

# 위험도 기반 철도안전관리



**박찬우** 한국철도기술연구원  
선임연구원  
(cwpark@krti.re.kr)

## 1 서론

철도사고의 발생은 막대한 사회적 피해 발생 우려가 큰 바, 시설·차량 고장, 인적관리의 오류가 철도사고로 이어지지 않도록 사고의 불확실성을 고려한 확률적 위험도평가를 기반으로 한 사전 예방체계의 구축이 요구된다.

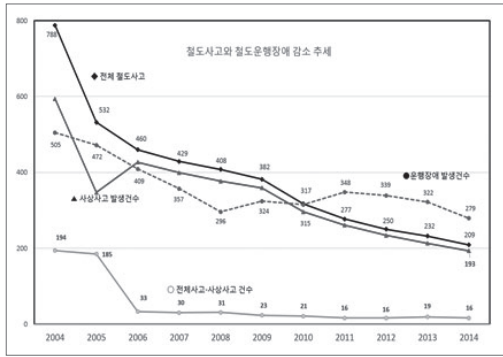
이에 따라 국외 선진 철도에서는 PDCA (Plan, Do, Check, Act) 사이클에 따라 상시적인 또는 주기적인 위험도 평가를 수행하여, 비용-효율적인 철도안전관리를 수행하고 있다. 국내에서는 2014년 철도안전법 ‘형식승인제도’ 및 ‘철도안전관리체계’ 등에서는 자발적인 안전관리를 위해 위험도 평가를 시행하고, 위험도를 관리하기 위한 안전대책을 수립·시행하도록 요구하고 있으나, 제도의 시행초기로 위험도 평가를 기반으로 한 안전관리가 어려움을 겪고 있다.

본 글에서는 위험도 기반 안전관리의 국내·외 기술현황을 사례 중심으로 소개하고, 국내철도에서 위험도기반의 안전관리를 활성화하기 위한 방향을 모색하고자 한다.

## 2 본문

### 2.1 국내 철도안전 현황

국내 철도는 2004년 철도안전법 도입 이후 안전에 대한 지속적인 투자와 관리로 인해 2015년 기준으로 열차운행 1억 km당 철도사고 발생건수는 7.2건, 사망자수(자살자 제외)는 13.1명으로 지속적으로 안전성이 향상되어, [그림 1]과 같이 세계적으로 가장 급격한 사고 감소율을 보이고 있으며, 순수한 여객 사망자는 11년간 1명이 발생할 정도로 안전한 철도를 운영하고 있다[1].



[그림 1] 철도사고와 운행장애 추세

도로, 항공 등을 포함한 교통수단 중 철도는 [표 1]에서와 같이 사망자 비중이 가장 낮다. 예를 들어, 철도는 도로보다는 25배 안전한 교통수단으로 평가받고 있다. 철도에서 발생한 사망자의 90%가 자살자 및 무단통행으로 발생함을 고려하면 철도는 수송분담 대비 높은 안전성을 확보하고 있다.

[표 1] 교통수단에 따른 사망자 수 비교

	수송 분담율%	사망자 수 (5년)	사망자수 / 수송분담율	철도와 비교
철도	24.9	391	15.7	1
항공	0.14	23	164.3	10.4
도로	74.9	29,706	396.9	25.3
선박	0.11	666	6,054.50	385.6
합계	100	30,786	-	-

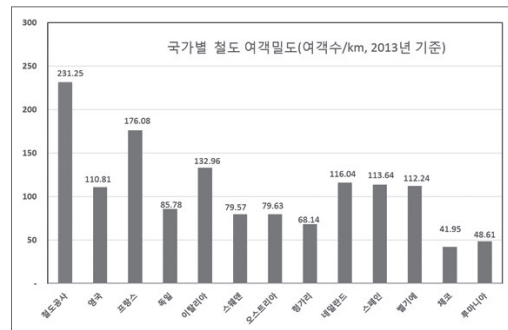
반면에 국내철도의 열차운행 1억 km당 사망자수(자살자 제외)는 13.1명은 철도선진국 영국(1억 km당 0.7건)과 비교하면 높은 수준이며, 고속 및 도시 철도에서는 운행거리 증가 등으로 인하여 잠재적인 사고인 장애는 정체 추세에 있다[그림 1 참고].

