

철도사고 분류 및 위험요인 분석

박찬우 · 왕종배 · 곽상록

한국철도기술연구원 안전기술연구팀

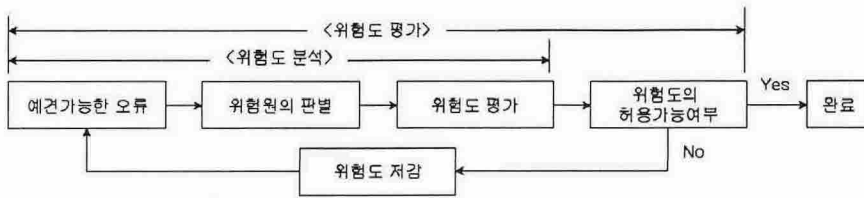
1. 서론

철도는 수송단위가 큰 공공 교통수단으로서 안전성과 정시성을 자랑하지만, 충돌, 탈선, 화재나 탈선 등에 의한 사고가 발생하는 경우 대형재난으로 확대될 수 있는 위험성을 갖고 있다. 이에 따라 선진 철도운영국에서는 위험의 발견, 평가, 대책 수립 및 실행, 문제점 개선을 통해 지속적으로 안전수준을 유지 또는 향상시키는 일련의 순서를 가진 프로그램 활동을 기반으로 시스템 안전관리(System Safety Plan)를 수행하고 있다. 특히, 사고/장애 이력자료와 안전규정/기준 등의 관련 자료의 분석을 통해 작성된 국가표준의 사고/장애 분류기준을 통하여 철도사고를 유발할 수 있는 취약요인과 안전 위협요소를 체계적으로 관리하고 있다.

최근 국내 철도도 철도안전법의 시행에 따라 철도안전관리체계 개선에 많은 노력을 수행하고 있으며, 이의 일환으로 국가표준의 사고/장애분류체계에 관한 연구를 수행 중이다. 이에 따라 본 연구에서는 시스템 안전관리의 시작으로서 철도시스템의 위험요인 분석에 관한 연구를 수행하였으며, 도출된 결과를 바탕으로 철도 사고분류체계 개발에 관한 연구를 수행하였다. 본 논문에서 수행된 결과는 철도사고보고 및 조사단계에서의 위험요인 규명 및 체계적 예방안전관리활동에 활용될 수 있을 것이다.

2. 위험도 기반의 안전관리

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. [그림 1]은 가이드51에 표시된 안전성 평가의 순서를 나타낸다. 설비 혹은 시스템은 의도된 사용방법 외에 합리적으로 예견 가능한 오류사용을 배려하여 위험원(hazard)을 판별하고, 위험도의 크기를 어렵잡아 그 위험성이 허용 가능한지의 여부를 평가하여 만약 허용가능하지 않으면 위험성 저감 대책을 실시하여야 한다. 또한 충분히 허용 가능한 위험도 수준일 때를 안전하다고 정의한다. 철도사고를 유발할 수 있는 취약요인과 안전 위협요소를 사전에 파악하기 위하여 위험요인 분석이 선행된다. 위험도 분석의 시작으로 상세 분석의 대상을 정의하는 위험요인 분석 단계에서는 전체적인 관점에서 사고를 분명히 이해하고, 사고 프로세스와 사고대상자의 행동 패턴을 정의하며, 분석하고, 서술하는 과정이 체계적으로 수행되어야 한다.



[그림 1] 위험도 평가 절차

3. 국내외 철도사고 분류 및 위험분석 사례

(1) 국내외 철도 사고사례 조사 및 원인 분석

본 연구에서는 국내외 철도사고/장애의 이력자료와 안전규정/기준 등의 관련 자료의 분석을 통해 철도사고를 유발할 수 있는 위험요소 및 사고발생 유형을 분석하였다. 분석된 자료는 아래와 같다.

- 한국철도공사 사고·장애 자료(2000년~2004년)
- 한국철도시설공단 사고·장애 자료(2004년)
- 한국철도공사 수도권 전철장애 자료(2000년~2004년)
- 서울특별시 지하철공사 운전장애 및 여객사상사고 자료(1995년~2004년)
- 서울특별시 도시철도공사 운전장애 및 여객사상사고 자료(1995년~2004년)

이상의 사고·장애 자료를 분석한 결과를 종합하여 요약하면 아래의 <표 1>과 같다.

