탄도탄 기동, 일반 및 TBM 탐색/추적 그리고 자원관리 모델로 구성되어 있으며, 그 흐름도는 그림 1과 같다.

### 2-1 탄도탄 모델

탄도탄 추적 시 레이더의 자원관리 분석을 위해서는 표적 탄도탄의 비행궤적 모의가 필요하다. 탄도탄의 궤적 특성은 세 단계로 구분된다. 추진 단계는 탄도탄의 발사부터 엔진 추력이 종료되는 시점을 말하며, 수직 발사하여 일정 시간 상승한 후 설정된 경로각으로 선회하여 기동한다. 중간 단계는 연소 종료 후 관성에 의해 대기권 밖을 자유 비행하는 단계이다. 마지막 재진입 단계는 중력에 의해 탄도탄이 대기권으로 재진입하여 목표지점에 탄착하는 단계를 말한다.

탄도탄은 긴 사거리와 높은 고도를 이동하므로 국제표준대기(ISA) 모델을 기반으로 고도에 따른 음속과 공기밀도를 산출하였고, WGS84 지구모델을 적용하였다. 또한

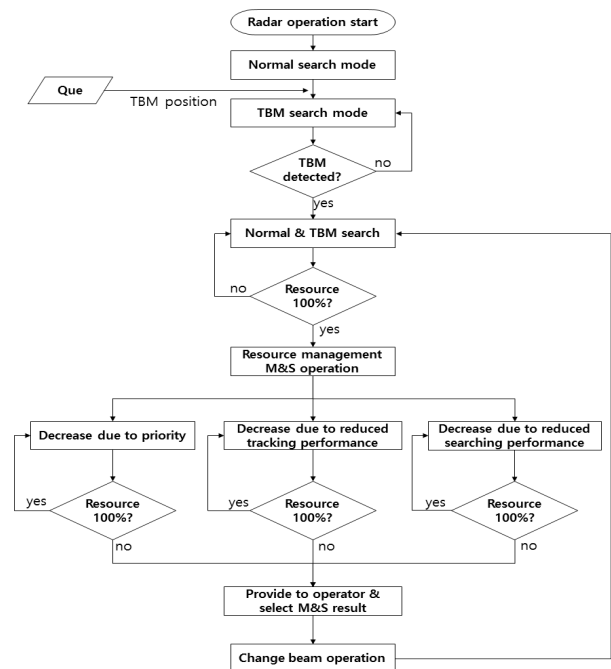


그림 1. 시뮬레이션 흐름도

Fig. 1. Flow diagram of simulation.

연료 소모에 의한 물리량 변화와 탄 분리와 같은 비행 상태 변화를 모의하여 물리량 변화를 반영하였다. RCS의 경우 탄도탄의 기동에 따른 자세 변화 및 *swerling* 변화를 모의하지만, 자원관리 변화만을 분석하기 위해 탄 분리에 따른 고정 RCS 크기의 변화로 반영하였다. 탄도탄 분리 전/후의 RCS는 각각  $1 \text{ m}^2$ ,  $0.1 \text{ m}^2$ 로 모의하였다.

### 2-1-1 운동방정식

탄도탄 모델은 3자유도 질점 운동방정식으로 식 (1), 식 (2)와 같이 모델링하였다. 탄도탄 비행 중 동체에 작용하는 힘은 중력, 추력, 항력이 있으며, 추력은 1단 로켓 추진방식으로 항력은 Eugene L. Fleeman<sup>[2]</sup>이 제안한 경험식을 활용하여 마찰항력, 기저항력, 조파항력을 반영하였다.

