

원자력발전소의 인적오류분석 및 응용기술개발 방향 정립에 관한 연구

(A Preliminary Study on the Development of Human Error Analysis and Application Technology in Korean Nuclear Power Plants)

이정운*, 박근욱*

요 약

원자력발전소 고장 및 불시정지 사례의 상당수가 시스템과 연계되어 인간에 의해 수행되는 운전, 유지보수, 관리와 관련된 인적오류에 기인하는 것으로 알려져 있다. 이러한 인적오류는 원자력발전소의 안전성과 효율성의 유지에 중요한 변수로 작용하며 불시정지에 의한 경제적 손실과 사회적 충격을 초래하게 된다. 특히, 국내 원자력발전소가 외국설계라는 점과 인적요인에 대한 체계적인 평가가 이루어지지 않은 상태에서 운영중인 것을 감안하면, 인적요인의 국가별 차이에서 발생가능한 인적오류 유발요인이 상존하고 있다고 할 수 있다. 이러한 인적오류의 중요성에 비해 국내 원자력발전소의 인적오류에 대한 연구는 지금까지 활발히 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는, 국내 원자력발전소에서 발생하는 인적오류의 분석과 그 분석결과를 응용하기 위한 기술개발의 첫단계로, 기존 국외의 인적오류연구방법론 비교분석, 국내 원전의 인적오류 발생현황 및 관련보고체계 분석, 등을 수행하여 국내 원자력발전소의 인적오류분석 및 응용기술개발을 위한 연구개발방향을 정립하였다. 기존 국외의 인적오류연구방법론 비교분석에서는, 인적오류에 대한 연구를 그 접근방식에 따라 관리적 접근방식, 정량적 접근방식, 정성적 접근방식의 세가지로 분류하여, 각 접근방식에 대한 분석대상, 분석방식, 수행목적 등, 각 접근방식의 특징과 이에 따른 실효성을 분석하였다. 그리고, 국내 원전의 인적오류 발생현황 및 관련보고체계 분석에서는, 국내 원자력발전소에서 발생한 고장/정지 사건이 내포하고 있는 인적오류의 주요 형태를 파악하였으며, 또한, 인적오류연구 수행에 필수적인 인적오류사례원으로서 국내 원전에서 인적오류 관련 보고체계에 대한 운용현황을 파악하고 그 유용성을 조사하였다. 이러한 연구를 통하여, 국내에 적용가능한 인적오류 분석기술개발 추진을 위한 제약조건과 이러한 제약조건을 극복하고 인적오류 분석기술 수준을 향상시키기 위한 필요충분조건을 파악하였으며, 이 필요충분조건을 고려하여 인적오류 분석기법개발, 인적 오류 사례전파 및 자료관리 기술개발, 인적오류 사례수집 기술개발, 등을 주요 골자로 하는 인적오류 분석기술개발의 기본 방향을 설정하였다. 이와 아울러, 오류사례의 수집, 상세분석, 자료의 저장 및 응용을 위한 hardware 및 software 환경을 체계화하였다.

1. 서 론

원자력발전소의 안전성을 평가한 보고서인 WASH-1400은 원자력발전소의 인적요인에 대한 관심을 반영한 연구보고로 1975년에 발표되었다(1). WASH-1400은 "원전의 안전성을 위협하는 최대요인은 인적요인"이라는 경고를 포함하였으나, 발표 당시에는 원자력계의 관심을 끌지 못하였다. 그 이유는, 원자력계에서는 발전설비의 자동화, 안전성 강화를 위한 기계적 시스템의 기술개발 등에만 주력

* 한국원자력연구소 인간공학기술개발팀

하였고, 발전소 운영의 주체가 되는 인간에 대해서는 무관심하였기 때문이다. 그러나, 1979년의 TMI 발전소 사고는 원자력발전소에서 인적요인의 중요성을 환기시킨 사고였고, 원자력에서의 본격적인 인적 오류연구를 비롯한 인간공학 연구개발의 시발점이 되었다. 미국의 TMI 원자력발전소 사고와 더불어, 1986년 구소련의 체르노빌 원자력발전소 사고 또한 인적오류가 개입된 것으로 밝혀짐에 따라, 원자력 선진 각국은 원자력발전소의 인적오류에 대해 높은 관심을 보이게 되었다.

최근 원자력발전소는 단위용량의 증대, 계측제어시스템의 기능 추가 및 다양화, 고도화된 전자기술 및 인공지능기술의 도입, 안전성 강화를 위한 안전설비의 보강 등이 계속되고 있다. 이로 인하여 원자력발전소는 더욱 복잡해지고 이를 운영하는 인간의 역할은 새로운 국면을 맞게 되었다. 현재의 원자력발전소 운전원은 자동화의 촉진에도 불구하고 안전운전을 위해 계통의 동작을 상세히 감시하고, 이상을 진단해야 하며, 고장/정지에 대한 대응절차를 숙지하고 있어야 한다. 또한 비정상 및 비상상황시 폭주하는 원전 운전정보를 충분히 이해하고, 신속 정확히 대응해야 하는 등, 업무의 과중한 부담을 안고 있다. 그리고, 복잡해진 원자력발전소 시스템의 유지보수 및 관리 또한 인간의 부담을 가중시키고 있다.

