

# ICT기반 지역제어센터 개발을 위한 예비위험원 분석

성 유 석\*, 백 종 현°, 김 건 엽\*, 김 영 주\*

## Preliminary Hazard Analysis for Development of ICT-Based Local Control Center

Yu-Suk Sung\*, Jong-Hyen Baek°, Gonyop Kim\*, Youngju Kim\*

### 요 약

저밀도 지선 구간의 운영 효율성 향상을 위한 ICT기반 차상중심 열차제어시스템이 제안되었다. 이와 더불어 기존 열차집중제어노선과 연계하는 새로운 ICT기반 지역제어센터 개발 또한 필요하다. 이러한 개발 시스템의 정량적 목표를 만족하기 위해서는 RAMS 활동이 요구된다. 본 논문에서는 예비위험원 분석을 통하여 위험원과 위험원 기여 인자를 도출하고, 위험도가 허용할 수 있는 수준으로 제어되도록 안전대책을 수립하였다.

**Key Words** : RAMS, Preliminary hazard analysis, Risk, Local control center, ICT

### ABSTRACT

ICT-based on-board oriented train control system has been proposed to improve operation efficiency in low-density railway line. It is also needed to develop a new ICT-based local control center which relates to existing centralized traffic control lines. In order to meet the qualitative target of these developing system, RAMS activities are required. In this paper, through preliminary hazard analysis, hazards and their contributing factors are addressed, then countermeasures are established to control the risk to an acceptable level.

### 1. 서 론

열차 운행횟수가 적은 국내 철도 지선에서 주요 간선과 동일한 지상중심 제어 설비를 운용하는 경 적자 운용으로 인하여 유지보수 업무가 소홀해져 이러한 문제를 해결하기 위해 개발되고 있는 ICT기반 차상중심 열차제어시스템<sup>1-4)</sup>은 저밀도 지선 구간에서 지상 설비를 최소화하여 운영 및 유지보수 비용 절감과 안정성 향상을 목적으로 하는 차상중심의 무선기반 열차제어시스템이다. ICT기반 차상중심 열차제어시스템의 효과적인 운영을 위해서는 그림 1과 같이 ICT기반

차상제어장치 및 선로변 제어장치를 포함하여 기존 CTC 노선 및 도로교통과 연계하는 기능을 갖는 새로운 ICT기반 지역제어센터(이하 'ICT시스템'으로 지칭)가 필요하다.

ICT기반 지역제어센터 개발을 위해 신뢰성(Reliability), 가용성(Availability), 유지보수성(Maintainability) 목표에 만족하기 위한 계획이 요구된다. 이러한 RAMS 활동은 시스템에 요구된 정량적 목표를 만족하도록 관리하여 객관적인 정보를 통해 목표 달성을 입증하고(RAM), 시스템의 위험원으로 인한 리스크가 허용할 수 있는 수준으로 건전하게 제어되

※ 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

♦ First Author : Korea Railroad Research Institute, sfamily@krii.re.kr, 정희원

° Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, jhbaek@krii.re.kr, 정희원

\* Korea Railroad Research Institute, gykim@krii.re.kr, yjkim@krii.re.kr, 정희원

논문번호 : KICS2015-06-202, Received June 30, 2015; Revised September 1, 2015; Accepted September 7, 2015

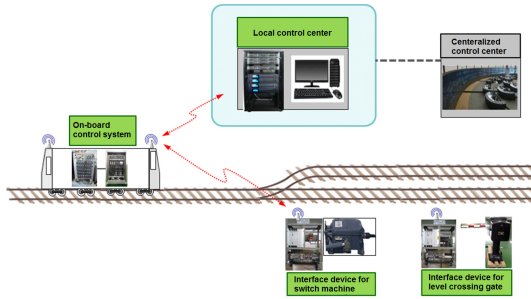


그림 1. ICT기반 차상중심 열차제어시스템  
Fig. 1. ICT-based on-board oriented train control system

있음을 객관적인 정보를 통해 입증 (Safety)하는 절차이다<sup>[5]</sup>. 철도신호시스템 위험원 분석 기법의 종류와 특징은 [6]에 나타나 있으며, 이 중 예비위험원 분석 (Preliminary Hazard Analysis, PHA) 기법 관련 연구를 [7-9]에서 찾아볼 수 있다. 본 논문에서도 예비위험원 분석을 바탕으로 RAMS 활동 내용을 기술한다.

