

# 무인 경량 전철의 건설과

## 시스템 엔지니어링의 적용



**안 석 환**  
(주)포스코건설  
경전철사업단기술팀장 부장

### 1. 머리말

최근 도로 교통량은 급속히 증가하는 반면 도로 교통시설 확충의 한계로 도시철도와 신교통 수단의 도입에 대한 관심이 더욱 커지고 있다. 특히 기존 도시철도가 예산 및 네트워크 효율성 문제로 이를 대체 내지 보완하기 위한 저비용, 고효율의 신교통 수단에 대한 검토가 활발하다.

국내에서는 이미 철도기술연구원이 주축이 된 국산 고무바퀴 경전철 개발사업이 완료되어 경북 경산지역에서 시험선의 시운전을 진행 중이다. 각 지방자치 단체를 중심으로 해당 지자체가 안고 있는 교통 문제를 해결하기 위하여 경량전철의 도입을 서두르고 있으며, 당사가 추진 중인 부산-김해 경량전철 사업 외에 광명, 용인 등지에 무인 운전 경량 전철 건설이 가시화되고 있다.

경량 전철의 건설은 도로, 교량 등의 건설 사업과는 달리 국민의 생명과 안전을 보장하는 시스템 사업으로 초기 계획단계에서 설계, 시공, 품질관리 및 시운전에 이르는 전 과정에 있어 그 성능과 안전성이 확보될 수 있도록 엔지니어링 측면의 접근이 중요하다. 단순한 토목 구조물로서의 안전성이 아닌 운송 시스템 운영의 신뢰성, 안전성 확보 차원에서 시스템 엔지니어링의 중요성이 강조되고 있으며, 최근에 건설 중이거나 혹은 완공된 해외의 무인 운전 경량전철 시스템의 사례에서도 볼 수 있듯이 시스템 엔지니어링은 이제 철도 시스템의 성능과 안전 확보를 위한 필수적인 도구로 인식되고 있다.

본 고에서는 최근 그 중요성이 부각되고 있으며 당사가 국내 경전철 건설 사업에 적용을 준비 중인 시스템 엔지니어링의 절차와 과정에 대한 실무 차원의

주요 내용을 소개하고자 한다.

## 2. 무인 경량 전철 시스템의 특징

기존 중량전철의 기능을 보완하거나 신규 교통 수단의 필요성에 의해 경량전철의 도입이 증가하고 있으며 특히 민간투자 사업 방식의 경전철 건설 사업이 대폭 증가하고 있다. 각 지방자치 단체는 해당 지자체의 재정여건 및 교통 수요에 알맞은 경량전철의 도입을 서두르고 있고, 이에 따라 국내 주요 건설사 및 차량 제작사가 주축이 되어 민간 투자 사업이 활기를 띠고 있다.

민간 투자에 의한 경량전철 사업의 특성상, 운영 수익의 극대화과 운영비 절감 방안이 강구되고 이에 따른 무인 운전 시스템의 도입은 자연스러운 선택이 아닐 수 없다. 무인 운전 시스템의 도입은 최근의 차량 및 신호 분야의 기술과 통신 및 IT 분야의 기술간 접목으로 신뢰성을 더해가고 있으며, 여기에 시스템 엔지니어링의 체계적인 설계 및 검증 절차가 안전한 시스템을 보장하고 있다.

무인운전 경전철 시스템은 차량, 신호제어의 주 설비와 통신, 플랫폼 스크린도어, 전력 공급 설비, 무인 요금 정산 설비, 소방 설비 등으로 구성되는 부대 설비가 무인 운전 조건에서 안전하고 원활하게 성능을 발휘할 수 있도록 설계, 제작되어야 한다.

차량의 경우는 정확한 정차 위치 확보, 부품 내구성 확보를 통한 무인운전 차량의 신뢰성 제고 등이 중요하며 차량 종합제어 장치의 신뢰성도 보장되어야 한다. 무인운전의 안전성 확보를 위해서 장애물 검지장치, 탈선 검지장치, 화재 감지 장치 등이 차량에 설치되어야 할 것이다. 안전 운영을 위해서는 플랫폼 스크린 도어의 설치가 필수적이며 차량의 정위치 정차 성능이 스크린도어와 연계 관리되어야 한다. 따라서 정밀하고 신뢰성있는 제동 기능의 확보 또한 중요한 요소가 아닐 수 없다.

