

수리온 체계개발에서의 시스템엔지니어링 적용사례*

김진훈, 이동욱
국방과학연구소

Application of Systems Engineering in SURION R&D Project

Jin Hoon Kim, Dong Wook Rhee
Agent of Defense Department

Abstract : Systems Engineering application focused on requirement definition and management for SURION System Development Project is described in this paper. To perform the development process effectively based on systems engineering processes; Requirements Definition, Design Review, Configuration Management, Quality Assurance, Data Management, are applied in this project. In this processes, the Stakeholder' s Requirements are transferred to Specifications verified with design reviews, prototyping inspections, and integration tests. All engineering data, especially verification plan & results are recorded, and traced to each requirements of system specification in Surion database. Therefore, it could be assured that all requirements of specification are evaluated and verified successfully in Surion Project.

Key Words : SURION(KHP), Systems Engineering, Requirement Management, Design Review, Configuration Management, Quality Assurance, Data Management,

* corresponding author : Jin Hoon Kim/Agent of Defense Department/jinhood@gmail.com

* 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. 서론

국내 최초로 개발되는 한국형기동헬기인 수리온(Surion)은 2006년 7월부터 12년 6월까지 6년간 국방과학연구소와 한국항공우주산업(주), 그리고 항공우주연구원의 3개 개발주관기관이 공동 참여하여 체계개발을 성공적으로 마무리한 대형 국책사업이다. 3개 개발주관기관이 참여한 관계로 역할분담과 효율적인 체계통합 및 인터페이스 관리가 사업 성공에 가장 큰 부담으로 작용하였다. 이에 수리온에 대한 기술관리 전담 조직을 국방과학연구소에 설립하여 체계개발 초기부터 3개 개발주관기관의 기술관리 업무와 체계적인 기술적 통합 노력을 수행했다.[1]

수리온 체계개발 활동 안에서 수행된 실질적인 시스템엔지니어링 활동으로, ROC(운용요구서)와 ORD를 충족하는 개발규격을 하향식(Top-Down Approach)으로 요구사항을 개발하고, 시제를 제작하고 시험 평가하는 동안의 시스템엔지니어링의 핵심인 시스템설계 활동과 주요 관리활동에 대한 사례를 제시한다.[2]

2. 체계개발과 시스템엔지니어링

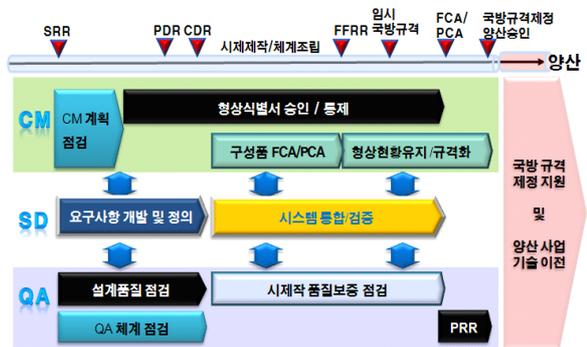
기본적으로 국방연구개발분야의 연구개발활동은 방위사업관리규정을 준수해야 하며, 세부수행절차는 사업별 특성에 맞게 실행계획에 반영하여 수립되어야 한다.[3] 수리온 사업은 방위사업관리규정을 준수하는 범위에서 항공분야의 개발경험을 토대로 총35항목의 수리온 사업관리업무절차를 수립하여 적용하였다. 사업관리업무절차는 방위사업관리규정과 시스템엔지니어링 프로세스로부터 수행업무를 식별하고 이해관계자별 수행업무와 책임을 규정하여, 업무기준과 범위를 명확히 하였다.

수리온 사업관리업무절차에서 공식기술검토회의, 설계관리, 감항성인증업무, 형상관리업무, 품질보증업무, 위험관리, 기술성과측정업무, 기술자료관리, 소프트웨어 개발관리, 요구도관리, 체계시험

평가 등을 중점으로 하는 업무절차이다. 특히, 공식기술검토회의, 설계관리, 감항성인증업무, 형상관리, 품질보증, 기술자료관리, 요구도관리의 업무는 Figure 1과 같은 기술관리계획안에서 유기적으로 연계 및 통합되어 체계적으로 진행되었다.

