

철도건널목에서 위험평가 접근기법

- An analysis technology of hazard factors at railroad crossings -

정성학*, 왕종배, 홍선호

Abstract

The objectives of this study is to achieved by the use of the conceptual approach and accident data bases to develop statistical accident analysis, effectiveness values, comparison analysis of statistical models to determine which variables are significantly related to accidents, human factor, and hazard factor analysis, all of which were used in the railroad crossing. The result from this approach applicable to the railroad crossing where systematic safety management criteria have been considered.

1. 서론

철도시스템에서 건널목은 운전자(기관사, 도로차량운전자), 차량(열차, 도로차량), 보행자 및 물리적 교차점(도로와 선로)으로 구성되며, 철도와 도로법에서 정한 도로(사도를 포함)가 평면으로 교차하는 곳을 건널목이라 하며, 정거장 구내에서 직원 또는 여객의 통행과 화물의 운반만을 목적으로 사용되는 구내통로는 제외한다. 우리나라의 철도는 1899년 9월 18일 경인선의 개통을 시작으로 경제성장에 커짐에 따라 여객의 운송 뿐 만 아니라 화물수송량에서도 급격히 증가를 보이고 있다. 철도의 운송능력이 증가됨에 따라 철도에서 일어나는 각종사고가 급격하게 증가하였다. 특히, 철도건널목 사고는 96~01년까지 5년간 평균 114.8건이 발생하여 많은 인명과 재산상의 손실을 초래하고 있다(철도청, 2002). 이러한 철도건널목 사고의 방지를 위하여 철도청 및 유관기관에서는 많은 노력을 기울이고 있다. 본 연구는 철도건널목의 사고를 최소화하기 위한 위험평가 접근방법론을 제시하고자 한다.

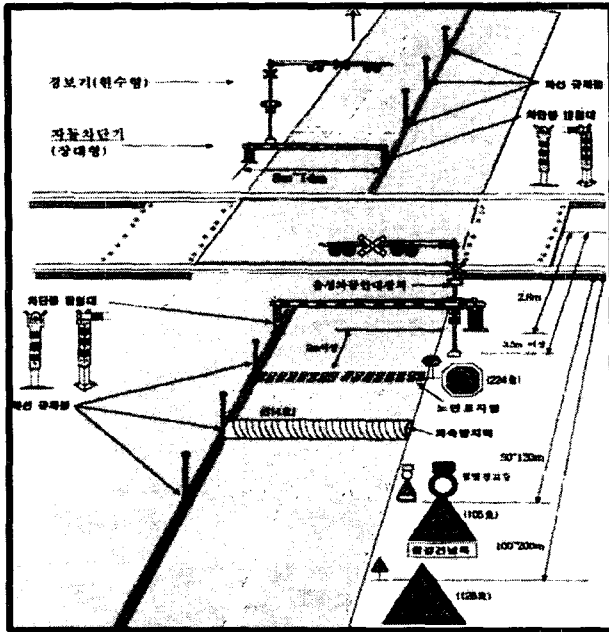
2. 철도건널목의 위험평가

위해(harm)는 건강상(health), 재산상(property), 또는 환경적(environment) 피해를 초래한 물리적 상해(physical injury) 또는 손상(damage)을 의미하며, 위험(hazard)은 잠재적 위해(potential harm)의 원인 또는 위해가 발생 가능한 상황(situation)이다. 위험(risk)은 위험한(hazardous)사건의 발생결과, 발생빈도 및 확률의 조합을 의미하며, 위험분석(risk analysis)은 위해 정보의 체계적인 이용을 통해 위험(hazard)을 식별하거나 사람, 재산, 환경에 대한 위험(risk)을 예측하는 과정이다.

* 한국철도 기술연구원

또한, 예측 가능한 오류(foresearable misuse)는 사회 통념상 합리적(reasonable)으로 생각하였을 때 충분히 예측할 수 있는 잘못된 오류를 의미한다(SAA, 1999, IEC61508, 1994, ISO, 2000). 유럽 철도전기신호분야의 표준기구에서도 위험(hazard)은 사고(incident)를 초래할 수 있는 상태, 위험(risk)은 어떤 위험한 사상의 발생가능성과 결과의 심각도에 대한 의미있는 조합으로 정의하였다(CENELEC-EN50129, 2001). 위험평가의 도입은 원자력분야에서는 안전성확보를 위해 미국 NRC(nuclear regulatory commission)를 중심으로 위험 기준규제(risk informed regulation)가 도입되어 현재까지 가장 활발하게 운영되고 있다.

