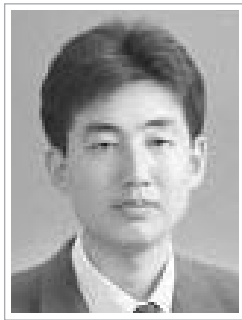


원자력발전소 인적 오류 발생 저감화를 위한 단기 대책 방향

이동훈 | 한국원자력안전기술원 계측제어실 선임연구원*



머리말

산업 시설에 대한 연구 조사 결과에 따르면, 사람이 포함된 시스템에서 발생한 사건(events)들 중 상당 부분의 근본 원인이 부적절한 인적 행위(inappropriate human behavior)로 인한 것으로 알려졌다.

예를 들어 항공 및 철도 산업에서 발생한 사건들 중 상당수가 부적절한 인적 행위 및 조직 요인(organizational factors)에 의한 것으로 알려졌으며,

외국에서 발생한 원자력 산업 시설에서 보고된 사건들 중 약 절반 정도가 부적절한 인적 행위로 인한 인적 오류와 관련된 것으로 알려졌다.

또한 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency; IAEA)에서 발행한 원전 사고 고장 원인 분석 보고서에 따르면, 사고 발생 원인으로 기계적인 원인에 의해 발생한 사건이 가장 많고 다음으로 전기적인 원인과 인적 오류에 의한 사건 발생이 많은 것으로 나타났다.

그러나 실제로는 사고 원인의 잠재성 및 처벌에 대한 거부감에 따른 사고 신고의 어려움 등을 고려할 때 인적 오류에 의한 사건이 가장 많은 것으로 예측하고 있다.

우리나라 원자력발전소의 경우 최근 5년간 원자력발전소 고장 사고의 원인 중 약 24%가 인적 오류에 기인한 것으로 보고되었다.

인적 오류에 기인한 발전소 불시 정지 발생 원인은 주제어실 및 현장 기기의 인간공학 설계 원칙 적용 미흡에 따른 시스템 설계 측면, 운전 대응 미숙, 오조작, 판단 오류, 운전원 간 의사 소통 미흡 등과

* 경희대학교 산업공학과 학사, 석사, 박사 / 한전전력연구원 MMIS실, OECD/NEA HRP 방문연구원 역임

같은 운전원 직무 수행 측면, 시험, 보수, 정비, 교정 등의 부적절한 업무 수행 및 관리 소홀, 운전 경험 반영 미비 등에 따른 발전소 운영 측면 등 세 가지 유형으로 분류할 수 있다.

이러한 인적 오류에 의한 원자력발전소 시설의 고장 사고에 대한 근본적인 예방을 위해서는 인간공학 관련 분야 연구를 포함한 인적 요소 기술을 고려한 종합 대책이 시급히 요구된다.

이상의 관점에서 본고에서는 원자력발전소를 포함한 원자력 시설에서 인적 오류 발생 가능성 최소화하기 위한 인간공학 측면에서 개선 및 추진하여야 할 종합적인 대책을 제시하고자 한다.

본고에서는 우선 시급히 이행되어야 할 단기 대책을 중심으로 제시하며, 이 대책들은 규제 기관, 산업계, 학계, 연구계에 근무하는 인간공학 분야 전문가로 구성된 대책팀에 의해 수행된 것이다.

본 대책팀은 역할 분담을 통해 총괄반과 실무 추진반으로 분리·운영하였으며, 총괄반의 경우 도출된 단기 대책안의 검토, 이행 점검 등을, 실무 추진반은 단기 대책안의 실제적인 수립을 수행하였다.

실무 추진반은 최근 5년간 발전소 고장 사고의 인적 오류 발생 원인 별로, 원자로 운영 분야, 운전원 직무 관련, 시스템 설계 관련 대책 수립 연구팀 등 세 가지 전문 분야별로 참여 전문가를 분리, 대책 수립을 이행하였다.

