

A Review on the Job Stress Measurements in Nuclear Power Plant Workers for Human Error Prevention

Seon Soo Kim, Meiling Luo, Yeon Ju Oh, Yong Hee Lee

I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute,
1045 Daeduk-Daero, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-353

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to review the job stress measurement for applying in nuclear power plants(NPPs). **Background:** The standard and guideline to evaluate and manage the job stress is insufficient in NPPs. Although job stress might have a negative effect on task performance particularly it can be related with human error in NPPs. **Method/Results:** This paper considered the objective and subjective stress measurements. One of the questionnaire(Korean Occupational Stress Scale) and the experiment method was investigated to apply in NPPs. KOSS was analyzed about the inter item consistency and correlation with the workload, and relative importance. In the objective evaluation considered the experiment method for the physical and mental job stress and analyzed from the phased point of view. **Conclusion/Application:** The measurement and criteria to evaluate job stress for operators must be complemented on the job characters and environments in NPPs. This study may support to confirm and manage the job stress in NPPs. The study of more specific methodology on job stress in NPPs is required on the basis of this paper.

Keywords: Job stress, Objective measurement, Subjective measurement, Human error

1. The Necessity of Stress Management for NPPs

1.1 The importance of stress management for NPPs

원자력 산업에서 업무량, 인원, 교대형태, 근무환경, 자격, 교육훈련 등은 인적오류에 직접적인 영향을 줄 뿐 아니라 다양한 요소들의 상호작용을 통해 종사자 개인에게는 피로, 스트레스, 부담 등의 형태로 영향을 주는 것으로 분석된다. 개인적인 요소들은 원자력 산업의 환경과 같은 물리적 요인과의 상호작용으로 심각한 파급영향을 발생하여 인적오류를 일으킬 수 있다(Lee, 2012).

한국원자력연구원에 따르면 원전에서 발생한 인적 요인

관련 사건 및 고장 사례 38건을 환경, 조직, 종사자 개인을 중심으로 재분석한 결과, 개인적 요소가 직접 영향을 준 사례의 비중이 40.7%로 높게 나타났다. 종사자의 개인요소는 누락, 인지오류, 위반 등을 일으키지만, 작업자 상태를 나타내거나 종사자 개인이 겪는 스트레스의 영향은 충분히 파악되지 못하고 있다. 몇 국내 원전 사고/고장 사례를 분석한 결과에서도 종사자 개인의 자격, 훈련, 피로 및 스트레스가 두드러진 원인으로 분석되고 있음에도 불구하고 관리방안이 미진한 실정이다. 인적 수행도에 영향을 미치는 숨겨진 원인 중 대표적인 것이 종사자 개인의 상태(스트레스, 수면, 피로, 작업부하, 생체리듬 등)인데, 기존의 인간신뢰도분석에서는 이러한 요인들을 단순히 정량적 확률의 보정치로 취급되는 상황이다(Lee et al., 2011).

Corresponding Author: Yong Hee Lee. I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, 305-353.

Phone: +82-42-868-2941, E-mail: yhlee@kaeri.re.kr

Copyright©2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

©This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. <http://www.esk.or.kr>

원자력 시설의 안전성을 위협하는 최대의 불확실성 요소로 지적되어 온 인적오류에 대처하는 방법으로는 사건이 발생된 후 이루어지는 회고적(retrospective) 분석이 대부분이고, 사전조치로는 인간신뢰도분석(HRA) 등과 같이 인적오류 발생의 정량적 확률을 평가하여 전체 안전성에 통합하는 기술에 집중되고 있다. 원전 설계의 인허가 과정에서 설비의 인터페이스에 대한 체계적인 평가를 포함하고 있어 인터페이스 관련 인간공학 기술은 급격히 발전한 데 비하여, 운영에 요구되는 종사자 특성 및 근무, 조직, 운영 등에 대한 기술이 상대적으로 미진한 상태이다. 체르노빌 사고 이후 국제원자력안전협약에 의해 근무, 자격, 훈련, 업무량, 안전문화, 조직행정체계 등에 대한 평가를 법규에서 요구하여 주기적 안전성 평가(Periodic Safety Review)를 수행하고 있으나, 상위 수준의 요건들만 제시되어 있고 구체적인 평가 및 관리 기술은 물론 기술기준도 불확실한 형편이다. 특히 종사자의 직무스트레스 경우에는 일반 산업에서 이루어지는 수준의 관리기준 및 지침의 적용도 아직 미흡한 상황이다 (Lee et al., 2011).

스트레스는 외부자극에 대한 생체의 반응이므로 생존에 필수적인 요소로 인식되며, 어느 정도의 스트레스는 직무 수행에 도움을 준다. 잘 관리된 스트레스는 계획된 변화, 개인적 성장, 생산성 증가를 가져오지만, 직무 기대와 현실과의 갈등으로 인한 지속적인 스트레스는 급격히 소진 상태에 빠뜨려 인적오류를 유발할 수 있다. 직무스트레스는 우선 질병 관점에서 질병위험요인의 악화, 손상, 약물중독, 알코올 남용, 흡연, 사회부적응, 결근 등과 같은 부정적 과급 효과와 급격한 심혈관계 질환의 발병에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 현재 국내 원자력 분야에서는 직무스트레스의 평가 및 관리를 위한 별도의 기준이나 관리지침이 없어 일반 산업에 적용되는 KOSHA 기준을 준용하고 있으나, 고신뢰도의 안전 요건을 가진 원자력 분야에 맞는 구체적인 기준 및 관리지침의 마련이 시급하다.

1.2 A brief review on previous studies of job stress

원자력과 유사한 고신뢰도 산업인 항공, 철도, 해양 분야의 직무스트레스 연구는 대부분 정신적 직무스트레스 측정을 통한 평가가 이루어졌다. 대부분의 경우 기존 설문형식을 이용한 주관적 평가 방법을 기반으로 수행되었으나 직무 특성 반영에 대한 한계점이 있다. 항공 산업에서는 직무스트레스에 영향을 미치는 요인을 주관적 평가 방법으로 규명하였고 특히 조종사들의 직무스트레스에 대한 관심과 연구가 활발하다. 철도 분야에서는 철도 기관사의 직무스트레스와 인적오류와의 영향관계 연구가 활발하며, 해양산업 분야에서는 해양 안전 및 선박 사고와의 상관성에 대한 연구가 진행되고

있다. 타 산업 분야 및 국외 원자력 관련 기관에서의 직무스트레스 관리는 방법론상으로 다양하게 모색되고 있다. NRC (Nuclear Regulatory Commission)에서는 Fitness For Duty (FFD) 기준을 개발하여 종사자 업무 적합성 판단, 건강진단, 정신건강, 약물관리, 직무스트레스 관리, 행동관찰, 피로 등 총 15개 선택 관리요소를 정의하고 관리하도록 권고하고 있다. 영국의 HSE (Health and Safety Executive)에서는 직무스트레스 관리 절차를 개발하여 산업 전반 종사자들을 관리하고 ILO(International Labor Organization)에서는 스트레스 평가 체크리스트를 개발하여 스트레스 측정 및 관리를 용이하게 접근할 수 있는 체크리스트를 개발하여 사용 중이다. 국내에서는 원전의 직무 관련 스트레스 요인을 평가한 일부 연구 사례를 확인할 수 있고(Kim et al., 2006) 스트레스 요인과 조직성향과의 관계 그리고 관리방안에 대한 연구(Hwang & Lee, 2010)가 진행되고 있으나 기존 측정도구에 기반된 것으로 원전 특성을 상세히 적용하지 못하고 있다.

