



Received: 2025/07/14
Revised: 2025/07/25
Accepted: 2025/09/16
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

레이다 M&S 분석에 따른 개발 단계 구조화 및 적용 방안 연구

Research on the Structuring of Development Phases and Application Framework Based on Radar M&S Analysis

박명훈^{1*}, 김정², 고진용², 이성균², 장재덕²

¹LIG넥스원 해양연구소 선임연구원

²LIG넥스원 해양연구소 수석연구원

Myunghoon Park^{1*}, Jeong Kim², Jinyong Go², Sungkyun Lee², Jaedeok Jang²

¹Research engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1

²Chief research engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1

Abstract

무기체계 개발 과정에서 M&S는 요구도 정량화, 설계 대안 평가, 시험 예측 등 다양한 기능을 수행하는 핵심 분석 도구로 활용되고 있다. 그러나 기존 개발 단계는 개발 절차의 흐름에 따라 정의되어 있다. 본 연구에서는 개발 단계별 M&S의 기능적 역할에 착안하여, 요구도 도출 중심 단계, 설계 최적화 단계, 시험 및 검증 단계로 구조를 재정의하였다. 이를 통해 M&S 중심의 개발 흐름을 명확히 하고, 각 단계에 필요한 모델 구성과 분석 방향을 체계적으로 제시할 수 있음을 확인하였다.

Modeling and simulation(M&S) is a critical role in the development of weapon systems by supporting requirement quantification, design trade-off analysis, and test prediction. However, existing development phases are defined based on procedural flow. This study proposes a function-oriented redefinition of development phases: requirement-driven analysis, design optimization, and test and verification. The proposed framework enhances the consistency of M&S applications across the development cycle and provides a structured basis for configuring models and analysis approaches at each phase.

Keywords

모델링 및 시뮬레이션(Modeling and Simulation), 무기체계 개발(Weapon System Development), 요구도 도출 분석(Requirement Driven Analysis), 설계 최적화(Design Optimization), 시험 및 검증(Test and Verification)

1. 서론

무기체계 개발은 다양한 기술 요소와 복잡한 운용 환경이 결합된 과정으로, 체계적인 계획과 정밀한 검증이 요구된다. 특히 작전 운용 개념에 기반한 요구 성능을 설정하고, 이를 설계에 반영한 뒤, 실제 환경에서 시험과 평가를 통해 성능을 입증하는 일련의 흐름은, 기술의 복잡도와 함께 개발 리스크를 증가시키는 주요 원인이 되어왔다. 이러한 상황에서 모델링 및 시뮬레이션(modeling and simulation, 이하 M&S)은 개발 전 과정에서 성능 예측, 대안 검토, 시험 사전 검증 등 다양한 목적으로 활용되며, 필수적인 분석 수단으로 자리잡고 있다.

M&S는 특히 레이더와 같이 센서 특성과 운용 환경의 영향을 정량적으로 반영해야 하는 체계에서 더욱 중요한 역할을 한다. 레이더의 탐지 성능은 거리, 표적 특성, 환경 요소, 전자기적 간섭 등 다양한 변수에 따라 달라지며, 이러한 요소들은 실제 시험 이전에 충분히 분석되지 않으면 개발 단계에서의 의사결정에 오류를 초래할 수 있다. 따라서 M&S는 단순한 검증의 수단이 아닌, 설계와 운용을 연결하는 중간 해석 도구로 기능해야 하며, 이를 통해 개발 비용과 시간을 줄이고 성능 리스크를 조기에 식별할 수 있다. 하지만 실제 무기체계 개발 현장에서는 M&S가 해당 목적에 맞게 일관되게 적용되기 어려운 구조적 한계가 존재한다. 일반적으로 무기체계 개발은 탐색개발, 개념설계, 기본설계, 상세설계, 시험평가, 양

산 등으로 구분되며, 이는 개발 절차나 사업관리 중심으로 설계된 단계이다[1-2].

