Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 4 pp.687-691, August 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.4.687

원자력발전소의 주관적 업무량 평가를 위한 평가 항목 개선

박 재 규[1] · 이 용 희[2]

[1]고려대학교 산업경영공학과 / [2]한국원자력연구원 계측제어인간공학연구부

An Improvement of Evaluation Items for a Subjective Workload Assessment in Nuclear Power Plants

Jaekyu Park[1], Yong-Hee Lee[2]

[1]Department of Industrial Management Engineering, Korea University, Seoul, 136-701
[2]I & C and Human Factors Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 305-353

ABSTRACT

Workload assessment is one of the important elements of the human factors evaluation for the nuclear power plants in operation. This paper describes a further study upon the additional elements of the workload which elements should be considered in the subjective workload assessment. We have tried to predict the burden of the work and to improve the work through a comparison of the objective workload and the subjective workload in the previous studies in nuclear power plants. However, there is a restriction to perform a precise assessment because of the limitations of the method itself. The objective workload assessment is performed by relative comparison using the quadrant analysis with objective workload and subjective workload because there were no clear criteria of objective workload assessment. And the subjective workload assessment is performed by NASA-TLX (NASA Task Load Index) which includes six evaluation dimensions of subjective workload. NASA-TLX is difficult to grasp the other aspects that could influence on the subjective workload because the analysis relies on predetermined assessment items. We conduct a factor analysis between the factors that affect the workload and the assessment adopted from ISO 10075 and NASA-TLX. At the same time, this study suggests other evaluation elements which can be added for subjective workload assessment except for evaluation elements of NASA-TLX.

Keywords: Subjective workload, NASA-TLX, Nuclear power plants, Factor analysis

1. 서 론

원자력발전소(이하 원전)와 같은 대규모 복합 시스템에서 업무량은 새로운 인간-기계 시스템을 설계하거나 시스템을 개선하는데 있어 중요한 고려사항 중 하나이다. 업무량은 한정된 작업자의 능력 중 특정한 작업 수행에 사용된 자원의 양이라고 말할 수 있다(Norman and Bobrow, 1975). 이러한 업무량이 지나치게 높으면 인적 오류와 사고를 유발할 수 있으며, 이에 반해 너무 낮으면 운전원을 방심시켜 인적 오류의 원인이 된다(Braby et al., 1993). 원전에서 업무량 평가는 단위 작업을 수행하는 과정에서 운전 종사자가

교신저자: 박재규
주 소: 136-701 서울시 성북구 안암동 5가 1번지, 전화: 016-403-8345, E-mail: ergopark@gmail.com

경험하고, 요구되는 업무량이 해당 작업의 안전성을 유지하기에 적절한지 여부를 확인하는 과정이다. 이와 같은 과정은 대규모 복합 시스템의 건전성을 유지에 도움을 준다.

우리나라의 경우 1997년부터 집계된 원자력발전소의 사고 고장 통계에 의하면 매년 약 21%의 인적 요소에 의한 사고가 발생하고 있어, 인적 요소에 대한 중요성은 꾸준히 부각되고 있는 실정이다(한국원자력안전기술원, 2005). 또한 작업의 형태 및 각 작업에서 요구되는 특성의 다양성으로 인해 정신적 측면의 업무량 외에 육체적, 개인적, 환경적 등의 다양한 측면에서 업무량에 영향을 미치게 된다.

원전에서 업무량 평가는 업무량에 영향을 미치는 요인을 파악하여 객관적 수치를 도출하는 객관적 업무량과, 운전 종사자가 업무를 수행하는 과정에서 느끼는 주관적 부담의 정도를 파악하는 주관적 업무량에 의해 수행되어 왔다(박미정 외, 2005; 박재규와 이용희, 2006a; 박재규와 이용희, 2006b). 하지만 원전에서 다양한 직무 특성의 차이로 인해 개인 간 차이를 구분하기 어렵고, 타 발전소와의 직접 비교도 어려워 현실적으로 평가 결과의 대표성 확보가 안되고 있는 실정이다(Park et al., 2007). 따라서 업무량을 인적 요소 평가를 위한 하나의 절대적 지표로 제시하기 어렵다. 특히 주관적 업무량의 경우 일반화된 업무량 평가 방법인 NASA-TLX(Hart and Staveland, 1988)를 통한 평가가 이루어지고 있으나, 제시된 6가지 평가 항목들 이외의 영향 요인은 고려하지 못하는 근본적인 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 ISO 10075(ISO, 1996) 기준에 따라 도출된 업무량에 영향을 미치는 요인들과 NASA-TLX의 각 평가 항목과의 요인분석을 통하여, 주관적 업무량 평가 항목으로 고려되어야 할 추가적인 업무량 영향 요소들을 제시하고자 한다.