2. A Methodology of Stress Measurement and Evaluation

2.1 Subjective measurement methods

주관적 스트레스 측정 및 평가 방법은 주로 신뢰성이 확인된 기존 설문지 및 대상의 특성을 반영하여 제작된 설문지를 이용한다. 측정이 용이하며 작업 수행에 방해되지 않고 설문지 이외에 기타 장비 등이 필요하지 않다는 장점이 있는 반면 응답자의 주관적인 의견으로 도출된 결과의 신뢰성 확보를 위한 단계가 필요하다. 대부분의 설문항목이 직무스트레스의 발생 원인 및 결과 모델을 기반으로 직무 성격에 맞도록 개발되었다. 제조업, 사무직, 특수 업종 등 타 산업 분야에서 일반적으로 사용되고 있는 주관적 직무스트레스 측정 방법은 아래와 같다(Jang, KAERI/AR-959, 2012).

1) 한국인 직무스트레스 측정도구(Korean Occupational Stress Scale, 이하 KOSS)

2005년 한국산업안전보건공단에서는 산업 전반에 걸쳐 사용할 수 있는 표준화된 스트레스 측정 및 평가도구의 필요성이 부각됨에 따라 개발된 근로자의 직무스트레스 요인을 측정하는 표준화된 도구(Chang et al., 2005)로 산업 전반에서 사용이 권고되고 있다.

KOSS는 전국의 사업장 근로자 30,146명을 토대로 타당도와 신뢰도 평가를 거쳤으며 한국인의 직장문화와 사고방식 등을 고려하여 직무상 경험되는 스트레스를 설문방식으로

로 측정하는 주관적 측정도구로 다양한 산업의 직무스트레스 분석 및 연구에 사용되고 있다.

2) Job Content Questionnaire (JCQ)

근로자가 체감하는 스트레스를 계량화하기 위하여 Karasek에 의해 Job Content Questionnaire가 1985년 개발되었다. 이는 현장 활동가들 사이에서 직무스트레스 연구를 위한 실용적이고 간편한 도구의 필요성이 제기됨에 따라 학문적, 실천적 목적을 충족시키기 위해 개발된 것으로 현재 JCQ는 유럽, 미국, 일본 등 선진국뿐만 아니라 한국, 멕시코, 브라질, 대만 등에서도 활발히 사용되고 있다.

3) SCR-90-R (Symptom Checklist-90-Revision)

정신의학적 면담의 보조수단으로 개발한 것으로 그 타당도와 신뢰도를 높여온 자기보고형 평정검사로 국내에서는 1978년 번역하여 소개한 이후 세 번에 걸친 표준화 연구를 거쳐 임상적으로 널리 사용되고 있다.

4) Social Readjustment Rating Scale (SRRS)

개인적, 사회적, 가족적, 직업적인 변화의 영역에서 스트레스의 적용 정도에 대한 개인의 지각을 측정하기 위해 제작된 Social Readjustment Rating Scale (SRRS)는 백인, 흑인, 멕시코인, 스웨덴인, 서유럽인, 일본인들을 대상으로 연구한 결과 다른 종족, 성별, 연령, 결혼 상태, 교육, 사회계층, 및 문화적 배경을 가진 대상자에게도 적용될 수 있다는 것이 증명되었다.

5) 한국판 직무스트레스 검사 (Korean Version of Occupational Stress Inventory, K-OSI)

피검자들의 직무스트레스 경험을 측정하기 위해서 개발되었고, 우리나라 직장인들을 대상으로 신뢰도와 타당도를 검증하고 표준화한 직무스트레스 평가도구이다. 지각된 스트레스 요인, 대처자원 및 스트레스로 인한 결과의 3가지 영역을 측정하는 14개의 하위 척도로 구성된 다차원적 검사이다.

6) PWI-SF

사회심리적 건강측정도구의 단축형으로 Goldberg의 GHQ-60을 기초로 하여 우리나라 실정에 맞게 2단계에 걸친 문항수정과 척도의 수정을 거쳐 45개의 문항을 18문항으로 단축한 측정도구이다. PWI-SF는 정신과적 문제를 갖고 있는 사람과 정상인을 구별하기 위한 진단학적인 목적보다는 정상인의 스트레스 수준을 측정하기 위한 측정도구로 개발된 것이다.

7) 면접조사

면접이란 질적 연구방식의 하나로 우리가 흔히 알고 있는 표준화된 설문지를 통해 스트레스 원인을 찾아내는 방법과는 상당히 다른 접근 방법이다. 연구자나 전문가가 제시한 스트레스의 항목과 이를 통계적인 처리를 통해 정량적인 방식으로 알아보는 방법과는 달리 대상자의 주관적 인식에 기초한 정보습득에 그 목적이 있다. 면접을 통한 방식이 표준화된 설문지를 사용하는 것과는 다른 방식이긴 하나 상이한 두 가지 방법이 서로 보완적으로 사용되고 있는 것이 현실이다.

이 같은 주관적 직무스트레스 측정 방법을 기반으로 원전의 직무환경 및 특성을 반영하는데 한계를 가진다. 방사능의 위험, 유지보수 기간의 집중적 정비, 보수적인 안전확보 노력, 사회적, 인식, 교대근무 등 원전 특이 of 복합적인 직무스트레스 요인은 고려되지 못하고 있다. 따라서 일반 산업에서 사용되고 있는 측정도구들의 원전 적용에 대한 적합성 검토가 필요하다.

2.2 Objective measurement methods

객관적 스트레스 측정 방법은 대표적으로 의학적 방법과 실험 계측적인 방법으로 구분할 수 있다. 의학적인 측정 방법의 대표적인 방법으로 코티졸을 측정하는 방법과 체온, 호흡 등을 측정하여 스트레스를 측정하는 방법 등이 있다. 스트레스 반응으로 신체 내부 코티졸(cortisol)을 비롯한 신경내분비가 증가하게 되며 건강에 악영향을 미치게 된다(Kang et al., 2003). 코티졸은 혈액, 타액, 뇨액을 통하여 채취가 가능하지만, 혈액뿐만 아니라 타액과 뇨중 지수의 측정은 측정시간 및 채취기법에 따라 측정값이 다르게 나올 수 있다는 제한점이 있다. 또한, 빈번한 채취와 침습적인 혈액채취방법 등으로 인해 스트레스에 미치는 영향을 배제할 수 없는 점이 있다.

Sakata(2002)는 얼굴과 손바닥의 온도분포변화에 따른 생활행동의 이해에 관한 연구에서는 직무스트레스를 받을 때 입과 코 주위의 피부에 현저한 온도변화가 일어난다고 발표하였다. Fried(1993) 등은 호흡에는 횡경막 호흡과 가슴 호흡(스트레스 호흡)이 있는데, 스트레스를 받을 시 주로 가슴 호흡을 하게 되며, 횡경막 호흡과 비교하면 상대적으로 호흡이 얇고 빠르며 가슴과 어깨의 움직임이 심하다고 발표하였다. 스트레스로 인해 위에 상술한 생리적 변화를 일어날 수 있지만, 반대로 이런 생리적 변화가 모두 스트레스로 인하여 발생한다고 확정하기에는 아직 더 연구가 필요하다. 주관적인 측정법과 의학적인 측정법이 갖고 있는 상대적 제약으로 인해 전기피부반응(Galvanic Skin Response; GSR), 근전도(Electro-myography; EMG), 심전도(Electro-

cardiogram; ECG), 뇌파(Electro-encephalogram, EEG) 등 계측적인 방법의 활용 가능성을 검토하였다.

