

철도사고 원인분석시스템 구축 방안에 관한 연구

Development of Railway Accidents Causal Analysis System

송보영¹⁾ 이동훈²⁾ 이희성³⁾ 문대섭⁴⁾
Song, Bo-Young Lee, Dong hoon Lee, Hi Sung Moon, Dae-Seop

ABSTRACT

There exist several ways to analyse the accident causal analysis. Selection of a method and procedure depends on the characteristics of the system being analysed. Moreover, the selection should take into account of how the accidents causes are classified, since analysis model should make use of the classified causes to identify factors contributing to the risk of accidents. For railway case, a relational analysis as well as statistical estimation of significant hazard frequencies is applied to identify the dominant causes of accidents. This paper introduces outline of the causal analysis system, which is a significant part of the railway accident information and analysis system.

1. 서론

국내 철도의 국가 표준의 사고/장애 분류 체계에 관한 연구를 통해 07년도에 철도사고 보고 지침이 개정되었고, 개정된 사고/장애 분류 체계에 따라 철도사고 통계 관리를 위한 시스템이 구축되었다. 또한 철도 안전에 대한 체계적인 관리를 위해 현재 철도안전정책 시스템에 대한 연구와 시스템 구축이 진행되고 있다. 본 연구는 철도안전정책 시스템의 일부분으로, 사고 원인분석을 위한 근본원인-사고원인-위험원에 대한 분류체계를 수립하고 철도운영 및 시설기관의 사고/장애 데이터를 분석하는 시스템을 구축하는 방안을 소개하고자 한다.

2. 원인분석 시스템의 필요성

국토해양부(구, 건설교통부)는 최근 대형 철도사고 발생 이후 철도안전에 대한 철저한 관리를 통해 사고를 미연에 방지하기 위한 목적으로 관련 프로젝트들을 수행하고 있다. 철도사고 보고체계 정립, 철도안전사고 방지를 위한 연구 프로젝트 및 관련 정보 시스템 구축 등이 그 예들이다.

본 과정의 일환으로 교통안전공단에서 2007년에서 2010년까지 4차년에 걸쳐 수행하고 있는 철도안전 정보종합관리시스템은 국가의 철도안전시책을 효율적으로 추진하고, 철도안전정보를 체계적으로 수집·분석·활용하여 철도사고 예방을 위한 원인분석 및 철도안전 지식보급을 하기 위한 시스템이다.

본 시스템에서의 원인분석의 목적은 철도사고가 발생하면 해당 운영기관에서 사고담당자가 사고보고를 사고통계분석 시스템을 통해 보고함으로써 관련 데이터가 자동 입력되고, 동시에 필요한 현황분석

1) 서울산업대학교 철도전문대학원, 교통안전공단 철도정보관리팀, 정회원
E-mail : smj6961@ts2020.kr, TEL : (031)362-3622, FAX : (031)481-0488
2) 서울산업대학교 기계공학과 교수, 비회원
3) 서울산업대학교 철도전문대학원 교수, 정회원
4) 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

을 할 수 있고, 국토해양부, 교통안전공단 및 운영기관 등에서는 필요한 시기에 필요한 보고서를 자동 생성할 수 있다.

이렇게 입력된 데이터들을 활용하여 사고유형, 사고원인, 위험원, 근본원인에 대한 관계분석을 통해 주요 사고별로 사고에 영향을 미치는 원인이 무엇인지를 파악하고 관리함으로써 사고예방에 일익을 담당하고자 하는 것이 본 시스템의 목적이다.

