



Received: 2026/07/27
Revised: 2026/08/10
Accepted: 2026/08/25
Published: 2026/09/30

***Corresponding Author:**

Myunghoon Park

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: pmh604god@gmail.com

차세대 레이더 체계 개발을 위한 Modeling & Simulation 적용 프레임워크 연구

Modeling and Simulation Application Framework for Next-Generation Radar System Development

박명훈*, 김정, 이성균, 고진용, 장재덕

LIG 디펜스&에어로스페이스 M&S팀 수석연구원

Myunghoon Park*, Jeong Kim, Sungkyun Lee, Jinyong Go, Jaedeok Jang

Chief research engineer, M&S Team, LIG Defense&Aerospace

Abstract

차세대 레이더는 능동전자주사배열 안테나, 디지털 신호처리 및 다기능 운용기술의 발전에 따라 체계 복잡도가 지속적으로 증가하고 있다. 이에 따라 제한된 실물시험만으로 다양한 운용환경과 설계 대안을 충분히 검증하는 데에는 현실적인 한계가 존재하며, 체계개발 전 과정에서 modeling and simulation(M&S)의 활용 필요성이 더욱 증대되고 있다. 그러나 기존 연구는 안테나, 전파환경, 신호처리 및 추적과 같은 개별 기술의 모델 개발에 집중되어 있어 체계 개발 단계별 M&S 적용 기준과 활용 절차를 종합적으로 제시하지 못하고 있다. 본 논문에서는 기존 레이더 M&S 연구 동향을 분석하여 주요 한계를 도출하고, 체계 개발 단계별 의사결정 목적에 적합한 M&S 적용 프레임워크를 제안한다.

The increasing complexity of next-generation radar systems, driven by active electronically scanned array technology, advanced digital signal processing, and multifunctional operations, has made it difficult to evaluate system performance solely through physical testing. Consequently, modeling and simulation (M&S) has become an essential engineering tool throughout the system development lifecycle. However, previous studies have primarily focused on individual technical models, such as antenna characteristics, propagation environments, signal processing, and target tracking, while providing limited guidance on how M&S should be systematically applied in radar system development. The aim of this study was to analyze current research trends and identify the limitations of existing radar M&S approaches. To address the identified research gap, an application framework is proposed by associating development phases with decision objectives, M&S scope, model fidelity, validation evidence, and engineering outputs.

Keywords

레이더 체계개발(Radar System Development),
모델링 및 시뮬레이션(Modeling and Simulation),
디지털 엔지니어링(Digital Engineering),
시스템 공학(Systems Engineering),
시험평가(Test and Evaluation)

1. 서론

최근 레이더는 능동전자주사배열(active electronically scanned array, AESA) 안테나, 디지털 빔 형성, 적응형 신호처리 및 다기능 자원관리 기술이 적용되면서 단순한 표적 탐지 장비에서 복합 임무를 수행하는 지능형 센서 체계로 발전하고 있다[1,2]. 이러한 기술 발전은 탐지 성능 향상과 운용 유연성을 제공하는 반면, 안테나, 송수신기, 전파환경, 신호처리 및 추적 알고리즘 간 상호작용을 증가시켜 체계 수준의 성능을 예측하고 검증하는 과정을 더욱 복잡하게 만들고 있다.

레이더 체계개발에서는 요구사항 분석, 개념설계, 상세설계, 체계통합 및 시험평가에 이르기까지 다양한 의사결정이 수행된다. 각 단계에서는 요구되는 분석 목적과 정확도가 서로 다르며, 제한된 개발 일정과 비용을 고려할 때 모든 설계 대안을 실물 시험으로 검증하는 것은 현실적으로 어렵다. 이러한 이유로 modeling and simulation(M&S)은 초기 설계 단계에서의 성능 예측과 대안 비교뿐만 아니라 체계통합, 시험평가 및 운용성 분석을 지원하는 핵심 공학 도구로 활용되고 있다[3-5].

