

## 論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(6), 508-516(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.6.508

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

## 항공우주 시스템 개발용 M&S의 VV&A: M&S 수명주기 모델 및 개발 패러다임 제안

김창주\*, 이도현\*\*, 허성욱\*\*, 박상선\*\*\*, 조인제\*\*\*

### M&S VV&A for Aerospace System Development : M&S Life-Cycle Model and Development Paradigm

Chang-Joo Kim\*, Dohyeon Lee\*\*, Sungwook Hur\*\*, Sang-Seon Park\*\*\* and In-Je Cho\*\*\*

Dept. Aerospace Systems Engineering, Engineerong College, Konkuk University\* ,\*\*

Aircraft Research &amp; Development Division, Korea Aerospace Industries, LTD.\*\*\*

#### ABSTRACT

The M&S (Model and Simulation) has been increasingly used in the wide area of applications and the official certification or accreditation of the M&S are becoming a mandatory requirement to prevent the risks and mishaps caused by the usage of inadequate M&Ss or by misuses of the M&S. This paper threats the VV&A (Verification, Validation, and Accreditation) for the M&S used in the development of the aerospace systems, where most M&S used in the development are derived from the physical laws and the final validation data are typically obtained through a series of flight tests after the prototype production. Considering these unique features, the paper proposes the M&S life-cycle model and development paradigm suitable for the aerospace-system development and accesses the proposed ones by comparative investigation on the relevant regulations and related literatures.

#### 초 록

항공우주 시스템 개발에 있어 M&S (Modeling and Simulation)의 광범위한 사용이 보편화되고 있고 인증(Certification) 혹은 인정 (Accreditation)을 통해 부적절한 M&S의 사용으로 인한 사고나 위험을 제도적으로 방지하려는 노력이 있어 왔다. 본 연구는 이와 관련된 M&S의 VV&A (Verification, Validation, and Accreditation) 활동을 다루었다. 항공우주 M&S는 항공우주시스템 개발에 활용을 목적으로 하고 대부분 물리법칙 기반의 모델링 기법을 사용한다. 또한, 시제제작 후 검증용 데이터가 비행시험을 통해 최종 확보된다는 점에서 여타의 M&S와는 다른 접근방법이 필요하다. 본 연구는 이러한 특성을 고려하여 M&S 개발과 VV&A의 시작점이라 할 수 있는 항공우주 시스템 개발에 적합한 M&S의 수명주기 모델과 개발 패러다임을 다양한 문헌 연구를 토대로 제안하였다.

**Key Words :** M&S(Model and Simulation, 모델과 시뮬레이션), VV&A(Verification, Validation, and Accreditation, 입증, 검증, 인정), Aerospace(항공우주)

† Received : February 23, 2017      Accepted : May 18, 2017

\* Corresponding author, E-mail : cjkim@konkuk.ac.kr

## I. 서 론

민수용 및 군용 시스템 개발 프로그램 들이 모델링 및 시뮬레이션 (M&S: Modeling and Simulation)에 대한 의존이 심화됨에 따라 부적절한 M&S의 사용이나 M&S의 부적절한 사용 등에 따른 위험(risks)이 증가하고 있고 M&S 개발에 소요되는 비용과 시간이 전체 사업비용에서 차지하는 비율이 크게 증가하고 있다. 이에 대응하기 위한 수단인 M&S VV&A는 사용목적(intended use)에 적합한 M&S 개발을 보장하기 위해 M&S의 체계적인 입증(Verification)과 검증(Validation) 절차를 확보하여 특정 사용목적에 적합한지를 인정 혹은 인증 (Accreditation or Certification)할 수 있는 공식적인 절차로 정의할 수 있다[1,2,3]. 또한, M&S VV&A는 세부 활동의 산출물들에 대한 체계적인 문서화를 통해 향후 사업에서 기 개발된 M&S의 재사용을 보장함으로써 개발비용과 위험을 크게 줄일 수 있는 수단을 제공한다.

본 연구는 MIL-HDBK-516C 기반의 군용항공기 표준감항기준[2]이 요구하는 M&S VV&A 절차의 개발과 연계된 연구이다. 그러나, 제안내용은 일반적인 항공우주 시스템 개발용 M&S에 적용이 가능하다. 항공기 개발에 사용되는 M&S는 VV&A 활동의 수행과 MIL-STD-3022[4]에 따른 결과의 문서화가 요구되고 인정을 받은 후 개발에 사용하도록 규정하고 있다. 이들 미 국방성 (DoD: Department of Defence)문서들과 관련 RPGs (Recommended Practice Guides for DoD M&S) 문서들은 모든 국방관련 M&S에 공통 적용이 가능한 일반화된 지침을 기술하고 있기 때문에 항공우주 시스템 개발에 사용되는 해석, 설계 및 개발용 M&S에 적합한 절차의 개발을 위해서는 추가적인 검토가 필요하다.

M&S VV&A에 대한 접근방법은 크게 (1) SW V&V (Verification and Validation), (2) DoD M&S, (3) Computational Mechanics 등의 3개 분야로 구분되는 방향으로 연구가 진행되어 왔다 [5]. SW V&V는 IEEE, SQA, ANS, ISO 등의 활동조직의 주도로 연구가 진행되고 있는 반면 RWS (Real World System)에 대한 M&S의 예측 정확도는 검증 대상에 포함되지 않는다. 이점은 SW와 M&S의 최종목적이 서로 다른 점 (SW는 요구기능의 수행에, M&S는 RWS 현상에 대한 예측능력에 초점을 둠)이 반영된 결과이다. 한편, DoD M&S는 탄도 미사일이나 전장 시뮬레이션과 같은 상위 수준의 M&S에 초점을 두어

대부분의 M&S가 물리법칙과는 거리가 있는 사회과학 및 인간공학 등을 포함한 모델링에 초점을 두고 있다. (3)의 전산역학 분야는 ASME, AIAA CFD, NASA 등의 연구그룹의 주도하에 물리법칙 기반을 둔 M&S의 VV&A에 대한 연구를 수행해 왔다[6, 7]. 따라서, 마지막 세 번째 접근 방법이 항공우주 시스템 개발용 M&S에 적합한 VV&A 프로세스로 평가된다.

