

## IEC 62267 안전요구사항을 적용한 무인경량전철 차량(K-AGT)의 시스템엔지니어링 프로세스에 관한 연구

권상돈<sup>1)</sup>, 이희성<sup>2)</sup>

1) (주)메트로텍, 2) 서울과학기술대학교

### A study of unmanned light rail vehicle(K-AGT) system engineering process under Safety Requirement, IEC 62267

Sang Don Kwon,<sup>1)</sup> Hi Sung Lee<sup>2)</sup>

1) METROTECH CO.,LTD, 2) SEOUL NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

**Abstract** : In this study, unattended Light Rail Transit System (K-AGT) is a general-purpose standards safety requirements of IEC 62267 based System Engineering Process (SEP) was used. Functional analysis and physical architecting for each requirements through the vehicle was classified into sub-systems, design was analyzed in terms of SE. The analysis of the proposed system engineering process, unattended train operation (UTO), driverless train operation(DTO) design of the safety measures to be used as the basis is studied.

**Key Words** : IEC 62267, Automated Urban Guided Transport (AUGT), Safety, Safety Requirement, Light rail, K-AGT, Modeling , Unattended train operation.

---

\* corresponding author : Sang Don Kwon, METROTECH CO.,LTD., sdkwon@wjis.co.krr

\* 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

한국형 완전무인 고무차륜 경량전철 차량(Korea Automated Guideway Transit, 이하 K-AGT) 개발 이후 대다수의 도시철도는 무인 경량전철 시스템을 도입하여 계획, 건설 및 운영 중에 있으며, 무인운전과 무인역사의 운영 등 인력투입을 감축하는 대신에 무인 설비를 집중화시켜 효율성을 높이고 안전도를 더욱 유지할 수 있게 되었다. 이것은 무인 시스템의 운영이 가능한 기술의 발전이 가장 큰 요인이다. 기술 발전으로 최소 투자 대비 최대 효과를 얻을 수 있는 큰 장점을 가지는 대신, 사고 시 파급 효과가 크고 넓기 때문에 더욱 사전 안전 대책의 확보가 필요하다. [1]

본 연구에서는 향후 신설 예정 노선이나 내구연한이 도래하여 시스템을 재구축해야 하는 기존노선에 대하여 설계 단계부터 안전요소를 적용하여 가장 안전도가 높은 시스템을 제공할 수 있는 방안에 대하여 제시하며, 시스템엔지니어링 프로세스를 안전 요구사항에 적합하도록 테일러링을 하여 시스템 레벨 2단계인 차량의 하부시스템에 분석 및 적용하도록 한다.

## 2. 시스템엔지니어링 구성

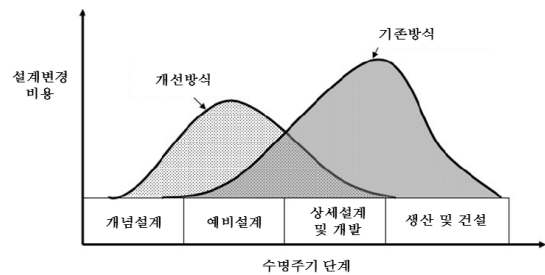
### 2.1 시스템엔지니어링 개요

본 연구에서 적용하게 될 시스템엔지니어링 프로세스는 EIA/IS 632(1994)를 채택하였으며, 시스템 분석 및 통제(system analysis & control)로 불리어지는 균형적인 관점에서 총체적인 기술과 도구를 통해 이루어지는 요구사항분석, 기능분석 및 할당, 그리고 설계조합으로 구성된다. [2]

### 2.2 시스템엔지니어링의 필요성

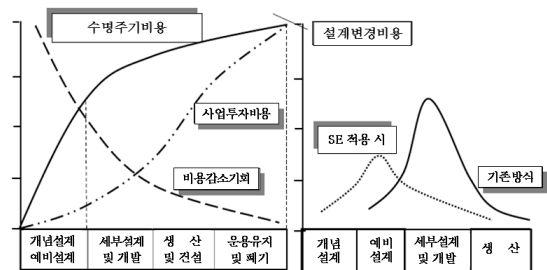
대부분의 철도 사업은 기획부터 건설까지 최소 10년 이상 소요되는 장기 프로젝트이다. 이 기간 내 기술의 발달 및 제반 비용의 상승 등의 이유로 전체 사업비 규모가 증가 되며, 특히 잦은 계획변경과 정

책 수정은 건설비용을 급증시키고 공사기간이 연장되거나 공기부족으로 부실과 연결된다. 이를 해결하는 방안으로 시스템엔지니어링이 필요하며 그 필요성에 대한 일반론적 해석을 그림 1에 도식화하여 나타냈다. 시스템엔지니어링은 필요성과 문제점을 인식하는 활동으로 시스템의 결함이나 부족한 점을 인식하고 이에 대한 요구사항을 식별하는 것이 시스템엔지니어링의 시작이다. [3]



[그림 1] 사업비용 초과발생 원인과 개선방향

그림 2는 SE를 적용하여 유발되는 비용 및 기간 축소 예시 모델이다. 철도를 포함한 대부분의 복합 시스템은 사업 초기에 5% 미만의 비용을 투자하면서 수명주기비용의 약 70% 이상을 결정하게 된다. 따라서 사업 초기 활동에 초점을 맞추어 수행하는 기법이 시스템엔지니어링이며 이를 통해 설계변경에 따른 비용 증가를 획기적으로 감소시킬 수 있게 된다. [3]



