

철도산업에서 안전성 제고를 위한 인적오류 연구

A Study on Human Error for safety improvement in railway industry

허은미†
Eun Mee Heo

변승남*
Seong Nam Byun

ABSTRACT

Railway system which has latent loss of lives and property by big accident with that human error such as locomotive driver, manager, signaller, and the others involved. So human error management is needed to control this complex system and to confirm safety of it.

Rail human error research for managing human resource has grown rapidly in both quantity and quality of output over the past few years. The continual influences of safety concerns, new technical system opportunities, reorganization of the business, needs to increase effective, reliable and safe use of capacity, and increased society, media and government interest have now accelerated rail human factors research programmes in several countries.

The objective of this research is to improve safety and to reduce accidents in korean railway system, through the application of research results to the investigation of requirement for human error.

1. 서론

철도산업은 항공과 원자력 산업과 같이 고신뢰도를 요구하는 시스템으로 구성된 특성으로 인해 철도를 운영하는 기관사, 관제사 등의 역할 변화와 시스템의 유지, 보수 및 관리에 대한 중요성에 비해 이와 관련된 국제표준(IEC, ISO, UIC Code 등) 또는 국내표준화 활동은 미흡한 실정이다. 특히, 기술이 진보되면 시스템의 오류의 원인이 기계적인 부분은 점차 줄어들고, 인적요소 (Human Factors) 및 조직에 의한 원인이 날로 높아진다(Hollnagel, 1999, 2000). 이는 고신뢰도 시스템인 항공, 원자력, 철도 분야의 사고 및 정지 사례의 통계를 통해서도 그 현황을 알 수 있다. 항공분야를 예를 들면, 전 세계적으로 항공사고의 약 60%정도는 조종사의 정비와 관제 등의 항공 관련 종사자의 인적 요인까지 포함한다면 사고원인은 거의 70~80%가 인적 요소와 관계가 있다(Wiegmann. & Shappell, 2001).

철도와 같은 고신뢰도 시스템은 기존 시스템에 부가적으로 새로운 기능을 추가하거나 시스템이 변경될 경우에, 안전운행의 요건인 안전성 및 신뢰도의 만족이 확인되어야 한다. 이를 위하여 인간공학 측면에서 당위성 검토 및 검증이 필요하며, 이는 각 설계 요소뿐 만 아니라 전

† 책임저자 : 경희대학교 산업공학과, 인간공학연구실, 연구원
E-mail : hem2040@gmail.com
TEL : (031)201-2878, FAX : (031)203-4004

* 정희원, 경희대학교, 산업경영공학과, 정교수

체 시스템 측면에서 인적요소를 고려해야 한다. 결국, 인간과 작업대상인 시스템 사이의 상호 작용에서 생길 수 있는 불일치와 부조화로 인해 인적오류(Human Error) 발생을 사전에 예측하는 활동으로, 인적오류 예측을 통한 시스템 안전 확보 활동이다. 인간공학 프로그램의 적용은 운전이나 행동 전략이 완전히 변경되는 새로운 시스템으로의 변경 사례와 일부 HSI(Human System Interface)의 기능적 보완 및 수정 교체 등으로 나눌 수 있다. 운전이나 행동 전략이 완전히 변경되는 사례로는, 항공기의 경우 Boeing 747 series, 원자력발전소의 MCR(Main Control Room)이 아날로그 타입에서 디지털 타입으로의 upgrade 등을 들 수 있다. 일부 기능적 보완 및 수정 교체는 시스템이 기술개발을 통해 보다 안전한 기능을 수행하기 위해서 보완되는 경우로서 성능 향상을 위한 디자인, 인터페이스 통합 및 개선, 부가 시스템의 적용, 중요 부품의 변경 등을 들 수 있다.

2. 본론

국내에서는 원자력발전 분야를 중심으로 1990년대부터 인적 오류에 대한 연구가 이루어져 왔고, 철도 분야에서는 아직 관련 연구가 부족한 상황이다.