또한 실무 추진반은 국내외 인적 오류 예방 대책 사례 검토, 문헌 조사 등을 통해 대책을 수립하였고, 최종적으로 모든 전문가가 참여하는 대책 적합성 검토 회의를 거쳐 최종 단기 대책을 결정하였다.

인적 오류 저감화를 위한 단기 대책

원자력발전소에서의 인적 오류 저감화를 위한 단기 대책은 종사자 근무 관리 강화, 작업 환경 및 작업 방식 개선, 인적 요소 규제 기술 제고 및 향상 등 3개 분야 총 8개 사항이 수립되었다. 현재 원자력발전소에서의 현황 및 문제점을 바탕으로 수립된 인적 오

류 저감화 단기 대책의 주요 내용은 다음과 같다.

1. 종사자 근무 관리 강화

가. 운전원 신체 상태 관리 개선

현재 원자력발전소 운전 직무는 육체적 및 신체적으로 건강한 자에 한하여 참여하여 함을 규정하고 있다.

이에 대해 원자력발전소 발전부 교대 근무자는 육체적 및 정신적 상태를 년 1회 정기적으로 검진 받고 있으며, 이 결과에 따라 근무 적합성이 평가된다.

특히 약물 복용 및 정신 검진 그리고 업무 투입 전 음주 상태 확인은 발전부 교대 근무자의 근무 적합성을 평가하는 중요 요인이다.

그러나 현행 약물 복용 검사 대상 항목이 미비하여, 신종 약물 복용 가능성에 따른 운전 부적격자 확인의 신뢰성 및 실효성 의문이 제기되고 있다.

또한 2단계에 의해 진단되는 정신 검진의 경우 1차 정신 검진이 형식적인 자가 진단만으로 이행, 근무 부적격자를 최종적으로 확인하는 심층 검진, 즉 2차 검사 대상자 선정이 너무 적어 검진 결과의 신뢰성 결여되어 있는 실정이다.

음주 상태 확인도 이와 유사하여 발전부 교대 근무 투입 전 운전원 음주 상태는 체계화된 절차 및 신뢰성 있는 방식에 의해 확인되는 것이 아니라 발전부장(shift supervisor)이 형식적으로 점검하고 있어 음주에 따른 실질적인 근무 적합성 확인이 미흡하다.

따라서 피로감, 약물 검사, 알코올, 정신 건강 등 발전 정지에 영향을 주는 발전 종사자의 신체 상태 파악 및 체계적인 관리가 시급히 필요한 실정이다.

이상과 같은 현황 및 문제점에 대해 다음과 같은 단기 대책이 수립되었다.

우선 현재 약물 복용 검사를 더욱 강화하여 마약, 대마, 신종 향정신성 의약품, 알코올 중독 관련 검사 항목 보완 등 약물 복용 및 중독 검사 항목 추가를 통한 근무 적격 여부 확인 강화한다.

또한 국제 기구(WHO, ILO 등) 기준에 부합되는 정신 건강 검진 방법 수립 및 이행을 통해 근무적격 여부 확인을 강화하고자 한다.

음주 상태 확인과 관련해서는 근무 부적격 알코올 농도 기준 수립 및 음주 측정기에 의한 음주 측정 시행을 통해 교대 근무 투입 전 음주 측정을 통한 신체 상태 관리를 강화하는 것이 주요 단기 대책으로 선정되었다.

나. 협력 업체 정비 종사자 자격 관리

원자력발전소에서의 주요 시험, 교정, 보수, 정비 등과 관련된 실무는 각 전문 분야별 협력 업체 종사자에 의해 이행되고, 발전소 운영자에 의해 최종 관리된다. 따라서 협력 업체 종사자의 업무 품질은 곧 원자력발전소의 운영 신뢰성에 대한 품질을 결정하는 중요 요인이며, 이에 대한 관리는 발전소 안전에 큰 영향을 미칠 수 있다.

