

철도사고의 인적오류 분석을 위한 수행도 영향인자 분류

백동현* · 구락조** · 이경선** · 김동산*** · 신민주* · 윤완철*** · 정명철**†

*한양대학교 경상대학 경영학부
**아주대학교 산업정보시스템공학부
***KAIST 산업공학과

Taxonomy of Performance Shaping Factors for Human Error Analysis of Railway Accidents

Dong-Hyun Baek* · Lock-Jo Koo** · Kyung-Sun Lee**
Dongsan Kim*** · Min-Ju Shin* · Wan Chul Yoon*** · Myung-Chul Jung**†

*Business Administration, Hanyang University
**Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University
***Industrial Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

Enhanced machine reliability has dramatically reduced the rate and number of railway accidents but for further reduction human error should be considered together that accounts for about 20% of the accidents. Therefore, the objective of this study was to suggest a new taxonomy of performance shaping factors (PSFs) that could be utilized to identify the causes of a human error associated with railway accidents. Four categories of human factor, task factor, environment factor, and organization factor and 14 sub-categories of physical state, psychological state, knowledge/experience/ability, information/communication, regulation/procedure, specific character of task, infrastructure, device/MMI, working environment, external environment, education, direction/management, system/atmosphere, and welfare/opportunity along with 131 specific factors was suggested by carefully reviewing 8 representative published taxonomy of Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations (CASMET), Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM), Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), Integrated Safety Investigation Methodology (ISIM), Korea-Human Performance Enhancement System (K-HPES), Rail safety and Standards Board (RSSB), TapRoot[®], and Technique for Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors (TRACEr). Then these were applied to the case of the railway accident occurred between Komo and Kyungsan stations in 2003 for verification. Both cause decision chart and why-because tree were developed and modified to aid the analyst to find causal factors from the suggested taxonomy. The taxonomy was well suited so that eight causes were found to explain the driver's error in the accident. The taxonomy of PSFs suggested in this study could cover from latent factors to direct causes of human errors related with railway accidents with systematic categorization.

Keywords : Railway Accident, Human Error Analysis, Performance Shaping Factor

† 교신저자 mcjung@ajou.ac.kr

※ 본 논문은 건설교통부 철도종합안전기술개발사업 지원으로 연구되었음(R&D/05철도안전B-02).

1. 서론

철도사고는 크게 기계 신뢰도와 연관된 기계적 요인과 직무자 신뢰도와 연관된 인적 요인에 영향을 받는다. 철도기술의 발전으로 기계 신뢰도는 꾸준히 향상되어 기계적 요인에 의한 철도사고는 지속적으로 감소하였다. 그러나 미국의 경우 1997년부터 2007년 사이 매년 철도사고율이 1마일 당 3.48건과 4.38건 사이에서 계속 지속되고, 국내의 경우도 2000년과 2004년 사이 철도사고수가 1,028건과 1,129건 사이로 유지되고 있다는 사실로 보아 기계 신뢰도 향상만으로 철도사고를 줄이는 데 한계가 있음을 알 수 있다[4]. 따라서 철도사고를 획기적으로 줄여가기 위해서는 기계적 요인과 더불어 인적 요인에 더욱 초점을 두어야 한다. 철도사고와 관련된 요인 중 선로 및 장비와 더불어 인적 요인이 약 20%를 차지하고 있다는 Federal Railroad Administration[9]의 자료가 인적 요인의 중요성을 뒷받침하고 있다.

인적 요인은 운전자가 일으키는 기능기반 오류, 의사결정 오류, 지각 오류, 위반 등의 인적오류와 관련이 깊다[18]. 일반적으로 인적오류 분석(Human Error Analysis) 및 인간 신뢰도 분석(Human Reliability Analysis)에서 인적 요인과 관련하여 Performance Shaping Factor(PSF), Performance Influencing Factor(PIF), Influencing Factor(IF) 등 다양한 용어와 방법을 사용하여 인적오류측면에서 사고를 분석하고 있다[13]. 그러나 대부분의 이러한 방법들은 사고 분석 시 고려할 수 있는 원인 항목으로 장비 및 기타 환경의 불안전성을 고려하고 있지 않은 실정이다. 또한 이런 사고의 원인 항목들은 각 방법론의 개발자 혹은 사고 분석자 등에 의해 어느 정도 주관적으로 선정 가능하여 다른 방법을 이용하여 사고를 조사했을 경우 방법 간의 일관성 부족으로 그 결과에 대한 신뢰성에 의문이 제기되고 있다.

