

소형 무인기 개발 사업에서 시스템엔지니어링 프로세스의 적용 사례

김근택
한국항공우주연구원

An Application Case of Systems Engineering Processes for a Small Unmanned Aerial Vehicle Development Project

Keun Taek Kim
Korea Aerospace Research Institute

Abstract : An application case of systems engineering (SE) processes for the small unmanned aerial vehicle (UAV) development project, which was funded by the Korean government during June 2017 ~ August 2020, is briefly presented in this paper. From the beginning to the end of the project, SE processes had been applied and managed by simple and intuitive aspects for the small/medium business companies joined with insufficient experiences of SE. And the specific considerations of the processes were focused to the missions of disaster and public safety purposes required from the government, such as identification, patrol, fire, rescue, etc. As a result, the project applied by the tailored SE processes had been rated of a good and higher accomplishment on the final evaluation, and then the related several programs were prepared successively for the other opportunities.

Key Words : Systems Engineering Process, Small/Medium Business Company, Small Unmanned Aerial Vehicle, Disaster and Public Safety, Validation and Verification

Received: March 23, 2022 / **Revised:** June 13, 2022 / **Accepted:** June 20, 2022

* 교신저자 : Keun Taek Kim / Korea Aerospace Research Institute / ktkim@kari.re.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 배경

다양한 분야에서 시스템엔지니어링 프로세스의 적용은 이제 우리나라 개발 환경에서 전혀 낮은 경우는 아니지만, 시스템엔지니어링 프로세스에 대한 경험이 많지 않은 중소기업이 참여하는 소형 무인기 개발에서 시스템엔지니어링 프로세스의 적용에 따른 제한적 요소가 여전히 존재하고 있다. 이를 개선하기 위해, 여러 관련 문헌이나 적용 사례를 통해 제안하는 시스템엔지니어링 프로세스를 적용하기 위해서는 해당 프로세스의 단순화 및 직관화를 통한 적극적인 테일러링이 필요하다. 이에 따라, 최근 수행한 재난치안용 소형 무인기 개발 사업에서, 좀 더 용이한 방법으로 효율적인 시스템엔지니어링 프로세스를 수행할 수 있도록 유도하고 지원하기 위해 적용하였던 사례를 간략하게 소개한다.[1]

2. 사업의 개요

이 논문에서는 2017년 6월부터 2020년 8월까지 한국항공우주연구원과 다수의 중소기업으로 구성된 컨소시엄에서 수행한 재난치안용 무인기 개발 사업에서 시스템엔지니어링 프로세스를 테일러링하여 적용한 사례를 간략하게 소개한다.

시스템엔지니어링 프로세스의 적용 과정에서 이 분야에서의 경험이 많지 않은 중소기업의 적극적인 참여를 유도하기 위해, 사업 제안 요구서에서 요구하는 기술 요구사항 및 성과물을 기준으로, 개발 절차 및 관련 문서를 가능한 단순화 및 통폐합하고 반복적인 과정으로 적용하기 위한 방안을 제시하였다.

2.1 사업의 개요

재난치안용 무인기 개발 사업은 소방청 주관으로 과기부, 산업부, 경찰청, 해경청이 협력한 최초의 다부처 공동 사업이며, 주요 내용은 다음과 같다.[2]

- 사업명: 국민안전 감시 및 대응 무인항공기 융합시스템 구축 및 운용

- 사업 기간: 2017. 6. 1. ~ 2020. 8. 31.
- 사업비: 약 472 억원(국고: 약 373 억원)
- 과제 구성(총 32개 기관/기업)
 - 총괄: 국민 안전 대응 무인항공기 통합 시스템 구축 및 운용
 - 1세부: 시스템 통합 및 통합 시험/평가
 - 2세부: 공통 플랫폼 기술 개발
 - 3세부: 통신, 안전운항, 운영 관리 기술 개발
 - 4세부: 특화 임무 장비 기술 개발

2.2 사업의 특성

재난치안용 무인기 개발 사업은 재난치안용 무인기를 개발하는 수준에서 개발한 비행체의 요구 임무에 대한 운용성 평가까지 수행하여야 하는 과제이다. 여기서 개발 대상 비행체(3종)와 각 수요처의 요구 대표 임무(3종)는 다음 그림 1과 같다.

