

## 국제표준기반의 고안전성 철도신호시스템 개발을 위한 형상관리프로세스 적용사례 연구

최요철\*

현대로템

### A Case Study on the Application of Configuration Management Process for the Development of High-Safety Railway Signaling System Based on International Standards

Yo Chul Choi\*

*Hyundai Rotem Company*

**Abstract** : The activities of managing and controlling the configuration of a system component over its life cycle are critical tasks in developing a high safety system as well as general system development. These configuration management activities should be defined through the management plan at the beginning of the life cycle, and should be performed continuously and systematically until the end of the project after the system or product development is completed. In this study, the configuration management process applied in the development of high safety railway signaling system was introduced and an efficient application proposals of it was proposed. In particular, configuration management through the establishment of a configuration management system based on computer tools is one of the important activities of maintaining the configuration integrity of the system or product.

**Key Words** : Railway Signaling System, Configuration Management Process, High-Safety System, configuration management system, Systems Engineering, SVN, Quality Management System

**Received:** December 18, 2019 / **Revised:** December 27, 2019 / **Accepted:** December 27, 2019

\* 교신저자 : Yo Chul Choi, [choiyochul@naver.com](mailto:choiyochul@naver.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

형상관리는 생명주기동안 시스템 구성요소의 형상, 즉 제품구성정보에 정의된 제품(시스템) 또는 서비스의 상호 연계된 기능적, 물리적 특성을 지정하고 관리하기 위한 조정 활동으로 정의하고 있으며[1], 일반적인 제품(시스템) 또는 서비스 개발뿐만 아니라, 개발 생명주기 전반에 걸쳐 높은 안전 요구사항을 고려한 체계적이고 안전 중심의 설계관리(규격서, 인터페이스문서, 도면 등), 변경통제, 그리고 지속적인 개발상태 보고가 요구되는 고 안전성 시스템 개발에 있어서도 매우 중요한 업무라고 할 수 있다[2]. ISO 9001은 형상관리에 대한 구체적인 요구사항이 없으나, ISO 10007을 참조하도록 가이드하고 있으며, 제품의 개념단계로부터 폐기단계까지 적용하도록 규정하고 있다[3][4]. 또한 시스템엔지니어링(SE) 국제 표준인 ISO/IEC/IEEE 15288에서는 기술관리프로세스의 하나로 형상관리 프로세스를 규정하고 있으며, 기대성과물, 세부적인 활동 및 태스크를 제시하고 있어 조직차원의 형상관리 정책, 전략, 그리고 계획 수립에 도움이 될 수 있다[5]. 특히 시스템을 구성하고 있는 소프트웨어에 대해 ISO/IEC/IEEE 12207에서는 소프트웨어 생명주기에 따른 소프트웨어 형상관리프로세스에 대해 언급하고 있다[6].

철도신호시스템은 열차의 안전 운행 및 철도차량의 안전한 이동을 제어하고 책임지는 철도시스템의 하나로, 과거 기관사와 신호기 중심의 지상신호장치(HW중심)에서 오늘날 열차의 내부에 설치된 차상신호장치(HW와 SW중심)를 통한 무인운전 고안전성 열차제어시스템이 많이 사용되고 있다[7][8]. 본 연구에서는 고안전성 철도신호시스템 개발과정에서 적용된 형상관리프로세스를 소개하고, 이를 기반으로 한 체계적이고 효율적인 형상관리프로세스 적용사례 및 체득한 교훈(lessons learned)에 대해 제시하였다. 철도신호시스템 개발관련 국제표준인 IEC 62425에 따르면[9], IEC 62278에[2] 정의된 시스템 생명주기에 따라 품질관리시스템을 적용

하도록 요구하고 있으며, 이러한 품질관리시스템(Quality Management System)은 안전과 무관하거나 높은 안전성을 요구하는 모든 시스템(HW 및 SW 포함) 및 하부시스템에 대해 형상 관리(변경 관리 포함)를 수행하도록 규정하고 있다. 본 논문의 1장에서는 형상관리와 관련된 개념과 관련 표준에 대한 서론 부분이며, 2장에서는 형상관리와 관련하여 직접적인 국내외 형상관리 표준, 가이드, 논문, 사례연구 등을 통한 형상관리의 중요성과 필요성에 대해 요약하여 제시하였다. 3장은 본론 부분으로 고 안전성 철도신호시스템 개발에 적용된 형상관리 적용사례에 대한 소개 및 교훈에 대해 제시하였으며, 4장에서 결론과 향후 연구방향에 대해 기술하였다.

