

# 무인항공기체계의 개념설계에서 SysML 모델의 활용에 관한 연구

준회원 김 영 민\*, 종신회원 이 재 천\*\*

## On the Use of SysML Models in the Conceptual Design of Unmanned Aerial Vehicles

Young-Min Kim\* Associate Member, Jae-Chon Lee\*\*° Lifelong Member

### 요 약

최근의 전장 상황이 디지털 네트워크 중심의 전장체계를 기반으로 진화하면서, 개발해야 할 국방 전술무기체계가 첨단화, 복잡화, 다기능화 및 고도의 정밀화 등의 특성으로 가속화 되고 있다. 따라서 오늘날 국방 연구개발에서의 복잡도, 비용, 개발기간 및 위험 등을 효율적으로 관리하면서 성공적인 과제수행을 위해서는 시스템공학적인 설계 방법론의 적용이 필수불가결하게 되었다. 본 논문에서는 국방무기체계를 개발하기 위한 전체 수명주기 중 개념설계 (conceptual design) 단계의 설계 활동에서 시스템공학 기법을 기반으로 하되 그래픽모델을 활용함으로써 여러 가지 장점을 추구하는 방안에 관해서 기술하고 있다. 특히 설계 대상시스템으로서 무인항공기 체계개발을 선택하였고, 모델링언어로서 표준 언어인 SysML을 적용함으로써 활용성을 증대시키고, 생성된 모델들이 개념연구단계의 설계 활동에서 활용될 수 있는 방안에 관하여 논의하고 있다. 본 연구의 결과를 기반으로 향후 추가 연구를 수행하면, 대형복합 국방무기시스템개발에서 전면적인 모델기반 시스템공학 방법론을 적용하기 위한 발전과정에 도움이 될 것으로 기대된다.

**Key Words** : SysML(Systems Modeling Language), Systems Engineering, Model-Based Design, Complex-System, UAV(Unmanned aerial vehicle), Conceptual Design, 시스템 모델링 언어, 시스템 공학, 모델기반 설계, 복합 시스템, 무인 항공기, 개념설계

### ABSTRACT

Today's war fields can be characterized by net-centric wars where a variety of independent weapon systems are operated in connection with each other via networks. As such, weapon systems become dramatically advanced in terms of complexity, functionality, precision and so on. It is then obvious that the defense R&D of those requires systematic and efficient development tools enabling the effective management of the complexity, budget/cost, development time, and risk all together. One viable approach is known to be the development methods based on systems engineering, which is already proved to successful in U.S. In this paper, a systems engineering approach is studied to be used in the conceptual design of advanced weapon systems. The approach is utilizing some graphical models in the design phase. As a target system, an unmanned aerial vehicle system is considered and the standard SysML is also used as a modeling language to create models. The generated models have several known merits such as ease of understanding and communication. The interrelationships between the models and the design artifacts are identified, which should be useful in the generation of some design documents that are required in the defense R&D. The result reported here could be utilized in the further study that can eventually lead to a full-scale model-based systems engineering method

\* 이주대학교 시스템공학과(pretty0m@ajou.ac.kr), \*\* 이주대학교 시스템공학과(jaelee@ajou.ac.kr), (° : 교신저자)  
논문번호 : KICS2011-11-587, 접수일자 : 2011년 11월 30일, 최종논문접수일자 : 2012년 2월 10일

## I. 서 론

최근 국방 R&D 연구개발의 환경은 첨단 군사 기술 중심으로 미래지향적인 환경 변화가 이뤄지고 있으며 미래 전장 환경이 정밀무기 중심의 복합무기체계화 되고 네트워크 중심 전쟁 양상으로 변모하고 있다. 따라서 군사 무기체계의 첨단화, 복잡화, 고도정밀화가 가속되고 있다<sup>[1]</sup>. 본 논문에서 다루려는 대상인 군사용 무인항공기(Unmanned aerial vehicle) 체계를 포함한 현재의 무기체계 시스템 또한 대부분 전기, 전자, 기계, 소프트웨어 등 다양한 분야의 정보와 지식을 집성하여 만들어진다. 특히, 군사용 무인항공기가 사용 되어질 현대전(戰)의 양상은 정보기술(IT)의 발전으로 무기체계도 아날로그에서 디지털로 바뀌어 상호 연동된 시스템 사이의 데이터 교환(Data Exchange)의 양도 기하급수적으로 늘었을 뿐만 아니라, 상호 연동성 측면에서 매우 복잡한 양상으로 변모되고 있다<sup>[2]</sup>.

이렇게 현대 시스템의 복잡도는 날로 증가하는 추세를 보이고 있지만 아직도 개발에 필요한 이 모든 측면을 고려하고 제어하여 시스템을 개발할 수 있는 엔지니어보다는 각 전문 분야의 엔지니어들을 중시함에 따라 여러 분야가 융합하여 개발될 수 있는 현재의 복잡한 시스템을 개발하는데 있어 차질이 생기게 되었다. 시스템공학의 발생은 이와 같은 시스템의 복잡성에 대처하기 위한 체계적인 접근방법의 필요에 따라 발생하고 시스템공학의 수요 또한 시스템 복잡성 증가에 따라 증가하고 있다.

최근 전장 무기체계에서 무인시스템(Unmanned System)의 영역이 급속도로 넓혀지고 있는 실정이다. 이러한 무인 시스템 등장은 아군의 인명살상을 최소화하고 작전운용상에 보다 신속, 정확한 전장상황을 제공함으로써, 아군의 통합작전 수행능력을 향상시키고 정확한 타격을 통한 적의 피해를 극대화할 수 있을 것이다. 따라서 우리 군의 최전선 참병역할을 수행할 무인항공기의 체계적인 설계가 강조되며, 특히 이를 위한 방안으로 복잡한 시스템의 설계에 있어서 첫 Stage에 해당하는 개념설계 단계에 모델기반 설계 접근 방법 중 하나인, SysML(Systems Modeling Language)사용을 통한 모델 기반 개념설계연구를 강조하고 싶다.

본 논문에서 다루려는 연구영역인 개념설계 단계에서 시스템공학 설계 접근법에 따른 군사용 무인항공기(Unmanned aerial vehicle) 설계단계의 프로세스를 SysML로 표현하고 프로세스를 구성하는 서브 프로

세스에서 산출되는 산출물을 정의한다. 또한 앞에서 정의한 개념설계 단계를 구성하는 서브-프로세스들을 무인항공기 체계에 적용 및 검증을 통해 SysML 사용에 대한 효용성을 인식한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서는 사회 및 연구의 연구동향과 필요성을 제시하였고, 2장에서는 관련 선행연구 및 연구 목표를 기술하여 문제정의를 언급하였다. 3장에서는 본 연구의 적용 대상인 개념설계 단계의 군사용 무인항공기 체계를 시스템공학 설계 프로세스의 개념설계 단계에서 개념설계 단계를 구성하는 설계활동 분석을 통해 하위 프로세스를 정의 한다. 또한 앞서 정의된 개념설계를 구성하는 개별 하위 프로세스의 산출물을 정의한다. 4장에서는 개념설계 단계 프로세스에 따른 활동들을 SysML을 통한 모델링 적용 및 검증을 제시하였으며 5장에서는 본 논문의 결과를 정리 및 요약 하였다.