무인운전 시스템에서 신호시스템의 선정은 성능 발휘를 위하여 신중하게 고려되어야 한다. 무인운전의 차상 신호 시스템은 최근 디지털 차량 신호를 적용하여 그 신뢰성을 높이고 있다. 특히 차량과 신호 시스템간의 인터페이스를

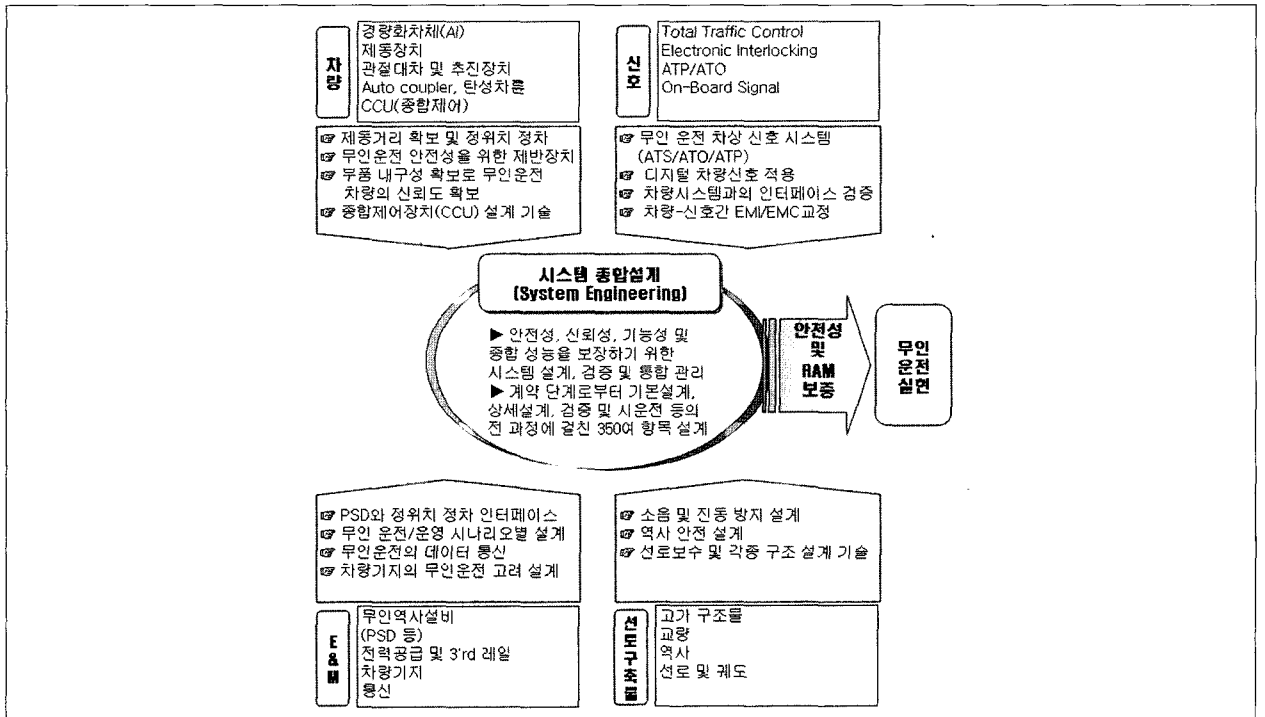


Figure 1. 무인경량전철의 구성 요소

사전 검증함으로써 차량과 신호시스템간의 안전, 제동 및 추진 관련 인터페이스를 사전 조율, 안정화해야 한다.

무인 경량전철 시스템에서는 E&M설비의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 우선 플랫폼 스크린도어와 차량의 정위치 정차에 대한 인터페이스 관리가 철저히 이루어져야 한다. 무인 역사는 스크린도어를 필두로 하여 자동 요금 정산 시스템, 보안 및 안전 설비로 구성되며 SCADA(원방제어설비)에 의해 전력 감시 제어 시스템이 채용되고 역사 및 운행 차량 간의 원활한 의사 전달을 위한 통신 시스템이 갖추어져야 한다. 차량 기지는 효율적이고 안전한 유지 관리를 위해 유인 구역과 무인 구역으로 구분하여 설계가 이루어진다.

차량, 신호 및 부대 설비와 더불어 토건 구조물의 경우도 설계 및 시공에 좀더 세심한 주의가 필요하다. 무인 운전에 따른 비상 상황시의 탈출을 고려한 역사의 설계, 무인 운영 역사의 승객 편의성 제고를 위한 각종 안내 시설물 설치 및 동선의 확보, 지하 구조물의 경우 화재에 대한 대책이 면밀히 검토되어야 한다.

위에서 무인운전 경량전철 시스템의 주요 특징을 살펴 보았지만 무인 운전 시스템의 건설에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 제반 시스템이 안전하고 원활하게 성능을 발휘할 수 있도록 통합, 검증하는 기능이 없으면 시스템의 신뢰성, 안전성, 기능성은 확보될 수 없다. 시스템 엔지니어링은 각 설비들을 기획, 설계, 제작, 시공 및 시운전 단계에 걸쳐 안전성, 신뢰성, 기능성 및 종합성능을 보장하기 위한 엔지니어링 업무로 지금부터 무인운전 경량전철의 건설과정에 있어 시스템 엔지니어링의 주요 업무 및 내용을 소개하고자 한다.

### 3. 시스템 엔지니어링의 정의 및 특성

철도 건설에 있어서의 시스템 엔지니어링은 유럽을 중심으로 해외에서 주로 적용, 부각되기 시작하였으며 국내에서는 아직 그 역사가 일천하다. 그러나 최근 한국철도기술연구원의 고무차륜 AGT개발 사업에 시스템 엔지니어링을 도입, 개발하는 등 국내에서도 활발한 연구가 진행되고

있으며 국내의 각종 학회 및 세미나를 통해 많이 다수의 연구 결과가 소개되고 있어 관심이 높아지고 있다.