그러나 현재 원자력발전소의 주요 시험, 교정, 보수, 정비 등에 참여하는 협력 업체 정비 종사자 기술 능력은 관련 업체의 자체 평가 결과에만 의존한 상태로, 발전소 운영자에 의한 세부 기준 및 절차가 전무한 실정인 것으로 파악되었다.

이와 함께 설비 및 기기 -즉 원자로, 증기발생기, 비상디젤발전기, 터빈발전기 등-의 중요도에 따른 협력 업체 정비 종사자의 직종 및 등급(초급, 중급, 고급)이 세분화되지 않아, 현장 작업 투입 적격성을 판단하기 위한 기술 전문성 확인 과정이 미흡한 것으로 확인되었다.

협력 업체 정비 종사자에 대한 교육과 관련하여 인적 오류 예방 관련 전문 교육 이행 미흡하여, 정비 불량에 의한 발전소 고장 사고 발생 가능성이 다분히 잠재되어 있는 것으로 확인되었다.

이상과 같은 현황 및 문제점에 대해 다음과 같은 단기 대책이 수립되었다.

우선 설비 및 기기의 중요도에 따른 등급별 정비 종사자 투입 기준을 표준화하여 협력 업체 정비 종사자의 작업 현장 투입 기준을 표준화하고자 한다.

또한 발전소 전문 기술 직종별 정비 종사자의 전공, 학력, 훈련 및 정비 경험 등에 대한 확인 절차를 수립하고 사내외 전문 인력 활용을 통한 전문 직종 및 등급(초급, 중급, 고급)별 직종 세분화 및 평가 방법 보완, 협력 업체 정비 종사자의 전문 기술 능력 확인 절차 및 자격 관리 기준을 종합적으로 개선하고자 한다.

이러한 협력 업체 종사자에 대한 전문 기술 능력 및 자격 관리 체계화와 함께 인적 오류 사건·사고 예방 기법 및 인적 오류 발생 경험 사례에 대한 종합적인 교육을 정기적으로 시행하는 것이 주요 단기 대책으로 선정되었다.

다. SAT를 적용한 종사자 교육·훈련 개선

최근 5년간 원전 사고 고장 사례 분석 결과, 약 50%가 재발 방지를 위해 운전원 및 정비 종사자의 교육·훈련이 요구되는 것으로 확인되어 인적 요소를 고려한 체계적인 보강 필요한 것으로 확인되었다.

물론 원자력발전소 운영자는 현재에도 여러 교육 및 훈련 프로그램을 통해 발전 업무뿐만 아니라 시험, 교정, 보수 및 정비에 대한 교육 및 훈련을 다양하게 이행하고 있다.

그러나 현재의 교육 및 훈련 운영 방식은 각 해당 업무에 대해 체계화된 절차에 의해 이행되는 것이 아니라 일방적인 교육 및 훈련 과정에 의한 주입식으로 이행되고 있는 실정이다.

즉 요구되는 교육 및 훈련 수요 조사, 계획, 이행, 평가, 결과 반영 등의 활동을 종합적으로 관리할 수 있는 체계가 미흡, 종사자에 대한 교육·훈련 프로그램 내실화가 필요한 실정이다.

이상과 같은 현황 및 문제점에 대해 우선 인간공학 분야에서 널리 활용중인 SAT 기법 적용을 통한 교육 및 훈련 체계를 개발하는 것을 단기대책으로 제시하였다.

여기에서 SAT(Systematic Approaches to Training)이란 종사자의 직무에 따른 교육·훈련의 필요성, 요구 사항, 계획, 이행, 평가 등의 일련의 과

정을 체계적으로 적용하는 교육·훈련 이행 기법이다.

이에 따라 교육 커리큘럼 및 교육 지침서 등을 통한 현재 교육·훈련 체계를 종합적으로 검토하고 직무 분석을 통한 교육·훈련 상세 요건 개발, 교육·훈련 계획, 시행, 평가, 결과 반영 등을 종합적으로 관리할 수 있는 이행 절차서 개발을 주요 단기 대책으로 선정하였다.

