

# AI기반 철도안전시스템 개선을 위한 철도현장 위험요소 도출에 관한 연구

## A Study on the Derivation of Risk Factors in Railway Site for the Improvement of Artificial Intelligence(AI)-Railway Safety System

정 훈\* · 이 상 훈\*\* · 김 장 욱\*\*\* · 권 수 영\*\*\*\*

\* 주저자 : 파워메카(주) 대표이사

\*\* 공저자 : 한남대학교 경영학과 부교수

\*\*\* 교신저자 : 한국철도공사 철도연구원 책임연구원

\*\*\*\* 공저자 : 한국철도공사 디지털융합본부 차장

Hoon Jung\* · Sanghoon Lee\*\* · Jangwook Kim\*\*\* · Sooyoung Kwon\*\*\*\*

\* CEO, Powermecca Co., Ltd.

\*\* Associate Professor, Dept. of Business Administration Hannam University

\*\*\* Senior Researcher, Korail Research Institute, Korea Railroad Corporation

\*\*\*\* Deputy Director, Dept. of Digital Convergence Headquarters, Korea Railroad Corporation

† Corresponding author : Jangwook Kim, kjw@korail.com

Vol. 23 No.5(2024)  
October, 2024  
pp.234~247

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.5.234>

Received 7 October 2024  
Revised 14 October 2024  
Accepted 16 October 2024

© 2024. The Korean Society of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요 약

본 연구는 철도종사자에 대한 철도사고 분석을 통해 철도현장 종사자의 문제점을 도출하고  
작업자 안전성 확보방안을 제안하고자 한다. 첫째, 철도종사자들의 의견수렴을 거치는 FGI  
(Focus Group Interviews)를 통해 철도사고에서 중요한 작업자 안전성의 요인을 크게 4가지로  
유형화한다. 철도현장 및 철도종사자 문제점과 관련이 깊은 안전설비, 위험차단, 작업시간 및  
협업, 안전교육 등 4개 요인을 중심으로 20개 세부요인을 도출한다. 둘째, 철도현장의 종사자  
들을 방문하여 설문 조사와 인터뷰를 실시하였고, 이를 통해 철도현장 및 철도종사자 문제점과  
관련한 요인 중 어떤 요인이 가장 큰 영향을 미치고, 어떤 요인이 영향을 미치지 않는지  
규명한다. 결과적으로 철도종사자들이 생각하는 철도현장에서의 요인별 문제점과 안전성  
확보방안을 도출한다. 따라서 본 연구는 향후 철도현장 작업자의 안전성 확보 및 인공지능 기반  
철도안전시스템 구축을 위한 중요한 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

핵심어 : 철도종사자, 철도사고, 표본집단면접법, 인적오류 유형화

### ABSTRACT

The purpose of this study was to assess the problems of workers at railroad construction sites  
and suggest ways to ensure worker safety through the analysis of accidents and worker problems at  
these sites. First, the important worker safety factors in railway construction accidents were  
categorized into four types through focus group interviews (FGIs). Second, the factors that had the  
greatest impact on the problems related to railway sites and workers were identified by conducting  
surveys and interviews. The problems relating to each factor and ways to ensure safety at the railway  
sites were identified. Thus, it is believed that this study can provide important evidence for securing  
the safety of railroad workers and establishing an artificial intelligence (AI)-based railway safety  
system in the future.

Key words : Railroad Worker, Railway Accident, Focus Group Interviews, Human Error Classification

## I. 서 론

일명 “김용균법”이라고 불리는 산업안전보건법 개정안이 2018년 국회를 통과하면서 산업현장에서의 안전 규제가 대폭 강화되었고, 현장 근로자들의 안전 및 보건 조치가 의무화되는 등 근로자 보호에 대한 중요성이 점점 높아지고 있다. 이에 따라 산업현장에서는 현장 안전조치를 강화, 전담조직 확충, 전문 교육 제공 등 근로자들의 안전의식 함양 및 건강한 업무 환경을 구축하여 근로자들의 안전성 확보를 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. 이에 따라 학계에서도 철도, 항공, 건설 등 주요 안전관리 분야에서 산업재해를 방지하고, 안전성을 확보하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 상황이다(Jeong and Park, 2004; Kim and Ryu, 2017). 특히, 철도 분야 안전사고의 경우 사고의 위험에 순간적으로 노출되며, 한번 철도 사고가 나면 사고의 규모와 피해가 크게 발생한다는 특성을 보인다. 그 이유로는 대규모 터널·교량 및 차량·선로·역 등 다양한 형태의 건설 제반 인프라와 궤도 및 노반 건설, 전기·통신장비 설치, 신호 작업 등 종합적이고 복잡한 에너지 공급시설·철도 관리 시스템으로 구성되어 있다는 점이다. 또한, 차량 무게와 속도의 관계에 따라 제동거리의 변화가 심하여서 그만큼 사고에 대한 불확실성이 높기 때문이다. 또한, 철도 분야의 작업자들은 기존의 열차 운행선로와 인접한 곳에서 관제, 운전, 시설, 전기, 차량 등의 다양한 작업 공정을 수행하기 때문에 사고의 진행이 급속하게 진행되며 두 가지 이상의 사고가 동시에 발생하는 병발 사고의 위험이 크다고 볼 수 있다(Kim, 2005). 이러한 이유로 철도 분야의 재해 강도 및 중대한 재해 발생 빈도는 계속적으로 증가하는 모습을 보여준다. 철도종사자의 안전성을 확보하기 위해서 철도산업발전기본법, 철도안전법, 철도건설법 등 다양한 법률 등이 이미 제정되었고, 이러한 법률을 기반으로 철도건설 공사현장에서는 안전사고 예방을 위한 다양한 노력을 해오고 있지만 이러한 안전법규나 제도가 재해를 예방하는데 중요한 통제나 규제수단이 되지 못하고 사고 발생 후 사후처방의 역할만 하는 한계가 있다(Dekker, 2000). 따라서 철도 건설공사 사고를 방지하기 위해서는 현실적으로 철도현장 작업자의 철도안전 시스템을 요인별로 유형화하여 체계화하고, 유형별로 구체화된 안전성 확보방안을 마련하는 것이 필요하다. 하지만 산업현장에서의 이러한 노력에도 불구하고 사실, 학계에서의 이와 관련된 논의가 부족한 것은 사실이다. 철도현장 안전성 확보방안과 관련된 대부분의 기존 연구는 대부분 인적오류 이론에 초점이 맞춰져 인적오류 개선에 대해서 파악하고 있다(Kim and Ryu, 2017; Kim and Hwang, 2021; Lee, 2023). 사례 분석 또는 시스템 다이내믹스, 인과 순환지도 등의 방법론을 통해 철도종사자 인적오류에 대해서 분석하고, 인적오류의 주요 요인인 운전설비, 운전 직무, 근무 환경 등을 종합적으로 고려한 개선방안의 수립이 필요하다고 제안하기도 하였다(Yum and Gal, 2012; Byun, 2013, Chung and Lee, 2018). 그리고 대부분의 연구들은 인적오류의 대상자를 철도교통관제사, 기관사, 안전 업무 종사자 등에 한정하여 분석을 실시하였다(Kwak, 2007; Kim and Ryu, 2017; Ahn, 2007; Chung, 2016). 하지만 이러한 노력에도 불구하고 철도 현장 및 철도종사자를 대상으로 문제점을 파악한 연구는 극소수이며, 작업 현장에서 발생하는 다양한 요인 인자를 유형화하여 요인이 실제 사고에 미치는 영향에 관해서 파악한 연구는 부족한 현실이다. 따라서 본 연구는 국내 철도 현장에서 발생한 사고 및 운행 장애, 작업자 안전사고 등을 심층 분석하여 철도 현장 및 철도종사자의 문제점을 도출하고 작업자 안전성 확보방안을 제안하는 데 목적이 있다. 우선, 철도종사자를 대상으로 기존에 존재하지 않았던 철도건설 사고에서 중요한 철도종사자 안전성의 요인을 크게 4가지로 유형화하였다. 전국의 철도종사자를 직접 만나서 의견수렴을 거치는 FGI(Focus Group Interviews)를 통해 철도 현장에서 벌어질 수 있는 상황적 요인을 분류하여 체계화하고, 주요한 질문 항목은 철도 현장 및 철도종사자 문제점과 관련이 높은 안전설비, 위험차단, 작업시간 및 협의, 안전교육 등 4개 요인을 중심으로 20개 세부 요인을 도출한다. 둘째, 철도종사자의 의견수렴을 위한 표본집단면접법(FGI: Focus Group Interview)을 통해 철도 사고와 관련하여 철도 현장 및 철도종사자에 대한 문제점과 위험성 요소

