

철도건널목 사고 위험도-발생빈도 평가모델 개발

김민수[†] · 왕종배^{*} · 박찬우^{*} · 최돈범^{*}

과학기술연합대학원대학교 미래첨단교통시스템공학과
^{*}한국철도기술연구원 철도중합안전기술개발사업단
(2009. 3. 6. 접수 / 2009. 6. 9. 채택)

Development of Risk-Appearance Frequency Evaluation Model for Railway Level-Crossing Accidents

Min-su Kim[†] · Jong-Bae Wang^{*} · Chan-Woo Park^{*} · Don-Bum Choi^{*}

Department of Future Modern Traffic System Engineering, University of Science & Technology
^{*}Railroad Safety Technology R&D Corps, Korea Railroad Research Institute
(Received March 6, 2009 / Accepted June 9, 2009)

Abstract : In this study, a risk-appearance frequency evaluation model for railway level-crossing accidents is developed with the frequency estimation based on the accident history. It follows the worldwide common safety management approach and reflects the operation conditions and accident properties of the domestic railway system. The risk-appearance frequency evaluation process contains a development of accident scenarios by defining the system configurations and functions, and a frequency estimation of hazardous events based on the accident history. The developed model is verified with the accident history during 5 years('03-'07) for 3 hazardous events : 'Being trapped in level-crossing(H1)', 'Crossing during warning signal(H2)' and 'Breaking through/detouring the barrier(H3)'. This risk-appearance frequency evaluation model will be combined with a consequence evaluation model so as to offer full risk assessment for the railway accident. The accident risk assessment will contribute to improving the safety management of the railway system.

Key Words : railway level-crossing accident, risk assessment, hazard analysis, safety management system

1. 서론

2004년 제정된 「철도안전법」에서는 철도운영자 및 철도시설관리자가 철도운영, 철도시설의 건설 또는 관리와 관련된 위험 분석(hazard analysis) 및 위험도 평가(risk assessment)에 관한 사항을 포함한 안전관리규정을 작성하여 정부의 승인을 얻도록 규정하고 하고 있어¹⁾, 최근 국내 철도 산업계에서는 “시스템 운영 이전에 어떤 위험이 있는지 인식하고, 이들 위험을 사전에 제거하거나 위험도를 경감할 수 있는 대책과 그 실행의 보장”을 핵심 원칙으로 하는 선진 안전관리 시스템(SMS: Safety Management System) 구축을 요구받고 있다^{2,3)}.

철도건널목 사고는 열차와 도로차량이 건널목에서 충돌 또는 접촉하는 충돌사고의 한 형식으로서,

건널목의 설치구조, 교통특성, 인적요인 등이 복합적으로 작용하여 발생한다^{4,6)}. 최근 5년간 국내 철도건널목 사고는 매년 평균 36.8건이 발생하여 6.4명의 사망자가 나타나고 있다⁷⁾. 이는 그 동안 건널목의 입체화, 보안시설의 신설·개량 및 홍보활동 강화 등으로 사고발생 건수 및 사망자의 수가 매년 감소하는 추세를 보이고 있기는 하지만, 아직도 사고발생에 대한 많은 잠재요인이 존재하고 인적·물적 피해가 클 뿐만 아니라 열차지연에 따른 사회적 손실도 큰 실정이다. 그러나 현재 국내 철도건널목에 대한 선진 안전관리 시스템의 구축에 대한 연구가 미흡한 것이 현실이며, 이를 위해서 국제적인 공통안전방법(CSM, Common Safety Methods)을 적용하여, 국내 철도건널목 시스템의 운영특성과 사고특성을 반영하는 “철도건널목 사고 위험도 평가모델”의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 “철도건널목사고 위험도평가 모

[†] To whom correspondence should be addressed.
minsu@krti.re.kr

델” 개발을 위하여, 철도건널목사고의 위험요인 확인 및 사고발생빈도 산정을 목적으로 하는 “철도건널목사고 위험도-발생빈도 평가모델”을 공통안전방법을 적용하여 본 연구에서 제시하는 철도사고 위험도평가 공통절차에 따라 구축하고자 한다.

