

철도 인적오류 분석방법론 개발

A Methodology for Analyzing Human Error in Railway Operations

김동산*

백동현**

유승열***

윤완철****

Kim, Dong San Baek, Dong Hyun You, Seoung Ryul Yoon, Wan Chul

ABSTRACT

Although human error is recognized as the primary cause of railway accidents and incidents, there have been limitations in finding the root causes of errors and developing effective corrective actions in the Korean railway industry, due to the absence of a systematic method and lack of professional knowledge and skills of investigators. Therefore, there has been a strong need for a systematic methodology for human error analysis. This paper introduces a methodology for analyzing human error in railway operations, called HEAR (Human Error Analysis and Reduction). HEAR is intended to help analysts identify the sequences and various levels of causes of operators' erroneous actions in railway accidents or incidents and make recommendations to eliminate or reduce the future possibility of similar errors and accidents. It was developed based on a thorough investigation of various techniques for human errors analysis and feedback from field investigators.

1. 서 론

현재 국내외 많은 분야에서 인적오류에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 인적오류 분석 기법과 관련된 기술 개발은 원자력 분야에서 가장 먼저 시작되었으며 원자력 분야를 통하여 인적오류를 체계적으로 분석하는 방법과 관련 도구들이 많이 개발되었다. 항공 분야 또한 원자력 분야의 연구 결과를 바탕으로 항공 분야에 적합한 인적오류 분석방법론을 개발하였다. 국외 철도 분야의 경우 인적오류에 대한 연구를 전담하는 연구기관에 의해서 인적오류 분석 기법 및 관련 도구들이 개발되고 있는 상황이지만 국내의 철도 분야에서는 인적오류에 대한 연구의 필요성과 그에 대한 관심은 높아지고 있으나 아직은 인적오류에 대한 연구결과가 미흡한 실정이다. 이러한 상황에서 인적오류가 철도사고의 주요한 원인으로 인식됨에 따라 인적오류를 체계적으로 깊이 있게 분석하고 유사한 오류의 발생으로 인한 사고 발생을 저감하기 위해 현업에 적용 가능한 인적오류 분석 절차 및 방법론이 요구되고 있지만, 국외에서 개발된 인적오류 분석방법론들을 국내 철도분야에 그대로 적용하는 데에는 한계가 있다 (김동산 등, 2006a).

본 논문에서는 국내외 산업계의 인적오류 분석에 대한 관련 동향을 간략히 소개하고, 기존 체계 및 방법들이 가진 한계점을 극복하고 국내 철도 환경의 특성을 고려하여 현업에 적용 가능한 철도 인적오류 분석방법론인 HEAR(Human Error Analysis and Reduction)를 소개하고자 한다.

* 책임저자 : 정회원, KAIST, 산업및시스템공학과, 박사과정

E-mail : kimdongsan@gmail.com

TEL : (042)350-3159 FAX : (042)350-3110

** 정회원, 한양대학교, 교수

*** 비회원, 한양대학교, 석사과정

**** 비회원, KAIST, 지적서비스공학과, 교수

2. 국내외 인적오류 분석 관련 동향

국외의 인적오류에 대한 연구는 원자력과 항공, 선박 분야 등에서 활발하게 진행되고 있으며, 이러한 연구 결과를 토대로 각 분야에 적합한 인적오류 분석방법론을 개발하여 사용 중에 있다. 국외 철도 분야의 경우 영국의 RSSB(Rail Safety and Standards Board)를 중심으로 인적오류에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으나 국내 철도 분야의 경우 인적오류에 대한 연구가 초기 단계에 불과한 상황이다 (김동산 등, 2006b). 본 절에서는 국내외 원자력과 항공 분야의 인적오류에 대한 연구 결과를 토대로 철도 인적오류 분석방법론의 개발에 시사점을 준 국내외 인적오류 분석 방법 및 분류 방법론에 대하여 간단히 설명하고자 한다.

2-1. 원자력 분야

국내의 원자력 분야의 인적오류 분석에 대한 연구는 활발하게 진행 중이다. 국내 원자력 분야의 인적오류 분석방법론인 K-HPES(Korean version of Human Performance Enhancement System)는 1996년 미국 INPO(Institute of nuclear power operations)에서 개발된 HPES를 모태로 개발되었으며 인적오류가 개입된 사건의 원인을 심층 분석하고 재발 방지 대책을 도출하고 그 결과를 타 사업소에 전파하기 위한 목적으로 사용되고 있다. 1998년 전산시스템(CAS-HPES)으로 개발되어 더 효율적인 운용방법론으로 사용되고 있으며, 현재는 기존의 분석방법을 개선한 웹기반 K-HPES를 개발 중에 있다 (한국수력원자력(주), 2004).

CAS-HPES(Computer Aiding System for HPES)는 사건개요기술, 사건경위분석, 오류상황분석, 인지오류분석, 원인요소분석, 사건 및 원인요소(E&CF) 차트 작성, 보고서 작성의 절차로 분석이 이루어진다. 사건개요기술은 사건과 관련된 개괄적 정보를 기술하는 단계이며 보고서 번호, 보고서 제목, 사건발생일시, 사건개요, 사건결과 등의 정보를 입력한다. 사건경위분석은 시스템의 상태나 운전원의 행동을 개조식으로 발생일시를 명기하여 순서대로 서술하는 단계이다. 오류상황분석은 밝혀진 인적오류를 바탕으로 각각에 대한 상황정보를 분석하는 단계이다. 인지오류분석은 인적오류의 형태 및 인지적인 원인을 판별하는 단계이다. 원인요소분석은 인적오류에 영향을 미친 여타 환경적 요인들을 찾는 단계이다. 사건 및 원인요소(E&CF) 차트 작성은 사건의 전체적인 흐름과 각각에 영향을 미친 원인요소들을 E&CF 차트로 표시하여 한눈에 알아볼 수 있도록 표현하는 단계이다. 마지막으로 보고서 작성은 이러한 인적오류가 개입된 사고를 분석하고 인적오류의 발생원인과 각각의 관계들을 정리하여 보고서 형태로 만드는 단계이다.