각 단계의 명확한 정의는 사업관리에 효과적일 수 있으나, M&S가 수행하는 분석 목적과 구성 수준을 기준으로 보면 단계 간 구분이 명확하지 않다. 예를 들어, 설계 단계 내에서 수행되는 요구 성능 정량화, 시스템 구조 모델링, 변수 조합에 따른 trade-off 분석 등은 서로 목적이 다르며, 동일한 설계 단계 안에서도 매우 이질적인 M&S 접근이 요구된다. 이와 같은 문제는 M&S가 개발 흐름에 긴밀히 통합되지 못하고, 단편적 분석 도구로 머무르게 만드는 주요 원인이 된다. 설계자, 시험자, 운용자는 서로 다른 시점과 목적에서 M&S를 활용하지만, 이를 연결하는 분석 체계가 부재할 경우, 동일한 시스템에 대해 중복된 모델이 생성되거나, 앞선 분석 결과가 후속 단계에 반영되지 않는 비효율이 발생한다.

본 연구는 무기체계 개발 과정을 M&S의 기능적 목적과 분석 수준에 따라 재정의하는 것을 출발점으로 한다. 복잡한 절차를 단순화하려는 의도가 아니라, 실질적인 분석 흐름을 기준으로 단계 간 M&S 적용의 연속성과 구분성을 명확히 하고자 한다. 특히 요구 조건 설정, 설계 최적화, 시험 사전 분석이라는 세 가지 주요 흐름을 중심으로 개발 단계를 정리하면, M&S의 목적, 모델 구성 범위, 분석 정밀도를 각 시점에 맞춰 체계적으로 설정할 수 있다.

레이다 체계를 중심으로 본다면, 위협 환경을 고려한 탐지 거리 기준 설정과 같은 초기 분석은 요구 조건을 정량화하는 데 활용되고, 다양한 레이다 위치나 구성 대안을 비교하는 설계 분석은 운용 환경과 성능 간 관계를 파악하는 데 쓰이며, 실제 시험 시나리오와 유사한 조건을 모사하여 수행하는 시뮬레이션은 시험 설계와 사후 평가에 직결된다. 이처럼 단계마다 M&S의 목적과 구성 방식이 달라지기 때문에, 이를 명확히 구조화하는 것은 실무와 연구 양측에서 모두 의미가 있다.

본 논문은 이러한 문제의식에 따라, M&S의 분석 목적과 역할 변화에 기반하여 무기체계 개발 단계를 기능 중심으로 재정의하고, 각 단계별로 요구되는 M&S 구성요소와 분석 수준을 체계적으로 정리한다. 이를 통해 M&S가 보다 유기적·실질적인 분석 도구로 작동할 수 있는 구조를 제시하며, 레이다 M&S 사례를 중심으로 그 적용 가능성을 살펴본다.

2. 무기체계 개발 단계와 M&S 기능 중심의 재정의

무기체계는 요구도 설정에서부터 양산에 이르기까지 여러 단계에 걸쳐 체계적으로 개발된다. 방위사업청의 ‘무기체계 획득관리 절차’나 국방과학연구소의 ‘체계개발 업무지침’ 등에서 제시하는 대표적인 개발 흐름은 일반적으로 탐색개발, 개념설계, 기본설계, 상세설계, 시험평가, 양산의 여섯 단계로 구성되어 있다. 각 단계는 기술 성숙도, 성능 검증 수준, 개발 리스크 관리 범위를 기준으로 정의되며, 사업 관리의 주요 기준점(milestone)을 형성한다. 이 구조는 체계 개발에 필요한 행정적·기술적 절차를 명확히 구분하고, 단계 간 검토와 승인 과정을 통해 개발의 일관성과 완성도를 확보하기 위한 것이다.

하지만 이러한 단계 구분은 M&S가 실제 수행하는 기능과 구성 수준을 명확히 설명하기에는 한계가 있다. 예를 들어, 기본설계와 상세설계는 문서상으로는 구분되어 있지만, 분석 관점에서는 동일한 성능 모델이 정밀도만 다르게 구성되어 반복 활용되는 경우가 많다. 또한 시험평가 단계에 진입하기 전부터 비행경로나 환경 조건에 대한 M&S 분석이 이미 수행되는 등 분석 흐름은 개발 단계보다 앞서거나 병렬적으로 작동하는 경우가 일반적이다. M&S는 각 개발 단계를 유기적으로 연결하며 수치 기반의 판단을 지원하는 도구로 활용되어야 하며, 이를 위해서는 분석의 목적과 역할 변화에 맞춰 별도의 구조로 정리될 필요가 있다. 그에 따라 본 연구에서는 무기체계 개발 단계 전반을 M&S 관점에서 기능 중심으로 재정의하였다. 구체적으로는 요구 조건 설정, 설계 최적화 단계, 시험 환경 예측 및 분석이라는 세 가지 분석 목적을 중심으로 기존의 절차적 개발 단계를 다음과 같이 정리하였다.

