

철도 건널목사고 위험도 평가 모델 개발 (Development of Risk Assessment Models for the Level-Crossing Accidents)

왕종배* 박찬우** 최돈범** 김민수**

Wang, Jong-Bae Park, Chan-Woo Choi, Don-Bum, Kim, Min-Soo

ABSTRACT

Generally a road vehicle's wrong entry into level crossing gives rise to hazardous events, the eventual collision with a approaching train depends on the effective operation of safety barriers such a abnormal condition detecting or emergency braking. In this paper, the risk assessment models developed for the level-crossing accidents will be introduced. The definition of hazardous events and the related hazardous factors are identified by the review of the accident history and engineering interpretation of the accident behavior. A probability of the hazardous events will be evaluated by the FTA, which is based on the accident scenario. For the severity estimation, the critical factors which can effect on the consequence will be reviewed during the ETA. Finally, the number of casualty for the public(vehicle drivers) and the train passengers are converted into an equivalent fatality.

1. 서 론

철도 건널목 사고의 발생형식을 살펴보면 일반적으로 (1) 건널목에 진입한 도로차량이 엔진정지나 보관이탈 등으로 건널목을 빠져나올 수 없는 형식과 (2) 열차접근 경보나 차단기가 동작한 이후에 도로차량이 건널목으로 위반 진입하는 형식으로 나눌 수 있다. 특히 문제가 되는 것은 (2)의 도로차량 운전자가 건널목 통과방법을 위반하여 열차가 접근중인 건널목에 진입하는 위험사건이 건널목 사고 위험도의 대부분을 차지한다는 사실이다.

건널목 사고는 철도 및 도로의 교통 특성, 건널목 설치구조 특성, 이용자의 인적 요인 등이 복잡하게 서로 얽혀져 도로차량이 건널목을 지장하는 위험사건을 초래하고, 이러한 위험상황의 신속한 통보나 기관사의 인지, 접근열차의 비상제동 체결, 도로차량 운전자의 탈출대피와 같은 안전방벽의 존재와 효과적인 작동 여부가 결국 열차와의 충돌사고 발생 및 그에 따른 피해심각도를 결정하게 된다.

본 논문에서는 “철도건널목에서 발생하는 도로차량과 열차와의 충돌, 접촉”을 초래할 수 있는 위험사건을 대상으로 하여 개발된 철도 건널목 사고에 대한 위험도 평가 모델을 소개하고자 한다. 본 모델은 일반적인 위험도 평가절차를 따르며, 우선 사고이력 분석 및 사고특성의 공학적 해석을 통해 위험사건을 정의하고 관련 위험요인을 식별하였다. 그리고 위험사건의 발생확률은 사고시나리오에 근거하여 FTA기법을 적용하여 산정하였으며, 심각도 추정은 ETA를 전개하여 최종적인 결과피해(등가사망)에 영향을 미치는 안전방벽의 존재와 핵심 영향인자의 작용을 검토하였다. 최종적으로 철도 건널목 사고의 위험도 평가는 공중(운전자)과 여객에 대한 인명피해를 등가사망(EF)지수로 환산하여 평가하고자 한다.

* 한국철도기술연구원, 안전기술연구팀

E-mail : jbwang@krri.re.kr

TEL : (031)460-55414 FAX : (031)460-5540

** 한국철도기술연구원, 안전기술연구팀

2. 철도건널목 시스템 구성 및 특성 분석

철도건널목은 통상 철도와 도로교통이 교차하는 장소로서(물리적 또는 기능적 교차), 여기서 안전을 위협하는 물리적인 상호작용과 동작 기능은 금지되어야 한다. 그림 1은 철도 건널목의 물리적 구성요소-운전자(기관사, 도로차량 운전자), 차량(열차, 도로차량) 그리고 궤도/통행로의 물리적 교차-를 제시한 것이며, 그림 2는 철도 건널목의 기능구조를 분해한 것으로서 건널목의 조직기능(설치, 구성, 운영관리)과 도로 및 철도측으로 나누어 ‘검지, 정보, 경보, 방호’의 기본 운영기능을 위험도 평가에서 고려한다.

