

철도안전관리를 위한 사고자료관리 D/B구조에 관한 기초연구

A Study on the Database basic structure of Accident Data Management for the Purpose of Railway Safety Management

홍선호*
Hong, Seon-Ho

왕종배**
Wang, Jong-Bae

곽상록***
Kwak, Sang-Log

이우준****
Lee, Yoo-Jun

ABSTRACT

In this paper, necessity and application scope of the risk-analysis D/B which assesses the railway safety condition has been introduced. In addition, normalization of analysis work, which is one of the DB development procedures has been conducted. And the structure of accident data management has been introduced through the analysis on the classification scheme used in Korea. Also the improvement of railway accident classification and management scheme which is necessary to accident risk assesment has been presented by these procedures.

1. 서론

철도시스템은 차량, 토목, 전력, 신호, 건축 등 다양한 기술요소와 영업, 운전, 계획 등과 같은 운영 측면의 요소가 결합되어 운영되고 있다. 이러한 복합된 요소들을 안전하고 효율적으로 관리하기 위해서는 해당하는 분야별로 전문성과 기술 강화가 요구되어지며, 경영 측면에서는 분야별 안전관리 실태와 전체 시스템의 안전수준을 확인하여 경영정책에 반영토록 하여야 한다. 즉, 안전성을 확인하기 위한 위험분석과 위험도평가가 철도시스템의 안전확보를 위한 필수조건이라고 할 수 있다.

일반적으로 사고 및 사건에 대한 위험도를 산출하기 위해서는 해당되는 위험의 정의와, 분석에 필요한 요소 및 대상의 명확한 파악으로부터 가능해진다. 이때 정의된 사고의 종류, 원인, 현상 등 분류 가능한 단계별로 관련된 자료가 연계되어 이를 정성적 또는 정량적으로 분석함으로써 시스템의 위험이 높고 낮음에 대한 평가를 제시할 수 있다. 이러한 위험도 분석을 위해서는 관련된 자료를 체계적으로 분류하여 데이터베이스로 구축하는 절차가 이행되어야 하며, 과거의 사고발생 유형을 구조화시켜 이를 체계화 할 수 있다. 이때 위험을 상세히 규명하고 위험 수준을 평가하는데 사고 이력 이외에 기타 이와 관련된 자료가 정의되어야 적절한 위험도 평가가 가능하고 결과적으로 합리적인 안전방안이 도출될 수 있다.

본 논문에서는 철도시스템에서의 위험도 분석용 데이터베이스 구축 방향을 제시하고자 하며, 이와 더불어 바람직한 사고분류 및 관리체계에 대한 위험관리측면에서의 개선방안을 제시하고자 한다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
**** 한국신뢰성기술서비스 대표이사, 비회원

2. 관련 기술 동향

(1) 국내·외 철도사고관리 연구동향

철도선진국에서는 이미 80년대 이후부터 위험평가의 개념을 적용하여 정책에 반영토록 다양한 연구를 시행한바가 있다. 일본 철도종합연구소(RTRI)는 네트워크기술을 활용한 「통합 안전관리시스템」을 구축하여 철도 사고, 안전 관계 정보의 일원관리와 「평가, 분석기능」에 의한 각종 통계처리 및 시스템 위험도 분석을 실시하고 있으며, 관련사에게만 공개하여 사고관리와 평가를 시행하고 있다. 영국 HMRI에서는 사고데이터베이스를 매년 갱신관리하여 결과에 대한 공개와 개선방안을 도출하고 있다. 미국 FRA와 NTSB에서는 U.S.CODE 201-203조에 근거하여, 철도사고 및 사건발생 자료의 데이터베이스 축적과 사고조사보고서를 통해, 동종사고 재발방지를 위해 통계분석을 시행하고 있다. D/B 자료구축시 사고원인에 대한 단계별 분석기법을 적용함으로써 분석결과의 신빙성을 높이도록 하고 있다.

