

국내 철도산업에서 인적오류 저감의 법적 관리체계 구축을 위한 규제영역



서상문 >>
한국원자력연구소 선임연구원



김종웅 >>
한국원자력연구소 선임연구원



박근욱 >>
한국원자력연구소 책임연구원



구인수 >>
한국원자력연구소 책임연구원

1. 서론

철도 시스템을 포함하여 모든 작업장에서 발행하는 사고의 90%가까이가 인적오류에 기인하는 것으로 평가되고 있다(1). 2005년에 발생한 일본 효고현 열차 탈선 사고와 더불어 아제르바이젠 지하철 화재 사고(1995), 영국의 킹스크로스 지하 역사 화재 사고(1987), 동경 지하철 충돌 사고(2000) 등은 인적오류에 기인한 대형 참사로 기억되고 있으며, 국내에서도 2003년 초에 발생한 대구 지하철 화재 사고와 더불어 크고 작은 많은 사고들이 상당부분 부적절한 인적행위의 결과가 한 원인이 되어 발생한 것으로 알려져 있다. 지난 1998년부터 2002년까지 5개년 간 한국철도공사(구철도청)에서 조사한 철도사고 발생현황에서 보더라도 열차사고의 경우 총 25건 중 80%에 달하는 20건이 취급부주의와 같은 인적요인이 개입된 사건으로 분석되고 있다(2).

시스템에서 상대적으로 불확실도가 높은 인간요소를 배제하려는 노력으로 자동화 등의 기술이 획기적으로 발전하고 있지만, 아직까지 운전, 유지 및 보수 등 많은 분야에서 인간요소의 개입이 이루어지고 있다. 더욱이 인간요소를 완전히 배제한 철도 시스템은 실현 불가능하므로, 인적 요인으로 인한 사고는 항상 잠재되어 있는 실정이다. 이는 언제라도 대형 참사를 일으킬 수 있는 주요 요인으로 작용할 수 있을 것이다.

건설교통부는 인적요인의 중요성을 인식하고, 2005년 하반기부터 철도종합안전기술개발사업의 일부로 인적오류를 저감하기 위한 법적 관리체계 구축 사업을 진행하고 있다(3). 본 논문은 인적오류가 발생하는 기전을 알아보고, 이에 영향을 미치는 인적오류 유발인자 분류체계를 제시한다. 인적오류를 관리한다는 의미는 결국 인적오류유발인자를 관리한다는 것과 다르지 않으므로 이를 통하여 인적오류 저감의 법적 관리체계 구축을 위한 규제영역을 제시한다.

2. 인적오류 발생 기전

인적오류는 “시스템의 효율성·안전성·성능을 저감시키거나 또는 잠재적으로 저감시킬 수 있는 부적절한 행동 및 바람직하지 못한 결정”으로 정의한다. 이러한 부적절한 행동 및 바람직하지 못한 결정은 부적절한 정보처리에 기인하며 이는 상당부분 인간 자신의 한계에서 비롯된다.

2.1 인간의 한계

인적오류가 발생하는 작업환경(작업장)에서 그 기

전을 밝혀내고자 할 때에는 먼저 작업의 주체인 인간 능력의 한계를 이해해야 한다(4). 이러한 능력의 한계는 인간의 정보처리 단계에 따라 좀 더 세분화할 수 있다(그림 1).

- 감각기처리(Sensory Processing) - 시각 및 청각 등과 같은 수용기는 뇌 안에 있는 단기감각저장소(Short-term sensory storage)와 연계하여 작용하며 인간의 한계는 수용기와 단기감각저장소에 존재한다. 수용기를 통한 인간능력의 한계에 대한 연구는 많은 인간공학 문헌에 존재한다. 단기감각저장소는 수용기를 통해 들어온 원시데이터를 잠시 저장하는 것으로 시각수용기를 통한 원시데이터는 0.5초 정도, 청각수용기를 통한 원시데이터는 2초내지 4초정도를 유지한다. 부적절한 HSI(human-system interface) 설계는 부적절한 감각기처리를 유발하고 이는 인적오류로 이어지는 단초가 된다.
- 지각(Perception) - 수용기를 통해 들어온 원시데이터는 이 단계에서 의미 있는 정보로 변환된다. 지각은 신속히 자동적으로 이루어지는 특성이 있으며, 감각기처리를 거친 원시데이터가 작동시키거나 장기기억이 작동시키기도 한다. 특히 감각기를 통한 원시데이터가 충분하지 않을

