

열차제어시스템 유지관리 업무 개선을 위한 데이터 기반 WBS 모델 연구

전조원^{1)*}, 김영민²⁾, 박범²⁾

1) 아주대학교 대학원, 2) 아주대학교

A Study on the Data-based WBS Model for Train Control System to Improve a Maintenance work

Jo Won Jeon^{1)*}, Young Min Kim²⁾, Bum Park²⁾

1) Dept. of Systems Engineering Graduate, AJOU University, 2) AJOU University

Abstract : In this paper, to increase the maintenance efficiency of the urban railway train control system and to build a standard data system, we collect as much as possible structured, unstructured, and semi-structured data, and collect data by sensing and monitoring the system status and system status and monitoring. pre-process function data(Identification, purification, integration, transformation) through effective data classification and maintenance activities business classification system was studied. The purpose of this is to define the data matrix model by considering the relationship with the data generated and managed in the O&M stage of the train control system operated by the urban railway together with the WBS model, and to reflect and utilize it in practice.

Key Words : O&M(Operation & Maintenance), WBS(Work Breakdown Structure) Model, Train Control System, Data Preprocessing

Received: April 18, 2022 / **Revised:** June 13, 2022 / **Accepted:** June 28, 2022

* 교신저자 : Jo Won Jeon / Dept. of System Engineering Graduate, AJOU University / twinklenine48@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

도시철도 운영기관에서 운영되고 있는 열차제어 시스템은 동적으로 변화하는 부하와 스트레스 요인 하에서 매우 복잡하고 상호 연결적이며 상호 의존적인 체계로 구성되어 있어 시스템의 성능저하와 고장(장애), 노후화, 열화, 유지관리 활동 등에 대한 영향 인자는 동적이며 예측하고 정량화하기 매우 어렵다. 이러한 요인들은 선로변의 전차선, 궤도, 선로전환설비, 궤도회로설비와 기계실의 각종 전자연동장치, 통신장치가 서로 연계되어 연동하고 있다. 구성된 시스템과 시스템간의 성능과 기능을 진단하고 모니터링하기 위해 관련 데이터를 수집하는데 한계점이 존재한다.[1]

또한 철도안전관리체계기술기준(12. 유지관리)은 열차제어시스템 등 철도설비에 대한 기능과 성능에 대한 신뢰성과 유지관리성에 대하여 매우 높은 수준을 요구하고 있다. 효율적이고 효과적인 경영을 위하여 유지관리 비용 절감과 생산성 향상을 높여야 하고, 시스템의 가용성과 운용서비스 품질에 대한 요구와 기대가 증대하고 있는 추세이다.[2]

열차제어시스템의 기본적인 특성은 내용연수가 수십 년의 긴 생명주기를 가지고 있어 운영환경의 동적변화와 연관되어 있어 신뢰성, 가용성 및 유지관리성과 생명주기비용(Life Cycle Cost, LCC)에 대한 분석과 평가를 통한 시스템의 운영 및 폐기 시점을 예상하고 투자전략을 수립하는 것이 중요하다.

운용단계에서의 신뢰성과 가용성, 생명주기 동안 시스템 운영 및 유지관리 활동을 통하여 발생하는 데이터를 수집, 분석, 활용하는 것이 필요하고, 이러한 데이터를 실시간으로 모니터링하여야 한다.[2] 열차제어시스템에 대한 유지관리 목적은 생명주기 동안 정의된 수준의 기능과 성능을 발휘하고 서비스 품질과 리스크는 허용 가능한 범위 내에서 정의된 비용 한도 이내에서 유지하는 것이다.[3]

열차제어시스템 유지관리 목적 달성을 위해 프로젝트관리(PM ; Project Management)와 시스템엔지니어링 관리(SEM : Systems Engineering

Management) 관점에서 열차제어시스템 예방적 유지관리와 지원에 필요한 요소와 구성체계를 정의하고, 열차제어시스템의 기능적, 계층적 구조를 식별하고 운영과 유지관리 활동 요소들에 대한 업무분류체계를 세분화, 체계화하여 운영기관의 유지관리 활동에 적용하였다.[4],[5]

열차제어시스템 계층구조 분류와 유지관리와 지원 업무 활동간 상호 연관성과 활동 Task 그룹을 구조화함으로써 수집되는 유지관리 활동 데이터를 정량화, 정형화가 가능한 유의미있는 데이터를 수집 관리함으로써 열차제어시스템 유지관리 목표 평가에 최적화된 데이터를 수집 할 수 있다. 운영단계의 도시철도 열차제어시스템에 대한 신뢰성과 가용성, 생명주기 비용 평가 및 검증을 체계적으로 수행하고 최적화된 유지관리 업무분류와 활동에 따르는 유지관리 활동 데이터를 체계적이고 효과적으로 분석, 활용할 수 있다. 현재 운영기관의 열차제어시스템 유지관리 활동 프로세스는 기능실 단위 그룹 활동으로 데이터 기반 관리에 대한 기준이 다음과 같은 한계성이 존재하고 있다.