<표 1> 철도 사고사례 요약

사고 유형	원 인
충돌	운전제어장치고장, 운행제어장치 차단운전, 신호모진, 차량 브레이크 고장, 선로상의 장애물/낙하물, 운행선 지장 공사/작업 장비, 차단구간 열차운행
탈선	레일 파손, 궤도의 이상, 궤도 함몰, 선로상의 장애물, 낙하물, 차륜과 분기기 고장, 차량(대차 고장, 차축 파손), 곡선부 과속운행
화재	차량기기 누전/합선, 차량내 방화
건널목 사고	자동차와의 충돌
공중 사상	선로 불법출입, 무단횡단
직무 사상	허가시간 이외의 작업시행, 운행선 공사/작업 부주의
여객 사상	승강장 추락, 열차 승차/하차 중 선로추락, 운행 중 차량 출입문 개방

(2) 국내 철도 사고분류 및 보고체계 분석

한국철도공사 안전관리 규정, 철도사고보고 및 수습처리규정에서 정의하고 있는 철도 사고는 열차운행선 및 철도작업(건설) 현장에서 발생하는 사고를 말하며, 운전사고와 일반안전사고로 구분하고 있다.

<표 2> 한국철도공사 철도사고·장애 구분

철도 사고	운전 사고	열차사고	열차충돌	운전 장애	차량탈선		
			열차탈선		차량과손		
			열차접촉		열차분리		
			열차화재		송전고장		
	사상 사고	건널목사고	제1/2/3종		송전장애	차량일주	
					여객사상	이선진입	
					직무사상	폐색취급위반	
	설비 사고	시설물사고	차량사고		공사중사상	신호취급위반	
						건물사고	위규운전
						기기사고	정지위치실당
						건물화재	열차방해
	화재 사고	시설화재	기자재화재		유지화재	선로장애	
						선로고장	
						보안장치고장	
						차량고장	
						열차퇴행	
	폭발사고	폭발사고	폭발사고		폭발사고	열차지연	
						화분	
열차정지							
					기타		

<표 3> 서울특별시 지하철 공사 운전장애 분류체계

운전장애	유형	원인
열차장애	열차탈선, 차량탈선, 차량고장, 신호고장, 전기고장, 선로고장, 취급부주의, 복합장애, 기타	정비, 보수 결함, 운전 취급, 신호 취급, 제작·시공 결함, 재질 결함, 노후, 기타
여객사상 사고		자살·자살기도, 선로통행, 선로추락 본인 부주의, 열차 측면접촉, 출입문에 끼임, 열차-홈 사이 끼임

<표 2>와 <표 3>에서 표시되어 있듯이 국내 철도사고 분류기준은 운영기관별로 상이한 분류체계를 유지하고 있으며, 원인분류가 표준화되지 않아, 국가차원에서 정확한 사고조사 및 원인을 파악하여, 사고 관리, 예방 및 대책을 제시하기가 어려운 실정이다.

(3) 국외 철도 사고분류 및 보고체계 분석

각국은 국가적인 철도 사고보고 및 분류체계를 구축하여 철도에 존재하는 위험(hazard)과 위험도(risk)에 관한 정확한 정보를 획득하고, 철도 안전규정의 효과적 실행과 책임 강화, 철도 안전의 비교 경향 판단, 철도 사상자 및 사고 예방에 중점을 둔 위험제거 및 위험도 감소를 위한 안전 프로그램을 개발에 사용하고 있다.

① 미국 FRA

미국 철도는 국가적으로 철도에 존재하는 위험과 위험도에 관한 정확한 정보를 FRA에게 제공하기 위하여 Code of Federal Regulations(CFR), Part 225의 Title 49 규정에 의거하여 매월 철도사고/사건 보고 시 FRA 지침에 따른 “철도 사망 부상 또는 직업병 요약서(Form FRA F 6180.55)”를 사용하도록 되어 있고, 사고/사건의 유형에 따라 필요한 정규화 Form을 첨부로 제출하게 되어 있으며, 이는 아래와 같은 주요 군으로 분류된다.

- 사망, 상해 또는 직업병(Form FRA F 6180.55a)
- 철도 장비 사건/사고(Form FRA F 6180.54)
- 고속도로-철도 건널목 사건/사고(Form FRA F6180.57)
- ※ 주: 직원의 인적오류에 의해 야기된 사건/사고는 “직원 인적요인 첨부서(Form FRA F 6180.81)” 첨부하며, 관련 직원에게는 “직원 인적오류에 기인한 철도 사고/사건에 관련된 철도 직원에 대한 통지서(Form FRA F 6180.78)”을 제공해야 한다.

