

경량전철시스템의 안전성구축방안

The Safety Program Plan of the LRT(Light Rail Transit) System

정락교*, 윤용기*, 목재균*, 이병송*, 최규형*

Jeong Rag-Gyo, Yoon Yong-Ki, Mok Jae-Kyun, Lee Byung-Song, Choi Kyu-Hyoung

ABSTRACT

This paper describes a safety program plan of the LRT(Light Rail Transit) project. The SPP is a management document that describes the system safety objectives and how they will be achieved so it embodies principles, methods and practices commonly used in the transit industry. In a Preliminary Hazard Analysis phase, the hazard analysis of collision and derailment is carried out. In this paper we make a definition of hazard that hazard consists of an inner part(means a reliability) and an outer part(means a fire, flood and earthquake). Also safety principles for infrastructure, stations, electric traction system, railway control system and train are performed.

1. 서론

한국철도기술연구원에서 수행중인 경량전철기술개발사업은 기존 궤도회로를 사용하지 않고 무인자동운전을 목표로 하고 있다. 이러한 기술개발사업의 성과물을 향후 건설될 경량전철사업에 적극적으로 활용하기 위해서는 기술개발사업의 단계별로 수행되는 작업 및 활동에 대한 안전성을 검증하는 것이 요구된다.

따라서 경량전철기술개발사업의 단계별로 수행될 작업 및 활동에 대해서 안전성을 확보하기 위한 적절한 계획, 실행 및 검증을 체계화하기 위한 안전성프로그램계획 SPP(Safety Program Plan)를 작성한다. 본 논문에서는 사업의 기본설계단계의 SPP의 내용으로서 1) 경량전철시스템을 구축하기 위한 선로구축물, 역사, 차량, 열차제어 및 전력공급에 대한 안전성 원칙(Safety Principle), 2) 열차의 탈선 및 충돌에 대한 위험도를 분석하였다.

SPP를 통하여 제작단계 이전에 발생가능한 잠재적인 위험요소를 제거 및 허용 가능한

* 한국철도기술연구원

수준까지 최소화할 수 있으며, 제작, 설치 및 시험과정을 거쳐 보다 향상화된 SPP를 작성할 수 있다.

2. 안전성프로그램계획 SPP(Safety Program Plan)

SPP는 시스템의 안전성 목적과 목적을 달성하기 위한 방안을 기술한 관리문서로서 철도산업에서 일반적이면서 널리 사용되고 있는 원칙, 기법 및 관행을 구체화하는 것으로 본 기술개발사업의 특성에 맞도록 안전목적, 목표 및 필요한 안전활동을 정의한다.

2.1 범위

SPP의 범위는 시스템별 요구사항을 이행함에 있어 안전과 관련하여 수행되는 모든 활동을 포함한다. 본 사업에서는 시스템의 안전에 미치는 영향을 내적인 요인과 외적인 환경요인으로 다음과 같이 정의를 하였다.

- 내적 요소 : 차량, 신호, 전력 및 선로구축물
- 외적 요소 : 환경요소로 화재, 홍수 및 지진 등으로 이에 대해서는 별도로 작성

2.2 목적

시스템의 안전에 중요한 역할을 담당하는 구성품(부품, 장치, 하부시스템)의 H/W, S/W의 설계, 제작, 시험, 운영 및 보수에 수행된 연속된 과정 및 활동을 통하여 시스템이 안전함을 보장한다.

이러한 안전을 보장하기 위한 방법으로는

- 기술개발목표와 일치하도록 안전하게 설계
- 시스템에 있는 위험요소 확인, 평가를 통하여 제거 및 허용치까지 감소
- 위험요소의 제거 및 감소에 취해진 모든 내용을 문서로 작성하여 체계화
- 위험요소를 일정한 수준까지 유지하기 위한 설계, 형상 및 운영 등을 변경

