

## 인적오류 분석기법의 국내외 활용 현황 및 국내 철도 산업에의 적용 방안

## An Investigation of Human Error Analysis Techniques in Various Industries with Implications for the Korean Railway Industry

김동산<sup>†</sup> · 백동현\* · 윤완철\*\*

Dong-San Kim · Dong-Hyun Baek · Wan-Chul Yoon

## Abstract

Since human errors are being recognized as one of the primary issues in railway safety, there is a definite need for human error analysis techniques that can identify the types of errors and their causes and derive effective countermeasures to help reduce their future probability. But, for some reasons, there are not yet systematic procedures or techniques for analyzing human errors in the Korean railway industry. This paper introduces several techniques that have been developed and utilized for analyzing human errors in Korean and overseas nuclear power, aviation, railway, offshore oil industry, etc., and summarizes the strengths and weaknesses of each technique. Based on the investigation of the techniques, the paper also discusses the implications for the development of a human error analysis system for the Korean railway industry.

**Keywords** : Human error, Accident analysis, Railway safety

인적 오류, 사고 분석, 철도 안전

## 1. 서론

국내 철도사고 통계에 따르면, 고속철도를 포함한 일반철도의 경우 최근 10년('95~'04년) 동안 발생한 열차사고(충돌, 추돌, 탈선, 화재)의 61%가 종사원의 취급부주의로 인한 것이고, 건널목사고의 74%가 무단횡단, 차단기 돌파 등 자동차 운전자가 철도 건널목에서 교통법규를 준수하지 않아 발생한 사고이다[1].

이렇게 업무종사자의 인적 오류(human error)가 사고, 특히 대형 사고의 주요한 원인으로 밝혀지는 것은 다른 산업 분야에서도 마찬가지다. 항공 분야 사고의 70~80%가 인적

오류로 인해 발생하고[2,3], 원자력 발전소에서 발생하는 사고의 절반 이상이 인적 오류에 기인하는 것으로 알려져 있으며[4,5], 석유화학 분야와 의료 분야에서도 인적 오류로 인해 발생하는 사고가 상당한 비중을 차지하고 있다[6,7].

기술의 발달로 기계적 안전성은 점점 높아지는 반면, 시스템이 자동화되고 정보화됨에 따라 인간의 역할이 정보처리, 의사결정, 문제해결 등으로 옮겨지면서 인적 오류가 사고의 주요 원인이 되는 것은 불가피한 현실이다. 이에 따라 안전이 중요시되는 산업 분야에서는 이미 80년대부터 일부 선진국들을 중심으로 인적 오류의 발생 경위 및 원인 등을 분석하여 인적 오류의 발생을 줄이기 위한 해결방안을 마련하는 일에 많은 노력을 기울여 왔고, 그 결과로 체계적이고 효과적인 인적오류 분석기법 및 절차들이 많이 개발되어 현장에서 활용되고 있다.

이에 반해 국내에서는 원자력 분야를 제외하고는 인적 오류에 관한 연구가 미흡한 실정이다. 국내 철도 분야의 경우

† 책임저자 : 정회원, 한국과학기술원 산업공학과, 박사과정

E-mail : kimdongsan@gmail.com

TEL : (042)869-3159 / FAX : (042)869-3110

\* 교신저자 : 정회원, 한양대학교 안산캠퍼스 경영학부, 부교수

E-mail : estarbaek@hanyang.ac.kr

TEL : (031)400-5636 / FAX : (031)406-6242

\*\* 한국과학기술원 산업공학과, 정교수

인적 오류의 중요성에 대한 철도 관계자들의 인식 부족, 관련 전문가의 부족 등으로 인해 그동안 인적 오류에 대한 연구가 거의 이루어지지 않았고, 현업에서 활용 가능한 체계적인 인적오류 분석기법 및 절차도 없는 실정이다. 또한 현재 국내에서 사용되고 있는 철도사고의 분류체계와 보고양식은 인적 오류에 대한 고려가 미흡한 수준인데, ‘철도사고보고 및 조사에 관한 지침’[8]에 있는 ‘철도사고 등의 분류기준’에는 운행 장애의 종류에 규정위반에 해당하는 5가지 항목들이 있지만 이 항목들은 인적 오류라기보다 위반 행위(violation)에 해당하고, 열차 사고 및 운행 장애의 원인별 분류에는 인적 오류와 관련된 것이 ‘취급(관리) 부주의’라는 포괄적인 하나의 항목만 있을 뿐 그것의 세부 항목들도 없는 상태이다. 이러한 현실로 인해 철도 사고에 개입된 인적 오류의 원인 규명이 제대로 이루어지지 않고 있다.

이에 본 논문은 국내의 원자력발전, 항공, 철도 등의 산업계에서 활용되고 있는 대표적인 인적오류 분석기법들을 소개하고 각각의 장단점을 제시함으로써 현업의 사고 분석자들이 철도 사고에 개입된 인적 오류를 분석할 때 참고할 수 있도록 하고자 한다. 또한 현황 조사 내용을 토대로 국내 철도 환경에 적합한 인적오류 분석기법의 개발을 위한 몇 가지 조건들을 도출하였다.

## 2. 국내외 산업계의 인적오류 분석기법

국내에서는 원자력발전 분야를 중심으로 1990년대부터 인적 오류에 대한 연구가 이루어져 왔고, 다른 분야에서는 아직 관련 연구가 부족한 상황이다. 국외에서는 원자력, 항공, 선박, 석유화학 분야 등에서 인적 오류에 대한 연구가 많이 이루어져 왔고, 근래에는 철도, 의료 분야에서도 인적 오류 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 동안 여러 산업 분야에서 개발되고 활용된 사고조사 기법, 인적오류 분석기법들이 많지만 여기서는 그 중 대표적이면서도 철도 분야에 활용이 가능한 분석기법들을 선별하여 소개하고, 각 기법의 장단점을 분석하여 정리하였다.

