

유도무기 비행시험 시스템을 위한 모델 기반 운용절차의 설계 및 개선

박웅¹, 이재천^{2*}

¹국방과학연구소 제8기술연구본부, ²아주대학교 시스템공학과

Model-Based Design and Enhancement of Operational Procedure for Guided Missile Flight Test System

Woong Park¹, Jae-Chon Lee^{2*}

¹The 8th Research and Development Institute, Agency for Defense Development

²Dept. of Systems Engineering, Ajou University

요 약 비행시험 운용절차는 유도무기 비행시험 시스템 설계 및 구현을 위한 중요 산출물의 하나로서 비행시험 진행 단계별 임무계획, 수행방법, 안전대책 등을 포함한다. 유도무기체계 개발이 첨단화, 전략화 됨에 따라서 유도무기 비행시험은 점차 복잡화, 광역화 되고 있다. 이에 따라 시험안전을 확보하기 위해서는 비행시험 운용절차의 신뢰성 증대가 요구되었다. 특히, 새로운 개념의 비행시험 수행을 위해서 시험 전 불확실성을 예측하고 대비할 수 있도록 비행시험 운용절차 설계에서 M&S 기법의 적용을 통한 검증이 필요하게 되었다. 관련 연구로서 비행시험의 최적 프레임워크 개발 연구와 비행시험 프로세스 모델기반 개선 연구들이 발표되었지만, 상위 개념의 프로세스를 중심으로 한 결과로서 하위 수준의 비행시험 자원과 연동하는 비행시험 운용절차에 직접 적용하기에는 구체성이 부족하였다. 또한, 기존의 문서기반으로 구성된 비행시험 운용절차는 시험자원의 거동과 성능에 대한 분석능력의 한계로 시험자원의 중복과 누락, 직관적이지 않는 표현으로 운용자 간의 의사소통 저하, 그리고 다수의 비행시험에 적용하기 위한 확장성 부족 등의 문제가 발생하였다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 모델기반 시스템공학(MBSE) 기법의 적용을 통한 유도무기 비행시험 운용절차의 설계 방법을 제안하였다. 구체적으로 이전의 비행시험 정보를 기반으로 비행시험 진행 단계와 수행방안을 정의한 후, 요구사항으로부터 시험자원의 임무수행을 SysML 모델 기반으로 구성된 템플릿으로 제공하였다. 또한 시뮬레이션 분석을 통해서 정상상황과 비상상황에 대한 최적의 수행절차를 도출하였으며, 사례 적용을 통해서 검증하였다. 본 연구를 통해서 시험자원의 거동과 성능에 대한 분석능력의 증대로 신뢰성이 향상되었고, 다수의 비행시험에 적용할 수 있는 확장성으로 효율성이 증대되었으며, 향후 개발 예정인 유도무기 비행시험에도 지속적으로 활용할 수 있다.

Abstract The flight test operational procedure artifact includes mission planning, execution methods, and safety measures for each step of test progress. As the development of guided missiles has become more advanced and strategic, flight test has become increasingly complex and broadened. Therefore, increased reliability of the flight test operation procedures was required to ensure test safety. Particularly, the design of the flight test operational procedures required verification through M&S to predict and prepare for the uncertainty in a new test. The relevant studies have published the optimal framework development for flight tests and the model-based improvements of flight test processes, but they lacked the specificity to be applied directly to the flight test operational procedures. In addition, the flight test operational procedures, which consist of document bases, have caused problems such as limitations of analysis capabilities, insensitive expressions, and lack of scalability for the behavior and performance analysis of test resources. To improve these problems, this paper proposes how to design operational procedure of guided missile flight test system by applying MBSE(Model-based Systems Engineering). This research has improved reliability by increasing the ability to analyze the behavior and performance of test resources, and increased efficiency with the scalability applicable to multiple flight tests. That can be also used continuously for the guided missile flight tests that will be developed in the future.

Keywords : Flight Test, Operational Procedure, Guided Missile, MBSE, SysML

*Corresponding Author : Jae-Chon Lee(Ajou Univ.)

Tel: +82-31-219-3941 email: jaelee@ajou.ac.kr

Received January 11, 2019

Revised February 1, 2019

Accepted April 5, 2019

Published April 30, 2019

1. 서론

국내외 정세 변화로 유도무기체계 개발이 첨단화, 전략화 됨에 따라서 유도무기 비행시험은 점차 복잡화, 광역화 되고 있다. 이에 따라 새로운 개념의 비행시험 소요가 크게 증가하고 있으며, 시험안전을 확보하기 위한 비행시험 시스템의 신뢰성 증대가 요구되는 상황이다. 비행시험 시스템은 유도무기의 요구된 성능을 확인하기 위해 실시간으로 비행 상태를 감시하고, 비정상상황 발생 시 안전조치를 수행할 수 있도록 시험자원을 할당해야 하며, 비행시험 진행 단계별 임무계획, 수행방법, 안전대책 등 시험자원의 운용절차를 포함한 종합적인 설계와 검증 을 통해서 신뢰성을 확보해야 한다. 관련연구로서 비행 시험 자원의 최적 배치 연구를 발표하였으나[1], 비행시험 시스템 전체에 대한 운용절차까지는 진행되지 못한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 비행시험 운용절차를 개선하기 위한 추가 연구를 수행하게 되었다. 비행시험 운용절차는 유도무기 비행시험 시스템 설계 및 구현을 위한 중요 산출물로서 반드시 시험 전 검증되어야 한다. 특히 새로운 개념의 비행시험 경우에는 M&S를 통해서만 운용절차를 검증해야 되기 때문에 신뢰성 확보가 절대적으로 요구되며[2], 다수의 유도무기 비행시험에 대응하기 위해서는 운용절차의 설계 개선을 통한 효율성 증대가 필요하게 되었다.

