

# 철도건널목 위험도 정량평가 방법론 적용성 연구

## Feasibility Study on the Risk Quantification Methodology of Railway Level Crossings

강현국\*                      김만철\*\*                      박주남\*\*\*                      왕종배\*\*\*  
Kang, Hyun Gook      Kim, Man Cheol      Park, Joo Nam      Wang, Jong Bae

### ABSTRACT

In order to overcome the difficulties of quantitative risk analysis such as complexity of model, we propose a systematic methodology for risk quantification of railway system which consists of 6 steps: The identification of risk factors, the determination of major scenarios for each risk factor by using event tree, the development of supplementary fault trees for evaluating branch probabilities, the evaluation of event probabilities, the quantification of risk, and the analysis in consideration of accident situation. In this study, in order to address the feasibility of the propose methodology, this framework is applied to the prototype risk model of nation-wide railway level crossings. And the quantification result based on the data of 2005 in Korea will also be presented.

### 국문요약

위험 분석을 위한 방법론은 결정론적 정성적 접근과 확률론적 정량적 접근으로 대별될 수 있는데, 보다 현실적으로 다양한 요인을 적극적으로 고려할 수 있는 정량적 방법론은 효율성이 높으나 모델의 복잡성과 자료수집의 어려움을 극복하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 복잡한 모델링을 체계적으로 수행하여 철도 건널목에서의 사고로 인한 위험도를 정량적으로 평가하기 위한 방법론을 도출하고 기본적인 적용성 연구를 통해, 정량평가 방법론의 유용성을 입증하고 추후 철도 통합 위험도 평가 시스템의 개발에 반영하는 목적으로 수행되었다.

제안된 위험도 평가를 위한 방법론은 다음과 같이 요약될 수 있다. 먼저 Preliminary Hazard Analysis 결과로부터 철도 사고에 대한 위험요인 목록을 작성하고 사건수목(Event Tree)을 이용하여 위험요인별로 사고 시나리오를 전개한다. 사건수목중 사건수목 분기확률을 정량화하기 위해 보조논리를 필요로 하는 경우에 대해서 고장수목(Fault Tree)을 작성한다. 작성된 사건수목과 고장수목에 정량화를 위해 필요한 평가 자료를 입력하고 통합 정량화 방법론을 적용하여 최종 정량화를 수행한다. 정량화된 결과에 사고 상황을 고려한 해석을 수행하고 필요하다면 민감도 분석이나 불확실성 분석이 수행한다.

본 연구에서는 이러한 분석 방법론을 전국 철도건널목 사고 분석에 시범 적용하였다. 또한 2005년 국내 철도 건널목에서 발생한 사고자료를 이용하여 시범적인 정량화를 수행하여 그 적용성을 보였다.

\* 한국원자력연구소, 비회원, E-mail: hgkang@kaeri.re.kr

\*\* 한국원자력연구소, 비회원

\*\*\* 한국철도기술연구원, 정회원

## 1. 서 론

### 1.1 위험도 정량평가

일반적으로 위험도란 미래에 발생가능한 손실로 정의할 수 있다. 따라서 해당하는 분야나 대상에 맞게 어떠한 손실에 대비해야 할지를 정의하고 그러한 손실이 발생할 가능성을 평가하는 것을 위험도 평가라고 할 수 있다. 이러한 위험도 평가는 정성적인 방법으로 수행될 수도 있고 과거의 경험이나 이론적인 추정을 통해 정량적인 방법으로 수행될 수도 있다. 정성평가는 계량하기 어려운 분야에서 전문가의 의견이나 기존 경향 등을 분석하여 수행하게 되고, 정량평가는 기존의 정량적 경험자료와 타분야의 자료 등에 바탕을 두고 손실 가능성을 계량화하게 된다.

단순 기기나 계통의 경우 과거의 이력이나 시험결과를 바탕으로 위험도를 정량화할 수 있으나, 철도나 원자력시설과 같이 많은 기기 및 운전원들이 매우 복잡한 양상을 가지고 영향을 주고받는 시스템의 경우에는 논리적인 모형에 기반을 두고 정량적인 위험도 평가를 수행하는 것이 일반적이다. 미래에 있어서  $n$ 개의 발생가능한 사건 중  $i$ 라는 사건이 발생 가능성  $P_i$ 를 갖고 있으며, 그 사건의 결과가  $C_i$ 라면 이 사건의 위험도는 다음과 같이 정의된다 [1].

$$\text{위험도} = \sum_{i=1}^n P_i C_i$$

여기서 어떤 사건  $i$ 의 발생가능성( $P_i$ )은 사건의 발생 원인 및 사건의 발전 경위 등에 의하여 결정된다. 반면에 그 사건의 결과( $C_i$ )는 열차의 탈선, 화학공장의 폭발, 댐의 붕괴 등 어떤 사건의 결과 자체 및 그 사건 결과에 영향을 받는 인자에 의해 결정된다. 이러한 방법을 확률론적 위험도 평가(Probabilistic Risk Assessment)라고 한다.