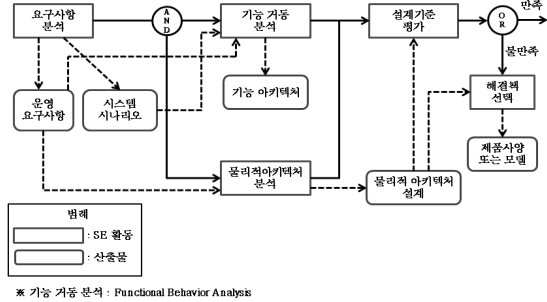
[그림 2] 누적수명주기비용 결정시기 및 SE를 적용한 사업비용의 감소

## 3. 시스템엔지니어링 프로세스

### 3.1 시스템엔지니어링 프로세스 분석

지금까지의 이론적 근거를 토대로 본 연구에서

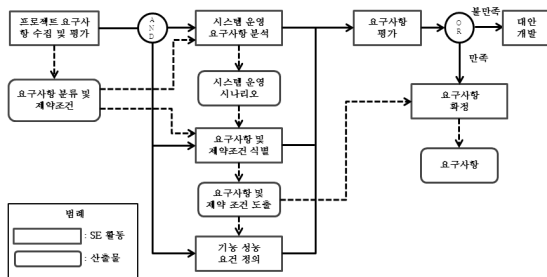
적용할 시스템엔지니어링 프로세스는 기본적인 요구사항과 시스템 운영 시나리오를 중심으로 요구사항을 분석하고 각각의 요구사항에 맞도록 기능분석 및 물리적 아키텍처를 설계하였다. 그림 3은 전체 시스템엔지니어링 프로세스를 나타낸다.



[그림 3] 시스템엔지니어링 프로세스 모델링

### 3.2 요구사항 분석 프로세스

다수의 요구사항의 분석 및 기술평가를 통하여 요구사항의 기준을 수립하게 된다. 모든 요구사항은 요구사항 분석을 통하여 비슷한 항목을 조합하고 불필요한 항목을 제거한 후 제품과 연결되므로, 요구사항이 많으면 많을수록 제품의 기능은 더욱 높아지게 되는 결과에 이르게 된다. 그림 4는 요구사항 분석 프로세스를 도식화한 것으로 모든 요구사항은 프로세스를 거쳐서 요구사항으로 확정되어야 기능 및 물리적 분석 작업을 진행하게 된다.

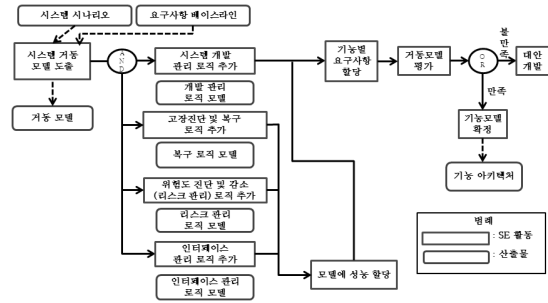


[그림 4] 요구사항 분석 프로세스

### 3.3 기능 분석 프로세스

식별된 요구사항을 통하여 요구사항 기준을 확립하게 되면 시스템 운영시나리오와 같이 시스템 거동을 도출하게 된다. 시스템 거동은 각각의 프로세스를 거쳐 전체 기능별 요구사항이 할당되고 이러

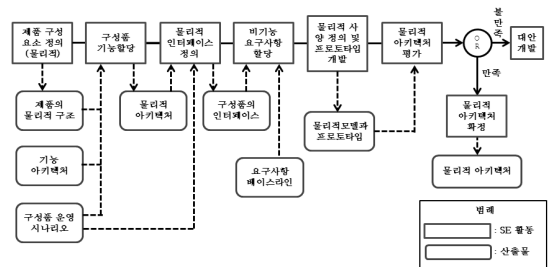
한 요구사항을 반영한 거동은 기술평가를 통하여 기준을 수립하게 된다. 그림 5는 기능 분석을 위한 프로세스를 나타내고 있으며, 시스템 거동은 각각의 프로세스를 거치게 되며 다음과 같다.



[그림 5] 기능 분석 프로세스

### 3.4 물리적 아키텍처 프로세스

물리적 아키텍처는 요구사항 기준에 의하여 직접적으로 물리적 아키텍처를 구현하는 경우도 있으나, 요구사항 분석 이후 기능 분석을 통하여 제시된 기능 모델을 통하여 물리적 아키텍처 프로세스를 진행한다. 그림 6은 물리적 아키텍처 프로세스의 도식화를 나타낸다.



[그림 6] 물리적 아키텍처 프로세스

## 4. IEC 62267 Railway Applications - Automated Urban Guided Transport (AUGT) Safety Requirements(2011.03)

### 4.1 적용범위

IEC 62267은 일반 교통수단과 분리된 독립된 궤도를 가지고 있는 교통시스템으로 운전자가 없는 (driverless) 혹은 무인(unattended) 운전으로 운행되는 Automated Urban Guided Transport (이

하 AUGT) 시스템에 적용되는 상위 안전요구사항이다. 이 표준은 무인운전의 두 가지 방식인 DTO(Driverless Train Operation) 및 UTO(Unattended Train Operation)에 적용한다. 본 장에서는 IEC 62267의 내용을 차량분야의 내용으로 분류하여 나타내었다.

