

철도운행선 공사의 위험도 평가절차 수립 연구

A study on the Risk Assessment Procedure for Work in the Operational Railway

왕종배* 박주남 박찬우 곽상록
Wang, Jong Bae Park, Ju Nam Park, Chan Woo Kwak, Sang Log

ABSTRACT

In this study, a hazard analysis was performed on the accident related work in the operational railway during 2000-2006 years in order to establish risk assesment procedure for work in the operational railway. As a result of hazard analysis, various hazard events for person accident and operation incident were identified, and risk for the each events was evaluated. Also risk matrix was structurized for setting the risk control criteria.

1. 서론

오늘날 철도시스템과 같이 복잡성과 재난 위험도가 큰 시스템에서 재난과 사고를 의도적으로 막기 위해서는 시스템 안전이 필수적이다. 시스템 안전관리의 핵심은 그림 1과 같이 위험의 확인, 위험도의 평가 및 지속적인 위험추적을 통한 위험도의 허용수준을 관리하는 것이다. 즉 피드백 과정을 반복 하여 위험도가 수용 가능할 수준이 될 때까지 위험을 추적하고 위험도를 확인하는 것이다.

위험도(risk) 평가(assessment)는 위험요인(hazard)을 식별(identification)하고, 개별 위험요인의 발생 확률(frequency)과 피해심각도(severity)를 산정하여 위험도 경감대책의 효율성을 평가하는 논리적인 절차로서, 기존 철도운영이나 시스템 또는 여러 대안들에 대한 안전성능을 평가하는 작업을 총칭한다.

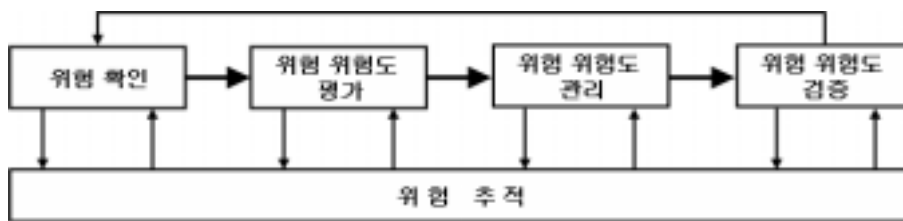


그림 1. 시스템 안전관리 핵심절차

* 왕종배, 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원
E-mail : jbwang@krri.re.kr
TEL : (031)460-5541 FAX : (031)460-5509
* 한국철도기술연구원 안전기술연구팀

본 논문에서는 ‘철도 운행선 지장공사의 위험도 평가 절차’를 수립하기 위하여 최근 6년간(2000~2005년) 발생한 한국철도공사 및 철도시설공단의 철도운행선 지장공사에 대한 사고발생 이력으로 부터 인명피해를 초래한 사상사고와 시간지연을 초래한 철도운행장애로 나누어 위험요인을 분석하고 위험사건을 정의하여 각각의 위험사건에 대한 위험도를 정량적으로 평가한 연구결과를 소개하고자 한다.

2. 자료수집 및 사고특성 분석

위험도 평가를 수행하는데 있어서 가장 큰 노력이 필요한 부분은 위험과 사고의 특성을 분석하는데 필요한 기초자료의 수집이다. 위험과 사고특성을 결정하기 위하여 사고자료, 운영이력, 사고특성의 공학적/관리적 분석이 동시에 사용된다.

- 사고이력자료는 개별 사고마다 전문가 검토의견을 첨부해야 한다.
- 공학적/관리적 분석은 다음과 같은 사고발생 가능성 및 결과평가에 있어 유일한 방법이다.
 - 열차 충돌, 탈선의 동특성 분석, 열차 운전 시뮬레이션
 - 인적오류 추정을 위한 인간요소 분석, 위험요인 완화를 위한 분산 모델링

본 연구에서는 최근 6년간(2000~2005년) 발생한 한국철도공사 및 철도시설공단의 철도운행선 지장공사 관련 사고/장애 자료를 인명피해를 초래한 사상사고와 시간지연을 초래한 철도운행장애로 나누어 사고특성을 분석하였다.