2. 공통 안전 방법(CSM)의 적용

철도 시스템 안전관리의 핵심은 위험도 관리로서 Fig. 1과 같이 통상 “위험(원) 판별”, “위험도 평가”, “위험도 관리” 및 “위험도 검증”을 골격으로 하는 단계적인 절차를 따른다⁸⁻¹⁰⁾. 여기서 위험도는 평가의 대상인 동시에 경감의 대상/목표가 되기 때문에 위험발생 가능성과 결과적인 피해 심각도를 효과적으로 제어할 수 있는 합리적이고 실행 가능한 위험도 관리 과정을 수반해야 한다. 그리고 확인된 위험을 추적하여 지속적인 안전개선을 이룰 수 있는 피드백이 제공되어야 한다.

Fig. 2는 본 연구에서 제시하는 철도사고 위험분석 및 위험도평가 절차로서, 유럽철도안전지침(RSD)과 ISO/IEC, MIL-Std 등 국제표준규격이 요구하는 공통방법론을 따르고 있다^{2,11-13)}.

우선 위험분석 단계에서는 평가 대상 시스템의 구성과 운영조건 정의, 철도 사고 종류별(충돌, 탈선, 화재, 건널목 등) 위험사건의 정의, 위험사건의 발생원인과 최종적인 결과피해에 이르는 사고

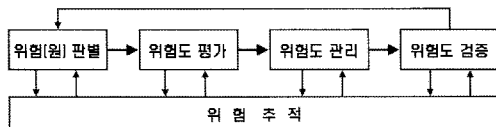


Fig. 1. General process of risk control.

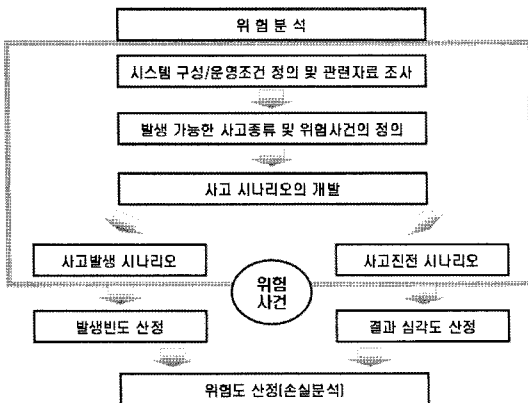


Fig. 2. Process of hazard analysis and risk assessment for railway accident.

진전 과정을 논리적으로 연결하는 사고 시나리오의 구성이 이루어진다⁹⁾. 그리고 위험도 평가 단계에서는 이들 시나리오를 기반으로 위험사건의 발생빈도와 사고진전 과정에 따른 결과 심각도를 산정하고, 최종적으로 인명손실(등가사망)에 대한 위험도를 정량적으로 평가한다^{14,15)}. 본 논문에서는 위험분석 단계를 거쳐 사고 발생시나리오를 구성하고 사고 이력 자료를 기반으로 발생빈도를 산정하는 것을 그 연구 범위로 하고 있다.

3. 철도건널목사고 위험분석

3.1. 철도건널목 시스템 구성 및 기능 분석

철도건널목은 철도교통과 도로교통이 동일 평면에서 물리적, 기능적으로 교차하는 장소로서, 철도 및 도로 교통이 요구하는 안전요건과 인터페이스 조건을 만족하도록 시스템을 설치·운영해야 한다.

국내 철도건널목은 Table 1과 같이 안전설비(경보기, 차단기) 설치 여부와 교통량에 따라서 1, 2, 3종으로 구분하고 있다¹⁶⁾. 여기서 경보기의 경보기능은 열차 최고속도를 감안 30초를 확보기준으로 하고 있으며, 차단기 설치 구간개소는 차단기 완전 하강 후 열차 진입까지 15초 이상 확보하여야 한다. 기타 건널목 보안설비로서 지장물 감지장치, 출구측 차단간검지기, 정시간제어기, 고장감시장치, 긴급신고전화 또는 음성안내장치 등이 필요에 따라 설치된다.

철도사고 위험분석의 기본단계로서 철도건널목 시스템 구성 및 기능 분석에서는 운전자(기관사, 도로차량 운전자), 차량(열차, 도로차량), 건널목 설치구조, 안전설비(차단기, 경보기 등) 등의 물리적 구성과 그들의 기본기능을 정의한다. 그리고 이들의 복합적인 상호작용을 고려하여 철도건널목의 운영 및 관리 과정에서 발생할 수 있는 다양한 위험상황과 위험요인에 대한 검토가 이루어진다.