### 2.1 철도 분야 인적오류 분석기법

국외에서도 철도 분야는 아직 다른 분야에 비해 인적오류에 대한 연구가 늦은 편이다. 따라서 관련 연구가 많이 진행된 항공 분야에서 검증된 방법 및 체계들을 응용하는 경우가 많다. 그 예로 Reinach & Viale이 HFACS(2.3.1절에 설명)를 응용하여 HFACS-RR (railroad)을 개발하였고[9], 영

국의 RSSB(Rail Safety & Standards Board)에서는 2005년에 TRACEr(2.3.2절에 설명)을 응용하여 철도 분야에 적합한 분석체계를 마련한 바 있다[10].

#### 2.1.1 영국 RSSB의 인적오류 분석기법\*

영국의 대표적 철도분야 연구기관인 RSSB(Rail Safety & Standards Board)에서는 인적 오류가 개입된 사고의 경우 RSSB 소속의 인적 요인(Human Factors) 팀이 사고 조사팀에 포함되어 인적 오류의 원인을 깊이 있게 분석하도록 하고 있다. 인적 오류를 분석할 때 Fig. 1과 같은 분류체계를 사용하여 오류의 특성을 파악하고 TRACEr (2.3.2절에 설명)을 활용하여 오류의 인지적 원인 및 메커니즘과 다양한 영향 인자(performance factors)들을 파악한다. 또한 사고가 어떤 경위로 발생했는지를 파악하기 위해 STEP(2.4.4절에 설명)을 자주 활용하고 있다. 분석하는 인적 오류의 특성에 따라 Rule compliance checklist, SPAD hazard checklist, Workload tools, Fatigue risk index, Signal sighting checklist 등의 분석 도구를 활용하기도 한다.

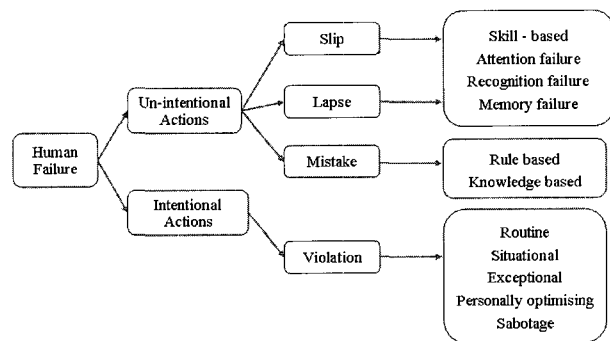


Fig. 1. Classification of human failures (RSSB)

#### 2.1.2 영국 RAIB의 인적오류 분석기법

영국의 철도사고조사 전담기관인 RAIB(Rail Accident Investigation Branch)에서는 분석 초기에 수집한 증거들을 토대로 사고의 발생 과정, 발생 이벤트\*\* 및 원인요소들을 Fig. 2와 같이 큰 벽면에 포스트잇(Post-it®)으로 붙여가며 분석하고, 분석팀 내 회의를 거쳐 시간에 따라 발생한 주요 이벤트와 각각에 영향을 미친 원인요소들(causal/ contributory factors)에 대한 결론이 나면 그것들을 차트로 표현한다.

\* 2.1.1과 2.1.2절은 2006년 4월에 RSSB와 RAIB를 직접 방문하여 해당 책임자들의 설명을 들은 내용을 토대로 작성하였다.

\*\* 여기서 이벤트는 인적 오류 뿐만 아니라, 시스템의 고장, 사람 또는 자동차의 침입 등 일어난 사건 모두를 의미한다.

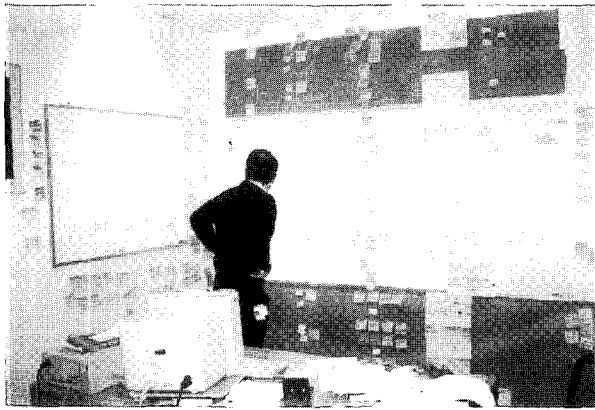


Fig. 2. Accident analysis in RAIB

추가적인 분석을 위해 다양한 분석기법들을 사용하기도 하는데, 중요한 인적 오류의 경우 그 직접 원인(direct cause)과 근본 원인(root cause)들을 상세하게 밝혀내기 위해 FTA(Fault Tree Analysis) 기법을 활용한다. 그 밖에 주어진 기준(각 기법을 어느 경우에 활용하면 좋은지가 정리되어 있음)에 따라 적절하다고 판단되면, Cause-Consequence Analysis, MORT(Management Oversight and Risk Tree), HAZOP(Hazard and Operability), Change Analysis 등의 기법들도 활용한다.

### 2.1.3 RAIT

RAIT(Railway Accident Investigation Tool)은 철도 사고에 영향을 미친 조직적 근본 원인을 규명하는 과정에 있어 단계적인 가이드를 제공하는 컴퓨터 기반의 사고분석 도구로 영국의 British Rail에서 사용하기 위한 목적으로 개발되었다[11]. 일반적인 분석 절차와는 달리 사고의 결과를 기술하는 것으로 시작하여 실패한 방지벽(barriers)들을 파악한 뒤 사람의 잘못된 행위(unsafe actions)들을 파악한다. 이때 행위는 오류(errors), 규정 및 절차의 고의적인 위반(violations), 고의가 아닌 위반(errorneous violations)으로 구분한다. 그리고 나서 잘못된 행위와 관련된 직무(tasks)를 파악하고, 그 행위에 영향을 미친 작업환경적 요인(local factors)들이 무엇이었는지 분석한다. 마지막으로 그 요인들에 영향을 미친 조직적인 근본 원인들을 결정하는데, 작업자 훈련(training), 설계(design), 의사소통(communication), 감독 및 관리(management/supervision)를 포함한 10가지 조직적 요인(organisational factors)들이 앞서 파악된 각각의 실패한 방지벽과 작업환경적 요인에 얼마나 영향을 미쳤는지를 0-4 등급으로 평가하여 사고 발생과정에 대한 전체적인 윤곽을 그린다.

