

# 스마트 무인기 개발 프로그램의 시스템 엔지니어링 적용

이정진\*, 김재무\*\*, 임철호\*\*\* (한국항공우주연구원)

## SE Application of Smart UAV Development Program

Jung Jin Lee\*, Jai Moo Kim\*\*, Cheol Ho Lim\*\*\*

### ABSTRACT

The Smart UAV Program was motivated by a huge potential market, a various application and future core technologies. The Smart UAV system is defined as the advanced air vehicle with the smart technology such as collision awareness and avoidance, healthy monitoring and self-recovering, intelligent active control. Due to the broad interest by government, industry and academia, Smart UAV development center and government steering committee were established. The organization of the Smart UAV program consists of domestic/international companies and academia. In this paper, the process and application of system engineering was introduced for Smart UAV development program.

**Key Words** : Smart UAV, Top-Level Requirements, Specification, SE Process, System Hierarchy, Interface

### 1. 서론

스마트 무인기 기술 개발사업은 과학기술부 21세기 프론티어 사업 과제의 하나로 2002년 6월에 시작되어 3단계 총 10년의 연구기간에 최첨단 스마트 무인 비행체를 개발하는 것이다. 스마트 무인기는 할주료가 없는 좁은 공간에서도 수직 이착륙이 가능하고 고속비행 능력을 가지며, 완전자동비행은 물론이고 충돌회피와 같은 자율비행 능력 및 자가고장진단 기술을 가진 무인비행체이다. 스마트 무인기는 전형적인 비행체와는 달리 회전익 기능과 고정익 기능, 복합 관제기술, 그리고 고도의 무인화 기술 및 인공 지능 스마트 기술 등의 복합적인 기술의 결합이 요구된다. 또한 스마트무인기와 같은 완성품 기술을 갖고 있는 국가는 없는 실정이며, 일부 기술 보유국에서도 핵심기술에 대해서는 기술 이전에 매우 소극적인 입장으로 개발에 따른 위험도가 다른 시스템에 비하여 많은 형편이다. 따라서 효율적인 시스템 개발/성공을 위해서는 어느 경우 보다 효과적인 시스템엔지니어링의 적용이 필요하다.

본 사업은 Fig. 1에 보는 것처럼 스마트 무인기기술개발사업단을 중심으로 수요 기관/기업의 고객 요구를 도출하였고, 이 요구도를 바탕으로 산업체·학계·연구소가 각 기관의 특성에 부합한 연구개발을 수행하며, 국제시장을 진출을 위한 운항 법규나 핵심기술 교류 및 협력을 위한 해외 기관/기업과의 기술협력체를 구성하고 있다. 사업단에서는 시스템엔지니어링과 체계종합을 담당하는 체계종합조직이 따로 구성되어 있다. 체계종합조직에서

는 기본설계과정까지 동시공학 설계기법을 적용하여 무인기설계의 핵심 엔지니어링을 수행함을 물론이고, 체계적인 목표관리/평가 및 위험도 관리 등 시스템엔지니어링을 병행하고 있다.

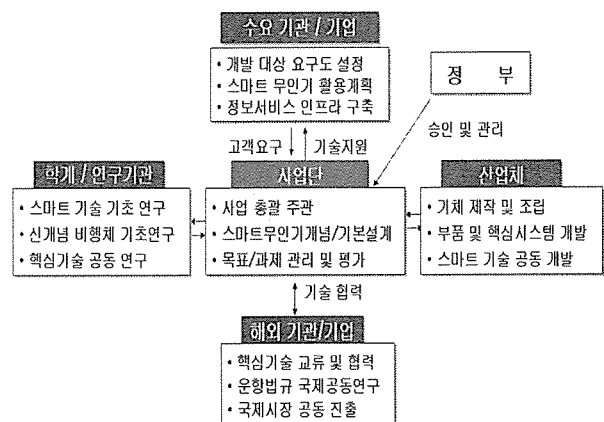


Fig. 1 스마트 무인기 연구개발체계

본 논문에서는 스마트 무인기 개발 사업에 대한 전반적인 개요와 시스템엔지니어링 프로세스를 어떻게 적용하고 있는지를 소개하고자 한다. 선진 외국의 경우와 같이 완전한 시스템엔지니어링 프로세스를 적용하기보다는 스마트무인기 시스템에 적합하도록 자체 프로세스를 구축하고자 하였다. 불합리한 부분이나 빠진 부분, 보완할 부분 등은 우리의 실정에 맞게 제단(Tailoring)하여 시