국내 원자력 분야의 경우 원자력안전기술원에서는 중수형 원자로의 핵심 기기인 핵연료압력관의 건전성평가를 위한 평가시스템인 PTIES시스템을 개발하여, 압력관 평가에 필요한 압력관의 형상 및 결합형상, 운전조건등의 설계자료 및 결합 자료를 효율적으로 관리하고 평가시 신속하게 이용하기 위해 압력관 데이터베이스를 구축하고 있다. 철도에서는 KROIS와 통합시설관리시스템이 각기 개발 운영되고 있으며, 각 계통의 도면 및 자료 관리 측면에서 저장관리되어 위험평가에 필요한 세부자료에 대한 데이터 추출이 불가능한 상태로 운영되어지고 있다. 또한, 국내 도로교통분야의 경우 한양대 교통사고분석센터에서 2000년도부터 도로교통사고분석 전문가, 도로공학, 자동차공학, 법학 등 각계 전문가들이 참여할 수 있는 시스템을 구축, 교통사고발생원인을 보다 심층적, 체계적, 과학적으로 정확히 분석하고 이를 데이터베이스화하여 학문적 연구자료, 교통안전정책입안자료, 교육·홍보자료 등으로 활용함으로써 교통사고 감소를 유도하기 위한 시스템을 구축 중에 있다.

우리 철도분야의 경우 2001년 “한국철도기술연구원 역할 정립 및 활성화 방안(2002~2006)”에서 전문화/특성화 대상 분야로 철도안전분야를 선정하여 2002년부터 철도안전성능평가기술개발사업을 선정 반영하여 “철도 안전사고 방지를 위한 핵심기술 개발”과 “철도안전개선을 위한 제도화 기반 구축 연구”의 두 개 축으로 1단계 연구가 추진중에 있어, 향후 철도위험평가 기술의 향상과 적용이 기대된다.

(2) 위험도 분석의 개념과 필요요소

일반적으로 위험도 평가(Risk Assessment)는 법률적인 안전의무사항을 준수하거나 요건에 부합됨을 증명하는데 중점을 두고 있으며, 인간에 대한 피해의 관점으로 표현된다. 시스템의 고장과 같은 부적합한 사건들의 고장률 또는 빈도(Frequency)의 추정에 중점을 두는 것이 신뢰성 공학인 반면, 리스크 분석은 고장이 유발할 수 있는 결과(Consequence)까지 고려한다. 그리하여, 소규모의 시스템에서부터 원자력발전소와 같은 대형시스템에 이르기 까지 위험도 분석기법을 근간으로 그 시스템의 안전성을 분석한다. 위험도 분석은 1950년도 원자력산업 및 항공산업 분야에서 개발되어 이후에 화학공정 산업분야로 확대되었다. 이때에는 고장 수목 분석 (Fault Tree Analysis) 및 사건수목분석 (Event Tree Analysis) 기법이 근간을 이루었고 원인/결과분석 및 정량적 위험도 분석에 크게 유용되었다. 위험도 분석은 적용분야에 따라 포함하는 범위 또는 내용에 있어서 약간의 차이는 있지만 위험분석 (Hazard Analysis)과 사고발생빈도추정의 두 요소가 근간이 된다.

위험은 두 가지 속성을 가지는데 심각도(Severity)와 위험발생빈도(Likelihood of occurrence)이다. 심각도는 위험이 주어진 환경에서 야기할 수 있는 최악의 사고로 정의된다. 위험발생빈도는 정량적 또는 정성적으로 평가되는데 몇몇의 표준화된 시스템에 대해 많은 과거 자료가 존재하는 경우를 제외하고는 대개의 경우 정성적으로 평가된다. 위험의 심각도와 위험발생빈도를 결합한 것을 위험수준 (Hazard Level) 이라 한다. 또한, 위험도(Risk)는 위험수준과 두 가지의 다른 인자인 위험노출정도와 사고발생빈도가 결합한 것으로 정의된다.

여기서 위험노출정도(Hazard Exposure)는 노출 기간 (Duration) 또는 방치정도를 의미한다. 위험노

출정도가 위험도의 한 인자로 표현한 이유는, 사고라는 것은 일련의 조건의 동시적 발생인데 노출기간이 길수록 사고를 일으키는 조건이 형성될 기회가 많아져서 결국 사고를 야기한다고 볼 수 있기 때문이다. Low-probability High-consequence의 대형사고가 일어나기 위해서는 일련의 조건들이 동시에 형성되어야 하기 때문에 발생 확률이 매우 낮다. 그러나 위험이 오랜 기간 동안 방치되면 이러한 조건들이 동시에 형성될 수 있어 사고의 확률은 급격히 증가하게 되고 불가능해 보이는 일들이 발생하는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 위험도는 위험수준과 사고 발생빈도를 결합하여 산출되어 표현될 수 있는데 이 경우 위험노출정도는 사고발생빈도에 포함된 것으로 간주할 수 있다.

