

스마트 무인기 시스템 요건 도출

이정진*(한국항공우주연구원)

Generation of System Requirements for Smart UAV

Jung Jin Lee*

ABSTRACT

This paper presents the brief generation process of system requirements for Smart UAV from a development objective. The current Smart UAV requirements deal with the restricted life cycle from development to test and verification exclusive of full life cycle because of the new technology demonstration research program funded by governments. The Smart UAV system consists of flight vehicle, avionics, communication link, payload, ground control station and ground supporting system. In this paper, top-down flow requirements are introduced how to allocate to each sub-system.

Key Words : Requirements, Smart UAV, FFBD, Mission profile, Specification

1. 서론

시스템 엔지니어링에서 합리적이고 올바른 요건 도출은 매우 중요한 한 과정이다. 시스템 개발프로젝트의 실패를 분석한 결과 불안정한 요건이 가장 큰 요인으로 차지하고 있음을 보고하고 있다. 만약 개발 프로그램의 초기에 요건에 대한 명확한 정의가 정립되지 않으면 설계 과정에서 잦은 설계 변경이 이루어지며, 이것은 곧 비용 증가 및 일정 지연의 결과를 가져와 프로젝트의 실패 내지는 경쟁력이 없는 제품을 만들어 낸다. TRW사에서 설계 변경시의 오류 발생 원인으로 초기 요건이 잘못되었거나 불완전한 경우가 30%나 차지한다고 분석 하였다.¹⁾

스마트 무인기 시스템 경우 일반 항공기 시스템에 비해 최신 첨단 기술과 스마트 기술, 그리고 무인화 기술의 강건성을 요구하고 있다. 최신 첨단 기술로는 수직 이착륙 및 고속비행이 가능한 비행체이어야 하며, 스마트 기술로는 자가 고장 진단 및 능동적인 제어 기법을 통한 구조적인 안정성 증강이 확보되어야 하며, 무인화 기술로는 완전자동비행기술을 포함한 자율비행 및 충돌회피 기능을 가져야 하며, 시스템 전체로는 일반 소형 경항공기 수준의 신뢰성을 갖는 기술을 개발하는 것이다. 현재 이와 같은 총합기술을 갖고 있는 국가는 없는 실정이며, 일부 기술 보유국에서도 기술 이전에 매우 소극적인 입장으로서 개발에 따른 위험도가 다른 시스템에 비하여 많은 형편이다. 이런 상황을 감안하여 스마트 무인기는 전 수명주기에 따른 개발보다는 최신 첨단 기술을 개발하고

입증하는데 일차적인 목적을 두었고, 양산 및 운용, 유지 및 지원, 폐기의 단계는 향후의 다음 개발 프로젝트로 계획하고 있다. 따라서 스마트 무인기 시스템 요건은 설계/개발, 시험평가 및 입증 단계까지로 중점을 두고 도출하고자 하였으며, 프로젝트 제안서의 최상위 성능 요건으로부터 스마트 무인기 시스템의 요건을 도출하고, 하위 시스템의 할당 기능에 따른 요건을 도출하였다.

본 스마트 무인기 시스템은 비행체와 항공전자, 임무장비, 통신 링크, 지상관제, 지상 지원 시스템으로 구성되어 있으며, 각각의 개발 시스템은 분야별, 하드웨어와 소프트웨어별의 하위 계층구조로 분리하여 하드웨어와 소프트웨어의 요건 규격서로 분류하여 관리하고 있다.