라. 훈련용 모의제어반(training simulator) 형상 관리 및 운영 개선

원자력발전소에서의 운전 직무의 경우 각 부지별 교육 훈련 센터 내에 설치된 훈련용 시뮬레이터(모의제어반)를 활용하여 정기적으로 훈련을 수행하고 있다.

여기에서 모의제어반이 가져야 할 기능 중 가장 중요한 원칙은 훈련에서 활용하는 모의제어반은 현장 주제어실에 설치된 제어반(main control board)과 기능적 및 물리적으로 동일하여야 한다는 것이다.

그러나 조사 결과, 현장 주제어반과 훈련용 모의제어반의 물리적 형상 차이가 존재하여 전술한 중요 원칙에 위배되고 있으며, 이에 따라 운전원에 대한 실질적인 운전 훈련 효과를 기대하기 어렵다는 문제점이 도출되었다.

또한 실제 운전 환경을 반영한 실습 평가가 이루어지지 못하여 훈련의 현실감이 결여되고, 훈련 결과를 정확하고 객관적으로 평가할 수 있는 체계가 미흡하다는 것 또한 주요 문제점으로 지적되었다.

이에 따라 주제어반과 훈련용 모의제어반의 물리적 형상 차이를 규명하여 이를 개선하고, 훈련 결과 평가의 신뢰성을 보장할 수 있는 실습 평가에 대한 궁극적인 개선이 필요한 것으로 파악되었다.

이상과 같은 현황 및 문제점에 대해 우선 전 발전소에 설치된 훈련용 모의제어반 형상 관리 실태 조사를 통해 주제어반과 모의제어반에 대한 물리적 형상 차이를 개선하는 것을 단기 대책으로 도출하였다.

또한 긴급한 운전 상황 및 현실감을 반영한 실습

훈련 방안을 수립하고 훈련 평가 요원 확충을 통한 평가 결과의 신뢰성 확보 방안 마련, 운전원 실습 평가에 대한 종합적인 운영을 개선하는 것을 주요 단기 대책으로 선정하였다.

2. 작업 환경 및 작업 방식 개선

가. 현장 작업 환경 및 작업 방식 개선

발전 직무, 시험, 교정, 보수 및 유지, 정비 등이 이루어지는 현장에서의 소음, 조명, 온·습도, 작업 공간 등 작업 환경은 발전소 운영 품질에 지대한 영향을 미칠 수 있는 요인으로 지목되고 있으나 현재 이에 대한 체계적 관리가 미흡하다.

특히 부적합한 작업 방식에 의한 현장 작업 종사자의 근골격계(Musculo-skeletal System) 부담과 질환은 인적 오류에 따른 작업 품질 저하에 대한 결정적 요인으로 작용하고 있음이 여러 보고서를 통해 확인되고 있으나, 이에 대한 관리 또한 미흡한 실정이다.

여기에서 근골격계 질환이란 반복적인 동작, 부적절한 작업 자세, 무리한 힘의 사용, 진동 및 온도 등의 요인에 의해 발생하는 건강 장애로, 근육, 건(tendon), 신경 등에 일어나는 통증을 동반한 질환들의 총칭한다.

이상과 같은 현황 및 문제점에 대해 우선 인적 오류 발생에 영향을 미칠 수 있는 작업 환경 요인을 도출하고 개선하고자 전문 기관에 의한 현장 작업 환경 진단 및 개선을 이행할 것을 단기 대책으로 제시하였다.

특히 이 단기 대책은 유해 작업 환경 평가 결과에 따라 종사자의 특수 검진과 연계 이행하는 것을 주요 골자로 하고 있다.

또한 산업안전보건법 제24조 산업안전보건법 제24조 (보건상의 조치) 5호 : 사업주는 단순 반복 작업 또는 인체에 과도한 부담을 주는 작업에 의한 건강 장애(근골격계 질환)를 예방하기 위해 필요한 조치를 하여야 함. 근골격계에 질환을 유발하는 작업

범위는 노동부 고시 제2003-24호에 명시됨.

