

위험도 매트릭스를 활용한 철도시설물 구간 위험도평가의 사례연구

Case Study on Risk Assessment of Railway Infrastructure Sections Using Acceptable Risk Matrix

신덕호* · 박찬우 · 채은경 · 이준석

Duck-ho Shin · Chan-woo Park · Eunkyung Chae · June-Seok Lee

Abstract Owing to the established international standards for reliability and safety management of railways and the third-part conformity assessment implementation, quantitative risk assessment focusing on communication system related to railway safety has been implemented. The quantitative risk assessment starts from the establishment of quantitative RAMS requirements; the risk has to be maintained under an acceptable safety level. This paper introduces the risk assessment process based on international standards; risk assessment was conducted using failure data for railway facilities for about 5.5 years. In addition, based on the results, a scientific risk management method for railway facilities is suggested.

Keywords : Railway safety, Risk assessment, Hazard, RAMS, ETA

초 록 철도적용 신뢰성 및 안전성관리에 대한 국제표준 제정과 해당 국제표준에 대한 제3자 적합성평가의 정착으로 철도안전과 밀접한 신호시스템을 중심으로 정량적 위험도평가가 수행되고 있다. 이러한 정량적 지표를 활용한 위험도관리는 사고정의, 허용수준의 정량적 RAMS 목표수립으로부터 시작되어 운영기간 중 위험도가 허용수준으로 유지됨을 확인해야 한다. 본 논문에서는 기존 철도시설물의 5.5년간(2010년 1월~2015년 6월)의 관리장애 정보를 사용하여 국제표준에 따라 위험도 매트릭스를 활용하여 철도시설물 구간에 대한 위험도평가의 사례연구를 수행하였다. 또한, 분석된 데이터를 바탕으로 시설물의 과학적 위험도관리를 위한 방안을 제시한다.

주요어 : 철도안전, 위험도평가, 위험원, RAMS, 이벤트트리분석

1. 서 론

건축, 노반, 궤도, 신호통신, 전기 등의 다양한 분야가 종합된 철도시설물의 위험측 고장(Dangerous Failure)은 열차의 대규모 운행지연은 물론 열차충돌이나 탈선 등의 사고를 유발하고 대규모 재산피해, 인명소실 등 사회적으로 큰 파장을 일으키는 철도 시스템의 핵심요소이다.

따라서 철도시설물의 위험측 고장을 방지하기 위해 사건(Incident) 및 사고(Accident)를 분석하여 예방유지보수(Preventive Maintenance) 주기 조정과 교정유지보수(Corrective Maintenance) 체계 개선을 통해 사고를 예방하고 있다. 하지만 장치별 예방유지보수주기를 규정화하여 획일적으로 실시하고, 사고 및 사건에 대한 철도운영건설기관의 정성적 분석 중심 기존 안전관리는 위험측 고장발생확률이 매우 낮은 시스템에는 적합할 수 있으나 복잡도가 높고 신규와 노후 시스템을 함께 운영하는 대규모 철도시스템에서는 경제적 유지보수 자원배분과 선제적 사고예방 등의 현대적 안전관리에 한계가 있다. 이러한 문제를 개선하고자 유럽 철도가 주도하는 철도분야 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 국제표준에서는 위험원별 위험도평가에 따른 안전관리를 권고하고 있다[1].

철도 RAMS 국제표준에서는 철도시스템 각각의 위험도(Risk) 목표를 수립하여 수명주기 10단계인 시스템 수용(Acceptance) 단계에서 적합성을 평가하고, 수명주기 11단계 운영 및 유지보수(Operation and Maintenance)부터 13단계 개량 및 개조(Modification and Retrofit) 단계에서는 발생하는 고장과 유지보수 정보를 바탕으로 위험도 평가를 주기적으로 수행토록 권고하고 있다. 또한, 우리나라도 이러한 과학적 위험도평가의 중요성을 인식하여 수명주기 전반의 기록관리를 통한 철도안전 구현을

*Corresponding author. E-mail: ducko@krri.re.kr.