시스템엔지니어링의 핵심은 요구사항을 정의하여 규격화하는 시스템설계(SD)에 있다. 시스템설계는 요구사항이 기술적 근거를 토대로 규격으로 전환하는 기술적 활동이다. 또한 요구사항에서부터 규격까지의 기술적 근거와 입증결과를 개발과정속에서 지속적으로 점검하고 확인하는 활동을 포함하고 있다.

[Figure 1] Surion Technical Management Planning



시스템설계와 함께 형상관리(CM) 및 품질보증(QA) 활동이 함께 병행하여, 요구사항 또는 규격의 변경관리와 시제작 품질 확보 노력은 시스템통합 및 검증의 신뢰도 향상과 향후 양산품질 확보를 위한 토대를 다지는 활동이 수행되었다.

2.1 요구사항 개발 및 정의

수리온 사업의 경우, 3개 개발주관기관이 복잡하게 관여하는 사업으로, 체계규격서를 정부주관으로 작성하였는데 이해관계자 요구사항(작전운용성능, 운용요구사항서 등)을 충족시키면서, 하위 규격이 기술적으로 충족시켜야 할 전반적인 규격을 갖춰야 한다. 다만, 최초로 개발되는 한국형헬기개발사업인 점을 고려할 때, 모든 규격을 새롭게 창출한다는 점은 매우 어려운 부분이다. 이를 극복하

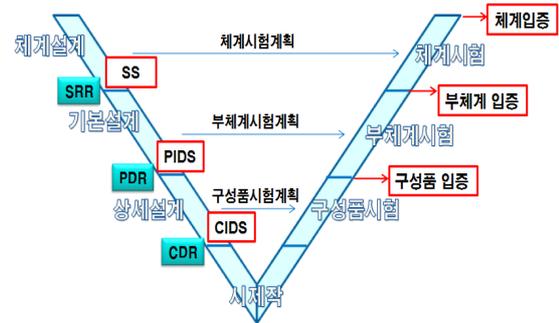
기 위해, 기존 선진항공에 적용된 규격을 참조하고, 국방무기체계에서 요구되는 능력을 반영하였다. 또한, 국내 최초로 적용되는 군 감항인증(Airworthiness Certification)에 적합하도록 군 안전 요구사항을 고려하였다.

작성된 체계규격서 초안을 토대로, 사업책임자 주관으로 기술관리단원 모두가 참석하는 요구사항 동료검토(Peer Review)를 수행하였는데, 각 분야별 해당 요구사항에 대한 분석결과를 토대로 단원 모두가 시스템을 한 관점으로 이해할 수 있게 되었다. “시스템 개념을 이해한 후 설계를 착수”해야 하는 시스템엔지니어링의 핵심 개념이 실질적으로 수행되었다. 이 과정에서 상위요구사항에 부합되는 시스템개념에 대한 통일된 관점이 모아지고, 요구사항간의 상충된 문제를 해결하고, 시스템의 기능과 성능을 절충해 나갈 수 있었다. 이와 같이 요구사항에 대한 심도있는 기술적 검토를 통해 체계규격서 초안을 확정했다. 이 후 체계규격서를 토대로 부체계 기술관리책임자는 설계관리절차, 소프트웨어관리절차 및 감항성인증관리절차에 따라 체계규격서와 감항성인증규격에 일관된 부체계 규격을 검토하고, 이를 입증하기 위한 계획을 검토하여, 이해관계자 요구사항에 일관된 부체계규격서 초안을 개발했다.

규격서는 체계설계, 기본설계, 상세설계 단계별로 제시된 규격서 유형[4]에 맞춰 이해관계자 요구사항에 부합되도록 체계규격서(System Specification), 부체계개발규격서(PIDS, Prime Item Development Spec.), 구성품개발규격서(CIDS, Critical Item Development Spec.)로 구분되어 하향식으로 순차적으로 개발하였다.

