

철도 사고 원인을 위한 수행도 영향 인자 분류

Performance shaping factor categorization for railway accident causations

구락조* 김동산** 정명철*** 백동현**** 윤완철*****
Koo, Lock Jo Kim, Dong San Jung, Myung-Chul Baek, Dong Hyun Yoon, Wan Chul

ABSTRACT

The objective of this paper was to categorize performance shaping factors of human errors associated with railway accidents by reviewing reports published within and out of the country, especially Rail Safety & Standards Board (RSSB), and to validate their feasibility with domestic railway accident data. The systematically categorized 13 performance shaping factors were train/infrastructure/traffic, person, work schedule management, communication, procedure and documentation, information, team, in-cab environment, roles/responsibilities, training/knowledge/experience, workplace design/HMI, passive sign, and task management. Each factor was further analyzed into sub-factors. For the validation, 61 causal factors were extracted from 42 domestic railway accidents and then compared with the category. The category could include all 61 factors. The category of performance shaping factors for human errors that this study suggested may be useful to enhance railway safety.

1. 서론

기술의 발전으로 기계적 요인의 신뢰성이 향상되어 철도 사고 발생 시 인적 오류(Human Error)의 비중이 크게 늘어났다. 또한 사고는 하나의 원인이 하나의 사고를 일으키는 일대일 관계보다는 다대일 관계가 대부분이다[8]. 인적 오류의 유발 인자(Causal Factor) 또는 기여 인자(Contributory Factor)로 정의되는 수행도 영향 인자(Performance Shaping Factor)는 인간의 행동을 형성하는 생리 및 심리 등의 내적 인자와 환경 등의 외적 인자를 포함하고 있다. 또한 인자의 심각성이 클수록, 그리고 인자 수가 많을수록 인간의 작업 신뢰성에 주는 영향은 크고, 인간 오류를 일으킬 가능성이 높다고 한다[9].

철도 분야는 토목, 기계, 전기, 신호 등 많은 기술들이 상호 관련되어 이루어지는 통합 시스템으로, 대량 수송성, 주행 저항성, 고속성, 정확성 그리고 무엇보다 안전성이라는 중요한 특징을 지니고 있다[1]. 철도 산업의 안전성은 인간, 열차, 운영, 제어 등 철도 시스템 전반에 대해 체계적인 위험도 평가 및 분석이 행해질 때 이루어진다[2]. 해외 철도 산업은 수행도 영향 인자를 근간으로 사고 원인을 분석하였다. 그 결과, 많은 경우 사고를 일으킨 직접 원인보다 사고와 관련된 인적 오류를 유도한 유발 인자 또는 기여 인자가 더 심각함이 밝혀졌으나[10], 국내에서는 아직도 직접 원인 조사에 치우치고 있고, 철도 사고 원인을 밝히는 수행도 영향 인자 연구가 미비하다.

따라서 본 연구에서는 기관사, 사령, 역무원을 포함한 철도 안전 업무 종사자에게 영향을 끼쳐 인적 오류를 유발 할 수 있는 수행도 영향 인자를 국내외 연구 결과를 바탕으로 체계화하였고, 국내 철도 사고 사례를 통해 그 타당성을 검증하였다.

* 아주대학교 석사과정, 정회원

** 한국과학기술원 박사 과정, 정회원

*** 아주대학교 교수, 정회원

**** 한양대학교 교수, 정회원

***** 한국과학기술원 교수, 정회원

2. 수행도 영향 인자 및 세부항목 추출

2.1 수행도 영향 인자 분류

영국의 Rail Safety & Standards Board(RSSB), 캐나다의 Transportation Development Centre Transport Canada, 유럽의 HUMAN SAFETY Rail in Europe(HUSARE)에서 사용한 수행도 영향 인자와 한국 원자력 발전소에서 사용한 Korean-Human Performance Enhancement System(K-HPES)의 원인 요소를 비교하였다.