기존의 문서기반으로 구성된 비행시험 운용절차는 시험자원의 거동과 성능에 대한 분석능력의 한계로 주요 시험자원의 중복 및 누락 발생에 대해 확인이 어렵고, 요구사항 변경에 대한 추적관리가 미흡했으며, 직관적이지 않은 표현과 운용자 간의 의사소통 저하로 혼선을 야기시키는 문제가 발생되었다. 이러한 문제는 최근 비행시험 소요가 증가하는 상황에서 자칫 비행시험 실패로 연결될 수 있기에 개선을 통한 신뢰성 확보가 강구되어야 한다.

이를 위해서 본 연구에서는 MBSE(Model-based Systems Engineering) 적용을 통한 유도무기 비행시험 운용절차 설계 방법을 제안하였으며, 다음과 같이 논문을 구성하였다. 1장에서는 비행시험 운용절차를 개선해야 하는 필요성을 기술하였고, 2장에서는 선행연구 분석을 통한 문제정의와 연구목표를 제시하였다. 3장에서는 이전의 비행시험 경험으로 비행시험 진행 단계와 수행방안을 정의한 후, 요구사항으로부터 시험자원의 임무수행

을 시스템 모델링 표준 언어인 SysML(System Modeling Language)로 구현한 템플릿으로 제공하였으며, 4장에서는 시뮬레이션 분석을 통해서 정상상황과 비정상상황에 대한 최적의 수행절차를 도출하고 사례적용을 통해 검증하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 연구 수행 결과와 공헌을 정리하였다.

2. 선행연구 분석

2.1 유도무기 비행시험 프로세스 개선 연구

최근 들어 유도무기 비행시험 업무절차의 일관성 부재를 개선하기 위해서 비행시험 표준 프로세스와 산출물을 제시한 연구 그리고 모델기반의 비행시험 프로세스와 안전조치 프로세스를 통합을 제안한 연구가 발표되었다[3]. 이와 같은 유도무기 비행시험관련 연구는 상위 개념의 프로세스를 중심으로 진행되고 있으나, M&S 성능분석을 통한 정량적 시험자원의 임무와 기능 할당과 비행시험 거동분석을 통한 비정상상태의 대처방법과 같이 하위 개념까지 체계적으로 구현해야 하는 비행시험 운용절차에 직접 적용하기에는 구체성이 부족하였다. 따라서 상위에서 하위 개념까지 일관성을 확보하면서 체계적인 비행시험 운용절차의 설계를 위한 방법론 적용이 필요하게 되었다.

2.2 MBSE 적용 연구

2.2.1 MBSE와 SysML

MBSE 방법론은 INCOSE(International Council on Systems Engineering)에 의해 2007년부터 시스템 수명주기 동안에 분산된 모델을 통합하여 체계적으로 관리하기 위해서 제시되었으며, 현재는 시뮬레이션 분석과 가시화가 가능한 통합 모델 아키텍처 개발 단계까지 발전하고 있다[4]. MBSE 활성화를 위한 도구로는 SysML이 사용되고 있다. SysML은 그래픽 모델링 언어로서 하드웨어, 소프트웨어, 정보, 사람, 절차, 그리고 시설을 포함한 복잡한 시스템을 지정, 분석, 설계 및 검증하기 위해 사용되고 있다[5]. 최근에는 SysML 기반의 MBSE 방법론을 적용한 연구결과들이 제시되고 있으며, 상위 개념에서 하위 개념까지 일관성과 추적성을 확보하며 체계적인 시스템 개발을 위해서 적용을 확대하고 있는 추세이다[6].

2.2.2 INCOSE CubeSat 프로젝트 적용

INCOSE의 후원으로 구성된 전문가 그룹인 SSWG(Space Systems Working Group)은 복잡하고 제약조건이 많은 시스템인 소형 위성체 CubeSat 개발 프로젝트에 MBSE 적용을 제안하였고[7], SysML 기반의 프레임워크를 설정하였으며[8], CubeSat의 임무 시뮬레이션 분석에 통합된 MBSE 방법론을 활용하며[9], MBSE 방법론 적용을 확대시켰다. 또한 CubeSat과 유사한 소형 위성체 개발과 관련하여 여러 프로젝트의 개념설계 단계부터 적용이 가능하도록 CubeSat 참조모델을 연구함[10-13]으로써 프로젝트의 협력 및 재활용성 증대를 기대하고 있다. 최근에는 CubeSat의 상세 거동분석을 위해 MBSE를 적용하고 있는 중이다[14].

2.2.3 NASA Pathfinder 프로젝트 적용

NASA(National Aeronautics and Space Administration)에서는 화성에 유인 우주선을 보내는 캠페인을 진행하고 있다. 그 중에서 Pathfinder 프로젝트의 전체 시스템 설계에 MBSE를 적용하여 관리하고, 문제발생 시 M&S를 통해 MBSE 환경에서 해결하려고 노력하고 있다[15]. 현재는 다수의 프로젝트에 MBSE를 적용함으로써 재활용성과 전문가들 간의 협력성 증가를 기대할 수 있는 단계까지 이르렀다고 주장하고 있다[16].

2.3 무기체계 시험평가에 MBSE 적용 연구

2012년 MBSE를 무기체계 비행시험에 적용함으로써 효율성 증대를 주장한 연구와[17], 무인항공 기체계의 개념설계에 SysML 모델을 활용함으로써 산출물 간의 연동성을 검증한 연구가 발표되었으나[18], MBSE 기술 수준이 성숙되지 않았던 시기이므로 제한적이고 개념적으로 적용할 수밖에 없었으며, 후속 연구는 아직 발표되지 않고 있다. 최근 들어 표적탐지체계의 기본설계 산출물 생성을 개선하기 위해 SysML 기반의 M&S 기법을 활용하여 일부 최적화 설계를 진행한 연구가[19] 발표되었지만, 이 역시 상위 개념에서 시스템을 중심으로 한 기본설계 방법으로 실제 비행시험 운용절차에 적용하기에는 구체성이 부족한 상황이다.