HPIP(Human Performance Investigation Process)는 국외 원자력 분야의 대표적인 인적오류 분석체계로 전체적인 분석절차는 앞서 설명한 HPES와 유사하지만 분석과정에서 SORTM(Stimulus, Operation, Response, Team performance, Management)라고 불리는 문서 형태의 일종의 전문가 시스템에 의해서 지원된다는 점에서 차이점이 있다. HPIP는 2001년 전체적인 절차와 방법들은 기존의 방법을 유지하되 인적행위의 원인에 해당하는 항목들을 강화시키면서 HPEP(Human Performance Evaluation Process)라는 명칭으로 바뀌었다.

2-2. 항공 분야

항공분야의 대표적인 인적오류 분석체계는 HFACS(Human Factors Analysis and Classification System)와 TRACER(Technique for Retrospective and predictive Analysis of Cognitive Errors)이다. HFACS는 Reason(1990)의 사고 인과관계 모형(accident causation model)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 (김동산 등, 2006b). 인적오류와 위반으로 구성된 현장 작업자의 '불안전한 행위(unsafe acts)'로부터 시작해서 불안정한 행위의 전제조건(preconditions for unsafe acts), 불안정한 감독(unsafe supervision), 조직적인 영향(organizational influences)의 4가지 계층(tier)으로 구분되어 있다. 이러한 계층은 다시 몇 가지 범주로

나누어져 상위 계층의 요소들이 하위 계층의 요소들에 영향을 미치게 된다.

TRACEr은 발생한 사건을 분석하는 회고적인 (retrospective) 연구와 사건이 발생하기 전에 가능한 예측적(predictive) 연구를 둘 다 지원하는 방법론으로 Shorrock & Kirwan(2002)에 의해 개발되었다. HFACS와 마찬가지로 항공 분야에서 개발되었지만, 일반적인 특성으로 인해 최근에는 TRACEr을 거의 그대로 차용하여 철도 분야에 적용한 사례가 있다 (RSSB, 2005).

3. 철도 인적오류 분석방법론(HEAR)의 개요

3-1. HEAR의 목적과 적용 범위

철도 인적오류 분석방법론(HEAR : Human Error Analysis and Reduction)의 목적은 철도 사고 및 장애에 개입된 인적오류 행위들의 발생 경위 및 원인을 체계적으로 분석하고 유사 인적오류로 인한 사고의 재발을 방지할 수 있는 효과적인 예방대책을 마련하여 철도의 안전성을 향상 시키는 것이다.

HEAR의 적용 범위는 기본적으로 인적오류가 개입된 철도 사고 및 장애를 분석할 때 적용된다. 특히 현장 조사 및 분석 초기 단계에서 인적오류가 사고에 중대한 영향을 끼친 것으로 판단되면 HEAR를 적용하여 분석한다. 그러나 HEAR를 통해 분석된 인적행위에 대한 일체의 사항은 인적행위의 개선을 위한 목적 이외에 인사 및 형사처벌과 관련된 문제 등에 사용되어서는 안 된다. 또한 HEAR의 분석자는 철도 분야에서 근무 경력이 7년 이상이며, 일정 기간 동안 HEAR에 대한 교육 및 훈련을 받은 자를 추천한다.

3-2. HEAR 설계 접근 방법

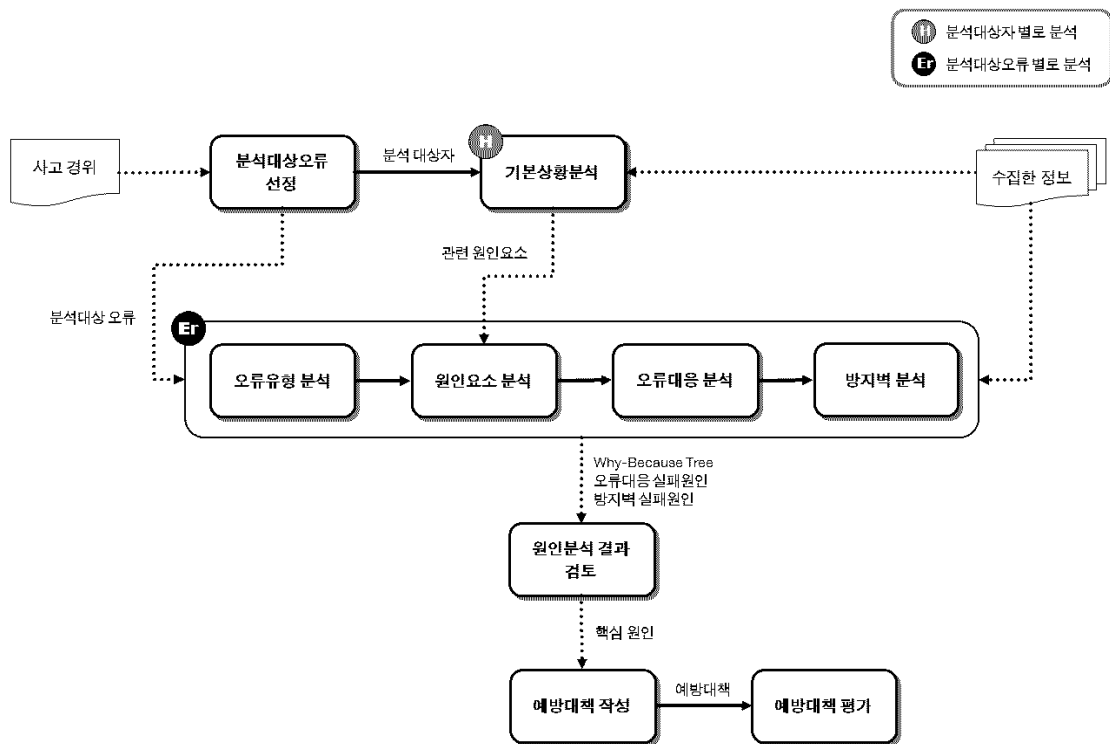
철도 인적오류 분석방법론(HEAR)을 설계하는 과정에서 가장 먼저 국내 철도 분야에 대한 정보들을 수집한 후 국내 철도 환경의 특성을 파악하고 현업(KORAIL)에서의 철도사고 분석절차와 방법을 조사하여 참조하였다. 또한 국내의 산업계(철도, 원자력, 항공, 선박 등)의 대표적인 인적오류 분석절차 및 기법들과 인적오류 및 원인요소에 대한 분류방법론들을 조사하여 각각의 장점과 단점을 고려하여 분석방법론의 설계에 적용하였다. 마지막으로 기존의 모형들을 바탕으로 철도 사고가 어떤 과정을 통해 발생하는지를 설명하는 사고 인과관계 모형을 개발하여 인적오류 분석에 반드시 포함되어야 하는 요소들을 도출하였고, 인간 의사결정 모형을 토대로 인적오류의 유형을 구분하였다.