중 어떤 요인이 가장 큰 영향을 미치고, 어떤 요인이 영향을 미치지 않는지에 대하여 정확하게 규명하고, 이를 기반으로 한 철도 현장에 대한 위험 요소 도출 결과는 궁극적으로는 AI기반의 철도안전시스템 구축 및 개선하기 위한 중요한 근거 자료로 활용하는 데 목적이 있다.

## II. 이론적 배경

### 1. 철도 안전관리의 기본 요소

복합 시스템으로 구성된 철도산업의 안전관리에 대한 이해를 높이기 위해서는 철도 사고의 특성을 살펴볼 필요가 있다(Kim, 2005). 첫째, 철도 사고의 경우 시간적으로 매우 갑작스럽게 일어나며 사고의 진행 속도가 매우 빠르게 이루어진다. 열차를 운영하는 과정에서 모든 기기와 장치가 정상적으로 작동하다가 순간적으로 기능이 정지되는 등 사고의 위험이 순간적으로 노출되는 경우가 종종 발생한다. 또한, 철도 분야는 열차 차량의 무게와 열차의 속도 간 함수관계에 의하여 제동거리의 변화가 심하므로 순식간에 충돌·탈선 등 중대한 결과를 가져오는 모습을 보이기도 한다. 따라서 철도 안전사고의 경우 시간적인 여유가 허용되지 않는다는 특성을 보인다. 두 번째로는 철도 사고는 사고의 규모가 매우 크기 때문에 한 번 사고가 일어나면 피해의 정도가 매우 높아진다. 열차의 중량과 속도는 사건 발생 시 충격량이 매우 많이 가해지기 때문에 피해가 대규모로 일어나 인명피해가 커질 가능성이 크며, 한번 사고가 발생하면 병발 사고가 이어질 확률이 매우 높다. 또한, 열차를 운행하기 위해서는 관제, 운전, 시설, 전기, 차량 등 분야별로 업무를 수행하는 관계로 사고 발생 처리를 위한 사고 책임 관련자들도 다수 발생 될 수 있는 특징을 보여준다(Kim, 2005; Kim and Ryu, 2017). 대표적인 철도 인접공사 사고 유형을 살펴보면 크게 사상사고와 운행 장애로 나눌 수 있다. 우선, 철도 인접공사 사상사고의 경우, 작업자와 열차 또는 차량의 접촉으로 인한 사고, 전기 감전으로 인한 사고, 작업 중 당하는 부상 사고 등이 포함된다. 작업자와 열차 또는 차량의 접촉으로 인한 사고는 소음 등으로 인해 열차 접근을 인지 못 하거나 열차 감시인을 배치하지 않았거나 열차 감시인이 업무 수행을 소홀히 했거나 작업협의를 하지 않고 마음대로 작업할 때 발생하는 경우가 많다. 전기 감전으로 인한 사고는 작업자가 직접 전차선로에 접촉하여 발생하는 사고와 작업 도구나 자재 등이 전차선에 접촉하여 감전되는 사고가 포함된다. 작업 중 당하는 사고는 작업 장비 전도 및 추락, 구조물의 탈착 등에 의한 충격, 전도, 추락, 협착으로 작업자 등이 사상 경우 등이 포함된다. 둘째, 인접 공사의 운행 장애의 경우, 철도 인접 공사 운행 장애는 선로 고장 및 장애물에 의한 선로 장애, 전차선 단전으로 인한 급전 장애, 열차운행 제어장치인 CTC나 신호 보안 장치 등의 기능상실로 인한 신호 장애, 열차 또는 공사 차량의 탈선, 충돌, 파손으로 인한 차량 장애, 작업 지연 장애 등이 포함된다(Dekker, 2000). 이에 철도 안전관리를 위해서는 철도사고 요인 중 인적오류뿐 만 아니라 조직적인 요인과 조직체계 및 관리 감독상 안전 방법(안전장치, 경보시스템) 등까지 확대하여 명확하게 규명하고 이를 막기 위한 효과적인 피드백 방안을 마련하는 것도 필요하다.