## 2.2 원자력발전 분야 인적오류 분석기법

1979년 Three Mile Island 원전사고, 1986년 체르노빌 원전사고 등에 인적 오류가 개입되었음이 알려지면서 일부 선진국에서는 1980년대 초반부터 원자력 분야를 중심으로 인적 오류에 관한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 인적 오류를 체계적으로 분석하고 관리하는 기법으로 널리 알려진 HPES와 HPIP를 소개한다.

### 2.2.1 K-HPES

HPES(Human Performance Enhancement System)은 인적 오류 분석을 위한 관리적 기법으로 1990년 미국의 INPO(Institute of Nuclear Power Operations)에서 처음 개발되었다[12]. HPES의 목적은 원자력 발전소의 운전, 정비, 정기점검 등 제반운영 중에서 인적 행위에 의해 발생하는 고장이나 잠재적인 실수 요인들을 체계적으로 확인하고 이에 대응하기 위한 시정 조치를 통하여 인간 신뢰도를 증진시키고 전반적인 발전소 운영을 개선하고자 하는 것이다. 특히 원자력 발전소의 안전성 및 신뢰도 향상을 위해 인적 행위의 문제점으로부터 얻은 교훈을 전체 원자력 발전소에 전파하고 발전소 운영에 반영하여 유사 오류의 재발을 방지하는 데 기여한다.

국내에서는 INPO-HPES를 1990년부터 도입하여 사용하다가 몇 가지 국내 적용상의 문제점이 발견되어 1994년부터는 K-HPES(Korean version of HPES)를 개발하여 사용하였고[13], 이후에 전산시스템(CAS-HPES; Computer Aiding System for HPES)으로 개발되어 더 효율적인 운용 체계로 사용되어 왔다[14]. 현재는 기존의 분석 방법을 개선한 웹(Web) 기반 K-HPES를 개발중에 있다[15].

현재 운용중인 CAS-HPES의 분석절차는 육하원칙에 따라 사건이 어떻게 발생했는지를 기술하는 '사건개요기술', 시간 순서대로 시스템 상태 및 작업자의 행위, 당시 상황을 구체적으로 기술하는 '사건경위분석', 사건경위분석에서 밝혀진 인적 오류 각각에 대해 그것과 관련된 19가지 상황 정보를 분석하는 '오류상황분석', 각 인적 오류의 형태 및 인지적(cognitive) 원인을 판별하는 '인지오류분석', 구두의사 전달, 문서의사전달, 인터페이스 설계 또는 기기상태 등 11가지로 분류되어 있는 원인요소분석표를 활용하여 인적 오류에 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; Events & Causal Factors) 차트 작성', 그리고 '보고서 작성'의 7단계로 이루어진다.

사건 및 원인요소(E&CF) 차트와 대부분의 보고서는 분석 결과로부터 자동 생성된다. 또한 각 단계의 분석을 돕는 4가지 조사분석기법들(변화요인분석, 방지벽분석, 인적요인조사, 운영검토기법)이 제공된다.

2.2.2 HPIP

HPIP(Human Performance Investigation Process)의 전체 분석절차는 앞서 설명한 HPES와 유사하지만, 일련의 분석과정이 SORTM (Stimulus, Operation, Response, Team performance, Management)라고 불리는 문서 형태의 전문가 시스템에 의해 지원된다는 점이 HPES와의 두드러진 차이이다[16].

따라서 분석자가 인적 오류의 원인을 분석할 때, 주어진 질문들에 예 또는 아니오로 답을 해나가면서 오류의 근본 원인을 찾을 수 있게 되어 있다. 이러한 체계는 분석자의 업무량과 분석의 복잡도를 줄이는 데 중요한 역할을 한다.

HPIP는 최근 개선되어 HPEP(Human Performance Evaluation Process)라는 명칭으로 바뀌었는데, 전체적인 절차와 방법은 많이 달라지지 않았고 인적 오류의 원인에 해당하는 항목들이 더 강화되었다[17].

인적 오류의 원인들이 업무종사자의 적합성(fitness for duty), 지식/기술/능력, 업무 절차서 및 관련 문서, 도구 및 장비, 업무 환경 등 11개의 모듈(cause module)로 구분되어 있고, 각 원인 모듈마다 직접 원인(direct causes)과 조직적 원인(programmatic causes)들이 세부 항목으로 주어지며 다양한 측면을 빠짐없이 고려하여 원인을 파악할 수 있다.

2.3 항공 분야 인적오류 분석기법

닫힌 체계(closed system)인 원자력발전소와는 달리 항공 시스템은 열린 체계(open system)라는 면에서 철도 시스템과 더 유사하다. 때문에 앞서 언급한 것과 같이 철도 분야에서 이루어진 최근의 연구들은 여기서 소개할 항공 분야의 기법들을 응용하였다.

2.3.1 HFACS

HFACS(Human Factors Analysis and Classification System)은 Reason[4]의 사고 인과관계 모형(accident causation model)을 기반으로 만들어진 분류체계로 Shappell & Wiegmann[18]에 의해 항공 분야에 적합한 형태로 만들어졌지만, 항공 분야에 한정되지 않는 일반적인 용어들이 많이 쓰여서 다른 분야에서도 이 체계를 응용하여 사용하고 있다.