표 1. 철도운행선 지장공사 관련 사고/장애 발생 및 피해 현황 종합

년도	발생빈도 (건)	인명피해				시간손실 (지연시분)	비 고
		등가사망(명)	사망	중상	경상		
2000년	37	8.60	8	6	0	48:12	등가사상 환산기준 = 1인 사망 =10인 중상 =200인 경상
2001년	40	8.84	8	8	7	40:07	
2002년	25	2.16	2	1	12 ^{*(1)}	25:13	
2003년	39	15.85	15 ^{*(2)}	5	70 ^{*(3)}	52:27	
2004년	28	9.31	9	3	2	55:25	
2005년	36	3.52	3	5	4	49:06	
합계	205	48.28	45	28	95	270:03	
년평균	34.17	8.05	7.5	4.67	15.83	46.44	

※ (1) 여객사상(2002. 8. 26) : 호남선(두계-개태사역) 터널판넬탈락-객차파손, 경상12명
 (2) 공중사상(2003. 2. 15) : 호남선(신태인 고성천교량) 불법통행-열차접촉, 사망7명, 경상1명
 (3) 열차탈선(2003. 5. 30) : 호남선(계룡육교) 육교거더선로추락-열차탈선, 중상3명, 경상58명

일반적으로 철도 사고/장애로 인한 피해는 ①사망, 중상과 같은 인적피해, ②열차지연과 같은 시간손실, ③시설물, 차량피해와 같은 물적피해, ④열차의 신뢰성 저하, 환경피해와 같은 간접피해 등의 측면에서 분석이 가능하지만, 본 연구에서 인적피해와 시간지연 손실만을 대상으로 하였다. 표 1은 인명피해를 초래한 사상사고의 사고특성 분석 사례를 제시한 것이다.

표 1. 국내 철도운행선 지장공사 관련 사고특성 분석 사례

순번	사고종별	사고유형	사고내용	사고원인	인적피해		시간지연(분)	피해상황
					사망	부상		
1	사상 사고	감전 (전차선 접촉)	작업원이 야간작업 준비 중 부족한 전철재료가 조치원역 구내 인상선에 유치되어 있던 모터카에 있다는 것을 알고 개인적으로 현장에 이동 재료반출을 하던 중 근접하여 감전된 사고임.	업무감독소홀 안전수칙미준수	-	1		60%화상 (40% 3도 화상)
.....								
35	사상 사고	감전 (전차선 접촉)	철제파이프가 전차선 근접 감전-작업승인없이 전차선 근접작업, 수직형 작업대에서 단독작업, 안전관리소홀(안전시설 및 감시인 부재)	임의작업시행 안전협의소홀 안전대책 미비 -안전표지판, 감시원 미배치		1		경상 (안면부 화상)
35	합 계				2	10		

3. 위험분석(Hazard Analysis)

위험분석은 시스템 안전에 대한 기본적인 토대를 제공하는 것으로서 시스템 위험도와 위험의 의미를 결정하고, 확인된 위험을 제거 혹은 경감하기 위한 설계 방법을 확립하기 위하여 사용된다.

위험분석의 효과적인 수행은 위험을 구성하는 것이 무엇이며, 위험을 어떻게 인식하고 어떻게 정의할 것인가를 이해하는 것이 필요하다. 또한 위험과 위험요소들을 확인하고 필요한 안전대책을 수립하기 위해서는 위험의 속성, 사고와의 관계 그리고 시스템 설계에 미치는 영향 등을 이해하는 것이 필요하다.

