Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 1 pp.75-86, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.75

가동 중 원자력발전소의 인적 오류 예방 기술 개발

이용희 · 장통일 · 이용희 · 오연주 · 강석호 · 윤종훈

계측제어 · 인간공학 연구부, 한국원자력연구원

Research Activities and Techniques for the Prevention of Human Errors during the Operation of Nuclear Power Plants

Yong Hee Lee, Tong-Il Jang, Yonghee Lee, Yeon Ju Oh, Seok Ho Kang, Jong Hun Yun

I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, 305-353

ABSTRACT

This paper describes several current research activities and the field techniques for the prevention of human errors during the operation of nuclear power plants(NPPs). The human aspects such as 'fitness for the duties', 'job competence and suitability', 'types of communication', 'behaviors of field workers', 'teamwork of main control room crews', 'task procedures', etc. have been investigated for improving the performance of operating personnel in NPPs. We decide to develop a set of the complementary techniques for the reduction of human errors. The set of techniques developed includes teamwork criteria, jobs fitness analysis, procedure enhancement guide, 3-way communication, campaign posters, a behavior based safety program, a procedure guideline, and a task hazard identification method for the field practitioners in NPPs. These can offer a set of significant human error countermeasures to be considered for analyzing and reducing human error in NPPs as well as other fields of industry.

Keywords: Human error, Prevention, Communication, Teamwork, Communication tools, Behavior based safety program

1. Introduction

산업전반에서 부적절한 인적 행위는 사고로 발전될 수 있는데, 특히 항공, 철도, 화공플랜트, 원자력발전소(이하 원전) 등 고신뢰도 대형 시스템에서는 사소한 인적 오류가 상당한 규모의 손실을 유발하는 사고로 발전하기도 한다. 국제원자력기구(IAEA)에서는 사고 원인 중 인적 오류의 비중이 절대적이라고 보고한 바 있으며, 한국원자력안전기술원도 원전 불시정지 사고 중 약 24%로 보고한 바 있다. 현재 원자력 분야에서는 인적 오류 방지를 위한 단기 및 중장기 계획을 추진하고 있으며(Lee, D.H., et al., 2007), 한국원자력연구원은 '인적 오류 저감기술 개발', '디지털 기기 인적 오류 분석 기법 개발' 등 연구를 통해 관련 기술을 개발 중이다.

원전의 인적 오류 대응 기술이 대체로 설계에 집중되었고, 가동 중 원전에는 사고고장의 인적 오류에 대한 사후 조사 분석체계(K-HPES) 운영이 고작이었다. 본 논문은 가동 중 원전의 인적 오류 예방을 위해 '부서 배치/업무적합성 기준', '의사소통 기법/도구', '인적 행위 개선 포스터', '팀워크 평가', '행동기반안전프로그램', '직무위험요소분석', '절차서 개선 지침' 등 현장 적용 또는 개발중인 기법을 소개한다.

Corresponding Author: Yong Hee Lee. I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, 305-353.
Phone: 042-868-2941, Mobile: 010-5500-7958, E-mail: yhlee@kaeri.re.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

2. A Technology Development for Human Error Reduction

2.1 A suitability evaluation for human resources

부서 배치 적합성 평가는 종사자의 역량을 고려한 업무 배정을 통해 인적 오류를 근본적으로 예방하려는 것으로, 효과적인 적합성 평가 방법론을 마련하여 국내 시범 적용 방안을 개발할 목적으로 수행되었다.

개인과 조직의 성격 유형과의 관련성과 성향 일치도를 기준으로 조직의 유효성, 몰입도, 만족도의 관계 및 조직 진단, 개발, 인사/심리 분야에서 활용 가능하도록 개발된 조직 성격 유형 측정 척도인 OPTI(Organizational Personality Type Indicator)를 활용하여, 근로자의 부서 배치의 적합성 관리 방안을 모색하였다(O'Reilly, 1991; Yoo T.Y., 1999; KOSHA, 2006). 조직의 성향과 팀 관리책임자의 성향과 개인 성향의 관련성을 검토한 후 시범 적용에 필요한 변수를 추가 분석하여 부서 배치의 적합성 평가 관리에 실무 적용성을 확보하였다. 종사자의 직무스트레스 분석 결과, 조직 및 팀 관리책임자의 성격 유형과의 불일치가 개인의 직무스트레스 증가에 어느 정도 영향을 미치나 완전한 일치가 바람직하지는 않은 것을 확인할 수 있었다. 또한 직무스트레스의 하위 8개 관리 영역에 대한 개별적 영향이 관리 가능하다는 것이 확인되었다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 평가대상, 평가시기, 평가 기준 등 원자력발전소 특성에 맞는 부서 배치 적합성 관리 방안을 제시하였다. 제안된 방안은 개인의 성향이 조직 또는 관리책임자 성향과의 적합성 및 그 차이로 인한 스트레스 정도를 비교한 것이며, 조직 내 직무 유형, 구성원들과의 관계, 근무 지속시간 등은 고려하지 않았다. 또한 시범 평가 과정에서 직업심리검사 결과와 비교할 필요성을 발견하였다. 제안한 방안의 현장적용을 위해서 직업심리검사를 함께 고려하고 변수를 추가할 예정이다.

2.2 A development of job suitability criteria

종사자의 직무 인적 오류를 예방하고 업무 효율성을 제고하기 위하여 인간공학적 측면의 업무적합성 판단기준(FFD: Fitness for Duty)을 개발하였다. 미국의 기준(10CFR26)과 ILO 기준 및 국내 원전 종사자의 특성 및 적합성 관리 현황을 분석하여 현재 국내 원전 종사자의 인적 관리에 필요한 요소들을 도출하였다(Ministry of Labor, 2008). 선택된 관리요소는 건강진단, 정신건강, 약물 관리, 직무스트레스 관리, 행동관찰, 종사자지원, 행정조치, 업무적합성 정책위반 검토, 감사 및 교정, 피로 관리, 기록 관리 등이다. 각 관리요소의 실행은 현행 관리 업무의 특성을 반영하여, 건강관리 부서와 개별 현장 관리자로 세분화하고 현행 조직의 유동성을 고려하였다(KOSHA, 2006; USNRC, 2009). 업무적합성 판단기준을 세부 실행 지침으로 개발하여 각 업무 수행 담당자의 업무를 중심으로 개별 분리하였다.

업무적합성 판단기준은 원자력 분야 적용 대상자가 필수적으로 갖추어야 할 공통적 항목을 우선하였다. 현재 원전에서 시행중인 건강검진의 관리 항목과 적합성 관리로도 제안된 기술기준 범위를 포괄하고 있다. 그러나 직무스트레스의 관리 측면에서 요인 분석을 적용한 결과, Figure 1과 같이 일반 산업 분야에서 활용하도록 공통적으로 제안된 기준만으로는 적합성 평가에 적용하기에 한계가 있다. 직무의 재량권 및 직무 부담도를 기준으로 새로운 평가 절차 및 관리 기준을 포함한 사내 실무 기준 개발과, 평가 결과에 따른 합리적인 조치 정책을 수반하도록 보완해야 할 것이다.