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -(GM) \cdot \frac{x}{r^3} + T/m \cdot V_x/V \\ &\quad - 1/2\rho \cdot S_{ref} V \cdot V_x \cdot C_D/m \\ \frac{d^2y}{dt^2} &= -(GM) \cdot \frac{y}{r^3} + T/m \cdot V_y/V \\ &\quad - 1/2\rho \cdot S_{ref} V \cdot V_y \cdot C_D/m \\ \frac{d^2z}{dt^2} &= -(GM) \cdot \frac{z}{r^3} + T/m \cdot V_z/V \\ &\quad - 1/2\rho \cdot S_{ref} V \cdot V_z \cdot C_D/m \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} T &= ISP \cdot W_p/t_b \\ C_D &= C_{D,Friction} + C_{D,Base} + C_{D,Wave} \end{aligned} \quad (2)$$

$x, y, z$ : Position (ECEF Frame) [m]

$V_x, V_y, V_z$ : Velocity (ECEF Frame) [m/s]

$GM$ : Gravitation constant [ $\text{m}^3/\text{s}^2$ ]

$m$ : Mass [kg]

$\rho$ : Density [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$S_{ref}$ : Reference area [ $\text{m}^2$ ]

$ISP$ : Specific impulse [sec]

$W_p$ : Propellant weight [ $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ ]

$t_b$ : Burn time [sec]

$C_D$ : Drag coefficient

### 2-1-2 탄도탄 제원

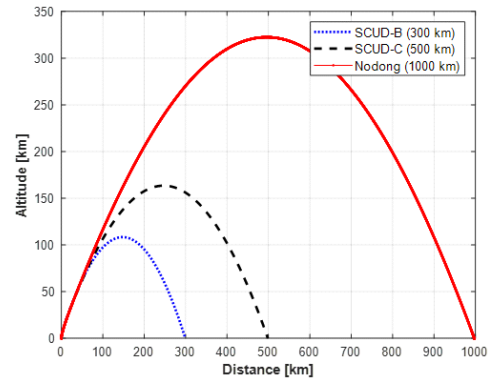
북한이 보유한 탄도탄 중 주된 위협이 될 중·단거리 탄도탄인 SCUD-B, SCUD-C, 노동 1호를 모델링하였고, 각 탄도탄의 제원은 표 1과 같이 적용하였다<sup>[3]~[6]</sup>. 각각의

표 1. 대상 탄도탄 주요 제원

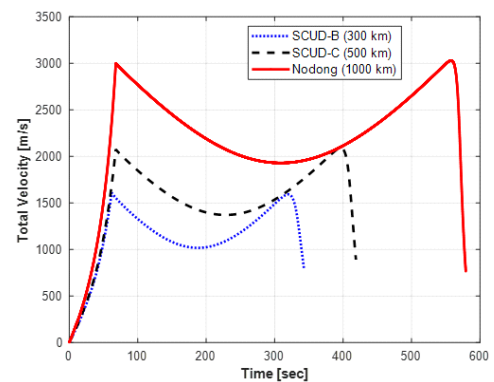
Table 1. Main properties of target ballistic missile.

Missile type	SCUD-B	SCUD-C	Nodong-1
Range [km]	300	500	1,000
Mass [kg]	5,870	6,090	20,000
Propellant mass [kg]	3,770	4,330	16,000
Warhead mass [kg]	1,000	870	1,200
Burn time [sec]	62	68	68
Length [m]	11.25	11.25	15.5
Diameter [m]	0.88	0.88	1.3

제원을 반영한 탄도탄 종류별 기본 사거리로 발사한 탄도탄 모델의 비행궤적 및 속도 모의 결과는 그림 2와 같다.



(a) 비행 궤적  
(a) Flight trajectory



(b) 속도  
(b) Speed

그림 2. 탄도탄 모의 결과

Fig. 2. Simulation result of ballistic missiles.

