

철도수송원의 입환 작업에서 인적오류 사고분석에 관한 연구: HEAR 방법론 적용

김태윤¹ · 김치년² · 박찬우³ · 염병수^{2*}

¹서울과학기술대학교 일반대학원 안전공학과, ²연세대학교 보건대학원, ³한국철도기술연구원 철도안전연구센터 시스템안전연구실

Human Error Accident Analysis of Railway Transport Workers in Shunting Operations: Application of the HEAR Methodology

Tae-Yoon Kim¹ · Chi-Nyon Kim² · Chan-Woo Park³ · Byeong-Soo Yum^{2*}

¹Department of Safety Engineering, Graduate School, Seoul National University of Science and Technology

²Graduate School of Public Health, Yonsei University

³System Safety Research Department, Korea Railroad Research Institute

ABSTRACT

Objectives: This study analyzes human-error-induced incidents during railway shunting operations performed by transport workers. It uses the Human Error Analysis for Railway (HEAR) framework to identify dominant error types, causal patterns, and severity.

Methods: We reviewed Korea Railroad Corporation (KORAIL) investigation reports from 2012–2021. “Incidents” followed ILO/ISO 45001 usage and included accidents and near-misses. Shunting cases were isolated and coded by HEAR error type, simplified causal category, and outcome. The rating of severity (0–4: none, delay, property damage, injury, fatality) enabled cross-field comparisons.


Results: Human-error incidents by field were: driving/operation 48.1%; facilities 21.5%; operations 17.8%; electrical 10.0%; and control 2.6%. Shunting accounted for 9.3%, but had the highest mean severity. In shunting, decision-making errors predominated (66.7%), followed by situation-assessment (21.7%), perception (8.3%), and execution (3.3%). Causes were chiefly work-method related (90.0%). Outcomes were mainly worker injury (83.3%), followed by train-operation faults (10.0%), derailments (3.3%), collisions (1.7%), and power-supply failures (1.7%).

Conclusions: Despite reductions in overall accidents, yard shunting has been under-managed and requires focused control. Three priority conclusions are proposed: (1) strengthen personnel management and task-specific training for shunting staff (braking distance, hose handling, speed moderation, stop-signal timing), and standardize briefings, closed-loop communication, cross-checks, and human-factors-based procedures by using a data-driven learning system; (2) reinforce safety systems by upgrading to multi-party two-way radios (e.g., TRS/Infomobile) and deploying approach alarms and switch misalignment pre-detection sensors; (3) implement scientific programs to detect and mitigate individual vulnerabilities—self-assessment of error-proneness, boredom, fatigue, and stress; periodic screening with redeployment, rest, and counseling; and feedback training that links personal factors to organizational barriers.

Key words: Railway shunting, human error, HEAR methodology, incident analysis, safety management

*Corresponding author: Byeong-Soo Yum, Tel: 02-2228-1535, E-mail: bs670128@hanmail.net
50-1, Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 03722

Received: September 1, 2025 Revised: September 21, 2025, Accepted: September 22, 2025

 Tae-Yoon Kim <http://orcid.org/0009-0009-9306-0718>

 Chi-Nyon Kim <http://orcid.org/0000-0002-5693-3307>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

철도는 교통분야에 있어서 기술적, 사회적, 문화적 환경의 변화, 고속철도의 개통에 따른 급속한 철도의 확장과 더불어 철도 운영 효율화에 따른 현장에서의 인적요인으로 인한 오류가 증가되어 안전을 위협하는 요소가 새롭게 증가하여 철도 안전을 위협하는 새로운 요인으로 작용하고 있다. 국민의 생명권 보장과 철도 안전 신뢰성 확보를 위해서는 안전 확보가 무엇보다 중요하고, 이를 위해서는 철도 시스템과 인적오류 사고의 안전 확보와 인적오류 사고 예방은 매우 중요한 과제이다. 국제 비교 연구에서도 기술·설비 개선으로 사고 건수는 장기적으로 감소했지만, 사고를 야기하는 인적 성능형성요인(R-PSFs)의 평균 개수와 유형은 유의미하게 줄지 않았다는 결과가 반복적으로 확인된다. 이는 단순한 기술적 업그레이드만으로는 인적오류 저감이 충분히 달성되지 않음을 시사하며, 조직·업무·팀·시스템 설계 차원의 통합적 개입이 병행되어야 함을 의미한다(Kyriakidis et al., 2015).

최근 국내 철도 분야에서도 총체적 안전지표는 개선 경향을 보였으나, 현업 종사자의 안전(사상·직무사고)은 현장에서 체감되는 수준으로 충분히 향상되지 못했다는 지적이 있었다. 이에 따라 보건-안전-환경(HSE)을 통합한 종사자 안전관리체계의 도입과 직무별 맞춤형 위험요인 도출이 요구되었다. 이는 “일반화된 매뉴얼” 중심 관리로는 각 작업장의 상이한 환경을 반영하기 어렵고, 예산·인력 제약 속에서 근본적 개선이 지연된다는 현장의 한계를 반영한다(Choi et al., 2021). 아울러 철도는 하나의 유기적 네트워크로 운영되어 개별 작업의 작은 오류도 시스템 전반의 사고로 확장될 수 있으므로, 현장-관리-설비 전(全) 수준에서의 체계적 개입이 전제되어야 한다(Kim et al., 2022).

철도 사고 및 장애에 개입된 인적오류 행위들의 발생 경위 및 원인을 체계적으로 분석하면 유사한 인적오류 사고의 재발을 방지할 수 있는 효과적인 예방대책을 마련할 수 있고, 철도의 안전성을 향상시킬 수 있다(Kim et al., 2009). 이를 위해 철도 인적오류 원인분석 체계(HEAR)가 국내에서 개발되었으며, 관련 선행 연구에서 HEAR를 활용한 분석체계에 대한 유효성이 확인되었다.