2.3 작업 및 절차

2.3.1 안전성확보에 영향을 미치는 요소

1) 선로구축물

선로	선로	<ul style="list-style-type: none"> - 궤도정비기준에 영향을 미치는 열차의 정적 및 동적 운동 - 선로의 성능에 영향을 미치는 환경조건(강우, 강성, 결빙, 폭우) - 열차탈선 가능성이 있는 지역에 대한 충분한 방재대책
	열차공간	<ul style="list-style-type: none"> - 선로지역에서 열차간, 열차와 구조물 및 열차와 고정설비간 충분한 여유공간 확보

사람	열차보호	- 허가를 받지 않은 사람의 접근을 방지 - 선로 및 주변에서의 토목공사, 구조물 배치 및 전력계통 접촉
	작업공간	- 선로작업 시 안전지역 및 대피지역까지의 도달소요시간 - 작업자, 응급보수요원 및 운영요원의 선로구조물 접근허용 범위 - 열차에 탑승한 승객의 비상탈출을 위한 설비
	위치확인	- 구조물의 상세한 위치 확인을 통한 열차의 안전운전과 유지관리 지원
구조물	선로토목공사 및 구조물	- 현장의 지면상태와 침수/침식의 위험과 영향 - 탈선윙머과 방지대책, 전력설비의 설치 및 보호 - 선로변 매설물(파이프) 등의 설비고장 영향
	터널 및 유사 구조물	- 터널 및 유사폐쇄지역에서 승객의 안전환경 및 안전대피 지원 - 터널 길이, 열차 길이 및 형태, 연기·화재 감지/방재, 공기 공급

2) 역사 및 차량기지

역사	역사안전	- 정상 및 비정상적인 상황에서 역사 내 승객의 활동 및 대기 - 비상구 개수, 크기 및 간격 - 비상조명 설치, 통신장비 및 안내표지 설치
	승강장	- 탈선을 대비한 보호시설 - 승강장과 열차간 호환성(열차높이, 궤도 높이) - 스크린도어 등 안전설비가 철도시스템에 미치는 영향
	역사궤도	- 열차과주 등을 방지하여 승객과 역사를 보호
	대피(탈출)	- 역사탈출시간, 탈출로 보호, 탈출안내정보, 방송장비
	화재예방	- 화재하중 최소화, 화재 감지, 경보 및 진압장비 설치 - 타 구역 화재에 의한 연기 제한을 위한 환기 및 배출장비 할당
차량기지	주차설비 정비설비	- 주행열차로 인한 위험에 대한 인명 보호(격리) - 전력공급시설의 위치, 구역 격리 및 정비편의 - 교차지점 확인, 안전한 이격거리 확보, 조명 설비

3) 전력공급설비

사람	- 정상적인 운영, 유지보수 및 비상시 격리와 보호 - 위험을 초래할 수 있는 고의적인 조작 방지설비 - 주변 구조물과의 접촉가능성, 비절연물질의 사용상태 확인
운영	- 차량시스템, 열차운영시스템간 인터페이스 - 전력시스템 및 회생에너지간 구성 및 운영 - 접지사고 및 단락보호
상호작용	- 전력공급시스템을 사용하는 열차의 특성 - 철도구조물 및 열차와의 전기적인 여유공간 - 전자기적인 영향이 주변에 미치는 영향을 최소화

4) 신호시스템

열차배치 공간확보 제어	<ul style="list-style-type: none"> - 충돌과 추돌방지, 오조작 방지 - 전력공급시스템 및 선로구축물과의 인터페이스(선로형태, 선로상태) - 성능저하상태에서의 열차보호 - 신호시스템의 이중화 및 보완설비와의 연계를 통한 성능저하 방지
성능저하	<ul style="list-style-type: none"> - 신호시스템의 성능저하 단계화(정확하고 연속적으로) - 불안정한 상태를 유발하는 고장모드를 조사하여 방지 - 지상/차상간 통신유지를 위한 방안 확보 - 성능저하상태에서 사람에 의한 오조작 방지
안전동작	<ul style="list-style-type: none"> - 비상사태 발생 시 열차의 안전한 조치를 위한 외부기관과의 협조 유지