철도건널목은 이를 이용하는 도로차량과 운행열차의 교통특성이 요구하는 안전요건을 만족하도록 시스템을 설치하고 운영해야 한다. 즉, 열차의 기관사는 고정된 경로를 신호에 의존하여 제한적인 속도로 이동해야 하는 제약을 받기 때문에 상대적으로 이동과 정지의 자유도가 높은 도로차량이 열차와의 충돌 회피에 대한 대부분의 책임을 감당해야 하고, 도로차량 운전자에게 건널목의 존재는 사실상 절대적인 “정지”신호로서 도로교통법이 요구하는 “건널목 일시정지와 안전통행 의무”를 철저히 준수해야 한다.

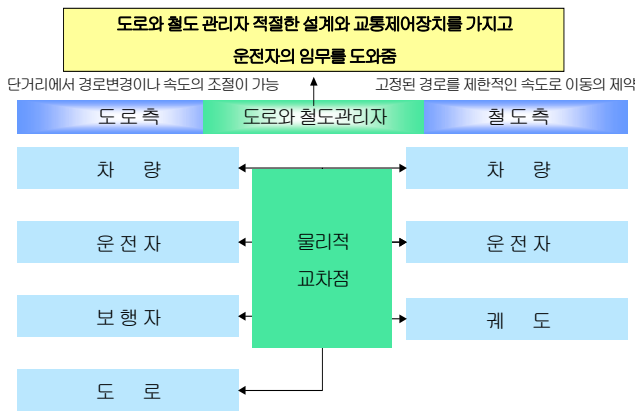


그림 1. 철도건널목의 물리적 구성요소

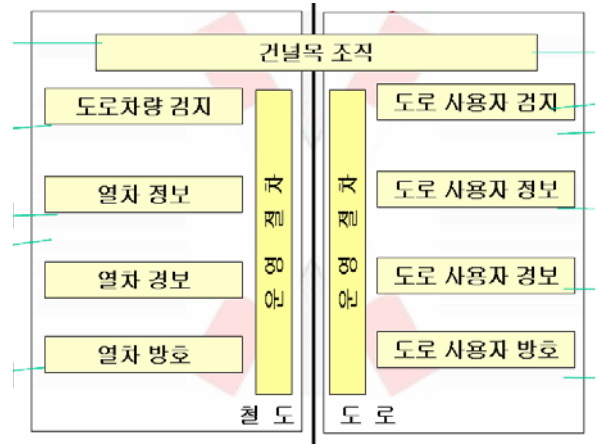


그림 2. 철도건널목 시스템의 기본 운영기능

3. 철도건널목 운영현황 및 사고특성 분석

표 1은 최근 5년간(‘01-’05년) 철도건널목 운영 및 사고현황을 분석한 것이다. 건널목 개소는 매년 입체화 폐지되어 2005년 기준 1537개소가 운영되고 있으며, 1종 건널목이 1428개소(92.9%)로서 대부분이고 3종 건널목 82개소(5.3%)와 2종 건널목 27개소(1.8%)가 운영되고 있다.

사고발생은 2001년 60건(100개소당 3.38건)이 발생한 후 매년 감소하여 2005년 37건(100개소당 2.4건)으로 년 평균 50.8건(100개소당 3건)이 발생하였다. 그리고 종별 사고발생은 1종 건널목에서 년 평균 49건(96.5%)이 발생하여 대부분을 차지하고 있으며, 2종 건널목 1.4건(2.8%), 3종 건널목은 0.4건(0.8%)이 발생하였다.

표 1. 최근 5년간(‘01-’05년) 국내 철도건널목 사고발생 현황

(*출처: 05 철도사고분석보고, 한국철도공사)

구 분		2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	5년 평균	
종합	건널목 개소	1776	1744	1719	1577	1537	1670.6	
	사고발생(건)	60	57	61	39	37	50.8	
	사고/100개소	3.38	3.27	3.55	2.47	2.41	3.02	
1종	건널목 개소	1651	1611	1590	1467	1428	1549	92.8%
	사고발생(건)	56	55	61	37	36	49	96.5%
2종	건널목 개소	21	32	30	27	27	27	1.6%
	사고발생(건)	3	2	0	2	0	1.4	2.8%
3종	건널목 개소	104	101	99	83	82	94	5.6%
	사고발생(건)	1	0	0	0	1	0.4	0.8%

4. 철도건널목 위험도 평가모델 개발

4.1 위험사건 정의 및 사고 시나리오 전개

본 연구에서는 철도건널목 사고 위험도 평가를 위해 다음 3가지 위험사건을 정의하였다.