정량적 위험도 평가는 비용-편익 분석 및 의사결정에 매우 중요한 정보를 제공할 수 있다. 즉, 존재하는 위험 요인을 정해진 자원을 이용하여 보다 효과적으로 제어하기 위한 수단으로서 정량적 평가 결과를 활용할 수 있다.

### 1.2 철도 위험도 평가

철도시스템 위험요인 분석 및 위험도 평가를 핵심 기반으로 하는 국가적인 철도안전관리시스템의 구축이 진행 중이며 그 일환으로 본 연구가 수행되었다. 철도시스템이나 원자력발전소와 같이 복잡한 시스템의 위험도를 단일 사건으로 표현하여 정량화하는 것은 현실적이지 않으므로, 여러 개의 발생가능한 사건들로 이루어진 위험도 평가모형을 구성하게 된다. 이러한 모델은 사고요인의 발생확률은 물론, 사고의 완화 기전 및 전개 기전을 포함하게 되며, 발생가능한 사건의 결과까지도 고려하여야 한다. 즉, 하나의 사고요인이 다양한 전개과정을 거쳐 여러 개의 시나리오를 형성하게 되는데, 주의할 점은 그 시나리오의 결말이 여러 가지의 결과를 초래할 수 있도록 모델을 구성해서는 안된다는 것이다. 만약 여러 가지 결과를 초래할 수 있을 것으로 판단되는 경우 더 상세한 분석을 수행하여 몇 개의 사건으로 나누어 분류하면 위에 언급한 위험도 공식을 이용할 수 있게 된다.

철도시스템에서 정의할 수 있는 위험한 사건은 대단히 복잡한 양상을 나타내게 된다. 즉, 사람, 운영 절차, 기반설비, 열차, 방호설비 등이 복잡하고 상호 의존적으로 작용하여 하나의 시나리오를 구성하게 되는 것이다[2]. 따라서 철도시스템의 위험도 평가를 위한 모델 구축은 이러한 복잡한 상황을 분석하여, 주요 시나리오를 정량화 가능한 수준으로 단순화시키는 과정으로 파악될 수 있다. 분석의 첫 단계는 치명적 사건 또는 위험에 대한 분석을 수행하여 체계화하는 것이고, 두 번째 단계는 이러한 목록을 바탕으로 사고의 전개 시나리오를 구성하는 것이다.

한국철도공사 안전관리규정에 의해 철도에서의 사고는 크게 운전사고와 사상사고, 그리고 운행장애로 분류된다. 열차의 운행중에 발생하는 사고인 운전사고는 열차사고와 건널목사고를 포함한다. 열차

사고는 충돌, 탈선, 화재로 구성된다. 충돌 사고는 두 열차간의 충돌 또는 열차와 다른 물체 간의 충격으로부터 기인하는 사고를 포함하며, 탈선 사고는 예기치 않은 사고로 인하여 열차가 선로에서 벗어나는 사고를 말한다. 화재 사고는 열차 내부 또는 역사 등 외부에서의 화재가 수반되는 사고를 일컫는다. 상기의 3가지 열차사고와 건널목 사고를 묶어 철도 중대사고로 분류하며 이러한 사고가 발생하였을 경우에 사고의 전개과정을 분석함으로써 사고로 인해 유발되는 피해의 정도를 보다 체계적으로 분석/예측할 수 있게 된다.

특히 국내의 경우 건널목 사고가 운전사고의 대부분을 차지하고 있다. 본 연구에서는 이러한 철도 건널목 사고에 대하여 복잡한 모델링을 체계적으로 수행하여 철도 건널목에서의 사고로 인한 위험도를 정량적으로 평가하기 위한 방법론을 도출하기 위한 것이다. 이렇게 도출된 방법론을 바탕으로 기본적인 적용성 연구를 수행하여 정량평가 방법론의 유용성을 입증하고 추후 철도 통합 위험도 평가 시스템의 개발에 반영될 수 있다.

## 2. 철도 건널목 사고 모델 개발

철도사고를 포함한 일반적인 사고 모델을 위해서는 위험요인을 도출하고 각 요인별로 사고 시나리오를 전개하게 된다. 철도사고에 대해 그 과정은 도시하면 그림 1과 같다.