2. 운용 개념

2.1 최상위 요건

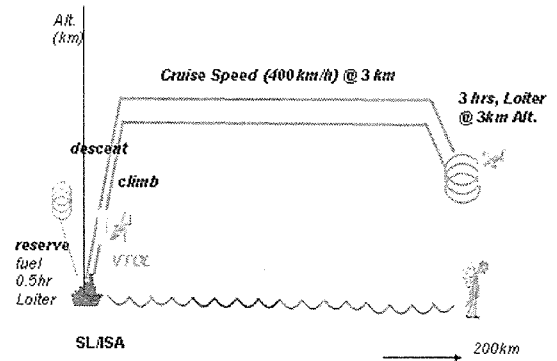
스마트 무인기의 최상위 요건은 수직이착륙과 고속 비행 및 장기 체공이 가능하고, 운용반경 200 km 이내의 고도 3 km 이상에서 실시간으로 영상정보를 제공하여야 하며, 유인 항공기 수준의 신뢰도를 확보하여 궁극적으로는 유인기 공역에서 운용하는 것이다.

이 최상위 요건으로부터 타당성 분석 과정을 통하여 Table 1과 같은 스마트 무인기 설계 특성 요건을 도출하였다. 소형 고정익기의 경우 비행시간 당 10^{-6} 이하, 회전익기의 경우는 10^{-5} 이하의 신뢰도를 가진다. 스마트 무인기의 경우 최소한 유인 회전익기 수준의 신뢰도를 목표

로 삼았고, 각 장치간의 평균고장간시간(Mean Time Between Failure)과 평균정비시간(Mean Time To Repair)는 비교 대상인 무인기의 경우를 적용하였다. 체공시간, 비행속도, 고도, 표적위치 오차, 유상하중은 최상위 요건에 대한 기술적 최소 성능요건이며, 최대설계중량과 크기는 기술적 성능 요건에 대한 절충 분석 연구(Trade-off Study)를 근거로 운반성, 유지/보수성, 해상에서의 운용성을 고려한 결과이다.

Table 1. 스마트 무인기 주요 특성 요건

항목	특성 요건
사고율	10 ⁻⁵ /비행시간
MTBF	2000 시간 이상
MTTR	1시간 이내
운용반경	200 km 이상
최대체공시간	5시간 이상
임무 체공시간	3시간 이상
최대속도	500 km/hr 이상
순항속도	400 km/hr 이상
실용상승고도	5 km
표적위치 오차	CEP 200 m
유상하중	40 kg 이상
최대설계중량	1000 kg 이하
최대크기	5 m 이하



FFig. 2 표준 임무 경로

Table 2. 표준 임무 경로 구간

임무구간	시간(분)	고도(m)	속도
점검	8	0	
수직이륙	1	0	100 m/min
천이	1	200	100 ~ 250 km/h
상승	8	3000	300 km/h
순항	30	3000	400 km/h
선회	180	3000	250 km/h
순항	30	3000	400 km/h
하강	9	200	300 km/h
천이	1	200	100 ~ 250 km/h
수직착륙	2	0	50 m/min
예비	30	3000	250 km/h
합	300		

2.2 주요 임무

스마트 무인기의 주요 임무는 해안의 순찰, 추적을 목적으로 경비구난활동, 해상치안활동, 해양환경 보존활동, 국제외사활동, 해상교통안전활동, 해상오염방제활동 등이다. 해안 경찰청을 잠재적인 이해 당사자로 하여 해안 경찰청의 요구 사항을 반영하였다.

2.3 운용 경로

Fig. 1~2와 같이 관심 해역을 대상으로 장시간 감시활동을 수행하는 임무와 신속하게 관심지역에 출동하여 필요한 영상정보를 획득하는 임무 즉 장기 순찰 임무 경로와 표준 임무 경로로 분류하였다. Table 2는 표준임무 경로의 각 구간별 시간 및 고도, 그리고 속도를 정의하고 있다.