장기적으로 보면 사고통계에 의한 단순한 사고건수 및 사고 피해의 집계로 철도안전도를 표현하는 것은 부족한 면이 있다. 사고통계라는 최종적 결과의 집계와 더불어 사고가 발생하는 원인요소를 제공하는 환경적 또는 의식적(정신적) 요소들에 대한 평가 결과도 철도안전도의 일부분이 될 수 있다. 따라서 보다 선진적인 안전정책 수립 및 안전관리를 위해 철도안전도를 입체적으로 그리고 정량적으로 표현 할 수 있는 방안이 필요하며 이를 위해서는 철도 안전에 대한 주요 영향요소가 무엇인지를 파악해야 하며 선정된 개별적 요소들에 대한 정량적 지표(Indicator)를 정의해야 한다. 이를 종합하여 철도안전도를 종합적으로 평가할 수 있는 철도안전지수(Railway Safety Index)를 개발하여야 한다. 본 연구에서는 철도안전도를 평가할 수 있는 정량적인 지수를 개발하여 안전목표 수립 및 관리 등 철도안전향상을 위한 전략을 수립할 수 있는 철도안전정보 종합관리 시스템의 일부인 원인분석 시스템의 개발 방안을 소개 하고자 한다.

3. 원인분석을 위한 선형 시스템 사례

본 시스템과 비슷한 성향의 선진 시스템에 대한 기능 분석을 통하여 보다 정확한 시스템 기능구현을 하고자 타 시스템에 대한 분석을 실시하였다. 분석된 내용은 원자력 발전소에서 인적오류에 대한 사고 예방을 위한 시스템인 K-HPES(Korean-Human Performance Enhancement System), 철도기술연구원 에서 철도 사고별로 심층적인 분석을 통해 사고 원인을 찾고 각 사고별로 FT(Fault Tree) 및 ET(Event Tree)를 수행할 수 있는 Rail-PRISM(Rail Program for Risk Informed Safety Management), 영국철도의 사고보고 및 분석을 위한 SMIS(Safety Management Information System) 의 각 기능 및 원인분석 내용에 대해서 조사하였다.

3.1 K-HPES(Korean-Human Performance Enhancement System)

K-HPES(Korean-Human Performance Enhancement System)는 국내 원자력발전소의 인적행위를 개선하여 인적오류를 줄이고 궁극적으로는 발전소의 경제성과 안전성을 향상시키기 위한 시스템이다. 원자력발전소의 사고에 대한 모든 단계별 업무를 본 시스템을 통해 보고, 분석 및 타 발전소의 사고 사례 전파를 통해 근본적으로 사고예방 효과를 도모하고, 산업계의 모든 근본원인 분석법을 반영함은 물론 해외 근본원인 분석 프로그램 보다 체계적인 시스템을 운영하고 있다.

- 자체 정보교류 시스템 및 전자결재 시스템등과의 연동을 통해 정보공유, 사고 사례전파, 타 발전소의 사고 사례를 실시간 전파를 통한 활용
- 관련 그래픽 자동생성 및 관련보고서 생성
- 기존의 보고서 자료를 신규형식으로 전환을 통해 보고서 관리의 효율성 및 편의성 확보
- 체계적이고 단계적인 인적오류사례 관리.

와 같은 목적으로 구축된 시스템이다. 주요 구성 모듈은 아래 그림과 같다.