## II. 문제의 정의

### 2.1 시스템공학의 필요성

시스템공학 측면에서 국내·외 프로젝트 실패를 바라보면, 아직까진 국내의 경우, 개발 프로젝트 계획 수립 기간 및 예산이 매우 적었음을 알 수 있다. 이는 시스템공학에서 말하는 시스템적인 사고의 부족의 결과로 발생했다고 본다<sup>[3]</sup>. 다시 말해, 개발활동의 초기 활동인 시스템 정의가 명확히 이루어지기도 전에 연구개발의 착수로 인한 결과이기 때문이다.

따라서 프로젝트 성공의 초석이라고 말할 수 있는 프로젝트 전 수명주기 과정에서 개념설계단계의 중요성을 인지해야하며 개념설계 단계의 투자의 확대의 필요성을 주장하는바 이다. 이는 시스템 개념설계 단계의 투자확대로 시스템 전체 개발 비용을 절감할 수 있기 때문이다.

복잡한 무인항공기 체계의 경우 개발하는데 있어서 고비용과 개발 프로젝트의 실패라는 리스크가 항상 존재하기 때문에 복잡한 시스템 개발의 방법론의 주요 대안으로 시스템 공학 접근 방법론이 떠오르고 있다<sup>[4]</sup>. M. Sadraey<sup>[4]</sup>와 R. Colgren<sup>[5]</sup>는 공통적으로 무인항공기 설계에 있어서 시스템공학 상위 수준의 개념만 다루었으며 기존의 문서중심의 시스템 설계 방식에서 벗어나지 못하고 있다.

따라서 복합시스템인 군사용 무인항공기 체계에 대해 모델기반 중심의 개발이 연구되어질 필요가 있다. M. Sadraey<sup>[4]</sup>는 무인항공기 설계에 있어서 시스템공학 설계 프로세스에 따른 개념설계, 예비설계,

상세설계 연구수행에 대해 소개하였다. 하지만 그 연구수준이 너무 상위 수준의 개념만 다루었으며 기존의 문서중심의 시스템 설계 방식에서 벗어나지 못하고 있다. 따라서 복합시스템인 군사용 무인항공기 체계에 대해 모델기반 중심의 개발이 연구되어질 필요가 있음을 적시하고 본 논문에서 연구하였다.

2.2 개념설계(Conceptual Design)의 영역

본 논문에서 다루려는 연구영역인 개념설계 단계는 방위사업청 시스템공학표준 지침(안)을 따르면 선행연구 단계에서 시스템공학 활동 수행을 강조하고 있으며, 특히, 개념 설계 시 그림 1와 같은 시스템공학 활동을 요구하고 있다.

이뿐만 아니라, 개념설계 계획서에 포함되어야 할 시스템공학 관련 활동들을 수행임무 및 세부 수행임무, 요구사항의 추적성 관리방법, 요구사항의 검증 및 확인 절차·방법으로 정의하고 있다. 따라서 국내에서는 개념설계에 대해서 선행연구 활동에 종속된 한 부분으로서 바라보고 있다고 정의 할 수 있겠다.

ISO/IEC 15288에서 제시한 Life Cycle Processes에서는 그림 1와 같이 크게 5단계(Concept, Develop, Production, Utilization, Support)로 Life Cycle을 바라보고 있다[7]. 이러한 단계 중 개념단계는 이해당사자 요구사항 식별 활동을 통한 사용자 요구정의, 개념탐색 및 정의, 시스템 규격 정의, 획득 계획의 활동 영역으로 규정하고 있다.

또한 결정 게이트 역할로서 다음단계를 이행할지, 현 단계를 지속할지 등에 대한 결정의 대안이 이루어지겠다. 이는 위의 시스템공학 표준 지침(안)에서 정의한 개념설계단계의 범위와 활동이 일치함을 알 수 있다.

위에서 언급한 개념설계에 대한 내용의 정황으로 봤을 때, 개념설계란 시스템 설계 프로세스 초기의 한 부분으로서 사용자 요구사항을 개념적 모델로 변



그림 1. 개념설계 시 요구되는 시스템공학 활동 [6]  
Fig. 1. Systems engineering activities required in the conceptual design phase [6]

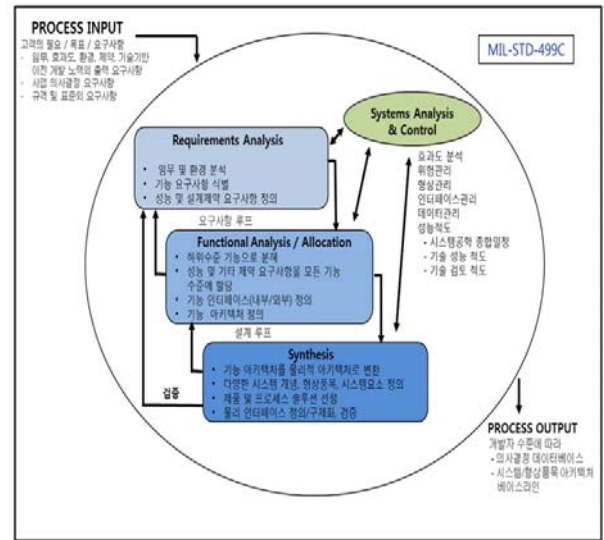


그림 2. 시스템공학 설계 프로세스 [MIL-STD-499C][8]  
Fig. 2. A Systems design process based on the concept of systems engineering [8]

환하는 단계이다. 시스템 레벨에서 따라서 이후의 단계인 상세설계 및 제작에 영향을 미치는 디자인 설계의 초석이 되는 결정적 영역이라고 말할 수 있겠다.

앞에서 제시한 방위사업청 시스템공학표준 지침(안) 따른 선행연구 단계 활동들은 그림 2의 시스템공학 설계 프로세스에서 제시하는 프로세스 활동 영역과 매우 유사하다는 것을 알 수 있다.

그림 2의 MIL-STD-499C는 요구사항 분석, 기능 분석 및 할당, 설계통합 그리고 시스템 분석 및 통제 로 정의하고 있으며 모든 개발 동안 프로세스의 진행 방향은 하향식(Top-Down)분석 · 통합 · 반복 순환적인 구조로 접근하고 있다. 지금까지 프로세스적인 측면을 바라보았다면 이제는 이러한 프로세스를 어떻게 이용할 것 인지에 대한 도구 측면을 바라보겠다. 본 논문에서는 시스템 개발의 실패라는 리스크를 줄이기 위해 SysML을 통한 모델기반 시스템공학 접근법(Model-Based Systems Engineering Approach)의 효용성을 강조하며 모델기반 시스템공학 접근법을 지원하는 수많은 전산지원 도구가 개발되어 사용되는 현 시점에서 현재의 문제점은 Tool 속에 사용된 규약이 표준 언어(Standard Language)가 아니라는 것이다.