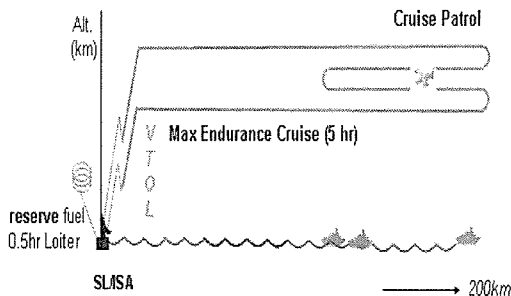
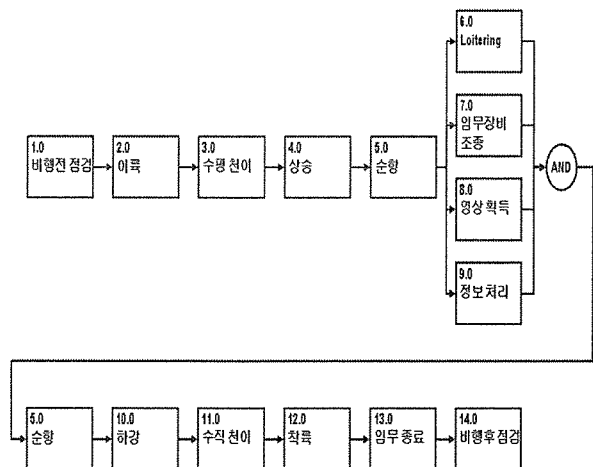


Fig. 1 장기 순찰 임무 경로

3. 요건 도출

3.1 기능흐름블럭선도(FFBD)

Fig. 3은 스마트 무인기의 요건 도출 및 분석을 위한 레벨 1의 기능분석도이다. 정상적인 임무 수행과 통신두절, 결함진단, 충돌위험, 공역관계소의 통신에 의한 운용수행기능을 보여주고 있다.



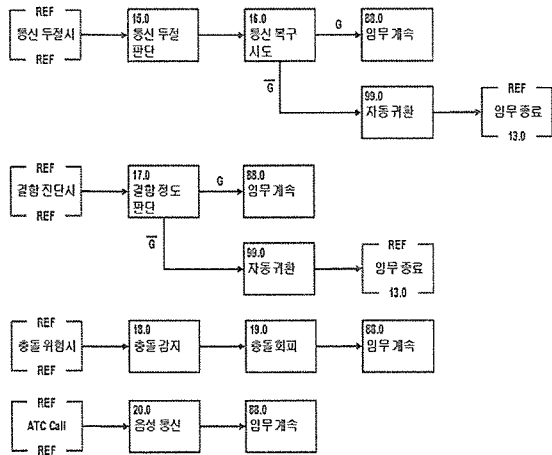


Fig. 3 스마트 무인기 운용기능 FFBD

3.2 스마트 무인기 개발 연관도

Fig. 4는 스마트 무인기 시스템의 연관도를 보여주고 있다. 탑재 통신장치와 임무장비, 항공전자 장비를 포함한 비행체와 관제장비, 지원장비, 지상통신장치, 국부정밀측위장치의 시스템으로 구성된다. 여기서 국부정밀측위장치는 착륙시의 정밀 위치 보정에 사용된다.