원자력발전소는 시스템설계자에 의해 그 기능이 정의되고, 정의된 기능을 인간과 기계간에 할당하여 설계가 이루어진다. 인간은 설계자에 의해 설계된 시스템이 제공하는 정보를 감지하고 해석하여 판단을 내리고 그에 따른 조치를 취하게 된다. 이러한 작업자의 수행도는 작업자에 미치는 내,외적 인적요인에 의해 영향을 받게되며, 설계자에 의해 정의된 인간의 수행도와 실제 원전 작업시에 나타나는 작업자의 수행도에는 차이가 존재한다. 이 이유는, 인간의 작업수행도에 영향을 미치는 인적요인에 대한 완벽한 해석은 존재하지 않으며, 또한 원자력발전소의 설계시에 모든 인적요인에 대한 고려를 완벽하게 할 수 없기 때문이다. 이점은 상당수의 원자력발전소 불시정지에 대한 원인이 시스템과 연계되어 인간에 의해 수행되는 운전, 유지보수, 관리와 관련된 인적오류라는 발표를 통해 확인되고 있다. 이러한 인적오류는 원자력발전소의 안전성과 효율성의 유지에 중요한 변수로 작용하며 불시정지에 의한 경제적 손실과 사회적 충격을 초래하게 된다. 특히, 국내 원자력발전소가 외국설계라는 점과 인적요인에 대한 체계적인 평가가 이루어 지지 않은 상태에서 운영중인 것을 감안하면 인적오류 유발요인이 상존하고 있다고 할 수 있다. 따라서, 원자력발전소의 안전성 및 효율성 향상을 위하여, 인적오류의 분석을 통한 인적요인의 특성규명과 그 분석결과에 응용을 통해 인적오류를 저감시키기 위한 연구가 수행되어야 한다.

본 연구에서는, 이러한 필요성에 따라 국내 원자력발전소에서 발생하는 인적오류의 분석과 그 분석결과를 응용하기위한 기술개발의 첫단계로, 기존 국외의 인적오류연구방법론 비교분석, 국내 원전의 인적오류 발생현황 및 관련보고체계 분석, 등을 수행하여 국내 원자력발전소의 인적오류분석 및 응용기술개발을 위한 연구개발방향을 정립하였다.

2. 인적오류연구의 방법론 분석

원자력분야에서 수행되어 오고 있는 인적오류에 대한 연구를 그 접근방식에 따라 관리적 접근방식, 정량적 접근방식, 정성적 접근방식의 세가지로 분류하였다. 여기서, 일정한 사건보고양식을 가지고 원자력발전소의 고장/정지사례보고를 분석하고 분석결과를 활용하는 접근방식을 관리적인 접근방식으로

구분하였다. 이에는, IAEA의 IRS(Incidents Reporting System), 미국의 INPO에서 개발한 HPES(Human Performance Enhancement System), 각국 원자력 규제기관에서 보고를 요구하는 고장/정지보고체계 등이 있다. 그리고, 원자력발전소의 확률론적 안전성 분석의 일부로 시도되고 있는 확률론적 인적신뢰도 분석 및 이와 관련된 연구를 인적오류연구의 정량적 접근방식으로 구분하였으며, 주로 인지심리학적 측면에서 인적오류 사례의 심층분석을 통한 인적오류 유형판별 및 원인연계에 의한 발생구조 해석 등, 인간의 내부적 정신활동, 즉 인지적 행동의 특성 파악과 관련하여 수행되는 인적오류연구를 정성적 접근방식으로 구분하였다.

본 연구에서는, 이러한 접근방식에서의 분석 대상, 분석 방식, 수행 목적 등, 각 접근방식의 특징과 이에 따른 실효성을 분석하였으며, 이를 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 인적오류연구의 접근방식 비교

연구유형	특징	실효성
관리적 접근방식	<ul style="list-style-type: none"> - 일정한 고장/정지사건 보고체계 유지 - 보고체계를 통한 인적오류사례 수집, 분석, 통계처리 등 수행 - 정량적 접근방식의 인적오류확률 산정에 필요한 기본자료로 활용됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 책임소재에 따른 보고내용의 부정확성 존재 - 현장보고자에 의한 사례분석의 객관성 확보곤란 - 분석결과활용(대응방안수립, 설계개선, 작업절차개선 등)의 실효성 부족 - 사례수집의 제도적 장치 보유
정량적 접근방식	<ul style="list-style-type: none"> - 발전소시스템의 확률론적 안전성평가의 일부로 수행됨 - 인적행위의 오류확률계산 - 고장/정지사건보고자료, 전문가의견, 시뮬레이터를 사용한 모의작업수행으로부터 오류확률의 기본자료를 만들어 이용함 	<ul style="list-style-type: none"> - 오류확률산정에 필요한 기본자료에 부정확성, 주관성 존재 - 인간의 인지적 행위의 다양성을 고려하지 못하여 인간신뢰도평가의 방법론에 문제점이 제기되고 있음
정성적 접근방식	<ul style="list-style-type: none"> - 인지심리학적 측면에서의 인적오류 유형 판별, 원인연계에 의한 오류발생구조 해석 - 인적오류사례의 심층분석 및 인지심리학적 실험 수행 	<ul style="list-style-type: none"> - 가장 정확하고 활용성 높은 분석결과 도출 - 인간-기계 상호작용에 대한 설계개념 정립에 활용 - 사례분석을 위한 전문조직 운용 및 현장의 상세자료 입수를 위한 제도적 장치 필요