5) 차량시스템

승객	구조	<ul style="list-style-type: none"> - 정상적인 운행하중 및 충돌영향 - 화재예방과 제한, 장비부착에 결함이 없을 것
	내장	<ul style="list-style-type: none"> - 비상상황의 상호작용 및 표시, 조치하기 위한 안전장비 - 상해유발가능성을 제재하기 위한 설비 - 차량의 난방, 조명, 환기장치 및 차량소음
	출입문	<ul style="list-style-type: none"> - 출입문 개수, 크기 및 배치 - 비상사태 발생 시를 대비하기 위한 조치 - 열차의 움직임과 출입문 조작과의 연동기능 - 출입문 조작 시 승객에 미치는 위험
차량 시스템	통신	<ul style="list-style-type: none"> - 열차, 승무원 및 사령실간 통신 - 승객경보장치, 화재를 포함 성능저하 시 통신시스템의 사용
	전력	<ul style="list-style-type: none"> - 사람의 우발적인 전력시스템과 접촉 - 전력설비의 화재하중, 발화원인, 화재확장 및 연기 등의 제한
	속도제어	<ul style="list-style-type: none"> - 제동시스템의 성능보증 및 제동 시 발생하는 유해물질의 최소화 - 선로구배, 궤도에 가해지는 힘
	주행장치	<ul style="list-style-type: none"> - 차륜셋트, 베어링 등 구성요소의 위험 및 효과 - 선로 궤도정비기준과의 호환성

2.3.2 사전위험분석 PHA(Preliminary Hazard Analysis)

PHA는 경량전철시스템의 근본적인 위험내용(충돌, 탈선)이 위험의 근원(열차속도검지 기능, 열차추적기능, 열차안전거리확보 등의 오류)에 의해서 발생하는 것을 확인하여 시스템의 위험을 제어한다.

PHA의 목적은 위험한 상황을 유발하는 시스템/하부시스템의 고장을 설계단계에서 확

인을 하여 상세설계, 제작 및 시험계획을 작성하는데 필요한 기준으로 활용한다.

PHA에서 작성할 내용에는 위험요소 확인 및 설명, 잠재적인 원인/근원, 위험도 등급, 위험 경감(fail-safe 및 이중화) 및 검증(안전분석, 확률분석, 안전시험/검사)이 포함된다.

우선적으로 무선통신을 적용한 경량전철시스템에 대한 열차의 충돌과 탈선에 대한 PHA를 그림.1과 같이 수행하였다.

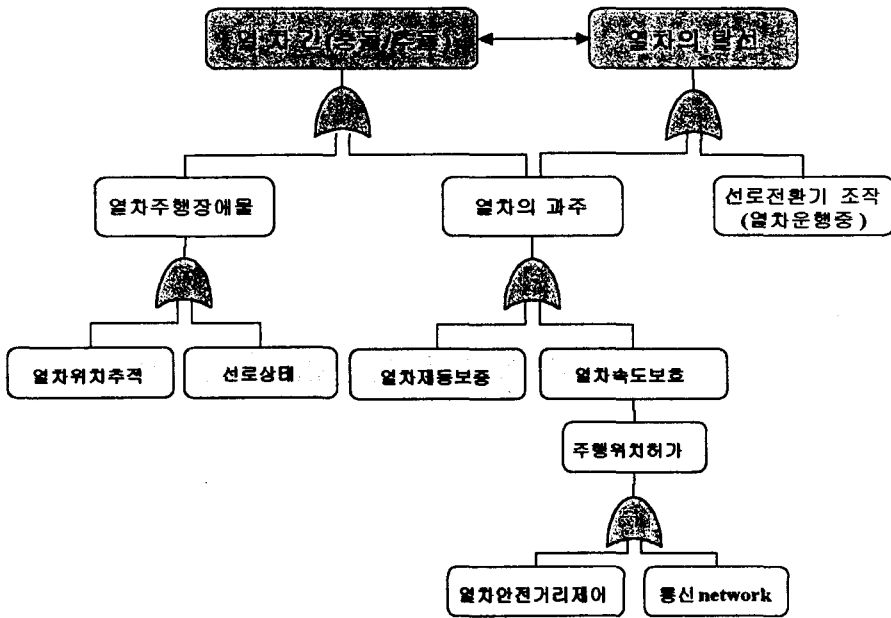


그림. 1(a)