첫째, 요구 성능 기준을 정량적으로 정의하고, 주요 운용 변수나 위협 조건에 대한 민감도 분석을 수행하는 요구도 도출 중심 단계는 탐색개발과 개념설계 구간에서 주로 이루어진다. 이 시기의 M&S는 시스템 수준에서의 거시적 성능 추정과 초기 ROC 도출, 위협 기반 임무 분석, 대략적 성능 요구 파악 등을 수행한다. 이때 정밀한 모델보다는 확률 기반의 단순화된 구조를 바탕으로 빠르게 수행되는 분석이 중심이 된다.

둘째, 구성품과 부체계를 포함한 상세 모델을 바탕으로 다양한 설계 변수 조합에 따른 성능을 분석하고 차이를 비교하여 상세 설계안을 도출하는 설계 최적화 단계는 기본설계와 상세설계 시점과 연결된다. 이 시기의 M&S는 빔 운용, 신호처리, 탐지조직, 센서 제원 등을 포함한 상세 모델을 기반으로 다양한 운용 조건 하에서 성능을 비교 분석하며, 설계의 타당성과 기술적 일관성을 확보하는 데 활용된다.

셋째, 실제 시험 조건과 유사한 환경을 시뮬레이션 하고, 시험 경로, 운용 시나리오, 주변 지형과 같은 요소를 반영하여 사전 예측 및 사후 해석을 수행하는 시험 및 검증 단계는 시험평가 및 양산 전환 직전에 해당한다. 이 단계의 M&S는 높은 정밀도를 요구하며, 시험 실패 가능성을 낮추고, 실측 결과를 해석하는 기반으로 활용된다.

이처럼 M&S가 수행하는 기능은 단계별로 목적과 모델 구성 수준이 명확히 달라지므로, 기존의 개발 절차 구분과는 다른 형태의 분류가 필요하다. 이를 위해 본 연구는 실제 무기체계 개발 단계와 본 연구에서 재정의한 M&S 중심 단계 간의 관계를 Table 1과 같이 정리하였다.

Table 1. Mapping between Korean weapon system development phases and function-oriented M&S phases

Conventional development phase (Korean system)	Function-oriented M&S phase
Concept exploration	Requirement-driven analysis phase
Concept design	Requirement-driven analysis phase
Preliminary Design (including PDR)	Design optimization phase
Detailed Design (including CDR)	Design optimization phase
Test and evaluation	Test and verification phase
Production and deployment	Test and verification phase (if applicable)

Table 1에 나타난 구조는 기존 개발 흐름과의 연계성을 유지하면서도, M&S가 각 단계에서 수행하는 기능적 목적과 정밀도 요구 수준을 중심으로 분석 흐름을 구조화한 것이다. 이를 통해 분석자는 각 시점

에서 필요한 모델 구성 범위, 입력 변수의 세부 수준, 결과 해석의 해상도를 미리 설정하고, 중복이나 누락 없이 분석을 수행할 수 있다. 또한 이러한 기능 중심의 단계 재정의는 레이더 체계와 같이 운용 환경의 영향이 민감하고, 정량적 성능이 중요하게 작용하는 시스템에서 특히 유용하다. 초기에는 요구 성능이 주파수, 거리, 위협 특성 등과 연계되어 설정되고, 이후에는 플랫폼 위치나 신호 처리 구조 등 다양한 설계 대안이 성능에 미치는 영향을 M&S로 비교하게 되며, 마지막으로 실제 시험에서의 지형 반사, 다중 경로 간섭 등을 반영한 시뮬레이션이 시험 설계와 사후 평가의 기반이 된다.