구락조 외 4인[2]은 국내 철도사고 조사와 체계를 분석할 결과, 세밀한 분류 체계 없이 크게 인적 요인, 기술적 요인, 외부 요인으로 나누어 실시하고 있으며, 인적 요인의 경우 관계자와 목격자 등의 인터뷰에 의존하여 원인을 찾고 있는 것으로 나타났다. 이를 보완하기 위해 구락조 외 4인[3]은 관련 자료를 분석하여 원인들을 분류하였으나, 이를 이용하여 체계적으로 분석할 수 있는 절차와 도구를 제시하지 못하였다. 또한 최근에 발생하고 있는 철도사고는 다수의 원인들이 관련되어 있고, 원인들 간의 인과관계 또한 복잡하게 형성되어 있다. 그로 인해 철도사고 분석 시 모든 원인 항목이 고려되지 않을 경우에는 각 원인들의 상호관계를 명확히 파악하지 못하여 중요한 원인을 빠뜨릴 수 있다[13, 14, 17].

따라서 본 연구에서는 철도 분야에서 발생하는 사고

와 관련된 인적오류의 원인에 초점을 맞추어 앞서 제시한 문제점들을 해결할 수 있도록 수행도 영향인자(PSF)를 이용한 원인요소를 체계적으로 분류하고, 사고 원인을 보다 객관적으로 추출할 수 있는 절차와 도구를 제시하였다. 또한 이를 국내에서 발생한 철도사고 사례를 통해 쉽게 적용할 수 있는 방법을 제안하고 분류 체계와 방법의 타당성을 검증하였다.

2. 수행도 영향인자 분류

수행도 영향인자는 크게 인적오류 분석을 위한 수행도 영향인자와 인간 신뢰도 분석을 위한 수행도 영향인자로 분류된다. 본 연구에서는 이를 총 망라하여 기존에 국내외에서 사용되고 있는 8가지 대표적 분류인 Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations(CASMET)[6], Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)[11], Human Factors Analysis and Classification System(HFACS)[19-20], Integrated Safety Investigation Methodology(ISIM)[5], Korea-Human Performance Enhancement System(K-HPES)[1], Rail safety and Standards Board(RSSB)[7], TapRoot[®][15], Technique for Retrospective and Predictive Analysis of Cognitive Errors(TRACER)[16]를 선정하여 분석하였다. 각 분류에 대한 특징을 간단히 아래에 정리하였다.

CASMET은 유럽에서 해상사고의 분석 및 인적오류 분석의 통합 체계로서 개발된 조사 방법이다. 이 방법은 사고의 원인요소로 직무, 직무자, 장비, 작업 환경이 상호작용한다는 가정 하에 인간과 조직 측면을 강조한다. 따라서 임무 할당 및 배정으로 직무가 시작되고, 직무는 장비의 이용과 직무자의 행위로 완성된다고 봄으로써 사건의 발생을 추론한다[6].

CREAM은 회고(Perspective)뿐만 아니라 예측(Predictive) 방법으로 모든 산업 분야에 적용 가능하다. 네트워크 구조를 토대로 정지 규칙(Stop Rule)을 이용하여 각 원인들 간의 관계를 규명한다. CREAM의 분류 체계는 크게 인적오류의 외면적 표현형(Phenotype)과 이들의 원인에 해당하는 유전자형(Genotype)으로 구분한다[11].

HFACS는 사고 원인 모형인 스위스 치즈 모델(Swiss Cheeses Model)을 바탕으로 항공 산업에 적용하기 위해 개발되었다. 분류 체계는 크게 조직적 영향, 불안정한 감독, 불안정한 행위의 전제조건, 불안정한 행위, 이렇게 4개의 층으로 구성되어 있다[19-20].

ISIM은 캐나다 교통안전국에서 철도, 항공, 선박 분야에 사용하고 있는 사고 분석 방법이다. 이 방법은 사고 분석자가 단서를 수집하여 사건 도표 및 요인을 예

측하는 재귀적(Recursive) 절차를 따르고, 전체적인 사고 양상을 이해하기 위해 SHEL 모델을 사용한다. 여기서 S(Software)는 조직, 절차 및 설명서의 방침 등을, H(Hardware)는 시스템상의 장비를, E(Environment)는 내부 및 외부 근무 조건을, L(Liveware)은 인간을 나타낸다[5].

K-HPES는 국내 원자력 발전소에서 직무자로 인한 사건을 분석 및 보고하기 위한 체계로 INPO-HPES를 기초로 개발되었다. 다섯 가지 인식오류 유형, 22가지 인식 실패 원인, 11가지 원인 분류를 제공하여 직무자의 의사 결정 과정을 회고적으로 추출한다[1].

RSSB는 영국에서 철도사고 분석에 사용되는 체계로, 인적 오류와 관련하여 인간 신뢰도 분석, PSF, PF를 위해 TRACER을 토대로 Sequentially Timed and Events Plotting (STEP), 체크리스트, 작업부하 기법 등을 사용한다[7].