예비위험원 분석은 본격적인 위험성 분석을 수행하기 위한 준비단계에서의 가장 우선적으로 수행되는 위험성 분석을 의미하며 시스템 위험 분석을 수행하기 위한 최초 작업이다. 이 기법은 시스템 설계 안에 내재되어 있거나 관련되어 있는 위험요인, 위험상황, 사건 등을 제품 설계단계 초기에 규명해 내고자 하는 것이다. 구체적으로는 시스템 내의 어디에 어떤 위험 요소가 존재하는지, 어느 정도의 위험 상태에 있는지, 안전기준 및 시설의 수준은 어떠한지를 정성적으로 평가한다. 이와 같은 과정을 통하여 제품의 주요 위험 요인은 시작단계부터 제거되거나 최소화되고, 혹은 통제될 수 있게 된다. 예비위험원 분석은 그림 2와 같은 과정으로 이루어진다.

## II. 위험원 평가

시스템의 위험원은 사람을 잠재적으로 사망, 손상, 손실 등을 유발시킬 수 있는 잠재적 위험요소를 의미

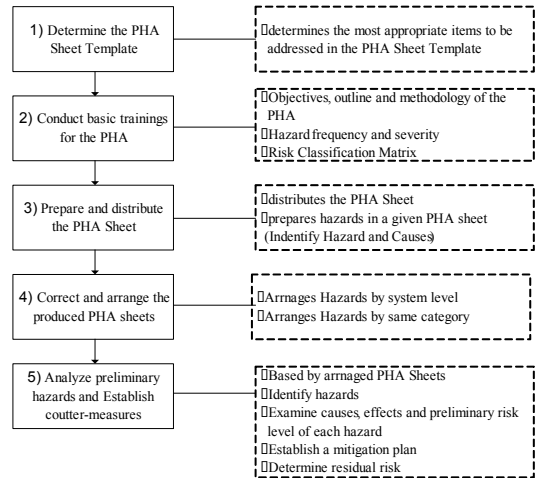


그림 2. 예비위험원 분석 과정  
Fig. 2. Preliminary hazard analysis (PHA) process

한다. 즉, 위험원은 사고를 발생시킬 수 있는 시스템 내부의 결함 또는 외부적인 요인들을 나타낸 것으로 위험원과 사고는 직접적인 관련이 있다. 사고로 발생하는 시스템 내부의 결함이 위험원이며, 이러한 위험원들이 시스템 내부의 요인 또는 외부의 요인에 의해 시스템의 장애를 유발하고 이것이 사고로 이어지게 된다. 시스템의 안전성을 확보하기 위해서는 위험원이 제거되거나 완화되어야 한다. 이러한 위험원 확인 및 도출은 시스템 안전성 확보에 있어서 매우 중요한 요소가 된다. 위험원 분석 결과, 다음의 표에 따라 위험원의 수용여부가 결정된다. 표 1은 위험요소의 심각도를 정의하며, 표 2는 위험요소의 발생 가능성을 제시하고 있다<sup>[10,11]</sup>.

위험도(Risk)는 다음과 같이 사고의 발생확률 (Probability)과 사고가 발생했을 경우 심각도(Severity)의 곱으로 정의한다.

$$\text{위험도(Risk)} = \text{발생확률(Probability)} \times \text{심각도(Severity)}$$

표 1. 위험원 심각도 분류  
Table 1. Hazard severity classification

Severity level	Class	Results to the people or the environment	Results to system
Catastrophic	I	Fatalities and/or multiple severe injuries and/or major damage to the environment	Whole system loss
Critical	II	Single fatality and/or severe injury and/or significant damage to the environment	Loss of a major system
Marginal	III	Minor injury and/or significant threat to the environment	Severe subsystem damage
Insignificant	IV	Possible minor injury	Minor subsystem damage