수송원의 업무는 열차 도착 시 도착한 열차를 편리하게 사용할 수 있도록 위치를 변경하는 입환 시행 작업, 함께 도착된 화물을 쉽게 상·하차 할 수 있도록 해당

선로로 차량을 이동시키는 작업, 화물을 연결한 열차가 안전하게 운행할 수 있도록 열차의 출발 전 제동시험을 통한 이상 유무를 확인하는 작업 등 다양한 업무를 수행한다. 수송원의 입환 작업 사고는 일반적인 철도 사고에 비해 역 구내로 한정되어 발생 범위가 상대적으로 작다. 그러나 작업공정 상 위험성을 항상 수반한 채 작업이 이루어지므로 사고의 개연성도 늘 존재한다. 입환 작업은 역이나 조차장에서 열차를 운행하기 위하여 차량을 연결·분리하는 조성작업으로써 수송원과 기관사가 입환 계획 및 순서, 방법 등의 입환 협의의 한 후 역 구내나 조차장 구내를 반복적으로 운행하며 열차를 조성하는 작업이다. 이때 수송원과 기관사와의 협의 소홀이나 의사전달 과정에서의 착각 또는 기관사나 수송원의 취급 부주의로 차량탈선이나 차량파손 혹은 수송원의 산업재해까지 발생할 수 있다.

최근 발생한 입환 작업장 사고는 다양한 조건으로 발생하고 있지만, 그 중 의사소통 부재로 발생한 사고는 직원들의 사상 사고로 이어지는 경우가 많다. 이러한 사고의 대부분은 직원의 취급 부주의에 그 원인이 있다고 여기지만 무엇보다 입환 사고와 그 과정에 대한 과학적이고 체계적인 위험도 평가를 통하여 원인을 상세히 분석함으로써 사고를 예방하기 위한 근거나 기준을 마련하려는 노력은 여전히 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 입환 작업 중 수송원의 인적오류에 의해 발생한 사고를 철도 인적오류 원인분석 체계(HEAR) 기법을 통해 사고원인을 분석하고, 분석결과를 바탕으로 개선방안을 제시하고자 한다.

II. 연구방법

1. 입환 작업 조사

본 연구에서는 철도 현장에서 이루어지고 있는 입환 작업의 과정을 분석하고 입환 작업 과정에서 발생하는 각종 사고의 원인과 사고가 미치는 영향 등을 파악한 후 분석한 자료를 바탕으로 인적오류의 원인을 상세히 분석하고자 하였으며, 도출된 작업의 특성과 사고 발생의 특성을 검토하여 입환 작업에서 발생하는 인적오류 사고의 예방대책을 제시하고자 하였다.

먼저, 철도 현장의 입환 작업의 과정을 분석하기 위하여, 실제 철도역을 방문하여 직접 입환 작업을 확인하고, 작업자와 면담을 통하여 입환 작업의 과정을 파악하였으며, 추가적으로 입환 작업과 관련된 국내 선행



Figure 1. Shunting work

연구를 검토하였다. 이를 통해 입환 작업의 업무상 특성과 각 업무 분장별 작업, 입환 작업에서 발생하는 사고의 특성 등을 정리하였다. Figure 1은 입환 작업의 실제 작업 현장 사진이다.

2. 입환 작업 인적오류 사고 분석

입환 작업에서 발생하는 인적오류 사고를 분석하기 위하여 한국철도공사에서 발행하는 사고조사보고서를 기반으로 2012년부터 2021년까지 10년 동안 발생한 철도 안전 사건에 대해 각각의 내용을 검색하고 그중 인적오류로 인하여 유발된 사건을 추출하였다. 한국철도공사(KORAIL)의 「철도사고조사 및 피해구상 세칙」 제3조에서는 위험사건을 ‘철도사고로 발전될 잠재적 가능성이 높은 사태가 발생한 것을 말한다’라고 정의하고 있다. 그러나 국제노동기구(International Labour Organization, ILO)에서는 사건(incident)을 “사람이나 공중에 해를 미칠 수 있었던, 아직 해가 발생하지 않은 사건” 즉 아차사고(near-miss)를 의미하고, 사고(accident)는 “예기치 못한 사건으로 부상·사망·생

산 중단 또는 재산 피해를 초래하는 것”으로 정의하고 있다. 한편, 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)의 안전보건경영시스템 ISO 45001에서는 사건을 “업무 중 또는 업무와 관련된 과정에서 발생하여 부상 또는 질병을 초래하거나 그럴 가능성이 있는 발생”이라 정의하고, 사고를 “부상이나 질병을 초래한 사건”, 아차사고를 “부상이나 질병은 일으키지 않았지만 그럴 수 있었던 사건”이라고 정의하며, 사건을 사고와 아차사고를 모두 포함하는 포괄적인 의미로 정의하고 있다. 한국산업안전보건공단(Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA)의 안전보건경영시스템인 KOSHA-MS에서도 이와 유사하게 사건을 “사고로 이어졌거나 이어질 뻔한 사건”으로 아차사고를 내포하고 있으며, 사고를 “실제 손해(사망, 상해, 질병, 경제적 손실)를 초래한 사건”으로 정의한다. J. Reason의 스위스 치즈 모델에서 설명된 바에 따르면 동일한 인적오류가 발생했을 때, 아차사고와 사고로 이어지는 결과의 분기 여부는 여러 단계의 요인들이 겹쳐 우연에 의해 결정되므로 기존에 위험

사건으로 분류되지 않은 아차사고라고 해도 추후 큰 사고로 발전하지 않는다는 보장이 없다. 따라서 본 연구에서는 철도 안전 사건을 인적오류를 수반할 수 있는 아차사고와 사고를 모두 포함한 국제적 정의를 채택하였다.

또한, 인적오류 사건 중 각 사건의 사고 원인 제공자의 직종 분류를 수행하여, 수송원의 인적오류로 발생한 사건을 선별하였다. 또한, 각 사건의 유형에 따라 체계적으로 분류하여, 철도 인적오류 원인분석 체계(HEAR) 기반의 오류 형태별, 선행연구에서 분류된 10가지 위험사건의 원인별, 위험사건의 결과를 유형별로 분류하였다(Joo, 2014). 아울러 위험사건의 결과에서 피해 규모에 따라 중대성 점수를 부여하였다. 피해 규모는 무피해, 운행지연, 물적피해, 인신상해, 인명사망으로 구분하였으며, 차례대로 0~4점을 부여하여 각 분야별 사고의 강도를 확인하였다.