위의 첨부양식은 하나의 철도사고에 대해 복수개의 보고서가 작성될 수 있다. 예를 들어 고속도로-철도 건널목 사건이 발생하여, 철도사고로 사상사고가 발행하고, 시설물 피해가 보고기준 이상이면, 위의 3가지 양식이 모두 사용되며, “사망, 상해 또는 직업병 (Form FRA F 6180.55a)”는 사상자 별로 작성된다. 철도 장비 사건/사고(Form FRA F 6180.54)에서 사용되는 열차사고 유형은 아래와 같다.

<표 4> 미국 FRA 열차사고 유형 분류

1. Derailment(탈선)	7. Hwy-rail crossing(고속도로-건널목)
2. Head on collision(정면충돌)	8. RR grade crossing(RR 등급-건널목)
3. Rear end collision(추돌)	9. Obstruction(장애물 지장)
4. Side collision(측면 충돌)	10. Explosion-detonation(폭발-폭발물 사고)
5. Raking collision(경사면 충돌)	11. Fire/violent rupture (화재, 폭력사고)
6. Broken train collision(파손열차 충돌)	12. Other impacts (기타 충격)
	13. Other(describe in narrative) (기타)

② 영국

영국에서 철도사고의 보고범위는 철도 운영에서 발생하는 모든 사고 및 사건, Network Rail PLC의 철도안전 Case의 범위에 속하는 것으로서, 즉 NRCI에 영향을 미치거나 운영 중인 철도 역사(Station)에서 발생하는 것. 탑승중인 승객에 대한 사고는 모두 포함된다. 여기서 작업장, 측선/정비창, 창고, 조차장(yard), 사무실, 공공도로에서의 사건, 역사의 특정 지역(예로 주차장, 완전폐쇄구역) 그리고 모든 운행 중인 열차(승객을 포함한 것은 제외)가 NRCI에 영향을 미치지 않는다면 이를 제외한다.

<표 5> 영국에서 철도사고 분류 및 관리체계

승객 사고	장소	역사	승차, 하차, 승강장 추락, 경계선 근접		
		역사 외	출입문에서 추락, 출입문 기댐, 열차사고, 승차, 하차		
	사고 형태	이동 중 사고	승차, 하차, 선로 추락 및 열차에 치임, 역사 내 선로 횡단 열차에 치임, 화물칸 문 개방 및 폐쇄, 화물의 추락, 화물칸 출입문 기댐, 열차의 동력작동 출입문, 미사일 포격		
		비 이동 중 사고	에스컬레이터 사용, 승강기 이용, 계단 이용, 수화물에 걸려 넘어짐, 승강장에서 넘어짐, 미끄러짐, 넘어짐, 추락, 역사 내 선로 횡단, 전기감전		
		열차사고	전체 열차사고	탈선사고 열차충돌 완충장치 충돌	
			여객열차사고	탈선사고	탈선 단독, 충돌 후 탈선, 완충정지 후 탈선
	열차충돌			충돌 단독, 출입문 개방 충돌	
	완충장치 충돌			완충정지 단독, 충돌 후 완충정지	
	지장(방해)		도로차량, 차단기, 동물, 불법행위, 투석, 기타		
	차량화재	승객 열차 비-승객 열차			
자살 및 자살의심					
열차 사고 관리	위험도 전조지수	기반시설	선로변 신호기 손상, 레일 파손, 레일 좌굴, 구조물 손상, 교량 및 터널 등에서의 손상, 제방및 절개지 산사태, 선로침수, 기타		
		교량	교량 하부(도로/수로 위의 철도), 과선교(철도 위의 도로)		
		열차 및 철도차량	차량 결 열차 부분, 측부 손상, 차륜 및 타이어 함 손상, 기타 위험물 사고		
SPAD	전체 범주 A RCI(전체 기반시설에 영향)				
	전체 범주 A (운행선에만 영향)				
	전체 범주 B (전체 기반시설에 영향)				

③ 각국의 철도 사고보고 및 분류체계 비교

아래의 <표 6>는 지금까지 검토한 국내의 철도사고 분류기준들을 정리, 비교한 것이다. 세부분류항목에 있어서는 다소 차이가 있으나 탈선, 충돌, 추돌, 건널목사고, 장애물 사고, 화재, 폭발 등 대분류 기준은 거의 동일함을 알 수 있다.

