

# 철도시스템의 위험도 평가를 위한 새로운 접근방안

## New approach for risk assessment in the railway system

정의진\*, 이종우\*\*, 김종기\*\*\*, 신덕호\*\*\*\*, 김양모\*\*\*\*\*

Joung, Eui-Jin\*, Lee, Jong-Woo\*\*, Kim, Jong-Ki\*\*\*, Shin, Duck-Ho\*\*\*\*, Kim, Yang-Mo\*\*\*\*\*

---

### Abstract

In these days, as the scale of our technology becomes larger and more highly advanced, the magnitude of an accident tends to be large. For this reason, in some systems whose accident may cause a large-scale and long-term catastrophe, a preliminary and quantitative safety assessment has become required before its construction. A method developed for this requirement is risk assessment. In this study, we focused on the methodology of probabilistic risk assessment, which has been developed mainly in the field of nuclear power industry, and considered the process to adopt this method to railway system in order to establish a scientific and comprehensive way of safety assessment.

---

### 1. 서론

철도시스템의 신호보안장치에 있어서 fail-safe 기술은 과거 발생한 사고 등 쓰라린 경험으로부터 배우고 오랜 세월을 거쳐 쌓아 올린 것이다. 컴퓨터 제어신호시스템의 개발에 있어서도 여러 가지 안전기술이 만들어 졌고, 그 후도 노하우는 축적되고 있는 중이다. 마이크로 일렉트로닉스 기술을 도입한 신호보안장치의 개발은 앞으로도 적극적으로 행해지겠지만, 진행된 기술에 의한 장치의 개량으로 과거의 기술적 교훈이 무색해지거나, 철도안전이 손상되어서는 안된다. 이제까지 배양된 노하우에 입각하여 높은 안전성·신뢰성을 가진 시스템이 만들어지도록 환경 정비를 하는 것 또한 중요한 사항이다.

이러한 철도시스템의 안전성 확보를 위해서 선행되어야 할 작업은 현재의 국내 철도시스템의 안전성 확보 정도를 명확히 파악하는 것이다. 즉, 현재 철도시스템의 안전성 확보 정도를 정확히 파악하고 부족한 부분은 보완함으로써 앞으로의 정책 결정의 지표로 삼는 것은 대단히 중요한 작업이다. 이를 위해 본 논문에서는 철도시스템의 안전성을 과학적, 종합적으로 평가해서 안전성 확보를 위한 정책결정에 도움을 주기 위한 철도시스템에 맞춘 위험도 평가 방법에 대하여 고찰하고자 한다.

---

\* 한국철도기술연구원, 철도신호통신연구팀, 031-461-8531(교환 185), ejjoung@krri.re.kr  
\*\* 한국철도기술연구원, 철도신호통신연구팀, 031-461-8531(교환 179), jwlee@krri.re.kr  
\*\*\* 한국철도기술연구원, 철도신호통신연구팀, 031-461-8531(교환 192), jkkim@krri.re.kr  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원, 철도신호통신연구팀, 031-461-8531(교환 237), ducko@krri.re.kr  
\*\*\*\*\* 충남대학교 전기공학과 교수, 042-821-5657, ymkim@ee.chungnam.ac.kr

## 2. 위험도 평가 방법

그림 1은 철도시스템의 위험도 평가방법에 대하여 나타낸 것이다. 철도시스템의 특징에 따라 순차적으로 살펴보면 다음과 같다.

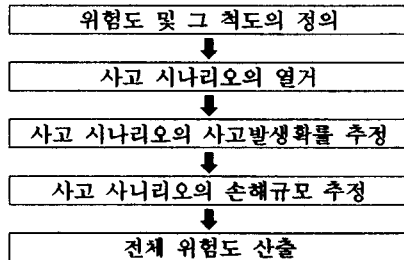


그림 1. 위험도 평가의 일반적인 순서

### 2.1 위험도 및 위험도 평가 척도의 정의

위험도란 위해(危害) 사상에 따라 발생하는, 단위시간당 손해규모의 상정 값으로 정의할 수 있다. 여기에서 손해를 인명 손실로 생각할 경우, 가장 기본적인 단위 량으로서 “사망자 수”를 들 수 있다. 그러나 사고의 중대함과 사망자 수는 반드시 단순한 비례관계에 있다고는 말할 수 없기 때문에 위험도 평가에서는 손해의 양을 “사망자 수”와 “사망사고 건수”의 두 가지 면에서 고려하여야만 한다. 따라서 위험도 평가 척도 면에서 위험도를 “1년 당 사망자 수” 및 “1년 당 사망사고 건수”로 놓을 수 있다.

