

# 열차 화재안전성 향상을 위한 위험사건 정의 및 원인분류 연구

## Classification of Hazard Events and Causes for Railway Fire Accident

곽상록\*      왕종배\*      박찬우\*      박주남\*  
Kwak, Sang Log      Wang, Jong Bae      Park, Chan Woo      Park, Joo Nam

---

### ABSTRACT

Many railway safety measures are carried out after Daegue subway fire accident. Such as replacement of train interior material, fire extinguish and toxic gas evacuation facilities, exercise on emergency response, setting up of national safety management system, and safety technology research. But these safety measures are not considered by system safety due to lack of risk and hazard information.

In order to assess fire risk on system level, we proposed hazard events and causes classification for railway fire accident risk analysis.

---

#### 1. 서론

대구 지하철 화재사고 발생이후 철도안전성을 선진국 수준으로 향상하기 위한 많은 노력이 추진중이며, 2005년 수립된 제1차 철도안전종합계획(2006~2010)에서는 77개의 중장기 과제를 설정하여 지속적으로 추진중이다<sup>(1)</sup>. 화재안전성 향상을 위한 내용으로는 도시철도차량의 내장재 교체, 지하역사 및 터널 방재설비 개선, 역사내 소방설비 확대, 비상대응 및 복구 훈련, 승객에 대한 홍보, 국가안전관리 체계 수립 및 화재안전 기술개발 등이 포함되어 있다. 이들 대책중 많은 부분이 현재 시행중이며, 장기적인 투자가 계획되어 있다. 그러나 현재 진행중인 많은 안전대책들의 효과가 서로 중복되거나 효과를 정량화하기 용이하지 않은 부분이 많아 안전성 향상을 위해 할당된 제한된 자원을 보다 효율적으로 활용하기 위한 노력이 필요하다.

유럽연합, 영국, 호주, 캐나다 등에서는 이를 위해 위험도에 기반한 안전관리를 수행하고 있으며, 위험도 지표를 안전관리의 주요 수단으로 활용하고 있다. 즉 안전대책이 위험도 저감에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 안전대책의 적용시 얻어지는 효과를 고려하여 개별적인 안전개선 투자의 실행 여부를 의사결정에 활용하고 있다<sup>(2~5)</sup>.

위험도 평가를 활용한 안전관리를 위한 많은 연구가 진행중에 있으며, 국내 철도사고 위험도평가 사례 연구<sup>(6)</sup>, 위험도 평가 전산도구 개발<sup>(7)</sup>, 사고시나리오 개발<sup>(8)</sup> 등의 선행연구 등이 진행 된 바 있다. 위험도 평가를 수행하기 위해서는 국내 철도의 운영 특성을 반영하기 위해 위험도평가 절차<sup>(9)</sup>에 언급된 많은 작업이 요구되며 위험사건 및 원인에 대한 분류 기준이 있어야 이에 따른 위험도가 산출된다. 현재 국내에는 과거 철도사고 보고 및 조사를 목적으로 사용중인 사고원인 분류체계<sup>(10)</sup>가 있으나 선진국에서 운영중인 사고분류체계<sup>(11)</sup>와 비교하면 위험도평가에 활용하기 어려운 점이 많이 있다.

---

\* 한국철도기술연구원 안전기술연구팀, 정회원

본 연구에서는 화재사고와 위험도 평가와 관련된 선행연구, 안전대책과의 연관성 분석, 과거 국내의 철도사고 이력, 국외 분류 현황 등을 고려하여 위험사건에 대한 정의와 원인 분류 체계를 제시하였다.

