

# 철도 충돌탈선 사고 위험도 평가를 위한 사고 진전 시나리오 개발

## Development of accident scenarios for train collision/derailment risk assessment

박찬우\*      박주남\*      왕중배\*\*      곽상록\*      최경진\*\*  
Park, Chan-Woo      Park, Joo-nam      Wang, Jong-Bae      Kwak, Sang-Log      Choi, Kyung-Jin

---

### Abstract

Accident scenarios analysis is a course to understand, analyze, and describe a process of an accident and behavior pattern of the parties to an accident. In the method of accident scenarios is that we described patterns represented between accidents and hazardous conditions, and then provide data to prevent the accident. In this paper, we made a study on accident scenarios to analyze systematically and evaluate quantitatively train collision/derailment risk. Initial hazard events which determine a probability for train collision/derailment were defined from the analysis of accident history data as a form of FTA and we defined relation between initial events and hazardous conditions caused to train collision/derailment accident. The accident proceeding scenario of initial events which estimate the severity of accidents was proposed as a form of ETA. Resulting risk assessment model of train collision/derailment accident will be produced by a probability and severity of initial event.

---

### 1. 서론

2005년도 일반 철도의 충돌/탈선 사고(incident)를 살펴보면 열차충돌사고는 발생 횟수는 0건이며, 열차 탈선은 4건이 발생하고, 이 경우의 사상자의 발생도는 0건으로 분류되고 있다. 그러나 열차 충돌/탈선 사고의 중간 사건(incident)로 생각될 수 있는 장애사고는 차량고장, 차량탈선, 이선진입, 위규운전 등의 2005년에 442건 발생하였으며, 매년 상당 수의 발생 빈도를 나타내도 있다. 특히, 철도의 충돌/탈선 사고의 경우 한번 발생하면, 인적·물적 심각도가 클 뿐만 아니라 열차지연에 따른 사회적 손실 또한 크다는 점에서 국내 철도의 충돌/탈선 사고의 각 위험인자들에 대한 위험도를 예측하여 국내 철도의 개선점을 파악할 수 있는 위험도 평가 모델의 수립의 필요가 요구되고 있다.

일반적으로 널리 알려져 쓰이고 있는 사고분석방법으로 고장위험 및 영향분석(Potential Failure Mode and Effect Analysis)과 결함수분석(Fault Tree Analysis)이 있다. 고장위험 및 영향분석 기법은 예상 가능한 고장 형태에 따른 영향 정도를 추정하여 신뢰성과 안전성을 평가하는 방법으로 제조물 설계단계에 널리 쓰이고 있다. 결함수분석은 고장을 발생시키는 사건(Event)과 그의 원인과의 인과관계를 논리기호(and, or)를 사용하여 고장확률을 구하는 방법이다. 이밖에도 고장결함위험 분석(Fault Hazard Analysis), MORT(Management Oversight and Risk Tree), STEP(sequentially Time Event Plotting), 그리고 SCAT(Systemic Casual Analysis Technique) 등이 있다. 그러나 이러한 위험 분석들은 위험분석의 초기 단계에서 분석자의 주관이 개입되기 쉬우며, 시스템 관점의 체계적 분석에 활용되기 어렵다는 한계가 있다[3,4]. 따라서 체계적인 사고 분석을 통해 전체적인 사고의 발생 유형을 분석하고 이를 위해서 제기된 방법으로 세부적인 위험도 분석을 수행해야 하며, 일반적으로 많이 수행되는 방법이 사고 시나리오 분석 방법이다.

사고 시나리오를 활용한 사고분석방법은 사고의 원인을 보다 구체적으로 밝히고 사고 유형별로 예방책을 강구할 수 있다는 측면에서 그 활용 정도가 높다. 일찍이 Drury[2]는 소비자 제품의

---

\* 한국철도기술연구원 안전기술연구팀 선임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 안전기술연구팀 책임연구원, 정회원

사고분석을 위해 인간공학적 기법을 활용하여 위험 유형(hazard patterns)과 사고 시나리오를 분석하였다. 그는 위험 유형별로 사고를 당하게 되는 사용자의 환경과 행위, 그리고 해당 제품의 특성에 따른 사고 유형을 분석하였다. 이러한 사고 시나리오 분석은 훗날 체계적 사고 시나리오 분석기법(Systemic Accident Scenario Analysis, SASA)을 개발하는데 기반을 제공하였다[3]. 또한 작업장 안전사고에 대한 연구로 작업자의 행위에 중점을 둔 사고 시나리오 분석기법이 연구되었다.