본 연구는 항공우주 시스템 개발에 사용되는 M&S의 VV&A 절차개발과 관련된 M&S 수명주기 모델과 개발 패러다임을 제안하는 데 목적을 두었다. M&S에 대한 수명주기 모델과 개발 패러다임은 M&S 개발계획 수립의 기준을 제공하고 입증, 검증 및 인정까지의 절차(VV&A)를 정의함으로써 내부적인 V&V 활동과 M&S의 사용뿐만 아니라 인정기관 (AA: Accreditation Agency or CA: Certification Authority)과의 VV&A 활동 관련 협조체계를 정의하는 데 필수적인 항목이다.

현재까지 제안된 M&S 수명주기 모델은 크게 DoD, ASME, AIAA CFD 및 네덜란드의 수자원 관리용 M&S 등의 수명주기 모델이 있으며 이들에 대한 분석을 통해 항공우주 시스템 개발에 사용되는 M&S에 적합한 수명주기 모델을 제안하였다[5-8].

M&S 개발 패러다임은 M&S의 개발과 VV&A 활동이 연계된 개발절차를 나타낸 것으로 순차적인 M&S의 배포와 최종 검증용 데이터로 인정 (혹은 인증) 받은 M&S의 배포와 관련된 개발전략 등을 포함한다. 대표적인 M&S 개발 패러다임으로는 (1) Water Fall 패러다임, (2) Incremental 패러다임 및 (3) Spiral 패러다임 등이 있으며[4, 5, 8, 9] 이들 패러다임 분석을 통해 항공우주 시스템 개발용 M&S에 적합한 개발 패러다임을 제안하였다. 제안된 수명주기 모델과 개발 패러다임을 DoD의 M&S VV&A의 절차와 비교를 통해 제안결과의 타당성과 유용성을 입증하였다.

## II. 본 론

### 2.1 M&S 수명주기 모델

#### 2.1.1 수명주기모델 일반사항

M&S 개발에 필요한 활동이 설계단계에서 집중되어 있어 수명주기 모델에 대한 연구가 상대적으로 적었으나 VV&A절차를 공식적으로 요구하는 M&S의 증가나 상용 SW의 인증요구 증가에 따라 수명주기의 중요성이 인식되어 관련 연구가 증가하고 있다. 지금까지 제안된 수명주기

모델의 장단점을 종합적으로 검토한 연구로 참고 문헌 [8]이 있다. 이 문헌은 4가지 평가척도인 (1) 온전성 (completeness), (2) 반복 순환성 (iterativeness), (3) 추적성(traceability) 및 (4) 유연성(flexibility) 등을 정의하여 수명주기 모델을 평가하고 선정하는 데 활용한 바 있다. 온전성은 M&S 개발 및 사용과 관련된 모든 수명주기 단계를 포함했는지 여부를, 반복 순환성은 지속적인 M&S 품질(fidelity or credibility) 개선을 위한 내·외부 귀환 루프의 포함여부를 나타낸다. 한편, M&S의 효율적인 개발, 올바른 사용과 향후 재사용 등을 보장할 수 있는 추적성은 VV&A의 세부 활동에 대한 문서화를 통하여 이루어지며 유연성은 다양한 형태의 M&S에 적용 가능한 수명주기 모델인지를 평가하는 척도이다.

전술한 바와 같이 M&S VV&A 절차는 DoD, ASME, AIAA CFD 및 NASA 등에서 지속적인 연구가 이루어져 왔으며 이들이 정의한 수명주기 모델을 검토하였다. 여기서, 주목할 점은 ASME와 AIAA CFD 그룹의 연구는 유한요소(FEM) 구조해석과 전산유체 해석 SW와 같은 상용 판매용 M&S의 V&V와 연관되었다는 점에서 인정 (혹은 인증) 자체가 대부분 개발자의 책임인 반면 DoD와 NASA는 공식적인 VV&A 조직 혹은 기관 (VA와 AA) 을 통해 최종 인정을 받는다는 점이다. 특히, AIAA CFD그룹은 기본적으로 ASME의 수명주기 모델과 거의 동일한 모델을 사용하고 있다. 따라서, ASME모델은 물리법칙에 근거한 항공우주 시스템 설계용 M&S에 유용한 반면 M&S의 재사용 및 VV&A를 위한 절차의 일부가 누락된 형태를 갖는다. 참고문헌 [8]은 전술한 4가지 평가척도에 따른 다양한 모델의 분석결과로 Balci의 1986년도 모델(Fig. 2)이 가장 높은 점수를 획득한 것으로 평가하고 있다[8, 9].

2.1.2 기존 수명주기 모델의 비교 검토

가장 많이 인용되는 모델의 하나가 Fig. 1의 Sargent Circle 모델이다. 이 모델은 M&S 개발과 V&V 절차를 집약적으로 나타낸 것으로 RWS에 대한 추론으로부터 모델링 대상을 정의하는 입력 (entity) 블록, 개념모델 (CM: conceptual model) 및 실행모델 (SM: simulation or computerizedmodel) 만을 포함하며 V&V 활동의 연계성과 귀환 루프 개발절차를 간단하게 나타내었다. 이 모델은 M&S 개발 및 V&V에 대한 개념을 이해시키는 데에는 매우 편리하나 M&S VV&A 프로세스 적용에 필요한 구체적인 개발단계를 포함하지 않는다. 참고문헌[1]의 비교평가에서 상대적으로 높게 평가된 모델인 1986년 Balci

의 모델이 Fig. 2에 나타나 있다. 이 모델은 대부분의 개발단계를 포함하고 있고 다양한 형태의

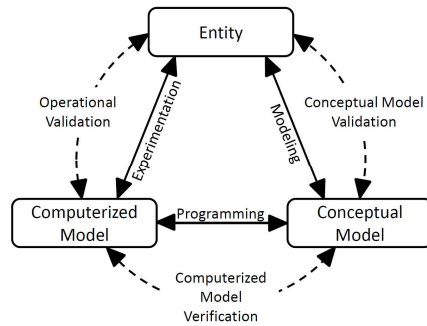


Fig. 1. Sargent Circle Model [1]