- 1) 도로차량이 열차진입 경보이전에 건널목에 진입하여 운전자 부주의나 교통정체 등으로 빠져 나올 수 없는 “건널목 갇힘”
- 2) 운전자가 교통법규(건널목 통과방법)를 위반하여 열차진입 경보가 울린 이후에 진입하는 “경보 중 횡단”
- 3) 차단기가 내려온 후에 운전자가 고의적으로 차단기를 부수거나 끝단으로 돌아서 진입하는 “차단기 돌파/우회”

그림 3은 다양한 위험요인들에 의한 위험상황 및 위험사건의 발생과정과 이상검지, 긴급제동, 탈출/대피로 이어지는 철도건널목 사고시나리오를 나타낸 것으로서, 이를 기반으로 위험사건의 발생확률을 산정하고 사고 진전 단계별로 안전방벽의 작동여부와 결과적인 인명피해에 영향을 미치는 핵심 영향인자를 평가하여 최종적인 위험도를 등가사망자로 제시한다.



그림 3. 철도건널목 사고시나리오

4.2 위험사건 발생빈도 평가모델 개발

철도건널목사고 발생빈도 평가는 위험사건 형식별로 고장수목분석(FTA) 기법을 적용하여 모델링 하였다. 표 2는 '04년-1577개소, '05년-1537개소에서 발생한 사고발생 건수를 “건널목 100개소당 발생 빈도”로 정규화 처리한 결과를 제시한 것으로서, “건널목 갇힘” 사건에 대한 위험요인과 발생빈도 산정을 FTA로 모델링한 사례를 함께 제시하고 있다.

본 연구에서는 개별 건널목의 위험도 평가가 아닌 국가 수준의 연간 건널목 위험도 평가에 적용할 수 있는 사고발생 빈도(위험사건의 발생확률)를 정규화 하기 위하여 다음과 같은 비교기준을 검토하였다. 우선 건널목 사고건수 N는 평가대상 건널목의 설치 개수 N(LC)로 나누어 정규화 하고, 도로차량이 운행열차와 충돌, 접촉하는 위험노출 확률은 결국 열차운행횟수가 지배하므로 이를 위해 연간 열차교통량 V-TKM(열차운행백만km)과 선로연장 L(RN_km)으로 나누어 비교기준을 정의한 다음과 같은 건널목 위험사건 발생빈도 정규화식을 적용하고자 한다.

$$\text{건널목 사고발생 빈도(연간)} = N(\text{건널목 사고건수}) / \{V(\text{TKM}) * L(\text{RN}) * N(\text{LC})\}$$

표 2. 건널목 사고(위험사건) 발생빈도 평가 - FTA 모델링 사례

위험사건-형식		발생건수			정규화-발생빈도/100개소				비율 (%)
		04	05	합계	04	05	합계	소비율	
건널목 간힘	엔진정지	2	4	6	0.13	0.26	0.19	24.0	7.9
	보관이탈	3	7	10	0.19	0.46	0.32	40.0	13.2
	출구차단	3	1	4	0.19	0.07	0.13	16.0	5.2
	추진/제동부족	0	1	1	0.00	0.07	0.03	4.0	1.3
	한계지장/결림	1	1	2	0.06	0.07	0.06	8.0	2.6
	기타	2	0	2	0.13	0.00	0.06	8.0	2.6
소계		11	14	25	0.70	0.91	0.80	100.0	32.9
경보중 진입	위반진입	5	6	11	0.32	0.39	0.35	52.4	14.5
	출구차단	5	2	7	0.32	0.13	0.22	33.3	9.2
	추진/제동부족	1	0	1	0.06	0.00	0.03	4.8	1.3
	한계지장/결림	0	2	2	0.00	0.13	0.06	9.5	2.7
소계		11	10	21	0.70	0.65	0.67	100.0	27.6
차단기 돌파	돌파진입	6	4	10	0.38	0.26	0.32	33.3	13.2
	우회진입	7	9	16	0.44	0.59	0.51	53.3	21.1
	출구차단	1	0	1	0.06	0.00	0.03	3.3	1.3
	추진/제동부족	1	0	1	0.06	0.00	0.03	3.3	1.3
	한계지장/결림	2	0	2	0.13	0.00	0.06	6.7	2.6
소계		17	13	30	1.08	0.85	0.96	100.0	39.5
합 계		39	37	76	2.47	2.41	2.44		100.0