III. 결 과

1. 입환 작업과 사고 특성 분석

1) 입환 작업의 특성 분석

수송원과 기관사가 역 구내에서 차량 이동조건을 확인하고, 수송원의 현장 확인에 의한 유도전호 및 무전기를 사용하여 작업방법을 전달한다. 이후 기관사가 이를 확인하여 동력차를 제어하여 차량을 연결하고 분리하는 작업이다. 입환 작업이 지니고 있는 특성은 다음과 같다(Lee, 2003).

첫째, 입환 작업은 수송원의 전호에 의하여 기관사가 동력차를 제어하여 차량의 분리, 이동, 연결 작업을 수행하는 인력작업 형태의 작업이다. 따라서 수송원과 기관사의 작업 중 언제든지 사고가 발생할 수 있는 위험이 있다.

둘째, 입환 작업은 동력차와 차량을 역 구내의 복잡한 선로로 이동시키는 반복 작업이다. 작업 중 이동 진로를 수시로 변경하고, 변경된 진로와 관련 신호를 계속하여 확인해야 한다. 따라서 작업 시작 전 관련 부서 및 작업자 상호 간 작업내용에 대하여 상세하고 충분한 협의가 요구된다.

셋째, 입환 작업에서 기관사와 수송원은 역 구내 전체 선로 배선 상태, 선로의 유치 가능 차량의 수, 선로 내 유치 차량의 상태를 항상 확인하고 있어야 하며, 진출입하는 차량과 열차도 주의 깊게 확인해야 한다.

넷째, 입환 작업은 작업자의 행동과 설비의 보장이 마련되지 않고, 작업자의 확인에만 의존하고 있는 경향이 있다. 이에 수송원의 잘못된 취급이나 기관사의 기기 취급 실수는 사고 당시에는 발견되지 못하고, 실행 이후에 그 결과가 드러나는 경우가 많다.

다섯째, 기관사와 수송원 상호 간, 수송원과 운전원 간의 작업협의 또는 작업 중 작업의 내용을 전달하는 의사전달 과정에서 착오가 발생하면 의도되지 않은 사고의 결과를 초래할 수 있다.

2) 입환 작업의 업무

입환 작업은 크게 수송원(입환계획 수립자), 수송원(입환작업 담당자), 기관사, 신호취급자·운전책임자, 차량운용자 등 5개의 업무 범위로 분류할 수 있으며, 각 업무들의 유기적인 관계 흐름에 따라 입환 작업이 실시된다. 입환 작업의 각 업무 분장별 흐름도는 Figure 2와 같다(Kim, 2001).

3) 입환 사고의 특성

입환 작업에서 발생하고 있는 입환 사고의 특성은 다음과 같다.

첫째, 사고의 관련자가 많다. 입환 작업은 작업자 개인의 단독작업이 아니라 시스템적으로 기관사, 수송원, 로컬관제원(열차운용원) 및 내근직원 그리고 각종 설비의 정상 작동을 책임지는 유지보수 요원까지도 관련된 작업이다.

둘째, 사고 원인이 사전에 인지되면 사고를 예방할 수 있다. 그러나 입환 작업은 이동하면서 작업이 이루어지기 때문에 위험을 인지했다라도 시간적 여유가 없는 상황에서는 바로 사고로 이어질 수 있다.

셋째, 사고의 발생이 순간적이며 진행이 빠르다. 입환 사고는 역 구내의 복잡한 선로에서 차량의 속도와 증량으로 인하여 순식간에 충돌·탈선·접촉 등의 사고가 발생한다.

넷째, 병발사고(併發事故)의 위험이 크다. 입환 작업은 복잡한 역 구내에서의 작업이므로 사고 발생 시 충돌·접촉·탈선 등의 2차 사고로 본선을 운행하는 열차와 차량에 추가 사고를 유발하거나 시설물을 파손시킬 수 있다. 또한, 사고 복구 과정에서 제2, 제3의 병발 사고가 발생할 가능성도 높다.