앞서 언급된 바와 같이 개발된 규격서들은 단계별로 소요군 및 방위사업청 사업단 등 이해당사자(Stakeholder)가 참석한 SRR/SFR(System Requirement Review / System Functional Review), PDR(Preliminary Design Review), CDR(Critical Design Review) 활동을 통해 공식적인 검토과정을 거쳐 확정했다. 확정된 규격서는

구성품, 부체계, 체계의 상향식 통합과정에서 단계별로 검증을 위한 기준문서로 활용된다.



[Figure 2] Vee Model of Surion Requirement Development

이의 관계를 시스템엔지니어링의 대표적인 모델인 Vee-Model을 통해 Figure 2와 같이 나타냈다.

SRR, PDR, CDR단계별로 회의내용과 참석대상, 검토절차, 검토기준에 대한 계획을 수립하여 소요군, 방위사업청 사업단, 개발주관기관들 및 협력기관들의 확인을 거쳐 공식적인 설계검토회의가 실시된다. 공식적인 설계검토회의의 전까지는 사전검토회의를 통해 주요쟁점사항을 식별하고 대안들을 식별함으로써 공식 설계검토회의에서 실질적인 논의를 통해 개발규격을 확정하였다. 설계검토회의의별 검토기준은 Table 1과 같다.

<Table 1> Design Review Exit Criteria

Reviews	Exit Criterria
SRR/SFR	체계(시스템) 규격서 확정 부체계개발규격서 초안
PDR	부체계 개발규격서 확정 감항성인증 규격서 확정 형상기술서 확정 주요구성품 상위요구도 확정
CDR	상세설계 성속도 개발규격과의 일치성 주요설계/해석보고서 성속도 항공기 시험계획서 성속도 부체계CDR 후속조치 완료수준 시제품 제작준비 적절성

이를 통해 수리온에 적용된 규격서는 체계규격서 1종, 부체계개발규격서 5종을 비롯하여 총 100여종의 규격서와 460여종의 시험평가 계획을 확정

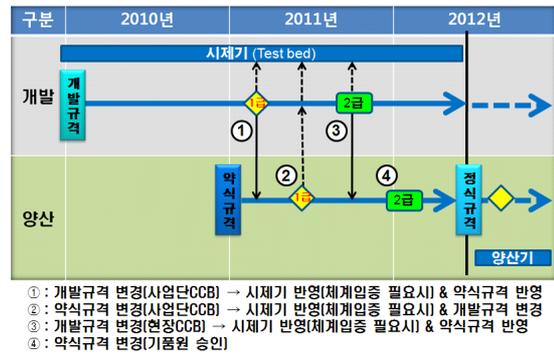
및 확인하여, 개발간 기술검토 및 시험평가의 기준 문서로 활용하였다.[1]

2.2 요구사항 관리 및 시스템 통합

단계별로 확정된 규격서는 Figure 1에서 제시된 바와 같이 형상관리(Configuration Management)와 품질보증(Quality Assurance)을 위한 기준이 된다. 복잡한 수리온 사업체계에서의 형상관리 및 품질보증을 위한 관리체계는 설계과정과 시제작 과정별로 체계업체와 시제업체간의 업무수행체계를 구축하여 [5], 확정된 규격서에 입각한 시제작 및 품질관리 활동의 주요 업무를 수행하였다.

이러한 과정에서 식별된 설계와의 불일치사항은 단순 도면변경도 있지만 규격서 또는 더 나아가 이해관계자 요구사항의 변경도 따른다. 이러한 경우, 베이스라인에 따른 형상통제가 시행되고, 변경사안에 따라 설계관리절차 및 감항성인증업무절차, 그리고 소프트웨어 개발관리절차에 따라 설계검토가 부체계 책임하에 이루어진다. 설계검토과정에서 발생된 요구사항의 변경은 형상관리절차와 요구도관리절차에 따라 처리된다.