한국 철도 학회에서 발간한 철도기술 용어집에 따르면 시스템 엔지니어링은 “주어진 조건에서 일정한 목적을 가장 효율적으로 달성하는 시스템을 설계하여 가동시키는 일련의 엔지니어링 업무”로 정의하고 있다. 이는 철도 분야에 국한된 것이 아니며 산업 전반에 걸쳐 설비의 신뢰성, 가용성, 정비성 및 성능 등을 확보하기 위한 일련의 엔지니어링 절차를 의미한다.

그러나 철도 특히 무인 운전 시스템의 건설에서의 시스템 엔지니어링은 안전성, 신뢰성, 기능성 및 성능을 모두 만족시키기 위하여 차량, 신호, E&M 및 토건 구축물의 기본 요구 사양과 조건을 제시하고 전체 사업 단계별로 핵심 설비인 차량, 신호 그리고 부대 설비 전반에 걸친 관련 엔지니어링 요소를 분석, 검증하며 최종 시운전 단계까지 규정된 안전성 및 RAM의 보증을 구현하기 위한 필수적인 종합 엔지니어링 업무를 말한다. 또한 안전성, RAM, 종합 성능의 보증을 위한 설비간의 인터페이스 관리 업무도 시스템 엔지니어링의 핵심 업무로 추진된다.

### 4. 건설 사업에서의 시스템 엔지니어링 절차

경량전철의 건설 사업에서 시스템 엔지니어링의 업무는 차량이나 신호 시스템 공급사의 역할에 국한되는 것이 아니라, 전체 사업 참여자의 해당 업무에 대해 기획 단계에서 설계, 제작, 시공, 시운전의 모든 단계에 걸쳐 수행된다. 시스템 엔지니어링 주관사(이하 “SE”)는 건설 사업 조직내에서 시스템의 설계와 통합을 위한 조정, 감독, 관리 업무를 수행하게 되며 시스템과 서브시스템 공급사들 그리고 시공사는 SE와 협력 하에 해당 설비 내지 업무에 부여된 각각의 요구 조건을 만족시키고 검증하여 전체 시스템간에 유기적인 조화를 이루어 성능과 안전성을 달성해야 한다. RAMS 엔지니어링의 절차에 대하여는 EN50126(Railway applications-Specifications and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety)에서 상세히 소개하고 있으며 본 고에서는 시스템의 통합관

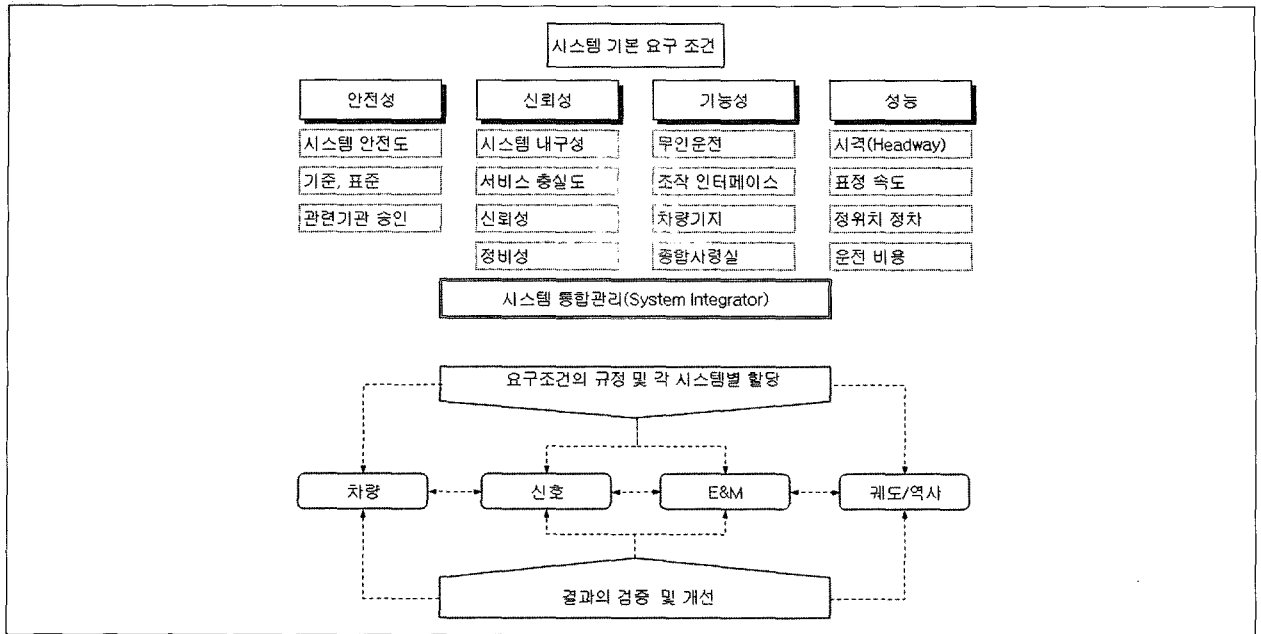


Figure 2. 시스템 통합관리의 개요도

리를 포함한 시스템 엔지니어링 전반에 대해 사업제안, 기본설계, 실시설계, 검증 단계 및 시운전의 건설 단계별로 나누어 소개하기로 한다.

