

# 철도 인적오류 및 위반행위 분석체계의 기본구조

## A framework of analysis system for human errors and violations in railway accidents

김동산\*      백동현\*\*      윤완철\*\*\*  
Kim, Dong San    Baek, Dong Hyun    Yoon, Wan Chul

---

### ABSTRACT

Since human errors and violations are being recognized as one of the primary issues in railway safety, there is a need for systematic analysis of human errors and violations that can identify their types and causes and derive effective countermeasures to help reduce their future probability. This paper proposes a framework of analysis system for human errors and violations in railway accidents based on analysis of domestic and overseas trends of analyzing human errors and violations across the industry. An accident example is analyzed in the case study.

---

### 1. 서론

철도사고 통계에 따르면, 고속철도를 포함한 일반철도의 경우 최근 10년('95~'04년) 동안 발생한 열차사고(충돌,탈선,화재)의 61%가 종사원의 취급부주의로 인한 것이고, 건널목사고의 74%가 무단횡단, 차단기 돌과 등 자동차 운전자가 철도건널목에서 교통법규를 준수하지 않아 발생한 사고이다 (건설교통부, 2006). 이렇게 인적오류 및 위반행위가 철도사고, 특히 대형사고의 주요한 원인으로 인식됨에 따라 인적오류 및 위반행위를 체계적이고 깊이있게 분석하고 그것의 발생을 줄이기 위한 해결책 마련이 시급한 상황이다.

‘철도종사자 등에 관한 교육훈련시행지침’ (건설교통부, 2006)에 보면, 운전업무 및 관제업무종사자, 철도운영안전 관리자 등의 철도종사자를 대상으로 하는 안전교육내용에 ‘철도사고사례 및 사고예방대책’이 포함되어 있긴 하지만, 인적오류에 대한 전문가와 인적오류 관련 전문 교육프로그램이 부족한 실정이다.

한편, 현재 사용되고 있는 철도사고의 분류체계와 보고양식은 인적오류에 대한 고려가 미흡한 수준이다. ‘철도사고보고 및 조사에 관한 지침(안)’ (건설교통부, 2006)에 있는 ‘철도사고등의 분류기준’에 따르면, 운행장애의 종류에 규정위반에 해당하는 5가지 항목들이 있지만 이것들은 소위 인적오류(human error)라기보다 위반(violation)에 해당하는 것들이고, 열차사고 및 운행장애의 원인별 분류에는 인적오류 및 위반행위와 관련된 것이 ‘취급(관리) 부주의’라는 포괄적인 하나의 항목만 있을 뿐이고 그것의 세부 요인들도 없는 상태이다. 또한, 운영기관에서 건교부에 보고하는 양식인 ‘철도사고등의 급보(초기보고) 서식’ 및 ‘철도사고등의 중간(최종) 보고서’에는 발생경위, 사고원인 등의 내용을 특별한 형식없이 보고자 임의대로 서술하는 식으로 되어 있어 보고자가 누구냐에 따라 기술 내용 및 깊이가 달라질 수 있다. 즉 분석 및 보고자간 신뢰도(inter-analyst reliability)가 떨어질 수 있다.

---

\* 한국과학기술원 박사과정, 정회원

\*\* 한양대학교 교수, 정회원

\*\*\* 한국과학기술원 교수, 정회원

사고에 대한 조사 및 분석 방법과 절차에 관하여는 현재 운영기관마다 자체적으로 그 방법 및 절차를 마련하여 운영하고 있는데, 하나의 공통된 체계적인 방법 및 절차를 사용하는 것이 사고사례의 관리 및 통계 처리에도 유용하고, 서로 다른 운영기관에서 분석한 유사 사고의 분석 내용 및 결론의 일관성을 높일 수 있을 것이다.

이에 본 논문에서는 철도사고에서 문제가 된 인적오류 및 위반행위에 대한 체계적인 분석을 통해 그 근본원인을 정확히 밝혀내고 적절한 해결책을 마련하도록 도울 수 있는 인적오류 및 위반행위 분석체계에 대해 기술하고자 한다. 이 연구는 건설교통부 철도종합안전기술개발사업의 한 과제로 계속해서 진행 중에 있으므로 본 논문에서 설명하는 내용은 완성된 분석체계에 대한 것이라기보다 그것의 기본구조에 대한 것이다.

먼저 국내외 인적오류분석 관련 동향에 대해 간단히 살펴본 뒤에, 동향 분석을 토대로 설계된 국내철도분야에 적합한 인적오류 및 위반행위 분석체계의 기본구조에 대해 소개하고, 거기에 사고사례가 어떻게 대입될 수 있는지를 설명할 것이다.

## 2. 국내외 인적오류분석 관련 동향

국내 철도 분야에서는 아직 인적오류에 대한 연구가 초기 단계에 불과하지만, 국내 원자력 분야와 국외 원자력, 항공, 선박 분야 등에서는 이미 인적오류에 대한 연구가 많이 진행되었고, 국외 철도 분야에서도 기존의 원자력, 항공, 선박 분야 등에서 축적된 연구들을 토대로 현재 인적오류에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다. 이들 동향에 대한 자세한 소개는 생략하고 3장에서 설명할 분석체계의 개발에 많은 시사점을 준 몇가지 인적오류 분석방법 및 분류체계들에 대하여 간단히 설명하도록 하겠다.

### 1) 원자력 분야

#### ① K-HPES (Korean version of Human Performance Enhancement System)

HPES는 인적오류 분석을 위한 관리적 기법으로 미국의 INPO(Institute of nuclear power operations)에서 처음 개발되었다. HPES의 목적은 원자력발전소의 운전, 정비, 정기점검 등 제반운영 중에서 인적행위에 의하여 발생하는 고장이나 잠재적인 실수요인을 체계적으로 확인하고 이에 대응하는 시정조치를 통하여 인간 신뢰도를 증진시키고 전반적인 발전소 운영을 개선하고자 하는 것이다. 특히 원자력발전소의 안전성 및 신뢰도 향상을 위해 인적행위의 문제점으로부터 얻은 교훈을 전체 원자력발전소에 전파하고 발전소 운영에 반영하여 유사오류의 재발을 방지하는데 기여할 수 있다. 국내에서는 INPO-HPES를 1990년부터 도입하여 사용하다가 몇 가지 국내 적용상의 문제점이 발견되어 1994년부터는 K-HPES를 개발하여 사용하고 있다. 이후에 전산시스템(CAS-HPES)으로 개발(전력연구원, 1998)되어 더 효율적인 운용체계로 사용되어 왔으며, 현재는 기존의 분석방법을 개선한 웹기반 K-HPES를 개발중에 있다 (한국수력원자력(주), 2004).