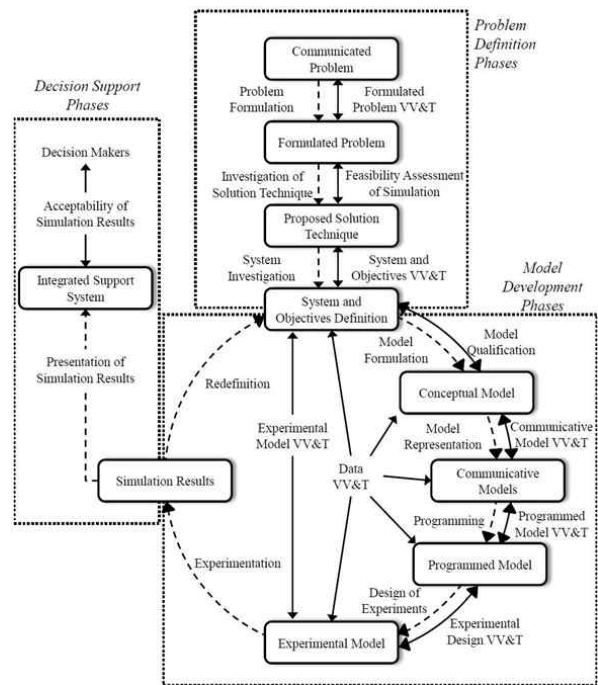


Fig. 2. Balci's 1986 Model [8]

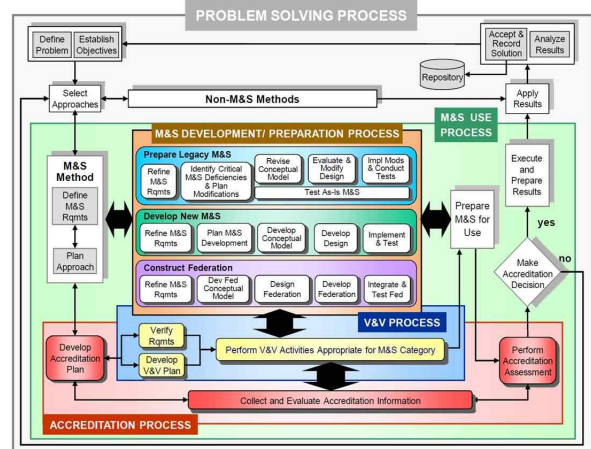
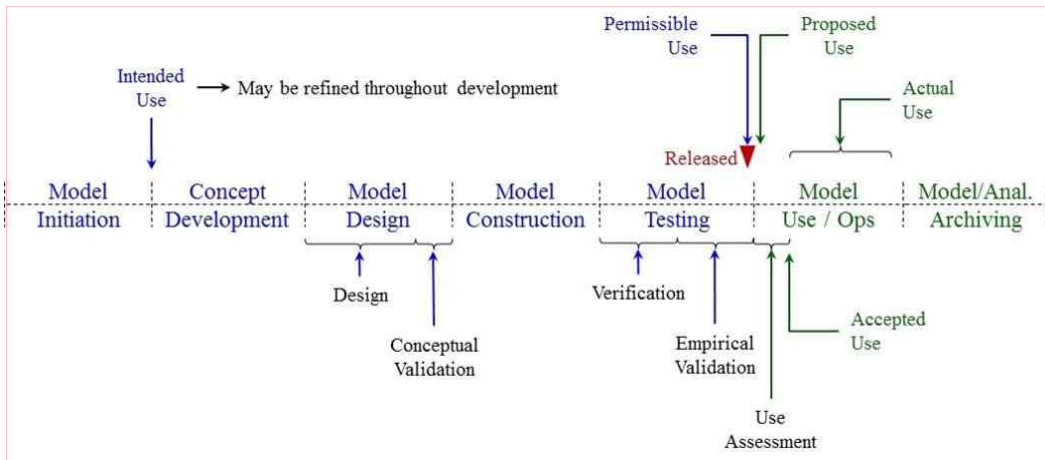
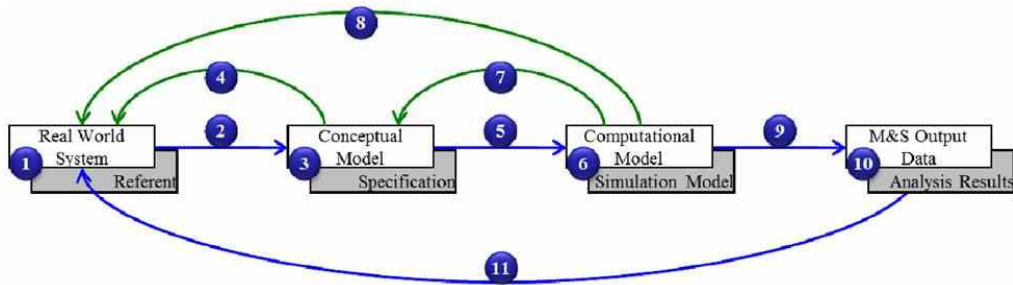


Fig. 3. DoD M&S Life-Cycle Model [10]



(a) NASA M&S life-cycle model



(b) Generalized M&S development and use process

Fig. 4. M&S NASA's life-cycle model and process (NASA-HDBK-7009)

M&S에 공통적으로 적용할 수 있는 구조를 가지고 있다. Fig. 3은 DoD 모델로 기존 M&S (Legacy M&S)의 재사용에 대한 내용을 포함시켰고 VV&A 절차와의 연계성을 나타내고 있는 반면 세부적인 개발단계를 나타내고 있지는 않으며 물리적 모델에 기반을 갖는 M&S에 적합한 모델로 판단되지는 않는다.