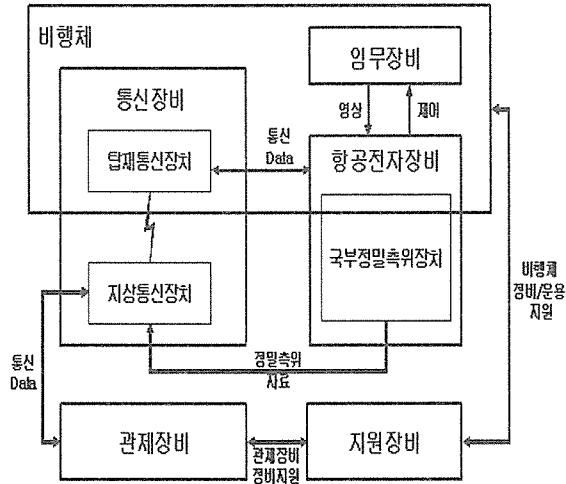


Fig. 4 스마트 무인기 내부 연관도

3.3 요건 도출 과정 및 분석

스마트 무인기의 요건을 도출하기 위하여 Table 1의 주요 특성 요건과 운용 개념, Fig. 3의 운용 기능 FFBD(Functional Flow Block Diagram), Fig. 4의 내부 연관도로부터 순차적으로 요건을 도출하였다. 요건 도출을 위해 먼저 요건의 형태별로 분류하였다. Table 3과 같은 요건 규격서 포맷을 바탕으로 3장의 요건에서 시스템의 정의, 내/외부 인터페이스, 그리고 특성요건에서 성능요건, 물리적 요건, 환경조건, 전자기 간섭, 설계와 제작 요건, 문서화 요건으로 나누었다. 요건의 형태인 모드, 기능, 운용성능, 구조 안정성, 품질 요건은 성능 요건에서

각 요건별로 세분화하여 분류하였다.

Table 3 스마트 무인기 요건 규격 포맷

항목	제목	내용
1	적용범위	규격서의 적용 범위
2	적용문서	규격서의 일부로 인정되는 문서
3	요건	
3.1	정의	비행체의 정의, 구성 요소를 기술
3.2	인터페이스	비행체의 외부/내부 인터페이스를 정의
3.3	특성	
3.3.1	성능	가능, 운용, 구조적인 성능 및 품질 요건 정의
3.3.2	물리적 특성	크기, 중량 요건 정의
3.3.3	환경 조건	환경 요구조건을 정의
3.3.4	전자기의 간섭	전자기 복사/내성 요구조건을 정의
3.3.5	설계와 제작	설계 및 제작 요건을 정의
3.3.6	문서화	문서화 요구조건 정의
4	품질 보증	3항의 요구조건에 대한 검증방법 및 기준 제시
5	주기	약어 및 기타 사항을 정리
6	Decision Database	3.3항의 요건 설정 근거를 정의
7	요건 추적표	상위 요건과 하위 요건과의 관계 추적표

1) 시스템의 정의는 개발 대상 시스템의 주요 기능과 역할, 목적 등에 관한 식별(Identification)을 규정하였고, 2) 인터페이스는 내/외부 상호 연관성을 도식화하고 주요 기능을 정리하였고, 자세한 인터페이스 요건을 명확하게 정의하기 위하여 물리적/전기적인 인터페이스 요건 규격서를 따로 작성하였다. 3) 특성 요건은 Table 3의 3.3.1~6 항목별 요건 형태에 따라 Fig. 3의 운용기능 FFBD에서 수행할 기능 또는 수행할 수 있는 기능을 정의한 후 이 식별 기능으로 상태와 모드와 연계하여 기능 분석을 통하여 할당기능을 하위레벨로 분해하는 과정을 갖도록 하였다. 운용성능요건은 기능 요건에 대한 정량적인 파라미터를 도출하기 위하여 각 분야별공학적 해석적인 도구 또는 경험적인 방법을 적용하여 성능을 정의하였으며, 구조적인 요건은 이 운용성능에 따른 구조물의 강도, 강성, 동력학적인 요건과 안전성 요건을 고려하였고, 품질 요건은 신뢰도, 내구성, 분해/조립성, 정비성, 유용성, 접근성과 아울러 가용 개발 비용을 연계하여 제품의 질을 정하고자 하였다. 4) 물리적 요건은 타당성 연구 결과에 대한 하위레벨의 할당 중량이나 크기의 제한사항을 제시한 후 해당 하부 시스템의 검토 의견을 수립하여 재조정 및 할당과정을 거쳐 전체적인 시스템의 균형을 갖도록 하였으며, 5) 환경조건은 온도, 압력, 풍속, 습도, 강우, 먼지, 외부적인 진동 등의 운용환경의 제약사항을 명시하였고, 6) 전자기 간섭은 각 장치에 의한 전자파에 의한 영향과 간섭의 요건 등을 MIL-STD-810E/F에 따라 정의하였고, 7) 설계와 제작 요건은 FAR 23/27, 미 국방규격서, 호주 CASA에서 발행한 UA27, UR27인 무인기 관련 설계 기준초안을 분석한 후 스마트 무인기의 특성에 맞는 설계 기준을 도출한 후 그림 5와 같은 레벨 3단위의 하부 계층구조별로 분해하여 일반적인 설계 및 제작 요건을 도출하였다. 8) 문서화

요건은 문서요구 작성 수준 및 종류 등에 대한 요건을 정의하고 있다.