철도건널목의 구성은 도로(차량)와 궤도(열차)가 만나면서 경보기, 차단기, 보판, 건널목 안



(그림 1) 철도건널목의 구성

전표시장치, 기적표, 조명장치, 전기통신 시설 및 고장검지장치, 건널목안내표지판 등으로 구성되는데(그림 1), 이것은 차량운전자(보행자)가 안전하게 건널목을 통과하기 위한 정보를 제공하기 위한 것이다. 철도분야의 위험평가를 적용함에 있어서 영국의 Yellow book에서 제안하는 위험평가의 원칙은 ALARP(as low as reasonably practicable)으로 위험규명(hazard identification), 원인-결과 분석(causal-consequence analysis), 손실비용분석(accident cost), 잠재전조분석(cause precursor analysis), 효용분석(cost-benefit analysis)의 절차가 활용되고 있다. 철도는 교통시스템의 한 분야로서 전통적인 사고예측모델(Nguyen, 1998, Bonneson and McCoy, 1997, Belanger, 1994)과 사고건수법(accident frequency method), 사고빈도율법(accident rate method), 사고빈도율 및

사고건수법(rate and number method), 한계사고율법(rate quality control method), 사고심각도법(accident severity method), 히글법(higle's method), 하우어법(hauer's method) 등의 위험평가 방법론이 사용되어 왔다. Vogt and Bared(1998), Ceder and Livneh(1982)는 교통량만을 이용하였으며, Hauer and Persaud(1991)는 철도건널목 사고를 예측하기 위하여 교통량과 철도운행횟수를 독립변수로 사용하였다.

3. 철도건널목의 위험평가 절차 및 방법론

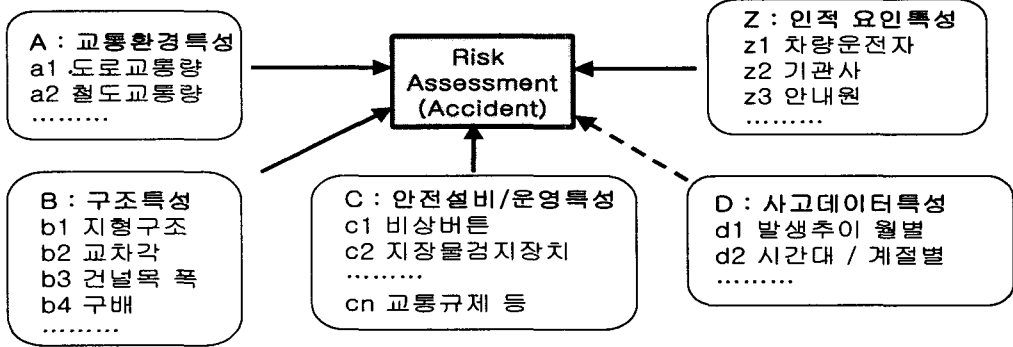
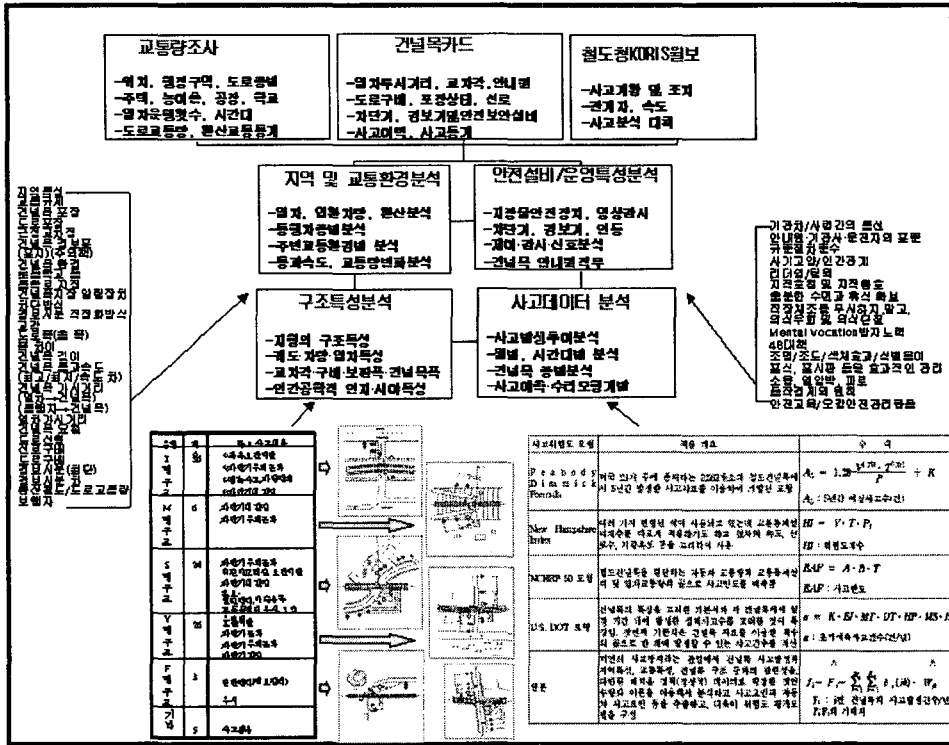
철도건널목의 위험평가를 위해서 안전체계공학측면의 MIL-STD-882, DEF STAN 00-56, IEEE-STD-845, ARP4754를 검토하였다. 철도건널목의 체계적인 안전관리체계의 구축절차는 요건도출, 요건분석, 요건기능분석 및 할당, 조합, 최적화의 과정을 거치는데, 이러한 과정 중에서 가장 중요한 과정이 현황목록(LIST-Inventory), 요건목록(LIST-Regulation)의 가용여부라고 할 수 있다. 이러한 현황·요건목록을 중심으로 계획수립, 건널목의 위험평가지침 및 기준설정,