이는 시스템 개발에 관련된 이해당사 간에 같은 자료를 가지고 서로 다른 해석을 할 수 있다는 것이다. 그로인해, 시스템 개발의 실패를 초래 할 수 있는 중대한 요소일 뿐만 아니라, 데이터의 호환성, 재사용성 측면에서도 부정적인 측면을 갖고 있기 때문

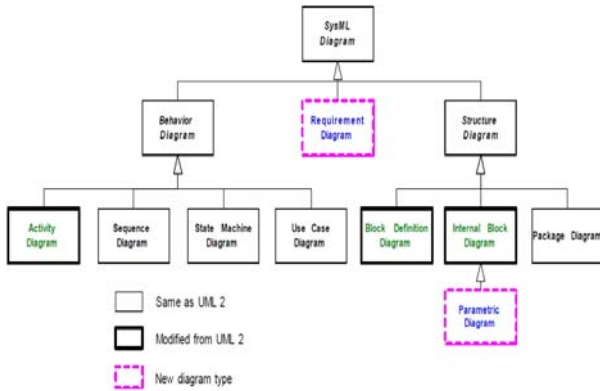


그림 3. SysML 다이어그램의 종류 및 분류  
Fig. 3. Types and classes of SysML diagrams

에 SysML(Systems Modeling Language)이라는 표준 언어를 통해 연구되어질 필요가 있다.

2.3 SysML의 특징 및 활용

그림 3의 SysML 다이어그램 타입<sup>[9]</sup>에서 볼 수 있듯이 SysML은 크게 3가지 특성을 지닌, 거동, 요구 사항, 구조 다이어그램으로 구성된다. CORE, Cradel, Doors 등 많은 시스템공학 전산지원도구의 경우 Tool 자체에서 특화되어 제공하는 모델링 기법 이외에 SysML의 효용성을 인정하고 SysML 지원 영역 또한 넓히고 있는 추세이다.

앞에서 언급한 연구의 필요성처럼 SysML은 표준 언어로서의 기능뿐만 아니라 시스템의 요구사항 생성, 분석, 타당성 확인 및 검증을 위해서 이용 할 수 있어서 미국의 경우, 군사 분야, 우주항공, 자동차 등 다양한 분야에서 폭넓게 이용되어지고 있으며 사용 영역의 범위 또한 넓어지고 있는 추세다. SysML의 특징을 살펴보면 표 1과 같다<sup>[9]</sup>.

2.4 연구의 목표 및 범위

상위의 선행 연구 분석을 통해 본 논문에서 대상으로 다루려는 군사용 무인항공기 시스템뿐만 아니라, 개념설계 단계의 복잡한 시스템(Complex System) 개발에 있어서 총체적이고 체계적인 관점에서 바라 볼 수 있는 시스템 공학적 접근방법으로 다루어 져야 한다. 특히, 모델기반 시스템공학 접근법(Model-Based Systems Engineering Approach)으로 다루어 져야 할 것이다.

본 연구는 이러한 문제에 해결하기 위해 시스템 설계의 초기 단계인 개념설계 단계에 SysML(Systems Modeling Language)이라는 모델링 표준 언어를 통해 군사용 무인항공기의 체계적 설계에 접근에 대한 연

표 1. SysML 특징 및 장점  
Table. 1. Features and benefits of SysML as a modeling language

특징	장점
Standard Language	-정보공유 수월>>이해당사자간 동일한 이해>>시스템 개발 성공
	-호환성
Graphical Modeling Language	-시스템에 대한 명확한 표현 가능
	-목표 시스템을 보다 효과적으로 정보전달 가능 (Visualization) -구조 및 거동 등 다양한 관계로 세분화, 계층화 표현 가능
Compacted Language Specification	- UML 보다 Compact ->> 시스템에 대한 이해의 공통화 용이
Traceability	-설계 변경 및 문제점 파악이 용이

구 수행내용을 그림 4에 나타내었다. 따라서 SysML 이 지닌 장점을 활용하여 개념설계 단계의 군사용 무인항공기(UAV) 체계 개발에 있어서 개념설계 단계를 구성하는 서브-프로세스를 정의하고 각각의 서브-프로세스 산출물을 정의한다. 또한 이러한 과정을 대상 시스템인 군사용 무인항공기에 SysML 적용을 통해 표현하고 검증한다.

III. 개념설계 단계에서의 설계 활동 및 산출물

3.1 국방연구개발프로세스 및 개념설계 단계

그림 5는 국내 국방연구개발 프로세스로서 5단계의 획득단계와 주요산출물 그리고 시스템공학 기술적 리뷰시기를 명시하고 있다. 국내 국방연구개발 프로세스의 핵심은 능력기반 소요제기와 진화적 획득 전략이라는 두 가지 특성을 지니고 있다. 따라서 국내 국방연구개발 프로세스를 살펴보면, 초기 활동인

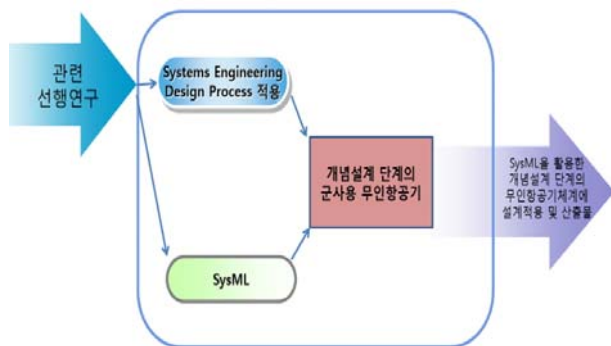


그림 4. 개념설계단계 무인항공기체계 연구 목표 개념도  
Fig. 4. A diagram representation of research goals for the conceptual design of UAV



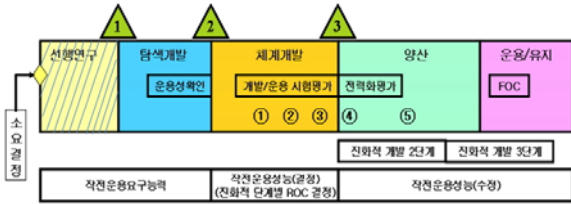


그림 5. 국내 국방연구개발 프로세스 [3]  
Fig. 5. A process for domestic defense R&D

선행연구가 완료되면 마일스톤 1에서 의사결정을 통해 다음 단계로의 진입을 결정한다. 따라서 시스템 개발의 전 수명주기 관점에서 바라봤을 때, 개념 정제 단계는 시스템 개발 과정에서 개념개발 단계를 보다 구체적으로 명확히 강조함으로써 시스템 개발의 성공의 초석을 다지는 역할을 수행함을 알 수 있다.