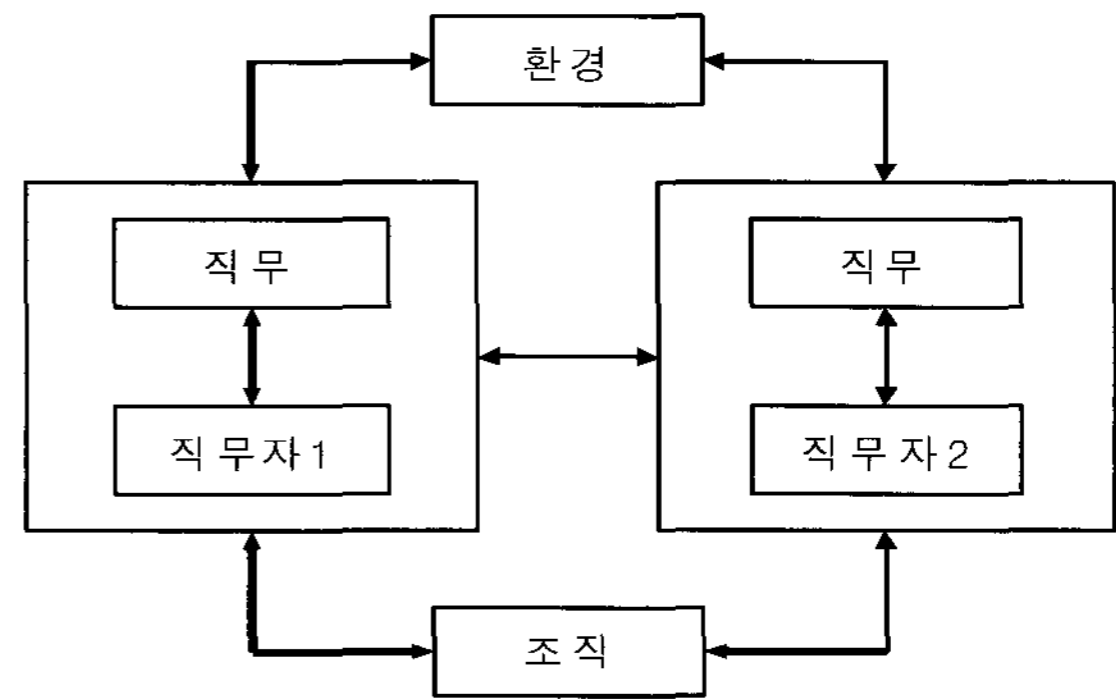
TapRoot[®]은 미국 Nuclear Regulatory Commission에서 개발한 Human Performance Investigation Process(HPIP)를 기초로 상용화된 원인 분석 체계이다. 사고 발생 과정의 분석과 이해를 돕기 위해 SnapCharT[™], RootCause Tree[®], Corrective Action Helper[®]등의 다양한 도구들을 제공한다[15].

끝으로, TRACER은 CREAM과 같이 회고와 예측 분석 모두를 사용할 수 있고 일반 산업에 적용 가능하다. 인적오류 관련 분류 체계는 외적으로 관찰 가능한 오류 유형인 External Error Mode(EEM), 의사 결정 단계 오류 유형인 Internal Error Mode(IEM), IEM의 심리적 관계를 규명하는 Psychological Error Mechanism(PEM), IEM과 PEM에 대한 원인을 제공하는 PSF를 제공한다[16].

사고 분석의 일반적인 순서는 자료 수집, 사건 재구성, 원인요소 파악, 개선사항 및 이행이다. 사고 발생 후 사고 발생 현장에서 증거물 수집, 대상자들과 인터뷰 실시, 사고와 관련된 문서를 통해 사고 관련 단서들을 수집한다. 이후 분석자는 수집한 자료를 정리하고 사고의 일련과정을 재구성하여 사건 순서를 도표화한다. 도표상의 각 사건(Event)에 대하여 원인요소와 근본원인(Root Cause)을 밝혀내고, 마지막으로 이를 제거할 수 있는 개선안을 마련하여 시행에 옮긴다[12].

세 번째 단계인 원인요소 파악에서 인적오류가 철도사고의 원인이 되었을 경우 철도사고와 관련된 직무자 인적오류의 원인을 파악하는데 도움을 줄 수 있는 수행도 영향인자 분류를 제시하기 위해 <그림 1>과 같은 모델을 개발하였다. 열차 운행은 기관사, 운전사령 등과 같이 직무를 수행하는 직무자간의 협동 업무가 필수적이다. 이러한 협동 업무는 열차 운행에 영향을 주는 철도 운영 환경 하에 이루어지며, 또한 이들이 속한 조직으로부터 영향을 받는다.