시스템을 보완/유지할 예정이다.

## 2. 스마트 무인기 개발 사업 개요

### 2.1 최종 목표

스마트 무인기 기술개발사업의 최종 목표는 혁신 기술과 강건성을 보장하는 인공지능형 무인기를 개발하는 것이다. 기술적인 특성으로 완전자동으로 수직 이착륙이 가능하고, 500 km/hr 이상의 비행속도를 가지며, 유인기 공역에서의 자유로운 비행을 가능하도록 충돌회피 기능과 유인기 수준의 신뢰도를 보장하는 무인 비행체이다.

Fig. 1은 스마트 무인기 사업의 단계별 목표를 보여주고 있다. 1단계는 스마트 무인기 기술기반 구축을 목적으로 하여 신개념 비행체의 체계연구와 핵심시스템 기술 연구를 수행하고, 2단계는 4년으로 신개념 무인기의 기술 시연을 목표로 하고 있다. 즉 수직 이착륙 무인비행체의 비행 시험 및 고속 비행 시험을 통하여 신개념 무인비행체 기술을 입증하고, 마지막 3단계에는 충돌회피기능, 자가 고장진단기능, 완전 자동 비행이 가능한 스마트 무인기의 기술 실증을 개발하는 것이다.

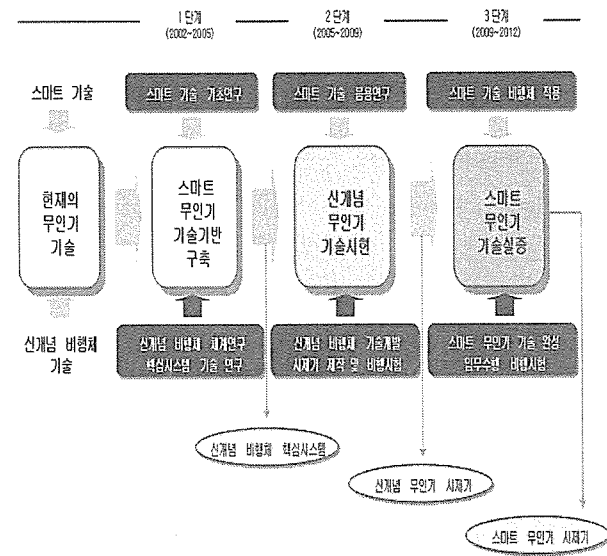


Fig. 2 스마트무인기 단계별 목표

### 2.2 조직 구성

Fig. 2는 스마트 무인기 사업의 개발 조직도를 보여주고 있다. 사업단을 중심으로 상위 기관으로 과학기술부와 사업 선정, 추진, 평가를 담당하는 추진 위원회와 전담평가단이 구성되어 있으며, 사업단 운영 조직으로 주요 연구개발사업의 심의 및 승인 기구로 운영위원회와 연구계획서 심의 및 조정, 과제 평가를 담당하는 평가위원회, 그리고 사업개발에 대한 자문기구로 자문위원회가 구성되어 있으며, 사업단의 직속 기관으로 행정 및 사업 관리를 수행하는 사무국과 스마트 무인기 시스템의 전반적인 기술관리 및 시스템 엔지니어링을 수행하는 체계종합기관과, 그 이하에 각 부체계의 연구과제를 주관하는

연구개발기관(연구소, 산업체, 대학)으로 구성되어 있다. 본 사업은 체계종합, 비행체 설계, 비행체 통합, 항공전자, 통신, 과제 장비를 개발하는 6개의 시스템 연구개발과제와 스마트 관련 기술로 구조, 제어, 공력 분야의 10개의 스마트 기술개발 과제로 분류되어 있고, 그 산하 기관에 위탁연구를 수행하는 약 20개의 위탁연구기관과 3개의 해외연구기관으로 구성되어 있다.