본 연구에서는 따라서 개념설계 단계란 개념 정제 단계와 서로 상충관계로서 바라보며, 개념정제 단계에서 산출된 예비 시스템 사양은 이후의 단계인 기술 개발 단계 즉 탐색개발 단계에서 기술적 검토과정을 거쳐 확정되는 단계라 생각한다. 따라서 위에서 언급했듯이 ‘개념설계’단계의 범위를 선행연구단계로 한정한다.

3.2 개념설계 단계에서 설계 프로세스 및 산출물

앞에서 언급한 개념 설계 시 요구되는 시스템공학 활동들을 개념설계 단계의 프로세스로 규정하고 개념설계 단계의 프로세스 구성 및 산출물을 간략히 나타낸 모식도는 그림 6의 그림과 같다.

하지만 앞에서 언급한 방위사업청 시스템공학표준 지침(안)에서 제공하는 정보의 경우 큰 틀에서의 프

로세스만 제시 하였을 뿐 프로세스에 들어가는 입력과 입력된 프로세스로부터 어떠한 결과를 Output으로 도출하는지에 대해 기술되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 군사용 무인항공기의 개념설계 단계를 구성하는 프로세스들의 입·출력물을 정의하고 이후 SysML을 통해서 그들 간의 관계 또한 살펴보겠다.

그림 6에서 알 수 있듯이 운용요구서는 프로세스 입력물로서 첫 번째 Step의 프로세스를 거쳐 운용요구서를 생성한다. 또한, 요구사항 정의 및 분석을 바탕으로 운용요구서(ORD)는 개념설계 단계를 거쳐 최종적으로 기술적 요구사항으로 변환되어 시스템요구서가 만들어 진다. 따라서 개념설계 단계를 통해 시스템의 Top-Level 기능, 성능, 인터페이스를 정의할 수 있다. 또한 기능 베이스라인의 기준으로 활용될 수 있으며 그림 7의 오른쪽 부분에서 볼 수 있듯이 산출된 시스템규격서는 시스템 통합 및 시험단계에서 기준으로서 작용 할 것이다.

시스템공학 프로세스의 특징인 각 시스템 레벨에서 반복·순환 구조를 통해서 개념설계 이후의 더욱 상세한 품목성능 규격서-품목상세 규격서-프로세스 및 재료 규격서로서 산출물을 제공할 것이다. 또한, 개념설계 과정의 설계통합 단계에서는 시스템 개념을 생성하고, 하부 시스템과의 관계를 규정한다. 따라서 시스템 개념 정의를 수행하는 개념설계 단계를 거쳐 상세설계 단계로 진행됨에 따라 기술적으로 변화된다는 측면에서 개념설계 단계가 수행되고 생성되는 산출물은 시스템 개발과정에서 프로젝트 성공이라는 입력 자료로 활용된다고 볼 수 있다.

3.3 SysML 모델링의 결과물과 설계 산출물

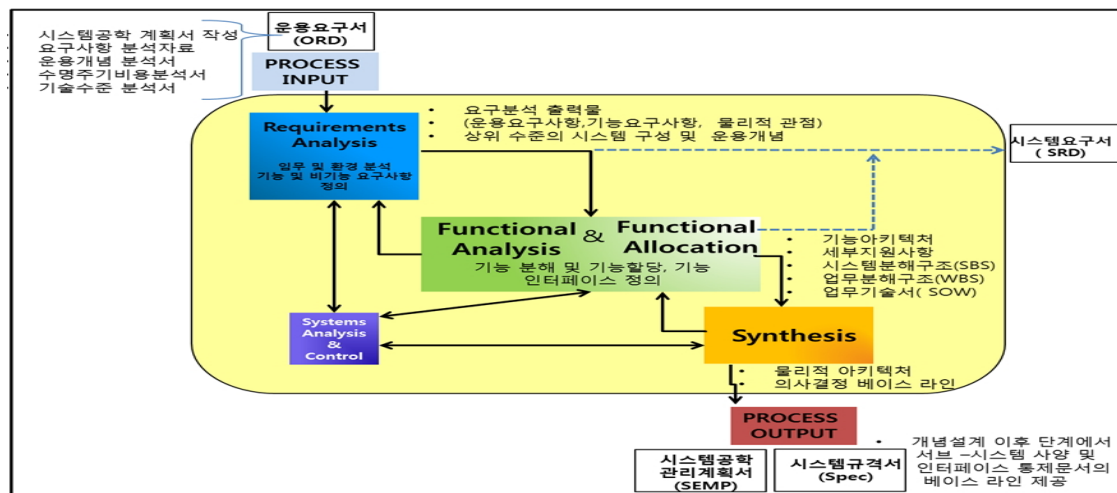


그림 6. 국내 국방연구개발의 개념설계단계 프로세스  
Fig. 6. A process for the conceptual design phase of domestic defense R&D

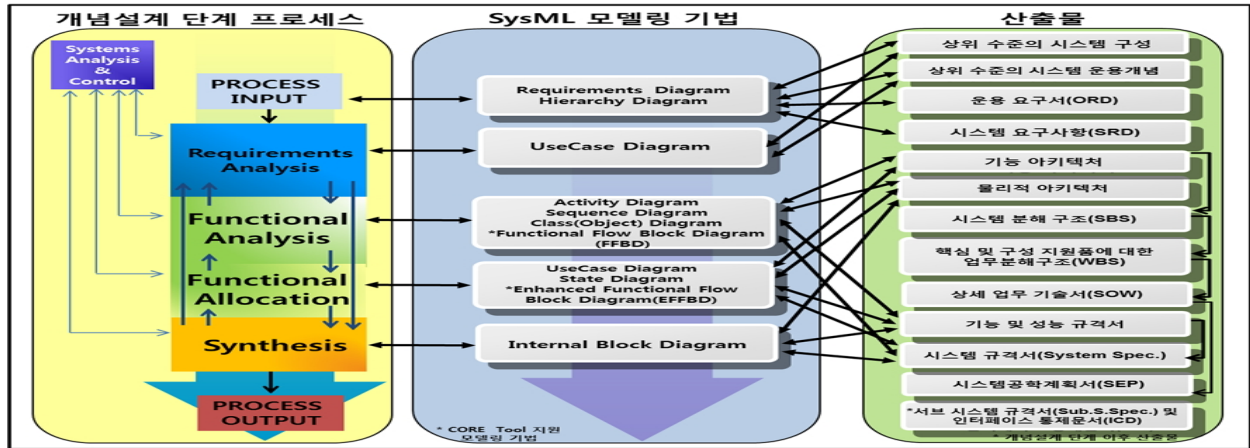


그림 7. SysML 모델링 기법 사용에 위한 개념설계단계 산출물  
 Fig. 7. Results obtained using the SysML modeling techniques in the conceptual design phase

SysML 활용한 MBSE 방법론 적용에 있어서 시스템공학 설계프로세스에 따른 각 개념설계단계의 프로세스 활동을 분석하고 각 설계단계의 프로세스 활동을 지원하는 SysML 및 기타 모델링 기법을 통해 그림 7과 같이 구현하였다. 또한 각 고유의 모델링 기법이 지닌 특성을 활용하여 개념설계 단계를 통해 발생 될 수 있는 산출물이 어떻게 생성되었는지 제시하였다. 각 고유의 SysML 모델링 기법에 따른 특성은 무인항공기체계에 적용하며 자세히 기술하였으며 SysML 모델링 기법이 아닌 FFBD와 EFFBD의 경우 아래와 같이 설명하고자 한다.

