

철도 사고/장애 위험요인 분석을 통한
위험목록 (Hazard List) 체계 수립에 관한 연구
**Development of Hazard List for Railway Accidents/Incidents
through Identification of Risk Sources**

박찬우*

Park, Chan-Woo

박주남*

Park, Joonam

조연옥**

Cho, Yun-Ok

왕종배***

Wang, Jong-Bae

ABSTRACT

In this study, a hazard list is developed for accidents/incidents of Korean railway through identification of the risk sources. The risk sources are classified by the progress of the accidents/incidents, which consists of cause, triggering event, and failure of the safety system. The hazard list of railway accidents/incidents of Korea is then developed through extensive review of both domestic and foreign data for railway accidents/incidents risk sources. The list is refined for each of six sub-systems of the railway system, which includes safety management system, operation management, human error and qualification management, installations and equipments, external hazard, and railway level crossing.

1. 서 론

시스템 위험도 평가는 시스템의 구축, 변경, 개선, 또는 확장을 위한 의사결정을 논리적으로 뒷받침하기 위한 효율적 방법으로 여러 공학 분야에서 널리 사용되고 있다. 일반적인 위험도 평가는 대상 시스템의 종류와 상관없이 (1) 시스템 정의, (2) 위험원의 규명, (3) 위험사건의 정의, (4) 사건에 따른 결과의 빈도 및 심각도의 산정 등 크게 네 단계의 절차를 거쳐서 수행되며 철도시스템의 위험도 평가 역시 같은 절차를 따른다. 시스템 위험도 평가의 효율적인 수행을 위해서는 정의된 시스템에 관련된 위험원의 정확한 규명이 필수적이며 이는 시스템에 대한 전반적인 이해를 바탕으로 한다. 본 논문에서는 철도 사고/장애를 유발하는 철도시스템의 위험요인을 분석하여 철도시스템 위험도 평가의 기반이 되는 철도 사고/장애에 대한 위험목록 (Hazard List)을 작성하였다.

2. 사고 진전에 따른 철도 시스템의 위험요인 분류

철도 시스템은 차량, 궤도, 노반, 구조물, 전기, 신호 및 기타 시설물 등 여러 요소의 상호작용에 의하여 이루어진 복합시스템이다. 이런 이유 때문에 철도 시스템에 관련된 사고/장애의 유형 또한 복잡 다양하며 그에 따라 규명되어야 할 위험원의 종류도 광범위하다고 할 수 있다. 철도 사고/장애와 관련된 위험원의 체계적 규명을 위해서 철도 사고/장애의 형태를 사고 진전에 따라 원인, 기

*한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

**한국철도기술연구원 수석연구원, 정회원

***한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

인사고, 안전계 실패로 대분류가 가능하며 이는 <표1>과 같다. 또한 철도 사고 원인은 주요사고 원인이 철도시스템 내에 있는지 여부에 따라 내적 원인과 외적 원인으로 크게 분류하였으며 이는 <표2>에 나타나 있다.

<표1> 철도 사고 진전에 따른 위험 분류

원인	내적 사건	설비고장, 장치고장(설계실수 등을 포함) 인적 오류(조작실수, 운전실수 등)
	외적사건	부외(건널목, 선로변 화재, 다른 교통기관에서의 진입 등) 재해(바람, 비, 눈, 번개, 홍수, 지진, 해일)
기인 사고	트랜젠트	파도사고(건널목에서의 엔진정지 등 안전계가 작동하지 않아 사고가 된 것)
	사고	건널목에서의 충돌
안전계 실패	차량으로 확대	엔진정지에 대한 장해물 검지장치의 고장 등
	열차로 확대	
	타 선로로의 확대	열차탈선에 대한 방호실패로 인한 병발 사고의 발생 등
	선구 전체로의 확대	