- 1) 시스템 경계 설정 : 위험분석 대상
- 2) 위험 확인(Hazard identification) :
위험원인 및 위험사건(Event) 판별
- 3) 방벽 확인(Barrier identification) :
사고확대 차단
- 4) 위험원 관리(Hazard management) :
위험일지(Hazard Log) 작성

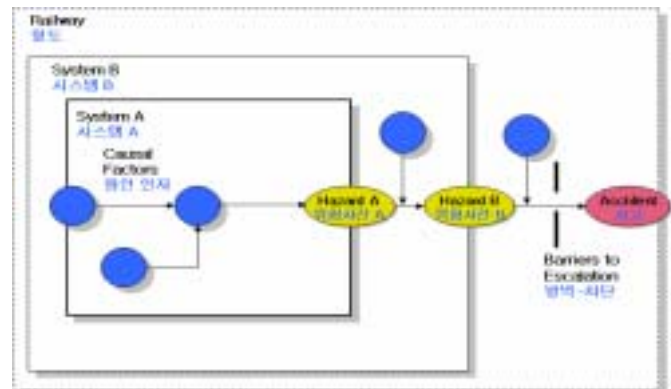


그림 2. 시스템 경계 설정 및 위험원 확인

본 연구에서 철도운행선 지장공사 관련 위험분석을 위한 시스템 경계 설정 및 위험분석 대상은 다음 3가지 공사/작업을 범위를 포함하는 것으로 하였다.

- 1) 운행선 인접공사(건설/개량공사, 유지보수 작업 및 점검 포함)
- 2) 선로차단공사(열차운행 및 전력공급 차단)
- 3) 철도보호지구내의 각종 외부 공사/작업

표 2는 최근 6년간(2000~2005년) 발생한 철도운행선 지장공사와 관련하여 발생한 총 205건의 사고/장애 자료의 분석을 통해 사상사고와 운행장애로 구분하여 철도운행선 지장공사에 대한 위험사건을 정의한 것이다.

표 3은 각각의 위험사건에 대한 위험요인을 분석하여 정리한 위험일지(hazard log)를 제시한 것이다. 각각의 위험사건에 대한 위험요인 분석에서는 핵심 위험요인을 제시하고 그 배경이 되는 개인위험, 계획/관리상의 위험 및 기타 환경위험으로 구분하여 분석하였으며, 이들 위험분석 결과는 정량적인 위험도 평가를 위한 기초자료로서 이들 위험사건의 발생빈도와 결과피해를 함께 집계하여 위험원을 관리할 수 있는 위험일지(Hazard Log)를 작성해야 한다.

표 2. 철도운행선 지장공사 사고유형별 위험사건 정의

사상사고		위험사건		운행장애	선로장애-위험사건		
열차접촉	열차감시소홀	열차접근경고 미인지	열차감시자 미배치 열차감시 업무소홀 작업중 운행선진입	선로고장	레일변형/파손	공사장비 선로횡단	
		열차감시자 미배치			공사장비 설비손상		
		열차감시 업무소홀			선로전환기 고장	선로전환기 활출 -신호오인	
		작업중 운행선진입			선로침하	기초굴착작업 외부지장공사	
	무단임의작업	작업자재 선로방치	작업자재 선로방치	운행선 무단작업 열차대피중 자재/도구 방치			
작업자 감전	급전선 접촉 -외부작업자	작업종료후 임의작업	작업장비 고장	선로지장	공사장비 방치	작업장비 고장	
	급전선 접촉 -장비/도구				장비고정 소홀		
	급전선 접촉 -작업 부주의				공사장비 전도	적재불량(공사열차) 취급부주의 -기중기뿔대 회전 -기중기 이동	
기타	작업전도	열차대피중 전도	시설물 전도	시설물 전도	연약지반 침하 -이동/작업	공사장비 접촉 작업불량	
	장비충격	작업장비충격 -백호우			시설물 탈락	시설물 탈락	선로시설물 탈락
	열차충돌	작업장비충격					전철시설물 탈락
	열차파손	터널구조물탈락					터널구조물 탈락
	기타	작업구간 열차진입					