표 2. 위험원 발생 가능성 수준  
Table 2. Levels of probability of hazard occurrence

Frequency level	Class	Definition	Frequency of occurrence per operating time
Frequent	A	It is likely to occur frequently and will be continually experienced.	$f > 10^{-5}$
Probable	B	It will occur several times and can be expected to occur often.	$10^{-6} < f \leq 10^{-5}$
Occasional	C	It is likely to occur several times and can be expected to occur several times.	$10^{-7} < f \leq 10^{-6}$
Remote	D	It is likely to occur at some time in the system life cycle and can reasonably be expected to occur.	$10^{-8} < f \leq 10^{-7}$
Improbable	E	It is unlikely to occur but is possible and can be assumed that it may exceptionally occur.	$10^{-9} < f \leq 10^{-8}$
Incredible	F	It extremely unlikely to occur and can be assumed that it may not occur.	$f \leq 10^{-9}$

사고의 발생확률은 시스템이 고장나고 그것이 사고를 유발할 수 있는 확률을 의미하며, 사고의 심각도는 사고로 야기되는 손실을 의미한다. 이러한 사고발생 확률과 심각도는 정성적 또는 정량적으로 정의되고 평가될 수 있다. 위험도 분석은 시스템의 안전성 확보에 있어서 매우 중요한 요소로, 시스템 위험도를 추정하고, 도출된 위험원을 제거하거나 완화시킬 대책을 수립하기 위해 사용된다. 표 3에 위험도 등급을, 위험원의 발생빈도와 심각도에 따른 위험도 매트릭스를

표 3. 위험도 등급  
Table 3. Risk level

Category	Level	Definition
Unacceptable	R4	Risk shall be eliminated.
Undesirable	R3	Risk shall only be accepted when risk reduction is impracticable and with agreement.
Tolerable	R2	Risk is acceptable with adequate control and agreement.
Negligible	R1	Acceptable without any agreement.

표 4. 위험도 매트릭스  
Table 4. Risk matrix

Severity \ Frequency	Severity			
	Negligible	Marginal	Critical	Catastrophic
Frequent	IV	III	II	I
Probable	R3	R4	R4	R4
Occasional	R2	R3	R3	R4
Remote	R1	R2	R3	R3
Improbable	R1	R1	R2	R2
Incredible	R1	R1	R1	R1

표 4에 나타내었다<sup>10,11)</sup>.

### III. 예비위험원 분석

#### 3.1 주요 위험원

ICT 시스템이 반드시 제어해야 하는 주된 위험을 표 5에 제시하였다. 기술적 관점에서 보면, 이들은 열차제어 기술용어로 표현되고, 일반적으로 철도업계의 성숙도와 열차제어기술의 성숙도를 기반으로 하여, 제시된 주된 위험에 대한 목록은 완전하다고 여겨진다. ICT 시스템의 ATP 부분은 주된 위험을 방지하기 위해 설계되어야 한다.

일반적인 철도시스템과 ICT 시스템 제품의 특정 기능에 대한 다음과 같은 가정을 기반으로 하여, 이런 주된 위험은 완전하다고 간주된다.

표 5. ICT시스템 위험도  
Table 5. Hazards of ICT system

Hazard ID	Description
Hazard A	Risk of a collision with other trains
Hazard B	A train entering to unsafe section of switch machine
Hazard C	A train exceeding safe speed limit
Hazard D	A train moving to the wrong direction
Hazard E	When switch machine operates before the train exits the section
Hazard F	Collision when people or vehicles are crossing
Hazard G	Collision with workers on the track
Hazard H	Unconfirmed train on the track
Hazard I	Damages of on-board drive and brake system

- 물리적인 궤도 레이아웃을 나타내는 가이드웨이는 선로전환기에 의해 상호 연결되고 가이드웨이 말단에 의해 종료된 궤도로 구성된다.
- 열차는 함께 연결된 하나 이상의 차량으로 구성된다.
- 차상 승객들이 열차 밖으로 떨어지지 않도록 하기 위해, 열차에 출입문이 장착되어 있다.
- 이동권한을 발하여 열차 이동에 대한 안전한 조정이 달성된다. 특정 열차에 대한 이동권한은 다음과 같은 세 가지 요소로 구성된다.
  - 인가된 이동방향
  - 인가된 위치 한계(즉, LoMA)
  - 인가된 제한속도