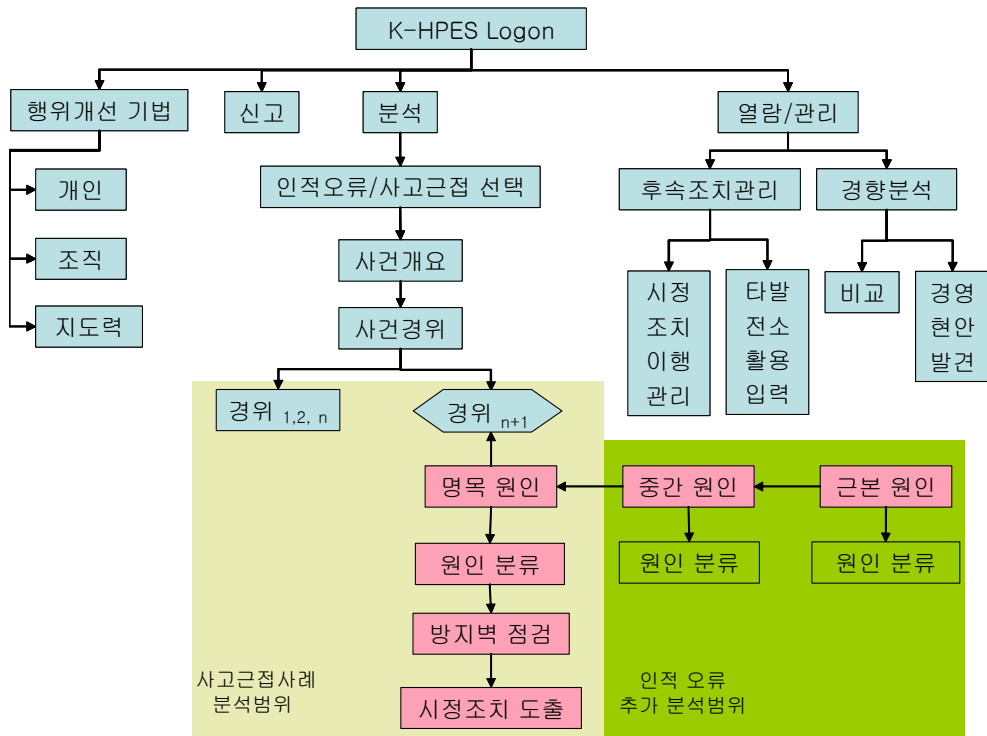


그림1. K-HPES 구성 모듈

K-HPES는 원자력 발전소에서 하드웨어적 사고는 엄청난 피해와 사회적 문제를 야기하는 것이므로 하드웨어적 사고는 거의 발생하지 않으며, 사고의 대부분이 인적오류에 의한 경미한 사고가 대부분이다. 따라서 본 시스템에서의 사고 분석은 각 사고별로 사고발생 경위 및 사고발생 원인이 무엇인지 체계적이고 시각적으로 보여주는 것이 주요 특징이라고 할 수 있다.

3.2 Rail-PRISM (Rail Program for Risk Informed Safety Management)

Rail-PRISM (Rail Program for Risk Informed Safety Management)는 철도 위험도 평가는 방대한 사고/장애 자료의 처리와 사고 시나리오 모델 개발에 많은 인력과 시간이 소요될 뿐만 아니라, 향후 철도안전법의 시행에 따른 주기적 철도 위험도 분석의 효율성을 고려할 때 철도 사고/장애 자료와 사고 시나리오 모델의 유기적인 유지 및 연계 관리, 신속한 철도 위험도 정량분석을 통한 의사결정 지원 등이 요구되므로 철도 위험도 평가에 특성화된 시스템이다. 이를 위해서 다양한 철도분야의 안전관계자가 철도 위험도 관련 자료에 대한 입출력이 가능 하도록 하고, 위험도 평가용 모듈인 철도사고/장애자료 DB, 위험분석자료 DB, Hazard List DB, PHA DB를 통해 운영기관에서 보유하고 있는 기존 보고 내용의 변환을 통한 입력 및 사용자의 직접입력이 가능하도록 하기 위하여 효율적이고 사용 편의성이 확보된 인터페이스를 갖도록 한 시스템이다. 시스템 구성도는 아래 그림과 같다.