에 의거하여 전문 기관을 통한 근골격계 질환에 대한 진단, 작업 방법 실태 조사 및 개선 이행을 이행하는 것을 주요 단기 대책으로 선정하였다.

나. 현장 작업 도구 개선

원자력발전소에서의 시험, 교정, 보수 미유지, 정비 등의 활동에 사용되는 현장 작업 도구의 인간공학 설계 측면에서의 적합성(즉 사용자 적합성)은 작업 품질 향상을 통한 인적 오류 발생 가능성 최소화에 기여할 수 있는 것으로 알려졌다. 실제 발전소 설비 및 기기의 시험, 정비, 계기 교정 등에 사용되는 현장 작업 도구의 부적합한 설계로 인해 인적 오류 사례 발생 빈번하게 발생되며, 1978년 이후 총 36건의 고장 사고가 현장 설비 및 기기의 사용 부적합에 기인한 것으로 파악되고 있다.

이상과 같은 현황 및 문제점에 대해 현장 작업에 사용하는 계측 장비의 인간공학적 적합성 검토 및 개선을 단기 대책으로 제시하였다.

이 대책에는 현장 작업 도구 적합성 평가 점검표 개발, 평가 결과에 따른 작업 도구 설계 개선 및 해당 작업 절차서 보안을 모두 포함하고 있다.

3. 인적 요소 규제 기술 제고 및 향상

가. 정기 검사 인적 요소 점검 강화

현재 규제 기관에서는 원자력발전소의 계획 예방 정비 기간 중 정기 검사를 통해 안전성을 확보하고자 하는 노력을 하고 있다.

정기 검사 내용은 크게 두 가지로, 발전소 운영 기술 능력 분야 및 발전소 기기 성능 분야로 분류할 수 있다.

여기에서 발전소 운영 기술 능력 분야는 발전소 운영 조직, 자격 및 교육, 인적 요소의 관리, 비상 운영 절차서, 운전 경험의 반영 등 총 5개 항목에 대해 수행하고 있다.

현재는 이 분야 검사에 대해 각 검사 항목별로 독

립적으로 정기 검사를 수행하고 있으나 검사 항목 간 밀접한 상호 연관성을 고려하여 팀 검사 수행을 통한 규제 품질의 제고가 필요하다.

또한 발전소 기기 성능 분야의 경우 주요 시험, 보수, 교정에서의 성능 측면에서만 정기 검사가 집중적으로 이행되고 있으나, 실제 이러한 과정에서의 인적 오류에 의한 발전소 불시 정지가 빈번하게 발생하고 있는 실정이다.

따라서 정기 검사 이행시 기기 성능에 초점을 맞춘 검사에서 작업 이해도, 기기 이해도, 근무 시간, 작업자 능력 등과 같은 인적 요인 검사가 보완되어야 할 실정이다.

이상과 같은 현황 및 문제점에 대해 정기 검사시 발전소 운영 기술 능력 분야 검사 지침서 및 절차서 개발을 통한 팀 검사 이행을 단기 대책으로 제시하였다.

또한 기기 성능 분야 관련 인적 요소 검사 점검표 및 절차서 개발, 인적 요소 중심 검사를 위한 검사원 교육·훈련 이행을 통해 발전소 기기 성능 분야 검사시 인적 요인에 대한 검사를 강화하는 것을 주요 단기 대책으로 도출하였다.

나. 인적 오류 사고의 조사 절차 체계화

현재 발전소가 여러 가지 이유로 인해 불시 정지 되면 한국원자력안전기술원은 관련 전문가를 현지에 파견하여 24시간 이내 사고 조사 보고서를 작성, 과학기술부에 보고하게 된다.

그러나 불시 정지를 유발시키는 여러 가지 원인 중 인적 오류에 의한 사건의 경우 전문가에 의해 체계적이고 신뢰성 있는 원인 조사 활동 수행에 많은 어려움이 있는 것이 현실이다.