### 2. 철도 안전관리 및 인적오류에 관한 연구

철도 분야 인적오류 예방과 개선에 관한 연구를 살펴보면 Kim and Ryu(2017)은 철도교통 관제사를 대상으로 인적오류의 원인을 분석하기도 하였고, Ahn(2007)은 기관사, 관제사를 대상으로 대상별 차이에 대해서 구분하여 인적오류의 차이를 파악하기도 하였다. 안전 업무 종사자와 철도기관사에 대한 인적오류에 대한 유형을

분석하고 요인별 차이에 대해서 파악하기도 하였다(Kwak, 2007; Chung, 2016). Dorrian(2011)은 호주 철도 기관사의 업무가 반복적이고 단조롭지만, 업무 부하가 많이 생기기 때문에 피로에 매우 취약할 수 있다고 지적한다. 또한, 교대근무로 인해 규칙적이지 않은 업무를 수행하기 때문에 수면 부족에 직면할 가능성이 크고, 기관사 피로 문제를 해결하기 위해서는 수학적 예측을 통해 관리해줄 필요가 있다고 제시하고 있다. Yum and Gal(2012)는 인적오류가 대부분 철도기관사의 착각 또는 착오 때문에 발생하는 경우가 많고 이를 예방하기 위해서는 철도기관사의 지적확인 환호응답에 대한 교육이 필요하다고 설명한다. 즉, 인적오류 예방하기 위해서는 꼭 필요한 지적확인만 할 수 있도록 규정화를 도입하여 체계화할 필요가 있다고 강조하고 있다. Byun(2013)은 인적오류에 영향을 미치는 요인을 운전설비, 운전 직무, 운전/근무 환경으로 구분하여 최상의 하드웨어, 소프트웨어, 조직, 제도, 근무 환경 등의 요인들에 대한 개선방안이 이루어져야 하고, 철도 사고의 원인 규명 및 대책 수립 시스템을 함께 개발해야 한다고 주장하였다. 또한, Lee(2014)은 기관사의 안전행동에 영향을 주는 요인들에 대해서 분석했고 주요 요인으로 성격, 인지, 조직문화, 안전풍토 문화, 일과 삶의 균형 등으로 구분하였다. Wang and Kim(2015)은 철도 위험사고 모델을 제시했는데 이 모델의 주요 인자로 기술적 결함, 관리적 결함, 인적 위험요인을 포함하였다. 이를 기반으로 위험사건 발생모델과 사고 시나리오를 함께 제시하기도 했다. Kim and Lee(2018)은 인적오류를 예방하고 안전성 확보방안을 마련하기 위해서 인적요인 요소, 현업직무 요소, 환경적 요소, 조직 요소, 운전 숙련도 요소, 운전업무 스트레스 요소 등으로 구분하고, 요인별 인적오류를 감소시키는 개선방안을 제시하였다. 앞에서 살펴본 바와 같이 대부분이 인적오류 문제점 도출과 개선방안을 제시하는 연구 위주로 많이 수행되었으며, 특히 도시철도 기관사를 대상으로 연구가 집중된 반면 철도 현장 및 철도종사자에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 특히 요인 인자를 유형화하거나 각 요인별 문제점과 개선방안을 도출한 연구는 부족하다. 이에 본 연구에서는 철도 현장 및 철도종사자에 대한 요인별로 문제점을 분석하고 위험성 요소를 도출한 후 안전성 확보방안을 제언하고자 한다.

### III. 연구 방법

#### 1. 연구 설계

철도 현장에서 발생한 사고 및 운행 장애, 작업자 안전사고 등을 심층 분석하여 철도 현장 및 작업자의 문제점을 도출하고 작업자 안전성 확보방안을 제시하기 위해 설문조사를 진행한다. 철도 현장 작업자는 영업, 승무, 차량, 시설, 전기분야 등 다양하게 분포되어 있으므로 철도 종사자에 대한 문제점을 파악하는 것은 범위가 너무 광범위해서 현실적으로 불가능하다. 따라서 철도 사고가 발생하면 사회에 미치는 영향이 크고 사상자도 많이 발생 되는 철도 현장 작업자에 초점을 맞춰 연구를 수행한다. 첫째, 설문 구성을 위한 문항 설계 작업이다.

문헌 고찰을 통해 철도 현장 및 철도종사자 문제점과 관련이 깊은 세부 요인을 도출하고, 설문 구성을 위한 요인을 유형화한다. 철도종사자를 대상으로 의견을 수렴하기 위해 15일간 표본집단면접법(FGI: Focus Group Interviews)을 수행한다. 철도종사자의 의견을 수렴하여 4개의 요인을 중심으로 20개의 세부 요인을 도출하여 측정 문항을 작성한다. 둘째, 설문조사 결과를 토대로 빈도분석을 사용하여 평균 및 표준편차 등을 도출하며, 철도 현장 및 철도종사자 문제점과 관련된 요인들이 작업자 문제점에 어느 정도의 영향력을 미치고 있는가를 분석하기 위하여 요인분석(Factor Analysis)의 통계기법을 활용한다. 셋째, 마지막으로 도출된 각각 요인별 문제점을 바탕으로 철도 현장 및 철도종사자 안전성을 확보하기 위한 AI기반 철도안전시스템 개선방안을 제언한다.

## 2. 설문 자료 수집 및 분석 방법

철도종사자를 대상으로 의견을 수렴하기 위해 총 225명을 대상으로 설문조사를 수행하였고 철도종사자의 근무지 현황은 아래 <Table 1>과 같다. 표본 추출방법(Sampling Method)은 열차운행선로 및 주변에서 근무하는 철도종사자를 모집단(Population)으로 하였으며, 조사표본은 모집단인 6개 지역 철도종사자 225명을 대상으로 전수조사하였다. 그러나 225명 중 응답에 불성실하게 답한 19명(8.4%)을 제외한, 206(91.6%)명의 응답치를 유효표본으로 하여 분석하였다.

<Table 1> Status of survey including railroad workers

Location	Seoul	Busan	Daejeon	Gwangju	Yeongju	Jecheon	Total
No. of People	32	28	61	18	22	45	206

## VI. 분석 결과

### 1. FGI를 통한 작업자 안정성 시스템의 유형화

철도종사자 문제점과 관련된 안전설비, 위험차단, 작업시간 및 협의, 안전교육의 4개 요인별로 각각 중요성이 높은 세부 요인을 추출하였다. 철도 현장 및 철도종사자의 문제점 측정에 가장 적합하다고 판단되는 요인들의 우선순위를 물어보았고, 우선순위의 결과를 토대로 최종적으로 20개의 세부 요인을 추출하였다. 결과적으로 첫째, 안전설비에 관한 문제점으로 나타난 세부 요인은 안전보호구 착용 여부, 안전장치 설치 적정성, 안전 시스템 효과성으로 나타났다. 둘째, 위험차단과 관련된 세부 요인은 총 7개로 구성되었다. 작업계획서 숙지 상태, 지적확인 환호 응답 및 위험 예지 훈련 시행, 작업책임자 등 안전관리자 배치, 차단작업 원칙, 작업공정별 표준화, 작업 소음, 열차 감시원의 위험차단 여부 요인이다. 셋째, 작업시간 및 협의 요인은 총 4개의 세부 요인으로 작업시간 확보, 유지보수시간 확보, 작업책임자와 관리감독자 업무협의, 관제 승인 요청 등이다. 마지막으로 안전교육과 관련된 세부 요인으로는 관련법(사규 등) 준수, 작업자 안전교육 시행, 작업 관련자 안전교육 시행, 안전문화 확산 등이며 요인별 유형화의 세부 내용은 <Table 2>에 나타나 있다.