소 방	경 찰	해 경
무인 비행체: MC-1 	무인 비행체: MC-2 	무인 비행체: MC-3 
대표 임무 시나리오 #01 • 실내 탐색 시나리오	대표 임무 시나리오 #09 • 불법 차량 탐색/확인 시나리오	대표 임무 시나리오 #07 • 광역 해상 초계 시나리오
주요 임무 • 터널 등 실내 통신 용량 지역에서 현장 정보 전송 등의 실내 탐색 임무 지원	주요 임무 • 용의자 및 용의 차량 추적 등 생활 안전 지안 유지 임무 지원	주요 임무 • 선박/인명 탐지 및 구명환 투하 등의 해양 구조 임무 지원
통신/안전운항 계통 • 실내 통신(LTE/WiFi) • 2D Lidar, STC, ULS	통신/안전운항 계통 • 실외 통신(LTE/WiFi, C-Band) • 3D Lidar, STC, EO Camera, ULS	통신/안전운항 계통 • 실외 통신(LTE/WiFi, C-Band) • 3D Lidar, STC, EO Camera, ULS
기본 임무 장비 • EO/IR 카메라 • 영상 센서 및 보드 • 기본 임무 장비용 짐벌	기본 임무 장비 • FHD 카메라 • 영상 센서 및 보드 • 기본 임무 장비용 짐벌	기본 임무 장비 • FHD 카메라 • 영상 센서 및 보드 • 기본 임무 장비용 짐벌
특화 임무 장비 • 광원(Light Source)	특화 임무 장비 • 시스템 통합 보드 • 영상 분석 S/W	특화 임무 장비 • 시스템 통합 보드 • 구명환 및 투하 장치 • 장비 운용 S/W 및 영상 분석 S/W • [특화 임무용] CCD 카메라

[Figure 1] Unmanned Aerial Vehicles and Typical Required Missions

추가로, 대표 임무 외에도 수요처와의 인터뷰 및 기술 수요 조사 등을 통해 다음과 같은 11종의 선택 임무를 포함하고 있다.

- 교통량 확인 시나리오
- 사고 현장 출동 시나리오
- 아파트 화재 시나리오
- 유해 물질 사고 시나리오 [화학 기체]
- 유해 물질 사고 시나리오 [방사능]

- 해양 오염 탐지 시나리오 [유류 유출]
- 불법 드론확인/제압 시나리오 [넷건]
- 불법 드론확인/제압 시나리오 [재머]
- 우범 지역 자동 순찰 시나리오
- 용의자 확인 시나리오 [개활지]
- 선박/인명 수색 시나리오

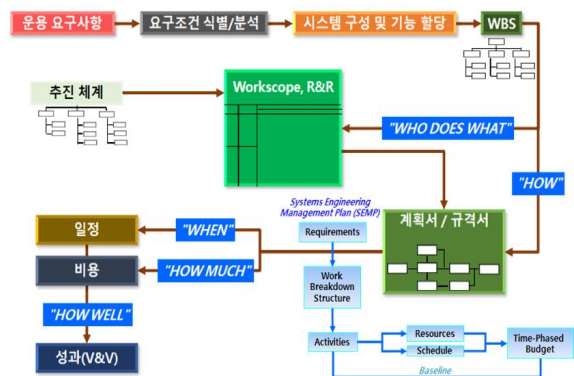
3. 적용 사례 - 기획 단계

3.1 시스템 설계 및 관리 프로세스 수립

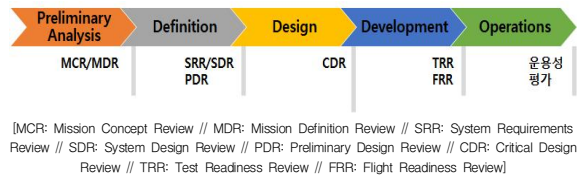
사업 시작과 함께 시스템엔지니어링 기반의 시스템 설계 및 관리 체계를 구축하기 위한 업무를 식별하여, 과제 관리 및 체계 사업/기술 관리 업무에 적용할 시스템엔지니어링 관리 계획을 수립하였다.

