

우주발사체 개발에 있어서의 형상관리 방안

Overview of Configuration Management for Launch Vehicle Development

조병규, 원유진 *, 이창배, 조철훈, 정의승(한국항공우주연구원)

1. 서 론

인간의 끝없는 욕구와 도전을 통해 문명의 이기가 만들어지고 사용되면서 인류 문명은 다양한 정치, 경제, 사회, 문화를 이룩하며 흥망성쇠를 거듭하며 지금까지 발달해 왔으며, 현재도 변하고 있고, 앞으로도 또 다른 모습으로 계속 변화할 것이다. 이러한 변화의 뒤에는 인간의 욕구 내지 필요를 담아낸 문명의 이기라고 할 수 있는, 과거의 단순한 도구의 이용에서부터 현대의 우주 진출을 가능케 하고 극한을 추구하는 대형 로켓시스템의 개발과 이용 등이 있다. 이렇듯 시대가 변해가면 갈수록 문명의 이기를 사용하는 인간의 욕구는 더욱더 정교화 되어 가고 무결성을 추구하고 있으며, 이에 부응하여 현실로 만들어질 고도화된 고비용의 시스템 개발이 요구되어지고 있다. 이러한 고비용의 고도화된 시스템의 성공적인 개발과 이용을 위하여 1950~60년대부터 항공우주분야와 군수산업을 중심으로 본격적으로 형상관리(configuration management) 개념이 대두되고 학문으로 승화되면서 현재는 오히려 일반산업계에서 주도적으로 하드웨어 개발과 더불어 소프트웨어 개발에서도 형상관리를 적용하고 있는 실정이다.

특히, 우리나라 항공우주분야의 형상관리 현황을 보면, 항공분야의 경우, 초기에는 기술중속형 사업 형태로 인하여 외국의 선진 항공사로부터 제공되는 형상관리 규정에 의거하여 그것을 단순 이행하는 수준의 수동적인 형상관리를 수행해 왔으나, KFP 절충교역 사업을 통한 소요 기술의 연수와 이행, KT-1 및 T-50 등의 독자 개발 사업이 생겨나면서 나름대로 능동적인 형상관리를 수행하면서 형상관리가 정착되게 되었다. 또한, 위성의 경우는 국제협력 사업을 통하여 나름대로 형상관리가 정착되었다. 하지만, 발사체의 경우는 MTCR에 의한 국가간 기술 이전의 어려움으로 인하여 항공과 위성 분야와 달리, 비교적 짧은 기간이긴 하지만 초기부터 형상관리 기초연구를 수행하여 현재 형상관리 방안을 독립적으로 수립하여 이행하고 있으며, PLM/PDM 시스템을 통하여 그 정착화를 도모하려고 하고 있다.

주지하는 바와 같이, 우리나라는 국가우주개발중장기계획에 의거하여 과거 KSR-I, II, III 등의 과학로켓의 성공적인 개발 경험을 기반으로 현재 100kg급 소형 위성발사체(KSLV-I) 개발 사업을 추진하고 있다. 사업 초기부터 체계적이고 효율적인 개발을 위하여 체계공학(system engineering) 기법을 도입하여 적용하고 있으며, 이의 일환으로 형상관리 방안을 마련하여 개발에 적용하고 있다.

이에, 형상관리 기본개념에 기초한 KSLV-I 개발을 위한 형상관리 방안과 그 이행 현황에 대해 기술하고자 한다.

2. 형상관리 계획(Configuration management planning)

형상(configuration)이란 이미 존재하고 있거나 향후 개발 예정인 하드웨어, 소프트웨어 또는 그것들의 조합체인 제품의 성능 및 기능적, 물리적 속성을 말하며, 형상관리는 제품의 생애주기에 걸쳐 제품의 형상과 제품 요구조건 및 설계/운용 정보와의 일관성을 수립하고 유지하는 관리 과정이다.[1][2]

형상관리는 Fig. 1과 같이, 일반적으로 형상관리계획, 형상식별, 형상통제, 형상현황유지, 형상검증 및 감사 등의 다섯 가지 활동으로 대별된다.[1]