2.1 국내연구

2.1.1 K-HPES (Korean version - Human Performance Enhancement System)

HPES(Human Performance Enhancement System)은 인적 오류 분석을 위한 관리적 기법으로 1990년 미국의 INPO(Institute of Nuclear Power Operations)에서 처음 개발되었다. HPES의 목적은 원자력 발전소의 운전, 정비, 정기점검 등 제반 운영 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. 국내에서는 INPO-HPES를 1990년부터 도입하여 사용하다가 몇 가지 국내 적용상의 문제점이 발견되어 1994년부터는 K-HPES(Korean version of HPES)를 개발하여 사용하였고, 이후에 전산시스템(CAS-HPES; Computer Aiding System for HPES)으로 개발되어 더 효율적인 운용 체계로 사용되어 왔다. 현재는 기존의 분석 방법을 개선한 웹(Web) 기반 K-HPES를 개발 중에 있다.

2.1.2 철도 인간 신뢰도분석 방법(Railway-Human Reliability Analysis; R-HRA)

인간신뢰도분석(Human Reliability Analysis; HRA)은 위험설비의 확률론적 위험도 평가(Probabilistic Risk Analysis;PRA)에서 작업자의 인적오류 가능성을 파악하고 그 발생가능성을 정량적으로 평가하는 역할을 담당한다. 철도 인간 신뢰도분석 방법(Railway-Human Reliability Analysis; R-HRA)은 철도 위험도 평가체계 내에서 그러한 역할을 담당하기 위한 HRA 방법을 지칭한다. 현재까지 알려진 대표적 인간신뢰도분석 방법들에 대한 철도 직무에의 적용을 통해 영국의 RSSB에서 개발한 방법을 R-HRA 기본 방법으로 선정하였다

R-HRA 절차는 크게 (1) 예비 분석 단계, (2) 인적오류 정성분석 단계, (3) 인적오류 정량분석 단계로 구성되며, 각 단계별 세부 분석 단계가 구성되어 있다.

2.2 철도사고의 인적오류 분류

현행 철도 사고 조사 또는 운전 장애를 분석은 발생한 사고 또는 장애의 개요를 파악, 사고의 직접, 간접원인들을 분석하여 사고의 근본 원인을 도출하고 재발 방지를 위한 예방 대책을 수립하는 단계, 마지막으로 수립된 예방 대책의 추진 실적을 지속적으로 관리하는 피드백 단계로 이루어진다. 인적 오류(취급부주의)에 대한 분석도 포함되지만, 사고 관계자를 인터뷰하는 것 외에 특별한 분석기법이 없다고 할 수 있다.

이에 본 연구는 영국의 대표적 철도분야 연구기관인 RSSB(Rail Safety & Standards Board)의 분류체계를 수정·보완하여 인적오류의 특성을 파악하고 TRACEr(Technique for the Retrospective & Predictive Analysis of Cognitive Errors)을 활용하여 <표 1>과 같이 오류의 인지적 원인 및 메커니즘과 다양한 영향 인자(performance factors)들을 분류하였다.

이를 활용한 이유는 새로운 인적오류 분류법의 개발보다는 분석결과에 있어서 분석자간 신뢰성 결여의 문제를 유발할 수 있는 것으로 지적되었기 때문이며, 또한 신뢰성을 높이기 위하여 철도전문가의 자문을 추가하였다.