#### 4.2 안전요구사항 분류

IEC 62267은 범용적 안전 요구사항으로 최상위 시스템 단계에서의 위험분석 결과에 따라 운전자 부재 또는 열차 탑승 운영요원의 부재를 보충할 수 있는 안전 지침을 규명하고 안전 요구사항을 나타낸다. 각 시스템의 안전 지침 및 요구사항 중 차량과 연관된 사항은 표 1~6과 같다.

<표 1> 장애물과 충돌 방지

위험 상황 (Hazardous situation)	안전장치(Possible safeguards)
시스템 외부의 장애물이 가이드웨이 구역으로 떨어짐	장애물탐지 차상장치
유지보수 후 가이드웨이 구역에 남겨진 시스템 내부 장애물	장애물탐지 차상장치
운행 중 가이드웨이 구역에 떨어진 시스템 내부 장애물	장애물 탐지 차상장치
	열차 설계 규정

<표 2> 출입문 개폐 시 승객 보호

위험 상황 (Hazardous situation)	안전장치(Possible safeguards)
열차 이동중 출입문 열림	두 역사 사이의 출입문 닫힘 상태 유지
	출입문 닫힘 감시
승객의 손(또는 신체의 일부)이 출입문에 끼임	출입문에 끼는 가능성을 최소화할 수 있는 설계
	출입문의 닫힘 압력(힘) 제한 설계
	출입문 닫힘 전 시각 및 음향시그널
승객 승·하차 시, 승객은 열차와 승강장 가장자리 사이에 끼거나	방송 시스템

위험 상황 (Hazardous situation)	안전장치(Possible safeguards)
떨어지고 전기적으로 가압된 도체에 노출될 수 있거나 열차 출발 이동에 의해 위험	차내 비상정지 요구 장치
	차내 비상통화 장치
승·하차 시 승객이(예, 장애인) 열차의 차간 연결 공간으로 떨어지고 전기적으로 가압된 도체 또는 움직이기 시작한 열차에 의해 위험	차내 비상정지 요구 장치
	차내 비상통화 장치
	차내 열차 연결 공간 폐쇄
	연결공간에 대한 감시 장치

<표 3> 사람과 충돌 방지

위험 상황 (Hazardous situation)	안전장치(Possible safeguards)
열차로부터 역 사이의 가이드웨이 구역으로 들어오는 승객 또는 직원	두 역사 사이의 출입문 닫힘 상태 유지
	출입문 닫힘 감시
허가되지 않은 사람이 열차에서 안전지역으로 들어오고(자가 대피) 통전된 도체와 접촉	두 역사 사이의 출입문 닫힘 상태 유지
	출입문 닫힘 감시

<표 4> 열차 입출고 시 승객 위험 방지

위험 상황 (Hazardous situation)	안전장치(Possible safeguards)
운행 종료 열차 내의 승객이 비감시상태의 열차 안에 갇히거나 혹은 열차가 불안전 상황 하에 있음	차내 영상 감시
	운행 종료에 대한 차내 안내방송
	차내 비상통화 장치
역 사이에 정차된 열차 안에 승객이 있고 자동 모드에서 열차가 움직일 수 없음	수동 운전
이동 중인 열차 내에 사람이 있고, 인가되지 않은 분리도 열차의 제어되지 않는 부분에 승객이 남아있음	열차 연결 감시
편성열차의 손실(연결된 차량의 외측), 사람이 개방된 열차 끝에 노출되어 있거나 열차의 제어 되지 않는 부분에 있음	열차 편성의 완전성 보증
	열차 완전성 감시

위험 상황 (Hazardous situation)	안전장치(Possible safeguards)
안전한 운행에 영향을 주는 고장에 대한 부적당한 혹은 부정확한 대응	페일 세이프가 되도록 열차 설계
	열차 상태 감시
잘못된 운전 모드에서 열차 출발	안전한 운전 모드
	모드 스위치의 잠금
	자동과 수동 운전 모드 사이의 연동
잘못된 운행 방향으로 열차 출발과 열차 전방에 사람 혹은 장애물이 있음	안전한 운행 방향의 보증
열차 연결하는 동안 과속	자동 연결하는 동안의 안전 속도

<표 5> 열차 출발 시 승객 부상방지

위험 상황 (Hazardous situation)	안전장치(Possible safeguards)
승객 승·하차 시 열려있는 열차 출입문 근처에 승객이 있고 예정되지 않은 열차의 움직임	승객 승·하차 시 열차의 움직임방지
	출입문 닫힘 감시
출입문이 열려있고 승객이 추락하는 상황에서 예정되지 않은 열차의 출발과 계속적인 이동	차내 비상정지 요구 장치

<표 6> 비상상황 부상 방지

위험 상황 (Hazardous situation)	안전장치(Possible safeguards)
열차 내에 사람이 있고 열차 내부에서 화재 발생	소화기
열차 내에 사람이 있고 화재가 진행 중이며, 열차 내부에 연기와 유독 가스가 전파	소화기
	차내 비상 통화 장치
	열차 화재 및 연기 감지
두 역사 사이의 궤도에 정차해있는 열차에 화재 진행	비상 개방을 위한 출입문 해제
	차내 비상 통화 장치