### 2.2 사고 시나리오의 열거

사고 시나리오란 어떠한 원인으로 어떠한 사고가 일어나고 그 결과는 어떻게 되는가 라고 하는 일련의 사항으로, 위험도 평가에서는 생각할 수 있는 사고 시나리오를 세세하게 열거할 필요가 있다. 그런데 철도사고의 경우에는 사고원인이 같더라도 사고가 어디에서 어떻게 발생하였는가에 따라 결과가 크게 달라진다는 어려움이 있다. 예를 들어 승객의 사망이라는 관점에서 보면, 원래 열차에 어느 정도의 인원이 승차하고 있었는가가 사고 결과를 크게 좌우한다. 그러므로 사고 시나리오를 원인 측과 발생 환경 측의 두 가지로 나누고 고려해야할 필요가 있다.

표 1은 철도시스템에 있어서 열차의 전복이나 충돌 등 열차 사고를 일으킬 수 있는 요인을 철도 신호시스템의 관점에서 한정하여 살펴본 것이다.

### 2.3 사고 시나리오의 사고 발생확률 추정

위험도 평가에 있어서 사고 발생 확률을 추정하는데 가장 많이 사용되는 방법은 FTA나 ETA 등 트리 형 해석이다. 그러나, 철도에서는 사고의 인과 관계를 체계적으로 기술하는 것이 어렵기 때문에 그동안의 많은 사고경험과 사고데이터를 이용하는 방법을 고려할 수 있다.

표 1. 위험도 평가에서 고려한 사고 원인

No.	대분류	소분류				
1	자동차의 충돌	건널목 사고	제1종 건널목	장해물검지장치가 있음	소형자동차	
2				장해물검지장치가 없음	소형자동차	
3			제3종 건널목		소형자동차	
5			제1종 건널목	장해물검지장치가 있음	대형자동차	
6				장해물검지장치가 없음	대형자동차	
7			제3종 건널목		대형자동차	
8			무차단 (제1종 건널목)			
9			무경보 (제3종 건널목)			
10			병행도로로부터 자동차 진입			
11			고선도로 교량으로부터 자동차 전락			
12	신호모진	지하철	복선(AF)	ATC		
13			복선(DC-bias)	ATS		
14		국철	복선(Impulse)	ATS		
15	단선(Impulse)		ATS			
16	대용폐색에서의	폐색확인 미스	단선			
17			복선			
18	인적 미스	진로확인 미스	단선			
19			복선			
20	신호보안장치	신호기의 착오	장내신호기			
21			출발신호기			
22		현시	폐색신호기			
23		분기기 도중전환				
24	ATS 불량					
25	ATC 불량					

### 2.3.1 운전사고 데이터베이스

각 사고 시나리오에 의한 사고 발생 확률을 산출하기 위한 데이터 원으로서 일정시간 이상의 열차 지연 등을 포함한 사건 자료를 이용할 수 있다.

### 2.3.2 서버 시스템의 분할

데이터베이스에서 사고 데이터를 얻었으면 어느 사고 시나리오에 있어서 사고의 평균적인 발생 확률은 사고건수를 사고와 관계하는 트라이얼 횟수로 나누어서 구할 수 있다.

$$\text{발생확률} = \frac{\text{사고건수}}{\text{트라이얼 횟수}} \quad (1)$$

그러나, 이렇게 해서 얻어진 값은 평균적인 사고 발생률을 나타내는 것에 지나지 않으며, 각 선구의 특징 등을 반영하고 있지 않기 때문에, 그대로 위험도 평가에 이용하는 것은 의미가 없다. 즉, 이 값만으로 다른 종류의 열차제어시스템의 안전성을 비교하는 것은 어려우며, 새로운 장치가 도입된 경우의 안전성 개선효과를 평가하기도 어렵다. 그림 2는 선로형태, 신호장치, 열차제어장치의 속성에 따라 국내 철도신호시스템을 4 종류의 서브시스템으로 분류한 예를 나타낸 것이다.

철도 신호시스템				선로형태
지하철		국철		
복선		복선	단선	신호장치
AF 궤도회로	DC Bias 궤도회로	임펄스 궤도회로	임펄스 궤도회로	
ATC	ATS	ATS	ATS	열차제어장치

그림 2. 서브 시스템으로의 분할

서브시스템으로 분류한 후에는 각 서브시스템에 있어서 사고 발생 확률을 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{서브시스템 1에 있어서 사고발생확률} &= \frac{\text{서브시스템 1에 있어서 사고건수}}{\text{서브시스템 1에 있어서 트라이얼의 회수}} \\ &\vdots \\ \text{서브시스템 } n\text{에 있어서 사고발생확률} &= \frac{\text{서브시스템 } n\text{에 있어서 사고건수}}{\text{서브시스템 } n\text{에 있어서 트라이얼의 회수}} \quad (2) \end{aligned}$$

식 (2)는 각 서브시스템마다에 사고 발생 확률이 계산되기 때문에, 위험도 평가의 정도가 높아짐과 동시에, 서브 시스템간의 비교를 함으로써 의미있는 분석이 가능하다.