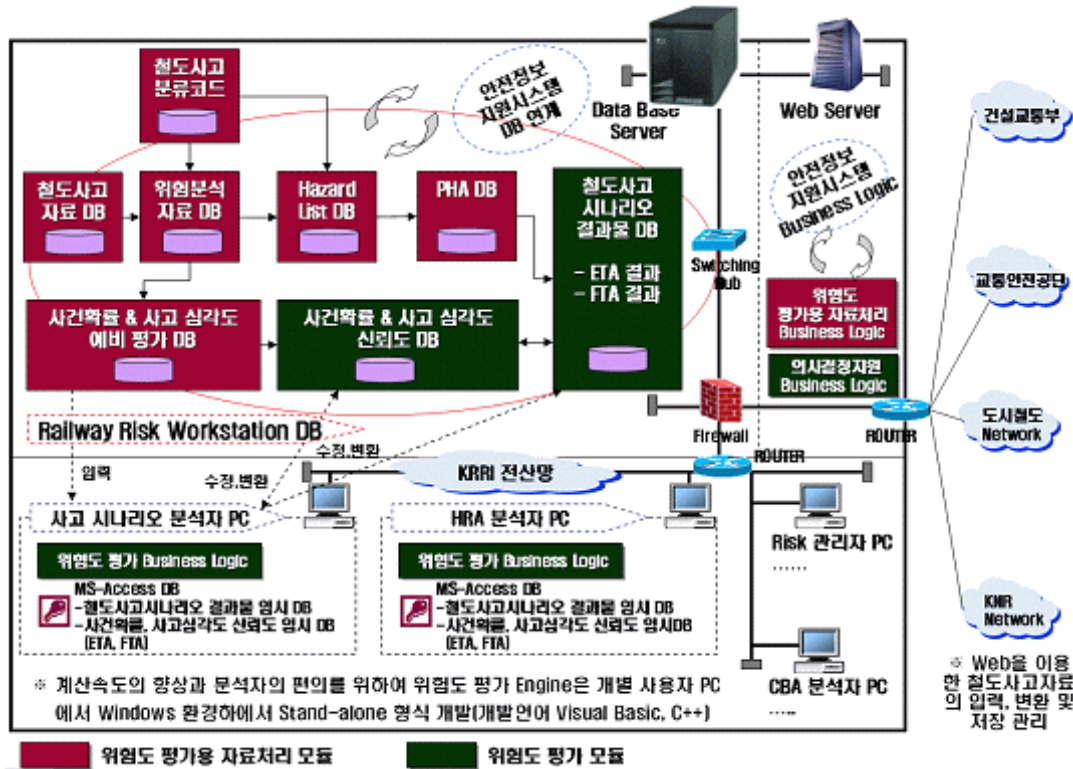


그림 2. 시스템 구성도

시스템의 기능 중 사고분석 기능은 사고가 발생하게 된 환경적인 요인, 위험사건, 원인, 대상 등을 규명하여 위험도 정보의 가장 기본적이고 중요한 자료를 생성하게 된다. 사고분석은 순차적으로 발생하는 위험사건과 위험사건에 따른 순차적인 발생원인, 원인별 관련자 및 관련시설/장비를 규명한다. 사고 1건당 여러 건의 위험사건이 있을 수 있으며, 위험사건 1개에 여러 개의 발생 원인이 존재할 수 있도록 제작하였다.

본 시스템은 사고의 심각도등을 고려해서 심각도가 높은 사고에 대하여 그 사고에 대한 세부 원인을 규명 하고자 함이 목적이며, 이를 위해서 심각도가 높은 사고에 대해서 FT 및 ET를 통해서 근본적인 사고원인을 규명하고 분석하는 시스템이다.

