



Received: 2025/07/10  
Revised: 2025/07/24  
Accepted: 2025/08/31  
Published: 2025/09/30

**\*Corresponding Author:**

**Myunghoon Park**

Maritime R&D Center, LIG Nex1  
333 Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si,  
Gyeonggi-do, 13488, Republic of Korea  
Tel: +82-31-5179-7267  
Fax: +82-31-5179-7086  
E-mail: myunghoon.park2@lignex1.com

**Abstract**

본 논문에서는 M&S 모델 및 분석 도구를 활용하여 비행 시험 전 시험 경로를 사전 분석하는 필요성 및 방법론을 제안한다. 지형에 의해 최대 탐지거리 및 탐지 성능 확보가 불가능한 경로를 사전 분석하여 레이더의 목표 성능을 발휘할 수 있는 시험 경로를 선정하였다. 제안된 방법을 통해 시험 실패 가능성을 사전 예측함으로써 시험 효율성과 신뢰성을 확보할 수 있는 방안을 제공한다.

This paper proposes the necessity and methodology of pre-analyzing flight test paths using a Modeling and Simulation (M&S) model and analysis tools. By evaluating paths where the maximum detection range and radar performance cannot be ensured due to terrain effects, appropriate test paths were selected to meet the target performance of the radar system. The proposed approach enables proactive prediction of potential test failures and provides a practical means to enhance both the efficiency and reliability of flight testing.

**Keywords**

모델링 및 시뮬레이션(Modeling and Simulation), 레이더 비행 시험(Radar Flight Test), 시험경로 분석(Analysis Test Paths), 레이더 성능 시험(Radar Performance Test), 레이더 M&S(Radar M&S)

# M&S 기법 기반 사전 시험경로 분석을 통한 레이더 성능 검증 신뢰도 향상 방안

## Improving Radar Performance Validation Reliability through Pre-analysis of Flight Paths Based on M&S Method

박명훈<sup>1\*</sup>, 김현승<sup>1</sup>, 김정<sup>2</sup>, 이성균<sup>2</sup>, 장재덕<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LIG넥스원 해양연구소 선임연구원

<sup>2</sup>LIG넥스원 해양연구소 수석연구원

Myunghoon Park<sup>1\*</sup>, Hyunseung Kim<sup>1</sup>, Jeong Kim<sup>2</sup>, Sungkyun Lee<sup>2</sup>, Jaedeok Jang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1

<sup>2</sup>Chief research engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1

### 1. 서론

현대전의 양상은 점차 다양화되고 있으며, 전장 환경의 범위 확대와 함께 아군을 위협하는 무기체계의 고속화·소형화가 가속화되고 있다. 이에 따라 감시정찰 체계의 중요성은 지속적으로 증가하고 있으며, 장거리 및 고고도 표적 탐지 능력을 갖춘 고성능 레이더 시스템의 필요성이 강조되고 있다.

이러한 레이더 체계의 성능을 실제 환경에서 검증하는 데 있어 비행 시험은 필수적인 절차이나, 시험에 따른 고비용·고위험 특성으로 인해 사전 분석의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 특히, 한반도는 전체 면적이 제한적일 뿐만 아니라 산악 지형이 약 70% 이상을 차지하고 있어 지형에 의한 전파 차단 및 반사 등의 현상이 빈번하게 발생한다. 이로 인해 레이더의 이론상 최대 탐지거리를 보장할 수 있는 시험 경로를 설정하는 것이 현실적으로 어렵다. 또한, 비행 시험은 국방 공역인 KADIZ(Korea Air Defense Identification Zone) 내에서 수행되어야 하므로, 공역 제한 또한 시험 경로 선정에 중요한 제약 조건으로 작용한다.

이러한 지형적·공역적 제약으로 인해, 시험 중 성능 저하가 발생하거나 표적 탐지가 제한되는 사례가 빈번하게 발생하며, 이는 시험

의 신뢰도와 효율성을 저해하는 요인이 된다. 기존의 비행 시험 경로는 제한된 구역, 안전 기준, 통제 절차 등의 제약으로 인해 과거 운용 경험이나 일반적인 항로 기준에 따라 설정되는 경우가 많다. 이러한 경험 기반 접근은 지형이나 기상 조건에 따른 탐지 성능 저하를 사전에 반영하기 어려워, 시험 중 탐지 실패 또는 반복 시험을 유발할 가능성이 존재한다[1-3].

