

분석계층과정 방법을 이용한 철도 인적오류영향요인 연구

A Study on Factors of Influencing Human Error in Korean Rail Industry Using Analytic Hierarchy Process Method

심영록*
Sim, Young Rok

서상문**
Suh, Sang Moon

박근옥**
Park, Geun Ok

구인수**
Koo, In Soo

ABSTRACT

The accidents are often resulted from multiple causes with hardware failure and human errors. So to ensure the safety of rail operation, human error should be prevented effectively. The purpose of this paper is to present an analysis system on factors of influencing human error in korean rail industry especially for engine driver and train despatcher. To achieve it, ESFs(error shaping factors) classification system was derived from several PSFs(performance shaping factors) classification system. Based on them, two kinds of questionnaires for engine driver and train despatcher each were developed. Then Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology was used to evaluate what factors were critical to human error.

1. 서론

일반적으로 모든 작업장 사고의 90% 가까이가 인적오류에 기인한 것으로 평가되고 있다[1]. TMI 원자력발전소 사고는 시스템의 오작동과 운전원의 오판에 의한 결과로 초래된 사고이며, 대구 지하철 화재 사고 역시 사고에 대처하는 인간요소의 부적절한 행위로 인해 참사로 확대된 사고였음이 드러났다. 지난 1998년부터 2002년까지 5개년간 철도청에서 조사한 철도사고 발생현황에서 보더라도 열차사고의 경우 총 25건 중 80%에 달하는 20건이 취급부주의와 같은 인적요인이 개입된 사건으로 분석되었다 [2].

이러한 인적오류는 인간이 명시된 정확도, 순서, 혹은 정해진 시간 안에 지정된 행위를 하지 못하는 것이며, 그림 1의 정보처리 과정에서 한 단계만 무너져도 인간은 실수를 하게 된다. 인간의 직무수행 행위의 관점에서 본다면 일반적으로 작업환경을 직접 또는 간접으로 구성하는 많은 인자들, 예를 들면 정보의 양과 같은 인간의 정보처리 과정과 관련된 요소뿐만 아니라 인간의 심리적, 생리적 기능과 관련된 지루함, 소음, 조직 구성 등에 의해서도 영향을 받으며 인적오류를 유발하는 원인으로 작용하기도 한다. 이러한 인적오류영향요인은 인간의 세 가지 직무수행 형태인 SRK(Skill-based behavior, Rule-based behavior, Knowledge-based behavior) 프레임워크의 각 계층에 따라 분류하며 인적오류의 유발원인을 분석하는데 기여한다[3].

철도 안전업무종사자의 작업환경 및 인간기계연계 설계단계에서부터 이들의 직무수행 형태를 SRK 체계 내에서 이해하고 인적오류를 유발하는 요인들에 대한 관리를 체계적으로 수행하면 궁극적으로 인간을 포함한 시스템 전체의 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

* 삼창기업(주), 정회원

** 한국원자력연구소, 정회원

본 논문에서는 철도산업 종사자 중 운행업무종사자와 관제업무종사자의 인적오류 영향요인을 체계적으로 분석 및 평가하기 위한 체계와 예비 분석 결과를 제시한다. 이를 위하여 기존의 수행도형성인자 분류체계로부터 개발된 오류형성인자(ESFs : Error Shaping Factors) 분류체계[4]에 근거하여 철도산업계의 운행업무종사자 및 관제업무종사자의 오류영향요인 분류체계를 개발하였다. 오류영향요인의 중요도를 효과적으로 평가하기 위하여 분석계층과정 방법론을 분석체계에 도입하였다.



그림 1 인간-기계통합체계의 인간 또는 기계에 의해서 수행되는 기본 기능의 유형[5].

2. 오류형성인자 분류체계 개발

2.1 오류형성인자

수행도형성인자는 작업자의 작업수행에 영향을 미치는 요인들을 지칭하는 것으로, 인적오류의 주요한 결정자로 작용한다[6]. 즉 그림 2에서 볼 수 있는 것처럼 PSFs는 인간의 오기능에 대한 주요 요인으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 인적오류분석의 가장 기본적인 연구는 분석하고자 하는 인적오류에 가장 적절하고 영향을 주는 PSFs를 규명하는 것이다[4].

일반적으로, 작업수행도는 인간-기계 체계에서 작업자의 임무수행 정도의 정량적인 척도로 정의할 수 있는데, 그러한 작업수행도의 척도로는 작업수행속도(speed), 정확도(accuracy) 또는 인적오류(human error), 작업만족도(job satisfaction) 등이 있다. 이러한 일반적인 작업수행도의 관점에서 작업자의 수행도에 영향을 미치는 요인들을 지칭한 것이 수행도형성인자라고 할 수 있다. 하지만, 작업수행도를 측정하는 여러 가지 척도들이 존재하기 때문에 작업수행도를 어떻게 정의하느냐에 따라 PSFs의 종류나 영향은 달라질 수 있다[4].