**가. 기본 계획 단계**

SE는 기본 계획 단계에서 시스템의 제반 요구 사항을 분석하여 시스템의 목표 성능을 설정하고 시스템에 요구되는 신뢰성, 가용성 및 정비성에 대한 주요 목표치를 할당한다. 또한 시스템 설계기준을 수립하며 주요 기능과 역할을 정의한다. 사업 전반에 걸친 시험과 평가에 대한 기본계획 수립, 궤도의 배치, 차량기지 및 사령실의 배치 등 레이어아웃에 대한 기본 작업도 병행된다. 마지막으로 시스템에 요구되는 제반 요구사항의 시스템 간 관계와 인터페이스 관리 방안을 설정한다.

RAMS 엔지니어링과 관련해서는 시스템과 서브시스템의 요구조건 설정, RAM 계획, Safety계획, 서비스 Availability분석, Safety 설계 기준등을 정립하게 된다.

**나. 기본 설계 단계**

기본 설계 단계에서는 각종 안전계획, RAM수행 계획,

운영 시나리오의 작성 등 시스템 기본 형상을 구축하게 된다. 특히 서브시스템에 대한 인터페이스 정의가 수행되며 발주자, 인허가 등에 대한 저축 사항도 정리한다. 성능 상으로는 운영 시격의 분석, 정위치 정차 정밀도의 분석, trip time의 검토 업무 등이 행해진다. 시스템의 경우 신호 시스템의 사양 결정, 차량의 구조적 정의, 제반 시스템의 블록 다이어그램 작성 등 기본 설계 업무를 수행하게 된다. 또한 서브 시스템 간의 인터페이스를 정의하게 되며 Hazard에 대한 정의와 분석, 시스템 Safety Case설정, 리스크 평가, 대피구조 계획 등도 수립한다.

**다. 실시 설계/검증 승인 단계**

실시 설계 단계에서는 안전성의 확보에 필요한 Hazard Log, Risk Analysis등을 수행하게 되며, 시스템의 신뢰성 확보를 위한 RAM의 분석이 이루어진다. 이때 서브 시스템에 대한 RAM분석도 동시에 수행된다. Alarm 시스템을 정의하고 역사의 주요 기능에 대한 분석도 이루어지며 제반 시스템간의 인터페이스 분석이 수행된다. 시스템 전반의 검증 절차가 수립되어야 하며 시험 검사 조직을 구성하고 시험평가 절차를 작성한다.

	시험재인 단계	개념/기본 설계단계	설계단계	검증승인 단계	시운전 단계
안전성	●요구사항분석	●안전계획 ●안전 절차 정의 ●안전통합 레벨 확립	●Hazard log ●안전 Case ●안전성분석 ●Risk분석	●안전 Test 절차 수립 및 시행	●시스템 승인 ●운전자 인증
신뢰성	●RAM 조건 구성 ●RAM 조건 할당	●RAM 계획 ●가용도 초기분석	●RAM 분석보고 ●무속시스템 RAM 분석	●RAM 검증 ●정비성 시험	●RAM Monitoring ●FRACAS
기능성	●시스템 개관 ●형상 ●인터페이스관리	●시나리오작성 ●Alarm flow ●사정실 정의	●Alarm시스템정의 ●Train 분석 ●역사 기능분석	●시스템test 절차 수립 및 시행	●시스템 분석 및 개선사항 정의
성능	●성능시뮬레이션	●사격 분석 ●정차정밀도분석 ●Trip time	●인터페이스분석	●성능검사 절차 수립 및 시행	●성능 Monitoring
비고	☞ 기본 요구사항의 재확인 및 적합성검토 ☞ O&M 계획에 의거한 설계 조건 제시 ☞ 차량까지 기록기록 등 ☞ 시스템 v O&M 조건 대비 RAM 구현치 검토	☞ 시스템 v O&M 조건 대비 RAM 구현치 분석 ☞ Control room 의 기능,경제성 분석 ☞ CENELEC 적용 및 공인기관 인증	☞ 750개 Hazard log구축 ☞ 130개 Safety case 구축 ☞ Operator별 Activity 구축 ☞ Alarm기능 수립, 대응 시나리오 등	☞ 무인운전 시스템 Test 절차 구축 ☞ 효율성, 경제성고려 정비계획 수립/검증 ☞ 교육,훈련 계획 포함	☞ RAM 종합 평가 및 개선책 ☞ 종합성능 평가 및 개선책 제시

Figure 3. 시스템 엔지니어링의 절차

**라. 시운전 단계**

시스템의 승인을 거치고 운전자의 인증이 완료되어 시운전을 시행하게 되며 이때는 RAM의 성능 구현에 대한 지속적인 모니터링이 이루어지게 된다. FRACAS(Failure Reporting and Corrective Action System)를 통해 각종 고장 및 사고에 대한 자료를 수집, 분석하여 조치하고 이후의 정비 시스템 활용도 가능하도록 해야 한다. 당초 목표한 성능이 구현되는 지에 대한 지속적인 모니터링이 필요하며 시스템의 성능과 신뢰성에 대한 분석과 개선 사항을 검토, 조치하도록 한다.