시스템공학 전산지원도구인 CORE의 경우, SysML에서 제공하는 표준 다이어그램이 아닌 CORE Tool에서 제공하는 FFBD(Functional Flow Block Diagram)를 통해서 기능들 간의 흐름을 나타 낼 수는 있지만 Function 사이의 관계를 포함하지않고 Control Sequencing만을 표현하는 제한적인 모델이라 할 수 있다. 이 밖에 N2 Chart 경우, 시스템을 구성하는 elements 사이의 Interface를 보여주며 데이터 흐름(data flow) 또한 표현가능 하기 때문에 FFBD의 보완으로 쓰일 수 있겠다.

CORE의 경우, 기능아키텍처 와 물리적 아키텍처 산출물을 생성하기위해서 EFFBD(Enhanced FFBD) Diagram을 통한 수행을 권한다. EFFBD의 경우, FFBD 형식에 데이터 Trigger를 통해 표현하는 FFBD의 강화된 모델로서, Function Sequencing 뿐만 아니라 데이터 흐름(Data Flow)까지 나타내 주고 이를 통해 Time-Line Analysis이라는 시물레이션이 가능한 모델로서 널리 쓰이도록 권장하는 모델이기 때문이다.

EFFBD 모델링 기법의 경우, SysML 사용했을 보다

기능흐름에 있어서 추가적인 정보를 보다 상세히 나타낼 수 있다. 또한 시스템을 구성하는 각 계층에 적합한 모델링 기법을 제공한다는 점에서 SysML이 시스템 계층 구조의 표현에 한계점을 지니고 있는 측면은 표준 언어로서 보완되어야 할 점이라고 생각한다. 하지만 최근에는 SysML 지원 Tool들 사이에서 EFFBD 강점 역시 인식하고 지원하는 도구가 확장되고 있다.

#### IV. SysML모델을 활용하는 설계 사례 연구

4장에서는 개념설계 단계를 구성하는 하위 서브 프로세스에 대해 설명하고 개념설계 단계의 적용대상 시스템인 UAV 체계의 운용개념에 대해 설명한다. 또한 설계 프로세스에 따른 SysML 사용을 통한 MBSE 방법론 적용에 대해 설명 한다.

##### 4.1 대상시스템 UAV 시스템의 운용개념

본 논문에서 적용 대상시스템으로 다루는 군사용 무인항공기 시스템의 기본운용 개념은 적지 중심작전 및 근접작전 임무를 수행하는 무인 정찰용 항공기로서 주야간 실시간 정보를 수집 후 지상전술 C4I 통신체계를 통해 예하부대 작전 지원 및 화력지원을 유도한다. 따라서 무인항공기는 다음과 같은 발사전 무인항공기 점검, 이륙, 통제권 이양, 중계통신 변경, 임무수행, 비가시권 운용, 임무교대, 귀환, 착륙 및 비행 후 점검이라는 표준 임무형상대로 진행하게 되며, 이러한 임무를 수행하면서 UAV 체계를 구성하는 UAV, 이·착륙 통제소, 지상통제소, 지휘소 및 획득 정보로부터 임무를 수행하는 예하부대 등을 포함해 수많은 UAV 체계를 구성하는 요소들 간에 수

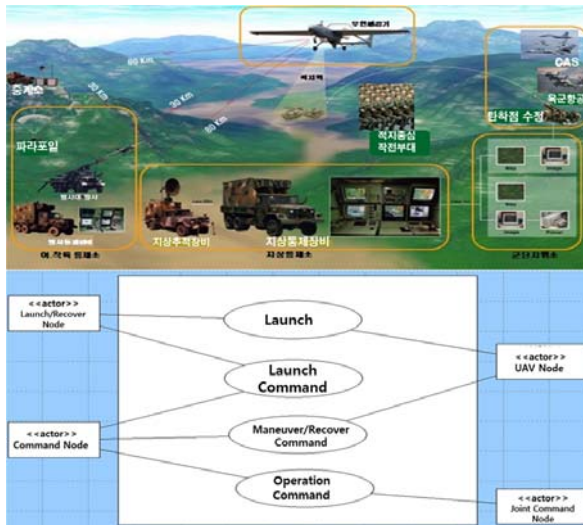


그림 8. UAV 체계 운용개념도 및 UseCase 다이어그램  
Fig. 8. The Operational concept diagram and use case diagram of UAV

많은 통신제어 흐름이 연동되고 있다.

그림 8 에서 볼 수 있듯이 유스케이스 다이어그램을 구성하는 UAV 시스템과 상호작용하는 액터(Actor)인 각각의 운영 노드와의 식별을 한 후 유스케이스인 개별 명령과의 관계(Relationship)를 기술 하였다. 그렇기 때문에 시스템 운용 시나리오 정의 및 분석에 필요한 기능을 식별 할 수 있어서 무인항공기 체계의 운용시나리오 산출물 생성이 가능하다.

#### 4.2 개념설계 단계의 무인항공기체계에 SysML 적용 및 산출물

앞에서 제시한 그림 2와 그림 7 에서 볼 수 있듯이, 개념설계 단계 프로세스의 첫 번째 Step은 입력 단계에 해당하는 활동으로 이해당사자 식별 후, 다양한 방법으로 수집된 이해당사자 요구사항은 SysML의 요구사항 다이어그램(Requirements Diagram)을 활용해 그림 9와 같이 무인항공기에 관한 이해당사자 및 소스 문서(Source Documents)부터 수집한 요구사항을 표현할 수 있다. 또한, 요구사항 다이어그램을 통해서, 요구사항 elements를 정의하고 그 들 간의 관계를 명시한다.