인적오류연구는 표 1에서와 같이 각 방법의 장단점이 존재하여 어느 한 방법만을 추구함은 바람직하지 못하다. 본 연구에서는 우선 정성적 인적오류분석 방법을 확보하고, 관리적 접근방식을 통한 국내 현장사례의 수집을 추구하며, 수집된 자료의 재가공과 분석을 지속적으로 수행하여 축적된 결과를 활용하도록 하는 연구 추진 방향이 바람직한 것으로 판단하였다.

3. 국내 인적오류사례 분석연구 현황조사

해외의 전력회사들과 마찬가지로 국내의 경우도 인적오류 감소와 효과적인 대응책 마련은 중대한 관심사중의 하나이다. 각국이 인적오류 사례분석을 시도하는 이유는 자국 발전소에서 발생하는 인적오류의 유형과 원인에 대한 실상을 파악하여 인적오류에 대응하기 위함이다. 인적오류는 어떤 작업환경에서의 인적행위에 의해 발생하게 되므로 사례분석결과로 나타나는 오류의 유형과 원인은 국가마다 다르고 발전소별로 다르게 나타날 수 있다. 본 연구에서는, 극히 소수에 불과하나 국내에서 수행된 두가지의 인적오류사례분석 연구결과를 고찰함으로써 중점적으로 추진해야 할 인적오류 분석기술 개발영역을 도출하였다.

비교적 격식을 갖춘 국내의 인적오류 사례분석 연구는 '87년 한국전력공사의 고리원자력본부 연구수원에서 수행되었다. 이 연구는 '78년-'87년 동안에 발생한 총 167건의 비상정지 사건중 인위적 과실에 의한 정지가 16건, 고장 및 전력계통과급에 의한 발전정지가 151건임을 보여주고 있다. 그러나, 국내의 인적오류 발생에 의한 발전정지 빈도가 서독, 캐나다, 일본, 미국 등의 50% 수준인 분석결과에 비해 현저하게 낮은 사실을 감안하여, 이 연구에서는 운전원 및 보수원 개별면담, 모의제어반 실습분석, 설문서 분석 방법을 통한 인적오류 발생 사례분석을 시도한 결과를 아울러 제시하고 있다(2).

이 연구의 운전원 및 보수원 50여명에 대한 개별면담 분석결과는 주제어실 근무자의 34%, 현장 1차 근무자의 19%, 현장 2차 근무자의 47%가 인적오류를 발생시킨 경험이 있다는 통계량을 제시하고 있다. 또한 인적오류 발생의 원인은 설비결함 및 대응미숙(19명), 의사전달 부정확(6명), 실무지식 부족(11명), 절차서 위반(11명)의 통계량을 보이고 있다. 모의제어반 실습분석에서는 대형 냉각재 상실사고를 5개조(조당 4-5명)에 수행시켜 약 72건의 인적오류 발생을 목격하였고, 근본원인이 절차서 40건, 의사전달 10건, 실무지식 부족 16건, 주제어실 설계 불량 6건의 빈도로 나타났다고 분석하고 있다. 설문서 조사분석의 결과는 운전원 및 보수원 과실현황이 1차측 32%, 2차측 62%, 전기설비 6%의 분포임을 보이고 있다. 이 연구는 인적오류의 유형과 요인에 대한 어떤 기준을 토대로 한 체계적인 사례연구는 아니며, 어떠한 관측 및 실험장비도 사용되지 않았다. 그러나 모의 제어반상에서 어떤 사건을 전개시킨 후 인적오류의 발생현황을 목격하고 분석하려고 한 실제적 시도라는데 의미가 있다. 또한 이 연구는 보고된 고장/정지사건에서는 인적오류가 매우 적은 빈도로 나타나고 있으나, 모의 제어반상에서의 실습분석을 수행한 결과 상당한 인적오류 발생현상을 목격하였다는 점에서 시사하는 바가 크다.