## 2-2 다기능레이다 모델

본 논문에서 모의한 다기능레이다 모델은 일반 다기능레이다 M&S 도구에서 탄도탄 탐지 모드를 추가하여 구성하였다<sup>[7-8]</sup>. 기존 다기능레이다 모델은 추적 자원 할당량을 줄이기 위해 거리에 따른 추적 가변 알고리즘을 적용하여 시간 자원을 절약했다. 또한 추적 동기화를 통해 면간 간섭 및 자원 소모량을 줄였다<sup>[1]</sup>. 일반 탐색 모드인 경우, 장거리 탐색을 위한 빔, 근거리 탐색을 위한 빔, 그리고 저고도 위협 표적 감시를 위한 주기성 수평 탐색 빔으로 구성되어 있다. 탐색 빔들은 정해진 스케줄링에 따라 방사하며 주기성 수평 탐색 빔의 경우 추적 빔 개념과 같이 일정 갱신률을 가지고 운용한다. 그 결과, 그림 3과 같이 탐색 영역을 빠짐없이 빔을 송·수신하며 운용한다.

추적 빔 방사의 경우, 탐색 dwell 사이에 방사하며 각 표적의 갱신률을 탐색 빔보다 우선으로 한다. 주기성 수평 탐색 빔과 비교 시에는 일반 추적 빔이 더 낮은 우선순위를 가진다. 또한 탄도탄과 같은 정밀 추적 빔의 경우에도 더 낮은 우선순위를 가진다.

### 2-2-1 탄도탄 탐색 모드

탄도탄 탐색 모드는 타 체계 신호를 기반으로 해당 위치에 탐색 빔의 펜스(fence) 운용으로 탐색한다. 탄도탄이 해당 펜스에 탐지될 경우, 확인 빔을 통해 추적을 개시한다.

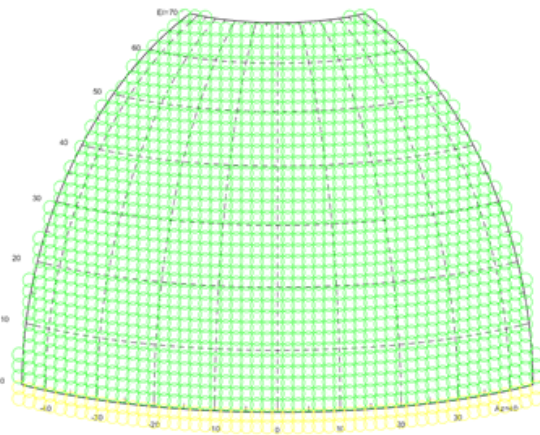


그림 3. 탐색 빔 그리드 결과  
Fig. 3. Result of search beam grid.

다. 이후 탄도탄에 대한 추적을 시작하면서 탐색은 다시 일반 탐색 모드로 바뀐다. 탄도탄과 같은 고속도 저피탐지 위협 표적에 대해서는 기존 추적 가변 알고리즘을 적용하지 않고 최대 탐지를 기준으로 파형을 고정으로 사용하였다. 펜스 운용은 탄도탄 속도 상승에 따른 펜스 열이탈시간을 고려하여 설계하였다.

그 결과, 그림 4와 같이 탄도탄 기동에 따른 탐지확률 변화를 볼 수 있다. 탐지확률(Pd: probability of detection) 80 % 기준으로 본체의 경우, 약 472 km 이상 탐지 가능하며, 탄두는 263 km 이상 탐지 및 추적이 가능하다. 탐지확률을 50 % 기준으로 잡으면 탄두 및 본체 각각 310 km, 500 km 이상까지도 탐지 및 추적이 가능한 것을 볼 수 있다.

또한 한반도 전 구역에 대해 탄도탄 탐지 가능 여부를 분석하기 위해 동해 및 서해에서 동시 다기능레이다 운용에 따른 필드 분포를 분석하였다. 표준대기(standard)와 노동 1호를 기준으로 약 57 km까지 탄두 분리 전 본체인 RCS 1 m<sup>2</sup>을 기준으로 분석한 결과, 그림 5와 같이 지형에 의한 차폐효과로 약 고도 5 km부터 남한 전체를 탐지할 수 있으며 약 20 km 이상부터 탐지 영역이 한반도 전역을 포함한 것을 볼 수 있다.