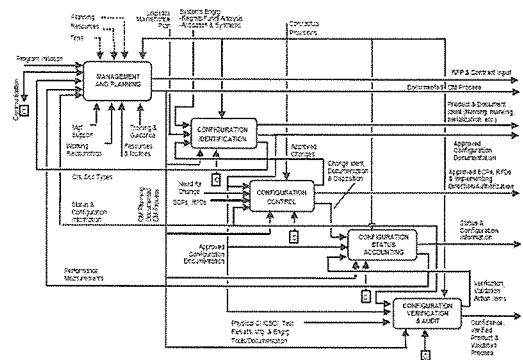


Fig. 1. Overall configuration management process

또한, 주요 결정사항과 변경에 대한 추적성을 제공하는 자료관리와 구성 시스템 간의 상호 적합성을 제공하는 인터페이스 관리 등의 또 다른 체계공학 과정의 관리기법과 직접적인 연관을 가지며, 주요한 역할을 담당하게 된다. 이러한 형상관리와 체계공학과의 일반적인 관계는 Fig. 2와 같다.[1]

Fig. 2를 통해 보면 사용자의 요구로부터 요구조건 분석, 기능 분석 및 할당, 종합의 주요 단계를 거치고 시스템 차원의 분석과 관리요소와 상호작용하며 최종 제품과 관련 형상문서가 도출되는 일련의 체계공학과 정에서 형상관리는 매 과정마다 시스템 관리 메커니즘의 역할을 하는 것을 알 수 있다.

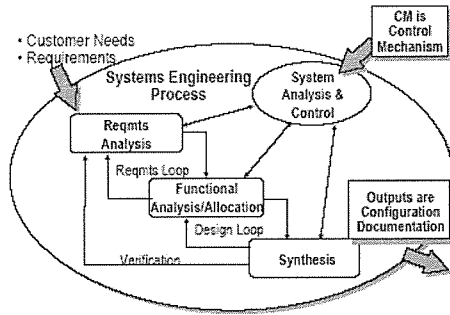


Fig. 2. Relation between system engineering process and configuration management

이러한 체계공학의 일부로서 수립되어진 KSLV-I 형상관리 방안은 한정된 개발 기간, 비용, 자원 등의 제약조건 하에서 우주발사체의 성공적 개발을 위하여 KSLV-I 발사체 시스템을 구성하는 하부 구성 시스템 뿐만 아니라 발사체의 임무 수행에 필요한 인터페이스 지상지원 장비에 대한 기능적, 물리적 속성을 식별하여 형상관리품목으로 정의하고 있으며, 모든 개발 조직에서 작성/제작되는 하드웨어, 소프트웨어, 인터페이스 및 관련 문서들의 형상관리 요구조건과 절차에 관한 지침을 제공하고 있다. 또한, 이러한 형상관리 방안을 달성하기 위한 주요 수행 업무는 다음과 같다.

○ 관리하고자 하는 형상품목의 선정과 형상품목의 기능적, 물리적 특성을 기술하는 형상식별문서의 식별 및 작성

○ 형상식별문서의 변경 통제, 변경 처리 및 수행 현황에 대한 기록 및 보고

○ 규격 또는 관련 요구조건의 순응 여부 점검

○ 개발과정 동안 사업과 관련된 모든 인원이 동일한 자료를 사용할 수 있도록 하는 것

또한, 원활한 형상관리를 위하여 주요 CAD 도구로 Pro/Engineer를 선정하여 Top-Down 설계를 유도하고, 파라메트릭한 도구의 특성을 살려 설계 변경이 용이하도록 하였으며, 실시간 형상관리정보체계로 PLM/PDM 시스템을 활용하고 있다.

이렇게 수립된 형상관리 방안의 이행을 통하여 (1) 시스템 설계, 개발, 시험 및 운용에 필요한 모든 문서 및 형상식별 기준선의 정의, (2) 비행모델의 각 구성 부품에 대한 온전하고 완벽한 식별, (3) 승인된 형상에 대한 기술적, 행정적 변경에 대한 체계적 평가와 변경 처리에 대한 통제, (4) 형상문서, 하드웨어, 소프트웨어의 승인된 변경에 대한 정확하고 완벽한 유지상태의 확인 등을 보장할 수 있게 될 것이다.