1) GSR

피부전도율은 신경의 각성 수준에 따라 교감신경계와 부교감신경의 작용에 의하여 피부 부위에 따라 작용하는 EDA (Electro-dermal activity)의 일종이다. Ryu(2009)의 연구에서 각성 수준이 높을 때 GSR을 통하여 생리신호반응이 명확하게 나타남을 보였으나, 인지적 측면의 스트레스 평가 척도로서는 좁은 범위에서 적용 가능한 것으로 보인다.

2) EMG

근전도는 근섬유(muscle fiber)를 따라 전도되는 운동활동전위(motor unit action potential)로서, 근육이 수축이 완될 때 발생된다. Oh & Lee(2012) 등은 크레인 운전자를 대상으로 EMG를 이용하여 작업부하를 측정하여, 스트레스를 줄여주는 방안을 모색하였다. 따라서 EMG는 근육부하 중심의 직무스트레스 평가에 활용 가능할 것으로 보인다.

3) ECG

심장 운동으로 발생하는 전기신호로서, 스트레스로 인해 교감신경이 자극되면 심박수가 증가되거나, 심박변이도(Heart Rate Variability; HRV)가 증가된다. Sin et al. (2008) 등은 철도의 승차감 연구에 ECG를 활용하였다. ECG 분석을 통해 자율신경계의 작용 정도를 판단할 수 있으며, 통합적인 스트레스 척도로 가장 널리 활용되고 있다.

4) EEG

뇌신경세포들의 활동에서 발생하는 미세한 전기신호를 두피에서 측정하는 것으로, 두뇌의 상태를 기준으로 각성 수준은 물론 부하와 스트레스를 평가할 수 있다. Song et al. (2011)은 EEG를 이용하여 기관사의 각성도와 스트레스를 측정하였다. EEG는 두뇌 활동신호이므로, 인지적 성격이 뚜렷한 직무의 스트레스 평가에 활용 가능할 것으로 보인다.

3. An Application Review of a Subjective Measurement Method for NPPs

3.1 An application review of the KOSS at nuclear plant workers

본 절에서는 앞서 제기한 주관적 직무스트레스 측정도구들의 원전 적용 적합성 검토의 필요성에 따라 KOSHA CODE를 통해 산업 전반에 걸쳐 사용이 권장되고 있는 한국

인 직무스트레스 측정도구(KOSS)가 원전 종사자에 대한 적용성을 검토하였다. 원전 산업의 직무스트레스를 충분히 측정/평가할 수 있는지를 알아보기 위해 KOSS의 신뢰도, 작업부하-스트레스 관계, 종사자 체감 스트레스 요인과의 비교 3가지 측면으로 수행되었다.

1) 원전 종사자의 직무스트레스 측정

가. 직무스트레스 검토 대상

선행 연구에서는 고신뢰도 산업 종사자의 직무스트레스 특성을 파악하기 위해 2009년 방사선보건연구원(RHRI: Radiation Health Research Institute)에서 실시한 직무스트레스 측정 자료들 중 원전의 특수성을 내포한 대표적 직군으로 원전 운전원을 선정하여 그 측정 결과를 검토하였다. 대상이 된 운전원은 남성 256명으로 평균 연령은 38.19세였다.

나. 원전 종사자(운전원)의 직무스트레스 측정 결과

KOSS에 의해 측정된 원전 운전원의 직무스트레스의 환산점수가 아래 Table 1과 같이 도출되었다. 8개 요인의 각 평균 환산점수에 따라 원전 운전원이 받고 있는 가장 큰 직무스트레스 요인은 직무자율로 나타났다. 직무자율은 직무에 대한 의사결정 권한과 자신의 직무에 대한 재량 활용성의 수준 및 기술적 재량, 업무예측 가능성, 기술적 자율성, 직무수행 권한에 대한 측정이 포함되어 있다. 다음으로는 직무불안정과 직무 요구가 직무스트레스에 큰 영향을 주는 요인임을 알 수 있다.

Table 1. The KOSS result of NPPs(N=256)

Subscales	Mean ± S.D.	Median
Physical environment	30.71±16.15	33.33
Job demand	42.20±14.57	41.67
Insufficient job control	45.89±11.84	46.67
Interpersonal conflict	30.96±12.55	33.33
Job insecurity	42.60±11.36	44.44
Organizational system	37.26±11.36	33.33
Lack of reward	35.61±11.53	33.33
Occupational climate	33.82±12.81	33.33
Total	37.39±8.73	38.21

직무스트레스 요인의 영역별 환산점수는 한국산업안전보건공단에서 제공하는 KOSHA CODE-H-42 상의 한국 근로자의 중앙값과 비교하여 상대적인 평가를 하였다(Figure

1). 그 결과 8개의 요인과 환산점수로 이루어진 9개 항목에서 원전 운전원과 타산업 종사자 사이에 직무스트레스 중앙값이 유의수준 0.05에서 유의한 차이가 존재하며($p < 0.05$), 원전 운전원이 타 산업 종사자에 비해 직무스트레스가 적게 측정되고 있는 것을 알 수 있다.

또한, 사분위수 25 ($p < 0.05$), 50 ($p < 0.05$), 75 ($p < 0.05$)에서 역시 유의한 차이를 나타내며 타 산업에 비해 적게 나타났다.

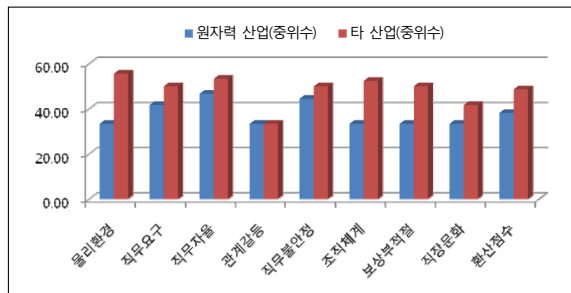


Figure 1. A comparison graph of job stress between industries based on KOSS

2) 원전 종사자에 대한 KOSS 적용성 검토

가. 측정도구의 통계적 검정

원전 종사자에 적용한 KOSS의 적용성 수준을 평가하기 위하여, 문항 내적 일치도(inter-item consistency)를 나타내는 신뢰도 계수 Cronbach α 를 통해 통계적으로 검증하였다. 분석 결과, Table 2와 같이 8개 직무스트레스 요인의 Cronbach' α 값 범위가 0.501~0.827이었으며 가장 높은 신뢰도 계수를 보인 것은 조직체계 ($\alpha = 0.827$)였고 직무자율 ($\alpha = 0.501$), 직무불안정 ($\alpha = 0.559$) 등이 낮은 값을 보였다.