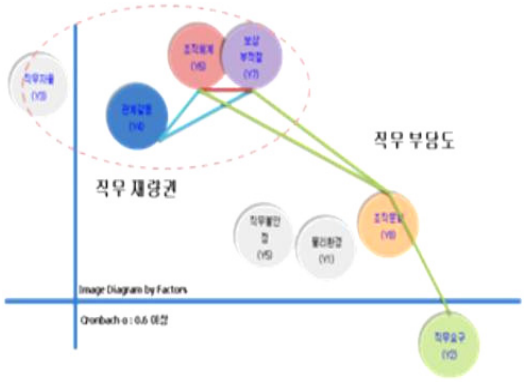


Figure 1. A factor analysis on the job-stress of the employees in NPPs

2.3 A human error analysis method for digital devices

첨단 디지털 기기를 원자력 분야에 도입하기 위하여, 디지털 기기의 사용자가 기기를 사용하는 과정에서 발생 가능한 인적 오류의 유형을 분석하고 발생 가능성을 평가하는 방안을 개발하였다. 디지털 기기의 특성상 같은 조작장치라도 조작 방법에 따라 결과가 달라진다는 것을 감안하여, 외부 물리적 단위와 조작방식을 결합한 상호작용절편(IS: interaction segment)와 오류절편(ES: error segment)으로 정의하고, 오류절편의 중첩으로 발생 가능한 유형별 오류의 목록을 도출하였다. 각 조작 상황에 따른 조작 단위와 조작 방법의 조합 및 조작 전후의 상태변화를 조사하였다. 이 때 개발 요건에 따른 인간공학적 설계 기준의 만족여부를 검토하여, 오류 가능성을 평가하는 방식이다. 예를 들면 핸드폰의 경우, '조작 및 표시방향의 불일치', '조작 결과의 일관성 부족', '진행 프로그램의 표시 부족', '화면 lock 기능 부재', '기기 설정

의 표시 부족' 등의 위험요소를 도출할 수 있다. 개발된 방법론을 직무별로 적용하면 각 수행 단계별로 가능한 오류 유형 및 유형별 위험요소를 도출할 수 있다.

현재 외부 물리적 단위를 기준으로 한 오류절편 및 가능한 오류 유형의 망라(enumeration) 방식만으로는 실제 원전에서의 작업 수행 중 발생 가능한 낮은 확률의 오류를 도출하기에는 한계가 있다. 각 외부 물리적 단위들의 연계성과 조합의 결과, 사용되는 프로그램의 속성, 직무연계관계 등을 고려한 평가 방법을 추후 개발할 계획이다. 또한 모든 가능성을 추적하기 위해 상호작용 시뮬레이션을 적용할 예정이며, 인적 오류 예방 활용 측면에서 실제 사례를 통하여 분석 항목의 유용성을 확인할 예정이다. 디지털 기기 사용시 발생 가능한 인적 오류의 검증에는 인지반응시간 및 오류 반응의 생체신호를 실험적인 평가를 통해 검증할 수 있다.

2.4 A Communication analysis

의사소통은 원자력 산업 분야에서 종사자의 원활한 직무 수행을 돕지만, 직무의 인적 오류를 유발하거나 반대로 인적 오류를 예방하는 수단이기도 하다. 종사자간의 대화 protocol 및 대화방식은 물론, 디지털 환경에서 인터페이스 설비와의 상호작용 방식 및 종사간의 협력 등 다양한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 운전원을 대상으로 의사소통 유형과 현안을 분석하고, 의사소통 도구의 효율성을 평가 및 개선함으로써 의사소통 관련 인적 오류 위험성을 예방하는 조치를 도출하였다.

상담심리, 교육, 의료/간호, 항공, 철도 분야 등 타 산업 분야에서 연구된 선행 연구를 기반으로, 의사소통 전달 방식, 전달 경로, 직무 빈도, 업무 내용, 조직 구조에 따라 의사소통 유형을 비교 분석하였다(Manss, V. C. 1993). 주제어실 내 운전원 간의 의사소통은 물론 현장 운전원 및 지원부서 간의 의사소통 유형이 직무 오류와 밀접한 관계가 있었다(Kettunen, J., 2000). 현재 원전에서는 업무의 명시적이고 절차적인 수행이 강조되며, 과정에서 반복된 재확인을 요구하는 3-way communication을 확대 시행하고 있다. 원전 운전원의 의사소통은 단순하게 단방형, 쌍방형, 분산형 등 세가지 유형으로 분류할 수 있다. 의사소통은 주체와 대상에 따라 다른 특성을 나타내므로 [주제어실 운전원 vs. 주제어실 운전원], [주제어실 운전원 vs. 현장 운전원], [주제어실 운전원 vs. 지원부서] 등 3그룹으로 나누어 관측, 설문, 면담 조사를 실시하였다. Figure 2는 주제어실 운전원의 의사소통 구조를 간단히 나타낸 것으로, 운전조 또는 리더에 따른 의사소통의 집중/분산도를 상대적 척도로 평가할 수 있다.

의사소통 현황을 파악하고 유형을 분석하여, 권장되는 의사소통 유형 및 도구를 제시하였으며, 의사소통 도구의 인적

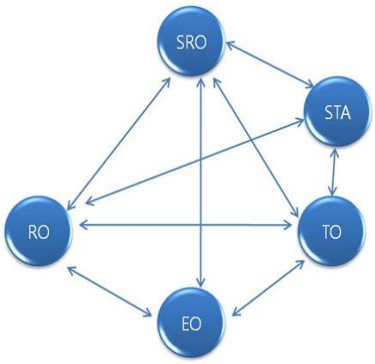


Figure 2. Basic communication structure of operators in main control room

요인을 분석하여 인적 오류 측면에서 적합성을 개선하였다(Rubin, R. B., 1991). 원전 주제어실에서는 기기 및 계통 운전 이외에 시험 및 정비 등의 업무를 수행하는데, 이때 운전원은 직접 대면한 구두 의사소통보다 공간적으로 떨어진 곳에서의 업무 수행을 위하여 다양한 의사소통 수단을 이용한다. 현재 원전에서는 안전성을 고려한 제약으로 가동 중 무선 통신기구의 사용은 제한되어 있어 주로 유선 통신기구를 사용하고 있다. 본 연구에서는 ERP에 의한 업무 수행을 전제로 두고, 그밖의 의사소통 도구를 사용하여 보조적인 의사소통을 수행할 때 발생하는 문제를 파악하였다. 의사소통 문제의 원인을 검토하여 오류 가능성 수준을 평가하고, 통신 도구의 개선 등 대안을 제시하였다.

의사소통의 효율성 분석을 위해 DOE-STD-1031-92와 USNRC IP-71841에 기반한 의사소통 속성과 형식 측면에서의 평가뿐만 아니라 3가지 유형별 및 구조에 따른 평가를 병행하였다. 의사소통의 효율성은 다양한 매체, 내용, 방향성 등 직무와 관련하여 올바른 수단을 사용하여 정확하게 내용과 의미를 전달하는 것인데, 원전에서 요구하는 효율성은 오류를 배제하는 것이 우선적이다. 전달자와 수신자 모두 정보의 왜곡 또는 누락 없이 업무에서 요구되는 내용을 의사소통을 통해 만족하는 것으로 평가하였다. 다음 Figure 3은 의사소통 도구와 관련하여 발생 가능한 원인, 전달 과정에서의 오류, 불편 사항을 분석한 것으로, 이를 기준으로 도구 측면에서의 의사소통 개선 방안을 도출하였다.