## III. 복합전술 시뮬레이션

### 3-1 시나리오

앞선 연구에서 4면 동시운용에 따른 일반표적 1,000대

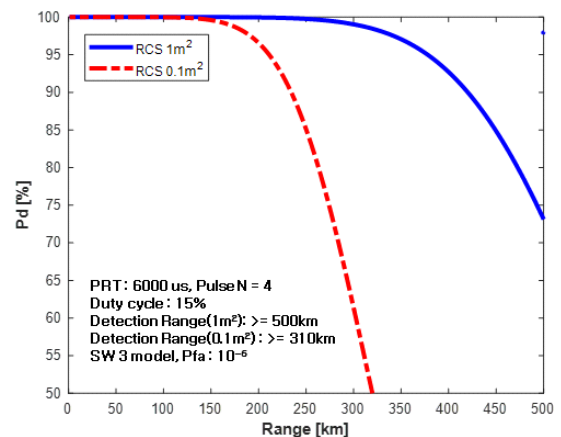


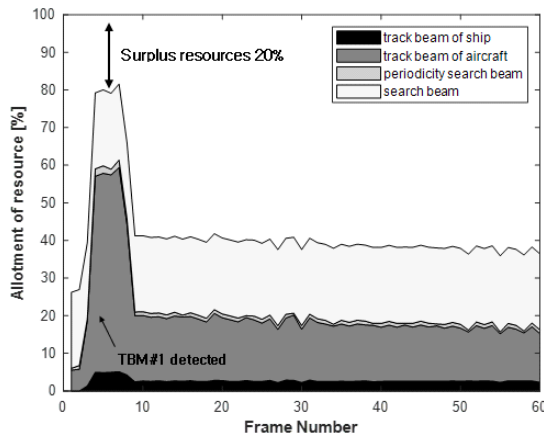
그림 4. 탄도탄 탐지확률 결과  
Fig. 4. Result of detection probability of TBM.



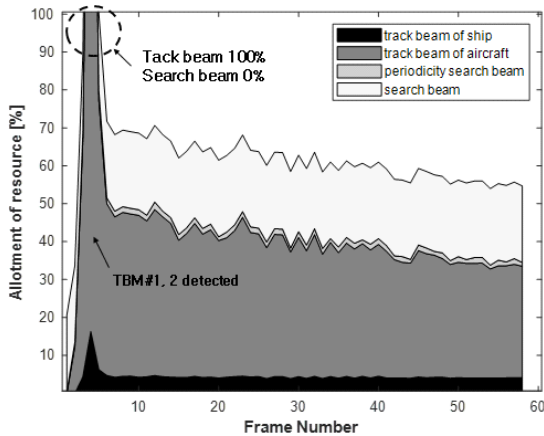
레이다 빔 운용은 일반표적을 탐지하기 위한 노멀(normal)과 탄도탄을 탐지하기 위한 TBM모드로 운용하며, 추적 빔의 경우, 각각 1 Hz, 10 Hz의 갱신률을 가진다.

### 3-2 시뮬레이션 결과

자원관리의 100 % 기준은 정해진 최대 프레임 시간(frame time)을 기준으로 한다. 이때 프레임 시간은 전 방위를 탐색하는 데 걸리는 시간이다. 그 결과, 그림 7과 같이 각 빔의 자원이 관리된다. 탄도탄 1대의 경우, 그림 7(a)와 같이 일반표적 1,000대와 동시 탐지 및 추적이 가



(a) TBM #1



(b) TBM #2

그림 7. 복합전술에서 탄도탄 대수별 자원관리 결과  
Fig. 7. Result of resource management as TBM number in combined tactics.