2.4 문제정의 및 연구목표

선행연구와 같이 무기체계 시험평가분야, 그 중에서도 유도무기 비행시험은 아직 개념적으로 MBSE를 적용

하는 단계에 머무르고 있다. 기술적으로 성숙되고 산업분야에서 검증된 MBSE를 유도무기 비행시험 운용절차의 설계에 적용할 수 있다면, 기존의 문서기반으로 구성된 비행시험 운용절차의 문제점 개선을 통해서 신뢰성을 향상시킬 수 있고, 다수의 유도무기 비행시험에 대응할 수 있도록 비행시험 운용절차의 설계방법을 개선한다면 효율성을 증대시킬 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 MBSE를 적용하여 유도무기 비행시험 운용절차의 신뢰성과 효율성을 개선하는 것을 연구목표로 하였다. MBSE를 적용하기 위해서는 전체적인 관점에서 유도무기 비행시험 시스템에 대한 요구사항을 분석하고, 다양한 비행시험 경험을 토대로 비행시험 진행 단계와 수행방안을 생성하며, 모델기반의 시험자원 시뮬레이션 분석을 통해 시험자원의 임무와 기능을 할당할 수 있도록 비행시험 운용절차를 설계하고 그 결과를 검증해야 한다. 이를 효율적으로 수행하기 위해서는 시험자원의 거동과 성능에 대해 분석이 가능하도록 M&S 환경을 구축하고, 요구사항으로부터 시험자원의 임무수행까지 비행시험 운용절차를 체계적으로 설계할 수 있도록 SysML 기반의 M&S 방법을 적용해야 하며, 상위의 개념설계에서 하위의 상세설계까지 변경에 대한 추적관리를 지속적으로 수행할 수 있어야 한다.

3. 유도무기 비행시험 운용절차 모델링

3.1 MBSE를 적용한 유도무기 비행시험 운용절차 도출 방안

유도무기 비행시험 운용절차는 일반적인 V 모델과 같이 상위 개념설계 단계로부터 하위 상세설계 단계까지 설계가 진행된다. Fig. 1과 같이 본 논문에서는 이들 단계를 효율적으로 연결할 수 있도록 중간 단계에서 M&S를 수행하기 위한 템플릿 적용을 제안하였다. M&S 템플릿은 SysML 기반의 시뮬레이션 도구인 CSM(Cameo Systems Modeler)과 수치 시뮬레이션 도구인 MATLAB을 연계하여 구현함으로써 운용성과 확장성을 확보할 수 있다. 즉, 상위 단계에는 민첩한 설계결과를 제공할 수 있고, 하위 단계에는 여러 상세 분석도구와 연동할 수 있도록 재활용성을 증대시키며, 전체적으로는 변경사항에 대한 추적관리가 가능하여 체계적으로 설계를 수행할 수 있다.

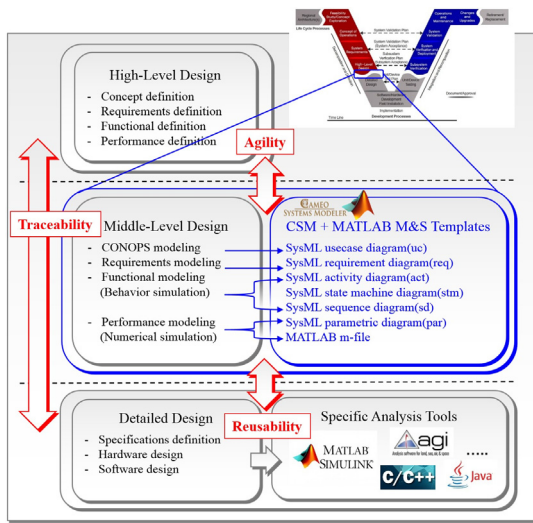


Fig. 1. Proposed M&S templates by applying MBSE

3.2 SysML 기반의 유도무기 비행시험 운용절차 모델링

3.2.1 모델구조 정의

운용절차 모델의 구조는 Fig. 2와 같이 비행시험 진행에 따른 거동 모델링을 중심으로 요구사항, 구조, 그리고 수치 모델링이 연계되어 구성된다. 수치 모델링은 파라미터와 변수의 정의 및 행렬 계산을 위해 SysML parametric diagram과 MATLAB을 사용하여 구성하였다.

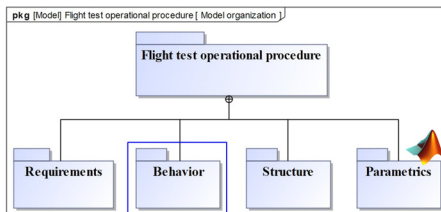


Fig. 2. Model organization

3.2.2 운용개념 정의

장거리 비행시험 적용을 위해 Fig. 3과 같이 두 개의 시험구역으로 나누어 CONOPS(Concept of Operations)를 정의하였고, 발사 전 점검사항과 비상상황 발생 시 수행방안을 포함한 컨텍스트와 이해관계자의 임무 및 관계를 정의하였다.

3.2.3 요구사항 모델링

요구사항은 Fig. 4와 같이 기능/성능 요구사항과 제약

요구사항으로 정의하였고, 요구사항 간의 관계와 추적성을 생성하였다. 요구사항을 기준으로 임무 및 기능 모델링과 성능 모델링을 수행하게 된다.

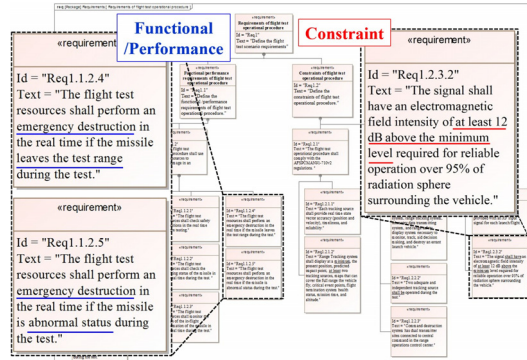


Fig. 4. Modeling of requirements

3.2.4 진행 단계 모델링

비행시험 진행 단계를 시간관점에서 발사 전, 발사 후 비행, 비행 종료 단계로 구분하고, 각 단계별 MCC(Mission Control Center), 유도탄, 컴퓨터, FTS(Flight Termination System), RADAR, 그리고 TLM(Telemetry) 통제원의 임무와 기능을 거동관점에서 Fig. 5와 같이 모델링하였다. 비행 단계에서는 정상상황과 비상상황으로 나눈 후, 각 상황에 맞는 운용절차를 모델링하였다. 각각의 모델들은 임무 및 기능 모델링과 성능 모델링을 통해서 구체화 된다.