4. 철도 인적오류 분석방법론(HEAR)의 분석절차 및 방법

4-1. 전체 분석절차

철도 인적오류 분석방법론(HEAR)은 크게 분석 준비, 원인 분석, 예방대책 마련, 분석결과보고의 4단계로 구성되어 있다. ‘분석준비 단계’에서는 분석대상 오류를 선정한 후 기본상황분석을 수행한다. ‘원인분석 단계’에서는 오류유형 및 원인요소를 분석하고 오류대응과정, 방지벽을 분석한 후 이에 대한 결과를 검토한다. ‘예방대책 마련 단계’에서는 사고를 일으킨 핵심 원인들에 대한 예방대책을 작성하고 평가한다. ‘분석결과 보고 단계’는 분석결과를 보고서 형태로 정리하여 보고한다.

<그림 1>은 HEAR의 분석 흐름 및 정보흐름을 나타낸다. 즉, HEAR를 통한 분석은 분석대상 인적오류를 선정하는 것으로 시작하여 분석대상자 별로 기본상황분석을 실시하고, 분석대상 인적오류 별로 오류 유형, 원인요소, 오류대응과정, 방지벽 등을 분석하여 사고의 핵심 원인을 결정하고, 핵심원인들에 대해 예방대책을 작성하고 평가하고 분석 보고서를 작성하고 분석 결과를 보고하는 순서로 진행된다.



<그림1-5> HEAR의 분석 흐름 및 정보 흐름

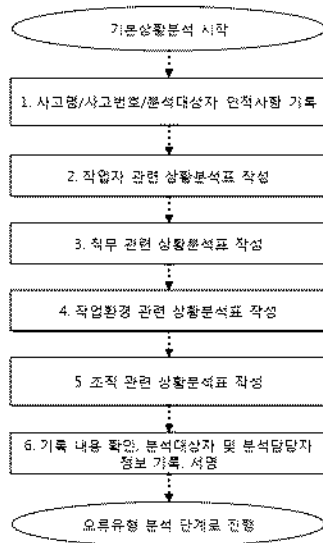
4-2. 세부 단계별 분석절차

1. 분석준비 단계

분석준비 단계'는 사고 경위를 바탕으로 분석대상 인적오류를 선정하고, 선정된 분석대상 인적오류의 행위자들을 대상으로 '기본상황분석'을 실시하는 단계이다. 분석대상 인적오류를 선정하기 위해서는 먼저 현장조사를 통해 수집된 자료들을 토대로 분석대상 사고 경위를 파악해야 한다. 파악된 사고 경위를 바탕으로 별도의 원인분석이 필요한 분석대상 인적오류들을 선정한다. 인적오류를 선정하는 과정에서 기본적으로 모든 인적오류를 대상으로 분석대상 오류로 선정하도록 하되 사고의 발생에 끼친 영향이 매우 적다고 판단되는 오류는 분석대상 인적오류에서 제외 할 수 있다. 또한 선행 인적오류에 의해 파생된 인적오류로 선행 인적오류 외에 특별한 원인을 밝혀낼 수 없다면 분석대상 오류에서 제외할 수 있다. 그러나 분석대상 오류로 이미 선정된 오류에 영향을 끼친 인적오류가 있다면 반드시 분석대상 인적오류로 선정해야 한다.

분석대상 인적오류 선정되면 선정한 인적오류의 행위자들을 대상으로 인터뷰를 통해 기본상황분석을 수행한다. <그림 2>는 기본상황분석을 수행하는 절차를 나타낸 것이다. 기본상황분석에서는 선정한 분석대상 인적오류의 행위자 각각에 대해 인터뷰 및 기타 조사를 통해 4가지 기본상황분석표(작업자 관련, 직무 관련, 작업환경 관련, 조직 관련)를 작성한다.