**5. 시스템 엔지니어링 수행 업무 내용**

이상에서 시스템 엔지니어링의 내용과 수행 절차를 살펴 보았다. 이러한 시스템 엔지니어링의 수행과정에서는 각종 분석, 설계, 절차서 등 엔지니어링 성과물을 수반한다. 본 장에서는 시스템 엔지니어링의 실무 수행 과정에서 생산되

는 많은 성과물중에 중요한 의미를 지닌 성과물 내용을 통해 시스템 엔지니어링의 실무를 개괄적으로 소개한다.

**가. Safety Requirement(안전에 대한 요구조건) 설정**

본 문서는 시스템과 서브 시스템 모두의 안전에 대한 요구조건을 질적인 측면과 양적인 측면에서 정의한 문서로서 여기에 정의되는 Safety requirement를 모두 만족시켜야 만이 승객 및 시스템 운영 관련자, 그리고 제3자 모두에게 Safety Level을 보장하게 되는 것이다. 본 Safety requirement에서 검토되어야 할 사항으로는,

- ♣ 시스템의 Safety 기준의 설정
- ♣ 시스템과 서브 시스템의 Safety requirement 설정
- ♣ 시스템에서의 리스크의 허용 한도 설정
- ♣ 승객, 운영요원 및 제3자에 대한 시스템 리스크에 대한 검토
- ♣ 서브시스템까지의 Safety 허용 한도의 할당
- ♣ 유사 시스템으로부터의 경험자료 수집, 검토를 통한

대처방안 수립

등이다. 단, 본 문서에서는 시스템 운전과 관련한 안전 사항은 다루지 않는다. 시스템의 Safety 요구조건 작성 시에는 반드시 정량적 요구조건과 함께 정성적 요구 조건도 규정해야 하며, 특히 궤도, 전력, 수배전, ATC, SCADA, 사령실, 무선시스템, 통신, 플랫폼 스크린도어 등의 부대설비와 토목구조물에 이르기까지 전체 구성 설비에 대한 적용 기준 및 요구조건을 명시해야한다.

**나. RAM Requirement (RAM 요구조건) 수립**

시스템 및 서버 시스템 모두에 대한 Reliability(신뢰성), Availability(가용성), Maintainability(정비성) 각각의 요구 조건을 제시하는 것으로,

- ◆ 전체 시스템에서 달성해야 할 신뢰성과 가용성의 수준을 정의
- ◆ 전체 시스템 차원에서의 RAM요구조건을 위한 서버시스템의 요구조건 정의
- ◆ 신뢰성 시험시의 허용 한계 설정
- ◆ 시스템 및 서버시스템의 정비성을 강화하기 위한 설계 기준 제시

등을 주요 내용으로 한다. RAM요구 조건은 전체 및 서버 시스템의 설계, 제작 및 시공과 시운전 전반에 걸쳐 적용 되도록 해야 하며 정량적인 요구조건과 더불어 정성적인 요구조건도 규정해야 한다. 가령 최소 서비스 가용도를 98%로 정의한다던가, 신뢰성의 정량적 요구조건으로 출발 오류 횟수가 200회 이내로 규정하는 등의 요구조건이 설정된다. 서버 시스템의 경우도 정량적, 정성적 요구조건이 모두 반영되도록 해야 한다.

**다. Safety Plan(시스템 안전계획) 수립**

설비 기술 및 운영 측면에서 사업에 요구되는 Safety의 특성을 달성할 수 있도록 사업 전체 단계별 Safety관련 업무를 정의하며, Safety management 조직 및 각 업무의 시행 시점과 시행방안 및 필요한 문서를 기술한다. 단, 발주자와 공급자가 제3의 안전 인증기관으로부터 안전인증을 받는 것에 합의했을 경우에는 본 문서는 제3의 안전 인증기관

의 인증절차에 따라 작성되어야 한다. 본 문서의 목적은,

◆ 발주자가 목적하는 Safety정책 및 기준과 일치하도록 적절하고 경제적인 설계가 될 수 있는 기준을 정립

◆ 각 서버 시스템별로 산재된 위험 요소를 시스템 전체 생애주기를 통해 식별, 추적, 검증하고 이를 제거하거나 충분히 낮은 단계까지 감소시키기 위한 방안 강구

하기 위함이다. 본 계획을 수립할 경우에는 유사 시스템에서의 경험사례를 포함시키는 것이 바람직하고 특히 신기술 내지 신규 시스템 도입 시에 더욱 철저한 검토가 필요하다. 본 문서는 Safety plan과 Safety Case Plan의 두 가지로 구성된다.