사업의 특성상 먼저 수요처의 운용 요구사항을 식별하여 정의하기 위한 업무로부터, 개발에 필요한 요구조건을 식별하고 분석하는 과정이 필요하였다. 개발 요구조건을 구성한 다음 개발 대상 시스템의 구성 및 형상 등을 통해 요구조건의 할당 및 검증 방안을 수립하였다. 이 결과를 기반으로 업무분할구조(Work Breakdown Structure, WBS)를 식별하여 관련 계획서 및 규격서의 작성과 요구 업무의 식별을 통한 각 참여 기업/기관의 역할 및 책임(R&R, Role & Responsibility)을 조정하였다. 이와 동시에 이러한 일련의 업무에 대한 시스템엔지니어링 프로세스의 적용을 위하여, 시스템엔지니어링관리계획서(Systems Engineering Management Plan, SEMP)를 작성하였다. 다음으로 과제 관리를 위한 일정 및 비용을 분석하여 주요 관리 대상 요소를 WBS에 반영하였고, 업무에 따른 성과물과 연계하여 추적성을 확보할 수 있도록 기획하였다. 이러한 일련의 과정을 다음 그림 2에서 정리하여 제시한다.

이와 함께 사업 계획에 따른 시스템 개발 단계를 정의하고, 이에 따른 기술검토회의 절차를 수립하였다. 다수의 수요 부처로부터 수렴한 운용 요구사항을 고려하여, 다음 그림 3과 같이 개발 단계를 정의하고 각 단계 별로 진입/진출 조건을 정립하였다.

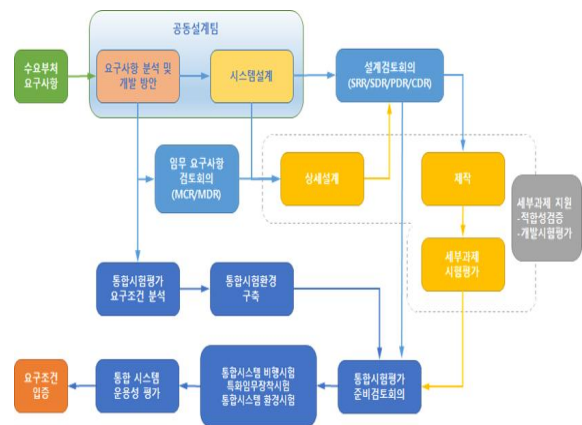


[Figure 2] System Design & Management Process



[Figure 3] Technical Reviews for Development Steps

과제에서 요구하는 시스템은 다양한 임무 요구사항 및 H/W와 S/W의 개발이 필요하였고, 수요처의 상이한 운용 환경 및 높은 개발 요구사항이 존재하였으며, 짧은 개발 일정(36개월), 다수의 기관/기업(32개)의 참여에 따라, 통합 시스템 설계를 위한 유기적인 시스템 설계 및 검증 필요성을 고려하여 공동연구기관이 모두 참여하는 공동설계팀을 구성하여 운영하였다. 아울러, 시스템 개발을 위한 단계 별 주요 기술 업무의 순서도(절차)를 다음 그림 4로 요약하여 제시한다.



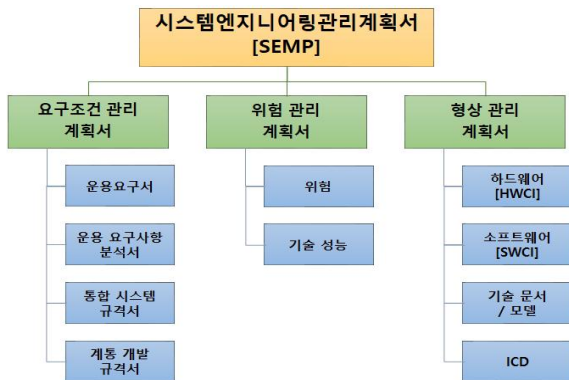
[Figure 4] System Development Process

3.2 시스템 관리 기준 문서의 작성

사업 초기부터 시스템의 개발과 관리를 위한 기준 문서의 작성이 이루어졌다. 이를 위해,

- 문서 관리 기준 및 서식
- 용어 정의
- 단위계 표준 사용 지침
- 요구조건 작성 지침
- 시스템 관리 계획

등의 기준서 및 지침서 등을 작성하고 모든 참여 기업/기관과 공유하였다. 특히, 체계관리를 위한 기준 문서의 구성은 다음 그림 5와 같이 식별하였다.



