스마트 무인기 개발의 SE 적용 사례

A Case of SE Application for Smart UAV Development

오수훈*, 김승주, 임철호 (한국항공우주연구원)

1. 서 론

시스템 엔지니어링은 대부분의 항공우주 분야 개발 사업 대상인 신개념 시스템이나 복잡한 시스템을 효율적으로 개발하는 데 없어서는 안 될 필수적인 분야이다. 산업자원부의 '21세기 프론티어연구개발사업'의 일환으로 추진 중인 '스마트무인기기술개발사업'은 수직이착륙과 고속비행이 동시에 가능한 신개념 비행체 기술과 충돌회피, 자율비행, 고장진단 등의 스마트 기술을 접목하여 개발되는 새로운 개념의 복잡한 무인기(UAV) 체계를 개발하는 사업으로 시스템 엔지니어링의 적용이 필수적인 기술개발 사업이다. 본 논문에서는 스마트무인기 체계의 성공적인 개발을 위하여 시스템 엔지니어링을 적용한 사례를 정리하였다.

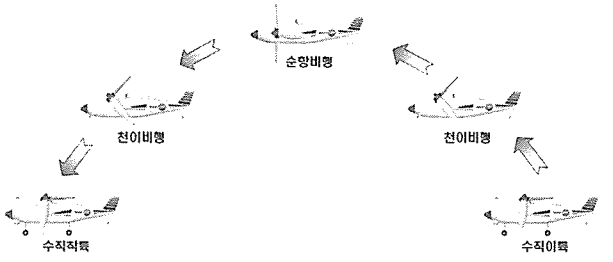

그림 1 신개념 비행체

2. 체계 설계 프로세스

스마트무인기 기술개발 사업은 복잡도가 큰 무인기 체계를 개발하는 사업으로, 개발 초기의 요건 수립으로부터 비행시험을 통한 검증에 이르는 사업 전순기 내내 일관적인 시스템 엔지니어링 프로세스를 적용하는 것이 사업 성공에 필수적인 요소이다. 이러한 시스템 엔지니어링 프로세스는

- 요건분석(Requirement Analysis)
- 거동분석(Behaviour Analysis)
- 아키텍쳐 정의(Architecture)
- 검증(Verification & Validation)의 네 가지 영역으로 크게 나누어지는데 이중 처음 3가지 영역이 시스템 설계에 적용되는 영역이다.

요건 분석을 통하여 다양한 이해당사자(Stakeholders)의 요구도를 분석하여 개발 목표를 명확하게 정의하고 거동 분석 영역에서 기능분석을 통하여 시스템에 요구되는 모든 기능이 식별된다. 식별된 기능을 이를 구현할 컴포넌트에 할당하는 아키텍쳐 정의 과정을 통하여 시스템의 물리적 아키텍쳐가 정의되며 이것이 시스템 엔지니어링 프로세스를 이용한 시스템 설계 과정이다. 본 프로세스의 산출물은 각 시스템의 각종 규격서가 된다.

시스템 엔지니어링 프로세스의 적용을 통한 스마트 무인기 체계의 설계가 수행되었으며 각 영역별 SE 적용 내용을 다음에 기술하였다.

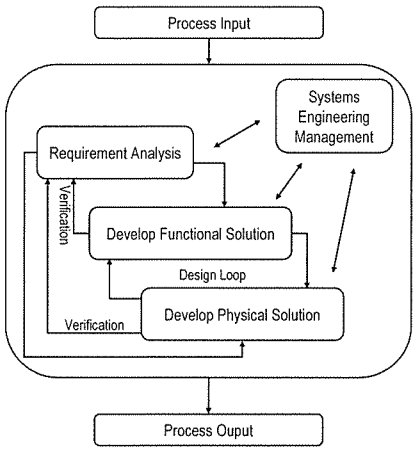

그림 2 System Design Process

3. 요건 분석

요건 분석이란 일반적으로 분명하지 않은 고객의 요구사항을 명확한 요건으로 정의함으로써 개발 목표와 범위를 명확하게 정의하기 위한 작업이다.

요건(Requirements)은 시스템 개발의 성패를 좌우하는 가장 중요한 요소로써, 사용자를 포함한 모든 이해관계자(Stakeholder)들의 요구 사항이 빠짐없이 정확하게 반영된 요건을 사업 초기에 구축함으로서 개발 사업의 성공 가능성을 극대화시킬 수 있으며 이를 위해서 요건분석의 수행이 요구된다. 특히 RDD (Requirement- Driven Development) 개발 방식이 강조되고 있는 최근의 환경에서는 요건이 모든 개발 업

무의 기반을 제공하기 때문에 그 중요성이 점차 부각되고 있는 실정이다.