3.3 SMIS(Safety Management Information System)

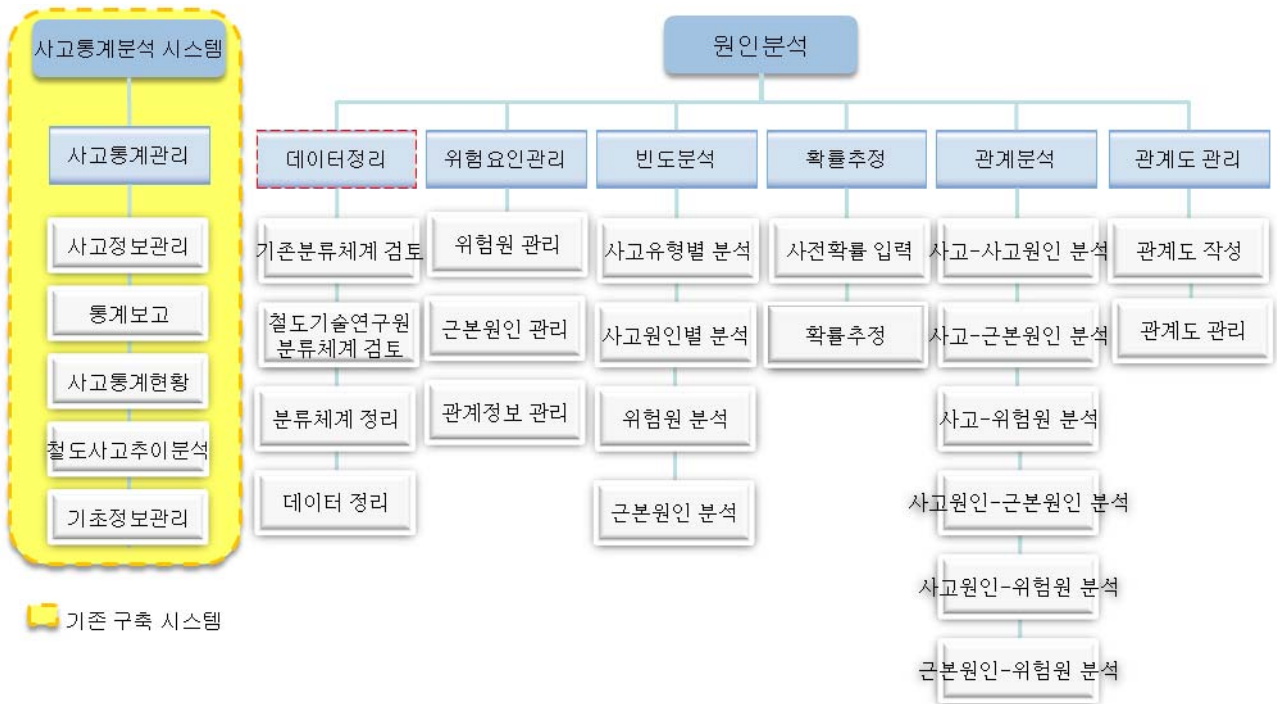
영국 철도에서는 Railway Regulation 2000에 의무사항으로 규정한 위험도 평가를 국가적으로 시행하고, 위험도를 기반으로 국가안전관리체계를 구축하기 위해 많은 철도 관련기관이 공통으로 활용할 수 있는 안전경영정보시스템(SMIS, Safety Management Information System)을 영국철도안전연구기관인 RSSB(Rail Safety & Standard Board)이 IBM과 구축하여 운영하고 있다. SMIS는 각종 안전관련 통계 자료, 안전계획서 및 안전위험도모델(SRM, Safety Risk Model)의 기본 자료로 활용하고 있다.

SMIS는 웹기반의 응용프로그램으로 시설관리자인 Network Rail의 관리영역에서 발생한 모든 안전관련 사건을 기록하기 위한 국가적인 철도안전정보시스템이다. 이 D/B는 단일 기록내의 각각의 안전사건에 대한 모든 정보를 저장하며, 안전사건에 관련된 60개 이상의 철도관련기관이 각자의 접근권한을 가지고 SMIS를 이용한다.

SMIS는 영국철도안전연구기관에서 철도 사고에 대한 일반적인 사항, 위치정보, 환경정보, 사고원인정보의 입력을 통해 기초적인 현황분석과 각 항목별 현황정도를 분석하는 시스템이다.

4. 주요 구성요소

원인분석을 위해 현재 진행 중인 시스템의 주요구성은 데이터를 정리 입력하는 기능, 위험원과 근본원인에 대한 분류체계를 관리하는 기능, 사고, 사고원인, 위험원, 근본원인의 각 항목별로 빈도분석을 하는 기능, 사고-사고원인-위험원-근본원인 각 항목별 관계분석을 하는 기능 및 이런 분석을 통해 관계정도를 시각화 하여 이해도를 높이기 위해 그림으로 그려주는 관계도를 작성 관리하는 기능으로 구성되었다. 주요 구성요소에 대한 내용은 아래 그림과 같다.