Table 1. Classification and installation standards for railway level-crossing

	종별 구분	종별 설치기준
		총교통량
1종	차단기, 경보기 및 건널목 교통안전표지를 설치하고 차단기를 주·야간 계속 작동하거나 또는 관리원이 근무하는 건널목	500,000회 이상
2종	경보기와 건널목 교통안전표지만 설치된 건널목	300,000회 이상 500,000회 미만
3종	교통안전표지만 설치된 건널목	300,000회 미만

* 총교통량 : 철도교통량에 도로교통량을 곱한 것

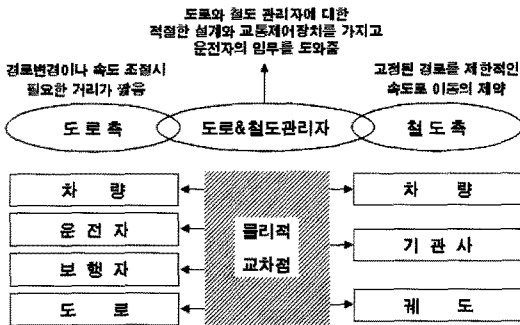


Fig. 3. System configuration of railway level-crossing.

Fig. 3은 철도건널목 시스템 구성을 나타낸 것으로서, 도로측 구성은 운전자, 차량, 도로 및 보행자이고, 철도측은 기관사, 차량 및 궤도를 물리적 구성요소로 한다. 그리고 철도건널목의 기본기능으로서 조직기능(설치, 구성, 운영관리)과 운영기능(검지, 정보, 경보, 방호)을 고려해야 한다.

철도건널목에서는 철도교통과 도로교통의 특성에 따른 차이점을 이해해야 한다. 즉 고정된 궤도에서 주어진 신호를 준수하여 이동하는 열차는 비상상황에서 신속한 운행중지, 선로의 변경이나 추월과 같은 이동의 자유도가 상당히 낮다. 따라서 도로운전자는 건널목의 존재를 사실상 “정지”신호로 인식해야하고, ‘건널목 일시정지와 안전통행 의무’를 준수하여 열차와의 충돌 회피에 대한 대부분의 책임을 감당해야 한다.

3.2. 철도건널목 운영 및 사고 현황

Table 2. The status of railway level-crossing accident during recent 5 years ('03-'07)

구분	'03년	'04년	'05년	'06년	'07년	5년 평균	
종합							
건널목개소	1,657	1,577	1,537	1,510	1,455	1,547.2	
사고발생(건)	61	39	37	25	22	36.8	
사망/부상(명)	11/21	7/46	7/18	3/12	4/25	6.4/24.4	
1종							
건널목 개소	1,538	1,467	1,428	1,393	1,344	1,434	92.7%
사고발생(건)	58	35	32	22	20	33.4	90.8%
사망/부상(명)	11/21	6/43	7/16	3/11	4/21	6.2/22.4	96.9% 91.8%
2종							
건널목 개소	24	27	27	25	20	24.6	1.6%
사고발생(건)	3	4	4	3	1	3	8.1%
사망/부상(명)	/	1/3	0/1	0/1	0/4	0.2/1.8	3.1% 7.4%
3종							
건널목 개소	95	83	82	92	91	88.6	5.7%
사고발생(건)	/	/	1	/	1	0.4	1.1%
사망/부상(명)	/	/	0/1	/	/	0/0.2	0% 0.8%
열차운행거리 (백만km)	108	114	116	116	118	114.5	
궤도길이(km)	7,529	7,745	7,871	7,889	7,950	7,797.5	

Table 2는 한국철도공사 운영정보시스템(KROIS: Korean Railroad Operating Information System)¹⁷⁾에 등록된 최근 5년간('03-'07년)의 철도건널목 운영 및 사고현황을 분석한 것이다.

국내 철도건널목은 매년 입체화 폐지되어 2007년 기준 총 1,455개소가 있으며, 1종 건널목이 1,344개소(92.4%), 2종 건널목 20개소(1.4%), 3종 건널목 91개소(6.2%)가 운영되고 있다.

철도건널목 사고발생은 2003년 61건 발생이후 매년 감소하여 2007년 22건으로 연평균 36.8건이 발생하였고, 이로 인해 연평균 6.2명의 사망자와 24.4명의 부상자가 발생하였다. 그리고 중별 사고현황은 1종 건널목에서 연평균 33.4건(90.8%)이 발생하였고, 사망 6.2명, 부상 22.4명에 이르는 대부분의 인명피해도 1종 건널목에서 발생하고 있다.