현재 운용중인 CAS-HPES(Computer aiding system for HPES)의 분석절차는 육하원칙에 따라 사건이 어떻게 발생했는지를 기술하는 '사건개요기술', 시간순서대로 시스템 상태 및 작업자의 행위, 당시 상황을 구체적으로 기술하는 '사건경위분석', 사건경위분석에서 밝혀진 인적오류행위 각각에 대해 그것과 관련된 19가지 상황정보를 분석하는 '오류상황분석', 각 인적오류의 형태 및 인지적 원인을 판별하는 '인지오류분석', 인적오류에 영향을 미친 기타 환경적 요인들을 찾는 '원인요소분석', 사건의 전체적인 흐름과 각각의 경위에 영향을 미친 원인요소들을 한 눈에 알아볼 수 있도록 표현하는 '사건 및 원인요소(E&CF) 차트 작성', '보고서 작성'의 7단계로 이루어진다. 전산시스템에서는 사건 및 원인요소 차트와 보고서는 일부 자동 생성된다. 또한 각 단계의 분석을 돕는 4가지 조사분석기법(변화요인분석, 방지벽분석, 인적요인조사, 운영검토키법)이 제공된다.

## ② HPIP (Human Performance Investigation Process)

HPIP의 전체적인 분석절차는 앞서 설명한 HPES와 유사하다. HPIP가 HPES와 비교하여 가장 두드러진 차이점은 위와 같은 일련의 분석과정이 SORTM(Stimulus, Operation, Response, Team performance, Management)라고 불리는 문서형태의 일종의 전문가 시스템에 의해서 지원되어 진다는 점이다. SORTM에서 인적오류와 관련된 내용의 분석범위는 인간공학적 측면, 감독, 작업절차서, 교육훈련, 의사소통, 조직관련 요소 등의 여섯 가지의 세부내용으로 축소되며, 각각의 세부내용에서도 이러한 절차가 반복되면서 근본원인에 이르게 된다. 따라서 분석자가 오류의 원인분석을 수행할 때, 주어진 절차대로 제공되는 질문에 예/아니오로 답을 해나가면 어느 부분에서 문제가 발생했는지 자연스럽게 도출된다. 이러한 체계는 분석자의 업무경감과 분석의 복잡도를 줄이는데 중요한 역할을 한다.

## 2) 항공 분야

### ① HFACS (Human Factors Analysis and Classification System)

HFACS는 Reason(1990)의 사고 인과관계 모형(accident causation model, 그림 1)을 기반으로 만들어진 분류체계로 Shappell & Wiegmann(2000)에 의해 항공 분야에 적합한 형태로 만들어졌지만, 분야와 관계없는 일반적인 용어들이 많이 쓰여서 다른 분야에서도 이것을 응용하여 사용하고 있다.

전체를 불안정한 행위(unsafe acts), 불안정한 행위의 전제조건(preconditions for unsafe acts), 불안정한 감독(unsafe supervision), 조직적인 영향(organisational influences)의 4가지 계층(tier)으로 구분하고, 각 계층을 다시 몇 가지 범주(category)로, 각 범주를 다시 여러 개의 하위 범주(sub-category)로 구분하고 있다. 이 분류체계는 인적오류 및 위반행위에 대해 작업현장의 조건들 뿐만 아니라 그것에 직간접적으로 영향을 미치는 감독행위와 조직의 의사결정 및 프로세스 수준까지 폭넓게 고려하여 그 근본원인을 찾을 수 있다는 장점이 있다.

### ② TRACEr (Technique for Retrospective and predictive Analysis of Cognitive Errors)

Shorrock & Kirwan(2002)에 의해 개발된 방법으로 HFACS처럼 시스템 전체의 폭넓은 수준까지 체계적으로 고려하지는 않지만, 인적오류의 외적발현형태(external error mode)부터 인간의 정보처리단계에 따른 내적오류형태(internal error mode)와 심리학적 메커니즘(psychological error mechanism)까지의 항목들을 체계적으로 제공함으로써 인적오류에 대해 심리학적으로 깊이있는 분석을 가능하게 한다. 또한 이 방법은 인적요인(human factors) 분야 비전문가에 의한 분석의 어려움을 줄여주기 위해 의사결정 흐름도(decision flowchart)를 제공하여 질문에 차례로 예/아니오로 답을 해나가면 해당 항목을 찾을 수 있도록 하고 있다.

## 3) 철도 분야

국외에서도 철도 분야는 아직 다른 분야에 비해 인적오류 관련된 연구가 늦은 편이다. 따라서 연구가 앞서 있는 항공 분야에서의 인정된 방법 및 체계들을 응용하는 경우가 많다. Reinach & Viale(2006)은 HFACS를 응용하여 HFACS-RR(railroad)을 개발하였고, 영국의 RSSB(rail safety & standards board)에서는 2005년에 TRACEr을 응용하여 철도 분야에 적합한 분석체계를 마련한 바 있다.

## 4) 기타

### ① CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)

CREAM은 Hollnagel(1998)에 의해 개발된 제 2세대 인간신뢰도분석(HRA) 기법중 하나로 특정 산업 분야와 관계없이 개발되었기 때문에, 어느 분야에나 적용이 가능한 방법이다. 이 방법은 사고 예방을 위한 목적으로 사용될 수도 있고, 사건 발생 후 분석을 위한 목적으로도 사용될 수 있다.

CREAM에서의 분류체계는 우선 인간 오류행위의 외적발현형태(external manifestation)에 해당하는 표현형(phenotype)과 표현형의 원인에 해당하는 유전자형(genotype)을 구분한다. 표현형은 8가지(timing, duration, force, distance, speed, direction, object, sequence)로 분류되고, 유전자형은 먼저 사람과 관련된 유전자형(person related genotypes), 기술 관련 유전자형(technology related genotypes), 조직 관련 유전자형(organisation related genotype)의 3가지로 구분되고, 각각은 다시 몇 가지의 분류 그룹(classification group)으로 나뉜다. CREAM에서는 앞서 설명한 다른 분류체계들과 같이 근본원인을 찾는 길이 미리 정해져 있지 않고 사건의 상황(context)에 따라 분류 그룹 간의 연결이 달라질 수 있다. 이러한 인지시스템공학(cognitive systems engineering) 분류체계는 잘 사용하면 사건 당시의 상황(context)에 따라 보다 정확하고 융통성있는 분석을 할 수 있겠지만, 현장의 분석자들이 이 방법을 사용하기란 쉽지 않을 것으로 여겨진다.

② STEP(Sequential Timed Events Plotting)

Hendrick & Benner (1987)에 의해 개발된 것으로 여러 행위자(actor)들의 행위를 시간순서대로 나열하고 행위 간의 관계를 나타내는 방법이다. 하나의 행에 한 행위자의 행위들이 순서대로 나열되고 다른 행에는 다른 행위자의 행위들이 나열된다. 한 사건/사고에 관계된 행위자들이 여럿인 경우에 유용한 방법으로 철도분야에 적합한 것으로 여겨진다.

5) 철도분야에 적합한 인적오류 및 위반행위 개선체계의 적용점

앞서 설명한 국내의 인적오류 동향분석 내용중 이후에 설명할 인적오류 및 위반행위 개선체계의 설계에 적용할 만한 점들을 정리해보면 표 1과 같다.