운영 장애	송전장애-위험사건		운영 장애	신호보안장애-위험사건			
전차선 접촉 파손	전차선 접촉	공사장비 전차선 접촉	케이블 절손	매설케이블 절손	공사장비작업		
		공사장비 전복 접촉			기계장비작업		
		공사트럭 전차선 접촉			기초공사작업		
		외부시설물 전차선 접촉			용접작업		
		터널탈락물 전차선 접촉			신로변시설물 철거/교체 작업		
전차선 파손	전차선 파손	장비작업 취급 부주의	신호보안 케이블 절손	신로변시설물 철거/교체 작업	공사장비작업		
		작업불량			신로변 공사자재 전도		
		외부공사			작업불량		
		터널 탈락물			작업불량		
기타	고압케이 블 손상	기계작업	기타 보안 장치 고장	선로전환기 고장	울타리설치		
		전선관 노출			공사장비 이동		
		무단작업			전선관 인접 불피움		
	절연이격 부족	보수작업 불량			-작업 불량	케이블 소손	신호케이블 접속부 이완
						케이블 작업불량	신호케이블 접속부 이완

운영 장애	위험사건		운영 장애	위험사건				
열차 /차량 탈선	선로변형	외부요인	외부공사 시설물추락	시설물접촉	급전선 늘어짐			
					신호위반	차단구간 오진입	시설물 전도	
						신호오인 분기할출	외부요인	외부지장물 -암석
						규칙위반		취급부주의
					적재화물편중		열차대피중 자재/공구 방치	
차량 고장	엔진과열	엔진정지	작업계획부실	열차대피중 자재/공구 방치	작업장비 운행선 지 장			
	연료부족				열차 충돌	대피지시 위반	작업계획부실	
	엔진정지						작업지연	
차량 충돌	공사열차 충돌	공사장비 충돌	무단선로진입	작업부주의	작업부주의			
					차단전 임의작업	작업장비고장		
						차단구간진입	선로무단통행	

4. 위험도 평가(Risk Assessment)

위험도 평가는 위험사건의 발생으로 초래되는 등가 사망자의 연간 평균값을 측정하는 것이다.

집합적 위험도(예상 등가사망자/년) = 어떤 위험사건의 빈도(사건발생 건수/년)

x 위험사건이 초래하는 결과심각도(예상 등가사망자/년)

본 연구에서는 최근 6년간 철도운행선 지장공사 사고/장애 이력을 분석하여 1)사상사고와 2)열차운행 장애로 나누어 위험사건의 발생빈도와 결과피해를 집계하여 위험도를 평가하였으며, 표 4 및 표 5에 그 결과를 제시한다.

한편 위험도 평가는 여러 가정을 포함하는 근사적인 절차로서 다음 사항을 인식하여야 한다.

- 고려하는 사고의 종류와 운영환경에 대한 사고통계자료의 샘플크기가 작을 경우 사고발생확률과 결과 심각도의 추정값은 불확실성을 내포한다.
- 위험도 평가모델은 발생빈도, 사고손실 및 사상자 수의 절대추정보다는 시스템 안전 개선상의 여러 대안들의 비교에 더욱 유용하게 쓰일 수 있다.

표 3. 철도운행선 지장공사 위험일지(Hazard Log) 작성사례

사고 분류	사고 유형	위험사건	위험요인 (핵심)	위험요인(개인)	위험요인 (계획/관리)	위험요인 (기타환경)	건	사망	중상	경상	시간 지연
직무 사상	열차 접촉	열차접근 경고미인지	소음환경-경고연락설비 미비	*안전수칙위반-열차확인소홀, 개인방호설비미비	*사전현장확인 소홀-위험요인 확인 미흡	열차운행 및 작업 소음	1	1			0:16
공중 사상			대피지연-열차운행 반대방향작업	*안전수칙위반-열차운행 반대방향 작업, 대피지연	*현장안전대책 미흡-소음환경대비 경보연락설비 미흡		1	1			0:06
직무 사상			대피불량-상하선열차동시 운행	*안전수칙위반-대피불량(선로/방향 착각)	*현장안전대책 미흡-열차감시자 배치 부적절	*상하선열차 동시운행	1	1			0:21
선로 장애	선로 고장 - 노반 침하	외부공사 노반침하	*외부공사-선로횡단 공동구 설치중 지하수 유실로 노반침하		*사전현장조사(지반/지질)소홀, *현장안전조치 미흡-안전요원 배치 및 레일빔 설치 미수행	*외부공사 시행시 사전 현장조사(지하매설물/지반상태) 미흡	1				1:45
선로 장애	선로 고장 - 레일 변형	공사장비 선로횡단-변형	*공사장비(포크레인) 선로횡단중 방향전환	*공사장비 운전자 안전수칙 위반	*현장 안전관리 소홀-중장비 선로횡단 안전조치(합판/가마니) 미비	*외부공사 장비운전자 교육훈련 미흡-운행 선지장우려 위험성	1				0:08