위험 상황 (Hazardous situation)	안전장치(Possible safeguards)
	열차 화재 및 연기 감지
열차 측면에 화재가 진행 중이고, 승객이 최선의 이동 경로에 대한 정보가 없음	열차 방송 시스템
열차가 화재가 진행 중인 역에 접근	역 화재 및 연기 감지
역 사이 화재가 진행 중인 곳에 있는 열차	화재 및 연기 감지 (역사이의 궤도)

### 4.3 안전요구사항 검증방법

안전의 검증 과정은 개별 기술적 또는 절차적 안전 요구사항에 상호 보완적이고 전체 수명주기를 다루어야 한다. 방법론은 IEC 62278 RAMS 표준에 따라 V-다이아그램으로 위험분석의 원칙을 기초로 한다. 하위 시스템이 설치되고 안전 문서가 승인이 될 때 하위 시스템 승인 일정은 종료된다. 최종적으로 위험분석은 모든 안전 목표를 준수한다는 것을 보장하기 위해 재검토 되어야 한다. 상기 모든 과정이 달성되더라도 필요하다면 독립 안전 평가자로부터의 시스템 승인을 받을 수 있어야 한다.

## 5. IEC 62267을 적용한 차량분야 시스템엔지니어링 프로세스

### 5.1 적용범위

IEC 62267 안전요구사항은 SEP (System Engineering Process)의 요구사항으로 적용한다. IEC 62267의 내용 안에 이미 위험상황의 식별 및 안전 조치사항이 반영되어 있지만, 본 표준은 범용적인 항목만을 나타내고 있으므로 좀 더 차량과 밀접한 제품과의 연계를 고려해야 한다.

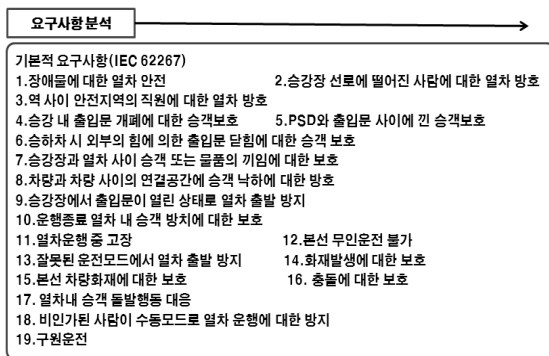
### 5.2 요구사항 분석

요구사항 분석은 기본적인 요구사항과 운영시나리오를 기반으로 하는 요구사항으로 나눌 수 있으며, 기본적인 요구사항은 다음과 같다.

- 1) UTO(Unattended Train Operation)
- 2) 고무차륜 경량전철 시스템
- 3) 차량 내 안전설비 구축 및 운행 시 방호설비 운영 시나리오는 정상 운영은 기본으로 각 상황별 운영 시나리오 전체에 대하여 검토 한다. 요구사항에 대한 분석이 완료되면, 기능행동 분석을 수행한다. 기능행동분석은 기능 아키텍처로 정의 될 수 있으며, 안전을 고려한 차량시스템의 경우 다음과 같이 정의 할 수 있다.

- 1) 무인운전 시스템 기능 정의
- 2) 탈선을 원천적으로 제거할 수 있는 기능 정의
- 3) 무인운전에 상응하는 종합제어장치 기능 정의
- 4) 승객 피난을 위한 방송장치 및 출입문 기능 정의
- 5) 대차 및 제동장치의 성능 정의
- 6) 소음 및 승차감, 화재방지 대책
- 7) 차량의 횡방향 변위량 정의
- 8) 주요장치 용량 선정
- 9) 타이어 펑크 시 대책

본 연구에서는 기본적인 요구사항을 바탕으로 IEC 62267에서 제시하고 있는 요구사항 중 차량과 밀접한 요구사항 항목을 선정하였으며 그림 7과 같이 정리하였다.



[그림 7] IEC 62267에 의한 차량분야 요구사항 분석

### 5.3 기능 분석

요구사항 분석에 의하여 도출된 19개의 요구사항 항목은 기능 평가를 통하여 구체적인 요구사항으로 재기술 된다. 일반적으로 최초로 도출되는 요구 사항은 범용적인 내용을 포함하여 작성되므로 기준이 모호한 경우가 대부분이다. 다음 항목은 IEC

62267에서 도출된 요구사항에 대한 평가를 통하여 재 기술 된 내용을 나타낸다.