Fig 1과 같이 RSSB는 안전 업무 종사자에게 미칠 수 있는 9가지 수행도 영향 인자를 제안하였다[11]. 또한 사고 원인 중 높은 비율을 차지하고 있는 Signal Passed At Danger(SPAD)의 경우, 카테고리의 구분 없이 세부 항목만을 나열하였으며[7], 이를 종합하여 인적, 운영, 환경 인자로 나누었다[12]. 인적 인자는 정보, 경험, 민첩성, 시야성, 출발해서 돌아올 때까지의 패턴으로, 운영 인자는 서비스 수준, 시간, 승객 행위, 기관사실 배치 상태, 그리고 환경 인자는 기관사실 온도, 철도 유착 상태, 주위 나뭇잎, 햇빛으로 구성되었다. HUSARE에서는 크게 기술적 시스템, 인적 자원, 조직으로 분류하였다[13]. 각 분류의 세부 수행도 영향 인자는 정보 제공, HMI, 의사전달 시스템과 그에 대한 feedback, 기술적/하드웨어적 시스템, 규칙 및 책임, 직업적 특성, 직무특성, 문서 및 절차서, 운영의 특성, 개인적 및 훈련과 협업 등에 대한 10가지 설문조사를 통해 직접 구성 하도록 설명하였고 직접적으로는 언급 하지 않았다.

열차 사고 중 높은 비중을 차지하는 건널목 장애 사고에 대해 캐나다 보고서는 7가지로 구분하였다[14]. 이 보고서의 특징은 다른 보고서의 분류와는 달리 Passive Sign and Marking을 포함시켰고, 건널목 사고의 특성 상 외적 인자를 포함한 것도 특징이었다. 이는 일반적인 상황과는 다르게 외부적인 요인에 의한 사고 발생과 더불어 기관사, 사령, 역무원 이외의 주체가 사고를 유발 할 수 있기에 이런 분류가 첨부하였다고 짐작 된다.

국내 원자력 발전소에서 사용하는 K-HPES는 인적 오류 분석과 이해를 돕기 위해 수행도 영향 인자 대신 원인 요소라는 용어를 사용하여 총 11가지 항목을 제안하였다[5]. 비록 철도와 다른 분야지만 현재 국내에서 사용되고 있고 철도와 마찬가지로 안전 업무 종사자에게 영향을 주는 인자들을 분류하였다는 점에서 선택하게 되었다.

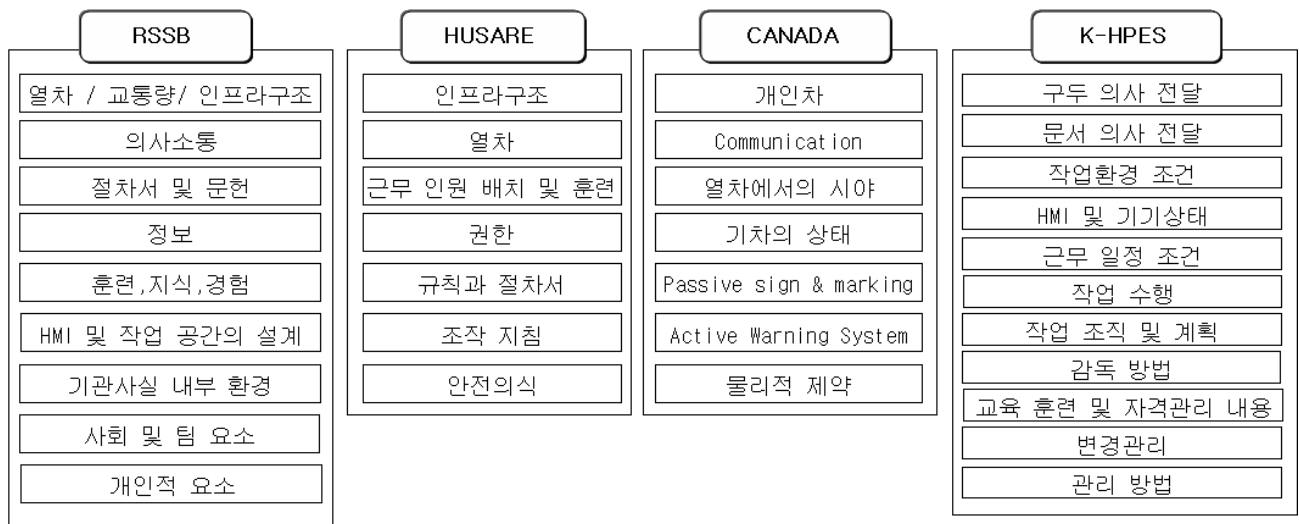


Fig 1 . 수행도 영향인자 카테고리

철도에 대해 전반적이고 상세히 분석한 RSSB의 수행도 영향 인자를 바탕으로 다른 연구 결과와 비교하여 RSSB에 없는 분류를 도출하였다. HUSARE의 권한, 조작 지침, 안전의식, 캐나다의 Passive Sign & Marking, K-HPES의 근무 일정 조건, 작업 수행, 변경관리, 관리 방법이 그것이다. 각 분류의 정의를 분석하여 유사성이 있는 항목들을 통합한 후, 최종적으로 규칙 및 권한, Passive Sign & Marking, 업무 유지, 근무 변경 관리 항목을 선정하여 RSSB 분류에 추가하였다. 최종 수행도 영향 인자 분류는 Fig 2