3.3. 위험사건 정의 및 사고시나리오 개발

최근 5년간('03-'07년) 187건의 철도건널목사고에서 위험도 평가에 유효한 184건의 사고특성을 정밀 분석하였다. 그리고 이로부터 사고발생 특성과 피해심각도 영향인자를 고려하여 철도 건널목 사고 위험사건을 다음 3가지 형식으로 정의하였다. 3가지 위험사건은 철도건널목의 안전설비(경보기, 차단기)의 동작상황별로 구분되어 있다. 각각의 안전설비는 3.1에서 설명한바와 같이 동작시간 확보 기준들을 가지고 있으며, 이로 인하여 도로차량 운전자의 대피여유시간의 확보에도 차이를 가진다. 따라서 각 위험사건은 사고 발생에 따른 피해심각도로서 그 특성을 구분할 수도 있다.

1) 건널목 간힘(H1): 도로차량이 열차진입 경보 이전에 건널목에 진입하였으나 운전자 부주의나 교통정체 등으로 빠져 나오지 못함. 위험상황의 조기 인지로 운전자 탈출/대피 가능성이 높음.

2) 경보 중 진입(H2): 운전자가 교통법규(건널목 통과방법)를 위반하여 열차진입 경보가 울린 이후에 진입. 운전자 탈출/대피 가능성 보통.

3) 차단기 돌파/우회(H3): 차단기가 완전히 하강된 후에 운전자가 차단기를 부수거나 끝단으로 돌아서 진입. 운전자 탈출/대피 가능성이 낮음.

Table 3은 철도건널목사고의 발생에서 각각의 위험사건에 대하여 가능한 “위험상황”과 이를 초래할 수 있는 8가지 “위험요인”을 정의한 것이다.

본 연구에서는 발생빈도의 산정시 중복 계산되는 것을 막기 위하여 위험사건-위험상황-위험요인의 1:1 연결을 원칙으로 하고 있다. Table 4는 이들

Table 3. Definition of hazardous events and hazards on L/C accident

위험요인	위험상황	위험사건	
운전자위반 C1	엔진정지	건널목 간힘 (H1)	
	보판이탈		
출입통계소홀 C2	출구측 차단		
	추진/제동 부족		
안전설비결함 C3	한계 지장/결림		
	기타		
차량결함 C4	위반진입		경보 중 진입 (H2)
건널목 구조결함 C5	출구측 차단		
	추진/제동 부족		
교통정체-외부요인 C6	한계 지장/결림	차단기 돌파/우회 (H3)	
	돌파진입		
악천후-외부요인 C7	우회진입		
	추진/제동 부족		
기타 C8	한계 지장/결림		

* H1-H3: 위험사건 구분 코드, C1-C8: 위험요인 구분 코드

Table 4. Classification of the causal factors on L/C accident

위험요인	기여요인1	기여요인2
운전자 위반	운전취급부주의	졸음/주의부족
	교통법규위반	무면허/음주운전 과속/과적운행
출입통계소홀	단기조기 강하/개방	
	경보/차단기 미작동	
	안내원 미배치	
	한계제한틀 미설치	
안전설비결함	차단기 조기강하/개방	
	경보/차단기 오작동	
차량결함	추진/제동장치고장	
	차량한계초과	높이/폭/회전/중량
구조결함	보판불량	포장/통과폭
	급구배	경사
	교차각 부족	평행도로
	투시지장	급곡선, 장애물
교통정체	건축한계부족	높이/폭/곡선반경
	진출입 도로혼잡	
악천후	장시간 건널목차단	장대/연속열차
	미끄러움	강설/결빙
기타	투시지장	폭우/안개
	차량방치	불법행위
	차량분리	운전취급부주의

위험요인의 발생에 기여할 수 있는 근본적 기여요인의 구분과 정의를 제시한 것이다.

본 연구에서는 Table 3과 4를 철도건널목사고 표준위험분류 체계로 제안한다. 이를 기반으로 3가

지 위험사건별 사고발생 시나리오를 전개하고 해당 시나리오에 따른 발생빈도를 산정할 수 있다.