이에 따라 본 연구에서는 M&S(modeling & simulation) 모델 및 분석 도구를 활용하여, 실제 레이더 시스템에서 운용되는 빔 템플릿, 표적 기동, 대기굴절률 및 지형 정보를 통합적으로 반영한 사전 시뮬레이션을 수행함으로써, 시험 경로 상의 탐지 성능을 예측하고 분석하는 체계적인 방법론을 제시한다.

해당 M&S 도구는 APM(advanced propagation model)을 기반으로 대기 및 지형에 의한 전파 손실을 정밀하게 계산하며, 레이더의 시간 기반 운용 특성과 다양한 빔 스케줄링 시나리오를 적용할 수 있도록 설계되었다. 또한, 표적의 기동은 3자유도 운동 방정식을 통해 모델링되고, 탐지 여부는 실측 장비의 신호 흐름과 일치하는 절차를 통해 판단된다. 이러한 요소들을 통합한 시뮬레이션을 통해, 레이더의 목표 성능이 특정 시험 경로에서 확보 가능한지를 사전에 분석하고, 필요 시 대안 경로나 탐지 성능의 한계치를 제시함으로써 시험의 성공 가능성을 높일 수 있다.

본 논문에서는 실제 적용 가능한 시험 시나리오를 바탕으로 해당 방법론의 유효성을 검증하고, 향후 시험 설계 및 자동화된 경로 최적화 적용 가능성을 제시한다.

## 2. M&S 모델 및 분석 도구 개요

본 논문에서 활용한 M&S 분석 도구는 장거리 레이더의 실제 환경 운용 성능을 예측하기 위해 개발된 시뮬레이션 기반 도구로, 레이더 체계의 빔 운용 특성, 표적 기동, 대기 상태 및 지형 조건 등을 통합적으로 고려할 수 있도록 설계되었다. 이 도구는 다음의 세 가지 주요 모델로 구성된다. 레이더 모델, 표적 모델, 운용 환경 모델이다.

### 2.1 레이더 모델

레이더 모델은 실제 장거리 3차원 위상배열 레이

더의 구조와 운용 방식을 반영하여 설계되었다. 본 모델은 다중 빔 운용이 가능한 빔 템플릿을 기반으로 하며, 각 빔의 방사 고각, 폭, 펄스 수, PRI(pulse repetition interval) 등의 요소를 고려한 스케줄링 구조를 갖는다. 또한 레이더의 회전 속도, 빔 조향 시간, 탐 발생 가능성, 탐색 간격 및 성능 점검 시간 등을 반영하여 시간 기반의 운용 성능을 모의할 수 있도록 구성하였다.

탐지 여부 판단은 표적에 대한 수신 신호 크기와 레이더 임계값을 비교하여 이루어진다. 이를 위해 레이더 방정식을 기반으로 빔별 송수신 이득, 시스템 손실, 대기 손실, 전파 손실 등을 고려하여 식 (1)과 같이 수신 SNR(signal to noise ratio)을 산출하며, 이는 각 표적과 빔에 대해 계산된다[4].

$$SNR = \left( \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \tau_p N_p \sigma_t}{(4\pi)^3 R^4 \kappa T L_p L_{sys}} \right) \times G_{sp} \quad (1)$$

여기서,  $P_t$ : 송신전력(W),

$G_t$ : 송신이득(W/W),

$G_r$ : 수신이득(W/W),

$\lambda$ : 파장(m),

$\tau_p$ : 펄스 폭(sec),

$N_p$ : 펄스 수,

$\sigma_t$ : RCS(m<sup>2</sup>),

$R$ : 표적 거리(m),

$L_p$ : 대기손실(W/W),

$L_{sys}$ : 시스템손실(W/W),

$\kappa$ : Boltzman's constant[W/(Hz K)],

$T$ : 시스템 잡음 온도(K),

$G_{sp}$ : 신호처리 이득(W/W).