스마트 무인기 기술개발 사업은 실용화 개발이 목적이 아닌 기술개발 사업으로서 사용자가 구체적으로 결정되지 않은 시스템을 개발하는 사업이기 때문에 가장 중요한 요건인 사용자 요건 자체가 존재하지 않는 상태에서 사업이 수행될 수밖에 없는 한계를 가지게 되었다. 이를 극복하기 위해 잠재 고객 및 요구사항 발굴을 위한 수요조사가 수행되었으며, 수요조사 결과 기반의 운용개념 연구를 통하여 사업 초기에 정확한 최상위 요건(Top Level Requirements)을 정의하고자 노력하였다.

가) 수요조사 [1]

본 사업은 사용자가 결정되어 있지 않기 때문에 수요 조사를 통하여 잠재적 사용자들의 요구사항을 가능한 포괄적으로 시스템 개발에 반영할 필요성이 제기되었다. 수요 조사는 직접 방문을 통한 설명 및 설문지를 통하여 수행되었으며, 설문 내용은 기관의 업무와 관련하여 요구되는 무인기의 활용 가능한 분야, 요구되는 무인기 형상, 성능 및 탑재장비, 예상되는 소요대수, 그리고 구체적인 업무적용 가능성의 5개 분야 총 15개 문항으로 구성하였다.

설문지는 정부기관 10곳, 출연연구소 7곳, 산업계 3곳, 군 2곳, 학계 8곳 그리고 원격탐사위원 19곳 총 49기관 65명에게 배포 하였으며, 이중 40명(회수율 62%)에게 답변을 받았다. 분야별로는 농업, 임업, 도시/환경, 지질/자원, 해양, 연구개발, 육군, 공군 등이다.

활용 가능 분야는 감시 및 항공촬영 분야의 수요가 전체의 85%에 이르는 것으로 나타났으며 임무장비로는 일반카메라(26%) 및 적외선카메라(31%)가 대부분의 답변을 차지하였고 임무장비 중량은 20 ~ 50 kg가 적절하다고 응답한 사람이 51%를 차지하였다.

비행속도는 200km/h이하라는 답변이 39%를 차지하였으며, 속도가 관계 없다는 응답도 26%로 이는 임무수행을 위한 적정 속도는 200km/h 정도이면 만족 가능성이 65% 이상임을 알 수 있었다. 운용거리는 50 ~ 200km가 45%로 가장 많은 응답을 보였으며, 체공시간은 3~10시간을 요구하는 응답이 43%로 가장 많은 응답을 차지하였다.

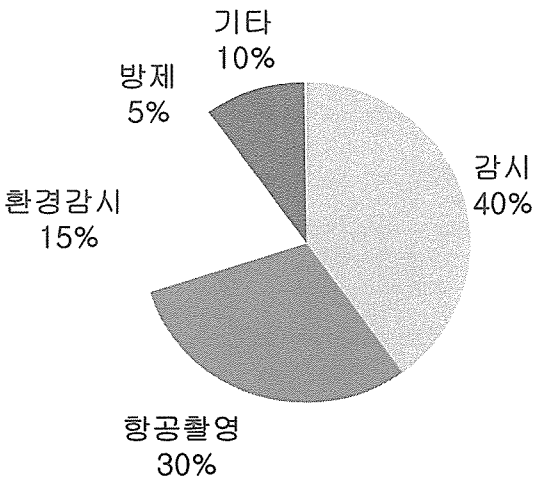

그림 3 수요조사 결과 - 활용가능 분야

나) 운용개념[2]

수요조사 결과를 근거로 다음과 같은 체계 운용개념이 도출되었다.

○ 용도 : 주야간 감시관측, 실시간 영상 획득
○ 운용반경 : 200 km
○ 운용기지 : 육지(활주로 불필요) 및 함상

표준임무형상(Standard Mission Profile)은 운용개념에 맞추어 다음과 같이 설정되었다.