의사소통은 개인적 성격, 유형 및 선호, 의사소통방법, 문화적 배경, 조직 구조 등에 따라 기본 의사소통 구조는 물론 수행도 수준과 형태가 달라질 수 있다(Canale, M., 1980, Downs, C.W., 1977). 따라서 더욱 다양한 관점에서 주된 관심 사항을 기반으로 원전 종사자들의 의사소통 유형을 학제적으로 분석할 필요가 있다(Oh, Y. J., et al., 2010). 운전원의 의사소통 유형은 정보의 목적에 따라 다르게 분류되어야 하며, 적절한 구조 개발 및 훈련을 통해 운전원이 의사소

통의 특성과 흐름을 정확히 인식하도록 해야 한다. 뿐만 아니라 의사소통에서는 도구의 영향이 크므로, 도구의 계속적인 개선을 통해 현장의 효율적인 의사소통을 확보해야 할 것이다.

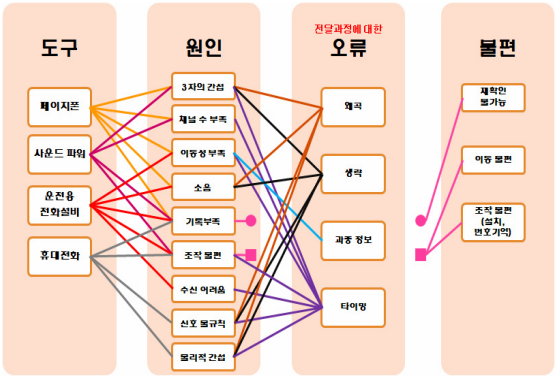


Figure 3. Usage analysis of communication tools and channels

2.5 Human error reduction campaign posters

안전에의 관심유발, 안전의식 고취를 목적으로 하는 포스터 개발을 위하여 인적 오류 유발인자 항목을 선정하였고, 선정된 유발인자 별 사례를 2개씩 선정하였다. 또한 포스터 샘플의 제작 과정을 통하여 검토 과정을 거쳐서 최종 포스터 30종을 개발하였다.

포스터의 인적 오류 유발인자로 업무요구, 작업 환경, 개인 능력, 인간본성의 분야별 7~8씩 도합 30개의 항목을 선정하였다. 유발 인자별로 관련 실제 현장 사례를 각각 2개씩 도출하였고, 이메일(e-mail) 활용 보급에 적합하도록 사례를 재구성하였다(Lee, Y. H. et al., 2007, INPO 2006). 포스터 문구는 기본적으로 헤드카피와 바디카피로 구성되는데, 여러 후보(안)의 관련자 검토를 거쳐 포스터의 이미지 부합하는 문구를 선정하였다. 포스터 적극적 활용을 위해 포스터 도안, 포스터 주제, 핵심이미지, 오류유발인자 설명, 사례1, 사례2로 구성된 이메일 활용 양식을 별도로 개발하였다.

Figure 4에서 보는 것처럼 이전 인적 오류 포스터는 제목, 삽화, 작업 상황, 문제점, 예방 기법의 일정한 구성 양식을 갖춘 정보 포스터(사례 전파, 계몽적)로 불릴 수 있다(Lee, Y. H. et al. 2009). 물론 구체적 정보명시, 정보량 확보, 이미지와 문자의 복합형태 측면에서 장점이 있으나 관심/시인성 급격저하(동일한 양식 문제 등), 정보전달 부담작용 등의 단점도 내포하고 있다. 일정한 레이아웃과 개성 없는 일러스트레이션으로는 효과가 떨어지므로 차별화하였다. 또 대부분의 사람들이 문자보다는 일러스트레이션이 많은 포스터와 여백이 많고 단순하고 명료한 시인성 우선 형태를 선호한다는 측면에서, 정보적인 측면보다 흥미를 유발하도록 개선된 30종의 포스터를 개발하였다. 종사자 수용성에 우선할 뿐 아니라 잠재 오류의 항목별 직접적인 정보전달 보다는 비쥬얼 개성 확보에 주력한 경고와 정보 결합형 이미지 포스터로 종사자의 흥미 유발시키도록, 독특하고 개성 있는 일러스트레이션으로 인적 오류 방지에 대한 인식을 높이는 impact 강화와 시각적 효과 및 독창성 부각시켰다. 개발한 30종의 포스터 중 하나를 Figure 4에서 예시하였다.

포스터 제작 및 게시와 별도로 효과 향상 활동을 고려한 이메일링 서비스 방법을 우선 개발하였다. 앞으로 포스터 경연 전시회, 포스터 티셔츠, 디지털 포스터, 인적 오류 교육자료 등 다양한 인식 확대 활동프로그램을 제안하였다. 현재 포스터는 원전의 안전과 관련된 인적 오류 인식 제고에 긍정적으로 기여한 것을 확인하였지만, 캠페인 포스터의 연속적인 개발 및 인식 확대 프로그램의 접목이 필요하다.

Figure 4. Two types of human error campaign posters

2.6 A teamwork evaluation of main control room crews

현재 원자력 분야에서의 의사소통에 관한 연구는 비교적 활발히 이루어지고 있으나 의사소통을 요인의 하나로 포함하는 팀워크 관련 연구는 매우 미비한 실정이다. 팀워크 평가에 영향을 주는 기술 현황으로는 주제어실 특성의 첨단화에 따른 변화와 인적 오류 예방 기법과 같은 현장 안전 기법의 활용을 들 수 있다. 팀워크 평가 방법은 평가 주체 별, 시점 별, 수단별로 분류할 수 있고, 자기 평가, 상호 평가, 팀 평가, 제3자 평가, 조직 평가, 상황(직무)별 평가, 사후 평가, 교육시점 평가, 과제 평가, 관측 지표, 직접 측정 지표, 종합 척도, 설문식 평가 등이 이에 해당된다. 원자력 산업에서 운전원을 대상으로 하는 팀워크 교육목표는 보직 별 역

할 분담 및 팀 구성원간의 정보전달, 문제점 조정 및 해결 능력, 외부 조직 또는 관리 조직과의 상호 연계 및 협력 등이라고 할 수 있다. 팀워크 측정 지표는 평가 항목은 방사선 비상 및 기술지침서, 안전성 유지, 의사소통, 긴장감 관리, 팀 단결력 및 리더십, 갈등 해소의 6개 항목으로 구성되며, 세부평가기준은 30개의 항목으로 구성되어 있다. 그러나 팀워크 측도와 수행도 기반의 측도가 혼재되어 있어 팀워크 평가에의 노이즈를 증가시킬 우려가 있으므로 수행도와 분리하여 적용하는 것이 바람직하다(DOE, 1997). Figure 5에서 보는 것처럼 팀워크 평가의 선행 연구 검토, 평가 방법 검토 및 대안을 검토하고 타 산업과의 비교 분석 및 현안에 대한 면담설문 조사를 통하여, 평가 방법의 개선안을 도출하였다. 개선안은 전문가 평가 및 타당성 검토를 거쳐 최종안을 제시하였다. 개선된 지표와 각 지표별 평가 기준은 Table 1과 같다. 개선된 측정 방법은 총 21항의 팀워크 측정 세부 지표로 구성되며, 정성적 평가에 적합하고 적용 효과가 높은 등급화 배점 방식을 채택하였다. 평가 지표의 대표성, 객관성, 측정 가능성 충족과, 평가의 정확성과 객관성 및 교육훈련 연계성에 중점을 두어 별도로 검증과정을 거쳤다. 현재 적용되는 점수제는 항목별로 세밀하게 차등 평가를 할 수 있으나, 현실적으로 팀워크의 차이를 항목별 점수로 정확하게 표시하기가 힘들고 오히려 평가의 개인차 및 일관성 유지에 부담을 주기 때문에 구간 채점 형태인 등급제를 개발하고 평가 결과에 따른 훈련 항목과 연계되도록 하였다. 향후 연구에서 측정 지표의 타당성과 적합성을 위하여 여러 다른 평가 방법과의 비교 분석을 포함한 측정 지표의 검증이 필요하다. 또한, 교육훈련 요건 및 학습 목표, 지속적인 피드백과 연계한 팀워크 교육훈련 프로그램을 개발할 예정이다. 나아가 발전 분야에서 더 확대하여 한수원 전체 조직 문화의 측면에서 고려할 때, 조직 문화의 연구 방향은 문화적 차원의 지수가 적용될 수 있으며, 관련하여 조직 문화를 파악하고 꾸준히 개선해 나아가야 한다.