표 4. 철도운행선 지장공사 관련 사상사고 위험도 평가 결과

사고 유형	위험사건	건수 (6년)	사망	중상	경상	지연 (분)	연간 발생 빈도	등가사망(인)		위험등급			
								합계	발생 건당	심각도	빈도	위험지수	
열차 접촉	열차감시소홀	열차접근경고 미인지	3	3		43	3.17 (19)	14.51	0.76	II	B	높음	
		열차감시자 미배치	5	4	1	72							
		열차감시 업무소홀	7	5	2	59							
		작업중 운행선진입	4	2	2	49							
	무단 임의작업	운행선사전 임의작업	11	16	2	1	157	2.83 (17)	21.41	1.26	I	B	매우 높음
		작업종료후 임의작업	6	5	2	1	105						
작업자 감전	급전선 접촉 -외부작업자	8	3	5	2	115	3 (18)	7.13	0.40	II	B	높음	
	급전선 접촉	4	1	3		4							

		-장비/도구 급전선 접촉 -작업 부주의	6	2	3	3	144						
기타	작업 전도	열차대피중 전도	2		1	1	37	1 (6)	4.41	0.73	II	C	보통
	장비 충격	작업장비충격	1	1									
	열차 충돌	작업장비충돌	1	1		8	28						
	열차 파손	터널구조물탈락	1			12							
	기타	작업구간 열차진입	1	2	2								
피해 합계			60	45	24	29	813	10	47.45	0.79	II	B	높음

표 5. 철도운행선 지장공사 관련 운행장애 위험도 평가 결과

사고 유형	위험사건	건수 (6년)	지연 (분)	년간 발생 빈도	지연 평균	위험등급								
						심각도	빈도	위험 지수						
선로 고장	레일변형/파손	공사장비 선로횡단 -방향전환	1	8	0.833 (5)	28.8 (144)	III	D	낮음					
	선로전환기고장	공사장비 설비손상 -기역쇠 손상	1											
		선로전환기 활출 -신호오인	1	15										
	선로침하	기초굴착작업 외부지장공사	1	16						1	105			
선로 지장	작업자재 선로방치	운행선 무단작업	1	16	0.83 (5)	6.6 (33)	IV	D	매우 낮음					
		열차대피중 자재/도구 방치 -레일/사다리/ 손수레/작업로프	4	17										
	작업장비 고장	공사장비 방치	1	162	1.67 (10)	151.5 (1615)	I	C	높음					
		작업장비 고장	1	185										
	공사장비 전도	장비고정 소홀 -전주작업차	1											
		적재불량-공사열차	1	213										
		취급부주의 -기중기붐대 회전 -기중기 이동	2	832										
		연락지반 침하 -이동/ 작업	4	123										
	시설물 전도	공사장비 접촉 -전신주 전도	2	242						1.17 (7)	178.7 (1251)	I	C	높음
		작업불량 -전철주 전도 -공사안내판 전도	2	7										
시설물 탈락		선로시설물 탈락	1	27										
	전철시설물 탈락	1	975											
	터널구조물 탈락	1												
피해 합계		22	2799	3.67	127.23	I	B	매우 높음						

5. 위험도 관리기준(Risk Acceptability Criteria) 설정

철도시스템은 근본적으로 사고에 의한 부상과 손실이 내재되어 있다. 따라서 위험도는 사회나 단체가 허용하는 수준으로 관리되고 허용되어야 한다. 철도시스템에서 위험도는 인명에 대한 사상에 초점이 맞춰져 있다. 이는 인명에 대한 보호가 충분하다면, 환경이나 기타 다른 요소들의 보호는 충분하다는 가정하에 출발한다.