- 유지관리 활동은 기능실 단위 그룹 분류로 시스템 계층구조 및 상관관계 활동 한계
- 월간 단위 일정관리로 예방적 유지관리 요구사항 반영 미흡
- 업무분류체계에 의한 유지관리 활동 미흡

본 연구는 이러한 한계성을 극복하고 데이터 기반 WBS 모델과 데이터 Matrix를 기반으로 열차제어시스템 예방적 유지관리업무에 활용하도록 기준을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 도시철도 열차제어시스템 유지관리 업무분석

도시철도 열차제어시스템 유지관리는 철도안전법 제8조(안전관리체계의 유지 등) 등에 근거하여 유지관리 이행계획을 수립 시행함으로써 시스템 성능 및

기능의 정상상태 유지와 각종 고장(장애)으로부터 예방정비와 고장정비를 적합하게 수행하여 시스템 신뢰성, 가용성, 유지관리성, 안전성을 확보하고 있다.

열차제어시스템 유지관리 업무는 검사계획관리, 특별검사계획관리, 유지관리계획관리, 검사실적관리, 유지관리 실적관리로 구분할 수 있다.

- 검사계획관리 : 년간계획을 월간(일별) 세부 검사계획을 수립 관리
- 특별검사계획관리 : 정기검사의 환경적 요인 등에 의한 특별검사계획을 수립 관리
- 유지관리계획관리 : 검사결과를 반영하여 유지관리가 필요한 시스템에 대한 유지관리계획을 수립 관리
- 검사실적관리 : 검사계획을 수행한 검사실적관리
- 유지관리실적관리 : 유지관리계획에 따라 수행한 유지관리 작업과 소요 자재내역을 기록 관리

상기에서 기술한 열차제어시스템 유지관리 업무를 철도안전관리체계 기술기준 및 시행지침[6]에 근거하여 표 1과 같이 분류하였다.

<Table 2> Classification of urban railway maintenance items

12.3.2 (유지관리 기준)	설비별(장치별) 점검항목 및 교체주기는 운영실적 자료 축적 또는 신뢰성분석(RAMS) 등의 결과에 따라 변경 할 수 있다.
12.5.2 (유지관리 결과의 활용)	철도운영자등은 유지관리 결과에 대한 신뢰성, 가용성, 정비성, 안전성(RAMS)을 검토하여 유지관리 업무의 기본자료로 활용하고, 활용결과를 주기적으로 기록 유지해야 한다.
12.7.3 (철도안전 주요부품등의 관리)	철도운영자등은 안전과 직결되는 주용 핵심 부품과 고장빈도가 높은 고장빈발부품을 선별하여 관리하고, 교체 및 정비주기를 정하는 등 안전에 영향이 최소화되도록 관리해야 한다.
12.7.4 (신뢰성 기반 유지관리 적용)	철도안전 주요부품은 신뢰성기반 유지관리 체계를 적용하여 관리해야 하고, 안전에 영향이 있는 사항을 변경하기 위해서는 신뢰성기반 유지관리체계 분석을 시행하고 그 결과를 기초로 해야 한다.

도시철도 유지관리 항목 분류를 시스템 계층구조와 유지관리 활동 영역, 고장관리 영역들을 시스템 Level, 고장관리 Level, 유지관리 Level 계층 구조로 재해석하여 분류한 계층 모델은 그림 1과 같이 정의하였다. 이러한 분류 모델은 열차제어시스템 예방적 유지관리 업무분류체계(WBS) Task 활동 프로세스는 그림 2와 같이 표현하였다.



[Figure 1] Classification for Maintenance Management in Urban Railway

2.2 열차제어시스템 예방적 유지관리 활동 프로세스 정의

열차제어시스템은 다양한 분야의 설비들이 기능적 측면과 물리적 측면을 고려하여 계층적 구조(Hierarchical Structure)로 상호 연계되어 있다. 열차제어시스템의 운영 및 유지관리에 소요되는 모든 업무활동 요소들을 세부단계로 분해하여 구조화하는 것이 필요하다.