그림 1. 철도사고 위험도 분석 절차 개요

본 연구에서는 사고의 전개과정을 분석한 시나리오를 작성하고, 사건수목(event tree)을 통해 이러한 시나리오를 보다 체계적으로 표현하기 위한 연구를 수행하였다. 사건수목 분석이란 특정 초기사건에 대하여 사건 수목을 구성하여 최종적인 위험상태를 초래하는 모든 중요 사고경위를 논리적으로 밝혀내는 과정이다. 따라서 사건수목은 사고의 위험을 저감하기 위해 동원될 수 있는 모든 안전기능 상실사건을 사고 전개의 형식으로 표현함으로써 체계적인 시나리오 관리를 가능하게 해 준다.

사건수목은 연대순으로 각 판별 인자를 배열하고 모든 가능한 인자들을 조합하여 가능한 최종 사건들의 집합을 생성하는 목적으로 사용되는데, 확률을 사건 수목의 각 가지에 할당하거나 고장수목(fault tree)을 이용하여 논리적으로 도출하여 각 사건별로 최종 확률을 계산하게 된다. 이 확률은 초기사건의 발생빈도와 곱해져서 최종 사건별 발생빈도를 구하게 된다. 즉, 어떤 초기사건이 발생할 빈도에

그 초기사건이 발생하였을 경우 어떤 특정 사건으로 결과가 발전해 나갈 확률을 곱하는 것이다.

사건수목 분석은 초기사건의 정의에서 시작된다. 그 후 초기사건이 벌어질 경우 발생할 수 있는 다음 단계 사건을 수목형태로 연결하고 마지막에 결과로 정의한 사건이 발생할 때 까지 이를 반복한다. 각 초기사건별로 사고를 방지하거나 결과의 심각성을 저감시킬 수 있는 안전기능을 파악하고 관련 안전계통이나 기관사/통제사의 조치를 사건수목의 표제로 정의한 후, 각 표제의 성공 혹은 실패에 따라 수목(tree)의 형태로 분기시킴으로써 사고 시나리오를 전개하여 발생 가능한 위험 상태의 경위를 논리적으로 분석한다. 또한 이러한 상태가 발생할 확률을 정량적으로 분석하여 안전성 증진을 위한 의사결정에 직접적인 정보를 제공해 줄 수 있다.

철도 건널목 사고의 경우 다수의 사례를 분석한 결과 표 1과 같이 위험사건을 정의할 수 있었다 [3]. 건널목 진입 사건 중 사건 전개에 큰 영향을 미쳐 결과의 심각성이 현저히 다른 직전횡단과 차단기 돌파는 두가지의 다른 초기사건으로 구분하였다. 경보가 울리고 있는 상태에서 건널목 횡단을 시도하는 직전횡단의 경우에는 지장물 검지나 수동 통보 등 열차 정지를 위한 노력이 유효한 반면, 차단기가 내려온 이후에 이를 횡단을 시도하는 차단기 돌파에는 이러한 노력을 할 시간적 여유가 없기 때문이다. 따라서 철도 건널목 사건의 초기사건은 건널목 간힘, 직전 횡단, 차단기 돌파의 3가지로 분류할 수 있다.

표 1. 철도 건널목 사고를 야기하는 위험사건

위험사건	유형별 구분	비 고
건널목 간힘	- 차량	엔진정지, 보편이탈, 교통정체, 제동/가속부족, 안전설비결함, 차량한계초과
건널목 진입	- 차량 - 보행자 - 2륜차량	차단기돌파(우회진입), 직전횡단(차단/경보 동작중), 보행자무단횡단

철도 건널목 사고의 특징은 피해의 정도에 열차의 안전한 정지 여부(또는 충돌시 열차의 속도)와 차량 탑승자의 탈출 여부가 매우 중요한 영향을 미친다는 것이다. 다음과 같은 내용을 고려하여 사고 시나리오를 전개한다.

- ① 지장검지 - 지장물 자동 검지기의 유무
- ② 열차방호 - 수동통보 및 기관사 직접 인지
- ③ 열차정지 - 열차 제동 체결 여부
- ④ 제동거리 - 충분한 제동거리를 확보하였는지 여부
- ⑤ 차량탈출 - 지장물이 차량이었을 경우 차량 탑승자의 탈출 여부

### 3. 정량화 적용성 평가

본 연구에서는 개발된 방법론의 적용성을 검토하기 위하여 특정 개별 건널목의 위험도 분석이 아닌 전국적인 철도건널목 사고 추이 분석에 시범 적용하였다. 이러한 연구는 추후 특정 건널목의 위험도 분석모델로 확장될 수 있는데, 이를 위해서는 각 개별 건널목에 적합한 위험 영향 항목을 도출하여 사고 시나리오를 전개하고 각 항목에 대한 정량화를 통해 개별 건널목의 위험도를 평가하여야 한다. 모델의 작성과 정량화를 위해서 개발된 철도위험도워크스테이션(Railway Risk Workstation; RRW)을 이용하였다[4].