### 2.2 표적 모델

표적 모델은 뉴턴의 운동 제2법칙  $F = \Sigma ma$ 을 기반으로 3자유도(3-DOF) 운동방정식을 통해 항공기의 기동을 모사한다. 대상 표적은 일정한 속도로 직진, 선회, 고도 변경 등의 기동을 수행하며, 각 기동에 따른 위치, 속도, 자세 정보는 시간순으로 계산되어 시뮬레이션 내에서 실시간으로 반영된다. 이때 위치의 경우 식 (3), 식 (4)을 적분하여 계산한다. 표적은 NED(North-East-down) 좌표계를 기준으로 정의되

며, 비행 궤적은 사용자가 입력한 시나리오에 따라 정의된다[4-5].

$$F_b = Ma_c \tag{2}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \cos \gamma \cos \psi \\ V \cos \gamma \sin \psi \\ -V \sin \gamma \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\dot{V} = \frac{F_x}{M} \tag{4a}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{F_z}{MV} \tag{4b}$$

$$\dot{\psi} = \frac{F_y}{MV \cos \gamma} \tag{4c}$$

여기서,  $F$ : 힘(N),  
 $M$ : 중량(kg),  
 $[X, Y, Z]$ : 표적 위치,  
 $\gamma$ : 비행경로각(deg),  
 $\psi$ : 방위각(deg),  
 $V$ : 비행속도(m/sec).

RCS(radar cross section)는 일정값 또는 기종별 대표값으로 설정하며, 본 연구에서는 표적 RCS의 시간 변화 또는 자세에 따른 변화는 고정된 값으로 간소화하였다. 이는 분석 주요 목적이 지형·대기 조건에 따른 전파 손실 영향을 분석하는 데 있기 때문이다.

### 2.3 운용 환경 모델

운용 환경 모델은 레이더 운용에 영향을 주는 외부 요인, 즉 지형 및 대기 상태를 반영하는 데 중점을 둔다. 대기 상태는 국내 기상관측소의 관측 데이터를 기반으로 대기 압력, 온도, 수증기압을 이용해 전파 굴절률을 계산하며, 이를 통해 전파 손실 특성이 시간별·위치별로 변화하는 환경을 구현할 수 있다.

전파 손실 계산에는 APM(advanced propagation model)을 사용한다. APM은 PE(parabolic equation) 등 4종류의 해석 기법을 포함하고 있으며, 지형 데이터(DTED, digital terrain elevation data)와 결합되어 각 시간 간격별 빔의 전파 경로상에서 발생하는 손실 propagation factor(PF)를 식 (5)를 통해 고각별·방위별로 산출한다[6]. 이 전파 손실은 빔별 탐지 성능에 직접 반영되어 수신 SNR에 영향을 미친다.

$$L_p = 20 \log\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) - 20 \log(PF) \tag{5}$$

여기서,  $\lambda$ : 파장(m),  
 $R$ : 표적거리(m).

### 2.4 통합 모델 연동 구성

상기 모델들은 시뮬레이션 내에서 Fig. 1과 같이 시간 기반으로 상호 연동된다. 사용자가 초기 시나리오를 설정하면, 레이더 모델이 각 빔의 탐색 스케줄을 생성하고, 해당 시간 간격에 따라 표적 모델이 위치를 갱신한다. 이후 운용 환경 모델이 전파 손실을 계산하고, 이 정보를 레이더 모델에 전달하여 수신 신호 계산 및 탐지 여부 판단이 수행된다. 이 과정은 시나리오 종료 시점까지 반복되며, 전 구간의 탐지 이력 및 포착률이 산출된다.