"건널목 간힘"사건 발생빈도 평가모델-FTA			0.8건/100개 (25건 /2년)
졸음/주의부족	운전취급부주의 (5)	운전자위반 (6)	엔진정지 6건 (24%)
무면허/음주	교통법규위반 (1)	AND	
야간/호우	투시지장 (1)	악천후 (1)	
졸음/주의부족	운전취급부주의 (8)	운전자위반 (10)	보관이탈 10건 (40%)
무면허/음주	교통법규위반 (2)	AND	
강설/결빙	도로 미끄러움 (1)	악천후 (1)	
폭우/안개	투시지장		
졸음/주의부족	운전취급부주의 (3)	운전자위반 (4)	출구차단 4건 (16%)
무면허/음주	교통법규위반 (1)	AND	
교통혼잡	진출입도로혼잡 (2)	교통정체 (2)	
제동취급부주의	운전취급부주의 (1)	운전자위반 (1)	추진/제동 부족 1건 (4%)
AND			
강설/결빙	도로 미끄러움 (1)	악천후 (1)	
과속/주의부족	운전취급부주의 (2)	운전자위반 (2)	한계지장 /결림 2건 (8%)
AND			
높이/폭/회전	차량한계초과 (1)	차량결합 (1)	
불법행위 (1)	차량방치 (1)	OR	기타 2건 (8%)
운전취급부주의 (1)	차량분리 (1)		

4.3 결과심각도 평가모델 개발

철도건널목에서 발생한 위험사건이 결과적인 사고로 진전되는 과정을 지배하는 핵심 영향인자들을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 이상상황의 통보/인지 : 발생한 위험사건을 열차기관사가 직접 발견/인지하거나 신속한 이상상황의 통보 여부가 도로차량과의 충돌사고 발생을 결정한다.
- ② 제동취급 및 열차정지 : 열차기관사가 열차를 정지시킬 수 있는 충분한 제동취급시의 발견거리와 열차속도가 충돌발생을 결정한다.
- ③ 도로차량 운전자 사전대피 : 열차와의 충돌이전에 차량운전자의 탈출/대피는 발견거리와 열차속도에 따른 대피시간 확보 여부가 인명피해를 지배한다.
- ④ 열차-도로차량 충돌에너지(충격량) : 열차가 도로차량과 충돌하는 경우 충돌에너지 $E=(1/2)mv^2$ 가 결과적인 사고피해를 지배하며, 여기서 충돌시의 열차속도(v)와 도로차량의 크기(m)에 따라 사고규모와 인명피해가 결정된다.

위험사건	지장발견	운행속도	비상제동	운전자	충격흡수	도로차량 종류-특성	발생 빈도	사고 상태	공중 위험도	여객 위험도
	400M이상	70km/h이하	100M이상	탈출	60km/h이하	2.5ton미만			사망 중상 경상	사망 중상 경상

1) 이상상황의 통보/인지- 400M이상 지장발견 실패확률의 산정

건널목 이상상황의 통보 및 인지는 지장물 검지기의 설치 및 작동, 지장상황의 통보 및 신호, 또는 기관사의 전도주시를 통해 이루어 질 수 있다. 건널목 설치기준에 따르면 최소 열차투시거리를 400M이상 확보해야 하며, 이를 기준으로 400M이상에서의 지장물 발견 실패 확률은 지장검지 실패와 인지실패로 나누어 표 3의 보조 논리(FTA)를 적용하여 산정할 수 있다.