- 1) 장애물에 대한 열차 안전 확보  
내용이 불확실하므로 “열차는 궤도상의 장애 물 충돌에 대한 방지대책을 가져야 한다.”와 “장애물에 의한 열차 충돌 시 열차는 비상정 지가 가능한 시스템을 갖추어야 한다.”로 나 타낸다.
- 2) 승강장 선로에 떨어진 사람에 대한 열차 방호 구체적인 행동에 대한 요구사항이 없는 문구로 “승강장에는 본선과 완전 분리가 가능한 PSD 가 설치되어 선로에 사람의 낙하를 차단해야 한 다.”와 “승강장에서 본선으로 진입하기 위하여 강제로 PSD를 개방할 경우 본선 전력은 차단 되고 진입하는 열차는 비상정지를 해야 한다.” 또는 “승강장 선로에 사람이 낙하 한 경우 비상 스위치를 통하여 열차의 진입을 차단한다.”로 나타낸다.
- 3) 역 사이(궤도) 안전지역의 직원에 대한 방호 무인운전 시스템에서의 본선 진입은 영업시간이 종료된 후 혹은 본선 비상사태 발생 시에만 가 능하므로 “본선에 강제로 진입할 경우 본선 전 력은 차단되고 진입하는 열차는 비상정지를 해 야 한다.”로 나타낸다.
- 4) 승강장 내 출입문 개폐에 대한 승객보호  
정량적으로 검토할 필요가 있으며 “차량의 출입 문이 닫힐 때 승객이나 물품이 끼일 경우, 차량 은 일정 시간 닫힘 압력 이상의 힘으로 출입문 이 닫히지 못 할 경우 차량은 해당 또는 전체 출 입문을 개방 한다.”로 나타낸다.
- 5) PSD와 출입문 사이에 끼인 승객보호  
“PSD와 열차 출입문 사이에 승객이나 기타 물 품이 끼일 경우 PSD는 이를 검지하여 개방하고, 차량 출입문도 PSD와 인터페이스에 의하여 개 방해야 한다.”로 나타낸다.
- 6) 외부 힘에 의한 출입문 강제 닫힘에 대한 방호 “승하차 시 외부의 인가되지 않은 힘에 의하여 출입문 강제 닫힘 현상이 발생 한 경우 출입문

은 완해 되고 고장신호를 관제실로 송신 하여야 한다.”로 명확한 기능 설명을 해야 한다.

- 7) 차량과 차량 사이 연결 장치에 승객 낙하 방지 PSD와 열차 출입문과의 정위치 정차 정밀도를 강화시켜서 열차의 연결공간이 승강장 측에 노출되지 않도록 한다.
- 8) 승강장에서 출입문 열림 상태로 열차 출발 열차 출발 시 출입문 닫힘 상태와 주행에 대한 Safe 신호에 의하여 출발하게 된다.
- 9) 운행이 종료된 열차 내 승객 보호  
“운행이 종료된 열차는 방송장치를 통하여 청각적으로 승객 하차를 유도해야하고, 시각적 장치를 통하여 현시 시켜야 한다. 또한 이러한 상황을 관제실에서 확인이 가능 하도록 CCTV 장치가 설치되어야 한다.”로 변경한다.
- 10) 열차 운행 중 고장  
“주요기기는 경고장 시 Reset 기능을 보유하고 있어서 고장 해제 및 주행이 가능해야 한다.” 와 “TCMS는 이중계로 구성되어 선두차 고장 시 후두차에서 선두차의 모든 기능이 동작되어야 한다.”로 나타낸다.
- 11) 본선 무인운전 불가  
“구원운전이 필요한 경우 차량을 연결하는 연결기는 자동으로 연결이 가능해야 한다.”와 “구원운전은 본선 최대 구배에서 1/2동력으로 주행이 가능 하여야 한다.”로 명시하나, 사고 시 경우 “차량에는 화재 및 비상 상황을 감지 할 수 있는 화재 감시 장치, 소화기 등이 구비 되어야 하고, CCTV를 통하여 차내 상황 확인이 가능하여야 한다.”와 “차량 내 비상상황에 대한 전파가 가능하도록 비상 통화 장치, 열차 비상정지 시스템이 갖추어야 한다.”로 요구사항을 나타낸다.
- 12) 충돌방지  
열차가 충돌을 사전에 감지하는 것과 충돌 시 열차 비상 대응 방안을 나누어 요구사항으로 정의할 필요가 있다. “열차는 충돌을 사전 감지하기 위하여 제동거리 확보가 가능한 지점까

지 장애물 감지 시스템을 갖추어야 한다.”와 “열차가 특정 장애물과 충돌 시 해당 열차는 즉시 비상 정지 계통을 통하여 열차 비상정지를 실시하고 관제실에 송신해야 한다.”로 요구사항을 나타낸다.

#### 5.4 기능 아키텍처

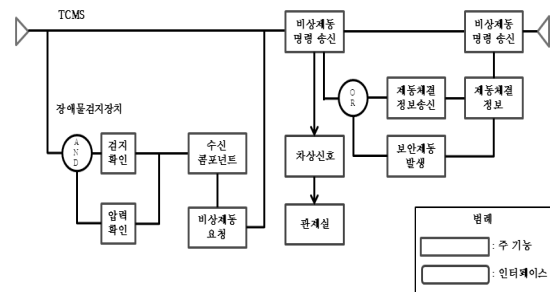
요구사항에 대한 평가 및 이슈사항 검토를 거쳐서 새롭게 표현된 구체화된 요구사항을 가지고 각 항목별 필요한 기능을 부여하게 된다. 전 장의 19가지 요구사항은 재 기술하여 모두 25가지로 세분화 되어 요구사항이 작성되었으며, 이를 바탕으로 다음과 같이 기능을 부여하였다.