3.2.5 임무 및 기능 모델링

Fig. 6은 발사 전 컴퓨터 통제원이 TSPI(Time and Space Position Information) 자료의 확인을 통해서 준비상태를 보고하는 거동을 나타내었다. 기존의 문서로 작성된 운용절차인 “컴퓨터 통제원은 TSPI 준비상태를 보고하라.” 문장 속에 담겨진 의미를 구체화해서 표현함으로써 RADAR 통제원, FTS 통제원 그리고 TLM 통제원과의 연관성을 통한 상호 거동을 확인할 수 있다. Fig. 7은 “FTS 통제원은 비상폭파(Emergency Destruction, ED)를 수행하라.” 라는 문장의 거동을 구체화해서 나타내었다. 요구사항에서 정의한 유도탄이 시험구역을 벗어나거나 유도탄 내 비 정상상황이 발생하였을 때, MCC 통제원은 TSPI 자료를 확인하고 FTS 통제원에게 비상폭파 명령을 전달하며, FTS 통제원은 비상폭파 신호를 인가하고 그 결과를 MCC 통제원에게 보고하게 된다.

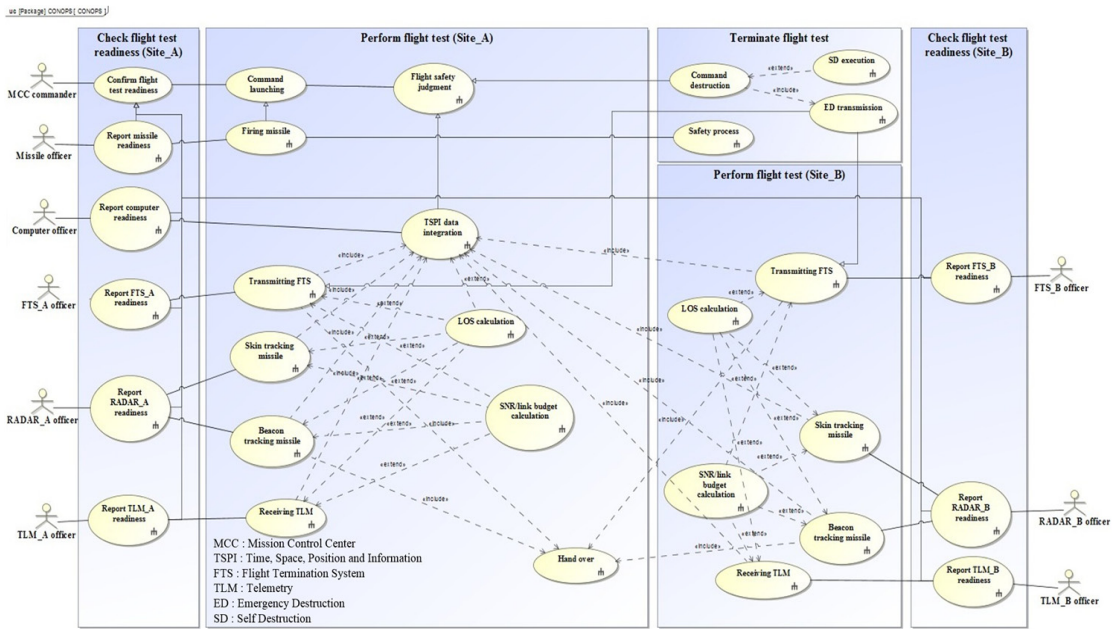


Fig. 3. Modeling of CONOPS

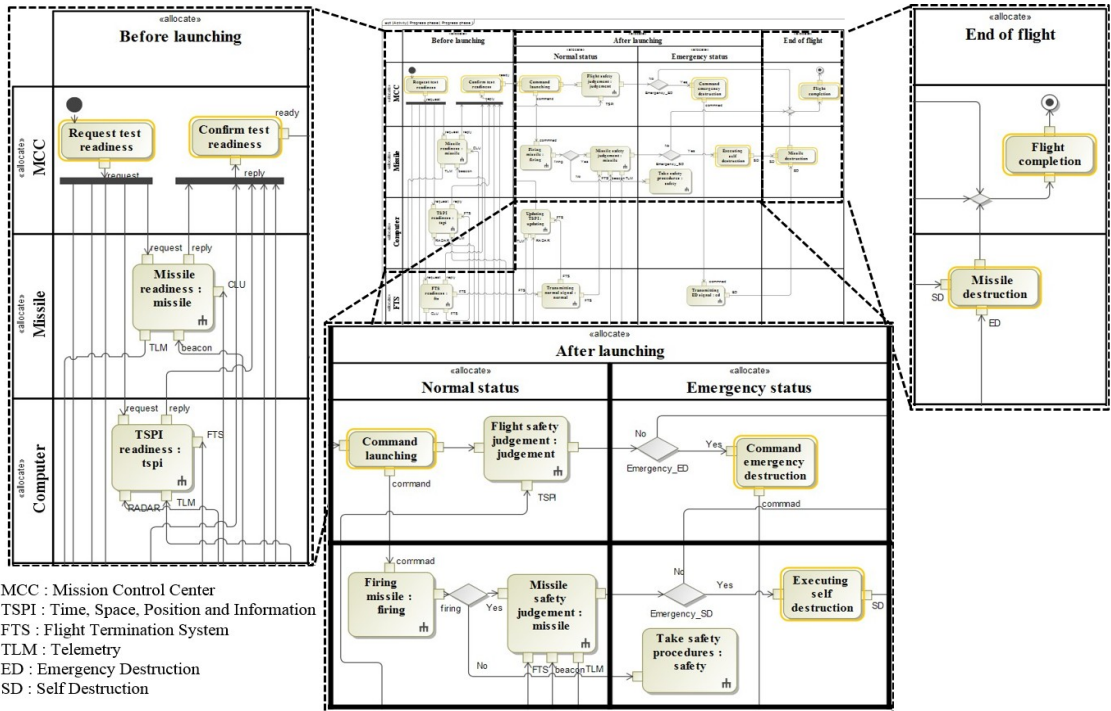


Fig. 5. Modeling of progress phase

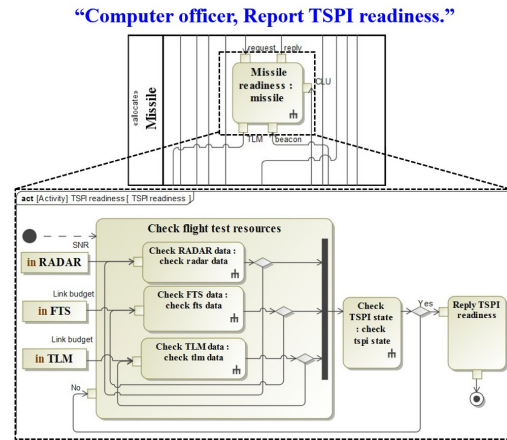


Fig. 6. Functional modeling of TSPI readiness

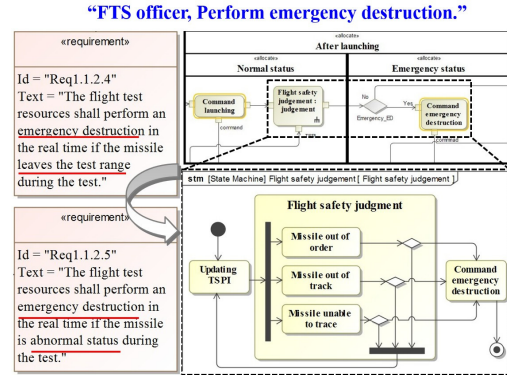


Fig. 7. Functional modeling of flight safety judgement

3.2.6 성능 모델링