## 2. 형상관리 연구동향

### 2.1 형상관리 표준 및 가이드

ISO 10007은 조직 내부에서의 형상관리의 사용에 관한 가이드를 세부적으로 제공하고 있으며, 특히 형상관리계획서(Configuration Management Plan)의 구조 및 내용을 제시하여 제품(시스템) 개발의 생명주기에 따른 형상관리 활동을 체계적으로 수행해야 하는 제품(시스템) 개발 시 활용성이 높다고 할 수 있다. ISO 10007에 규정된 형상관리프로세스는 형상관리계획 수립, 형상항목 식별, 베이스라인 수립(형상통제 시작), 형상변경 관리(최초 베이스라인 수립이후), 형상상태 보고, 형상 감사 순서로 진행하도록 요구하고 있다. 다만 세부적인 절차나 방법, 그리고 템플릿에 대한 언급이 없어, 조직은 제품(시스템) 또는 프로젝트의 특성에 따라 이를 개발하여 적용해야 할 것이다. INCOSE Handbook 4에서는 ISO/IEC/IEEE 15288에 언급된 형상관리프로세스의 적용과 관련된 입력물, 출력물, 통제요소, 그리고 지원요소를 IPO(Input-Process-Output) 다이어그램과 자세한 설명, 그리고 조건들을 제시하고 있다. 특히 요구사항, 규격, 형상 정의문서, 그리고 설계변경에 대한 통제를 강조하고 있다[10]. NASA SE 핸드북은 일반적인 ISO 10007

에 제시된 형상관리프로세스와 유사하나, 통제해야 할 리스크를 초기에 식별하여 형상관리 전반에 반영하는 것이 특징이다[11]. 그리고 NAS(National Airspace System) [12], DAG(Defense Acquisition Guidebook) [13], SEBOK(Systems Engineering Body of Knowledge) [14], Systems Engineering Fundamentals[15] 등에 형상관리프로세스 적용 가이드가 비교적 상세하게 설명되어 있다. 상기에 언급된 문헌들을 각자 도메인 특성을 반영한 형상관리프로세스를 제안하고 있으며, 본 연구에서는 고안전성 철도신호시스템 개발을 위한 실제적 형상관리프로세스를 ISO 표준을 기반으로 수립하고, 여러 참고문헌을 통해 도출한 내용을 토대로 고안전성 철도신호시스템 개발 시 적용한 형상관리프로세스를 제시하였다.

## 2.2 형상관리 적용사례 연구

국내 국방분야에서는 계약 및 기술관리 프로세스 중 하나로 형상관리를 포함하고 있으며, 특히 국방분야 특성을 반영한 여러 형상 항목을 구체적으로 제시하고 있다. 또한 효율적인 형상관리를 위해 PLM(Product Lifecycle Management) 사용을 언급하고 있다[16]. 항공분야에서는 항공시스템의 소프트웨어 개발 시 오픈소스 기반 형상관리도구를 활용한 형상관리 방안을 제시하였으며, 이를 통해 철저한 변경관리, 비용절감, 그리고 형상 관리 목표의 달성이 가능함을 제안하였다[17]. 경량전철시스템 및 운영고도화를 위한 시스템엔지니어링 적용기술 개발 연구보고서에 따르면, 국내 경량전철사업 SE 적용사례 분석결과, 인천2호선 및 용인경철사업에서만 형상관리가 적용되었으며, 주로 문서 및 물리적 형상에 대한 관리를 중점으로 수행되었음을 확인할 수 있었다[18]. 철도분야에서는 국내 고안전성 신호시스템 획득 시 안전성 등급을 의미하는 SIL(Safety Integrity Level)을 획득하고자 하는 노력을 많이 하고 있으며, 이러한 과정에서 형상관리프로세스가 적용되고 평가되고 있으나 이와 관련된 내용은 보안상의 이유로 찾아보기 어려운 실정이다.