**라. 안전도 레벨의 결정과 할당**

본 업무는 시스템에서 요구되는 전반적인 안전도 레벨(Safety Integrity Level, SIL)을 결정하고, 서버 시스템의 Hazard와 Risk분석을 통해 하위 혹은 동등의 SIL을 부여하기 위한 것이다. 서버 시스템의 SIL 할당을 위해서는 전체 시스템 레벨에서 “예비 위험 인식 및 분석(Preliminary Hazard Identification and Analysis)”을 통하여 Hazard 및 리스크의 분석을 수행하고 그 결과를 서버 시스템의 Safety requirement로 활용하게 된다. 이러한 SIL의 할당은 차량뿐만 아니라 E&M시스템 전반과 토건 구조물 등 전체 시스템 구성 요소에 적용해야 한다,

**마. 대피구조 계획의 수립**

최근 지하철 내의 화재 발생 등 각종 안전사고가 빈번해지자 관련 기관에서는 이의 방지와 피해 최소화를 위한 대책을 모색하고 있다, 그러나 무엇보다도 중요한 것은 시스템의 기본 계획 및 설계 단계에서 화재 등 돌발 상황에 대한 대책을 반영하는 것이다. 이러한 차원에서 대피구조 계획은 시스템에서 대피, 구조 절차의 기본 원리에 대한 정의와 함께 승객이 자구적으로 대피하거나 요원의 지원에 의해 대피하는 개념을 정립하기 위한 것이다. 특히 본 문서는 운영사가 운영정비의 비상절차 및 규정집으로 갱신할 필요가 있으며, 토목 및 기계 설비 분야의 계약자는 본 계획에 의거한 별도의 운전 및 관리 시나리오를 개발해야

한다. 본 계획은 다음을 기준으로 한다.

- ♣ 국제적인 코드 및 규격
- ♣ 발주처의 안전 관련 요구 조건
- ♣ 유사 시스템에서 적용중인 운영 규정 내지 지하구간의 경우 지하철 운영 특성
- 특히 본 계획 수립시 반영되어야 할 사항으로는,
- ♣ 대피와 구조의 기본 개념
- ♣ 대피가 필요한 제반 시나리오 및 서브시스템에 대한 요구 조건
- ♣ 대피가 필요한 지역의 레이아웃 및 각종 안내 표시
- ♣ 서브 시스템과 설비가 갖추어야 할 기본 요구조건
- ♣ 대피로의 설계 및 운영상 요구사항

등이 있으며 비상상황시의 관리절차, 구조 인력과 운영 인력과의 통신체계 등도 고려해야 한다.

#### 바. Hazard 분석 (Hazard Analysis)

시스템 운영 중 내재하는 손실 혹은 사고를 유발하는 잠재적 가능성을 가진 모든 Hazard에 대해 포괄적이고 체계적인 식별 방법과 기록을 제공하기 위한 분석 작업이며 이를 위해

- ♣ 체계적이고 광범위한 Hazard의 식별
- ♣ 리스크를 적절히 관리하기 위한 조정방안, 절차 및 기타 방호에 대한 기록
- ♣ 식별된 Hazard와 연관된 각종 리스크의 평가
- ♣ 리스크의 허용 한계 비교

등의 수단을 통해 검토한다. Hazard식별은 전체 시스템의 모든 Hazard를 대상으로 하며 방호형상, Hazard로 인한 결과에 대해 각각 검토하고 각 Hazard별 조치사항을 포함해야 한다. 각 Hazard에 대해서 결과의 중대성 여부, 발생 주기 그리고 리스크의 순위 등에 대한 분석을 행한다. 본 분석을 통해 식별된 Hazard는 정상운전, 대비 운전(Fall Back) 및 비상 운전시에 적용되어야 한다.

#### 사. RAM 계획 수립

시스템의 전 생애 기간에 걸쳐 프로젝트에서 요구하는 RAM의 목표치를 달성할 수 있도록 관리 및 기술 측면에

서의 RAM관련 업무를 정의한다. 시스템 RAM 계획은 다음과 같은 방안으로 수립되어야 한다.

- ♣ 발주자의 RAM 정책 및 기준과 일치할 수 있도록 시의 적절하고 경제적인 방법으로 RAM관련 업무 추진
- ♣ 유사 프로젝트의 RAM data 반영
- ♣ 각 시스템의 오류 및 고장이 식별되고 그 원인을 추적, 검토, 제거 될 수 있어야 함.
- ♣ RAM의 개선을 위한 설계, 개발 및 시스템 도입 기간 중의 수정작업이 최소화 될 수 있도록 할 것.

RAM 계획서에는 프로그램의 관리 방안, 요구 조건 및 단계별 이행 내역과 일정을 모두 반영토록 한다.

#### 아. 서비스 가용도(Service Availability) 분석

전체 시스템의 가용도의 예측을 위해 분석 절차를 정립하고 시스템의 기능과 운영 전반의 흐름을 분석하며 각 서브 시스템의 고장(Failure)의 분석도 병행하게 된다. 서비스 가용도의 분석을 위해서는 다음의 기본적인 조건이 충족되도록 한다.