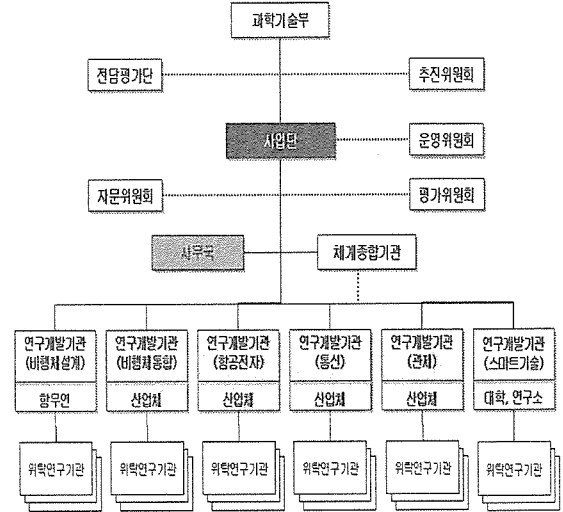


Fig. 3 스마트 무인기 개발 조직도

### 2.3 최종 개발 형상 제원

Fig. 3은 스마트 무인기 개발 최종 형상을 보여주고 있다. 틸트 로터 형태의 무인 비행체로 이륙시 헬리콥터와 같이 나셀이 수직으로 위치하여 공중으로 부양하며 일정 고도에 이르면 나셀을 90도 전진방향으로 변환되어 일반 항공기와 같이 비행을 한다.

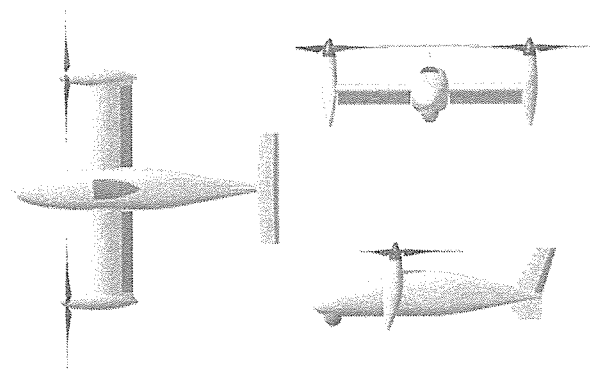


Fig. 4 스마트 무인기 개발 형상

Table 1은 스마트 무인기의 제원을 나타내고 있다. 동체 길이는 5 m이며, 날개 스패ん 길이는 로터 블레이드를 포함하여 6.4 m이며, 로터를 제외 시 4 m이다.

Table 1. 스마트 무인기 주요 제원

항목	제원
크기	5 x 6.4 x 2 m

설계최대중량	945 kg
엔진최대마력	560 Hp
유상하중	40 ~ 65 kg
최대속도	500 km/hr
최대체공시간	5 hrs
통신 가시거리	200 km
통신 링크	10 Mbps
링크 마진	20 db

### 2.4 개발 일정

Fig. 5는 스마트 무인기 사업의 개발 일정 및 주요 마일스톤을 보여주고 있다.