최근 디지털 엔지니어링(digital engineering, DE)과 모델 기반 시스템공학(model based systems engineering, MBSE)의 확산에 따라 M&S의 활용 범위는 개별 성능분석을 넘어 체계개발 전 주기를 지원하는 방향으로 확대되고 있다[3-5]. 또한 고충실도 레이

다 모델과 디지털 트윈 기술에 관한 연구도 활발히 수행되고 있으며, 물리체제와 가상체제를 연계하여 설계 검증과 성능 분석을 수행하기 위한 다양한 접근이 제안되고 있다[6-8].

그러나 기존 연구는 대부분 안테나, 전파환경, 신호처리 및 추적과 같은 개별 기술 분야를 중심으로 발전해 왔으며, 체계개발 단계별 의사결정 목적에 따라 어떤 M&S를 적용해야 하는지에 대한 체계적인 기준은 충분히 제시되지 않았다. 또한 모델 충실도(model fidelity), 검증·확인(verification and validation, V&V) 수준 및 개발 단계별 활용 범위가 명확하게 연계되지 않아 동일한 모델이 서로 다른 목적에 사용되거나 불필요하게 높은 충실도의 모델이 적용되는 사례도 발생하고 있다[9,10].

본 논문에서는 기존 레이더 M&S 연구를 체계개발 관점에서 재분석하고, 현행 활용 방식의 한계를 도출한다. 이를 기반으로 체계개발 단계별 의사결정 목적, M&S 적용 범위, 모델 충실도, 검증자료 및 주요 산출물을 연계하는 적용 프레임워크를 제안한다. 제안하는 프레임워크는 새로운 레이더 모델이나 알고리즘을 제시하는 것이 아니라, 기존 M&S 자산을 개발 단계에 맞추어 효과적으로 활용하기 위한 체계적인 적용 기준을 제공하는 데 목적이 있다.

2. 관련 연구 및 연구공백분석

2.1 레이더 M&S 연구 동향

Modeling and simulation(M&S)은 레이더 체계 개발 과정에서 요구성능 분석, 설계 대안 비교, 시험평가 지원 및 운용성 검토를 수행하기 위한 핵심 공학 도구로 활용되고 있다. 초기 레이더 M&S는 레이더 방정식을 기반으로 탐지거리와 탐지확률을 예측하는 수준에서 활용되었으나[1], 능동전자주사배열(active electronically scanned array, AESA) 레이더와 디지털 신호처리 기술의 발전에 따라 안테나, 전파환경, 신호처리, 추적 및 자원관리 기능을 포함하는 다양한 형태의 모델로 확장되고 있다[2].

최근 연구에서는 전파환경, 안테나, 송수신기 및 신호처리를 통합한 고충실도 레이더 모델이 제안되고 있으며, 실제 측정자료를 이용하여 모델의 정확성을 검증하려는 연구도 활발히 수행되고 있다[6]. 또한 자

동차 레이더 분야에서는 가상시험(virtual test)을 위해 목적에 따라 서로 다른 충실도의 모델을 적용하는 연구가 진행되고 있으며, 이상적 모델부터 신호 수준 모델까지 다양한 모델 계층이 활용되고 있다[8].

한편 시스템공학 분야에서는 디지털 엔지니어링과 모델 기반 시스템공학을 중심으로 체계개발 전 과정에서 모델과 데이터를 연속적으로 활용하는 개발 환경이 제시되고 있다[3-5]. 최근에는 디지털 트윈(digital twin) 기술을 이용하여 실제 레이더와 가상 모델을 연계하고 지속적으로 성능을 갱신하기 위한 연구도 수행되고 있다[7].

이와 같이 레이더 M&S는 구성 모델의 정밀화와 디지털 기반 개발환경 구축 측면에서 지속적으로 발전하고 있으며, 체계 수준의 통합 모델과 데이터 기반 운용기술에 대한 연구도 확대되고 있다.

2.2 기존 연구의 한계

기존 레이더 M&S 연구는 기술적 관점에서 높은 수준의 성과를 제시하고 있으나, 체계개발 관점에서는 몇 가지 공통적인 한계를 가진다.

첫째, 대부분의 연구는 안테나, 전파환경, 신호처리 또는 추적 알고리즘과 같은 개별 기술 분야를 중심으로 수행되고 있다. 각 모델은 해당 분야의 성능을 정밀하게 분석할 수 있으나, 체계개발 과정에서 요구되는 의사결정과 직접적으로 연결되지는 않는다. 따라서 서로 다른 모델 간의 적용 범위와 활용 목적을 일관되게 관리하기 어렵다.