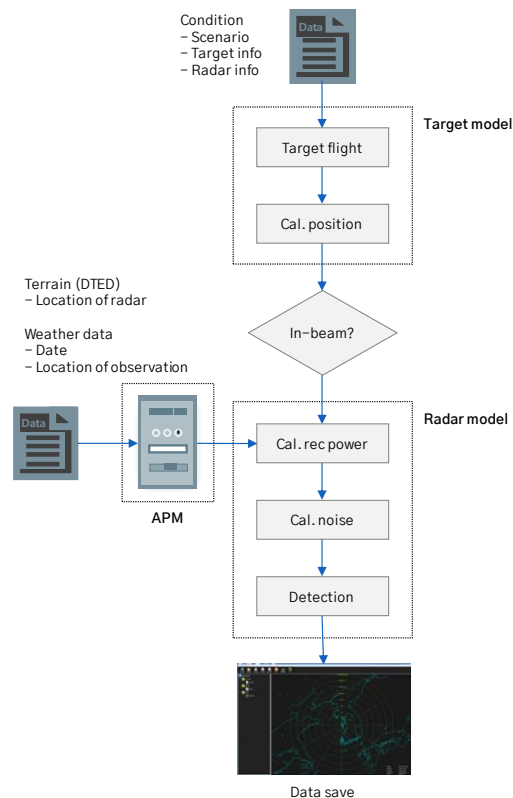


Fig. 1. The flow diagram of M&S model

### 3. 시험 경로 분석 방법론

본 장에서는 개발된 M&S 도구를 기반으로 수행한 시험 경로 분석 방법론에 대해 기술한다. 레이더 시스템

탐의 성능을 실제 환경에서 검증하기 위한 비행 시험은 공역 제약, 지형 복잡도, 기상 상태 등 다양한 변수에 의해 영향을 받는다. 특히 한반도와 같이 산악 지형이 밀집된 지역에서는 레이더의 이론적 탐지 범위를 온전히 반영한 시험 경로를 설계하기 어려우며, 이로 인해 사전 시뮬레이션 기반 분석의 필요성이 강조된다.

3.1 분석 목적 및 절차

본 연구의 목적은 M&S 기반 시뮬레이션을 통해 후보 시험 경로들에 대한 탐지 성능을 사전에 분석하고, 레이더의 목표 성능을 만족할 수 있는 시험 경로를 선정하거나, 만족하지 못하는 경우 시험이 가능한 탐지 성능의 한계치를 도출하는 데 있다. 이를 통해 실제 비행 시험 시 발생할 수 있는 탐지 실패를 최소화하고, 시험 반복에 따른 시간 및 비용 소모를 줄이는 것이 궁극적인 목표이며 분석 절차는 다음과 같이 수행된다.

3.1.1 절차 (1): 시험 시나리오 정의

Fig. 2와 같이 시험 대상 레이더 시스템의 운용 조건(최대 탐지거리-실선), 표적 기종 및 기동 특성, 공역 제약 사항(KADIZ-점선)을 반영하여 시험 시나리오를 정의한다. 각 시나리오는 고도, 속도, 경로 형태(직진, 선회 등), 방향 등을 포함한다.

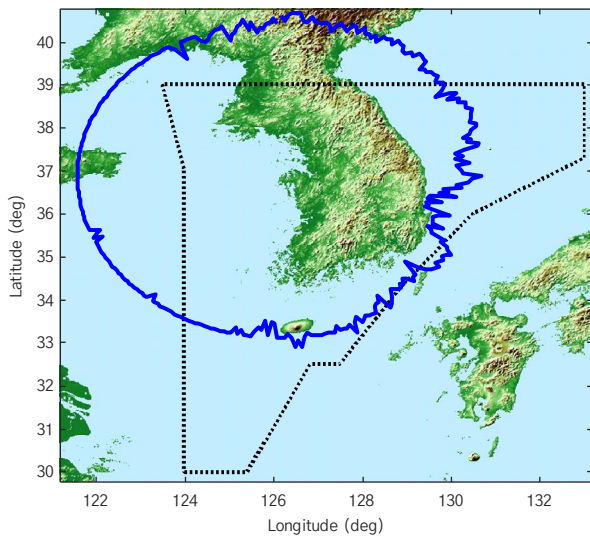


Fig. 2. Result of maximum range and KADIZ according to radar location

3.1.2 절차 (2): M&S 기반 시뮬레이션 수행

정의된 시나리오를 기반으로 M&S 도구를 이용한 시뮬레이션을 수행한다. 이때 레이더의 빔 운용 및 표적 상태, 대기 및 지형 정보를 반영하여 탐지 성능(전방위 필드 분포, 탐지확률 등)을 계산한다. Fig. 3는 레이더 운용 시 주변 지형 및 대기를 반영한 최대 탐지거리에 해당하는 빔의 전방위 탐지확률 분포 결과이다.