3.2 위험원 기여 인자

결함수해석(Fault Tree Analysis; FTA) 기법을 이용하여 ICT 시스템 레벨 기능성에서의 기여 인자를 확인하였다. 주된 위험은 ICT 시스템 기능에서 낮은 레벨 이벤트로 분류되고, 이런 주된 위험에 대한 이벤트 기여 인자들은 시스템 레벨 위험으로 추가로 분류된다. Fault Tree는 ICT 시스템과 ICT 시스템간 인터페이스에서 주된 위험 기여인자를 하위 위험으로 분해하기 위해 사용된다. FTA는 상위 이벤트로부터 상위 이벤트가 발생할 수 있도록 하는 기본 이벤트까지 하향식으로 진행되는 연역적 기법을 이용한 하향식(Top Down) 접근법이다. 기본 이벤트는 ICT 시스템 ATP 안전필수 기능 고장이다. Fault Tree는 착안할 수 있는 위험에 대한 경로를 확인하며, 이는 단일 또는 다수의 기본 이벤트가 발생했기 때문에 발생할 수 있다.

표 6. 위험원 기여 인자  
Table 6. Hazard contributing factors

PH ID	Description
01	Malfunction of a switch machine
02	Malfunction of a level crossing gate
03	Train movements without authority for route request
04	Unintended failure of train connection
05	Unintended movement of a train
06	Unconfirmed train on the track
07	Failure of emergency stop devices
08	Hindrance for train movements
09	Drive mode change to unsafe condition

3.3 ICT시스템 위험원과 기여인자와의 관계

앞에서 기술된 ICT시스템 위험원과 기여인자와의 상관관계를 확인한다.

- 1) 위험원 A - 다른 열차와 충돌의 위험이 있을 이런 위험은 다음과 같은 시나리오에 의해 야기될 수 있다.
  - 선로전환기가 오작동하거나 작동하지 않는다.
  - 열차가 무심코 분리된다. 비상정지 시스템에 고장이 발생한 경우, 열차가 그 구역 이내에서 정차해야 할 경우에는 분리된 열차 및/또는 파손된 부품 일부가 구역 밖으로 튀어 나갈 수도 있다.
  - 의도하지 않은 열차 움직임(표류나 롤백).
  - 비상정지 시스템에 고장이 발생
  - 선로 상에 있는 미확인 열차

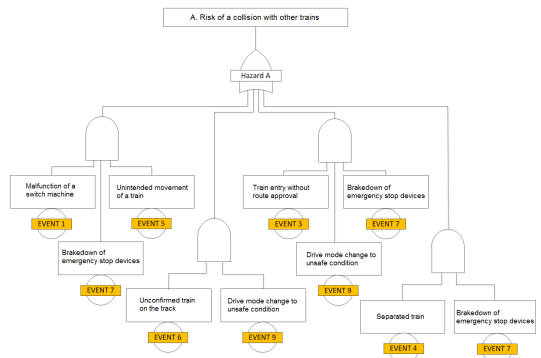


그림 3. 위험원 A  
Fig. 3. Hazard A

- 2) 위험원 B - 안전하지 못한 선로전환기 구역에 진입하는 열차

이 위험은 다음과 같은 시나리오에 의해 야기될 수

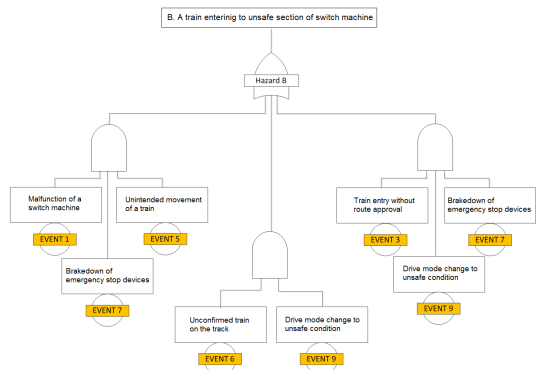


그림 4. 위험원 B  
Fig. 4. Hazard B

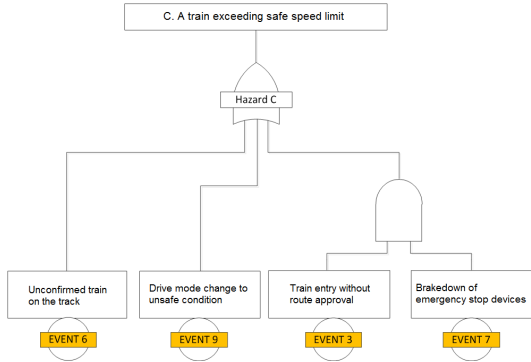


그림 5. 위험원 C  
Fig. 5. Hazard C

있다.