© 2017 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<https://doi.org/10.7782/JKSR.2017.20.4.550>

중점과제로 선정하여 연구가 시작되고 있다[2].

본 논문에서는 국제표준 및 유럽철도에서 사용되는 위험도 평가방식을 국내에 적용하기 위해 특정 운영기관에서 관리장으로 보고한 약 5.5년간(2010년 1월~2015년 6월)의 정보를 분석하여 고위험 구간 선별체계를 제시하였으며, 평가결과와 정확도 향상을 위한 향후 보완사항을 제시한다.

2. 본 론

2.1 철도시설물의 안전성

2.1.1 위험도 매트릭스를 통한 평가

안전(Safety)은 인명과 재산의 손실로부터 자유로운 상태를 의미하며, 철도분야 RAMS 국제표준에서는 안전을 달성하기 위해 위험도를 허용수준으로 제어하기 위한 체계를 필수요건으로 제시하고 있다[1]. 따라서 위험도를 주기적으로 평가하여 위험도가 허용수준에 도달되도록 장치별 유지보수주기조정 등의 노력을 지속해야 한다. 위험도를 허용수준으로 관리하는 방법에는 다양한 방법이 있으나, 철도적용 RAMS 국제표준에서는 사고의 원인이 될 수 있는 위험 상태인 위험원(Hazard)를 정의하고 각 위험원에 대한 발생빈도와 심각도를 조합하여 Table 1과 같은 허용수준 기준을 사용한다[3].

Table 1. Acceptable risk table (IEC 62278:2002, Table6 - Typical example of risk evaluation and acceptance).

Severity \ Frequency	Insignificant	Marginal	Critical	Catastrophic
Frequent	Undesirable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Probable	Tolerable	Undesirable	Intolerable	Intolerable
Occasional	Tolerable	Undesirable	Undesirable	Intolerable
Remote	Negligible	Tolerable	Undesirable	Undesirable
Improbable	Negligible	Negligible	Tolerable	Tolerable
Incredible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible

Table 1의 발생빈도(Frequency)와 심각도(Severity)의 정량적 기준은 국가 및 사업별 위험도에 대한 손실비용이 상이하므로 국제표준에서는 각 등급의 정량적 기준을 제시하지 않은 상태로 “Intolerable”은 반드시 제거되어야 하는 위험도, “Undesirable”은 위험도 저감이 불가능하고, 적절성에 대하여 국가 또는 안전규제기관의 동의가 있는 경우에 한하여 수용, “Tolerable”은 적절한 조치와 국가의 동의하에 수용가능, “Negligible”은 국가의 동의 없이 수용 가능한 수준으로 정의하고 있다[1].

그 사례로 국내 운영기관이 2008년에 해외 철도안전 적합성평가 전문기관으로부터 해당 운영기관의 자산현황, 장애 및 사고로 인한 위험부담 요인, 해외 유사 사례 등을 바탕으로 Table 2와 같은 정량적 지표가 포함된 위험도 매트릭스를 컨설팅 받았다[6]. Table 2의 매트릭스는 국내운영기관이 일반선, 고속선 등 모든 철도운영선로를 대상으로 한 위험도 매트릭스이며, 운영사의 사고자료와 국외 철도운영기관에 적용하였던 위험도 매트릭스를 참고하여 발생빈도와 심각도 기준을 도출한 결과이다.

위험도 평가 시 열차속도, 열차운행빈도, 인명피해 등은 위험요인의 심각도 평가인자로 반영되기 때문에, 위험도 매트릭스 활용 시 심각도의 평가인자로 반영되며 심각도평가인자 별 위험도 매트릭스를 재구성하지는 않는다. 예를 들어, 김민수와 왕종배 등[8]은 철도건설목사고의 위험도 평가에서 열차속도와 인명피해는 철도건설목사고의 심각도 평가의 인자로 구성하여 사건수목(Event tree)을 구성하여 사고의 심각도를 평가하였다.

위험도 매트릭스를 통한 위험도 평가의 또 하나의 적용사례는 국내 차상신호(ATP) 구축사업[3] 이다. 이 사업의 경우 Table 3과 같은 위험도 매트릭스를 적용하였으며, 위험도 매트릭스의 빈도와 심각도 기준은 유사 프로젝트의 예비위험분석(PHA, Preliminary hazard analysis)의 적용기준을 활용하였다.