이와 같이 M&S의 적용 목적과 정밀도 변화에 따라 개발 단계를 재정의하면, 기존의 절차적 구분으로는 드러나지 않는 분석 흐름을 명확히 파악할 수 있으며, 이를 통해 M&S가 무기체계 개발의 중심 도구로서 보다 효과적으로 작용할 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

3. 재정의된 개발 단계별 M&S 기능 및 적용 목적

앞서 정리한 바와 같이, 무기체계 개발은 복잡한 기술 흐름과 다양한 운용 제약 속에서 이루어지며, 그 과정에서 M&S는 각 단계의 목적에 따라 상이한 분석 기능을 수행하게 된다. 이에 따라 본 장에서는 요구도 도출 중심 단계, 설계 최적화 단계, 시험 및 검증 단계로 재정의한 개발 단계 각각에 대해, M&S의 기능적 역할과 분석 구성을 정리한다.

3.1 요구도 도출 중심 단계

무기체계 개발의 초기 단계에서는 작전 개념에 기반한 성능 요구가 설정되고, 이를 바탕으로 체계 수준의 대응 방안이 논의된다. 이때 M&S는 정량적 요구 성능을 설정하는 데 핵심적인 도구로 활용된다. 예를 들어 레이더 체계의 경우 주어진 레이더 운용 목적에 대해 요구 탐지 거리를 몇 km로 설정해야 하는지, 이를 위한 요구되는 탐지 성능은 어느 정도 되어야 하는지 등을 정량적으로 검토하는 과정이 필요하다.

이 단계에서의 M&S는 비교적 단순한 구성으로 수행되며, 정해진 플랫폼 조건과 표적 특성에 의해 랜덤을 기반으로 빠르게 결과를 도출할 수 있어야 한다.

주요 입력 변수는 레이다 성능(송신 전력, 안테나 이득 등)과 잡음, 목표물 RCS 등이며, 출력으로는 임의의 변수들에 대한 전력 분포 및 거리에 따른 SNR 등이 도출된다. 이때 모델은 복잡한 신호처리, 빔 운용 과정보다는 시스템 수준에서의 랜덤 기반으로 구성되는 경우가 많다.

요구도 도출 중심 단계에서는 식 (1)과 같이 위상과 잡음을 랜덤하게 모의할 수 있다.

$$\phi \sim \text{Unif}(0, 2\pi, N) \tag{1a}$$

$$n_I, n_Q \sim \text{Norm}(0, N_{pow}/2, N) \tag{1b}$$

여기서, N 은 샘플 수, N_{pow} 는 총 잡음 크기를 뜻한다.

신호 크기 모의의 경우 식 (2)를 통해 각 채널 (I, Q) 별 위상이 고려된 신호 크기 ($S_{I,Q}$)를 구할 수 있으며, 식 (1)에서 생성한 잡음과 더해 최종 신호 크기 ($r_{I,Q}$)를 계산할 수 있다. 이때 A 의 경우 표적에 따른 RCS (radar cross section) 크기를 적용하면 된다[3].

$$S_I = A \cos \phi \tag{2a}$$

$$S_Q = A \sin \phi \tag{2b}$$

$$r_I = S_I + n_I \tag{2c}$$

$$r_Q = S_Q + n_Q \tag{2d}$$

표적 RCS의 경우 탐지 후보 또는 대상 표적이 정해져 있지만 표적 상태(기동, 자세, 모양 등)에 따라 서로 다른 RCS를 가지기 때문에 일정 범위를 두고 분석해야 한다. 이를 위해 표적 특성에 따라 Swerling 0부터 Swerling 4까지 표적의 랜덤한 특성을 구분할 수 있으며, 식 (3)과 같이 모의할 수 있다[4]. 이때 Swerling 1, Swerling 3는 표적에 의한 RCS 변화가 느린 경우 사용되며, 보다 빠른 변화를 가지는 표적의 경우 Swerling 2, Swerling 4로 구분하며 $\lfloor N/M \rfloor$ 을 N 으로 적용하여 모의하면 된다.

$$A = \sqrt{RCS}, \text{ where } SW = 0 \tag{3a}$$

$$A \sim \text{Ray}(\sqrt{RCS}/2, \lfloor N/M \rfloor), \text{ where } SW = 1 \tag{3b}$$

$$A \sim \text{Chi}(RCS/2, \lfloor N/M \rfloor), \text{ where } SW = 3 \tag{3c}$$

여기서, M 은 펄스 수를 의미한다.