그 외에도 입환 사고의 특성에 영향을 주는 인자로 작업자 개인이 가지고 있는 인적 특성, 작업 현장의 환

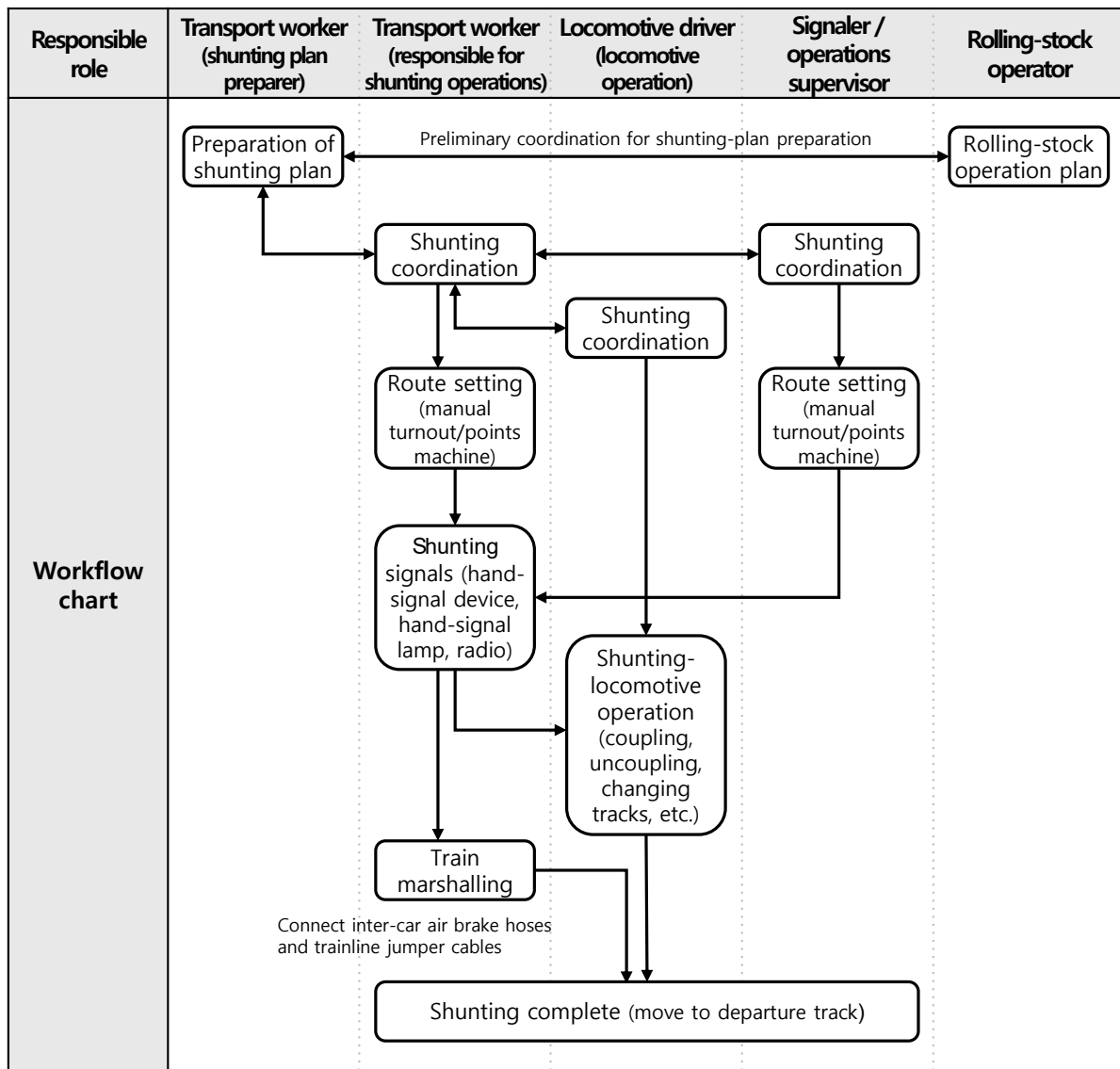


Figure 2. Workflow diagram of shunting operations

경 특성 및 작업 과정의 업무 특성 등과 결합될 때 사고의 개연성이 높아진다. 또한, 역 구내의 구조적인 조건, 선로배선 상태, 빈번하게 변경되는 차량의 이동 선로, 기상 조건 그리고 근무체제와 작업시간 등에도 크게 영향을 받는다.

2. 인적오류 위험사건 분석

철도산업에서 업무 분류는 크게 승무(운전), 영업, 시설, 전기, 관제로 구분할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 업무 분야를 크게 5가지로 구분하였으며, 승무 분야의 경우 세부 분야로 고속철도, 일반철도, 도시철도로 분류하

였고, 영업 분야의 경우 로컬관제, 수송(입환), 열차팀장(승무원)으로 분류하였다. 각 분야별 영역에서 10년간 발생한 위험사건 발생 건수는 Figure 3과 같다.

2012년부터 2021년까지 철도에서 발생한 인적오류에 기인한 위험사건을 분야별로 분석하였을 때 승무(48.1%), 시설(21.5%), 영업(17.8%), 전기(10.0%), 관제(2.6%) 순으로 높은 빈도를 보였으며, 이 중 입환 작업은 전체 인적오류 위험사건의 9.3%를 차지하였다. 그러나 분야별 사고의 중대성을 점수화하여 평균을 비교한 결과 입환 작업에서 가장 높은 평균 점수를 보였다. 이는 입환 작업의 위험사건의 빈도만을 보았을 때에는