인적오류 분석방법 및 분류체계	적용점
K-HPES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 체계적인 인적오류 개선체계 (분석절차)</li> <li>• 상세한 원인분석 (원인요소분석표)</li> <li>• 의사결정단계모형에 기반한 인적오류 분류체계</li> </ul>
HFACS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accident causation model을 기반으로 한 분류체계</li> <li>• 시스템적 접근법 (감독/관리 및 조직적 수준까지 폭넓게 고려)</li> </ul>
TRACEr	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개인의 인지적 과정에 대한 상세하고 체계적인 분석</li> <li>• Human factors 분야 비전문가를 돕기 위한 의사결정흐름도</li> </ul>
Rail-specific version of TRACEr (RSSB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 철도 환경에 적합한 원인 요소</li> </ul>
CREAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사건상황분석과 원인분석 간의 유기적 연계</li> <li>• 인지공학적 분류체계</li> </ul>
STEP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사건경위분석 양식에 응용</li> </ul>

표 1 국내의 인적오류 동향분석 내용의 적용점

3. 인적오류 및 위반행위 분석체계의 기본구조 제안

여기서 인적오류와 위반행위의 개념에 대해 설명할 필요가 있다. 인적오류(human error)라 함은 행위자가 의도하지 않은 결과를 야기한 행위를 말한다 (Reason, 1990). 의사결정을 잘못해서 발생(mistakes)할 수도 있고, 의사결정은 제대로 했지만 그것을 실행하는 과정에서 잘못하여 발생(slips)할

수도 있다. 또한 위반행위(violation)는 일반적으로 안전수칙 및 절차를 고의로 어기는 것(deliberate deviations)이라고 정의되고 (Reason, 1990), 규정 및 절차를 어긴 행위가 고의가 아닌 경우는 인적오류로 구분하지만, 행위자의 의도를 알기 어려운 경우에는 인적오류와 위반 중 어느 것으로 분류해야 할 지 어려워지는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 위반행위를 행위자의 의도와 상관없이 문서로 쓰여져 있는 작업규정, 안전수칙 및 절차, 교육훈련내용 등을 어긴 것으로 정의한다. 이것은 기존 연구자들의 정의보다 사전적인 의미에 더 가깝다. 그리고 여기서 고의가 아닌 위반행위는 위반행위이면서 동시에 인적오류에 해당된다.

### 1) 철도사고 인과관계 모형

사건/사고를 제대로 분석하기 위해서는 먼저 사건/사고가 어떤 인과관계를 통해 발생하는지를 나타내는 사고 인과관계 모형(accident causation model)을 이해할 필요가 있다. 사고 인과관계에 대한 여러 가지 모형 중에 가장 널리 사용되는 Reason의 모형(1995)은 그림 1과 같다. 작업장(workplace)의 여러 조건들이 오류(errors)와 위반(violations) 행위에 직접적인 영향을 미치고, 경영/관리상의 의사결정 및 조직의 프로세스가 작업장의 조건들을 형성한다. 개인이나 팀에서 오류나 위반행위가 발생해도 바로 사고(accidents)가 발생하는 것이 아니라 여러 가지 방어벽들(defenses)을 거친다. 이 때 필요한 방어벽이 존재하지 않거나 존재하는 방어벽들이 부적절하면 사고가 발생하게 된다. 경영/관리상의 의사결정 및 조직의 프로세스가 이 방어벽들의 상태에 직접 영향을 미친다.

여러 분야에 걸쳐 사건/사고 조사 및 분석체계를 개발할 때 이 모형을 기반으로 하는 경우가 많다. 철도 분야에서도 1999년 영국에서 있었던 Ladbroke Grove 열차충돌 사고를 이 모형을 기반으로 다시 분석한 연구가 최근에 있었다 (Lawton & Ward, 2005).

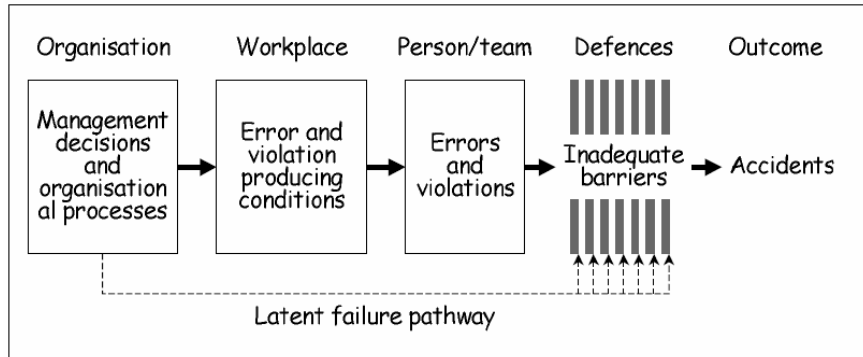


그림 1 Reason(1995)의 사고 인과관계 모형

하지만, Reason의 모형은 특정 분야에 국한되지 않은 일반적인 사고에 대한 모형이기 때문에 이것을 토대로 철도분야에 적합한 사고 인과관계 모형을 제시하면 그림 2와 같다.