Figure 4는 개발절차와 수명주기모델을 동시에 나타낸 NASA의 모델로 우주 시스템 개발용 M&S는 비행시험을 통해 검증용 데이터 확보가 용이하지 않고 M&S가 개발의 성패를 좌우하는데 매우 큰 역할을 하는 관계로 사용범위에 대한 다양한 제한을 정의하고 있다. NASA는 콜럼비아호 사고원인의 하나로 지목된 M&S credibility의 결함을 극복하기 위한 독특한 정량화 평가척도를 개발하여 사용하고 있다[5].

물리법칙에 기반을 둔 M&S의 특성은 (1) 대부분 deterministic 현상과 연관되어 있고, (2) 실험과 경험을 통해 신뢰성 높은 정보를 활용할 수 있으며, (3) 지식기반의 모델링과 모델기반 분석이 가능하고, (4) 다양한 M&S가 상용품으로 개발되어 사용되고 있는 등의 특성을 가지고 있다.

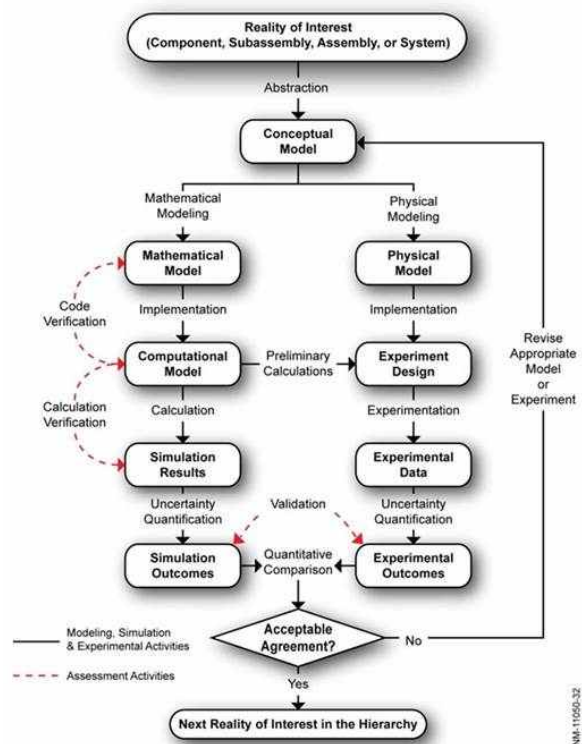


Fig. 5. ASME life-cycle model [5]

특히, 실험을 통해 매우 복잡한 현상에 대해서도 정확한 검증용 데이터를 확보할 수도 있다. 이러한 모델에 대표적인 수명주기 모델이 Fig. 5에 나타난 ASME 모델이며 이 모델은 AIAA CFD 그룹에서도 채용하고 있다[6, 7]. 개념모델로부터 시작되는 M&S 개발, 실험설계 및 검증용 데이터 확보를 위한 실험이 병행하여 동시에 추진되어 이들 결과의 비교를 통해 최종적인 수락여부를 결정하는 절차를 보여준다. M&S 개발에 있어서도 수학적 모델을 별도로 식별하여 추가함으로써 물리법칙 기반의 M&S에 적합한 구조를 갖는다.

### 2.2 M&S 개발 패러다임 현황

개발 패러다임은 M&S 개발일정, 가용 자원, 요구조건과 목적, M&S 사용관련 위험성 혹은 불확실성 등 개발환경에 영향을 미치는 요인을 식별하여 M&S 개발방향을 설정하는 데 사용된다[10, 11]. 따라서, 개발초기 단계에서 프로그램에 적합한 개발 패러다임을 설정하는 것이 매우 중요하다. 일반적인 M&S 개발 패러다임은 수명주기 모델과 연계되어 점진적으로 M&S 품질을 개선하는 절차를 반영하여 정의하고 있다.

Figure 6는 가장 간단한 형태인 water-fall 패러다임을 나타낸 것으로 단순히 수명 주기모델의 몇 가지 단계를 걸친 후 배포하는 형식을 취하고 있어 비교적 간단한 M&S 개발에 적합하다. 보다 복잡한 M&S에 대해서는 점진적인 품질개선을 고려한 방법이 적합하며 여기에는 incremental 패러다임과 spiral 패러다임 등이 있다. Fig. 7은 incremental 패러다임을 나타내는 것으로 M&S의 단계적 배포와 피드백 설계절차를 반영하고 있어

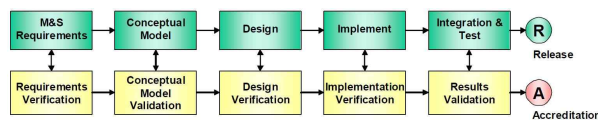


Fig. 6. Water-fall paradigm [3]

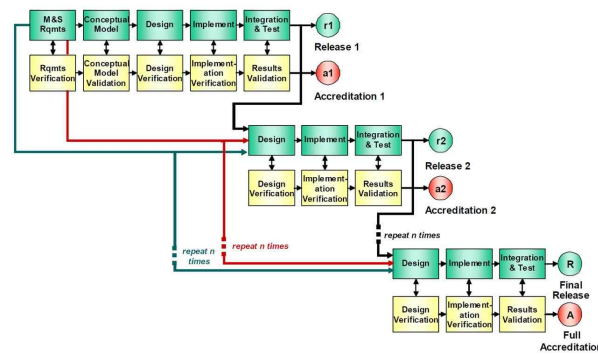


Fig. 7. Incremental paradigm [3]

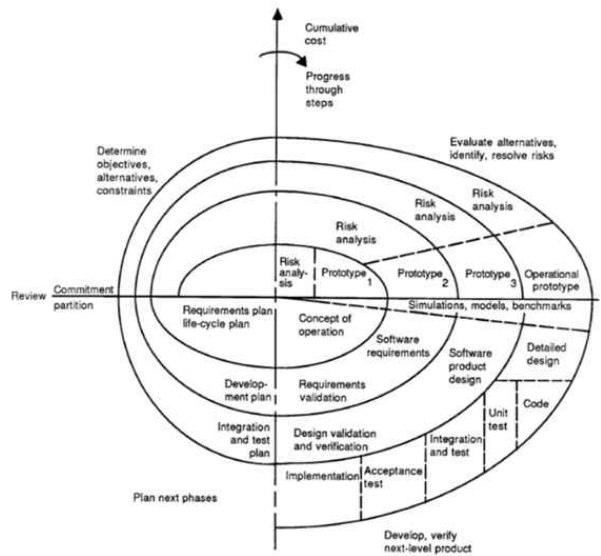


Fig. 8. Spiral paradigm [10]

항공우주 개발용 M&S에 보다 적합한 형태를 갖고 있다. Spiral 패러다임은 incremental 패러다임과 유사하나 최종 배포용 M&S 개발까지 다수의 시제 M&S를 지속적으로 개선하는 형식을 취하고 있다.