2. 주관적 업무량 평가

2.1 원전의 업무량 평가

원전에서 운전 중인 설비의 안전성 여부를 확인하기 위해 원자력법에 의거하여 10년을 주기로 Periodic Safety Review(이하 주기적 안전성 평가)이 수행되어 오고 있다. 이러한 활동은 인적 요소에 관련된 다양한 측면을 평가하는 위한 것으로서, 인적 요소 평가 항목 중 인적 정보요건 분석과 업무량 평가가 이에 해당한다. 특히 원전의 업무량 평가는 다양한 방법으로 시도되어 오고 있으나, 최근에 들어 안전성과 중요성이 높은 업무를 대상으로 객관적 업무량과 주관적 업무량을 산출하여 사분면 분석을 통해 이를 서로 비교 및 분석하는 방법이 보편적으로 사용되고 있다.

2.2 주관적 업무량 평가 기법

작업자의 주관적 업무량을 평가하는 일반적인 기법들은 다양하다. 이러한 주관적 업무량 평가 기법은 평가 항목의 구성에 따라 단일 요인 또는 다중 요인으로 구분된다. 하나의 척도에 의해 평가되는 단일 요인에 의한 평가 기법은 OW(Overall Workload), MCH(Modified Cooper-Harper Scale) 등이 있다. 이에 반해 두 가지 이상의 척도에 의해 평가되는 다중 요인에 의한 평가 기법은 SWAT(Subjective Workload Assessment Technique), NASA-TLX(National Aeronautic and Space Administration Task Load Index) 등이 있다(변승남과 최성남, 2002).

이러한 다양한 주관적 업무량 평가 기법들은 평가 대상에 따라 선택적으로 사용된다. 특히 업무량에 영향을 미치는 요인이 다양할 경우 사용되는 다중 요인에 의한 평가 기법은 그 평가 항목이 평가 대상의 모든 영향 요인을 반영할 수 없기 때문에 적절한 평가 기법의 선정이 중요하다.

2.3 NASA-TLX

원전의 주기적 안전성 평가 중 업무량 평가의 일환으로 주관적 업무량을 평가하기 위해 NASA-TLX 평가 기법을 통한 접근이 주를 이루고 있다. NASA-TLX는 NASA Ames Research Center의 Human Performance Group에서 개발되어 다양한 분야에서 광범위하게 사용되어 오고 있다. 이 평가 기법은 정신적 요구, 육체적 요구, 시간적 요구, 수행도, 노력수준, 좌절수준의 6가지의 평가 항목을 대상으로 업무 수행에 요구되는 다양한 주관적 업무량을 평가한다. 이러한 NASA-TLX는 효과적인 주관적 업무량 평가 기법으로 널리 이용이 되고 있지만, 업무를 수행하는 과정이나 수행한 이후 평가를 수행하기 때문에 예측 타당성(predictive validity)이 불명확하고 업무량의 심리학적 모델을 이용하여 한계가 있다(Nygren, 1991).

NASA-TLX의 이러한 문제점으로 인해 최근 연구(차두원과 박범, 1997; 2003)에서는, 기존의 평가 항목을 자동차 설계 요소 파악을 위해 개선된 RNASA-TLX를 개발하여 그 적용 가능성을 알아보았다. 이와 마찬가지로 원전의 경우에도 기존의 항목을 기준으로 평가가 이루어 왔으나 이 항목들이 원전의 특수성을 반영하고 있다고 보기에는 어려움이 있다. 따라서 NASA-TLX의 평가 항목들과 ISO-10075에서 도출된 업무량에 영향을 미치는 요인들과의 관계를 파악함으로써 개선 방향에 대해 알아보고자 하였다.