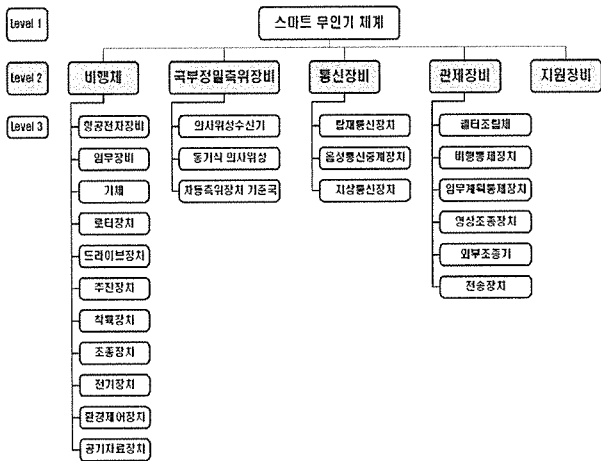


Fig. 5 스마트 무인기 하드웨어 계층구조

3.4 요건 도출 예

Table 4는 운용 기능 FFBD에 따라 상위 레벨에서 스마트의 기능 및 운용성능 요건을 도출한 한 예를 보여주고 있다. Table 4에서 보는 바와 같이 1.0 ~ 6.0은 주로 자동항법장치를 포함한 비행체에 해당되는 요건이며, 7.0 ~ 8.0은 임무장비와 통신 장비의 요건이고, 9.0은 지상관제 장비의 요건이다. FFBD 10.0 ~ 14.0은 같은 방법으로 요건을 도출하였다. 그리고 통신두절시, 결함진단시, 충돌 위험시, ATC(Air Traffic Control)의 호출시의 경우에도 각각의 요건 목록을 작성하여 중복성, 연관성, 하위 시스템으로의 할당 기능을 검토하여 스마트 무인기 시스템 요건을 도출하는 과정을 수행하였다.

3.5 스마트 무인기 요건 규격서 종류

Fig. 6은 스마트 무인기 요건 규격서 트리를 보여주고 있다. 최상위 규격서로 스마트 무인기 체계 규격서와 하위 시스템인 비행체, 국부장밀착위장기, 통신장비, 관제장비로 구분된 4종의 규격서가 있으며, 그리고 각 하부 시스템 아래에 하드웨어 와 소프트웨어 규격서, 그리고 인터페이스 요건 규격서로 분류하였다. 임무장비는 구매 품인 관계로 요건 규격서를 따로 작성하지 않고 구매시 RFP(Request for Proposal)로 대신하였다. 비행체의 경우 비행체 개발 상위 요건을 정의한 비행체 규격서를 작성하였고, 이 요건 규격서로부터 할당/분해된 요건서로 9종의 하드웨어 규격서(항공전자, 기체, 로터장치, 드라이브 장치, 추진장치, 착륙장치, 조종장치, 전기장치, 환경제어 장치)와 물리적 ICD((Interface Control Document)가 분류되고, 항공전자는 레벨을 세분화하여 충돌회피, 디지털 비행조종컴퓨터, 그리고 위성관성항법장치의 하드웨어 규격서와 전기적인 ICD, 그리고 소프트웨어 요건규격서로 구성하였다.