4. 철도건널목사고 위험도-발생빈도 평가

4.1 위험사건별 사고 발생 시나리오 전개 및 발생 빈도 산정

본 절에서는 3.3에서 정의한 철도건널목사고 표준 위험분류 체계를 이용하여 최근 5년간('03-'07년)의 사고발생 이력을 기반으로 각 위험사건별 사고발생 시나리오를 전개하여 발생빈도를 산정하였으며, 그 결과를 Table 5, 6, 7에 제시하였다.

Table 5. Frequency of 'Being trapped in level-crossing(H1)'

위험사건	위험상황	위험요인	'03년 - '07년		
			합계	평균	비율
건널목 간힘	엔진정지	운전자 위반	10	2	22.7%
		차량결함	1	0.2	2.3%
	보판이탈	운전자 위반	13	2.6	29.5%
		운전자 위반	8	1.6	18.2%
	출구측 차단	출입통계소홀	1	0.2	2.3%
		운전자 위반	4	0.8	9.1%
	추진/제동 부족	운전자 위반	3	0.6	6.8%
		건널목 구조결함	1	0.2	2.3%
	한계 지장/결림	차량방치	2	0.4	4.5%
		차량결함	1	0.2	2.3%
총 합 계			44	8.8	

Table 6. Frequency of 'Crossing during warning signal(H2)'

위험사건	위험상황	위험요인	'03년 - '07년		
			합계	평균	비율
경보중 진입	위반진입	운전자 위반	28	5.6	43.1%
		출입통계소홀	5	1	7.7%
		안전설비결함	1	0.2	1.5%
	출구측 차단	운전자위반	22	4.4	33.8%
		운전자위반	4	0.8	6.2%
	추진/제동 부족	차량결함	1	0.2	1.5%
		운전자 위반	4	0.8	6.2%
	총 합 계			65	13

Table 7. Frequency of 'Breaking through/detouring the barrier (H3)'

위험사건	위험상황	위험요인	'03년 - '07년		
			합계	평균	비율
차단기 돌파/우회	돌파진입	운전자 위반	18	3.6	24.0%
		출입통계소홀	2	0.4	2.7%
		안전설비결함	3	0.6	4.0%
	우회진입	운전자 위반	44	8.8	58.7%
		운전자 위반	3	0.6	4.0%
	추진/제동 부족	차량결함	2	0.4	2.7%
		한계 지장/결림	운전자	3	0.6
총 합 계			75	15	

Table 5의 ‘건널목 간힘(H1)’ 사건은 보판이탈 13건(29.5%), 엔진정지 11건(25.0%), 건널목 출구 측 차단 9건(20.5%), 도로차량의 추진/제동부족 4건(9.1%), 한계지장/결림 4건(9.1%) 등의 위험상황이 발생하였다. 그리고 이들 위험상황을 초래하는 위험요인은 주로 교통법규위반과 같은 운전자의 위반에서 기인하고 있으며, 악천후(결빙, 강설, 강우)와 같은 외부요인도 기여하고 있다.

Table 6의 ‘경보 중 진입(H2)’ 사건은 열차접근 경보 중(혹은 차단기 하강 중) 무리하게 건널목 통과를 시도하는 도로차량의 위반진입 34건(52.3%), 출구 측 차단 22건(33.8%)이 대부분이며, 운전취급 부주의나 차량결합에 의한 추진/제동 부족 5건(7.7%), 한계지장/결림 4건(6.2%)과 같은 위험상황이 발생하고 있다.

Table 7의 ‘차단기 돌파/우회(H3)’ 사건은 차단기가 내려진 상태에서 돌파진입 하거나 오토바이가 차단기 끝부분으로 우회 진입하는 위험상황이 67건(89.3%)으로 대부분이며, 이는 운전자의 법규위반에서 비롯된다. 기타 안전설비 결함이나 악천후 등의 위험요인이 ‘차단기 돌파/우회’ 사건의 발생에 기여하고 있다.

4.2. 위험사건별 발생빈도의 정규화 처리

국가 간의 안전수준 비교나 위험사건별 위험도 평가를 위해 연평균 위험사건 발생에 대한 적절한 비교기준을 설정하는 정규화 처리가 필요하다.