<표 6> 철도사고 유형 분류체계 비교표

사고유형분류		국 가						
		미국	호주	영국	노르웨이	인도	캐나다	한국
탈 선	탈선	○	○	○(P,N-P)	○	○	○	○
	선로상 탈선						○	
	역내탈선		○					
충 돌	열차간 충돌	○	○	○(P,N-P)	○	○	○	○
	선로, 비선로 상 충돌						○	
	역내충돌		○			○		
추 돌	추돌	○	○			○		
	측면추돌	○						
	경사면추돌	○						
	열차추돌파손	○						
건널목	건널목		○	○(P,N-P)	○	○	○	○
	고속도로건널목	○						
	RR grade건널목	○						
	신호무시사고		○			○		
	신호기결함사고		○					
장애물	장애물 충돌	○					○	
	선로장애물 충돌			○	○			
	완충장비에 충돌			○				
	장애물 충돌(눈사태)				○			
화재 폭발	폭발, 폭발물	○	○			○	○	
	화재, 폭력	○	○	○(P,N-P)	○		○	○
기 타	기타 충돌	○						
	기타	○		○			○	
	미끄러짐, 추락사고		○					
	화물적재 시 사고		○					
	안전의무불이행 사고		○					○
	시설고장 사고		○					○
	열차고장 사고		○					○
	전기적 결함		○					○
	테러사고		○					
자살사고		○					○	

** P-승객용 열차, NP-화물용 열차

(3) 국내 철도 사고결과 분류 체계(안)

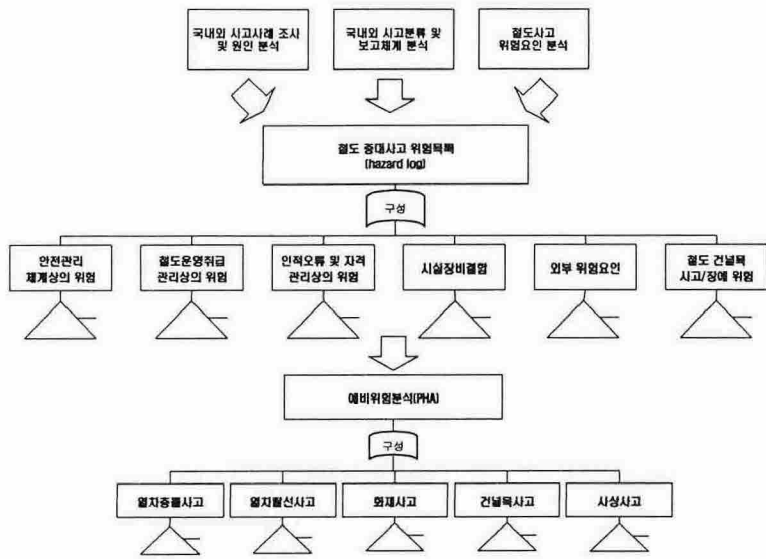
이상의 분석을 통하여 도출된 국내 철도사고 결과분류체계(안)는 <표 7>과 같다. 도출된 결과분류체계는 국내 운영기관 및 정부관계자와의 다양한 협의과정을 거쳐 수정·보완되어야 할 것으로 판단된다.

<표 7> 국내 철도 사고결과 분류 체계(안)

구분		종류		
철도사고	운전사고	열차충돌사고		
		열차탈선사고		
		열차화재사고		
		기타운전사고		
	건널목사고	도로차량		
		보행자		
		기타		
	사상사고	여객사상사고		
		직무사상사고		
공중사상사고				
철도장애	운행장애	차량탈선		
		차량파손		
		차량화재		
		열차분리		
		급전장애		
		차량구름		
		이선진입		
		규정위반	신호취급위반	
			폐색취급위반	
			정지위치어김	
			위규운전	
		선로장애		
		신호보안장치고장		
	기타 운행장애			
	시설장애	시설물피해		
		차량피해		
		건물피해		
		기자재피해		

4. 국내 철도 위험요인 분석

본 연구에서는 도출된 국내 철도사고결과체계(안)의 사고결과분류를 기준으로 하여, [그림 2]와 <표 9>에서 표시된 것과 같이 위험목록을 작성하였으며, 이를 사고결과분류와 위험목록을 기준으로 예비위험분석서(PHA)를 작성하였다. 위험목록은 [그림 2]와 <표 9>과 같이 안전관리 체계상의 위험, 철도운영취급 관리상의 위험, 인적오류 및 자격 관리상의 위험, 시설장비결함 외부 위험요인, 철도 건널목 사고/장애 위험으로 구분된다.