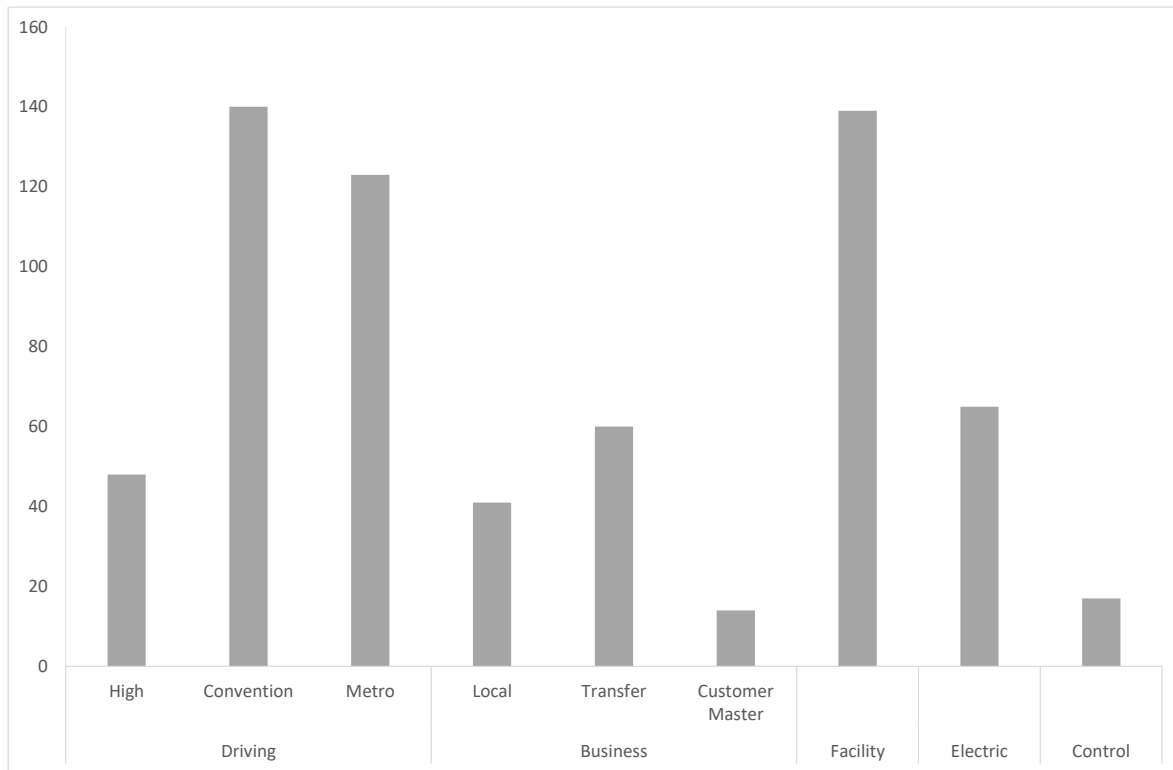


Figure 3. Number of incidents by field

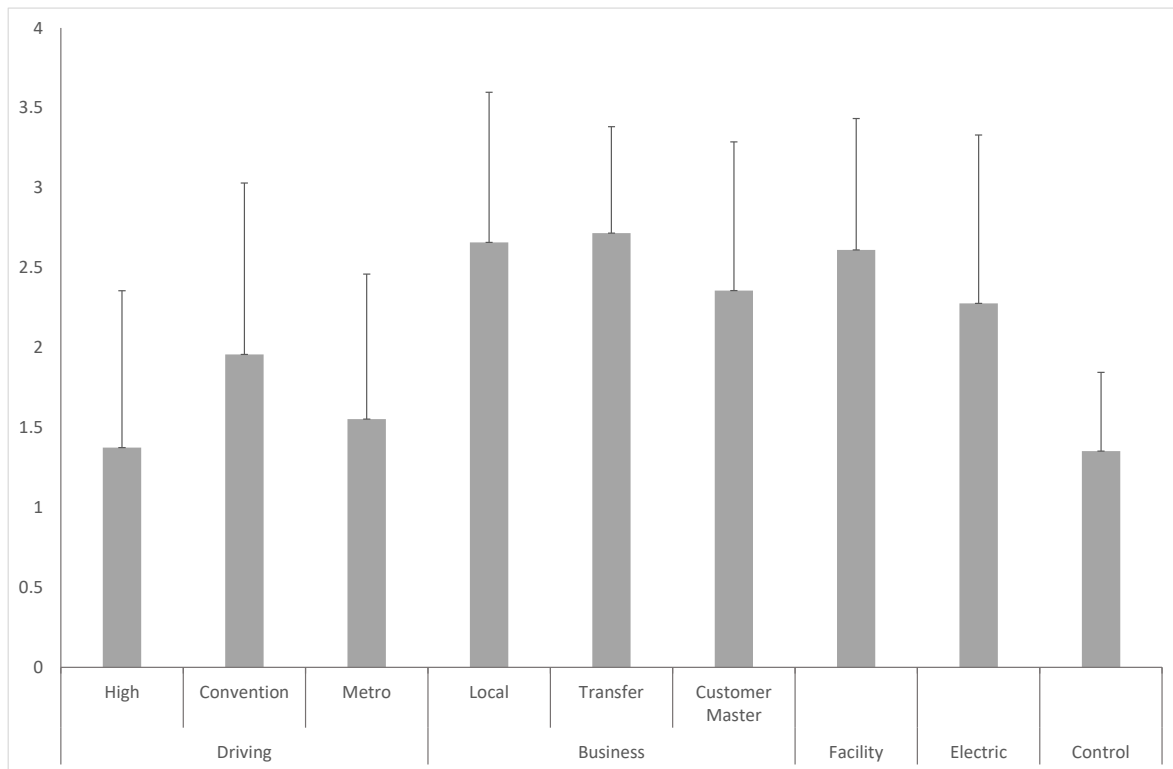


Figure 4. Severity scores of incidents by field

Table 1. Incidents by analysis type during shunting work

	Types	No. of incidents	Proportion(%)
Error types	Execution error	2	3.3
	Decision-making error	40	66.7
	Situation assessment error	13	21.7
	Perception error	5	8.3
Causes	Device error	2	3.3
	Driving coordination miss	1	1.7
	Maintenance miss	3	5.0
	Work method	54	90.0
Results	Power supply failure	1	1.7
	Train operation fault	6	10.0
	Train collision	1	1.7
	Train derailment	2	3.3
	Worker injury	50	83.3

전체에서 큰 비중을 차지하고 있지 않으나, 사건의 결과로 발생하는 피해의 정도가 다른 분야에 비하여 크다는 것을 의미한다. 분야별 중대성 점수의 평균은 Figure 4에 나타나 있다.

철도의 인적오류 사고를 조사하기 위한 방법론인 HEAR의 기준에 따라 입환 작업의 위험사건을 오류 유형별로 분류하였을 때, 대부분의 위험사건은 의사결정 오류(66.7%)로 인하여 발생하였고, 상황판단의 오류(21.7%)에 의한 사고가 그 다음으로 많은 부분을 차지하고 있었다. 또한, 위험사건의 원인을 단순화하여 분류한 결과 90%가 작업방법불량에 해당하였으며, 위험사건의 결과로는 작업자 부상이 83.3%를 차지하였다. 이는 운행 중 뛰어타기·뛰어내리기 등과 같은 위험한 작업불량 행위가 위험도를 높인다는 선행연구 내용 및 의사소통 미흡이 최빈 오류였다는 기존 연구 결과와도 유사한 양상이다.

IV. 고 찰

1981년 제정된 「운전취급규정(철도청훈령 제5302호)」에서는 철도역을 “열차를 정차시키고 여객 또는 화물을 취급하기 위하여 설치한 장소”로 정의하고 있다. 철도역에서 수행하는 업무는 일반관리 및 안전에 관한 업무, 조직 및 인사에 관한 업무, 영업에 관한 업무 등으로 크게 나눌 수 있으며, 일반 국민(고객)의 시각에서는 철도를 대표하는 기관이기도 하다.

이와 관련하여 역에서 이루어지는 업무를 구분해 보면, 주 업무는 여객과 화물을 유치(留置)하는 영업활동과 열차 외 조성 등 입환 업무, 열차를 보내고 도착시키는 운전취급 업무로 구분할 수 있다. 이외에도 역 구내에 산재된 선로시설, 분기장치, 신호장치와 건널목이 있는 경우 건널목 보안장치, 기타 여객이 이용하는 각종 역무 설비에 대한 운용자로서 그 기능의 정상 여부에 대한 점검과 관리를 해야 하는 폭넓은 업무로 분류할 수 있다. 따라서 역 구내의 안전관리는 모든 분야의 업무가 톱니바퀴처럼 맞물려 돌아가는 특성을 보유하고, 각 분야 간의 의사소통과 업무연락 및 유기적인 협력의 필요성이 매우 높은 관계로 철도 시스템에 대한 전반적인 기본지식이 요구된다. 다만, 단순한 교육에만 의존하는 것은 한계가 있으며, 제도개선과 공학적 대책이 병행되어야 한다. 교육, 제도개선, 공학적 접근이 균형 있게 개선되어야 입환 작업의 위험성을 감소시킬 수 있을 것이다(KOSHA, 2004; Bae, 2005). 또한, 운전 보안도 향상과 자동화가 진전되었으나, 조작 착각이나 판단 오류는 절차·조직·설비·환경 등 시스템 요소가 맞물릴 때 여전히 사고로 이어질 수 있다. 따라서 개인 특성에 대한 연구와 시스템 기반 안전개입을 병행해야 한다(Yum & Gal, 2012). 이를 위한 한 방법으로 HRA(인간 신뢰도 분석)와 FMECA(고장형태·영향·치명도 분석)의 결합을 통해 인적·기술적 리스크를 동일 테이블에서 우선순위화하는 운영 의사결정 절차를 활용할 수 있다. 이러한 접근은 유럽의 철도 안전 수명주기 표