○ 회전익모드로 수직이착륙
○ 고정익모드로 전환 후 3 km 고도로 순항
○ 목적지 도달시간 30분 : 비행속도 400 km/h
○ 임무지역에서 실시간 영상정보 획득 및 전송
○ 귀환시 30분 비행가능 연료 여유

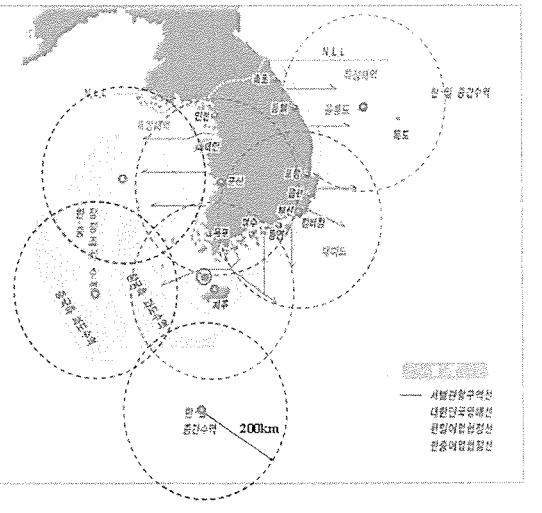

그림 4 스마트 무인기 운용 예 : 해양 치안

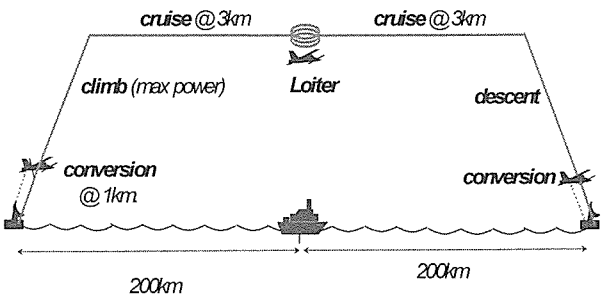

그림 5 표준임무형상

다) 요건 도출

사업 RFP와 이상의 분석결과를 토대로 다음과 같은 주요 요건들을 도출할 수 있었으며 본 요건들이 체계적으로 반영된 체계규격서가 작성되었다.

○ 비행 성능
- 자동 수직이착륙
- 최대속도 : 500 km/h 이상
- 운용고도 : 5 km 이상
- 체공시간 : 5시간 이상

○ 안전성
- 핵심시스템 실시간 고장진단 및 치명고장 판단시 사전프로그램 비행
- 충돌위험 비행체 감지, 충돌위험 감지 후 자동 임무경로변경 및 임무 재수행
- 통신 두절시 통신 복구시도 및 복구 실패시 자동 귀환

○ 운용
- 사전프로그램, 점항법, 카메라 유도, 조종간/노브 자동 비행
- 3차원 전자지도를 보유한 관제장비의 실시간 비행통제
- 통신가시선, 지형지물 충돌 분석

○ 통신
- 통신거리 : 200km 이상의 거리에서 통신 신뢰도 95% 이상
- 통신 강건성 : 비화 및 Anti Jamming 기능 보유, 보조 통신링크 보유

4. 기능분석/할당

시스템 설계를 위해서는 요건 분석을 통하여 도출된 개념적인 요건을 보다 구체적인 설계요구조건으로 변환하는 것이 필요한데, 이를 위해서는 요건을 분석하여 이로부터 시스템에 요구되는 기능을 체계적으로 정의하는 작업이 필요하며 이를 기능분석(Functional Analysis)이라고 한다.

체계 요구조건을 구체적인 설계요구조건으로 변환함으로써 체계 및 부체계의 기능을 구체적인 컴포넌트에 할당할 수 있게 되고, 각 기능의 수행 방법의 정의(수동, 자동, 복합 등)와 함께 기능 수행에 필요한 자원(운용 및 정비 지원요소)을 정의할 수 있게 됨으로써 물리적 아키텍쳐 설계의 기반을 제공하게 된다.

기능분석 도구에는 여러 가지가 있으나 본 과제에서는 가장 일반적으로 사용되는 FFBD (Functional Flow Block Diagram)을 적용하였는데, 이는 요건 분석을 통하여 도출된 체계 요구조건을 충족시키기 위하여 필요한 기능을 식별하고, 이를 더 이상 분해할 수 없는 수준까지 점진적으로 하부 기능으로 분해함으로써 필요 기능을 체계적으로 정의하는 방법이다. 이를 통하여 요구조건을 구조적인 기능 항목으로 재구성함으로써 체계의 거동을 모델링 및 분석할 수 있게 된다.

FFBD를 이용한 기능 분석을 통하여, 체계 및 부체계의 기능을 정의 및 할당하고 필요한 기능을 체계적으로, 누락 없이 정의함으로써 체계규격서 및 개발규격서 작성의 기초를 구축하게 되었다.