<표 1> 인적오류 분류체계

분류	내부적요인에 의한 구분			
인적 오류	인지 (Perception)	P1	청각적 정보를 감지하지 못함	운전자가 정보를 잘못 들어도 탐지할 수 있는가?
		P2	청각적 정보 의미를 잘못 파악함	운전자가 시각적인 재확인 작업을 하는가?
		P3	청각적 정보를 늦게 감지함	운전자는 메시지의 내용을 실현하기 위해 늦을 수 있거나 메시지의 중요성을 인정하기 위해 늦을 수 있는가?
		P4	시각적 정보 의미를 잘못 파악함	운전자가 잘못 확인하거나, 확인을 실패하거나 다른 시각적 정보와 혼동할 가능성이 있는가?
		P5	잘못 읽음	운전자가 문서를 잘못읽을 가능성이 있는가?
		P6	시각적 정보 의미를 잘못 파악함	운전자가 기관실 내/외부에서 정보를 잘못 보거나 인식할 수 있는가?
		P7	시각적 정보를 늦게 감지함	운전자가 전혀 정보를 확인하지 않았나?
		P8	시각적 정보를 감지하지 못함	운전자가 정보를 탐지하는데 실패했는가?
		P9	시각적 정보를 늦게 감지함	운전자의 탐지활동이 요구되는 시점보다 늦었는가?
		P10	시각적 정보 의미를 파악하지 못함	운전자가 정보를 확인한 후 탐지활동이 요구되는 시점보다 늦었는가?
	기억 (Memory)	M1	모니터(감시)를 잊음	운전자가 모니터해야 하는 것을 잊지 않고 있는가?
		M2	장래 기억의 실패	운전자가 미래에 실행해야 하는 행위를 잊지 않고 있는가?
		M3	이전 행동을 잊어버림	운전자가 연속된 행위에 대한 현재 상황을 잊지 않고 있는가?
		M4	일시적인 정보를 잘못 상기	운전자가 현재의 정보를 기억하고 있는가?
		M5	기억된 정보의 잘못된 회상	운전자가 정보를 부정확하거나 완전하지 않게 회상하고 있는가?
		M6	일시적인 정보를 잊어버림	운전자가 정보를 회상하는데 실패했는가?
	판단 (Decision)	D1	판단과정 진입 실패	운전자가 각각의 정보에 대해 판단하고 있는가?
		D2	부정확한 결정	운전자가 부정확한 결정을 하는가?
		D3	늦은 결정	운전자가 늦은 결정을 하는가?
		D4	결정하지 않음	운전자가 결정하는 데 실패했는가?
		D5	분충분한 전략	운전자가 수립한 전략에서 누락된 부분이 있는가?
		D6	부정확한 전략	운전자가 부정확한 전략을 수립하였는가?
		D7	전략 없음	운전자가 전략을 구성하는데 실패했는가?
	행위 (Action)	A1	정보 기입 오류	운전자가 정보나 데이터를 기입하면서 오류를 발생하는가?
		A2	선택 오류	운전자가 선택을 해야 하는가?
		A3	위치 선정 오류	운전자가 위치선정을 해야 하는가?
		A4	시간 오류	운전자가 작업이나 의사소통을 하는데 있어서 시간적 요소가 중요한가?
		A5	행위 누락	운전자가 요구되는 행위를 수행하지 않았는가?
	정보전달 (Communication)	C1	불명확한 정보전달/기록	정보전달이나 기록이 애매하거나 명확하지 않은가?
		C2	틀린 정보 전달	정보의 전달이 정확하지 않은가?
		C3	틀린 정보 기록	정보의 기록이 정확하지 않은가?
		C4	정보 기록이 명확하지 않음	정보의 기록이 분명하지 않은가?
		C5	정보전달/기록이 안됨	정보전달이나 기록이 실패하였는가?
	위반 (Violation)	V1	통상적인 위반	운전자가 개인이나 그룹 내에서 항상 암묵적으로 인정하는 위반을 하고 있는가?
V2		상황에 따른 위반	운전자의 작업상황에 따라 위반이 가능한가?	
V3		예외적인 위반	운전자가 예외적인 상황에 대해서만 가능할 수 있는 위반을 하는가?	
V4		최저 위반	운전자가 작업의 단순화 최적화를 위해서 임의로 위반하는가?	

2.3 연구내용

아래의 <표 2>는 철도사고별 인적오류를 분석한 후 안전성제고 및 인적오류 저감을 위한 인간 공학적 안전요구사항을 도출하는데 사용된 관련 문헌들이다.