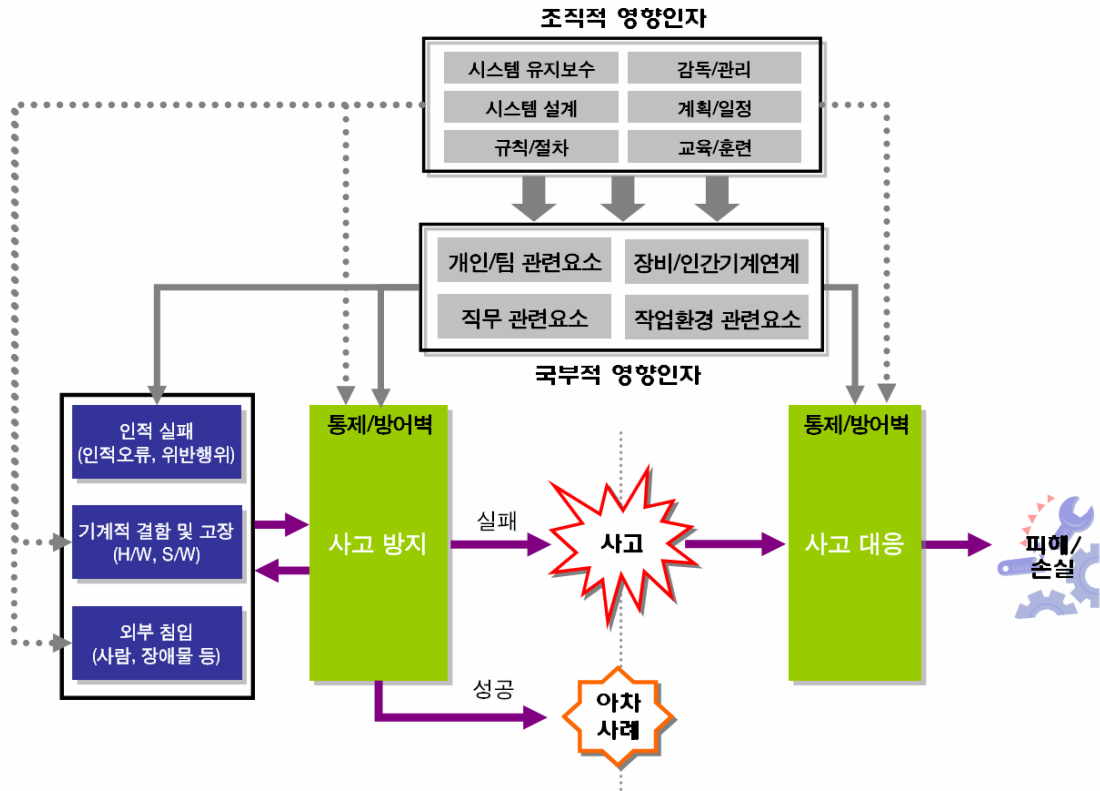


그림 2 철도분야에 적합한 사고 인과관계 모형

사고의 발생은 초기 사건(initiating event)으로부터 시작된다. 앞서 설명한 Reason의 모형에서는 초기 사건에 해당하는 부분에서 인적 실패(인적오류 및 위반행위)만을 고려했지만, 국내 철도사고 통계를 보면 이러한 인적 실패로 시작된 사고보다는 기계적 결함 및 고장 또는 사람, 장애물 등의 외부 침입으로 시작된 사고가 훨씬 많은 비중을 차지하고 있다. 또한 국내 철도분야 운전사고의 대다수를 차지하고 있는 건널목사고는 대부분이 기관사의 인적 실패로 인한 사고라기보다 외부 침입(자동차, 오토바이 등)으로 인한 사고이다. 따라서 초기 사건에 해당하는 것을 그림과 같이 3가지로 구분하고자 한다.

초기 사건의 발생 후 사고방지 단계로 이어지는데 발생한 초기 사건에 대해 인간의 통제(control)나 물리적/행정적 방어벽들(defenses; 철도 분야에서는 ATC, ATP 등의 자동열차제어장치, 졸음운전방지장치 등이 대표적인 물리적 방어벽에 해당하고, 운전매뉴얼, 고장조치안내서, 안전수칙 등의 규정 및 절차가 대표적인 행정적 방어벽에 해당한다)이 역할을 제대로 하면 사고(incident)로 이어지지 않고 아차사례(near miss)로 끝나게 된다. 이 때 사건 전체가 종결되기 전에 초기 사건의 발생과 그에 대한 사고방지 과정이 여러 번 발생할 수도 있다. 가령, 기관사가 인적오류를 저지른(초기 사건) 뒤에 그것을 제때 발견하고 대처(사고 방지)하여 정상 상태로 돌아가 계속해서 운전을 하던 중, 전방에 장애물이 있음(외부 침입)을 발견하고 급히 제동을 걸어 장애물과 부딪히기 전에 열차를 멈추는(사고 방지) 경우가 그에 해당한다.

사고방지 단계에서 실패하게 되면 사고가 발생하는데 사고의 발생으로 사건 전체가 바로 종결되는 경우도 있지만, 사고대응 단계를 거치는 경우도 있다. 이런 경우엔 사고가 발생한 뒤에 관련 업무종사자들이 발생한 사고에 어떻게 대응하느냐에 따라 사고의 결과가 크게 달라질 수 있다. 대표적인 예로 2003년에 발생했던 대구 지하철 화재사고는 방화로 인해 화재(사고)가 발생한 이후 기관사, 사령, 역무원, 승객 등의 관련자들이 제대로 대응하지 못해 매우 심각한 결과를 초래한 경우이다. 사고방지 단계와 마찬가지로 사고대응 단계에서도 인간의 통제(control)나 물리적/행정적 방어벽들(defenses)이 역할을 제대로 하는지가 관건이다.

그림 2에서 이 연구의 주관심인 “인적오류 및 위반행위”가 발생할 수 있는 시점은 초기 사건 단계의

인적 실패, 사고방지 단계, 사고대응 단계, 이렇게 세 부분이다. 각 부분은 오류 및 위반행위를 유발시키는 조건들(국부적 영향인자)에 의해 직접적인 영향(회색 실선 화살표)을 받는다. 이러한 조건에는 개인/팀 관련요소(작업자의 물리적/정신적 상태, 지식/경험, 태도/동기, 의사소통문제 등), 직무 관련요소(작업 부하, 긴급도 등), 장비/인간-기계연계 관련요소(신호기, 운전실/운전대 기기 등), 작업환경 관련요소(소음, 온도 등의 물리적 환경, 작업공간의 배치 등)가 있다. 그리고 이러한 조건들은 조직적 영향인자들의 영향을 받아 형성되는데, 대표적인 것으로 시스템 유지보수, 시스템 설계, 감독/관리, 교육/훈련 등이 있다.

또한 이러한 조직적 영향인자들은 방어벽들(defenses)의 상태에도 영향을 미친다. 시스템 유지보수, 시스템 설계 등에 문제가 있으면 관련된 방어벽들이 약화되어 사고 발생의 가능성이 더 높아지게 된다(Reason, 1995).

## 2) 인적오류 및 위반행위 분석체계 절차

여기서 제안하는 인적오류 및 위반행위 분석체계의 절차(그림 3)는 기본적으로 앞서 설명한 K-HPES의 절차를 따른다. 절차는 크게 두 단계로 나눌 수 있는데, 사건/사고에 대한 정보를 수집하여 사건/사고를 재구성하는 단계(그림 3의 윗부분)와 사건/사고의 원인을 밝혀내고 재발 방지를 위한 해결책을 마련하는 단계(그림 3의 아랫부분)이다.

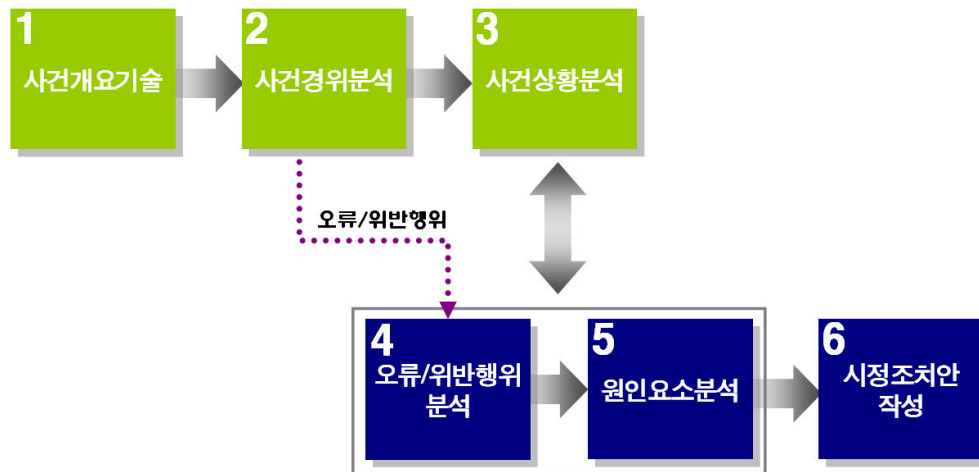


그림 3 인적오류 및 위반행위 분석체계의 절차

각 단계에 대한 설명은 다음과 같다.