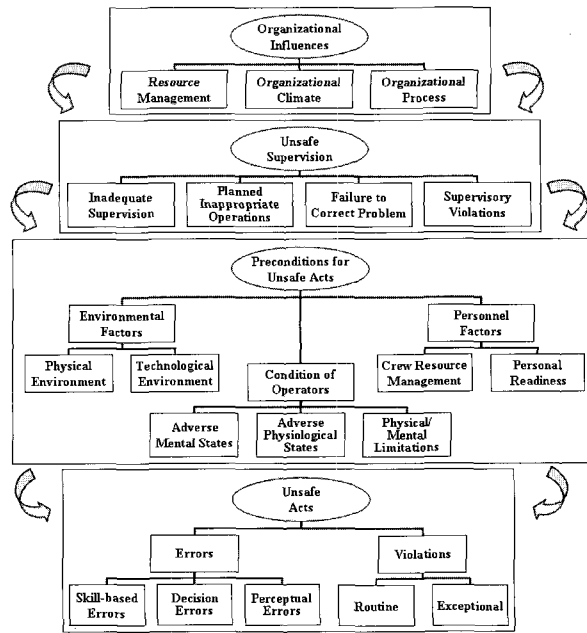


Fig. 3. HFACS Structure

불안정한 행위(unsafe acts), 불안정한 행위의 전제조건(preconditions for unsafe acts), 불안정한 감독(unsafe supervision), 조직적인 영향(organisational influences)의 4 가지 계층(tier)을 구분하고, 각 계층을 다시 몇 가지 범주(category)로, 각 범주를 다시 여러 개의 하위 범주(sub-category)로 구분한다(Fig. 3). 즉, 작업자의 오류 행위에서 시작하여 그것에 직접적으로 영향을 끼친 작업자의 상태 및 제약 조건, 관리/감독 행위, 조직의 의사결정 및 프로세스까지 올라가면서 오류와 원인들의 인과 관계를 체계적으로 파악할 수 있다.

2.3.2 TRACER

Shorrock & Kirwan[19]에 의해 개발된 방법으로 인적 오류의 외적 형태(external error mode)부터 인간의 정보처리 단계에 따른 내적 오류형태(internal error mode)와 심리학 적 메커니즘(psychological error mechanism)까지의 항목들을 체계적으로 제공함으로써 인적 오류에 대해 심리학적으로 깊이 있는 분석을 가능하게 한다. 또한 사람의 작업 수행에 영향을 미치는 다양한 원인요소(PSFs; Performance Shaping Factors)들을 카테고리별로 제공하며, 발생한 오류를 발견(detection)하고 복구(recovery)하는 과정에 대한 분석도 지원한다. HPIP와 같이 인간공학 분야의 전문가가 아닌 사람도 어렵지 않게 분석을 할 수 있도록 의사결정 흐름도(decision flowchart)를 제공하여 주어진 질문에 차례로

예/아니오로 답을 해나가면서 해당 항목을 찾을 수 있도록 되어 있는 것도 특징이다.

## 2.4 기타 인적오류 분석기법

여기서는 특정 산업 분야와 관계없이 개발되어 다양한 분야에서 활용되고 있는 인적오류 분석기법 중 대표적인 것 세 가지와 해양 석유 및 가스 산업에서의 활용을 목적으로 개발되었지만 다른 분야에서도 충분히 활용이 가능한 분석기법 한 가지를 소개한다.

### 2.4.1 TapRootT®

TapRootT®는 앞서 소개한 HPIP의 개발에 참여했던 Paradies와 Unger가 개발한 근본원인분석(root cause analysis) 기법으로 전체적인 분석 절차와 각 단계에서 사용하는 도구들이 HPIP와 유사하다. 1990년에 처음으로 TapRootT®의 매뉴얼이 만들어졌고, 그 이후로 오랜 기간동안 다양한 분야에의 적용 경험을 통해 지속적으로 보완되고 최근에는 S/W까지 개발되어 화학 발전소, 철도, 병원, 항공, 건설회사 등 다양한 분야에서 활용되고 있다[20].

TapRootT®의 장점 중 하나가 사건 전개과정에 대한 차트(SnapCharTTM)를 효과적으로 활용하는 것인데, 분석의 첫 단계부터 예비 차트를 그리기 시작하여 각 단계를 거침에 따라 지속적으로 차트를 보완해 나간다. 다양한 측면을 고려할 수 있는 상세한 원인분류체계(Root Cause Tree®)를 제공하고 주어진 질문에 예/아니오로 답해가며 해당 원인을 찾을 수 있도록 한다는 점에서 HPIP의 장점들을 그대로 갖고 있으며, 원인에 대한 개선대책 마련을 돕기 위한 가이드(Corrective Action HelperTM)를 근본 원인(root cause) 별로 상세한 수준까지 제공한다. 또한 마련된 개선대책을 평가하는 기준(SMARTER)을 제공하여 구체적이고 효과적이며 실행 가능한 개선안이 도출될 수 있도록 돕는다.

### 2.4.2 CREAM

CREAM(Cognitive Reliability and Error Analysis Method)는 Hollnagel[21]에 의해 개발된 제 2세대 인간신뢰도분석(Human Reliability Analysis) 기법중 하나로 사고 예방을 위한 목적(predictive)으로 사용될 수도 있고, 사건 발생 후 분석을 위한 목적(retrospective)으로도 사용될 수 있다.

발생한 인적 오류를 분석할 때 CREAM에서는 먼저 당시 작업수행과 관련된 일반적 상황 요소들(common performance conditions)을 분석한다. 작업 환경, 인간-기계 인터페이스,

작업절차서 및 계획, 작업자간 협동 등 9가지 항목 각각이 적절했는지를 파악하여 오류의 원인으로 가능성이 높은 것들에 대한 힌트를 얻는다.

CREAM에서의 분류체계는 우선 인적 오류의 외적 형태(external manifestation)에 해당하는 표현형(phenotype)과 표현형의 원인에 해당하는 유전자형(genotype)을 구분하는데 표현형은 8가지(timing, duration, force, distance, speed, direction, object, sequence)로 분류된다. 유전자형은 먼저 사람(person)과 관련된 유전자형, 기술(technology) 관련 유전자형, 조직(organisation) 관련 유전자형의 세 가지로 구분되고, 각각은 다시 몇 개씩의 원인분류 그룹으로 나뉜다.

CREAM에서는 앞서 설명한 다른 분류체계들과 같이 근본원인을 찾아가는 길이 미리 정해져 있지 않고 사건이 발생한 상황(context)이 어떠한가에 따라 원인분류 그룹 간의 인과관계가 달라질 수 있다.