<그림 3>은 '대구선 고묘역 관광열차 탈선사고¹⁾'의 '기본상황분석표 양식'을 나타낸 것이다. 이러한 기본상황분석은 특정한 사건/사고와 관계없이 일반적으로 사건/사고의 발생과 관계된 상황 정보들을 분석자의 주관 및 선입관에 따라 하지 않고 고려해야 할 다양한 요소들을 빠짐없이 고려할 수 있도록 돕는다. 또한, 여기서의 분석결과들은 원인요소 항목들과 대응이 되어 상황분석 결과가 원인분석에서 사고의 원인을 결정하는데 활용된다.



<그림 2> 기본상황분석 절차

조직 관련 상황분석표

| 항목 | 내용 | 사고와의 연관성 | | | | 관련 원인요소 | 비고 |
|-----------------------|---------------------|----------|----|----|----|-------------|----|
| | | 직접 | 간접 | 유발 | 방어 | | |
| 1. 인적오류 발생 목적 및 원인 | ■ 인적오류 발생 목적 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 2. 조직 및 업무 | ■ 인적오류 발생 목적 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 3. 인적오류 발생 시점 | ■ 인적오류 발생 시점 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 4. 인적오류 발생 장소 | ■ 인적오류 발생 장소 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 5. 인적오류 발생 인원 | ■ 인적오류 발생 인원 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 6. 인적오류 발생 시간 | ■ 인적오류 발생 시간 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 7. 인적오류 발생 차량 | ■ 인적오류 발생 차량 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 8. 인적오류 발생 차량 번호 | ■ 인적오류 발생 차량 번호 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 9. 인적오류 발생 차량 운전사 | ■ 인적오류 발생 차량 운전사 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 10. 인적오류 발생 차량 운전사 직위 | ■ 인적오류 발생 차량 운전사 직위 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 11. 인적오류 발생 차량 운전사 경력 | ■ 인적오류 발생 차량 운전사 경력 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 12. 인적오류 발생 차량 운전사 교육 | ■ 인적오류 발생 차량 운전사 교육 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 13. 인적오류 발생 차량 운전사 건강 | ■ 인적오류 발생 차량 운전사 건강 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 14. 인적오류 발생 차량 운전사 성격 | ■ 인적오류 발생 차량 운전사 성격 | | | | | 2006. 12. 1 | |
| 15. 인적오류 발생 차량 운전사 기타 | ■ 인적오류 발생 차량 운전사 기타 | | | | | 2006. 12. 1 | |

1) 2006년 12월 12일 오전 5시 13분경 강릉역을 떠나 부산역으로 가던 제4513 금강산 관광열차(강릉 22:45 → 부산 07:56)가 대구선 고묘역 접근 시 관제사가 사전 통보 없이 진로를 변경, 선로전환기가 전환되면서 기관차 및 객차 2량이 궤도 이탈된 사고이다.

<그림 3> 기본상황분석표 예시

2. 원인분석 단계

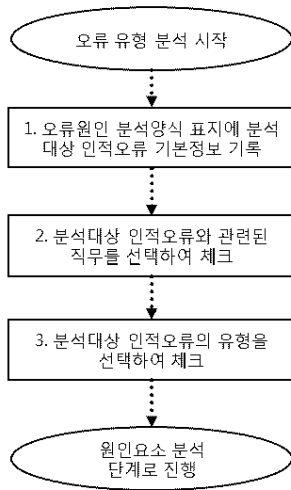
'원인분석 단계'는 오류유형분석, 원인요소분석, 오류대응분석, 방지책 분석, 원인분석결과 검토의

1) 2006년 12월 12일 오전 5시 13분경 강릉역을 떠나 부산역으로 가던 제4513 금강산 관광열차(강릉 22:45 → 부산 07:56)가 대구선 고묘역 접근 시 관제사가 사전 통보 없이 진로를 변경, 선로전환기가 전환되면서 기관차 및 객차 2량이 궤도 이탈된 사고이다.

세부절차로 이루어진다. 원인분석 단계에서는 ‘분석준비 단계’에서 선정된 분석대상 인적오류들 각각에 대해 수집된 정보들을 활용하여 오류의 유형 및 원인 요소, 발생한 오류에 대한 대응과정, 실패한 방지책과 실패 원인 등을 파악하여 사고 발생의 핵심적인 원인을 밝혀낼 수 있다.

2-1. 오류유형 분석

오류유형 분석 단계의 목적은 분석대상으로 선정된 오류의 유형을 파악하여 그 유형과 관련된 주요 원인요소들을 고려하여 오류의 발생 원인을 찾을 수 있도록 하는 것이다. <그림 4>는 오류유형 분석의 절차를 나타낸다. 오류유형 분석 단계에서는 <그림 5> ‘오류원인 분석표’에 선정된 분석대상 인적오류에 대한 기본 정보를 기록하고 ‘오류유형 분석표’를 작성하여 해당 인적오류에 대한 오류유형을 파악한다.



