

철도 사고 분석에서 인적오류 분류 체계의 고찰

Study of Classification Human Errors for Accident Analysis in the Railway Industry

박홍준†

변승남*

Park, Hong-Joon

Byun, Seong-Nam

ABSTRACT

Rail human factors research has grown rapidly in both quantity and quality of output over the past few years. Human factors, also, still plays a significant part in many railway accidents. In this paper we review categorized performance shaping factors of human errors associated with railway accidents within and out of the country. This paper deals with the selection of the important performance shaping factors under accident management situations in railway for use in the assessment of human errors. The purpose of this study is to classify which human error would be selected for accident analysis. Therefore, the classification of human errors suggested in this study may be useful to enhance the Korean railway system safety.

국문요약

국외에서는 대형시스템을 사용하는 항공, 해양, 원자력, 철도 등에서 발생하는 사고 중 인적오류가 포함된 사고에 대한 분석 및 연구가 활발히 진행되고 있다. 우리나라에서는 영국, 미국 등의 철도선진국과 비교하여 인적오류를 고려한 철도시스템의 체계적인 운영이 미흡하며, 관련 기준을 별도로 규명하지 않고 있는 실정이다. 또한, 사고 분석을 위한 방법이나 절차, 인적오류와 관련된 원인요소에 대한 항목이 제한적이어서 사고분석이 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 철도사고구분에 따른 위험사건들을 체계화하여 기관사, 사령, 역무원을 포함한 철도안전업무종사자의 수행도에 영향을 끼칠 수 있는 인적오류원인들을 국내외 연구 결과를 바탕으로 체계화하고, 국내 철도 사고 사례를 통해 적합한 인적오류원인을 도출할 수 있는 분류방안을 마련한다.

1. 서론

철도시스템은 국가적인 철도 사고보고 및 분류체계를 구축하여 철도에 존재하는 위험과

† 비회원, 경희대학교 공과대학 산업경영공학과, 박사과정

E-mail : groovyhong@khu.ac.kr

TEL : (031)201-2878 FAX : (031)203-4004

* 정회원, 경희대학교 공과대학 산업경영공학과, 교수

위험도에 관한 정확한 정보를 획득하고, 철도 안전규정의 효과적 실행과 책임 강화, 철도 안전의 비교 경향 판단, 철도 사상자 및 사고예방에 중점을 둔 위험제거 및 위험도 감소를 위한 노력을 하고 있다. 또한, 철도시스템의 안전성 평가를 위하여 철도사고에 대한 확률론적 안전성분석(PSA: Probabilistic Safety Assessment) 방법이 적용되고 있다. 인간신뢰도 분석(HRA: Human Reliability Analysis)은 확률론적 안전성분석의 한 부분으로서 인간행위에 대한 평가 부분을 담당하고 있다. 인간신뢰도 분석에서는 인간의 수행도에 미치는 원인은 인적오류 요소가 포함된다. 인간신뢰도분석 내에서 이러한 인적오류 원인요소는 각 방법에 따라 조금씩 달리 사용되는데, THERP(Swain & Guttman, 1983), HEART(Williams, 1988), CREAM(Hollnagel, 1998) 등과 같이 기본 인간오류확률(Basic HEP)을 조정하는데 사용되는 경우가 있고, SLIM(Embrey, 1984), IDA(Phillips et al., 1990) 등과 같이 인간오류확률의 계산에 직접 사용되는 경우도 있다.

