M&S 신용성 향상을 위한 VV&A 적용 모델

VV&A Application for the Assurance of Defense M&S Credibility

최 상 영*
Choi, Sang-Yeong

ABSTRACT

With the increased reliance on M&S(Modeling & Simulation) in military training, defense analysis, and system acquisition. The credibility of M&S becomes even more critical issue in the M&S application community. In this paper, we have introduced the VV&A(Verification, Validation and Accreditation) concept of M&S for the assurance of its credibility, and proposed the VV&A model applicable to a military simulator development with the illustrative example of MSAM(Medium range-Surface to Air Missile) system simulator.

주요기술용어(주제어) : Modeling(모델링), Simulation(시뮬레이션), Verification(검증), Validation(입증), Accreditation(인증), Credibility(신용성)

1. 서 론

전통적으로 M&S(Modeling & Simulation)는 워게임, 전력 분석, 교육 훈련 등에 널리 사용되어 왔다. 오늘날 정보 기술과 컴퓨팅 기술의 발전으로 가상 전투 공간에서는 전력 분석을 포함하여 미래에 예상되는 전투를 마치 공학 실험실에서 실험을 하듯이 전투 현상에 대한 실험이 가능하게 되었다. 또한 시뮬레이션을 네트워크로 상호 연동하여 개인 훈련으로부터 부대 및 집단 훈련을 비롯하여 무기체계 가상 프로토타입, 가상 시험평가, 시뮬레이션 기반 획득(SBA, Simulation Based Acquisition) 등도 가능하게 하고 있다.

† 2005년 10월 5일 접수~2006년 2월 15일 게재승인
* 국방대학교 국방과학처(National Defense University)
주저자 이메일 : sychoi@kndu.ac.kr

군사 선진국들은 M&S의 중요성을 인식하여 비약적으로 발전시키고 있다. 대표적으로 1991년에 설립된 미 국방성의 DMSO(Defense Modeling and Simulation Office)에 의해 추진된 국방 M&S 마스트 플랜이다[1]. 이를 계기로 국방 M&S 분야는 급속히 발전하게 되었다. 전쟁 외에 군에서 이루어지는 모든 것은 시뮬레이션을 통해서 그 해답을 찾고자 노력하고 있다. NATO를 포함한 다른 군사 선진국들도 미 국방성의 M&S 마스트 플랜을 벤치마킹하여 자국의 실정에 부합되는 계획을 수립하여 국방 M&S를 체계적으로 발전시키려는 노력을 기울이고 있다.

한국군에서는 1990년대 이전까지는 M&S 기술 발전은 매우 미진한 실정이었다. 1990년대 후반에 들어오면서 많은 발전을 이루기 시작하였다. 대표적인 예가 육군에서 개발한 창조 21 모델의 개발이다. 창조 21 모델 개발 이후에 전투 21 모델, 후방 지역작전 모델, 전투근무지원 모델을 개발하고, 해군의 경우는

해군 전쟁연습모델, 공군은 차세대 기지작전 모델, 차세대 전구급 분석모델 등을 개발하여 훈련 및 분석용으로 활용할 예정에 있다. 또한 UH-60 비행 시뮬레이터, P-3C 비행 시뮬레이터, 전자전 시뮬레이터, M-SAM 체계 시뮬레이터 등을 개발하여 훈련 및 무기체계 획득을 위해서 활용할 예정이다.

그런데 시뮬레이션을 실제로 적용하고자 함에 있어 그 신용과 사용하는 데이터에 대한 적합성 등에 대한 문제가 제기되고 있다. 예를 들어서 시뮬레이션을 통하여 미래 전력에 대한 소요를 도출한다고 했을 때, 과연 그 시뮬레이션 모델의 신용이 있는지에 대한 의문을 가지게 된다. 또한 첨단 무기체계의 시험평가를 위해서 실 시험 대신에 고급 시뮬레이터를 사용하여 가상 시험평가를 수행한다고 하면, 시험평가자는 그 시뮬레이터의 신용성이 충분한지, 실제 시험평가를 하는 것과 유사한 결과를 얻을 수 있는지에 대하여 의문을 가지게 된다. 이처럼 M&S의 활용도가 증가됨에 따라 M&S의 신용이 중요한 연구 과제로 제기되고 있다.

국내에서는 M&S에 대한 신용을 확보하기 위해서 개발과정에서 주로 시험평가만을 수행하여 왔다. 그러나 전통적인 시험평가만으로 M&S에 대한 신용을 충분히 보장할 수가 없다. M&S는 소프트웨어 집약체계이고, 실 체계 혹은 체계운용에 대한 모의이며, 또한 사용 목적에 따라 충실도(fidelity)가 다르기 때문이다. 그래서 M&S의 신용을 보장하기 위해서 시험평가와 더불어 VV&A(Verification, Validation, and Accreditation) 개념을 도입하여 적용하고 있는 추세에 있다. 왜냐하면 시험평가는 시스템의 성능, 효과에 대한 보증에 초점을 두고 있는 반면에 VV&A는 M&S의 능력과 신용에 대한 보증과 그 용도에 대한 공식적인 결정을 다루고 있기 때문이다.

본 연구의 목적은 VV&A 개념과 시뮬레이터 개발 적용에 대해서 관련 연구를 종합적으로 정리하여 소개하고, 향후 개발될 시뮬레이터 중에서 대표적인 MSAM(Medium-range Surface to Air Missile) 체계 시뮬레이터 개발과 관련해서 그 적용안을 제시함으로서, 장차 적용은 물론이고 국내 시뮬레이터 개발에 대한 신용을 제고시키고자 하는데 있다. 이후 연구내용의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 관련연구에 대해서 고찰한다. 제3장에서는 VV&A에 대한 기본개념과 VV&A 세부 활동 및 기법에 대하여 설명하고, 제4장에서는 M&S 개발과정에서 VV&A 적용단계, 시험평가와 연계, 적용절차 및 수행주체에 대해서 정립하여 소개한다. 제5장에서는 MSAM 개발에 VV&A의 적용안을 제시하고 제6장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련연구와 규정화 동향

가. 관련연구

ISO/IEC 15288 System Life Cycle Processes와 ISO/IEC 12207 Software Life Cycle Processes에서는 V&V(Verification and Validation)를 다음과 같이 정의하고 있다. 검증(verification)은 특정한 요구를 객관적인 증거 조사를 통해서 충족시키는 지를 확인하는 것이다. 설계와 개발 단계에서 검증은 주어진 활동의 결과가 그 활동에서 명시된 요구사항과 일치하는 지를 검사하는 과정에 관한 것이다. 한편, 입증(validation)은 특정한 요구사항이 특정한 용도를 충족시키는 지를 객관적인 증거 조사를 통해서 확인하는 것이다. 설계와 개발 단계에서 입증은 산출물이 사용자 요구와 일치하는지에 관한 것이다.