<그림 4> 오류유형 분석 절차

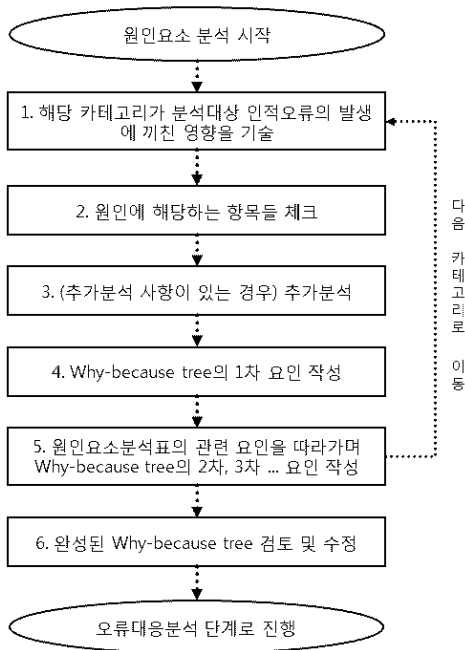
| 나 분석대상 인적오류가 다음 중 어떤 범주에 속하는지? (복수 선택 가능) | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. 안전부급 결함 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 배양시간 결함 <input type="checkbox"/> 선출자결함 <input type="checkbox"/> 선출시간 결함 <input type="checkbox"/> 재능 결함 또는 고착 <input type="checkbox"/> 결핵 한류 실패 <input type="checkbox"/> 구덩이안 결함 <input type="checkbox"/> 파동각도 결함 <input type="checkbox"/> 기타 | 1 |
| <ul style="list-style-type: none"> 2. 교량(교차) 작동 결함 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 집전(상행) 작동 결함 <input type="checkbox"/> 기타 | 1 |
| <ul style="list-style-type: none"> 3. 배양상태 결함 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 배양온도통제 실패 <input type="checkbox"/> 조제비율 결함 <input type="checkbox"/> 방출(사출) 실패 <input type="checkbox"/> 직류기압 결함 <input type="checkbox"/> 기타 | 2 |
| <ul style="list-style-type: none"> 4. 기타 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 위험물 혼합비율 결함 <input type="checkbox"/> 기타 | 1 |

| 외 분석대상 인적오류가 다음 중 어떤 범주에 해당합니까? (복수 선택 가능) | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. 인공적인 결함 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 선출자가 선출 하기에 필요한 선출권을 배 대 수확하여 선출하지 못한 <input type="checkbox"/> 인공적으로 정수된 양분물 결함 결함 <input type="checkbox"/> 선출 하기에 필요한 선출권 불충분하여 선출권 <input type="checkbox"/> 인공적으로 정수된 양분물 결함 인공적으로 정수 <input type="checkbox"/> 기타 | 2 |

<그림 5> 오류유형 분석표예시

2-2. 원인요소 분석

‘원인요소 분석’ 단계는 분석대상으로 선정된 인적오류 각각에 대해 기본상황 분석, 오류유형 분석, 원인요소 분석표를 활용하여 인적오류의 원인요소들과 원인요소 간의 인과관계를 파악하는 데 그 목적이 있다. ‘원인요소 분석’ 단계의 절차는 <그림 6>과 같다. 원인요소 분석 단계에서의 핵심은 주어진 13개의 카테고리 구성된 ‘원인요소 분석표’의 원인요소 항목들 중 분석대상 인적오류의 발생에 영향을 끼쳤다고 판단되는 것들을 체크하고 선행 단계인 기본상황분석 단계에서 사고에 영향을 끼친 요인들을 참조하여 사고와의 연관성이 높다고 평가된 요인들의 관련 원인요소들을 후보 원인요소로 고려하여 ‘Why- Because Tree’를 작성하는 것이다. ‘Why- Because Tree’를 통해 원인요소들 간의 인과관계를 알 수 있다. 이러한 ‘Why- Because Tree’를 작성한 후에는 분석대상 인적오류의 발생 원인이 충분히 밝혀졌는지, 도출된 원인요소 간 인과관계는 정확히 표현되었는지를 반드시 검토하여야 한다.



<그림 6> 원인요소 분석 절차

| 분석대상 오류 | 1차 요인 | 2차 요인 | 3차 요인 | 4차 요인 | 5차 요인 |
|------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|----------|------------------|
| 원치 않게 열차 진행 방향 변경을 일으키는 원인요소 | 불적절한 속도 | 유체적 피난 | 운도 할 줄도 모르다(인적오류) (운도할 줄도 모르다) | | |
| | 필요한 의사소통을 하지 않음 | 인일할 생각 없음 | 상황판(노력 부족)에 대한 대처능력 부족 | 교육/훈련 부족 | 교육/훈련 평가 및 개선 미흡 |
| | 노후차 노후 부족함 | 부적절한 설계 (제동) | 상제 유닛시험(가 과대하의 부적절 설계) 검토 미흡 | | |
| | 신호등 미용량 부족 | 신호등 미용량 부족 | 신호등 미용량 부족 | | |
| | 규정/절차 미준수 | 규정/절차 미준수 | 규정/절차 미준수 | | |
| | 과다한 일의 부담/부적절 | 과다한 일의 부담/부적절 | 과다한 일의 부담/부적절 | | |

<그림 7> Why- Because Tree 예시

<그림 7>은 '대구선 고모역 관광열차 탈선사고'의 Why- Because Tree'를 나타낸 것이다. 'Why- Because Tree'에서 '1차 요인'은 '원인요소분석표'의 사고와 관련 있다고 체크된 원인요소를 의미한다. '2차 요인'은 '1차 요인'으로 선정된 원인요소의 관련요인으로 판단되는 것들을 의미한다. 이때 '1차 요인'으로 선정된 원인요소들의 '관련 요인'은 '원인요소분석표'에서 제공 된다. 이러한 방법으로 해당하는 '관련 요인'이 없는 원인요소(근본 원인)가 나타날 때까지 '3차 요인', '4차 요인'을 찾아서 기록한다. 이 때, 원인요소 간의 인과관계는 화살표를 사용하여 표현한다.

