

NASA-TLX 방법에 의한 KTX 운전 직무부하 분석

Task Load Analysis of KTX Operation by Using NASA-TLX Method

정원대*, 고종현**, 박진균***, 콧상록****, 임승수*****

Jung Wondea, Ko Jong-Hyun, Park Jinkyun, Kwak Sang-Log, Lim Seoung-Su

ABSTRACT

Human factors still plays a significant role in railway accidents. The accidents often resulted from multiple causes of hardware failures and human errors. So to ensure the safety of railway operations, human error should be effectively prevented and managed. Among several factors influencing human performance, task load (or task complexity) is well known as a major contributor to human error. In order to reduce the potential of human error, a systematic analysis should be undertaken to evaluate task load and to reduce it by modifying task process and/or education&training. In this paper, we proposed a systematic framework for railway industry to perform task analysis and to evaluate task load, and applied it to KTX operational tasks. According to the application study, we identified 14 generic task types of KTX operation. And also this paper shows the quantitative task load of those generic tasks which were analyzed by NASA-TLX method.

1. 서론

인적요인이 시스템 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 요인들 중 하나이다. 화학공장에서 발생한 사건들의 약 27%가 인적수행도 저하로 인해 발생되었고[1], 해상에서 발생한 사고의 약 65% 정도가 인적수행도 저하로 인해 발생되었다고 보고가 있다[2]. 철도 사고 역시 여러 가지 복합적인 원인에 의해 발생하나, 가장 중요한 사고 요인 중 하나가 인적요인으로 밝혀졌다. 영국에서 발생한 철도사고들 중 30~60% 정도가 인적수행도 저하와 관련이 있다고 알려져 있다[3, 4].

따라서 철도 사고를 예방하기 위해서는 우선적으로 인적오류, 즉 작업자의 취급부주의를 줄여야 한다. 이를 위해서는 인적오류의 체계적인 파악과 이에 근거한 효과적인 인적오류 관리가 이행되어야 한다. 인적오류를 유발시키는 여러 가지 원인 요인이 있지만, 그 중 대표적인 요인이 직무난이도(또는 직무부하, 직무복잡도)이다[5]. 직무난이도가 높을수록 작업자는 직무 수행에 어려움을 느끼고 결과적으로 오류를 유발할 가능성이 높다. 따라서 안전업무종사자들을 대상으로 직무난이도 분석을 통하여 상대적으로 높은 부하를 갖는 직무를 파악하여 직무를 개선하거나 교육 및 훈련을 통해 작업자의 대응 능력을 높임으로써 인적오류의 가능성을 줄이는 노력이 필요하다.

본 논문에서는 KTX 운전 직무를 대상으로 수행한 직무분석과 직무난이도 분석 결과를 소개하고 있다. 대표적인 안전업무종사자인 기관사를 대상으로, 운전에 필요한 기본 직무를 파악하고 상대적으로 부하가 높은 직무를 파악하기 위하여 다음과 같은 두 단계의 분석을 수행하였다. 첫째 KTX 운전 직무의 종류와 각 직무별 세부 절차나 관련 정보 및 특성을 파악하기 위한 직무분석을 수행하였다. 둘째, 파악된 직무유형을 대상으로 직무의 난이도 분석을 수행하였다. 결과적으로 이를 통하여 국내 철도산업의 인

* 한국원자력연구소, 정회원

** 삼창기업(주), 정회원

*** 한국원자력연구소, 정회원

**** 한국철도기술연구원, 정회원

***** 한국철도공사, 정회원

적오류 관리를 위한 기술적 기반으로, 안전업무종사자의 직무특성을 분석하고 직무난이도를 평가하는 체계를 제시하였다.