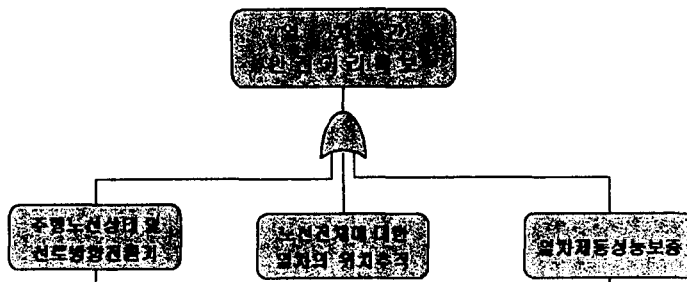


그림. 1(b)

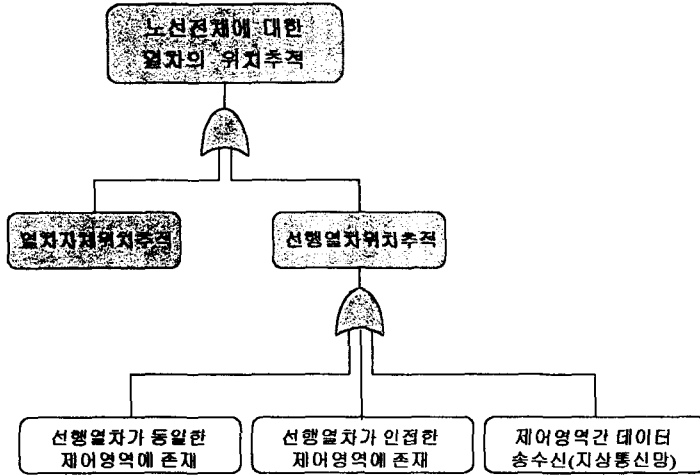


그림. 1(c)

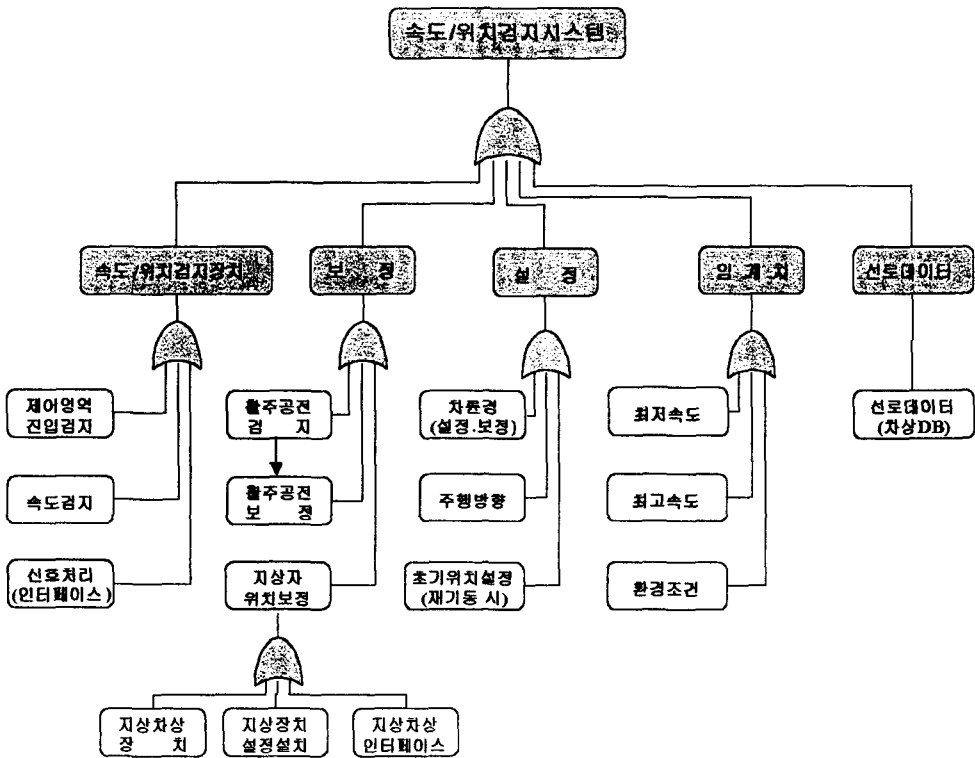


그림. 1(d)