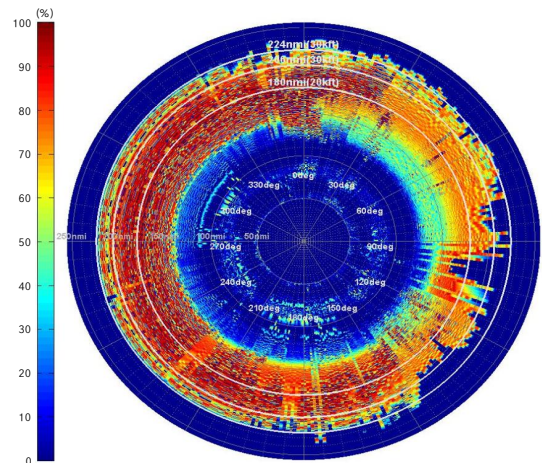


Fig. 3. Power flux density as per azimuth

3.1.3 절차 (3): 탐지 성능 평가

Fig. 4와 같이 시뮬레이션 결과를 바탕으로 각 시험 경로에서의 탐지 가능 구간, 탐지 거리, 포착률 등을 산출한다.

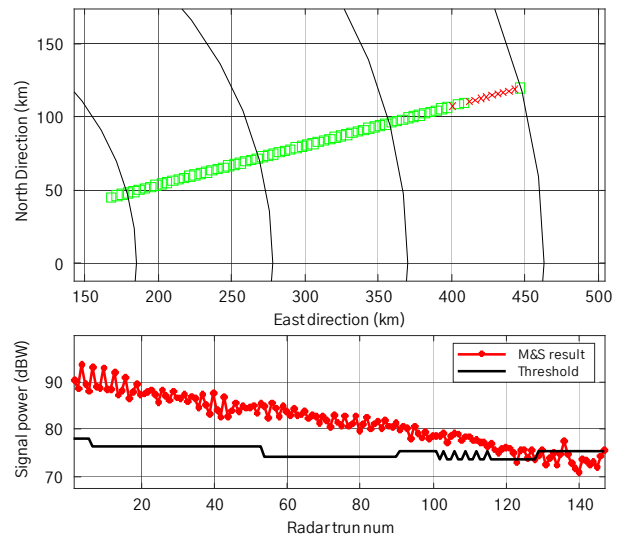


Fig. 4. Result of detection performance and position

### 3.1.4 절차 (4): 경로 적합성 판단

분석된 탐지 성능 결과와 레이더의 목표 성능을 비교하여 해당 경로의 적합 여부를 평가한다. 만일 목표 성능이 만족되지 않을 경우, 해당 경로에서 확보 가능한 최대 성능을 산출하여 시험 계획에 반영한다.

### 3.2 고려 요소 및 분석 결과 활용

레이더 시험 경로 분석 시 주요 고려 대상인 외부 요소로는 공역 제한, 레이더 운용 지형 특성, 대기 상태가 있다. 공역 제한으로 인해 KADIZ 및 군작전 공역에만 시험 경로를 설정해야 하며, 한반도 지형 특성상 산악지형으로 인한 전파 차단 및 마스킹 영역이 많이 발생한다. 또한 대기굴절률 변화에 따른 전파 굴절 손실이 발생하며 기동 특성 및 레이더 운용 특성에 따라 레이더 성능이 다르게 평가된다. 이들 요소는 M&S 시뮬레이션 내 각 모듈(레이더 모델, 표적 모델, 운용 환경 모델)에 반영되며, 시나리오별로 시뮬레이션을 반복하여 정량적 비교 분석이 가능하다.

이러한 M&S 분석 결과를 기반으로 레이더 목표 성능을 만족하는 경로를 도출하고 이를 실제 시험에 적용할 수 있으며, 목표 성능 만족이 어려운 경우 시험이 가능한 탐지 한계치를 기준으로 시험 경로를 조정하거나 시험 목적 자체를 명확히 한정할 수 있다. 또한 시험 전 시뮬레이션 분석 결과를 기반으로 시험 반복 여부 및 필요성을 사전에 판단함으로써 시험 계획의 효율성과 신뢰성을 향상시킨다.

## 4. 시나리오 및 분석 결과

본 장에서는 제안된 시험 경로 분석 방법론을 실제 시험 시나리오에 적용한 사례를 통해 그 유효성과 실효성을 입증한다. 특히, 지형에 의한 전파 손실로 인해 탐지 성능이 저하되거나 포착률이 과대평가되는 문제를 M&S 분석을 통해 사전에 식별하고 이를 근거로 시험 경로의 변경 또는 평가 기준의 조정을 제시한 두 가지 사례를 중심으로 설명한다.