이렇게 수집된 이해당사자 요구사항을 공학용어로 변환 및 요구사항 범주별 분류를 통해 기능, 비기능(성능 및 제약사항) 요구사항으로 구분할 수 있으며 추적성(Traceability)을 통해서 요구사항 추적·변경·이력관리 또한 가능하다. 따라서 개념설계단계의 입력 step에서는 이러한 요구사항, 계층적, 유스케이스 다이어그램의 특성을 활용해 운용요구서(ORD), 시스템

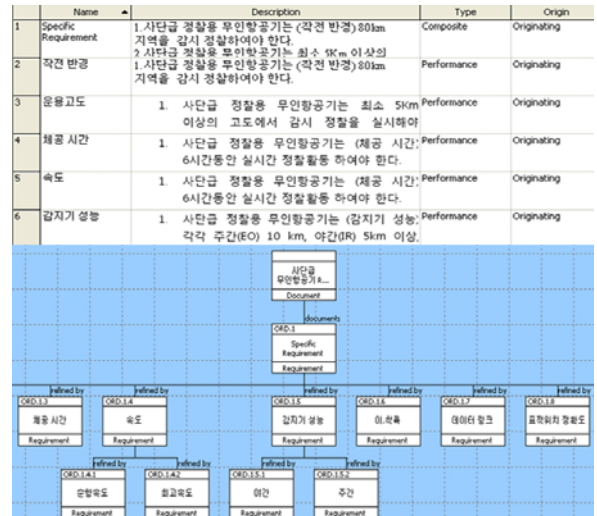


그림 9. Originating ORD(상)과 Requirements Diagram(하)  
Fig. 9. Originating ORD(upper) and Requirements Diagram(lower)

요구사항(SRD), 상위수준의 시스템 구성, 시스템 운용개념을 산출 할 수 있다.

두 번째 Step은 개념설계 단계 프로세스의 첫 번째 활동인 요구사항 분석으로서 이 단계에서는 군사용 무인항공기 시스템이 무엇을 해야 하는지(기능적 측면) 또 얼마나 잘 수행하는지(성능적 측면)에 대한 두 가지 측면에 대해서 이해당사자 요구사항을 시스템 요구사항으로 전환하는 단계이다. 따라서 요구사항 분석단계를 거쳐 생성된 시스템 요구사항을 SysML의 유스케이스 다이어그램(UseCase Diagram)의 활용을 통해서 시스템이 수행해야하는 주요 임무를 기능중심으로 식별가능하다.

유스케이스 다이어그램의 경우 시스템과 액터(Actor)의 식별이 가능해 그들 간의 관계(Relationship)를 기술 할 수 있고 대상 시스템의 개발 범위(Scope)와 경계정의(Boundary Definition)가 가능하다. 또한 시스템 정확(Context) 분석이 가능하기 때문에 시스템 운용 시나리오 정의 및 분석에 필요한 기능을 식별 할 수 있다. 따라서 이러한 특성을 바탕으로 시스템 구성, 시스템 운용시나리오, 시스템요구사항(SRD)를 생성 할 수 있게 된다.

세 번째 Step은 기능분석 단계로서 요구분석을 통해 식별된 무인항공기 시스템 기능을 상위레벨에서 하위레벨로 분해하는 단계로서 이 단계에서 SysML의 경우 액티비티(Activity), Block Definition, 시퀀스(Sequence) 다이어그램을 통해서 기능분석 활동을 나타낼 수 있다. 기능분석 단계를 통해 도출된 시스템 분해구조(SBS)를 기반으로 무인항공기 체계의 개발,



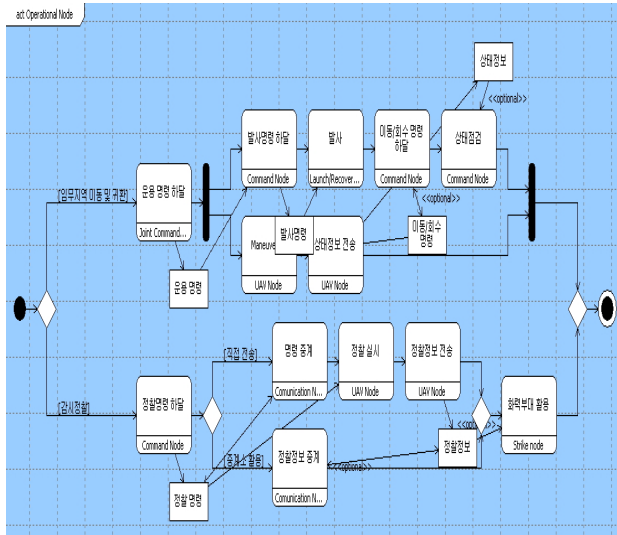


그림 10. UAV 체계 운영 Activity Diagram  
Fig. 10. Activity diagram of UAV operations

양산, 운용, 폐기 등 전 수명주기를 고려한 업무분해 구조(WBS) 또한 도출 할 수 있다. 또한 이렇게 결정된 시스템분해구조(SBS)는 다음 단계인 기능할당 단계에서 거동분석을 통해 도출된 하부 요구사항에 할당되겠다.

이렇게 도출된 업무분해구조(WBS)를 바탕으로 업무구조 항목별로 수행내역을 기술한 업무기술서(SOW)를 작성 할 수 있다. 무인항공기의 적용측면에서 바라보면 기능분석을 수행 하기위해 우선, 유스케이스 목표를 실현하기 위한 필요한 무인항공기의 기능흐름을 정의하여 액티비티(Activity) 다이어그램으로

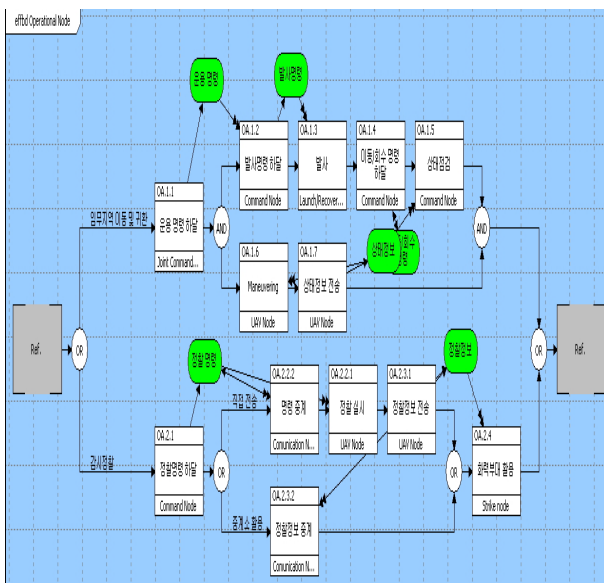


그림 11. UAV 체계 운영 EFFBD Diagram  
Fig. 11. EFFBD diagram of UAV operations

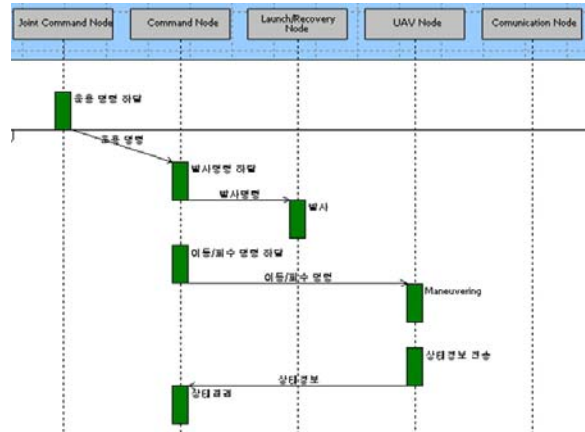


그림 12. UAV 체계 운영 시퀀스 Diagram  
Fig. 12. Sequence diagram of UAV

작성한다. Activity Diagram를 통해서 무인항공기 체계 운용 목표를 달성하기 위한 기능 및 복잡한 시스템 상호간의 통신제어 명령의 흐름을 표현 할 수 있다.