4.1 위험요인 관리

위험요인관리는 위험원과 근본원인에 대한 분류체계를 관리하고 관련 데이터를 입력하는 기능이다. 사고가 발생하면 해당 유관기관의 사고통계 담당자가 사고에 대한 내용을 정리하여 사고통계분석시스템에서 사고 보고를 하고, 보고가 종료되면 분석자가 사고의 내용을 심층분석하여 위험원과 근본원인의 항목을 도출 입력하는 기능이다.

사고 및 사고원인에 대한 분류체계는 기 구축된 사고통계분석 시스템에서 구축되어 있으며, 원인분석 시스템의 구축과정을 통해 사고통계분석시스템의 사고정보관리와 위험요인관리를 통합 운영하고자 한다.

또한 빈도분석과 관계분석에서 사고, 사고원인, 위험원, 근본원인의 주요 관리항목들을 위험요인 관리에서 등록함으로써 이 항목들에 대한 집중적인 분석을 할 수 있도록 관리하는 기능이다.

4.2 확률추정

확률추정은 빈도분석과 관계분석에서 제공될 내용으로서 발생빈도를 중심으로한 비모수적 추정 방법

및 베이지안(Bayesian) 추정방법을 활용한다. 이렇게 구성된 확률은 빈도분석으로 자료로 활용함은 물론 안전정책지원시스템에서 주요 내용인 위험도(위험도=심각도×확률) 분석에서 활용하기 위한 목적이다.

베이지안 추정방법은 기본적으로 빈도만을 고려하는 비모수적 방법에서의 한계를 극복하기 위한 방법으로서 발생 빈도가 큰 사고의 경우 비모수적인 방법을 고려하면 되지만 그렇지 않을 경우에는 전문가의 의견을 반영한 시뮬레이션 기능과 유사한 기능이다. 전문가의 특별한 의견이 없다면 여러 가지 조건을 입력해서 시뮬레이션하고 그 결과 중 최적의 내용을 반영할 수 있도록 구성된다. 이를 위해서는 전문가들의 지식을 입력할 수 있는 사전확률 등록을 통해 주로 많이 사용하는 포아송분포, 베타분포, 정규분포 및 대수정규분포 등을 통해 사후확률을 계산하고 이를 활용하는 방법이다.

4.3 빈도분석

빈도분석은 사고유형별, 사고원인별, 근본원인별, 위험원별 선택조건에 따른 빈도를 제공해주는 기능이다. 빈도분석의 조건을 선택하고 분석 버튼을 누르면 기본적으로 해당 항목 전체에 대한 빈도분석을 실시하고, 필요 시 누적중요도 혹은 관계정보등록에서 등록된 항목만 또는 이를 병행한 항목에 대한 분석을 실시하도록 한다. 빈도분석의 주요 내용은 아래 그림과 같으며 사고보고서를 통해 활용할 수 있는 지역, 피해정도, 날씨 등 환경적인 요인을 활용한 분석이 병행될 수 있도록 하는 기능이다. 또한 경우에 따라서는 분석하고자 하는 항목이 많을 경우 주요 항목에 대한 분석이 이루어질 수 없기 때문에 누적빈도 및 상대빈도를 활용하여 중요도를 산출하고 중요도의 내림차순으로 보여주는 것은 기본이며, 누적중요도가 몇% 이상만 분석하는 기능도 포함되어 있다. 위험요인관리에서 등록된 주요항목에 대해서도 발생빈도가 낮더라도 분석이 가능 하도록 주요항목 및 중요도가 높은 항목에 대해서만 별도 분석이 가능하도록 구성되어 있다.