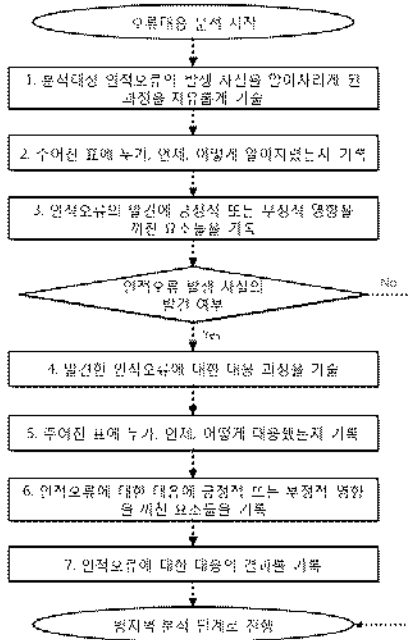
가령 '대구선 고모역 관광열차 탈선사고'의 'Why- Because Tree'를 살펴보면 사고 발생의 '1차 요인' 중 하나인 "필요한 의사소통을 하지 않음"은 '2차 요인'인 "기관사의 안일한 생각/태도"에 의해 비롯되었으며 이는 결국 "교육훈련 평가 및 개선 미흡"과 "설계 검증 및 확인 미흡"을 근본원인으로 하고 있다는 것을 알 수 있다. 이처럼 HEAR의 원인요소 분석 단계에서는 각각의 분석 대상 인적오류들의 직접적인 원인 뿐 아니라 심층의 조직적인 원인들까지 파악할 수 있는 장점이 있다.

2-3. 오류대응 분석

오류대응 분석'은 분석대상으로 선정된 인적오류가 규정 및 절차를 고의적으로 위반한 행위가 아닌 경우와 위반 행위와 무관한 다른 업무종사자가 위반 행위를 발견한 경우에 수행한다. 오류대응 분석 단계의 절차는 <그림 8>과 같다. 오류대응 분석 단계에서는 주어진 '오류대응 분석표' 상에서 분석대상 인적오류의 발생 사실을 인지한 사고 관계자, 인지 시각, 인지하게 된 방법, 인적오류의 발견에 긍정적인 영향 또는 부정적인 영향을 미친 요소들을 파악하여 기록하고 추가적으로 분석대상 인적오류가 발생한 사실을 인지한 사람이 있는 경우에는 발생한 분석대상 인적오류에 대해 대응한 사고 관계자들, 대응시각, 대응 방법, 분석대상 인적오류에 대한 대응에 긍정적인 영향 또는 부정적인 영향을 미친 요소들을 구체적으로 작성하는 단계이다.

<그림 9>는 '대구선 고모역 관광열차 탈선사고'의 '오류대응 분석표'를 작성한 것이다. 이 사고의 경우 관계사, 고모역 운전취급자, 4513열차의 기관사가 각각 인적오류의 발생 사실을 인지하였으며, '고모역 운전취급자'의 경우 '의사소통(기관사와 통화)'을 통하여 '선로전환기의 불일치를 확인'

하는 시점에 인적오류가 발생한 사실을 인지하였음을 알 수 있다.



<그림 8> 오류대응 분석 절차

다 분석대상 인적오류가 발생한 사실을 누기, 언제, 어떻게 알아차렸습니까?

답례: 나는 업무 과정을 보다가도 '부반하였'에 이르면 처음부터 잘못된 경우임을 알고 있었다. 그러나 불분명하거나 곤란할 경우가 많았기 때문에, 일을 마친 후, 시간 여유가 충분할 경우에 일과 후 느리게 되돌아보는 것을 인지하였다.
 예시: 열차 1호차는 열차번호가 불어난 1호차에 관하여서 열차 상황을 관찰할 것을 알고 있었다.

| 누가 | 언제 | 어떻게 | | | |
|--------------------------------|-----------------|---|----------|---------|-------------------|
| | | 직시소통* | 직수령 피*복* | 내말 피*복* | 비교 |
| 관제사 고모역 운전열차 승객 | 신호장광기 출발시 확인 | √ | | √ | 교육적 지원 서면자료 제공 |
| 451호차 승객 | 열차서 | | √ | | 합의승차 |
| 인적오류의 원인에 상징적인 영향을 막을 요소 | | 교육적 지원: 열차번호 불확실 시 열차번호 확인을 위한 열차번호의 명확한 지 시문 제공 | | | |
| 인적오류의 발생에 영향을 미친 요소 | | 교육적 지원: 열차번호 불확실 시 열차번호 확인을 위한 열차번호의 명확한 지 시문 제공 | | | |

다: 다른 열차번호가 451호차임을 통해 알아차린 경우가 없었다.
 * 직수령 피복: 관제사 지령을 통해 확인된 경우 해당한다.
 * 내말 피복: 열차번호 불분명하거나 451호차의 경우 관제사나 열차번호를 확인할 것을 지시
 문에 따라 피복 재 확인 받을 수 있었다.

2. 분석대상 인적오류가 발생한 것을 알아차렸다면 누기, 언제, 어떻게 대응했습니까?

답례: 열차번호 불분명하므로 확인하였으므로, 고모역 상행열차임을 저수준의 알고 있
 었지만, 451호 열차번호 불분명하고 451호차의 경우 관제사나 열차번호를 확인할 것을 지시
 문에 따라 피복 재 확인 받을 수 있었다.

<그림 9> 오류대응 분석표 예시

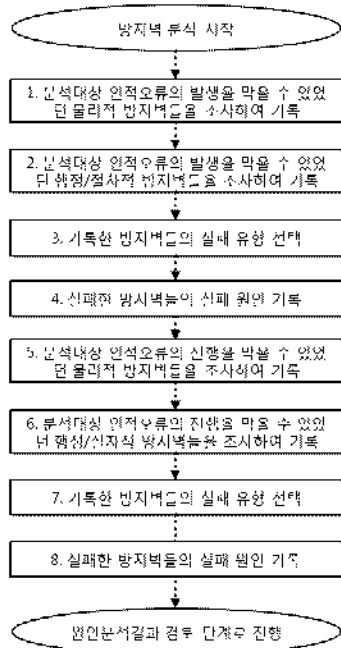
2-4. 방지벽 분석

'방지벽 분석 단계'는 인적오류를 야기한 원인 요소들과 인적오류의 발생이 사고로까지 발전하는 것을 막기 위해 어떤 방지벽들이 필요했고, 미리 설계된 방지벽들이 왜 무너졌는지를 분석하여 사건 재발을 방지하기 위한 효과적인 예방 대책을 도출하도록 돕는 것을 목적으로 한다. 방지벽 분석 단계에서의 방지벽이란 실제로 존재하는 것 뿐 아니라 존재한다면 분석대상 인적오류의 발생을 막을 수 있었을 방지벽들도 포함된다.