둘째, 모델 충실도(model fidelity)에 대한 적용 기준이 명확하지 않다. 일반적으로 고충실도 모델이 높은 정확도를 제공하는 것으로 인식되지만, 모든 개발 단계에서 동일한 수준의 모델이 요구되는 것은 아니다. 요구사항 분석 단계에서는 계산 효율성과 설계 대안 비교가 중요하며, 상세설계 및 시험평가 단계에서는 실제 장비 특성과 환경을 반영한 고충실도 모델이 요구된다. 그러나 기존 연구에서는 이러한 차이를 체계적으로 구분하지 않고 있다[6,8].

셋째, M&S 결과의 신뢰성을 확보하기 위한 검증 및 확인(verification and validation, V&V) 절차는 제시되고 있으나[10], 개발 단계별로 필요한 검증 수준과 활용 목적을 연계하는 기준은 부족하다. 동일한 모델이라도 사용 목적에 따라 요구되는 검증 수준이

달라질 수 있음에도 불구하고 이에 대한 체계적인 적용 절차는 충분히 논의되지 않았다.

넷째, 최근 디지털 엔지니어링과 디지털 트윈 기술은 체계개발의 새로운 패러다임으로 제시되고 있으나[5,7], 대부분 개념적 수준에 머물러 있으며 실제 레이더 체계개발 과정에서 M&S를 어떻게 적용할 것인지에 대한 구체적인 절차와 기준은 제시하지 못하고 있다.

Table 1. Comparison of existing radar M&S research from the system development perspective

Category	Development Coverage	Fidelity Guidance	Lifecycle Support	Research Gap
Radar Performance Mode	Partial	△	x	Limited to performance prediction
High-Fidelity Radar Model	Partial	△	x	Focused on signal-level analysis
Digital Twin	Partial	○	△	Limited application procedure
Digital Engineering / MBSE	○	x	○	Not radar-specific
Proposed Framework	○	○	○	Integrated application guideline

결과적으로 기존 연구는 개별 모델의 정확도 향상에는 많은 성과를 보였지만, 체계개발 전 과정에서 M&S를 어떠한 기준으로 적용하고 관리할 것인지에 대한 공통 프레임워크는 아직 충분히 제시되지 않았다.

2.3 연구 공백(Research Gap)

앞서 분석한 기존 연구를 종합하면 레이더 M&S는 구성 모델의 고충실도화와 디지털 기반 개발환경 구축 측면에서 지속적으로 발전하고 있으나, 체계개발 단계별 활용 기준은 상대적으로 미흡한 것으로 판단된다. 특히 개발 단계마다 의사결정 목적이 서로 다름에도 불구하고 적용해야 할 M&S 범위, 요구되는 모델 충실도, 검증자료 및 주요 산출물을 통합적으로 제시한 연구는 제한적이다.

체계개발 초기에는 설계 대안의 신속한 비교와 요구성능 분석이 중요하지만, 상세설계 이후에는 실제 장비 특성과 시험자료를 반영한 정밀한 분석이 요구된다. 또한 시험평가 단계에서는 모델 자체의 정확성보다 시험결과를 얼마나 신뢰성 있게 보완하고 해석할 수 있는지가 더욱 중요하다. 따라서 개발 단계별 의사결정 목적에 적합한 M&S 적용 기준이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 연구 공백을 해결하기 위해 레이더 체계개발 과정을 요구사항 분석, 개념설계, 상세설계, 체계통합 및 시험평가, 운용 및 성능개량 단계로 구분하고, 각 단계별 의사결정 목적에 따라 M&S 적용 범위, 모델 충실도, 검증자료 및 주요 산출물을 연계하는 적용 프레임워크를 제안한다. 제안하는 프레임워크는 새로운 레이더 성능모델을 개발하는 것이 아니라 기존 M&S 자산을 체계개발 전 과정에서 일관성 있게 활용하기 위한 적용 기준을 제공하는 데 목적이 있다.