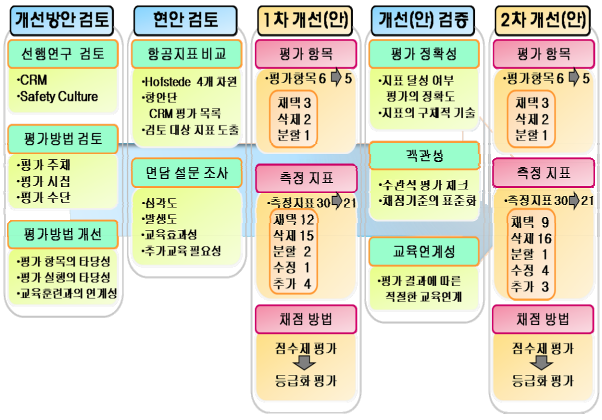


Figure 5. Improvement of teamwork evaluation indicators

Table 1. The proposed index of training evaluation to MCR crews

측정 지표	평가 기준
의사소통	간단하고 명확한 의사전달
	의사소통재확인기법 활용
	의사소통 과정에서의 feedback mechanism 유지
	비정상 상황 하에서도 효과적인 의사소통 유지
긴장감 관리	적극성을 띤 자세로 팀 의사결정에 관여
	효과적인 방법의 정보교환
	긴장된 상황 하에서도 수행능력 유지
	긴장을 가중시키는 환경조건
	긴장을 가중시키는 행동
팀 단결력 및 리더십	팀 구성원의 조언 활성화 및 합리적인 수용
	책임소재, 역할분담의 명확성 및 통솔체계 확립
	업무교류 중 개인 신념 장려
	팀의 가치기준, 태도 및 신념의 표출 확산
	팀워크를 저해하는 개인특성을 확인하는 개인평가수행
	운전상황과 발전요원 능력에 맞는 적절한 지시
	팀 효율성 극대화를 위한 유연한 리더십 발휘
	개인 욕구 충족을 위한 동기 부여
갈등 해소	개인별 갈등에 대한 SRO의 인지 여부
	갈등 발생 예방을 위한 조치 수행 활동
	갈등 발생시 즉시 해결을 위한 노력
	전체 구성원의 결정사항 수용 및 동참

2.7 A behavior based safety program for NPPs

발전소 종사자가 준수해야 할 현장의 인적 오류 예방 기법을 평가하여, 이미 도입된 인적 오류 예방 기법의 활용 및 효과를 활성화할 수 있는 실천적 개선 방안으로 원전의 행동기반 안전 프로그램(일명, Nuclear-BBS)을 개발하였다. 현재 국내 원전에 도입된 인적 오류 예방 기법은 Table 2와 같이 자기진단(self-check), 동료점검(peer check), 동시확인(concurrent verification), 의사소통 재확인기법(3-way communication), 사전점검(first check), 인식표 부착(flagging), 운전방벽 설치(operational barriers), 작업중지(OOPS, Out-side Of Procedure, Parameter or Processes Stop), 절차서 준수(procedure use and adherence), 작업전 회의(pre-job briefing) 등이다. 이는 해외 전력사의 경험을 기반으로 긴급하게 도입되었는데, 절차서의 기법 내용에 번역 등의 오류 및 행동과학적 측면에서 고려가 부족하여 기법의 현장 활용도가 낮고 인적 오류 예방 효과를 기대하기

Table 2. Current techniques for human error prevention in NPPs

인적 오류 예방 기법	개요 및 특성
자기진단 (Self-Check)	직원 개개인이 세부 항목에 대한 주의력을 집중시키기 위해 분명하게 판단하고 기기를 조작하는 인적 행위 기법. STAR(Stop, Think, Act, Review)라고도 부른다. 원전의 정비, 운전, 시험관련 작업 활동에 적용되며 자기진단은 일정거리에서 관찰자가 인지할 수 있도록 분명하게 수행한다.
동료점검 (Peer Check)	기기 조작 및 정비 작업 시 대상 기기에 대한 충분한 지식을 보유한 동료직원으로부터 점검을 받는 방법. 동료점검 자는 조작자의 행위가 올바르게 수행되고 있는지를 시각 및 청각적으로 확실히 인지시켜 주어야 한다. 확인 기법을 사용하는 기기 조작 및 작업 항목에는 적용하지 않는다.
동시확인 (Concurrent Verification)	발전소 안전 및 출력에 즉각적인 영향을 미칠 수 있는 중요 기기 조작 및 정비 작업에 대하여 충분한 지식을 보유한 두 명의 직원이 동시에 절차를 확인 후 기기 조작 및 작업을 수행하도록 하는 기법. 절차서 또는 작업계획서의 동시 확인이 요구되는 항목은 사전에 명시되어야 한다.
독립확인 (Independent Verification)	조작자가 우선 기기배열을 수행 후 별도의 직원이 인적 실수 유무를 확인하는 방법. 오조작의 결과가 발전소 안전 및 출력에 즉각적인 영향을 미치지는 않으나, 일정시간 경과 후 과도 상태를 유발할 수 있는 기기조작 및 작업 항목에 적용한다. 절차서 또는 작업계획서의 독립확인이 요구되는 항목은 사전에 명시되어야 한다.
의사소통 재확인기법 (3-Way Communication)	발전소 운전변수 정보교환 및 기기 조작 시 전달자 지시 사항에 수신자의 응답 상태가 일치한 경우에만 다음 절차 수행 및 기기 조작을 승인하는 인적 오류 예방 기법. 간결하고 명료한 언어로 지시하며, 수신자가 정확히 이해하고 있는지를 확인한다.
사전점검 (First Check)	기기조작 전 작업 전 회의(Pre-Job Briefing)의 내용과 현장기기 상태가 일치한 지를 점검하고 그 결과를 주제어실 및 작업감독자에게 전달하는 방법.
인식표 부착 (Flagging)	조작 대상 스위치 및 기기에 정확한 구분과 식별이 용이하도록 표식을 부착하여 오조작을 방지하는 인적 오류 예방 기법.
운전방벽 설치 (Operational Barriers)	조작대상 기기의 인접한 위치에 동일 기능 및 모습이 유사한 기기가 있는 경우 방지커버 등 물리적인 격리를 통해 오조작을 방지하는 인적 오류 예방 기법.
작업중지 (OOPs, Outside of Procedure, Parameter or Processes Stop)	기기 조작 및 작업 수행 중 절차서 오류 발견, 비정상적인 운전변수 변화 및 경보 발생 등 예상과 다른 상황 발생 시 필요한 안전조치 수행 후 모든 작업을 중지하고 담당부서장에게 보고하는 인적 오류 예방 기법.
절차서 준수 (Procedure Use & Adherence)	발전소 안전 및 효율적인 업무 수행을 위해서는 절차서 및 작업계획서를 준수하여야 한다. 절차서 사용 중 불확실한 내용이 확인될 경우에는 임의 판단을 배제하고 관련 지식을 보유한 직원에게 자문을 구하여야 한다.
작업 전 회의 (Pre-Job Briefing)	발전소 안전 및 출력 운전에 영향을 미치는 운전, 시험 및 정비 작업 시 업무 수행자 전원이 참여하여 업무 수행의 목적과 주요항목, 역할과 책임, 인적 실수 발생 요소 및 방지 수단 등을 설명, 토의함으로써 성공적으로 업무가 완수될 수 있도록 하는 인적 실수 예방기법.