3. 형상식별(CI, Configuration Identification)

형상식별이란 제품의 속성을 선정하고, 선정된 속성과 관련된 정보를 모아서 기술하는 형상관리 활동이다. 식별의 대상인 형상품목은 최종 개발 목표와 최종 사용자 요구조건 및 각종 기술적, 행정적 요구조건 및 규격을 만족하는 하드웨어, 소프트웨어 또는 그것들의 조합체를 말한다. 형상식별 활동의 구체적인 내역은

- (1) 형상품목 및 관련 형상문서의 선정, (2) 선정된 형상품목 및 형상문서에 대한 식별자의 할당 및 적용, (3) 제품 형상과 형상문서 버전 관계의 유지, (4) 각 형상품목 간의 인터페이스 관리 절차와 문서화, (5) 형상품목 및 관련 형상문서의 배포, (6) 형상품목에 대한 형상기준의 수립 등이 있다.[1][2]

현재, KSLV-I 개발에서 고려하고 있는 형상품목의 범위는 발사체 시스템 그 자체 및 발사체와 인터페이스 되는 지상지원 장비의 모든 하드웨어와 소프트웨어이며, 이에 대한 기초 정보는 PBS에 기초한 WBS를 통해 알 수 있게 하였다. WBS의 레벨 5 이상으로 구성된 항목이 대부분 형상품목으로 대응되며, 향후 설계/개발이 차차 진행됨에 따라 레벨 6이하의 추가적인 형상품목이 발생할 것으로 예상된다. 이러한 형상품목을 기술하고 정의하고 통제하는 형상문서의 종류와 구성에 대한 최소 요구조건은 개발계획서, 규격서, 인터페이스 통제 문서, 도면, 작업공정서, 장착/운용/유지보수 매뉴얼 등으로 설정하였다. 또한, 이러한 형상품목에 대한 식별자는 WBS에 기반한 5+2+5 형태를 가지고 있어 식별자를 통해 쉽게 형상품목이 무엇인지를 인지할 수 있도록 하였다. KSLV-I에서 설정한 주요 형상문서에 대한 자료 식별 체계는 Fig. 3과 같다.

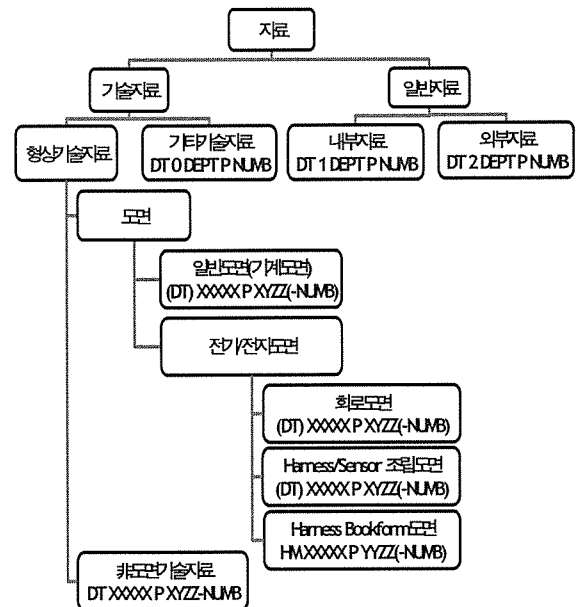


Fig. 3. Classification of Data for KSLV-I

또한, KSLV-I 개발을 체계적으로 관리하고 점검하기 위하여 개발과정을 단계화하고 단계별 정해진 개발 일정에 따라 형상기준을 미리 수립함으로써 사업 진행에 문제가 없는지 등을 점검할 수 있으며, 개발이 지속적으로 진행될 수 있도록 확정되고 합의된 근거를 제공해 주게 된다. 단계별 일정에 따른 주요 기술검토 회의와 이를 통해 얻을 수 있는 주요 형상자료와 형상기준을 Fig. 4에 나타내었다.