Table 2와 Table 3에서 알 수 있듯이 발생빈도와 심각도의 등급별 정량기준은 국가 또는 사업별로 할당 될 수 있다. Table 2와 Table 3에서 발생빈도와 심각도의 각 등급 간 정량기준만큼 중요한 사항은 위험도 매트릭스의 적용범위이다.

철도안전을 구성하는 위험원은 계층구조를 가지며, Table 4는 참고문헌 [7]과 [10] 기반으로 위험원의 계층구조의 예를 제시한 것이다. Table 4에서 “지상 신호제어장치의 위험층 동작(Dangerous failure of way-side signaling equipment)”위험원은 주의

Table 2. Example of acceptable risk table for operator.

Risk Matrix				Frequency (Service)	Disruption to line service	< 10mins		> 10mins < 20mins		> 20mins < 2 hours		> 2 hours < 8 hours		> 8 hours < 1 days		> 1 days	
						Frequency (Safety)		Fatality	Major Injury	Minor Injury	Ranking	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Application : all Railway lines controlled by a operator (Including high speed, EC & existing line)						0	0	0	1	2-10	> 10						
	Qualitative	Descriptive	Numeric	Ranking		Negligible	Minor	Major	Critical	Catastrophic	Disastrous						
Severity	Has occurred frequently at specific locations	more than 100 times per year	> 100	F6	Very likely	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	Has occurred frequently in the railway line controlled by a operator	10 to 100 times per year	10 to 100	F5	Frequent	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	Has occurred once or twice in the railway line controlled by a operator	once to 10 times per years	1 to 10	F4	Probable	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	
	Has occurred many times in the industry, but not in the railway line controlled by a operator	once every 1 to 10 years	1 to 1/10	F3	Occasional	C	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	
	Has occurred many times in the industry	once every 10 to 100 years	1/10 to 1/100	F2	Remote	C	C	B	B	B	B	B	B	B	A	A	
	Unheard of in the industry	less than once every 100 years	< 1/100	F1	Improbable	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Table 3. Example of acceptable risk table for way-side ATP equipment.

Severity \ Frequency	Major Injury < 1 Service delay	1 ≤ Major Injury < 10 Serious service delay	1 ≤ Fatality < 3 Casualty accident	3 ≤ Fatality Train collision or derailment
over 10 ⁻³ /h	Undesirable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
10 ⁻⁴ /h < x ≤ 10 ⁻³ /h	Tolerable	Undesirable	Intolerable	Intolerable
10 ⁻⁶ /h < x ≤ 10 ⁻⁴ /h	Tolerable	Undesirable	Undesirable	Intolerable
10 ⁻⁸ /h < x ≤ 10 ⁻⁶ /h	Negligible	Tolerable	Undesirable	Undesirable
10 ⁻⁹ /h < x ≤ 10 ⁻⁸ /h	Negligible	Negligible	Tolerable	Tolerable
less 10 ⁻⁹ /h	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible

1 Fatality = 10 Major Injuries = 100 Minor Injuries

경고를 진행으로 표시하는 것과 같은 “신호장치의 위험한 현시(Less restricted signal aspect)”와 “분기부의 오류(Wrong side switch control)”로 구분할 수 있으며, “신호장치의 위험한 현시(Less restricted signal aspect)”는 “전동연동장치 자체에 오류가 발생하는 경우(Less restricted signal aspect by interlocking equipment)”와 “ATP 지상장치와 같이 지상장치 오류로 인해 철도 차량으로 잘못된 신호가 전송되는 경우(Transfer of dangerous moving authority to RC)”로 구분 할 수 있다. 즉, “신호제어장치의 위험측 동작”위험원은 3단계 이상의 계층으로 구분될 수 있으며, 단계별 위험원과 관련하여 사고가 발생하는 경우 심각도는 동일하지만 발생빈도는 하위계층의 위험도 발생빈도의 합으로 상위레벨 위험원의 발생빈도가 산출된다. 따라서, Level 3 위험원을 대상으로 Table 3의 위험도 테이블을 적용하면 대부분의 위험원이 허용수준으로 평가되지만, Level 1의 위험도를 대상으

로 하면 발생빈도의 누적으로 대부분 위험한 상태로 평가된다. 이러한 오류를 줄이기 위해 위험도 테이블은 대상 위험원 또는 평가대상 장치의 범위를 명확하게 제공해야 한다[11,12].