장거리 비행시험의 경우에는 지형과 전파 특성으로 인하여 하나의 시험자원이 전 시험구역을 담당하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우에는 반드시 교차 추적(hand over)을 수행함으로써, 적어도 두 개 이상의 시험자원이 전 시험범위를 담당해야 된다는 요구사항을 충족시켜야 한다. Fig. 8은 “RADAR_A 통제원과 RADAR_B 통제원은 교차 추적을 수행하라.” 문장을 구체화해서 나타낸 것이다.

여기서, 교차 추적을 수행하기 위해서는 LOS (Line of Sight)와 SNR(Signal to Noise Ratio) 계산이 수반되어야 한다. 이를 위해서는 Fig. 9와 같이 유도탄의 위치와 시험자원의 위치에 따른 상대거리(R)와 유도탄의 고도(H)를 계산해야 한다. 시험자원의 위치가 다를 경우 각각의 상대거리와 고도가 모두 변경되므로, 본 논문에서는 MATLAB을 활용하여 일괄 계산을 수행하였다.

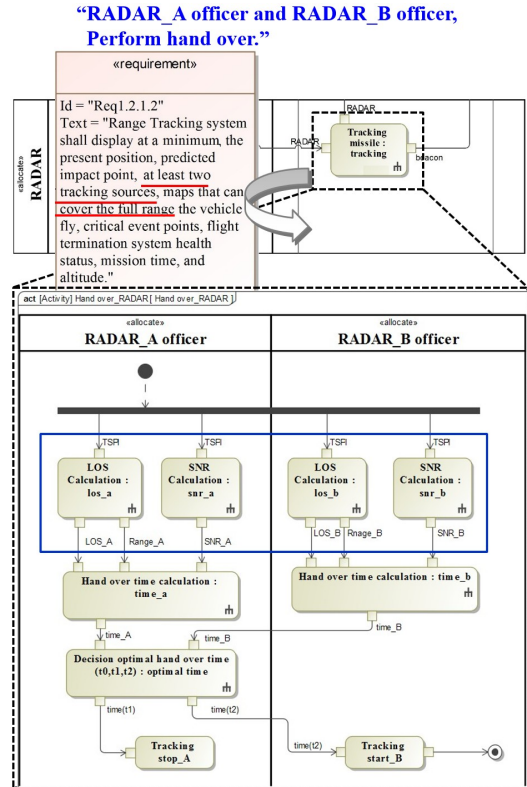


Fig. 8. Functional modeling of hand over

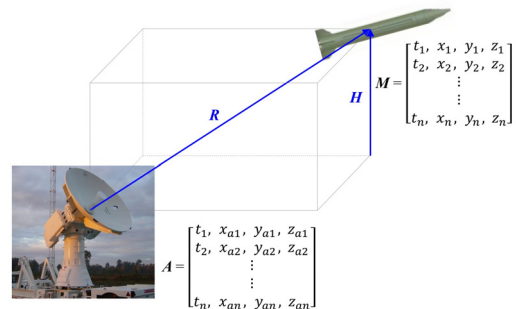


Fig. 9. Calculation of missile position

$$\|R_o\| = \sqrt{(X-X_o)^2 + (Y-Y_o)^2 + (Z-Z_o)^2} \quad (1)$$

$$H_o = \|Z_o\| \quad (2)$$

위의 결과를 이용하여 식 (3)과 같이 LOS를 계산할 수 있으며, Fig. 10과 같이 SysML parametric diagram 모델링을 통해서 계산을 수행하게 된다.