철도사고에는 건널목사고 뿐만 아니라 열차사고(열차충돌/탈선사고, 열차화재사고, 기타열차사고) 등 다양한 종류의 사고들이 있으며⁴⁾, 이중 열차사고의 경우 유럽 등에서는 열차운행거리(백만 km)로 나누어 정규화 하고 있다. 그러나 철도건널목 사고의 경우 사고의 특성상 건널목을 통과하는 열차의 운행횟수 및 해당 철도시스템의 건널목 개소수가 보다 정확한 정규화를 위한 중요한 항목이 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 국제적으로 통용되고 있는 유럽연합 철도안전지침(RSD)의 공통안전지표(CSI) 설정에서 제시하는 아래와 같은 2가지 정규화 처리 방법을 적용하여 위험사건별 발생빈도를 산정하였다^{2,18)}.

1) 열차운행거리(백만km)로 나누어 정규화 처리

$$\text{발생빈도}(P) = \frac{N}{V(Tkm)} \quad (1)$$

N = 건널목사고 연간 발생건수
V(T-km) = 연간 열차운행거리(백만km)

2) 열차운행 횟수(열차운행거리(km)/궤도길이(km))와 건널목 개소 수로 나누어 정규화 처리

$$\text{발생빈도}(P) = \frac{N}{\{V(Tkm)/L(RN)\} \times N(LC)} \quad (2)$$

N = 건널목사고 연간 발생건수
V(T-km) = 연간 열차운행거리(km)
L(RN) = 선로연장-궤도길이(km)
N(LC) = 건널목 개소 수

Table 8은 Table 2에서 제시한 5년(‘03-‘07년) 평균 열차운행거리(km), 궤도길이(km) 및 건널목 개소수와 Table 5~7에서 제시한 위험사건별 연평균 발생빈도를 정규화 처리 방법(1)과 (2)로 계산하여 정규화한 두 가지 발생빈도(P)를 제시하고 있다. 또한 이 발생빈도에 심각도(사고발생 건당 인명피해)를 곱하여 산정된 위험사건별 위험도를 두 가지의 정규화된 값으로 제시하였다. 본 연구에서는

Table 8. Normalizing for appearance frequency of railway level-crossing accident

위험사건	정규화 발생빈도(P)		심각도(EF)	위험도(EF)		
	/열차운행 백만km	/횟수*개소		/열차운행 백만km	/횟수*개소	
건널목 간힘	엔진정지	1.92E-02	9.68E-08	0.129	2.48E-03	1.25E-08
	보판이탈	2.27E-02	1.14E-07	0	0	0
	출구측차단	1.57E-02	7.92E-08	0.011	1.73E-04	8.71E-10
	추진/제동부족	6.99E-03	3.52E-08	0.053	3.70E-04	1.87E-09
	한계지장/결림	6.99E-03	3.52E-08	0	0	0
기타	5.24E-03	2.64E-08	0	0	0	
소 계	7.69E-02	3.87E-07	0.039	3.00E-03	1.51E-08	
경보중 진입	위반진입	5.94E-02	2.99E-07	0.136	8.08E-03	4.07E-08
	출구측 차단	3.84E-02	1.94E-07	0.115	4.42E-03	2.23E-08
	추진/제동부족	8.73E-03	4.40E-08	0.116	1.01E-03	5.10E-09
한계지장/결림	6.99E-03	3.52E-08	0	0	0	
소 계	1.14E-01	5.72E-07	0.119	1.36E-02	6.81E-08	
차단기 돌파/우회	돌파진입	4.02E-02	2.02E-07	0.172	6.91E-02	3.47E-08
	우회진입	7.69E-02	3.87E-07	0.510	3.92E-02	1.97E-07
	추진/제동부족	8.73E-03	4.40E-08	0.042	3.67E-04	1.85E-09
	한계지장/결림	5.24E-03	2.64E-08	0.003	1.57E-05	7.92E-11
소 계	1.31E-01	6.60E-07	0.355	4.65E-02	2.34E-07	
합 계	3.21E-01	1.62E-06	0.196	6.29E-02	3.18E-07	

* EF: Equivalent Fatality

심각도와 위험도의 값을 등가사망자(Equivalent Fatality, 사망자 1명=중상자 10명=경상자 100명)로 환산하여 산정하였다.