3. 제안하는 레이더 M&S 적용 원칙

기존 레이더 M&S는 안테나, 전파환경, 신호처리 및 추적과 같은 개별 기술의 성능을 분석하기 위한 목적으로 발전해 왔다. 그러나 체계개발에서는 동일한 M&S라 하더라도 개발 단계와 의사결정 목적에 따라 요구되는 모델의 구성과 활용 방식이 달라진다. 예를 들어 요구사항 분석 단계에서는 다양한 설계 대안을 신속하게 비교할 수 있는 계산 효율성이 중요하지만, 상세설계 단계에서는 실제 장비 특성과 환경을 반영할 수 있는 높은 모델 정확성이 요구된다. 또한 시험평가 단계에서는 모델 자체의 정밀도보다 시험결과를 얼마나 신뢰성 있게 해석하고 보완할 수 있는지가 더욱 중요한 요소가 된다.

따라서 레이더 M&S는 단순히 높은 충실도의 모델을 구축하는 것이 아니라 개발 단계별 의사결정 목적에 적합한 수준으로 적용되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 관점에서 체계개발 전 과정에 공통적으로 적용할 수 있는 레이더 M&S 적용 원칙을 제안한다. 제안하는 원칙은 모델 선택과 활용을 위한 일반적인 기준으로 활용될 수 있으며, 이후 제시하는 적용 프레임워크의 기본 설계 개념으로 사용된다.

첫째, M&S는 목적 적합성(fit for purpose)을 우선적으로 고려하여야 한다. 모델의 적절성은 계산 규모

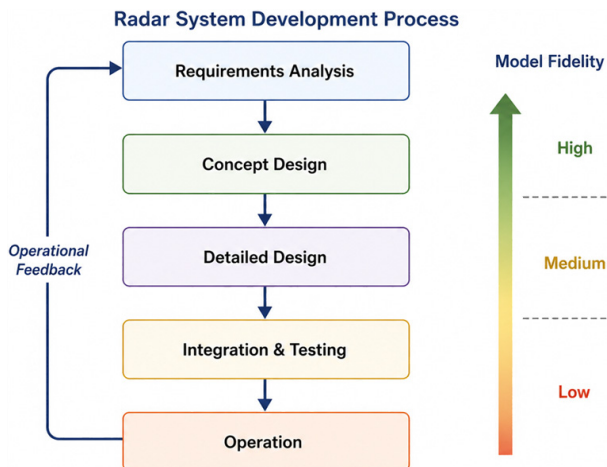


Fig. 1. Concept of the proposed radar M&S application framework

나 물리적 복잡성이 아니라 해당 개발 단계의 의사결정에 필요한 정보를 제공할 수 있는지에 의해 판단되어야 한다. 따라서 동일한 시스템이라 하더라도 요구사항 분석, 설계 검증 및 시험평가 단계에서는 서로 다른 수준의 모델이 적용될 수 있다.

둘째, 적절한 모델 충실도(appropriate model fidelity)를 확보하여야 한다. 일반적으로 고충실도 모델은 높은 정확도를 제공하지만 계산시간 증가와 모델 구축 비용을 수반한다. 반면 저충실도 모델은 반복적인 설계 탐색과 민감도 분석에는 효과적이지만 상세 성능을 예측하는 데에는 한계가 있다. 따라서 모델 충실도는 항상 높을수록 좋은 것이 아니라 분석 목적과 요구 정확도에 따라 합리적으로 결정되어야 한다.

셋째, 검증 가능성(verifiability)을 확보하여야 한다. 모든 M&S 결과는 이론, 시험자료 또는 실측자료를 이용하여 신뢰성을 확인할 수 있어야 한다. 또한 모델의 입력조건과 적용 범위가 명확하게 정의되어야 하며, 동일한 조건에서 동일한 결과를 재현할 수 있어야 한다.

넷째, 추적성(traceability)을 유지하여야 한다. 체계개발 과정에서 수행되는 모든 M&S는 요구사항, 설계정보, 입력자료 및 분석결과와 연계되어야 한다. 이를 통해 특정 분석결과가 어떠한 설계조건과 가정을 기반으로 수행되었는지를 확인할 수 있으며, 설계변경 시 영향성을 효율적으로 분석할 수 있다.