<그림 10>은 방지벽 분석 단계의 절차를 나타낸다. 방지벽 분석 단계에서는 '방지벽 분석표'를 활용하여 분석대상 인적오류가 발생하지 않도록 막을 수 있었던 '물리적 방지벽'들과 '행정/절차적 방지벽'을 파악하여 기록하고 각각의 방지벽들에 대하여 주어진 '실패 유형'(정상 작동, 누락, 결함 등)을 선택한다. 이 중 '정상 작동'외의 것이 선택된 경우에는 실패의 원인까지 파악하여 자세히 기록한다.

이러한 과정이 끝나면 물리적, 행정/절차적 방지벽들이 분석대상 오류가 사고의 발생이나 다른 인적오류의 발생으로 진행되지 않도록 막을 수 있었는지를 조사하여 기록한 후 각각에 대한 실패 유형과 실패의 원인을 자세히 기록한다.

<그림 11>은 '대구선 고모역 관광열차 탈선사고'에 대한 '방지벽 분석표'의 일부를 나타낸 것이다. '대구선 고모역 관광열차 탈선사고'의 경우 '신호변경 전 확인절차'라는 행정/절차적 방지벽이 존재하였으나 '관계사의 안일한 생각/태도, 상황판단능력 부족, 교육/훈련의 부족' 등에 의한 작업 오류로 방지벽이 무너졌다는 사실을 알 수 있다.



<그림 10> 방지벽 분석 절차

1) 분석대상 인적오류가 발생하지 않도록 막을 수 있었던 방지벽들은 있었습니까?

| 구분 | 종류 | 실패 유형* | 실패 원인 |
|------------|--|--------|--|
| 물리적 방지벽 | 선호 확인거절 | 노답 | 원래의 원리 방지벽 부적합한 설계 |
| | 인식/판별능력저하(오류) | 직공 견습 | 관계자가 견습중 주의 없음 |
| | 시간상의 비연속적 해결 | 작업 오류 | 당황하게 1:유체유출 해결 |
| 생성/결사적 방지벽 | 선호현상 및 확인거절 (예:외사에게 수질 불량, 운영 수신 확인 등) | 간접 오류 | 관계자의 완철한 점검제도 관계자의 불량판정능력 부족 표준/절편의 부족 |
| | 선호 확인 거절 | 작업오류 | 비상재동 하중 스로울 |

* 실패 유형은 다음 중 한 가지를 선택하여 기입한다.
 1. 오류를 막을 수 없게 해줄 방지벽이 제대로 작동하지
 않거나 2. 이미 있던 방지벽이 손상되어 있음?
 3. 잘못 디자인된 방지벽이 작동할 가능성이 없음?

<그림 11> 방지벽 분석표 예시

2.5 원인분석결과 검토

‘원인분석결과 검토 단계’는 분석자가 함께 모여 원인분석의 결과를 검토하여 분석의 결론을 도출하고 분석대상 인적오류의 핵심적인 인적 원인요소(근본원인)들이 무엇인지를 결정하여 이러한 인적오류의 원인에 대한 예방대책을 세울 수 있도록 하는데 목적이 있다. 원인분석결과 검토 단계에서는 분석대상 인적오류의 유형 및 원인 요소들이 제대로 파악되었는지 오류대응 분석 및 방지벽 분석이 제대로 이루어졌는지를 검토한다. 특히, 고려하지 않은 다른 중요한 원인요소들이 있었는지 고려하지 않은 다른 중요한 방지벽들은 없는지를 집중적으로 검토한다.

3. 예방대책 마련 단계

‘예방대책 마련 단계’에서는 원인분석 단계에서 분석된 실패한 방지벽 및 실패원인을 제거 및 예방할 수 있는 대책을 제시한다. ‘예방대책 마련 단계’는 ‘예방대책 작성’과 ‘예방대책 평가’의 세부 절차로 이루어진다. ‘예방대책 작성 단계’에서는 주어진 ‘예방대책 작성 양식’을 활용하여 ‘핵심 원인’을 기록하고 각각에 대한 구체적인 ‘예방 대책’을 작성한다. ‘예방대책 평가 단계’에서는 작성된 예방대책들이 타당한지를 평가하여 더 적합한 예방대책으로 만든다. 이 과정에서 평가 결과가 타당하지 않을 경우 분석 팀과 관계자들 간의 논의를 거쳐 수정이 이루어진다.