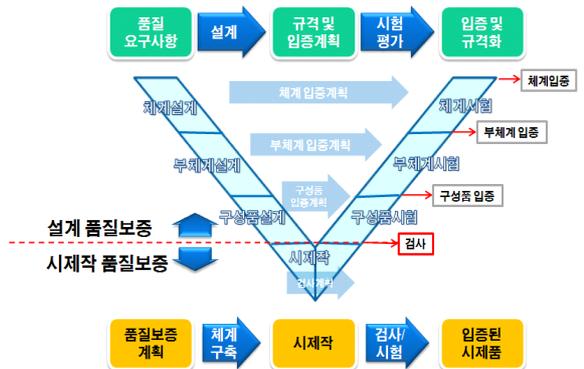
SRR단계에서 체계규격서를 확정하여 기능적 베이스라인(Functional Baseline)을 수립, PDR단계에서 부체계개발규격서를 할당베이스라인(Allocated Baseline)으로 수립하여 형상변경을 통제하였다. 제품베이스라인(Product Baseline)은 규격화 검토 업무가 진행되기 전까지 해당 개발주관기관에서 관리하도록 하였다. 본 사업은 체계개발과 초도양산이 병행 추진(Concurrent Engineering)됨에 따라 설계가 완전히 입증되기 이전에 초도양산을 위한 임시규격이 제정되었고 이로 인해, 체계개발간 발생하는 설계변경사항을 형상통제하여 개발규격서나 초도양산을 위한 임시규격에 반영할 수 있도록, 형상통제심의회(CCB)를 구성하여 Figure 3과 같이 심의대상별 (1급/2급) 심의주체(사업단 CCB, 현장CCB, 기품원)와 입증수준(체계검증, 구성품검증, 양산검증)과 결과반영(개발규격, 국방규격)에 대한 형상통제 개념을 수립하여 적용했다.



[Figure 3] Surion Configuration Control Concept

품질보증(QA) 활동은 KDS0050-9000의 국방 품질경영시스템 기반으로 이루어진다. 그러나 대부분의 내용들이 양산단계에서의 품질보증활동을 다루고 있어, 연구개발단계에서의 품질보증활동을 위한 구체적인 활동 방안 수립이 필요하였다.

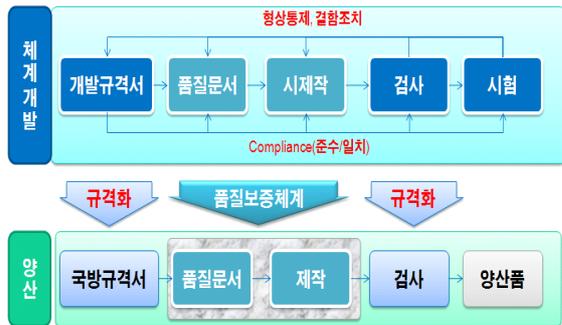
이에 수리온 품질보증 활동을 위한 품질보증 개념을 Figure 4와 같이, 설계와 시제작 품질보증을 시스템엔지니어링 프로세스와 연계하여 수립함으로써, 개발주관기관 및 시제(협력)업체가 연구개발에 적합한 품질보증활동을 전개할 수 있도록 하였다. 이는 초도양산의 품질 안정화에 지대한 영향을 주었고, 국과연 주관사업인 보병용중거리유도무기 체계개발사업의 품질보증활동의 근간이 되고 있다.[6]



[Figure 4] Surion Quality Assurance Concept

우선 개발주관기관을 비롯한 시제(협력)업체는 각자의 품질보증 및 형상관리체계를 구축하여 시제 제작과 시제작간 발생하는 규격과의 불일치사항을 식별하여 형상변경을 관리하였다. 시제업체는