국방 M&S에서 VV&A 용어 개념에 대해서는 MORS(Military Operational Research Society)의 주관아래 Williams[2]가 수행한 연구에서 찾을 수 있다. 여기서 검증을 모델구현이 개발자의 개념적 설명과 명세를 정확하게 반영되는 지에 대한 결정과정이라고 하고, 입증을 모델이 의도된 용도 관점에서 보았을 때 실세계를 어느 정도나 정확하게 묘사하는지를 결정하는 과정, 그리고 인증(accreditation)을 모델이 특정한 용도와 목적으로 사용될 수 있다는 공식적인 결정이라고 정리하고 있다. 이 용어 개념은 1996년 미국방성의 VV&A 관련 공식문서(DoD D5000.1, DoD I5000.61)에서 채택되었다. 본 연구에서 사용하는 VV&A도 이 용어 개념에 따른다.

이후 많은 연구자에 의해 VV&A에 관한 연구가 진행되어 왔는데, Balci[3]와 Hartley[4]는 VV&A 방법에 대하여 분류하고 관련 기법을 제안하였다.

Chew[5]는 수명주기상에서 VV&A단계와 활동을 제안하였다. Caughlin[6,7]은 M&S VV&A 프로세스에서 결과 검증의 중요성을 강조하고 구체적인 방법과 시뮬레이터 개발 과정에서 통합 패러다임을 제시하였다. Sargent[8]는 M&S 개발 프로세스와 V&V관계를 정립하고, V&V 기법들에 대하여 상세히 소개하고 하였다. Balci[9]는 M&S 개발 수명주기 동안에 각 세부 개발단계별로 개발자, 분석가, 관리자들이 수행해야 할 V&V 활동과 적용 기법에 대하여 설명하고, 인증을 받기 위한 결정 과정에 대해서 제안하고 있다. 국내에서는 M&S의 VV&A에 대한 연구가 거의 전무한 실정이다.

나. 규정화 동향

V&V는 체계공학 관점, 소프트웨어 공학관점, 그리고 모델링 및 시뮬레이션 관점에서 각각 다루어져 왔다. 기본적인 개념은 유사하나 체계공학 관점에서는 시험평가와 직접적으로 관련되어 있는데, 주로 시험결과의 비교와 성능계수 및 효과도 충족성 여부에 초점을 두고 있다. 대표적인 예로서 BMDO(Ballistic Missile Defense Organization) Directive 5002가 있다[10]. 소프트웨어 공학 관점에서는 요구 적합성에 중점을 두고 있는데, 예를 들면, IEEE Std 1012-1986이 있다.

한편, 모델링 및 시뮬레이션 관점에서는 모의 능력과 예측에 중점을 두고 있다. M&S의 대표적인 지침서로는 미국방성의 DoD D5000.59와 DoD I5000.61의 V&V 프로그램에 대한 지침서[11]가 있다. 이는 인터넷상에서 공개되어 지속적으로 갱신 발전되고 있다[12]. 그리고 미 합참의 Joint Staff Instruction 8104.01 Directive, 미 육군의 Army Pamplet 5-11, 그리고 미 공군의 Air Force Instruction 16-1001이 있다.

그런데 국내에서는 모델링 및 시뮬레이션에 대한 VV&A 지침이 없고 아직 규정화도 되어있지 않은 상태이다.

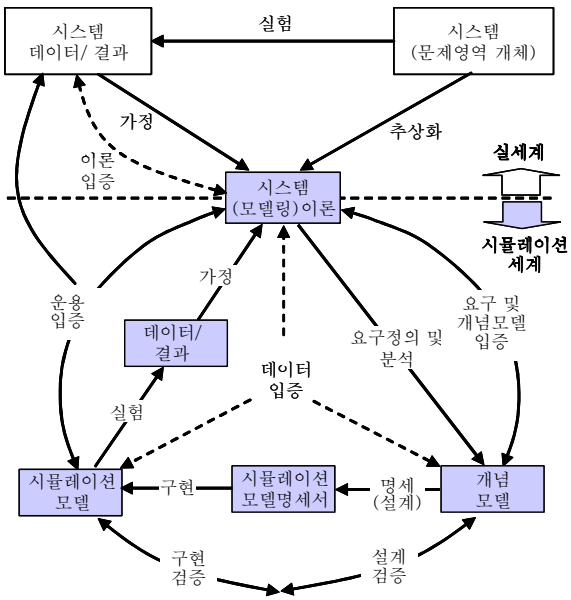
3. VV&A 개념

가. VV&A 이해 틀

VV&A 개념에 대한 이해를 위해서 먼저, 실세계와 시뮬레이션 세계를 구분할 필요가 있다. 그림 1은 V&V와 관련해서 실세계와 시뮬레이션 세계를 나타내고 있다[13].

그림 1의 윗부분은 실세계를 나타내는데, 시스템과 시스템(모델링)이론, 그리고 시스템 실험 데이터 및 결과들의 관계를 보여주고 있다. 실세계에서는 시스템이 존재한다. 이는 문제영역의 개체이면서 그 행위가 시뮬레이션 대상이 된다. 시스템 데이터와 결과는 시스템 실험을 통하여 얻어진다. 시스템 이론은 시스템으로부터 관찰된 것을 추상화하고 시스템 데이터와 결과로부터 도출된 가정을 근거하여 세워진다. 시스템 이론은 그 적용영역에서 시스템 데이터와 결과 비교를 통해서 입증된다.

그림 1의 아래 부분은 실세계에 대한 시뮬레이션 세계를 나타낸다. 시뮬레이션 세계에서는 실세계의 시스템을 표현하는데, 이는 사용목적에 따라 표현할 기능, 상호작용, 결과 등이 다르고 그 정확도도 달라진다. 정확하게 표현하면 할수록 그 신용이 증가하지



[그림 1] 실세계와 시뮬레이션 세계

만 그만큼의 비용을 감수해야 한다. 이들에 대한 것은 M&S 개발 시에 사용자 요구사항 정의에서 취급된다. 그림 1의 내부 삼각형은 실세계 체계에 대한 M&S 개발 프로세스로써 요구정의, 분석, 설계, 구현을 나타낸다. 그리고 삼각형의 테두리에 있는 네모 표시는 개발 과정에서 생산하는 주요 산출물을 나타낸다.

여기서, 개념모델은 사용자 요구정의를 어떻게 분해하여 컴포넌트 수준까지 나타내고, 이들을 결합하여 상호 작용케 함으로써 명시된 요구사항을 만족할 것인지에 대한 설명 혹은 서술 사항들로 이루어진다. 통상 개체, 기능, 상호작용 그리고 결과에 대한 수학적, 논리적, 혹은 수사적 표현으로 나타내고, 여기에는 요구사항을 만족시키기 위한 방정식, 알고리즘, 소프트웨어 아키텍처 등이 포함된다. 또한 이론, 개념, 충실도, 논리, 인터페이스 혹은 논리적 솔루션과 관련된 가정 혹은 제한사항이 포함된다. 개념모델에서 시스템 모델링에 대한 이해는 시스템 이론에 내재되어 있고, 추상화 정도와 충실도는 사용 용도와 목적에 따라 달라진다.

시뮬레이션 모델 명세서는 개념모델을 특정한 컴퓨터 시스템에 프로그래밍하고 구현하기 위한 소프트웨어 설계 상세기술서 혹은 명세서이다.