- ♣ 시스템의 안전성과 신뢰성있는 운영에 필요한 모든 기능을 식별
- ♣ 서브 시스템의 고장(Failure)에 대한 분석을 포함하고 이것이 RAM 및 안전에 연관성, 영향 검토
- ♣ 잔체 시스템의 성능에 영향이 큰 서브 시스템의 식별
- ♣ 달성 가능한 가용도의 검토 및 시스템 요구조건과의 비교
- ♣ 분석결과에 따른 RAMS 요구조건 보완 및 수정

이러한 서비스 가용도의 분석은 정상운전을 기준으로 하며 비정상 혹은 비상 운전시의 조치 절차 및 계획은 별도 계획을 수립하게 된다.

#### 자. 시스템 시나리오

자동 무인 운전 시스템에서 발생할 수 있는 모든 경우에 대해서 무인 운전의 주요 기능에 대해 정의하는 중요한 문서가 된다. 본 문서로 최종 성능 수락 시험의 내용을 정의하는 기준서가 된다. 시나리오는 본선과 차량 기지에 대해 각각 정상운전, 대체운전(Fall Back Operation), 비상운전(Emergency Operation)의 세 유형으로 구분되어 총 6

가지 형태의 시나리오가 작성된다.

- ◆ 본선 정상운전: 운행 시간표에 따른 열차 운전, 운영에 투입될 열차의 이동, 운영 종료 후의 열차의 이동, 규정 시격하의 열차 운행 등 본선이 정상 운전되는 상황의 시나리오
- ◆ 본선 대체운전: 열차 구원상황, ATC의 제어 실패, 무선 위치 실패 등의 대체 운전 시나리오
- ◆ 본선 비상운전: 역사의 화재, 열차내 화재, 폭탄 테러 등의 비상 운전 시나리오
- ◆ 기지 정상운전: 검사를 위한 열차 이동, 차량세차, 주박열차의 이동 등 기지 내 정상운전
- ◆ 기지 대체운전: 기지의 분기기 구간 내 열차 정지, 동력 공급 실패, 무선통신 장애 발생 등의 기지내 대체 운전 시나리오
- ◆ 기지 비상운전: 사령실 화재, 차량 기지내 피난, 사령실 요원의 부상 등 기지내 비상운전 시나리오

상기와 같은 6개 유형의 운전 시나리오 별로 상황의 개요 및 상황개시에서 종결에 이르기까지 각 시스템이 조치해야 할 사항 및 단계별 운전 내용을 서술하게 된다. 특히 각 서브 시스템별로 어떤 신호가 표시되며 어떤 명령을 주고받을지 정립이 되어야 하며 예비 시간 분석도 반영되어야 한다. 본 시나리오는 서브 시스템의 시나리오별 기능과 운전조작의 상세 내용을 정하는 기준이 된다.

### 차. Hazard Log

Hazard Log는 일정 주기별 수 개의 통계자료를 근거로 관련 사안을 강조함으로써 Hazard에 대한 조치 현황을 주기적으로 반영하는 문서로 지속적인 갱신이 필수적이다. Hazard Log는 프로젝트 수행기간 중 최고의 우선 순위를 갖고 있다. 이러한 Hazard Log의 작성 목적은,

- ◆ 설계자, 공급자, 발주자, Safety manager 및 관련자들 모두에 의해 개발 단계에서 종결에 이르기까지의 모든 단계에 걸친 모든 Hazard를 수집하고,
- ◆ 수집된 정보를 Data base화 하여 구성한 후,
- ◆ 각 Hazard가 실질적으로 무시할 수 있을만큼 감소하거나 제거될 때까지 지속적으로 모니터링하고

◆ Hazard와 연관되는 간섭사항등을 관리하는 것이다.

이러한 Hazard의 관리는 전 프로젝트 기간에 모든 시스템을 대상으로 해야 하며 특히 계약 단위별로 해당 계약분에 대한 Safety manager를 임명하고 관리토록 해야 한다.

### 카. Safety Case

Safety case를 작성, 관리한다는 것은 개념 설계 단계부터 Safety가 얼마나 중요하게 다루어져 왔는가를 증빙하는 것으로 시스템 및 서브 시스템의 설계 요구조건을 포함하여 시스템의 개념 설계에 대한 제3의 안전 인증기관으로부터의 승인을 전제로 작성하게 된다. 또한 전체 시스템이 Safety의 요구 조건을 만족할 수 있도록 설계, 건설 및 시운전이 되었으며 따라서 Safety측면에서 승인될 수 있다는 증빙을 제시하기 위함이다. 제3의 안전 관련 공인기관이 제시한 주요 일정에 따라 Safety case는 시스템 차원에서

- ◆ 토건 구조물이 적절하게 설계, 건설되었음을 보여주는 증빙
- ◆ 차량 및 E&M 시스템의 제반 설비가 적정히 설계, 건설 및 시운전되었다는 증빙
- ◆ 시스템 차원의 Safety와 연관된 사항들이 충분히 반영되었다는 증빙
- ◆ 시스템 차원의 Safety와 연관된 주요 기능들이 충분한 시험을 거쳤다는 증빙
- ◆ 요원의 교육 훈련이 충분한 수준까지 개발 완료되었음을 증빙

등을 제시할 수 있어야 한다. 또한 관련 설비의 Safety case가 각각 제시되어야 하며 이는 설비 공급사, 토건 시공사, O&M 담당사 별 각각 해당 분야의 서브시스템까지의 Safety case를 작성토록 해야 한다.