이 모델을 바탕으로 새로운 수행도 영향인자 분류를

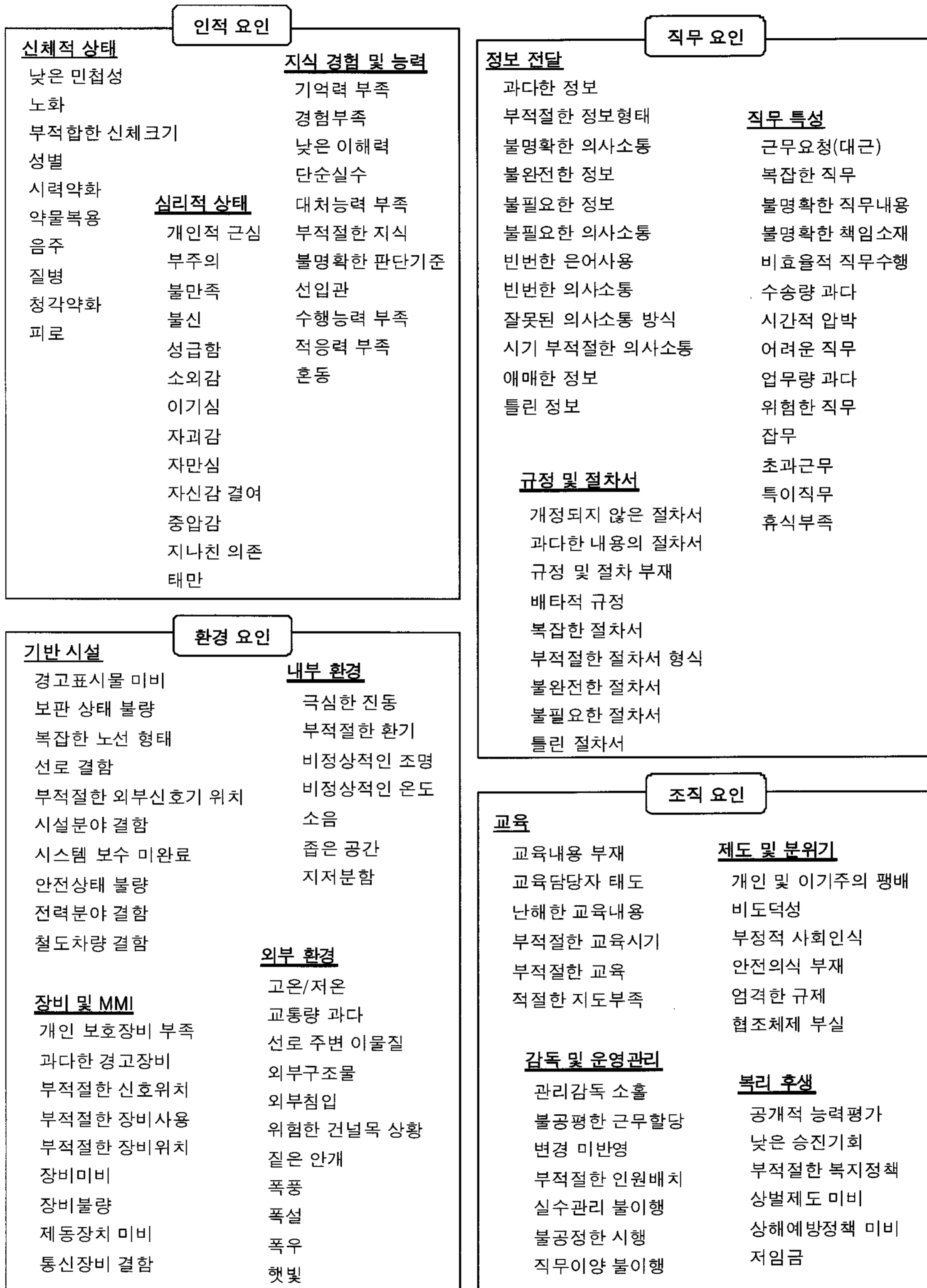


<그림 1> 철도 운행 모델

제시하기 위해, 우선 위에서 조사한 8가지 대표적인 수행도 영향인자 분류를 분석하여 철도사고의 원인이 될 수 있는 항목들을 추출하였다. 8가지 대표적인 분류 중 RSSB만이 유일하게 철도 산업을 위해 개발되었다. 따라서 RSSB가 제안한 열차/교통량/인프라구조, 의사소통, 절차서 및 문헌, 정보, 훈련/지식/경험, MMI 및 작업 공간 설계, 기관사실 내부 환경, 사회 및 팀 요소, 개인적 요소의 9가지 대분류를 중심으로 나머지 대표적인 분류를 정리하여 중복되지 않는 항목인 규칙 및 권한, Passive Sign and Marking, 업무 유지, 근무 변경 관리의 4가지 대분류를 추가하였다. 비슷한 방법으로 중분류 및 세부항목을 정리하여 최종적으로 13가지 대분류와 29가지 중분류로 나누어 총 169가지의 세부 항목을 선별하였다. 선별한 항목들의 타당성을 검증하기 위하여 42개의 국내 철도사고를 분석하여 61가지의 인적오류 원인들을 추출하였다. 169가지의 세부 항목들이 이 원인들을 모두 포함하고 있음을 입증하였다[2].

