

트램 시운전에 따른 위험원 도출연구

이수환*, 이수주*, 편선호*, 이정운*, 김예지*
(주)에이알텍*

A Study on Identification of Hazards for On-Line Testing of Tram

Soo Hwan Lee*, Soo Joo Lee*, Seon Ho Pyeon*, Jung Woon Lee*, Ye Ji Kim*
Asia Railway Technology*

Abstract - 국내에서 개발되는 트램은 개발완료와 함께 시운전을 수행하여야 한다. 철도종합시운전을 수행하기 위해서는 시험절차서가 필요하다. 트램 시운전에 따른 위험원을 도출하기 위해 어떠한 방법과 절차를 통해 도출되어야 할 것인지 분석하여 트램의 시험절차서에 반영하고자 한다.

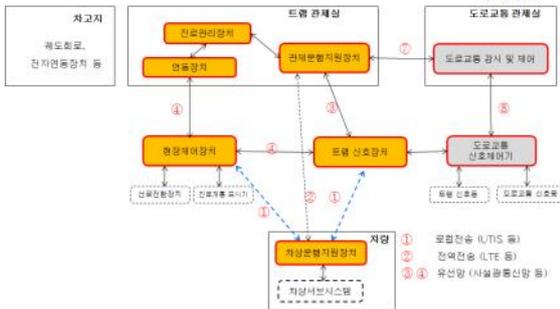
1. 서 론

철도기술연구사업으로 개발되는 트램은 철도안전법(법률 제12992호)에 따라 철도노선을 새로 건설할 경우에는 정상운행을 하기 전에 종합시험운행을 실시해야 한다. 종합시험운행을 하기 위해서는 시험절차서가 필요하다. 시험절차서는 장비 또는 시스템의 성능을 고려하여 성능의 적절한 동작과 동작에 따른 결과를 기준으로 작성된다. 시험절차서는 위험원 근거로 시험항목이 선정이 된다. 본 논문에서는 현재 개발 중인 트램의 시스템 구성도를 알아보고, 트램이 시운전을 시행하면서 시스템에서 나타날 수 있는 위험요소를 도출하기 위해 어떠한 방법과 절차를 통해 도출되어야 할 것인지 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 트램 시스템 개요

그림 1의 트램 신호시스템중 진로관리장치, 관제운영지원장치, 진로제어장치, 트램신호장치, 차상운행지원장치, 정보전송장치를 고려하고 도로교통관제실에 위치하는 장치와 도로교통신호제어기는 외부장치로 분류한다. 트램신호장치와 차상운행지원장치는 지점단위의 로컬정보전송장치(UTIS 등)에 의해 인터페이스된다. 관제운영지원장치와 차상운행지원장치는 전역정보전송장치(LTE 등)에 의해 인터페이스된다. 따라서 각각의 구성된 시스템에 대한 상호호환성, 연계성, 인터페이스 요구사항 등의 수행내용을 안정적으로 처리하기 위한 시운전 절차서가 필요하다. 시험절차서를 각각의 구성품에서 발생하는 위험원에 대한 분석에 따라 위험계획, 위험식별, 위험평가, 위험분석, 위험처리 등으로 작성되어야 할 것이다.



<그림 1> 시스템 구성방안

2.2 위험원 분석 방법

2.2.1 국제적 기준 및 국내기준

국제철도 RAMS 활동 규격인 IEC62278(EN50126)에 따르면 위험도 분석은 그 단계를 책임지는 기관에 의해 시스템 수명 주기의 다양한 단계에서 수행되고 문서화되어야 하며 분석방법론, 방법론의 가정, 제한 및 입증, 위험 상태 확인 결과, 위험도 추정 결과와 그들의 신용 등급, Trad-off 연구의 결과, 데이터, 그들의 근거 및 신용 등급, 참고 문헌을 포함하여야 한다. 위험도 평가 및 수용은 표 1과 같다.

<표 1> 위험도 평가 및 수용

위험한 사건의 발생빈도	위험도 등급			
	빈번한	바람직하지 않은	허용할 수 없는	허용할 수 없는
가능성이 있는	허용할 수 있는	바람직하지 않은	허용할 수 없는	허용할 수 없는
때때로	허용할 수 있는	바람직하지 않은	바람직하지 않은	허용할 수 없는
가능성이 희박한	무시할 만한	허용할 수 있는	바람직하지 않은	바람직하지 않은
가능성이 없는	무시할 만한	무시할 만한	허용할 수 있는	허용할 수 있는
존재할 수 없는	무시할 만한	무시할 만한	무시할 만한	무시할 만한
위험 결과의 가혹도				

위험도 평가	위험도 감소/통제
Intolerable	제거되어야 한다.
Undesirable	다만 위험도 감소가 실행 불가능하고 적절히 철도 기관의 동의를 가질 때는 수용해야 한다.
Tolerable	철도 기관의 적절한 통제 및 동의로 수용할 수 있는
Negligible	어떠한 동의 없이 수용할 수 있는

그리고 국내에서도 KS C IEC 62278 규정을 지니고 있다.