4. 형상통제(CC, Configuration Control)

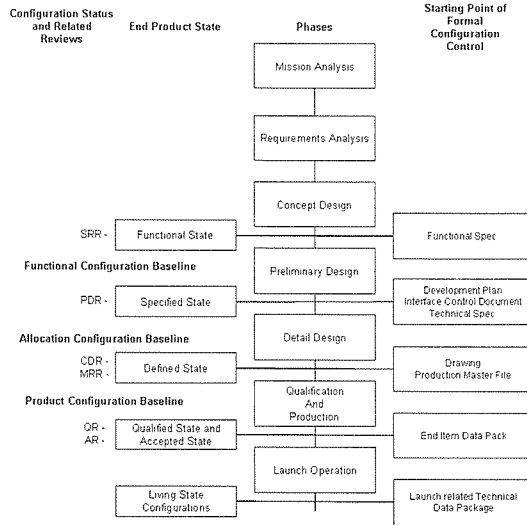


Fig. 4. Evolution of Configuration Baseline

주요 형상기준으로 기능형상기준, 개발형상기준, 제품형상기준으로 분류하였다. 기능형상기준은 예비설계 검토회의 이전에 수립되며, 각 형상문서들이 승인되고 배포됨에 따라 변경 통제를 받게 된다. 이 형상기준을 시작으로 하여 공식적인 형상관리시스템이 작동하게 되며, 여기에는 (1) 모든 필요한 기능적 특성, (2) 지정된 기능의 특성을 확인하는데 필요한 시험의 종류, (3) 형상품목과 관련된 인터페이스 특성, (4) Envelop 치수, 컴포넌트 표준화, 재고품목의 사용 여부, 자재수급 일정 계획 등의 설계구속조건 등의 내용이 기술된다. 개발형상기준은 예비설계 검토회의 이후에, 시스템 요구조건이 특정 하드웨어에 대한 요구조건으로 확장하는 규격서 등의 형상문서가 추가되면서 수립된다. 이때 승인되고 배포되는 형상문서는 (1) 상위 레벨 형상품목의 기능적 특성으로부터 할당된 개별 기능 특성, (2) 할당된 기능적 특성의 획득을 보여주기 위해 필요한 시험의 종류, (3) 관련 형상품목과 관련된 인터페이스 요구조건, (4) 추가적인 설계 구속조건 등의 내용이 기술된다. 제품형상기준은 모든 품목의 생산, 검사, 조립, 시험, 작동 중의 물리적 형태, 맞춤, 기능 등 필요한 모든 특성을 정의한다. 최초 이 형상기준은 현재 설계되어 있는(As-Designed) 형상이며, 제작 및 품질보증 데이터가 취합되어 현재 제작되어 있는(As-Built) 형상으로 표현된다. 시험과 조립 작업을 통해서 As-Delivered, As-Launched 형상으로 표현되기도 한다. 상세설계 검토회의 이후에는 추가되는 몇몇의 규격서와 최종 제품에 대한 설계도면에 의해 수립된다. 규격서는 도면에 의해 정의하지 못하는 실제 성능 및 특정 시험요구조건 등을 정의한다. 이때 배포되는 문서들은 (1) 형상품목의 물리적 외형, 기능적 특성, (2) 공정 확인시험을 위해 지정된 기능 특성, (3) 공정 확인시험의 종류 등의 내용이 기술된다. 또한, 형상기준의 변경, 즉, 형상기준별 정의되고 승인되어야 하는 형상문서 목록의 변경은 형상통제위원회(CCB)에서 결정되고 형상관리담당은 개발 어느 시점에서라도 현재의 형상기준에 대한 정보를 제공할 수 있도록 목록에 대한 현황유지를 해야 한다.

형상통제는 배포된 형상문서의 변경이 적절히 식별되어 문서화되고, 변경에 따른 영향이 평가되어 적절한 승인권자에 의해 승인되고, 검증되어지는가를 명확히 하는 체계적인 관리 활동이다. 형상통제 활동의 구체적인 내역은 (1) 제안된 변경에 대한 정의, 평가, 조정 및 처리, (2) 모든 승인되고 배포된 변경의 이행 등이 있다.[1][2] 즉, 형상통제는 승인되어 배포된 형상문서의 모든 변경과 이를 만족하지 못하게 되는 경우에 해당하는 완화, 면제가 적시에 원칙적인 방법으로 처리될 수 있도록 하여야 한다. 형상통제를 통하여 (1) 형상기준에 영향을 주는 변경의 임의의 처리를 방지하고, (2) 변경사항에 대한 분석과 결정 프로세스를 진행함에 있어 모든 관련자가 해당 변경사항을 인지토록 하고, (3) 승인된 변경, 면제, 완화가 수행되고 검증되고 기록되었는지를 확인하게 된다. 이러한 형상통제의 시작이 되는 형상기준문서는 각 설계검토회의와 연계하여 수립되고 배포되며, 이 때부터 모든 배포된 기준 문서들은 공식적인 형상통제를 받게 된다.