모의 결과 Fig. 1과 같이 잡음 및 표적 RCS의 랜덤한 특성을 반영한 신호 전력 크기를 계산할 수 있으며, 해당 결과를 기반으로 임계값(threshold)을 비교하여 탐지 확률을 도출할 수 있다.

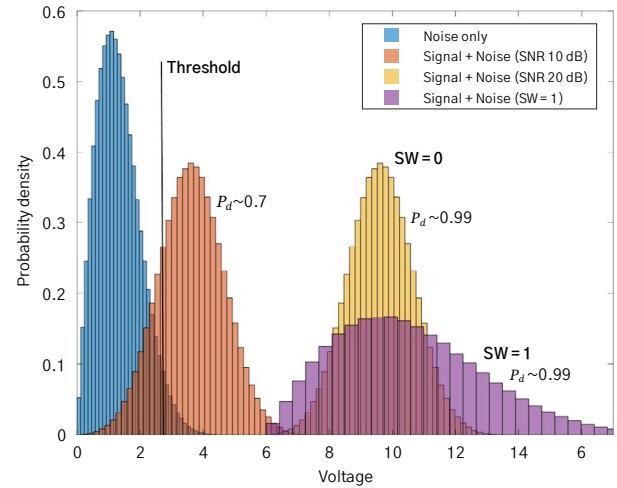


Fig. 1. Simulation result of probability density according to SNR and SW

또한 레이다 성능 변수들의 일정 범위를 가지고 다양한 조합에 따른 성능 예측 및 성능 만족도 분석을 수행할 수 있으며, 이를 위해 식 (4)와 같이 신호 대 잡음비인 SNR(signal-to-noise ratio) 척도를 활용할 수 있다.

$$\text{SNR} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \tau_p N_p \sigma_t}{(4\pi)^3 R^4 \kappa T L_{sys}} \tag{4}$$

여기서, P_t : 송신전력(W),

G_t : 송신이득(W/W),

G_r : 수신이득(W/W),

λ : 파장(m),

τ_p : 펄스 폭(sec),

N_p : 펄스 수,

σ_t : RCS(m²),

R : 표적 거리(m),

L_{sys} : 시스템손실(W/W),

κ : Boltzman's constant[W/(Hz K)],

T : 시스템 잡음 온도(K).

설계 목적과 상황을 반영한 각 제원들의 범위와 시스템 잡음, 표적 RCS의 랜덤 특성을 반영하여 거리

에 따른 레이더 성능을 보면 Fig. 2와 같이 일정 범위의 신호 크기를 가지는 것을 볼 수 있다. 목표하는 거리에 임계값 이하의 신호 크기 비율이 얼마인지 계산하여 제원들의 범위에 따른 요구사항 수준의 적절성을 판단할 수 있다.

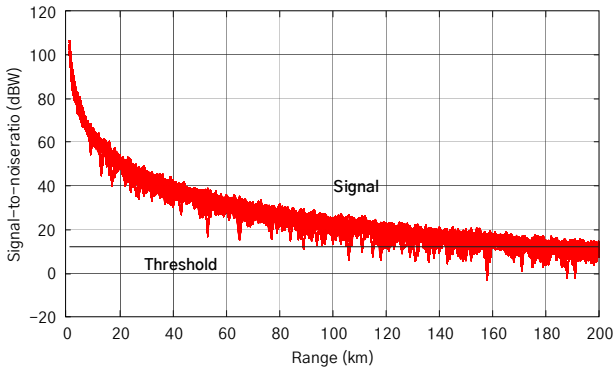


Fig. 2. Simulation result of radar performance according to random value

이러한 결과는 성능 목표 설정을 위한 민감도 분석이 중요한 역할을 한다. 레이더 제원들이 탐지 거리에 얼마나 민감한지, 각 변수들의 범위 내에 조합에 따른 수신 전력은 얼마나 되는지 등을 분석할 수 있으며 이를 통해 성능 목표 설정의 타당성을 확보하고, 과도한 설계 여유를 방지할 수 있다. 또한 분석 결과를 바탕으로 작전운용성능(ROC, required operational capability) 수치를 설정하고, 향후 설계 및 시험 시 기준값으로 활용하게 된다.