2.2.2 국내 관련 규격

국토교통부 고시 제 2014-953호 철도시설의 기술기준의 안전성 분석 수행절차는 표2와 같다.

<표 2> 안전성 분석 수행절차

수행절차	수행내용
잠재위험 확인	충돌·탈선 및 화재 등의 사고를 유발할 수 있는 잠재적인 위험을 식별하고 식별된 위험에 대하여 시나리오를 작성
사고발생 확률 계산	시나리오의 단계별로 사고결과에 따른 피해영향을 분석
사고영향분석	시나리오의 단계별로 사고결과에 따른 피해영향을 분석
안전성 분석	시나리오별 사고발생 확률과 피해정도를 산출하여 안전성을 정량적으로 평가
안전대책 수립	안전성 분석 결과에 따라 정한 안전수준에 부합하도록 안전대책을 수립(다만, 해당 안전수준을 만족하지 못할 경우에는 원인을 규명하고 요구수준에 부합하도록 안전대책을 수립)
안전성분석 결과에 대한 검증	실시설계 준공 이전에 안전성 분석이 적합한 지에 대하여 철도운영자 등을 포함한 5인 이상의 해당 전문가에게 검증·확인

2.2.3 국내 운영처 위험원 분석 기준

국내철도운영처인 한국철도시설공단은 철도 신호설비 안전분석 업무 기준은 '철도시설의 기술수준' (국토교통부고시 제2013-839호)에 정하고 있는 철도 신호설비 안전성분석과 관련하여 설계단계부터 철도신호설비의 위험원 분석 및 대책수립으로 철도사고의 발생가능성을 최소화하고자 마련한 것이다. 표 3은 열차충돌 관련 세부 위험원 분석 및 안전대책을 제시한 것이다. 위험원(L0)은 사고의 유형(열차속도, 승강장 낙하, 신호진로 등), 위험원(L1)은 사고의 관계(장치, 열차상태, 운전취급자 관련 등), 위험원(L2)은 사고의 단계(설계, 시공, 유지보수), 세부원인(내용)을 의미한다.

〈표 3〉 철도신호설비 세부 위험원 분석 예시

구분	사고 대분류	사고 소분류	위험원(제102조)		
			위험원 (L0)	위험원 (L1)	위험원 (L2)
1	열차 충돌	열차 - 열차 충돌	열차진로 제어와 관련된 오류	신호기와 관련된 오류	시공설계의 오류 철도제어신호 제어설비를 구성하는 장치의 고장

2.2.4 트램 적용위험원 도출

표 4는 철도신호설비 세부 위험원 분석에서 트램에 적용 가능성이 있는 위험원을 분류한 것이다. 트램은 철도신호제어설비를 이용하는 것이 아니라 운전사가 직접 제어하는 것으로 적용이 불가능으로 분류하였다.

〈표 4〉 트램 철도신호설비 세부 위험원 적용성

구분	사고 대분류	사고 소분류	위험원(제102조)			적용성
			위험원 (L0)	위험원(L1)	위험원(L2)	
1	열차 충돌	열차 - 열차 충돌	열차진로제어와 관련된 오류	신호기와 관련된 오류	시공설계의 오류	적용 가능
					철도제어신호 제어설비를 구성하는 장치의 고장	적용 불가능
				열차상태 정보와 관련된 오류	시공설계의 오류	적용 가능

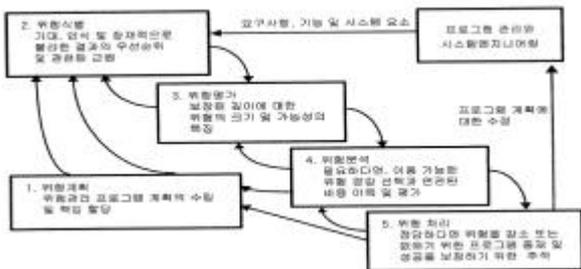
2.3 위험원에 따른 시운전 절차서 적용

2.3.1 시스템엔지니어링 기법 위험관리 프로세스

산업분야의 시스템엔지니어링 콘텍스트에서 위험관리(risk management)는 일정지연, 비용초과, 성능문제, 유해한 환경영향 또는 다른 원하지 않는 결과를 야기시킬수 있는 불확실한 요소에 대한 인식, 평가 및 통제활동 등이 해당된다.