Table 2. An inter-item consistency analysis of KOSS

Subscales	No. of item	Cronbach' α
Physical environment	3	0.603
Job demand	8	0.805
Insufficient job control	5	0.501
Interpersonal conflict	4	0.811
Job insecurity	6	0.559
Organizational system	7	0.827
Lack of reward	6	0.783
Occupational climate	4	0.601

나. 작업부하 측면의 연계성 검토

작업부하 측면의 연계성 검토는 기존 수행된 작업부하 및 직무스트레스 연구들의 데이터를 바탕으로 하여 KOSS의 원전 적용 시 건전성 재고 필요성을 부각시키기 위한 기초 연구의 일환으로 수행되었다. 작업부하는 직무스트레스의 영향 요인으로써 양적 상관관계를 보이는 것으로 추정되고 있다(Kim, 2008). 이에 본문에서는 피험자의 경험적 사실을 바탕으로 하는 주관적 작업부하 측정 방법인 NASA-TLX를 이용하여 원전 종사자와 타 산업 종사자의 작업부하를 비교함으로써 원전 종사자의 KOSS 적용 스트레스 평가 결과의 타당성을 검토하였다. 비교 대상으로는 철도 산업 종사자(현장직)를 선정하였다. 철도 산업은 원자력 산업과 같은 고신뢰도 대형 체계 산업으로 종사자 직무 중 교대근무, 연장근무 및 보수적인 안전확보 노력 등 유사성이 있는 것으로 추정하여 선정하였다.

원전의 MCR 운전원 10명을 대상으로 NASA-TLX를 이용하여 근무투입 전/후 작업부하를 측정하여 비교하였다. 비교하고자 하는 타 산업 직종은 철도 산업으로 서울고속기 관차승무사업소와 부산고속기 관차승무사업소 소속 KTX 기장 130명을 대상으로 실시된 NASA-TLX에 따른 작업부하 측정 데이터를 사용하였다(Lee, 2007). 분석 결과 Table 3과 같이 원전 종사자가 느끼는 직무부하의 정도가 철도 산업(KTX) 종사자에 비해 큰 값($p < 0.10$)을 보이고 있는 것으로 나타났다.

Table 3. A workload analysis between NPPs and Railroad industry

	NPPs	Railway
Mean	69.8	59.3
S.D.	± 11.03	± 6.4
t-value	2.045	
p-value	0.058	

반면, 지하철 근로자의 KOSS 적용 직무스트레스 연구(Yoon, 2007)에 따르면, 지하철 근로자(현장직) 1,492명의 직무스트레스 환산점수는 46.10으로 선행 연구를 통해 도출된 원전 종사자의 37.39에 비해 상대적으로 큰 값($p < 0.10$)을 나타나고 있음을 알 수 있다.

다. 직무스트레스 체감 요인의 비중 검토

원전 종사자가 체감하고 있는 주요 스트레스 요인들이 KOSS 측정 문항에서 얼마나 포함되고 있는지를 항목별로 검토하였다. 기존 연구에 따른 운전원 체감 스트레스 요인은

교대근무, 업무과중, 근무분위기, 경영방식, 의사소통, 형식적 교육, 복리후생, 기타 요인으로 기타 요인은 외지근무 및 원전에 부정적인 사회적 인식을 포함하는 것으로 조사되었다 (Lee et al., 1997). 분석 결과, 교대근무와 업무과중이 58%로 큰 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

이에 KOSS의 측정 문항 43개와 조사된 직무스트레스 요인 8가지를 상호 비교하여, 실질적인 원전 종사자의 스트레스 요인을 어느 정도 반영하고 있는지 검토해보았다. 그 결과는 Table 4와 같았다.

반면 원전 종사자의 가장 큰 비중을 차지하는 스트레스 요인으로 조사된 교대근무(38%)의 경우, KOSS의 43개 문항 중 11.6%가 반영된 것으로 나타났다. 따라서 교대근무로 발생하는 직무스트레스를 충분히 포착하지 못할 가능성이 있다.

Table 4. The comparison between KOSS results and analyzed job stress of KINS

Stress factor	Ratio	Stress rate (%)	Rate of KOSS Item (%)
Shift work		38.0	11.6
Excessive work		20.0	18.6
Work climate		10.0	34.8
Management method		9.0	25.5
Communication		8.0	9.3
Formal Education		7.0	6.9
Welfare		6.0	2.3
Other factors		2.0	4.6

3.2 The countermeasure for application of KOSS

본 연구에서 수행한 KOSS의 원전 종사자 적용성 검토 결과 및 그에 따라 제시한 측정도구의 개선방향은 다음과 같다.

1) 측정도구의 내적 일치도 증진

문항의 신뢰도를 파악하기 위해 신뢰도 계수 Cronbach' α 값을 도출한 결과 물리환경, 직무자율, 직무불안정, 직장문화에 대해 0.501~0.603로 높지 않은 신뢰도를 보였다. 낮은 신뢰도에 따라 설문문의 건전성을 파악하기 어려우나 문항 및 문구의 수정, 추가, 삭제 등을 통해 신뢰도의 개선을 고려할 수 있다. 이에 따라 원전 종사자에 대한 KOSS 적용을 위해서는 4개 요인 18개 문항에 대한 보완을 재고할 필요가 있다.

2) 작업부하 측면의 연계성 확보를 위한 문항 설정

원전 종사자의 작업부하와 KOSS에 의해 조사된 직무스트레스 환산점수를 철도 산업 종사자와 비교한 결과 KOSS가 원전 종사자의 작업부하 요소를 적절히 포착하지 못할 가능성을 제기할 수 있다. 따라서, KOSS에 의해 도출된 원전 종사자의 직무스트레스 점수에 대해 재고의 여지가 있다고 추측할 수 있다. 원전 종사자의 직무는 절차서의 흐름에 따라 수행되고, 수행업무의 책임과 권한의 규정이 명확한 성격을 가지게 된다. 특히 비상상황 시 및 원전의 비정상 상태, 주기적 유지보수 기간의 업무량 증가, 그리고 교대근무 등은 원전 종사자 특유의 직무스트레스 발생 및 증가 원인이 된다. 원전 특유의 환경 및 종사자 직무 성격에 따라 타 산업의 직무스트레스 영향 요인과 차이가 존재할 수 있다. 이에 따라 원전 종사자에 대한 KOSS의 적용을 위해서는 원전 직무 및 작업부하 요인의 반영을 고려할 수 있다.

3) 직무스트레스 체감 요인 및 상대적 비중을 고려한 문항 구성

KOSS의 43개 측정 문항은 원전 종사자가 체감하는 직무스트레스 중 교대근무, 복리후생, 기타 요인(외지근무, 사회적 인식 등) 등 원전 특유의 요인을 포착할 수 있는 문항의 비중이 적은 것으로 나타났다. 이에 따라 원전 직무스트레스 요인의 비중을 비례하는 문항 구성과 원전 직무스트레스 체감 요인을 감안한 문항 설정이 필요할 것으로 보인다.