는 곤란한 실정이다.

현행 기법을 검토한 결과, 기법 활용 요령 중에 추상적이고 모호한 부분, 교육시간에 활용이 어려운 기법, 이론 중심의 교육훈련, 교육자의 자격 강화 등의 개선점을 도출하였다. 따라서 전반적인 교육 체계를 행동과학 전문가나 인간공학 전문가가 주재하도록 하고, 국내 산업에서 상대적으로 효과적인 것으로 경험된 위험예지훈련 및 지적 확인 기법 등을 원전에 도입하는 행동기반 안전 프로그램을 제시하였다. 또한 프로그램의 실행에서 모든 교육 내용은 현장에서의 작업 절차와 동일한 방식을 원칙으로 할 것 등 실무적인 개선 방안을 제시하고 몇 가지 시범 사례를 개발하였다.

행동기반 안전 프로그램에는 실습 중심, 행동 중심, 참여 원칙, 동일 원칙 등 4가지 원칙을 유지하도록 했는데, 세부 교육 내용은 원전 현장에서의 실제 작업 절차를 기본으로 개발하도록 하였다. 현재 교육되는 내용 중 외국에서 입수한 관련 동영상은 국내 제작되어야 하는 등 교육 프로그램의 세부 내용 자체가 국내 원전의 현장에서 접하는 상황과 완전히 동일하도록 준비되도록 하였다. 이는 행동기반 안전 프로그램의 교육 내용이 현장 상황과 유사할수록 효과적이라는 사실은 이미 잘 알려져 있기 때문이다. Figure 6은 행동기반 프로그램의 훈련 시트(sheet)를 예시한 것이다.

작업장에서 벌어지는 상황을 Figure 4와 같이 한 장의 시트로 만들거나, 혹은 짧은 길이의 동영상을 만들어 제시하되, "다음 그림(동영상)중에서 문제점을 찾아 지적하십시오"라는 코멘트보다는, "다음 그림(동영상)을 보시고 난 후, 교육을 진행하도록 하겠습니다" 등의 언급으로, 따로 교육생들의 주의 수준을 높이는 일 없이 평소 자연스레 진행되는 문제점 인식을 발굴해 내도록 실행방안을 강조하여 개발하였다.

제안된 기법은 원자력 분야에서 활용될 수 있도록 실무 절차를 다듬을 예정이며, 구체적인 사례도 계속 개발할 것이다. 현장위험예지훈련, 지적 확인, 터치앤콜이 효과적인 방법이

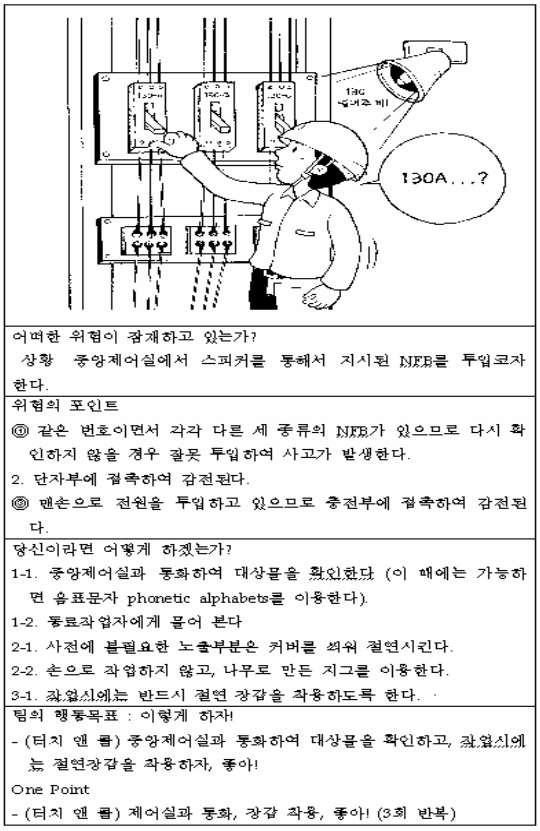


Figure 6. An example of a behavior based program

기는 하지만, 모든 상황에서 다 쓸 수 있는 것은 아니다. 효과적인 대상 여부를 선별하도록 현장 작업자들의 의견을 중심으로 모든 후보를 상세히 검토하며, 개별 정비 작업의 특성에 맞는 적용방식 및 예방대책의 내용도 추가로 개발해야 한다. 특히 행동기반 안전 프로그램의 도입 초기에 정착을 위해서 적극적인 관리 지원이 필요하다. 지속적인 개선 효과를 확보하기 위해, 도입된 프로그램의 장기적인 유지 관리 및 update 체제를 도입하여 해당 작업장의 고유성 및 종사자의 인지 특성 등을 고려한 점진적인 개선을 추진할 예정이다. 이를 위해 KOSHA 18000, OHSAS 18001 등 상위 안전관리체제와의 결합방안도 검토하였다.

2.8 Periodic inspection procedures in NPPs

주제어반 및 현장 제어반과 관련 기기의 주기점검 절차서에 인간공학적 측면을 부각하여, 전문적인 현장설비/인터페이스 점검 관리 절차서를 도입하였다. 또 소음, 조명, 진동 등 작업 환경 점검 방안을 제안하였다. 현재 원전의 기기 점검에서 부족한 일부 인적 요소 점검 항목을 기기별로 명시하여, 주제어실 및 현장 제어반 주기점검 지침을 개발하였다. Table 3은 주제어실 및 현장 제어반 인터페이스(MMI) 중 점검 관리의 대상 제어장치의 분류를 예시한 것이다.

점검 항목별로 실효성 있는 기술기준과 점검방법을 제안하여 점검 업무를 개선하였다. 소음, 조명, 진동 등 작업 환경에 대한 주기점검은 물리적 제한 기준은 물론 종사자의 쾌적성 기준을 추가하였다. 작업 환경의 세부요소 별로 쾌적성 기술 기준 및 평가 지침을 추가하고, 개인별 영향을 연계함으로써 종사자들의 부담이나 인적 오류를 야기할 수 있는 환경 조건을 적극적으로 대응할 수 있도록 하였다. 청각 및 시각적 부담은 종사자의 감각 손상을 대비하여 점검하며, 건강검진과 연계하는 절차를 제시하였다. 직접적인 위반 조건 점검에서 종사자 측면에서의 예방을 제안한 것이다. 또 환경요소 별로 실적 및 경험 기반의 점검주기 관리 논리를 개발하여 불필요한 부담을 줄이도록 제안하였다.