Table 5는 상위 레벨에서의 스마트 무인기 체계와 비행체를 구성하고 있는 요건 수와 과 TBD(To Be Determined) 요건수를 보여주고 있다. 스마트 무인기에서도 출 요건은 약 1000여개 정도이며, 이 중 아직 명확하게 정의되지 못한 요건은 110여개가 넘고 있다. 이는 기본 설계가 진행되고 있고, 이에 대한 명확한 분석이 좀 더 요구되고 있기 때문이며, PDR(Preliminary Design Review)에는 이 TBD 요건을 5% 이내로 줄일 계획이다. 또한 PDR시 요건에 대한 분석/검토를 통하여 불필요한 요건이나, 추가적으로 요구되는 요건을 명백하게 하고, 또한 TBD 요건이 설계 변경의 원인이 되지 않은 사항으로 국한할 것이다.

Table 4 기능/운용성능 요건 도출 예

FFBD	기능 요건	운용성능요건
1.0 비행전 점검	외부전원 공급 기능	외부 전원의 전압 요건
	장비, 육안으로 비행체 점검 기능	점검 시간
2.0 이륙	자동 수직이륙 기능	최대이륙중량, 환경조건에서의 수직 상승률
3.0 수평천이	모드 전환 기능	모드전환 요구속도 전환시간
4.0 상승	운용고도까지 상승 기능	상승률, 상승각
5.0 순항	운용고도 3 km 이상에서 고속 비행 기능	중량, 형상, 동력 조건에서의 순항/최대속도
6.0 선회	항로점을 따른 자동 비행 기능	비행체 자세 및 위치제어 정확도, 지정 위치 오차 범위
	목표지점에서 선회 기능	선회반경/속도/시간
7.0 임무장비조종	정상운용기능, 목표물 추적 기능	Spot, Targeting, Sensor coverage, Up link 요건
8.0 영상획득	영상 전송 기능	해상도, Down link 요건(frequency, format, bandwidth)
9.0 정보처리	영상 정보 처리 및 도식 기능	영상 전송율, 관측 중심 좌표 및 관측위치 도식화