예를 들어, 38%로 가장 비중이 큰 직무스트레스 요인으로 조사된 교대근무의 세부 스트레스 요인과 그 반영도를 분석

Table 5. The frequency analysis result on shift work in KOSS

KOSS Item	Stress factor of shift work						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Work & family Balance	-	-	-	1	-	-	-
Permissions to perform tasks	-	1	-	-	-	-	-
Expect invalid	-	1	-	-	-	-	-
Monetary compensation	-	-	-	-	-	-	1
Inner motivation	-	1	-	-	-	-	-
Expected compensation	-	1	-	-	-	-	-
Self-development opportunities	-	-	-	-	1	-	-
Reflection	-	4	-	1	1	-	1

하였다. 기존 연구들을 바탕으로 수면장애(S1), 정신적 영향(S2), 신체적 영향(S3), 가정 생활(S4), 사회활동 미흡(S5), 피로 해소 불충분(S6)과 급여/수당 불만족(S7) 등 7가지 직무스트레스 체감 요인을 우선 추정할 수 있다(Kim et al., 2007; Choi et al., 2009; Park et al., 2012).

분석 결과는 Table 5와 같이 나타났다. 7가지 교대근무에 인한 직무스트레스 요인 중 정신적 영향(S2), 가정 생활(S4), 사회활동 미흡(S5), 급여/수당 불만족(S7)의 4개 요인(57.1%)만을 반영하고 있음을 알 수 있다. 이에 따라 3가지 추가 문항을 선정하여 교대근무의 직무스트레스 요인을 반영하는 방법으로 KOSS 문항을 보완할 수 있다.

4. A Review of Objective Measurement Methods

직무스트레스는 직무 수행 중 노출되는 자극이 작업자 개인의 허용능력 한계를 넘어섰을 경우 발생하는 것으로 작업자의 직무스트레스 발생형태에 따라 정신적/육체적 직무스트레스로 구분할 수 있다. 원자력 산업의 경우 주 제어실 내 직무와 현장 직무로 구분할 수 있다. 주 제어실 운전원의 직무는 상황의 감지, 데이터 및 정보의 감지, 상황이해 및 평가, 상태진단, 의사결정, 대응계획, 대응실행 등과 같은 일련의 인지적인 과정으로 이루어져 있다. 반면, 현장 직무의 경우 시험, 교정, 보수 및 유지, 정비 작업과 같은 육체적인 작업형태가 두드러진다. 직무스트레스는 직무형태에 따라 발생하는 형태가 다르며 본 논문에서는 이를 정신적인 직무스트레스와 육체적인 직무스트레스로 구분하여 두 직무스트레스

의 측정 및 평가 방법을 검토해 보고자 한다.

4.1 An application review of physical job stress measurement methods

육체적인 직무스트레스의 요인은 작업자에 미치는 물리적 요인(중량물, 작업강도, 작업빈도 등)이 대표적이다. 이는 육체적인 작업부하와 직결되며 여러 선행 연구에서도 이들간의 상관성을 확인할 수 있다(Kang et al., 2004; Oh et al., 2012).

본 연구에서는 원전 작업을 8개의 작업 활동유형으로 구분하고, 각 작업 활동유형에 해당하는 원전의 작업을 분류한 Park & Lee(2006)의 연구를 바탕으로 육체적인 직무스트레스 평가 방법을 정적/동적 작업으로 구분하였으며, 대응되는 육체적인 직무스트레스 측정 방법을 선정하였다.

육체적 작업 중 동적 작업은 동작범위가 크고 에너지 소모량이 큰 작업에서는 심박수 또는 산소 소비량을 통해 직무스트레스를 측정, 평가할 수 있다(Kilbom et al., 1995). 정적 작업은 정적인 작업자세에서 극소 근육을 집중 사용하거나 장시간 사용하는 것으로 근전도 측정을 통한 근활성도를 평가하거나 동작분석을 통해 정적 작업의 작업자세나 각 관절의 모멘트 등 역학적 분석 방법이 사용된다(Corlett et al., 1995; Tracy et al., 1955).

원전의 현장 작업 중 운반 작업의 절차서 기반으로 작업을 분류하면, Table 6에서 보는 것과 같이 글쓰기, 기기 확인 및 검사, 약품 운반, 운반물 분류, 포장 등 작업이 있으며, 각각 정적 작업 중의 매우 가벼운 작업(얇은 작업), 가벼운 작업(선 작업), 과중한 작업(선 작업) 3가지 활동유형에 해당이 된다. 대응되는 육체적인 스트레스 측정 방법을 기기

Table 6. The classification of physical task for experiment

Distinction physical work type	Type of activities	Detailed work	Measurement methods
Static work	매우 가벼운 작업(얇은 작업)	글쓰기, 타이핑 작업, PC 작업, 닦는 작업	상지 위주 근육부하
	매우 가벼운 작업(선 작업)	설계, 도면작업, 밸브 작업	상지, 목 위주 근육부하
	가벼운 작업(얇은 작업)	수리 작업, 간단한 조립 작업	목 부위 위주 동작분석
	가벼운 작업(선 작업)	기기 조작, 기기 확인 및 검사, 시료 채취	목 부위 위주 근육부하 및 하지 위주 동작분석
Dynamic work	가벼운 작업(움직이는 작업)	천천히 걷거나 이동	심박수, 산소 소비량
	과중한 작업(선 작업)	약품 주입	상지, 어깨, 목 위주 근육부하, 심박수
	과중한 작업(움직이는 작업)	약품 운반, 폐기물 분류, 포장, 제염	상지, 어깨 위주 근육부하, 목 자세 위주 동작분석, 심박수, 산소 소비량 측정
	공학적 작업	중간 수준의 조립작업, 과중한 조립작업 (비연속)	전신 동작분석 심박수, 산소 소비량 측정

확인 및 검사 작업을 예로 들어 설명하면, 목 부위 위주 근육부하 및 하지 위주로 동작분석을 통하여 육체적인 스트레스를 측정할 수 있다.

4.2 An application review of mental job stress measurement methods

정신적 직무스트레스는 인간의 정보처리 과정에서 인지모형으로 설명될 수 있다. 과중한 정신적 직무스트레스는 직무수행도를 저하시키고 인적오류를 유발할 가능성을 갖는다 (Lee et al., 2011). 이는 정보처리 과정 중에서 발생하는 정보 누락, 혼동, 메모리 한계, 수행 위반, 반응 실수 등에 따라 복잡한 요인의 상호작용으로 발생된다.

직무스트레스 측정을 위한 뇌파, 심전도, 피부전기저항 등의 측정 유효성은 선행 연구를 통해 검증되었으며 (Park et al., 2011) 특히 EEG 데이터의 평가 지수에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다.

본 절에서는 정신적 직무스트레스의 측정 방법을 간단한 직무에 적용하여 스트레스 위험요소를 검토한 후 원전에서 적용 가능한 방법을 모색해 보고자 한다.

1) 직무분석을 통한 정신적 직무스트레스의 측정법

직무분석을 통한 정신적 직무스트레스 측정법 검토에 앞서서 본 논문에서는 스트레스 유발 가능 위험요소(stress hazard)를 정의하고자 한다. 스트레스 유발 가능 위험요소는 대상 작업 선정 후 직무단계를 세분화 하여 세부 직무의 수행실패를 초래할 수 있는 스트레스 발생 가능 요인을 말한다. 또한, 스트레스 유발 가능 위험요소가 발생하는 원인에 따라 개인(I)/환경(E)/조직(O)의 측면으로 구분이 된다. 다음 다섯 단계를 통해 도출된 스트레스 유발 가능 위험요소를 기반으로 직무 별 정신적 직무스트레스 측정법을 검토하였다.