본 연구에서 수행한 철도운행선 지장공사 관련 위험도 정량화는 인명손실과 시간지연에 대한 위험도로 구분하였다. 사상사고에 대한 위험도 관리기준은 표 6과 같은 위험등급 Matrix를 구성하여 심각도(등가인명손실)와 Frequency(발생횟수)에 대한 등급기준을 정의하였고, 시간지연에 대한 위험도 관리기준은 표 7과 같이 정의하였다.

표 6. 인명손실에 관한 위험등급

구분		빈도(Frequency)				
		월 1회이상 (A)	월 1회 미만 6개월 1회 이상 (B)	6개월 1회 미만 년 1회 이상 (C)	년 1회 미만 5년 1회 이상 (D)	5년 1회 미만 (E)
심각도 (등가인명 손실)	1.0 이상/건 (I)	매우높음	매우높음	높음	보통	보통
	0.20이상 1.0미만/건 (II)	매우높음	높음	보통	보통	낮음
	0.05이상 0.2미만/건 (III)	높음	보통	보통	낮음	매우낮음
	0.05 미만/건 (IV)	보통	보통	낮음	매우낮음	매우낮음

* 등가인명손실 환산기준 = 1인 사망 = 10인 중상 = 200인 경상

표 7. 열차지연에 관한 위험등급

구분		빈도(Frequency)				
		월 1회이상 (A)	월 1회 미만 6개월 1회 이상 (B)	6개월 1회 미만 년 1회 이상 (C)	년 1회 미만 5년 1회 이상 (D)	5년 1회 미만 (E)
심각도 (평균열차 지연손실)	2시간 이상/건 (I)	매우높음	매우높음	높음	보통	보통
	30분 이상 2시간미만 / 건 (II)	매우높음	높음	보통	보통	낮음
	10분 이상 30분 미만 / 건 (III)	높음	보통	보통	낮음	매우낮음
	10분 미만 (IV)	보통	보통	낮음	매우낮음	매우낮음

6. 결론

본 논문에서는 ‘철도 운행선 지장공사의 위험도 평가 절차’를 수립하기 위하여 최근 6년간(2000 ~ 2005년) 발생한 한국철도공사 및 철도시설공단의 철도운행선 지장공사에 대한 사고발생 이력으로 부터 인명피해를 초래한 사상사고와 시간지연을 초래한 철도운행장애로 나누어 위험요인을 분석하고 위험사건을 정의하여 각각의 위험사건에 대한 위험도를 정량적으로 평가하였으며, 위험도 관리기준을 설정하기 위한 Risk matrix의 구성 사례를 제시하였다.

위험도(risk) 평가(assessment)는 위험요인(hazard)을 식별(identification)하고, 개별 위험요인의 발생 확률(frequency)과 피해심각도(severity)를 산정하여 위험도 경감대책의 효율성을 평가하는 논리적인 절차로서, 기존 철도운영이나 시스템 또는 여러 대안들에 대한 안전성을 평가하는 작업을 총칭한다. 향후 철도 운행선 지장공사 관련 기관에서 본 연구 성과를 활용하여 위험도 평가를 주기적으로 수행하고, 관련 위험도를 적정수준으로 관리할 수 있는 비용-효과적인 안전개선 대책 수립에 기여할 수 있기를 기대한다.

7. 참고문헌

1. 곽상록, 조연옥, 왕종배, “철도유지보수 작업시 작업자 안전향상을 위한 위험도예측에 관한 연구”, 2004년 철도학회 춘계학술대회
2. 왕종배, 철도종합안전기술개발사업 연구보고서, “철도사고 위험분석 및 위험도 평가체계 구축”, 2005
3. 왕종배, “위험도 평가기반의 철도안전관리 선진사례 및 기술동향”, 한국철도기술 제1권 1호, 2005
4. RSSB, “Profile of Safety Risk on the UK MainlineRailway”, issue 3, 2004.
5. US DOT, "Military Standard : System Safety Program Requirements", MIL-STD-882C, 1993
6. 영국 Railway Safety, Guidance on the Preparation of Risk Assessments within Railway Safety Cases Railway Group Guidance Note(GE/GN8561), 2002