3. 주관적 업무량 평가 항목의 요인분석

3.1 평가 대상

본 연구에서 주관적 업무량 평가 항목에 대한 요인분석을 위한 대상으로 국내 원전 중 주기적 안전성 평가 대상인 2개 호기를 선정하였다. 평가 대상은 업무의 대표성을 고려하여 선정하였으며, 호기 별로 각각 80개, 86개의 업무로 총 166개의 업무를 대상으로 하였다.

3.2 NASA-TLX와 ISO-10075에서 도출된 업무량 항목에 대한 요인분석

NASA-TLX의 주관적 업무량의 평가 항목이 원전의 업무 특성을 얼마나 잘 반영하고 있는지 확인하기 위하여 ISO-10075에서 도출한 업무량 평가 항목과의 요인분석을 수행하였다. ISO-10075에서 도출한 업무량 평가 항목은 업무량에 영향을 미치는 요인을 의미하며, 그 만족 여부에 따라 5점 척도로 평가되었다. 특히 업무량에 영향을 미치는 요인이 다양하며 원전의 특성을 고려하기 위하여 K-HPES (한국수력원자력, 2007)에서 언급하고 있는 영향 요인을 기준으로 선정되었다. 요인분석을 위한 요인 추출 방법은 반복적인 주성분 분석을 수행하였으며, 요인 회전 방법은 varimax 방식을 이용하였다. 위의 표 1은 요인분석에 의한 회전된 초기 성분 행렬을 나타낸다.

표 1. 요인분석에 의한 회전된 초기 성분 행렬

평가 항목	성분				
	1	2	3	4	5
임무분담	0.783	0.045	0.085	0.116	−0.039
수행인원	0.777	0.040	0.003	−0.001	−0.074
정보표시장치	0.775	−0.053	0.050	−0.039	−0.106
조작기기	0.692	−0.113	0.138	−0.131	−0.058
자격	0.683	0.118	0.272	0.113	0.226
숙련도	0.676	0.219	0.335	0.088	0.206
의사소통	0.676	0.159	0.347	0.045	0.177
복잡성	0.637	0.160	0.321	−0.159	0.370
수행주기	0.623	−0.121	−0.170	−0.265	−0.086
수행시간	−0.565	0.217	0.029	−0.104	0.013
반복성	0.507	0.135	0.097	−0.430	0.170
노력수준	0.012	0.869	0.049	−0.003	−0.012
수행도	−0.013	0.802	−0.131	0.132	0.048
정신적 요구	−0.051	0.678	0.398	0.151	0.129
시간적 요구	0.046	0.638	0.304	−0.018	−0.227
의사소통부하	0.216	0.057	0.753	−0.140	−0.125
핵심경로부하	0.041	0.223	0.699	−0.270	0.124
의사소통시간	0.246	−0.103	0.621	0.326	−0.084
좌절수준	−0.043	0.389	0.474	0.257	0.028
작업형태	0.055	0.278	−0.043	0.705	0.039
육체적 요구	0.195	0.268	0.366	−0.060	−0.630
인과성	0.445	0.203	0.379	−0.108	0.554

표 2. 요인의 공통성(communality)

	초기	추출
의사소통시간	1.000	0.639
의사소통부하	1.000	0.673
임무분담	1.000	0.643
수행인원	1.000	0.620
수행주기	1.000	0.481
정보표시장치	1.000	0.628
조작기기	1.000	0.514
복잡성	1.000	0.540
자격	1.000	0.584
숙련도	1.000	0.661
정신적 요구	1.000	0.658
시간적 요구	1.000	0.461
수행도	1.000	0.672
노력수준	1.000	0.746