예방대책 작성양식

| 대분류 | 중분류 | 해당 여부 | 예 방 대 책 | 비고 ¹⁾ |
|--------------|---------------|-------|--|------------------|
| 물리적 시스템 개선 | 안전/방호설비 개선 | | 장내신호기 접근채경 구간 짧은 개소 (12개소) 보완 (접근채경 구간 연장) | |
| | 신호/제어설비 개선 | | 1) 신호 설비를 자동제어 방식으로 개선 2) 신호 설비 문제점 개선 (동대구역 연동장치 개선) | |
| 행정/절차적 제도 개선 | 작업자 교육훈련 및 평가 | | 1) 사고발생 직후 운전취급부주의 사고 예방을 위한 특별 안전교육 시행 2) 관제사 자질평가(연1회) 시행 3) 기관사 교육훈련 강화 | |
| | 의사소통 및 지침 전달 | | | |
| | 업무분석 및 조정 | | | |
| | 기타 | | | |

주) 1. '비고'란에는 작성된 예방대책에 대한 평가 결과 및 실행 여부 등을 기록한다.
 2. MMI(Men-Machine Interface) : 작업자와 작업에 사용되는 기계 간 인터페이스를 의미한다. 작업장내 디스플레이, 소프트웨어, 버튼, 레버, 스위치, 인식표

<그림 12> 예방대책 작성 양식 예시

<그림 12>는 '대구선 고모역 관광열차 탈선사고'의 예방대책 작성양식의 일부를 나타낸 것이다. '대구선 고모역 탈선사고'의 경우 '원인분석 단계'에서 분석한 관제사의 인적오류에 의해 실패한 행정/절차적 방지벽'을 강화하기 위한 '작업자 교육훈련 및 평가' 방안으로는 '1) 사고발생 직후 운전취급부주의 사고 예방을 위한 특별 안전교육 시행, 2) 관제사 자질평가(연1회), 시행3) 기관사 교육훈련 강화'라는 예방대책을 작성하였다.

4. 분석결과 보고 단계

'분석결과 보고 단계'에서는 앞 단계까지의 모든 분석내용 및 결론을 보고양식에 맞게 정리하여 해당 기관 및 책임자에게 그 내용을 보고하는 단계이다. 분석결과 보고 단계는 '보고서 작성 단계'와 '결과 보고 단계'로 나누어진다.

먼저 '분석결과 보고서'는 분석 결과들을 토대로 육하원칙에 따라 사고에 대한 개요 및 사고의 발생으로 인한 결과(인적/물적 피해 등)를 기술하고 '분석 준비 단계'에서 작성한 '기본상황분석 양식'과 추가적으로 수집한 정보 등을 참조하여 분석 대상자별로 특이사항을 기록한다. 또한 '오류유형 분석 단계'와 '원인요소 분석단계'의 결과를 토대로 분석대상 인적오류별로 오류의 내용 및 유형을 기록하고 '원인분석결과 검토 단계'에서 도출된 인적오류의 핵심원인을 기술한 후 '예방 대책 마련 단계'에서 도출된 예방대책을 기술한다. 분석자가 작성한 '인적오류 분석 보고서'가 작성되면 책임자가 이를 검토하여 수정한 후 정해진 보고 체계에 따라 해당 부서 또는 담당자에게 보고서를 제출한다.

5. 논의 및 결론

본 논문은 국내 철도 분야에서 인적오류에 의한 사고 및 장애가 지속적으로 발생되고 있는 현 상황에서 인적오류에 대한 체계적인 분석방법의 부재와 조사자의 전문성 부족 등으로 인해 인적오류의 원인

규명과 효과적인 대응책 마련에 한계가 있다는 점을 인식하고, 국내외 산업에서의 인적오류에 대한 연구 결과를 토대로 국내 철도 분야에 적합한 철도 인적오류 분석 방법론(HEAR)을 제시하였다. HEAR의 목적과 적용 범위, 설계 접근방법을 설명하고, 구체적인 분석절차 및 방법, 분석양식을 사례를 들어가며 설명하였다.

본 논문에서 소개한 HEAR는 1차적으로 KORAIL 사고분석 담당자들의 피드백을 반영하여 개발된 것이지만, 최근에 그 적절성을 2차적으로 검증하기 위해 항공철도사고조사위원회 및 국내 주요 철도운영기관(KORAIL, 서울메트로, 대구지하철공사, 부산교통공사 등)의 사고조사 담당자들을 대상으로 HEAR의 장점 및 개선점에 대한 피드백을 수렴하였고, 현재 주요 개선점들을 반영하여 개선하는 과정에 있다. 추후 제도화를 통해 HEAR가 철도 운영기관에서 실제로 활용되면, 더 많은 피드백을 통해 지속적인 개선이 필요할 것이다. 철도 인적오류 분석방법론(HEAR)을 통해 철도사고 및 장애에 내재된 인적오류 행위의 발생 경위 및 다양한 계층의 원인들을 체계적으로 분석하고 유사 인적오류로 인한 사고의 재발을 방지하기 위한 효과적인 예방 대책을 수립하는 것이 가능해질 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2008). “철도안전종합계획: 제3차 (2006-2010)”, 2008. 2
2. 김동산, 백동현, 윤완철 (2006a), “대형 시스템에서의 인적오류 분석 : 분석 기본구조 제시 및 철도 사고 사례에의 적용”
3. 김동산, 백동현, 윤완철 (2006b), “철도 인적오류 및 위반행위 분석체계의 기본구조”
4. 한국수력원자력(주) 환경기술원 (2004). “사고근접 사례 분석 절차 개발 및 K-HPES 개선(I)” 최종보고서, 2004. 9
4. 전력연구원 (1998). “원자력발전소 인적행위 개선시스템 (K-HPES) 개발 (II)” 최종보고서.
5. RSSB (2005). Rail-specific HRA technique for driving tasks, Final Report.
6. Shappell, S.A. & Wiegmann, D.A. (2000). The Human Factors Analysis and Classification System - HFACS. DOT/FAA/AM-00/7.
7. Shorrock, S.T. & Kirwan, B. (2002). Development and application of a human error identification tool for air traffic control. Applied Ergonomics, 33, 319-336.
8. Reason, J. (1990). Human Error. Cambridge University Press; New York.
9. Reason, J. (1995). A systems approach to organizational error. Ergonomics, 38(8), 1708-1721
10. 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.