전문가집단 선정, 위험요인 상세검토, 요건목록 및 현안을 분석하였다. 현황목록은 건널목의 구조위험평가(7항목), 지역 및 교통량 분석(30항목), 건널목 안전설비의 특성분석(34항목), 사용자 중심의 철도건널목 위험특성분석(3항목), 사고빈도·사상자수·사고유형·대안조치(53항목), 교통량·구조특성·안전설비·사고특성·교통환경의 종합적인 분석(35항목)이 있으며, 요건목록의 작성을 위해서 UIC762, MIL-STD-845, DEF STAN 00-25, 철도청법규(건널목설치및설비기준규정, 건널목관리원근무지침, 철도사고보고및수습처리규정, 안전보건관련규정, 선로지장업무처리요령) 등을 참고하여 위험평가를 실시하였다. 위험평가의 적용을 위해 본 연구에서는 우리나라의 건널목 1,744개소 중에서 건널목 선정조건(왕중배 외, 2003)을 고려하여 100개소의 건널목을 선정하였고, 분석대상 100개소 건널목의 94년~02년 사고발생 현황을 KROIS의 사고월보에 근거하여 추출하였다. 그리고, 100개소에 대해 “건널목 이력카드”에 기재된 내용을 중심으로 100개소의 현장확인 조사를 실시한 후 128개 항목의 건널목 현황 기록내용을 확인·수정하여 D/B하였다. 이러한 자료를 바탕으로 철도건널목의 위험평가를 적용하였다(그림 2).

1. 건널목 위험평가 계획 수립
 - 자료조사: 대상건널목선정, 건널목 100개소 선정검토
 - 국내외건널목 비교검토: 건널목사고사례 및 안전관리 실태조사, 안전체계 및 법제도검토,
 - 지역및교통환경, 안전설비특성, 구조특성, 현황조사분석
 - 위험요인 분석 및 평가
 - 철도건널목입체화 및 수정개선안 제시
 - 위험요인분석에 의한 대책수립방안, 공형 및 대안설정
 - 평가결과 의 문서화 및 체계적인 절차서의 문서화
2. 건널목 위험평가 계획 확정
3. 건널목 평가지침 및 기준설정
 - 지역 및 교통환경분석
 - 안전설비의 특성 및 효과 분석
 - 구조적인 특성 분석
 - 사고데이터의 통계학적 분석
4. 교통 및 철도전문가집단 선정
5. 철도건널목의 위험요인 상세검토
 - 지역 및 교통환경분석
 - 열차, 인형차량, 화산분석
 - 동행차량분석
 - 후방교통량분석
 - 통과속도, 교통량면적분석
 - 안전설비/운영 특성 및 효과 분석
 - 지장물안전장치, 운영상감시
 - 차단기, 결로기, 연동
 - 제어감시, 신호분석
 - 건널목 안내원직무
 - 구조적인 특성 분석
 - 지형의 구조특성
 - 궤도차량접촉특성
 - 교차각구배, 분포특성
 - 인간공학적 인지, 시야특성
 - 사고데이터의 통계학적 분석
 - 사고발생수이동 분석
 - 결로, 시간대별 분석
 - 건널목 중립분석
 - 사고예측수리도형개방
6. 철도건널목의 현안 및 요건사항 제시
7. 교통 및 철도전문가자문
8. 철도건널목 현장의 조율
9. 철도건널목 개선/권고사항제시 및 해결방안 협의
10. 건널목 평가결과 의 문서화
11. 철도건널목 안전관리체계화 및 도식화