추출 방법: 주성분 분석

표 3. 요인분석에 의한 회전된 최종 성분 행렬

평가 항목	성분		
	1	2	3
수행인원	0.787	0.010	−0.005
임무분담	0.783	0.042	0.170
정보표시장치	0.782	−0.073	0.106
숙련도	0.717	0.287	0.254
자격	0.702	0.185	0.238
조작기기	0.693	−0.121	0.138
수행주기	0.649	−0.207	−0.128
복잡성	0.631	0.172	0.335
노력수준	0.033	0.861	−0.052
수행도	−0.010	0.805	−0.155
정신적 요구	−0.015	0.768	0.263
시간적 요구	0.027	0.642	0.220
의사소통부하	0.182	0.130	0.789
의사소통시간	0.171	0.010	0.781

요인 추출의 기준이 되는 요인 적재값(factor loading)은 표본 크기(sample size)에 따른 기준에 따라 0.4 이상으로 정하였다(Hair et al., 2009). 공통성(communality)도 0.4 이상을 기준으로 적용하였다. 요인 적재값이 0.4 미만인 문항을 제거하면서 반복적 요인분석을 실시하였다. 또한 2개 이상의 요인에 요인 적재값이 0.4 이상으로 관측되는 double loading(혹은 multiple loading)되는 문항도 제거하였다. 위의 표 2, 3은 제거된 요인에 대한 요인분석 결과 도출된 요인의 공통성과 회전된 최종 성분 행렬의 적재값을 나타내고 있다. 표 3에 제시되어 있는 3개의 성분에 의하여 설명되는 누적 적재값은 60.86%로 나타났으며, 이는 도출된 3개의 성분이 전체 분산을 설명하는 비율을 의미한다.

4. 결 론

본 연구는 주기적 안전성 평가의 인적 요소 평가 항목 중 하나인 업무량 평가의 항목을 개선하고자 하였다. 특히 주관적 업무량 측면에서 업무량에 영향을 미치는 요인들과 NASA-TLX의 각 평가 항목과의 요인분석을 통하여 평가 항목을 추출하였다. 요인분석 결과, 3개의 성분으로 분류되는 것으로 나타났으며 업무량 평가 항목으로 NASA-TLX의 평가 항목 외에 추가적인 고려가 필요함을 알 수 있었다. 특히, 요인분석에 의해 NASA-TLX의 평가 항목 중 육체적 요구, 좌절수준은 원전에서 그 설명력이 낮은 것으로 나타났으며, 기존의 평가 항목들이 동일한 그룹의 성분 유형으로 구분되어 세부적인 평가의 한계가 있는 것으로 나타났다.

NASA-TLX 평가 항목 외에 업무량에 영향을 미치는 영향 요인으로는 수행인원, 임무분담, 정보표시장치, 숙련도, 자격, 조작기기, 수행주기, 복잡성, 의사소통부하, 의사소통시간으로 나타났으며 성분의 그룹에 따라 다음의 표 4와 같이 다시 정의하였다.

표 4에서 보는 바와 같이 NASA-TLX에서 언급하고 있는 평가 항목들은 하나의 성분으로 분류되어 정신적 요구로 정의하였다. 이는 각 평가 항목별로 구분하였을 경우 그 항목의 수가 너무 많아 평가 상의 어려움이 있으리라 판단되었기 때문이다. 또한, 시간적 요구, 수행도, 노력수준을 세분할 경우 성분 1의 내용과 상응하여 평가자에게 혼동을 야기할 수 있으므로 성분 1의 평가 항목을 더 구분하고자 하였으나 하나의 평가 항목으로 정의하기에 어려움이 있었다. 반면에 성분 2와 성분 3의 경우는 하나의 평가 항목으로 정의되었다.

표 4. 요인분석 성분에 의한 평가 항목

성분	구분	
	평가 항목 내용	평가 항목 정의
1	수행인원 임무분담 정보표시장치 숙련도 자격 조작기기 수행주기 복잡성	업무특성 요구 (수행인원, 임무분담, 수행주기) 인터페이스 요구 (정보표시장치, 조작기기) 개인특성 요구(자격, 숙련도) 작업연관관계 요구(복잡성)
2	노력수준 수행도 정신적 요구 시간적 요구	정신적 요구 (노력수준, 수행도, 정신적 요구, 시간적 요구)
3	의사소통부하 의사소통시간	의사소통 요구 (의사소통부하, 의사소통시간)