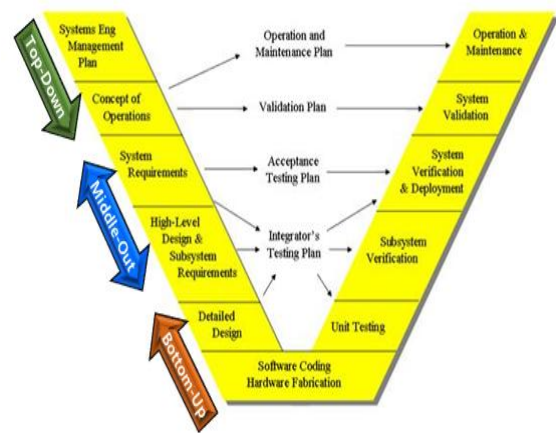
[Figure 5] Documents Tree for SE Management

한편, 체계관리 수행 과정에서의 필요한 의사결정 체계를 구축하고, 관련 운영 규정 등을 수립하였다. 의사결정체계는 위험관리, 형상관리, 시험/평가 관리 등의 세 분야로 나누어 구성하고, 위험관리는 PDR 이후부터, 형상관리는 설계를 종료하는 CDR 이후부터 그리고, 시험/평가 관리는 TRR 이후부터 운영하는 것으로 결정하였다. 세부적인 위원회의 구성은 SEMP를 기준으로 각 위원회의 운영 규정을 통해 명시하였다.

3.3 SE 프로세스의 적용 방안

다수의 중소기업을 포함한 참여 기업/기관으로부터 시스템엔지니어링 기반의 관련 업무 프로세스를 구축하는 방안은 쉬운 과정이 아니었다. 각 기업/기관 고유의 특성 및 자체적으로 보유한 관련 시스템

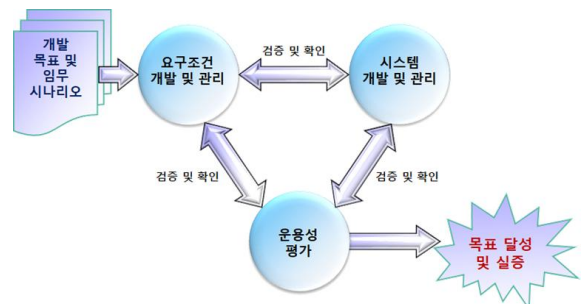
을 통합할 수 있는 수단을 마련하여야 하였으며, 다양한 시스템엔지니어링 표준서 및 핸드북에서 제시하는 기준을 따르는 것은 사실상 제한적인 상황이 있었다. 이러한 개발 환경을 대처하기 위하여, 일반적으로 시스템엔지니어링 분야에서 요구하는 하향식(Top-Down) 프로세스의 획일적인 적용보다는 각 기업/기관이 보유하고 있는 자원 및 경험을 고려하여, 다음 그림 6처럼 상향식(Bottom-Up) 프로세스와 순환식(Middle-Out) 프로세스를 업무에 따라 각각 선택적으로 적용하였다.