2) 제동거리-열차속도에 따른 사고특성 분석

그림 4의 “제동거리와 열차속도”에 따른 건널목 충돌사고 특성분석에서 “제동거리 100m이상-열차속도 70km/h 미만”의 영역에서는 사고가 발생(20.3%-12건)하더라도 운전자가 모두 사전대피 하여 “인명피해가 없는 안전영역”으로 분석되었다.

또한 “제동거리 100m이상-열차속도 70km/h 미만”의 영역은 2건의 예외적인 경우를 제외하면 “충돌사고 발생 가능성이 없는 안전영역”이다. 즉 그림 4에서 충돌사고 발생이 없는 안전영역에 들기 위한 발견거리(y)는 열차속도(v)와 직선적인 비례 관계임을 보여주고 있다.

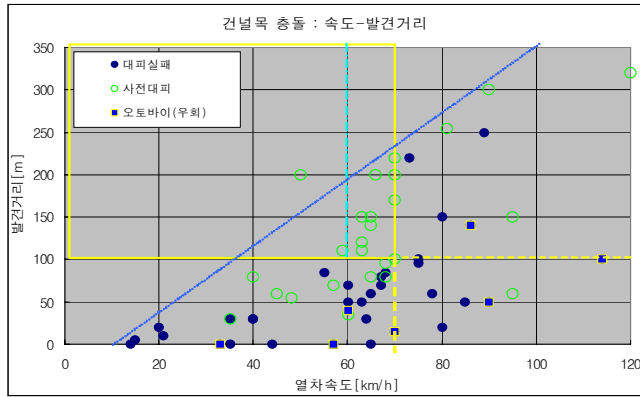


그림 4. 제동거리와 열차속도에 따른 건널목사고 발생특성 분석

3) 열차와의 충돌-비상제동체결 실패확률의 산정

제동거리 100m이상에서 비상제동이 성공적으로 체결되는 경우 열차충돌이 발생하지 않거나 충돌하더라도 충격량이 크게 감소되어 피해심각도가 경감하게 된다. 본 모델에서는 제동장치고장, 제동취급실패 및 지연으로 구성된 표 3의 보조 논리(FTA)를 적용하여 지장발견거리(400M)와 열차속도(70km/h)에 의존하는 비상제동체결 실패확률 평가할 수 있도록 하였다.

표 3. 철도건널목 사고 심각도 평가를 위한 보조논리-실패확률 산정

지장발견성공	0.739	1-지장발견실패			간헐	진입	돌파				
지장발견실패 (400M이상)	0.261	지장검지실패	0.015	자동검지기고장	0.005	고장율	5%	5%	5%	자동검지설치	10%
				수동조작실패	0.010	실패율	10%	50%	100%	수동검지설치	10%
		지장인지실패	0.25	현시장치고장	0.010	고장율	5%	5%	5%	지장검지설치	20%
				지장통보실패	0.090	실패율	30%	80%	100%	최대	30%
				투시거리미확보	0.090	미확보율	30%	80%	100%	최대	30%
				전도주시실패	0.060	실패율	30%	80%	100%	최대	20%
지장발견성공 (400M이상)		운행속도만족 (70km/미만)		비상제동실패 (100M이상)	0.20	제동장치고장	5%	5%	5%		
						제동취급실패	5%	5%	5%		
						제동취급지연	10%	10%	20%		
		운행속도초과 (70km/미만)		비상제동실패 (100M이상)	0.60	제동장치고장	5%	5%	5%		
						제동취급실패	5%	5%	5%		
						제동취급지연	50%	50%	60%		
지장발견실패 (400M이상)		운행속도만족 (70km/미만)		비상제동실패 (100M이상)	0.60	제동장치고장	5%	5%	5%		
						제동취급실패	5%	5%	5%		
						제동취급지연	50%	50%	60%		
		운행속도초과 (70km/미만)		비상제동실패 (100M이상)	0.85	제동장치고장	5%	5%	5%		
						제동취급실패	10%	10%	10%		
						제동취급지연	70%	70%	80%		

4) 열차제동거리-운전자 대피실패 확률의 산정

열차제동시의 “제동거리=열차속도(m/s)×감속시간(초)”로 계산되며, 감속시간은 감속율로 결정된다.