다섯째, 재사용성(reusability)을 고려하여야 한다. 체계개발 과정에서 구축된 모델은 특정 단계에서만 활용되는 것이 아니라 다음 개발 단계에서도 지속

적으로 활용될 수 있어야 한다. 이를 위해서는 모델의 인터페이스와 입력자료를 표준화하고, 검증 이력을 함께 관리함으로써 동일한 모델을 다양한 분석 목적에 효율적으로 활용할 수 있어야 한다.

이와 같이 레이더 M&S는 단순한 성능 예측 도구가 아니라 체계개발 전 과정의 의사결정을 지원하는 공학 자산으로 활용되어야 한다. 따라서 개발 단계별 요구사항과 모델 충실도를 연계하고 검증 가능한 형태로 지속적으로 발전시킬 수 있는 적용 체계가 필요하다. 다음 장에서는 이러한 적용 원칙을 기반으로 차세대 레이더 체계개발을 위한 레이더 M&S 적용 프레임워크를 제안한다.

4. 레이더 M&S 적용 프레임워크

본 논문에서는 앞서 제시한 레이더 M&S 적용 원칙을 기반으로 차세대 레이더 체계개발을 위한 레이더 M&S 적용 프레임워크를 제안한다. 제안하는 프레임워크는 체계개발 단계별 의사결정 목적에 따라 적절한 M&S를 선택하고, 모델 충실도(model fidelity), 검증 및 확인(verification and validation, V&V) 수준, 그리고 주요 산출물을 유기적으로 연계하는 것을 목표로 한다. 또한 개발이 진행됨에 따라 모델의 충실도와 검증 수준을 단계적으로 향상시키고, 운용 단계에서 획득한 데이터를 다음 개발 주기에 환류하는 순환 구조를 적용함으로써 M&S의 재사용성과 추적성을 확보하도록 구성하였다. Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 레이더 M&S 적용 프레임워크의 전체 개념을 나타낸다.

4.1 프레임워크의 개념

본 논문에서 제안하는 레이더 M&S 적용 프레임워크는 체계개발 단계별 의사결정 목적에 따라 적절한 M&S를 선택하고, 이에 필요한 모델 충실도(model fidelity), 검증자료 및 주요 산출물을 체계적으로 연계하기 위한 절차를 제시한다. 기존 연구는 레이더 구성 요소의 모델링 기법이나 성능 향상에 중점을 두고 있으나, 체계개발 과정에서 M&S를 어떠한 기준으로 적용하고 관리할 것인지에 대한 체계적인 절차는 충분히 제시하지 못하였다.

제안하는 프레임워크에서는 모든 개발 단계에서

동일한 모델을 사용하는 것이 아니라 개발 목적에 적합한 수준의 M&S를 선택하도록 하였다. 또한 개발이 진행될수록 모델 충실도와 검증 수준을 점진적으로 향상시키는 구조를 적용하였다. 이를 통해 초기 단계에서는 계산 효율성과 설계 대안 비교를 지원하고, 후반 단계에서는 실측자료 기반의 정밀 분석과 시험평가 지원이 가능하도록 구성하였다.

제안하는 프레임워크는 의사결정 중심, 충실도 기반 및 검증 연계의 세 가지 특징을 갖는다. 의사결정 중심은 개발 단계별 분석 목적에 따라 M&S를 선택하는 것을 의미하며, 충실도 기반은 분석 목적에 필요한 최소 충분 충실도를 적용하는 것을 의미한다. 또한 검증 연계는 모든 분석 결과가 적절한 검증자료와 함께 관리되어야 함을 의미한다.

4.2 체계개발 단계별 적용 절차

제안하는 프레임워크에서는 체계개발을 요구사항 분석, 개념설계, 상세설계, 체계통합 및 시험평가, 운용 및 성능개량의 다섯 단계로 구분하였다. 각 단계에서는 의사결정 목적이 서로 다르므로 적용되는 M&S의 구성과 요구 충실도 또한 달라진다.