위험관리는 프로세스의 계획(planning), 식별(identification), 평가(assessment), 분석(analysis) 및 처리(handling)의 5가지를 포함한다.

- **위험계획** : 위험관리프로세스의 규격서와 조직책임을 포함하여, 위험이 어떻게 관리될 것인지를 사전에 결정하는 프로세스
- **위험식별** : 가능한 초기에 잠재적 위험과 위험의 근원적 원인을 인식하고, 보다 상세한 위험평가에 필요한 우선순위를 정하는 프로세스
- **위험평가** : 유의할 만한 위험을 특성화하거나 정량화하는 프로세스
- **위험분석** : 평가된 위험을 다루기 위하여 대안을 평가하는 프로세스
- **위험처리** : 행위의 특정 과정을 선택함으로써 위험을 다루는 프로세스



〈그림 2〉 5가지 위험관리 프로세스

2.3.2 시스템엔지니어링 기법 활용 트램 위험관리

표 5는 트램 시운전 위험 중 신호기 일부분에 대하여 프로세스를 작성한 것이다.

〈표 5〉 트램 시운전 위험관리 프로세스 예시

활동	수행내용
위험계획	트램노선의 신호기고장으로 충돌발생
위험식별	신호기 고장
위험평가	열차충돌에 대한 물적, 인적 피해 발생
위험분석	신호기 모순 현시
위험처리	차량의 진행방향과 신호기의 신호가 방향이 다를 경우 차량의 진로방향을 따라 서행하여 통과한다.

2.3.3 시스템엔지니어링 기법 활용 트램 시운전 운영시나리오

표 6은 트램 시운전 위험관리 프로세스를 통해 작성된 돌발 시나리오이다. 트램 시운전 중 발생 가능한 돌발 시나리오 한 부분이다. 아직은 개발 초기단계이며 보다 깊은 연구를 통하여 트램의 시운전에 발생할 수 있는 위험원에 따른 시험절차서를 작성하여야 할 것이다.

〈표 6〉 트램 돌발 시나리오 조치절차 예시

구분	돌발 시나리오
OCC-E-004	신호기 현시 불능
조치절차	교통신호를 우선 준수하여 자동차 교통흐름을 방해하지 말고 교통신호가 정지현시하였을 경우 전방을 주시하여 지속적으로 통과한다. (트램신호기가 고장났을 경우에 한해 도로교통을 우선신호로 한다)
OCC-E-005	신호기 모순 현시
조치절차	차량의 진행방향과 신호기의 신호가 방향이 다를 경우 차량의 진로방향을 따라 서행하여 통과한다.
OCC-E-006	신호기와 선로전환기 현시 불일치
조치절차	차량을 즉시 정지하고 신호기와 선로전환기의 일치 정보가 확인될 때까지 대기한다.
OCC-E-007	수동진로 및 자동진로 모든 불능
조치절차	차량을 즉시 정지하고 관제실로 차량상태 정보를 전송하여 열차위치를 알리고 분기 전방에서 대기하여 조치를 취한다.
OCC-E-008	진로정보 관제센타 송수신 불능
조치절차	서행운전 및 후행열차와의 유선통신으로 차량과 관제센타간의 진행정보를 재 송수신한다.

3. 결 론

국제적·국내적 관련 기준은 EN 50126, KS C IEC 62278 등에 따라 위험관리 수행하고 있으며, 국내 관련 법규 및 운영처의 위험원 관리는 국토교통부 '철도시설의 기술기준', 한국철도시설공단 '철도 신호설비 안전분석 업무기준' 의해서 관리되고 있다. 따라서 트램은 도출된 위험원을 시스템엔지니어링기법의 '위험계획, 위험식별, 위험평가, 위험분석, 위험처리' 절차에 따라 관리하고 시운전 시나리오를 작성하여 최종적으로 시운전 절차서를 개발하여야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 민성기, 권용수, 김의환, "시스템엔지니어링 핸드북", 시스템체계공학원 도서출판, 2010
- [2] 한국철도시설공단, "철도 신호설비 안전성분석 업무기준", 2014
- [3] 국토교통부, "철도시설의 기술기준", 2014
- [4] 한국표준협회, "철도용 전기 설비의 신뢰성, 가용성, 유지 보수성, 안전성(RAMS) 관련 시방서 및 설명서", 2004
- [5] BSi, "Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)", 1999
- [6] 국토교통부, "철도안전법", 2015