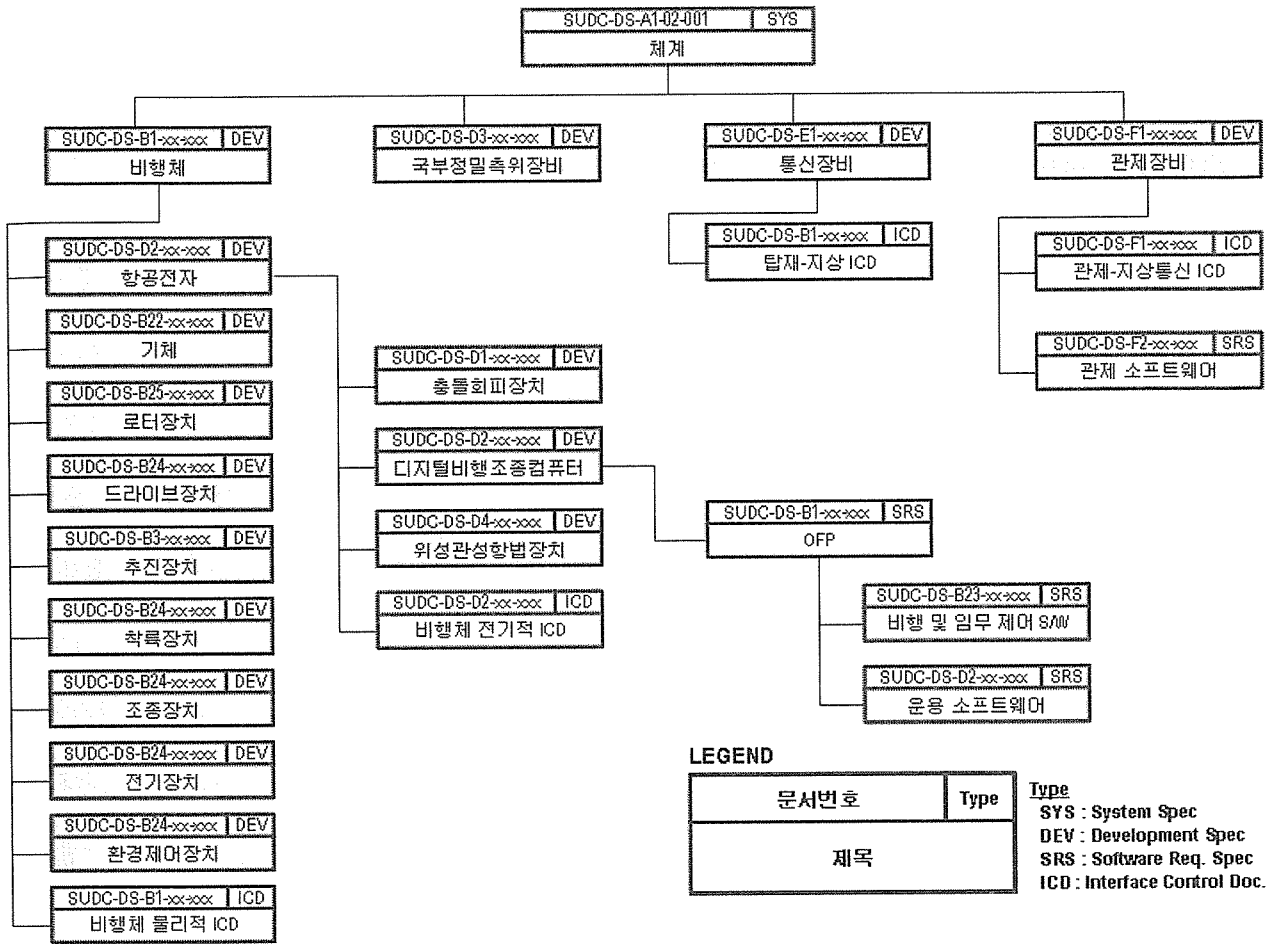


Fig 6 스마트 무인기 요건 규격서 트리

Table 5 스마트무인기 요건 수

	요건 수	TBD 수
체계	51	0
비행체	215	15
항공전자	182	13
기체	94	18
로터장치	82	12
드라이브장치	114	18
추진장치	65	10
착륙장치	54	9
조종장치	57	7
전기장치	45	4
환경제어장치	42	5
총합	1,001	111

4. 결론

본 논문에서는 스마트 무인기의 요건 도출을 위한 과정을 소개하였다. 스마트 무인기의 최종 제품에 합당한

합리적인 요건을 도출하고자 개발일정, 자원, 비용, 기술적 현 수준, 개발 위험도 등을 종합적으로 분석하였고, 요건 형태를 분류하고, 운용 환경의 특성을 정의한 후 스마트 무인기의 기능과 성능, 품질, 설계 및 제작 요건을 도출하고자 하였다. 이 도출된 요건은 최소한의 요건으로 기술의 발전 경향, 기반 기술 구축 환경, 자원에 따라 변할 수 있기 때문에 스마트 무인기의 경우 유연성을 가지고 요건에 대한 검토 및 분석을 지속적으로 수행할 예정이다.

후 기

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

참고문헌

1. 민성기, 권용수, 시스템엔지니어링 원론[1], 시스템체계공학원, 2004.
2. 민성기, 권용수, 시스템엔지니어링 실무, 시스템체계공학원, 2003.

3. Defence System Management College, Systems Engineering Management Guide, DSMC, Fort Belvoir, Virginia, 1990.
4. NASA, "NASA Systems Engineering Handbook", 1995.
5. MIL-STD-499A, Military Specification, "Engineering Management", 1992.
6. AFGS-87221A, Air Force Guide Specification, " Aircraft Structures, General Specification For", 1990.
7. MIL-STD-810F, Military Specification "Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests", 2000.
8. NASA ERAST Alliance, "High-Altitude Long-Endurance UAV Certification and Regulatory Roadmap", 2002.