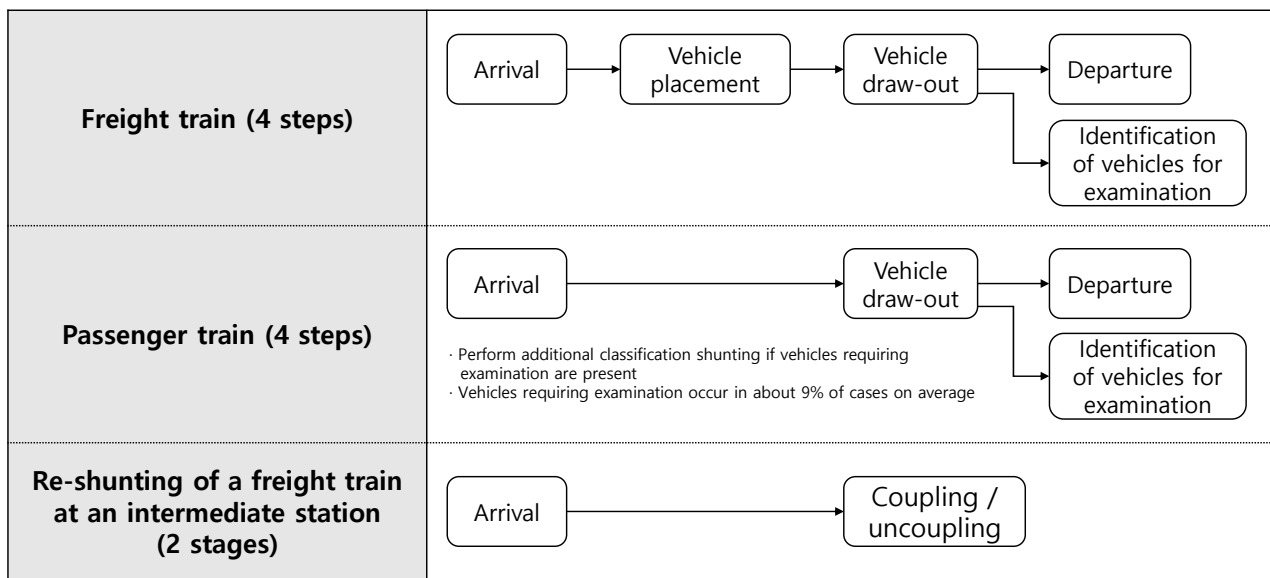


Figure 5. Type of shunting work

준(EN 50126)의 인적요인 통합 요구와 맥락을 같이하며, 설계-운영-유지보수 전 단계에서 인적오류 개입점을 구조적으로 식별하고 저감하는 데 기여할 수 있다(De Felice & Petrillo, 2011).

역 구내 입환 작업은 열차의 조성, 차량의 연결 및 해방, 위치 이동, 다른 선로로 차량을 이동시키거나 하는 작업으로써 출발 입환, 도착 입환, 조성 입환, 불량차 구분 입환 등이 있으며, 화물열차의 경우 운행 중 중간역의 중계 입환이 추가된다. 입환 작업을 할 때 차량의 연결유치에 따라 여러 번 이동하게 되나, 크게 구분해 보면 화물열차는 4단계, 여객 열차는 3 단계의 작업 과정을 거치게 되며, 화물열차의 경우 운행 중 도중역에서 연결·분리작업 과정이 추가된다. 이러한 입환 작업의 종류를 살펴보면 Figure 5와 같다(Kim, 2001).

입환(연결·분리·이동) 특성상 이동 중 무선전호·무선 의존도가 높아 '뛰어타기/뛰어내리기'와 같은 위험행동 및 오신호·오인계가 치명적 결과로 연결될 수 있다. 기존 국내 연구의 위험도 평가에서는 '운행 중 뛰어타기·뛰어내리기'가 가장 높은 위험도로 제시되었고, 기관사-수송원 간 오(誤)소통이 탈선·충돌·파손으로 이어질 수 있음이 지적되었다(Bae, 2005). 이는 최근 HEAR 분석 사례에서도 의사소통 미흡이 최빈 오류로 재확인되었으며, 이에 따라 표준화된 의사전달 절차·용어, 사전 작업협의(briefing), 교차확인 필수 대

책으로 권고되었다(Song, 2018). 국외의 연구에서도 입환·조성 환경은 무전/전호 의존도·반복작업·시간 압박·가시성 저하가 중첩되기 쉬워, 주의 이탈(슬립)·지각 오류·상황기대의 오류가 치명적 결과로 이어질 수 있음을 밝혀냈다. 이에 현장 절차 고도화와 더불어 오류 탐지·회복 메커니즘(피드백 신호, 접근 경보, 이중 확인 등)을 공학적·조직적 방어벽으로 동시 구축하는 것의 중요성 또한 강조되었다(Baysari et al., 2009). 이러한 결과는 본 연구에서 의사결정 오류와 상황판단의 오류로 인하여 사고가 발생한다는 연구결과와 유사한 양상을 보이고 있다. 의사결정 오류의 발생 원인 중 하나는 의사소통의 불명확한 전달에서 기인할 수 있으며, 현재 입환 작업에서 사용되는 무선전호·무선 설비의 '단방향(push-to-talk)·음질 저하·배터리 문제'는 의사전달 오류를 유발하므로 TRS(Trunked Radio System)·Infomobile 등 다자 동시접속·양방향 통신 체계로의 전환이 필요하다. 더불어 입환차량 위험접근 경보와 전철기 불밀착 사전검지센서와 같은 공학적 방어벽을 병행하면 인적오류를 보완할 수 있다.