사고 시나리오 분석은 사고자료 분석, 그룹 및 개인 인터뷰를 통해 사고의 발생과정과 사고 대상자의 행동패턴을 이해하고, 분석하고, 서술하는 과정을 나타낸다. 사고 시나리오는 행동 데이터, 사고 당시의 환경특징, 사고원인을 이해함으로써 묘사될 수 있다. 사고 시나리오 분석방법은 사고와 위험조건 사이의 패턴을 묘사하여, 사고예방을 위한 자료를 제공해 줄 수 있다. 지금까지 다양한 분야에서 철도사고의 시나리오 분석을 수행하였지만, 시스템 관점에서 체계화된 분석방법이 제공되지 않고 있다. 사고분석은 사고 조사를 통한 사고의 진상을 밝히기 위한 수단이기도 하지만, 사고 원인을 찾아 사고를 예방하는 것이 주요한 목적이다. 그러므로 위험요인으로 인한 사고를 철저히 분석하여 그 결과를 사고예방에 반영하도록 해야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 국내 철도 충돌/탈선 사고 사례를 체계적으로 분석하여, 위험사건의 발생빈도를 결정하기 위한 위험요인의 분류체계의 개발과 피해 심각도를 산정하기 위한 사고 시나리오 모델 전개에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과는 철도 시스템의 위험도 평가단계에서 체계적으로 국내 철도 충돌/탈선 사고의 직·간접 원인과 중요 기여요소를 분석하고, 국내 철도 충돌/탈선 사고의 발생확률과 위험도를 정량적으로 평가하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 철도 충돌/탈선 사고 현황 및 위험요인 분석

2005년도 일반 철도의 충돌/탈선 사고(incident)를 살펴보면 열차충돌사고는 발생 횟수는 0건이며, 열차 탈선은 4건이 발생하고, 이 경우의 사상자의 발생도는 0건으로 집계되고 있다. 그러나 열차 충돌/탈선 사고의 중간 사건(incident, event)로 생각될 수 있는 장애사고는 차량고장, 차량탈선, 이선진입, 위규운전 등의 2005년에 442건 발생하였으며, 매년 상당수의 발생 빈도를 나타내 내도 있다. 특이한 점은 사고사례의 분석 결과 상당수의 충돌과 탈선 사건의 위험인자가 공유되고 있다는 점은 주목할 만하다.

표1. 한국 철도공사 사고현황

사고종별		2004년				2005년				합계 (1996년~2005년)			
		건수	사망	중상	경상	건수	사망	중상	경상	건수	사망	중상	경상
운전 사고	열차충돌	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	10	103
	열차탈선	2	0	0	0	4	0	0	0	40	0	26	54
	열차화재	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	소계	2	0	0	0	4	0	0	0	44	2	36	157
건널목 사고	건널목사고	39	6	13	33	37	7	10	4	829	178	223	312
사상 사고	직무사상사고	66	6	38	23	58	3	48	8	436	51	331	68
	공중사상사고	178	136	37	12	133	96	30	12	2,442	1,786	471	195
	여객사상사고	331	49	72	214	127	47	29	54	1,875	282	359	1,240
	소계	614	197	160	282	355	153	117	78	5,582	2,297	1,384	1,815
장애	차량고장-객차	4	0	0	0	13	0	0	0	139	0	0	1
	차량고장-고속철도	81	0	0	0	50	0	0	0	131	0	0	0
	차량고장-기타	1	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0
	차량고장-동차	14	0	0	0	13	0	0	0	154	0	0	0
	차량고장-디젤	62	0	0	0	57	0	0	0	1,144	0	1	0
	차량고장-발전차	5	0	0	0	3	0	0	0	61	0	0	0
	차량고장-전기	15	0	0	0	13	0	0	0	279	0	0	0
	차량고장-전동차	11	0	0	0	26	0	0	0	280	0	0	4
	차량고장-화차	1	0	0	0	1	0	0	0	41	0	1	0
	차량일주	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
	차량탈선	28	0	0	0	37	0	1	0	384	2	3	3