기능 분석을 통하여 모든 필요기능이 식별되면 이를 담당할 하부체계로 기능을 할당함으로써 시스템 아키텍처를 구성할 수 있다. 기능 할당을 위해서 RTM(Requirement Traceability Matrix)를 이용하였으며, RTM을 이용하여 기능 할당뿐만 아니라 요건의 추적성을 확보하게 되었다.

그러나 방대한 스마트무인기 체계의 요건 수립에서 검증에 이르는 전 단계의 추적성 확보를 위해 RTM을 이용한 방식을 적용하기에는 한계가 있으므로 전산지원 시스템 엔지니어링 도구인 CORE를 이용하여 스마트 무인기 시스템의 모든 규격서 요건을 데이터베이스로 모델링함으로써 전체 요건에 대한 추적성 관리가 가능하게 되었다.

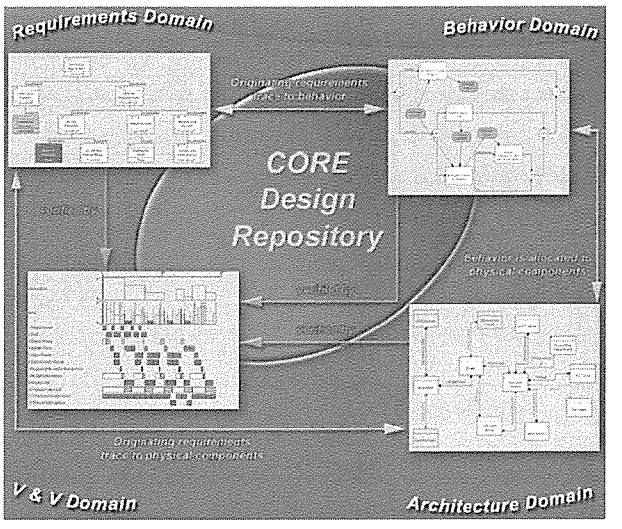

그림 6 CASE Tool - CORE

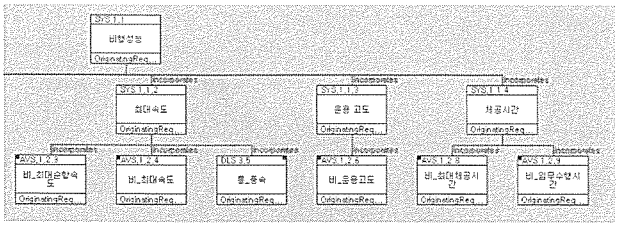

그림 7 CORE를 이용한 추적성 모델 구축 예

5. 체계 구성 설계

새로운 시스템을 설계하는 경우 기능 분석 및 할당 과정을 통하여 식별된 물리적 형상으로부터 체계 아키텍처가 구성되는 것이 원칙이나, 무인기 체계의 경우 이미 다수의 시스템이 배치되어 운용 중이며 현존하는 대부분의 무인기 시스템 아키텍처가 동일하므로 이미 아키텍처가 검증되었다고 판단할 수 있다. 따라서 스마트 무인기 체계의 구성은 기존 무인기 체계의 구성을 따르도록 설계하였다. 담당 기능에 따라

- 임무장비를 탑재하고 임무지역까지 이동하여 원격 영상정보를 획득하는 비행체
- 비행체와 관제장비간 데이터를 연결해주는 통신장비
- 비행체의 원격 조종과 비행체 상태 확인을 가능케 하는 관제장비
- 자동이착륙을 위한 정밀 측위정보를 제공하는 국부정밀측위장비
- 체계의 원활한 운용을 지원하는 지원장비

의 5개 하부체계로 물리적 아키텍처가 구성되었다.

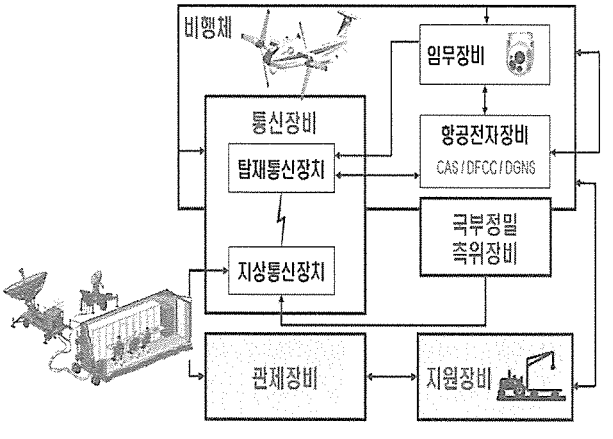

그림 8 스마트무인기 체계 구성도

아키텍쳐 정의와 함께 외부 인터페이스를 정의함으로써 체계의 개발 범위가 규정되었으며, 각 부체계 및 구성품의 형상분할과 이에 따른 규격서의 체계가 정의되었다,