입환 작업에서 발생하는 중대재해사고를 예방하기 위해서는 아차사고 보고 제도를 고도화하여 근본적인 원인 요소를 찾아내는 것이 중요하다. 체계적으로 보고된 아차사고를 분석하여 사전에 징후를 포착함으로써 불안전요소를 개선하여 더 큰 사고로 발전하는 것을 예방할 수 있다. 영국 등 선진화된 철도 인적오류 관리 시스템

을 구축한 국가의 데이터를 활용하여 이를 반영할 수도 있으나, 각 국가별 철도 시스템의 특성과 그에 따른 규정이 상이하기 때문에 이를 적용하기 어려우며, 국제적으로도 각 철도 시스템 차이로 인해 타국의 안전대책을 그대로 적용하기 어렵다는 점이 지적되고 있다(Lin et al., 2023).

본 연구에서 인적오류 유형을 분류하는데 사용한 HEAR은 국내 철도 환경에 특화된 인적오류 조사 방법이다. 철도 도메인에서는 HFACS(항공 유래 인적요인 분석체계)와 TRACEr-rail(철도 특화 인지오류 분석도구)가 상보적으로 사용되며, 주의·지각 실패(신호 인지 지연/오인), 기대 편향, 경계 저하, 루틴 위반이 반복되는 핵심 오류군으로 분류된다. 특히, 운전 중 지각 영역 오류와 정지 실패(적신호 미정지)가 빈발하며, 조직·감독·설비 설계의 잠재오류(latent)가 사건에 구조적으로 관여하는 양상이 보고된다(Baysari et al., 2009). 이러한 도메인의 특성을 반영하여 HEAR 기법이 제작되었으며, HEAR·RCA로 2008-2018년 45건을 분석한 결과, 의사소통 미흡이 가장 빈번한 오류(16.76%)로 도출되었고, Bow-tie는 위험사건→사고 전개 과정에서 방어벽 실패 요인을 구조적으로 드러내는 데 활용되었다(Song, 2018). 이는 HEAR 분석 체계와 기존의 인적오류 분석 방법을 활용하게 되면 철도 분야에서 다각화된 오류 원인을 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 철도 종사자의 입환 작업에서 발생하는 인적오류에 주목하여 주로 열차 운전 업무를 다룬 기존의 연구들과 차별화를 두었다. 연구 결과 의사소통 및 작업 방법상의 오류가 두드러졌는데, 이는 신호위반 등 운전 관제 사건에서 빈발하는 오류 양상과는 다른 측면을 드러낸다. 이러한 발견은 위험한 작업행동과 불명확한 의사전달을 줄이기 위해 작업 전 협의 강화, 표준 통신절차 준수, 교차확인 제도화 등 안전문화를 공고히 하는 조직적 개입의 중요성을 시사한다. 한편, 본 연구는 국내 철도기관의 보고서에 의존하였으므로 조사 과정에서 잠재적 원인이 누락되었을 가능성이 있고, 10년간의 자료에 대한 분석은 시간 경과에 따른 안전정책 변화 효과를 충분히 반영하지 못한 한계가 있다. 따라서 향후에는 다기관 데이터나 근접오류 보고까지 포함한 확장 연구가 필요하며, 제도적으로도 인적오류 분석 지원 시스템과 체계적인 근로자 안전관리 지침 마련이 요구된다.

V. 결 론

본 연구는 철도사고 중 본선에서 발생하여 피해가 크고 사회적 물의가 크게 야기되는 사고를 예방하기 위하여, 역 구내에서 이루어지는 입환 작업 중 발생하는 인적오류 사고를 다양한 시각에서 분석하였다. 기존의 사고예방 대책이 대체로 신속하게 실현되어 최근에는 철도사고가 크게 감소하는 효과를 거두고 있었으나, 철도역 구내에서 발생하는 차량탈선과 파손사고는 대부분 관심이 집중되지 않아 체계적인 안전관리가 소홀한 점이 지적되었다. 따라서 현재 철도역 내 입환 작업과 관련된 인적자원의 관리실태 및 사고분석을 통한 인적오류 사고를 집중적으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 역 구내 수송업무에 종사하는 직원에 대한 전문성 제고를 위한 인사관리 및 교육제도 개선이 이루어져야 한다. 역 구내 입환 작업은 기관사와 수송원 간 또는 수송원 상호 간에 의사전달 수단(전화기, 무선전화 등)을 통하여 멀리 떨어진 거리의 기관사에게 의사를 전달하고, 차량을 운전하도록 하여 연결 및 해방하는 작업으로 고도의 경험과 숙련이 요구되는 업무이다. 따라서 수송원에 대한 전문화 교육과 역의 특성을 반영한 안전교육의 필요성이 재고된다. 또한, 신규입사자와 소속의 직무교육에 있어서도 차량의 제동에 관련된 제동거리와 공기호스 취급방법 등을 교육하여, 차량이동 중 속도 절제시기와 정지전호 현시시기에 대한 정확도를 높일 수 있도록 함으로써 차량상호 간 충돌사고를 예방하여야 한다. 교육·인사의 강화와 함께 시스템적 보완도 병행되어야 한다. 수송원의 판단 오류가 있더라도 치명적인 결과로 이어지지 않도록 표준화된 의사전달 절차 및 교차확인, 작업 전 브리핑, 인적요인에 대한 설계를 관리기준에 내재화하고, 사건·사고 데이터에 기반한 인적오류 분석 지원시스템을 운용해 동종 재발 방지 학습 사이클을 구축하는 것이 바람직하다(Song, 2018; Won et al., 2023).