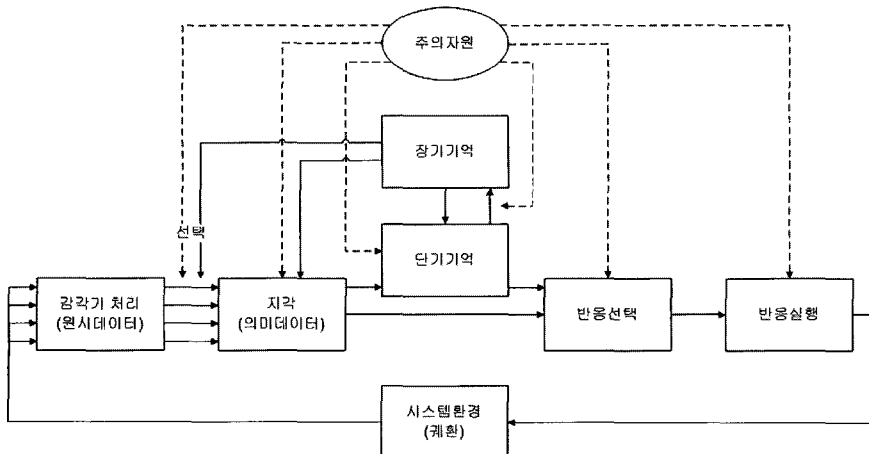


그림 1. 인간의 정보처리 단계(5의 그림 1.3)

때에는 과거 경험을 통한 기대가 이 단계에서 작용한다(6). 부적절한 HSI 설계는 감각증거(sensory evidence)를 저하시키고, 장기기억에 저장되어 있는 잘못된 기대(expectancy)를 사용하게 될 경우 지각오류를 유발하게 된다.

· 단기기억·장기기억 - 지각된 정보는 단기기억에 일시 저장된다. 단기기억은 정보를 가공하는 단계로 한정적인 자원을 이루어져 있다(7). 인간은 무한정한 주의 자원을 가지고 있지 않으며, 분산해서 사용하는 데에도 익숙하지 않으므로 쉽게 왜곡될 수 있는 특성이 있다. 부적절한 HSI 설계, 진동 및 소음 등과 같은 작업환경의 부적합, 작업자 자신의 문제 등으로 인하여 주의가 분산되거나 부족하면 정보 가공에 왜곡이 발생하며 올바른 반응선택을 할 수 없게 된다. 장기기억은 단기기억에 비해 좀 더 지속되는 것으로 부적절한 교육훈련으로 인한 잘못된 저장된 경험 등은 지각오류를 유발하거나 단기기억의 정보 왜곡에 영향을 미친다.

· 반응선택·반응실행 - 반응선택이 많은 인지(cognition)를 필요로 하는 반면 반응실행은 Motor task로 육체적인 능력을 필요로 한다. 단기기억에서 왜곡된 정보는 잘못된 반응선택을 유발하며 결국 부적절한 반응실행으로 이어진다. 부적절한 조각기(작업도구) 설계 또한 반응실행 오류를 유발한다.

· 궤환(Feedback) - 위에서 언급한 정보처리 과정은 항상 작업환경(HSI 포함)의 사건으로 시작하지는 않는다. 경우에 따라서는 한 사이클의 정보처리가 다음 사이클을 시작하는 동기로서 작용하기도 한다. 지각이 반응실행을 야기한 것처럼 반응실행이 새로운 지각을 유도하기도 한다(8).

· 주의(Attention) - 대부분의 정신적 작용은 선택적 또는 분산적 주의를 필요로 한다(9). 인간은 무한정한 주의 자원을 가지고 있지 않으며, 분산해서 사용하는 데에도 익숙하지 않으므로 쉽게 인적오류를 야기할 수 있다.

2.2 인적오류유발인자

수행도형성인자(performance shaping factors)란 작업자의 작업수행에 영향을 미치는 요인들을 지칭하는 것으로, 인적오류를 유발하는 주요한 영향인자로 작용한다(10). 그림 1의 정보처리 단계에서 인간의 직무 수행 행위의 관점에서 본다면 일반적으로 작업 환경을 직접 또는 간접으로 구성하는 많은 인자(HSI 설계, 교육훈련 등)들과 같이 인간의 정보처리 과정에 직접적으로 관련된 요소뿐만 아니라 지루함, 소음, 조직 구성 등과 같이 간접적으로 영향을 미치는 요소에 의해서도 영향을 받으며 결국 인적 오류를 유발하는 원인으로 작용하기도 한다(11).