### 타. Construction Risk Analysis

사업 전체에 대한 Risk Analysis는 별도로 행해지며, 본 문서는 건설 기간에 한정하여 다음의 내용이 가능하도록 한다.

- ◆ Hazard의 인식은 폭넓게 수정이 가능하도록 프로젝트 초기 단계에 행할 것



- ♣ 리스트의 식별 및 보완 업무는 비용, 시간 측면에서 보다 효율적인 방법으로 적절하게 식별, 관리되어야 한다.
- ♣ 리스크의 검토과정에서 식별된 모든 Hazard는 기획, 설계단계에서 적절히 고려되도록 한다.
- ♣ 건설시운전 과정에 발생하는 리스크를 감소시키기 위한 수정대책이 적절히 행해져야 한다.
- ♣ 리스크 관리행위는 프로젝트 개발 및 설계 수정이 발생하는 매시점마다 갱신되어야 한다.
- ♣ 리스크 관리에 대한 명백한 책임 권한과 함께 핵심 요원이 할당되어야 한다.
- ♣ 현장 요원은 당면한 리스크에 대해 적절한 교육훈련을 받아야 한다.

본 문서에는 Risk Analysis의 요구조건, 수행 프로그램의 설정, 주요 리스크 항목에 대한 검증 일정 및 문제점에 대한 조치 대책들이 포함되어야 한다.

**파. RAM분석 보고서**

각 서브 시스템 공급자가 제공하는 시스템의 RAM 데이터를 수집, 분석하여 시스템이 종합적인 RAM성능을 성취할 수 있는지를 판단하는 문서로서 다음 사항에 대한 검증 결과를 기술하게 된다.

- ♣ 각 서브 시스템과 관련된 고장을 식별, 추적하고 시스템 운영상 있을 수 있는 잠재적 영향에 대해 검토하였는지의 여부
  - ♣ 각 서브 시스템에 할당된 신뢰성(Reliability) 요구 조건이 충족되었는지의 여부
  - ♣ 각 서브 시스템의 예방, 보수 및 정비에 필요한 총 소요 시간이 당초 목표 할당치에 일치하는지의 여부
- 상세설계 단계에서 시스템 레벨의 RAM검증은 “서비스 가용도 분석(Service availability analysis)”에 의해 검증된다.

**하. FRACAS 절차서**

시험 및 시운전과 상업 운전 단계에서의 오류 사례의 수집과 분석에 적용되는 절차와 오류의 lnstjr을 통해 발생하는 수정 및 보완 행위를 어떤 절차를 통해서 관리할 것

인지 기술한다. FRACAS는 모든 서브 시스템까지 포함, 적용되며 최종 수락 시험이 성공적으로 완료된 후 시험 제도 상에서 운전되는 시점부터 적용되어야 하고 오류 사례의 기록은 서브 시스템의 시운전 개시 이후 발생 분부터 적용하는 것이 일반적이다. 본 절차서는,

- ♣ 오류 보고의 절차 및 방안(오류 데이터 수집 방안 포함)
- ♣ 오류의 분석: 분석절차, 검토 조직, 분석의 기준 등
- ♣ 해당 오류에 대한 보완 조치
- ♣ 오류의 보고 및 문제 분석 형식

**6. 맺음말**

국내에서 계획 중이거나 추진 중인 경전철 사업은 대부분 무인 운전방식을 채택하고 있으나 이러한 무인 운전 경전철 시스템의 설계와 건설 과정에서 치밀한 안전 대책, 구체적인 성능 목표의 설정 및 평가, 모든 구성 시스템 간의 인터페이스 검증 등 시스템 엔지니어링의 개념이 적용되지 못할 경우 시스템의 안전과 신뢰성에 심각한 문제가 발생할 수 있다. 아쉽게도 아직까지 국내에서 이러한 시스템 엔지니어링을 전문적으로 수행할 수 있는 기관이 없고 전문 인력이 부족하며 이에 대한 기능과 효과에 대한 인식도 부족한 실정이다.

다행히 최근 국내 철도 관련 연구 기관 및 관련 학계에서 RAMS 엔지니어링 등 철도사업의 시스템 엔지니어링에 대한 연구가 활발히 진행되고 있어 향후 국내의 철도 건설 사업, 특히 안전성과 신뢰성이 중시되어야 하는 무인 운전 경전철의 건설 사업에 있어 시스템 엔지니어링을 기반으로 시스템의 건설이 가능할 것으로 전망된다. 당사에서 시스템 엔지니어링의 중요성을 인식하고 향후 건설되는 경량전철에 이를 적용하기 위해 기술적인 검토를 진행하고 있다.

본 소개가 무인운전 경전철의 건설에 종사하는 실무자 여러분들에게 시스템 엔지니어링의 실무 절차와 업무 방향을 이해하는데 다소나마 도움이 되길 바라며, 향후 국내에서 건설되는 무인경량전철의 신뢰성과 안전성 확보를 위한 시스템 엔지니어링 분야의 발전을 기대한다.