### 2.3.3 사고데이터가 없는 경우의 평가

시나리오를 서브시스템으로 분류할 경우에 시스템을 미세하게 분할함에 따라 트라이얼의 회수가 적어짐으로써 사고데이터를 이용해서 사고 발생 확률을 산출하는데 문제가 발생할 수 있다. 이 경우 어떤 원인에 의한 사고경험이 없더라도, 대부분의 경우 같은 원인에 의한 사건은 발생할 수 있으므로 이 데이터를 이용하여 위험도 평가에 이용할 수 있다.

사건은 사고는 아니기 때문에, 이들 데이터를 사용해서 사고 발생 확률을 구할 경우, 사건 데이터를 어떻게 사고 발생 확률 계산에 반영시킬 것인가를 생각할 필요가 있다.

그림 3은 사건을 이용한 사고발생 확률 산출방법을 나타낸 것이다. 여기에서 잠재적 사고의 총합이 실제로 발생한 사고건수와 같아지도록 k를 결정해서 가중치를 결정한다.

### 2.4 사고 시나리오의 손해규모 평가

이번 위험도 평가방법에서는 사고 시나리오를 원인부분과 발생환경부분으로 분류해서 각각을 독립적이라고 생각하였기 때문에, 여기에서의 작업은 원인과는 관계없이 종류별 상황, 환경에 있어서 충돌·전복사고가 발생한 경우의 손해규모를 추정한다. 또한 복선 이상의 선로에서 전복사고가 발생한 경우 병발 사고가 발생할 가능성이 있으므로 이 사항도 고려할 필요가 있다.

### 2.5 위험도 산출

위험도 평가의 최후단계는 각 사고 시나리오에 의한 위험도를 산출하는 것으로, 얻어진 사고발생 확률과 손해규모의 곱을 계산하여 얻을 수 있다.

		사 상			
		발생한 사고		발생한 사건	
		↓	↓	↓	↓
충돌·전복사고 가능성		고	중	저	극저
가중계수		$k$	$10^{-1}k$	$10^{-2}k$	$10^{-3}k$
분류된 사상 수		$n_{高}$	$n_{中}$	$n_{低}$	$n_{極低}$
잠재 사고의 총합		$= k \cdot n_{高} + 10^{-1}k \cdot n_{中} + 10^{-2}k \cdot n_{低} + 10^{-3}k \cdot n_{極低}$			

||  
실제로 발생한 사고건수  
↓ 가중계수 결정 후

사상이 발생하였다는 조건 하에서 사고가 발생하는 확률은

시스템 전체 :  $P_{all}(\text{사고/사상}) = \frac{\text{사고 잠재의 총합}}{\text{발생한 사상건수}} = \frac{\text{실제로 발생한 사고건수}}{\text{발생한 사상건수}}$

각각의 서브시스템 :  $P_{sub}(\text{사고/사상}) = \frac{\text{서브시스템 내의 사고 잠재총합}}{\text{서브시스템 내에서 발생한 사상건수}}$

그림 3. 사건으로부터 사고의 발생 확률을 구하는 순서

### 3. 결론

지금까지 철도신호시스템의 안전성을 확보하기 위한 안전성 인증체계를 살펴보았고, 현재 시스템의 위험도 평가 방법에 대하여 살펴보았다. 다음 단계로서 도출한 위험도에 대하여 이를 어느 정도까지 허용할지를 결정하여야 한다. 위험상황이 전혀 발생하지 않도록 하기 위해서는 막대한 자금과 인력을 투자해야 하는 경우가 있을 수 있고, 또한 그렇게 막대한 투자를 한다 할지라도 위험상황을 완전히 제거할 수 없는 경우가 허다하기 때문이다. 따라서 시스템 개선으로 사상자를 줄이려는 인명존중의 목표와, 그리고 경제적인 투자를 최소화 하고자 하는 목표, 이 두 가지 목표를 동시에 그리고 합리적 수준으로 실현해야 하는 것이 중요하다. 이를 위해 유럽 등 철도 선진국에서는 위험상황이 발생할 수 있는 위험의 수준을 실질적으로 그리고 합리적으로 시행될 수 있는 범위 내에서 가능한 한 낮게 하자는 데 공감대가 형성되어 있으며, 이러한 원리가 ALARP (As Low As Reasonably Practical) 이다. 따라서 향후 연구과제로는 ALARP 적용방안에 대하여 살펴보고자 한다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] International Electrotechnical Commission, IEC 61508, Functional safety of electrical /electronic/programmable electronic safety- related system.
- [2] CENELEC EN50126, Railway application The specification and demonstration of dependability, reliability, availability, maintainability and safety. (RAMS)
- [3] CENELEC ENV50129, Railway application Safety related electronic systems for signaling
- [4] “안전성 평가를 위한 철도시스템의 위험도 분석 방법 고찰”, 2002년도 대한전기학회 EMECS학회 춘계학술대회 논문집, 2002.4.