철도산업에 적합한 인적오류유발인자 분류체계를 정의하기 위하여 가장 광범위하게 조사되고 많은 분석자들이 인용하고 있는 분류체계인 Swain의 것(10)을 기반으로 다른 분류체계(Gawron(12), Booth, et al.(13), Surry(14))를 참조하여 개발하였다(표 1). 대부분의 분류체계가 주요한 수행도형성인자로 조직문화특성요인을 정의하고 있으나 이는 법적인 규제를 통하여 관리해야 할 사항이기 보다는 철도 사업자 및 종사자의 자발적인 참여로 관리되어야 할 사항이므로 제외하였다.

· 안전업무종사자특성요인 - 안전업무종사자의 신체적 요인, 심리적 요인, 정신적 요인이 포함된다. 신체적 요인은 안전업무종사자의 연령, 성별, 신체조건 등의 요인이 포함되고, 정신적 요인에는 작업상황의 변화에 불변하는 정신적 특성을 나타낸다. 심리적 요인은 동기, 태도, 감정 상태, 피로, 불안, 소속감 등 작업 상황에 따라 변할 수 있는 심리적 요인들을 포함한다.

· 안전업무특성요인 - 직무를 수행하기 위하여 필요한 장비의 특성에 관련된 요인과 수행되는 직무에 관련된 요인으로 나눌 수 있다. 장비특성요인에는 조정장치(작업도구), 표시장치 등의 특성이 포함되고, 직무의 신체적 및 정신적 특성요인에는 업무시간/휴식시간 비율, 작업부담의 정도

등이 포함된다.

- 작업장환경요인 - 작업장환경요인은 안전업무 종사자의 작업에 대한 주변 환경의 화학적, 물리적 특성에 관련된 요인들을 말하는 것으로 기관실의 환기·소음·진동·조명·온도·습도 등의 세부 항목들을 포함한다.

소분류의 상세 정의는 참조한 분류체계의 정의를 사용한다.

인적오류유발인자는 그림 1의 정보처리과정 각 단계에 영향을 미친다. 그림 2는 대분류 수준에서 인간 정보처리과정의 각 단계에 주로 영향을 미치는 개략적인 관계를 보여주고 있다. 결국 인적오류를 저감시키기 위해서는 인간의 한계를 바탕으로 이에 영향을 미치는 인자를 설계 및 관리해야 한다.

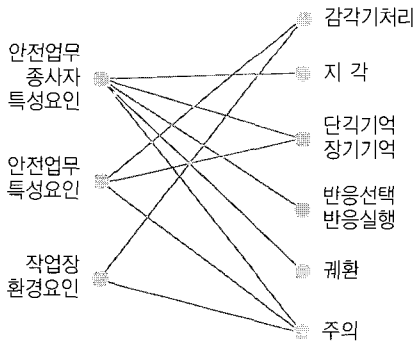


그림 2. 인적오류유발인자와 인간 정보처리과정의 각단계와의 영향관계

3. 규제기준 영역 도출

인적오류유발인자가 부적합하거나 또는 부적절하게 설계되어 있다면 그만큼 인적오류가 발생할 수 있는 개연성이 커진다. 이에 대한 대처방안은 잘못된 점을 교정하거나 설계이전 단계에서 제거하는 것이다. 이렇게 함으로써 인적오류로 인한 사고를 줄이고 시스템의 안전성을 증진시킬 수 있다.

인적오류유발인자에 대처할 수 있는 방법으로 인간공학과 심리학 등 관련 분야에서 많은 연구들이 제

표 1. 인적오류유발인자와 이에 대처하기 위한 법적 규제 영역

인적오류유발인자			규제영역	
대분류	중분류	소분류		
안전 업무 종사자 특성 요인	신체적 요인	· 연령조건	자격관리	
		· 신체조건		
		· 감각조건	업무적성	
		· 운동능력		
	정신적 요인	· 성격의 적합성	자격관리	
		· 안전에 대한 인식		
		· 교육훈련 상태		
		· 경력	투입전 적합성검사	
		· 약물복용 정도		
		· 수면정도		
심리적 요인	· 작업동기	자격관리		
	· 피로/스트레스	작업시간설계, 직접처방		
안전 업무특성 요인	장비 특성요인	· 조종장치(작업도구)	HSI 설계	
		· 정보표시장치		
		· 경보장치		
	업무의 신 체적 특성 요인	· 업무시간/휴식시간 비율	작업시간 설계	
		· 의사교환 형태의 적 합성	작업설계	
		· 신체적 운전업무 수행 방법의 적합성	작업설계	
		· 업무에 필요한 운동능 력의 정도	업무적성	
		업무의 정신적 특성요인	· 업무 부담의 정도	작업설계, 작업절차 서설계, 교대조설계
			· 업무의 위험도	
	· 업무에 필요한 주의 및 경계정도			
	· 기억요구 정도			
	작업장 환경 요인	물리적 환경요인	· 주변소음	작업장환경 설계
· 진동				
· 조명				
· 온도				
· 습도				
· 공간배치의 적합성				
화학적 환경요인		· 환기		
		· 청결정도		