시설 측면에서는 교량의 42%, 터널의 44%가 30년 이상 경과하였고, 신호설비의 46%, 전

기설비 34%가 내구 연한을 경과하는 등 노후 시설의 비중이 높아 철도 시설의 안전성에 대한 우려가 증가하고 있으나, 국민의 철도안전에 기대치는 높아지고 있는 상황이다[2].

철도 시설의 관리를 위하여 국토교통부가 고시한 선로배분지침에서는 운영측면에서 안전을 확보하기 위해 선로작업시간을 1일 연속 3.5시간을 최소 확보할 것을 규정하고 있으나, 전체 고속·일반 680개 철도영업 선 구간 33%의 구간은 열차운행시간 조정이 어려워 작업시간이 미 확보된 상황이다.

[그림 2]에서 보는 바와 같이 한국 철도의 운행 밀도는 다른 국가에 비해 높은 편이며, 이는 사고 발생 시 피해규모가 클 수 있음을 의미한다.



[그림 2] 국가별 철도 여객밀도 비교

앞에서 살펴보았듯이 지금까지 국내 철도는 높은 안전성을 달성하였으나, 여러 위험요인이 존재한다. 높은 안전성을 보이는 철도 선진국의 안전 수준을 달성하기 위해서는 한정된 자원과 시간을 위험도 정보에 기반을 두어 현장의 문제점을 정확히 진단하고, 비용-효율적으로 자율적인 철도 안전관리를 수행할 수 있는 기반이 갖추어져야 한다.

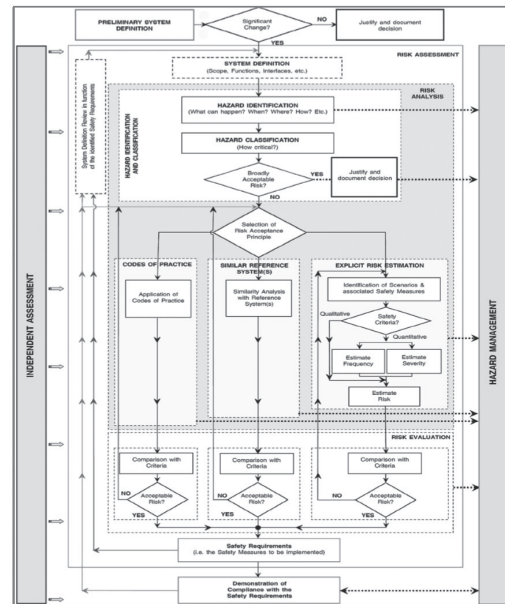
## 2.2 위험도 평가 프로세스

선진 철도안전관리 국가는 PDCA 사이클에 따라 안전관리체계를 수립하고 안전성 검증을 주기적으로 수행하고 있다. 구체적으로 PDCA 사이클은 ① 안전관리 현황 및 문제점 분석(위험도 평가), ② 안전목표(위험도 관리) 설정, ③ 안전계획 수립(안전요건 및 안전대책 제시), ④ 안전관리 시행, ⑤ 안전성(검증, 인증) 평가의 단계로 구성된다.