5. 토의 및 고찰

본 연구의 결과, 원전의 주기적 안전성 평가 등에서 널리 주관적 업무량 평가 항목을 정립할 수 있었다. 원전 종사자의 주관적 업무량을 반영하기에는 기존의 NASA-TLX의 평가 항목이 충분히 적합하지 않다는 것을 알 수 있었다. 요인분석을 적용한 결과, 성분 1(업무 특성 요구, 인터페이스 요구, 개인 특성 요구), 성분 3(의사소통 요구)과 같은 추가적인 영향 요인을 반영한 평가 항목의 개선이 필요한 것을 알 수 있었다. 따라서 이들 항목을 통합 또는 세분화할 수 있는 방법에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

이러한 평가 항목을 고려하여 주관적 업무량 평가를 수행할 경우, 원전의 종사자가 느끼는 업무 부담의 정도를 좀 더 실제에 가깝게 평가할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 다양한 인적 요소의 평가 기준으로 삼을 수 있을 것이다.

참고 문헌

박미정, 이용희, 김대호, 원자력발전소 직무의 인적 정보요건 및 업무량 평가 실무 방법, *2005 대한인간공학회 추계학술대회*, 420-427, 2005.

박재규, 이용희, 원자력발전소의 DGOMS와 작업 요구 특성 분석에 따른 업무량 평가, *2006 대한인간공학회 춘계학술대회*, 2006a.

박재규, 이용희, 원자력발전소의 작업 활동 분류를 통한 육체적 부

하 평가, *2006 대한인간공학회 추계학술대회*, 2006b.
변승남, 최성남, 차세대 원자력발전소 첨단 제어설비에 의한 운전원의 정신적 작업부하 평가, *대한인간공학회지*, 28(2), 178-186, 2002.
차두원, 박범, 항법장치 Simulator 기반의 RNASA-TLX를 이용한 항법장치 운전자 mental workload 평가에 관한 연구, *IE-Interfaces*, 10(11), 145-154, 1997.
차두원, 박범, 차량정보시스템 사용성 평가를 위한 운전자 주관적 평가 방법론의 비교 평가, *한국자동차공학회 2003년 전기전자, I.T.S. 부문 심포지엄*, 79-92, 2003.
한국수력원자력, K-HPES(Korea-Human Performance Enhancement System) 사용자 설명서, 2007.
한국원자력안전기술원, 원전안전운영정보시스템(Operational Performance Information System for Nuclear Power Plant), http://opis.kins.re.kr/, 2005.
Braby, C. D., Harris, D. and Muir, H. C., A psycho-physiological approach to the assessment of work under-load. *Ergonomics*, 36(9), 1035-1042, 1993.
Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J. and Anderson, R. E., Multivariate Data Analysis, 7th Ed., Prentice Hall, 2009.
Hart, S. G. and Staveland, L. E., Development of the NASA-tlx(Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock, N. Meshkati (Ed)., *Human Mental Workload*, Elsevier, 139-183, 1988.
ISO(International Organization for Standardization), ISO 10075-2: Ergonomic principles related to mental work-load - Part 2: Design principles, 1996.
Norman, D. A. and Bobrow, D. G., On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7(1), 44-64, 1975.
Nygren, T. E., Psychometric properties of subjective workload measurement techniques: implications for their use in the assessment of perceived mental workload, *Human Factors*, 33(1), 17-33, 1991.
Park, J., Lee, Y. H. and Lee, J. W., A Study on a Workload Assessment for Periodic Safety Review in Korean Nuclear Power Plants, *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting*, 791-792, 2007.

저자 소개

박 재 규 ergopark@gmail.com
고려대학교 산업시스템정보공학과 석사
현 재: 고려대학교 산업경영공학과 박사과정
관심분야: 제품개발, 인적 오류, 작업부하

이 용 희 yhlee@kaeri.re.kr
서울대학교 산업공학과 석사
현 재: 한국원자력연구원 계측제어인간공학연구부 책임연구원
관심분야: 대형시스템 안전, 인적 오류, HMI

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 03월 19일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 07월 08일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 07월 08일