[그림 2] 철도 위험요인 분석 절차

<표 8> 철도 중대사고 위험목록 예시(시설장비결함-차량결함)

(2) 차량결함 - 기계적, 전기적 고장		
.....		
제동장치 결함	제동관 고장	-공기호스(공기관) 미연결 또는 파열 -유압호스 미연결 또는 파열 -제동관 및 연결기 파손 -제동관 막힘 (예: 회전마개 고착, 결빙 등)
	제동밸브 오기능	-제동밸브 오기능(긴급상황 초래) -제동밸브 오기능(제동 고착)
	장비 탈락/끌림	-장비 탈락 또는 끌림
	수동제동기 고장	-수동 제동기(기어포함) 파손 또는 고장 -수동 제동 연계/연결기 파손 또는 고장
	제동장치 통신 두절(컴퓨터 제어식)	
제동력 부족	-차축 미끄럼(슬립/슬라이드) 방지 장치 고장 -차량 살사장치 고장 -제동공기(유압) 수분/이물질 함유	
.....		

예비위험분석(PHA)은 시스템 위험분석 단계에서 핵심안전위험부분을 확인하고, 위험 조건의 초기평가와 필요한 위험조건 관리 및 후속조치를 판단하기 위한 것이다. 본 연구에서는 사고결과분류와 위험요인에 따라 잠재적 사건과 위험상황, 사고유발사건을 정의하고 사고빈도, 사고 심각도를 평가하고 있으며, 해당 분야에 대책기술과 대책방법을

정의하고 하고 있다. 향후 예비위험분석서의 결과를 토대로 국내 철도사고 원인분류 체계(안)가 도출될 수 있을 것이다.

사고 형식	위험 시간	위험 원인	사건유발 요소	위험 요인	결과	심각도	빈도	대책	이혼도	여응
열차 충돌	추방 충돌	비정상적으로 미끄러진 주간의 레일 (오일/그리스/석유 존재)	궤도 상에 장치(선 다른 열차 손재)	궤도 환경조건	시스템 중요 손상 인명부상 가능성	1	B	레일은 정상조건으로 유지/관리되어야 함 (오일/그리스/석유 제거) 궤도구간의 여유공간 증대/유리이수제어 선로 일직선 보정하기 위한 영양분 재공행선의 철저한 열차 배열 운영	(II) C	A

[그림 3] 예비위험분석서(PHA) 작성 예시

5. 결 론

본 연구에서는 시스템 안전관리의 시작으로 철도시스템의 위험요인 분석에 관한 연구를 수행하였으며, 도출된 결과를 바탕으로 철도 사고분류체계 개발에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과는 시스템 안전관리의 시작점으로 국가 표준의 철도사고 원인-결과 분류에 따른 위험요인별 사고발생 확률 및 사고피해 정도를 정량적으로 평가하고 철도사망/사고율 저감을 위한 합리적인 사고예방 대책과 비용효율적인 안전개선 투자 마련에 기여할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 곽상록, 왕중배, 홍선호, “철도안전관리 개선을 위한 확률론적 위험도평가 방안 연구”, 한국철도학회지 특별기고, 2003년 2월, 제 6권 4호, pp. 11-18
2. 건설교통부, “철도사고 위험요인(PHA) 분석기술 개발”, 2004
3. 동화출판사, “최신 안전공학개론”, 2002
4. 한국철도기술연구원, “철도사고방지 및 안전확보를 위한 핵심기술개발 연구”, 2003
5. 철도청, “철도청 사고보고 및 수습처리규정”, 2003
6. USNRC, “An approach for using probabilistic risk assessment in risk-Informed Designs on plant specific changes to the licensing basis”, reg. guide 1.174, 1998
7. Health & Safety Executive, “Railway Regulations 2000”, 2000
8. Network Rail, “Network Rail’s Railway Safety Case, version 6”, 2004
9. Kalay, S, “An international cooperative research approach to rail defect risk management”, proc. of WCRR 2003, U.K. pp. 699-707, 2003
10. U.S. DOT, Federal Transit Administration, “Hazard Analysis Guidelines for Transit Projects” DOT-FTA-MA-26-5005-00-01, Final Report, Jan. 2000
11. Railtrack, Profile of Safety Risk on Railtrack PLC-Controlled Infrastructure”, Railway Safety Issue, SP-RSK-3.1.3.11, 2001