일반적으로 인적오류 분류체계는 그 특성상 적용 영역과 사용 목적에 적합한 형태로 개발되어진다. 현존하는 인간신뢰도 분석방법들에서도 방법들 나름대로 서로 다른 분류체계를 제안하여 사용하고 있는데, 이러한 인간신뢰도 분석을 위한 기존의 인적오류 분류체계에는 몇 가지 중요한 문제점을 가지고 있다. 첫째는 수행영향인자의 선정이 체계적인 과정을 통해서 이루어지기보다는 개발자나 분석자의 판단에 의존하여 임의적으로 이루어지고 있다는 것이다. 둘째는 THERP, ASEP, HCR, IDA 등과 같은 초기의 인간신뢰도 분석 방법들에서는 제한된 인자들만을 고려하고 있다. 이로 인하여 인간오류가 실제와 달리 평가될 수 있을 뿐만 아니라, 중요한 인간오류 감소 방안을 누락할 수 있다. 세 번째 문제점은 인적오류 원인요소들에 대한 구체적인 정의 및 평가내용이 결여되어 있어서 각 요소들의 평가시 평가자들의 주관적인 기준으로 요소의 수준을 평가하게 되어 평가자들간에 평가 내용과 결과의 일관성을 잃을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 철도사고분석을 통해 발생 가능한 인적오류(Human Errors)를 관리할 수 있는 방법이 인간신뢰도 분석에서 활용되는 인적오류 원인의 적절한 분류법에 초점을 맞추어 수행영향인자를 이용한 인적오류 원인요소를 체계적으로 분류하고, 사고 원인을 보다 객관적으로 선정 및 추출할 수 있는 절차와 방법을 제시한다. 이를 위해 현재의 인간신뢰도 분석 방법들에서 유일하게 철도 산업을 위해 개발된 RSSB HRA 기법에서 제안한 분류체계를 활용하여 철도사고의 인적오류원인을 규명할 수 있는 방안을 마련한다.

2. 인적오류 분류체계

2.1 철도사고의 분류

역사가 깊은 철도 운영 경험과 그 동안의 축적된 사고 자료를 바탕으로 영국 RSSB에서는 철도시스템의 잠재사고를 크게 열차사고, 이동 중 사고, 비이동 중 사고로 분류하고 각각을 다시 세분화하여 총 110여 가지의 사고 유형으로 분류하고 있다. 그 중 열차사고는 발생빈도는 작으나 일단 사고가 발생하면 다수의 인명이 사망할 수 있는 종류의 24가지 분류로 구성되었으며, 주로 열차 간 충돌, 열차-기타 차량과의 충돌, 열차 탈선, 열차 화재, 열차 폭발 등의 사고가 포함되어 있다.

표 1. 영국 철도의 열차사고 분류

| 사고유형 | 위험분류번호 | 위험사건 내용 |
|-----------------|--------|------------------------|
| 충돌사고 | HET 1 | 승객열차간 충돌 |
| | HET 2 | 승객열차-비승객열차간 충돌 |
| | HET 3 | 비승객열차간 충돌 |
| | HET 4 | 선로상의 물체와 충돌(탈선 제외) |
| | HET 5 | 큰 물체와의 충돌로 차체가 손상됨 |
| | HET 6 | 정거장내에서의 승객열차간 충돌 |
| | HET 7 | 정거장내에서의 승객열차-비승객열차간 충돌 |
| | HET 8 | 정거장내에서의 비승객열차간 충돌 |
| | HET 9 | buffer stop 상태에서의 충돌 |
| 건널목사고 (차량충돌) | HET 10 | 건널목에서의 차량-승객열차간 충돌 |
| | HET 11 | 건널목에서의 차량-비승객열차간 충돌 |
| 탈선사고 | HET 12 | 승객열차 탈선 |
| | HET 13 | 비승객열차 탈선 |
| | HET 14 | 정거장에서 승객열차 탈선 |
| | HET 15 | 정거장에서 비승객열차 탈선 |
| | HET 16 | 비정상적 급감속, 가속 |
| 열차화재 | HET 17 | 정거장에서 승객열차 화재 |
| | HET 18 | 승객열차 화재 |
| | HET 19 | 정거장에서 화물열차 화재 |
| | HET 20 | 화물열차 화재 |
| 설비사고 | HET 21 | 구조물 또는 큰 물체에 의한 열차 파손 |
| | HET 22 | 정거장에서 구조물 붕괴 |
| 폭발사고 | HET 23 | 승객열차에서의 폭발 |
| | HET 24 | 화물열차에서의 폭발 |

2.2 RSSB HRA의 수행영향인자(PSFs)분류체계

인간신뢰도 분석에서는 인간의 수행도에 미치는 이러한 직무 상황을 몇 개 혹은 다수의 상황인자 혹은 수행영향인자를 통해서 표현하고 있다. 이러한 상황인자는 방법들마다 각기 다른 용어들로 쓰여지는데, PSF(Performance Shaping Factors), PIF(Performance Influencing Factors), IF(Influencing Factors), PAF(Performance Affecting Factors), EPC(Error Producing Conditions), Context Factors, CPCs(Common Performance Conditions) 등의 다른 이름들로 사용되기도 한다.