Table 4. Example of hierarchical structure of railway hazard (Dangerous failure of signaling system).

Code of Level 3	Level 1	Level 2	Level 3	Applied Equipment
1101	Dangerous failure of way-side signaling equipment	Less restricted signal aspect	Less restricted signal aspect by interlocking equipment	Interlocking System (CPU, Output, etc.)
1102			Transfer of dangerous moving authority to RC	Way-side ATP (CPU, Balise control, etc.)
1201		Wrong side switch control	Control the switch in the opposite direction	Interlocking System Switch Machine
1202			Controlling the switch while the train is occupied	Interlocking System Track Circuit System
2101	Dangerous failure of CAB signaling equipment	Failure to protect against overspeed	Less restricted speed measurement	Odometer (Encoder, Communicator, etc.)
2102			Dangerous failure of movement authority calculation	Onboard ATP (CPU, Input, etc.)
2201		Braking failure	Control failure of braking interface circuit	Onboard ATP Interface Relay Panel
2202			Danger side calculation of braking force	Human factors for input setting Onboard ATP

2.1.2 철도 관리장애 정보 분석을 통한 위험구간 선별

철도시설물의 위험구간 선별은 철도안전정책 수립과 철도운영건설기관의 유지보수 정책결정에 중요한 정보이다. 기존의 위험구간 선별은 최근에 발생한 사고 또는 아차사고(Near Miss) 정보를 전문가들이 분석하여 정성적인 방법으로 안전관리 투자우선순위와 추진과제를 선정하였다. 하지만 앞 절에서 설명한 바와 같이 철도시스템을 구성하는 마모고장(Wear Failure) 특성의 구조물, 기계류는 매우 긴 고장발생 주기를 갖고 전기전자 부품은 우발고장(Random Failure) 특성을 가지기 때문에, 상당 기간 다수의 표본을 관찰한 확률개념의 발생빈도 평가가 요구된다. 이러한 분석상의 어려움으로 인해 현재는 발생한 사고의 재발방지 중심으로 철도안전 투자가 이루어지고 있다. 국내 철도에서 안전예산은 증가하였으나, 노후 시설 개량, 생활밀착형 안전시설 조기설치 등 예산소요에 비해 위험도 기반의 안전투자가 부족한 실정이며[4], 노후 시설의 비중이 높아 철도 시설의 안전성에 대한 우려가 증가하고 있다[6]. 따라서 철도 구간별 위험도를 평가할 수 있는 방안을 보다 구체화하고, 이를 활용하여 위험도에 기반 한 효율적인 철도시설 관리 전략 수립이 필요하다.

본 논문에서는 철도분야 RAMS 표준에서 권고하는 위험도 평가방식을 통해 철도사고와 관련된 시설물 위험원을 대상으로 위험도 평가를 실시하였다. 위험도 평가는 특정 국내운영기관의 운행구간에서 최근 5.5년간의 관리장애 3,431건을 분석하였으며, 본 논문은 Table 5와 같이 노선 중 역간거리가 유사한 고밀도 운행구간과 저밀도 운행구간에서 발생한 22건에 대하여 철도시설물 대표적 위험원 발생빈도 분석 결과를 제시한다. 본 논문에서는 국내운영기관의 관리장애를 운영기관의 자료협조를 통해 얻을 수 있었으며, 전체 관리장애 3,431건의 중 Table 5의 분석구간에 발생한 사고를 분류하였고, 이 중 철도시설물 관련사고 22건을 찾을 수 있었다. Table 5에서 고밀도 구간과 저밀도 구간의 선로사용율은 각각 82.6%와 36.2%이다. 본 연구에서는 일일 구간의 최대운행횟수(선로용량) 기준으로 구간의 통과열차수(설정열차수)가 70% 이상이면 고밀도구간, 그 이하이면 저밀도

Table 5. Sample risk assessment section information.