<Table 2> Classification of factors for railroad site worker's problem

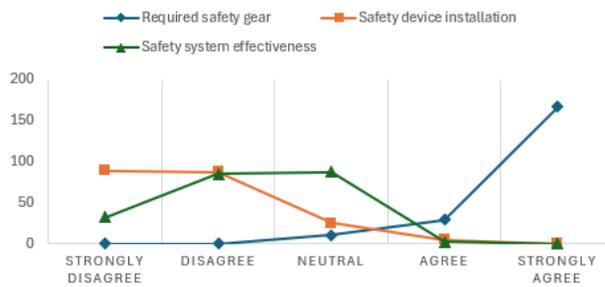
Main factor		Sub factor
Problems of Railroad site worker	Safety equipment	Required safety gear
		Safety device installation
		Safety system effectiveness
	Risk protection	understanding the work plan
		Implementation of Intellectual confirmation cheers response and risk prediction training
		Placement of safety managers
		Principle of work protection
		Standardization by work process
		Working area noise

Main factor	Sub factor
Working hours and consultation	Risk protection of railway monitoring manager
	Securing working time
	Securing maintenance time
	Consultation between work manager and supervisor
	Request for control approval
safety training and education	Compliance with relevant laws
	Implementation of worker safety training
	Implementation of safety training for the person in charge
	Spreading safety culture

## 2. 안정성 시스템 요인별 설문 분석 결과

### 1) 안전설비 요인의 분석 결과 및 정책적 제언

안전설비 관련된 3가지 요인의 분석 결과는 <Fig. 1>과 같다. 철도종사자가 작업 시행과정에서 안전보호구 착용을 얼마나 하고 있는가에 대한 항목에 대한 평균은 5점 척도의 4.5645점(표준편차 0.7466)으로 매우 높게 나타났고, “매우 그렇다”라는 응답자가 167건(81.0%)으로 대부분 안전보호구 착용을 잘하고 있는 것으로 파악되었다. 하지만 “보통이다”라고 응답한 수도 10건(4.9%)이나 되어 이에 대한 관리가 필요해 보인다. 그리고, 철도종사자가 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 작업자를 보호할 수 있는 안전보호장치로 작업표지, 단락용 동선 등이 있는데 이것으로 작업자를 충분히 보호할 수 있는가에 대한 안전보호장치 설치의 적정성 관련 설문의 평균은 2.16333(표준편차 0.7834)로 높지 않게 나타났다. 부정적 의견인 “매우 그렇지 않다”가 89건(43.2%), “그렇지 않다”가 87건(42.2%)건으로 현재 사용하고 있는 안전보호장치로는 작업자의 안전을 확보하기에 매우 어려운 상황이라는 것을 보여주고 있다.



<Fig. 1> Results of survey for safety equipment factor

철도종사자가 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 작업자를 보호할 수 있는 안전보호장치 등 철도안전시스템이 효율적으로 작동되고 있는가에 대한 철도안전시스템의 효과성 관련 질문에는 평균이 1.6895(표준편차 0.7992)로 매우 낮게 집계되었다. “매우 그렇지 않다”가 32건(15.5%), “그렇지 않다”가 85건(41.3%)로 현재의 철도안전시스템은 매우 작업자들에게 부정적으로 느껴지고 있고 안전을 확보하기에 효율성이 매우 낮다고 파악되었다.

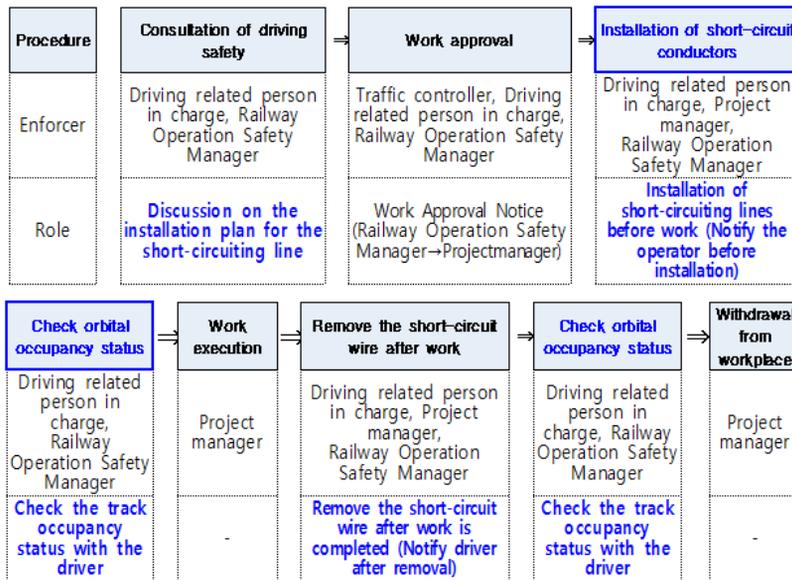
철도작업현장에 안전설비는 너무나 다양하고 그 수가 많지만 가장 중요하다고 생각하는 안전보호구 착용 여부, 적절한 안전보호장치 설치, 철도안전시스템 효과성의 3개 항목을 선정하여 작업자들에게 그 문제점과

개선방안에 대해서 인터뷰를 시행하고 결과를 분석하였다. 설문조사와 인터뷰에서 나온 결과를 바탕으로 다음과 같이 문제점을 도출하였다. ① 대부분 철도 작업자들은 안전보호구 착용이 생활화되어 있는 것으로 보이지만 여전히 미 착용하는 작업자들도 존재한다는 것을 알 수 있었다. 이에 따라 작업책임자는 수시로 안전 보호구 착용의 중요성을 각인시키고 착용 여부를 점검하여 관리할 필요가 있어 보인다. ② 현재 사용되고 있는 안전보호장치는 대부분 수동으로 작업표지나 단락용 동선을 설치하는 경우가 많지만 이러한 방법으로는 안전성 확보가 어렵다는 의견이 대다수였다. 따라서 철도 작업자의 사상사고를 줄이기 위해서는 작업자 안전장치를 보강할 방안이 강구되어야 할 것이다. ③ 철도안전 시스템의 효과성도 매우 낮게 낮게 나타났기 때문에 안전성을 확보할 수 있는 <Fig. 2>와 같은 새로운 AI기반 철도안전시스템 구축과 대책 마련이 요구된다.



<Fig. 2> AI-Based Railway Safety System

마지막으로 철도안전시스템의 효과성을 높이기 위한 다양한 형태의 제도개선이 이루어져야 한다. <Fig. 3>와 같이 작업 전 · 후에 단락용 동선을 설치하여 열차진입을 방지할 수 있도록 선로차단작업 안전절차체 제도화해야 한다. 특히, 철도종사자들이 접근 열차로부터 최소 대피시간을 확보하고 안전을 보완하기 위해서는



<Fig. 3> Procedure of safety operation for track blocking work

작업 시행 중에도 임시 철수 및 긴급 작업중지 시간과 같은 내용을 관련 규정에 반영하여 명문화하는 것이 필요하다. 철도 작업관련 다양한 이해관계자들의 의견을 수렴하여 열차운행 선로지장작업 업무세칙 등의 규정 및 사규에 안전성 확보에 관한 내용을 추가로 도입하고 개선해야 할 것이다.