위험도 분석은 종종 위험분석과 비슷한 의미로 사용하기도 하는데 위험분석은 단지 위험규명 및 위험수준분석을 포함하고 있는 반면에 위험도 분석은 위험노출(지속)정도 등과 같은 환경적조건의 규명 및 분석을 포함한다. 따라서 위험분석은 위험도분석의 부분집합이다. 철도의 정량적 위험도 분석의 경우 위험 규명, 원인발생확률 및 빈도 추정, 결과분석, 위험도 평가 등의 과정이 필요하다. 철도사고의 피해로는 공중과 철도종사원의 사망 및 부상 또는 시설등의 경제적 손실이 해당된다.

3. 철도사고관리 데이터베이스 구축 방향

(1) 위험도 분석 고려사항

- 첫째, 하드웨어고장이 바로 사고로 연결되지 않는다는 것이다.
 - 둘째, 사고확률추정의 수치적 결과는 산출하는 과정에서 설정된 가정하에서만 유효하다는 것이다.
 - 셋째, 시스템의 물리적 고장이 없어도 사고가 일어날 수 있다는 것이다.
 - 넷째, 사고발생은 사고 예측을 하고 그것을 최소화 하려는 노력에 반비례한다는 것이다.
- 이와 같이 사고를 줄이기 위해서는 부품의 고장을 줄여 사고발생을 감소시키려는 의식에서부터 사고 방지에 대한 새로운 접근 방법 및 절차가 필요하다.

(2) 철도사고 위험도 분석을 위한 Data Base 구축 대상

앞에서 위험도 분석에 필요한 요소들을 대략적으로 살펴보았듯이 위험도 분석을 하기 위해 매우 상세한 정도까지의 자료가 필요함을 알 수 있다. 위험도 분석의 목적이 인적 및 경제적으로 손실을 줄이며 대중교통 수단으로서의 대내외적 신뢰도 제고에 있는 만큼 위험제거, 위험저감 또는 위험관리의 방법 및 내용을 결정하기 위한 기본 자료가 될 수 있어야 한다. 그러기 위해서는 사건 및 사고의 적절한 기록 및 유지 그리고 이와 연관된 관련 자료등을 체계적으로 D/B화 하여 운영할 필요가 있다. D/B구축할 필요가 있는 내용을 대략적으로 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 철도종사자 인적 분류 및 내용 : 철도 종사자의 직무별/직급별/연령별/경력별 분류 및 기타 필요한 분류를 위한 상세한 인적사항이 포함되며 개인별 근무일정 및 시간 등을 포함한다.
- 2) 철도운영에 필요한 물적 분류 및 내용 : 열차를 비롯하여 기반시설 등의 제원, 위치 및 가격등을 포함한다. 이는 노선별로 분류할 수 있어야하고 구조 설계도 뿐 만 아니라 구성품의 제원, 기능, 규격 등의 상세한 내용까지도 포함된다. 건널목의 경우 현장 그림도 포함된다. 구성품의 경우 수명 및 고장률 등에 대한 자료도 필수적이다.
- 3) 철도 운영의 인적/물적 제반 운영현황 및 이력 : 인적운영현황 및 물적 운영현황, 유지보수 이력은 물론 유지보수 방법, 절차, 주기, 시설물별 보수시간, 필요인력 및 비용 등을 포함한다. 예비품 확보 현황 및 단종 예상 품목등에 대한 내용도 필요하다. 열차운전의 경우 운전절차 및 비상대책 절차 등도 포함된다.
- 4) 사고이력 : 사고발생 원인, 사고전개과정, 관련 시설물에 대한 기술 및 피해정도, 기타 상세한 내용을 포함한다. 이는 노선별, 위치별 시간대별 및 기타 종별 등의 사고횟수를 집계할 수 있는 정도의 내용을 포함한다. 이와 같은 내용의 자료를 해당 부처별로 분리하여 구축하고 부처 또는 기관별 인트라넷 상에서 기록 관리하고 기관간 또는 인트라넷이 다른 기관간은 인터넷으로 연결하여 참조할 수 있는 웹 프로그램 형태로 구축하는 것이 적당하다.