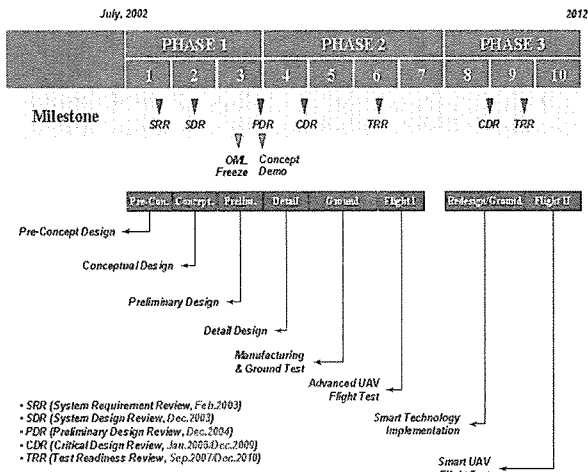


Fig. 5 스마트무인기 개발 일정

시스템엔지니어링 차원에서 각 설계단계별 검토 회의는 1단계 기본설계 단계에서 SRR(System Requirement Review), SDR(System Design Review), 그리고 PDR(Preliminary Design Review)을 수행하며, 2단계 첨단 무인 비행체 시연 기간에서 CDR(Critical Design Review)과 TRR(Test Readiness Review)을 수행하여 1차 시제기에 대한 비행시험을 실시할 예정이다. 마지막 3단계에서는 스마트 기술을 적용한 스마트 무인기에 대한 최종 CDR을 다시 수행한 후, TRR을 거쳐 스마트 무인기를 시연할 예정이다.

### 3. 과제 선정 절차

#### 3.1 과제 도출

스마트 무인기의 과제 도출을 위해 Fig. 6과 같이 기술 체계도를 작성한 후 각 분야에 요구되는 기술을 먼저 분류하였다. 최종적으로 7개의 연구과제가 도출되었고, Table 2과 같이 과제별 목표를 설정하였다.

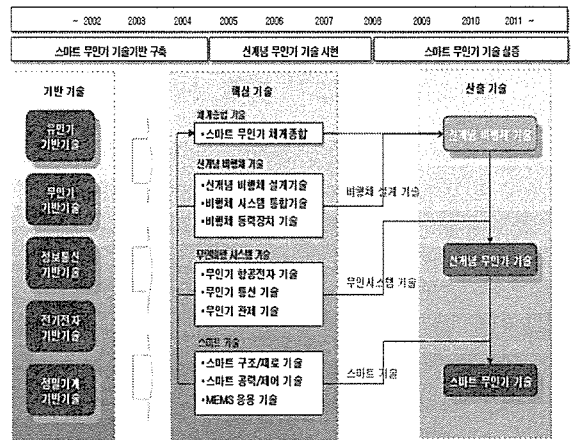


Fig. 6 스마트 무인기 기술 체계도

Table 2 스마트 무인기 과제

과제 분류	과제별 목표
스마트무인기 체계중합기술	미래 신기술 예측 및 적용을 통한 스마트무인기 체계개발
신개념비행체 설계기술	스마트 무인기기술을 적용할 수 있는 수직 이착륙 신개념 비행체 설계 및 제작
비행체 통합기술	스마트무인기 구조/세부계통의 상세설계, 제작 및 시스템 통합
항공전자 기술	신개념 무인비행체의 자동비행 항법/제어/구동시스템 개발
통신기술	국내지형특성이 고려된 선진수준의 통신링크 개발을 통한 세계시장진출
관제기술	다양한 임무를 최적의 환경으로 수행할 수 있는 지상관제 시스템 개발
스마트 기술	스마트 구조/재료, 공력/제어, MEMS 응용기술을 이용한 스마트 기술

#### 3.2 과제 선정

Fig. 7은 과제 선정 절차를 보여주고 있다. 스마트 무인기 사업단에서 사전 검토를 한 후 전문 평가위원회를 구성하여 서면 평가 및 패널 평가를 수행한 후 필요시 현장평가를 통하여 과제를 선정 하였고, 최종적으로 운영위원회에서 선정된 과제에 대한 심의를 거쳐 확정하는 절차로 수행했다.