- 단계 1. 선정된 작업을 세부 직무로 분류
- 단계 2. 세부 직무에 대한 스트레스 유발 가능한 위험항목 도출

- 단계 3. 스트레스 유발 가능 위험요소를 개인/환경/조직 측면으로 구분
- 단계 4. 스트레스 유발 가능 위험요소에 대하여 스트레스 측정방안 결정
- 단계 5. 개인/환경/조직 측면의 보완 및 수정

원전에서의 정신적 스트레스 측정으로 주 제어실 운전원 직무 중 'integrator 주 전원 켜기' 작업을 예로 들어 설명하였다. 주 전원 켜기 작업은 크게 이동, 가동 상태 확인, 조작, 상태 재확인 4개의 세부 직무로 분류하고, 이중 확인/재확인 직무에 대하여 세부적인 분석을 통해 정신적 스트레스의 발생 위험성을 도출하여 예시하였다 (Table 7). 확인/재확인 직무를 세분화 하면 관측, 의사판단, 의사결정이 있으며, 본문에서는 세부 직무 중 관측 직무에 대하여 스트레스 유발 가능 위험요소를 도출하여 환경/개인/조직 측면으로 귀납하고 측정방안을 제시하였다.

분석 결과를 바탕으로 측정방안을 고려하여 관측 시 시간적 압박으로 인한 관측실패의 경우 종사자 개인 측면에서의 시간적 압박을 받는 스트레스 위험성에 대하여 시간 압박을 가할 수 있는 직무/상황 조건 하에서 EEG, ECG를 통한 실험측정방안 구축이 필요함을 알 수 있다.

이와 같이 정신적 스트레스 측정은 실험 방법 구축에 있어 일반 산업과 유사하다는 것을 알 수 있다. 하지만, 세부 직무 분석을 통해 원전 특유의 보다 상세한 스트레스 유발 가능 위험요소의 도출 및 이에 대한 대처방안 모색이 가능하도록 하여야 한다. 또한 일반 산업과 달리 원전 특유의 스트레스 유발 가능 위험요소를 고려하여 측정 데이터를 해석해야 한다. 예를 들어 뇌파를 발생구간을 시간에 따라 스트레스 유발 가능 위험요소 발생구역을 정하고, 구간별 베타(β)파의 발생비율을 관측할 수도 있다 (Oh et al., 2012).

2) 세부 직무분할을 통한 정신적 스트레스 측정의 효용성 검토

'Integrator 주 전원 켜기' 작업의 확인/재확인 직무를 예로 들어 세부 직무분할에 따른 정신적 스트레스 측정의 효

Table 7. Detailed jobs regarding the main power switch-on operation and deduction of stress risks

Work	Task	Detailed task	Stress hazard	Hazard identification			Measurement plans
				I	E	O	
Main power ON	Confirm/Reconfirm task	Observe	강한 조명으로 인한 관측실패		○		강한 조명 구축 후 EEG, ECG 실험
			시간적 압박으로 인한 관측실패	○			시간압박을 주는 EEG, ECG
			상사의 심각한 경고가 주의력 실패를 초래한 관측실패			○	실험 전에 피실험자에게 심각한 경고를 준 후 EEG, ECG 실험
...

용성을 검증하였다. 주 전원 켜기의 확인/재확인 직무의 전체 스트레스 유발 가능 위험요소를 Table 8과 같이 환경/개인/조직 측면으로 총 28개 도출하였다. 이 직무에서 주관적인 방법으로 검출 가능한 스트레스 유발 가능 위험요소 항목은 KOSS 13개, JCQ 16개, PWI 6개로 분석되었다.

Table 8. Comparison table of subjective measurement items and task analysis after objectively measurable items

Task	Stress hazard		Subjective measurement			Objective measurement (task analysis)	
	Classification	Hazard items	KOSS	JCQ	PWI		
C/Rc	Organization	상사의 불명확한 명령				○	
		시간 배치 부적절	○	○		○	
		일관성 없는 정서(상사)	○	○		○	
		상사의 눈치	○	○		○	
		교육 미흡	○	○		○	
		일방적인 커뮤니케이션	○	○		○	
	Environment	심한 진동					○
		너무 강함/약한 조명					○
		높은 소음					○
		시선 가림					○
		환경 배치 부적절	○				○
	Individual	불편 작업 자세	○	○			○
		작업자의 나쁜 컨디션		○	○		○
		작업자 시력 저하					○
		교대근무로 인한 피곤					○
		시간압박	○	○			○
		업무에 대한 심리장애		○	○		
		절차서 익숙하지 못함		○			○
		전문지식 부족		○	○		○
		신체 사이즈 부족					○
		작업자 정력부족	○	○	○		○
		보상에 대한 불만	○				○
		개인의 대충하는 성격					
		사고에 의한 거부감	○	○			○
		과다한 업무	○	○	○		○
		업무 책임감 부족					○
		업무 수행 독립성 부족		○	○		○
		다른 일에 정신이 팔림	○	○			○
...	-	...	-	-	-	-	
Measurable stress hazard share(%)			46.4	57.1	21.4	92.9	

직무분석 후 객관적 스트레스 측정 방법으로 측정 가능한 항목은 총 26개가 해당되었다. 이에 따라 정신적 스트

레스 측정의 효용성을 아래와 같이 3가지로 정리하였다.

첫째, 기존 주관적 직무스트레스 측정 방법의 단점을 보완할 수 있다. 기존의 종사자 직무스트레스 측정 방법들은 개인에 대한 절대 평가에 미흡한 체계를 하고 있어 개별 작업, 개별 직무의 스트레스 요인을 검출하는 데 제약이 있었다. Table 8에서 보는 바와 같이 28개 실제 스트레스 유발 가능 위험요소에 대하여 측정 가능한 항목이 46.4%, 57.1%, 21.4%로 비교적 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 반면 세부 직무분석을 통해 스트레스 유발 가능 위험요소를 찾는 방법은 92.9%의 비중을 차지하였다. 또한 'integrator 주 전원 켜기' 작업 중 판단 직무에서는 18개 항목 중 83.3%, 의사 결정 직무에서는 23개의 항목 중 78.2%의 측정 가능 항목이 도출되어 평균 84.4%의 높은 비중으로, 높은 유효성을 설명하고 있었다. 따라서 작업자 개인의 스트레스를 검출 가능하고, 직무와 직무, 작업과 작업간의 스트레스의 비교도 가능하다.

둘째, 직무분할을 통하여 세부적인 스트레스 요소에 대한 측정이 가능하다. 일반적인 객관적 스트레스 측정 방법은 스트레스 유발 가능 위험요소를 전반적으로 고려하지 않으므로, 직무분할을 통해 보다 폭넓은 분석이 가능하다. 따라서 주관적 설문지에 반영되어 있지 않은 스트레스 발생 위험성 요인을 찾을 수 있다. Table 8에서 보는 바와 같이 'integrator 주 전원 켜기'의 세부 직무인 관측 직무에서는 KOSS, JCQ, PWI 평가로서는 모두 도출 및 보완할 수 없는 스트레스 유발 가능 위험요소가 있었다. 카이 제곱 검정을 적용한 결과, χ^2 값이 각각 1.867, 6.508, 1.044, p -value 값이 각각 0.017, 0.043, 0.031로서 통계적으로 유의한 차이를 가졌다. 즉 직무분할을 통한 스트레스 측정이 의미가 있음을 증명하였다.