와 같다. 나타난 분류에서 규칙 및 권한은 직무 수행에 필요한 규칙이나 권한을 의미한다. 그리고 업무 유지는 직무 수행에 연관된 작업 수행과 관리 방법을, 근무 변경 관리는 기관사 직무 일정, 정보 등을 제공하는 기타 부서와 연관된 근무 일정 조건과 변경 관리를 의미한다. 다른 분류의 정의는 RSSB 보고서를 참고하기 바란다[7][11][12].

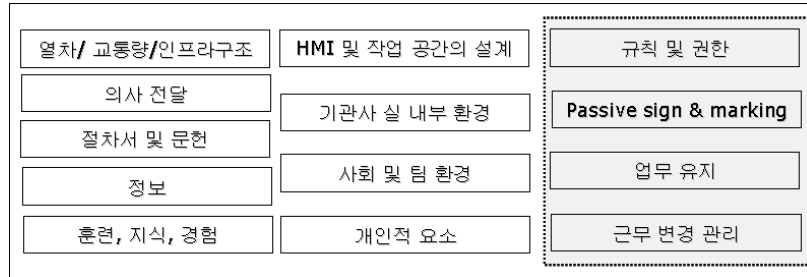


Fig 2. 최종 수행도 영향인자

2.2 세부항목 추출

국내 철도 산업의 사고 조사 및 안전성 향상을 위해 수행도 영향 인자를 세분화할 필요가 있다. RSSB에서 제안한 세부 수행도 영향 인자를 바탕으로 국내 연구 결과를 비교 분석하여 국내 철도 산업에 맞는 세부 항목들을 결정하였다.

왕종배의 연구 결과[3]와 PHA보고서[6] 연구 결과에서 나타난 위험 요인과 사고 원인을 RSSB 세부 항목과 비교하여 차이가 있는 세부 항목들을 Table 1에 정리하였다. 차이가 난 세부 항목들을 Fig. 2의 분류 중 알맞은 항목에 추가하였다. 세부 항목을 포함한 최종 수행도 영향 인자 분류 체계는 Table 2와 같다.

Table 2의 최종 수행도 영향인자 분류 체계에서 의사 전달, 문서, 정보, 조직적 요인, 기관사실 환경에 대한 요인은 세부 카테고리 나누어지지 않았다. 이는 의사 전달, 문서, 정보에 대한 항목은 크게 기관사에게 정보를 전하는 수단 및 내용으로 통합할 수 있는 세부 항목으로의 각 카테고리가 구분되어 있어서이다. 업무 유지 요인과 기관사실 환경에 관한 요인은 각각 팀 요인과 HMI요인으로 결합 가능하고 또한 독자적인 형태이며 이 또한 세부 항목으로 각 카테고리가 구분되어 있어 더 이상의 분류를 행하지 않았다.

Table 1. 각 보고서에서 새롭게 나타난 세부 수행도 영향인자

강풍	과도한 수기 입력	과도한 경고 장치	건널목 자동차 침입	검사 프로그램 부재
권한의 부적용	낙뢰	노반 유실	방호	부적당한 권한 취소
부적절한 권한 가용성	부적절한 권한결정	부적절한 공동점유규칙	비 허가 선로작업	배타적 권한
배타적 규정	사령의 지시불량	안전 규정 부재	열차 운행 미 통보	유치 차량 유동
음주 운전	애매한 권한	자동차 거더 접촉	장매물 설치	작업 상황 미 통보
지진	터널 침수	터널 환기 부족	토목 구조물 고장	토사 암석 붕괴