능하며 약 20 %의 잉여자원도 존재한다. 이는 새로운 표적에 대한 탐지 및 추적이 가능하며, 기존 표적에 대해 에너지가 추가 할당할 수 있음을 뜻한다.

탄도탄이 한 대 더 추가되어 탄도탄 2대 및 일반표적 1,000대의 경우, 그림 7(b)와 같이 동시 탐지 및 추적이 불가능하다. 이는 일반표적이 최대거리에 있을 경우, 에너지 마진을 위해 PRI(pulse repetition interval)를 증가하여 추적 빔을 사용하고, 탄도탄 2대에 대한 1번 순차운용으로 추적 시간 자원이 급격하게 증가하기 때문이다. 추적 자원할당량이 100 %가 넘을 경우, 더 이상 탐색 빔을 방사하지 못하여 하나의 프레임이 끝나지 않고 계속 추적만 운용하게 되며, 새로운 표적에 대한 탐지가 불가능하다. 추적의 경우에도 각 표적의 갱신률을 만족하지 못하는 경우가 발생한다. 이후 일반표적이 거리가 가까워지고, 추적 빔의 PRI가 급격히 감소함에 따라 전체 자원할당이 약 70 %로 감소하여 정상적으로 레이다가 재운용한다. 하지만 운용 시간 동안 전체 자원사용량이 100 %를 넘지 않아 탐색과 동시에 추적을 할 때 정상 운용으로 판단하기 때문에 위 결과는 일반표적 1,000대와 탄도탄 2대에 대한 동시 탐지 및 추적에 대해 불가능한 것으로 판단하였다.

본 논문에서는 일반표적 1,000대와 탄도탄 2대를 동시에 탐지 및 추적하기 위해 자원관리를 변경하여 빔을 운용하였다. 변경 방법은 3가지로 우선순위에 의해 일반표적의 추적을 탈락시키는 방법과 일반표적의 추적 성능을 줄이는 방법 그리고 탐색성능을 저하하는 방법으로 시간 자원을 확보하여 탄도탄 추적에 사용하도록 하였다. 3가지 방법에 따라 장단점 및 자원관리 결과가 서로 다르다.

#### 3-2-1 우선순위에 의한 변경

본 논문에서는 표적에 대한 우선순위를 거리, 고도, 기동 방향, 표적 종류를 기준으로 설정하였다. 본 시나리오의 경우 표적 기동 방향과 종류는 동일하기 때문에 거리 및 고도를 기준으로 위협 점수가 낮은 순으로 추적을 탈락시켰다. 그 결과, 하위 위협순위 일반표적 200대(대함 40대, 대공 200대)로 20 %의 표적이 탈락되어 그림 8과 같이 잉여자원 10 %로 전체 자원사용량이 감소하여 동시에 탐지 및 추적이 가능한 것을 보였다. 이 방법의 경우,



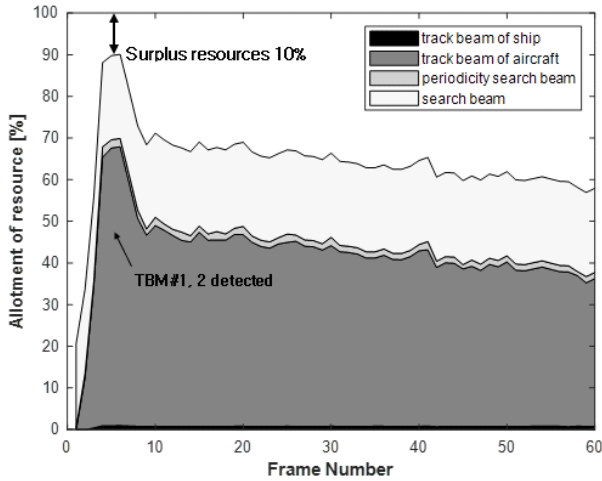


그림 8. 우선순위에 의한 자원관리 결과  
Fig. 8. Result of resource management by priority.