	Line	Numbers of stations included in the section	Section distance (Km)	Number of one-way passing trains per day		
				Max value (a)	Scheduled value in 2016 year (b)	Line utilization rate (b/a, %)
High density section	A main line	12	17.3	242	200	82.6%
Low density section	A main line	4	21.6	243	88	36.2%

구간으로 정의하였다[6]. 두 구간은 고속, 일반 및 화물 열차가 모두 통과하는 노선이다.

우리나라는 유럽의 철도선진국 사례 또는 국제표준에서 권고하는 국가차원의 철도시설물 위험원 목록을 보유하고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 경부고속철도 도입 시 프랑스 Alstom이 제공한 철도시스템 예비위험원분석(PHA, Preliminary Hazard Analysis)의 시설물관련 다음 위험을 기준으로 Table 6과 같이 각 구간의 최근 5.5년간 위험원 발생 현황을 분석하였다. 본 논문에서 사용한 관리장애는 특정 운영기관이 유지보수 활동을 하며 자체 관리기준에서 벗어난 고장 및 장애를 말하는 것으로, 관리장애를 기록하는 범주는 운영기관의 자체규정에 따른다. Table 6은 Table 5에 해당하는 구간에서 발생한 시설물 관련 관리장애를 H001~H004의 시설물 관련 위험원에 따라 분류한 것이다.

- [H001]궤도 구성품 관련 오류(레일절손, 좌굴, 체결구불량, 침목불량 포함)
- [H002]분기부(선로전환기 포함)의 오류
- [H003]전차선 손상(장력장치 고장 등)
- [H004]신호장치의 위험측 동작(궤도회로 이상동작 등)

Table 6. Failure record of sample section.

	Hazard	Failure record						Sum
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	
High density section	[H001]Track characteristics outside tolerance	1	4	1	-	2	-	8
	[H002]Error in point positioning	-	1	1	3	2	-	7
	[H003]Tensioning equipment failure	-	-	1	-	-	-	1
	[H004]Disturbance of track circuits by currents circulating in rails or cable sheaths or shield	-	1	1	1	-	-	3
	sum	1	6	4	4	4	-	19
Low density section	[H001]Track characteristics outside tolerance	-	-	-	-	-	-	-
	[H002]Error in point positioning	1	1	-	-	-	-	2
	[H003]Tensioning equipment failure	-	-	-	-	-	-	0
	[H004]Disturbance of track circuits by currents circulating in rails or cable sheaths or shield	-	-	-	-	1	-	1
	sum	1	1	-	-	1	-	3

Table 2의 위험도 매트릭스는 전체 철도노선을 대상으로 위험원에 대한 위험도 등급을 평가하기 위한 것으로, 본 논문에서와 같이 철도시설물의 구간 위험도 평가에 적용하기 위해서는 위험도 매트릭스의 변환이 요구된다. 즉, 심각도 평가인자는 하나의 위험원이 발생했을 때의 심각도를 나타내는 것이기 때문에 Table 2의 심각도 평가 기준을 변환이 필요 없으나, 전체 노선이 아닌 시설물의 특정 구간의 위험도를 평가하기 위해서는 빈도 등급의 기준의 변환이 요구된다. 본 논문의 사례에서는 국내운영사의 A노선을 대상으로 고밀도구간과 저밀도구간의 위험도를 비교하는 것을 대상으로 하였고, 아래의 식(1)과 같이 빈도 등급의 변환의 가중치를 계산하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{A노선의 평가 구간의 위험도 매트릭스의 빈도의 가중치} \\
 & = (\text{A노선의 거리 당 시설물 관련 위험원 발생빈도의 중요도}) \times (\text{A노선에서 평가 구간의 거리 비율}) \\
 & = [(\text{A노선의 거리 당 시설물 관련 사건발생빈도})/(\text{전체 노선의 거리 당 시설물 관련 위험원 발생빈도})] \\
 & \quad \times (\text{A노선에서 평가 구간의 거리/운영사의 전체 노선 길이}) \tag{1}
 \end{aligned}$$