$$LOS_o = 4.11(\sqrt{z_{a1}} + \sqrt{H_o}) \quad (3)$$

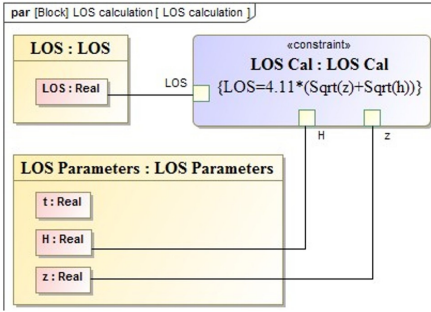


Fig. 10. Performance modeling of LOS

마찬가지로 식 (4)와 같이 SNR를 계산할 수 있으며, Fig. 11과 같이 SysML parametric diagram 모델링을 통해서 계산을 수행하게 된다.

$$SNR_{R_0} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_e BFL \|R_0\|^4} \quad (4)$$

- P_t : Transmitted power
- G : Antenna gain of radar
- λ : Transmitted wavelength
- σ : Radar cross section
- k : Boltzman's constant
- T_e : Effective noise temperature
- B : Radar operating bandwidth
- L : Radar loses
- F : Noise figure

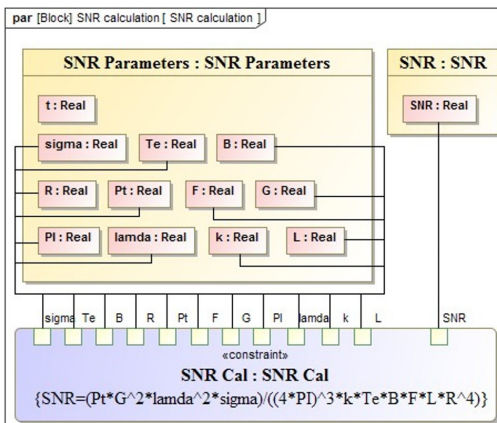


Fig. 11. Performance modeling of SNR

FTS와 TLM의 경우에는 식 (5)와 같이 Link budget 으로 전송성능을 계산하며, Fig. 12와 같이 모델링할 수

있다. 여기서, 요구사항에서 정의한 최소 기준 레벨에서 12 dB 이상의 신호가 확보되는 지 확인해야 한다.

$$\text{Link budget}_a = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{FS} - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (5)$$

$$\text{Where, } L_{FS} = 20\log_{10}(\|R_0\|) + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) - G_{TX} - G_{RX}$$

- P_{TX} : Transmitter power
- G_{TX} : Transmitter antenna gain
- L_{TX} : Losses form transmitter
- L_{FS} : Free space loss
- L_M : Misc. losses
- G_{RX} : Receiver antenna gain
- L_{RX} : Losses from receiver
- f : frequency
- c : Speed of light in vacuum

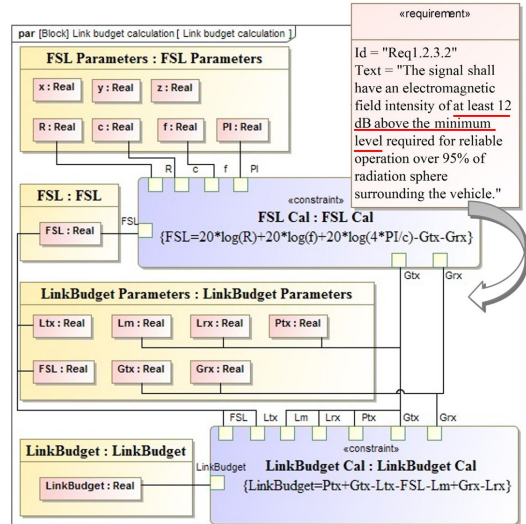


Fig. 12. Performance modeling of link budget

4. 유도무기 비행시험 사례 적용 및 검증

유도무기 비행시험 운용절차 모델링의 검증을 위해서 시대공 유도무기체계의 표적 유도탄을 대상으로 선정하였다. 동일한 성능의 시험자원을 발사지역(Site_A)과 탄

착지역(Site_B) 부근에 나누어 배치하였고, 예상되는 탄도를 총 12회 계산한 후, 가상의 정상상태와 비상상태 시나리오를 생성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

4.1 정상상태의 비행시험 시나리오 적용

유도무기 비행시험에서 가장 먼저 고려해야 하는 사항은 전 시험구역에서 LOS의 확보 여부를 판단하는 것이다. 성능 모델링에서 정의한 LOS 계산을 통하여 Fig. 13에 결과를 전시하였다. 발사지역에서는 발사 후 315 초 이후에, 탄착지역에서는 발사 후 5.4초까지 LOS가 확보되지 않음을 알 수 있다. 따라서 요구사항에서 정의한 전 시험범위를 확보하기 위해서는 반드시 두 지역에 시험자원을 배치해서 비행시험을 수행해야 한다.

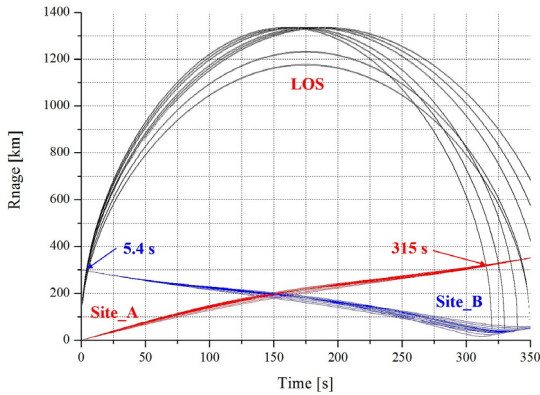


Fig. 13. Simulation of RADAR LOS

두 지역에 배치된 시험자원은 상호 간섭을 제거하기 위해 교차 추적을 수행해야 한다. RADAR 간의 최적의 교차 시점을 계산하기 위해서 성능 모델링에서 정의한 SNR 계산을 활용하였고, 그 결과를 Fig. 14에 표시하였다. RADAR_B의 SNR이 확보되는 시점은 발사 후 75초 이후이며, RADAR_A의 SNR이 확보되지 않는 시점은 발사 후 199초 이후이다. 따라서 75초와 199초 사이에 교차 추적을 수행해야 되며, 최적의 교차 시점인 150초 전후에 교차 추적을 시도해야 한다. Fig. 15는 LOS와 SNR 정보가 갱신된 교차 추적 모델링을 나타내며, 이를 이용하여 정상상태의 비행시험 운용절차를 진행하게 된다.