Table 3. A classification of devices for periodic surveillance

분류	상세분류(타입)
위치표시 제어기	2램프2위치 회전제어기−Key lock type
	2램프2위치 회전제어기−Pistol grip type
	2램프3위치 회전제어기−Pistol grip type
	2램프4위치 회전제어기−Pistol grip type
	3램프3위치 회전제어기−Pistol grip type
	3램프4위치 회전제어기−Pistol grip type
핸드 스위치	2위치 회전제어기−Key lock type
	2위치 회전제어기−Pistol grip type
	3위치 회전제어기−Pistol grip type
	4위치 회전제어기−Pistol grip type
	5위치 회전제어기−Pistol grip type
선택 스위치 (회전식)	2위치 회전형 선택스위치−Rotary type
	3위치 회전형 선택스위치−Rotary type
	4위치 회전형 선택스위치−Rotary type
	다중위치 회전형 선택스위치−Rotary type
버튼 제어기	1위치 Push 버튼
	1램프3위치 Push 버튼
	1램프4위치 Push 버튼
	1램프 Push 버튼
	1램프 2위치 Push 버튼
스틱 제어기	조이스틱 제어기
디지털 제어기	M/A station
	터치스크린(touch screen)
기타 제어기	keypad, trackball, keyboard, mouse

2.9 Prevention program of human error in KHNP

원전에서는 인적 오류 예방을 위하여 '인적 실수 예방 기법'이라는 수첩을 활용하여, 현장 종사자들에게 작업 과정에서의 실수를 예방하는 현장 기법을 활용하고 있다(Figure 7). 인적 실수 예방 기법 수첩에 제시된 목표는 다음과 같다.

- 인적 행위를 향상시킬 수 있는 업무 환경을 조성한다.
- 분명한 설명, 의논, 강조를 통해 모두가 올바를 인적 행위를 이해하고 실천할 수 있게 한다.
- 부적합한 인적 행위 및 조직의 취약성에 의해 살생하는 인적 실수를 예방한다.
- 모든 직원이 적극적으로 취약점을 발굴하고 개선하는 문화를 조성하여 인적 실수 유발 요인을 제거한다.

작업의 인적 오류 예방을 위한 산업안전 분야의 일반적 기법을 원전의 업무 특성에 맞추어 Table 2와 같이 정리하고, 협력업체에 이르기까지 적극적으로 보급하고 있다.

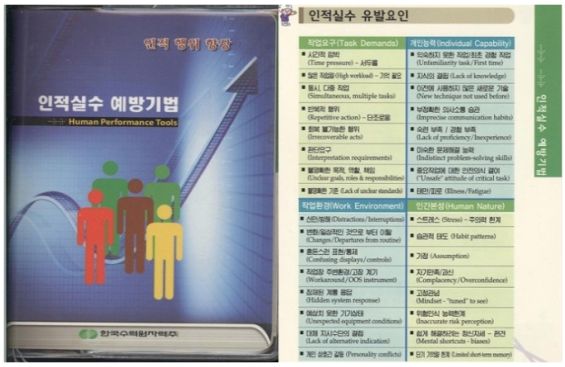


Figure 7. A human error prevention program

2.10 Enhancement of the procedures in NPPs

원전에서의 절차서는 원전 운영에 필요한 업무들의 세부 수행 내용을 순차적 구조로 기술한 문서로서, 거의 모든 업무들이 절차서화 되어 있을 정도로 원전에서 업무 수행의 절차서에 대한 의존도가 높다. 또 Table 4에서 보는 바와 같이 그 종류가 다양하다. 원전에서 사용하는 절차서의 종류가 다양하고 직무 수행에서 절차서에 대한 의존도가 높기 때문에 절차서의 철저한 작성 및 면밀한 유지 관리를 위해 절차서 관리 절차를 적용하고 있다. 그러나 일부 직무에서는 절차서의 결함에 의해 발생하거나 절차서에 의해 예방해야 할 인적 오류 사례가 발생하고 있다.

Table 4. Types of procedures used in NPPs

명칭	주요 내용
정상운전절차서 (General Operating Procedure: GOP)	발전소의 기동 및 정지와 관련된 운전 절차서
계통운전절차서 (System Operating Procedure: SOP)	각 계통(system)의 기동 및 정지 등 운전절차서
비정상운전절차서 (Abnormal Operating Procedure: AOP)	비상운전절차서가 적용되지 않는 발전소 이상 상태 시 운전원 조치사항 기술한 절차서
비상운전절차서 (Emergency Operating Procedure: EOP)	발전소 과도 상태 또는 사고 발생 시 안전해석 등에 근거하여 필수안전변수 복귀를 위한 절차서
경보절차서	경보발생에 대응하기 위한 절차서
시험 및 정비절차서	정주기 시험 및 정비 등과 관련된 절차서
기타	기술행정절차서 기타(임시 절차서 등)

비상운전절차서는 직접 원전의 안전 유지조치와 기능을 다루기 때문에 개발, 작성, 확인, 검증, 교육훈련, 사용, 폐기 등 절차서 전체의 수명주기(life cycle) 각 단계별로 관리지침들을 적용하여 철저히 관리하고 있다. 반면, 비상운전절차서 이외의 절차서는 상대적으로 인적 요소의 관리는 물론 체계적인 인적 오류 대응이 미흡하였다. 따라서 발전소 직무 중 거의 매일 발생할 정도로 직무 수행 빈도가 높은 시험 및 정비 절차서에 대하여 직무 수행 시 애로요인으로 작용할 가능성이 있거나 개선이 필요한 부분을 도출하였다. 또한, 절차서를 기반으로 인적 오류에 대비할 수 있는 상세한 개선 방법을 제시하였다. 아차 사례(near miss)와 절차서 수행 경험, 안전성 평가 및 운전이력 등을 반영하여, 시험 및 정비 절차서에서 인적 오류 대응이 필요한 항목을 결정하였다.

특히, 이미 수행된 주기적 안전성 평가(Periodic Safety Review)의 절차서 검토의견 및 반영 결과를 재분석하였다. 국내 가동중인 총 6개 발전소 11개 호기의 가동 중 원전에서 기존의 절차서 평가 결과를 재분석하여 개선이 필요한 항목 및 개선 방법을 결정하였다. 이는 원자로 유형별로 인적 오류 관련 개선 항목 및 개선 방법에 약간 차이가 있기 때문이다. 시험 및 정비 절차서와 관련된 총 350개의 평가 사례를 약 80개의 유형으로 분류하여 제시하였다. 그 중 기존의 절차서 작성 절차로 관리되어 있지 않거나, 그 내용이 미흡한 37개의 항목을 선별하여, 개선 방법을 지침으로 제시하였다. Table 5는 절차서 개선이 필요한 37개의 유형을 10개의 분야로 분류한 것이다.

또한 시험 및 정비 절차서의 실무 수행 경험과 관련해서 기존에 발생하였던 아차 사례를 분석하였다. 현장에서 직무

Table 5. Human factors items for writing test and maintenance procedures

분류 항목	요건 항목
계산관련	• 가능하면 종사자가 직접 계산을 수행하지 않아도 될 정도의 참고자료를 제공해야 함
문장 기술	• 종사자의 조치나 행위를 요할 때에는 해당 MMI 기기의 확인이나 취해야 할 행위 등 구체적인 방법을 기술해야 함 • 시험주기가 2가지 이상일 경우에는 각 주기를 별도의 절차서로 기술해야 함
연결문서 및 참고자료	• 절차서 본문에서 첨부 및 붙임을 참조해야 하는 경우, 해당 첨부 및 붙임의 번호와 제목을 표기하도록 해야 함 • 판정 기준 등과 같이 절차서 수행상 중요한 정보를 제공하는 참고문서는 해당 부분을 발췌하여 수행 절차서에 첨부해야 함
설정치 및 변수 표기	• 변수의 범위를 표시할 때에는 구체적 구간으로 표시해야 함(85~95% 등).
시험 결과 판정 기준	• 시험 결과를 만족하는지의 여부를 판단할 수 있는 자료를 첨부해야 함
용어/심볼	• 절차서에 사용된 용어의 목록 및 정의를 제공해야 함
MMI	• 기기의 상태를 확인해야 하는 경우, 종사자가 확인해야 할 대상 MMI 기기가 구체적으로 어떤 상태인지 기술해야 함 • 상태를 나타낼 때에는 구체적인 대상이 되는 기기를 명시해야 함
조건	• 어떤 조건이 주어졌을 경우, 그 조건에 대한 만족여부를 판단할 수 있는 방법을 기술해야 함
단위	• 통상적으로 많이 사용하는 단위를 사용해야 함
자격	• 시험 수행 시 필요한 시험요원의 자격요건은 표준기행에 기술되어 있다 하더라도 시험 절차서에도 구체적 자격요건 기술해야 함