RSSB HRA의 정량분석 단계에서 사용되는 수행영향인자는 기존 HEART로부터 철도 영역에 적절한 영향인자로 개정된 표 2를 사용하고 있다. 정량분석 단계에서 사용되는 영향인

자는 정성분석 단계에서 사용되는 영향인자 체계와 서로 상이한 집합을 제공하고 있다. 이것은 두 단계의 분석 목적이 서로 상이하기 때문이다. RSSB 방법에서는 정성분석 단계에서 파악한 영향인자를 정량분석 단계의 영향인자로 연결해주는 Mapping Table을 제공하고 있다. 또한, 선정된 영향인자의 영향정도를 세부 단계로 나누어 적절한 영향정도 값을 선정할 수 있도록 선정지침을 제공하고 있다.

표 2. RSSB HRA 정량화를 위한 수행영향인자 분류 체계

| 번호 | 수행영향인자 | 번호 | 수행영향인자 |
|----|-------------|----|------------|
| 1 | 비친숙성 | 16 | 교육 및 훈련 |
| 2 | 시간 여유도 | 17 | 정보에 대한 신뢰성 |
| 3 | 감지 및 인식 능력 | 18 | 직무 명확성 |
| 4 | 기능취소 수단 | 19 | 신체적 능력 |
| 5 | 설계 배치 | 20 | 감정적 스트레스 |
| 6 | 높은 작업부하 | 21 | 건강 |
| 7 | 기술 습득 필요 | 22 | 사기 |
| 8 | 절차서의 명확성 | 23 | 정보지시계의 일관성 |
| 9 | 위험 인식성 | 24 | 기내 근무환경 |
| 10 | 열악한 피드백 | 25 | 집중도 |
| 11 | 지연/불완전한 피드백 | 26 | 피로 |
| 12 | 기관사 경험 | 27 | 제3자에 의한 방해 |
| 13 | 정보 수준 및 가용성 | 28 | 팀 협력 |
| 14 | 목적간의 충돌 | 29 | 진행확인 수단 없음 |
| 15 | 단일 정보 | | |

2.3 철도사고 관리 상황의 주요 특성

인적오류 분석을 위해 사고관리시의 주요 상황의 특성을 분석하고, 이것을 바탕으로 사고 관리 상황에서 인간의 수행도에 영향을 주는 수행영향인자의 요소를 결정하고 구체적 인자의 선정시 반영한다. 사고관리시에 예측되는 주요 상황적·직무적·조직적 특성을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 사고관리시에 요구되는 대부분의 직무는 인간의 단순한 행위 수준이 아닌 관찰, 정보수집, 진단, 평가, 계획, 의사결정 등 인지적인 기능을 요구하는 직무들로 구성되어 있다. 둘째, 사고관리시에 시스템은 시간에 따라 특성이 변하는 동적인 상황이 전개되며, 여러 사건들이 동시에 발생할 수 있는 복잡한 상황이 전개될 수 있다. 셋째, 사고관리시에 요구되는 직무들은 정상상태시와 같은 단순한 개인의 직무수행을 넘어서서 팀내외부간의 협력, 그리고 상위 조직의 정책과 의사결정 등을 필요로 하는 상황이 발생하게 될 것

이다. 넷째, 사고관리시에는 기존의 직무 영역과 다르게 열악한 작업환경이 발생할 수 있으며, 이러한 환경 특성이 작업 수행의 성공여부에 직접적인 영향을 준다. 이러한 특성을 고려하여 철도 인적오류 분류의 전 단계로 철도직무 오류 유형을 다음과 같이 정리하였다.