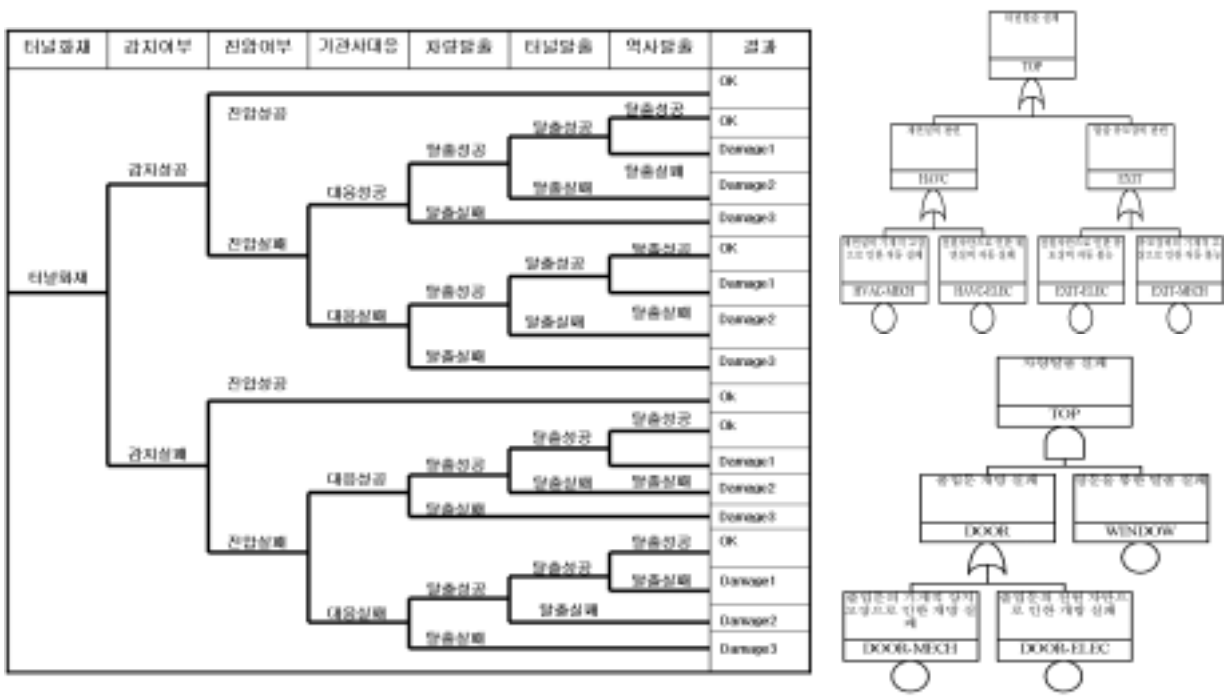
### 2. 철도 화재사고 위험도 평가절차의 선정

대상에 따라 다양한 위험도평가가 가능하며, 시스템 차원의 위험도 평가 절차는 ISO/IEC Guide 51<sup>(9)</sup>에 기술되어 있으며, 적용대상의 특징에 따라 조금씩 상이하다. 본 연구에서는 영국의 철도안전표준위원회(RSSB)에서 제시한 철도산업의 안전관리규정의 승인을 위해 요구되는 위험도평가 15단계로 구성된 절차<sup>(12)</sup>를 사용하였으며, 세부적 내용은 다음과 같다.

- ① 위험도 평가법의 선정, ② 위험사건의 정의, ③ 위험도 평가법의 검토, ④ 위험사건, 형식의 검토, ⑤ 각 위험사건의 원인 선정, ⑥ 각 원인별 적용중인 안전대책의 분석, ⑦ 원인과 위험사건의 빈도 산정, ⑧ 위험원인 저감 대책에 대한 Brainstorming, ⑨ 집합적 위험도의 산출 및 평가, ⑩ 개인 위험도 (여객, 일반공중, 직원) 산출 및 평가, ⑪ 개별 원인별 대책에 따른 Brainstorming, ⑫ 집합적 위험도 및 개인 위험도 평가, ⑬ 모델에 대한 검증 및 민감도 분석, ⑭ 산출된 위험도의 허용여부 결정, ⑮ 위험도가 허용되지 않는 범위인 경우 안전대책을 강화하여 위의 절차를 반복하여 수행한다.