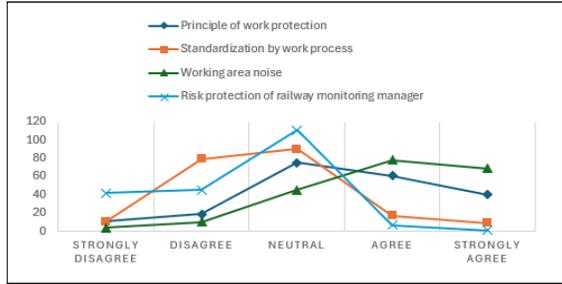
## 2) 위험차단 요인의 분석 결과 및 정책적 제언

위험차단 관련된 7가지 요인의 분석 결과는 첫째, 철도종사자가 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 열차운행선로의 위험요인을 사전에 제거하기 위한 작업계획서 등은 정확히 숙지하고 있는가에 대해서 평균 2.3145점(표준편차 1.0721)으로 부정적 의견이 높은 것을 알 수 있다. “그렇지 않다”는 64건(31.1%), “보통이다”는 98건(47.6%)로 대다수 철도종사자가 작업계획서를 정확히 숙지하지 않고 작업을 하는 것으로 나타났다. 둘째, 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 사전에 철도종사자를 보호하기 위한 지적확인 환호 응답 및 위험예지 훈련 등은 정확히 실시하고 있는가에 대해서는 평균 3.3327점(표준편차 0.8338)으로 “매우 그렇다”가 21건(10.2%), “그렇다”가 85건(41.2%)으로 평균 이상의 결과를 보여주었다. 셋째, 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 작업책임자, 철도운행 안전관리자 등 안전담당자를 사전에 배치하고 작업을 시작하는가에 대한 설문 역시 평균 3.5363점(0.9612)으로 평균 이상의 결과를 보여주었다. 하지만 “매우 그렇다”가 30건(14.5%), “그렇다”가 64건(31.1%) 반면에 “매우 그렇지 않다”의 부정 의견도 7건(3.4%)이 나와 이에 대한 철저한 관리가 필요하다고 판단된다. 위험차단 관련 3가지 요인에 관한 결과는 <Fig. 4>와 같다. 넷째, 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 위험으로부터 철도종사자를 보호하기 위해서는 차단작업을 원칙으로 하는 것이 안전하다고 생각하는가에 대한 차단작업 원칙과 관련된 설문에서는 평균 3.4718점(표준편차 1.0841)으로 “매우 그렇다”가 40건(19.4%)이고 “그렇다”가 61건(29.7%)으로 응답하였다. 다섯 번째, 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 작업공정별 표준화가 잘되어 있다고 생각하는지에 대한 설문에서는 평균 2.5302(표준편차0.7622)가)로 나타나 부정적 응답이 높은 것으로 나타났다. “매우 그렇지 않다”가 11건(5.3%), “그렇지 않다”가 79건(38.3%)으로 응답하여 작업공정별 표준화는 미흡한 것으로 파악되었다. 여섯 번째, 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 작업 소음으로 인하여 무전기 수신 및 열차확인 곤란 등 철도종사자 보호에 지장을 받은 적이 있다고 생각하는가에 관한 질문은 평균 3.4677점(표준편차 1.1887)로 작업소음이 철도종사자의 안전을 위협하는 것으로 분석되었다. “매우 그렇다”는 69건(33.4%), “그렇다”가 78건(37.9%)으로 많은 철도종사자가 작업 소음이 업무를 진행하는 데 부정적인 영향을 미친다고 생각하고 있어서 철도종사자가 작업 소음에서 벗어날 수 있는 대책이 필요한 것으로 나타났다. 일곱번째, 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 운행하는 열차 접근 여부를 확인하여 철도종사자에게 통보하는 열차감시원은 철도종사자의 위험을 확실하게 차단할 수 있다고 생각하는가에 대한 설문은 평균 2.2923점(표준편차 0.8464)로 부정적인 응답이 대다수인 것으로 나타났다. “매우 그렇지 않다”가 42건(20.4%), “그렇지 않다”가 45건(21.8%)으로 대부분의 철도종사자는 열차감시원이 철도종사자의 위험을 차단할 수 없다고 생각하고 있고 인력으로 철도종사자를 보호하는 데는 한계가 있다고 판단되어 경보앱 등 AI기반 안전지원시스템에 대한 방안을 마련할 필요가 있다. 위험 차단 관련 나머지 4가지 요인에 관한 결과는 <Fig. 5>와 같다.

위험차단과 관련된 7가지 요인의 문제점은 다음과 같이 도출되었다. ① 철도현장의 대다수의 철도종사자는 작업계획서를 정확히 숙지하지 않고 작업을 시행하고 있는 것으로 파악되었다. 작업계획서를 정확하게 숙지할 수 있는 교육이 필요하며 철도종사자에 대한 작업계획서 숙지 상태 점검 등 대책 수립이 요구된다. ② 철도종사자를 보호하기 위한 지적확인환호 응답 및 위험 예지훈련 등은 평균 이상으로 잘 수행되고 있는 것으로 보인다. 지적확인환호 응답 및 위험 예지훈련 등의 시행을 위한 지속적인 운영과 관리를 해주는 것이 중요해 보인다. ③ 작업책임자 등 안전관리자 배치는 적절하게 이루어지고 있는 것으로 보이지만 일부 작업



<Fig. 4> Results of survey for risk protection factor(1)



<Fig. 5> Results of survey for risk protection factor(2)