현재, KSLV-I에서 고려하고 있는 주요 변경은 기술변경(Engineering Change), 면제(Waiver), 완화(Deviation)의 3종으로 구분하였으며, 제안된 변경의 외부 영향성에 따라 등급 1과 등급 2로 나누었으며, 이의 처리를 담당하게 되는 형상통제위원회(Configuration Control Board)는 등급에 따라 Critical CCB, Major CCB, Normal CCB 등의 3개 CCB를 운영하기로 하였으며, 이를 위한 해당 형상통제 과정은 Fig. 5와 같다.

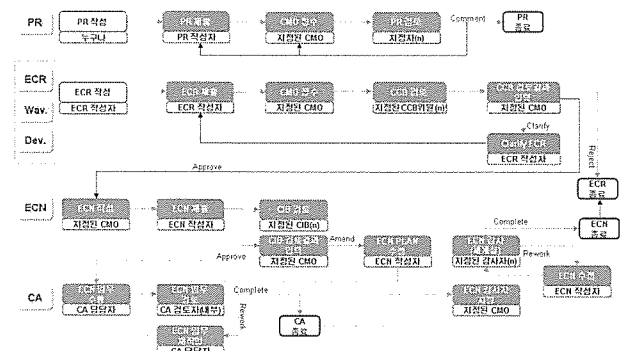


Fig. 5. Configuration control process

기술변경은 공식적으로 승인되고 배포된 형상품목의 변경으로서, 제안된 변경의 영향성 정도에 따라 등급 1과 등급 2로 분류되어진다. 변경의 등급은 기본적으로 제안자가 제안을 하나, 형상관리담당에 의해 우선적으로 평가되며, 각 등급에 지정된 형상통제위원회가 소집되어 기술변경을 평가 시, 등급이 적절한지에 대해서도 평가를 받게 된다. 개발에 참여하는 모든 이해관계자 누구라도 변경을 발의하거나 제안할 수 있으며, 발의되고 제안된 기술변경은 형상관리담당자에 의해 접수되고 지정된 형상통제위원회에 통보되어 형상통제위원회가 소집되어 해당 기술변경을 평가하게 된다. 이 때, 형상통제위원회는 변경에 대한 결정을 내리기 전에, 모든 영향에 대한 분석을 철저히 수행하고

변경을 결정해야 하며, 형상관리담당은 형상통제위원회의 분석과 결정에 따라 기술변경확인서를 작성하여 제안자를 포함하여 관련 담당자에게 배포하여 통보한다. 기술변경통보서를 받은 관련 담당자는 해당 근거에 의거하여 관련 형상품목과 관련된 형상기준을 변경하고 승인을 받으면 기술변경이 마무리되게 된다.

기술변경이 승인된 형상문서의 변경을 요청하는 반면, 면제와 완화는 형상문서의 변경이 아닌 생산과 납품에서 발생하게 되는 제품의 규격 불일치 사항에 대한 사전 승인을 구하는 변경이다. 면제는 각 개발조직이 약속한 계약상의 형상기준에 대한 관련 규격 및 요구조건 항목 자체를 영구적으로 만족시키지 못하는 경우, 이에 대해 상세히 기술한 면제 요청서를 작성, 제출하여 승인을 얻어야 한다. 즉, 승인을 받지 않고 불일치 사항을 있는 상태로 납품을 해서는 안 되며, 제안된 면제의 영향성 정도에 따라 등급 1과 등급2로 분류되며, 나머지 절차는 기술변경과 동일하다. 완화는 면제와 비슷한 개념이나, 각 개발조직이 약속한, 계약상의 형상기준에 대한 관련 규격 및 요구조건 상세 항목 중 일부를 일시적으로 만족시키지 못하는 경우, 이에 대해 기술한 완화요청서를 작성, 제출해서 승인을 얻어야 한다. 즉, 면제와 마찬가지로, 승인을 받지 않고 불일치 사항을 있는 상태로 납품을 해서는 안 되며, 제안된 완화의 영향성 정도에 따라 등급 1과 등급 2로 분류되며, 나머지 절차는 기술변경과 면제와 동일하다. 각 개발조직은 제안하여 승인된 면제와 완화의 불일치 사항이 해결되었을 경우, 이를 납품 서류에 첨부하여 제출해야 한다.