### 3. 위험도 평가 절차의 국내 철도화재사고에 적용을 위한 위험사건 및 원인 정의

본 절에서는 위에 제시된 위험도평가 절차에 따른 분석을 수행하였으며, 주요 내용을 다음에 기술하였다. 연구에서는 위험도 평가기법으로는 화재사고 시나리오 구성, FTA(Fault Tree Analysis), ETA(Event Tree Analysis), 시뮬레이션 기법 등을 사용하였으며, 지하구간 철도차량 화재에 대한 Event Tree와 터널 및 차량 탈출에 대한 Fault Tree 구성 사례를 다음에 간략히 기술하였다. 위험사건에 대한 Event Tree와 고장사건에 대한 Fault Tree를 각각 구성하여 위험도 산출시 활용하도록 구성하였다.



<Fig. 1 지하구간 철도차량 화재 위험도 평가를 위한 FTA, ETA 사례>

2절에서 제시한 절차에 따라 현재 수행중인 안전대책의 효과를 반영하기 위해서는 위험사건 및 원인에 대한 정의가 요구된다. 이를 위해 현재 국내에서 추진중인 다음의 안전대책과의 위험사건과의 연관성을 분석과 위험사건 정의를 위한 원칙을 도출하여 위험사건 및 원인 분류 정의시 반영하고자 하였다.

### 1) 현재 수행중인 안전대책의 구분

- ① 안전관리체계 관련 대책 : 제도적 보완, 비상대응 절차수립, 운행조건, 안전기준 수립, 표준화 추진 등
- ② 차량관련 대책 : 내장재 교체, 화재감지장치, 재질변경, 설계변경, 통신설비 개선 등
- ③ 시설관련 대책 : 방재설비 및 비상대응 설비 보강 등
- ④ 종사자관련 대책 : 자격제도, 교육훈련, 직무조정, 인체공학적 설계, 작업자 안전관리 강화 등
- ⑤ 외부요인 관련 대책 : 대국민 홍보, 감시장비 보완, 처벌 강화 등

### 2) 차량화재 관련 위험사건 및 원인과의 연관성 분석 사례

< Table 1. 위험사건과 안전대책의 연관성 분석 사례 >

	안전관리분야	차량분야	시설분야	종사자 관리 분야	외부요인 관리분야
기관사의 화재감지	◇	○	×	○	○
직원의 화재진압		○	×	○	○
기관사 대응	○	◇	×	○	◇
여객의 차량탈출	◇	○	×	◇	○
여객의 터널탈출	◇	×	○	◇	○
여객의 역사탈출	◇	×	○	◇	◇
여객의 선로탈출	○	×	○	◇	◇
응급지원	○	◇	○	◇	○

※ 범례 : ○ 연관성 있음, ◇ 직접연관성 없음, × 연관성 없음

### 3) 위험사건 및 원인과의 연관성 분석을 위한 원칙 도출

본 절에서는 제시된 화재관련 위험사건별로 안전관리 대책 및 변화된 환경과의 연관성을 고려하여 분류체계 수립시 고려되어야 할 원칙을 도출하였으며, 다음과 같이 정리하였다.

- ① 분류는 안전성 향상 도출과 연관성이 있도록 정의 되어야 한다.
- ② 분류는 사건 및 원인의 발생빈도를 고려하여 정의 되어야 한다.
- ③ 분류는 국내 안전성의 객관적 비교를 위해 국제적 비교, 운영기관별 비교가 가능하여야 한다.

- ④ 분류는 안전투자비용 및 실현가능성을 고려하여 정의 되어야 한다.
- ⑤ 분류는 정량화가 가능하도록 정의 되어야 한다.
- ⑥ 분류는 철도사고 조사시 명확한 구분이 가능하도록 정의 되어야 한다.