참고문헌[6]에 따르면 2004년부터 2014년 까지 11년간 해당 철도운영사의 ‘전체 노선의 거리 당 시설물 관련 위험원 발생빈도’는 0.2963(건/km)이며, ‘A노선의 거리 당 시설물 관련 사건발생빈도’는 0.6769(건/km)이다. 따라서 ‘A노선의 거리 당 시설

물 관련 위험원 발생빈도의 중요도'는 $2.284(=0.6769/0.2963)$ 로 계산되며, 이는 전체노선의 임의의 지점과 비교하여 A노선의 임의의 지점은 사고발생비율이 대략 2.2배 높다는 것을 의미한다. A노선의 길이는 441.7km이며, 평가대상 노선길이는 Table 5와 같이 약 20km이다. 따라서 'A노선에서 평가 구간의 거리 비율'은 $0.0453(=20/441.7)$ 로 계산된다. 결국, 'A노선의 평가 구간의 위험도 매트릭스의 빈도의 가중치'는 2.284×0.0453 로 0.1035로 계산되며, 이는 대략 1/10에 해당된다. 이와 같은 이유로 본 논문에서는 Table 6의 최근 이력을 바탕으로 평가대상 노선의 위험도를 평가하기 위해 Table 2의 위험도 매트릭스를 Table 7과 같이 발생빈도를 1/10으로 변환하였다. Table 2의 위험도 허용수준은 운영기관 전체 영업거리를 대상으로 하므로 Table 7은 평가대상 노선길이 약 20km와 해당 노선의 사고발생 빈도를 고려한 변환이다.

Table 7. Matrix of risk tolerance level used in the assessment.

Severity Frequency	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	Service Delay < 10 min. or Zero Injury	10 min. ≤ Service Delay < 20 min. or 1≤Minor Injury	20 min. ≤ Service Delay < 2 hours or 1≤Major Injury	2 hours ≤ Service Delay < 8 hours or 1≤Fatality	8 hours ≤ Service Delay < 24 hours or 2≤Fatality	24 hours ≤ Service Delay or 10≤Fatality
F6 more than 10 times per year	B	A	A	A	A	A
F5 1 to 10 times per year	B	B	A	A	A	A
F4 1 to 10 times per 10 years	B	B	B	A	A	A
F3 1 to 10 times per 100 years	C	B	B	B	A	A
F2 1 to 10 times per 1000 years	C	C	B	B	B	A
F1 less than 10000 years	C	C	C	B	B	B

Table 6의 22건의 사고는 단순 열차 지연 및 고장을 초래한 사건들이었다. 그러나 본 논문에서는 H001~H004의 위험원의 심각도에 대한 안전측면에서 보수적으로 평가하기 위해 각 위험원으로 인한 사고결과를 열차탈선으로 가정하였다. 예를 들어, H002 분기부 오류로 인한 탈선사고는 탈선사고의 가장 큰 위험요인이며, H001, H003와 H004 위험요인에 의한 탈선사고의 발생확률이 존재한다. H001~H004 위험원에 의한 탈선사고의 발생시나리오는 참고문헌 [6], [7], [9] 등 여러 탈선사고 자료에서 확인할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 열차 탈선의 심각도를 계산하고자 하였고, 최근 탈선사고 8건(Table 8)[5]의 열차지장시간 및 인명피해의 평균값을 계산하여 C3로 할당하였다. Table 8에서 분석된 탈선사고로 인한 평균 지연시간은 4.7시간이고, 피해규모가 가장 크게 나타난 광명역 탈선사고는 다른 탈선사고의 피해규모보다 지연시간이 현저하게 높은 관계로 평균값이 왜곡될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 광명역 탈선사고의 지연시간을 제외하고 평균값을 산출하여 사용하였고, 이 값은 1.95시간이며, 이는 심각도 등급 C3에 해당된다.