2.3.3 최종안전보고서 FSR(Final Safety Report)

FSR은 경량전철시스템의 분야별 하부시스템에 대한 설계를 분석하고, 안전과 관련된 핵

심적인 하부시스템에 대한 안전설계를 하고 이를 검증한다. FSR은 PHA에서 확인된 모든 위험상황, 고장모드, 고장율, 고장영향 등을 포함한다. FSR에서 적용할 수 있는 안전성분석에는 다음의 두 가지 방법을 적용한다.

1) 고장모드·영향·치명도 분석(FMECA)

FMECA는 전체시스템의 안전에 미치는 영향분석과 모든 가능한 고장모드를 검사한다. FMECA를 작성함에 있어 장비 및 부품에 따른 고장모드를 정의한다. 부품/장비의 FMECA를 작성한 예는 표.1과 같다.

표1. 부품/장비 FMECA

고장모드 / 영향 / 치명도 분석 데이터 표					
시스템:전력공급시스템(E)			초안자:		전체면수:
하부시스템: 정류기(200)	부품:정류부(210)	최종확인자	일시:		
회로 도표/도면 : 기능: 입력단의 교류전원을 직류전원으로 변환					
항목/신호 (번호)	기능	고장모드	장비 및 하부시스템에 미치는 영향 ----- 시스템에 미치는 영향	고장확률 ----- 치명도	비고 (자료데이 터)
다이오드	-순방향전압에서 ON -역방향전압에서 OFF	-회로단락 -회로개방 -역전압 누설			
다이오드 보호 퓨즈	-단락 및 과부하시 발생 되는 과전류를 단전하여 다이오드 보호	-단전실패 -단전시간 지연 -특성값 변경			
다이오드 보호과전류 보호릴레이	-과부하시 발생하는 과 전류를 차단하고 정상 상태시 복귀	-back contact -front contact			
다이오드 보호온도 검출기	-스위칭작용시 발생하는 다이오드의 발생열 검지	-측정데이터불량 -보정불량 -측정불능			
써지역제 캐패시터	-다이오드 스위칭시 발생 되는 써지 흡수	-회로단락 -회로개방 -누설 -충전용량변동			
써지역제 저항기	-캐패시터에 흡수된 써지 에너지를 방출	-저항값 증가 -저항값 변동			

2) 결합계통분석 FTA(Fault Tree Analysis)

FTA는 확인된 위험에 대한 원인을 체계적으로 분석을 하는 것으로 정량적인 방법과 정성적인 방법으로 수행한다.

3. 결론

경량전철시스템 기술개발사업의 안전성을 확보하기 위한 안전성프로그램(SPP)을 작성하였다. 본 논문에서는 SPP절차 중 안전성확보에 영향을 미치는 요소, 사전위험성해석에서의 열차의 충돌/탈선 및 최종안전보고서에서의 FMECA표를 작성하였다.

향후에는 열차의 충돌 및 탈선의 사전위험성을 분석함에 있어 외적인 요소(화재, 침수) 등에 의한 것을 분석한다. 또한 FMECA를 작성함에 있어 필요한 차량, 신호, 전력 및 선로 등에 대한 고장모드 및 고장율에 데이터베이스 구축을 수행한다.

경량전철시스템기술개발사업을 위한 SPP가 국내에서 경량전철시스템을 도입함에 있어 필요한 SPP를 작성하는 필요한 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

<참고문헌>

- (1) Koji Iwata외 2명“무선에 의한 열차제어시스템 CARAT의 포인트제어계 사전안전성 해석”, J-Rail'98, pp.523 - 526
- (2) Alcatel Canada, "LRT Safety Program Plan"
- (3) Health & safety Executive, HM Railway Inspectorate, "Railway Safety Principles and Guidance".
- (4) 한국철도기술연구원, 건설교통부(1999), "경량전철시스템 기술개발사업 1차년도 연구 결과 보고서"