주요한 관점은 철도 안전업무종사자의 작업을 수행하는 과정에 있어서의 작업자오류, 즉 인적오류에 관한 것이다. 따라서 일반적인 작업수행도에 영향을 미치는 요인에 관심이 있는 것이 아니라, 인적오류라는 특정화된 작업수행도에 영향을 미치는 요인에 초점을 두고 있다. 그러한 의미에서 PSF대신 오류영향요인이라는 특정화된 용어가 타당하다[4].

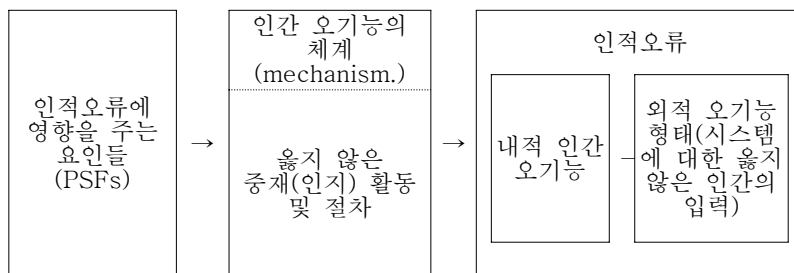


그림 2 인간 오기능의 인지모형[4].

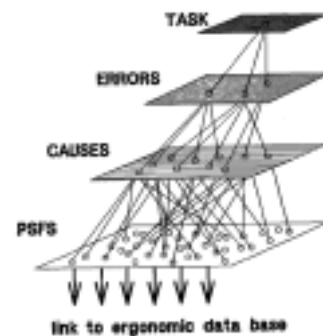


그림 3 오류분석 과정[7].

일반적인 인적오류의 분석체계는 그림 3에 나타난 것과 같이 분석하고자 하는 작업 또는 사건으로부터

3.2 분석계층과정의 적용절차

AHP 기법의 절차는 (1) 단계 1 : 문제의 구조화 단계, (2) 단계 2 : 중요도 측정의 단계, (3) 단계 3 : 가중치와 평가치의 설정 단계, (4) 단계 4 : 대안의 순위와 최선택의 결정 단계와 같은 4가지 기본단계로 구성된다.

AHP는 각 단계에서의 의사결정요소를 쌍대비교하며, 이 때 의사결정요소들의 상대적 중요도를 측정하기 위해서는 쌍대비교에 의하여 산출되는 행렬(matrix)의 고유벡터(eigenvector)-고유값(eigenvalue) 방법을 사용한다. 그리고 쌍대비교를 위해 사용되는 판단의 척도는 표 3과 같다.

표 3 평가척도의 정의 및 설명

척도	정의	설명
①	중요도가 같음(equal)	두개의 요소가 차상위 기준에서 볼 때 동등하게 중요함
③	약간 더 중요(weak)	한 요소가 다른 요소보다 약간 더 중요함
⑤	더욱 더 중요(strong)	한 요소가 다른 요소보다 더욱 더 중요함
⑦	대단히 더 중요(very strong)	한 요소가 다른 요소보다 대단히 더 중요함
⑨	절대적으로 중요(absolute)	한 요소가 다른 요소에 비해 절대적으로 중요함

4. 분석

4.1 분석계층과정에 의한 ESFs의 중요도 평가 예

인적오류의 원인이 작업현장에 존재하도록 영향을 준 ESFs의 상대적 중요도를 AHP를 적용하여 평가하였다. 이를 위하여 운전업무종사자 90명과 관제업무종사자 51명을 대상으로 설문조사를 통하여 자료를 획득하고, 그 결과를 AHP 소프트웨어에 입력하였다. 소프트웨어 분석 중 일관성지수(consistence index) 값이 0.1 이하의 자료를 선별(운전업무종사자 5명, 관제업무종사자 6명)하여 AHP 소프트웨어를 통해 통합하여 각 요인들의 중요도를 구하였다. 도식적 출력결과는 그림 4 ~ 그림 7과 같다.