건널목 사고특성 분석에서 분석하면 사고열차의 평균적인 제동감속율은 3km/h/s로 추정되며, 이를 적용한 열차운행 속도에 따른 제동거리는 열차속도 70km/h에서 6초 정도에 100m를 이동하고 그때의 충돌속도는 55km/h 이하로서 그림 4의 사고발생 특성분석의 “발견거리 100m 이상-열차속도70km/h 미만”에서 운전자 대피실패와 열차승객의 인명피해의 가능성이 매우 낮은 것을 입증하고 있다. 한편 열차속도 80km/h인 경우 5초만에 100m를 이동하고 그때의 충돌속도는 65km/h 이상으로서 운전자의 대피가능성이 희박하고, 속도의 제곱으로 커지는 충격량을 고려하면 대형차량과의 충돌인 경우 열차승객의 인명피해까지도 예상된다.

표 4. 철도건널목 사고 심각도 평가-운전자 대피실패 확률 산정

운행속도만족 (70km/미만)	비상제동실패 (100m이상)	운전자탈출실패	0.60	판단오류	5%	10%	10%
				탈출안내실패	5%	10%	10%
				시간부족	50%	50%	60%
운행속도초과 (70km/미만)	비상제동성공 (100m이상)	운전자탈출실패	0.60	판단오류	5%	10%	10%
				탈출안내실패	5%	10%	10%
				시간부족	50%	50%	60%
운행속도초과 (70km/미만)	비상제동실패 (100m이상)	운전자탈출실패	0.80	판단오류	5%	10%	10%
				탈출안내실패	5%	10%	10%
				시간부족	70%	70%	80%

5) 충격량-도로차량 종류별 점유율 산정

사고심각도 평가에서 충돌규모를 지배하는 영향인자로서 도로차량의 중량을 기준으로 대형차(2.5t이상), 소형차의 구분과 사고발생시 인명사상 확률이 매우 높은 오토바이의 별도 구분이 필요하다. 표 5는 5년간 발생한 건널목 사고의 도로차량 종류별 사고발생 점유율 분석한 것이다. 차종별 점유율은 승용차(58%), 소형트럭(27%), 오토바이(13.4%) 순으로 분석되었으며 이를 심각도 평가의 차종별 점유율로 적용하였다.

표 5. 철도건널목 사고 심각도 평가-차종별 점유율, 탑승인원 분포, 사상을 산정

차종	01년	02년	03년	04년	05년	합계	점유율		탑승인원		
							비율	(오토)	기준	평균	(오토)
승용차	26	34	26	22	19	127	0.58	0.5	2	1.15	1.00
승합차	5	6	6	2	1	20	0.09	0.079	4	0.36	0.31
기타	2	1	3		3	9	0.04	0.035	1.5	0.06	0.05
트럭(<2.5t)	16	10	16	8	9	59	0.27	0.232	1.5	0.40	0.35
특수차량	2					2	0.01	0.008	1.5	0.01	0.01
버스		2		1		3	0.01	0.012	20	0.27	0.24
소계	51	53	51	33	32	220	1.00		30.5	2.27	
오토바이	9	4	10	6	5	34		0.134	1.5		0.20
합계	60	57	61	39	37	254		1.00	32.0		2.165

사고 상태	공중사상을			여객사상을		
	사망	중상	경상	사망	중상	경상
경미		50%	50%			
보통	50%	50%				
심각	80%	20%			10%	20%
재난	100%			10%	10%	

6) 인명피해 산정기준 및 위험도 평가기준 검토

도로차량 운전자의 인명피해는 대피여유(5초 이상)가 없는 경우에 발생하며, 이때 도로차량의 상대중량이 열차에 비해 매우 적기 때문에 차종별 인명피해도의 구분은 의미가 없다. 그리고 여객의 인명피해 심각도(사망/중상/부상)는 “발견거리와 열차속도에 따른 충돌에너지의 크기”에 의해 결정된다.