### 가. 사건개요기술

이 단계에서는 사고유형, 사건발생일시, 기상상태, 발생장소, 관계열차, 피해상황 및 규모 등 사건/사고와 관련된 개괄적 정보를 기술하고, 육하원칙에 따라 사건/사고가 어떻게 발생했는지에 대한 개요를 기술한다. 발생한 사건/사고의 유형은 기본적으로 ‘철도사고보고 및 조사에 관한 지침’(건설교통부, 2006)에서의 “철도사고등의 분류기준”을 따라 결정하도록 한다.

### 나. 사건경위분석

사건개요기술 단계에서 사건이 어떻게 발생했는지에 대해 개략적인 스토리를 기술한다면, 사건경위분석에서는 전체 스토리를 시간순서대로 잘게 쪼개어 각각을 좀 더 구체적으로 분석하여 구조화된 양식에 기입하고 어느 부분에서 어떤 문제가 있었는지를 파악한다. 사건경위분석에 앞서 사건에 대한 이야기(개요)를 먼저 기술해야 하는 이유는 그것이 분석자의 선입견(bias)의 영향을 줄여주어 사건경위의 정확성을 높여주기 때문이다. 이것은 화재발생 현장에 있었던 사람들과 면담할 때 사용되는 기법인

BSIT(Behavioural Sequence Interview Technique)에서도 마찬가지로 적용되는 원리이다 (Keating & Loftus, 1984).

K-HPES의 사건경위분석에서는 시간별로 시스템 상태 및 행위를 기술하도록 되어 있지만, 철도 분야에서 주요한 사고들은 다양한 행위주체(기관사, 사령, 역무원, 승무원, 승객 등) 간 상호작용에 의해 발생하기 때문에 시간순서에 따라 행위주체별로 무엇을 했는지와 각 행위가 서로 어떤 인과관계를 갖는지를 파악하는 것이 중요하다. 따라서 그림 4와 같은 양식이 철도 분야에 적합한 것으로 여겨진다. 시간별로 전반적인 사고 상황이 어떠했고, 각 행위 주체가 어떤 행위를 했는지를 기술하여 어떤 행위가 인적 오류 또는 위반행위인지를 판별한다. 또한 문제가 되는 행위 사이의 인과관계가 있는 경우 화살표로 표시하여 원인추적에 도움이 되도록 한다. 행위주체는 사건/사고와 관련된 주체를 기입하면 된다. 간단한 사고의 경우 행위주체가 1명일 수도 있고, 복잡한 사고의 경우는 행위주체가 5명 이상이 될 수도 있다.

시간	사고상황	행위주체 1	행위주체 2	행위주체 3

그림 4 사건경위분석 양식

#### 다. 사건상황분석

이 단계에서는 사건 발생의 배경이 되는 여러 가지 상황정보를 분석한다. 기관사, 사령, 역무원 등 작업자 관련 정보, 직무 관련 정보, 작업환경 관련 정보, 조직 관련 정보의 크게 4가지 측면에 대해 분석한다. 각각에 대한 세부 분석 항목들은 다음과 같다.

- 작업자 관련 정보 : 업무 분야, 해당 직무 경력, 업무 적성 및 자격, 훈련상태/작업지식, 신체적/정신적 상태, 근무 형태(일상/교대/임시), 연령, 성격, 태도, 동기, 만족감 등
- 직무 관련 정보 : 당시 직무 및 직무 단계, 작업부하(workload), 직무 긴급도(time pressure), 작업 방법 및 절차의 적합성 등
- 작업환경 관련 정보 : 장비(MMI, 신호기 등)의 적절성, 선로 주변상황, 절차서의 이용가능성, 물리적 환경(소음,진동,조명,온도,날씨,환기 상태 등), 작업공간 배치 등
- 조직 관련 정보 : 작업자 교육/훈련 정책 및 상황, 시스템 설계 및 유지보수, 안전규정 및 절차, 작업자 포상/승진 및 처벌 규정, 감독 및 관리의 적절성, 작업 부서간 의사소통 및 협력, 노사 관계, 해당 조직의 문화 및 환경, 부서장의 경영 스타일 등

분석 항목들은 여기에 열거한 것들 외에도 더 다양할 수 있지만, 현장에서의 사건/사고 분석 과정에서 이 모든 항목들을 다 분석하기란 쉽지 않다. 가용한 분석자의 수에 비해 발생하는 사건/사고의 수가 많아서 시간이 부족한 실정이기 때문이다. 따라서 사건/사고의 종류와 관계없이 공통적으로 고려해야 할 항목들을 정해놓고 먼저 그것들에 대해서만 분석을 한 뒤, 그 외의 항목들은 사건경위분석을 통해 발견된 문제 행위에 대한 원인을 추적하는 과정(오류/위반행위 분석 및 원인요소분석)에서 분석이 필요하다고 여겨지는 항목들에 대해서만 분석하는 것이 보다 현실적인 방법이 될 것이다.



라. 오류/위반행위 분석

이 단계에서는 앞서 사건경위분석에서 파악된 인적오류 및 위반행위들을 분석 대상으로 삼아 오류/위반 분류체계를 이용하여 각 오류 및 위반행위의 유형(type)을 판별하고, 그것에 영향을 미친 인적, 기술적, 상황적, 조직적 요인들이 무엇이었는지를 가려낸다.

오류(errors)와 위반(violations)은 그 심리학적인 발생 메커니즘이 서로 다르기 때문에 각기 다른 분류체계와 개선방안이 필요하다. 오류는 외부의 자극(stimulus)에 대해 일반적으로 '지각(perception) - 인지 및 추론(cognition/inference) - 행동(action/execution)'의 과정을 거치는 인간의 정보처리모형 또는 의사결정단계모형에 따라 분류가 가능하지만, 오류가 아닌 위반은 정보처리모형으로 설명할 수 없고 행위자의 태도 및 동기나 사회적인 요소들이 영향을 많이 미친다.

이런 차이에도 불구하고 문제가 되는 어떤 행위가 오류인지 위반인지 구분하기가 쉽지 않은 경우가 많다. 철도분야와 같이 안전을 특히 중요하게 여기는 분야의 경우 작업자(operator)의 행위가 안전 규정 및 절차 내에서 이루어지도록 하고 있으며, 사건/사고가 발생함에 따라 그것의 재발 방지를 위한 새로운 규정 또는 절차들이 계속해서 생겨나기 때문에 대부분의 문제 행위는 일차적으로 규정 또는 절차에서 벗어난 위반행위라고 할 수 있다. 이러한 위반행위는 고의적인 경우도 있고, 고의가 아닌 경우도 있다. 이 때 고의가 아닌 위반행위는 위반행위이면서 동시에 인적오류에 해당한다. 여기서는 이런 경우를 '고의적인 위반(intentional violations)'과 구분하여 '오류에 해당하는 위반(erroneous violations)'이라고 하겠다. 또한, 규정 및 절차와 관계없는 오류행위가 있을 수 있는데 그러한 경우를 '규정과 관계없는 오류(errors unrelated to rules)'라고 하겠다. 그림 5는 오류 및 위반행위의 몇 가지 유형과 그것을 결정하는 의사결정 흐름도를 나타내고 있다. '오류에 해당하는 위반'을 그 원인에 따라 3가지로 분류하였다.