[Figure 6] Application of the Combined Processes

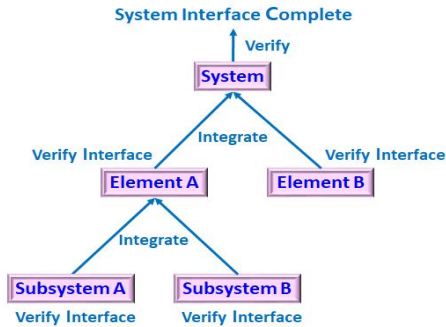
3.4 시스템 개발 및 검증 관리 방안

다양한 수요처와 임무 요구사항에 따른 시스템 개발 및 검증을 위한 관리 정책 지침이 필요하였다. 이를 위해, 요구조건 개발부터 시스템의 개발과 운용성 평가에 이르기까지 그림 7과 같이 전 개발 과정에서 확인(Validation) 및 검증(Verification) 프로세스를 강화하였다.



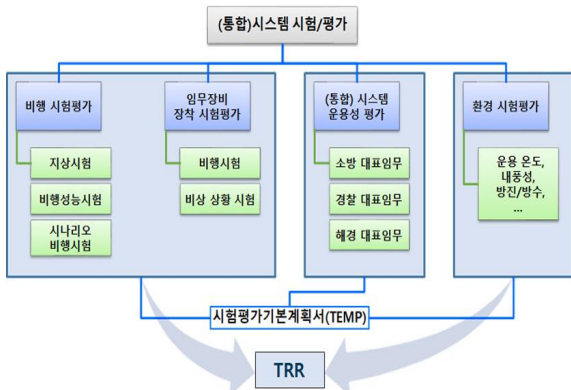
[Figure 7] Policy Directive for Verification & Validation

한편, 그림 8과 같이, 개발 검증을 위해 적극적인 인터페이스 관리를 통해 시스템의 통합 및 검증에 중점을 두었으며, 이 과정은 최종 시스템 통합이 이루어진 후 형상 확인(Configuration Audit) 과정을 통해 요구조건 기반의 검증을 수행하기 위한 형상확인계획서를 작성하였다.



[Figure 8] Integration & Verification via Interfaces

마지막으로, 시스템의 최종 검증은 사업의 특성상 수요처 관계자의 참관을 통한 각 수요처의 대표 임무에 대한 운용성 평가를 포함하는 시험평가관리계획서(TEMP, Test & Evaluation Master Plan)를 작성하고, 다음 그림 9와 같이 시험/평가를 통한 검증 방안을 수립하였다.



[Figure 9] Test & Evaluation Plan

4. 적용 사례 - 개발 단계

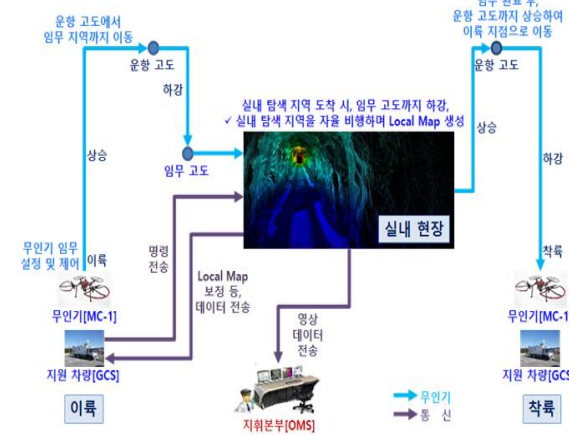
다음은 사업 전주기에서 수행한 시스템 개발 과

정 및 그 결과를 간략히 요약 정리한다.

4.1 운용 개념 정립 단계

사업 수행 이전부터 수행하였던 기획 연구를 통해, 관련 시스템의 예상 수요처와 인터뷰 및 설문 조사 등을 통해 요구 임무의 개념을 정립하였다. 사업 공모 및 사업 착수 이후, 사업 제안 요구서에 따라 각 수요처(소방, 경찰, 해경)의 요구 임무를 구체화하였고, 이를 통해 해당 임무의 시나리오와 임무 개념도를 구성하여 다시 수요처와 협의를 수행하였다.

다음으로 수요처와 협의한 결과를 토대로 임무 정의 및 내용, 임무 실패 및 비상 상황, 제한조건(환경) 등에 대한 시스템의 모든 활동을 식별하고, 식별한 활동으로부터 운용 요구사항을 추출하여 운용 요구서(Operational Requirements Document, ORD)를 작성하였다. 이 운용요구서는 MCR/MDR을 통해 기준선(Baseline)을 설정하였다. 다음 그림 10은 운용개념도의 한 예시이다.