그리고, 미국의 INPO가 개발하여 국내 원전에 적용중인 HPES의 보고사례를 본 연구과제 팀이 타과제 수행시 검토한 결과(3)를 재고찰하였다. HPES(Human Performance enhancement System)는 "운전, 정비, 정기점검 등 원자력발전소의 제반운영중 인적행위에 의하여 발생하는 고장이나 잠재적 실수요인을 체계적으로 확인하고 이의 시정조치를 통하여 인적신뢰도를 증진시키고 전반적인 원자력발전소 운영을 개선하는데 있다."라는 근본취지를 가지고 있으며, 1990년부터 국내 원전에 적용되고 있는 체계이다(4). 이러한 HPES 보고사례를 분석한 결과 '91-'92년 기간동안에 약 15건의 분석사례가 축적되었다. 15건의 사례자료중 11건은 상세한 분석결과를 수록하고 있다. 15건의 분석결과에 따르면 국내의 인적오류 유형은 작업소홀 9건, 불필요한 행위와 잘못 적용이 각각 3건, 시간에 못맞춘 행위는 1건, 순서 잘못, 정량적 결함은 한건도 없다. HPES는 부적합한 행위요인에 이르게한 원인요소를, 구두의사전달, 문서의사전달, 인터페이스 설계/기기상태, 작업환경조건, 근무일정, 작업수행, 작업조직/계획, 감독방법, 교육훈련/자격관리, 변경관리, 인력예산관리, 관리방법 등, 12가지로

제시하고 있다. 11건의 HPES 분석사례 자료는 부적합한 인적행위에 이른 원인요소가 작업조직/계획, 작업수행, 감독방법, 인터페이스 설계/기기상태, 의사전달 등에 주로 있음을 보이고 있다. 인적오류가 발생한 장소별로 11건의 사건을 분석하면 2차계통 7건, 1차계통 3건, 기타 1건이다.

HPES 사례자료 분석결과는 '87년 고리연수원이 수행한 사례분석 결과의 통계량과 비교할 때 공통점과 차이점을 갖는다. 공통점은 부적합한 행위유형이 유지보수작업과 관련하여 주로 발생하며, 2차측 발전계통에 집중하고 있다는 점이다. 차이점은 고리연수원의 분석결과가 오류원인으로 설비결함 및 대응미숙, 절차서 위반, 지식부족 등에 있다고 지적한 반면에, HPES 분석에서는 작업조직/계획, 작업수행, 감독방법 등에 있는 것으로 나타나고 있다. "HPES 사례자료 분석결과"와 "고리연수원의 사례분석 결과"가 오류원인 측면에서 상이한 결과를 보이는 이유는 분석의 수행방법과 분석대상의 범위가 다르고, 사례분석 보고자가 인적오류 분석 전문가가 아니기 때문인 것으로 판단된다.

"고리연수원의 사례분석 결과"와 "HPES 사례자료 분석결과"의 고찰로 부터 본 연구에서 향후 추진해야할 인적오류 분석기술의 기본 개발방향을 도출하면 다음과 같다.

- 2차측 발전계통의 운전 및 유지보수 작업과 관련한 인적오류 특성 파악이 필요하다.
- 비상운전절차서 수행시의 인적오류에 대한 분석기술개발이 필요하다.
- 시뮬레이터를 이용한 운전원 활동상황 관측 및 인적오류 발생상황 분석 기술개발이 필요하다.
- 정성적 인적오류 분석기법의 개발을 추진하되, 정량적 또는 통계적 분석도 필요하다.
- 인적오류 유형분류체계와 원인분류체계를 정립해야 한다.

4. 국내의 인적오류 발생현황 분석

인적오류의 유형과 범위, 요인의 기준에 대한 모호성 등으로 인적오류의 발생 현황을 객관적으로 분석하기가 어렵다. 국내의 경우도 발전소 현장에서 인적오류가 발생하고 있지만, 객관적 분석을 수행한 사례가 드물다. 더구나 발생한 사건이 인적오류에 의한 것인지의 유무에 대한 판단기준이 현장의 사건 분석자에게 제시되어 있지 못한 현실이므로 고장/정지 분석보고서의 내용에서 인적오류 사례를 발견하기가 쉽지 않다. 특히 인적오류는 발전소 구성원의 업무와 직결되어 발생하므로 발생한 사건의 분석자가 충실하게 기술하지 않을 뿐만 아니라 상세한 정보를 제공하지 않는 경향을 보인다.

본 연구에서는 일차적으로 과거 발전소에서 발생한 사건보고 자료를 수집하여 검토한 후, 인적오류가 내포된 고장/정지 사건으로 판단되는 사례자료를 색출하여 오류 발생유형의 개괄적 분석을 수행하였다. 검토를 수행한 고장/정지 보고자료(5, 6, 7)는 '85-'92년 동안에 보고된 자료들로서 약 90건이다. 오류 발생유형의 분석에 대한 주요 목적은 발생한 고장/정지 사건이 내포하고 있는 부적합한 행위의 주요 형태에 대한 개관을 파악하여 향후의 인적 오류기술개발 추진의 방향설정을 하기 위함이다.