시뮬레이션 모델은 컴퓨터 시스템에서 컴퓨터 프로그램으로 구현되고 실행되는 개념모델이다. 시뮬레이션 모델은 특정 컴퓨터 시스템에서 모델을 구현함으로써 얻어진다. 이는 개념모델 프로그래밍을 포함한다. 프로그램에 대한 명세서는 시뮬레이션 모델 명세서에 나타나 있다.

시뮬레이션 모델 데이터/결과는 시뮬레이션 모델에서 컴퓨터 실험으로부터 얻은 데이터와 결과이다.

그림 1에서 아래 부분의 외부원은 M&S의 신용을 보증하기 위한 V&V 주요 활동을 보여준다. VV&A 주요 활동에는 요구 입증(validation), 개념모델 입증, 설계 검증(verification), 구현 검증, 운용 입증, 데이터 입증, 통합 및 시험이 있다.

요구 입증은 모든 요구사항이 정확하게 정의되고, 완전한지, 일관성이 있는지, 그리고 시험이 가능한지를 확실하게 하는 것이다. 이를 위해서 요구문서를 검토하는데, 검토의 초점은 주로 모델의 사용용도, 모델의 충실도와 그 수락기준, 모델의 질 등이다. 여기서 요구사항이 모호한 부분이나 일관성이 결여되는 부분에 대해서는 명확히 하도록 사용자에게 권고한다. 그리고 사업계획, 형상관리계획 등을 검토하여 발전이 요구되는 사항이나 위험이 높은 사항들도 사용자에게 권고한다. 기타 시스템 공학 요소 즉, 시뮬레이터 안정성, 보안, 군수지원 등에 대한 검토를 한다.

개념모델 입증은 개념모델의 적합성을 결정하고, 특정 요구사항과 의도된 용도를 충족시킬 수 있는지에 대한 보증 활동이다. 개념모델 입증에서 최초에 이루어지는 것 중의 하나가 모델의 충실도에 대한 수락기준을 합의하는 것과 입출력 데이터에 대한 임계를 정의하는 것이다. 충실도 기준과 데이터 임계 정의를 통하여 개념모델의 각 세부 요소들과 요구사항에 대한 추적을 하고 그 기준을 충족시키는지를 보증하게 된다. 그리고 차후 VV&A 및 시험을 위해서 실험 시나리오를 정의해야 한다.

설계 검증은 컴퓨터 시스템에서 코딩하고 하드웨어를 제작하기 전에 설계를 검토하여 개념모델에 부합하는지를 보증하는 것이다. 개념모델의 입증이 완료되면 개발자는 그 개념모델을 어떻게 코딩하고 제작할 것인지에 대한 설계를 하게 된다. 설계서에서는 개념모델에 근거하여 시뮬레이션 모델을 생산하기 위한 컴포넌트, 기능, 그리고 명세서가 정의된다. 설계 검증 과정에서는 설계서를 검토하여 설계 요소들을 개념 모델과 요구사항에 대응시켜 보고 요구사항으로부터 설계에 이르기까지 추적성이 있는지를 확실하게 한다.

구현 검증(혹은 시뮬레이션 모델 검증)은 시뮬레이션 모델이 시뮬레이션 모델 설계(명세)서에 따라 올바르게 구현되었는지를 보증하는 것이다. 구현 검증에서는 코드 검증과 하드웨어 검증이 이루어진다. 코드 검증에서는 상세한 검사, 코드의 소프트웨어 시험을 실시하고, 상세 설계와 비교하고 그 차이를 검사한다. 그리고 발견된 문제를 해결한다. 하드웨어 검증에서는 설계대비 하드웨어를 비교하고 그 차이와 문제점을 해결한다.

운용 입증은 모델의 행위 결과가 모델을 적용할 영역에서 모델의 의도된 목적에 부합할 만큼 충분히 정확한 지를 보증하는 것이다. 운용 입증기법에는 시뮬

레이션 모델 데이터/결과와 실제 시스템 데이터/결과의 비교, 신뢰구간 및 가설검증이 있다. 신뢰구간과 가설검증은 통계검증을 기반으로 하고 있다. 이는 가장 객관적인 입증 방법이다. 검증 대상은 기존의 입증된 모델의 결과치 혹은 실제 시험평가에서 얻은 결과치가 된다.

데이터 입증은 그림 1의 아래 중심부분에 있는데, 데이터가 모의하고자 하는 현실 세계를 정확하게 나타내는지를 보증하는 활동이다. 시뮬레이션에서 모델과 데이터를 분리해서 평가하는 것은 거의 불가능하다. 왜냐하면 데이터와 코드의 상호작용으로 시뮬레이션 결과를 생산해 내고 데이터와 코드 공히 시뮬레이션의 신용성을 결정짓는 요인이 되기 때문이다. 데이터는 개념모델을 개발하거나 모델을 검증하는 데에도 필요하다. 개념모델에서 가정과 이론을 바탕으로 실세계를 모델링하여 나타내는데, 가정이 바르게 설정되었는지 이론이 적합한지를 입증하기 위해서 데이터가 필요하다. 그리고 모델을 검증하는 데에도 운용 데이터가 필요하다. 또한 운용 데이터를 이용하여 모델을 입증하게 된다.

4. M&S 개발과 VV&A 적용 모델

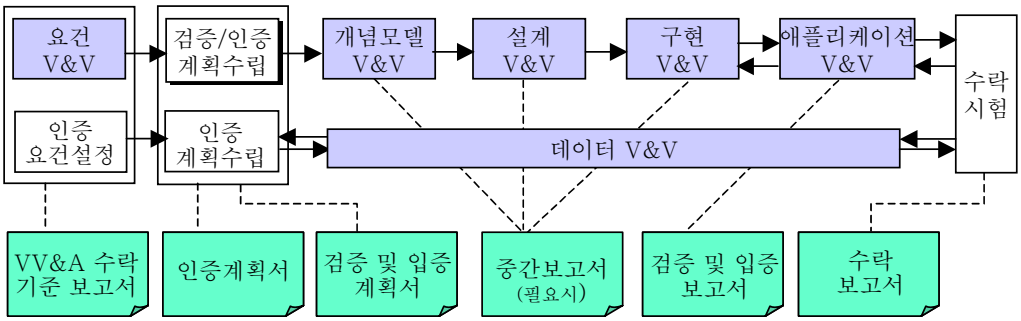
가. M&S개발에서 VV&A 단계구분

VV&A는 단순한 단계라기보다도 M&S 개발 과정과 함께 수행되는 지속적인 활동이다. 일반적으로 M&S의 개발 과정은 요구정의, 개념 모델, 설계, 구현으로 이루어진다. 이에 따라 VV&A 단계도 VV&A 요구결정 단계, VV&A 계획 단계, 개념모델 V&V 단계, 설계 V&V 단계, 구현 V&V 단계, 애플리케이션 V&V 단계, 수락평가 단계, 그리고 인증 단계로 이루어진다.