<표2> 철도 사고 원인에 따른 위험 분류

내적 원인 (주요사고 원인이 철도 시스템내에 있는 것)	차상측	1) 제어정보수신실패	신호 미확인, 신호장치고장 (차상장치) 등
		2) 차륜제어실패	졸음 운전, 브레이크취급 불량, 과속, 브레이크장치 불량, 열차분리, 자동열차제어장치고장, 주행장치관계 고장 등
		3) 승강에 따른 사고	폐문장치고장, 폐문장치 취급실수, 승객이 승강장에서 떨어짐 등
	지상측	1) 제어정보 통지실패	신호장치고장 (지상장치) 등
		2) 주행로 확보실패	폐색장치 고장, 전철기 고장, 연동장치고장, 궤도관계고장, 토목구조물 고장, 전차선고장, 전차선의 접지불량 등 터널침수, 터널환기 부족, (지하)역설비의 화재, 변전설비의 화재, 건널목장치고장, 선로폐쇄 수속 불량 등
외적 원인 (주요사고 원인이 철도시스템 외에 있는 것)	외부	건널목에서의 자동차 고장, 이물질 진입(선로지장), 이물질 진입(전차선 지장·방해), 방호, 변전설비의 감전사고 등	
	화재	지진(토목구조물), 지진(전차선), 강풍, 폭우, 폭설, 낙뢰 등	

3. 국내외 철도사고 위험분석 자료 검토

3.1 국내 철도사고 보고서 분석

현재 국내 철도사고 보고서는 크게 사고유형, 위험요인 1차, 위험요인 2차로 나누어 작성하게 되어 있으며 이 중 사고유형은 열차사고, 건널목사고, 사상사고 및 운전장애의 네 가지로 분류하여 기입하게 되어 있다. 1, 2차 위험요인의 경우 실제 보고서 작성 시 참조할 지침이 적절히 제시되어 있지 않아 과거 보고서로부터 사고의 원인을 명확하게 파악하기가 쉽지 않다. 예를 들어 위험요인 1차에는 원인의 대분류가, 그리고 2차에는 세부 원인이 수록되어 있는 경우가 있는가 하면 1차에

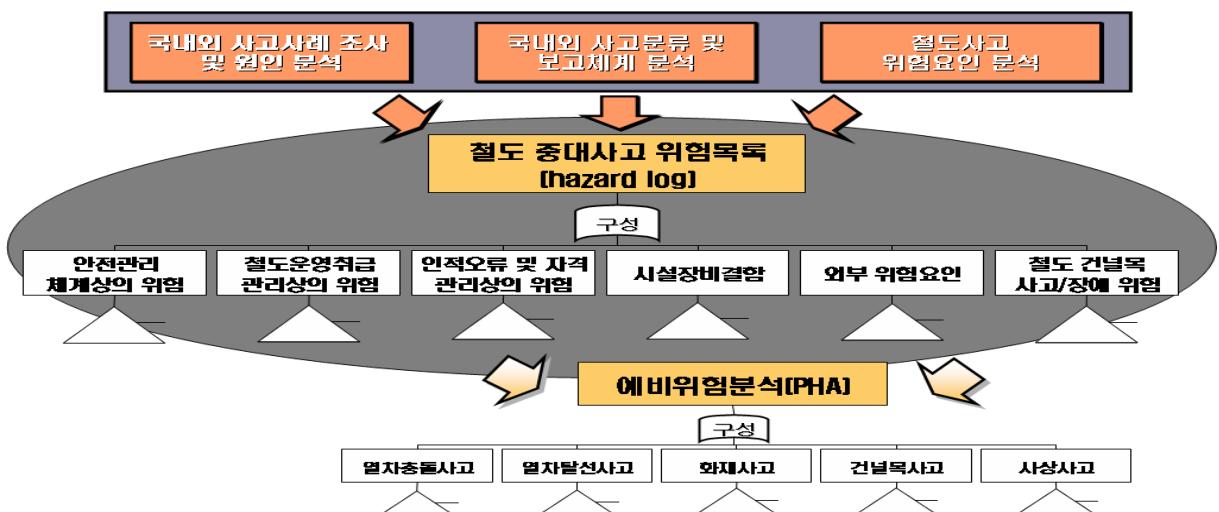
는 사고의 위치별 분류가, 그리고 2차에는 사고의 원인을 수록한 경우도 있어 1, 2차 원인 분류의 기준이 통일되어 있지 않다.