표 3. 철도직무 오류 유형

| 직무 오류 | 설 명 |
|----------------|--|
| 운전자 사전 준비 오류 | 상황보고, 관리, 점검과 같은 운행 전 요구되는 기관사 의무를 실행할 때 발생하는 오류. 입환 작업 포함. |
| 열차 결합 오류 | 열차 결합 시 발생할 수 있는 오류 |
| 열차 운행 준비 오류 | 고장관련 상황보고, 관리와 같은 운행 준비 시 발생 가능한 오류 |
| 열차 출발 오류 | 정상상황에서 정차한 열차를 이동시킬 때 발생하는 오류. 가능한 상황보고, 선로지식, 모니터링, 점검활동 포함. |
| 열차 운행 오류 | 정상운행 중 거리 측정/가속 시 발생 오류. 가능한 상황보고, 선로지식, 모니터링, 점검활동 포함. |
| 열차 정지 오류 | 정상운행 중 계획된 정지, 운행마감, 정지신호에 의해 정지 시 발생 가능한 오류. 가능한 상황보고, 선로지식, 모니터링, 점검활동 포함. |
| 계획된 정차 후 운용 오류 | 운행이 종료되고 기관사가 열차 외부로 나왔을 때 발생하는 오류 |
| 열차 인수인계 오류 | 운행종료 후 혹은 최대 운행시간이 초과되어 열차 인수인계할 때 발생 가능한 오류 |
| 고장열차 운용 오류 | 운전가능한 모든 기관사가 열차 내부에 없을 때 상황보고, 모니터링, 점검을 포함한 고장 열차 운용 시 발생 가능한 오류 |

2.4 철도사고 인적오류 분류를 위한 작업상황 모델 선정

각각의 수행영향인자는 그림 1과 같이 철도안전업무종사자의 작업 수행능력에 영향을 미치는 인자를 크게 4개의 그룹으로 나누어 세부 수행영향인자를 분류할 수 있으며, 본 연구에서는 RSSB HRA에서 제시하고 있는 수행영향인자 분류체계에 이를 적용하였다. 각 그룹의 이름과 그룹에서 다루고 있는 수행영향인자의 내용은 다음과 같다.

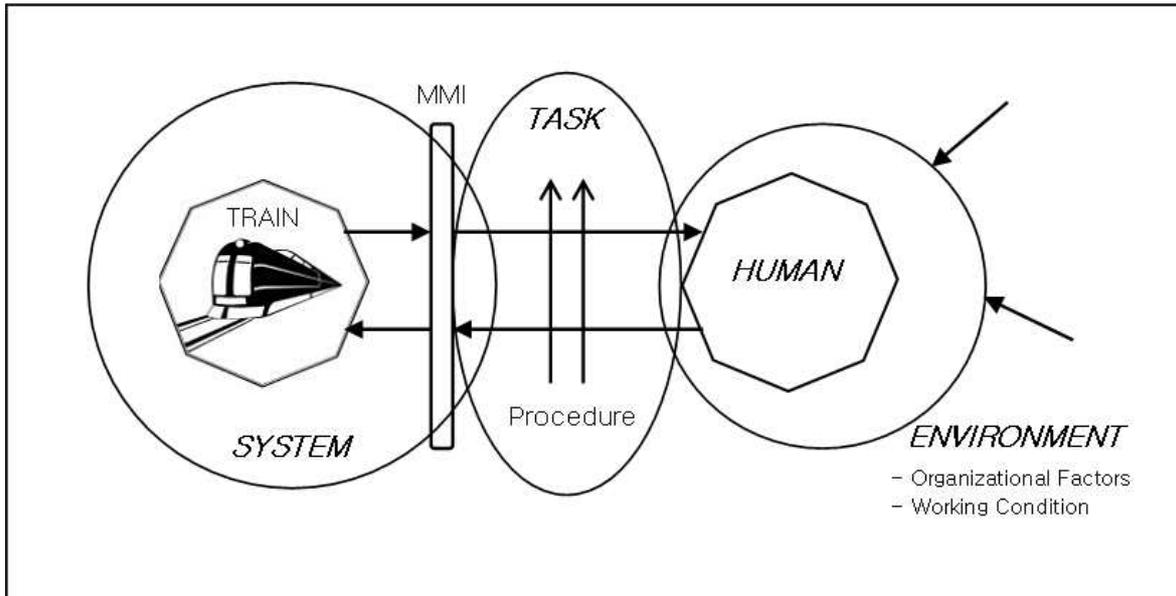
HUMAN

철도안전업무종사자 개인의 특성 및 작업능력 등과 관련된 인자

SYSTEM

철도차량의 H/W 시스템과 물리적인 특성 등과 관련된 인자

그림 1. 철도안전업무종사자 작업상황 모델



TASK

철도안전업무종사자에게 요구되는 직무의 특성과 관련된 인자

ENVIRONMENT

팀 및 조직으로부터 오는 영향인자들과 물리적인 작업환경과 관련된 인자

위의 4개의 큰 그룹들내에서 사고관리 상황의 특성을 고려하여 분류한 수행영향인자 집합을 표3에 제시하였다.