4. 철도사고의 분류 및 데이터베이스의 구조

위험도 분석에 사용하기 위한 절차중 하나의 과정으로 철도사고이력자료를 데이터베이스화 하여야 하며, 이를 위해서 현재 관리중인 철도사고자료의 체계적인 분류와 이들을 정규화함으로써 데이터간의 상호 연계를 하여야 한다. 본지에서는 기존의 사고자료들을 데이터베이스로 구축하기 위한 정규화 작업을 통해, 철도에서의 사고위험도분석에 이용하기 위한 데이터베이스 구조를 제시하고자 한다.

4.1 요구사항 분석

2002년도 철도사고 분석 및 대책과 철도사고 사례집(2001)에 나타난 표를 추출해 내는 것을 요구사항으로 하였다. 각각의 요구사항에 분류는 아래와 같다.

표 1. 사고 관리 자료의 분석 (열차사고분야 분석 사례)

사고유형	분류체계	데이터 유형	항목
열차사고	발생현황	년도별 사고 건수	
	사고종별	각 년도 사고종별 사고건수	사고종별(열차충돌, 열차접촉, 열차탈선, 열차화재)
	월별	각 년도 월별 사고 건수	사고종별(열차충돌, 열차접촉, 열차탈선, 열차화재)
	요일별	각 년도 요일별 사고 건수	사고종별(열차충돌, 열차접촉, 열차탈선, 열차화재)
	시간대별	각 년도 시간대별 사고건수	사고종별(열차충돌, 열차접촉, 열차탈선, 열차화재)
	요인별현황	각 년도 요인별 사고건수	취급부주의, 차량결함, 시설결함, 외적인 요인
	책임소재지역사무소	지역사무소별 사고종별 사고건수	지역사무소별, 사고종별
열차사고사상자현황	각 년도 월별 사상사고 건수		

4.2 제1정규화

기존에 분석된 분야별 항목을 정리하는 첫 번째 과정이다. 요구사항에 나타난 많은 항목과 값들을 정리하여 D/B에서 사용할 키워드와 키워드를 만드는 기본 자료로 사용된다.

1) 열차사고 필요항목

발생시간, 사고종별(열차충돌, 열차탈선, 열차접촉, 열차화재), 요인별현황(취급부주의, 차량결함, 시설결함, 외적인 요인), 책임소재 지역사무소별 (서울, 대전, 부산, 순천, 영주)

사고요인		세부사항
취급부주의	역	신호취급불량, 전철기취급불량, 유치차량유동, 전철기할출할입, 전철기 불밀착
	기관차	제동취급불량, 신호확인소홀, 진로확인소홀, 제한속도초과, 기타
	차량	차량 검수소홀, 특대화물 점검소홀
	전기	신호보수 작업불량
	보선	작업도구방치, 선로보수불량, 기타
차량결함	대차부고장, 차량-선로경합 ¹ , 연결장치고장, 제동부고장, 기타	
시설/전기결함	레일결손, 궤간확장, 곡률불균형, 레일장출, 선로보수불량, 선로차량경합, 연동장치고장, 캔트불균형, 신호급전, 침단케조파손, 기타	
기타의외적요인	건널목자동차침입, 토사암석붕괴, 노반유실, 장애물설치, 자동차거더접촉, 기타	

2) 건널목사고 필요항목

발생시간, 책임소재 지역사무소별(서울, 대전, 부산, 순천, 영주), 종별(1종,2종,3종), 차종별(승용차, 승합차, 버스, 트럭, 특수차, 경운기, 오토바이, 기타), 원인별(일시정지무시행단, 차단기 돌파, 차량류 고장, 운전부주의, 기타)

3) 운전장애

발생시간, 요인별현황(취급부주의, 차량결함, 시설결함, 외적인 요인), 책임소재 지역사무소별(서울, 대전, 부산, 순천, 영주), 장치별 고장차량