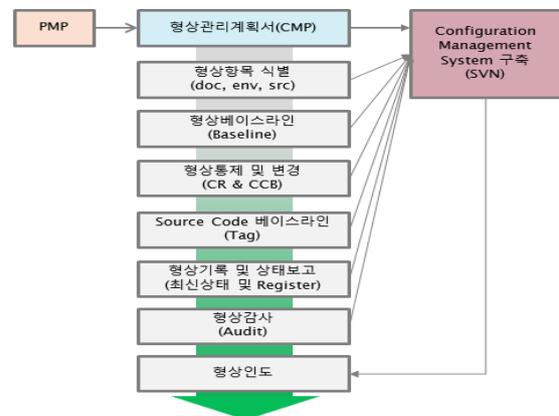
## 3. 고안전성 철도신호시스템 개발에 적용한 형상관리프로세스 적용사례 및 교훈

### 3.1 형상관리프로세스 수립

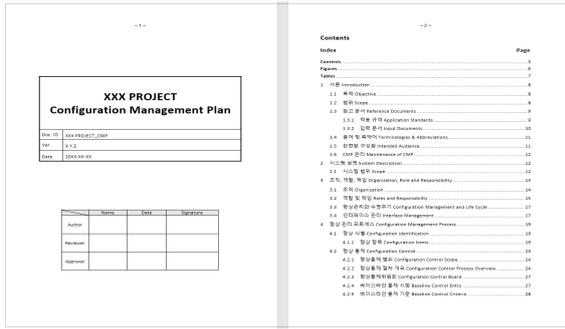
본 연구에서는 고안전성 철도신호시스템의 성공적인 개발을 위한 형상관리를 위해 그림 1과 같이 형상관리프로세스를 수립하였다. ISO 10007 및 ISO/IEC/IEEE 15288에 따르면, 올바른 형상항목을 선정하고, 이를 체계적으로 관리하고 통제하기 위한 프로세스 수립을 요구하고 있으며, 특히 생명주기 단계별 수립되는 형상 베이스라인은 개발 및 통제를 유지하기 위한 사업(프로젝트), 예산, 제품의 기능 및 성능, 물리적 요소의 기준점으로 사용되기 때문에 제품(시스템)의 특성에 맞는 형상관리프로세스의 수립을 강조하고 있다.

#### 3.1.1 형상관리계획서 작성

일반적으로 형상관리계획서는 프로젝트 시작초기 프로젝트관리계획서(Project Management Plan)에서 처음 식별된다. 고객(혹은 발주자)은 제품(시스템)에 대한 형상 무결성(Integrity)이 확보된 시스템을 획득하기 위해 형상관리업무를 요구하며, 프로젝트(혹은 사업) 수행자 또는 조직은 적용 가능한 형상관리 정책과 절차에 따라 형상관리계획을



[Figure 1] Configuration Management Process for High-Safety Railway Signaling System



[Figure 2] Configuration Management Plan

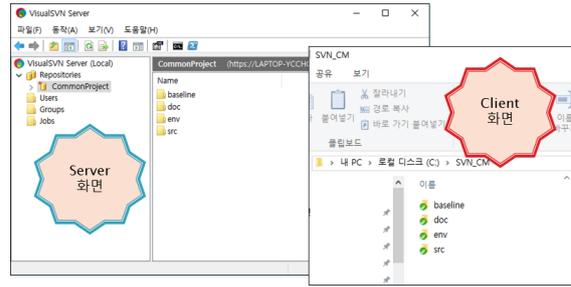
<Table 1> Contents of CMS

1. 서론
2. 고안전성 철도신호시스템 설명
3. 조직, 역할, 책임
4. 형상관리프로세스
4.1 형상 식별
4.2 형상 통제
4.3 결함 관리
4.4 형상 항목 명칭 규칙
4.5 저장소 관리 및 복구 원칙
4.6 정보 관리 체계
4.7 형상 관리 도구
5. 형상 상태 기록/보고
6. 형상 감사
7. 형상관리 일정
8. 형상관리 훈련(교육)
9. 협력업체 형상관리 지원
Appendix A. 저장소 구조