표 3. 수행영향인자 집합

| 그 룹 | 수행영향인자 | |
|--------|---------------|----------------|
| HUMAN | 3. 감지 및 인식 능력 | 20. 감정적 스트레스 |
| | 9. 위험 인식성 | 21. 건강 |
| | 12. 기관사 경험 | 22. 사기 |
| | 16. 교육 및 훈련 | 25. 집중도 |
| | 19. 신체적 능력 | 26. 피로 |
| SYSTEM | 4. 기능취소 수단 | 23. 정보지시계의 일관성 |
| | 5. 설계 배치 | 29. 진행확인 수단 없음 |

| | | |
|-------------|--|---|
| | 17. 정보에 대한 신뢰성 | |
| TASK | 1. 비친숙성 2. 시간 여유도 6. 높은 직무부하 7. 기술 습득 필요 8. 절차서의 명확성 | 13. 정보 수준 및 가용성 14. 목적간의 충돌 15. 단일 정보 18. 신체적 능력 28. 팀 협력 |
| ENVIRONMENT | 10. 열악한 피드백 11. 지연/불완전한 피드백 | 24. 기내 근무환경 27. 제3자에 의한 방해 |

HUMAN 그룹에서는 비상상황에 대한 대응인 만큼 개인의 훈련과 경험을 통해 축적된 인지적 능력과 개인의 심리적 영향과 대응 자세 등과 관련된 인자들로 선정하였다. TASK 그룹에서는 직무 전개 상황과 시스템의 동적 상황으로부터 오는 직무의 특성과 관련한 인자들을 선정하였다. SYSTEM 그룹에서는 MMI를 포함한 철도시스템의 특성과 관련된 인자로 선정하였다. 마지막으로, ENVIRONMENT 그룹에서는 현장작업이 요구되는 직무에 대하여 접근 가능성을 평가할 수 있는 요소들을 중심으로 선정하였다.

3. 결론 및 토의

본 연구에서는 철도사고분석을 통해 발생 가능한 인적오류(Human Errors)를 관리할 수 있는 방법이 인간신뢰도 분석에서 활용되는 인적오류 분류체계에 초점을 맞추어 수행영향인자를 이용한 인적오류 원인요소를 체계적으로 분류하고, 사고 원인을 보다 객관적으로 선정 및 추출할 수 있는 절차와 방법을 제시하고자 하였다. 이를 위해 현재의 인간신뢰도 분석 방법들에서 유일하게 철도 산업을 위해 개발된 RSSB HRA 기법에서 제안한 PSFs를 활용하여 철도사고의 인적오류원인을 규명할 수 있는 방안을 모색해 보았다.

본 연구에서 수행한 주요 수행영향인자의 선정과정과 결과에 대해 소개하고, 실제 발생하였던 사고를 분석하여 인적행위에 영향을 끼쳤던 주요 수행영향인자들을 밝혀냄으로써 본 논문에서 제시하는 선정법의 적절성을 검증할 예정이다.

참고문헌

1. Applied Ergonomics (2005). Special issue on rail human factors.
2. Billings, C. E.(1989), Toward a Human-Centered Automation Philosophy, Proceedings of the 5th International Symposium on Aviation Psychology, Columbus.

3. FAA(2000), FAA System Safety Handbook, CH 17 Human Factors Engineering and Safety Principles & Practices.
4. Hollnagel, E. & Bye, A.(2000), Principles for modelling function allocation, Int. J. Hum.-Comput. Stud. 52(2): 253-265.
5. O'Hara, J., et al.,(2004), Human Factors Engineering Program Review Model(NUREG-0711, Rev 2), Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
6. Sears, R. L.(1986), A new look at accident contributions and the implications of operational and training procedures, Boeing. In
7. 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-01/3
8. Wilson, J.R., Farrington-Darby, T, Bye, R. and Hockey, GRJ (2007). The railway as a sociotechnical system: Human factors at the heart of successful rail engineering. IMechE, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit
9. Wilson, J.R., Norris, B.J., Clarke, T. & Mills, A. (2005). Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway. London: Ashgate