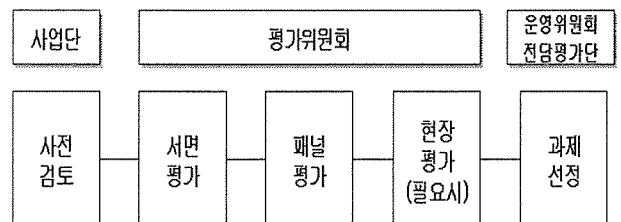


Fig. 7 과제 선정 절차

#### 4. 시스템엔지니어링 관리

##### 4.1 연구과제 수행 흐름도

Fig. 8은 스마트무인기 시스템개발의 본격 수행을 위한 흐름도이다. 스마트 무인기의 타당성 연구를 바탕으로 연구개발 목적을 분명하게 정의하여 개발 조직을 구성하였고, 이해당사자로 정부, 수요 기관/기업, 개발 기관인 연구소, 산업체, 대학, 해외협력업체와의 관계를 명확하게 설정하였고, 연구개발 범위와 규격 즉 상위 요건을 설정하고 WBS(Work Breakdown Structure)를 정의하여 각 연구개발 과제를 관리하고 있다.

##### 4.2 사업관리

Fig. 9는 스마트무인기 사업의 관리 프로세스이다. 사업관리의 큰 원칙은 명확한 목표 설정과 유기적인 목표 관리, 체계중합중심의 일관된 진도관리, 그리고 정량적인 유/무형의 성과관리를 극대화하는데 있다. 또한 사업관리시스템을 프로그램화하여 모든 연구과제 책임자가 과제의 진행 과정 및 성과물 등록 등을 입력하여 전 과정을 볼 수 있도록 하였다.

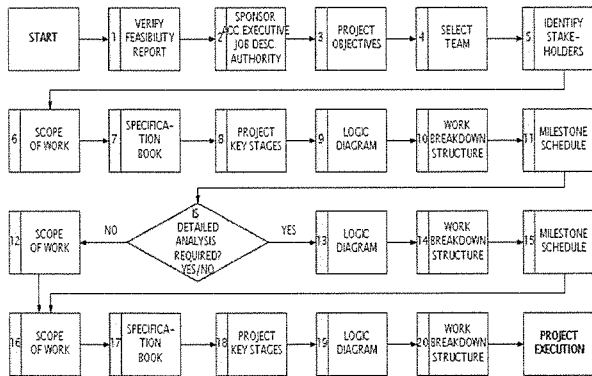


Fig. 8 연구과제 수행 흐름도

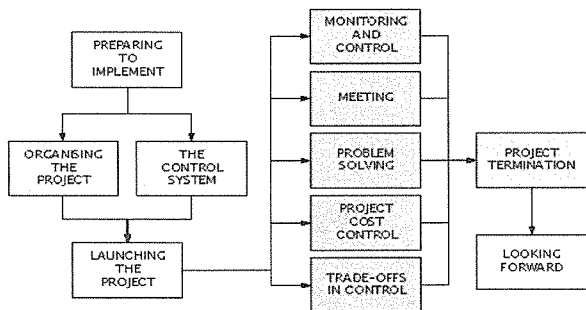


Fig. 9 사업관리 프로세스

##### 4.3 SE 프로세스

Fig. 10은 스마트무인기 개발사업 중 2단계 시제기 개발까지의 프로세스를 보여주는 Ve-Model이다. 1차년도는

체계개념 연구 및 체계요건 도출의 타당성 분석의 설계 검토 과정으로 SRR을 수행하고, 2차년도에는 개념설계 과정으로 체계규격서와 기능 기준(Functional Baseline)을 확정하고, 3차년도에는 기본설계과정으로 하부시스템의 규격서와 할당된 기능을 확정하는 PDR이 있다. 4차년도에는 상세설계단계로 제품 기준을 확정하는 CDR이 있으며, 6차년도에는 TRR을 수행 초도 비행준비하여 7차년도에는 비행시험을 수행 수직이착륙 무인기 시스템을 검증하는 단계로 되어 있다.