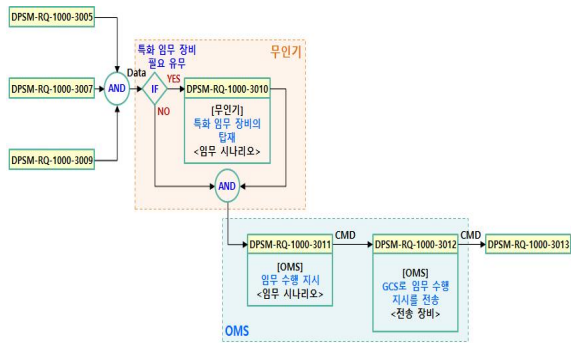


[Figure 10] Schematic Operational Concept [Example]

4.2 시스템 설계 단계

시스템 운용요구서를 기준으로 최상위 시스템 요구조건[체계규격서]을 식별하기 위한 운용 요구사항의 분석 과정을 수행하였다. 이를 위해, 임무 시나리오를 기준으로 기능 분석을 수행하기 위해 기능흐름블록선도(Function Flow Block Diagram, FFBD)를 활용하였으며, 그 한 예를 다음 그림 11

에서 제시한다.



[Figure 11] FFBD [Example]

FFBD를 통해 식별한 활동 및 기능으로부터 개발 요구조건의 추출을 위해, 그림 12와 같이, IDEF0 (Integration Definition for Function Modelling) 를 활용하여 각각의 기능에 대해 필요한 입력 및 출력 정보, 기능을 수행하기 위한 제반 고려사항을 함께 도식화하여 분석하였다.

IDEF0: 활동/기능(Activity)의 분해(Decomposition)



[Figure 12] IDEF0 Legend

IDEF0 분석을 통해, 각 기능의 주체(Actor), 활동(Activity), 요구 기능 및 성능, 필요한 구성품 등을 식별하고, 그림 13과 같이, 임무 시나리오로부터 운용요구서를 거쳐 체계규격서의 구성에 필요한 요구조건을 추출하였다.

이러한 과정을 통해 생성한 요구조건을 규격서의 구성 기준(임무[운용], 구성, 인터페이스, 기능, 성능, 형상, 환경, 제품보증, 설계/제작, 성과물, 제한 조건, 등)으로 체계규격서를 구성하였으며, 이를 기준으로 각 하부 계통별 규격서 작성을 위한 할당 및 검증 방안을 그림 14와 같이 제시하였다.

구분	요구조건 번호	제목	내용	WBS	발달
운용	MS-0000-1016	기본임무 수행	내부조종사는 무인화 개조비행체(MAV)를 임무 계획에서 지정된 임무 고도의 비행 경로의 비행으로 비행하면서 탑재임무장비(APU)를 운용하여 기본임무 명령 정보를 수집한다.	000000	ORD

주체 (Actor)	활동 (Activity)	요구 기능 (Required Functions)	요구 성능 (Required Performances)	주요 구성품 (Required Components)
내부조종사	기본임무 수행	1. MAV 기본임무 명령 정보 수집 2. MAV 기본임무 명령 정보 수집 3. 비행모드 전환	1. MAV 비행모드 정위 2. MAV 명령 정보 수집 절차/방법 3. 비행모드 전환 절차/방법	MAV/APU/FCS/DI/GCS

구분	요구조건 번호	제목	내용	WBS	발달
운용	REQ-0000-1016	기본임무 수행	내부조종사는 무인화 개조비행체(MAV)를 임무 계획에서 지정된 임무 고도의 비행 경로의 비행으로 비행하면서 탑재임무장비(APU)를 운용하여 기본임무 명령 정보를 수집한다.	000000	SS