### 3.1 사건수목

수집된 사고이력을 분석하여 철도 건널목 사고에서 피해의 정도를 좌우하는 중요한 인자를 도출하고 그 인자들을 연결하는 연대기적 시나리오를 구성하였다. 전술한 바와 같이 철도 건널목 사고는 지장검지, 열차방호, 열차정지, 제동거리, 차량탈출에 큰 영향을 받으므로, 이를 반영하여 사건수목 분석의 표제로 하였다. 기존의 사고 이력을 분석한 결과 100m 이상의 거리가 확보된 경우와 그렇지 못한 경우 사고의 결과에 큰 차이가 있었다는 것을 고려하여 100m 이상과 미만의 두가지로 분류되도록 표제를 작성하였다. 완성된 사건수목은 그림 2에 보이는 바와 같다.

철도 건널목에서 발생할 수 있는 경우에 대해서 안전 정지의 경우와 3가지 사고의 경우(건널목 갇힘, 직전횡단, 차단기 돌파)로 분류하였다. 건널목 갇힘과 직전 횡단의 경우 지장물 자동검지 수동통보 및 기관사 인지를 통해 충분한 열차 제동거리를 확보할 수 있는 시나리오를 고려하였다. 그러나 차단기 돌파의 경우 이러한 조치를 시행할 시간이 없다고 가정할 수 있으므로, 그림 2에 보인 것과 같이 열차제동 체결을 개시하였는지와 제동거리 확보여부만을 기준으로 사고의 결과를 예측하도록 시나리오를 작성하였다.