이러한 이유로 특히 불시 정지에 대한 대응 방안 수립이 불확실하여, 조사 결과에 의한 재발 방지 대책 추진 과정에서 애로점이 있다.

따라서 발전소 고장 사고의 발생 및 전개 과정에서 개입된 인적 원인 요소에 대하여 효과적인 방지벽(barrier)을 구축할 수 있는 대응 방안을 도출하도

록 조사 절차 개발이 시급히 필요한 실정이다.

이상과 같은 현황 및 문제점에 대해 해외 사례 조사를 통한 인적 오류 조사 방법을 비교·검토하고, 인적 오류의 대응 방안 설정 방법 개발하여 대응 방안 중심의 인적 오류 사고 조사 방법 수립을 단기 대책으로 제시하였다.

또한 보다 세부적으로 인적 오류 관련 사고 분석 절차서를 개발, 사고 조사시 실무적으로 활용 가능한 감사원 절차서 개발 및 적용을 단기 대책으로 수립하였다.

맺음말

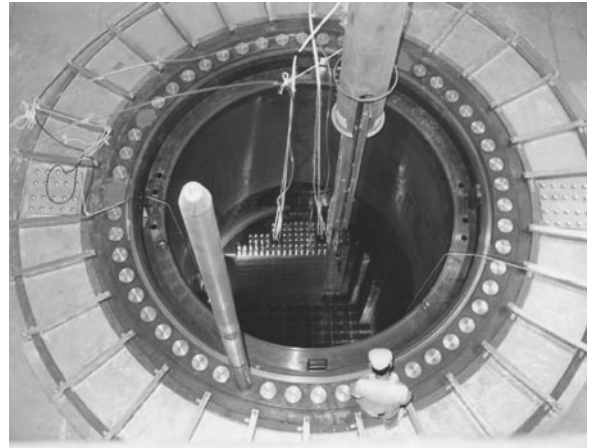
원자력 시설의 경우 그 동안 하드웨어(시스템 및 설비) 관련 안전성은 급격하게 그리고 분명하게 개선되었으나, 인적 오류에 대비한 안전성 확보는 상대적으로 미진한 상태이다.

특히 고신뢰도 및 안전성이 요구되는 원자력 시설과 같은 대형 체계에서는 사고에 대한 인적 오류의 상대적 비중이 증가하게 되므로, 예방의 방향이나 그 효과에 대한 정확한 실태 파악도 어렵다.

따라서 원자력 발전이 경제적 및 산업적 측면에서 그 효과와 역할을 인정받으면서도, 인적 오류와 같은 취약점에 대한 안전성에 신뢰를 갖추지 못한다면 예기치 못한 새로운 차원에서의 사회적 거부에 직면할 수 있으므로 이에 대한 예방 조치 마련이 시급하다.

이상의 관점에서 본고에서는 원자력 시설 인적 오류 발생 저감화를 위해 단기적으로 원자력 시설 운영자 및 규제 기관이 추진하여야 할 세부 이행 대책을 구체적으로 수립하고 제시하였다.

이러한 이행 대책은 비단 경제·산업적 효과뿐만



아니라 최상의 원자력 안전 수준 유지를 통한 대국민 신뢰를 제고하는 데 기여할 것으로 기대된다.

또한 추후 활동을 통하여 본고에서 제안된 단기적 대책 방안뿐만 아니라 중장기적 대책 방안을 종합적으로 수립 이행함으로써 인적 오류 저감화를 위한 종합적인 노력을 지속적으로 추진할 예정이다. ☎

〈참고 문헌〉

1. 한국원자력안전기술원, 원전 안전운영정보시스템, www.opis.kins.re.kr
2. International Atomic Energy Agency, AIRS (Advanced Incident Reporting System), 2005.
3. J. Reason, Managing the risks of organizational accidents, Ashgate, 1997
4. J. Reason and A. Hobbs, Managing maintenance error; A practical guide, Ashgate, 2003.