Table 2. 수행도 영향인자의 최종 분류

열차/ 교통량/ 인프라구조 Traffic Load Complexity External Environment Visibility Trackside distraction Sand & rock collapse The loss of roadbed Tunnel flooding Weather Rain Snow Fog Earthquake Gale The falling of a thunderbolt Infra Points failure Electrical supply failure Defective infra Engineering Infrastructure failure Lack of tunnel ventilating 유지 차량의 이동 방호 외부 침입 Attack on cab 건물목 자동차 침입 자동차 거더 접촉 장애물 설치 Train Rolling stock type Train condition Train / Locomotive type Train fault Track Track condition Track layout		의사전달 Communication method Communication quality / clarity Communication context Communication frequency Accent / dialect Regional specific rail jargon TOC specific rail jargon 절차서 및 문헌 Type Quantity Accuracy Completeness Clarity Complexity Version Structure Format Access Realism / feasibility / suitability Duration in use or stability Compatibility 정보 Accuracy/correctness Type / format Availability / access Quantity / frequency Completeness Clarity Complexity Validity Structure 사회 및 팀 환경 Work General co-ordination and communication Handover / acquisition Allocation of function and responsibility Briefing provision Working methods Work breaks Rostering Supervision Staff availability Atmosphere Team relations Team morale Time pressure 안전의식 규칙 및 권한 Roles 안전 규정부재 검사 프로그램 부재 규칙의 비적용 부적절한 공동 점유 규칙 배타적인 규정 Authority 비허가 선로 작업 권한의 애매함 부적절한 권한 취소 권한의 유효성 권한 결정의 비정당화 부적절한 권한 가용성 권한의 배타성		훈련, 지식, 경험 Trainning Availability Recency Content quality Method quality Compatibility Attitude Supervision Experience Familiarly Job shadowing Assessment Knowledge Route knowledge Rules knowledge Traction knowledge Skill HMI 및 작업 공간의 설계 Equipment Reliability PPE Rest break facilities Device quality System failure Communication equipment quality 과도한 경고 장치 설치 HMI Location signal Location of communication equipment Location of information 기관사실 내부환경 Noise and distraction Lighting Temperature Air quality Vibration Space Passive sign & marking 건물목 건물목 보관 상태 불량 건물목 안전 펜스 불량 경고 표시물 미비 건물목 신호 장치 불량 건물목 차단기 불량 External signal External signal location External signaling system failure 업무 유지 장비 취급 부주의 장비 취급 불량 장치의 부적절한 사용 자가 진단 미수행 신호 신호 확인 소홀 신호 확인 지연 업무 이행 진로 확인 소홀 권한의 오해 궤도 장비 규정 미준수 규정 및 권한 미준수 정보 교환 불이행 운행 사전 준비 미비 운전 사망의 지시 불량 작업 상황 미통보 열차 운행 미통보 전해진 정보 미수행	
개인적 요소 개인 정서 Concerntration Fatigue Emotional/occupational stress Anxiety Panic Boredom Isolation (in or out of cab) Confidence Complacency Mental health and capability Domestic issues 개인의 신체적 특성 Physical health and capability Alcohol Age Gender 직무적 압박감 Administrator workload Job satisfaction Time/commercial Pressure Route Speed restriction Suicide Trust in the communicating the information Trust in equipment 근무 변경 관리 근무 일정 형태 근무 일정 초과 상호작용무시 변경 검토 변경의 비반영 변경의 미실시 선로 폐쇄 수속 불량					

3. 수행도 영향 인자 분류 검증

분류된 수행도 영향 인자를 검증하기 위해 국내 유언기관 사고 사례를 통해 42가지 철도 사고를 분석하여 총 61가지 인적 오류 원인들을 추출하였다[4]. 단, 국내 실정에 맞는 수행도 영향 인자 분류 체계를 목적으로 하였기에 해외 철도 사고 사례에 대한 분석은 배제하였다. 이 원인들을 제안한 수행도 영향 인자와 비교한 결과, Fig. 3과 같이 모든 원인들이 영향 인자 분류에 포함되었다.

열차/ 교통량/ 인프라구조	15	의사 전달	0	훈련, 지식, 경험	6
Traffic		절차서 및 문헌	1	Trainning	4
External Environment	3			Experience	1
Weather	1			Knoweldge	1
Infra	5	정보	1	HMI 및 작업 공간의 설계	7
외부 침입	6			Equipment	6
Train				HMI	1
Track					
		사회 및 팀 환경	0	기관사실 내부 환경	0
개인적 요소	2	Work			
개인 정서		Atmosphere			
개인의 신체적 특성	2				
직무적 압박감					
		규칙 및 권한	7	Passive sign & marking	2
조직적 요인	2	Roles	2	건널목	
		Authority	5	External signal	2
				업무 유지	23
				장비	13
				신호	3
				업무 이행	7