VV&A 요구 결정 단계에서는 VV&A 요구사항이 결정된다. VV&A 요구에는 사용될 VV&A 프로세스와 기법뿐만 아니라 지원적인 요소 즉, V&V 에이전트의 식별, 요구되는 작업 시간, 하드웨어와 소프트웨어 필요 사항, 전체적인 VV&A 비용 추정 등이 포함된다.

VV&A 계획 단계에서는 개발이 시작되어 인증까지 수행할 사항을 계획한다. 필요한 지침과 제한조건을 고려하여 계획한다. 계획 동안에 적절한 평가 기법과 측정치를 식별한다. 필요시에는 추가적인 도구와 자원을 식별하고 특정 활동을 계획한다. 초기 계획은 초안이나 작업 문서가 준비되었다가 M&S 애플리케이션이 그 형태를 갖추면서 점진적으로 확정되기도 한다. 또한 새로운 정보가 가용하거나 변경이 발생될 때, 그 계획은 다시 검토되고 적절하게 갱신된다. 이 단계에서는 M&S 요구사항 혹은 요건에 대한 V&V가 이루어지고, VV&A 계획서 즉, VV&A 수락기준 보고서, 인증계획서, 검증 및 입증 계획서를 작성한다.

개념모델 V&V 단계에서 개념모델의 검증은 “내가 M&S를 올바르게 만드는가?”에 대한 것이라면, 개념모델의 입증은 “내가 올바른 M&S를 만드는가?”에 대한 것이다. 또한 검증은 기능적인 요건들의 만족여부에 관한 것이라면, 입증은 충실도 요건들의 만족여부에 관한 것이다. 이 단계에서는 개념모델과 그



[그림 2] M&S 개발과 VV&A 활동/산출물

V&V가 문서화 되어야 하는데, 그 문서에서는 개념 모델의 가정 사항, 알고리즘, 모델링 개념, 기대되는 데이터 가용성, 그리고 아키텍처 들이 적절하게 표현되어 있는지의 여부가 설명된다. 그리고 개념모델을 사용하여 설계에서 운용 요구사항을 잘 추적할 수 있는지에 대한 것도 검증되어야 한다. 만약에 페드레이션(federation)을 구성하는 문제라면 다른 모델 혹은 시뮬레이션과의 상호관계가 고려되어야 한다. 개념모델에 대한 V&V는 M&S 개발 이전에 이루어지게 함으로써 시스템이 부정확하게 표현될 수 있는 잠재적인 결함을 피하도록 한다. 초기 단계에서 에러를 식별하기가 쉽고 이를 수정하는 데에도 비용이 적게 들기 때문이다.

설계 V&V 단계에서는 M&S가 구축되는 동안에, 설계가 개념 모델에 부합하는지를 검증하는데, 설계 V&V의 초점은 설계에서 정의된 모든 특성, 기능, 행위, 그리고 상호작용이 개념 모델에서 표현된 요구사항을 포함하고 있는지를 확인하는 것이다.

구현 V&V 단계에서는 일단 설계 구현이 코드로 완료되면, 모델이나 시뮬레이션 결과는 정식적으로(예 : 문서화) 검토된다. M&S의 행위 결과와 알려진 혹은 기대되는 행위와 비교하여 M&S를 의도된 사용 목적에 따라 충분하고 정확하게 표현되었는지를 입증한다. 그리고 확률 프로세스기반의 모델인 경우에는 통계적으로 의미 있는 결과를 얻기 위한 시뮬레이션 반복 횟수에 대한 지침을 정한다. 특히, 요구사항이 소프트웨어 컴포넌트에 구현되어 있는지를 추적 확인한다. 개별 알고리즘과 컴포넌트들을 시험하여 설계된 대로 수행하는 지를 확인한다. 또한 데이터와 코드가 잘 조합되어 바르게 작동하는지도 검토한다.

애플리케이션 V&V 단계에서는 일단 M&S 실행준비가 되면, 애플리케이션 환경 및 배경에 대한 검증과 입증이 필요한데 여기에는 적절한 플랫폼들이 사용되고, 필요시에는 운용자와 HILS(humans-in-the-loop)가 적절하게 훈련되었는지가 포함된다.

수락평가 단계에서는 최종적으로 요구사항 만족여부에 대한 평가를 한다. V&V 평가 동안 지금까지의 V&V로 수집된 정보를 검토하여 인증하기 전에 이루어지는 최종단계이다. 수락평가에 필요한 문서에는 시뮬레이션 능력과 제한조건, M&S 개발과 사용 이력, M&S 작동 요건과 비용, M&S의 한계와 제한 조건이 포함된다.

나. V&V 활동과 시험평가 연계

VV&A를 적용함에 있어서 기존의 시험평가를 고려하지 않을 수 없다. 시험평가와 VV&A는 매우 유사한 활동이다. 체계 개발에서는 서로 포함되기도 한다. 그런데 M&S 개발과 관련하여 시험평가와 VV&A는 차이가 있다. 그림 3은 이들 관계를 나타낸다. 그림 3의 윗부분은 체계개발과 시험평가를 나타내고 아랫부분은 M&S개발과 VV&A를 나타낸다.

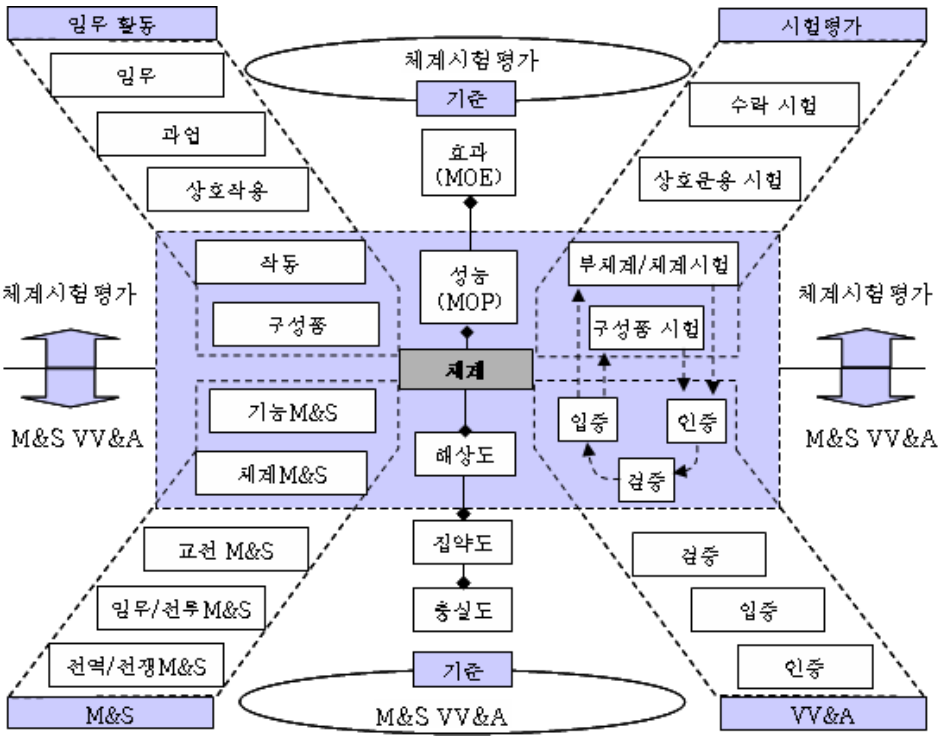
시험평가는 시스템의 성능, 효과에 대한 보증에 초점을 두고 있다. 체계 임무, 과업, 상호작용, 작동 간에 기준(TPM, MOP, MOE, MOFE)에 입각해서 구성품 시험부터 체계/부체계 시험, 그리고 운용시험을 수행하여 평가한다. 반면에 M&S는 체계 임무, 과업, 상호작용, 그리고 작동에 대한 모의이다. 그래서 M&S의 모의 해상도, 모델링 집약도, 모델 충실도를 기준으로 VV&A를 통해서 M&S 능력에 대하여 보증한다.