협력업체의 품질보증 및 형상관리체계를 확인토록 하여, 상부에서 하부 구성품까지의 품질보증 및 형상관리 체계를 구축하였다. 이와 같이 구축된 품질보증 및 형상관리 체계를 토대로 아래 Figure 5와 같은 세부적인 관리활동이 이뤄졌다. 개발규격으로부터 도면을 포함한 시제작 관련 품질문서를 생성하여 시제작을 수행하고, 부품 및 시제품이 해당품질활동(검사 및 시험)을 통해 입증되었음을 확인한다. 이는 생산호기별(1~4호기)로 품질현황이 유지 관리되고, 특정호기에서 발생한 규격불일치사항에 대한 조치가 일괄적으로 전호기에 적용되어 체계입증의 일관성을 유지하여 체계개발의 신뢰도를 향상시켰다. 부품에서 구성품, 부체계, 그리고 체계까지 통합단계별 입증을 통해 해당 개발규격의 타당성을 확보하고 시제작간 공정능력을 확보하였다. 시험평가가 종료된 후, 최종 형상확인(FCA/PCA : Functional/Physical Configuration Audit)을 통해 개발간 모든 형상식별서와 시제작 품질문서들간의 일치성을 최종 확인하여, 개발규격의 완전성을 확인하였다. 이는 국방규격 작성의 토대가 되었으며, 향후 양산에서의 고품질의 신뢰도 확보에 기여하였다.



[Figure 5] Surion Quality Management Concept

2.2 요구사항 입증 및 데이터베이스 구축

체계운용요구사항서(ORD)에 연계된 수리온 체계규격서와 감항인증 규격의 주요 성능요구사항에 대한 입증결과는 Figure 6과 같은 양식을 통해 정리하여 체계규격에서의 주요 요구사항이 모두 입증되었음을 최종 확인하였다. 주요핵심 성능요구사

항별로 입증문서와 평가방법 그리고 평가결과 및 확인자 서명을 통해, 요구사항별 입증충족 결과를 확인한 후, 최종적으로 정부 기술관리단의 확인을 거쳐 체계개발이 성공적으로 완료되었음을 확신할 수 있었다.

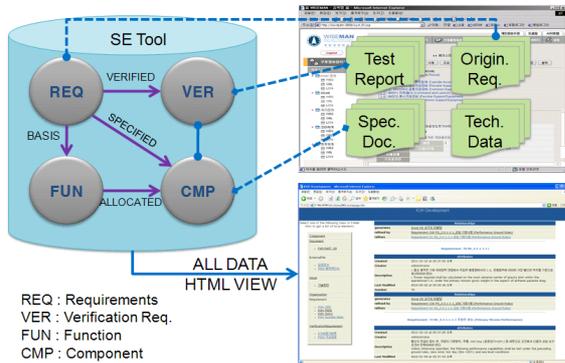
고유번호	231	분류번호	1	평가번호	3	관련개념	성능
장점번호	3.2.1.1.1.1	장점제목	주요무 성능				
요구도	전항의 기본 원칙, 무중, Hot Day (표준대기+00°C) 및 해면고도 조건에서, c. 000비행 (모든 수평방향 속도는 영) 가능한 고도는 지면효과가 없는 상태에서 00분간 최대운용가능 동력 (IRP) 이하의 조건으로 압력고도 000 m(000 ft) 이상이어야 한다.						
입증문서(Substantiation)							
No.	MOC	문서 번호	문서 명	해당 장점			
1	6B	88PP0000 TIS-FF-002	TIS for Performance	-			
2	6B	88PP0000 TIS-FF-002	FTR for TIS-FF-002	5.2			
평가방법							
○ 입증문서 ①의 비행시험 계획서를 통해 요구도 입증을 위한 시험이 계획됨. ○ 입증문서 ②의 비행시험 결과서 5.2.1 절을 통해 000 증량으로 000 비행 시 등가 요구동력이 등가 기동동력보다 작음을 확인함.							
[시험 결과]							
000 00000000 0000000 000000 000000 000 00000000 000000 00000000							
000 0000 00000000 000000 000000 00000000 000000							
평가결과		기준충족					
설계자 확인		피도장 확인		담당 확인			
000		000		000			

[Figure 6] Requirements Traceability Matrix

모든 개발노력의 산출물들은 체계적으로 기록되어야 한다. 규격화자료와 함께 제공되는 TDP (Technical Data Package)를 통해 모든 기술자료간의 연계성을 확인하는 데는 한계가 있다. 체계적인 기술자료의 보관과 유지를 위해서는 자료간 추적성을 확인할 수 있는 자료시스템이 필요하다. 수리온 체계개발간 3개 개발주관기관의 방대한 자료들은 기술자료관리절차에 따라 자료관리가 이루어졌다. 이는 TDP 자료들을 중심으로 개발동안 생성되거나 폐지, 갱신된 자료를 해당 개발주관기관이 각각 보유하고 그 목록과 신규자료를 주기적으로 제출 및 확인하는 관리활동이었고, 최종목록을 기준으로 각 개발주관기관이 보유하고 있는 기술자료를 TDP로 종합하여 초도양산기관으로 이관하였다.