항공우주 시스템 개발용 M&S의 개발 패러다임은 개발단계 (PDR, CDR, TRR, FFRR 등) 의 진행에 따라 가용한 데이터가 누적 축적되고 시스템 해석, 설계 및 개발에 필요한 M&S의 요구조건도 다르기 때문에 개발단계별 특성을 고려한 적절한 개발 패러다임이 요구된다.

### 2.3 항공우주 시스템 개발용 M&S

항공우주 시스템은 매우 복잡한 개발과정을 걸쳐 형식인증과 생산인증을 획득한 후 생산 및 사용이 가능하다. M&S VV&A의 기본 개념은 인정(Accreditation or Certification)을 받은 후 허용된 활용범위 내에서 사용하는 것이 기본 원칙이지만 개발단계별 시스템 설계를 위해 다양한 M&S가 필요하다. 따라서, 개발단계별 사용에 적합한 M&S의 배포가 필수적이다. 한편, M&S에 사용되는 입력 데이터나 검증용 데이터는 개발 단계별로 축적되고 비행시험이 종료된 후에 최종적으로 획득된다. 따라서, 개발단계별 M&S 요구조건과 데이터 가용여부를 고려한 M&S의 수명주기 모델과 개발 패러다임의 설정이 필요하다. 본 절에서는 2.1절과 2.2절의 기존모델에 위의 항공우주 시스템 개발과 연관된 특성들을 반영하여 M&S에 대한 수명주기 모델과 개발 패러다임을 새롭게 제안하였다.

### 2.3.1 수명주기모델 제안

항공우주 시스템 개발에 사용되는 대부분의 M&S는 물리법칙 기반의 이론을 적용하여 개발된다. 따라서, Fig. 3의 DoD 수명주기 모델보다는 Fig. 5의 AMSE 모델이 보다 구체적이다. 한편, 군용항공기 개발에 사용되는 M&S는 MIL-STD-3022에 따른 VV&A 결과의 문서화가 필수적이며 이러한 문서들은 세부적인 VV&A 활동을 통하여 작성된다. Fig. 9는 이러한 특성을 고려하고 본 연구의 검토결과를 반영하여 제안한 수명주기 모델을 나타낸다.

수명주기의 외부루프는 DoD의 수명주기 모델과 마찬가지로 문제를 정의한 뒤 문제 해결에 M&S를 사용할 것인지 여부를 결정한 뒤 필요한 M&S 개발로 진입하는 형태를 갖고 있다. 또한, 검증용 데이터를 활용한 M&S VV&A 과정이 종료된 후 문제해결에 M&S가 적합한지를 재검토하는 피드백과정을 반영하고 있다. 문제해결에 M&S를 사용하는 결정이 내려지면 DoD 모델과 같이 M&S에 대한 접근방침 (M&S 개발 패러다임에 따른)에 따라 기 보유 M&S (legacy M&S)를 사용할 것인지 혹은 신규 M&S를 결정하는 단계를 밟는다. 기 보유 M&S에 대한 VV&A 절

차의 세부내용은 참고문헌 [12]에서 다루고 있으며 개발 프로그램의 문제에 적합한지 여부를 판단하여 VV&A의 방향과 범위를 정의하고 이에 따른 VV&A 절차에 따라 수정 및 개정을 통해 사용목적에 적합한 M&S로 인정(or 인증)을 받게 된다.

개념모델로 시작되는 내부 루프는 물리법칙 기반의 M&S에 적합한 AMSE 모델을 참조하고 DoD의 일반적인 모델에 다양한 개발단계를 추가하여 항공우주 시스템 개발용 M&S 개발에 직접 활용이 가능하도록 구체적인 단계를 포함하였다. AMSE 모델과 마찬가지로 M&S 설계와 검증용 데이터를 확보하기 위한 단계들로 구분하였다. AMSE 모델은 실험설계에 필요한 모델개발용 데이터만을 제공할 뿐 이들 두 단계가 기본적으로 독립성을 갖는 프로세스를 따르고 각 단계의 최종결과만을 비교함으로써 수락여부를 결정하는 구조를 갖는다. 이러한 절차는 M&S를 검증함에 있어 검증용 데이터 정보가 사전에 제공되면 매우 국한된 데이터 영역에 대해서만 검증활동을 수행하는 위험성을 완화시킬 수 있는 바람직한 절차로 판단된다. 그러나, 이러한 다소 엄격한 독립성을 갖는 접근은 비교적 단순한 시스템