시험평가와 VV&A는 M&S 형태와 용도에 따라 동시에 수행하기도 하고 독립적으로 수행하기도 한다. 그 용도와 형태는 크게 5가지로 구분된다[14]. 체계운용 모의형, 체계 분석형, 체계개발 지원형, 체계 부분형, 체계 일체형이 있다.

체계운용 모의형의 경우는 M&S가 구축되지만 그 M&S는 체계획득과 무관하다. 획득할 체계가 없기 때문에 하드웨어관련 시험평가 활동이 필요가 없다. 예를 들어서 워게임 모델, 전력분석 모델, 훈련용 모델 등이 여기에 해당한다.

체계 분석형의 경우는 M&S가 개발되어 체계획득을 위한 개념 연구와 프로그램 정의 활동을 지원하는 경우이다. M&S가 체계 개발에 앞서 개발되지만 체계개발을 진행하면서 M&S자체를 갱신하지는 않는다. 그래서 체계가 개발되어감에 따라 M&S와 대상 체계의 동일성은 점점 줄어든다. 이 경우 VV&A와 시험평가는 상호 무관하다. 그림 3에서 임무/전투 M&S와 전역/전쟁 M&S의 경우가 대부분 여기에 속한다.

체계개발 지원형의 경우는 M&S가 체계개발을 지



[그림 3] VV&A와 시험평가 연계모델

원하는 경우이다. M&S가 체계개발에 앞서서 개발되고 체계개발이 진행되는 동안에 지속적으로 갱신된다. 이 경우에는 M&S와 대상 체계가 명확히 구분된다. 모델에 대한 VV&A와 체계에 대한 시험평가가 병행된다. 모델-시험-모델 패러다임에 따라 시험평가와 VV&A는 서로 보완적이고 상호 지원한다. 모델은 체계개발의 방향을 제공하는데 사용되고, 체계 시험결과는 반대로 모델을 갱신하는데 사용된다. 이 경우에는 M&S가 DT&E와 OT&E에 동시에 사용된다. 그림 3에서 교전 M&S의 경우가 대부분 여기에 속한다.

체계 부분형의 경우는 M&S가 체계의 일부분이며, 운용체계에 완전히 내장되어 있는 경우이다. 이 경우는 구성품 수준에서 VV&A와 시험평가가 통합되는데, 구성품 수준에서 V&V를 수행하고 이어서 시험평가를 통해서 인증하게 된다. 그러나 전체체계 입장에서는 VV&A와 시험평가가 분리된다.

체계 일체형의 경우는 시험 대상 체계 자체가 시뮬레이션인 경우이다. 체계 하드웨어는 단지 시뮬레이션을 실행하기위한 컴퓨터 혹은 기계적 장치들로만 이루어진다. 체계 소프트웨어는 시뮬레이션으로만 이루어진다. 이 경우는 그림 3에서 가운데 그림자 네모에서와 같이 V&V와 시험평가가 완전히 통합되는 경우이다. 앞의 체계 부분형의 경우와는 달리 개발 단계상에서 V&V와 시험평가가 동시에 진행되면서 내부적으로 인증과정을 거치고 다음 단계로 넘어가면서 개발을 완료한다.

다. VV&A 적용절차

M&S에서 VV&A 적용절차는 M&S 형태와 용도에 따라 다음과 같이 이루어진다.

단계 1 : M&S 형태와 용도에 따라 제4장 나항의 5가지(체계운용 모의형, 체계 분석형, 체계 개발 지원형, 체계 일부형, 체계 일체형)중에 어느 경우에 속하는 지를 결정한다.

단계 2 : 시뮬레이션/체계 요구사항을 결정한다. 체

계 운용 모의형과 체계 분석형의 경우에는 시험평가와 무관하게 제4장 나항에서 설명한 기존 VV&A 절차 따라 수행한다. 체계개발 지원형, 체계 부분형과 일체형은 시뮬레이션 요구사항과 체계 요구사항에서 공히 시험평가와 VV&A의 통합부분을 식별한다. 다음 3단계부터는 이들 경우에만 해당한다.

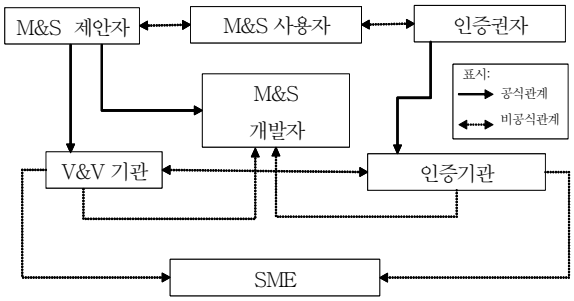
단계 3 : 시뮬레이션 및 체계 요구사항 중 일치(중복)되는 사항들을 다음 3가지 보기로 분류한다. 분류 1 : 매우 중요한 요구사항. 분류 2 : 중요한 요구사항. 분류 3 : 다소 중요한 요구사항. 요구사항이 방대할 경우, 추가적인 분류를 할 수 있으나, 요구사항은 오직 한 분류에만 속해야 한다.

단계 4 : 분류 1 : 매우 중요한 요구사항부터 요구사항들을 다음과 같이 나눈다. 분류 1.1 검증 파티션 : 요구사항이 시뮬레이션의 기본 기능, 설계, 양식, 단순한 사용자 인터페이스를 평가할 경우. 분류 1.2 입증 파티션 : 요구사항이 실세계와 비교한 시뮬레이션의 정확도를 평가할 경우. 분류 1.3 기술 시험평가 파티션 : 요구사항이 체계의 용량, 성능, 체계 인터페이스를 언급할 경우. 분류 1.4 운용 시험평가 파티션 : 체계의 능력을 검사하거나 사용자 인터페이스의 편의성을 평가할 경우. 2개의 파티션 중 어느 곳에 분류해야 할지 모를 경우는 상위 파티션에 배치하며, 그래도 모호할 경우 검증 파티션에 분류한다.

단계 5 : 단계 4를 표로 나타내고, 중요한 요구사항 및 다소 중요한 요구사항에 대해서도 동일한 과정을 수행한다. 단계 6 : 분류 1,2,3에 대한 필요한 기법, 자원, 일정 식별 및 결정한다. 단계 7 : 평가구분(검증, 입증, 기술, 운용)의 통합 및 조정을 수행한다. 단계 8 : 단계 7의 내용을 매트릭스로 표현하고 필요한 자원의 내용을 더욱 구체화 한다. 단계 9 : 평가 시간표를 작성하고 마일스톤을 제시한다. 단계 10 : 제4장 나항에 따라 VV&A 및 시험평가를 수행한다.