샘플 구간의 위험도평가결과는 Table 9와 같이 고밀도구간 4개 위험원 중 2개가 A등급으로 평가되었다. A등급은 Table 2의 해외 전문기관 컨설팅 보고서에 따르면 허용할 수 없는 수준으로서 열차운행조정, 개량 등의 조치를 통해 즉시 위험도를 B등급 이하로 제어해야할 위험원이다. Table 9에서 저밀도구간의 H001위험원의 발생빈도가 0이지만 'F4이하'로 평가한 이유는 평가에 사용한 자료는 5.5년으로, 보수적으로 평가할 시 향후 4.5년 이후 해당 구간에서 장애가 발생할 확률이 존재하기 때문이다.

2.1.3 기존 관리장애 기반의 위험도평가의 한계요인 분석

기존 관리장애 기반의 위험도평가결과(Table 9)와 같이 철도시설물의 대표적 위험원에 대하여 고밀도 운행구간의 위험원 2개가 위험한 것으로 평가되었다. 이를 통해 해당 위험원의 위험도를 안전하게 제어하기 위해 노반과 궤도의 추가적 조정 작업 및

Table 8. Analysis of recent cost of train accident loss.

Train derailment record	Train delay (Hour)	Human injury (Death)
Jinhae line, Jinhae station ~ Tonghae station, extra saemaedul train derailment(2010.3.3)	0	0
Gyeongbu high speed railway, Gwangmyeong station, 224 KTX train derailment(2011.2.11)	24	0
Bundang line, Bundang depot, train derailment(2011.4.23)	6	0
Gyeongbu line, Bugang station, train derailment(2010.3.13)	0.67	0
Gyeongbu line, Samnangjin station, Trolley derailment(2011.11.4)	0.5	0
Jeolla line, Samnye station~Dongsan station, track maintenance equipment derailment(2009.7.22)	2	0
Jungang line, Asin Station~Yangpyeong station, track maintenance equipment derailment(2010.5.4)	3.5	0
Gyeongbu line, Jeonui station~Seochang station, relief train derailment(2011.1.26)	1	0
Average (excluding Gwangmyeong station train derailment)	4.7 (1.95)	0

Table 9. Risk assessment results for sample section.

Hazard	High density section			Low density section		
	Frequency (/Year)	Severity	Risk	Frequency (/Year)	Severity	Risk
[H001]Track characteristics outside tolerance	F5 (1.45)	C3 (Derailment)	A	Less than F4 (0)	C3 (Derailment)	B or C
[H002]Error in point positioning	F5 (1.27)	C3 (Derailment)	A	F4 (0.36)	C3 (Derailment)	B
[H003]Tensioning equipment failure	F4 (0.18)	C3 (Derailment)	B	Less than F4 (0)	C3 (Derailment)	B or C
[H004]Disturbance of track circuits by currents circulating in rails or cable sheaths or shield	F4 (0.55)	C3 (Derailment)	B	F4 (0.18)	C3 (Derailment)	B

분기부 정밀조정과 시설물 보완이 필요할 것이며, 이를 통해 해당 위험원의 위험도를 B 등급 이하로 조정 및 유지하는 것이 국제표준에 부합한 철도안전관리의 취지이다.

하지만 약 5.5년의 관리장에 정보를 분석하는 과정에서 관리장에 정보기반의 위험도 평가의 몇 가지 한계요인을 발견하였다. 예를 들어 장애가 발생한 구간의 시설물이 교체되었거나 대규모 유지보수를 통해 부품이 개선된 경우 해당 위험원의 관리장에 발생기록은 5.5년간의 위험도 평균 산출에서 제외되어야 현재 상태의 위험도를 평가할 수 있으나, 분석 기간 동안의 유지보수 이력관리 정보와 관리장에 정보 간의 연동 불가로 이러한 오류요인이 결과에 포함되었다. 또한 A부터 C까지의 위험등급이 우리철도의 현황을 반영하도록 운행밀도, 여객수송량 등의 변화되는 정보를 바탕으로 위험도 허용수준에 대한 정의를 선행되어야 하나 이력관리 정보가 반영되지 않은 전문기관의 자문의견을 바탕으로 평가하여 구간폐쇄 및 열차운행 빈도 조정 등의 파급효과가 큰 긴급 안전확보 노력에 대한 논쟁의 여지가 존재한다.