대상 산업		관련 법령 및 기준	비고
철도		철도안전법 2005.12.29 법률 7796호	
		철도안전법시행령 2006.6.15 대통령령 제19531호	
		철도안전법 시행규칙 2006.8.7 건설교통부령 제530호	
		철도종사자 등에 관한 교육훈련시행지침건설교통부 고시 제 2006-51호	
		철도차량안전기준에 관한 규칙 건설교통부령 제455호	
		CFR(US) 49. Transportation, Part 240, Qualification and certification of locomotive engineers (2002)	
		Railways Act(UK) 1993 (2000)	
		ROGS Regulations 2006 (2007)	
		Model Rail Safety Regulations (2006)	
		Rail Safety (Drug and Alcohol Testing) Regulation (2003)	
		Fatigue Management for Rail Safety Workers (2007)	
		Rail Safety (Drug and Alcohol Testing) Regulation 2003	
		RSRP(AU), National Rail Safety Accreditation Package (2005)	
		TSI(EU) for "Traffic Operational and Management" (2006)	
		Understanding Human Factors: A Guide for the Railway Industry (2008)	
		Railway Safety Act 1985, c. 32 (4th Supp.)	
		Railway Group Standard GO/RT3251, Train Driving	
	Railway Safety Approved Code of Practice GO/RC3551, Approved Code of Practice- Train Driving		
	Railway Safety Good Practice in Training, RS/220		
	Railway Group Standard GE/RT8070		
	Human Factor Guidelines for Locomotive Cabs		
	Managing Competence for Safety-related Systems (2006)		
	Developing and Maintaining Staff Competence (2007)		
	Rail Safety Licensing and safety assessment guidelines (2006)		
원자력/항공	원자력	원자력법	
		원자력법시행령	
		원자력법시행규칙	
		원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙	
		NUREG/CR-6751, The Human Performance Evaluation Process (2002)	

대상 산업		관련 법령 및 기준	비고
		NUREG-1220, Training Review Criteria and Procedures (1993) NUREG-0800 ch.18, Human Factors Engineering (2004) IEEE 1023, IEEE Recommended Practice for the Application of Human Factors Engineering to Systems, Equipment, and Facilities of Nuclear Power Generating Stations and Other Nuclear Facilities (2004) Human Factors Guidance for Control Room and Digital Human -System Interface Design and Modification (2004)	
	항공	Air Traffic Management System Development and Integration (ATMSDI) (2001)	
	기타	US DoD, System Engineering for Mission Success (2007) Human Resource Management Manual (2002) GAO/AIMD-00-21.2.3, Human Resources & Payroll Systems Requirements (2000) HSE, Reducing Risks, Protecting People (2001) National Guideline for the Meaning of So Far as is Reasonably Practicable (SFAIRP) (2007)	

<표 2> 인간공학적 SGBs(Standard Guidance Basics)