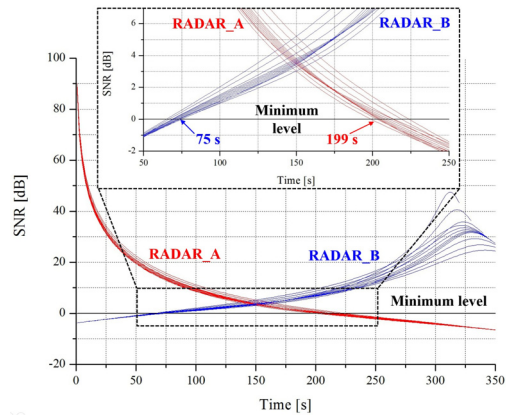


Fig. 14. Simulation of RADAR SNR

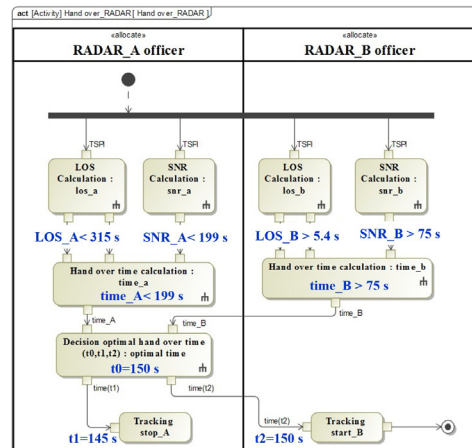


Fig. 15. Updated modeling of hand over

4.2 비상상태의 비행시험 시나리오 적용

Fig. 16에는 FTS의 정상상태와 비상상태의 Link budget을 계산한 결과를 전시하였다. 정상상태에서는 대부분 최소 기준 레벨보다 12 dB 이상의 양호한 수치를 나타내고 있다. 하지만 만약 확대구간과 같이 240초 전후에 비정상적인 신호가 수신 된다면, 우선 유도탄의 TSPI 정보를 확인 한 후, 비상상태로 판단될 경우 바로 비상폭파를 시도해야 한다. 하지만 FTS_A와 FTS_B 모두 통신 불능상태이기에 비상폭파 신호를 전달할 수 없는 경우가 발생된다. 이러한 상황에서 안전조치를 수행하기 위해서 MCC 통제원은 Fig. 17과 같이 RADAR 통제원에게 비콘(beacon) 신호의 송신 중단 명령을 통해 자동폭파(Self Destruction, SD) 기능을 활성화할 수 있다. 자동폭파 기능은 FTS 신호와 RADAR 비콘 신호가 동시에 송신되지 않을 때 유도탄이 스스로 폭파 될 수

있도록 정의되었기 때문이다. 이렇듯 거동분석을 통해 순간 상황을 판단하고 대처할 수 있도록 비행시험 운용 절차를 설계할 수 있다. 이러한 사항은 기존의 문서기반의 운용절차에는 확인될 수 없었던 부분이다.

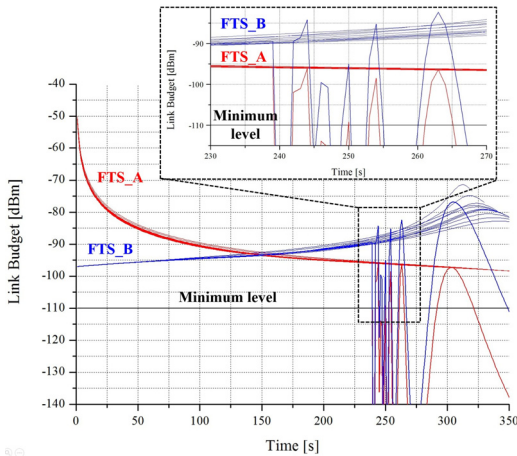


Fig. 16. Simulation of FTS link budget

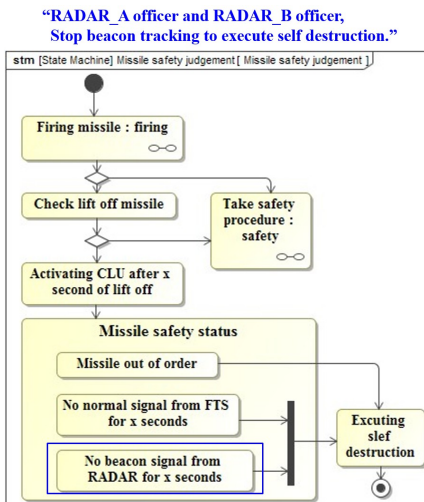


Fig. 17. Executing self destruction

5. 결론

유도무기 비행시험 시스템 설계에 대한 중요 산출물이며, 유도무기의 요구된 성능을 확인하기 위한 임무계획, 수행방법, 안전대책 등을 포괄하는 비행시험 운용절차를 설계 및 개선하기 위해서 MBSE 방법론을 적용하

였다. SysML 기반의 시뮬레이션 도구인 CSM과 수치 시뮬레이션 도구인 MATLAB을 활용한 모델링 템플릿을 개발하였고, 시뮬레이션 분석을 통해서 기존의 문서기반으로 구성된 비행시험 운용절차의 문제점을 개선하였으며, 정상상태의 시나리오와 비정상상태의 시나리오 적용을 통해서 검증하였다. 특히, 정상상태에서는 수치 시뮬레이션을 통해서 최적의 교차 추적 시점을 계산한 후 시험자원의 거동에 직접 반영할 수 있었으며, 비정상상태에서는 문서기반의 운용절차에서 서술되지 못했던 기능을 거동 시뮬레이션을 통해서 식별함으로써 비정상상태에 대처할 수 있는 능력을 증대하는 등 비행시험 신뢰성 향상에 기여하였다. 또한 M&S 템플릿으로 개발함으로써 다수의 유도무기 비행시험에 적용할 수 있으며, 향후 개발 예정인 유도무기 비행시험 운용절차에 반영하여 지속적으로 활용할 예정이다.