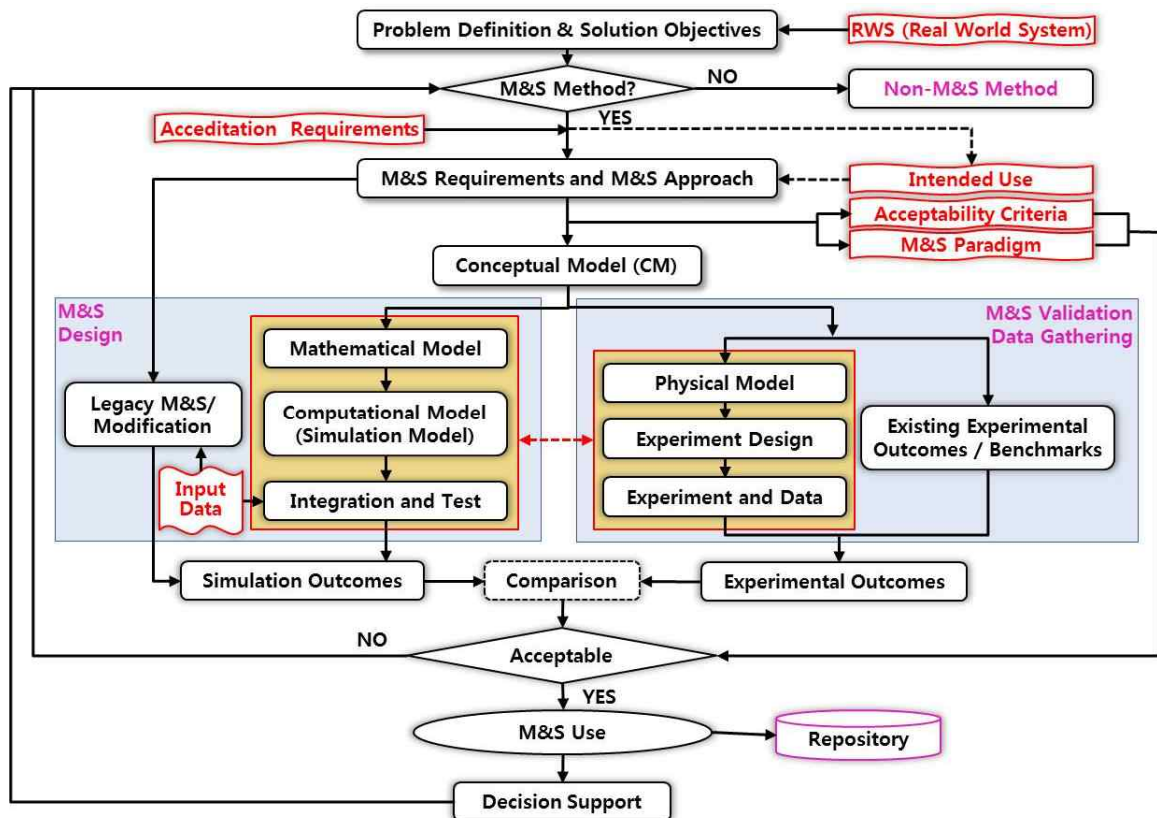


Fig. 9. Proposed M&S life-cycle model for aerospace system development

에 대한 M&S에는 적합하나 항공우주 시스템과 같이 복잡한 시스템을 다루는 M&S에 적용하는데는 한계가 있다. 이는 항공우주 시스템 개발용 M&S는 시스템 차원의 사용목적 (intended use) 을 만족시키기 위해 수많은 모델링 요소 (components)를 가지고 있고 경우에 따라서는 하위의 개별요소에 대한 시험, 이들을 통합한 시험과 시스템 차원의 시험까지 다양한 종류의 시험이 요구되기 때문에 ASME 모델이 요구하고 있는 엄격한 독립성을 유지하기 어렵기 때문이다. 이에 대한 세부적인 접근방법은 개발 프로그램의 특성을 고려하여 설정된 M&S 개발 패러다임을 통해 구체화될 것이 때문에 본 논문에서는 다루지 않았다.

M&S개발과 검증용 데이터 확보의 연계성을 점선으로 나타내었다. Fig. 9에서 M&S 검증은 AMSE 모델과 같이 모든 시험이 독립적으로 진행되고 종료된 후 수행하는 것이 아니라 풍동시험, CFD 해석결과, 구조 요소에 대한 시험, 비행 시험 등과 같은 다양한 시험을 통해 획득되는 데이터나 벤치마킹용 데이터의 가용여부에 따라 점진적으로 진행된다는 점에 유의해야 한다. 이는, 항공우주 시스템 개발용 M&S의 개발 특성을 반영한 것이다.

M&S의 사용이력에 대한 문서화는 VV&A의

필수적인 요구사항이다. 문서화와 연관된 활동을 저장소(repository)로 나타내었으며 이는 사용이력이나 결과뿐만 아니라 위의 모든 M&S 개발 및 VV&A 활동의 산출물을 포함한다. MIL-STD-3022의 VV&A 활동에 대한 문서화와 이들의 형상관리 요구조건을 만족시킬 수 있도록 저장소가 설계되고 관리되어야 함을 의미한다. 이를 통해 M&S VV&A의 중요한 목적의 하나인 M&S의 재사용을 용이하게 할 수 있다.

2.3.2 개발 패러다임 제안

전술한 바와 같이 항공우주 시스템 개발용 M&S는 개발단계에 따라 가용한 데이터가 점진적으로 확보되고 M&S의 사용목적도 단계별로 차이가 난다. 특히, 개발단계에서는 인정기관 (AA: Accreditation Agency)의 승인을 받기 이전에 다양한 M&S가 필요한 반면 개발기관 내부의 V&V 과정을 걸쳐 M&S의 잘못된 적용으로 인한 설계변경이나 설계오류를 최소화할 수 있어야 한다. 한편, 개발초기에는 M&S VV&A 과정에서 중요시되는 요소의 하나인 공식적인 형상관리 절차를 준용하는 경우 형상변경의 제안에서 승인 및 변경 구현까지의 일련의 절차에 필요 이상의 자원낭비가 생길 수 있어 M&S 개발의 효율성을 저해할 수도 있다.