이러한 인지시스템공학(cognitive systems engineering)적 분류체계를 활용하면 사건 당시의 상황에 따라 보다 정확하고 융통성있는 분석이 가능하지만, 인간공학 분야의 전문가가 아니면 이 방법을 제대로 사용하기가 쉽지 않다.

### 2.4.3 STEP

STEP(Sequentially Timed and Events Plotting)은 Hendrick & Benner[22]에 의해 개발된 차트 작성 기법으로 Fig. 4와 같이 사고와 관계된 주체(사람 또는 사물)들을 정의하고, 각 주체와 관련된 이벤트를 시간 순서대로 배열한 뒤, 이벤트 간의 인과관계를 화살표로 표현한다. 또한 각각의 이벤트마다 STEP card를 작성하는데 행위 주체, 행위 내용, 시작시간, 지속시간, 발생 위치, 관련 증거 및 출처 등의 정보를 기록한다.

STEP은 다수의 주체들이 관련된 복잡한 사고가 어떻게 전개되었는지를 한 눈에 파악할 수 있도록 표현하기 때문에 기관사, 사령, 역무원 등 다양한 주체들이 사고에 개입되는 철도 분야에 적합한 기법이다.

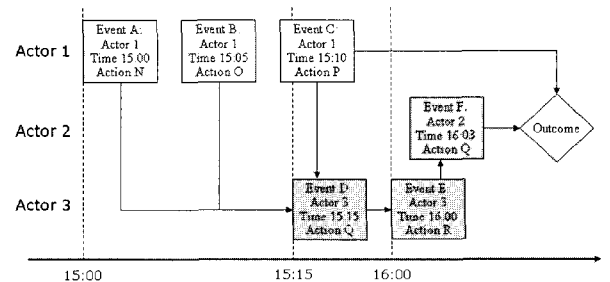


Fig. 4. STEP Matrix Example

2.4.4 HFIT

HFIT(Human Factors Investigation Tool)은 영국의 해양 석유 및 가스 산업에서 발생하는 사고의 인적 요인을 조사하기 위해 최근에 만들어진 방법론으로 기존의 사고 인과관계(accident causation)에 관한 이론들과 18개의 대표적인 사건 보고체계(incident reporting system)의 분석을 통해 개발되었다[23].

Fig. 5는 HFIT의 근간이 되는 사고 인과관계 모형으로 기존의 모형과는 달리 발생한 인적 오류를 복구(recovery)하는 단계를 포함하고 있다. 이 단계가 성공적으로 이루어지면 사고(accident)가 아닌 아차사례(near miss)로 끝나게 된다. Fig. 5에 박스로 표현된 네 가지 범주는 각각 여러 개의 요소(elements)들로 구성되고, 각 요소들은 다시 여러 개의 세부 항목(items)들로 구성되어 오류의 형태 및 원인, 오류의 복구 과정에 대한 상세한 분석이 가능하다.

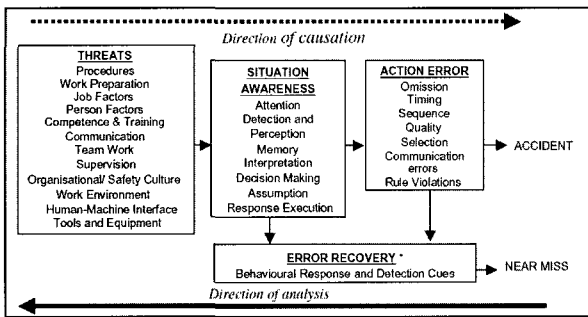


Fig. 5. HFIT model of incident causation

2.5 인적오류 분석기법들의 장단점 분석

앞에서 산업별로 대표적인 인적오류 분석기법들을 소개하였지만, 현업의 철도사고 분석업무 담당자들이 이들을 활용하고자 할 때 도움이 될 수 있도록 각 기법의 장단점을 분석하여 Table 1과 같이 정리하였다. 장단점의 내용은 인적 오류를 분석하기 위한 체계적인 절차 및 방법을 제공하는지, 오류의 원인을 상세하고 깊이 있는 수준까지 분석할 수 있도록 하는지, 인간공학 분야의 비전문가도 어렵지 않게 사용할 수 있는지, 인적 오류 및 사고 발생과 관련된 이론적 배경이 충실한지 등을 고려하여 작성하였다.

3. 국내 철도 산업에의 적용 방안

Table 2의 첫 번째 열에 있는 내용은 현재 국내 철도 분야에서 발생한 철도 사고 또는 운전 장애를 분석하는 절차

및 방법을 정리한 것이다. 발생한 사고 또는 장애의 개요를 파악하는 초동 단계, 사고의 직접·간접원인들을 분석하는 중간 단계, 중간 단계의 분석 결과를 토대로 사고의 근본 원인을 도출하고 재발 방지를 위한 예방 대책을 수립하는 결론 단계, 마지막으로 수립된 예방 대책의 추진 실적을 지속적으로 관리하는 피드백 단계로 이루어진다. 인적 오류(취급 부주의)에 대한 분석도 포함되지만, 사고 관계자를 인터뷰하는 것 외에 특별한 분석기법이 없다고 할 수 있다. 따라서 2장에서 소개한 인적오류 분석기법들을 참조하여 보다 효과적인 분석기법을 개발하는 일이 필요하다. Table 2는 국내 철도 분야에서 현재 사용되고 있는 분석 절차의 분석 단계 별로 보완되어야 할 사항들을 도출하고 각 내용과 관련하여 참고할 만한 분석기법들을 정리하였다. (단, 분석 단계별 보완 사항은 인적 오류의 분석과 관련된 내용만을 포함하고 기계적 장비 또는 설비의 결함에 대한 분석은 고려하지 않았다.)

분석단계별 보완 사항의 주요 내용과 철도 분야에 적합한 인적오류 분석기법의 개발을 위한 추가적인 요구사항들을 좀 더 자세히 설명하면 다음과 같다.