본 연구에서 제시한 모델을 기반으로 169가지 항목 중 너무 세분화된 항목들은 일반화시키고 비슷한 의미의 항목들은 용어를 통일시켜 최종적으로 인적 요인, 직무 요인, 환경 요인, 조직 요인의 4가지 대분류와 신체적 상태, 심리적 상태, 지식 경험 및 능력, 정보 전달, 규정 및 절차서, 업무 특성, 기반 시설, 장비 및 MMI, 내부 환경, 외부 환경, 교육, 감독 및 운영관리, 제도 및 분위기, 복리후생의 14가지 중분류로 나누어 총 131가지 세부 항목을 결정하였다. <그림 2>은 세부 항목을 나타내며, 각각의 대분류에 대한 정의는 아래와 같다[3].

- 인적 요인 : 철도 수송과 관련된 직무자 개인적 조건과 상태
- 직무 요인 : 철도 운행과 연관된 직무 특성과 조건
- 환경 요인 : 직무를 수행하기 위한 제반 시설과 장비
- 조직 요인 : 직무와 직무자에게 영향을 미치는 정책 및 조직 분위기



<그림 2> 수행도 영향인자 분류

3. 사례 적용

본 연구에서 제시한 수행도 영향인자 분류를 검증하

기 위해 2003년 고모역과 경산역 사이에서 발생한 철도 사고를 선정하여 수행도 영향인자 분류를 적용하였다. 이 철도사고를 선정한 이유는 인적오류로 인한 철도 사

고의 대표적인 사례로서, 자동신호시스템 취급 방법 불량과 안전조치 소홀에 기인한 사고이기 때문이다. 사고 개황은 2003년 8월 8일, 김천역을 출발하여 부산역으로 가던 무궁화호열차가 고모역과 경산역 사이를 운행하던

중, 앞서 운행 중인 화물열차 후부를 추돌하여 객차 파손과 다수의 인명피해를 발생시킨 사고이다. 사고 분석 순서에 따라 사건을 재구성한 결과, 인적오류와 관련된 사건(Event)은 총 10개로 나타났으며, 이 중 하나인 열차

직무자의 능력 건강 등 개인적인 요소와 관련이 있습니까?

- 성별, 체형 등 신체조건이 직무수행에 적합하지 않았습니까?
- 시각, 청각 등 신체능력이 직무수행에 적합하지 않았습니까?
- 음주, 약물 등이 직무수행에 지장을 주었습니까?
- 성격, 심리상태 등이 직무수행에 지장을 주었습니까?
- 직무의 중요성을 인식하지 못했거나 직무상황에 대한 이해가 부족했습니까?
- 자신의 능력을 믿지 못하고 동료나 장치에 의존했습니까?
- 직무수행에 필요한 지식과 경험이 부족했습니까?
- 문제해결을 위한 직무자의 능력이 부족했습니까?
- 상황해결을 위한 기준이 명확하지 않았습니까?

- 신체적 상태
- 신체적 상태
- 심리적 상태
- 신체적 상태
- 심리적 상태
- 심리적 상태
- 지식 경험 및 능력 제도 및 분위기
- 심리적 상태
- 제도 및 분위기
- 지식 경험 및 능력
- 지식 경험 및 능력
- 교육
- 심리적 상태
- 지식 경험 및 능력

직무특성 및 수행 관련 정보교환과 관련이 있습니까?

- 직무일정이 빠듯했거나 휴식을 충분히 취하지 못했습니까?
- 직무가 명확하지 않았거나 특이한 직무였습니까?
- 직무 관련 절차서나 내용에 문제가 있었습니까?
- 절차서 양이 너무 많았거나 적었습니까?
- 직무 관련 규정이 없었거나 내용이 틀렸습니까?
- 전달되는 정보가 너무 많았거나 적었습니까?
- 정보를 이해하거나 직무수행에 적용하기가 어려웠습니까?
- 정보전달 방법이나 시기가 적절하지 못했습니까?

- 직무 특성
- 제도 및 분위기
- 직무 특성
- 제도 및 분위기
- 규정 및 절차서
- 정보 전달
- 규정 및 절차서
- 정보 전달
- 감독 및 운영관리
- 규정 및 절차서
- 감독 및 운영관리
- 정보 전달
- 감독 및 운영관리
- 정보 전달
- 지식 경험 및 능력
- 지식 경험 및 능력
- 정보 전달
- 감독 및 운영관리

작업장 환경 또는 물리적 장비 등과 관련이 있습니까?