Fig 3. 국내 철도 사고 사례를 통한 수행도 영향 인자 분류 검증

의사소통과 기관사실 환경 원인으로 인적 오류가 발생한 경우는 나타나지 않았다. 그리고 개인적인 요인에 관한 사고는 졸음이 가장 큰 요인으로 나타났다. 또한 전체적으로는 업무 유지와 신호에 관한 원인이 대다수가 이루었다. 이는 사고에 하나 이상의 수행도 영향 인자가 영향을 끼치지만 실제적으로 사건 조사에서 기술되는 원인은 기관사의 실수 즉, 업무 유지 실패와 신호에 관한 요인이기 때문일 것이라 사료된다. 그리고 국내 철도 분야의 인프라와 규칙 및 권한에서 많은 사고 원인이 발생한 것으로 보아 기계적, 제도적인 기초가 아직 미비함을 알 수 있다. 그리고 의사 전달 부분과 기관사실 환경의 요인이 원인이 되지 않았지만 이는 충분히 사고에 영향을 끼칠 수 있는 간접적인 요인이며 또한 해외 모든 보고서의 카테고리에 포함되어 있는 일반적인 것이기에 국내 철도 분야에서 사고 분석 시 지나쳤을 가능성과 앞으로 원인으로써 발생 할 가능성으로 인하여 제안 하고자 하는 분류체계에 지속적으로 나타내고자 한다.

4. 결론

본 연구의 목적은 위험 분석 시 쓰일 수 있는 수행도 분류 체계를 구축하는 것이었다. 위에서 제시한 분류 체계는 철도 사고와 관련된 인적 오류 분석 시 사용 할 수 있도록 각 카테고리를 세분화하였으며, 새로운 수행도 영향 인자나 카테고리를 추가할 수 있도록 분류 기준을 명확하게 정의하였다. 또한 외국 사례에서 나타난 수행도 영향 인자를 취합하였고 유연기관 사고 사례에서 나타난 사고 원인이 모두 포함되어 있음을 볼 때, 국내 철도 사고에서 발생 할 수 있는 대부분의 수행도 영향 인자를 포함하였다고 사료된다.

각 세부 항목들은 RSSB의 연구 결과를 기준으로 분석 체계를 나누었고 국내 전문가 집단이나 자료로 체계화하진 않았다. 이는 향후의 연구 과제로 제시되어야 할 것이다. 나아가서 수행도 영향 인자만의 체계가 아닌 인적 오류를 포함하는 철도 산업의 전반적인 분류 및 분석을 위한 체계를 수행할 필요가 있다. 하지만 차후 이 문제가 해결된다면 철도 안전성 향상을 위한 사고 분석 혹은 조사 시 사고를 예방하고 방지하는데 크게 이바지할 것이다.

5. 참고문헌

[1] 김충수 외 (2002). "기관사 신념 수정에 영향을 미치는 요인에 관한 연구", 한국철도학회논문집 5, pp. 209-214.

- [2] 왕중배 외 (2003). "철도 사고 방지 및 안전 확보를 위한 핵심 기술 개발 연구", 한국철도학회논문집 78, pp. 1-4.
- [3] 왕중배 외 (2004). "철도 시스템 안전요건 관리체계 구축 기술 개발 : 3차년도 보고서", 한국철도기술연구원.
- [4] 인천 광역시 지하철 공사 (2004), "유관 기관사고 사례집".
- [5] 전력 연구원 (1998). "원자력발전소 인적행위개선시스템(K-HPES) 개발(II) 최종 보고서".
- [6] 한국철도기술연구원 (2005). "철도 종합 안전 기술 개발 사업, 철도 사고 위험 요인(PHA) 분석 기술 1차년도 연차 보고서".
- [7] A. Pasquini, A. Rizzo, and L. Save (2003). "A methodology for the analysis of SPAD", Rail Safety & Standards Board.
- [8] H.W. Heinrich, D. Petersen, and N. Roos (1980). "Industrial Accident Prevention", McGraw-Hill, pp. 20-41.
- [9] E. Hollnagel (1998). "Cognitive Reliability and Error Analysis Method", Elsevier.
- [10] S. Reinach and J. Gertler (2002). "An examination of railroad yard worker safety technical report", FRA, No.DOT/FRA/ORD- 01-20.
- [11] Rail Safety & Standards Board (2004). "Rail-specific HRA technique for driving tasks user manual".
- [12] Rail Safety & Standards Board (2004). "Common factors in SPAD - Final Summary Report".
- [13] The European Commission (2003). "HUSARE Project - Final Report for Publication"
- [14] Transportation Development Centre Transport Canada (2002). "A human factors analysis of highway - railway grade crossing accidents in CANADA".