일반표적에 대해 갱신률을 유지할 수 있지만, 일부 위험성이 낮은 표적에 대해서는 프레임 시간에 의해 결정되는 탐색 중 추적(TWS)에 의존해야 되는 단점이 있다.

### 3-2-2 일반추적 성능 저하에 의한 변경

추적성능에는 대표적으로 PRI와 갱신률이 있다. PRI의 경우, 표적 위치에 따라 약간의 마진만을 두고 가변하기 때문에 더 이상 줄이면 에너지 측면에서 추적이 불가능하게 된다. 따라서 일반추적 성능 저하에 의한 방법은 추적 자원할당량을 줄이기 위해 갱신률을 감소하였다. 본 논문에서 일반표적에 대해 1초의 갱신률을 1.4초로 감소하였다. 그 결과, 그림 9와 같이 잉여자원 6%로 전체 자원사용량이 감소하였다. 이 방법의 경우, 탈락 없이 일반표적 1,000대에 대해 모두 추적 빔 할당을 유지할 수 있지만, 추적 갱신률이 0.4초 늦춰짐에 따라 추적 정확도가 떨어지는 단점을 가지고 있다.

### 3-2-3 탐색성능 저하에 의한 변경

마지막 방법으로는 탐색 빔의 PRI를 줄여 탐색에 할당되는 자원을 감소하는 것이다. 다기능레이더는 4면을 독립적으로 운용할 수 있어 탄도탄이 탐지된 면의 탐색 자원만 줄여도 된다. 하지만 기존 연구에서 면 간 간섭을 줄

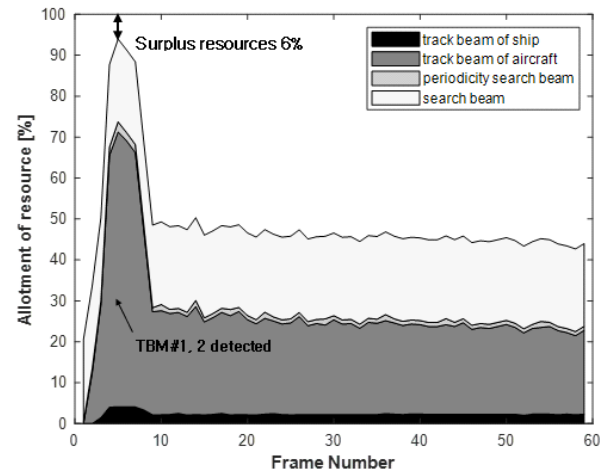


그림 9. 추적성능 저하에 의한 자원관리 결과  
Fig. 9. Result of resource management by degraded track performance.

이기 위해 동일한 탐색 파형으로 동일한 시간에 방사하는 것을 제안했고, 본 논문에서는 이 방법을 기반으로 4면 모두 탐색 자원을 줄였다. 그 결과, 그림 10과 같이 약 15%의 탐색 자원의 감소로 탐지 거리가 감소하여 레이더 운용 시 탄도탄 2대가 우선적으로 탐지되어 추적을 개시하였고, 이후 감소한 탐지거리 내에 대공표적이 들어와 자원이 할당된 것을 볼 수 있다. 최종적으로 25%의 잉여자원으로 모든 표적에 대해 동시 탐지 및 추적이 가능한

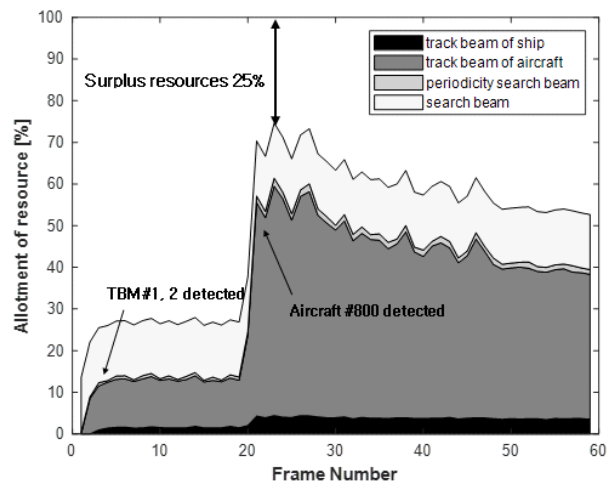


그림 10. 탐색성능 저하에 의한 자원관리 결과  
Fig. 10. Result of resource management by degraded search performance.