수행 시 절차서에 따라 수행하였지만, 절차서를 통해 전달된 직무 수행 방법의 실천적 문제점 등으로 인하여 애로사항이 발생한 아차 사례들을 중심으로 분석하였다. 2003년부터 2008년도 사이 발생하였던 총 433건의 아차 사례 중에서, 시험 및 정비 업무와 관련된 50건의 아차 사례를 간단한 보고서와 원전 운영 경험자의 전문가 의견을 기반으로 문제점 및 가능한 원인(즉 위험요소)을 도출하였다. 도출 항목의 인적 오류 관련성과 수행 방법을 고려하여, 해당 절차서의 개선 가능성 및 예상 효과를 검토하였다. 이러한 분석 결과를 기반으로 시험 및 정비 직무 수행과 관련된 인적 오류의 방지에 중요한 절차서 개선 항목을 총 12개 분류에 28개의 세부 요건 항목으로 도출하였다. Table 6은 시험 및 정비 절차서의 개선 항목(부분)을 나타낸 것이다.

2.11 Human error hazard analysis for tasks in NPPs

직무 애로요인은 발전소 종사자들이 직무를 수행하는 과정에서 수행도를 저하시키는 어려움을 경험하게 하거나 직무 수행의 실패를 유발시키는 직무와 관련된 특성 및 요인들을 의미한다. 원전에서는 거의 모든 직무가 절차서를 기반으로 수행되고 있기 때문에 절차서 기반의 직무 분석에 의하여 직무 애로요인을 도출하는 것이 효과적인 접근 방법이라 할 수 있다. 가동 중 원전의 주요 직무에 대하여 직무 수행과 관련된 애로요인을 도출하여 지속적으로 대책을 수립하도록, 원전 직무의 인적 오류 위험성 평가(human error hazard identification) 실무 기법을 개발하였다.

Table 6. Human factors items for execution of test and maintenance procedures(part)

분류 항목	요건 항목
작업 전 미팅을 통한 확인	• 작업 전 미팅을 통하여 발생 가능한 부적절한 행위들에 대한 사전확인 필요
시험 중 예상치 않은 상황에 대한 대처	• 이상상황에서는 혼자 판단하지 말고, 동료점검 등을 통해 협의하여 조치 사항을 결정하도록 해야 함
다수채널 시험, 다수 기기 시험, 다수 직무수행	• 다수의 시험직무 수행완료 후에는 각 시험에 대하여 독립확인에 의하여 누락된 절차가 없는지 확인해야 함
주제어실과 현장 협업	• MCR과 현장의 협력작업에 의한 시험 수행 시 기기의 기동/정지가 필요한 경우에는 반드시 양측의 상태를 상호 확인한 후 수행해야 함 • 주제어실과 현장의 협업에 의하여 업무가 수행되는 경우, 명확한 의사소통이 이루어져야 함
발전소 정지 등과 관련된 중요 시험 수행	• 주요시험의 경우에는 조치사항 및 직무수행 내용에 대하여 동료확인 및 동료점검 필요 • 중요단계 수행 시 관련 기기들에 대한 상태확인은 동료점검 등을 통하여 수행

원전의 거의 모든 직무는 절차서 기반으로 수행되고 있기 때문에, 원전에서 모든 직무의 애로요인은 절차서에 의하여 발생하거나 체계적으로 명시 가능하다고 가정하였다. Figure 8에서 보는 바와 같이 절차서의 각 직무 단계(step)에서 발생 가능한 애로요인 및 직무 수행 구조 및 단계간의 상관관계에 의하여 발생 가능한 애로요인 분석을 분석하는 절차서 기반 분석 단계와, 절차서 담당자/경험자와의 면담 및 경험적 평가를 통한 현장조사 단계로 구분하여 직무 관련 애로요인을 분석하는 체계를 구축하였다.

절차서 기반의 분석은 해당 직무를 수행에 필요한 절차서 문서를 기반으로 문제점을 파악하는 것으로, 분석자가 절차서의 내용을 파악하여 절차서에 기술되어 있는 내용 및 구조를 기반으로 정보를 도출하는 방법이다. 분석 과정은 절차서 수행 단계별 내용 분석, 절차서 단계간의 상관관계 및 구조 분석으로 구분하였다. 절차서의 수행 단계별 분석에서는

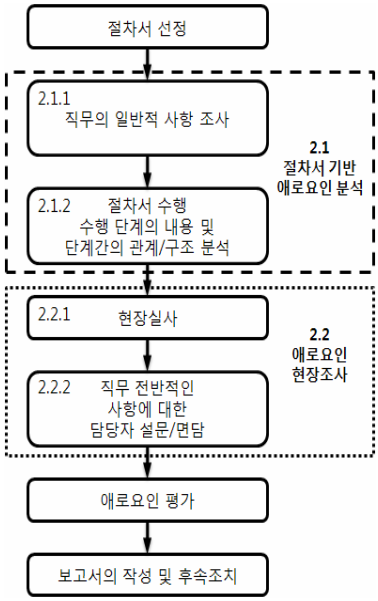


Figure 8. Analysis flow for the task bottleneck factors

절차서에 명시된 각 단계를 수행하면서 발생 가능한 애로요인 도출하기 위하여 '직무 수행 대상', '직무 수행 방법', '조건문 또는 논리연산자의 유무' 등을 조사한다. 절차서 단계간의 관계 및 구조 분석에서는 절차서에 명시된 각 수행 단계간의 상관관계 및 구조적 특성에 의하여 발생할 수 있는 애로요인을 도출한다. 예를 들면 '이전 단계의 기억 필요성', '다른 단계와의 비교', '같은 내용의 반복', '변수 구간 유지 확인', '주의 및 참고사항의 위치' 등을 평가한다.

절차서에 명시된 직무이지만 직무의 실행에서는 다수의 요인이 개입되므로, 실제 애로요인으로 작용할 수 있다. 현장의 직무 수행 환경 및 실행의 조직적 상황을 파악하여, 절차서 기반으로 파악할 수 없는 애로요인을 조사한다. 현장조사는 현장실측과 담당자 설문/면담으로 수행하되, 경험자/전문가 검토를 통해 결과를 확정한다.

현장 실사는 직접 계측기를 통해 환경요소 등을 측정하거나, 작업 상황을 직접 보고 평가하는 방식이며, 객관적 평가가 주목적이다. 면담/설문에서는 해당 직무의 전반에 대한 담당자/경험자 확인을 수행한다. 절차서 기반 조사에서 명확하지 않은 평가 항목을 담당자에게 재검토하고, 절차서 기반으로 조사할 수 없는 실무 상황 관련 애로사항을 분석한다. 애로요인의 조사 범위는 '직무관련 일반 사항', '작업방법', '교육 및 숙련도 관련', '의사소통 관련', '절차서 관련', 'MMI 관련' 등 6가지로 구분하여 분석하였다.