3.2 국외 철도사고 유형별 위험요인 분석

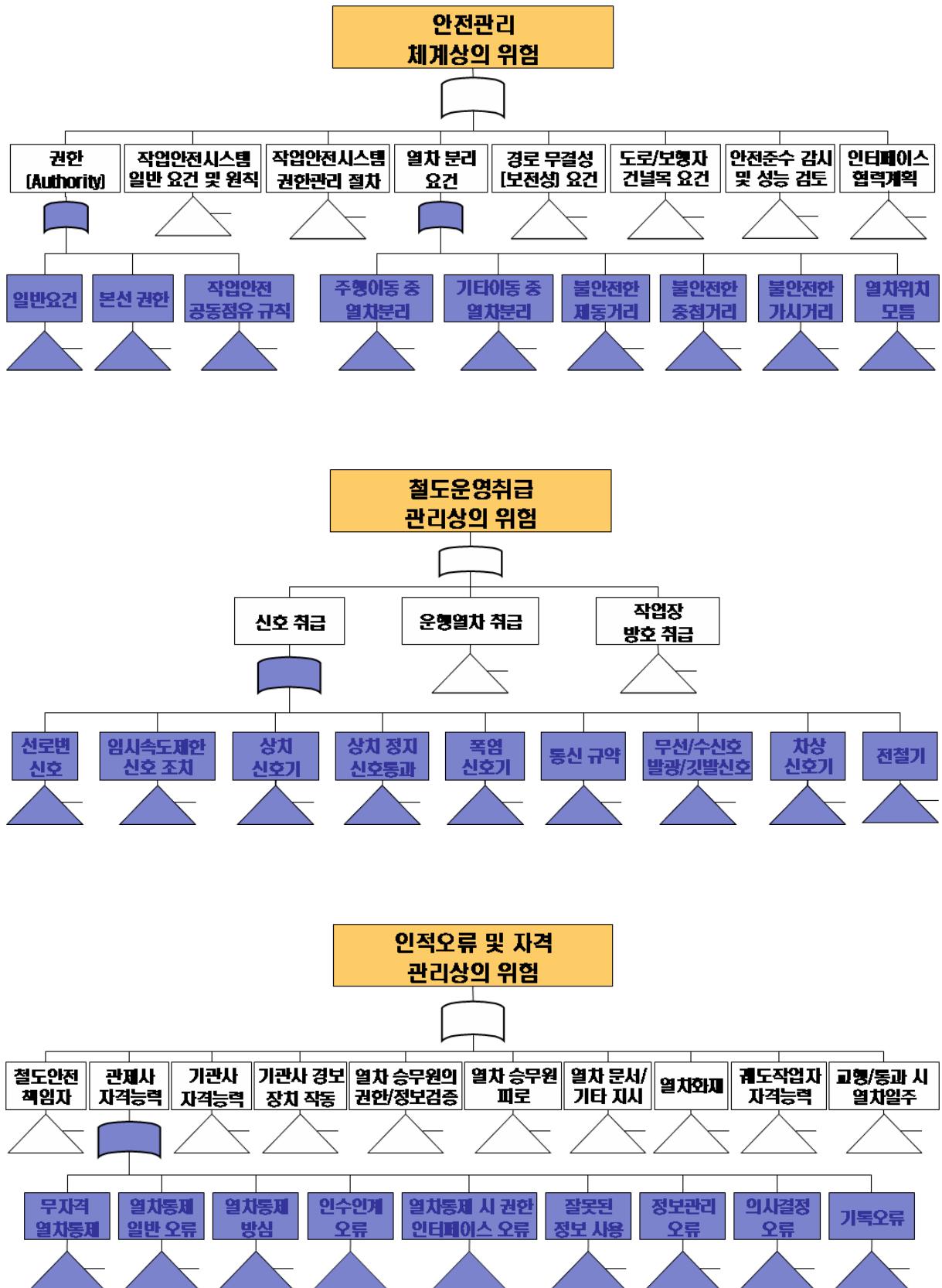
미국 FRA(Federal Railroad Administration)에서는 열차사고의 유형별 원인을 궤도/노반/구조, 기계적/전기적 고장, 신호 및 통신, 열차운영/인적요소, 기타 원인 등으로 분류하여 코드화 하였으며 그 외 환경조건, 상해/질병 또한 유형별로 분류하였다. 영국에서는 철도시스템의 잠재사고를 크게 열차사고, 이동중 사고, 비이동 사고로 분류하고 각각을 다시 세분하여 총 110가지의 사고 유형으로 분류하였다. 그리고 기반구조시스템 및 장비에 대한 위험성 평가 모델을 구축하여 초래될 수 있는 치명적 사건 (critical event) 또는 잠재위험요소 (hazard)를 파악하고 치명적 사건에 대한 원인 분석 (causal analysis)과 결과 분석 (consequence analysis)을 수행하고 있다. 한편 호주의 철도사고 유형별 위험요인은 안전체계 및 운영관리상의 위험, 선로 점유 및 작업 실행상의 위험, 업무종사자의 자격 및 활동상의 위험 등으로 분류한 후 각각의 경우에 대해 위험조건과 위험요인을 세분하고 있다. 마지막으로 프랑스에서는 지난 20년간의 TGV 열차운영과 관련하여 발생한 사고 유형을 25가지로 구분하고 163개의 사고위험요인을 분석하고 고장보드분석 (FMECA)을 수행하였다.