셋째, 사전분석으로 직무스트레스를 발생할 가능성을 지닌 원인을 제거할 수 있다. 산업현장에서 발생한 사건 분석은 크게 발생한 사건에 대한 원인규명 과정과, 어떤 세부요소들의 개입으로 발생되었는가를 분석하는 근본 원인(root cause) 분석 과정이 있다. 근본 원인에 대한 접근으로는 사고 발생 전에 위험요소를 찾아내어 사고를 유발할 수 있는 원인을 차단하여 사고를 방지할 수 있다. 즉 숨겨진 스트레스 위험요소에 대한 인식을 통해, 사전에 효과적인 대응방안을 구축할 수 있다.

'Integrator 주 전원 켜기'의 확인/재확인 직무에 적용했을 경우 28개의 스트레스 유발 가능 위험요소를 도출하였지만, 28개의 사항을 모두 고려하는 것은 실행체계 구축을 하는 측면에서는 비현실적인 면이 있다. 따라서, 요소들에 대하여 원전 종사자의 주관적인 판단 및 전문가적인 결정을 통해 우선순위를 정하고, 상위권에 있는 일부 요인을 고려한 실행체계를 구축하는 것이 타당하다. 또한, 28개의 고려사항을 조

직/환경/개인 3가지 측면으로 나누어, 각 직무 별로 추가요소를 고려한 실험을 하는 것이 타당하다.

4.3 A phased approach for objective stress measurement

원전 직무의 객관적 스트레스 측정체계를 Figure 2와 같이 단계적으로 정리하였다. 원전에서의 객관적인 스트레스 측정을 직무분석 단계, 실험단계, 스트레스 판정단계로 구분할 수 있다.

직무분석 단계는 분석하고자 하는 작업을 세부 직무로 분류하고, 작업을 파악하고자 하는 단계이다. 이 단계에서는 스트레스를 정신적/육체적으로 구분하고, 육체적 스트레스에 대하여서는 정적/동적 작업으로 구분하여 측정 방법을 도출하고, 정신적 스트레스에 대하여서는 스트레스 유발 가능 위험요소를 도출하여 스트레스 측정 방법을 정한다. 이 단계에서는 주관적인 측정과 동시에 진행하여 원전 특유의 스트레스 요인(방사선 관련성 및 대형시스템 특성)을 도출하며, 이런 요인들을 고려하여 실험을 구축하고 설계하는 단계에서 추가로 고려해야 하는 기초적 단계가 된다.

실험단계에서의 중점은 실험 설계이다. 실험 설계 시에는 전 단계에서 도출한 추가고려 사항이 고려된 실험체계를 구축하여야 한다. 원전 종사자의 스트레스 요인은 조명, 직무 자율성 저하, 외부의 부정적인 시선 등 다양하게 존재한다. 특히 종사자의 교대근무로 인한 생체리듬의 문제가 두드러지며, 이런 문제를 비롯하여, 전 단계에서 도출한 스트레스 유발 가능 위험요소의 환경, 조직, 개인 등 세 가지 측면을

고려하여 실험체계를 구축하여야 한다.

마지막 단계로는 스트레스 판정단계이다. 스트레스 판정은 실험 데이터 분석 및 주관적 설문응답 결과를 종합적으로 고려하여 이루어 진다. 데이터 분석 및 해석 시에는 실제로 측정된 데이터 성분을 실제 직무와 연계시켜 분석을 하여야 한다. 또한, 스트레스의 객관적인 평가 결과만으로 직무스트레스를 판단하는 것이 아니라 주관적인 측정 결과를 비롯한 종합적인 전문가 검토를 통해 판정을 하여야 한다.

5. Conclusions and Further Study

본 연구에서는 원전 종사자의 직무스트레스를 측정, 평가하기 위한 방법으로 객관적/주관적 측정 방법에 대하여 검토하였다. 직무스트레스의 주관적 측정 방법은 기존 개발된 측정도구 및 상황과 조건을 고려한 자체 제작 설문지를 이용하는 방법으로 본 연구에서는 원전 적용 시 적절성을 검토하였다. 검토를 위해 산업 전반에 걸쳐 널리 쓰이고 있는 직무스트레스 측정도구로써 KOSHA를 통해 사용이 권장되고 있는 "한국인 직무스트레스 요인 측정도구(KOSS)"를 선정하여 원전 적용성을 검토하였다.

검토는 (1)설문 문항의 신뢰도, (2)작업부하와의 관계, (3)체감 스트레스 요인의 반영 측면에서 이루어졌다. 검토 결과, 세 가지 측면에서 원전 적용에 재고가 필요할 수 있음을 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 이에 KOSS 문항 및 구성의 보완, 개선 방법을 제안하여 원전에 있어서 보다 적용성을 높이고자 하였다. 객관적 측정 방법을 이용한 원전 종사자의 직무스트레스 측정방안 검토를 통해 스트레스를 육체적/정신적 측면에서 구분하였다. 원전 직무를 세분화 후 분석을 통하여 측정 방법의 적용에는 일반 산업과 유사한 선정형태를 보임을 알 수 있었다. 특히 직무 세분화를 통한 객관적 측정 방법을 이용하여 정신적 스트레스 측정 시 일반 주관적 측정 방법에 비해 보다 높은 유효성을 가짐을 알 수 있다. 또한, 직무분석과 그에 따른 실험 및 측정, 스트레스 판정으로 구성된 객관적 스트레스 측정 단계방안을 제시하였다. 마지막으로 원전에서 객관적 측정 방법에 의해 보다 건전한 직무스트레스의 측정, 평가가 이루어지기 위해서는 측정 수행 및 측정 결과 데이터의 해석 시 원전 특유의 고려사항(개인, 환경, 조직) 등을 추가하여 재고할 필요성이 있음을 제시하였다.

본 연구에서는 원전 종사자의 직무스트레스 측정 방법으로 사용 가능한 객관적/주관적 측정 방법의 검토를 통해 적용 시 제한점과 보완/수정이 필요함을 알 수 있었다. 이러한 연구를 통해 원전 종사자에 있어 보다 효과적인 직무스트레

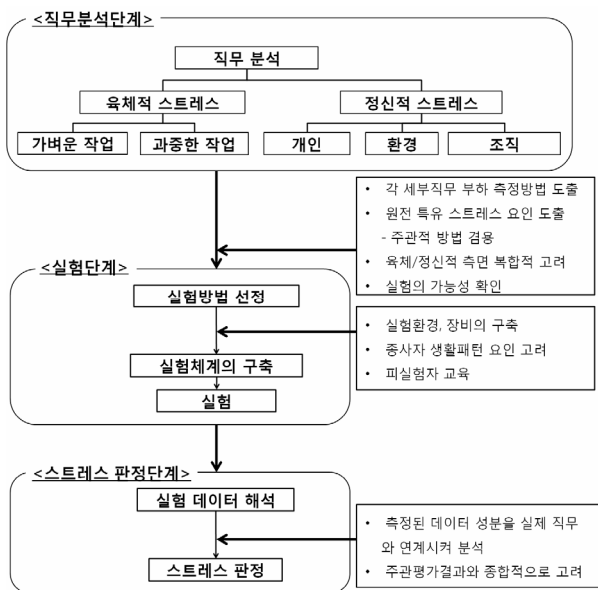


Figure 2. A phased access process for objective job stress

스 관리방안이 마련될 수 있을 것이다. 이에 추후 연구를 통해 원전 종사자의 근무환경과 조건 및 특성을 분석/반영하여 보다 원자력 산업에 특화된 직무스트레스 측정 항목을 구현하고, 원전 종사자의 직무분석과 추가 요인에 대한 보완을 통해 적용성 높은 직무스트레스 측정/관리 체계를 연구할 예정이다.