라. VV&A 수행체계

M&S의 VV&A와 관련해서 여러 이해 당사자가 있다. M&S 제안 및 개발자, V&V 기관, 인증 중계인(기관), 인증권자이다. M&S 제안 및 개발자는 M&S 개발, 개조, 기록, M&S 형상 관리, 그리고 특정 관심영역의 V&V에 대한 책임을 가진다. V&V 기관은



[그림 4] VV&A 이해 당사자

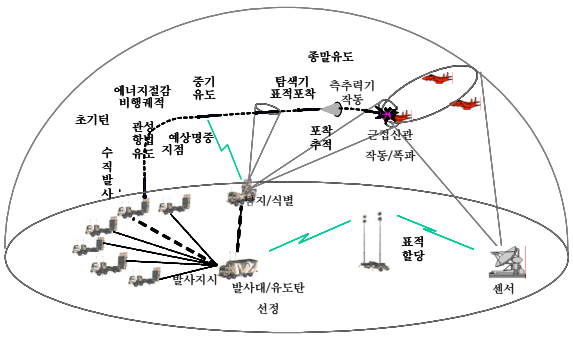
M&S의 V&V 노력 관리와 V&V 결과를 인증 기관에 보고하는 역할을 한다. 인증 중계인(기관)은 특정 M&S 대한 인증 노력 관리와 인증권자에 보고하는 역할을 한다. 인증권자는 최종적으로 인증 결정을 하고 M&S 결과와 전반적인 애플리케이션 사용에 대한 책임을 진다. V&V 기관과 인증기관은 그림 4에서 보는 바와 같이 서로 비 공식관계를 유지하면서 따로 운영되는 것이 일반적이다. V&V기관은 별도 전문가 그룹(SME : Subject Matter Expert)을 형성하여 구성하거나 모델 제안부서에서 주관할 수 있다. 그리고 인증기관(인증권자)은 해당 기관장이 되어야 할 것이다.

인증은 개발자 인증, 사용자 인증, 그리고 3자 인증이 있다. 내부 인증의 경우에는 개발자가 수행하고, 사용자 인증의 경우에는 M&S를 사용하는 사용자가 수행한다. 그리고 3자 인증은 독립적인 외부기관에서 수행한다. 여기서는 보다 객관성을 유지하기 위해서는 3자 인증을 수행한다.

5. MSAM 시뮬레이터에 VV&A 적용안

가. MSAM 체계 시뮬레이터 개발 개요

MSAM체계는 중·고고도 방공무기체계로서 적의 공중위협에 대응하기 위해서 개발되는 무기체계이다. 그림 5는 MSAM의 문제영역을 보여주고 있다. 다기능레이더체계, 교전통제체계, 데이터링크중계체계, 수직발사대 및 유도탄으로 구성된다. 적의 공중위협에 대하여 다기능레이더가 탐지하여 교전통제체계로 보내면, 여기서 지휘통제하고 발사대에서 유도탄을 발



[그림 5] MSAM 문제영역

사하여 제압하게 된다.

한편, 체계 시뮬레이터는 운용통제기, 자동분석기, 전황출력기, 영상출력기, 공중위협 모의기, 유도탄/발사대 모의기로 구성된다. 그리고 다기능 레이더와 교전통제소는 실제적인 장비로 체계 시뮬레이터에 연결된다. 운용통제기는 사용자가 체계 시뮬레이터를 운용함에 있어 전장 환경조건과 방어 시나리오 작성, 적의 공격 시나리오 작성 등의 사용자 인터페이스를 제공하고, 교전 실행, 시뮬레이션 진행 시간관리 등 교전 시뮬레이션을 직접 통제한다. 자동분석기는 교전 수행 중 MSAM 체계의 성능을 지속적으로 감독하고 시뮬레이션 종료 후 교전결과와 함께 체계 성능 측정 결과를 분석하여 제공한다. 전황출력기는 시뮬레이션에 의해 실행 중인 교전 상황을 묘사하는 모의기로 공중위협 모의기에 의한 표적운용과 MSAM의 임무수행 상황을 모니터 할 수 있는 기능을 제공한다. 영상출력기는 전황출력기의 교전 상황을 모니터를 통해 실제 영상과 같이 사용자에게 제공한다. 공중위협 모의기는 운용통제기를 통해 사용자가 입력한 공중위협 표적의 운용과 표적운용에 따른 표적특성을 묘사한다. 유도탄/발사대 모의기는 MSAM의 유도탄과 발사대를 모의한다.

MSAM 시뮬레이터 운용은 먼저, 공중위협 모의기에서 비행 표적을 모의하고 비행정보를 실 장비인 다기능 레이더에서 획득하여 실 장비인 교전통제소로 전송한다. 그러면 교전통제소는 비행정보를 바탕으로 위협평가와 무기할당을 통하여 유도탄/발사대 모의기에 교전지시를 한다. 유도탄/발사대 모의기는 표적에 유도탄을 발사하여 표적을 제압하게 된다. 이러한 교전과정은 전황출력기와 영상출력기를 통해서 애니메이션이 되고 그 결과는 자동분석기로 전송되어 교전결과를 분석하게 된다.

나. MSAM 체계 시뮬레이터 적용모델

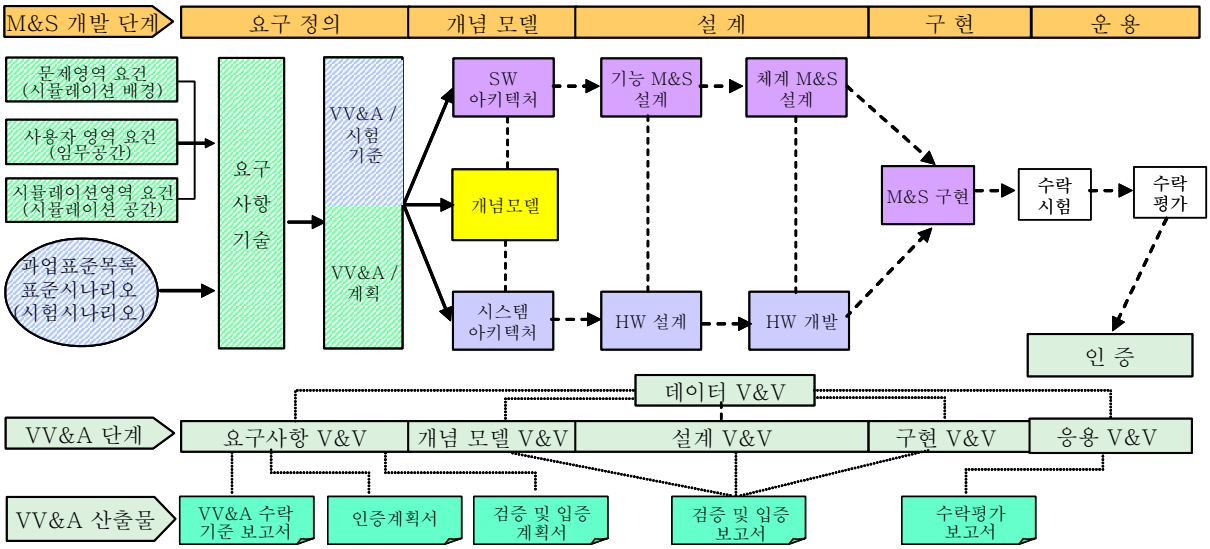
MSAM 체계 시뮬레이터는 시험 대상 체계 자체가 시뮬레이션인 경우로서 체계 일체형에 해당한다. 체계 일체형은 개발 단계상에서 V&V와 시험평가를 병행하면서 내부적으로 인정과정을 거치고 다음 단계로 넘어가면서 개발을 완료한다. 그림 6은 MSAM 체계 시뮬레이터 개발에서 VV&A의 적용모델을 나타낸다.