사고종별	2004년				2005년				합계 (1996년 ~ 2005년)			
	건수	사망	중상	경상	건수	사망	중상	경상	건수	사망	중상	경상
차량파손	7	0	0	1	12	0	10	42	89	0	11	43
차량화재	2	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0
폐색취급위반	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
급전고장	2	0	0	0	12	0	0	0	16	0	0	0
급전장애	0	0	0	0	24	0	4	2	24	0	4	2
보안장치고장	67	0	0	0	0	0	0	0	397	0	0	0
선로고장	11	0	0	0	8	0	0	0	124	1	0	0
선로장애	54	0	1	0	18	1	0	0	676	4	12	18
송전고장	5	0	0	0	0	0	0	0	63	0	0	0
송전장애	15	0	0	0	0	0	0	0	128	1	0	0
신호보안장치고장	6	0	0	0	56	0	0	0	65	0	0	0
신호취급위반	0	0	0	0	2	0	0	0	9	0	0	0
열차방해	3	0	0	0	0	0	0	0	39	0	1	0
열차분리	4	0	0	1	5	0	0	0	47	0	0	9
열차접촉	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
열차정지	2	0	0	1	0	0	0	0	22	0	1	1
열차지연	31	0	0	0	0	0	0	0	186	0	0	0
열차퇴행	0	0	0	0	3	0	0	0	17	0	0	0
위규운전	10	0	0	0	14	0	0	0	76	0	0	0
이선진입	5	0	0	0	2	0	0	0	15	0	0	0
정지위치실당	3	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0
정지위치어긋	1	0	0	0	5	0	0	0	6	0	0	0
기타	33	0	0	1	68	0	0	2	279	0	6	5
소개	483	0	1	4	442	1	15	46	4,972	8	40	90
합계	1,138	203	174	319	838	161	142	128	11,427	2,485	1,683	2,374

\* 본 자료는 철도공사에서 입수된 자료를 기반으로 작성된 것이며, 향후 세부적 검토가 요구됨

### 3. 철도 충돌/탈선 위험도 평가 절차

현재 제안되고 있는 많은 국제안전규격들의 첫 번째 특징은 위험도 평가(risk assessment)에 토대를 한 안전성 입증에 있다. ISO/IEC 가이드 51에 규정된 안전의 기본 개념은 위험도 평가를 바탕으로 하고 있다[5]. 그림1은 가이드51에 표시된 안전성 평가의 순서를 나타낸다. 설비 혹은 시스템은 의도된 사용방법 외에 합리적으로 예견 가능한 오류사용을 배려하여 위험원(hazard)을 판별하고, 위험도의 크기를 어림잡아 그 위험성이 허용 가능한지의 여부를 평가하여 만약 허용가능하지 않으면 위험성 저감 대책을 실시하여야 한다. 또한 충분히 허용 가능한 위험도 수준일 때를 안전하다고 정의한다[5]. 철도사고를 유발할 수 있는 취약요인과 안전 위협요소를 사전에 파악하기 위하여 예비위험분석이 선행된다. 위험도 분석의 시작으로 상세 분석의 대상을 정의하는 예비위험분석단계에서는 전체적인 관점에서 사고를 분명히 이해하고, 사고 프로세스와 사고대상자의 행동 패턴을 정의하며, 분석하고, 서술하는 과정이 체계적으로 수행되어야 한다. 철도사고를 이해하는 필요조건은 사고의 원인을 조사하고, 사고의 세부 순서를 분석함으로써 수행될 수 있으며, 이것은 사고를 야기하는 사건의 상세한 순서를 분석함으로써 수행될 수 있으며, 이는 사고 시나리오 분석기법을 통하여 분석될 수 있다.