### 4.1 전파 손실에 의한 최대 탐지거리 성능 저하

첫 번째 사례는 초기 시험 경로 상에서 레이더의 최

대 탐지거리까지 목표 성능이 확보되지 못한 경우이다. 해당 경로는 일정 방위에 표적이 레이더로부터 멀어지는 방향으로 설정되었다. 시험 결과 특정 구간 이후에 표적 탐지가 이루어지지 않아 전체 포착률이 저하되었으며, 불포착에 따른 수신된 데이터가 없는 것을 확인할 수 있었다.

이를 분석하기 위해 M&S 도구를 활용하여 해당 경로에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 Fig. 5와 같이 해당 경로에서 지형에 의해 최대 탐지거리가 확보되지 않아 도달 이전에 수신 신호 강도가 급감하는 것을 볼 수 있다. 모의 결과를 바탕으로 해당 경로는 레이더의 목표 성능을 발휘할 수 없는 경로임을 알 수 있다. 이는 레이더 성능과는 무관하게 지형에 의해 최대 탐지거리가 확보되지 않아 표적을 탐지할 수 없음을 뜻하며, 시험 경로의 재설정이 필요함을 보여준다.

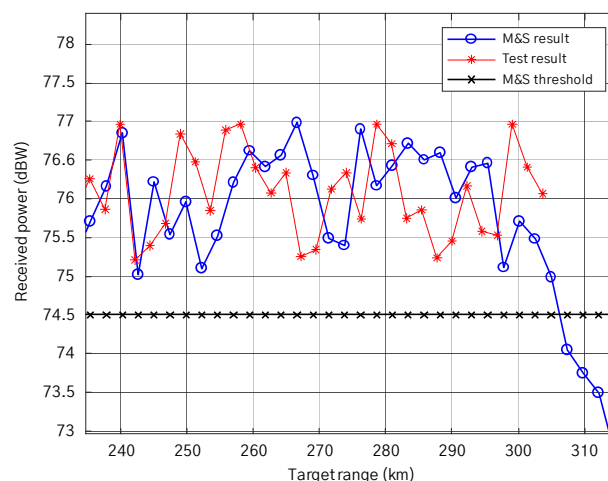


Fig. 5. Result of simulation and test

문제 해결을 위해 M&S 도구를 통해 Fig. 6와 같이 전방위 탐지 분포 결과를 토대로 접근 방위를 조정 한 새로운 시험 경로를 설계하고 동일한 조건 하에서 재분석을 수행하였다. 그 결과 Fig. 7에 나타난 바와 같이 제안된 경로에서는 전 구간에 걸쳐 수신 신호가 임계값 이상을 유지하며 표적 탐지에 문제가 없음을 확인하였다.

이러한 분석 결과는 단순 거리 기반의 경로 설정이 아닌, 레이더 운용 환경을 반영한 지형 기반 전파 손실을 고려한 M&S 분석이 사전 시험 설계 단계에서 필수적임을 시사하며, 탐지 실패 가능성을 효과적으로 저감할 수 있음을 보여준다.