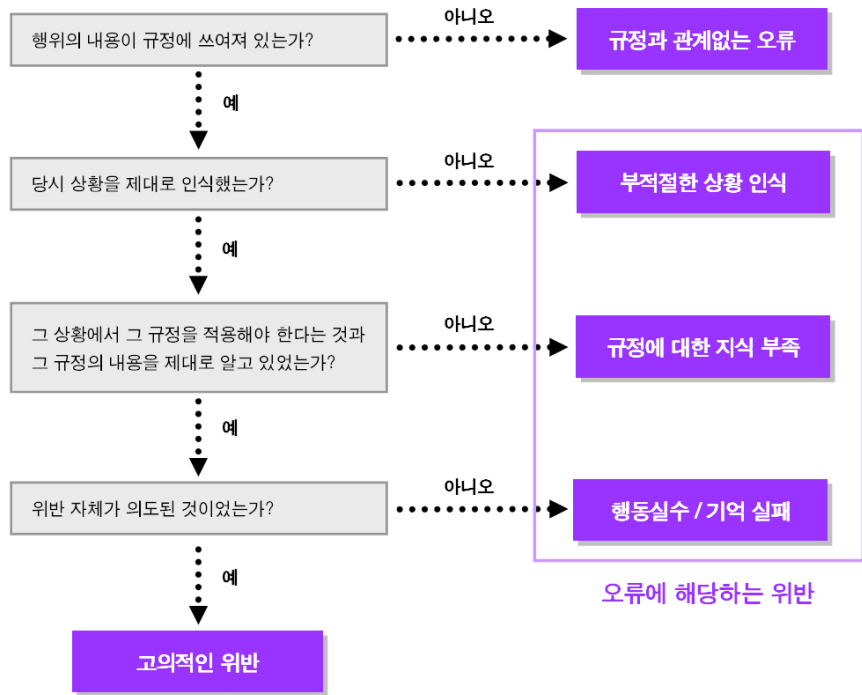


그림 5 오류/위반 분류체계 - 의사결정 흐름도

그림 5에 나타난 각 유형마다 그 세부 분류항목과 국부적 요인(local factors) 및 조직적 요인(organizational factors)들이 주어진다. 차례로 해당되는 항목들을 선택(복수선택 가능)하며 원인분석을 수행한다. 원인 분류표의 초안이 만들어져 있지만, 추후 보완이 많이 필요하므로 여기서는 원인 분류표에 대한 구체적인 설명은 생략하겠다.

마. 원인요소분석

이 단계에서는 앞서 오류/위반행위 분석에서 밝혀진 요인들이 왜 문제가 되었는지를 원인요소분석표를 통해 더 상세히 분석한다.

원인요소분석에서 사건/사고의 원인요소를 파악하기 어렵거나 원인요소를 제대로 파악했는지 검증하고자 할 때 방지벽 분석(barrier analysis)을 시행한다. 방지벽은 앞서 사고 인과관계 모형에서 설명했던 방어벽과 같은 개념으로 사고의 발생을 막기 위해 만들어진 것들을 총칭하는 말이다. 방지벽 분석에서는 기존의 방지벽들이 왜 무너졌는지 또는 필요한 방지벽들이 왜 없었는지를 파악하고, 유사 사건/사고의 재발 방지를 위해 어떤 방지벽들이 수정·보완되어야 하고, 어떤 방지벽들이 새로 추가되어야 하는지를 분석한다. 분석 결과는 자연스럽게 시정조치안으로 연결될 수 있다.

#### 바. 시정조치안 작성

이 단계에서는 발생한 인적오류 및 위반행위가 다시 발생하는 것을 방지하기 위한 시정조치안을 작성한다. 오류/위반행위 분석과 원인요소분석에서 밝혀진 요인들이 어떤 것들인지에 따라 시정조치안의 내용이 달라지겠지만, 업무종사자의 교육/훈련, 시스템 설계 및 유지보수 개선, 관련 규정 및 절차의 개선 등이 주요한 내용이다.

### 4. 사례분석 (고모-경산역간 열차추돌사고)

앞서 설명한 인적오류 및 위반행위 분석체계의 이해를 돕기 위해 업무종사자들의 인적오류 및 위반행위가 사고의 주원인이었던 고모-경산역간 열차추돌사고를 사례로 삼아 설명하고자 한다.

#### 1) 사건개요기술

사고유형(여기서는 ‘열차추돌사고’), 사건발생일시(2003년 8월 8일 오전 7시 13분경), 기상상태, 발생장소(경부선 고모-경산역 사이 하행선 서울역기점 337km 지점), 관계열차(제2661 화물열차, 제303 무궁화호열차), 피해상황 및 규모(사망 2명, 부상 58명, 제303열차, 제2661열차 파손, 열차지장 등), 관계자, 목격자, 보고자 등의 정보를 주어진 양식에 맞게 기입하고 다음과 같이 사고개요를 기술할 수 있다.

“경부고속철도 관련 신호설비의 개량공사로 인해 고모~경산역 사이 하행선은 통신식(06:00~14:00)을 시행하여 열차운전취급을 하도록 계획되어 있었다. 오전 05:55경 고모역에서는 통신식 사용에 따른 사령승인(497호)을 받고 4개 열차(#2031, #1121, #305, #2003) 취급 후 오전 07:02에 제2661 화물열차를 출발시키는 과정에서 고모역 출발신호기를 현시하면서 “2661열차 정상운행합니다. 출발신호기 확인하고 발차합니다”라는 무선통보를 했을 때 제2661열차 기관사는 통신식이 아닌 자동폐색식으로 운행하는 것으로 착각하였고 이후 제2661 화물열차 기관사는 자동폐색신호기의 현시조건에 따라 운행하던 중 자동폐색신호기 2호주에 정지신호가 현시되어 정차하였다가 경산역에서 “통신식 사용하니 신호무시하고 들어오라”는 무선통화를 받고 출발하던 중이었다. 이 때 고모역에서는 선행 제2661열차가 경산역에 도착하지 않았는데도 제303 무궁화호열차를 07:09 통과취급 하였고 제303 무궁화열차가 자동폐색신호기 4호주를 지나 곡선반경 800m 우곡선을 약 110 km/h 속도로 운행하던중 약 400m 전방에 있는 화물열차 후부를 발견하고 비상제동을 걸었으나 미급하여 화물열차 후부를 추돌, 기관차 바로 다음에 연결된 발전차 앞바퀴 2개가 탈선되고, 이때 발전차 바로 다음의 객차가 발전차쪽으로 밀려들어가 끼이면서 충격을 주어 다수의 사상자가 발생되었다.”