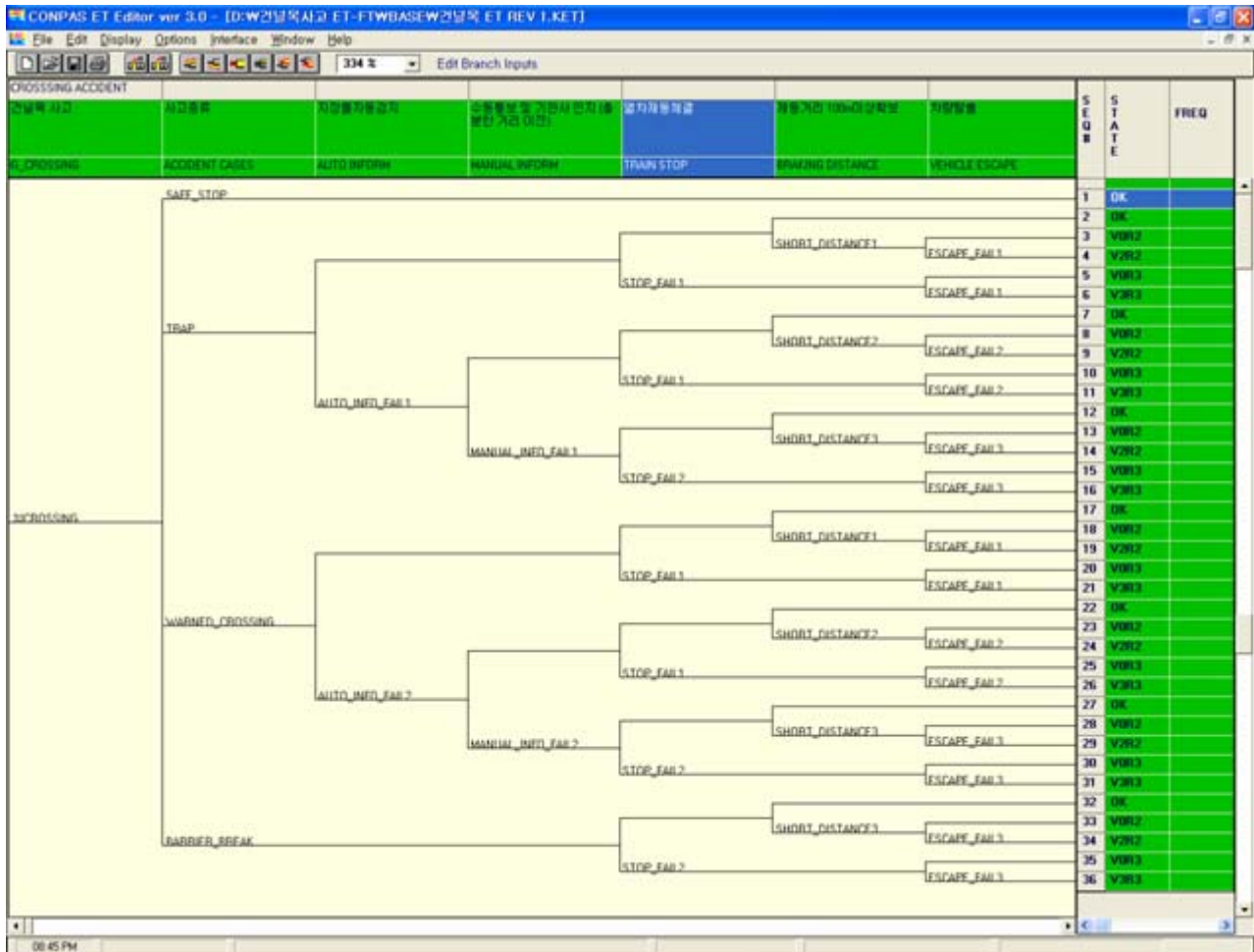


그림 2. 철도 건널목 사건수목 전개

최종 사고 결과를 예측하는 항목(State)에 OK로 기술된 경우 열차측과 도로 차량측에 아무런 인적 피해가 없는 경우이다. 이 항목에 VnRm으로 기술된 경우는 n은 도로 차량측 피해정도, m은 열차측 피해정도를 표시하는 것이다. 숫자가 클수록 피해가 크다는 뜻인데 0은 피해없음, 1은 저속충돌, 2는 중속충돌, 3은 고속충돌을 뜻한다. 예를 들어 사고시나리오 번호 4는 “건널목 갇힘 발생 - 지장물 자동검지 성공 - (수동통보 및 기관사 수동인지 여부 관계없음) - 열차제동체결 성공 - 제동거리

100m 확보 실패 - 차량탑승자 탈출 실패”의 순서로 전개된다. 이 경우 충분한 제동거리 확보에 실패 하였으므로 중속 정도의 속도를 가진 열차가 건널목에 갇힌 차량과 충돌할 것이며 차량 탑승자가 탈출에 실패하여 도로측 인명 손실도 예상할 수 있으므로 사고 결과의 위해도는 V2R2로 코딩된다.

각 표제에서 시나리오별 분기확률은 사건수목에 상세히 기술되지 않는다. 간단히 분석하여 직접 확률을 추정할 수 있는 경우 분기 확률값을 사건수목에 입력할 수도 있지만, 철도 건널목 사고의 경우 추가적인 분석을 통해 분기확률을 추정해야 하는 표제가 많으므로 고장수목을 이용하여 해당 표제의 분기 확률을 계산한다. 고장수목에 대해서는 다음 절에서 설명한다.

### 3.2 고장수목

사건수목에서는 사고의 시나리오를 연대기적으로 모델하고, 각 시나리오의 분기에 대해서는 그 확률을 고장수목을 이용하여 추론한다. 그림 3에 개발된 고장수목의 일부를 보였다. 고장수목들은 기기의 고장이나 기관사의 인적오류를 포함하고 있으며, 자동지장물 감지 설비의 미설치나 등 통계적으로 추정가능한 사건들도 포함하고 있다. 동일한 표제의 분기확률일지라도 시나리오의 전단에서 전개된 상황에 따라 해당 표제의 분기확률은 다르게 추정되어야 한다. 그림 3에서는 지장물 자동전파의 실패확률 추정과 지장물 수동전파의 실패확률 추정에서 각기 다른 고장수목을 적용하는 예를 보인 것이다. 지장물 자동전파 실패의 경우를 살펴보면, 건널목 갇힘인 경우에는 보다 많은 시간을 가지고 있으므로 자동전파신호의 기관사 미인지 확률은 매우 낮게 추정( $1.11E-4$ )될 수 있다. 반면 직전 횡단의 경우에는 근접 상황에서 기관사가 신호를 인지하여야 하므로 인적오류 확률이 높게 추정( $1.60E-2$ )되며, 또한 이 미 신호등을 지나쳤거나 볼 수 없는 상황에 처하는 사건이 발생할 수도 있다는 점도 고려되어야 한다.