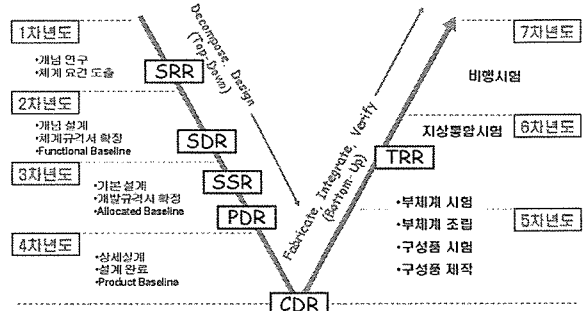


Fig. 10 SE 프로세스

##### 4.4 요건 정의

Fig. 11은 스마트 무인기 체계의 요건 정의를 위한 프로세스이다. 스마트 무인기 운용기능 FFBD에 따라 상위 레벨에서 스마트의 기능 및 운용기능 요건을 도출하여 이에 대한 기능분석을 수행한 후 반복적인 절충연구를 통하여 설계 방법에 대한 평가 및 요건의 타당성 분석을 수행하여 체계 요건 규격을 정의하였다. 무인기 체계 레벨과 비행체 체계 레벨에서의 요건을 도출한 결과 266개의 요건이 정의되었고, 이 상위 요건으로부터 하부 시스템에 요건이 분해되고 할당되어진다.

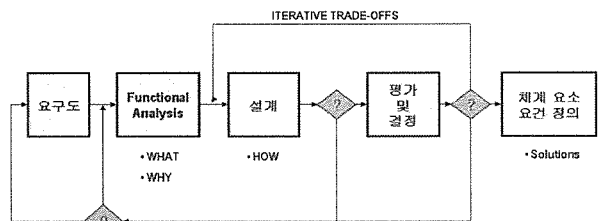


Fig. 11 요건 정의 절차

Table 3 체계 레벨 요건 수

	요건 수	TBD 수
무인기 체계	51	0
비행체 체계	215	15

##### 4.5 스마트 무인기 계층구조

Fig. 12는 스마트 무인기 계층구조이다. 레벨 2단위로 비행체, 국부정밀측위장비, 통신장비, 관제장비, 그리고 지원장비로 정의했고, 레벨 3는 각 장비의 상위 구성품을 기준으로 분류했다. 항공전자장비와 임무장비는 일반 무인기의 경우 비행체 레벨과 동등하게 분류하나, 본 사

업에서는 비행체의 설계통합(Design Integrity) 측면을 강조하여 일반 항공기와 마찬가지로 비행체의 하부 시스템으로 분류했다. 개발규격서는 레벨 3단위까지 하드웨어와 소프트웨어에 관한 요건 규격을 작성하나, 임무장비와 공기자료장치(Air Data System)와 같이 구매품인 경우 공급자의 제품 규격서로 대체하고 있다.

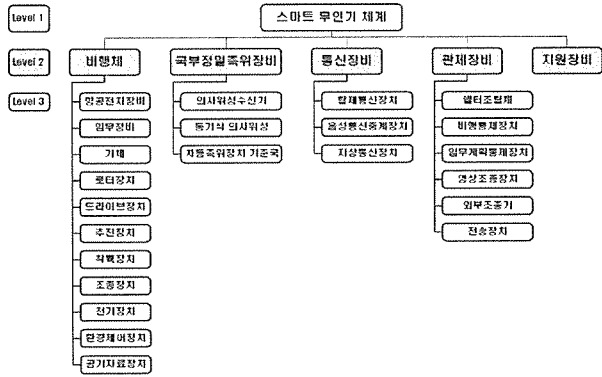


Fig. 12 스마트 무인기 계층구조

#### 4.5 체크리스트

Table 4는 스마트무인기에서 적용하고 있는 설계검토 체크리스트이다. 체크리스트는 각 설계단계별 점검회의의 기준으로 시스템 설계 및 개발과정의 주요 사항에 대해 점검하고 확인하는 한 프로세스중의 하나이다. 이는 빠진 부분은 보완함은 물론이고 설계 성숙도를 평가하는 기준이며, 검토되는 문서로는 타당성 분석 보고서와 개발규격서, ICD (Interface Control Document), 부품 규격서 및 원자재 선정 기준서이다. 자료 문서 표준화관련 해당도면, 부품목록, 3D 모델링은 성과물에 대한 일정 기준을 정량화하여 일정 관리의 기준으로 활용하고 있다.