사고요인	세부사항
1) 취급부주의	(차량탈선, 차량파손, 차량화재, 열차분리, 송전고장, 송전장애, 차량일주, 이선진입, 폐색취급위반, 신호취급위반, 위규운전, 정지위치실당, 열차방해, 선로장애, 선로고장, 보안장치고장, 차량고장(전기, 디젤, 동차, 전동차, 발전차, 객차, 화차, 기타), 열차퇴행, 열차지연, 화봉, 열차정지, 기타.)
2) 차량결함	차량탈선, 차량파손, 차량화재, 열차분리, 송전고장, 송전장애, 선로장애, 차량고장(전기, 디젤, 동차, 전동차, 발전차, 객차, 화차, 기타), 열차퇴행, 열차지연, 열차정지, 기타
3) 시설결함	전기결함-차량탈선, 열차분리, 송전고장, 송전장애, 보안장치고장, 열차지연, 기타 시설결함-차량파손, 차량이탈, 이선진입, 송전고장, 송전장애, 선로장애, 보안장치고장, 열차분리, 차량고장, 열차지연, 열차정지, 선로고장, 기타
4) 기타 외적 요인	차량탈선, 차량파손, 차량화재, 열차분리, 송전고장, 송전장애, 차량일주, 이선진입, 폐색취급위반, 신호취급위반, 위규운전, 정지위치실당, 열차방해, 선로장애, 선로고장, 보안장치고장, 차량고장(전기, 디젤, 동차, 전동차, 발전차, 객차, 화차, 기타), 열차퇴행, 열차지연, 화봉, 열차정지, 기타

4) 사상사고

사고요인	세부사항
1) 여객사상	발생시간, 열차종별, 연령별, 운행선구별, 상해별(사망/중상/경상), 성별, 원인별1(선로통행/뛰어 타고 뛰어내림/추락/열차사고/건널목사고/투석/기타), 원인별2(뛰어 타고 뛰어내림/추락/투석/선로횡단/출입문에 끼임/실족/홈에서 뛰어내림/객실-승하차후 넘어짐/열차접촉/운전사고/운전장애/기타), 지역사무소
2) 공중사상	발생시간, 장소별(역구내, 본선로, 교량상, 터널내), 열차종별, 연령별, 운행선구별, 상해별(사망, 중상, 경상), 성별(남, 여), 원인별1(선로침입, 자살, 건널목사고, 기타), 지역사무소별(서울/대전/부산/순천/영주)
3) 직무사상	발생시간, 직명별(계장직, 수송원, 역무원, 여객전무, 차장, 검수원, 장비운전원, 기관사..), 근무년수별, 해당직 근무년수별, 작업종류별(지역사무소-역관계(열차취급/여객/화물/입환취급및기타), 승무작업(객화차/보선/전기/기관차검수/수도건축/기타작업), 정비창(해체/강판/기계/제관/헤머타/주물/용접/전기/도장/목공/운반/기타작업)), 상해별, 성별, 상해종별(화상, 찰림, 타박, 파열, 절단상, 절창, 염좌상, 탈구상, 폭발상, 감전상, 골절상, 눈안이물, 직업병 기타, 상해 부위별), 원인별(본인부주의한 행동(작업과다, 병발생, 기타), 시설-장비의 불안정한 조건, 외부적요인(타사고, 고의, 기타)), 지역사무소 및 정비 본부별

5) 피해액

각 년도별 항목당 피해액 (항목 : 차량, 선로, 시설물, 응급복구비, 화물, 지연반환, 기타)

4.3 제2정규화

제1정규화에서 구한 키와 값들 중에서 중복되는 것을 정리하고 테이블로 구성할 수 있도록 정리하여야 한다. 이곳에서 만들어지는 값들은 바로 테이블의 설계도가 되므로 D/B를 효율적으로 만들기 위한 과정이다.