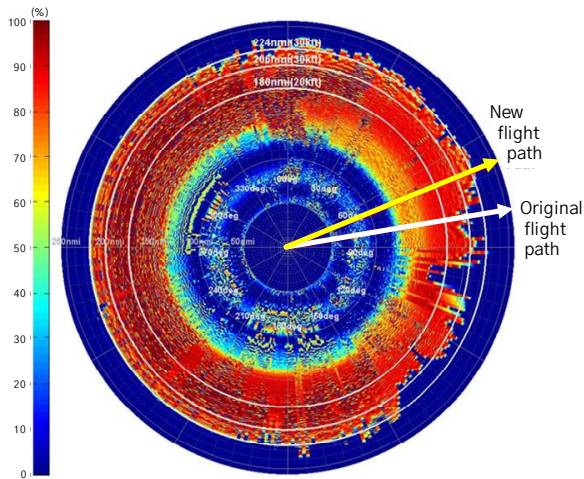


Fig. 6. Result of power flux density according to operation environment

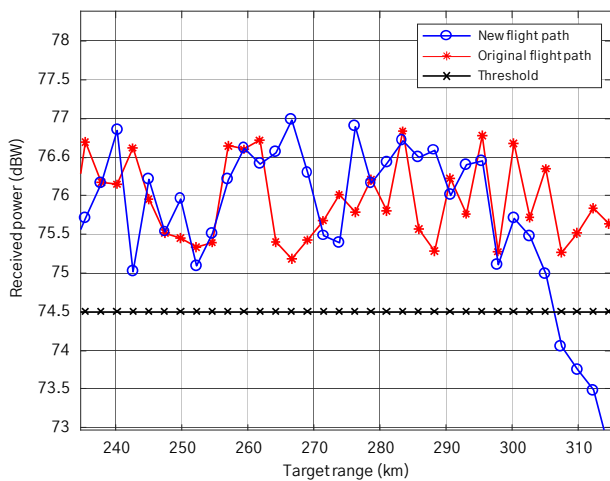


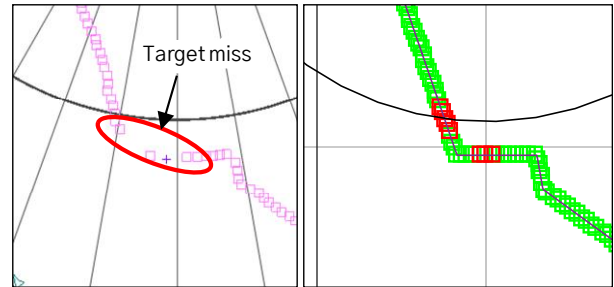
Fig. 7. Result of detection performance according to flight path(new path and original path)

4.2 지형 음영 구간에 대한 포착률 기준 조정

두 번째 사례는 시험 경로 중간에 레이더와의 거리가 가까움에도 불구하고 지형에 의해 표적 탐지가 불가능한 구간이 존재하는 경우이다. 해당 구간은 시험 포착률 산정 기준에는 포함되어 있었으나, Fig. 8과 같이 실제 시험 및 M&S 분석 모두에서 동일하게 탐지 실패가 발생하였다.

M&S 도구를 통해 해당 구간의 전파 손실을 분석한 결과 Fig. 9과 같이 해당 방위에서 지형 마스킹으로 인해 수신 신호 강도가 지속적으로 임계값 이하에 머무르는 것을 확인하였다. 이는 성능 문제라기보다는 물리적으로 탐지가 불가능한 조건임을 보여주는 결과로 해석된다. 이에 따라 분석 결과를 바탕으로 시

험 평가 시 해당 구간을 포착률 산정 대상에서 제외하거나, 경로 자체를 우회하도록 시험 경로 조정을 제시할 수 있다.



(a) Test result (b) M&S result  
Fig. 8. Result of detection of simulation and test

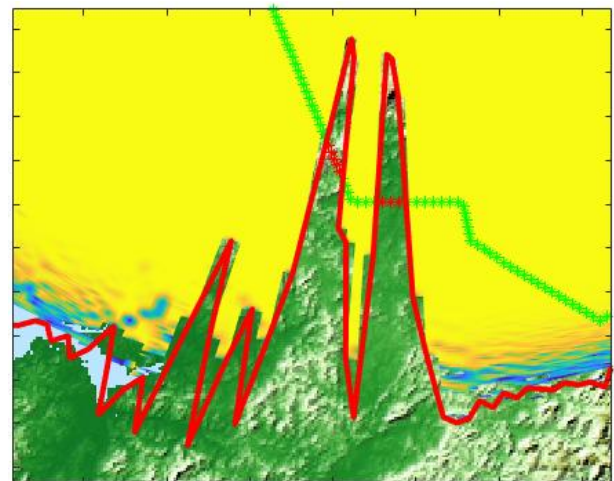


Fig. 9. Result of power flux density according to operation environment

이러한 사례는 실제 시험 수행 이전에 M&S 기반 분석을 통해 지형에 의한 탐지 불가 구간을 사전에 식별하고, 시험 경로와 평가 기준을 보다 합리적으로 설정할 필요성을 제시한다. 이를 통해 해당 사례는 시험 결과의 왜곡을 방지하고, 전반적인 평가의 현실성과 타당성을 확보하는데 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서 제안한 M&S 기반 시험 경로 분석 방법은 시험 설계의 신뢰성과 효율성을 높이는 데 효과적임을 확인하였다. 향후 본 분석 도구의 활용성을 더욱 높이기 위해 다음과 같은 방향의 후속 연구가 고려될 수 있다. 첫째, 다양한 지형과 공역 조건을 반영한 시나리오 다양화가 필요하다. 현재는 특정 지역에 국한된 시험 환경을 기준으로 하고 있으나, 향후에는 해외 시험장, 다양한 지형/기상 조건 등을 반영한 시