2. KTX 운전 직무유형 분석

안전업무종사자 가운데 철도 사고에 가장 직접적으로 관련된 종사자는 열차를 운전하는 기관사이다. 영국 철도 사고의 통계 자료[3]나 2004년 철도청 월보 분석[6]을 통해서 확인된바와 같이 철도 사고의 40~50% 정도가 기관사의 인적오류에 의해 발생한다. 따라서 인적오류 관리 요건을 도출하기 위해서는 우선적으로 기관사의 직무를 상세히 분석하는 것이 필요하다.

다양한 열차 중에서 직무분석의 대상을 KTX로 선정했다. KTX는 초고속 열차로서 안전이 특히 중요하고 기존선과 고속선을 모두 운행하는 직무 특성을 갖고 있기 때문에, 우선적으로 KTX 기장(기관사)을 대상으로 운전 직무를 분석하였다. KTX는 기존 일반열차(새마을호, 무궁화호등)와는 다르게 1인이 운전 업무를 담당하고 있다. 열차의 특성 상 운전이 자동화되고 간편화된 부분도 있지만, 1인 승무 형태가 됨에 따라 이전과는 다른 직무 특성을 가질 수 있다. 이와 같이 새로운 운전 조건 하에서의 직무의 유형과 세부절차, 그리고 특성을 파악하기 직무분석을 수행하였다.

KTX 운전업무에 대한 직무분석은 KTX 기관차를 운전하는데 관련된 모든 기술적 업무와 절차를 파악하기 위한 것으로서, 가장 기본적이고 대표적인 직무분석 방법인 계층적 직무분석 기법과 관찰법을 사용하였다. KTX 운전취급절차서와 운전에 관련된 각종 지침서[7~9]를 분석하고, KTX 기장 등 전문가들을 통하여 필수적인 운전직무와 절차를 파악하였다. 그리고 이를 계층적 직무분석 기법에 의해 정리하였다. 한편으로 분석자가 KTX 운전실에 동승하여 기장이 어떤 직무를 어떤 절차와 방법으로 수행하는지 관찰 기록함으로써 관찰법에 의한 직무분석을 수행하였다. 각종 운전메뉴얼과 지침서에 대한 계층적 직무분석과 시승을 통한 관찰법으로 파악된 정보를 바탕으로 KTX 운전 직무유형을 파악하고, 각 직무유형별로 상세한 세부절차와 특성을 분석하였다.

직무분석을 통하여 파악된 KTX 운전 직무는 총 14개의 기본 직무로 분류되었다. 14개 기본 운전직무는 표 1에 정리된 바와 같다.

표 1. KTX 기본 운전 직무 유형 및 직무 세부 절차 예시

직무No	운전 직무유형	
1	출무	
2	동력차로 이동	
3	출발 전 차량 점검	① 절연구간 예고 시스템(GPS)에서 "절연구간 예고, 절연구간 예고 VCB를 계발 하십시오" 음성 청취
4	출발	② 선로변 절연구간 예고 표지 확인
5	가속	③ 주회차단기(MC-IC-01)을 "0" 위치에 놓고 견인 주회차단기 "0"위치 표시등(LS-CO-TT-01)의 점등을 확인
6	감속	④ 주회차단기 스위치(SW-VCB-01) 내림(OFF) 및 주회차단기 계발 표시등(LS-VCB-01) 확인
7	기존선 절연구간 통과	⑤ 선로변 절연구간 표지 확인
8	고속선 절연구간 통과	⑥ 선로변 역행 표지 확인 및 역행표지 통과후 전차선 전압계(VM-HV-01)로 전압 확인
9	기존선 -> 고속선 진입	⑦ 주회차단기 스위치(SW-VCB-01) 올림(ON) 및 주회차단기 투입허용 표시등(LS-VCB-CS-01) 확인
10	고속선 -> 기존선 진입	⑧ 주회차단기 투입허용단추(PB-CS-VCB-01) 올림
11	도중 역 정차	
12	중착 역 정차	
13	차량 인계 및 도착 보고	
14	부수 입환	

3. KTX 운전 직무난이도 분석

직무난이도란 직무를 수행할 때 작업자가 심리적으로 느끼는 어려움 또는 복잡함을 의미한다. 본 연

구에서는 이와 같은 작업자의 심리적 작업 부하를 평가하는데 가장 널리 사용되고 있는 NASA-TLX (Task Load Index) 방법을 사용하여 직무난이도 분석을 수행하였다.