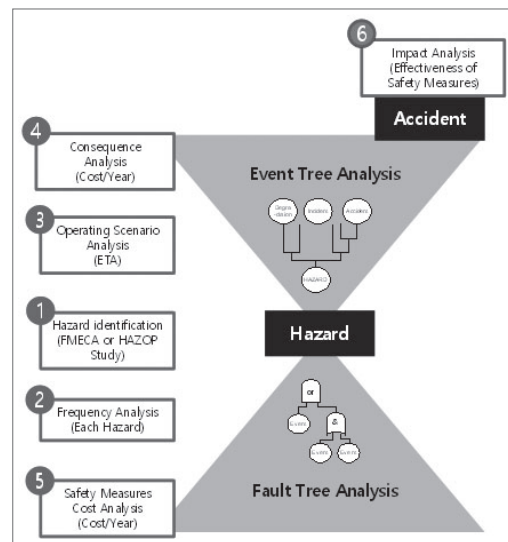


[그림 3] PDCA 사이클

유럽철도의 공통안전평가방법(CSM, Common Safety Method)[3], 철도 RAMS 표준인 IEC 62278[4] 등 여러 국제 표준 및 기준에서 위험도평가는 일반적으로 첫 번째 단계에서 위험요인을 식별하고, 다음 단계로 각 위험요인의 발생빈도를 계산하며, 운영시나리오의 분석을 통해 위험요인에 대한 심각도를 계산하고, 여러 안전대책에 대한 비용과 위험도에 대한 영향도를 분석하여, 가장 비용-효율적인 대안을 선택하는 단계로 구성된다.



[그림 4] 유럽철도의 공통안전평가방법(CSM)



[그림 5] 위험도평가 프로세스

국내 철도안전관리체계의 위험도평가 세부기준[5]에서는 [표 2]와 같이 위험요인 식별, 위험도 분석, 수용가능 여부 등 국의 사례를 참고하여 유사한 절차를 요구하고 있다. 그러나 아직 시행 초기에 있어 운영기관 별로 위험도 평가의 시행에 어려움을 겪고 있다.

[표 2] 국내 철도안전관리체계의 위험도평가 세부기준

구분	기술기준
평가대상의 사전준비	1) 사고 및 장애 2) 안전경영 검토보고서 3) 철도시스템의 분석 4) 설계단계 위험도 평가결과 5) 국가 위험도 평가 모델 6) 위험사건에서 사고 및 장애로 진행되는 과정 7) 해외 및 국내 위험도 평가자료
위험요인의 식별	1) 위험사건 2) 기대수명을 고려한 위험요인 3) 안전방어벽의 실패상황
위험도 분석	정량평가 및 정성평가
수용가능 여부	1) 수용가능 2) 경감수용가능 3) 수용불가
안전대책의 수립	1) 설계나 계획 단계에서 위험요인을 제거 또는 경감하는 대책 2) 철도차량, 철도시설 및 운영 장비의 변경·설치 등 기술적 대책 3) 현재 운영절차 변경 등 관리적 대책
결과의 기록	
위험관리의 검증	추가적인 위험요인을 발생시키지 않는다는 것을 검증
관련기관의 참여	차량제작자, 시설물 설치자, 유지관리자, 계약자 등
변경관리	1) 안전관리 조직 기능의 변화 2) 업무 규모 또는 운영방식의 중대한 변화 3) 재무 악화 및 노사관계 등 운영환경의 변화 4) 업무서비스의 외부위탁 등 계약 환경의 변화 5) 새로운 장비 도입 등 시설환경의 변화 6) 그 밖에 안전관리에 중대한 영향을 미치는 변화

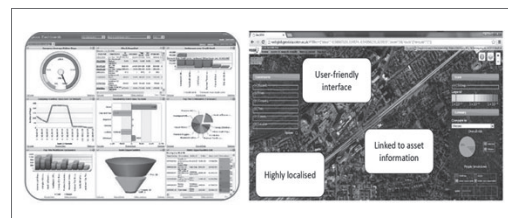
### 2.3 철도분야의 위험도기반 안전관리 현황

영국에서는 1999년 패딩턴 역 열차충돌사고 이후 체계적 안전관리의 필요성이 제기되었고, 영국 철도안전연구기관인 RSSB(Railway Safety and Standards Board)를 중심으로 위험도 평가 프로세스 상에서 요구되는 체계(process & competence), 정보(Information), 모델

(model) 및 도구(tool)를 그림 7과 같이 개발 로드맵에 따라 위험도 전담팀이 구성되어 지속적으로 개발하였다.