장에서는 여전히 지켜지지 않는 것으로 보인다. 따라서 작업시행 전 작업 책임자 및 철도운영 관리자 등을 사전에 배치할 수 있도록 관리·감독이 필요하다. ④ 대부분 철도종사자는 위험으로부터 철도종사자를 보호하기 위해서는 차단작업을 원칙으로 하는 것이 안전하다고 생각한다. 따라서 작업시간을 확보하거나 작업공정을 표준화하는 등의 규정 개정 등이 필요해 보인다. ⑤ 작업을 시행할 때 철도종사자를 보호하기 위한 작업공정별 표준화는 평균 이하 수준으로 잘 이루어지지 않고 있는 것으로 나타났다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 터널, 교량 등의 작업 장소에 따라 달라질 수 있는 작업공정(궤도보수, 재료 교환 등)에 따른 투입인력, 작업 방법 등에 대한 표준안 마련이 선행되어야 할 것으로 보인다. ⑥ 작업 소음은 철도종사자의 인지력을 감소시켜 철도종사자에게 매우 위험한 요소로 각인되고 있다. 이러한 위험을 줄이기 위해서는 작업소음에 대한 특별관리 대책을 마련하여 실행에 옮기는 것이 중요하다. ⑦ 열차감시원이 철도종사자의 위험을 차단한다는 의견에 대해서 부정적인 의견들이 많았다. 따라서 열차감시원에 대한 역할과 업무 범위에 대해서 재고할 필요가 있고, 이러한 한계를 극복하고 대체할 수 있는 자동시스템을 구축하고 자동화를 통해 방지 대책 마련이 시급하다. 이와 같은 문제점을 도출하여 안전설비 측면에서 다음과 같은 안전성 확보방안을 제언하고자 한다. 첫째, 열차운행선로지장작업 업무세칙을 엄정하게 준수하도록 하여 철도종사자가 안전성을 확보할 수 있도록 해야 한다. 설문에서 도출된 결과와 같이 일부 철도종사자는 여전히 열차운행선로 지장작업 업무세칙을 준수하지 않는 것으로 나타났다. 열차운행선로지장작업업무세칙 제9조에는 철도현장 작업 전에 작업책임자와 모든 철도종사자는 작업계획서를 정확히 숙지해야 한다. 작업계획서 숙지, 지적확인 환호 응답 및 위험예지훈련, 안전관리 담당자의 사전 배치 등과 같은 내용을 규정으로 강화하여 철도종사자는 이를 필수적으로 따를 수 있도록 관리 대책을 마련해야 할 것이다. 둘째, 열차운행선로작업 시 “차단작업 원칙”을 제안한다. 대부분의 철도종사자는 차단작업을 원칙으로 했을 때 철도종사자가 위험으로부터 보호받을 수 있다고 의견을 주었다. 따라서 안전이 최우선시되기 위해서는 열차운행이 이루어지는 주간 시간대에도 과감하게 작업시간을 확보하는 위한 차단작업이 원칙적으로 이루어져야 한다. 사실 이 경우에는 열차운행 지연과 같은 문제가 발생할 가능성이 있으므로 관계 부서와의 협조를 통한 구체적인 고밀한 논의가 필요하다. 셋째, 열차운행선로에서 작업공정을 표준화하기 위한 노력을 해야 한다. 궤도보수, 재료 교환 등 작업공정별, 터널, 교량 등 작업장소별 운행선로 작업을 표준화하여 상례 작업을 최소화하여 안전성을 확보하도록 해야 한다. 또한, 관제원, 작업자, 기관사 사이의 표준 무선방식을 도입하는 등의 무전 방식에 대한 효율적 개선이 필요하다. 넷째, 소음작업은 철도종사자의 인지력을 감소시켜 안전에 위협을 가하는 것으로 파악되었다. 철도종사자가 소음작업 시에도 안전하게 작업을 이어갈 수 있도록 안전 예산을 투입하여 안전장치를 개발해야 한다. 소음작업으로 확성기 소리, 무전기 수신 또는 열차확인이 곤란할 경우를 대비하여 신체감지 진동 웨어러블 안전장치를 도입하여 철도종사자가 소음작업 시에도 인지력을 높여 안전하게 작업할 수 있도록 해줘야 한다. 또한, 소음작업에 대한 위험성 평가를 시행하고 관련 개선대책을 마련하는 것도 중요하다.

다섯째, 열차의 접근 여부를 인지하는 방법으로 열차감시원의 역할은 한계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 열차가 접근하면 경보가 울리게 하거나, LED 경광등을 설치하여 경고 표출을 하거나 경보 앱 등을 개발하여 시스템적으로 안전에 대한 보호가 필요하다. 열차운행선로 선로변 위험지역인 추락 우려 지역, 안전난간 미설치 개소 등 위험이 발생할 수 있는 요인들을 미리 파악하여 사전에 안전설비를 확충하고 안전을 확보하는 것이 필요하다.

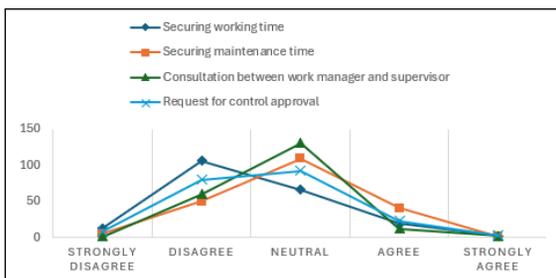
### 3) 작업시간 및 협의 요인의 분석 결과 및 정책적 제언

작업시간 및 협의와 관련된 4가지 요인분석 결과는 <Fig. 6>와 같다. 첫째, 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 작업확보 시간은 충분하다고 생각하는가에 대한 설문은 평균값은 1.9899점(표준편차 0.8299)로 매우 부정적인 것으로 나타났다. “매우 그렇지 않다”가 13건(6.3%), “그렇지 않다”가 106건(51.5%)으로 대부분의 철도종사자가 작업확보시간이 충분하지 않다고 의견을 제시하였다. 둘째, 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 작업시간을 확보하기 위해서라면 열차운행도 일부 중지시켜 유지보수를 해야 한다고 생각하는가에 대한 설문은 2.1452점(표준편차 0.9206)으로 나타났다. “그렇지 않다”는 50건(24.3%), “보통이다”가 109건(52.9%), “그렇다”가 41건(19.9%)으로 부정적 의견과 긍정적 의견이 팽팽하게 갈리는 모습을 보여준다. 열차운행을 일부 중지시켜 유지보수까지 할 필요가 없다는 의견과 안전을 위해서는 열차운행을 일부 중지시켜 유지보수를 진행해야 한다는 의견이 비슷하게 도출되었다. 셋째, 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 작업책임자 및 철도운행 안전관리자가 역장 등 관리감독자와 작업협의 시 협의가 원활하게 이루어진다고 생각하는가에 대한 설문은 평균 2.2802점(표준편차 0.8239)였으며 “그렇지 않다”가 60건(29.1%), “보통이다”가 131건(63.6%)으로 대체로 부정적인 응답이 더 많은 것으로 나타났다. 따라서 작업책임자, 철도운행 안전관리자와 관리감독자 사이의 작업협의 등이 원활하게 이루어지지 않는 문제점이 도출되었다. 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 관제승인요청 협의 시 관제사와 협의가 원활하게 이루어진다고 생각하는가에 대한 설문결과 역시 2.4415(표준 편차 0.8340)으로 대체로 부정적인 응답 결과가 나타났다. “매우 그렇지 않다”가 8건(3.8%), “그렇지 않다”가 80건(38.8%), “보통이다”가 92건(44.7%)으로 대부분 관제승인과 관련한 관제사와의 협의도 원활하게 이루어지지 않는 것으로 보인다. 작업시간 및 협의와 관련된 4가지 세부 요인을 파악한 결과, 요인별 문제점은 다음과 같이 도출되었다. ① 작업시간이 부족하다는 의견이 지배적이다. 철도종사자가 열차운행 선로 및 주변에서 작업할 때 시간에 쫓겨 서두르게 되는 경우가 많고, 자연스럽게 관련 법규와 규정을 위반하는 문제로 연결되고 있다. 철도종사자는 선로 유지보수 및 작업시간이 충분히 확보되길 바라고 있고, 이를 위해서는 열차운행도 일부 중지시키고 유지보수를 진행하게 하는 것도 하나의 대안으로 고려해야 한다. ② 작업책임자, 안전관리자, 관리감독자 간의 협의가 원활하게 이루어지지 않는다는 문제가 제기되었다. 철도현장의 작업협의 시 업무협의를 의사소통은 안전을 확보하기 위해서는 반드시 이루어져야 하고 요소이기 때문에 각 부서에서는 업무에 대한 협의 및 조정을 위한 대책 수립이 필요하다. ③ 철도종사자는 관제승인요청 협의 시 관제사와 협의가 원활하게 이루어지지 않는다는 한계를 보여줬다. 이 또한 주관 부서간 논의를 통해 근본적인 해결방안과 대안이 마련되어야 한다. 이와 같은 문제점을 도출하여 안전 작업시간 및 협의 요인별 측면에서 다음과 같은 안전성 확보방안을 제언하고자 한다. 첫째, 근무체계를 개편해서라도 작업시간의 확보가 필요하다. 업무체계를 개선한다는 것은 매우 어려운 일이지만 철도종사자는 작업시간 부족에 대해서 토로하고 있고, 이로 인해 관련 법규 및 규정을 위반하는 문제로 연결되고 있는 상황이다. 열차운행을 일부 중지시켜서 유지보수를 하는 것도 하나의 대안이 될 수 있지만, 열차 지연 등의 문제로 인해 현실적으로 쉽지 않다고 판단된다. 주간 시간대에 최소작업시간을 확보하여 안전하게 차단승인하에 운행선로 작업을 시행할 수 있도록 제도를 개선하고, 주간 시간대 작업시간을 확보하지 못한다면 야간시간