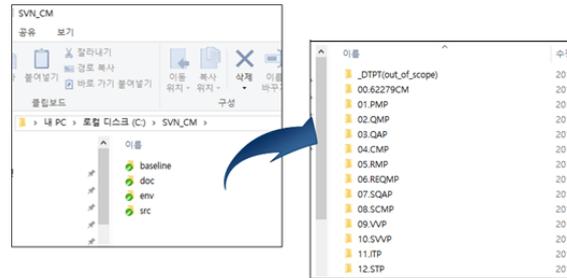
수립하고 이를 문서화해야 한다. 이는 전반적인 형상관리 활동을 리딩하게 된다. 그림 2는 본 연구를 통해 작성된 형상관리계획서의 표지이며, 대략적인 목차는 표 1과 같다. 이는 ISO 10007의 형상관리 계획서의 구조를 참고하여 작성하였다.

### 3.2.2 형상관리시스템 구축

ISO/IEC/IEEE 15288 및 ISO 10007에 따르면 시스템 요소, 베이스라인 및 배포에 대한 형상관리 상태 데이터를 수집, 저장 및 보고하도록 규정하고 있다. 특히 데이터의 정확성, 적시성, 무결성, 그리고 보안성을 달성하기 위해 현재 및 이전 형상 상태를 관리하도록 명시하고 있다. 본 연구에서는 오픈 소스 SW인 SVN 프로그램[19]을 활용하여 서버-클라이언트 기반의 형상관리시스템을 그림 3과 같



[Figure 3] Configuration Management System using SVN

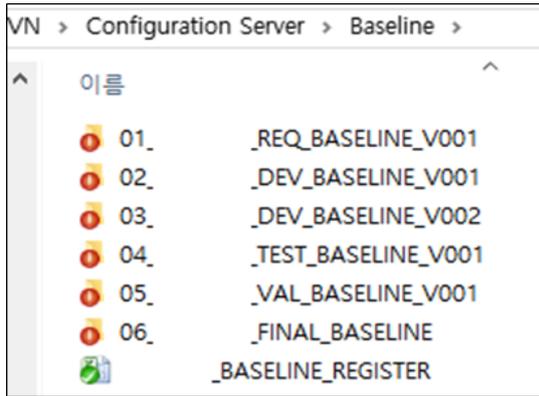


[Figure 4] Configuration Items

이 구축하고, 생명주기 전반에 적용하였다. SVN은 다른 형상관리프로그램에 비해 사용이 용이하고, 형상관리프로세스를 비교적 적합하게 지원하며, 소규모 프로젝트 적용 시 구축비용이 거의 없는 특징을 가지고 있다. 특히, 형상문서 및 SourceCode의 변경관리에 장점을 가지고 있다. 환경적인 고려사항으로 형상관리시스템의 원활한 운영을 위해 보안, 백업, 바이러스 예방, 정전 대비 등 외부적인 장비 및 소프트웨어를 사용하였으며, 데이터 백업은 별도의 장소에 이중화하여 보관하므로, 화재나 해킹 등에 대비하였다.

### 3.2.3 형상항목 식별

형상항목은 형상관리계획서에 처음 식별되며, 프로젝트(사업)가 진행됨에 따라 추가, 변경, 삭제될 수 있다. ISO/IEC/IEEE 15288에 따르면, 기본적인 형상항목을 요구사항, 제품 및 시스템 요소, 정보 항목 및 베이스라인 등으로 정의하고 있다. 이러한 형상항목을 기준으로 본 연구에서는 그림 4와 같이 형상항목을 크게 베이스라인, 문서, 개발환경, SourceCode 등으로 정의하고 SVN을 통해 등록하



[Figure 5] 6 Baseline Phase

었다. 중요 형상항목으로는 각종 계획문서, 시스템 기능 및 아키텍처 문서, 인터페이스 문서, 소스코드 등이 된다.

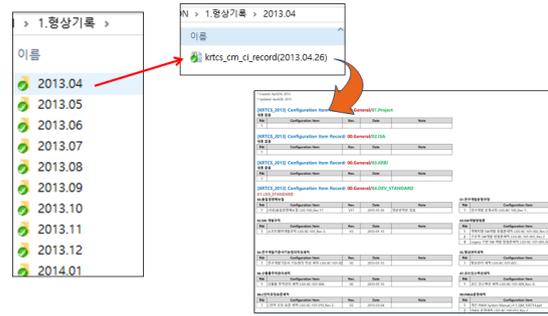
그림 4는 형상항목 폴더와 doc폴더에 있는 각종 계획문서를 보여주고 있다.