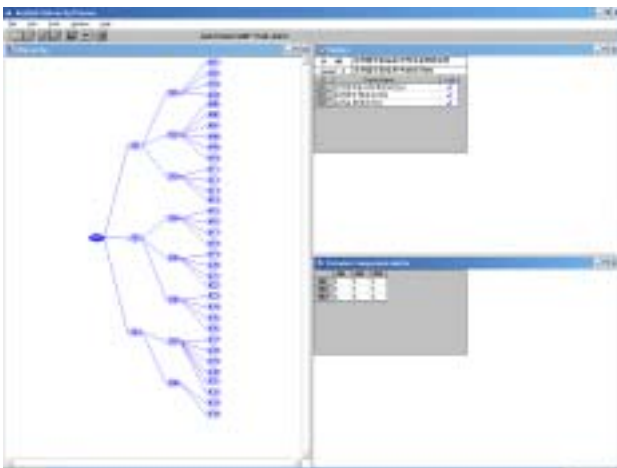


그림 4 ESFs의 계층구조 및 물리적 직무특성요인들의 쌍대비교행렬(운전업무종사자)

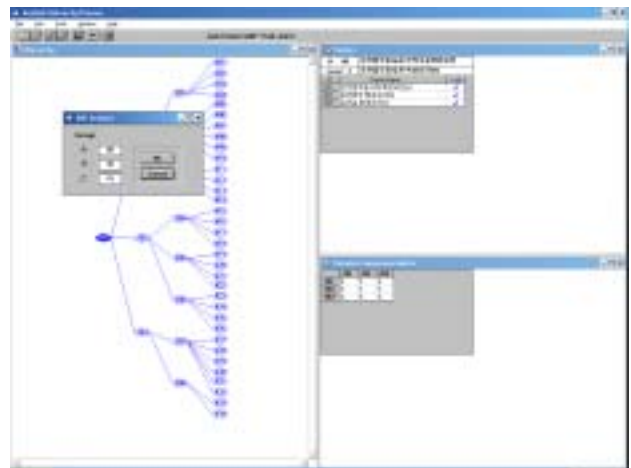


그림 5 파레토분석을 위한 ABC 집단의 가중치의 합 결정(운전업무종사자)

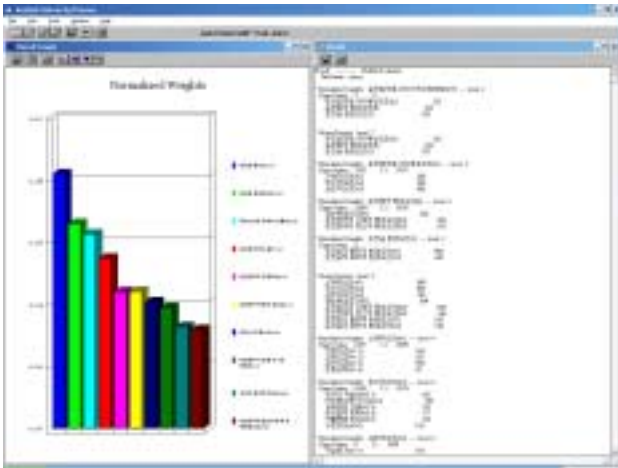


그림 6 요인의 가중치에 대한 막대그래프 및 ABC 분류(운전업무종사자)

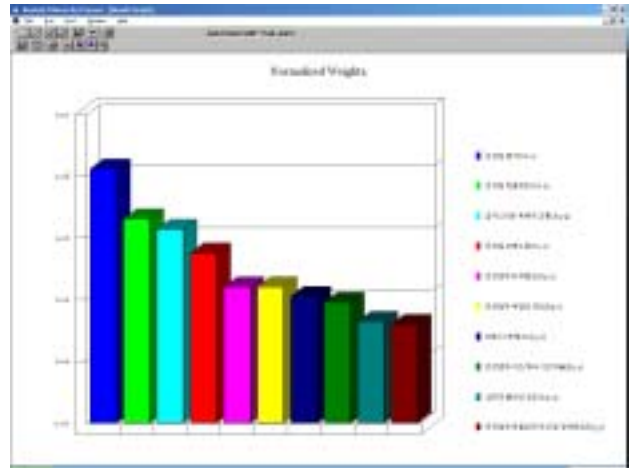


그림 7 ESFs의 중요도 가중치에 대한 막대그래프(운전업무종사자)

4.2 ESFs의 중요도에 대한 파레토분석

AHP의 적용결과로부터 사고에 개입된 인적오류의 원인들에 대한 ESFs의 상대적 중요도를 구하였으면, 더 상세한 분석을 요하는 요인들을 규명하는 작업이 필요하다. 이 작업은 파레토분석을 적용함으로써 수행될 수 있다. 즉, 파레토분석의 적용결과로부터 중요도가 높은 집단에 속한 요인들을 더 상세한 분석을 수행해야 한다. 파레토분석은 ESFs를 세 집단으로 분류하는데, 집단 A에는 중요도가 높은 작은 개수의 ESFs를 포함하도록 하였고, 집단 C에는 중요도가 낮은 다수의 ESFs를 포함하도록 하였다.