#### 2) 사건경위분석

그림 6은 2003년 8월에 있었던 고모-경산역간 열차추돌사고에 대한 사건경위분석의 예를 보여주고 있다. 붉은 글씨로 표시된 행위들이 인적오류 또는 위반행위에 해당하는 것들이다. 또한 화살표는 각 행위 사이의 인과관계를 나타낸다. 가령, 고모역 운전취급원이 ‘선행열차(제2003호 열차)가 아직 경산역에 도착하지 않은 상태에서 제2661호 화물열차에 정상운행을 지시’한 위반 행위는 ‘제2003호 열차가 경산역에 도착하기 전이라도 제2661호 화물열차를 출발시키라’는 운전사령의 지시가 있었기 때문이다.

시간	사고상황	운전사령	고모역	303열차 기관사	2661열차 기관사	경산역
07:00	신호기 교체작업을 위해 통신식 시행 중	2003열차가 경산역 도착하기 전에 2661열차 출발 지시			고모역 도착, 선행 2003열차 개통대기로 기다림	
07:02			경산역과 협의없이 2661 열차에 정상운행 지시/ 이후 경산역에 2661열차 출발 사실 알림		고모역 출발 (통신식을 취소하고 자동폐색방식으로 정상운행하는 것으로 착각)	고모역에 선행열차 통과도 하지 않았는데 왜 2661열차를 보냈느냐고 응답
07:05		하행선 출발신호기 시험후 이상없으면 출발신호기에 의해 열차 출발시키라고 지시	출발신호기의 신호현시 상태 시험후 이상 없어 신호현시를 해둠	동대구역 출발	자동폐색신호기 신호현시 조건에 따라 운행	
07:07		303열차 지연이 되면 안되니 통과시키라고 지시	운전사령에 303열차 통과여부 문의			선행열차(2003열차) 빨리 들어오라고 통보
07:09	1 폐색구간에 2개 열차 진입	경산역 운전취급자에게 2661 열차 빨리 들어오라고 독촉할 것을 지시	303열차 통과시킴/ 경산역에 303열차 통과 사실 알리지 않음	고모역 통과/ 사령승인번호 확인하지 않음/ 경산역과 통화 안함	폐색 2호주에 정지신호가 현시되어 급제동, 경산역에 통보/ 고모역에는 통보 안함	통신식 사용하니 신호기 무시하고 그냥 들어오라고 함/ 빨리 들어오라고 독촉
07:11	303열차와 2661열차 충돌			약400m 전방에서 2661열차 발견하고 비상제동을 걸었으나 미급하여 2661열차 후부 충돌	약 10m정도 진행 무렵 303열차에 의해 부딪힘	
07:13				고모역에 충돌사고 발생사실 통보	경산역에 열차 후부에 무엇이 부딪친 것 같다고 통보	추돌사고 발생인지, 운전사령에 급보, 119 수배

그림 6 고모-경산역 간 열차추돌사고에 대한 사건경위분석 예시

### 3) 사건상황분석

작업자 관련 정보에서 ‘업무 적성 및 자격’ 항목을 분석함으로써 당시 고모역 운전취급원이 적성검사를 받지 않아 운전취급을 할 수 있는 자격이 없는 상태였으나 역장이 이를 무시하고 운전취급원으로 지정했다는 사실을 발견할 수 있다.

또한, 작업환경 관련 정보에서 ‘장비의 적절성’ 항목을 분석함으로써 당시 신호기등을 완전소등 또는 신호기를 옆으로 돌려놓는 등의 조치를 취해야 함에도 이를 시행하지 않고 사고구간의 신호기가 정상으로 동작되고 있었다는 것을 알 수 있다.

해당 장비(신호기)가 적절치 못했던 점에 대한 원인을 추적하는 과정에서 조직 관련 정보의 ‘감독 및 관리의 적절성’ 항목을 분석하여 시공사에서 신호기 사용중지에 따른 안전조치를 하지 않은 것과 감리단이 그 이행여부를 감독하는 책임을 소홀히 했던 것을 밝혀낼 수 있다. 그리고 조직 관련 정보의 ‘작업자 교육/훈련 정책 및 상황’ 항목에서 통신식 시행에 따른 운전취급방법 및 주의사항 등에 대한 세부적인 교육이 이루어지지 않았다는 것을 밝혀내 이것이 발생한 문제 행위들의 배경이 되었다는 것을 알 수 있다.

### 4) 오류/위반행위 분석

사고경위분석에서 밝혀진 인적오류 및 위반행위(붉은색 표시) 각각에 대해 분석이 이루어지는데, 한 예로 제2661 화물열차의 기관사가 통신식 시행중에도 불구하고 “자동폐색신호기 신호현시 조건에 따라 운행”한 위반행위에 대해 분석해 보면 그림 7과 같다. 크게 세 구역으로 나뉘어지는데, 먼저 사건경위분석 결과로부터 분석대상인 위반행위에 영향을 미친 다른 인적오류 및 위반행위들을 ‘인적오류 및 위반행위’란에 나열하고 행위 간 인과관계를 화살표로 표시한다. 그리고 인과관계를 표시할 때 원인에 해당하는(화살표가 시작되는) 행위에 대해서는 각각 그림 5의 의사결정 흐름도에 따라 어느 유형에 해당하는지를 판별한 뒤, 해당 원인분류표를 통해 그것에 영향을 미친 국부적 요인들(local factors)과 조직적 요인들(organizational factors)을 찾아 해당 란에 나타낸다.

가령, 제2661 화물열차의 기관사가 자동폐색방식으로 정상운행하는 것으로 착각한 것은 고모역 운전취급자가 정상운행을 지시했기 때문인데, 그것은 다시 운전사령의 지시가 있었기 때문이다. 운전사령의 이 지시는 분명히 위반행위인데, 그림 5의 의사결정 흐름도에 따르면 ‘고의적인 위반’에 해당한다. ‘고의적인 위반’에 대한 원인분류표를 통해 그 행위의 국부적 요인으로 ‘시간적 압박(time stress)’을 꼽을 수 있는데, 사고 발생 이후 고모역장의 진술 내용을 통해 당시 운전사령이 통근열차인 제303 무궁화호열차의 지연을 막기 위해 신경쓰고 있었음을 알 수 있기 때문이다. 그리고 시간적 압박에 대한 조직적 요인으로 ‘경영상의 압력’이나 ‘보상 및 처벌 규정’을 꼽을 수 있다.