- 은어나 방언 등을 사용하여 정보를 전달했습니까?
- 제반 시설이 직무수행에 지장을 주었습니까?
- 직무수행에 필요한 외부장치가 없었거나 결함이 있었습니까?
- 작업장 내 장치가 직무수행에 지장을 주었습니까?
- 정보 송수신 장치 결함 또는 위치가 직무수행에 지장을 주었습니까?
- 작업장 내 온도 소음 등의 환경이 직무수행에 지장을 주었습니까?
- 자연환경, 외부구조물이 직무수행에 지장을 주었거나 외부인 때문에 위험한 상황이 발생했습니까?

- 정보 전달
- 기반 시설
- 장비 및 MMI
- 장비 및 MMI
- 기반 시설
- 장비 및 MMI
- 장비 및 MMI
- 내부 환경
- 외부 환경
- 제도 및 분위기

부서 및 팀원 간 관계나 협동, 교육, 복지, 직무평가와 관련이 있습니까?

- 부서 및 팀원 간의 이기주의 또는 안전불감증 등이 문제가 되었습니까?
- 교육 및 훈련을 받은 지 오래되었습니까?
- 교육내용이 직무와 관련이 없거나 충분하지 않았습니까?
- 직무자의 적절한 평가와 보상이 이루어지지 않았습니까?
- 직무수행을 위한 조직운영, 협조, 관리가 적절하지 않았습니까?

- 제도 및 분위기
- 교육
- 교육
- 복리 후생
- 감독 및 운영관리

<그림 3> 원인 결정 흐름도

기관사 오류를 선정하여 원인이 무엇인지 파악하기 위해 수행도 영향인자 분류를 적용하였다. 사고 당시 신호기 공사 관계로 평상시 사용하던 자동폐색 방식(출발 신호기 사용)을 중지하고 직무자 간에 전화기로 연락(통신 방식)하여 열차를 운행 중이었다. 고모역 역무원은 기관사에게 “정상 취급한다”라고 지시를 하였고, 기관사는 이를 “통신 방식을 취소하고 자동폐색 방식을 사용하여 정상 운행한다”라고 착각하여, 출발 신호기가 켜져 있는 것을 보고 열차를 출발시켰다. 그러나 신호기 공사 관계로 출발 신호기는 계속 켜져 있는 상태였다.

본 연구에서 제시한 131가지의 세부항목에서 위 기관사의 인적오류 원인을 찾기란 쉬운 일이 아니다. 그래서 분석자가 보다 객관적이고 용이하게 원인을 찾을 수 있도록 <그림 3>과 같이 원인 결정 흐름도를 작성하였다. 원인 결정 흐름도는 각 항목들의 의미를 이해할 수 있도록 단문으로 표현되어 있는 항목들의 정의를 바탕으로 재구성하여 나타낸 것이다. 분석자는 원인 결정 흐름도에 나타난 질문에 응답함으로써 우선 대분류를 선택하고, 이어지는 질문에 응답함으로써 중분류를 선택하게 된다. 사용 방법은 각 질문에 대한 대답이 “네”이면 오른쪽으로 진행하고 “아니오”이면 아래쪽으로 진행하여 해당 원인들을 찾는다. 이렇게 하여 인적 요인에 해당하는 혼동, 불명확한 판단기준, 태만, 직무 요인에 해당하는 불명확한 의사소통, 애매한 정보, 규정 및 절차 부재, 환경 요인에 해당하는 경고 표시물 미비, 조직 요인에 해당하는 안전의식 부재의 8가지 원인들을 찾았다.