표 3. M&amp;S 분석 결과 요약

Table 3. Summary of result of M&amp;S analysis.

Degradation item	Degradation value	Min. surplus resources
Priority	-20 % (Target #1,000 $\Rightarrow$ #800)	10 %
Track performance	-40 % (Update rate 1sec $\Rightarrow$ 1.4 sec)	6 %
Search performance	-15 % (Detection range)	25 %

것을 보였다. 이 방법은 일반표적에 대한 추적 성능 저하가 없지만 전체적으로 표적 탐지거리가 줄어드는 단점을 가지고 있다.

세 가지 방법의 자원관리 변경을 통해 표 3과 같이 모두 일반표적 1,000대와 탄도탄 2대를 동시에 탐지 및 추적할 수 있게 되었다.

M&S 도구는 위 세 가지 방법을 통해 레이다 운용 시 전체 자원사용량이 100 %가 넘으면 실시간으로 변경된 자원관리 결과를 사용자에게 제공하며, 레이다 운용 상황에 따라 선택적으로 사용할 수 있게 된다.

#### IV. 결 론

다기능레이다는 자원관리를 통해 다양한 전술환경에서 탐지 및 추적을 수행한다. 최근 북한의 탄도탄 위협이 증가함에 따라 레이다는 대함 및 대공과 같은 일반표적 뿐만 아니라 탄도탄과 같은 특수한 표적을 동시에 탐지해야 한다. 이를 위해 복합전술에서 사전 레이다 성능을 예측하는 도구를 만들어 M&S를 통한 레이다 설계가 필요하다. 이를 위해 기존 연구에서 일반표적을 대상으로 다기능레이다의 성능을 예측하는 M&S도구를 설계하였다. 기 연구에서 효율적인 레이다 운용을 위해 추적 가변 알고리즘 및 동기화를 통해 4면 동시 운용 방법을 제시하였고, 일반표적 1,000대에 대한 동시 탐지 및 추적에 따른 자원관리에 대한 모의 결과를 분석하였다.

본 논문에서는 기 연구를 통해 증명된 4면 동시 운용 방법을 사용한 기존 M&S 도구에 탄도탄 모드를 추가하여 일반표적과 탄도탄이 동시에 운용하는 복합전술에 대

해 다기능레이다 성능을 분석하였다. 그 결과, 일반표적 1,000대 및 탄도탄 1대가 운용할 시 정해진 프레임 시간 내에 자원을 사용하여 동시 탐지 및 추적이 가능하였다. 하지만 탄도탄이 2대로 증가했을 경우, 한정된 자원량을 100 % 사용하여 동시 탐지 및 추적이 불가능하였다. 이를 해결하기 위해 M&S 도구를 통해 우선순위에 의한 탈락, 추적 성능 저하, 탐색성능 저하의 3가지 방법을 통해 자원관리를 변경하여 빔을 운용하였다. 그 결과, 우선순위에 의한 방법은 일반표적의 추적 수가 1,000대에서 800대로 20 % 줄어든 결과를 도출하였고, 추적 성능 저하의 경우 일반표적의 갱신률이 1초에서 1.4초로 40 % 감소한 결과를 도출하였다. 마지막으로 탐지성능 저하는 최대탐지거리를 15 % 감소하여 자원관리를 변경하였다. 3가지 방법 모두 각각 10 %, 6 %, 25 %의 잉여자원으로 일반표적 1,000대 및 탄도탄 2대의 복합전술에 대한 동시 탐지 및 추적에 성공하였다.