### 3.2.4 형상베이스라인 구축

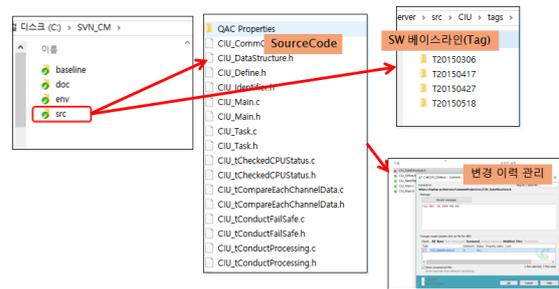
형상항목을 통제하기 위해 생명주기 전반에 걸쳐 베이스라인을 정의하도록 요구하고 있다. 제품(시스템) 또는 프로젝트(사업)의 특성에 따라 형상 베이스라인 수립 시기가 다르게 설정할 수 있으며, 본 연구에서는 그림 5와 같이 6단계의 베이스라인을 규정하였으며, 긴 개발단계의 경우 2번의 베이스라인을 수립하였다. 일반적으로 베이스라인 수립 시기는 프로젝트관리계획서에 정의된 생명주기단계와 일치하나, 제품(시스템) 또는 프로젝트(사업)의 특성에 따라 늘리거나 줄여서 수행할 수 있다. 베이스라인은 생명주기 단계에 따른 승인된 제품 형상 정보를 포함하고 있기 때문에 각 단계별 베이스라인 수립 시 철저한 검토 및 관리를 위해 각 베이스라인에 대한 관리 현황을 관리대장(Register)에 기록하여 업무의 연속성과 베이스라인 관리정보를 유지하였다.

### 3.2.5 형상통제 및 변경

ISO 10007에 따르면, 최초 베이스라인이 수립된 이후, 모든 형상 변경 내용은 공식적으로 기록되



[Figure 6] Report for Configuration Control and Change

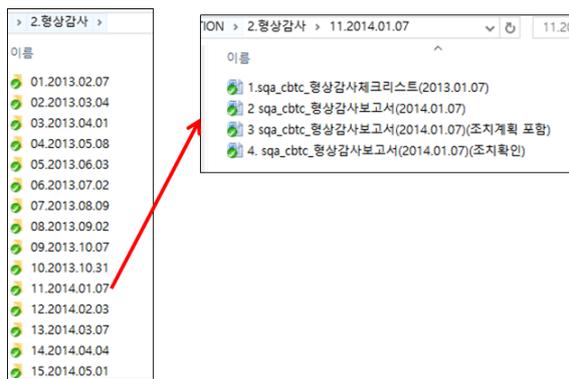


[Figure 7] SourceCode Baseline(Tag) and Change record

어야 하며, 중요 형상 항목에 대해서는 형상통제위원회(CCB; Configuration Control Board)를 통해 심의되고 결정되어야 한다. James N. Martin은 일반적으로 시스템엔지니어링 매니저가 CCB 위원장이 될 수 있다고 언급했다[20]. 그러나 고안전성 철도신호시스템 개발에 있어 개발총괄책임자가 CCB 위원장을 수행하였다. 반면 철도사업의 경우, 고객(또는 발주자)가 CCB 위원장을 수행하는 경우가 많다. 형상통제 및 변경기록은 주기적으로 전체 제품(시스템) 또는 프로젝트(사업)의 참여인원들에게 공유되어야 한다. 특히 요구사항이나 시스템 기능 및 성능, 아키텍처의 변경 등에 대해서는 고객(또는 발주자)에게 최종 승인을 받아야 한다. 그림 6은 형상항목에 대한 변경기록 예시이다.

### 3.2.6 Source Code 베이스라인 수립

ISO/IEC/IEEE 12207에 따르면, SW를 포함한 시스템 개발 시 SW에 대한 베이스라인 수립을 요구하고 있다[4] [5]. 고안전성 철도신호시스템 개발 중 그림 7과 같이 개발일정 별 생성된 SW 소스코드를



[Figure 8] Record of Configuration Audit

등록하고, 시스템 베이스라인 이전에 SW 소스코드에 대한 SW 베이스라인(Tag) 수립하였으며, 소스코드 변경에 대한 변경이력을 철저하게 관리하였다. 이러한 변경 이력은 SVN을 통해서 항상, 그리고 개발에 참여한 모든 인원들이 확인 가능하다.