5. 형상현황유지(CSA, Configuration Status Accounting)

형상현황유지는 제품과 제품 정보를 효율적으로 관리하기 위하여 필요한 관련 형상정보의 수집, 저장 및 접근에 대한 형상관리 활동이다.[1][2] 즉, 형상현황유지는 형상식별을 통해 선정된 형상품목에 대해 승인된 형상문서의 목록, 형상기준에 대해 제안된 설계변경/면제/완화 등의 현황, 형상통제를 통해 승인된 형상변경의 이행 현황 등을 포함하여 제품의 형상을 효율적으로 관리하기 위해 필요한 정보를 기록하고 보고하여 관련 형상자료를 유지, 상호연관, 배포, 보고 및 저장하는 기능을 말한다. 형상현황유지는 기본적으로 자료 관리 기능으로서 공식적인 형상기준 자료를 사업 목적으로 보유, 활용, 배포 관리하는 것이며, 제품의 생애 주기 동안 각각의 변경 현황을 추적할 수 있는 중요한 기능을 수행하므로 형상품목의 현재 상황을 식별하는데 필요한 모든 형상문서 현황을 제공하고 고유한 변경 식별 번호로 각 변경을 식별할 수 있는 현황을 제공할 수 있는 적절한 형상현황유지 시스템을 운용하여야 한다.

이러한 기본적인 형상현황유지 활동을 수행하기 위하여 KSLV-I에서 수립된 형상현황유지 시스템은 자료 관리의 데이터베이스를 통하여 KSLV-I 발사체와 지원 장비의 구성부품 및 관련 소프트웨어에 대해 현재 상태에서 설계되어 있는(As-Designed) 형상 및 문서의

식별을 제공한다. 또한, KSLV-I 발사체와 지원 장비의 현재 제작되어 있는(As-Built) 형상 및 문서를 식별을 제공하며, As-Designed와 AS-Built 형상 간의 차이에 대한 목록을 제공한다. 또한, 변경의 요청 및 수행 상태뿐만 아니라 기술문서의 배포 및 버전 상태도 기록되어 제공한다.

KSLV-I 사업에서 지정한 기본적인 형상현황유지 목록은 Fig. 6과 같으며, 크게 통제목록, 형상목록, 현황 목록으로 나누어져 있다. 통제목록을 통해 형상문서의 구성 체계와 도면 체계 및 수량 정보를 알 수 있으며, 형상목록을 통해 발사체 시스템과 하위 구성 부품 간의 관계와 위치 및 수량을 알 수 있고, 또한, 모든 도면, 규격서, 절차서 등을 알 수 있게 되며, 현황목록을 통해 형상관리담당을 통해 배포된 모든 문서의 현재 버전 정보와 변경 종류별, 변경 진행 상태별 현황을 알 수 있다. 이러한 통제목록, 형상목록, 현황목록으로 구성된 형상현황유지 보고서는 각 개발조직 내의 형상관리담당을 통해 주기적으로 작성, 관리되어 체계조직의 형상관리담당에 전달되어야 하고, 체계조직의 형상관리담당의 승인 하에 배포 및 갱신되어야 한다.

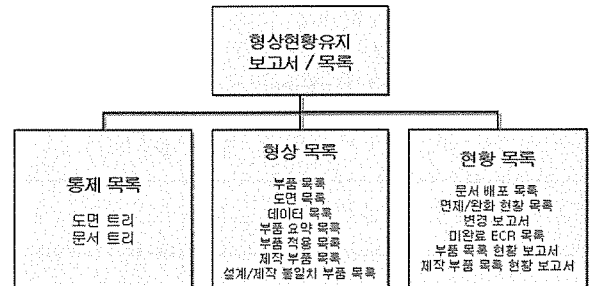


Fig. 6. List of configuration status accounting

6. 형상검증 및 감사(CVA, Configuration Verification & Audit)