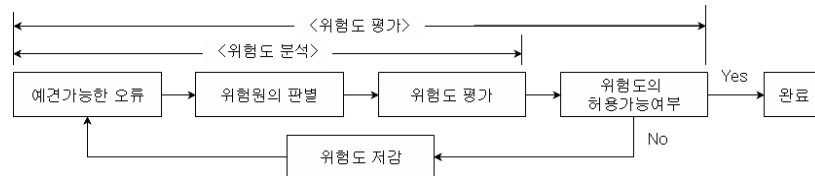


그림1. 위험도 평가 절차

### 4. 철도 충돌/탈선 시나리오 개발

#### 4.1. 철도 충돌/탈선 사고의 위험사건의 정의와 위험요인 분류체계 검토

철도 충돌/탈선 사고의 원인을 추정하기 위해서는 철도 차량, 선로 특징, 인적요인 등이 상호

작용하여 발생한다. 따라서 여러 가지 상황을 고려하여 주요 인자를 고려하여야 사고 시나리오를 구성하여야 하며, 이를 토대로 철도 충돌/탈선 사고로 이어지는 사건발행 확률을 평가하여 한다. 본 연구에서는 이를 위해 표2에서 고려된 위험사건별 위험상황과 위험요인을 조합으로 사고 시나리오를 구성하고 하며, 이를 토대로 사고 인자별 사고 분석을 수행하고, 이를 구성하여 각 위험 사건별 위험발생 확률을 추정할 수 있는 위험 사건별 고장수목분석(FTA) 모델을 구성하고 한다. 고장수목분석은 주요 위험사건 발생 시 반드시 존재하는 환경, 설비고장 및 인적오류 사이의 논리적 검증을 한다.

표2. 철도 충돌/탈선 사고의 위험사건의 정의와 위험요인 분류체계(안)

위험사건	위험상황	위험요인1	위험요인2	위험요인3		
선로결합	궤도선형결합	궤도틀림	수평틀림(좌우높이차) 면틀림(길이방향고저)			
		궤도오정렬	레일좌굴 레일장출	하중증가/열차충격 온도변형		
		궤간확장	침목손상 체결장치손상	하중증가 열차충격		
		노반침하	유실/연약화	자연재해		
		도상교란	돌아올림 과도/부족	작업불량		
	레일결합	레일파손	두부/복부/하부 파손 용접부 파손	균열, 박리, 절단		
		레일마모	곡선부/분기부			
		고정장치결합	침목 손상/망실 체결장치 손상/망실	열차충격/하중증가		
		이음매판파손	절연부/비절연부 볼트 파손/망실	열차충격/하중증가		
		두부주거적결합	상호작용-공진발생 플렌지/답면 손상	레일용접부-차량특성 파손, 찰상, 열화, 마모		
		차륜결합	차륜균열/파손 차륜폴립	소재결합/부식 압착불량		
		차축결합	차축파손 차축고착	차축균열/휨 기어박스 결함		
		축상결합	축상파손 축상베어링고착	소재결합/부식 윤활부족/이물질유입		
차량결합	주행장치결합	과열검지기고장	프레임 결함 주행기어결합 속도센서 결함	센서고장/단선 소재결합/부식/과하중 베어링결합		
		대차부결합	구동축 결함	베어링결합(과열) 레액션로드/장착부		
		현가장치결합	주 서스펜션결합	보조 서스펜션 결함	댐퍼/스프링 결함 댐퍼/스프링 결함	
			제동투입 불능	제어장치(입/출) 고장 전환레버/스위치 고장 압력상실	전환센서고장/단선 기계적/전기적고장	
		제동전환불능	제동완해 불능	압력해제 불능	전환레버/스위치 고장	밸브/코크 고장
				제어장치(입/출) 결함	압력저하	전환센서고장/단선 기계적/전기적고장
	제동 도중해제		제어장치(유지) 결함	전환레버/스위치 고장	고장/취급오류 기계적/전기적고장	
			차륜 슬라이드/슬립	방지장치고장 살사장치 고장		
	제동력 부족	제동압력 저하	압축공기공급장치결합	압력조절장치고장	공기/수분 유입 기계/전기적고장	
			제동장치 고장	기계적/전기적고장		
제동력 상실		제동라인 결함	공기/유압라인 고장	파열, 막힘, 오연결		
	제동제어장치결합	연결기/밸브 고장	기능/동작 불능			
	압력공급장치결합	컴프레셔/압력용기 고장				