3.2 설계 최적화 단계

요구 성능이 설정된 다음에는 이를 만족하는 체계 구성을 설계하고, 다양한 대안 중 최적의 해법을 도출하는 과정으로 이어진다. 설계 최적화 단계는 레이더 시스템의 구조, 부체계 구성, 신호처리 방식 등을 포함한 설계 대안을 M&S를 통해 평가하는 구간이며, M&S의 적용 범위와 정밀도 수준이 본격적으로 확장되는 시점이다.

이 단계에서의 모델은 빔 운용, 송수신 모듈, 수신기, 탐지로직, 신호처리 알고리즘 등 레이더 구성요소를 반영하며, 실제 설계안에 근접한 모델링이 수행된다. 표적 특성은 다양한 고도, 속도 등의 기동 시나리오로 설정되고, 환경 모델은 지형(DTED, digital terrain elevation data) 정보와 일부 대기 감쇠 요소

가 반영될 수 있다. 경우에 따라서는 스캔 방식이나 빔 패턴에 따른 탐지 영역 변화도 시뮬레이션에 포함된다[5]. 이때 중요한 점은 빔 운용과 같이 실제 레이더 운용성과 환경을 반영한 레이더 성능 분석이 이뤄져야 한다는 것이며, 이를 위하여 식 (5)를 적용할 수 있다. 대기 손실의 경우 지형 및 기상 정보를 활용하여 APM(advanced propagation model)을 통해 계산할 수 있다[6].

$$SNR = \left(\frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \tau_p N_p \sigma_t}{(4\pi)^3 R^4 \kappa T L_p L_{sys}} \right) \times G_{sp} \quad (5)$$

여기서, L_p : 대기손실(W/W),

G_{sp} : 신호처리 이득(W/W).

그 결과 Fig. 3와 같이 빔 운용 및 성능 최적화를 통해 전반적인 탐지성능 향상을 볼 수 있다. 이때 RCS의 경우 동일한 조건으로 하였으며, APM을 통해 지형과 대기 상태를 반영한 수신된 신호의 크기를 계산할 수 있다.

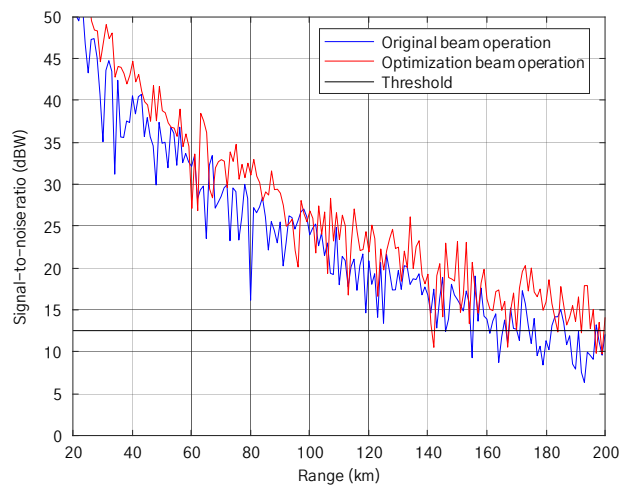


Fig. 3. Result of simulation according to beam operation

설계 최적화를 위한 M&S는 흔히 trade-off 분석의 형태로 수행된다. 이때 분석 목적은 단순한 수치 계산이 아니라, 설계 대안 간의 우열 비교와 시스템 간 상호작용 구조의 파악에 있으며, M&S는 그 해석을 정량적으로 도출하는 핵심 수단이 된다. 이 단계에서는 설계 위험요소 식별과 함께 이후 시험에서 재현 가능한 조건을 예측하는 기능도 수행된다. 지나치게 이상화된 설계가 실제 운용환경에서 성능 저하를 유

발할 수 있으므로, M&S 결과를 기반으로 운용 가능한 설계의 범위를 사전에 확보하게 된다.

3.3 시험 및 검증 단계

설계안이 정립되고 시스템이 시제품 형태로 구현 되면, 실제 환경에서의 성능을 입증하는 시험 및 평가 단계로 진입하게 된다. 이때 M&S는 단순한 예측 분석에 그치지 않고, 실제 시험과 대응되는 조건을 구성하여 결과 해석을 보완하는 역할을 수행한다.