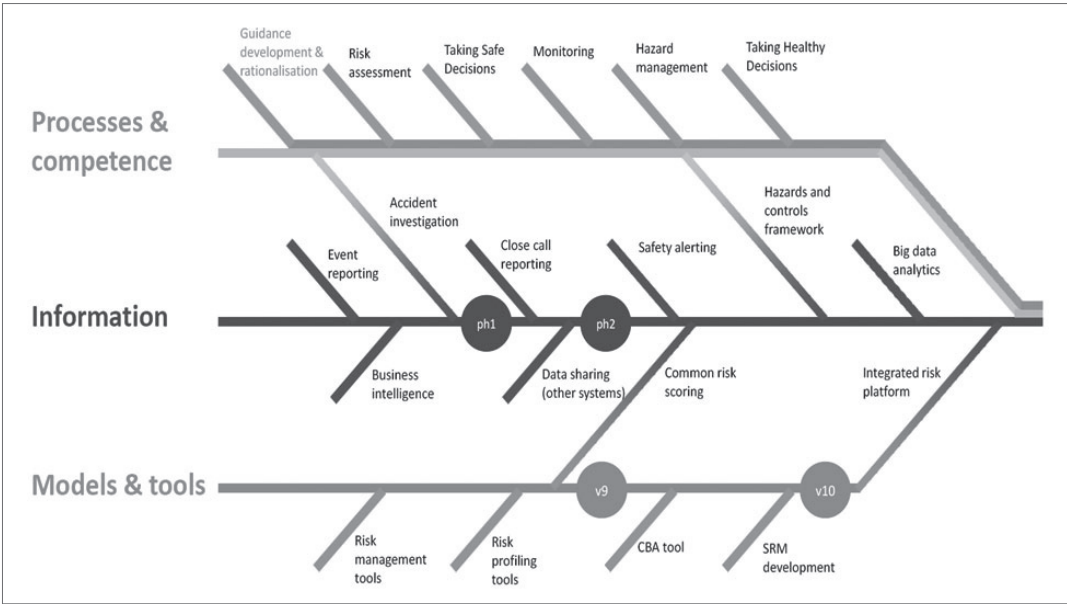
구체적으로 RSSB에서는 위험도 평가에 필요한 정보를 수집하기 위해 철도안전정보시스템 SMIS(Safety Management Information System)을 운영 중에 있으며, SMIS를 기반으로 한 위험도평가모형 SRM(Safety Risk Model)을 개발하였다. SRM은 130여 개의 위험사건과 3,000여 개의 원인인자로 구성되며, 각각의 위험사건별로는 원인 및 피해확산에 대한 공학적인 위험도 평가 모형을 제공한다. SRM은 국가정책결정에 필요한 위험도 정보를 상시적으로 제공하고 있으며, 운영기관 및 시설관리자에게는 수행 주체 별 위험도평가 시행을 위한 참조모델을 제시하여 안전관리체계 상에서 활용하도록 하고 있다.

2016년부터는 모바일 보고체계, 아차사고 보고 시스템, 지리정보시스템, 자산관리시스템, 운영시스템과 연계하여 SMIS+(Safety Management Intelligence System)을 구축 중에 있으며, 영국철도의 지역별 위험도 정보를 제공하는 것을 목적으로 시스템을 구축 중이다[6](그림 6 참조).



[그림 6] 영국 RSSB의 SMIS+ 시스템

영국철도에서 위험도 기반의 철도안전관리가 성공적으로 수행되고 있는 배경에는 앞에서 언급된 체계나 도구도 큰 영양도 있었으나, 무엇보다



[그림 7] 영국 RRSB의 위험도평가 기술개발 Roadmap

도 사고, 장애, 아차사고 등 철도안전관련 정보를 철도산업 전체적으로 공유하여, 자발적으로 안전을 개선하고자 하는 안전문화의 확산이 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

국내 철도에서는 철도종합안전기술개발사업('04~'11)에서 위험도평가 절차, 매뉴얼 등 체계(process & competence) 중심의 기술개발이 이루어 졌으나, 위험도 평가의 실행에 요구되는 모델·도구는 미진한 상황이다. 정보 수집을 위해 철도안전종합포털을 통해 「철도사고등의 보고에 관한 지침(국토부 고시)」에서 정의된 철도사고, 장애 등의 통계를 관리하고 있으나, 보고의 범위가 작고, 근본 원인분석과 위험도 정보 생성에 필요한 기능이 부족한 실정이다.