무인항공기의 임무하달에 따른 임무지역 이동 및 귀환 그리고 감시정찰 이라는 두 가지 임무의 경우에 따라 목표를 달성하기 위한 기능의 흐름을 그림 10에 자세히 표시하였다.

유스케이스 각각에 대한 기능 흐름을 정의하기 위해 사용하는 다이어그램으로서 기능(Function)은 Action Element로 정의가능하며, Action 사이의 기능흐름은 control Flow를 통해 정의한다.

액티비티 다이어그램을 통해 정의된 기능 흐름이 외부 시스템과 어떠한 시나리오로 진행되는지 시퀀스 다이어그램을 통해서 시나리오로 표현된다. 액티비티 다이어그램이 시스템의 내부 기능 흐름을 나타냈다면, 시퀀스 다이어그램은 외부 시스템의 상호작용에 의해 수행되는 시스템의 시나리오를 표현한다. 또한 유스케이스 다이어그램을 통해서 시스템의 거동분석을 통해 시스템 레벨에서의 상호작용(Interaction) 또한 식별이 가능하다.

네 번째 Step은 기능할당 단계이다. 이 단계에서는 이전 무인항공기 기능분석 활동을 통해 분해된 기능을 시스템 구성 컴포넌트에 할당하는 활동을 말한다.

앞에서 수행한 액티비티(Activity) 다이어그램을 통해서 정의된 시스템 수준의 기능을 시스템 구성 컴포넌트에 할당할 수 있겠다. 이렇게 할당된 기능들은 어떠한 흐름으로 진행되는지 시퀀스(Sequence) 다이어그램을 통해 표현가능하다. 또한 앞의 요구사항 분석 단계 거쳐 도출된 요구사항은 업무분해구조(WBS)를 활용한 기능분석을 통해 시스템 하위 레벨로 할당 가능하며 할당된 요구사항과 업무분해구조(WBS)



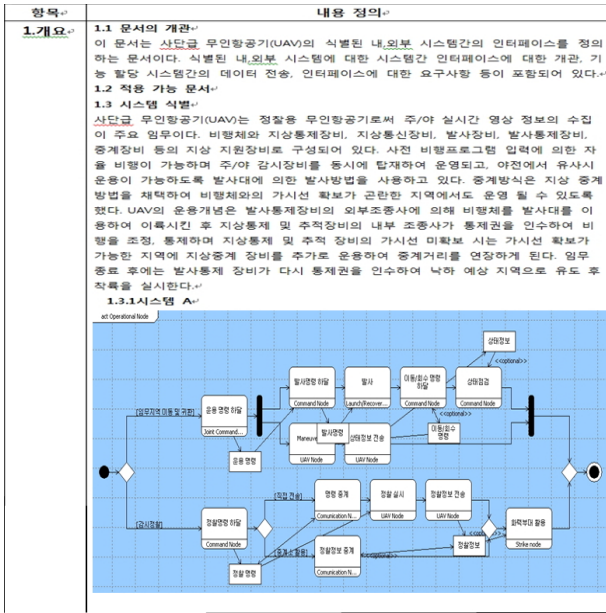


그림 13. 최종 산출물 시스템 기술 문서(SDD)  
 Fig. 13. One of the final products : System description document

와의 연관성을 맺어 추적성을 확보 할 수 있다

sequence Diagram을 통해서, UAV 체계를 구성하는 구성요소들 사이에 기능 흐름을 알 수 있으며 이러한 흐름을 통해 구성요소에 할당된 기능이 어떠한 흐름을 진행되는지 파악 할 수 있으며 이를 그림 12에 나타내었다.

그림 11는 EFFBD 다이어그램을 통해 UAV체계 운영에 대한 모델링 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기능의 흐름 뿐 만 아니라, 녹색표시의 Trigger를 통해서 입력조건을 보다 명확히 제시하고 있다. 이러

한 EFFBD 모델링 기법을 통해 기능 아키텍처, 물리적 아키텍처, 기능 및 성능 규격서, 시스템 규격서 산출물 생성에 유용하게 사용될 수 있다.

다섯 번째 Step은 무인항공기 개념설계 단계 프로세스의 마지막 단계로, 설계통합의 단계이다.

이 단계에서는 물리적 아키텍처의 구성요소에 할당된 기능들이 만족하는지에 대한 설계 대안들이 검토 및 결정되는 단계이다. 따라서 시스템 설계개념이 검토되어지고, 형상품목 및 시스템 요소가 정의된다. SysML 측면에서 바라보면, 앞에서 수행한 기능 분석 및 할당이 완료되고 하부 시스템의 대안이 최종 아키텍처로 선택되면 Internal Block Diagram(IBD)을 통해서 하부 시스템의 구성, 물리적 인터페이스 등을 정의하게 된다.

다시 말해, 시스템의 물리적 아키텍처 정의 및 시스템 컴포넌트 사이의 논리적(Logical) 인터페이스를 정의하는 단계로 시스템 수준에서 정의된 기능을 시스템의 하부 시스템 혹은 컴포넌트를 정의하고 어떤 기능을 수행하는지 정의한다. 따라서 설계통합 단계를 통해 정의된 합성의 결과를 검증하는 과정은 시스템을 구성하는 각 구성요소들의 상태 전이(State Chart) 다이어그램에 따른 거동 분석을 통해서 설계된 시스템 설계 산출물에 대한 검증을 수행 할 수 있다. 또한 설계통합 단계에서는 Internal Block Diagram(IBD)의 특성을 활용해 기능 아키텍처를 물리적 아키텍처로 산출물 변환을 수행 할 수 있겠다.

이밖에 IBD를 통해, 물리적 인터페이스를 식별 할 수 있으므로 개념설계 단계의 이후의 시스템 개발에 있어서 기준 베이스라인을 제공해 서브-시스템 사양 그리고 인터페이스 통제문서 산출에 영향을 미친다.