Figure 10은 위와 같은 항공우주 시스템 개발

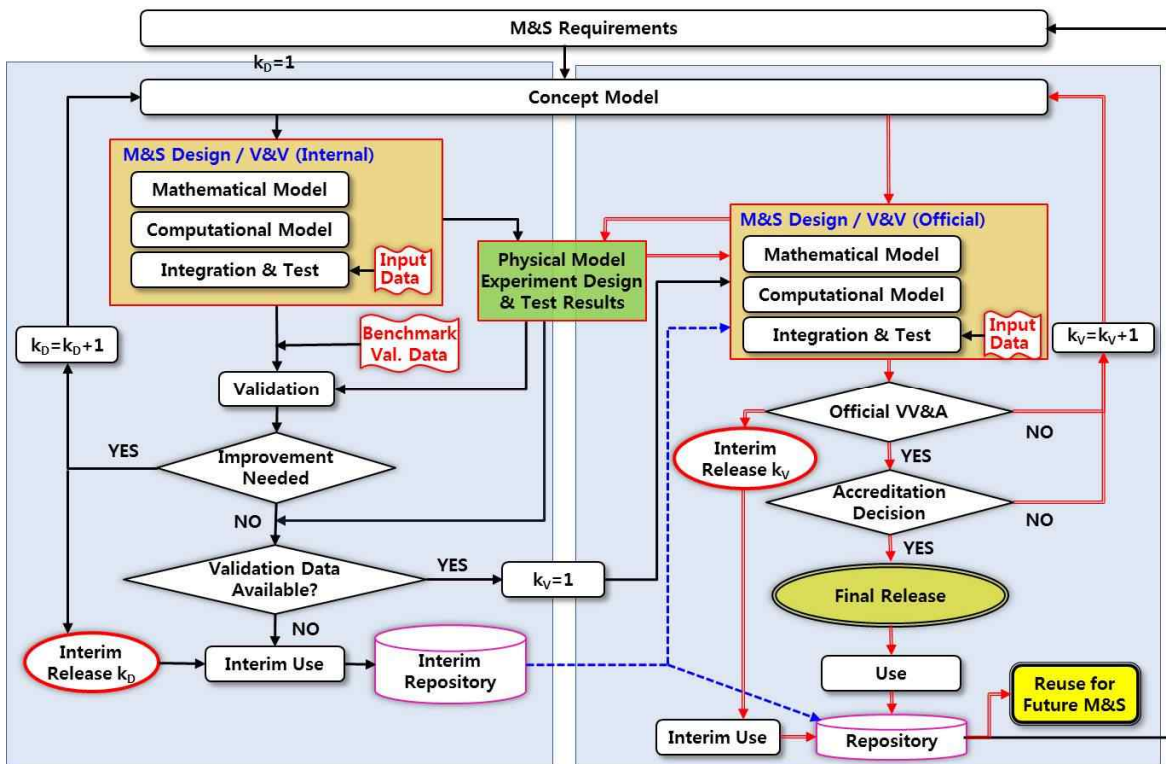


Fig. 10. Proposed M&S development paradigm for aerospace system development

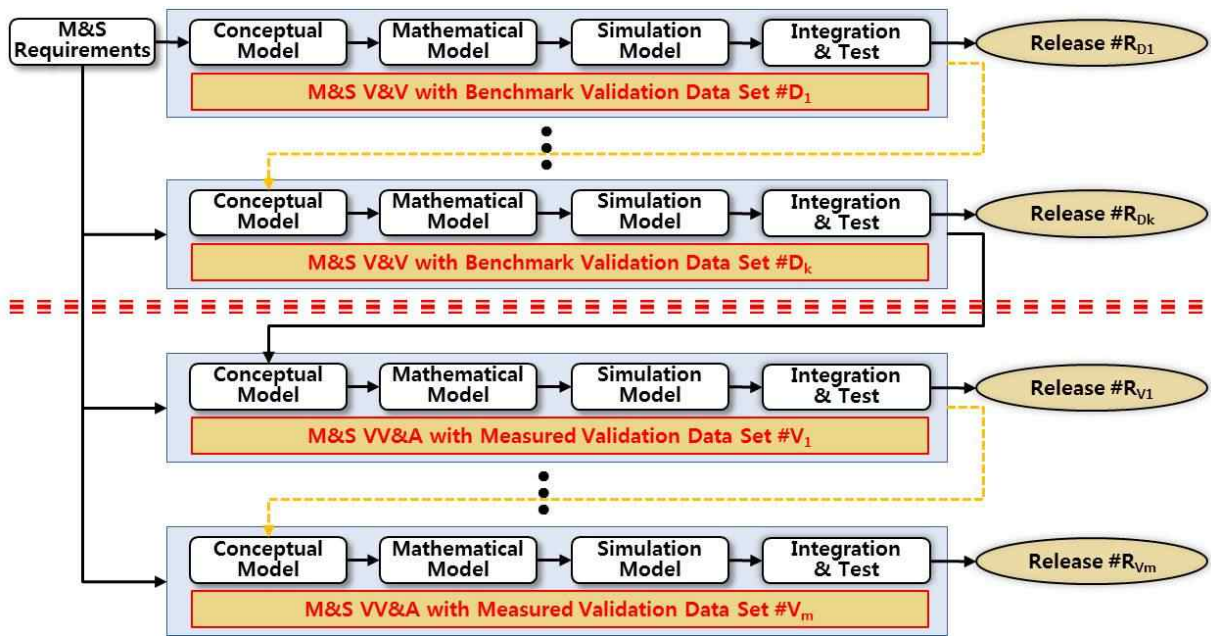


Fig. 11. Proposed M&S development paradigm in the form similar to the incremental paradigm

절차를 고려하여 제안한 M&S의 개발 패러다임을 나타낸다. 좌측과 우측행의 구분은 공식적인 VV&A 절차 수행에 필요한 검증용 데이터의 가용여부에 따라 구분하였다. 이는 검증과 인정이 기본적으로 사용목적에 부합하는 M&S의 신뢰성 (credibility, fidelity, reliability 등으로 표현되는) 입증과 검증을 통해서 이루어지고 검증용 데이터의 활용이 필수적이기 때문이다. 이들을 내부 프로세스와 공식적 프로세스로 구분하였으나 검증용 데이터는 시스템 차원의 데이터뿐만 아니라 M&S 구성요소에 대한 데이터를 포함하고 있기 때문에 내부 및 공식적인 프로세스가 병행하여 추진될 수 있다는 점에 유의해야한다. 이와 연관된 세부 절차는 검증기관 (VA: Validation Agency)와 인정기관 AA과의 협의를 통해 합리적인 절차가 정의될 것이나 본 연구의 범위를 벗어난 주제로 판단된다.