열차제어시스템의 물리적 분류체계와 기능적 역할과 구조를 정의하고, 유지관리 업무분석과 활동을

통해 생성되는 다양한 유형의 데이터를 수집 및 분석, 활용하기 위한 업무분류체계(WBS)를 도시철도 열차제어시스템 예방적 유지관리 업무에 적용할 수 있는 모델을 정의하고 모델과 데이터간의 상호관계를 데이터 Matrix로 정립하는 절차와 방법을 고찰하였다.

예방적 유지관리를 위한 데이터 기반 업무분류체계(WBS) 주요 연구 내용은 아래와 같다.

- 열차제어시스템의 하드웨어적 구성을 계층적으로 식별
- 열차제어시스템의 기능적 상관관계를 정의
- 유지관리 업무 범위를 체계적으로 식별
- 유지관리 업무 활동과정에서 발생하는 많은 데이터를 식별하고 상관관계를 정의
- 열차제어시스템 신뢰성, 가용성, 유지관리성 척도와 데이터 관리 등의 적용 기준 정립

열차제어시스템 하드웨어 구성과 유지관리 요소들간의 상호관계 모델은 시스템 계층과 유지관리 조직 계층간의 기능적, 구조적 역할과 활동들의 관계에 의존하여 유지관리 정책이 결정되고 수행된다.

2.3 예방적 유지관리 데이터 기반 WBS 모델

열차제어시스템 예방적 유지관리체계 정립을 위해서 필수적인 요건은 시스템 생명주기 단계별 유지관리 데이터 계층과 분류를 정의하고, 시스템 계층 및 LBS(Logistic Breakdown Structure) 구조로 데이터 항목 및 매핑 정의, 유지관리 요소들의 데이터 구조와 수집항목 분류, 시스템 계층 및 LBS(Logistic Breakdown Structure)구조와 유지관리 요소 데이터간 상호관계성 모델을 정의하는 것이 필요하다.

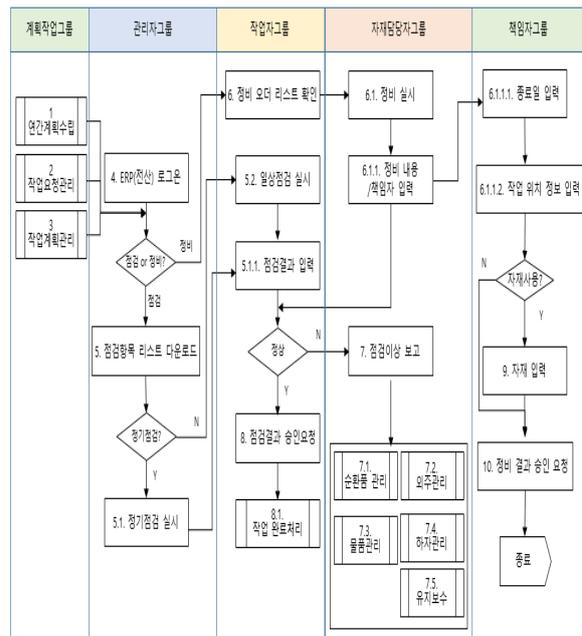
도시철도 열차제어시스템의 예방적 유지관리 활동과 구성 시스템의 요구사항과 명시된 기능과 성능, System 계층구조 관계를 가지적으로 표현하여 시스템의 예방적 유지관리를 위한 데이터 수집 대상과 방법, 사용자와 필요한 정보를 식별하는 것이 중

요하다.

열차제어시스템의 예방적 유지관리를 위한 데이터 수집체계와 역할 관계를 명시함에 있어서 다음 사항을 고려해야 한다.

- 누가 또는 무엇이 대상 시스템을 사용하는가?
- 누가 또는 무엇이 대상 시스템으로부터 정보를 얻는가?
- 누가 또는 무엇이 대상 시스템에게 정보를 제공하는가?
- 어디에서 대상 시스템이 사용되는가?
- 누가 또는 무엇이 대상 시스템을 지원하고 유지 관리하는가?

열차제어시스템 예방적 유지관리 활동은 계획작업그룹은 유지관리작업계획을 수립하는 활동을 수행하고, 관리자 그룹은 유지관리업무 세부 실행계획을 실시하고, 작업자 그룹은 유지관리 실무 수행활동을 담당한다, 자재담당자그룹은 자재와 하자관리를 담당하고, 책임자 그룹은 유지관리활동에 대한 평가와 최종 승인업무를 담당한다. 이러한 활동들에 대한 업무분류 그룹별 업무프로세스는 그림 2와 같이 정의한다.