개발된 직무 애로요인 분석 기법을 원전 직무 사례에 적용한 결과, 다수의 직무 관련 애로요인들을 도출하였으며, 절차서의 단계별로 직접 개선 가능한 항목들을 도출할 수 있었다. 특히 해당 항목이 애로요인으로 작용하는 원인의 구조를 제시하므로 최적 개선책을 도출할 수 있었다.

3. Conclusion

원전의 인적 오류를 예방하기 위하여 부서/배치 적합성 평가, 종사자 업무적합성 판단(FFD) 기준 개발, 디지털 기기 도입에 따른 인적 오류 평가 방법 기술 개발, 인적 오류 최소화를 위한 의사소통 분석 및 도구 개선, 팀워크 평가, 인적 행위 개선 포스터 개발, 행동기반 프로그램 개발, 현장 환경의 주기점검 절차 개발, 절차서 개선지침 개발, 직무 애로요인 분석 기법 개발 등을 수행하였다. 또한 원전의 운영에 필요한 인적 요소의 기술기준 및 평가 방법은 물론 인적 실수 예방 기법 수첩 및 캠페인 포스터와 같은 현장의 활용 도구들의 개발 사례도 소개하였다. 현장의 실무를 위해 다양한 측면에서 개발된 인적 오류 예방 기법들은 시범 적용 및 검증을 거쳐 확대 적용할 예정이다.

제안된 기법들은 원자력 분야에서 실제 적용 효과를 확인하고 기법을 검증할 예정이다. 종사자의 인적 오류 예방 및 직무 안전성 향상 효과를 거둠으로써, 원전의 운영 고도화에 기여할 것으로 기대된다. 동시에 타 산업에서도 참고할 수 있을 것이다. 다만 이러한 현장 중심의 인적 오류 예방 기법들을 실행할 때 반드시 고려해야 할 과제가 있다. 고신뢰도 산업에서는 개별 적용에 상충되거나 인접한 제약조건이 필요한 경우가 많아서, 이를 조정할 수 있도록 유기적으로 잘 결합된 관리체계가 필요하기 때문이다. Figure 9는 원전의 개별 기법을 연계하도록 통합된 인적 요소 관리체계(HFMP: Human Factors Management Program)를 제안한 것이다.

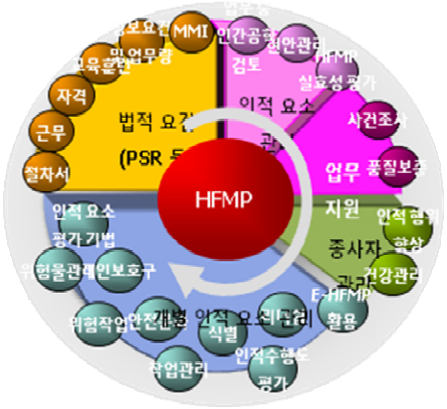


Figure 9. Overview of human factors management program (HFMP) proposed for high-reliability industry

References

Canale, M. and Swain, M., Theoretical bases of communicative approaches to second language teaching and testing, *Applied Linguistics*., 1-47, 1980.

Department of Energy, Guide to good practices for teamwork training and diagnostic skills development, *DOE-HDBK-1202-97*, 1997.

Department of Energy, U.S., Guide to Good Practices for Communications, *DOE-STD-1031-92*, 1997.

Downs, C. W. & Hazen, M. D., A factor analytic study of communication satisfaction, *Journal of Business Communication*, 14(3), 63-73, 1977.

INPO, *Human Performance Tools for Workers*(INPO 06-002), 2006.

Kettunen, J. & Pyy, P., Assessing communication practices and crew performance in a NPP control room environment, *TAU-001/00*, 2000.

KHNP, *A Near Miss Analysis Report*, ('03~'08), 2009.

KOSHA, Guidelines of Evaluation for Job-Stress Factors, "*KOSHA CODE H-42-2006*," 2006.

Kwon, S. I., et al., Development and Utilization of Posters for Human Performance Improvement, *ESK Journal*, 26, 93-97, 2007.

Lee, D. H., et al., Short-Term Human Factors Engineering Measures for Minimizing Human Error in Nuclear Power Facilities, *ESK Journal*, 25, 91-98, 2008.

Lee, D. H. Jang, T. I. and Lee, Y. H., Suggestion of a New Writers Guideline to Reduce Human Error Found in the Emergency Operation Procedures of a NPP, *ESK Journal*, 29(1), 129-138, 2010.

Lee, Y. H., et al., A Procedure Evaluation for Periodic Safety Review in Nuclear Power Plants, *KAERI/TR-2880/2004*, KAERI, 2004.

Lee, Y. H., et al., *Human Error Cases in Nuclear Power Plants: 2002 ~2007*, (in Korean), KAERI, 2008.

Lee, Y. H., et al., A Development of Posters for Human Performance Improvement in Nuclear Power Plants, *Asia Pacific Symposium on Safety*, 2009.

Manss, V. C., Nurse-physician relationships: Perceived communication competence, Master dissertation, *California State University*, Fresno, USA, 1993.

Ministry of Labor, Standard of A Checkup Implementation, *MOL Notice 2008-101*, 2008.

Oh, Y. J., et al., An Evaluation of the Communication Efficiency of the Main Control Room Operators in Nuclear Power Plants, *Proc. Of ESK2010 Fall Conf.*, 2010.

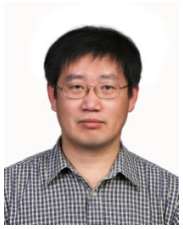
O'Reilly, C. A., Chatman, J. Caldell, D. F., People and organizational culture: A profile comparison approach to assessing person-organization fit, *Academy of Management Journal*, 34, 487-516, 1991.

Rubin, R. B., Martin, M. M., Bruning, S. S., & Power, D. E., Interpersonal communication competence, *Paper presented at the meeting of the Communication Association*, Atlanta, 1991.

USNRC, 10CFR26, *Fitness-For-Duty Program*, 2009.

Yoo, T. Y., Scale Development for Organizational Personal Type Indicator (OPTI), *Journal of Korean Psychological Association*, 12(1), 1999.

Author listings



Yong Hee Lee: yhlee@kaeri.re.kr

Highest degree: Ms, Department of Industrial Engineering, Seoul National University
Position title: Section Head, I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI)
Areas of interest: Human-Machine Interface, Human Error, Cognitive System Engineering

Tong Il Jang: tijang@kaeri.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Safety Engineering, Chungbuk National University
Position title: Senior Researcher, Division of I&C and Human Factors, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI)
Areas of interest: Human Error, System Safety, Industrial Safety

Yonghee Lee: yonghee@kaeri.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial System Engineering, Dong-A University
Position title: Researcher, Division of I&C and Human Factors, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI)
Areas of interest: Organization & Management, Human Error, Job Stress

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

Seok Ho Kang: shkang@kaeri.re.kr

Highest degree: Ms, Department of Industrial Engineering, In-Ha University
Position title: Researcher, Division of I&C and Human Factors, Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI)
Areas of interest: Human Error, MMI, WMSDs

Jong Hun Yun: jhyun@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, System Safety, WMSDs

Date Received : 2011-01-31

Date Revised : 2011-02-02

Date Accepted : 2011-02-09