(그림 2) 철도건널목의 위험평가 절차

철도건널목의 위험평가를 위해 고려된 요소는 아래 (그림 3)와 같다. 본 연구에서는 지역 및 교통환경, 건널목의 구조적 특성, 안전설비/운영특성, 사고이력데이터를 분석하였다.

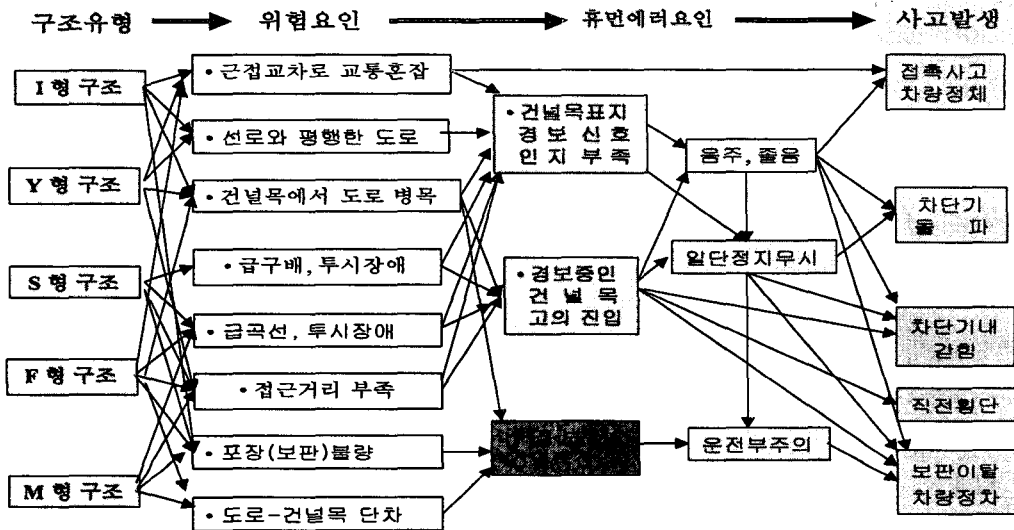


(그림 3) 철도건설목의 위험평가 요건

위험평가기법으로 체제화 된 확률론적 안전분석모델(probabilistic safety analysis model)이나 비확률론적 안전분석모델(non-probabilistic safety analysis model)등을 이용하여 수행 할 수 있다. 확률론적 안전분석모델은 사고원인 및 결과를 사고빈도율과 강도를 등의 자료분석을 통하여 정량적(quantitative)이고, 정성적인(qualitative)안전분석을 수행한다. 정성적인 분석기법은 사고발생가능성과 빈도를 네가지 범주로 나누어 사고발생과 결과를 추정하고, 정량적인 분석기법

은 하위시스템과 개별요소(individual components)의 에러특성을 발생가능성과 심각성에 대한 확률로 추정한다. 대표적인 방법으로 PHA(preliminary hazard analysis), FMEA(failure mode and effect analysis), ETA(event tree analysis), FTA(fault tree analysis), HAZOP(hazard and operability), MOSAR(method organized for a system analysis of risks), What-if method, scenario analysis, TAFEI(task analysis for error identification), BeSafe(behavior safe method)등이 있다.

본 연구에서는 94년~02년 사고발생데이터를 통하여 철도건널목의 사고발생 유형을 정리하였다(그림 4).