이 중 시스템엔지니어링의 핵심인 요구사항을 관리하고 입증결과를 추적관리하기 위해서는 TDP와 같은 문서관리 형식이 아닌 개별적 요구사항을 관

리할 수 있는 별도의 도구가 사용되었는데, Figure 7과 같이 기술자료간 연계성을 확인할 수 있도록 시스템엔지니어링 도구를 활용하였으며, 기존 국과연 자료관리시스템과도 연계하여 데이터간의 일관된 자료유지관리에 노력을 기울였다. 특히, 수리온 데이터베이스에 구축된 엔지니어링 데이터 활용측면에서, 요구사항과 규격 그리고 입증계획 및 결과 데이터를 추적하여 확인할 수 있도록 HTML산출물이 유용하게 활용되었다.



[Figure 7] Surion Technical Data Management Tools

3. 결론

수리온 개발사업은 초도양산을 성공적으로 마치고 후속양산에 진입하였다. 체계개발 단계에서의 시스템엔지니어링 활동이 외형적으로만 구현된 것이 아니라, 요구사항을 각 분야 전문가들이 함께 고민하여 시스템적 개념을 공유하고, 요구사항을 추적하고 관리하며 요구사항이 적합하게 입증하는 일련의 기술적 노력은 시스템엔지니어링의 가장 중요한 핵심프로세스를 충실하게 실행한 사례라 판단된다.

최근에 체계개발이 종료된 후, 초도양산에서 일부 무기체계에 대한 품질 쟁점이 발생되고 있다. 국내 국방연구개발사업은 중소기업 육성정책 및 국산화 정책에 따른 개발노력의 부담과 개발비용 절감 및 전략화시기 단축을 위한 탐색개발과 체계개발 통합, 개발시험평가(DT)와 운용시험평가(OT) 통합, 그리고 초도양산 병행 등으로, 연구개발 기간을

단축하고 있다. 한편 선진 국방연구관리체계[7] [8]의 경우, 탐색개발단계(Technology Development Phase)에서 체계개발을 위한 요구사항 명확화와 시스템규격 개발을 점차 앞당겨 수행하도록 규정화하고 있으며, LRIP(Low Rate Initial Production) 단계에서의 초도양산품에 대한 운용시험평가(IOT&E, LFT&E)와 품질결함 개선을 위한 연구개발활동을 꾸준히 유지하고 있다는 점은 현 국방연구개발체계와 비교해 시사하는 바가 크다.

References

- [1] Jin Hoon Kim etc, ADDR-201-121081, KHP Technical Management Final Result Report, Agent of Defense Department, 2012.
- [2] Jin Hoon Kim, Dong Wook Rhee, Application of Systems Engineering for KHP, Symposium , KCOSE, pp269-280, 2013.
- [3] DAPA, 188-Ho, Defense Acquisition Program Administration Regulations 123, P68, 2012.8
- [4] DoD, MIL-STD-490A Specification Practices, 1985.
- [5] Jin Hoon Kim, Dong Wook Rhee, Woong Jae Yoo, Defense R&D Quality Assurance based on Systems Engineering, Symposium 2013, KIMST, P143-144. 2013.
- [6] Jin Hoon Kim, Woong Jae Yoo, Dong Wook Rhee, A Study of Quality Assurance Process of the Raybolt R&D Project related to Systems Engineering, 21st Ground Weapon System Symposium, KIMST, P61. 2013.
- [7] DAU, Integrated Defense Acquisition, Technology, and Logistics Life Cycle Management System, Version5.4, 2010.6
- [8] DoD, Interim DoDI 5000.02, 2013.11