- 1) 열차는 궤도상의 장애물 충돌에 대한 방지대책을 가져야 한다. : 장애물 충돌 대응
- 2) 장애물에 의한 열차 충돌 시 비상정지를 할 수 있도록 시스템이 구성되어야 한다. : 충돌 감지 및 비상정지 기능
- 3) 승강장에서 본선으로 진입하기 위하여 강제로 PSD를 개방 할 경우 본선의 전력이 자동 차단 되고 진입열차는 비상정지를 해야 한다. : 비상정지 기능
- 4) 차량의 출입문이 닫힐 때 승객이나 물품이 끼일 경우, 일정시간 닫힘 압력이 유지 될 경우, 차량은 해당 출입문을 개방해야 한다. : 출입문 제어 기능
- 5) 동일 현상이 다시 발생할 경우 차량은 1~3회 재개폐를 실시하고, 재개폐 횟수 및 재개폐를 하는 출입문의 수량은 운영시나리오에 맞게 조정 가능해야 한다. : 출입문 제어 기능
- 6) PSD의 감지에 의하여 승객이 끼어있는 것이 발견 된 경우 PSD는 개방되고 차량 출입문도 인터페이스에 의해 개방되어야 한다. : 차량-신호-PSD 연계 기능
- 7) 승하차시 외부의 힘에 의해 출입문이 강제로 닫힐 경우 출입문은 완해 되고, 고장 신호를 송신해야 한다. : 출입문 제어 기능
- 8) 승강장과 차량사이의 끼인 승객 보호를 위하여

- 차량에는 비상스위치를 설치하여 열차 출발을 강제 억제 시켜야 한다. : 비상정지 기능
- 9) 차량은 PSD의 출입문 폭을 고려하여 차량과 PSD 출입문 중심이±30cm를 넘지 않도록 정위치 정차가 되어야 한다. : 정위치 정지 기능
- 10) 차량은 출입문이 열린 상태에서는 주행신호를 Fault로 송신하여 열차가 강제 출발 하는 것을 억제해야 하며, 정지 혹은 열차 운행 시에도 동일 적용해야 한다. : 출입문 제어 기능
- 11) 운행이 종료되어 기지로 입고되는 열차는 방송장치를 통하여 승객의 하차를 유도해야 한다. : 방송장치 기능
- 12) 차량에는 CCTV를 설치하여 차내 상황을 최종 확인 할 수 있어야 하며, 차내 승객이 존재할 경우 단말역 혹은 기지에서 승객을 하차 시켜야 한다. : CCTV 기능
- 13) 운행 중 열차의 상태는 실시간 기록으로 저장 가능하고, 고장 시 관제실에 실시간 고장상황이 전송 되어야 한다. : 열차 제어 기능
- 14) 인버터, SIV의 경우 경고장 시에는 리셋 기능이 있어 고장 상황을 자동 해제 및 운행이 가능해야 한다. : 열차 제어 기능
- 15) TCMS는 선두차와 후두차에 설치하여 이중계를 구성해야 하고 선두차 TC가 고장 시 후두차에서 동일 기능을 발휘해야 한다. : 열차 제어 기능
- 16) 본선에서 무인운전이 불가능할 경우 수동운전이 가능하도록 차량에는 운전 모드 스위치가 설치되어야 한다. : 수동운전 기능
- 17) 운전모드는 크게 무인과 수동운전이 가능하도록 해야 하며, 각 운전모드는 모드별, 특히 자동과 수동모드에서 인터록킹 되어 잘못된 운전 모드에서 열차 출발을 방지해야 한다. : 운전모드 기능
- 18) 운행열차의 운전대는 잠금장치를 하여 기기조작을 하지 못하도록 해야 한다 : 제어대 기능
- 19) 차량은 불연재 소재 (불연재가 불가능한 개소에서는 난연재)의 내장재를 사용해야 하며, 화

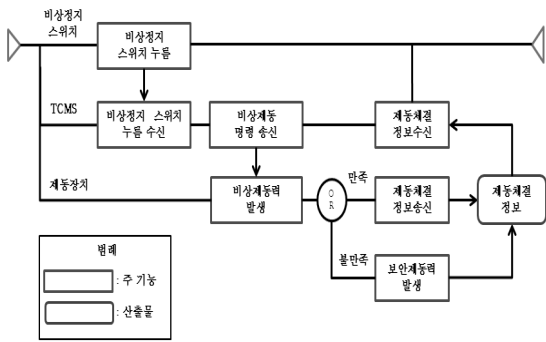
- 재 진화 설비로 소화기를 구비하고 있어야 한다. : 소화 설비 기능
- 20) 화재발생 시 관제실을 포함하여 소방서, 경찰서, 병원 등과 연계 가능한 별도 통신망을 구축하여야 한다. : 열차무선통신 기능
- 21) 차량에는 비상스위치, 비상 통화 장치, CC TV 등을 보유하고 있어야 하며, 화재를 인식하게 되는 경우 즉시 열차는 정지하고 출입문이 개방되며 방송장치를 통하여 대피방법을 전파해야 한다. : 비상정지 기능, 비상통화 기능, CCTV 기능, 화재감지 기능, 연기감지 기능
- 22) 열차 내에는 승객의 돌발 상황에 대비하여 모니터링이 가능한 CCTV가 설치되어야 하고, 비상 통화 장치로 관제실, 소방서, 경찰서, 병원 등과 연계 가능한 별도 통신망을 구축해야 한다. : CCTV 기능, 열차무선통신 기능
- 23) 관제실에 사전허가를 받지 않은 자가 수동모드로 운전하게 되는 경우 FAULT 신호를 송신하게 되며, 관제실에서는 전차선 단전 등의 비상조치를 해야 한다. : 비상정지 기능
- 24) 구원운전이 필요할 경우 후속열차가 구원하는 것을 기본으로 한다. : 구원운전 기능
- 25) 본선최대구배에서 1/2동력으로 주행이 가능해야 한다. : 구원운전 기능

다음의 그림 8~11은 4.2항에서 정의된 요구사항에 대하여 구성된 기능 아키텍처 모델링이다.