3. 결론

본 연구에서는 공공성이 강하고 복잡한 철도 시스템의 유지 및 관리에 있어서, 설계에서 폐기까지 시스템 Life cycle 전반에 걸쳐서 안전을 보장해야 하는 필요성을 인적오류 측면에서 찾아야 한다는 점에 초점이 맞추어져 있다. 특히 사고 또는 장애(accident or incident)를 분석하여 인적오류를 분류하고 각 사고 사례에 대한 안전요구사항의 D/B구축이 그 사고 또는 오류와 유사한 사례로 검색하는 프로그램으로 구축된다면 그 분석의 결과로 인적오류저감에 대한 예방대책을 마련할 수 있을 것이다. 이와 아울러 사고철도시스템의 안전성 확보 및 관리를 위한 예방적 활동을 국내 실정에 맞는 인적오류 분류 및 인간공학 안전요구사항의 적용을 통한 국제/국내 표준화 작업 활동의 방향성을 찾는 방안을 모색해야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2006), “철도사고보고 및 조사에 관한 지침(안)”, 건설교통부 고시 제2006-3호.
2. 건설교통부 (2006), “철도안전종합계획: 제1차 (2006-2010)”. 2006년 2월.
3. 김동산, 백동현, 윤완철. 인적오류 분석기법의 국내외 활용 현황 및 국내 철도 산업에의 적용 방안, 한국철도학회 논문집, 제10권, 제1호, pp. 7-15.
4. 김두환 (1998), “화학 공장의 Human Error 방지 당면 과제에 관한 연구”, 대한산업공학회 인지공학 연구회 공동학제 Workshop 발표논문집, pp.147-157.
5. 김재환, 정원대, 장승철, 왕종배(2006), “철도 인간신뢰도분석 방법 선정을 위한 사례분석”, 한국철도학회 논문집, 제9권, 제5호, pp. 532-538.
6. 이정운, 이용희, 박근욱 (1996), “국내 원자력발전소의 인적오류사례의 추이 분석”, 대한인간공학회 지, 제 15권, 제 1호, pp.27-38.
7. 정원대, 강대일, 김재환. 원자력발전소 인간신뢰도분석(HRA) 표준 방법 개발: 진출력 PSA 내부사건 HRA. KAERI/TR-2961/2005, 2005.
8. 한국수력원자력(주) 환경기술원 (2004), “사고근접 사례 분석 절차 개발 및 K-HPES 개선(I)”, 최종 보고서.
9. 한국전력공사 기술연구원 (1994), “원자력발전소 인적행위 개선시스템(K-HPES) 개발 (I)”, 최종 보고서.
10. 한국전력공사 전력연구원 (1998), “원자력발전소 인적행위 개선시스템 (K-HPES) 개발 (II)”, 최종 보고서.
11. 한국철도기술연구원(2007), 철도사고 위험도분석 및 평가체계 구축, 연구보고서.
12. Andersen T. Human Reliability and Railway Safety, 16th ESReDA Seminar, Glasgow, UK, 2004.
13. Embrey D. SLIM-MAUD: An approach to assessing human error probabilities using structured expert judgement. NUREG/CR-3518, USNRC, 1984.
14. 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.
15. Greenacre, M. J., Theory and Applications of Correspondence Analysis, New York: Academic Press, 1984.
16. Hannaman GW, Sprgin AJ, Lukic YD. Human cognitive reliability model for PRA analysis. Drafts report, NUS-4531, EPRI Project RP 2170-3, 1984.
17. Hendrick, K. & Benner, L. (1987), Investigating Accidents with Sequentially Timed and Events Plotting (STEP), New York.: Marcel Dekker.
18. Hollnagel, E. (1998), Cognitive Reliability and Error Analysis Method, Oxford: Elsevier.
19. INPO, (1990), “Human Performance Enhancement System”, INPO 90-005, Atlanta: Institute of Nuclear Power Operations.
20. Kirwan, B. and Ainsworth, L. (1992). “A guide to task analysis,” Taylor & Francis Ltd.
21. 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.
22. Paradies, M. & Unger, L. (2000), TapRoot: The system for root cause analysis, problem investigation, and proactive improvement, System Improvements, Inc.
23. 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.
24. Rail Safety and Standard Board (RSSB) (2004), “Rail-specific HRA technique for driving

tasks,” Final report.

25. Rail Safety and Standard Board (RSSB) (2004), “Rail-specific HRA technique for driving tasks,” Final report.

26. Rasmussen, J., Pejtersen, A.M., Goodstein, L.P. , Cognitive System Engineering. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1994.

27. Reason J., Human Error. New York: Cambridge University Press, 1990.

28. 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.

29. 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.

30. RSSB (2005), “Rail-specific HRA technique for driving tasks”, Final Report.

31. 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.

32. 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.

33. SIEP (2004), “Managing rule-breaking The Toolkit”, Netherlands: Shell International Exploration and Production B.V.

34. Swain AD, Guttman HE. Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. NUREG/CR-1278, USNRC, 1983.

35. Swain AD. Accident sequence evaluation program human reliability analysis procedure. USNRC, NUREG/CR-4772, 1987.

36. 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.

37. W. Huw Gibson (2006), “User trial of the rail-specific HRA technique,” Final report.

38. Wickens C, Hollands J. Engineering psychology and human performance. Prentice-Hall Inc.,2000.

39. 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.

40. Williams JC. A data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance. Proceedings of the IEEE Fourth Conference on Human Factors and Power Plants, Monterey, California, 1988.

41. Woods, D.D., Johannesen, L.J., Cook, R.I. & Sarter, N.B.(1994), Behind human error: cognitive systems, computers, and hindsight, Columbus, Ohio: CSERIAC.]