### 3.2.7 형상 감사

I형상 감사는 제품(시스템)이 제품 요구사항 및 제품 형상정보에 적합한지를 결정하기 위해 문서화된 절차에 따라 실시하도록 요구되고 있다[4]. 형상 관리책임자는 형상 감사(Configuration Audit)를 위한 최신 형상상태를 SVN에 지속적으로 유지해야 하며, 형상관리계획서에 정의된 형상 감사 단계에 따라 품질담당자에 의한 형상 감사를 실시되었다. 이러한 형상 감사 이력은 SVN를 통해 형상 감사 체크리스트/보고서(3종)를 등록 및 관리하였다. 형상 감사 시기는 품질담당자 또는 품질조직과 협의하여 매월 1회 실시하였다. 형상감사는 기본적으로 기능적 형상 감사(FCA; Functional Configuration Audit)와 물리적 형상 감사(PCA; Physical Configuration Audit)를 포함하였으며, 추가적으로 중요 제품형상정보에 대한 감사를 포함하였다.

### 3.2.8 형상인도

고안전성 철도신호시스템이 모든 개발 요구사항을 만족하고 최종 개발 된 이후 개발과 관련된 모든 형상항목은 최종 베이스라인을 통해 확정되며, 이는 최종 확인된(validated) 고안전성 철도신호시스템

과 함께 고객(발주자)에게 인도된다. 확인자(validator)는 모든 HW 및 SW, 그리고 기타 형상항목에 대한 무결성과 일치성을 제품(시스템) 또는 프로젝트(사업)의 최종 단계에서 확인하였다. 최종적으로 생명주기 단계에 걸쳐 ISA(Independent Safety Assessment)에 의한 평가를 통해 신뢰성과 안전성이 인증된 고안전성 철도신호시스템을 개발하게 되었다.

### 3.2.9 형상관리시스템 운용환경

형상관리프로세스를 지원하는 형상관리시스템의 구축은 먼저 서버-클라이언트 물리적 환경 구축에서 시작된다. 서버에 SVN Server 버전을 설치하고, 클라이언트 PC에 SVN Client를 설치한 후, IP 접속을 통해 접근권한을 설정한다. 또한 데이터의 보안을 위해 Server 및 Client PC에 최신 백신 설치/운용하며, 조직 내부 노트북, 데스크톱, 모니터링용 PC 등 다양한 접속 환경 구성하며, 보안상/정책상 외부PC의 접근을 제한하여 데이터를 보호하였다. 데이터의 화재, 파괴 또는 삭제를 방지하기 위해 외장하드를 통한 상시 백업 실시 및 모니터링을 실시하였으며, UPS 설치(30분)를 통해 정전에 대비하였다.

### 3.2.10 형상관리프로세스 적용 교훈

고안전성 철도신호시스템 개발과정에서 얻은 교훈을 몇 가지 제시하였다. 이는 유사 시스템 개발이나 실제 철도사업에서 참고할 수 있을 것이다.

1. 고객(또는 발주자)의 형상관리 요구를 명확히 인지하고, 이를 충족할 수 있는 형상관리계획서의 작성이 가장 중요하다. 형상관리계획서는 고객의 승인문서로 조직 내부의 품질관리 조직과 협력하여 수립되어야 한다.
2. 올바른 형상항목 식별은 체계적인 형상관리의 시작점임을 인지하고, 모든 제품(시스템) 또는 프로젝트(사업) 참여자들이 함께 노력하여 도출하고 관리해야 한다.
3. 형상관리활동에서 발생한 모든 문서 및 데이터