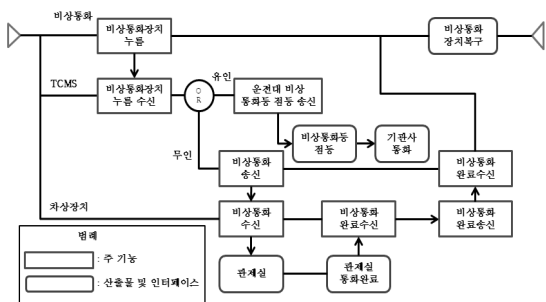


[그림 8] 장애물 충돌에 대한 기능 아키텍처

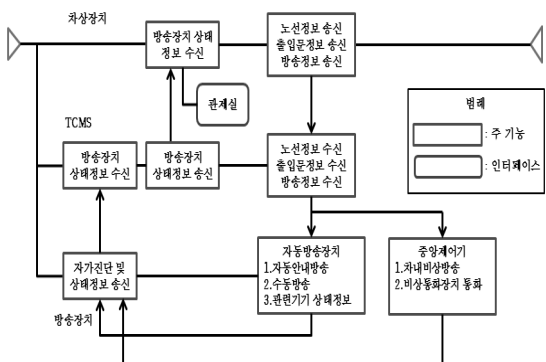




[그림 9] 비상정지에 대한 기능 아키텍처



[그림 10] 비상 통화에 관한 기능 아키텍처

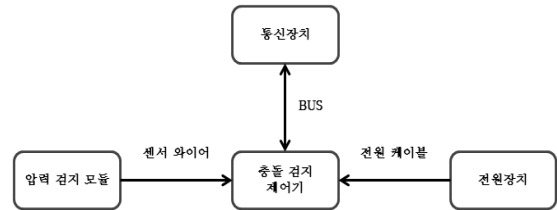


[그림 11] 방송장치에 관한 기능 아키텍처

### 5.5 물리적 아키텍처

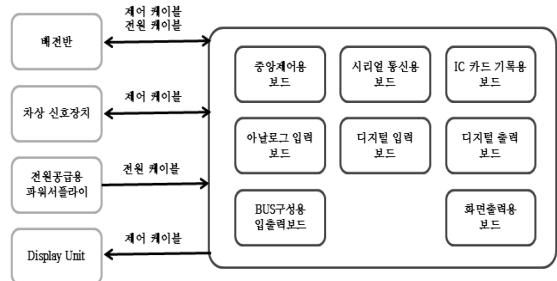
차량에 적용이 가능한 기능 아키텍처를 모델링한 후 제품과 연계를 하기 위하여 물리적 아키텍처를 실시한다. 물리적 아키텍처는 검토된 기능을 가지고 있어야 하며, 실제 제품과 연결을 위한 배선, 차량 내에 설치 위치 등을 모두 고려해야 한다. 소프트웨어 기능의 경우 어떠한 제어를 통하여 프로그램을 설치 할 지에 대한 검토 역시 이 단계에서 수행 된다.

1) 충돌 검지 기능에 대한 물리적 아키텍처 장애물 충돌에 대한 기능아키텍처를 통하여 비상정지 계통의 기능을 정리하였으며, 비상정지 계통과 연계가 가능한 충돌 검지 센서의 물리적 아키텍처를 모델링 하며, 다음 그림 12에 구성도를 나타낸다.



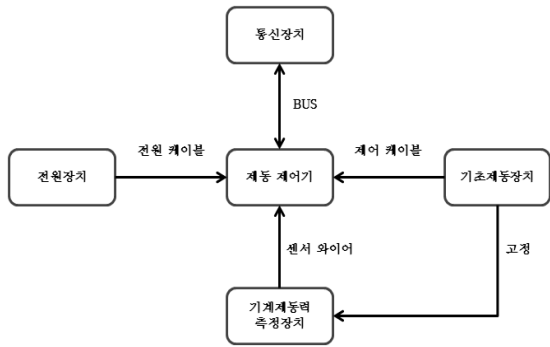
[그림 12] 충돌검지에 대한 물리적 아키텍처

2) TCMS 기능에 대한 물리적 아키텍처 무인운전 시스템의 TCMS는 주요 기능을 신포 시스템에 이관하여 기능이 축소되었으나, 열차 내 비상과 관련된 주요 디지털(Digital) 또는 아날로그 계통의 경우 제어권한을 가지고 있어야 하며, 다음 그림 13은 TCMS 기능에 대한 물리적 아키텍처를 나타낸다.