4) 위험사건 및 원인 정의에 적용

위에서 언급된 절차와 원칙을 적용하여 위험사건 및 원인을 다음과 같이 적용하였다. 참조된 해외 사례는 국제철도연맹의 안전정보 분류기준<sup>(11)</sup>, 영국의 분류체계<sup>(3)</sup> 및 국내 철도화재 사고 및 장애 발생 사례를 등이다.

열차화재 사고발생관련 위험사건																						
방화		차량내부 화재							차량외부 화재													
방화	대차부 고장			기관실/전장품 고장			전기장치합선		선로 변 화재	역사화재 유입				설비 화재	기타							
불법 행위	재질 불량	유지 보수 소홀	부적절한 사용	재질 불량	유지 보수 소홀	부적절한 사용	재질 불량	유지 보수 소홀	부적절한 사용	선로 변 수목	승강장	에스컬레이터	부대 시설	엘리베이터	기타	변전소/터널/차선	유독 가스 유입					
열차화재 사고대응관련 위험사건																						
화재감지실패				초기대응실패				차량탈출실패			터널탈출실패			지원실패								
화재감지 기 미설치/고장		화재 미감지		화재경보 무시		소화설비 미비		화재 확산	출입 문 미개방	화재 확산	인접선 열차 운행	화재 확산	탈출 유도 설비 미비	수용능력 부족 (혼잡)	통신 미비	응급 지원 미비	대응 지연					
재질 노후	유지 보수 소홀	설계 오류	열차 제어 능력	기관사 제어 능력	기관사 제어 능력	중사 제어 능력	소화기 미배치	소화능력 부족	소화기 미사용	급격한 화재 진행	내장재 불량	기관사 미인지	제어불능	급격한 화재 진행	내장재 불량	인접선 열차 운행	화재 확산	탈출 유도 설비 미비	수용능력 부족 (혼잡)	통신 미비	응급 지원 미비	대응 지연

<Fig. 2 철도화재사고 위험사건 및 관련 원인 정의>

#### 4. 결론 및 향후 연구 계획

본 연구에서는 화재사고와 위험도 평가와 관련된 선행연구, 과거 국내의 철도사고 이력, 국외 분류 현황, 안전대책과의 연관성 분석 등을 고려하여 위험사건에 대한 정의와 원인 분류 체계를 제시하였다.

위험사건에 대한 정의와 원인 분류는 향후 위험도 평가를 위한 중요한 기초로 화재관련 위험사건에 대한 발생빈도예측 모델과 화재사고 발생시 피해심각도 예측을 위한 시뮬레이션 결과를 활용하면 정량적 위험도의 예측이 가능할 것으로 예상된다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부, “제1차 철도안전종합계획 : 2006-2010”, 2006.2
2. EU, “White Paper : European transport policy for 2010 : Time to decide”, 2002
3. Rail Safety & Standard Board, "A statistical review of the RSSB Safety Risk Model (WP1)", 2004
4. Transport Canada, "Rail Safety Strategic Plan(2005-2010) : All Aboard", 2005.5
5. Australian Railway Association, " Australian Railway Industry Report", 2004
6. 곽상록, 조연옥, 왕종배, “철도유지보수 작업시 작업자 안전향상을 위한 위험도예측에 관한 연구”, 철도학회 춘계학술대회, 2004
7. 곽상록, “철도터널 화재시 승객 생존율 예측을 위한 확률론적 평가코드 개발연구”, 한국전산구조공학회 추계 학술대회, 2004
8. 곽상록 외, “철도사고 위험도평가를 위한 화재사고 시나리오 구성에 관한 연구”, 한국철도학회, 춘계 학술대회, 2006
9. ISO/IEC Guide 51, “Safety Aspect-Guidelines for their inclusion in standards”, 1999
10. 건설교통부, “철도사고보고 및 조사에 관한지침”, 2006
11. UIC(국제철도연맹), “Safety Database Definitions”, 2004
12. Railway Group Guidance Note GE/GN8561, "Guidance on the Preparation of Risk Assessments within Railway Safety Cases", 2002