2.4 원자력분야의 안전성평가 현황

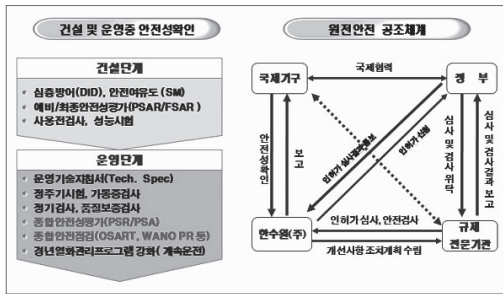
원자력발전소는 설계 단계부터 안전성을 최우선적으로 고려하여, 심층 방어 및 안전 여유도 개념의 적용, 예비 안전성 평가 및 최종안전성 평가

와 사용 전 검사, 성능시험 등을 통해 설계, 시공 및 시운전 단계의 안전성 확인하고 있다. 운영 단계의 주요한 안전성 보증활동은 운영기술지침서에서 요구하는 주요 안전 인자의 준수, 각종 안전 등급 설비, 기기 및 구조물의 정기 점검과 더불어 규제 기관의 정기 검사, 품질 보증 검사 등을 들 수 있다[7].

또한 주기적 안전성 평가(PSR, Periodic Safety Review)나 확률론적 안전성 평가(PSA, Probabilistic Safety Assessment)를 수행하여 운영 허가 이후 변화된 안전 기준에 대해 심층적인 검토를 수행하고 있으며, 아울러 원전 운영과 관련된 국제 원자력 전문 기관과 공조하여 안전 수준을 정기적으로 점검하고 있다.

원전 운영 단계에서 이루어지는 각종 안전성 평가체계는 [그림 8]과 같다.





[그림 8] 원자력발전소 가동 원전 안전성 확보 체계

PSA는 원자력발전소에서 발생할 수 있는 주요 사건에 대해 발생 경위와 현상을 규명하고 사건 발생에 따른 원자로 노심 및 원자로 건물의 건전성을 확률론적으로 평가하는 안전성 확인 기술로서 미국 TMI(Three Mile Island) 원전사고를 통해 필요성이 부각되었으며 미국을 중심으로 세계적으로 널리 활용되고 있다.

우리나라는 1994년 원자력 안전정책 성명에서 확률론적 안전성 평가의 도입을 천명한 이후에, 2001년 교육과학기술부의 중대사고 정책에 따라 건설 원전을 포함해 전 원전에 대해 확률론적 안전성 평가를 수행하고 있다. PSA는 원전의 냉각재 상실 사고, 전원 상실 등 원전 내부에서 유발되는 사건뿐 아니라 지진, 홍수, 화재 등의 원전 외부에서 발생한 사건에 의한 위험도를 정량적으로 나타낼 수 있으며, 원자로 노심이나 원자로 건물의 손상 빈도와 원전 외부 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있다. PSA 수행 및 안전성 향상 방안을 지속적으로 이행하여 국내 원전은 IAEA 권고 수준을 상회하는 안전 수준을 확보하게 되었다.

## 2.5 항공분야의 안전관리 현황

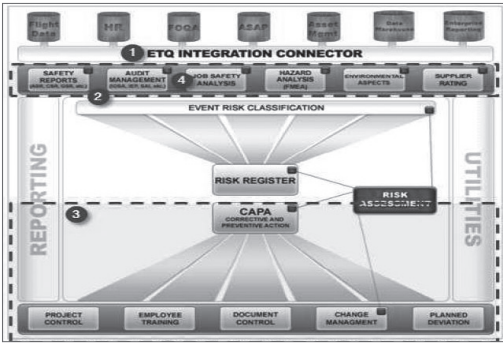
항공분야에서 정부 차원의 안전관리시스템(SMS, Safety Management System) 구축

을 위한 노력은 2007년부터 시작되었으며, 그 이전부터 일부 항공사와 공항공사 등에서는 현장의 위험정보를 수집·분석하여 에러(error) 유형을 확인하고 업무환경 등을 개선하는 위험도 관리기법을 도입·운영하고 있다. 특히 운항품질보증(FOQA, Flight Operations Quality Assurance) 프로그램, 현장운영안전감사(LOSA, Line Operation Safety Audit) 등은 SMS와 상관없이 이미 항공사 자체적으로 운영하고 있었으며, 현장의 안전 활동에 상당부분 기여하고 있다[7].