본 모델에서는 공중과 여객으로 구분하여 ‘경미, 보통, 심각, 재난’의 4등급으로 분류된 아래와 같은 사상을 기준을 적용하였으며, 다만 오토바이-차단기 우회/돌파에 의한 인명피해는 별도의 사상을 적용한다. 최종적인 위험도 평가는 “년간 건널목 개소당 인명사상”으로 평가되며, 인명사상(사망/중상/경상)에 대한 “사망 1인=중상 10인=경상 100인”의 등가사상환산(EF) 지수를 적용하여 위험도를 종합 평가한다.

위험사건 형식별로 개발모델이 산정한 인명피해와 실제 발생한 인명피해를 등가사망지수로 환산하여

위험도 평가 결과를 비교하였다. 위험사건을 종합한 등가사망 위험도는 개발모델에서 16.94명으로 산정되었고 실제 발생한 위험도는 16.70명으로서 0.24명의 차이(1.44%)만이 발생하여 개발모델이 타당한 것임을 입증한다.

표 6. 개발모델의 등가사망환산(EF) 위험도 평가결과 비교

위험사건 형식		개발모델 인명피해				실제발생 인명피해			
		사망	중상	경상	등가	사망	중상	경상	등가
건널목 간힘 (0.8건/ 100개소)	운전자	0.62	1.87	1.09	0.82	1	3	2	1.32
	여객	0.03	1.88	18.8	0.30	0	0	0	0
	합계	0.65	3.75	19.8	1.22	1	3	2	1.32
경보중 진입 (0.67건/ 100개소)	운전자	0.77	6.99	7.58	1.55	1	9	8	1.98
	여객	0.02	2.25	22.5	0.47	0	0	17	0.17
	합계	0.80	9.24	30.1	2.02	1	9	25	2.15
차단기 돌파/우회 (0.96건/ 100개소)	운전자	12.0	11.1	14.8	13.26	12	11	12	13.22
	여객	0.07	1.79	17.9	0.43	0	0	1	0.01
	합계	12.07	12.9	32.6	13.69	12	11	13	13.23
인명피해 총계		13.53	25.86	82.57	16.94	14	23	40	16.70

5. 결 론

본 연구에서는 국내 철도건널목 사고에 대한 정량적인 위험도 평가모델을 수립하기 위하여 건널목 사고이력을 기반으로 위험요인을 판별하고 위험사건을 정의하였다. 이들 위험요인이 사고로 이어지는 사고발생 시나리오를 전개하고 ETA 및 FTA 기법을 적용하여 판별된 위험사건에 대한 발생빈도와 사고심각도를 정량적으로 평가할 수 있는 철도건널목 사고 위험도 평가모델을 개발하였다.

개발모델의 타당성 검토를 위해 최근 2년간 발생한 사고특성을 분석하여 열차-도로차량의 충돌, 운전자의 사전대피 및 여객의 인명피해 발생에 결정적인 영향을 미치는 "발견거리(제동거리)", "열차속도" 및 "도로차량의 중량"과 같은 핵심 영향인자의 작용조건 검토와 공학적 해석을 기반으로 도출한 인명피해 산정기준을 적용하였다.

본 연구에서 제안하는 위험도 평가 절차와 평가 모델을 적용하여 비용-효율적인 건널목 안전대책을 선정하고, 판별된 위험요인을 제거하기 위한 안전요건 관리절차를 수립하는 연구가 철도종합안전기술개발사업에서 진행되고 있다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, 『철도사고 위험도 분석 및 평가체계 구축 보고서』, 건설교통부, 2007. 8
2. 한국철도기술연구원, 『철도건널목 위험요인 분석 및 개량방안 연구 보고서』, 철도청, 2003. 9
3. 한국철도공사, 『2005년 철도사고 분석보고서』, 2005
4. Lloyd's Register, 『Engineering Safety Management—Yellow Book 3 Engineer's Overview』, 2006
5. 왕중배 외, 『철도건널목 사고 위험도 평가를 위한 사고진전 시나리오 개발』, 한국안전학회 2006년 춘계학술대회 논문집, 2007. 6
6. 왕중배 외, 『철도사고 위험분석 및 위험도 평가모델 개발』, '07년 APSS, 2007. 12