철도시설물의 위험도 평가 목적은 철도사고의 선제적 예방이다. 이를 위해서는 위와 같은 현재 수집가능 정보의 한계요인을 극복하기 위한 스마트 이력관리 및 위험도평가 등의 기술개발과, 장애 및 사고보고체계 등 제도적 보완, 마지막으로 위험도 평가를 통한 안전관리 비용 최적화를 공감하는 운영기관의 정보제공 협조가 요구된다.

3. 결 론

본 논문에서는 철도 RAMS 국제표준을 바탕으로 위험도 매트릭스를 활용한 철도시설물 구간 위험도평가의 사례연구를 수행

하였다. 위험도 평가를 위해 시설물 관련 위험원을 도출하고, 고밀도 구간과 저밀도 구간의 사례를 선별하여 위험도 평가를 수행하였고, 선별된 구간에서 위험도 제어가 긴급히 요구되는 위험원을 도출하였다. 이 과정에서 위험도평가의 정확도를 높이기 위한 방법으로 유지보수이력과 장애정보의 연동 및 국가관리 위험원과 허용 위험도 제시의 필요성을 언급하였다.

위험도 평가를 통한 안전관리는 철도시설물의 노후화에 효과적으로 대응하기 위한 대안으로 제시되고 있으며, 우리 운영환경에 적합한 선제적 사고예방을 구현하기 위해서는 현재 10분 이상의 열차지연이나 사상사고 중심의 안전정보 수집을 장애보고 수준까지 확대하고, 이와 함께 시설물 이력관리 및 주기적 데이터 갱신을 통해 위험원, 위험노선(구간), 위험도 저감방안(안전대책)을 구체화하여 선제적 사고예방 중심의 철도안전관리 고도화가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원의 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] International Electrotechnical Commission (2002) Railway application-specification and demonstration of RAMS, IEC 62278:2002.
- [2] The Ministry of Land (2016) 3rd Railway Safety Comprehensive Plan (2016-2020), major tasks - Improvement of safety of railway infrastructure, Infrastructure and Transport's Notification No. 2016-394.
- [3] D.K. Shin, J.H. Lee, K.M. Lee, J.K. Hwang et al. (2006). A study on the safety demonstration of train control system, *Journal of the Korean Society for Railway* 9(4), pp. 412-418.
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2015) Railway safety innovation 3.0, current status and conditions forecast.
- [5] Korea Railroad Corporation (2012) Railway accident casebook 13th.
- [6] Korea Railroad Research Institute (2016) Safety indicator development and risk assessment study of railway facilities, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- [7] Korea Railroad Research Institute (2011) Railway accident risk analysis and evaluation system, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement.
- [8] M.S. Kim, J.B. Wang, C.W. Park, Y.O. Cho (2009) Development of the risk assessment model for railway level-crossing accidents by Using The ETA and FTA. *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(6), 936-943.
- [9] C.D. Bum, W.J. Bae, S.L. Kwak, C.W. Park et al. (2008) Development of the risk assessment model for train collision and derailment, Korean Society for Railway 2008 Spring Conference, Jeju, pp. 1505-1510.
- [10] Ministry of Land (2013) Technical standards for railway facilities, Chapter 2 Section 6 Article 102, Infrastructure and Transport's Notification No. 2013-839.
- [11] Brian Tomlinson, Network Rail (2017) Improving safety: can Big Data help?, RSSB, Big Data Risk Analysis Symposium
- [12] Sebastien Blanchard, SNCF (2017) Big Data Risk for SNCF.

(Received 26 April 2017; Revised 27 July 2017; Accepted 3 August 2017)

Duck-ho Shin : ducko@krri.re.kr

Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16105, Korea

Chan-woo Park : cwpark@krri.re.kr

Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16105, Korea

Eunhyung Chae : ddial@krri.re.kr

Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16105, Korea

June-Seok Lee : ljs@krri.re.kr

Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16105, Korea