① 철도는 외부에서 발생하는 이벤트가 영향을 미칠 수 있는 열린 체계(open system)이고, 열차의 운행에 다수의 주체(기관사, 사령, 역무원, 승객, 자동차 등)가 개입되는 시스템이므로 발생한 사고와 관계된 다양한 주체들의 상호작용을 효과적으로 분석할 수 있어야 한다. 이러한 측면에서는 원자력 발전소나 화학 공장과 같이 닫힌 시스템(closed system)보다는 항공 시스템에서 활용되는 기법들을 참고하는 것이 좋겠다. 또한 앞서 소개한 STEP과 같은 차트를 활용하면 좋을 것이다.

② 철도 종사자들이 하는 업무의 많은 부분이 안전수칙 및 업무절차서 등으로 명시되어 있고, 일상적이고 자동화된 기술기반 행위(skill-based behavior)이기 때문에 철도 사고에 개입된 인적 오류는 작업자의 순수한 실수라기보다 규정 및 절차를 위반한 행위(violation)인 경우가 많다. 따라서 일반적인 오류 행위(error) 뿐만 아니라 규정 및 절차와 다르게 행동하거나 일부를 빼먹은 위반 행위의 유형 및 원인을 체계적으로 분석할 수 있어야 한다.

③ 철도 사고에 개입된 인적 오류의 원인을 정확히 규명하기 위해 인적 오류의 발생에 영향을 미칠 수 있는 인적(human) 요소, 직무(task) 요소, 작업환경(work environment) 요소, 조직적(organizational) 요소 등 다양한 상황적 요소들을 분석할 수 있도록 해야 한다. 이를 위해서는 인적 오류의 발생과 관계

Table 1. 국내외 산업계의 주요 인적오류 분석기법들의 장단점

인적오류 분석체계	장 점	단 점
RSSB의 분석기법	<ul style="list-style-type: none"> <li>인적 오류의 유형을 상세하게 분류</li> <li>철도 분야에 해당하는 다양한 원인요소를 제공*</li> <li>자주 발생하는 인적 오류(규정 위반, SPAD* 등)와 오류의 주요 원인요소(workload, fatigue 등)에 대해서는 별도의 분석 도구를 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인적오류 분석을 위한 체계적인 절차 미흡</li> <li>제공되는 다양한 분석기법들을 인간공학 비전문가가 사용하기 어려움</li> </ul>
RAIB의 분석기법	<ul style="list-style-type: none"> <li>분석 초기에 포스트잇을 효과적으로 활용</li> <li>분석 절차에 두 차례의 review meeting이 포함</li> <li>사고의 특성에 따라 다양한 분석기법들을 활용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인적 오류의 인지적 원인까지 깊이 있게 고려하지 않음</li> </ul>
RAIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>컴퓨터 기반의 분석 도구</li> <li>방지막(barriers)에 대한 체계적 분석을 지원</li> <li>조직적(organizational) 요소들의 영향을 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>세부 절차 및 방법에 대해 설명한 자료를 찾기 어려움</li> </ul>
K-HPES / CAS-HPES	<ul style="list-style-type: none"> <li>인적오류 분석을 위한 상세하고 체계적인 절차 제공</li> <li>전산시스템 (일부 작업의 자동화, 통계적 지원 등)</li> <li>상세한 수준의 원인분석이 가능</li> <li>인간 의사결정단계 모형에 기반한 인적오류 분류체계</li> <li>추가 분석을 위한 다양한 분석 도구들을 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상황분석과 원인분석 간의 연결이 미흡</li> <li>위반(violation) 행위를 고려하지 않음</li> <li>인간공학 비전문가가 인지적 오류유형 및 원인을 결정하기 어려움</li> </ul>
HPIP / HPEP	<ul style="list-style-type: none"> <li>다양한 측면의 원인요소들을 상세한 수준까지 제공</li> <li>분석의 복잡도를 줄이기 위한 의사결정흐름도 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>오류의 유형 및 인지적 원인에 대한 고려가 미흡함</li> </ul>
HFACS	<ul style="list-style-type: none"> <li>사고인과관계 모형[4]을 기초로 한 분류체계</li> <li>오류 행위부터 조직적 요인까지의 인과관계를 체계적으로 파악할 수 있음</li> <li>이해하기 쉬운 일반적인 용어를 주로 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인적 오류의 인지적 원인까지 깊이 있게 고려하지 않음</li> </ul>
TRACEr	<ul style="list-style-type: none"> <li>개인의 인지적 과정에 대한 상세하고 체계적인 분석</li> <li>분석의 복잡도를 줄이기 위한 의사결정흐름도 제공</li> <li>발생한 오류의 발견(detection) 및 복구(recovery) 과정에 대한 분석 포함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인간공학 비전문가가 오류의 심리적 메커니즘(PEM**)을 결정하기 어려움</li> </ul>
TapRoot®	<ul style="list-style-type: none"> <li>분석과정에서 차트를 효과적으로 활용</li> <li>근본원인에 대한 개선대책 마련 가이드 및 평가 기준 제공</li> <li>추가 분석을 위한 다양한 분석 도구들을 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>오류의 유형 및 인지적 원인에 대한 고려가 미흡함</li> <li>원인요소 항목들이 특정 분야에 적용하기에는 추상적이고 불완전함</li> </ul>
CREAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>상황분석과 원인분석의 유기적 연계</li> <li>인지공학적(contextual/flexible) 원인분류체계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사용방법 및 개념을 이해하기 어려움</li> <li>특정 분야에 적용하려면 원인요소들을 수정 및 보완해야 함</li> </ul>
STEP	<ul style="list-style-type: none"> <li>다수의 행위자가 관련된 사고를 분석하는데 효과적임</li> <li>각 이벤트에 대한 정보를 카드에 따로 기록하고 활용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>이벤트에 영향을 미친 요인 및 조건에 해당하는 정보들이 차트에 표현되지 않음</li> </ul>
HFIT	<ul style="list-style-type: none"> <li>사고인과관계 모형에 기반한 분석기법</li> <li>발생한 오류의 발견 및 복구 과정에 대한 분석 포함</li> <li>분석의 복잡도를 줄이기 위한 의사결정흐름도 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>발생한 오류에 대한 사람의 역할만 고려, 일반적인 방지막(physical/procedural barriers)을 고려하지 않음</li> </ul>

된 기본적인 상황요소들을 점검해볼 수 있는 기본상황분석표와 다양한 요인들이 체계적으로 분류된 원인요소분석표의 개발이 필요하다.