구분	체계규격서 요구조건 번호	제목	내용	WBS	발달
기능	REQ-1000-4008	기본임무 수행	지상통제장비(GCS)는 탑재무인화시스템(FCS)을 통해 무인화 개조비행체(MAV)가 임무 계획에서 지정된 임무 고도의 비행 경로의 비행하기 위한 기능을 구비하여야 한다.	000000	ALL
기능	REQ-1000-4009	기본임무 명령 정보 수집	지상통제장비(GCS)는 임무 고도에서 탑재무인화시스템(FCS)을 통해 탑재임무장비(APU)를 운용하여 기본임무 명령 정보를 수집하기 위한 기능을 구비하여야 한다.	000000	ALL

[Figure 13] Requirements Elicitation Process [Example]

구분	운용요구서 시나리오 별 요구사항 번호	시스템 요구조건 번호	검증 방법
기능	DPSM-RQ-0000-2001	DPSM-RQ-1000-3001	분석(A) 검사(O) 시험(T) 시험(T)
	DPSM-RQ-0000-2001	D-1000-3002	O
	DPSM-RQ-0000-2001	D-1000-3003	O
	DPSM-RQ-0000-2001	D-1000-3004	O
	DPSM-RQ-0000-2001	D-1000-3005	O
	DPSM-RQ-0000-2001	D-1000-3006	O
	DPSM-RQ-0000-2001	D-1000-3007	O
	DPSM-RQ-0000-2001	D-1000-3008	O
	DPSM-RQ-0000-2001	D-1000-3009	O
	DPSM-RQ-0000-2001	D-1000-3010	O
	DPSM-RQ-0000-2001	DPSM-RQ-1000-3011	O
	DPSM-RQ-0000-2001	DPSM-RQ-1000-3012	O

[Figure 14] Requirements Traceability & Verification Matrix [Example]

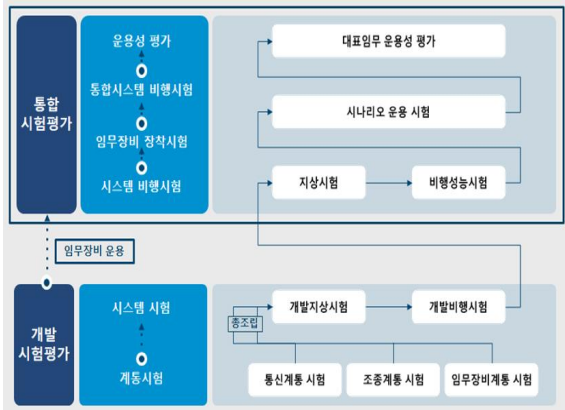
4.3 시스템 검증 단계

시스템의 검증을 위해 앞서 언급한 기준(3.4 절)에 따라 작성한 형상 확인 계획서 및 TEMP를 기준으로 개발 시스템 및 구성품의 검증을 수행하였다.

시제품의 제작 및 최종 조립 이후, 총 4차례의 형상 확인 과정을 수행하였고, 각 단계 별로 후속조치 계획을 수립하고 점검하였다. 그 결과는 다음 그림 15와 같이 형상 확인 결과 보고서를 작성하여 형상 관리위원회로 보고하였다.

[Figure 15] Configuration Audit Report [Example]

형상 확인 프로세스와 동시에 사업 일정 및 코로나로 인한 환경 등을 고려하여 시스템의 통합 시스템의 지상시험 및 비행시험 등의 관련 검증 프로세스를 병행하였다. 요구조건 기반의 시험 항목을 정의하는 것으로부터 시작하여 다음 그림 16과 같은 단계 별 검증 과정을 수행하였다.



[Figure 16] Verification Flow for Test & Evaluation

4.4 운용성 평가 단계

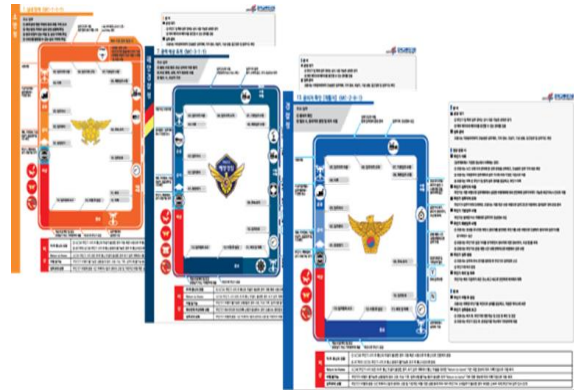
사업의 최종 평가는 소방, 경찰, 해경의 각 대표 임무에 대해 한국항공우주연구원의 고흥 항공센터에서 모사 환경을 구축하여 수요처의 관계자가 참관하는 운용성 평가를 통해 검증을 수행하였다. 또한, 실내용 무인기의 경우에는 현재 사용하지 않고 있는 터널(경남 고령)을 활용한 터널 모의 환경에서도 검증을 추가로 수행하였다.