주요원인명	발생빈도	연간발생빈도추정	누적빈도	중요도	누적중요도
인적결함	89	19	89	37	37
시설결함	76	15	165	32	69
외적요인	43	10	208	18	87
기술적요인	20	5	228	8	95
사상사고	9	2	237	4	99
화재사고	2	0	239	1	100
건널목사고-인적요인	1	0	240	0	

4.4 관계분석

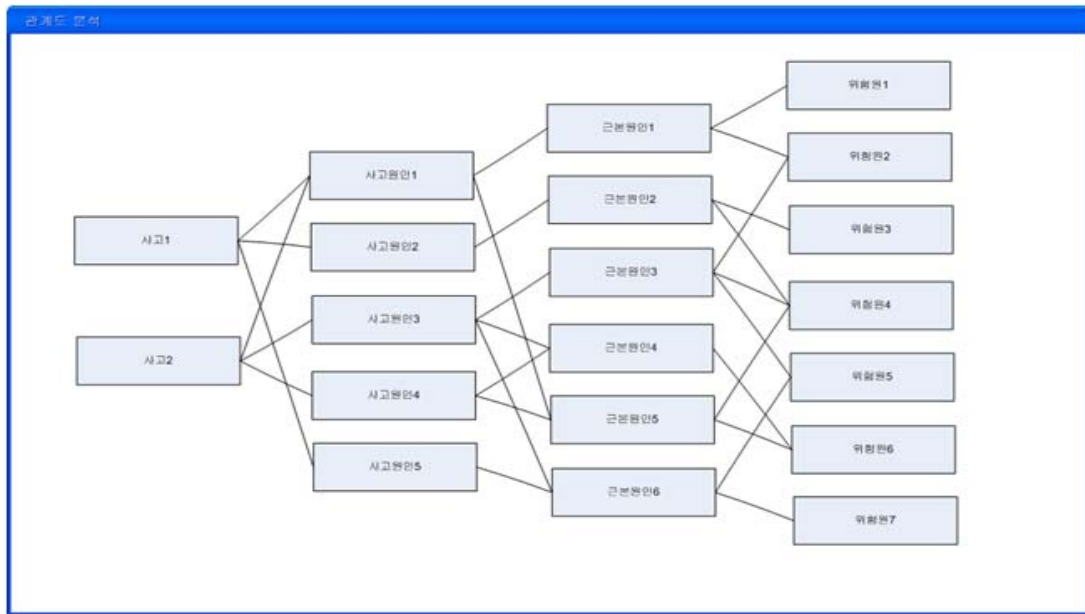
관계분석은 하나의 사고에 대하여 관계되는 원인, 근본원인, 위험원의 관계를 보는 2차원적 분석기능이다. 각 항목별 전체 빈도에 대한 상대빈도(중요도)를 정리함으로써 각 항목의 중요도를 분석하고 우선관리 대상이 무엇인지 선정하는 기능 및 사고발생 빈도, 확률 등 분석에 필요한 통계치의 우선순위로 조회 할 수 있도록 하고, 위험요인 관리에서 등록된 항목에 따른 중요도 분석 기능도 포함되어 있다.

관계분석은 사고, 사고원인, 근본원인, 위험원에 대한 2차원적 분석이 가능하도록 사고-사고원인분석, 사고-근본원인 분석, 사고-위험원 분석, 사고원인-근본원인 분석, 사고원인-위험원 분석, 근본원인-위험원 분석에 대하여 별도로 분석할 수 있도록 구성되어 있으며, 아래 그림은 관계분석의 예를 보여주는 그림이다.