위험사건	위험상황	위험요인1	위험요인2	위험요인3	
선로전환결함 (본선지장)	선로전환불능	조정부고장	설정기구 고장	파손, 마모, 풀림	
			연결/작동부 고장	기계적/전기적 고장	
			당김/회전부 고장	기계적/전기적 고장	
	도중전환	제어부결함	쇄정/개방/연동 고장	케이블 단선/단락	
			잠금유지결함	기능/신호 오작동	
			위치검지오류/불능	진송/전력장치고장	
		가동부결함	오조작/오류미검지	확인소홀/착각	
			첨단부 손상	파손, 마모, 이물질	
			첨단부 유격	마모, 변형, 이물질	
			가동철차 고장	파손, 마모, 이물질	
고정부결함	고정장치 고장	스위치고장			
고정장치 오취급	오조작/오류미검지	확인소홀/착각			
이선진입	진로오설정	제어장치결함	기능/동작 오류	오결선/논리오류	
		고정부결함	기능/동작 오류	오결선/논리오류	
		취급오류	오조작/불법조작	잠금장치 미비	
			오류상태 미검지	확인소홀/착각	
	차량일주	역구내 이선진입	정지위치 초과	신호/지시위반	
		차단구간 진입	차막이 돌파	과속	
		측선/안전선 진입			
	과속주행	곡선부 과속	속도설정 부적절	인적오류(지시/명령)	
				기능/논리 오류	
분기부 과속		신호/제어 결함	지상신호 결함	ATC/ATP/ATS 고장	
			차상신호 결함	신호오류(발생/전달)	
직선부 과속		속도준수 위반	신호/지시 위반	신호오류(수신/제어)	
			차상제어 결함	속도검지/제어 오류	
		업무수행 불능	현시장치 고장	고장/오류 미검지	
			졸음, 기절, 사망	정보없음/오류 현시	
분리된차량 (선로지장)	연결 분리	연결기결함	연결쇠 파손	충격/과하중	
			고정핀 결함	파손/풀림	
			완충기 파손		
	차량 구름	경사선로 유치	연결기 불일치	취급오류	
			부당한 차량분리	기계적/전기적고장	
			제동미체결/해방		
선로상장애물	외부장애물	낙석/수목전도	자연재해(산사태)	폭우, 강설, 태풍, 지진	
			자동차/장비추락	선로침입	울타리/감시장치미비
			동물/사람	불법침입	울타리/감시장치미비
			위험물건방치	불법행위	울타리/감시장치미비
		작업장비방치	선로변 공사	작업관리소홀	
	철도시설물	선로접거	시위		
			구성품 탈락/지장		
			구성품 탈락/지장		
			구성품 탈락/지장		
			구성품 탈락/지장		
	차량탈락물	화물추락			
		차량구성품탈락			
컨테이너 파손					
하중분포결함	화물편적	화물유동/탈락	급제동/과속운행		
		화물적하불량	취급부주의		
	선로결함	곡선부 켄트부족	저속운행		
		곡선부 켄트과다	고속운행		
차륜공전	급가속	선로상 이물질	낙엽, 그리스, 결빙		
		상구배 선로			
제동충격	급제동	곡선부 급제동			
구원건인결함	부상탈선	제동체결상태-역행			

#### 4.2 철도 충돌/탈선 사고 심각도 평가를 위한 사고 진전 시나리오 검토

철도 충돌/탈선 사고에서 피해심각도를 판단하기 위한 사고진전 시나리오는 열차 기관사나 운전가가 취하는 초기 회피행동(이상검지, 열차방호, 제동취급 등), 열차탈선에 의한 2차 충돌의 발생가능성과, 충돌시 열차의 속도, 충돌시 대상 열차의 형식과 크기를 고려하고, 아래의 표와 같이 사고에 대한 최종결과를 ETA 형식으로 전개하였다.