3.1 NASA-TLX 분석 방법

NASA-TLX는 1980년대 초반에 미 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration NASA)에서 개발한 주관적 직무난이도 평가방법이다[10].

여러 산업 재해와 사고를 통하여 인적수행도가 시스템의 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나로 밝혀지면서 인적수행도 저하를 방지하기 위한 많은 연구들이 수행되었다. 그 결과로서 인적수행도 저하의 상당 부분이 직무 자체의 복잡성으로 인해 발생된다는 사실이 밝혀졌다. 즉 복잡한 직무를 수행하는 동안 운전원은 상당한 양의 인지적 부하(cognitive demand)를 경험하게 되는데[11], 복잡한 직무로 인해 요구되는 인지적 부하가 운전원의 능력을 초과할 정도로 증가할 경우 급격한 인적수행도 저하가 발생된다는 것이다[12~13]. 이러한 사실은 작업자가 수행해야 하는 직무의 난이도를 체계적으로 평가하고 적절하게 관리하는 것이 인적수행도의 저하로 인한 사고 발생을 방지할 수 있는 중요한 수단임을 뒷받침해주고 있다.

작업자의 느끼는 직무의 난이도를 평가할 수 있는 가장 효과적인 방법은 해당 직무를 경험한 작업자에게 직접 질문을 하는 것이다. 따라서 직무의 난이도를 평가하기 위한 다양한 설문조사 방법들이 개발되었다. 대표적인 방법들로 NASA-TLX(task load index), Cooper-Harper scale, SWAT(subjective workload assessment technique) 등이 알려져 있다[14~16]. 이들 중, 현재까지 가장 안정된 주관적 직무난이도 평가방법으로서 인식되고 있는 것이 NASA-TLX 방법이다[17, 18].

표 2. NASA-TLX 평가 항목 및 설명

평가 항목	설 명
Mental Demand (정신적 요구량)	주어진 직무를 수행하기 위해 사고(thinking), 의사결정(deciding), 검색(searching), 계산(calculating) 및 기억 (remembering) 등과 같은 정신적 또는 인지적인 활동이 얼마나 많이 요구된다고 생각하십니까?
Physical Demand (육체적 요구량)	주어진 직무를 수행하기 위해, 밀기(pushing)나 잡아당기기(pulling) 또는 돌리기(turning)와 같은 육체적인 활동이 얼마나 많이 요구된다고 생각하십니까?
Temporal Demand (시간적 요구량)	주어진 직무를 수행하기 위해서 요구되는 시간적 압박(time pressure)은 어느 정도입니까? 예를 들어 숨돌릴 틈도 없이 많은 조치들을 수행해야 주어진 직무를 완료할 수 있다면 높은 시간적 압력을 느끼는 경우에 해당합니다.
Effort (노력)	주어진 직무를 수행할 경우, 얼마나 많은 노력을 기울여야 한다고 생각하십니까? 예를 들어 엄청난 집중 등이 요구되면 높은 노력이 필요한 직무에 해당합니다.
Performance (직무성취도)	주어진 직무를 수행할 경우, 얼마나 성공적으로 또는 정확하게 직무를 완료할 수 있다고 생각하십니까?
Frustration (당혹감)	이 직무를 수행할 경우, 느낄 수 있는 당혹감은 어느 정도라고 생각하십니까? 예를 들어 직무를 어떻게 하라는 것인지를 파악할 수 없는 경우나 현실적이지 못하다고 판단되는 경우 등은 높은 당혹감을 느끼는 상황에 해당됩니다.