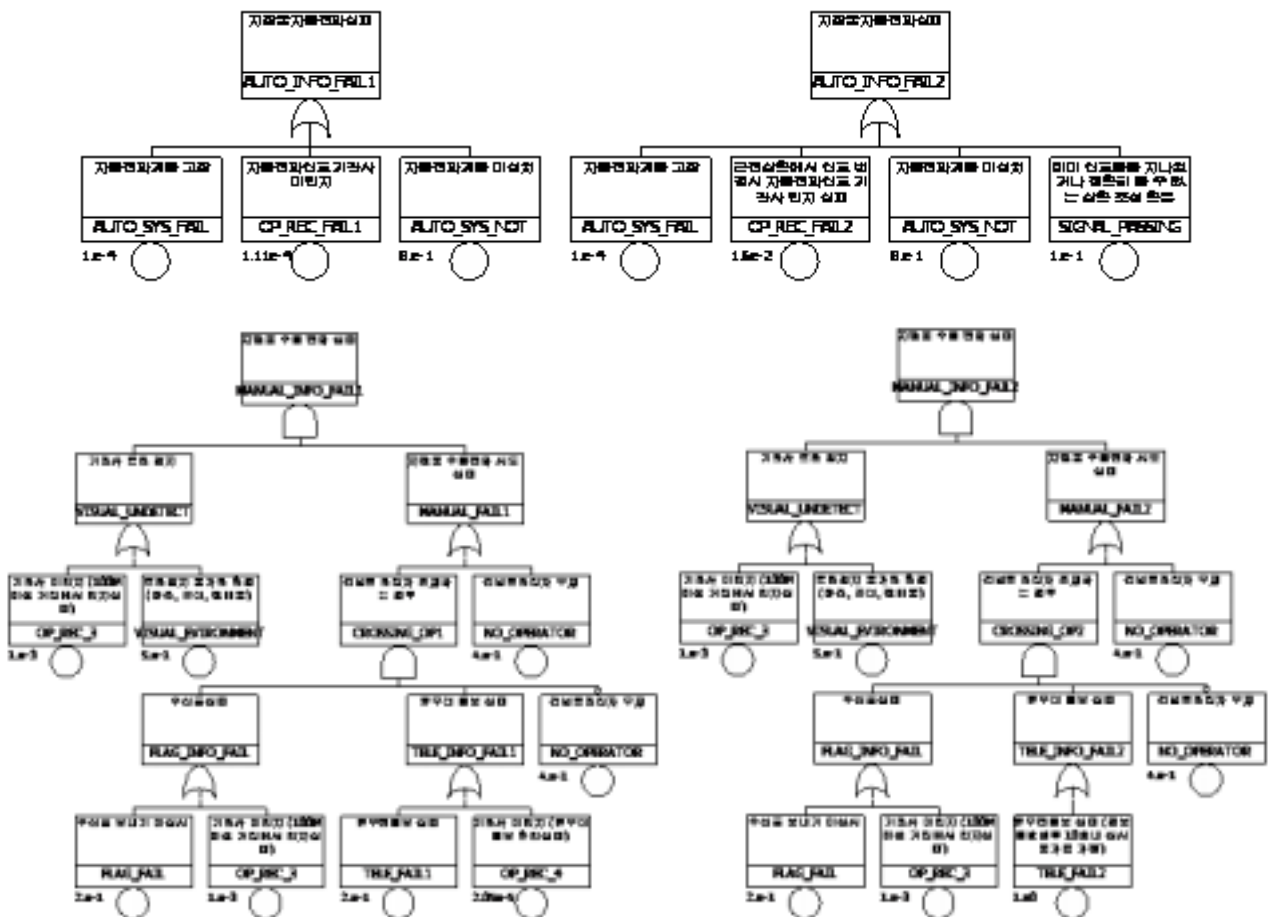


그림 3. 철도 건널목 고장수목 (일부)



인적오류의 정량화에는 RSSB-HRA방법[5]을 적용하였고, 자동전과 설비의 미설치나 건널목 관리자의 부재 확률 등은 통계적 자료를 이용하여 추정하였다. 기기의 고장 확률이나 신호등을 이미 지나쳤을 확률 등은 정확한 자료가 없으므로 가정에 의해 확률값을 추정하였다.

### 3.3 시범 정량화 결과

전술한 과정을 거쳐 사건수목과 고장수목을 작성하여 적용성 검토를 위한 통합분석을 수행하였다. 이 정량화 분석에서는 통계를 이용하여 추정되어야 할 사건확률들은 2005년도 건널목 사고를 바탕으로 분석을 수행하였으며, 기기 고장 등 자료가 충분치 못한 사건확률은 가정을 바탕으로 분석을 수행하였음을 다시 한번 밝힌다.

여러 개의 시나리오와 세부 모델로 구성된 철도 건널목사고 분석 모델은 RRW를 이용하여 모두 하나의 고장수목으로 통합되어 종합적인 분석을 수행할 수 있는 구조로 바뀌게 된다. 이렇게 구성된 통합 고장수목의 최소단절집합(Minimal cutset)을 구하여 사고경위별 발생빈도 분석을 수행하게 된다. RRW를 이용한 분석의 과정은 그림 4에 보인 것과 같다.