그림 6의 윗 부분은 M&S 개발단계를 나타낸다. 중간부분은 체계 시뮬레이터 개발단계를 나타낸다. 그리고 아래 부분은 VV&A 단계와 각 단계별 산출물을 나타낸다.

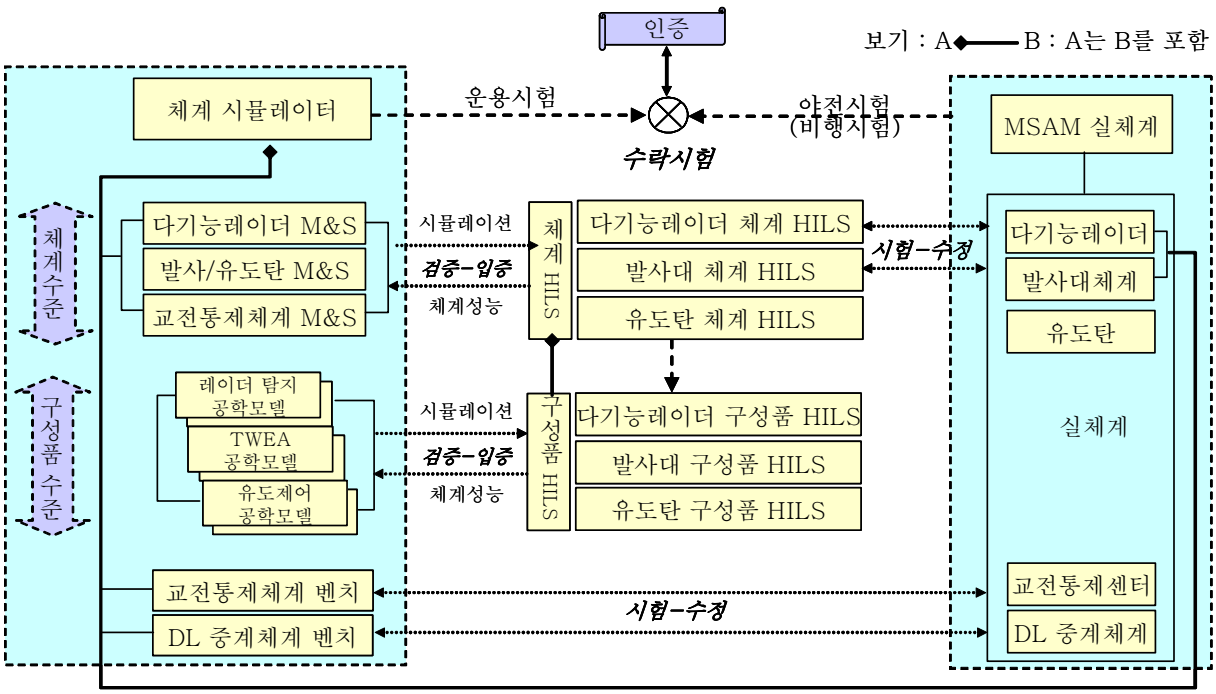
MSAM 체계 시뮬레이터의 V&V는 요구사항 기술서에 대한 V&V부터 출발한다. 요구사항 기술서에는 문제영역에 관한 요구사항, 사용자 영역에 관한 요구사항, 그리고 시뮬레이션 영역에 관한 요구사항으로 구분된다. 문제영역에 관한 요구사항에서는 시뮬레이션의 범위와 수준, 예를 들면, 공학수준, 교전수준, 임무수준, 그리고 모의 대상 및 전장환경 등이 설정된다. 사용자 요구사항에서는 주로 소프트웨어로 구현될 기능, 과업, 임무 등 CMMS(Conceptual Model of Mission Space) 사항들이 포함된다. 그리고 시뮬레이션 요구사항에서는 시뮬레이션 구성요소, 기법, 표준 등이 포함된다. 이들이 요구사항 기술서에서 문서화 된다. 요구사항 기술서는 체계 시뮬레이터 개발의 가장 상위 요구문서가 된다.

요구사항 기술서에 대한 V&V가 완료되면, VV&A 수락기준을 설정하고, 수락기준 보고서와 인증계획서를 작성한다. 또한 요구사항 기술서를 바탕으로 설계 및 개발 단계에서 수행할 V&V 항목과 시험평가 항목을 식별하고 각 항목별 평가 시기와 방법에 관한 매트릭스를 작성하는 등 검증 및 입증계획을 수립한다. 이때 요구사항으로부터 개념모델, 그리고 설계에 이르기까지 V&V 및 시험평가에 대한 추적성이 유지되도록 한다.

이어서 개념모델 개발과 설계와 개발이 이루어지고



[그림 6] MSAM 시뮬레이터에 VV&A 적용 모델



[그림 7] 설계 및 구현 V&V

이에 대한 V&V와 시험평가를 수행한다. 여기서 M&S 소프트웨어와 체계 하드웨어에 대한 설계가 병행해서 이루어지는데, 제4장 나항에서 설명한 체계 일체형의 M&S V&V 프로세스에 따라 구성품 수준부터 부체

계/체계 수준까지 “검증-입증-시험-인증”의 과정을 반복하면서 완성한다. 세부적인 과정은 그림 7에 나타나 있다. 주요 구성품에 대해서는 그림 7에서와 같이 공학모델을 개발하여 V&V를 수행하고 이 수준의 구성품 HILS에서 기술시험을 수행하여 성능계수와 관련 결과를 분석하여 구성품 모델에 대한 인증(accreditation)을 수행한다. 여기서 구성품 HILS를 사용하여 실제 구성품에 대한 시험을 수행하고 그 결과를 다시 공학모델에 반영하여 충실도를 향상시킨다. 이 과정을 반복하여 최종적으로 구성품 수준의 기능모델에 대한 VV&A를 완료하고 체계 구성품에 대한 시험평가를 수행한다.