요구사항 분석 단계에서는 다양한 설계 대안을 신속하게 비교하여 요구 탐지거리, 탐지확률 및 주요 성능 요구사항을 도출하는 것이 목적이다. 따라서 레이더 방정식 기반 성능 모델, 단순 전파 모델 및 임무 수준 효과도 분석과 같은 저충실도 또는 중충실도 모델이 적합하다.

개념설계 단계에서는 안테나 형상, 운용 주파수, 송신전력 및 빔 운용 방식과 같은 주요 설계 변수의

영향을 분석한다. 이 단계에서는 안테나 모델, 전파 환경 모델 및 기본 신호처리 모델을 포함하는 중충실도 M&S가 요구된다.

상세설계 단계에서는 실제 설계값을 기반으로 안테나 특성, 송수신기 성능, 신호처리 및 추적 알고리즘을 분석한다. 이 단계에서는 실제 장비 특성과 환경 조건을 반영할 수 있는 고충실도 모델이 요구되며, 실측자료를 이용한 검증이 병행되어야 한다.

체계통합 및 시험평가 단계에서는 hardware-in-the-loop(HIL), software-in-the-loop(SIL) 및 실제 시험자료를 활용하여 모델과 체계의 일치성을 확인한다. 이 단계에서 M&S는 실물시험을 대체하기보다 시험 범위를 보완하고 미시험 조건에 대한 성능을 분석하는 역할을 수행한다.

운용 및 성능개량 단계에서는 실제 운용자료를 이용하여 모델을 지속적으로 갱신하고 새로운 위협환경과 운용조건에 대한 성능을 분석한다. 또한 축적된 운용자료를 차기 체계개발 과정에 환류함으로써 지속적인 성능 향상과 모델 개선이 가능하도록 구성하였다.

4.3 프레임워크의 특징 및 기대효과

제안하는 프레임워크는 체계개발 단계별 의사결정 목적과 M&S를 직접 연결함으로써 기존의 개별 모델 중심 접근을 체계개발 중심 접근으로 확장한다. 또한 모델 충실도와 검증 수준을 함께 관리함으로써 개발 단계에 적합한 분석 정확도를 확보할 수 있으며, 동일한 모델을 반복적으로 수정하거나 새롭게 구축하는 비효율성을 줄일 수 있다.

Table 2. Simplified radar M&S application framework

Development Phase	Decision Focus	M&S Level	Validation	Output
Requirement & Concept	Requirement definition & trade-off	Low-Medium (analytical + simplified models)	Analytical / reference models	System requirements & design options
Detailed Design	Component-level verification	High (RF, signal processing, tracking models)	Component test data	Design verification results
Integration & Test	System-level validation	High (HIL, SIL, integrated simulation)	System test data	Performance verification
Operation & Upgrade	Performance improvement & feedback	Adaptive / Data-driven (Digital Twin)	Operational data	System enhancement & model update

특히 요구사항 분석 단계에서 구축한 모델과 데이터를 상세설계 및 시험평가 단계까지 지속적으로 활용함으로써 개발 단계 간 추적성을 확보할 수 있다. 또한 운용단계에서 축적된 실제 데이터를 활용하여 모델을 지속적으로 갱신함으로써 차기 체계개발에도 활용 가능한 순환형 M&S 환경을 구축할 수 있다.

결과적으로 제안하는 프레임워크는 레이더 M&S를 단순한 성능 예측 도구에서 체계개발 전 과정을 지원하는 공학 플랫폼으로 확장하기 위한 적용 기준을 제공하며, 디지털 엔지니어링 기반의 차세대 레이더 체계개발 환경 구축에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

5.1 연구 요약

본 논문에서는 차세대 레이더 체계개발 과정에서 M&S의 활용 현황과 한계를 분석하고, 체계개발 단계별 의사결정 목적에 적합한 레이더 M&S 적용 프레임워크를 제안하였다. 기존 연구는 안테나, 전파환경, 신호처리 및 추적과 같은 개별 기술 분야의 모델 개발에 집중되어 있었으며, 체계개발 단계별 M&S 적용 기준과 활용 절차를 통합적으로 제시한 연구는 제한적이었다. 이에 본 논문에서는 기존 연구를 체계개발 관점에서 재분석하여 연구 공백을 도출하고, M&S 적용 원칙과 체계개발 단계별 적용 프레임워크를 제시하였다. 또한 개발 단계별 의사결정 목적, 모델 충실도, 검증자료 및 주요 산출물을 연계함으로써 기존 M&S 자산을 체계적으로 활용할 수 있는 적용 기준을 제안하였다.