이 단계에서의 시뮬레이션은 입력 조건의 다양성과 환경 요소의 복잡성을 고려해야 한다. 실제 레이더 운용 위치를 반영한 고해상도 지형 정보(DTED), 실제 시험 경로를 모사한 표적 시나리오, 주변 반사면 특성 및 전파 경로에 따른 손실 등을 반영하는 정밀한 모델로 구성된다.

시험 전 Fig. 4 및 Fig. 5의 결과와 같이 시험 경로상의 지형을 반영하여 전파의 분포 결과와 예상 수신 신호를 분석하여 시험 결과를 예측할 수 있다. 이를 바탕으로 시험 경로 설계, 장비 배치 위치 선정, 탐지 실패 가능성 사전 점검 등을 수행할 수 있다.

시험 후에는 실측된 데이터를 기반으로 실제 비행 위치를 반영한 시뮬레이션을 재실행하여 결과의 정확도 및 이상 탐지 여부를 해석한다. Fig. 6에서와 같이 예기치 못한 시험 결과(시험경로 후반부 미[未]포착으로 시험 데이터 없음)에 대해 시뮬레이션을 통해 원인을 추적(원인: 지형에 의한 탐지 성능 저하)하고, 이후 시험 조건을 조정하거나 설계 수정을 논의하는 과정은 실제 현장에서 매우 중요한 적용 사례에 해당한다.

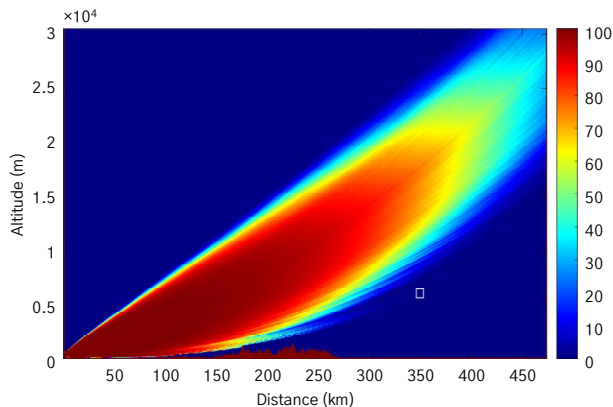


Fig. 4. Result of power flux density one azimuth considered operation environment

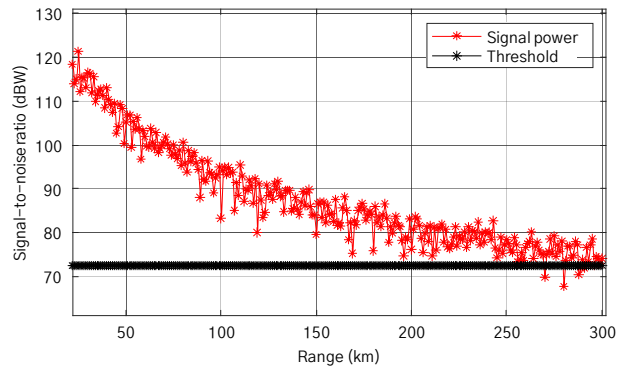


Fig. 5. Result of simulation according to test path

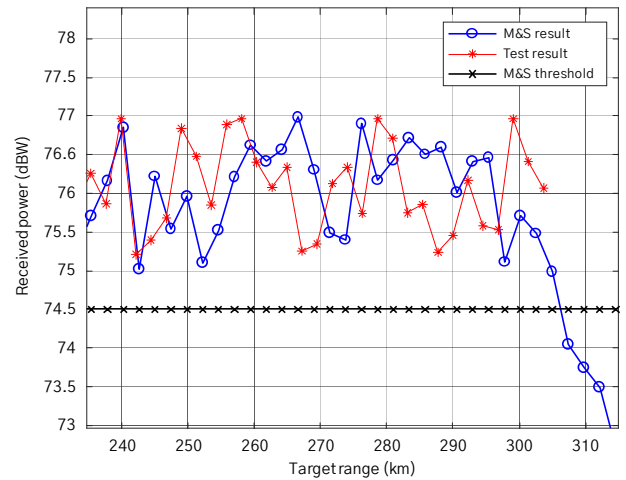


Fig. 6. Result of simulation and test

이러한 시험 단계의 M&S는 분석자가 제원에 따른 수치를 도출하는 것이 아니라, 실제 환경을 적용하여 해석하고, 시험 데이터의 의미를 분석하며, 시스템 성능을 입체적으로 검토하는 역할을 수행하게 된다. 그만큼 정밀도와 구성요소의 완성도가 높아야 하며, 시험 평가자의 의사결정에도 직접적으로 영향을 미친다.