④ 한국철도공사와 같이 국내 철도사고를 분석하는 현업에서는 시시각각 발생하는 다수의 사건 및 사고를 모두 조사하고 분석하기에는 인력과 시간이 부족한 것이 현실이다. 따라서 분석업무의 복잡도와 분석 시간을 줄여줄 수 있는

방안이 제공되어야 한다. HPIP, TRACEr, TapRoot® 등에서 제공하는 의사결정 흐름도(decision flowchart)가 그러한 방안의 한 예로 볼 수 있다. 사고 당시의 일반적 상황(context)을 분석한 결과를 인적 오류의 원인을 찾을 때 힌트로 사용하는 CREAM의 아이디어도 좋은 예이다.

⑤ 분석업무의 효율을 높이고 분석 결과의 통계적 관리를 위해서는 분석을 위한 전산시스템의 개발이 필수적이다. 전산시스템이 구현되면 분석자가 직접 해야 하는 업무 중 많은 부분을 자동화할 수 있고, 몇 가지 유용한 기능들을 추가

\* Signal Passed At Danger (신호모진)  
 \*\* Psychological Error Mechanism

Table 2. 국내 철도분야의 사고분석 절차 및 방법과 분석 단계별로 보완되어야 할 사항

국내 철도분야의 사고분석 절차 및 방법*	분석 단계별 보완 사항	적용 가능한 인적오류 분석기법
1. 초동 단계 - 사고 개요 파악 1) 철도사고(장애) 개황 파악 2) 현장 보존 및 신속한 출동으로 관련증거 수집 3) 관계자 진술 및 관련 기록 확보 4) 원인분석에 필요한 입증자료 등 관련자료 수집	사고의 개요를 파악하는 초기 단계부터 효과적인 차트를 활용하는 것이 필요함  사고와 관계된 다양한 이벤트 및 요인들을 효과적으로 기록하고 체계화하기 위해 포스트잇을 활용하는 것이 필요함	• TapRoot® SnapCharTTM  • 영국 RAIB의 분석기법
2. 중간 단계 - 사고 분석 1) 직접원인 분석 - 확보된 증거 및 기록 종합분석 - 관계자 인터뷰 또는 문제가 된 부품의 기술적인 분석 등 2) 간접원인 분석 - 인적, 제도적, 관리상 문제점 등 간접요인을 다각적으로 분석 - 규정, 매뉴얼, 설계도, 시방서, 각종 시험결과 등의 기록 분석  * 인적 요인 (취급부주의) 분석 방법 1) 관계자, 목격자, 관리자 등에 대한 인터뷰 - 기본 인적사항, 적성, 휴양상태, 사고이력 등 기초 내용 파악 - 최초진술서를 사전에 검토, 관련내용을 파악한 후 접근 - 진술의 일관성 여부를 기초로 취급경위를 파악하여 사건 흐름도 작성 2) 인터뷰 내용 입증자료 확보 - 관련규정, 소속내규, 유지보수 절차서, 업무매뉴얼 등 - 현장상태 물증 또는 운행기록장치(음성기록, 전자연동, 속도기록계 등)	발생한 인적 오류에 대한 이해도를 높이기 위해 인적 오류(규정/절차의 위반 행위 포함)의 유형 및 심리학적 원인들에 대한 체계적인 분류가 필요함  오류의 원인 및 원인 간 인과관계를 정확하고 체계적으로 분석할 수 있도록 인적 요인, 직무 요인, 작업환경 요인, 조직 요인 등의 다양한 요인들이 체계적으로 분류된 원인요소분석표가 필요함  관계자별로 인터뷰하면서 인적 오류의 발생과 관계된 기본적인 상황요소들을 점검해볼 수 있는 기본상황분석표가 필요함  발생한 사고와 관련된 다양한 주체들의 상호작용을 효과적으로 분석할 수 있어야 함  분석업무의 복잡도와 분석 시간을 줄일 수 있는 방안이 제공되어야 함  분석업무의 효율을 높이고 분석결과를 통계적 관리를 위해 전산시스템(S/W)이 개발되어야 함	• K-HPES 인지적 오류유형 및 인지적 오류원인 [14] • TRACEr [19] • RSB Rule Compliance Checklist • Managing Rule-Breaking The Toolkit [24]  • RSB Performance Factors [10] • K-HPES 원인요소분석표 [14] • HPEP [17] • HFACS [18] • CREAM [21]  • K-HPES 오류상황분석 [14] • CREAM [21]  • STEP [22]  • HPIP, TRACEr, TapRoot® 의사결정 흐름도 • CREAM [21]  • CAS-HPES [14] • TapRoot® Software [20]
3. 결론 단계 - 근본원인 도출 및 예방대책 수립 1) 직간접요인을 종합하여 근본원인을 도출한 후 최종보고서 작성 2) 동종사고 재발 방지를 위해 실천 가능한 예방대책 수립	효과적인 예방대책을 수립하기 위해 예방대책 작성 가이드 및 평가 기준이 필요함	• TapRoot® Corrective Action Helper™, SMARTER [20]
4. 피드백 단계 - 예방대책 추진 실적 지속적인 관리	수립된 예방대책이 제대로 실행되고 있는지 효과적으로 관리할 수 있는 전산시스템이 필요함	• N/A

할 수 있다. 한 예로 사례기반추론(case-based reasoning) 기법을 활용하여 분석자가 특정 사고 또는 오류를 분석할 때 사고 사례 D/B로부터 그 사고 또는 오류와 가장 유사한 과거 분석 사례를 검색하여 제공해 준다면 보다 효과적이고 효율적인 분석이 가능해질 것이다. 또한, 분석의 결과로서 발생 오류에 대한 예방 대책이 마련되면 그것이 제대로 시행되지 않는 경우가 많은데, 전산시스템을 활용하여 수립된 예방 대책의 내용, 시행 담당자, 시행 완료 예정일자, 완료

일자 등 예방 대책에 대한 진행 상황을 한 눈에 파악하는 것이 가능해질 수 있다.