운전업무종사자 및 관제업무종사자의 ESFs 중 1-10번째 요인들이 그룹 A에 속하며, 이를 정리하면 표 4와 같다. 따라서 사고의 근본적인 발생 원인을 찾기 위하여 이들 요인들에 대한 상세한 분석을 요한다.

표 4 운전업무종사자 및 관제업무종사자의 주요 인적오류영향요인

구분	오류영향요인
운전업무종사자	<ol style="list-style-type: none"> 1. 운전실 환기(C2-1) 2. 운전실 청결정도(C2-2) 3. 급작스러운 육체적 고통(A3-4) 4. 운전실 주변소음(C1-1) 5. 운전업무의 위험도(B3-2) 6. 운전업무 부담의 정도(B3-1) 7. 피로/스트레스(A3-2) 8. 운전업무시간/휴식시간 비율(B2-1) 9. 심리적 불안의 정도(A3-3) 10. 운전업무에 필요한 주의 및 경계정도(B3-3)
관제업무종사자	<ol style="list-style-type: none"> 1. 관제업무 부담의 정도(B3-1) 2. 관제실 환기(C2-1) 3. 관제업무의 위험도(B3-2) 4. 관제업무시간/휴식시간 비율(B2-1) 5. 경보장치(B1-3) 6. 피로/스트레스(A3-2) 7. 관제실의 상해예방절차 유무(C3-1) 8. 관제업무종사자의 보호 및 안전장비 유무(C3-2) 9. 관제실 청결정도(C2-2) 10. 관제 콘솔(B1-1)

5. 결론

일반적 오류분석의 단계는 3단계로 압축될 수 있다. 즉 어떤 형태의 오류가 발생하였는가? (사건에 개입된 인적오류의 형태를 찾는 단계), 왜 오류가 발생하였는가? (인적오류의 원인을 찾는 단계), 오류 발생의 배경은 무엇인가? (오류영향요인의 분석 단계)에 대한 분석으로 요약될 수 있다.

오류영향요인은 작업수행시 발생하는 작업자 오류의 주요한 결정자이다. 따라서 철도의 작업장 및 작업을 설계하는 과정에서 작업자 오류의 발생가능성을 줄이기 위하여 오류영향요인의 고려는 필수적이라고 할 수 있다. 오류영향요인들이 최적의 상태가 되도록 설계된 상황 하에서의 작업수행 시 발생하는 작업자 오류의 정도는 그렇지 못한 작업환경에서의 오류발생정도보다는 훨씬 낮을 것이다. 따라서 철도의 작업장 및 작업설계 시에 우선적으로 고려해야 할 것은 작업자 오류에 영향을 주는 요인들에 대한 평가이다. 또한, 특정 작업환경 내에서 작업수행 중에 발생하는 작업자오류의 정도를 예측하는 경우에도 오류영향요인들의 평가는 필수적이다.

오류영향요인을 분석하는 데 있어 가장 기본적인 것은 분석하고자 하는 작업에 있어 중요한 오류영향요인들을 규명하는 것이고, 이 작업을 효과적으로 수행하기 위하여 분석계층과정을 이용한 방법을 설정하였다. 즉 시스템 설계자 또는 분석자가 더 효과적이고 효율적으로 인적오류를 감소시키기 위하여 중요한 요인들에 관심을 집중할 수 있도록 인적오류를 유발하는 중요한 요인들을 전문가의 주관적 의견을 통하여 체계적으로 발견할 수 있도록 하기 위한 것이다.

수행도형성인자를 이용하여 인적오류확률을 추정하는 문제 외에도 특정작업에서 중요한 오류영향요인(ESFs)을 밝히고, 그들의 상대적 중요성을 알 수 있다면 그것은 시스템의 설계나 오류의 원인을 해석하는 데에도 중요한 역할을 할 것이다.

분석계층과정(AHP) 방법론을 통하여 오류영향요인(ESFs)의 상대적 중요도는 작업의 설계에서 중요한 자료로 사용될 수 있고, 즉 가중치가 높은 요인일수록 그 작업의 성공여부에 많은 영향을 미칠 수 있으므로 작업조건인 설계시 그 요인을 최적화하는데 다른 요인보다 더 많은 노력을 기울여야 할 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, 철도사고사례집, 2003.
- [3] Reason, J., "Human Error", Cambridge University Press, 1990.
- [4] 박경수 외, KAERI/CM-107/94, "원전작업의 인적오류 특성 분석", 한국원자력연구소, 1994.
- [5] Ernest J. McCormick, Mark S. Sanders, "Human Factors in Engineering and Design", McGraw-Hill, 1993.
- [6] Swain, A.D. & Guttman, H.E., *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*, NUREG/CR-1278, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1983.
- [7] Whally, S.P., Helping the designer to improve human reliability, *In Contemporary Ergonomics*, 1987.

[8] Saaty, T.L., *Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, 1980.