이상검지	열차방호	열차정지	내충격성	인접선지장-2차충돌
자동(Y)	이상경고	제동-열차정지		
		제동-저속탈선	내충격구조 구비	
			내충격구조 미비	
(N)	긴급통신	제동-저속탈선	내충격구조 구비	
			내충격구조 미비	
		제동-중속탈선	내충격구조 구비	지장없음
				지장-2차 충돌
			내충격구조 미비	지장없음
				지장-2차 충돌
	기관사확인	제동-저속탈선	내충격구조 구비	
			내충격구조 미비	
		제동-중속탈선	내충격구조 구비	지장없음
	방호없음	제동-중속탈선	내충격구조 구비	지장없음
				지장-2차 충돌
		고속탈선	내충격구조 구비	지장없음
			지장-2차 충돌	
내충격구조 미비			지장없음	
			지장-2차 충돌	
충격/진동 -온도 -속도 -침입경고	방호없음	제동-중속탈선	내충격구조 구비	지장없음
				지장-2차 충돌
		고속탈선	내충격구조 구비	지장없음
				지장-2차 충돌
			내충격구조 미비	지장없음
				지장-2차 충돌

그림2. 사고 심각도 평가를 위한 철도 충돌/탈선 사고 사고진전 시나리오 전개 기본안

#### 5. 결론

본 연구에서는 국내 철도 충돌/탈선 사고 사례를 체계적으로 분석하여, 위험사건의 발생빈도를 결정하기 위한 위험요인의 분류체계의 개발과 피해 심각도를 산정하기 위한 사고 시나리오 모델 전개에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 사건발행 확률을 평가하기 위해 위험사건별 위험상황과 위험요인을 조합으로 사고 시나리오를 구성하고 하며, 이를 토대로 사고 인자별 사고 분석을 수행하고, 이를 구성하여 각 위험 사건별 위험발생 확률을 추정할 수 있는 위험 사건별 고장수목분석(FTA) 모델을 구성하였다. 철도 충돌/탈선 사고에서 피해심각도를 판단하기 위한 사고진전 시나리오는 열차 기관사나 운전가가 취하는 초기 회피행동(이상검지, 열차방호, 제동취급 등), 열차탈선에 의한 2차 충돌의 발생가능성과, 충돌시 열차의 속도, 충돌시 대상 열차의 형식과 크기를 고려하여 최종결과를 ETA 형식으로 전개하였다.

본 연구의 결과는 철도 시스템의 위험도 평가단계에서 체계적으로 국내 철도 충돌/탈선 사고의 직·간접 원인과 중요 기여요소를 분석하고, 국내 철도 충돌/탈선 사고의 발생확률과 위험도를 정량적으로 평가하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. Cohen, A.(1995), □□Quality Function Deployment-How to make QFD work for you□□, Addison-Wesley Publishing Company Inc.
2. Dury C.G.(1983), □□Human factors in consumer product accident investigation□□, Human Factors, Vol.25, No.3, pp.329-342.
3. Lee D.H.(2000), □□A systematic approach to accident scenario analysis for designing safer products: child nursery equipment case studies□□, Thesis for degree of doctor of philosophy, Kyunghee University, Seoul Korea
4. 김사길(2003), □□사고비용을 고려한 체계적 사고시나리오 분석모델 개발□□, 석사학위논문, 경희대학교
5. 왕종배 외(2004), □□철도시스템 안전요건 관리체계 구축 기술개발□□, 한국철도기술연구원
6. 전용호, 유일근 외(1996), □□QFD를 이용한 항공서비스 불만처리흐름개선□□, 품질경영학회지 제24권 제4호