4. 유형별 철도 사고/장애 위험목록의 작성

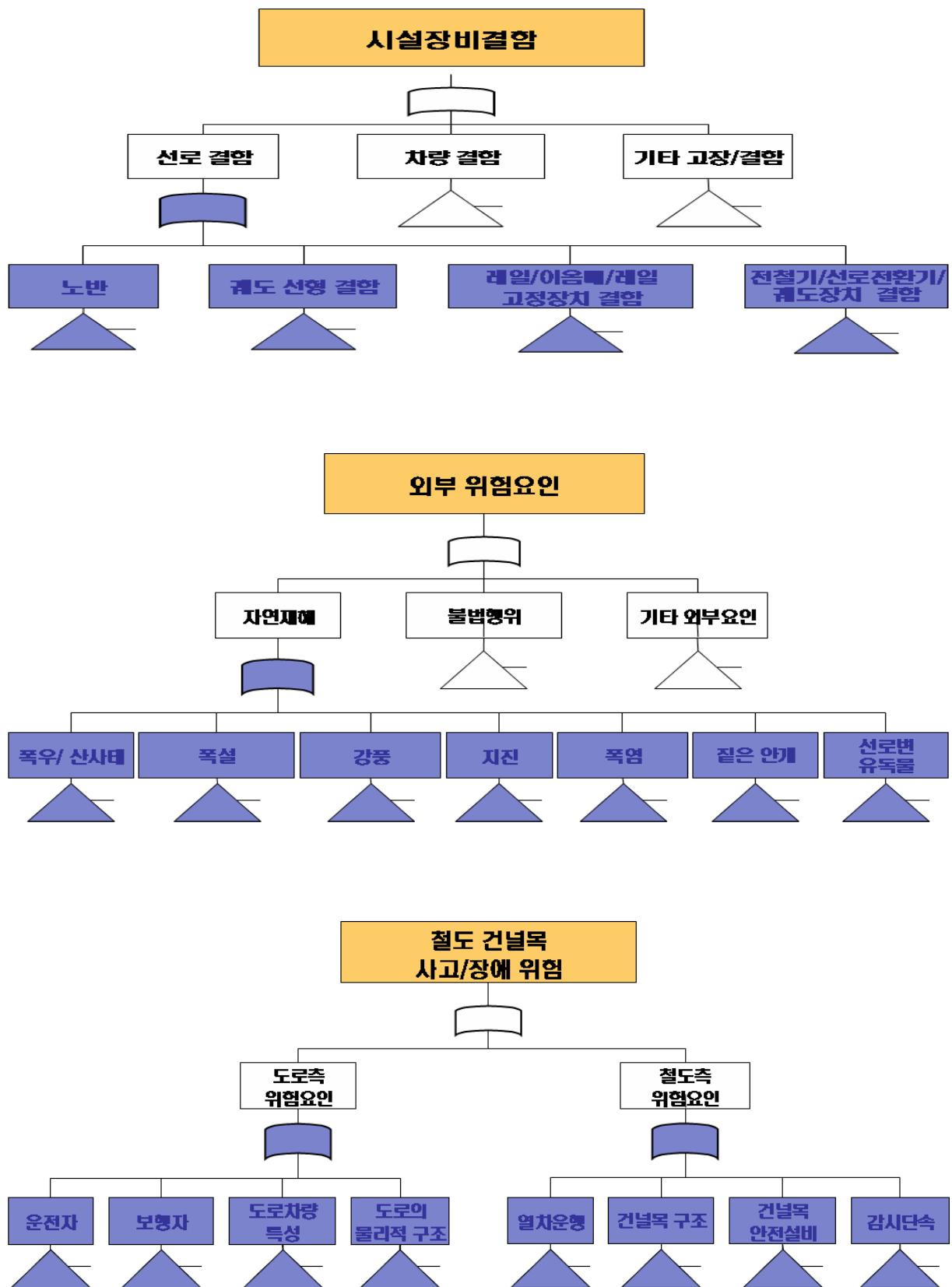
본 연구에서는 국내외 철도사고의 유형별 위험요인 분석 자료를 검토하여 최종적으로 우리나라 철도시스템에 적합한 철도사고/장애 위험목록을 1) 안전관리 체계, 2) 운영관리, 3) 인적오류 및 자격관리, 4) 시설장비, 5) 외부 위험요인, 6) 철도 건널목 등 여섯 가지의 부시스템 (sub-system) 별로 작성하였다. <그림 1>은 이러한 전체 철도 시스템 위험목록의 분류 체계를 나타내며, <그림 2>는 각 부시스템 별 위험목록의 분류 체계를 나타낸다. 세부 위험요인은 부시스템 별로 네 단계에 걸쳐 세분화 하였으며 그 한 예로서 철도 건널목 사고/장애 위험요인이 <표3>에 나타나 있다. <표 3>에 나타나 있는 위험요인은 한 단계 더 세분화 되어 있으나 그 분량이 많아 본 논문에서는 생략 하였으며 여섯 가지 부시스템 모두에 대한 위험요인 목록은 한국철도기술연구원 (2005)에서 볼 수 있다.