연간건널목 운영 횟수는  $1.30E+07$ 이며, 건널목 간힘은 14건이 발생하였으므로  $1.08E-06$ 의 확률이 적용되었다. 마찬가지로 방법으로 직전횡단은  $1.00E-06$ (13건), 차단기 돌파는  $7.69E-07$ (10건)의 확률이 적용되었다. 또한 2005년 자료에서 100m미만 제동거리 확보 8건의 사고 중 사상사고가 3건이 발생하였으므로 차량 탑승자 탈출확률은 0.375을 적용하였다.

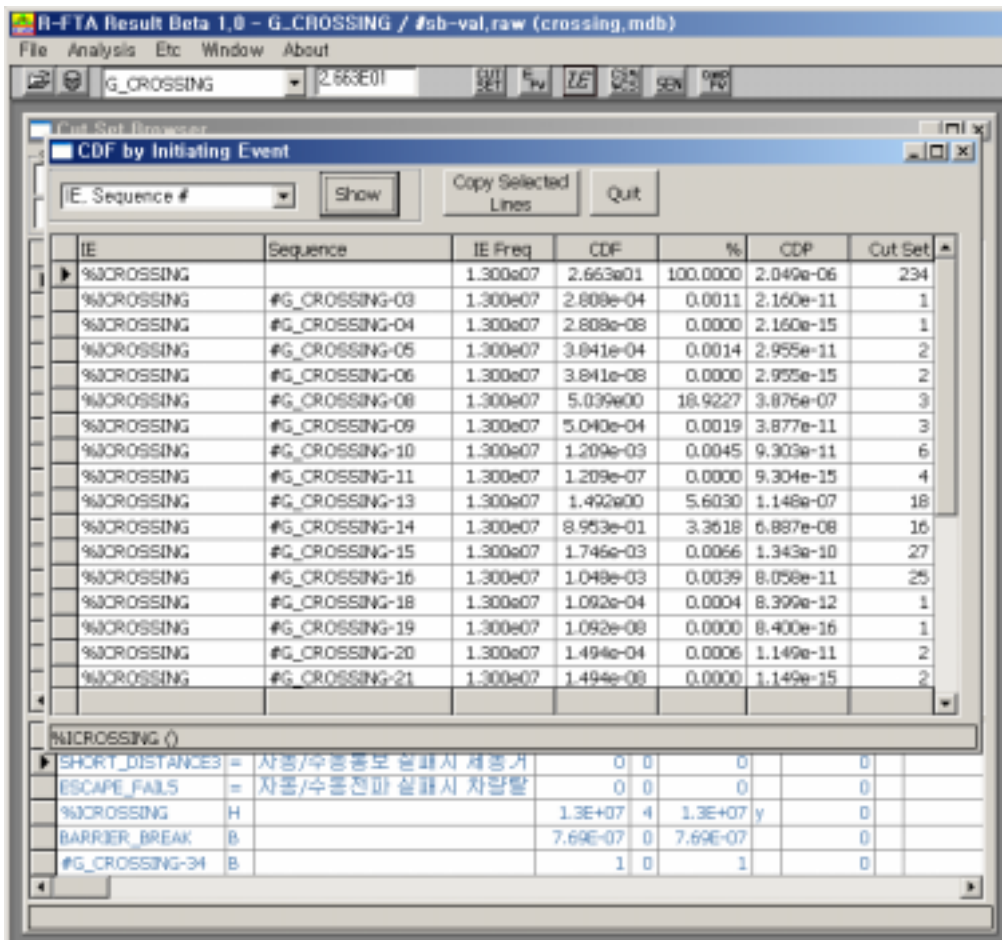


그림 4. RRW를 이용한 사고경위별 발생빈도 분석 및 정량화

한편 본 분석은 적용성 평가를 위하여 가정을 도입하여 등가 인명피해를 환산하였다. 피해코드에 따라 등가환산 다음과 같은 가정을 적용하였다. 도로측 피해는 코드별로 0.02(코드1), 0.2(코드2), 2.0

(코드3)으로 열차측 피해는 0.0(코드1), 0.1(코드2), 1.0(코드3)으로 하였다. 이에 근거하여 연간인명 피해빈도를 구해보면 표 2에 보인 것과 같다.

총 연간 10여명의 인명피해가 있는 것으로 분석되었다. 실제 2005년도에는 철도 건널목에서 총 7건의 사망, 11건의 중상, 5건의 경상에 해당하는 인명사고가 있었으므로, 비교적 근사한 분석결과로 볼 수 있다.