NASA-TLX는 위와 같은 6개의 설문항목(표 2)에 대해 0에서 100점 사이의 점수를 임의로 할당한 후 이들의 평균을 통해 전체적인 직무난이도를 정량화 할 수 있도록 구성되어 있다. NASA-TLX 방법을 통

한 직무 난이도 평가를 수행할 경우 기대되는 장점들 중 하나는 어떤 원인으로 인해 직무 난이도가 크게 영향을 받았는지를 평가할 수 있다는 점이다. 즉, 효과적인 직무 난이도의 관리를 통해 급격한 인적 수행도의 저하를 방지하려는 목적에 따라 직무 난이도를 평가하기 때문에, 직무 난이도 영향인자를 파악할 수 있다면 보다 효율적인 직무 난이도의 관리가 가능하기 때문이다.

3.2 직무난이도 분석을 위한 설문조사

NASA-TLX 방법을 사용한 운전 직무 직무난이도 분석을 위하여 설문지를 제작하였다. 설문지에는 정확한 평가에 방해가 될 수 있는 개인 신상정보를 기입하는 부분은 없으며 단지 통계분석을 위하여 KTX 운전경력을 포함하여 기관사로서 근무한 연수를 기입하도록 하였다. 설문지는 NASA-TLX 방법에 대한 간략한 소개 부분, 설문 평가 방법을 설명한 설문 예제 부분, 그리고 14개의 본 설문 항목으로 구성되어 있다. 설문지는 한 페이지에 한 직무를 평가할 수 있도록 구성하였으며, 각 직무에 대해 6개의 평가항목(정신적부하, 육체적부하, 시간적압박, 노력, 성취도, 당혹감)에 따라 해당되는 점수에 표시(√)하도록 설계하였다. 또한, 평가 결과의 정확성을 높이고 설문 대상자가 NASA-TLX 평가에 익숙하지 않을 수 있는 점을 고려하여 설문지 설계 초기 단계부터 KTX 운전 전문가의 의견을 반영하였으며, 그 결과 난이도분석 평가표 스케일에 자세한 설명을 추가하여 평가항목에 대한 피설문자의 이해를 돕도록 설문지를 설계하였다. 설문지 설계에는 KTX 기장 등 운전 전문가가 참여하였다.

총 130여명의 KTX 기장이 설문조사에 응답하였다.

3.3 직무난이도 분석 결과

KTX 기장의 14개 기본 운전직무에 대한 NASA-TLX 분석 결과를 표 3과 그림 1에 요약 정리하였다. 14개 운전직무의 NASA-TLX 평균 값은 59.3으로 평가되었다. 상대적인 직무난이도를 보면, 표와 그림에서 보는 바와 같이 14개 운전직무 중에서 '기존선 → 고속선 진입(9번)', '고속선 → 기존선 진입(10번)', 두 직무가 가장 난이도가 높은 직무로 나타났다. 뒤를 이어서 '도중 역 정차(11번)'와 '기존선 절연구간 통과(7번)' 등이 상대적으로 직무난이도가 높은 것으로 분석되었다.

이와 같은 직무난이도 분석 결과는 130여명의 기장으로부터 설문조사를 통해 얻은 자료를 바탕으로 도출한 것으로서 신뢰성이 상당히 높다고 판단된다. 또한 이 분석 결과에 대한 KTX 운전 전문가들의 검토 결과, 직무난이도의 순위가 KTX 기장들이 평소 체감하던 직무의 난이도 순서와 상당히 일치하는 것으로 밝혀졌다.