부적합한 행위의 형태분류로는 HPES에서 채택하고 있는 작업소홀, 불필요한 행위, 시간에 못맞춘 행위, 잘못 적용, 순서 잘못, 정량적 결함 등 5개의 행위 형태를 기준으로 채택하였다. 분석의 대상으로 채택한 고장/정지 사건은 '81-'84년 동안에 발생한 사건들중 8건, '90년 및 '91년 동안에 발생한 고장/정지 사건들중 각각 9건씩으로 총 26건이다. 원자력발전소가 운전을 시작한 이후 인적오류에 기인한 고장/정지 사건이 정확하게 어느 정도인가에 대하여 알려져 있지 않으며, '90년 이전의 고장/정지 보고자료들은 기록이 부실하다. 따라서 본 연구에서는 인적오류에 기인한 고장/정지의 유무에 대한 논란을 배제시킬 수 있고, 비교적 충실한 보고자료라고 판단되는 고장/정지 사건만을 선별하여 분석에 사용하였다. 분석의 결과는 표 2와 같다.

표 2-5. 고장/정지 사건의 부적합 행위 형태별 분석결과

발생일자	사건발생 제목	부적합한 행위 형태	대응조치
'84. 10	증기발생기 유량전송기 조작불량	A	a
'82. 9	주증기 차단밸브 솔레노이드 밸브 소손	A	a
'82. 7	주급수 조절밸브 조작미숙	D	a
'84. 8	주급수 펌프 C 공급유회유 누출	A, B	a, b
'83. 12	주복수기 저진공 사고정지	C	a, c
'83. 6	345KV 차단기 소손사고	A, F	a, c
'84. 2	보일러 고수위에 의한 터빈정지	D, F	b, c
'84. 5	복수기 튜브 누설사고	A	c
'90. 12	원자로제어봉 제어카드 교체중 정비원 과실에 의한 원자로 정지	A, D	a, b
'90. 9	주급수제어밸브 B 전원공급용 7300 공정제어판넬 전원상실 발전정지	D	a
'90. 5	주증기 차단밸브 제어전원휴즈 용단에 의한 발전정지	A, D, F	a, c
'90. 2	주증기 격리밸브 시험중 발전정지	B	a
'90. 5	터빈밸브기어 시험중 발전정지	A, D	a
'90. 12	터빈보호계통 건전성관련 지시등 점검중 발전정지	A	a, b
'90. 5	터빈출력감발장치 교정후 카드 삽입중 발전정지	F	a, c
'90. 11	출력상승시험중 습분분리 재열기 정지조건 만족으로 발전정지	D, F	a, b, c
'90. 5	주발전기 여자전원 모선연결부 용융단선에 의한 발전정지	A	c
'91. 1	고압터빈 배수배관 균열에 의한 발전정지	A, F	a, b, c
'91. 10	터빈베어유계통 자동절환스위치 제어보드 오동작	A, D	b, c
'91. 2	터빈 유회유계통 저압력 발전정지	A	a
'91. 5	주변압기 보조계전기 동작회로단락에 의한 발전정지	A, B	a, c
'91. 8	주발전기 자동전압조정장치 고장	A, F	c
'91. 11	주발전기 AVR 조정기능 불량	F	c
'91. 7	발전기여자기 가변저항기 고장	D	b, c
'91. 2	주변압기계통 고장으로 발전정지	A	a, b
'91. 10	제어용 주전산기 고장	A, F	a

(주) A:작업소홀, B:불필요한 행위, C:시간에 못맞춘 행위, D:잘못 적용, E:순서 잘못, F:정량적 결함

a: 교육훈련 강화, b: 절차서개선, c:설계개선

국내의 인적오류 발생 사례자료가 한정되어 있으며 수집하기 어려운 현실적 제약이 있지만 표 2의 분석결과는 다음과 같은 사실을 시사해 주고 있다.

- 1차계통 보다는 2차계통에서 인적오류가 주로 발생하고 있다.
- 부적합한 행위의 형태는 주로 작업소홀이다. 즉, 유지보수 작업과 관련한 인적오류가 많이 발생한다.
- 사건발생의 제목이 기기 또는 시스템의 불량으로 보고되지만 발생사건의 경위와 내용을 조사하면 인적오류가 내포된 사건이 많다.
- 대응조치는 교육훈련 강화에 주로 의존하고 있다.

표 2의 분석결과가 국내의 인적오류 발생현황에 대한 개관을 보여 주지만 완전한 실상을 대변해 주지는 못한다. 왜냐하면 현재까지 보고된 고장/정지 사건의 사실성에 대한 문제, 충분한 사례자료 확보, 오류유형분류, 오류를 유발한 요인에 대한 분류 등 해결해야 할 문제들이 남아있기 때문이다. 이 문제점들이 국내 인적오류연구의 제약점으로 작용하고 있으며, 연구개발의 지속적인 추진을 통하여 점차적으로 해결해야 할 것이다.

5. 국내의 인적오류 관련 보고체계 분석

가. 관련 보고체계의 유형과 보고항목

인적오류 보고체계란 발전소에서 인적오류에 기인한 사건이 발생할 경우, 재발을 방지하는 체계라 할 수 있다. 현재 국내에는 "인적오류 보고체계"라고 정의된 체계는 존재하지 않는다. 그러나 인적오류의 내용을 부분적으로 포함한 "고장/정지보고체계"와 "HPES 분석보고체계"가 활용되고 있다.