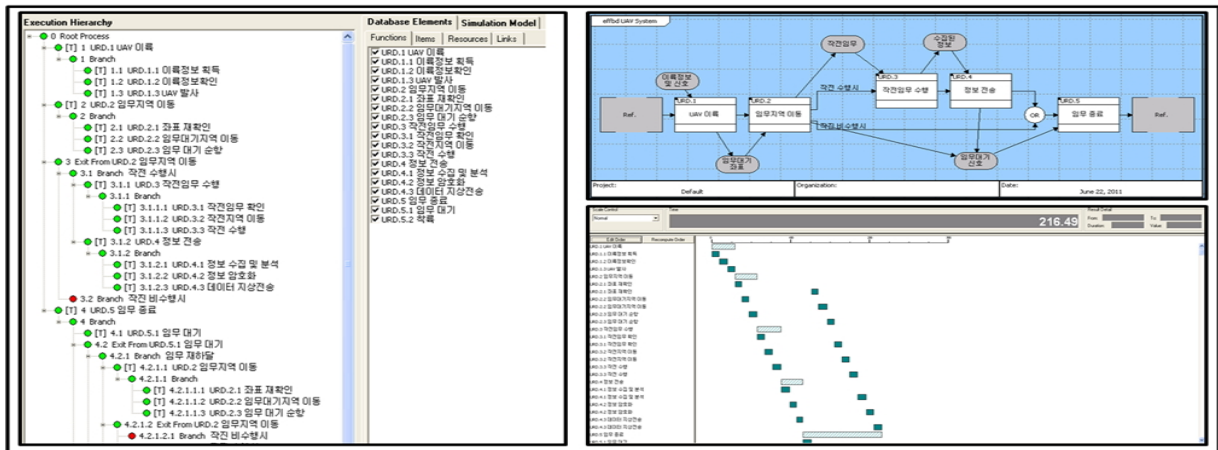


그림 14. UAV체계 검증과정  
 Fig. 14. Verification procedure for UAV conceptual design

지금까지 수행한 요구사항 분석, 기능분석 및 할당, 설계 통합의 개념설계 단계를 거쳐서 생성된 산출물을 집계하여 최종적으로 그림 13과 같이 시스템 규격서, 시스템공학관리계획서, 기능모델과 요구사항을 문서로 정리된 SDD를 산출하는 것을 식별 할 수 있다.

#### 4.3 시뮬레이션을 통한 설계 검증

본 연구의 대상시스템인 개념설계 단계의 군사용 무인항공기 체계에 SysML 적용을 통한 모델기반 설계접근을 전산지원 도구인 CORE를 통해 구현하였다. 개념설계 단계의 무인항공기의 SysML 적용을 검증하기 위해, 그림 14와 같이 CORE 툴의 검증 가능한 모델링 기법인 EFFBD를 통해 Time-Line analysis를 통한 시뮬레이션을 수행하였다. Time-Line analysis를 통해 EFFBD 모델의 논리적 오류를 발견하고 개선하는 과정의 반복을 통해 모델링 과정에 대한 개선을 할 수 있었으며 “Unaddressed Leaf-Level Requirements Query” 보고서 출력을 통해 개념설계 단계 과정에 반영되지 않은 활동들을 정렬할 수 있었다. 이밖에 CORE 툴이 지니고 있는 추적성 특성에 의해 개념설계 단계의 시스템 개발과정에 있어서 이후 변경내용 따른 변경된 사항에 대한 추적관리 또한 가능하다.

### V. 결론 및 요약

모델중심(Model-Based) 접근법을 통한 시스템 개발활동이 최근 활발히 이루어지고 있다. 그로인해 시스템 설계에 있어서 활용되는 전산지원도구 또한 많이 개발되었다. 하지만 이러한 시스템 개발에 있어서 사용되는 공통의 모델링 언어가 있음에도 불구하고 전산지원도구에 사용되는 언어들이 제 각기 다른 언어를 사용해 시스템 개발에 있어서 이해당사자간 큰 혼란을 주어 시스템 개발 프로젝트의 실패로 이어질 수 있다.

본 연구에서는 매우 복잡한 통신 제어기능을 포함하고 있는 군사용 무인항공기 시스템의 개발에 있어서 시스템공학 설계 프로세스에 따른 개념설계 단계를 중점적으로 다루었다. 이번 연구를 통해 개념설계 단계를 정의하고 개념설계 단계를 구성하는 프로세스를 제시하였다. 또한 SysML을 통한 개념설계 단계의 설계활동을 수행하면서 산출되는 산출물을 정의함으로써 이후의 연구자들이 개념설계 단계의 연구활동에 있어서 활용적 측면에서 기여하였다고 생각한다.

이렇듯 본 연구에서는 SysML 활용을 통해 개념설계활동을 구성하는 하위 프로세스 단계인 요구사항 분석 단계를 시작으로 기능분석, 기능할당, 설계 통합 이라는 각각의 설계단계에서 수행해할 활동들을 분석하고 그러한 활동들을 지원하기 위한 모델링 기법과 프로세스를 통해 생성되는 산출물 사이의 연동성을 제시함으로써 아직 국내에서 활발하지 않은 SysML을 이용한 시스템 개념설계 있어서 사용 보편화 방안의 길을 마련하였다.

본 연구를 통해 SysML 활용을 통한 무인항공기 시스템의 통신 제어 반영을 통한 모델기반 설계 기법 및 표준 언어의 사용의 효용성을 주장하였다. 따라서 후속 연구 활동 또한 활발히 진행되었으면 한다. 추후 연구에서는 모델링 기법 간의 입·출력 및 인터페이스를 식별하여 하나의 통합된 프로세스 및 모델링 기법을 제시하는 연구가 필요할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 김성일, 장우진, 주철원, 이경운, 김해천 “국방전자분야 기술 동향”, 한국전자통신연구원 전자통신 동향분석, 제 24권, 6호, pp77-85, 2009년
- [2] M. Sadraey, “A Systems Engineering Approach to Unmanned Aerial Vehicle Design,” in Proc. 2010 ATIO, Texas, United States, 3-15, September 2010.
- [3] 민성기, 권용수, 한명덕 “방위사업청 획득업무시 시스템엔지니어링 적용방안 연구” 한국시스템엔지니어링협회. 기술보고서. 2008
- [4] R. Colgren, “A Systems Engineering Approach to the Design of Control Surfaces for UAVs,” in Proc, 2007 AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Nevada, United States, January 2007.
- [5] Processes for Engineering a System, EIA STANDARD 632, 1994.
- [6] 체계공학(SE) 표준지침(안), 방위사업청, 2010
- [7] Systems Engineering - System life cycle process, in ISO/IEC 15288:2002(E): International Organization for Standardization, 2002.
- [8] David Long “A Roadmap for Model-Based Systems Engineering,” in Proc. 2011 APCOSE, Seoul, Korea, October 19-21, 2011.
- [9] Sanford Friedenthal, *A Practical Guide to SysML*, Oxford : Elsevier, pp. 4-560, 2011

김 영 민 (Young-Min Kim)

준회원



2010년 9월~현재 아주대학교  
시스템공학과 석·박사 통합과  
정  
<관심분야> 모델기반 시스템공  
학, 안전시스템공학

이 재 천 (Jae-Chon Lee)

중신회원



1977년 2월 서울대학교 전자  
공학과 졸업  
1979년 2월 KAIST 전기 및  
자공학과(통신시스템) 석사  
1983년 8월 KAIST 전기 및  
전자공학과(통신시스템) 박사  
19 94년 9월~현재 아주대학교

시스템공학과 교수

<관심분야> 시스템공학, 모델기반 시스템공학, 모델  
링 및 시뮬레이션, 안전시스템공학