표 3. 14개 운전직무에 대한 NASA-TLX 평가 값

	직무	평균값	표준편차	최소	최대
1	출무	51.4	13.0	38.4	64.4
2	동력차로 이동	50.2	13.6	36.6	63.8
3	출발전 차량 점검	59.6	11.6	48.0	71.2
4	출발	59.1	12.7	46.4	71.8
5	가속	57.8	14.6	43.2	72.4
6	감속	61.7	12.9	48.8	74.6
7	기존선 절연구간 통과	65.5	11.7	53.8	77.2
8	고속선 절연구간 통과	54.3	15.9	38.4	70.2
9	기존선→고속선 진입	68.2	11.1	57.1	79.3
10	고속선→기존선 진입	68.3	10.7	57.6	79.0
11	도중 역 정차	66.7	11.0	55.7	77.7

12	종착역 정차	60.0	14.7	45.3	74.7
13	차량 인계 및 도착 보고	47.4	15.9	31.5	63.3
14	부수입환	60.2	12.8	47.4	73.0

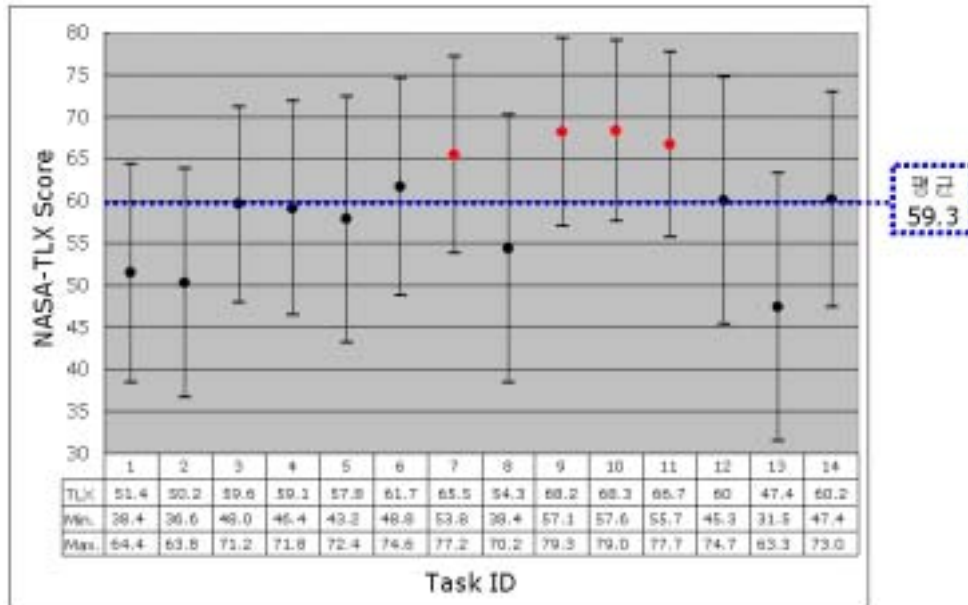


그림 1. KTX 14개 운전직무의 상대적 직무난이도 (NASA-TLX 평가 결과)

4. 결론

철도 사고를 예방하기 위해서는 우선적으로 인적오류를 줄여야 하며, 이를 위해서는 인적오류의 원인 분석과 이에 근거한 효과적인 인적오류 관리가 이행되어야 한다. 인적오류를 유발시키는 여러 가지 원인 요인이 있지만, 직무의 난이도가 높을수록 작업자는 직무 수행에 어려움을 느끼고 결과적으로 오류를 유발할 가능성이 높다.

본 논문에서는 KTX 운전 직무를 대상으로 수행한 직무분석과 직무난이도 분석 결과를 소개하였다. 대표적인 안전업무종사자인 기관사를 대상으로, 운전에는 필요한 기본 직무를 파악하고 상대적으로 부하가 높은 직무를 파악하기 위하여 다음과 같은 두 단계의 분석을 수행하였다. KTX 운전에는 대한 직무분석 결과, KTX 운전은 총 14개의 기본직무로 구성되어 있는 것으로 파악되었다. 또한 직무분석을 통해 각 기본직무별 세부수행절차와 작업유형, 관련 신호/계기 및 인터페이스 등을 파악하였다. 이들 14개 기본직무의 상대적인 직무난이도를 평가하기 위하여 NASA-TLX 방법을 사용하여 설문조사를 수행하였다. 직무난이도 평가에는 총 130여 KTX 기장이 참가하였으며, 이를 통해 14개 기본 운전직무에 대한 상대적인 직무부하를 평가하였다. 14개 기본 운전직무 중에서 '기존선 -> 고속선 진입'과 '고속선 -> 기존선 진입'이 가장 난이도가 높은 직무로 나타났으며, '중간역 정차'가 그 다음 어려운 직무로 파악되었다.