- 선로 상에 있는 미확인 열차
- 선로전환기가 오작동하거나 작동하지 않음
- 비상정지시스템에 고장이 발생한 경우

3) 위험원 C - 안전하다고 알려진 속도를 초과하는 열차

이 위험은 다음과 같은 시나리오에 의해 야기될 수 있다.

- 선로 상에 있는 미확인 열차
- 인가된 제한속도를 위반하는 열차
  - 비상정지 시스템에 고장이 발생한 경우
  - 무선통신 실패로 인한 제어명령 두절에서 초래된 고장이 발생한 경우

4) 위험원 D - 선로에서 잘못된 방향으로 이동 중인 열차

이 위험은 다음과 같은 시나리오에 의해 야기될 수 있다.

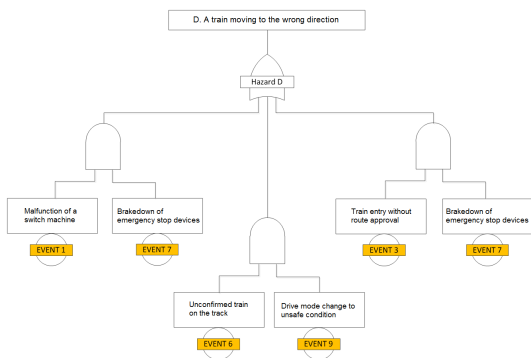


그림 6. 위험원 D  
Fig. 6. Hazard D

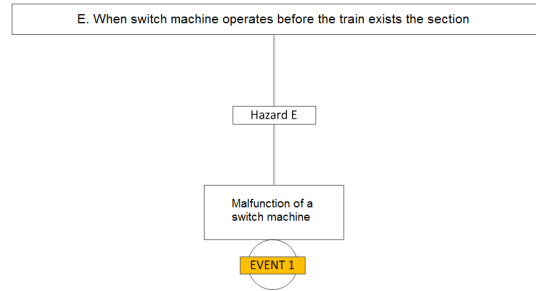


Fig. 7. Hazard E  
그림 7. 위험원 E

- 비상정지 시스템에 고장이 발생한 경우
  - 표류하거나 돌백한 열차는 인가되지 않은 방향으로 이동할 수도 있다.
- 지상설비 제어용 인터페이스 장치의 진로승인 없이 열차가 진입하는 경우
- 선로 상에 있는 미확인 열차

5) 위험원 E - 점유하거나 선로전환기 구역을 빠져나가지 못한 채 열차 아래의 선로전환기가 동작할 경우 이 위험은 다음과 같은 시나리오에 의해 야기될 수 있다.

- 열차가 선로전환기에 접근 하고 있으며, 열차가 선로전환기 구역이 아닌 곳에 정차하는지가 보장 되지 않은 경우의 선로전환기 전환
- 선로전환기 자체적인 고장

6) 위험원 F - 사람 또는 차량의 선로 횡단 시 충돌할 경우

이 위험은 다음과 같은 시나리오에 의해 야기될 수 있다.

- 건널목 차단기가 오작동하거나 작동하지 않는다.