개발된 다기능레이다 M&S 분석 도구를 통해 레이다 성능을 예측 및 평가하여 레이다 설계의 타당성을 확인할 수 있다. 더 나아가 다양한 전술상황에서 실시간 자원관리 M&S를 통해 레이다의 효율적인 운용이 가능할 것으로 판단된다.

#### References

- [1] M. H. Park, S. W. Kwon, H. S. Kim, and W. J. Jeon, "Development of resource management for simultaneous four-face operation of multi-function radar using modeling and simulations," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 11, pp. 964-972, Nov. 2020.
- [2] E. L. Fleeman, *Missile Design and System Engineering*, Reston, VA, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012.
- [3] Y. S. Kwon, J. H. Kim, and K. H. Lee, "The derivation of system required capabilities for the successful conduct of the lower tier BMD," *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, vol. 37, no. 2, pp. 101-114, 2011.



- [4] Y. S. Kwon, B. S. Choi, "Analysis of the flight trajectory characteristics of ballistic missiles," *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, vol. 32, no. 1, pp. 176-187, Jun. 2006.
- [5] H. H. Kwon, B. S. Lee, Y. H. Kim, and K. B. Choi, "An effectiveness analysis of anti-ballistic missile launcher arrangement for the lower tier defense against the ballistic missile," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 16, no. 5, pp. 590-597, 2013.
- [6] D. C. Wright, T. Kadyshchev, "An analysis of the North Korean Nodong missile," *Science & Global Security*, vol. 4, no. 2, pp. 129-160, 1994.
- [7] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, 3rd ed. New York, NY, McGraw-Hill, 2008.
- [8] M. H. Park, H. S. Kim, W. J. Jeon, S. K. You, S. W. Kwon, and H. W. Moon, et al., "Development of modeling & simulation tool for long range radar considering operational environment in time domain," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 7, pp. 591-602, Jul. 2019.

박 명 훈 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5217-0365>



2014년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)  
 2016년 2월: 한국항공대학교 항공전자정보공학과 (공학석사)  
 2016년 1월~현재: LIG넥스원 SW연구소 선임연구원  
 [주 관심분야] 레이더 체계 설계, M&S, 안테나, 전파 전파 등

김 현 승 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-4021-5914>



2014년 2월: 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)  
 2016년 2월: 인하대학교 항공우주공학과 (공학석사)  
 2016년 1월~현재: LIG넥스원 SW연구소 선임연구원  
 [주 관심분야] 항공제어, M&S, 추적 알고리즘 등

고 진 용 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-4418-8389>



2010년 7월: 서울대학교 조선해양공학과 (공학사)  
 2012년 7월: 서울대학교 조선해양공학과 (공학석사)  
 2012년 7월~현재: LIG넥스원 SW연구소 선임연구원  
 [주 관심분야] M&S, 선박 운동, 비행동역학 등

전 우 중 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3974-0631>



2010년 7월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 2016년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)  
 2016년 1월~현재: LIG넥스원 SW연구소 선임연구원  
 [주 관심분야] M&S, 레이더, 제어 등

권 세 응 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8959-4452>



1999년 2월: 연세대학교 전파공학과 (공학사)  
2002년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학석사)  
2009년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)  
2009년 7월~현재: LIG넥스원 레이다연구

소 수석연구원

[주 관심분야] 능동위상배열레이다, 전파 전파 등

이 기 원 [LIG 넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-2545-7579>



2000년 2월: 충남대학교 전기공학과 (공학사)  
2002년 8월: 충남대학교 전기공학과 (공학석사)  
2002년 7월~현재: LIG 넥스원 레이다 연구소 수석연구원  
[주 관심분야] 레이다 체계설계, 안테나,

신호처리 등