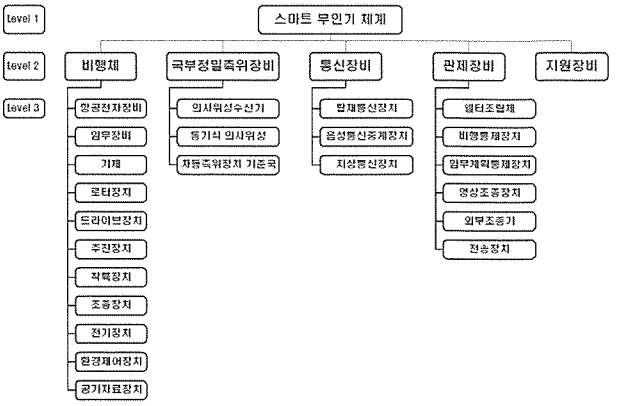

그림 9 스마트무인기 체계 구성 수목도

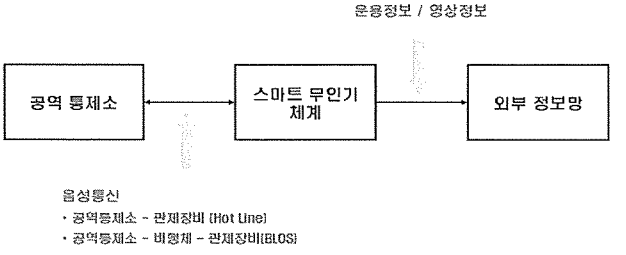

그림 10 스마트 무인기 체계 외부 인터페이스

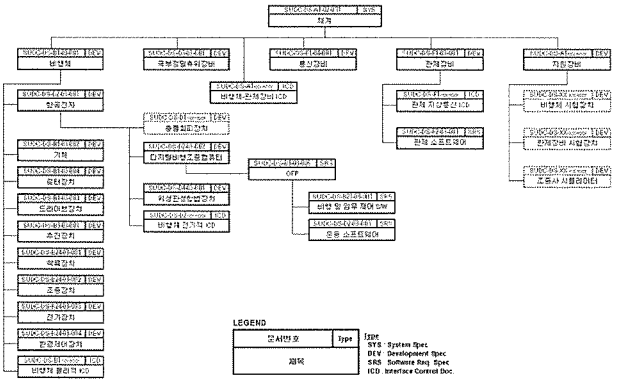

그림 11 규격서 수목도 (Specification Tree)

6. 인터페이스 정의

각 분야의 설계가 동시에 진행되는 동시공학적 개발 환경에서 구성품간 또는 부체계간의 전기적 인터페이스를 명확하게 정의하는 것은 매우 중요한 부분이다. 스마트 무인기 체계의 주요 전기적 인터페이스는 다음의 3부분으로 구분하여 ICD (Interface Control Document)로 정리되었다.

- (A) 비행체 전기적 ICD : 비행체 탑재장비 간의 전기적 인터페이스
- (B) 관제-지상통신 ICD : 관제장비와 지상통신장치간의 전기적 인터페이스
- (C) 지기상간 ICD : 유/무선통신을 위한 전기적 인터페이스