Table 4 체크리스트

항목	내용
1.	타당성 분석
1.1	개발 시스템에 대한 개발 목표 및 요건이 분명하게 정의되었는가?
1.2	개발 시스템에 대한 설계요건이 타당성 분석을 통하여 확인되었는가?
1.3	시스템의 요건을 확정하기 위해 또 다른 절충연구가 필요한가?
1.4	대안기술 평가 시 일정 및 비용을 고려하였는가?
1.5	설계기술 개발에서 위험요소와 불확실한 영역이 정의되어 있는가?
2.	개발규격서
2.1	상위 시스템 요건에서 할당된 성능 및 품질요건을 잘 정의하고 있는가?
2.2	하부시스템, 구성품 및 부품 레벨까지 하드웨어가 정의되어 있는가?
2.3	각 부체계의 기능이 상부 시스템 규격서 개발에 충분하도록 세분화하였는가?
2.4	설계 요건이 민간 항공 또는 국방 규격에 부

	합하도록 되어 있는가?
2.5	요건에 대한 검증방법이 수립되었는가?
2.6	시스템에서 부품 레벨 단위까지 개발요건에 대한 추적성이 가능한가?
3.	ICD
3.1	각 장치간의 검토되어야 할 항목이 잘 설정되어 있는가?
3.2	인터페이스 위치 및 물리적 파라미터가 제시되어 있는가?
3.3	조정 및 정렬 요구에 대한 사항이 명확하게 제시되어 있는가?
3.4	케이블 및 컨넥터의 layout이 잘 정의되어 있는가?
3.5	모든 구성간 체결 하드웨어가 정의되어 있는가?
4.	부품 및 원자재 선정 기준
4.1	부품 규격 및 재료선정 기준이 따로 작성되어 있는가?
4.2	모든 구성품의 공급자가 정의되어 있는가?
4.3	공급자소스는 적기공급능력, 부품보증조항에 적합하도록 설정되었는가?
4.4	공급자의 H/W 규격이 시스템 규격에 부합하는가?
4.5	1차 공급자의 공급실패 발생시 이에 대한 다른 공급대안이 설정되어 있는가?

#### 5. 결론

본 논문에서는 스마트 무인기 개발사업에 관한 전반적인 소개와 본 개발사업의 계획, 조직, 과제 구성 및 선정 등의 사업관리와 과제 선정 이후의 과제 수행에 대해 시스템엔지니어링을 적용하고 있는 사례를 소개하였다. 본 사업에서는 여러 분야의 기술이 복합적으로 또한 적기에 적용되어야 만 하기 때문에 좀 더 효율적이고 우리의 실정에 맞는 시스템엔지니어링 기법이 요구되고 있다. 개발 시스템의 제약사항에 대해 유연하게 대응하고, 올바른 대안과 방향을 제시하고, 모든 개발 당사자가 함께 공유하고 이해하는 시스템엔지니어링 프로세스가 될 수 있도록 지속적으로 보완할 예정이다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구사업(스마트무인기기술개발)의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 민성기, 권용수, 시스템엔지니어링 원론[1], 시스템체 계공학원, 2004.
2. 민성기, 권용수, 시스템엔지니어링 실무, 시스템체 계공 학원, 2003.
3. NASA, "NASA Systems Engineering Handbook", 1995.
4. NASA ERAST Alliance, "High-Altitude Long-Endurance UAV Certification and Regulatory Roadmap", 2002.