나리오 확장을 통해 분석 범위의 보편성을 확보할 수 있다. 둘째, 분석 도구의 기능을 고도화하여 최적 경로 자동 탐색 기능을 개발할 수 있다. 이를 위해 전파 손실, 탐지 성능 등을 입력받아 활용하는 경로 최적화 알고리즘을 도입함으로써, 사용자 개입 없이도 시험 목적에 부합하는 경로를 제시할 수 있는 체계로 확장 가능하다. 셋째, 실제 시험 환경에서 빈번히 나타나는 지형 클러터 또는 다중 표적 상황을 반영한 모델 확장이 필요하다. 이를 통해 복잡한 시험 조건에서도 보다 현실적인 탐지 성능 예측이 가능해질 것이다.

이와 같은 방향으로의 확장은 M&S 분석 도구의 적용 범위를 시험 설계에서 운용평가, 체계 개발 검증까지 확대하는 데 기여할 수 있을 것이다.

## 5. 결론

본 연구는 M&S 모델 및 분석 도구를 활용하여, 실제 비행 시험 이전에 레이다의 탐지 성능을 사전에 분석하고 적절한 시험 경로를 선정하는 방법론을 제시하였다. 특히 산악지형이 많은 한반도와 같이 시험 환경이 제한적인 조건에서, 기존의 경험 기반 경로 설계 방식이 탐지 실패를 유발하거나 반복 시험을 초래할 수 있다는 문제를 지적하고, 이를 해결하기 위한 실증적 분석 절차를 제안하였다.

사례 분석을 통해 기존 시험 경로에서 발생한 전파 손실에 의한 탐지 성능 저하 문제를 M&S 분석을 활용하여 사전에 확인할 수 있었으며, 대체 경로를 제안함으로써 목표 성능을 만족하는 시험 설계가 가능함을 입증하였다. 또한, 지형에 의한 탐지 음영 구간을 식별하고 이를 포착률 평가 기준에서 제외할 필요성

을 제시함으로써 시험 결과의 타당성을 확보하는 데 기여하였다.

본 연구의 결과는 시험 설계 및 평가 기준 수립에 있어 시뮬레이션 기반의 사전 검토가 필수적임을 보여주며, 향후 다양한 작전 환경 및 센서 통합 시험에도 적용 가능한 기반을 제공한다. 이를 통해 레이다 성능 검증의 신뢰성을 제고하고, 시험 비용과 시간을 절감하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- [1] S. H. Kim, G. B. Kim and J. H. Yim, "A Study of the Construction of Comprehensive Flight Testing Infrastructure to Increase Aviation Safety," *Journal of the Convergence for Information Technology*, Vol. 10, No. 9, pp. 147-153, 2020.
- [2] S. Y. Cho, Y. K. Kwak, H. S. Oh, H. S. Ju and H. W. Park, "Progressive Test and Evaluation Strategy for Verification of KF-X AESA Radar Development," *Journal of The Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 27, No. 3, pp. 387-394, 2024.
- [3] Robert E. McShea, "Test and Evaluation of Aircraft Avionics and Weapon Systems," Scitech Publishing, 2nd Edition, USA, pp. 712-714, 2014.
- [4] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, 3rd ed. New York, NY, McGraw-Hill, 2008.
- [5] M. H. Park, H. S. Kim, W. J. Jeon, S. K. You, S. W. Kwon, H. W. Moon and K. W. Lee, "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.
- [6] A. E. Barrios, W. L. Patterson, "Advanced Propagation Model (APM) Ver. 1.3.1 Computer Software Configuration Item (CSCI) Documents," *Space and Naval Warfare Systems Center, San Diego, CA, Tech. Doc. 3145*, Aug. 2002.