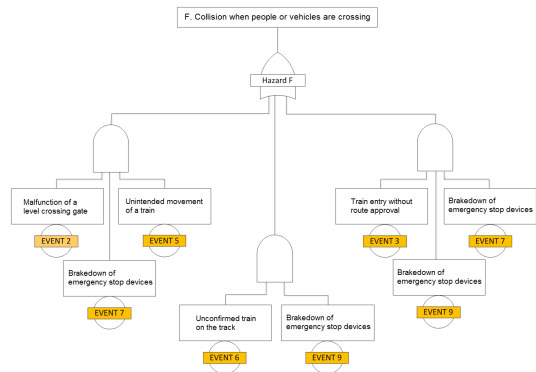


Fig. 8. Hazard F  
그림 8. 위험원 F

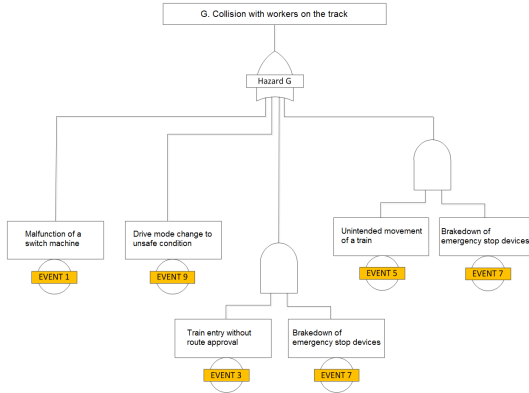


Fig. 9. Hazard G  
그림 9. 위험원 G

- 비상정지 시스템에 고장이 발생한 경우
  - 열차가 그 구역 이내에서 정차해야 할 경우에는 분리된 열차 또는 파손된 부품 일부가 구역 밖으로 튀어 나갈 수도 있다.
- 의도하지 않은 열차 움직임(표류나 롤백)
  - 비상정지 시스템에 고장이 발생
- 선로 상에 있는 미확인 열차

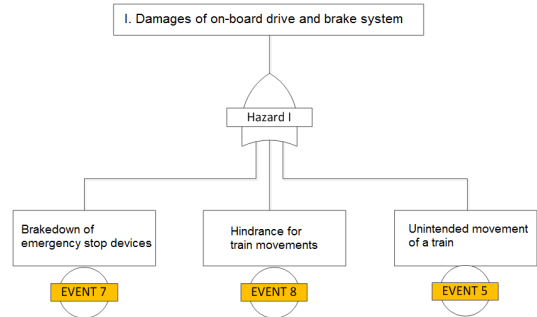


Fig. 10. Hazard I  
그림 10. 위험원 I

- 7) 위험원 G - 열차가 궤도상에서 작업 중인 인력과 부딪히는 경우
- 이 위험은 다음과 같은 시나리오에 의해 야기될 수 있다.
- 선로전환기가 오작동하거나 작동하지 않는다.
  - LoMA를 위반하는 열차
    - 비상정지시스템에 고장이 발생한 경우
    - 열차는 궤도에서 작업 중인 인력이 있는 폐쇄된 구역과 부딪힐 수도 있다.
  - 의도하지 않은 열차 움직임

표 7. ICT 시스템 예비 위험원 분석  
Table 7. Preliminary hazard analysis of ICT system

PH ID	Hazard ID	Related subsystem/item	Location	Cause of hazard	Consequence of hazard	Risk before			Description of countermeasures	Risk after		
						F	S	R		H	F	S
01	A	Switch machine / On-board computer / Wayside computer	Field equipment	Bad communication status between a train and a switch machine / Failure of a switch machine	Collision / Derailment / Staff injury	D	I	R3	Wayside wireless device should be able to communicate with a train anywhere in the ICT section / In case of a failure of a single wireless network component, train operation should not be disturbed by dualizing the coverage and power of the ICT section.	F	I	R1
	B	"	"	"	"	D	I	R3	"	F	I	R1
	E	"	"	Malfunction of a switch machine	Derailment	D	I	R3	"	F	I	R1
02	F	Level crossing gate / On-board computer / Wayside computer	"	Failure of a level crossing gate	Collision / Derailment / Casualties	D	I	R3	"	F	I	R1
03	A	On-board computer / Wayside computer	"	Entry of an unscheduled train / Train entry by operator's mistake	Collision / Derailment / Staff injury	D	I	R3	In case a train enters the ICT section without route approval, the train should avoid collision by applying the emergency brake.	F	I	R1
	B	"	"	"	"	D	I	R3	"	F	I	R1
	C	"	"	"	"	D	I	R3	"	F	I	R1
04	A	Wayside computer	"	Train separation caused by failure of a coupler	Collision / Derailment / Staff injury	D	I	R3	By recognizing the separated train, the emergency brake should be applied in order that the train cannot be passed the occupied location.	F	I	R1

표 8. ICT 시스템 예비 위험원 분석 (계속)  
Table 8. Preliminary hazard analysis of ICT system (cont'd)