⑥ 사고 또는 장애(accident or incident) 뿐만 아니라, 사고근접사례(near-miss)에 대한 분석도 가능하도록 해야 한다. 사고근접사례는 다행히 결과적으로는 사고나 장애로 이어지지 않았지만, 그 전개 과정은 사고 또는 장애와 유사하기 때문에 업무종사자의 자발적인 보고와 체계적인 분석을 통해 그 원인을 밝혀내고 개선책을 마련하여 사고를 미리 방지할 수 있다. 이 점에 관해서는 최근 개선된 웹기반 K-HPES를 참조할 수 있다.

\* 본 내용은 한국철도공사 수송안전실 안전조사팀과의 인터뷰를 근거로 작성되었다.



#### 4. 결 론

본 논문은 국내의 원자력발전, 항공, 철도, 해양 석유 및 가스 등의 산업계에서 활용되고 있는 대표적인 인적오류 분석기법들을 소개하고 각 기법의 장점과 단점을 제시함으로써 현업의 철도사고 분석자들이 사고에 개입된 인적 오류를 분석할 때 참고할 수 있도록 하였다. 또한 국내 철도 산업에의 적용 방안을 제시하여 국내 철도 환경에 적합한 인적오류 분석기법의 개발에 도움을 주고자 하였다.

앞으로는 본 논문에서 제시한 인적오류 분석기법의 개발 조건들을 고려하여 국내 철도 실정에 적합하고, 시간 측면에서 효율적이면서도 정확하고 체계적인 분석을 지원할 수 있는 인적오류 분석기법(문서 기반의 분석시스템, 전산시스템 등 다 포함)을 개발하는 일이 필요하다.

#### 후 기

본 논문은 2005~2006년도 건설교통부의 철도종합안전 기술개발사업으로 지원된 “안전업무중사자 교육훈련체계 구축”과제 연구결과의 일부를 토대로 작성되었다.

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2006), “철도안전종합계획: 제1차 (2006-2010 )”, 2006년 2월.
2. Wiegmann, D.A., Shappell, S.A. (2003), *A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System*, Aldershot, UK, Ashgate Publishing Company.
3. Thomas, M.J.W., Petrilli, R.M. & Dawson, D. (2004), “An exploratory study of error detection processes during normal line operations”, *Proceedings of 26th Conference of the European Association for Aviation Psychology*.
4. Reason, J. (1990), *Human Error*, New York: Cambridge University Press.
5. 이정운, 이용희, 박근옥 (1996), “국내 원자력발전소의 인적오류사례의 추이 분석”, *대한인간공학회지*, 제 15권, 제 1호, pp.27-38.
6. 김두환 (1998), “화학 공장의 Human Error 방지 당면 과제에 관한 연구”, *대한산업공학회 인지공학연구회 공동학계 Workshop 발표논문집*, pp.147-157.
7. Woods, D.D., Johannesen, L.J., Cook, R.I. & Sarter, N.B. (1994), *Behind human error: cognitive systems, computers, and hindsight*, Columbus, Ohio: CSERIAC.
8. 건설교통부 (2006), “철도사고보고 및 조사에 관한 지침(안)”, 건설교통부 고시 제2006-3호.
9. Reinach, S. & Viale, A. (2006), “Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations”, *Accident Analysis and Prevention*, 38, pp.396-406.
10. RSSB (2005), “Rail-specific HRA technique for driving tasks”, Final Report.
11. Reason, J., Free, R., Havard, S., Benson, M. & van Oijen, P. (1994), “Railway Accident Investigation Tool (RAIT): A step by step Guide for New Users”, Department of Psychology, University of Manchester.
12. INPO, (1990), “Human Performance Enhancement System”, INPO 90-005, Atlanta: Institute of Nuclear Power Operations.
13. 한국전력공사 기술연구원 (1994), “원자력발전소 인적행위 개선 시스템(K-HPES) 개발 (I)”, 최종보고서.
14. 한국전력공사 전력연구원 (1998), “원자력발전소 인적행위 개선 시스템 (K-HPES) 개발 (II)”, 최종보고서.
15. 한국수력원자력(주) 환경기술원 (2004), “사고근접 사례 분석 절차 개발 및 K-HPES 개선(I)”, 최종보고서.
16. Paradies, M., Unger, L., Haas, P. & Terranova, M. (1993), “Development of the NRC’s Human Performance Investigation Process (HPIP)”, NUREG/CR-5455, SI-92-01, Vol. 1, Washington, DC: US Nuclear Regulatory Commission.
17. NRC (2001), “The Human Performance Evaluation Process: A Resource for reviewing the identification and resolution of human performance problems”, NUREC/CR-6751, Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
18. Shappell, S.A. & Wiegmann, D.A. (2000), “The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)”, Report Number DOT/FAA/AM-00/7, Washington, DC: Federal Aviation Administration.
19. Shorrock, S.T. & Kirwan, B. (2000), “Development and application of a human error identification tool for air traffic control”, *Applied Ergonomics*, 33, pp.319-336.
20. Paradies, M. & Unger, L. (2000), TapRoot®: The system for root cause analysis, problem investigation, and proactive improvement, System Improvements, Inc.
21. Hollnagel, E. (1998), *Cognitive Reliability and Error Analysis Method*, Oxford: Elsevier.
22. Hendrick, K. & Benner, L. (1987), *Investigating Accidents with Sequentially Timed and Events Plotting (STEP)*, New York.: Marcel Dekker.
23. Gordon, R., Flin, R. & Mearns, K. (2005), “Designing and evaluating a human factors investigation tool(HFIT) for accident analysis”, *Safety Science*, 43, pp.147-171.
24. SIEP (2004), “Managing rule-breaking The Toolkit”, Rijsvijk, Netherlands: Shell International Exploration and Production B.V.