항공교통관제분야의 경우도 이와 유사한 “실무오류 분석시스템”과 정상운영안전표본조사(NOSS, Normal Operations Safety Survey) 등을 구축·운영하고 있으며, 이와 같이 우리나라의 안전관리시스템을 운영하는 서비스제공자들은 요소별로는 이미 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)에서 요구하는 “예측 안전관리” 수준에 해당한다고 볼 수 있다.

대한항공에서는 ETQ라는 해외업체의 컨설팅을 통해 안전관리시스템을 개발하였고, 통합적인 정보수집과 위험평가, HFACS(Human Factors Analysis and Classification System)기법에 의한 인적요인 분류체계를 확립하였다. 특히 위험평가의 경우 운항/정비/객실/화물/조업/보안 분야별로 중요 이벤트를 분류하여 발생빈도와 심각도에 따라 전산망에서 위험을 평가할 수 있는 시스템을 갖추고 있다. 특기할 사항은 대한항공의 자체적인 발생빈도 평가기준으로, 대한항공은 발생한 중요 이벤트를 위해 요인으로 정의하고 있어 심각도는 이벤트의 결과로 즉각 판단이 가능하다. 반면 발생빈도는 해당

이벤트의 발생건수를 최근 3년의 기간을 기준으로 발생빈도를 분류하고 있다. 품질관리의 관리도 기법을 원용하여, 발생건수의 평균, 년 최고도수(MAX), 년 최소도수(MIN), 관리(도) 상한 값(UCL : Upper Control Limit)을 5단계의 분류기준으로 정하고 이에 따라 발생 빈도를 결정하며, 이러한 방법은 이벤트를 위해요인으로 관리하고, 운항자료가 충분하게 확보된 대한항공의 특성으로 인해 가능한 방법으로 판단된다.



[그림 9] 대한항공 Aviation Safety 시스템

서 관련 동향 및 사례를 요약하여 기술하였다. 사례에서 살펴보았듯이 철도에서 위험도기반의 안전관리의 활성화를 위해서는 관련된 체계, 정보, 모델 및 도구의 개발이 요구되며, 개발 이후에는 지속적으로 위험도 정보를 분석·해석하고, 관련 기술을 발전시킬 수 있어야 한다. 또한 개발 기술과 정보를 운영기관, 시설관리자 등이 현장에서 활용할 수 있도록 수행 주체 별 위험도 평가 시행을 위한 참조모델을 제시하고, 안전관리체계 상에서 자율적인 안전관리의 수행이 될 수 있도록 지속적인 지원이 요구된다. 또한 철도안전관련 데이터를 철도산업에서 공유하여, 자발적으로 철도 안전을 개선하고자 하는 안전문화의 확산도 중요하다 하겠다.

한국철도기술연구원에서는 이러한 필요에 따라 주요사업으로 2017년부터 3년간 위험도 기반 안전관리체계 평가기술을 정부 및 국내 관련 기관의 지원과 선진국가의 전문기관의 협업을 통해 개발할 것이며, 국가 및 철도운영기관에 필요한 정보 및 기술을 마련하기 위해 지속적으로 노력할 것이다.

### 3 결론(맺음말)

본 글에서는 철도분야의 위험도 기반의 철도안전관리를 중심으로 국내외 현황과 타산업 분야에

**참고문헌**

1. 국토교통부(2016), "제3차 철도안전종합계획", pp.11-25.
2. 한국철도기술연구원(2016), "철도 시설물의 안전지표개발 및 위험도평가 연구", 국토교통부, pp.11-36.
3. Office of Rail Regulation (2015), "Common safety method for risk evaluation and assessment", pp.7-14.
4. IEC 62278(2002), "Railway applications-Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS).
5. 국토교통부(2014), "철도안전관리체계 승인 및 검사 시행지침", pp.123-214.
6. B. George (2016), "Developing a robust reporting system", IRSC 2016.
7. 한국철도기술연구원(2016), "지능형 철도안전 융합시스템 기술개발 기획연구", 국토교통부, pp.26-227.14. 서사범, (2003), 최신 철도선로 (Modern Railway Track), 도서출판(주) 열과 알, (ISBN 89-5529-067-5)