형상검증은 만들어진 제품이 요구속성을 만족하는지 그리고 제품 설계가 정확히 문서화되었는지를 검증하는 것이며, 형상감사는 물리적 형상감사와 기능적 형상감사를 통해 문서, 제품, 기록 등을 검사하거나 절차, 과정, 시스템을 검토함으로써 수행하는 형상검증 활동이다.[1][2]

즉, 형상검증 및 확인은 모든 형상품목이 정해진 절차에 따라 승인된 기술 자료와 부합되는지를 확인하는 절차이다. 형상관리담당은 현재 제작되고 있는 형상이 현재 최신의 정해진 절차에 따라 승인된 설계되어 있는 형상을 따르고 있는지와 각 형상 간의 차이점 및 불일치 사항이 적절히 승인되고 문서화되어 있는지를 확인한다. 설계 및 제작에 사용되는 모든 기술문서들은 각 형상품목의 검사 및 시험에 사용되기 전에 승인, 배포되어야 하고, 기준문서로 등록이 되어야 한다. 효율적인 형상검증 및 감사를 위하여 다음과 같은 규정을 적용할 예정이다. (1) 기술문서의 배포 이전에 자체적 설계 검토를 수행한다. (2) 형상관리담당에 의한 내부 심사를 수검한다. (3) 제품의 현재 제작되어 있는 형상을 확인하기 위하여 품질보증 조직의 제작 공정 중의 심사를 시행한다. (4) 제작 완료 후 포장하기 전

제품 및 각종 데이터가 개발 요구조건에 부합되었음을 입증하기 위한 납품준비점검회의를 시행한다. (5) 형상관리담당과 품질보증담당에 의하여 최종 형상에 대한 확인과 승인이 되어야 한다.

이러한 형상검증 및 확인의 활동에는 SRR, SDR, PDR, CDR, MRR, FRR 등의 기술검토회의가 있으며, 임의의 일정에 따라 물리적 형상감사와 기능적 형상감사를 수행한다.

7. 형상관리전산시스템의 구축

앞에서 언급한 형상관리 기본개념에 따른 KSLV-I 형상관리 방안 자체에 대한 올바른 이해뿐만 아니라 개발과정에 형상관리 방안을 이행하면서 생산될 수많은 형상자료의 식별 및 관리, 참여기관 또는 참여연구원 간의 동일 형상자료에 대한 중복 관리에 따른 불필요한 관리 비용의 발생, 형상정보 미공유에 따른 참여기관 또는 참여연구원 간의 잘못된 의사소통 등의 문제를 사전에 해결하여 모든 형상정보를 올바르게 구성하고 인터페이스 할 수 있는 적절한 형상관리정보체계가 필요하게 된다. 이에, 2003년 11월부터 시작하여 자료관리와 형상관리를 중심으로 하는 웹 방식에 기반한 PLM/PDM을 구축하였으며, 현재 활용 중에 있다. 이러한 PLM/PDM 시스템을 통해 전산화된 형상관리정보체계는 우주발사체에 대한 최신 기술 자료를 실시간으로 지원하고 공유할 수 있도록 함으로써 발사체 품질 및 신뢰성 향상과 업무 효율 증대에 크게 기여하고, 궁극적으로 국가우주개발의 초석이 될 것으로 기대하고 있다.

8. 결론

고비용의 고도화된 우주발사체 개발의 성공을 위해 사업 초기부터 도입된, 체계적이고 효율적인 체계공학 기법의 일환으로 수립된 KSLV-I 형상관리 방안을 제시하였다. 형상관리계획, 형상식별, 형상통제, 형상현황유지, 형상검증 및 확인 등으로 구성된 형상관리 방안에 대한 올바른 이해와 전산화된 적절한 형상관리정보체계의 활용을 통하여 우주발사체의 품질과 신뢰성 향상을 도모하게 될 것이며, 궁극적으로 국가우주개발의 초석이 될 것이다.

참고문헌

- [1] DoD, MIL-HDBK-61A(SE) Military Handbook Configuration Management Guidance, DoD, United States of America, 2001.
- [2] EIA, EIA-649 National Consensus Standard for Configuration Management, GEIA, United States of America, 1998.
- [3] 국방품질관리소, <http://www.dqaa.go.kr>
- [4] 조병규, PN61312X0000-0001 KSLV-I 형상관리 계획, KARI, 2003.