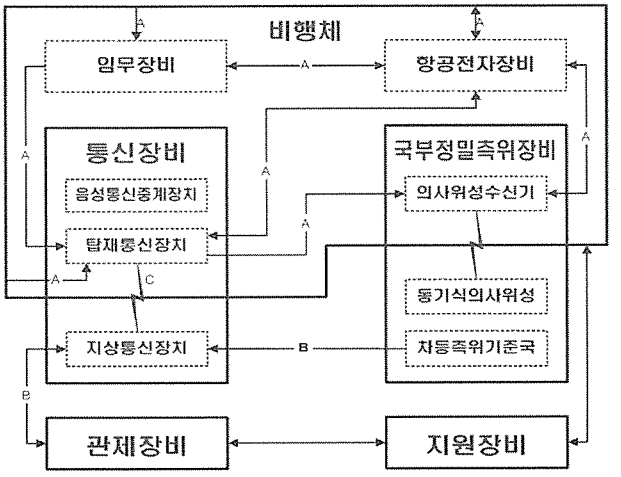

그림 12 ICD

7. 검증 계획

상세설계 검토회의 (Critical Design Review - CDR) 시점을 기준으로 사업의 수행 단계가 설계 영역에서 검증영역으로 전환된다. 검증 단계에서의 시험평가 계획을 총괄하는 시험평가 총괄계획서(Test & Evaluation Master Plan : TEMP)[3]를 작성하여 스마트무인기기술개발사업의 모든 시험평가 활동에 대한 개요를 규정하였다.

구성품 수준의 시험에서 시작하여 부체계 및 체계 수준의 시험으로 전개되는, 구조적이고 체계적인 시험 방식을 적용하여 스마트 무인기 체계의 모든 시험을 수행하도록 규정하였다.

체계적인 시험 및 검증이 수행될 수 있도록 CORE를 이용하여 요건 영역 모델과 유기적으로 연결된 검증 영역 모델을 구축하였다. 구축된 검증영역 모델을 기반으로 CORE를 이용하여 모든 구성품, 부체계 및 체계의 시험 및 검증 계획서를 작성함으로써 체계적인 검증 계획이 수립되었다.

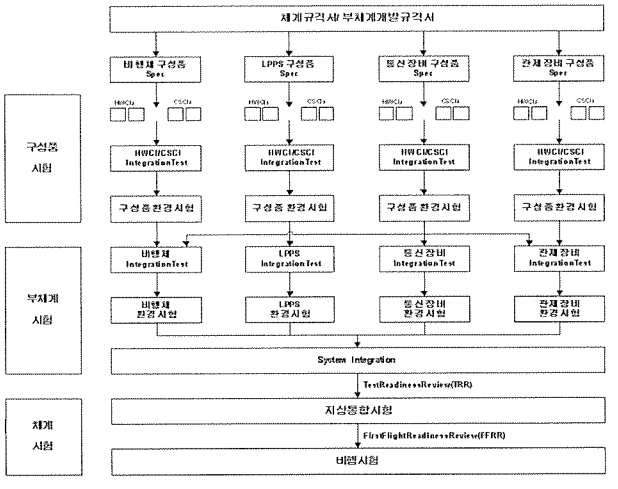

그림 13 TEMP - Test Flow

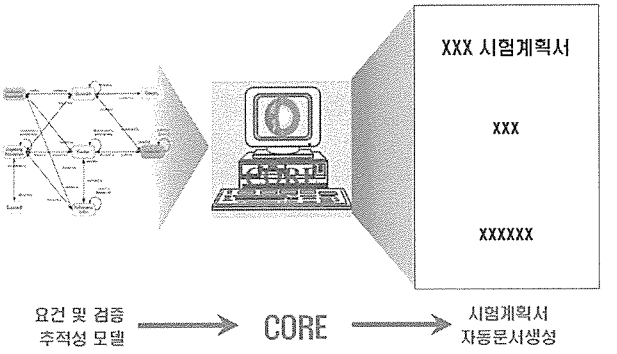

그림 14 자동 시험 및 검증계획서 작성

8. 결론

시스템엔지니어링 프로세스를 적용한 스마트 무인기 체계의 상세설계가 수행되었다. 요건 분석을 통하여 다양한 이해당사자(Stakeholders)의 요구도를 분석하여 개발 목표를 명확하게 정의하고 거동 분석 영역에서 기능분석을 통하여 시스템에 요구되는 모든 기능을 도출한 후, 식별된 기능을 이를 구현할 컴포넌트에 할당하는 아키텍쳐 정의 과정을 통하여 체계의 물리적 구성이 정의되었고 시스템 엔지니어링 프로세스의 산출물로 각종 규격서가 정의되었다. 또한 CORE를 이용하여 모든 요건의 추적성을 구축하고, 구축된 모델을 기반으로 체계적인 시험 및 검증계획서를 작성하였다.

후 기

이 연구는 산업자원부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 기술개발사업(스마트무인기기술개발사업)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 김중욱 외 5명, "스마트무인기 국내수요 조사", KARI-SUDC-TM-2003-002, 2003
[2] 오수훈, "스마트 무인기 체계 운용개념", SUDC-ED-A1-03-006, 2004
[3] 오수훈, "시험평가 총괄계획서", SUDC-TS-A1-03-002, 2004