대 작업시간을 확보하여 집중작업을 시행할 수 있도록 조근, 임시과건, 교대근무 등 근무체계를 개선하는 것도 고려해야 한다. 이를 위해서는 작업자들에게 추가업무에 대한 동기부여 및 인센티브도 함께 제시되어야 할 것이다. 둘째, 각 부서에서는 작업협의를 대한 적극적인 협조와 협의 및 조정을 위한 대책수립이 필요하다. 설문 결과, 작업책임자, 안전관리자, 관리 감독자간의 협의가 원활하게 이루어지지 않는 것으로 나타났고 철도종사자와 관계사의 관계승인 요청에 대한 협의도 부족한 것으로 나타났다. 따라서 관계실, 철도교통관계 센터, 관리감독자 소속 주관부서 등은 보다 원활한 업무협의와 의사소통이 이루어질 수 있도록 협의 관련 지침과 가이드라인을 마련하여 담당자에게 제공해야 할 것이다.

4) 안전교육 요인의 분석 결과 및 정책적 제언

마지막으로 안전교육과 관련된 4가지 요인분석 결과는 <Fig. 7>와 같다. 첫째로 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 작업자는 관련법 및 사규를 충분히 준수하고 작업에 임하고 있다고 생각하는가에 대한 설문에서는 평균 3.4677점(표준편차 0.7958)이며 “매우 그렇다”가 33건(16.0%)이고 “그렇다”가 89건(43.2%)으로 철도종사자가 대체로 관련법을 잘 준수하고 있는 것으로 나타났다. 하지만 “그렇지 않다”가 22건(10.7%), “매우 그렇지 않다” 13건(6.3%)로 작업자별 편차가 있는 것으로 파악되었다. 둘째로 열차운행선로 및 주변에서 작업을 시행할 때 철도종사자에 대한 안전교육은 충분히 시행하고 있다고 생각하는가에 대한 설문에서는 평균 3.2198점(표준편차 0.7927)이며 “보통이다”라는 응답이 125건(60.7%)으로 가장 높게 나타났다. 이를 통해 대부분 안전교육은 철도종사자에게 매우 일반적이고 형식적으로 제공되는 것으로 파악되었다. 셋째 열차운행선로 작업과 관련되어 사고 예방과 철도종사자 보호를 작업에 관련된 사람에 대한 안전교육을 강화하여야 한다고 생각하는가를 설문한 결과는 평균 3.1472점(표준편차 0.8217)로 나타났고, “매우 그렇다”가 10건(4.9%), “그렇다”가 69건(33.5%)으로 응답하여 열차운행선로 작업에 관련된 작업자에 대한 안전교육 시행을 강화해야 할 것으로 보인다. 넷째로 열차운행선로 작업과 관련되어 사고 예방과 작업자 보호를 위해 작업 유형별 위험성 평가 및 지적확인 환호응답 활성화 등 안전문화 확산이 필요하다고 생각하는가에 대한 설문은 평균 3.4839점(표준편차 0.7519)으로 긍정적으로 나타났다. “매우 그렇다”가 42건(20.4%)이고 “그렇다”가 55건(26.7%)으로 대부분의 철도종사자는 안전문화 확산에 대한 필요성에 공감하고 있는 것으로 조사되었다.



<Fig. 6> Results of survey for working hours and consultation factor      <Fig. 7> Results of survey for safety training and education factor

안전교육과 관련된 요인의 4가지 항목을 조사한 결과, 요인별 문제점은 다음과 같다. ① 대부분의 철도종사자는 안전관리 법규나 사규를 충분히 인지하고 작업을 수행하지만, 그렇지 않은 작업자들도 존재하였다. 이들이 관련 법규를 준수할 수 있도록 참여를 끌어낼 수 있는 대책이 필요하다고 판단된다. ② 안전교육에 대한 응답 결과, 철도종사자는 적절하게 안전교육을 받는 것으로 나타났지만 만족도가 높지 않고 평균 수준

으로 나타나 형식적인 교육에 그치고 있는 것으로 보인다. ③ 기관사, 역 운전취급자, 열차감시원 등 작업 관련자에 대한 안전교육의 필요성에 대해서 인지하고 있고, 안전교육을 강화하는 것이 필요하다고 생각하고 있다. 따라서 안전교육의 경우, 작업 관련 이해관계자들을 대상으로 한 다양한 형태의 안전 교육을 실시해야 할 것이다. ④ 대부분 철도종사자는 안전문화를 확산하는 게 필요하다고 공감하고 있고, 작업유형별 위험성 평가 및 지적확인환호응답 활성화 등에 대한 대책을 수립하여 실행하여 사고 예방과 작업자 보호하기 위한 안전한 환경 조성이 뒤따라야 한다. 위의 도출된 안전교육 및 안전문화 요인별 문제점을 바탕으로 다음과 같은 안전성 확보방안을 제안하고자 한다. 첫째, 철도종사자를 대상으로 한 “철도종사자 안전확보를 위한 순회 교육”을 강화할 것을 제안한다. 대부분 철도종사자는 관련 법규 및 사규를 충분히 준수하고 있는 것으로 나타났지만 또 다른 작업자들은 이러한 교육을 형식적으로 인지하는 경우가 많다. 따라서 교육 숙지 상태를 상시적으로 점검하는 방안도 함께 제시되어야 한다. 둘째, 기관사, 역 운전취급자, 열차감시원 등 작업관련자에 대한 안전교육도 정기적으로 시행해야 한다. 철도현장 작업자뿐만 아니라 모든 이해관계자가 안전에 대한 경각심을 지닐 수 있도록 모든 이해관계자를 대상으로 한 지속 가능한 안전교육 체계를 마련하는 것이 필요하다. 마지막으로 안전문화 확산 노력을 위한 세부 목표와 전략을 설정하고 제시해야 한다.