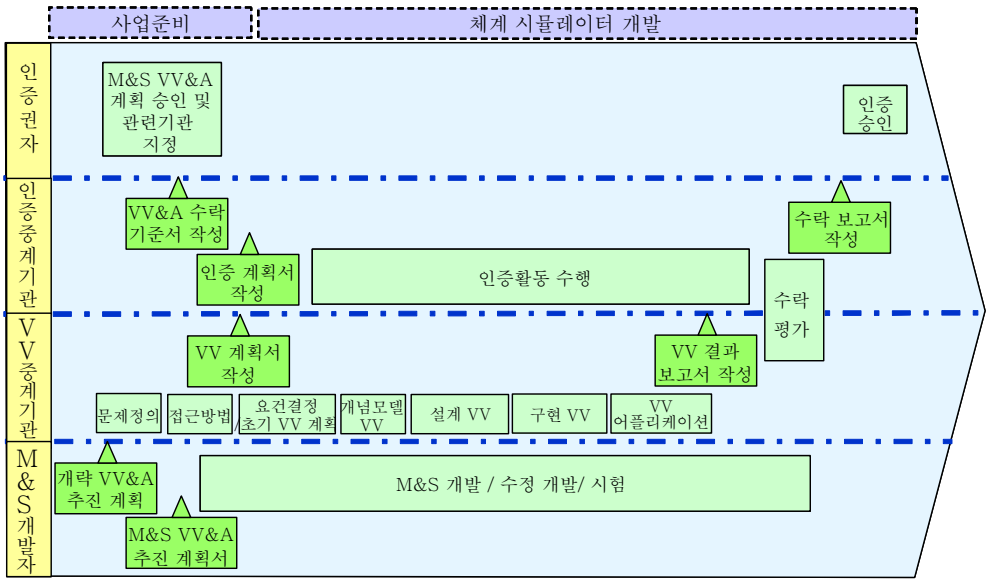
체계수준에서도 마찬가지이다. 그림 7에서와 같이 체계 M&S 모델에 대한 V&V를 수행하고 체계 HILS의 시험평가를 통해서 그 결과를 비교분석하여 인증하며, 필요시에는 모델을 재수정하는 반복과정을 거친 후에 인증한다.

그리고 입증된 각 체계 M&S를 통합하여 체계 시뮬레이터를 구성하고 최종적으로 그림 7에서 보는 바와 같이 운용시험과 실 체계 MSAM의 비행시험의 결과와 비교분석을 통해서 수락시험을 수행한다. 그 후, 체계 시뮬레이터의 데이터 인증과정을 거쳐 입증된 소프트웨어와 검증 및 입증 보고서를 작성하고 이를 근간으로 인증을 한다.

다. VV&A 수행체계

MSAM 체계 시뮬레이터의 VV&A 활동을 수행하기 위해서 VV&A 관련기관의 역할 및 책임과 VV&A 능력을 보유한 기관 지정은 성공적인 VV&A 활동 추진에 있어 핵심적인 사안이다.

그림 8은 VV&A 수행체계를 보여주고 있다. 최초 VV&A 업무 수행에 있어 VV&A 요구자(체계 개발자 또는 M&S 개발자)는 인증권자에게 VV&A 능력을 보유한 기관이나 단체를 VV&A 관련기관으로 추천을 한다. 여기서 인증권자는 추천사항을 평가하여 최적의 V&V 중계기관, 인증 중계기관, M&S 개발자, SME(Subject Matter Expert)를 지정한다. 인증권자는 체계 획득을 위한 사업 주관부서장이며, 인증중계기관은 사업주관부서 또는 필요시 인증 활동능력을 보유한 외부기관을 지정한다. 인증권자는 M&S 사용에 대한 인증 권한을 가지며, M&S VV&A계획을 승인하고 최종적인 인증을 승인한다. 인증중계기관은 특정 M&S에 대한 인증 활동을 수행하며, 인증 활동 결과를 인증권자에게 보고한다. 그리고 VV&A



[그림 8] VV&A 수행체계

수락 기준서, 인증계획서, 수락보고서를 작성한다. V&V 중계기관은 V&V 능력을 보유한 기관이 지정될 수 있다. V&V 중계기관과 인증 중계기관은 상호 대등한 위치의 기관으로 V&V 활동과 인증 활동을 협조하여 수행하며, V&V 계획서, V&V결과 보고서를 작성한다. 인증권자는 수락기준서, V&V 결과보고서, 수락보고서를 참고하여 M&S에 대하여 승인을 결정한다. SME는 비 상설 기관으로 인증권자에게 VV&A의 전반적인 활동을 지원하는 전문가 그룹이다. VV&A 활동은 위 5개 관련기관이 유기적으로 협조하여 수행하여야만 성공적인 VV&A 활동이 된다.

6. 결 론

본 연구에서는 M&S의 신용성 제고를 위한 VV&A 개념 적용에 대하여 연구하였다. 국내에서 개발되는 대부분의 M&S에는 아직까지 VV&A 개념을 적용하지 못하고 있는 실정을 고려할 때, 본 연구의 결과를 활용할 수 있을 것이다. 특히, MSAM 체계 시뮬레이터 개발과 관련해서 VV&A의 적용안을 제시하였는데 이는 다른 체계 시뮬레이터에 대한 VV&A 계획 수립과 이행 시에 동일한 형태로 활용할 수 있을 것이다.

* 본 연구에서 제시한 MSAM 체계 시뮬레이터 적용모델은 저자의 개인 의견임을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

[1] DoD, DoD Modeling and Simulation(M&S) Master Plan, Washington DC, October 1995.

[2] Williams, Marion L, and James J. Sikora, 1992, “Overview”. Simulation Validation Workshop Proceedings(SIMVALII), ed. Adelia E Richie, I 1-6. Alexandria, VA:MORS, 1992.

[3] Balci, Osman, 1996, “Verification, Validation and Testing of Models”. Encyclopedia of Operations Research and Management Science, ed. Sau I.Gass&Carl M. Harris, 719~723, Boston, MA :Kluwer Academic Publishers.

[4] Dean S. Hartly III, Verification & Validation in Military Simulations, Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference.

[5] Jenifer Chew, Cindy Sullivan, Verification, Validation, and Accreditation in the Life Cycle of Models and Simulations, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference.

[6] Caughlin, D. 1999. Ensuring thorough comparison of modeling and simulaion(M&S) results with experimental and test observations, In Proc. SPIE AeroSense99 Conference on Enabling Technology for Simulation Science, April 1999.

[7] Caughlin, D. 2000, An integrated approach to verification, validation, and accreditation of models and simulations. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference.

[8] Robert G. Sargent, Verification and Validation of Simulation Models, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.

[9] Osman Balci, Verification, Validation, and Certification of Modeling and Simulation Applications, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.

[10] Ballistic Missile AQM Defense Organization, Test and Evaluation Verification, Validation and Accreditation policy for ballistic missile defense organization BMDO directive No. 5002, 1994.

[11] DMSO(Defense Modeling and Simulation Office), DoD Verification, Validation, Accreditation Recommended Practices Guide, millenium ed, Alexandria, VA, 2000.

[12] www.vva.dmso.mil

[13] Robert G. Sargent, Verification and Validation of Simulatin Models, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.

[14] DoD. VV&A RPG Reference Document of T&E and V&V Integration, 2001.