먼저, "고장/정지보고체계"는 발전소 현장의 고장/정지분석위원회 (또는 대책위원회 등 현장의 편의에 따라 서로 다른 이름으로 불리움), 한국전력공사의 본사, 과기처, 해외기관으로 크게 구성되어 있다. 발전소에서 고장/정지 사건이 발생하면 사건 관련 인물들로 구성된 고장/정지분석위원회를 구성하여 사건의 발생경위, 고장/정지 원인 등을 분석하고 재발방지 대책을 수립한 보고서를 작성한다. 작성한 보고서는 한국전력공사의 본사, 과기처 및 해외의 관련기관에 송부된다.

"고장/정지보고체계"에서 사용하는 보고문서는 고장지역, 고장일시, 고장계통, 고장개요, 고장원인, 고장발생 경위, 고장후 조치사항, 문제점 및 대책 등 8개 주요 항목으로 구성되어 있다. 8개의 항목중 고장원인, 고장발생 경위, 문제점 및 대책의 3개 항목에서 인적오류에 대한 내용이 부분적으로 언급되고 있다.

"HPES 분석보고체계"는 '89년에 도입되어 다음해부터 발전소 현장에서 사용한 체계로써 현재 분석경험의 축적단계에 있다. 발전소 현장의 분석보고체계는 소장, HPES 책임자, HPES 담당자, HPES 분석자, HPES 보고자로 구성되어 있다. 발전소에서 고장/정지사건이 발생하거나 HPES 보고자에 의하여 인적오류가 보고되면 HPES 책임자가 분석을 HPES 분석자에게 지시한다. HPES 분석자는 사건관련 인물의 협조를 통하여 분석을 수행하고, 분석의 결과를 HPES 책임자에게 보고한다. 최종 분석의 결과는 HPES 담당자에 의하여 한국전력 본사에 보고되며, 타발전소 및 연수원에 사례로써 전파된다.

“HPES 분석보고체계”에서 인적오류의 분석내용은 HPES 보고서에 수록되어 있다. HPES 보고서는 요약보고서, 분석보고서, 사건 및 원인요소 차트, 시정조치보고서로 구성되어 있다. 실제적인 인적오류의 분석내용을 포함하고 있는 HPES 분석보고서는 행위요인분석, 원인요소분석, 상황분석으로 구성되어 있다. 행위요인분석은 발생한 사건에 내포된 부적합한 행위의 형태와 요인을 분석하는 것이다. 원인요소분석은 부적합한 행위요인을 유발시킨 가능성 있는 원인을 분석하는 것이다. 상황분석은 사건이 언제, 어디서 발생하였으며, 부적합한 행위를 수행한 인물의 교대근무 일정, 직무범무, 경험 등에 대한 정보나 자료를 분석하는 것이다.

“고장/정지보고체계”와 “HPES 분석보고체계”는 국내에서 사용중인 인적오류와 관련한 분석체계이다. 이 두가지 보고체계 이외에도 발전소 현장에서 자체 실정에 맞는 사건분석체계를 운영하기도 한다. 그러나 그러한 분석체계는 “고장/정지보고 체계” 또는 “HPES 분석보고체계”를 수행하기 위한 일시적이고 편의적이고 일시적인 분석체계에 불과하다.

나. 인적오류 관련 보고체계의 유용성

“고장/정지보고체계”는 주로 시스템의 공정진행 상태와 기기의 고장상태를 중심으로 발생한 사건을 분석하는 체계이다. 이 체계는 원자력발전소가 운전을 개시한 이래 발생한 모든 고장/정지사건을 분석하여 보고한 공식적인 자료임과 동시에 비교적 많은 고장/정지사건 분석자료를 확보하고 있다는 측면에서 중요성을 갖는다. 그러나 고장/정지사건 분석 보고자료는 공정진행의 이상상태와 기기의 고장을 주요 분석의 대상으로 하고 있으며, 과거치 및 해외의 관련기관에 송부되는 보고자료라는 점에서 인적오류 발생내용에 대한 실제성과 유효성을 기대하기 어려운 자료이다.

“HPES 분석보고체계”는 인적오류 사례연구에 상당한 도움을 제공할 수 있는 자료이다. 그러나 HPES가 국내에 도입된 기간이 얼마되지 않아 분석사례 자료가 풍부하지 못하고, 현장 HPES 분석자의 분석경험이 부족하여 분석내용을 신뢰성 있게 수용하기에 무리하다는 문제점이 있다. 또 다른 문제점으로는 HPES 분석이 “고장/정지보고체계”의 보고서 작성후 수행되며, “고장/정지보고체계”의 구성원중 HPES 책임자에 의하여 지명된 인물이 분석수행을 실시하고 있다는 점이다. 국내의 경우, HPES 책임자와 분석자는 “고장/정지보고체계” 구성조직의 일원이다. 따라서 HPES 분석보고서가 고장/정지사건 분석 보고서의 경우 보다 인적오류 분석자료로서의 유효성을 지니고 있으나 HPES의 근본취지에는 이르지 못하고 있다.