다음 그림 17에서 각 수요처 대표 임무에 대한 시험 당시의 사진을 예시로 제시한다.



[Figure 17] Operational Tests [Example]

또한, 운용성 평가에서는, 다음 그림 18과 같이, 사업 초기에 각 수요처의 요구한 임무 상황에 따라 (임무 시나리오) 작성한 표준운용절차서(Standard Operational Procedures, SOP) 및 매뉴얼 등에 대한 수요처의 만족도 조사를 수행하였다.

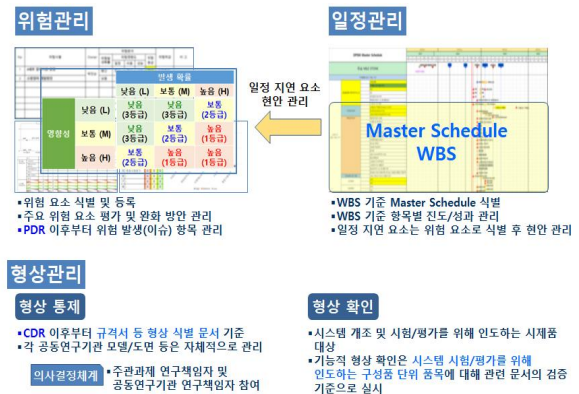


[Figure 18] Standard Operational Procedures [Example]

4.5 시스템 개발 관리

시스템 개발 전주기에서 요구사항 적합성 및 상호 호환성 검토와 검증하고, 긴밀하고 유기적인 기술 공유 및 협력적이고 신속한 의사결정을 수행하기 위한 시스템 개발 관리를 수행하였다. 그림 19는 일정관리와 연계한 위험관리와 요구조건관리를 포함한 형상관리에 대한 운영 개념을 설명하고 있다.

위험관리 및 형상관리 진행 상황은 그림 20과 같이 각각 위험/형상 관리종합보고서 형태로 심의 결과 및 후속조치 결과를 정리하여 유지하였다.



[Figure 19] Implementation Concept for System Management



[Figure 20] Reports for Risk & Configuration Management

4. 결론 및 과제

시스템엔지니어링에 대한 경험이 많지 않은 다수의 중소기업이 참여한 재난치안용 무인기 개발 사업에서, 시스템엔지니어링 프로세스의 적용에 따른 제한적인 요소를 개선하고, 좀 더 용이한 방법으로 효율적인 시스템엔지니어링 프로세스를 수행할 수 있도록 적용하였던 사례를 간략하게 소개하였다.

향후, 사업에서 적용하였던 시스템엔지니어링 프로세스의 세부적인 내용 및 수행 결과에 대해 두고

할 예정이다.

마지막으로, 지난 경험을 통해 얻은 교훈으로서, 시스템엔지니어링 프로세스를 효율적으로 적용하기 위해서는 과제책임자의 시스템엔지니어링에 대한 인식 제고와 모든 개발자의 적극적인 프로세스 참여가 필수불가결하다는 것이다.

사 사

이번 연구는 다부처사업으로 수행 중인 불법드론 지능형 대응기술개발사업(과제번호: 2021M3C403 9579) 연구 결과 중 일부입니다.

References

1. 김근택, 소형 무인기 개발사업에서 SE 적용 사례, 2021년 추계 시스템엔지니어링 학술대회 특별강연 1, 2021.
2. 한국항공우주연구원, 국민안전 대응 무인항공기 통합시스템 구축 및 운용 사업 최종보고서, 2020.