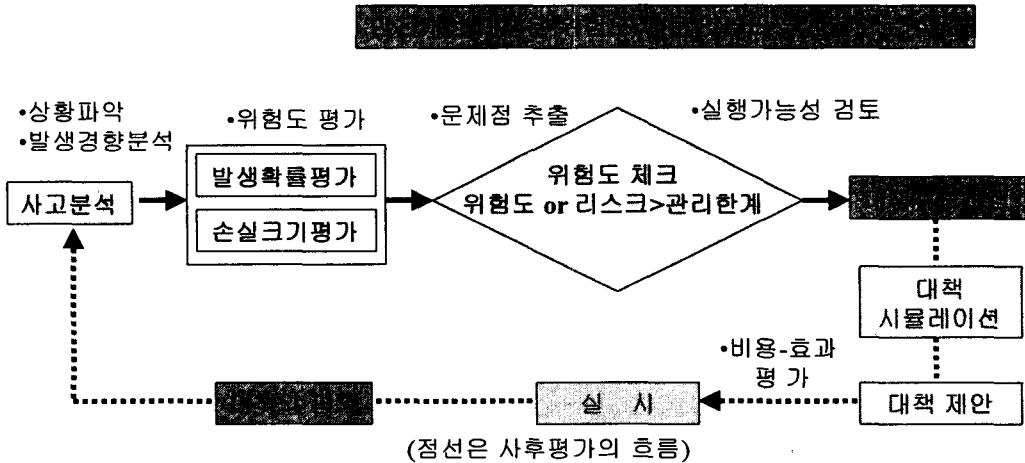
(그림 4) 철도건널목의 사고발생 유형

철도건널목에서 위험평가를 위해서는 고려되어야 할 이슈들이 많다. 현재, 철도건널목의 정량적인 위험평가를 위해서는 중요하게 고려되어야 할 부분은 휴먼에러이다. 철도건널목의 사고 인자를 모델링 함에 있어서 주요요소는 불안전행동(지식의 부족, 경험의 부족(미숙련), 의욕결여, 과로, 일에 대한 부적응, 고민 및 정신적 스트레스, 성격특성)인 것으로 판단된다. 이러한 휴먼에러와 작업부하를 평가하기 위해서는 THERP(technique for human error rate prediction), ASEP(accident sequence evaluation program), ATHEANA(a technique for human event analysis), CREAM(cognitive reliability and error analysis method), MERMOS(a morte e o morrer) 등의 연구가 진행되어 왔다. 동적 시스템하에서 기관사나 원전운전원 등이 문제해결이나 의사결정을 수행하는 인지과정의 패턴모형을 근간으로 하고 있다. Ramussen의 8단계 인지과정이나 CREAM이나 ATHEANA의 4가지 인지기능을 고려해 볼 때, 우리 철도현실에 맞는 휴먼에러 분석모형의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

4. 철도건널목의 안전관리

철도건널목에서 더욱더 개선된 위험평가를 위해서는 건물목설비가 실제 의도된 작업을 적절히 지원하여 유지 및 운영관리 되는지, 의도한 목적을 달성하였는지 파악하고, 사고발생시에 대

응하는 기관사 및 건널목안내원들의 체계적인 업무기능의 직무분석과 평가 등의 요소에 고려해야 할 사항이 많을 것이다. 따라서, 이러한 위험평가를 바탕으로 철도건널목의 안전관리에 있어서 위험정도(중요도와 손실크기)에 따라 우선적으로 안전관리를 실시해야 할 것으로 판단된다 (그림 5).



(그림 5) 위험평가에 기초한 철도건널목 안전관리절차

5. 결론

본 연구에서는 철도건널목의 사고를 최소화하기 위한 위험평가의 접근방법론을 제시하였다. 철도건널목의 위험요소를 도출하고, 체계적인 안전관리의 위험분석을 통해 위험을 정량적으로 평가하여, 이를 안전관리에 적용할 수 있는 방향으로 유도할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 이러한 위험평가를 위해서 가장 중요한 것은 유효한 데이터베이스를 지속적으로 구축하는 것이며, 사고 유발요인 해석과 안전대책을 수립하는데 귀중한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] 왕종배 외, 철도건널목 위험요인 분석 및 개량방안 연구, 한국철도기술연구원, 2003.
- [2] 정성학, 왕종배, 홍선호, 철도건널목 안전설비의 사고방지효과에 관한 연구, 대한산업안전학회 추계학술대회, pp.249-254, 2003.
- [3] 철도청, 철도사고사례집, 철도청 안전환경실, 2002.
- [4] US. DOT, Assessment of risks for high-speed rail grade crossings on the empire corridor, Volpe National Transportation System Center, 2000.
- [5] US. DOT, Railroad-Highway grade crossing handbook, FHWA-TS-86-215, 1986.