사고	위험원	빈도	누적빈도	중요도	누적중요도	측률
교통사고 > 사상사고 > 병행	병행 사상 > 충격 > 앞차/차량 충격	167	167	37%	37%	0.05
안전사고 > 사상사고 > 여객	여객 사상 > 전도/실족 > 좌우내 전도/실족	78	236	18%	66%	0.05
교통사고 > 사상사고 > 여객	여객 사상 > 충격 > 앞차/차량 충격	70	306	16%	71%	0.05
안전사고 > 사상사고 > 여객	여객 사상 > 끼임 > 앞차/차량 내부출입문 끼임	36	341	8%	79%	0.05
교통사고 > 사상사고 > 여객	여객 사상 > 불안정한 행동 > 뛰어내림	25	366	6%	85%	0.05
교통사고 > 사상사고 > 여객	여객 사상 > 불안정한 행동 > 운행중 앞차/차량 출입문 개방	25	391	6%	91%	0.05
안전사고 > 사상사고 > 여객	여객 사상 > 끼임 > 앞차/차량 외부출입문 끼임	22	413	6%	96%	0.05
안전사고 > 사상사고 > 직립	직립 사상 > 전도/실족 > 작업장 전도/실족	17	430	4%	100%	0.05

4.5 관계도

빈도분석 및 관계분석에서 실시한 분석 결과를 도시하여 전체 관계들을 명확히 이해할 수 있도록 하는 기능으로서 분석하고자 하는 항목들을 지정하여 분석 버튼을 누르면 아래 그림과 같은 관계도를 보여준다.



관계도는 기본적으로 사고 단위별로 작성을 하고, 관계도에 확률, 빈도, 중요도 등의 값을 제공함으로써 하나의 그림으로 사고에 대한 전반적인 이해도를 높일 수 있도록 구성되었다.

5. 시스템 활용방안

각 운영기관에서 발생한 사고에 대하여 사고보고서를 입력하고, 입력된 데이터 및 정보연계를 통하여 활용할 수 있는 데이터를 이용하여 교통안전공단 사고통계 담당자가 근본원인과 위험원 및 사고원인에 대한 세부 정보를 추가적으로 입력한다.

이런 정보를 활용하여 원인분석을 실시하고, 그 결과를 활용하여 철도안전정책지원 시스템에서 위험도 저감을 위한 각종 의사결정의 주요 정보로 활용하게 된다.

주요 기대효과는 아래와 같다.

5.1 위험원, 근본원인 데이터 정리

현재까지 사고 및 사고원인에 대한 데이터는 사고보고서를 통해 정리되어 있으나, 위험원과 근본원인에 대한 데이터는 정리되지 않아 위험원과 근본원인에 대한 데이터를 본 프로젝트 과정에서 정리하여 원인분석에 활용할 수 있도록 확보하고 향후 본 시스템을 활용하여 사고 보고서 등록 후 위험원 및 근본원인 데이터 정리

5.2 원인분석을 위한 분류체계 수립

기존 분류체계를 바탕으로 위험원 및 근본원인 데이터를 통계적 분석방법을 활용하여 Pilot분석을 실시하고 이를 바탕으로 분류체계의 타당성 검토를 거쳐 분류체계 수립

5.3 안전정책지원 시스템의 기본정보 제공

안전정책지원에서 관리되어야 할 사고, 위험원 등에 대한 항목 및 관계정도를 파악할 수 있으며, 각 항목에 대한 빈도 뿐 만 아니라 확률 알고리즘을 통해 위험도 계산에 필요한 정보 제공

5.4 정보연계 데이터를 활용한 원인분석 방안 수립

사고보고서에서 확보할 수 있는 데이터 이외의 데이터를 활용한 원인분석을 할 수 있도록 필요 항목을 결정하여 정보연계에서 데이터를 준비하도록 하고, 이들의 데이터가 정리되는 시점에 맞춰 정보연계 데이터를 이용한 원인분석 기능 구현

6. 참고문헌

1. 박찬우 외 3, 웹기반 철도 위험도평가 사고분석 프로그램 개발에 관한 연구”, 철도학회 춘계학술대회, 2006
2. 철도청, 철도사고사례집, 2001.3
3. 건설교통부, 철도사고 위험도 분석 및 평가체계 구축, 철도종합안전기술개발사업 제 3차년도 중간보고서, 2007
4. 송보영 외 3, 철도안전도 평가지수 개발에 관한 연구(I), 철도학회 추계학술대회, 2007