[그림 13] TCMS에 대한 물리적 아키텍처

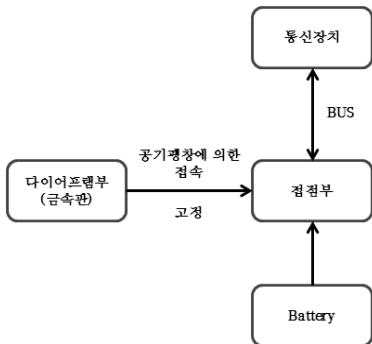
3) 제동 시스템에 대한 물리적 아키텍처 IEC 62267 안전요구사항에서 제시하는 제동 기능은 비상제동이다. 하지만 제동은 열차의 안전에 가장 중요한 사항으로 본 연구에서는 비상제동에 대한 기능 아키텍처 후 물리적 아키텍처 단계에서는 제동장치 전체에 대하여 검토하였다. 따라서 다음 그림 14는 비상제동을 포함하여 전체 제동장치에 대한 물리적 아키텍처를 나타낸다.



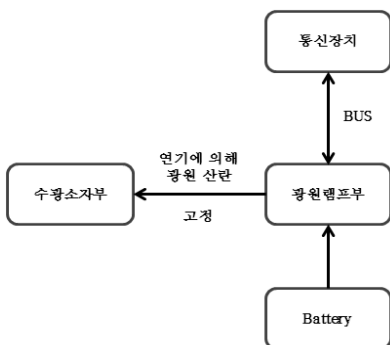
[그림 14] 제동장치에 대한 물리적 아키텍처

4) 화재 감지에 대한 물리적 아키텍처

기능 아키텍처에서 제시되지 않은 사항 중 화재 감지 항목이 있는데, 무인운전 열차에서는 화재 감지기와 연기감지기를 모두 구비해야 한다. 이들 설비는 시스템 기능 부여가 힘든 제품 단계의 요구사항이지만 안전에 해당하는 중요한 설비이므로 별도로 물리적 아키텍처를 수행하고 효과적인 제품으로 설계가 반영되도록 검토 하였다. 그림 15와 그림 16은 화재 및 연기 감지기에 대한 물리적 아키텍처를 나타낸다.



[그림 15] 화재감지기에 대한 물리적 아키텍처



[그림 16] 연기감지기에 대한 물리적 아키텍처

5.6 분석 및 통제

분석 및 통제과정은 업무분해구조(WBS), 형상관리, 기술검토 및 감사, 절충연구, 모델링 및 시뮬레이션, 측정 기준 및 위험관리 항목으로 정의할 수 있다.<sup>1)</sup> 본 연구는 현재 상업운행 중인 차량에 대하여 안전에 대한 SEP를 적용한 후의 결과물과 실제 차량에 설치된 사양에 대하여 분석하는 것으로 시스템 기능 검토(SFR, System Function Review)를 통하여 수행하였다. 그 결과 5.4항의 25가지 기능 검토 및 각 요구사항은 기능분석과정을 거쳐서 시스템 통합 및 물리적 아키텍처가 가능한 5가지로 분석하여 제시하였다.

6. 결론

본 연구는 기 운영 중인 K-AGT에 대하여 안전에 대한 구체적 요구사항을 기반으로 시스템엔지니어링을 적용하여 결과물에 대하여 실제 차량에 어떻게 적용되고 있는지에 대한 분석을 수행하였다. 무인 시스템의 도입에 따른 안전 요구사항의 증가에 따라 IEC 62267 범용적 안전요구사항의 위험원을 시스템엔지니어링 프로세스의 요구사항으로 정의하고 요구사항에 따른 기능 분석과 물리적 아키텍처를 설계하였다. IEC 62267 안전 요구사항 내 차량 관련 위험원은 전체 25개로 표본이 작은 것이 문제이며, 그 결과 최종적으로 물리적 아키텍처를 수행하여 구성도를 도출한 것은 5개이다. 이것은 더욱 많은 표본을 요구사항으로 정의할 필요가 있다. 본 연구 자료를 데이터베이스화 하고 향후 다방면의 요구사항 데이터를 수집하여 다양한 아키텍처를 수행한다면 더욱 완성도 높은 연구 자료가 될 것이다.

본 연구는 시스템엔지니어링 프로세스를 적용하지 않은 차량에 구체적인 안전 요구사항을 통하여 SEP를 수행한 결과물에 대한 실제 차량의 적용 여부를 확인 할 수가 있었으며, 분석 된 안전요구사항은 모두 적용하고 있었다. 본 연구를 통하여 점진적으로 내구년한이 도래하여 개보수가 필요한 국내 도시철도 차량에 위험도 기반 SEP 적용의 방법론

을 제시할 수 있으며, 신규 차량 개발 시 개념 설계 및 향후 상세설계 단계의 기초자료 및 불필요한 설계 오류에 대한 기술변경 시행착오 개선에 활용이 기대 된다.

## References

1. 전영석, 이희성, 왕중배. 도시철도 안전운행을 위한 열차구성요건에 관한 연구, 한국철도학회지, 제14권, 제1호, pp. 66~72, 2011
2. 권용수. 신 시스템엔지니어링 입문. pp. 14~34, 2007
3. 민성기. 국가 R&D 사업을 위한 PM & SE 연계 방안. KCOSE pp. 4~7, 2005