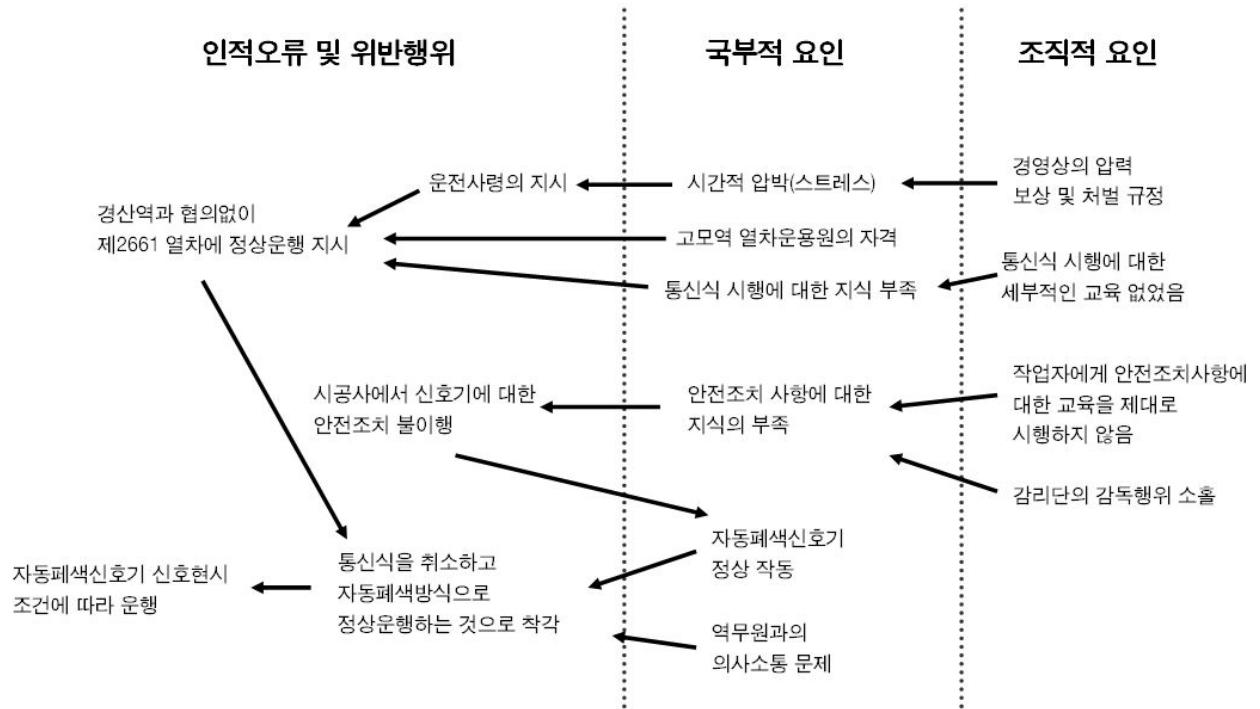


그림 7 고모-경산역 간 열차추돌사고에 대한 오류/위반행위 분석 예시

### 5) 원인요소분석

그림 7과 같은 분석을 통해 밝혀진 요인들(국부적/조직적 요인)이 왜 문제가 되었는지를 원인요소분석표를 통해 더 상세히 분석한다. 원인요소분석표는 아직 개발 단계에 있어 여기서는 생략하겠다.

### 6) 시정조치안 작성

오류/위반행위 분석과 원인요소분석을 통해 정리된 사건/사고의 원인들을 토대로 업무종사자의 교육/훈련, 시스템 설계 및 유지보수 개선, 관련 규정 및 절차의 개선 사항 등의 항목별로 시정조치안을 작성할 수 있다. 그 구체적인 내용은 생략하겠다.

## 5. 결론

본 논문은 국내 철도분야가 아직 인적오류에 대한 체계적인 분석이 미흡한 실정임을 감안하여 국내의 산업별 동향을 살펴보고 그 분석내용을 토대로 하여 철도분야에 적합한 인적오류 및 위반행위 분석체계의 기본구조를 제시하였다.

이 분석체계가 완성되면 철도사고에서의 인적오류 및 위반행위의 원인들을 보다 체계적이고 깊이있게 분석하여 더 정확한 근본원인을 찾아내고 그에 대한 시정조치안을 체계적으로 작성할 수 있을 것으로 기대된다.

추후 국내 철도현장에 대한 더 많은 이해와 사고사례 분석을 통하여 여기서 제시한 분석체계를 수정·보완해 나갈 것이다. 특히 국내 철도분야에 적합한 인적오류 및 위반행위의 원인분류표와 원인요소분석표를 완성하고, 분석 결과를 통해 시정조치안을 체계적으로 작성하는 방안에 대해 연구해야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 건설교통부 (2006). “철도안전종합계획: 제1차 (2006-2010)”, 2006. 2
2. 건설교통부 (2006). “철도사고보고 및 조사에 관한 지침(안)”, 건설교통부 고시 제2006-3호
3. 건설교통부 (2006). “철도중사자 등에 관한 교육훈련시행지침”, 건설교통부 고시 제2006-51호
4. 전력연구원 (1998). “원자력발전소 인적행위 개선시스템 (K-HPES) 개발 (II)” 최종보고서.
5. 한국수력원자력(주) 환경기술원 (2004). “사고근접 사례 분석 절차 개발 및 K-HPES 개선(I)” 최종보고서, 2004. 9
6. 한국철도기술연구원 (2005). “철도사고 위험요인(PHA) 분석기술 개발” 1차년도 연차보고서.
7. RSSB (2005). *Rail-specific HRA technique for driving tasks*, Final Report.
8. Gordon, R., Flin, R. & Mearns, K.(2005). Designing and evaluating a human factors investigation tool(HFIT) for accident analysis. *Safety Science*, 43, 147-171.
9. Hendrick, K. & Benner, L. (1987). *Investigating Accidents with STEP*. Marcel Dekker.
10. Hollnagel, E. (1998). *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*. Elsevier; Oxford.
11. Keating, J.P. & Loftus, E.F. (1984). *Post Fire Interviews: Development and Field Validation of the Behavioural Sequence Interview Technique*. Centre for Fire Research, US Department of Commerce; Gaithersburg.
12. Lawton, R. & Ward, N.J. (2005). A systems analysis of the Ladbroke Grove rail crash. *Accident Analysis and Prevention*. 37, 235-244.
13. Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press; New York.
14. Reason, J. (1995). A systems approach to organizational error. *Ergonomics*, 38(8), 1708-1721.
15. Reinach, S. & Viale, A. (2006). Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 396-406.
16. Shappell, S.A. & Wiegmann, D.A. (2000). The Human Factors Analysis and Classification System - HFACS. DOT/FAA/AM-00/7.
17. Shorrock, S.T. & Kirwan, B. (2002). Development and application of a human error identification tool for air traffic control. *Applied Ergonomics*, 33, 319-336.
18. Sklet, S. (2002). *Methods for Accident Investigation*. ROSS(Reliability, Safety, and Security Studies) at Norwegian University of Science and Technology.
19. Thomas, L., Rhind, D. (2003). *Human factors tools, methodologies and practices in accident investigation: implications and recommendations for a database for the rail industry*. Cranfield University.
20. Wiegmann, D.A. & Shappell, S.A. (2001). A human error analysis of commercial aviation accidents using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). DOT/FAA/AM-01/03.