여기서, 정규화 방법(1)로서 국내 철도건널목 사고 위험도 수준을 평가해 볼 때 연평균 열차 백만 km당 0.32건 정도가 발생하여 3.18E-07 정도의 등가사망자가 나타나고 있음을 알 수 있으며, ‘차단기 우회진입’ 위험사건에 의한 위험도가 연평균 1.97E-07 등가사망자 수준으로 가장 높은 것으로 평가되었다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 유럽철도안전지침(RSD)과 ISO/IEC, ML-Std 등 국제표준규격이 요구하는 국제적인 공통안전방법을 따르는 철도사고 위험분석 및 위험도평가 절차를 제시하였다. 이 절차에 따라 철도건널목 시스템의 구성 및 운영 조건을 분석하고 “건널목 간힘”, “경보중 진입”, “차단기 돌파/우회” 3 가지 형식의 위험사건을 정의하였으며, 본 연구에서 제시한 철도건널목사고 표준위험 분류 체계를 이용하여 최근 5년간(‘03-‘07년)의 국내 철도건널목 사고이력을 기반으로 위험사건별 사고시나리오에 따른 발생빈도를 산정하는 철도건널목사고 발생빈도 평가모델을 개발하였다. 또한 발생빈도를 정규화 하여 국가 간의 안전수준 비교나 연평균 위험사건 발생에 대한 적절한 비교가 가능하도록 하였다.

본 연구에서 제시한 “철도건널목사고 위험도-발생빈도 평가모델”은 현재 개발 중인 “철도건널목 사고 위험도-심각도 평가모델”과 결합하여 “철도건널목사고에 대한 정량적 위험도 평가모델” 수립에 활용될 것이다. 향후 국내 철도산업에서 체계적인 위험분석과 정량적인 위험도 평가를 통해 합리적이고 실행 가능한 수준으로 위험도를 통제할 수 있는 비용-효율적인 안전대책을 선정하고 위험추적 시스템을 구축하여 지속적인 안전개선을 도모하는 철도시스템 안전관리 선진화에 본 연구가 기여하기를 기대한다.

감사의 글 : 본 연구는 국토해양부 지원, 한국건설교통기술평가원 전담, 한국철도기술연구원 주관의 철도종합안전기술개발사업 철도사고 위험도 분석 및 평가체계 구축과제(‘05-‘08년)로 수행된 연구 결과의 일부입니다.

참고문헌

- 1) 건설교통부, “철도안전법”, 제7245호, 2004.
- 2) The European Parliament and of the council, “Railway Safety Directive 2004/49/EC”, 2004.
- 3) European Commission, “Safety Management in Railway, D.2.3:Common Safety Methods”, 2004.
- 4) 국토해양부, “철도사고보고 등에 관한 지침”, 제 2008-130호, 2008.
- 5) 왕종배, 박찬우, 박주남, 광상록, “철도건널목사고 위험분석 및 원인분류체계 연구”, 한국안전학회 추계학술대회, 2007.
- 6) Safer European Level Crossing Appraisal and Technology, “Concept of Level Crossing Safety Performance Monitoring”, 2007.
- 7) 국토해양부, “2008년도 교통안전연차보고서”, 2008.
- 8) Rail Safety and Standard Board, Railway Group Guidance Note GE/GN8561, “Guidance on the Preparation of Risk Assessments within Railway Safety Cases”, 2002.
- 9) Rail Safety and Standard Board, “Engineering Safety Management(The Yellow Book) Volume 2 Guidance Issue 4”, 2007.
- 10) Clifton A. Ericson, “Hazard Analysis techniques for system safety”, John Wiley & Sons, Inc., pp. 1~12, 2005.
- 11) ISO/IEC Guide 51, “Safety Aspect-Guidelines for their inclusion in standards”, 1999.
- 12) ISO/IEC Guide 73, “Risk Management-Guidelines for Uses in Standards”, 1999.
- 13) US DOT, “Military Standard : System Safety Program Requirements”, MIL-STD-882C, 1993.
- 14) 왕종배, 최돈범, 김민수, “철도사고 위험분석 및 위험도 평가모델 개발”, 안전학회 춘계학술대회, pp. 160~165, 2008.
- 15) 광상록, 왕종배, 이봉섭, 박찬우, “철도화재사고 위험도평가를 위한 Event Tree 및 Fault Tree 구성”, 한국철도학회지, 제11권, 제6호, pp. 530~535, 2008.
- 16) 국토해양부, “철도시설 안전기준에 관한 규칙”, 국토해양부령 제4호, 2008.
- 17) 한국철도공사, “철도통계연보”, 2003-2007.
- 18) ERA, “European Rail Agency Recommendation for the revision of Annex 1 to Directive 2004/49/EC : Common definitions for the CSIs and methods to calculate the economic impact of accidents”, 2008.