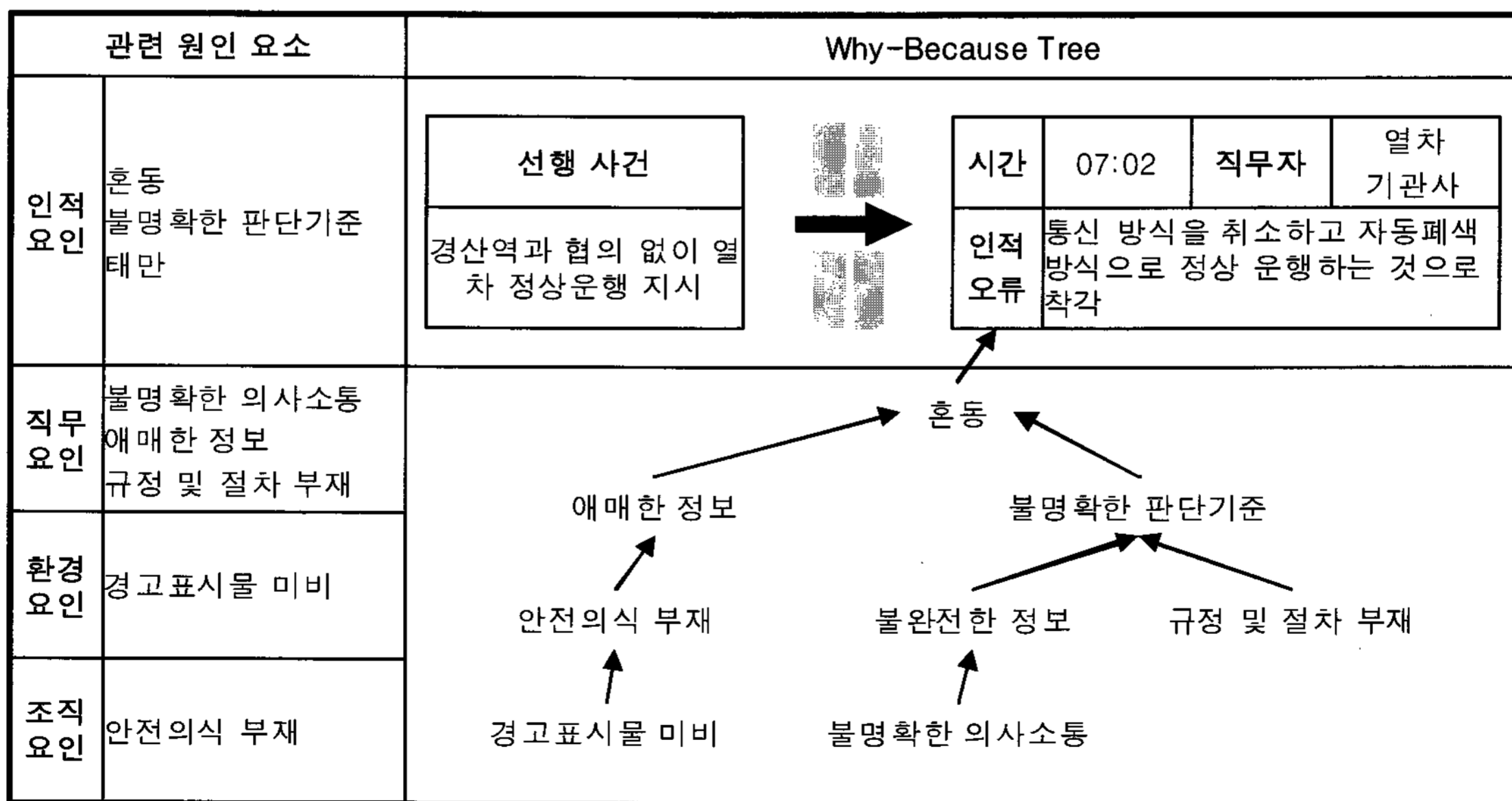
이렇게 선별한 원인들의 인과관계와 선후관계를 명확

하게 표현하기 위해 <그림 4>와 같이 Why-Because Tree를 변형하여 사용하였다[10]. 선행 사건, 시간, 행위자와 같은 기본적인 사건 정보를 기입하고, 분석하고자 하는 인적오류를 해당 칸에 작성하였다. 이어 원인 결정 흐름도에서 찾은 8가지 원인 항목들을 왼쪽에 마련된 해당란에 적고, 원인 간의 관계를 화살표를 이용하여 오른쪽에 표시하였다. 이렇게 함으로써 각 원인들간의 상호관계를 명확히 파악할 수 있어 미비하거나 중요한 원인을 파악할 수 있다.

4. 결론

인적오류에 관한 연구는 직무자가 어떤 오류를 범했느냐 보다 그러한 오류를 범할 수밖에 없었던 원인 규명이 더욱 중요하다. 본 연구를 통하여 철도 산업의 특성에 맞고 철고사고와 연관된 인적오류의 원인을 파악하는 데 도움을 줄 수 있는 체계적인 수행도 영향인자 분류를 제안하였다. 또한 제안된 수행도 영향인자 분류를 2003년에 발생한 고모역과 경산역 간 철도사고 사례에 적용하여 그 타당성을 검증하였으며, 용이한 분석을 위해 원인 결정 흐름도와 Why-Because Tree를 사용하였다.

현재 국내 철도사고의 분석 방법은 사고의 원인으로 인적오류 그 자체를 규명하고 있고, 사용하는 항목 또한 “부적당한 처리”, “부주의” 등 극히 제한적이다. 그러나 본 연구에서 제시한 수행도 영향인자 분류를 사용하였을 경우 하나의 인적오류에도 8가지나 되는 원인들이 영향을 줄 수 있었다. 비록 한 사건에 적용하였기



<그림 4> Why-Because Tree

때문에 이 분류를 모든 철도사고에 적합한 분류로 일반화시키기에는 부족한 점이 있으나 그 효율성은 크다고 할 수 있다.