5.2 기대효과

제안한 프레임워크는 체계개발 단계에 따라 적절한 M&S를 선택하고 모델 충실도를 효율적으로 관리할 수 있는 기준을 제공한다. 이를 통해 초기 단계에서는 설계 대안의 신속한 비교와 요구성능 분석을 지원하고, 상세설계 및 시험평가 단계에서는 실측자료 기반의 정밀한 성능 검증을 수행할 수 있다. 또한 동일한 모델과 데이터를 개발 단계별로 지속적으로 활용함으로써 모델의 재사용성과 추적성을 향상시키

고, 개발 비용과 기간을 절감하는 데 기여할 수 있다. 나아가 디지털 엔지니어링 기반의 체계개발 환경에서 모델과 데이터를 일관성 있게 관리함으로써 레이더 M&S를 개별 성능분석 도구에서 체계개발 전 주기를 지원하는 공학 플랫폼으로 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

5.3 연구의 한계 및 향후 연구

본 연구는 차세대 레이더 체계개발을 위한 레이더 M&S 적용 프레임워크를 제안한 개념 연구로서, 특정 레이더 체계에 적용하여 정량적인 성능 개선 효과를 분석하지는 않았다. 따라서 제안한 프레임워크의 효과는 향후 실제 체계개발 사례를 대상으로 적용성과 활용성을 검증할 필요가 있다. 또한 체계개발 단계별 모델 충실도의 정량적 평가 기준과 검증 절차를 구체화하고, 인공지능 기반 M&S, 디지털 트윈 및 실시간 운용데이터와의 연계 방안에 대한 연구가 추가적으로 수행된다면 제안한 프레임워크의 실효성과 활용 범위를 더욱 확대할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Merrill I. Skolnik, Introduction to Radar Systems (3rd ed.), McGraw-Hill, 2001.
- [2] Robert J. Mailloux, Phased Array Antenna Handbook (3rd ed.), Artech House, 2018.
- [3] ISO/IEC/IEEE 15288:2023, Systems and Software Engineering — System Life Cycle Processes, Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2023.
- [4] David D. Walden, Thomas M. Shortell, Garry J. Roedler, Bernardo A. Delicado, Odile Mornas, Yew-Seng Yip, David Endler, & INCOSE (Eds.), Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities (5th ed.), Wiley, 2023.
- [5] U.S. Department of Defense, DoD Instruction 5000.97: Digital Engineering, 2023.
- [6] Jithin Kannanthara, Darren Griffiths, Mohammed Jahangir, Jonathan M. Jones, Chris J. Baker, Michail Antoniou, Colin J. Bell, Henry White, Kai Bongs, & Yeshpal Singh, 'Whole System Radar Modelling: Simulation and Validation,' IET Radar, Sonar & Navigation, VOL. 17, NO. 6, 2023, pp. 1050–1060.
- [7] Yuhang Liu, Yu Shen, Lili Fan, Yonglin Tian, Yunfeng Ai, Bin Tian, Zhongmin Liu, & Fei-Yue Wang, 'Parallel Radars: From Digital Twins to Digital Intelligence for Smart Radar

Systems,' Sensors, VOL. 22, NO. 24, 2022, Article 9930.

[8] Zoltan Ferenc Magosi, Hexuan Li, Philipp Rosenberger, Li Wan, & Arno Eichberger, 'A Survey on Modelling of Automotive Radar Sensors for Virtual Test and Validation of Automated Driving,' Sensors, VOL. 22, NO. 15, 2022, Article 5693.

[9] U.S. Department of Defense, DoD Instruction 5000.61: DoD Modeling and Simulation Verification, Validation, and Accreditation, 2024.

[10] R. G. Sargent, 'Verification and Validation of Simulation Models,' Journal of Simulation, VOL. 7, NO. 1, 2013, pp. 12-24.