## V. 결 론

본 연구는 철도종사자의 안전성 확보방안을 파악하고자 국내 철도 현장에서 발생한 사고 및 운행 장애, 작업자 안전사고 등을 심층 분석하여 철도 현장 및 철도종사자의 문제점을 분석하였다. 철도종사자를 직접 만나서 의견수렴을 거치는 표본집단면접법(FGI: Focus Group Interviews)를 통해 철도현장에서 벌어질 수 있는 상황적 요인을 분류하여 체계화하였다. 철도 현장 및 철도종사자 문제점과 관련이 깊은 안전설비, 위험차단, 작업시간 및 협의, 안전교육 등 크게 4개 요인으로 구분하였고, 각 요인별 세부 요인 20개를 도출하였다. 안전설비 요인은 안전보호구 착용 여부, 안전장치설치 적정성, 안전 시스템 효과성의 4가지 요인을 세부 요인으로 포함하였고, 위험차단은 작업계획서 숙지 상태, 지적확인 환호 응답 및 위험 예지 훈련 시행, 작업 책임자 등 안전관리자 배치, 차단작업 원칙, 작업공정별 표준화, 작업 소음, 열차감시원의 위험차단 여부의 7가지 요인으로 구성하였다. 작업시간 및 협의 요인은 총 4개의 세부 요인으로 작업시간 확보, 유지보수시간 확보, 작업책임자와 관리감독자 업무협의, 관계승인 요청 등이다. 안전교육과 관련된 세부 요인 역시 4가지 요인으로 관련법(사규 등) 준수, 작업자 안전교육 시행, 작업관련자 안전교육 시행, 안전문화 확산이 포함되었다. 본 연구는 설문과 인터뷰 결과를 토대로 철도종사자에 대한 각각의 요인별 문제점을 도출하고 이를 바탕으로 철도현장 및 철도종사자 안전성을 확보하기 위한 AI기반 철도안전시스템 개선 및 구축 방안을 제안하였다.

다만, 본 연구는 설문조사 결과를 바탕으로 단순 빈도분석과 요인분석을 통해 결과를 도출했다는 것이 학술적인 관점에서는 다소 미흡한 부분이 있지만 추후 연구에서는 철도 작업자들에게 영향을 주는 요인들을 파악하거나 인과관계를 파악해볼 수 있는 교차분석, 회귀분석(Regression Analysis) 등의 분석 방법론을 이용하여 철도종사자에게 직접 영향을 주는 요인이 무엇인지 상호연관성이 있는 세부 요인들은 무엇이 있는지를 파악하여 보다 깊이 있는 학술적 연구를 수행할 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 R&D과제(사업명 : 철도 종사자의 인적오류 분석·평가·예방 기술개발) 지원으로 수행되었습니다.(과제번호 RS-2023-00239464).

## REFERENCES

- Ahn, B. J.(2007), “A study on the types of human errors for railway safety personnel”, *Journal of Korean Safety Management Science Society*, vol. 9, no. 2, pp.1-9.
- Byun, S. N.(2013), “Railway industry and human error”, *The World of Urban Railway*, vol. 1, pp.40-41.
- Chung, J. G.(2016), *A study on improvement measures of railway safety system for reduction of human error*, Ph.D. Thesis, Korea National University of Transportation.
- Chung, S. B. and Lee, S. O.(2018), “Human error analysis of railway accident by creating causal loop diagram (CLD)”, *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 21, no. 9, pp.942-955.
- Dekker, S.(2000), *The Field Guide to Human error*, Cranfield University Press, Cranfield in England, pp.7-30.
- Dorrian, J.(2011), “Work hours, workload, sleep and fatigue in Australian rail industry employees”, *Applied Ergonomics*, vol. 42, pp.202-209.
- Jeon, J. G.(2013), *Countermeasures to mitigate human errors for preventing KTX driving accidents*, Ph.D. Thesis, Seoul National University of Science and Education.
- Jeong, B. G. and Park, J. H.(2004), “Introduction of safety management system for air traffic industry”, *Current Industrial and Technological Trends*, vol. 2, no. 2, pp.120-128.
- Kim, D. S., Baek, D. H. and Yoon, W. C.(2007), “An investigation of human error analysis techniques in various industries with implications for the Korean railway industry”, *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 10, no. 1, pp.7-15.
- Kim, D. W. and Lee, H. S.(2018), “A study on the comparative survey and improvement of human error risk factors in urban railway driver”, *Journal of the Korea Society for Urban Railway*, vol. 6, no. 4, pp.259-268.
- Kim, G. S.(2005), *A study on improvement railway safety systems to prevent railway traffic accidents*, A Master's Thesis, Hannam University.
- Kim, J. S. and Hwang, B. J.(2021), “A study on the influence of working hours and recreation hours on human error prevention: Focus on urban railroad engineer”, *Journal of Korean Society for Urban Railway*, vol. 9, no. 2, pp.901-915.
- Kim, S. G. and Ryu, S. Y.(2017), “A case study on improving railroad safety management from the perspective of human error”, *Korea Business Review*, vol. 21, no. 1, pp.117-138.
- Kwak, S. R.(2007), *Development of human factor management requirements and human error classification for the prevention of railway accident*, Detailed research organization task, Korea Railroad Research Institute, KAERI/CM-1082/2007.
- Lee, C. W.(2023), *Case analysis study on railroad vehicles derailment accidents caused by human*

*error*, Korean Society for Precision Engineering, p.342.

Lee, Y. M.(2014), *A study on the cause analysis and countermeasures against train driver's human error*, Ph.D. Thesis, Seoul National University of Science and Education.

Wang, J. B. and Kim, S. A.(2015), "An hazard & human errors analysis from accident histories in the urban transit", *Journal of Korean Society for Urban Railway*, vol. 3, no. 2, pp.357-360.

Yum, B. S. and Gal, W. M.(2012), "A study on analysis between accidents caused by human errors and personal characteristics of railway diver", *Korea Safety Management & Science*, vol. 14, no. 4, pp.85-91.