인적오류 분석은 크게 실패를 일으킨 사람을 처벌하기 위한 목적으로 인적오류를 실패의 원인으로 보는 관점과 본 연구와 같이 실패의 원인을 규명하기 위한 목적으로 인적오류를 실패의 징후로 보는 관점이 있다. Dekker[8]는 사고 분석을 위해서 후자의 필요성을 역설하였다. 또한 Reason[17]과 Lawton and Ward[14]는 잠재적인 원인(Latent Factor)에서부터 직접적인 원인까지 광범위한 범위에서 원인을 표현할 수 있도록 체계적으로 원인들을 계층화해야 한다고 주장하였다. 본 연구에서 제안한 수행도 영향인자 분류는 이러한 관점에서 정리된 것이다. 따라서 본 연구에서 제안한 수행도 영향인자 분류 방법과 더불어 철도 관련 업무 종사자들의 적극적인 참여가 이루어진다면 보다 명확한 철도사고 분석이 가능할 것이다. 궁극적으로 지금까지 기계 신뢰도를 향상시켰듯이 이 분류를 통해 인간 신뢰도 또한 체계적으로 관리하고 예방함으로써 철도사고를 줄여나갈 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 개발한 인적 오류 분류 체계와 절차를 2003년 고모역과 경산역 사이에서 발생한 철도 사고를 이용하여 검증하였다. 하나의 사례를 이용하여 분석 방법에 대한 적절성을 검증하고 일반화시키기에는 무리가 있으므로 보다 많은 국내 철도 사고 정보를 수집하여 계속 개선해 나가야 할 것이다.

참고문헌

[1] 강양구, 윤완철; “원자력발전소 인적행위개선시스템(K-HPES) 개발(II)”, TR.95ZJ04.J 대전 : 전력연구원, 1998.

[2] 구락조, 김동산, 정명철, 백동현, 윤완철; “철도 사고 원인을 위한 수행도 영향 인자 분류”, 한국철도학회 2006년도 춘계학술대회 발표논문집, 우석정보대학 우송타워, 대전 : 1036-1041, 2006a.

[3] 구락조, 김동산, 정명철, 백동현, 윤완철; “철도사고의 인적 오류 분석을 위한 원인요소 분류 및 적용”, 대한인간공학회 2006년도 추계학술대회 발표논문집, 한국원자력연구소 국제원자력교육훈련센터, 대전 : 1-7, 2006b.

[4] 심재익, 성낙문; “2004년 교통사고비용 추정”, 정책연구 2006-02, 한국교통연구원, 2006.

[5] Ayeko, M.; “Integrated Safety Investigation Methodology (ISIM)-Investigating for Risk Mitigation,” Nether-

land : International Transportation Safety Association, 2002.

[6] Caridis, P.; “CASMET : Casualty Analysis Methodology for Maritime Operations,” C01.FR.003, Athens, Greece : National Technical University of Athens, 1999.

[7] Cokayne, S. P.; “Engineering : Human factors and injury information to be collected during accident investigations,” 09/T122/ENGE/003/TRT, London, UK : Rail Safety and Standards Board, 2004.

[8] Dekker, S. W. A.; “Errors in our understanding of human error : The real lessons from aviation for health-care,” Technical Report 2003-01, Ljungbyhed, Sweden : School of Aviation, Lund University, 2003.

[9] Federal Railroad Administration; “Accident Causes,” <http://safetydata.fra.dot.gov>, Washington DC : US Department of Transportation, 2006.

[10] Gregory, D. and Shanahan, P.; Understanding Human Factors-A guide for the railway industry, Rail Safety and Standards Board, London, UK, 2006.

[11] Hollnagel, E.; Cognitive Reliability and Error Analysis Method, Elsevier Science, Oxford, UK, 1998.

[12] James, J. R. and Lee, N. V. H.; “Root cause analysis for beginners,” Quality Process : 45-53, 2004.

[13] Kim, J. W. and Jung, W.; “A taxonomy of performance influencing factors for human reliability analysis of emergency tasks,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16 : 479-495, 2003.

[14] Lawton, R. and Ward, N. J.; “A systems analysis of the Ladbroke Grove rail crash,” *Accidents Analysis and Prevention*, 37 : 235-244, 2005.

[15] Paradies, M. and Unger, L.; TapRoot[®]-The System for Root Cause Analysis, Problem Investigation, and Proactive Improvement, System Improvement, Tennessee, US, 2000.

[16] Rail Safety and Standards Board; “Management : Rail-specific HRA technique for driving tasks,” 5013727/Final Reprot, London, UK : Rail Safety and Standards Board, 2004.

[17] Reason, J.; Human Error, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1990.

[18] Reinach, S. and Gertler, J.; “An examination of railroad yard worker safety,” DOT/FRA/ORD-01-20, Washington DC : Federal Railroad Administration, US Department of Transportation, 2001.

[19] Shappel, S. A. and Wiegmann, D. A.; “The Human Fac-

tors Analysis and Classification System-HFACS,” DOT/FAA/AM-00/7, Washington DC : Federal Aviation Administration, US Department of Transportation, 2000.

[20] Shappel, S. A. and Wiegmann, D. A.; “A Human Error

Analysis of commercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS),” DOT/FAA/AM-01/3, Washington DC : Federal Aviation Administration, US Department of Transportation, 2001.