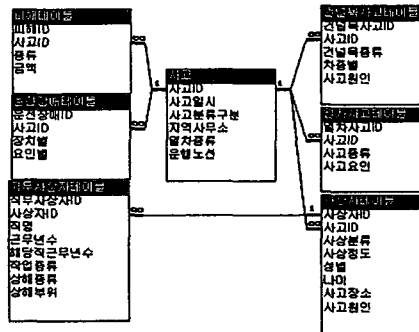


그림 1. 철도사고관리 데이터베이스 구조

표 2. 제2정규화를 통해 추출된 테이블과 데이터 형식

- 사고 테이블

이름	형식
사고ID	Integer
사고일시	Date
사고분류구분	Char W 50
지역사무소	Char W 20
열차종류	Char W 20
운행노선	Char W 20

- 열차사고테이블

이름	형식
열차사고ID	Integer
사고ID	Integer
사고종류	Char W 50
사고요인	Char W 50

- 운전장애테이블

이름	형식
운전장애ID	Integer
사고ID	Integer
장치별	Char W 50
요인별	Char W 50

- 사상사고테이블

이름	형식
사상자ID	Integer
사고ID	Integer
사상분류	Char W 50
사상정도	Char W 50
성별	Char W 2
나이	Short
사고장소	Char W 50
사고원인	Char W 50

- 직무사상자테이블

이름	형식
직무사상자ID	Integer
사고ID	Integer
직명	Char W 50
근무년수	Integer
해당직근무년수	Integer
작업종류	Char W 50
상해종류	Char W 50
상해부위	Char W 50

- 건널목사고테이블

이름	형식
건널목사고ID	Integer
사고ID	Integer
건널목종류	Char W 50
차종별	Char W 50
사고원인	Char W 50

- 피해테이블

이름	형식
피해ID	Integer
사고ID	Integer
종류	Char W 50
금액	Integer

5. 맺음말

본 고에서는 위험도 분석과 관계된 사항을 검토하였고 철도 운영과 관련한 D/B구축의 개략적인 범위를 언급하였다. 위험제거, 위험 저감 및 위험관리 등을 위한 활동에 대한 구체적인 방안수립을 위해서는 위험사건별(사고 원인별) 위험을 상세히 규명하고 위험 수준을 평가하여야 하는데 이는 사고 이력 뿐 만 아니라 기타 관련 자료가 추가되어야 적절한 위험도 평가가 가능하고 결과적으로 합리적인 안전방안이 도출될 수 있기 때문에 철도 운영과 관련한 제반 자료가 DB화 되어 관련자들이 접근할 수 있는 체계 구축이 필요할 것이다.

현재 철도청 안전관리규정과 철도사고보고 및 수습처리 규정에 근거하여 철도사고를 분류하고 있지만 현행 철도시스템에 의한 사고 분류체계는 열차사고, 건널목사고, 운전장애 관련사고들이 여객사상사고, 공중사상사고, 직무사상사고와 중복분류 될 수 있다. 우선 열차사고, 건널목사고, 운전장애는 사고발생장소에 따른 분류라 할 수 있다. 반면 여객사상사고, 공중사상사고, 직무사상사고는 피해자 대상에 따른 분류라 할 수 있다. 따라서 사고장소와 피해당사자가 겹치는 경우에 중복 분류는 불가피하다고 할 수 있다. 따라서, 국내 철도관련 사고분류체계도 리스크 평가를 위한 사고 분류체계인 사고의 발생빈도나 손실의 크기에 따라 분류하는 원리를 따라 수정되는 것이 바람직할 것이다.

마지막으로, 분류된 원인전조들이 구체적으로 어떤 사고의 원인전조인지 명확히 구분하고 있지 않다는 점이다. 달리 해석하면 모든 원인전조들이 모든 관련사고의 원인전조가 될 수도 있다는 것인데 현실적으로 타당하지 않은 가정이며 관련이 없는 원인전조들이 특정사고의 원인전조에 포함된다는 것은 리스크 평가 과정에 불필요한 부담을 주어 분석 과정에서 낭비요소가 될 수 있다. 따라서 과거사고이력자료를 기반으로 사고와 해당원인전조들을 구분하여 재분류하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 堀 雅通, 現代歐洲の交通政策と鐵道改革, 稅務經理協會, 2000.4
2. 安部誠治, 鐵道事故の再發防止を求めて, 日本經濟評論社, 1998.5
3. 鐵道安全推進會議, 鐵道事故調査の第3者機關の設置お求めて, 1997
4. 철도청, 철도청법규관리시스템, 철도통계연보 각년도
5. <http://www.tc.gc.ca/railway/SMSGuide>, <http://www.hse.gov.uk/railway/manual/intro.htm>