둘째, 현업직원들의 취급 부주의 사고 방지를 위한 안전시스템을 보강하여 취약요인을 근본적으로 해소하여야 한다. 현재 입환 작업 과정에서 의사전달 수단으로 주로 사용하고 있는 기존의 무선전화기는 사용에 불편함이 많아 의사전달 과정에서 인적오류를 유발하고 사고를 야기할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 외국의 선진화된 철도에서 사용하고 있는 TRS 방식이나 Infomobile System

으로 개선하여 양방향 통화를 의사전달이 정확하게 이루어져야 한다. 또한, 입환 차량이 불안정한 운전으로 입환 시도 시에는 사전에 경보를 발하는 경보시스템을 설치하여 작업자의 안전을 도모하여야 하며, 아울러 전철기 첨단부 불밀착으로 인한 탈선 사고를 예방할 수 있도록 불밀착 사전 검지 장치를 설치하는 것이 효율적이다.

셋째, 직원들이 자신의 신체적 취약요인을 사전에 발견하여 대처할 수 있도록 과학적인 시스템개발이 시급히 요구된다. 기관사 및 차장과 같은 열차 운전 취급 업무 종사자의 경우, 출무 시 출무 적합성 검사를 통하여 관리감독자가 신체·정신적 이상 여부 등을 확인하고 있으나, 이러한 직무감독 방식만으로는 이상 여부를 정확히 파악하는데 한계가 있다. 특히, 철도수송 업무는 단순 반복적인 업무가 계속 이어지기에 작업자의 상태를 지속적으로 점검하는 것이 필요하며, 이례적인 상황 발생 시 순간 판단이 매우 중요하므로 수송원들의 실수 성향 척도, 지루함 척도, 과로증상 척도, 스트레스 취약성 척도를 조기발견 및 대처할 수 있도록 자기진단 프로그램을 개발·보급하는 것이 필요하다. 또한, 기관사·수송원 등 안전업무 종사자의 피로·스트레스·과로·주의력 결핍을 정기적으로 스크리닝하여 고위험군을 식별한 후 배치전환·휴식 처방·심리상담 연계를 포함한 개인 맞춤형 조치가 병행되어야 하며, 절차준수·중복확인·결합된 피드백 교육으로 '개인요인→조직방어벽'의 연계를 강화해야 한다(Kim, 2001; KOSHA, 2004). 이러한 다층적 방어벽을 구축하는 것을 통해 스스로에 대한 이해도를 높이고, 경계심을 갖도록 하여 취급부주의에 의한 사고를 예방할 수 있고, 객관적인 건강 상태를 반영하여 과학적인 인적오류 예방체계를 확립할 수 있을 것이다.

향후 연구에서는 입환 사고를 예방하기 위하여 직무 전문성 제고를 위한 개선방안, 안전시스템 보강방안, 인적 취약요인 사전발굴·대처를 위한 자기진단 프로그램 개발방안 등이 고려되어야 할 것이다. 특히, 본 연구를 통해 도출된 개선안들의 효과를 검증하기 위한 현장 실증 연구와 아차사고 데이터의 체계적 수집·분석 및 인공지능 기반 인적오류 예측 모델 개발 등의 후속 연구가 필요하다. 나아가 철도 안전관리체계에 인적요인 분석 기법을 고도화 및 체계화하고, 근로자 맞춤형 안전관리 지침을 수립하는 노력이 병행되어야 할 것이다. 이러한 다각도의 노력은 입환 작업장의 사고 저감과 철도 안전문화 정착에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 산하 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호 RS-0023-00239464).

References

- Bae JH. A study on risk assessment of railway shunting accident causes at railway station yards[*master's thesis*]. Seoul: Sungkyunkwan University; 2005
- Baysari MT, Caponecchia C, McIntosh AS, Wilson JR. Classification of errors contributing to rail incidents and accidents: A comparison of two human error identification techniques. *Safety Sci.* 2009;47(7): 948-957
- Choi JY, Park CW, Yum BS. Identification of risk factors in HSE domains to improve safety of railway workers. *J Korean Inst Plant Eng.* 2021;26(4):115-12
- De Felice F, Petrillo A. Methodological approach for performing human reliability and error analysis in railway transportation system. *Int J Eng Technol.* 2011;3(5):341-353
- Gawlak K. Analysis and assessment of the human factor as a cause of occurrence of selected railway accidents and incidents. *Open Engineering.* 2023; 13(1):20220398
- Joo CH. An empirical study on reducing human error in high-speed rail driving tasks [*doctoral dissertation*]. Seoul: Myongji University; 2014
- Kim DS, Baek DH, Yoo SY, Yoon WC. Development of a methodology for analyzing human error in railway operations. *Proceedings of the Korean Society for Railway Conference.* 2009;1817-1827
- Kim HK. A study on the efficient management plan for prevention of railway accidents—focused on station yard accidents[*master's thesis*]. Daejeon: HanNam University; 2001
- Kim SJ, Lee CK, Yum BS, Gal WM. Accident-cause analysis of railway workers using Heinrich & Bird's domino theory. *J Korean Inst Plant Eng.* 2022; 27(1):21-32
- Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA). *Safety Management Models for Major Railway Works.*2004
- Kyriakidis M, Pak KT, Majumdar A. Railway accidents caused by human error: Historic analysis of UK

- railways, 1945–2012. *Transp Res Rec.*2015;2476:126–136
- Lee SW. Human error analysis of worker-related accidents during railway shunting operations [master's thesis]. Cheongju: Chungbuk National University, Graduate School of Industry; 2003
- Lin CY, Blumenfeld M, Gerstein T, Barkan CP, Jack A, Abdurrahman UT. International benchmarking of railroad safety data systems and performance—a cross-continental case study. *J Rail Transp Plan Manag.* 2023;26:100384
- Pang H, Li C, Guo Z, Zhang J. Using HFACS to understand human error in railway dispatcher performance: A study of proactive safety inspection records. *Ergonomics.* 2025;68(1):37–50
- Song SH. Human Error Improvement of Station Employee (Case Study on Korail)[master's thesis]. Seoul: Seoul National University of Science and Technology; 2018
- Won JU, Kim CN, Kim TY, Yum BS. A basic study on the prevention of human error by deriving risk factors in railway accident analysis. *J Korean Inst Plant Eng.* 2023;28(4):83–92
- Yum BS, Gal WM. Comparative analysis of personal characteristics of train drivers and human error accidents. *J Korea Safety Management & Science.* 2012;14(4):85–91

<저자정보>

김태윤(박사과정), 김치년(교수), 박찬우(실장), 염병수(교수)