[Figure 9] Operation Architecture for Configuration Management System

- 그리고 자료 등을 형상관리프로그램(SW)를 통해서 관리되어야 한다. 본 다양한 기능을 제공하는 형상관리 SW의 경우 매우 고가이며, 사용상에 어려움이 있을 수 있다. 본 연구에서 사용한 오픈소스 SW(SVN)는 기본적인 형상관리 기능을 지니고 있어 이를 활용한 형상관리프로세스 수행을 권고한다. 저비용 형상관리 SW 사용은 설치 및 운용 용이, 업그레이드, 문서관리, 변경 관리, 데이터 관리, 타 SW와 연계, 형상감사 대응, 그리고 많은 인원과의 공유 등에 효과적이다.
4. 형상관리시스템 구축은 그림 9에 제시한 아키텍처를 기본적으로 적용하길 권고한다. 이는 형상관리 표준의 요구사항을 만족하는 구조로 구성되어 있다.
  5. 형상 감사는 개발조직 품질담당자 회사조직의 품질담당자에 의해서 실시하도록 권고하며, 이는 제품(시스템)의 무결성과 일치성을 확인할 수 있는 가장 객관적이고 확실한 방법이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 고안전성 철도신호시스템 개발과정에서 적용된 형상관리프로세스를 소개하였으며, 수립된 형상관리프로세스를 기반으로 한 실제적인 적용사례에 대해 소개하였다. 특히, 전산도구기반의 형상관리시스템 구축을 통한 형상관리는 철도신호

시스템의 형상 무결성과 형상 정보의 일치성, 그리고 형상 문서의 적합성을 유지하는 결과를 도출했다. 형상관리프로세스는 프로젝트 관리적 측면에서 리스크로 인식되고 있는 만큼, 잘못된 형상관리프로세스는 시스템 개발의 성패를 좌우할 수 있다. 제품(시스템) 또는 프로젝트(사업) 특성에 맞는 형상관리프로세스의 수립을 통해 원하는 제품(시스템) 또는 서비스를 획득할 수 있을 것이다. 향후 본 연구에서 제시한 형상관리프로세스의 각 활동에 대해 보다 구체화하고, 각 활동에 대한 입력물, 출력물, 그리고 템플릿 등을 개선하는 노력을 진행할 예정이다.

#### References

1. KS Q ISO 9000, “품질경영시스템-기본사항 및 용어”, 국가기술표준원, p14, 2015.
2. IEC 62278, “Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)”, IEC, 2002.
3. KS Q ISO 9001, “품질경영시스템-요구사항, 국가기술표준원”, p26, 2015.
4. KS Q ISO 10007, “품질경영-구성 관리 지침, 국가기술표준원”, p14, 2015.
5. ISO/IEC/IEEE 15288, “Systems and Software engineering-System life cycle processes”, ISO/IEC/IEEE, p39-42, 2015.
6. ISO/IEC/IEEE 12207, “Systems and software engineering - Software life cycle processes”, ISO/IEC/IEEE, p51-55, 2015.
7. 공학저널, “철도신호, 지상에서 ‘차상’으로”, <http://www.engjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=446>, 2019. 10
8. 국토매일신호, “열차제어시스템 패러다임의 변화, 지상에서 차상으로”, 오세찬, 2015.
9. IEC 62425, “Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling”, IEC, 2007.

10. Systems Engineering Handbook, "A guide for system life cycle processes and activities", INCOSE, 4th edition, p122-127, 2015.
11. NASA Systems Engineering Handbook, NASA, REV 2, p180~187, 201.
12. NAS Systems Engineering Manual Vol 1, FAA, 2006.
13. Defense Acquisition Guidebook, DoD, 2013.
14. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge version 2.1, INCOSE SERC, 2019.
15. DAU systems engineering fundamentals, DAU, 2001.
16. 시스템엔지니어링학술지, "방위사업에 적용 가능한 시스템 엔지니어링 표준에 대한 고찰", KOSSE, 제12권 2호, 김보현 외1, 2016.
17. 시스템엔지니어링학술지, "Redmine과 Git을 활용한 헬리콥터 능동진동제어시스템 소프트웨어 형상관리", 백승길, 박중용, KOSSE, 제 13권 1호, p7-14, 2017. 6.
18. 경량전철시스템 및 운영고도화를 위한 시스템엔지니어링 적용기술 개발(1차년도 보고서), 2011.
19. <https://subversion.apache.org>
20. Systems Engineering Guidebook, "A process for Developing Systems and Products, James N. Martin, CRC, p111, 1997.