결론적으로 인적오류를 체계적으로 관리하기 위해서는 안전업무종사자의 필수 직무를 체계적으로 분석하고, 상대적으로 어렵거나 힘든 직무를 파악하여 직무를 개선하거나 교육/훈련을 통해 작업자의 대응 능력을 높이는 노력이 필요하다. 본 논문에서는 이에 필요한 직무분석과 직무난이도 분석 방법을 제시하고 사례분석을 수행함으로써 향후 국내 철도산업에 필요한 기술적 분석 체계를 제시하였다.

참고문헌

[1] Environmental Health Center, "New ways to prevent chemical incidents," EPA 550-B-99-012,

National Safety Council, Washington D.C., 1999.

- [2] W. H. Moore, "The grounding of Exxon Valdez: An examination of the human and organizational factors," *Marine Technology*, vol. 31, no. 1, pp. 41~51, 1994.
- [3] Terje Andersen, "Human Reliability and Railway Safety", Proceedings of the conference 16th ESReDA, 1999.
- [4] R. Lawton and N. J. Ward, "A systems analysis of the Ladbroke Grove rail crash," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 37, iss. 2, pp. 235-244, 2005.
- [5] Jinkyun Park, and Wondea Jung, "A study on the validity of a task complexity measure for emergency operating procedures of nuclear power plants - comparing with a subjective workload," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol.53, No.5, p. 1-9, 2006.
- [6] 건설교통부, "안전업무종사자 인적오류 관리 및 업무적성평가 기준 개발", 1차년도 연구보고서, 2006.
- [7] 한국철도공사, "KTX 운전취급절차집", 2005.
- [8] 한국철도공사, "2006년 KTX 운전실무편람", 2006.
- [9] 한국철도공사, "KTX 고장조치편람 및 기준운전전도", 2005.
- [10] S. G. Hart, and L. E. Staveland, "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research," in *Human Mental Workload*, P. A. Hancock and N. Meshkati, Ed. North-Holland: Elsevier Science Publisher B. V., 1988, p. 139~183.
- [11] D. J. Campbell, and K. F. Gingrich, "The interactive effects of task complexity and participation on task performance: A field experiment," *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, vol. 38, pp. 162~180, 1986.
- [12] American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety*, New York, NY: Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1994, pp. 15~17.
- [13] D. D. Woods, "On taking human performance seriously in risk analysis: Comments on Dougherty," *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 29, pp. 375~381, 1990.
- [14] Y. Liu, and C. D. Wickens, "Mental workload and cognitive task automaticity: an evaluation of subjective and time estimation metrics," *Ergonomics*, vol. 37, no. 11, pp. 1843~1854, 1994.
- [15] K. C. Hendy, K. M. Hamilton, and L. N. Landry, "Measuring subjective workload: when is one scale better than many?," *Human Factors*, vol. 35, no., 4, pp. 579~601, 1993.
- [16] S. Miyake, "Multivariate workload evaluation combining physiological and subjective measures," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 40, pp. 233~238, 2001.
- [17] T. E. Nygren, "Psychometric properties of subjective workload measurement techniques: implications for their use in the assessment of perceived mental workload," *Human Factors*, vol. 33, no. 1, pp. 17~33, 1991.
- [18] S. G. Hill, H. P. Iavecchia, J. C. Byers, A. C. Bittner, Jr., A. L. Zaklad, and R. E. Christ, "Comparison of four subjective workload rating scale," *Human Factors*, vol. 24, no. 4, pp. 429~439, 1992.