두가지 유형의 인적오류관련 보고체계에서 생산되는 자료는 실제로 발생한 국내의 인적오류 정보를 조합하고 있다는 점에서 연구에 활용해야 할 필요성을 가진다. “고장/정지 보고체계”는 비교적 많은 양의 자료를 확보하고 있으므로 국내의 인적오류 발생유형에 관한 개괄적 분석에 유용하다. “HPES 분석 보고체계”는 부적합한 행위를 유발시킨 원인요소에 대한 정보를 포함하고 있으므로 원인요소의 제거, 즉 재발방지 대책안 수립에 유용하다.

그러나, 두가지 유형의 보고체계가 현재 생산하고 있는 보고자료의 유용성에는 한계가 있으므로, 유용성 증진을 위한 연구개발 노력이 필요하다. 두가지 유형의 보고체계는 국내에서 계속 사용될 것이며, 그에 따라 인적오류 발생사례로 축적될 것이다. 문제는 현재의 보고체계에서 생산되는 자료가 동등한 수준의 인적오류 보고내용을 유지한다면 우수한 인적오류 분석기법이 존재하여도 분석의 효과는 기대하기 어렵다는 점이다.

이 문제를 해결하기 위한 대안으로는, 현장에서 인적오류가 발생할 경우, 현장의 분석자가 인적

오류의 유형과 원인을 올바르게 분석하여 보고할 수 있도록 지원하는 것이다. 즉, 인적오류 발생사례의 분석결과를 원자력발전소 현장에 효과적으로 전파시킴으로써 인적오류를 조합한 고장/정지 사건 분석자의 분석능력을 점진적으로 강화시키는 것이다.

6. 인적오류 분석기술 개발방향 설정 연구결과

상기의 연구를 통하여, 국내에 적용가능한 인적오류 분석기술개발 추진을 위한 제약조건과 필요충분조건을 파악한 결과, 현재 국내의 인적오류 분석기술 개발에 장애가 되고 있는 제약조건은 다음과 같다.

- 사실적인 인적오류 사례자료수집의 한계성 존재.
- 발전소에서 발생하는 다양한 유형의 인적오류 현상을 객관적으로 분석할 수 있는 오류분석기법의 부재.
- 보편적인 오류유형 및 요인분류체계의 부재 등.

이러한 제약조건을 극복하고 인적오류 분석기술 수준을 향상시키기 위해서는 다음과 같은 필요충분조건이 만족되어야 한다.

- 국내의 실정에 적합한 객관적인 인적오류 분석기법이 존재해야 함.
- 국내 운전원 및 유지보수원의 행위특성을 반영한 오류유형 및 요인분류 체계가 있어야 함.
- 현장으로부터의 사실적인 인적오류자료 수집 및 수집자료의 효과적인 관리 체계가 있어야 함.
- 현장 근무자에게 인적오류의 개념 및 사례분석을 소개하여 인적오류에 대한 인식을 고양시킬 수 있는 수단이 있어야 함.

이에 따라, 개발되어야 할 세가지의 기술개발항목으로 인적오류분석기법개발, 인적오류 사례전파 및 자료관리 기술개발, 인적오류 사례재가공 기술개발을 도출하였으며, 그 세부내용을 설정하였다. 그리고, 오류사례의 수집, 상세분석, 사례전파 등을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 환경을 체계화하여 개발함이 바람직하다.

먼저, 인적오류분석기법 개발에서는, 정성적 연구방법론에 따라 인적오류의 발생구조분석, 작업오류특성분석 등을 수행하여 국내 인적오류 유형 및 원인의 분류체계를 확립하고, 이 체계를 사용하여 국내 인적오류를 효율적으로 분석할 수 있도록 인적오류분석기법을 정형화할 것이다. 인적오류 사례전파 및 자료관리 기술개발에서는, 현장에 오류발생사례를 효과적으로 전파시켜 인적오류에 대한 거부감을 해소시킴과 동시에 기본개념을 확산시키기 위해, 정보의 전달력이 우수한 멀티미디어 기술을 사용하여 인적오류 사례전파 시스템을 개발하며, 사례전파 하드웨어와 소프트웨어 환경을 기반으로 발전소 작업자의 행위특성과 작업환경의 자료를 종합하여 관리할 수 있는 자료관리체계를 개발할 것이다(그림 1 참조). 인적오류 사례재가공 기술개발에서는, 현장사례의 보고자료를 입수하여 인적오류 발생상황을 재구성한 자료로 가공한 후 자료관리체계에 입력시키는 기술과, 작업상황의 시뮬레이션을 통해 인적오류를 검출하고 재조명하는 기술을 개발할 것이다. 작업상황의 시뮬레이션을 위해, 우선 한국원자력연구소 연수원의 CNS(Compact Nuclear Simulator)를 사용하여 시도하기로 하였다.