내부 프로세스와 공식 프로세스 모두 다수의 M&S 배포를 허용하고 있다. 물론 공식 프로세스에서는 VA와 AA가 수행하는 VV&A 활동과 그 결과를 활용한 추천사항 (recommendations)을 M&S의 추가적인 개선에 반영하여야 한다. 주의해야할 사항의 하나는 MIL-STD-3022의 문서화 요구 조건에서는 M&S 개발 및 VV&A 활동에 소요되는 모든 자원에 대한 계획뿐만 아니라 실투입 결과를 기록하도록 되어 있으며 이를 위해서는 인적·물적 자원, HW/SW, 시설, 투입 비용과 일정 등을 포함하여 광범위한 정보가 체계적으로 구축, 관리 및 사용되어야 한다. 따라서, 전문적인 바와 같

이 저장소 (repository)의 설계와 관리가 매우 중요하다. Fig. 10에서는 내부 및 공식 프로세스의 모든 데이터가 개발 및 VV&A에 활용된다는 점을 반영하였고 개발된 M&S의 재사용 단계를 포함시켜 이들 정보를 활용하는 절차를 나타내었다.

M&S V&V 절차와 개발절차를 함께 나타내면 제안된 개발 패러다임은 Fig. 11과 같이 Incremental 패러다임과 유사하며 단지 V&V에 사용되는 데이터가 벤치마크 데이터나 혹은 실제 시스템이나 서브시스템과 연관된 시험을 통해 획득한 것이냐에 따른 구분을 구체화한 것이다. 벤치마크 데이터를 이용한 개발기관 내부의 V&V과정에서 형상관리가 면제되는 것은 아니다. 단지, M&S개발을 효율적으로 진행하기 위해 식별된 개별 형상 항목 (configuration item)이 구체화되기 전까지 내부의 형상관리 절차와 문서화 요구조건을 따르되 VA까지의 형상변경 승인은 유예된다는 것을 의미한다. 그러나, 공식적인 절차에서는 M&S의 요구조건 미 충족이나 M&S 개선과 관련된 VA의 추천사항 등을 반영하기 위한 설계변경 추적이 필요하기 때문에 엄격한 형상관리가 요구될 수 있다. 이러한 개발방식은 일반적인 항공우주 시스템 개발용 M&S의 개발에 적합한 프로세스라고 판단된다.

### III. 결 론

본 논문은 미 국방성의 M&S VV&A 관련 규정을 준용하면서 물리법칙 기반의 ASME 모델



등을 반영한 항공우주 시스템 개발용 M&S의 수명주기 모델과 개발 패러다임을 제안하였다. 제안된 모델과 패러다임은 개발 단계별로 요구되는 M&S를 이에 적합한 VV&A 과정을 통해 획득할 수 있는 구조를 가지고 있으며 M&S의 개발과 VV&A가 통합된 형태의 모델과 패러다임을 제안하였다. 지금까지 제안된 대부분의 수명주기 모델과 패러다임은 일반적인 M&S에 적용할 목적으로 혹은 비교적 간단한 M&S의 개발 및 V&V에 적합한 구조를 나타내어 항공우주 시스템 개발용 M&S에 적용하기 위해서는 추가적인 개발 노력이 필요하였다. 본 연구는 항공우주 시스템 개발에 활용을 염두에 둔 M&S의 수명주기 모델과 개발 패러다임을 제안하였기 때문에 좋은 참조가 될 수 있으며 향후 추가적인 연구를 통한 발전적인 모델과 패러다임의 개발에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 후 기

본 연구는 한국항공우주산업(주)의 위탁과제 “비행제어 모델링 & 시뮬레이션 환경 검증 방안 연구”의 일환으로 수행된 연구결과의 일부임을 밝힙니다.

## References

- 1) Defense Acquisition Program Administration, Republic of Korea, *Standard Airworthiness Certification Criteria for Military Aircraft*. DAPA Notice No.2015-2, November 13, 2015.
- 2) DoD MIL-HDBK-516C, *Airworthiness Certification Criteria*, 12 December, 2014.
- 3) DoD Instruction 5000.61, *DoD Modeling and Simulation (M&S) Verification, Validation, and Accreditation (VV&A)*, December 9, 2009.

- 4) DoD MIL-STD-3022, *Documentation of Verification, Validation, and Accreditation (VV&A) for Models and Simulations*, 28 January 2008.
- 5) NASA, NASA-HDBK-7009, *NASA Handbook for Models and Simulations: An Implementation Guide for NASA-STD-7009*, October 18, 2013.
- 6) ASME, *Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics*, American Society of Mechanical Engineers, March 29, 2006.
- 7) W. L. Oberkampf and T. G. Trucano, “Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics,” SAND2002-0529, pp. 3~124, March, 2002.
- 8) Andrew J. Turner, “A Methodology for the Development of Models for the Simulation of Non-observable Systems,” PH.D. Thesis, School of Aerospace Engineering, Georgia Institute of Technology, May 2014.
- 9) Osman Balci, “Validation, Verification, and Testing Techniques Throughout the Life Cycle of a Simulation Study,” *Annals of Operations Research*, Vol. 53, pp. 121-173, 1994.
- 10) DoD, *RPG Special Topic: Paradigms for M&S Development*, US Department of Defence, September 15, 2006.
- 11) DoD, *M&S VV&A RPG Core Document: Introduction*, US Department of Defence, January 31, 2011.
- 12) DoD, *RPG Special Topic: Data Verification and Validation (V&V) for Legacy Simulation*, US Department of Defence, September 15, 2006.
- 13) Okan Topcu, “Review of Verification and Validation Methods in Simulation: Literature Survey, Concepts, and Definitions,” *Defence R&D Canada*, TM 2003-055, April 2003.