References

- [1] W. Park, J.C. Lee, "Model-Based Approach to Flight Test System Development to Cope with Demand for Simultaneous Guided Missile Flight Tests," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol.20, pp.268-277, Jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.1.268>
- [2] J. Park, C.H. Seo, "International flow and development strategies for the test and evaluation of the weapons system," *Defense and Technology*, pp. 90-101, Feb. 2013.
- [3] S.H. Yeh, "Model-Based Improvement of Flight Test Process by Incorporating Safety for Guided Weapon Systems," Thesis (Ph.D.), Ajou Univ. Department of Systems Engineering, Aug. 2017.
- [4] International Council on Systems Engineering (INCOSE), INCOSE Website. [Online]. Available: <https://www.incose.org/products-and-publications/se-vision-2025>
- [5] Object Management Group (OMG), OMG Website. [Online]. Available: <http://www.omgsysml.org/what-is-sysml.htm>
- [6] S. Friedenthal, M. Sampson, "Model-based systems engineering (MBSE) initiative," in *INCOSE MBSE Workshop*, Jacksonville, Florida, Jan. 21, 2012.
- [7] S.C. Spangelo, D. Kaslow, C. Delp, B. Cole, L. Anderson, E. Fosse, B.S. Gilbert, L. Hartman, T. Kahn, and J. Cutler, "Applying model based systems engineering (MBSE) to a standard cubesat," in *Proc. IEEE Aerospace Conference*, MT, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1109/AERO.2012.6187339>
- [8] S.C. Spangelo, J. Cluter, L. Anderson, E. Fosse, L. Cheng, R. Yntema, M. Bajaj, C. Delp, B. Cole, G.

Soremekun, and D. Kaslow, "Model based systems engineering (MBSE) applied to radio aurora explorer (RAX) cubesat mission operational scenarios," in *Proc. Aerospace Conference*, MT, Mar. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1109/AERO.2013.6496894>

- [9] D. Kaslow, G. Soremekun, H. Kim, and S.C. Spangelo, "Integrated model-based systems engineering (MBSE) applied to the simulation of a cubesat mission," in *Proc. Aerospace Conference*, MT, Mar. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1109/AERO.2014.6836317>
- [10] D. Kaslow, L. Anderson, S. Asundi, B. Ayres, C. Iwata, B. Shiotani, and R. Thompson, "Developing a cubesat model-based system engineering (MBSE) reference model - interim status," in *Proc. IEEE Aerospace conference*, MT, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1109/AERO.2015.7118965>
- [11] D. Kaslow, B. Ayres, M.J. Chonoles, S.D. Gasster, L. Hart, C. Massa, R. Yntema, and B. Shiotani, "Developing a cubesat model-based system engineering (MBSE) reference model - interim status #2," in *Proc. IEEE Aerospace conference*, MT, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500592>
- [12] D. Kaslow, B. Ayres, P. Cahill, L. Hart, and R. Yntema, "Developing a cubesat model-based system engineering (MBSE) reference model - interim status #3," in *Proc. IEEE Aerospace Conference*, MT, Mar. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/AERO.2017.7943691>
- [13] D. Kaslow, B. Ayres, P. Cahill, C. Cronney, L. Hart, and A. Levi, "Developing a cubesat model-based system engineering (MBSE) reference model - interim status #4," in *Proc. AIAA Space and Astronautics Forum and Exposition*, Orlando, FL, Sep. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2018-5328>
- [14] D. Kaslow, B. Ayres, P. Cahill, L. Hart, and R. Yntema, "A model-based systems engineering (MBSE) approach for defining the behaviors of cubesats," in *Proc. Aerospace Conference*, MT, Jun. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/AERO.2017.7943865>
- [15] N. Phojanamongkolkij, K.A. Lee, S.T. Miller, K.A. Vorndran, K.R. Vaden, E.P. Ross, B.C. Powell, and R.W. Moses, "Modeling to Mars NASA model based systems engineering pathfinder effort," in *Proc. AIAA Space and Astronautics Forum and Exposition*, Orlando, FL, Sep. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2017-5235>
- [16] E. Parrott, "The value of successful MBSE adoption," in *No Magic World Symposium*, Allen, TX, May 22, 2016.
- [17] F.C. Alvidrez, "Using model based system engineering in flight test," *ITEA Journal*, vol.33, pp.145-152, Jun. 2012.
- [18] Y.M. Kim, J.C. Lee, "On the Use of SysML Models in the Conceptual Design of Unmanned Aerial Vehicles," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol.37c, pp.201-216, Feb. 2012.
- [19] Y.D. Shin, "Basic System Design and Design Specifications Optimization Using SysML-Based M&S Methods for the National Defense Acquisition System," Thesis (Ph.D.), Ajou Univ. Department of Systems Engineering, Feb. 2017.

박 응(Woong Park)

[정회원]



- 2016년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 (박사 과정)
- 2001년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야>

유도무기 시험평가, 시스템 공학 (SE), Model-Based SE (MBSE)

이 재 천(Jae-Chon Lee)

[정회원]



- 1977년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 1979년 2월 / 1983년 8월 : KAIST 통신시스템 (석/박사)
- 1984년 9월 ~ 1985년 9월 : 미국 MIT Post Doc. 연구원
- 1985년 10월 ~ 1986년 10월 : 미국 Univ. of California 방문연구원
- 1990년 2월 ~ 1991년 2월 : 캐나다 Univ. of Victoria (Victoria, BC) 방문교수
- 2002년 3월 ~ 2003년 2월 : 미국 Stanford Univ. 방문교수
- 1994년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 정교수

<관심분야>

시스템공학 (SE), Model-Based SE (MBSE), System Safety, System T&E, Modeling & Simulation