7. 결론

원자력발전소관련 인적행위 분석기술은, 그 중요성에 비해 국내에서 시도되지 않은 연구개발분야 임이 확인되었으며, 국내 원자력발전소의 상황과 근무자의 인적특성을 감안한 인적오류연구가 필요함을 인식하게 되었다. 본 연구의 결과로 국내 원자력 분야에서 필요로 하는 인적오류연구에 대한 연구방향을 정립하였으며, 이를 추진하여 원전의 안전성 제고와 운전효율성 향상을 도모하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] NUREG-75/014, WASH-1400, Reactor Safety Study - An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, USNRC, Washington, DC, 1975.
- [2] 연구논문집(원자력 기술보수분야), 한국전력공사 고리원자력연수원, 1988.
- [3] 원전인적행위개선관리절차, 한국전력공사 원자력안전실, 1992. 1
- [4] 원자력발전소 인적행위 개선시스템개발(I) 중간보고서, KRC-92N-J09, 한국전력공사 기술연구원, 1993.
- [5] 원자력발전소 발전정지 사례집, 통권 제 9호, 한국전력공사, 1991.
- [6] 원자력발전소 발전정지 사례집, 통권 제 10호, 한국전력공사, 1992.
- [7] 원자력발전소 사고 사례집(II) (1981-1984), 한국전력공사, 1985.

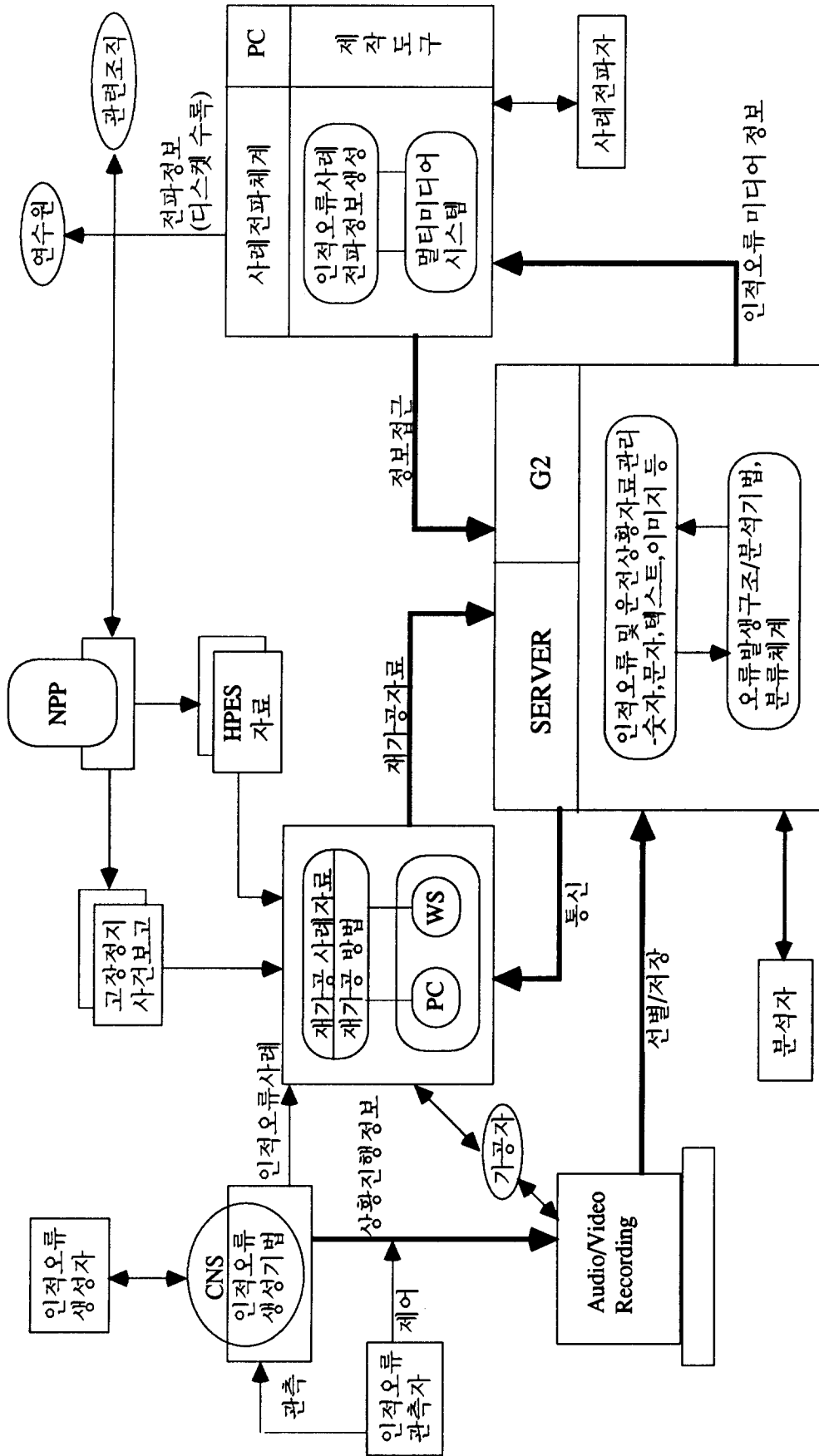


그림 1. 인적오류 자료의 입력과 생성, 분석, 전파를 위한 개발환경