※주의(규제영역)

현재 법적규제기준이 적용되고 있거나 사업자가 자발적으로 시행하고 있는 영역

□ 새로운 법적규제기준이 필요한 영역

시되고 있거나 진행 중에 있다. 이들을 종합하여 법적 규제를 하고 있거나 필요한 개략적인 규제영역을 표 1에 제시하였다. 새로운 대처기술이 식별될 경우 규제영역에 추가될 것이다.

4. 결론

지금까지 인적오류가 발생하는 기전을 그림 1의 정보처리 모형에서 인간의 한계라는 특성과 그 영향요인에 근거하여 설명하였다. 이 영향요인을 인적오류 유발요인으로 정의하고 기준에 많이 참조되고 있는 여러 가지 수행도형성인자 분류체계를 참조하여 철도에 적용할 수 있는 분류체계를 제시하였다. 각각의 인적오류유발인자에 대하여 인간공학과 심리학 등 관련분야의 연구를 참조한 후 이에 대한 대처기술 영역을 제시하였다. 제시된 각각의 영역은 잠재적으로 사업자가 준수해야 할 법적 규제기준을 마련하는 근거가 된다.

표 1의 규제영역 필드에서 빗금 친 셀은 현재 법적 규제기준이 제시되어 있거나 사업자가 자발적으로 기준을 마련하여 운영하고 있는 영역이며, 그 밖의 셀은 새로이 규제기준을 생산하여 운영해야 하는 영역이다. 빗금 친 셀에 해당하는 영역이라도 기준이 미흡한 경우도 있다. 기관사 업무적성평가로 예를 들면, 현재 운영 중인 기준이 오래되어 사업자가 추가적인 자사지침을 만들어 시행하는 경우도 있으며, 동체시력검사·야간시력검사·시야계검사 등과 같은 적성검사항목은 현장에서도 그 필요성을 공감하고 있는 새로운 분야이다.

인적오류가 유발하는 사고를 사전에 예방하고 줄이기 위해서는 표 1에서 제시된 규제영역의 기준이 최신으로 유지될 수 있도록 관리되고 운영되어야 한다. 특히 HSI 설계분야 및 작업장환경설계 등과 같은 분야는 군사·항공·원자력 등과 같이 안전이 핵심인 분야에서 이미 자체 기준을 수립하고 오랜 기간 운영하여 그 효과를 실증적으로 보여주고 있다. 모든 규

제영역에서 기준이 적합하거나 적절하게 설계되고 최신으로 관리된다면 철도종합안전기술사업의 선진적인 안전관리체계 구축을 통한 철도중대사고 및 사망률 저감이라는 최종 목표에 크게 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Feyer, A.M. & Williamson, A.M. (1998) "Human factors in accident modelling. In: Stellman, J.M. (Ed.), Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, Fourth Edition. Geneva", International Labour Organization
2. 철도청(2003) "철도사고사례집"
3. 건설교통부(2004) "철도안전기술개발사업 기획보고서"
4. Postnote Number 156, Parlimentary Office of Science and Technology, UK(2001) "Managing Human Error"
5. Christopher D. Wickens & Justin G. Hollands (2000) "Engineering Psychology and Human Performance (3rd Ed.)", Prentice-Hall Inc., pp.11
6. Rumelhart, D. (1977) "Human Information Processing", New York:John Wiley
7. Norman, D. & Bobrow, D (1975) "On data-limited and resource-limited processing", Cognitive Psychology, 7
8. Powers, W.D. (1973) "Behavior: The control of perception", New York:Aldein de Gruyter
9. Pashler, H. (1998) "The psychology of attention", Cambridge, MA:MIT Press
10. Swain, A.D. & Guttman, H.E. (1983) "Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications", NUREG/CR-1278, US

- Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1983.
11. KAERI/CM-107/94, “인적행위분석기법개발: 원전작업의 인적오류 특성 분석”, 한국원자력연구소
 12. Gawron, V.J. (1989) “A taxonomy on independent variables affecting human performance”, I.J. Man-Machine Studies, 31
 13. Booth, A.L., Oakes, F., Evans, S., & Williams, J. (1985) “Engineering decisions under stress”, Reliability Engineering, 211-238
 14. Surry, J. (1971) “A human engineering appraisal”, Industrial Accident Research, Univ. of Toronto