Acknowledgements

This research was supported by the nuclear energy research and development project(Grant. 2012M2A8A-4004256) funded by the Ministry of Education, Science and Technology.

References

- Corlett, E.N. et al., The evaluation of posture and its effects, *Evaluation of human work*, Taylor&Francis, London, 1995.
- Chang, S.J. et al., Developing an Occupational Stress Scale for Korean Employees, *Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol.17, No.4, pp.297-317, 2005.
- Choi, E.S. and Shin D. S., Occupational Stress and Related Factors among Aged Security Guards, *Korean Journal of Occupational Health Nursing*, Vol.18, No.1, pp.106-115, 2009.
- Fried, R., The role of Respiration in Stress control. In: Lehrer P. H. Wool Fork, R. L.(eds), Principle of Practice of Stress management, *The Guilford press*, pp.301- 331, 1993.
- Hwang, S.H. and Lee Y.H., A Study on the Job Stress Management in Highly Reliable Industry Workers, *Conference of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.2010, No.5, pp.157-161, 2010.
- Jang, T.I. et al., Development of a Technique for the Identification of Human Error Hazards within Tasks in Nuclear Power Plants, *Conference of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.2010, No.5, pp.13-17, 2010.
- Jang, T.I. et al., *State-of-the-Art Report for the Development of Countermeasures against Human Errors Caused by Individual Factors in Nuclear Power Plants*, Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI/AR-959, 2012.
- Kilbom, A. et al., Measurement and assessment of dynamic work, *Evaluation of human work*, Taylor & Francis, London, 1995.
- Kang, D.M. et al., Effects of Physical Workload on Salivary Cortisol Level, *The Korean Occupational and Environmental Medicine*, Vol.16, No.1, pp.57-69, 2003.
- Kim D.S., Job stress assessment & management, Korea Occupational Safety & Health Agency, KOSHA CODE, H-42-2006.
- Kim, D.H. et al., An Assessment of Job-related Stress Factors in Nuclear Power Plants, *Conference of the Ergonomics Society of Korea*, pp.489-497, 2006.
- Kim, Y.H. et al., Workers' Experiences in Shift Work, *Journal of Korean Academy of Community Health Nursing*, Vol.18, No.2, pp.284-292, 2007.
- Kim, S.K. et al., A Measurement of Team Efficiency of Operators in the Advanced Main Control Room of Nuclear Power Plant, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.27, No.1, pp. 21-27, 2008.
- Kim, S.C., A Study on Influence of Workload and Work-family Conflict on Job Stress: Mediating Roles of Perceived Control of Time, Kwangwoon University, 2008.
- Kim, S.S. et al., A Review on the Applicability of Korean Occupational Stress Scale (KOSS) to Nuclear Workers, *Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 2012.
- Lee, J.I. et al., Development of Nuclear Safety Regulatory Technology; Development of Severe Accident Regulatory Technology for Nuclear Power Plants, *Korea Institute of Nuclear Safety; Development of nuclear safety regulatory technology*, 1997.
- Lee, M.G., A Study on the improvement of operation process of KTX train driver, Kyungnam University, 2007.
- Lee, Y.H. et al., A Human Error Analysis with Physiological Signals during utilizing Digital Devices, *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting*, 2011.
- Lee, Y.H. et al., Research Activities and Techniques for the Prevention of Human Errors during the Operation of Nuclear Power Plants, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.30, No.1, pp.75-86, 2011.
- Lim, H.K., Influence of Time Stress on EEG Characteristics Related with Human Errors, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol.26, No.3, 2011, pp.83-90, 2011.
- Lee, Y.H., A Comparison of the Recent Human Errors in Nuclear Power Plants, *Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 2012.
- Luo, Meiling. et al., A Comparative Study on Measurement Techniques on the Job Stress in Nuclear Power Plants, *Conference of the Ergonomics Society of Korea*, 2012.
- Oh, Y.J. et al., A Study on Fatigue Measurement of Operators for Human Error Prevention in NPPs, *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting*, 2012.
- Oh, S.R. and Lee, K.S., A Study of Intervention of Overexertion of Neck Muscles when Bent Forward for a Long Period, *Conference of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.2012, No.5, pp.267-271, 2012.
- Park, C.K. and Lee, Y.H., A Physical Workload Assessment using the classification of job activity in nuclear power plants, *Conference of the Ergonomics Society of Korea*, pp.484-488, 2006.
- Park, K.S. et al., Patterns of electroencephalography (EEG) change against stress through noise and memorization test, *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, Vol.3, No.14, pp.381-389, 2011.
- Park, T.J. et al., The Relationship between Shift Work and Work-related Injuries among Korean Workers, *The Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol.24, No.1, pp.52-60, 2012.
- Ryu, J.H., The Impact of Cognitive Load Factors and Arousal Levels of Galvanic Skin Response on Task Performance in Computer Based Learning, *Korean Society For Emotion & Sensibility*, Vol.12, No.3,

pp.279-288, 2009.

- Sakata, A., Understanding physical activities by temperature distribution change from face and palm, University of Tokyo, 2002.
- Sin, G.S. et al., The Study of Relative Analysis between Mechanical Parameter and Instantaneous HRV for Ride Comfort Evaluation of Train, *Conference of the Ergonomics Society of Korea*, Vol.2008, No.10, 242-246, 2008.
- Song, Y.S. et al., A Study of the Dead Man's Switch considering bio-response, *The Korean Society For Railway*, Vol.2011, No.10, pp.165-171, 2011.
- Shin, K.H. and Lee, Y.H., An Ergonomic Evaluation of the Illumination Level and the Management Plan to Improve the Working Environment of Nuclear Power Plants, *Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting*, 2011.
- Tracy, M.F. et al., Biomechanical methods in posture analysis, *Evaluation of human work*, Taylor & Francis, London, 1995.
- Yoon, S.H. et al., Job Stressors in Subway Workers and Firemen, *The Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol.19, No.3, pp.179-186, 2007.

Meiling Luo: luomeiling@kaeri.re.kr

Highest degree: MS, Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

Position title: Researcher, Division of I&C and Human Factors, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)

Areas of interest: Industrial Safety, Human Error

Yeon Ju Oh: ohyj@kaeri.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Dong Eui University

Position title: Researcher, Division of I&C and Human Factors, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)

Areas of interest: Human Error, Biomechanics, WMSDs

Yong Hee Lee: yhlee@kaeri.re.kr

Highest degree: MS, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

Position title: Principle Researcher, Division of I&C and Human Factors, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)

Areas of interest: Cognitive System Engineering, System Safety, Human Error, Interface Design

Date Received : 2013-01-15

Date Revised : 2013-01-31

Date Accepted : 2013-01-31

Author listings

Seon Soo Kim: seonsoo@kaeri.re.kr

Highest degree: Ms, Department of Industrial & Management Engineering, Korea National University of Transportation

Position title: Researcher, Division of I&C and Human Factors, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)

Areas of interest: Cognitive Engineering, HCI, Human Error, Usability Engineering