[Figure 2] Preventive Maintenance Activities Group Work Process

열차제어시스템의 예방적 유지관리 활동에서 발생하는 데이터 수집 및 분석 평가 프로세스를 System 계층별, 기능별, 지원 역할별로 분류하고, 연관관계를 분류가 가능한 소규모의 구성단위까지 세분화하여 유지관리 수행업무를 식별하고, 생성되는 데이터를 체계적으로 분류하고 업무분류체계로 재분류하여 제시하고자 하였다. 열차제어시스템 예방적 유지관리 Work Group 분류 및 업무 연관관계 모델은 그림 3과 같이 정의하고, 예방적 유지관리 업무분류체계(WBS)를 각 단위 활동별로 분류하고 분류된 활동을 통해서 생성되는 유지관리 데이터의 종류와 유형에 대한 기준을 표 2에 제시하였다.

3. 결론

도시철도 열차제어시스템 유지관리의 효율화와 표준 데이터 체계 수립을 위해서 정형, 비정형, 반정형 데이터를 최대한 수집하고, 시스템의 상태 및 기능 데이터를 센서링과 모니터링, 데이터 전처리 과정(식별, 정제, 통합, 변환)을 거쳐 유효한 데이터로 식별하고 활용하는 모델을 연구하였다.

유지관리업무와 데이터 표준체계를 위한 활동들은 지속적으로 유지관리 엔지니어링 관점에서 사고하고 업무 프로세스 개선방안을 추구하여야 한다.

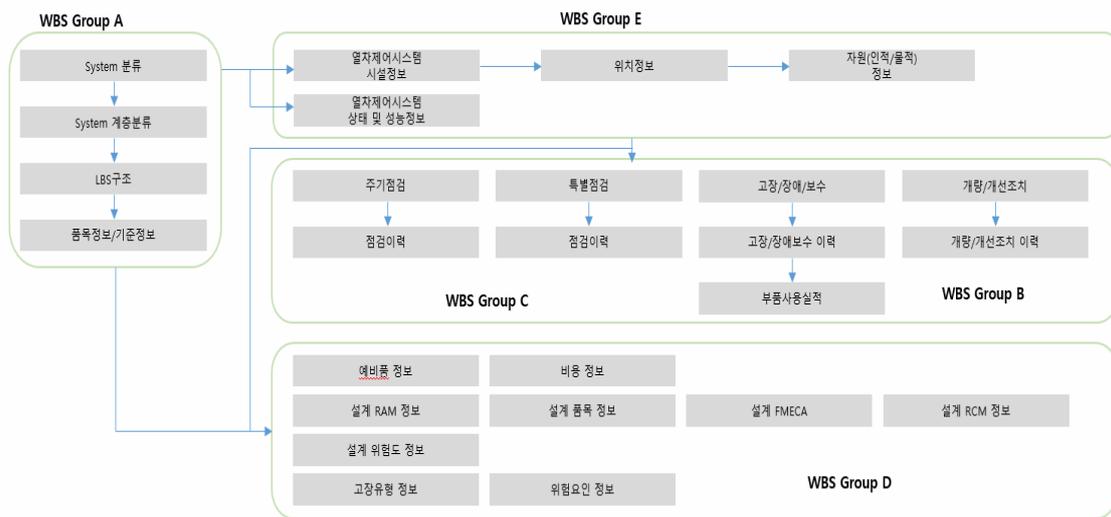
유지관리 업무 프로세스 연구 개발을 위해 다음과 같은 관점으로 체계적 접근이 필요하다.

- 현재의 운영환경에서 시스템의 기능과 성능에 대한 목표는 무엇인가?
- 어떠한 요인들에 의해 주어진 기능과 성능을 수행하지 못할 수 있는가?
- 시스템의 고장과 기능상실의 원인과 빈번한 발생빈도에 대한 해결 방안은 무엇인지?
- 적절한 예방적 유지관리 방법과 절차를 WBS관점으로 업무분류와 체계화를 하고 있는가?

도시철도에서 운영되고 있는 열차제어시스템의 운영 및 유지관리(O&M) 단계에서 생성 및 관리되고 있는 데이터를 WBS모델과의 연관관계를 고려한 데이터 Matrix 모델은 표 2에 제시하였다.

이 데이터 Matrix 모델은 WBS Level별 데이터 유형을 고려하여 열차제어시스템의 신뢰성, 가용성, 유지관리성(RAM)과 생명주기비용(LCC) 분석 및 평가 모델은 그림 4에 제시하였고 필요한 데이터의 유형과 속성을 정의한 데이터 Matrix는 표 2로 정의하였다.

정의된 데이터 Matrix 모델은 운영 및 유지관리 활동단계에서 필요로 하는 데이터 수집의 기준으로 활용한다.



[Figure 3] Work Group & Work relationship model