PH ID	Hazard ID	Related subsystem/item	Location	Cause of hazard	Consequence of hazard	Risk before			Description of countermeasures	Risk after		
						F	S	R		H	F	S
05	A	Transponder tag	"	Measurement failure of location/speed	Collision / Derailment / Staff injury	D	I	R3	In case communication with on-board device is impossible due to the failure of consecutive three tags, the emergency brake should be applied. / In case of a failure of a tag, train operation is not affected.	F	I	R1
	B	"	"	"	"	D	I	R3	"	F	I	R1
06	A	Transponder tag	"	Unable to detect a train location	Collision / Derailment / Staff injury	D	I	R3	Wayside wireless device should be able to communicate with a train anywhere in the ICT section / In case of a failure of a single wireless network component, train operation should not be disturbed by dualizing the coverage and power of the ICT section.	F	I	R1
	B	"	"	"	"	D	I	R3	"	F	I	R1
07	A	Emergency stop button	"	Failure of a button	Collision / Derailment	D	I	R3		F	I	R1
09	A	Transponder tag	"	Unable to detect a train location	Collision / Derailment / Staff injury	D	I	R3	Wayside wireless device should be able to communicate with a train anywhere in the ICT section / In case of a failure of a single wireless network component, train operation should not be disturbed by dualizing the coverage and power of the ICT section.	F	I	R1
	B	"	"	"	"	D	I	R3	"	F	I	R1

- 비상정지 시스템에 고장이 발생한 경우
- 표류하거나 롤백한 열차는 궤도에서 작업 중인 인력이 있는 폐쇄된 구역과 부딪칠 수도 있다.

#### IV. 결론

8) 위험원 I - 파손된 차상 주행 및 제동 시스템 이 위험은 다음과 같은 시나리오에 의해 야기될 수 있다.

- 비상정지시스템에 고장이 발생한 경우
- 열차이동에 방해를 받는 경우
- 의도하지 않은 열차 움직임
  - 제동장치 고장으로 인해 열차가 멈추지 않음

#### 3.4 원인 분석과 대책 수립

위험도를 완화시키기 위한 제어대책을 결정하고, 위험도를 최소한 허용가능 수준으로 감소시키고 잔존 위험도를 결정하기 위해 시스템에 관련된 각 위험원을 유발시키는 원인에 대하여 분석하였으며, 그 결과를 표 7, 8에 정리하였다.

지선 구간에서의 운영 효율성 향상을 위해 무선통신을 활용하여 차상에서 직접 열차 진로상의 선로변설비들을 제어하는 차세대 열차제어시스템인 ICT기반 차상중심 열차제어시스템이 제안, 개발중이다. 이와 더불어 기존 CTC 노선과 연계하는 새로운 지역제어센터의 개발이 요구된다. 이러한 ICT기반 차상중심 열차제어시스템과 지역제어센터를 개발하는데 있어 시스템 안정요구사항을 높이기 위해서는 RAMS 활동이 수반되어야 하는데, 본 논문에서는 RAMS 활동 중 예비위험원 분석을 수행하였다.

국제 규격인 IEC 62278/62279/62425<sup>[8-10]</sup>를 토대로 안전활동에 필요한 분석 절차와 기법을 사용하여 위험원을 도출하였고, 위험도 분석은 FTA 방법을 적용하였다. 예비위험원 분석대상은 선로전환기, 건널목 차단기를 각 포함하는 ICT시스템이며, 개입된 하위장비들은 이외에 지/차상 컴퓨터, 트랜스폰더 태그, 비상정지 버튼 등이 있다. 위험원 원인으로는 선로전환기, 건널목 차단기 등의 하위장비의 고장 및 오작동 또는 각 장비와 열차와의 통신상태 불량, 열차 진입 오류,

열차분리, 열차 위치/속도 측정 실패 등으로 분석되었다. 이에 따른 위험원 결과는 충돌, 탈선, 직원 부상, 인명 피해 등이다.

대책 수립 전 위험도는 위험원 발생 확률 등급 D, 위험도 심각도 등급 I로 'R3, 바람직하지 않음'으로 평가되었다. 통신불량에 대한 대책으로는 커버리지 및 전원 이중화, 열차오류 및 열차분리에 대한 대책으로는 비상정지, 열차 위치/속도 측정 실패에 대한 대책으로는 비상제동 등의 대책을 수립하였다. 대책 수립 후는 위험원 발생 확률 등급이 모두 F로 낮아져 최종 위험도는 'R1, 무시 가능한' 수준으로 정의되었고, 이는 위험도 수용 지침에 따라 허용 가능한 범위에 포함된다. 이러한 예비위험원 분석을 통해 수립된 저감 대책은 반드시 설계에 적용되고 관리해야 할 것이다. 추후 예비위험원 분석에 따라 결정된 위험도를 근거로 안전무결성레벨(Safety Integrity Level; SIL) 할당이 이루어져야 한다.