표 2. 정량화 결과 및 등가환산 위험도

SEQ번호	초기사건	코드	발생빈도	등가환산 피해	연간인명 피해빈도
03	건널목간힘	VOR2	2.81E-04	0.1	2.81E-05
04	건널목간힘	V2R2	2.81E-08	0.3	8.42E-09
05	건널목간힘	VOR3	3.84E-04	1	3.84E-04
06	건널목간힘	V3R3	3.84E-08	3	1.15E-07
08	건널목간힘	VOR2	5.04E+ 00	0.1	5.04E-01
09	건널목간힘	V2R2	5.04E-04	0.3	1.51E-04
10	건널목간힘	VOR3	1.21E-03	1	1.21E-03
11	건널목간힘	V3R3	1.21E-07	3	3.63E-07
13	건널목간힘	VOR2	1.49E+ 00	0.1	1.49E-01
14	건널목간힘	V2R2	8.95E-01	0.3	2.69E-01
15	건널목간힘	VOR3	1.75E-03	1	1.75E-03
16	건널목간힘	V3R3	1.05E-03	3	3.14E-03
18	직전횡단	VOR2	1.09E-04	0.1	1.09E-05
19	직전횡단	V2R2	1.09E-08	0.3	3.28E-09
20	직전횡단	VOR3	1.49E-04	1	1.49E-04
21	직전횡단	V3R3	1.49E-08	3	4.48E-08
23	직전횡단	VOR2	6.09E+ 00	0.1	6.09E-01
24	직전횡단	V2R2	6.09E-04	0.3	1.83E-04
25	직전횡단	VOR3	1.20E-03	1	1.20E-03
26	직전횡단	V3R3	1.20E-07	3	3.61E-07
28	직전횡단	VOR2	1.73E+ 00	0.1	1.73E-01
29	직전횡단	V2R2	1.38E+ 00	0.3	4.14E-01
30	직전횡단	VOR3	2.02E-03	1	2.02E-03
31	직전횡단	V3R3	1.62E-03	3	4.85E-03
33	차단기돌파	VOR3	2.00E+ 00	0	0.00E+ 00
34	차단기돌파	V3R3	8.00E+ 00	1	8.00E+ 00
합계					1.01E+ 01

#### 4. 결론

다양한 요인을 현실적으로 표현할 수 있는 정량적 위험도 분석 방법론은 효율성이 높으나 모델의 복잡성과 자료수집의 어려움을 극복하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 복잡한 모델링을 체계적으로 수행하여 철도 건널목에서의 사고로 인한 위험도를 정량적으로 평가하기 위한 방법론을 도출하고 기본적인 적용성 연구를 통해, 정량평가 방법론의 유용성을 입증하고 추후 철도 통합 위험도 평가 시스템의 개발에 반영하는 목적으로 수행되었다. 본 연구에서는 사고 시나리오를 사건수목으로 모델하고, 각



분기확률을 고장수목으로 모델하였으며, 통계자료와 가정값을 바탕으로 사건확률을 추정하였다. 이러한 과정은 철도위험도평가 종합관리도구인 RRW를 이용하여 개별 모델 개발, 통합 모델 구축, 최종 정량 분석의 순서로 체계적으로 통합 관리되었다.

적용성 분석의 수행결과 철도 건널목에서 연간 10여명의 등가인명피해가 발생하는 것으로 나타났는데, 개별 개발된 모델은 국내에서 발생한 철도 건널목 사고를 효과적으로 모델하고 있는 것으로 나타났다. 다만 차단기 돌과의 경우 모델 분석결과가 실제 인명사고 기록에 비해 과다하게 피해를 산정하고 있으므로 이에 대한 상세분석이 필요한 것으로 판단된다.

이러한 분석을 통해 전국적인 철도 건널목 사고의 시나리오별 발생확률을 정량적으로 제시하여 각종 의사결정의 기초자료로 활용할 수 있으며 장기적인 위험도 저감계획 작성에도 도움을 줄 수 있다. 또한 본 연구는 전국 철도 건널목의 사고 양태 분석에 초점을 맞추어 실시되었으나, 개별 건널목에 적용하여 개별 건널목 위험도 저감을 위한 대비책 마련 등에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 대한민국 건설교통부에서 시행하는 철도 종합안전기술 개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 박창규, 하재주 (2003), “확률론적 안전성 평가,” 브레인코리아.
2. 김상암, 왕종배, 곽상록, 이동하 (2003), “위험도 평가기법을 적용한 철도시스템의 안전관리,” 한국철도학회 2003년도 추계학술대회논문집(II), 2003. 10.
3. 왕종배 외 (2006), “철도사고 위험도 분석 및 평가체계 구축,” 05철도안전B-05, 건설교통부.
4. 이호중, 한상훈, 안광일, 왕종배 (2006), “철도 위험도 통합 평가 방법 및 도구 개발,” 한국철도학회 추계학술대회, 한국해양대학교, 2006.11.09~10.
5. 김재환, 정원대, 장승철, 왕종배 (2006), “철도 인간신뢰도분석 방법 선정을 위한 사례분석,” 한국철도학회 논문집, 제9권 제5호.