4. 결론

무기체계 개발은 복잡한 운용 요구와 기술 제약 속에서 수행되는 과정이며, 그 흐름 속에서 모델링 및 시뮬레이션(M&S)은 성능 예측, 설계 최적화, 시험 검증 등 다양한 기능을 수행하는 핵심 분석 도구이다. 하지만 기존의 개발 절차는 체계개발에 필요한 행정적·기술적 절차를 명확히 구분하고, 단계 간 검토와 승인 과정을 통해 개발의 일관성과 완성도를 확보하기 위한 것으로, M&S가 실제 수행하는 기능과 구성 수준

을 명확히 설명하기에는 한계가 있다.

본 연구는 무기체계 개발 단계에서 M&S가 수행하는 주요 기능과 분석 목적을 중심으로 개발 흐름을 재정의하였다. 기존의 탐색개발, 설계, 시험 등의 절차적 구분을 따르기보다는, 실제 분석이 수행되는 목적과 정밀도 수준에 따라 요구도 도출 중심 단계, 설계 최적화 단계, 시험 및 검증 단계의 세 가지로 구조를 정리하였다. 이러한 재정의는 개발 흐름을 단순화하기 위한 것이 아니라, M&S가 일관되게 적용되고 각 단계의 목적에 부합하는 모델 구성과 해석 기준을 명확히 하기 위한 분석 중심의 구조라 할 수 있다.

요구도 도출 중심 단계에서는 레이더의 운용 개념 및 목적에 기반한 성능 요구의 정량화가 중심이 되며, 단순한 모델을 활용한 빠른 분석과 민감도 평가가 수행된다. 설계 최적화 단계로 진입하면 보다 정밀한 모델 구성을 바탕으로 다양한 설계 대안 간의 성능 비교가 이루어지고, 이를 통해 설계 타당성과 개발 위험 요소를 조기에 확인할 수 있다. 마지막으로 시험 및 검증 단계에서는 실제 시험 조건과 유사한 환경을 정밀하게 재현하여, 시험 성공 가능성을 높이고, 실측 데이터 해석과 비교 분석을 가능하게 한다.

본 논문에서 제안한 재정의의 구조는 레이더와 같은 정량적 성능 기반 체계에 특히 유용하게 적용될 수 있으며, M&S의 활용 목적을 명확히 하여 설계자·시험자·평가자 간의 분석 연계성을 확보하는 데 기여할 수 있다. 또한 개발 전 과정에서 분석의 중복이나 단절을 줄이고, 모델의 재사용성과 신뢰성을 향상시키는 기반이 될 수 있다.

향후에는 이러한 프레임워크를 바탕으로 각 단계에 적용 가능한 M&S 구성요소의 정형화, 분석 결과의 해

석 기준 수립, 실증 기반의 활용 사례 축적 등이 이어질 수 있을 것으로 기대된다. 특히 다양한 체계 유형에 대해 본 연구에서 제안한 단계 구분 방식이 어떻게 확장 가능하며, 복합 체계 간 연동 분석에서는 어떤 방식으로 변형·적용될 수 있는지에 대한 연구도 이어질 필요가 있다.

참고문헌

- [1] N. C. Guillen and N. Chavez, "Algorithms to Generate Random Samples Following the Swerling Models," *Revista Cubana de Ciencias Informaticas*, Vol. 13, No. 2, pp. 1-12, Apr.-Jun. 2019.
- [2] S.-M. Choi, K.-H. Kim, J. T. Park, J.-H. Hwang, K. Kim, and Y.-M. Lee, "Research on the Management Scheme of Requirements for Basic Design Vessel System," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 23, No. 12, pp. 64-71, Dec. 2022.
- [3] Y. H. Jeong, "A Study on Requirement Management of Naval Surface Ships by Using QFD," *Journal of the Korean Society of Systems Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 57-65, Dec. 2019.
- [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.