## References

- [1] C. H. Park, H. Y. Choi, and J.-H. Baek, "Preliminary field trial of improved train control system using on-board control," *J. KICS*, vol. 39c, no. 3, pp. 298-306, Mar. 2014.
- [2] J. H. Baek, J. G. Hwang, H. J. Jo, J. T. Kim, and K. M. Lee, "A study on the operation scenario of onboard oriented train control system of low-density branch railway lines," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 140-141, Pyeongchang, Korea, Jan. 2013.
- [3] J.-H. Baek, H.-J. Jo, E.-K. Chae, H. Y. Choi, and Y.-G. Kim, "Feasibility study of improved train controls system using on-board controller for intelligent control of trackside facilities," *J. Korean Soc. Railway*, vol. 16, no. 6, pp. 528-533, Dec. 2013.
- [4] H.-J. Jo, J.-H. Baek, Y.-G. Kim, and K.-M. Lee, "A study on the on-board centered train control system to enhance efficiency of low-density railway line," *J. Korea Academia-Ind. Cooperation Soc.*, vol. 13, no. 11, pp. 5434-5441, Nov. 2012.
- [5] H.-S. Yun, K.-S. Lee, S.-K. Ryou, and D.-I. Yang, "A study on the RAMS analysis of urban maglev train control system," *J. Korean Soc. Railway*, vol. 14, no. 6, pp. 515-525, Dec. 2011.
- [6] C.-L. Li, H.-H. Jung, S.-H. Oh, H.-S. Yun, and K.-S. Lee, "A study on hazard analysis techniques for railway signalling system," in *Proc. Autumn Conf. Korean Soc. Railway*, pp. 232-238, Jeju, Korea, Oct. 2011.
- [7] K.-M. Lee, D. Shin, J. Lee, and Y.-K. Kim, "A study on the hazard identification for the ATP system using the PHA," in *Proc. 2006 Spring Conf. Korean Soc. Railway*, pp. 17-24, May 2006.
- [8] D. Shin, J.-H. Baek, K.-M. Lee, and Y.-K. Kim, "A study on the PHA of ATP equipment for the Korean tilting train," in *Proc. 2009 Spring Conf. Korean Soc. Railway*, pp. 1959-1962, Gyeongju, Korea, May 2009.
- [9] J. Heo, K. Lee, and H. Hwang, "Preliminary hazard analysis for smart train coupling & decoupling," in *Proc. Autumn Conf. Korean Soc. Railway*, pp. 619-622, Jeju, Korea, Oct. 2011.
- [10] M. G. Park, "RAMS management of railway systems: Integration of RAMS management into railway systems engineering," Ph. D. Dissertation, Univ. Birmingham, Aug. 2013.
- [11] BS EN 50126-1, *Railway applications - The Specification and Demonstration Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). Part 1: Basic Requirements and Generic Process*. London: British Standards Institution (BSI), 1999.
- [12] IEC 62278, *Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*, 2002.
- [13] IEC 62279, *Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems*, 2002.
- [14] IEC 62425, *Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling*, 2007.



**성 유 석 (Yu-Suk Sung)**



2003년 8월 : 서울대학교 전기공학부 졸업  
2014년 8월 : 서울대학교 전기. 컴퓨터공학부 박사  
2014년 12월~현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야> 무선통신, 열차제어,

**김 건 엽 (Gonyop Kim)**



2008년 6월 : University of Toronto 기계공학과 졸업  
2011년 2월 : 한국과학기술원 로봇공학과 석사  
2011년 2월~현재 : 한국철도기술연구원 주임연구원

<관심분야> 로봇공학, 철도교통

**백 종 현 (Jong-Hyen Baek)**



1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 졸업  
1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사  
2009년 8월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사  
1997년 1월~현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야> 현대제어, 지능형 시스템, 열차제어

**김 영 주 (Youngju Kim)**



2002년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업  
2004년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 석사  
2010년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 박사  
2010년 9월~2015년 3월 : (주) 삼성전자 책임연구원

2015년 4월~현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원  
<관심분야> 무선통신시스템, 철도통신