<그림 1> 국내 철도사고/장애 위험요인의 분류 체계



<그림 2> 국내 철도 사고/장애 위험요인의 시스템 별 분류 체계



<그림 2-계속> 국내 철도 사고/장애 위험요인의 시스템 별 분류 체계

<표 3> 시설장비 결함 관련 위험요인

유형	구분	위험요인
도로측 위험요인	운전자	접근속도 (과속) 일단정지 무시 건널목 무단 진입 건널목 지장 위험경고 및 대피
		보행자
		보행자 통행위반 차량종류별 특별 위험
		부적절한 차량 폭/길이 제동력 및 가속력 부족
		도로의 위치와 형식 도로구조 특성
	도로의 물리적 구조	근접 교차로 존재 건널목 조명
		도로의 위치와 형식 도로구조 특성
		근접 교차로 존재 건널목 조명
		도로의 위치와 형식 도로구조 특성
철도측 위험요인	열차운행	건널목 장기폐쇄 기간
	건널목 구조	투시거리 미확보 건널목 포장 불량 교차각 불량 건널목 설치 구조 불량
		표지류 미비 차단기/경보기 미비 및 동작 불량
		건널목 안전설비 미비
	감시단속	안내원 근무 불량
		단속 및 감시 소홀

5. 결 론

본 논문에서는 철도 시스템의 사고/장애에 대한 위험평가를 위한 위험원 목록 (Hazard List)을 작성하였다. 국내외 철도사고의 유형별 위험요인 분석 자료를 검토하여 최종적으로 우리나라 철도 시스템에 적합한 철도사고/장애 위험목록을 1) 안전관리 체계, 2) 운영관리, 3) 인적요류 및 자격 관리, 4) 시설장비, 5) 외부 위험요인, 6) 철도 건널목 등 여섯 가지의 부시스템 (sub-system) 별로 작성하였다. 작성된 위험목록은 철도시스템의 사고/장애에 대한 예비위험분석 (PHA)에 직접 적용될 수 있으며 이는 차후 시스템 위험도 평가를 위한 위험분석에 효과적으로 이용될 수 있다.

6. 참고문헌

- [1] 한국철도기술연구원, 철도사고 위험요인(PHA) 분석기술 개발 1차년도 연차 보고서, 2005.8.
- [2] RSSB, "Profile of Safety Risk on the UK Mainline Railway", issue 3, 2004.
- [3] GEC ALSTORM S.A., "Preliminary Hazard Analysis : Core System of the KHSR", 1996.
- [4] U.S. Dept. of Transportation, "Hazard Analysis Guideline for Transit Project", 2000.