

고신뢰도 체계에서 인적오류 핵심특성 및 변화에 따른 효과적인 대처 방안 검토 (A Review on the Effective Countermeasures to the Recent Human Errors in High-Reliability Industrial Systems)

이용희*

계측제어·인간공학연구부, 한국원자력연구원

Yong-Hee Lee

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

초록 (abstract)

고신뢰도 체계에서는 인적오류가 독특한 특성을 보이므로, 인적오류의 중요성이 부각되어도 효과적으로 대처하기가 어렵다. 본 논문에서는 원자력 시설에서 신뢰할만한 안전성을 확보하기 위하여 그동안 경험한 고신뢰도 체계에서의 인적오류 사례를 검토하여 인적오류의 기본특성을 요약하였다. 또한 디지털 기술의 발전 및 종사자 반응특성의 상대적 변화를 고려하여, 최근 인적오류의 변화에 따른 효과적인 분석원칙 및 대처방안을 모색하였다. 최근 10년간의 불시정지 사례 재검토에 적용하여, 인적오류를 원인-결과(cause-consequence) 방식의 단순 조합을 넘어 다양한 영향요인들의 복합적인 구조로 포착하였다. 원자력 종사자의 인적오류 반응특성을 기반으로 대처방안을 검토하였으며, 이를 기반으로 인적오류 대책의 효율성을 증진할 수 있는 추가적인 조치 및 기술주제 항목을 제안하고, 시뮬레이션을 활용하여 최적의 인적오류의 대책을 모색하는 방안을 제시하였다. 제안된 대처방안을 통해 인적오류를 종사자의 윤리적 요구나 안전문화와 같이 포괄적인 주제로 대처하는 기존의 한계를 극복하는데 기여할 수 있을 것이다.

* keyword : human error, high-reliability system, system safety, nuclear power plant, countermeasure,

1. Human Errors in High-Reliability Industrial Systems

현대 산업체계의 다수가 대형(large)의 복합적인(complex) 고신뢰도(high-reliability) 체계 (이하 고신뢰도 체계)로 발전하는데, 그 안전문제는 손실의 크기나 그로인한 영향이 막대하여 사회적으로 집중적인 관심을 받고 있다. 고신뢰도 체계에는 현장 근로자뿐만 아니라 설계, 시험, 관리의 물론 경영적 의사결정까지 다양한 이해관계자들이 관련되므로, 안전문제는 책임이라는 측면에서 그 원인을 궁극적으로 인적오류로 결론짓는 경우가 많다. 책임성 측면에서 광의의

인적오류를 원인으로 볼 경우 종사자의 자세 문제나 안전문화 증진 등 포괄적인 조치로 귀결되어, 값비싼 경험의 교훈에도 불구하고 구체적인 대응조치를 도출하기 어렵다(Lee, 2013). 또한 고장사고의 원인을 추적하는 사후분석 및 보완 중심의 회고적인(retrospective) 접근만으로는 고신뢰도를 충분히 유지할 수 없기 때문에 보다 선제적인(proactive) 대처방안 마련이 필요하다.

본 연구에서는 대표적인 고신뢰도 산업인 원전의 최근 인적오류 사례에서 인적오류 특성 및 변화를 분석하고 기존의 대처활동을 검토하여 보다 선제적으로 인적오류에 대처하기 위한 보완항목 및 기술주제 등 대처방안을 제안하였다.

2. A Revisit to the Recent Human Errors in High-Reliability Industrial Systems

2.1 Human Errors for System Safety

고신뢰도 체계는 시스템 안전(system safety) 측면에서 몇가지 고유한 특성을 보이고 있다 (Lee, 2006). 최근 국내외에서 일어난 원자력 분야 사건들로 원전의 종사자와 관련된 안전성 확보에 우려가 제기되고 있다. 원전에서는 기능적 실패에 대한 인적오류 측면에서의 기술적 대책은 어느 정도 확보되고 있으나, 새로운 유형의 인적오류에 대해서는 전적으로 종사자의 책임에 맡기고 동기를 촉구하거나 관리감독을 강화하는 수준에 머물고 있다.

따라서 보다 포괄적인 인적오류 유형에 대한 연구 및 그에 대한 대처기술로서 종사자 역량(competence)을 증진하는 기술과 특화된 관리체계 확보가 시급하다. 특히 일상적 관행적 위반(violation), 회피(avoidance), 침해공격(sabotage) 등과 같은 새로운 유형의 인적오류에 대한 대처방안은 매우 미흡한 실정이다. 고신뢰도 체계에서 발생하는 인적오류의 공통적인 특성과 대처를 위한 문제점을 분석하면 다음과 같다.

첫째, 인적오류에 대한 통계적 접근(statistical approach)이 효과적이지 못하다. 고신뢰도 체계는 수많은 변수에 비하여 결함 발생의 절대 횟수가 적고 통계적 자료 빈도가 매우 낮은 희귀사고(rare event)의 성격을 보이고 있다. 상당히 긴 시간의 운영실적 자료와 많은 동일/유사 시스템의 경험을 활용한다고 해도, 대처에 중요한 요소의 선정에 통계적 유의성을 확보하기 어렵다. 따라서 대부분의 인적오류는 예외적인 성격을 보이며 경험적으로 접근하는데 한계가 있다.

둘째, 인적오류에 대한 현장 작업자의 동기를 확보하기 어렵다. 고신뢰도 체계의 안전관리에서는 개인 상해(injury) 손실 보다는 체계 손실(system loss) 방지를 중심으로 인적오류를 다루고 있다. 종사자 자신의 상해와 같은 본능적인 대처를 기대하기 어려우므로, 체계손실의 중요성 인식 및 방지의 필요성에 대한 지속적인 동기부여와 구체적인 인적오류 대처 관리가 필요

하다.

셋째, 인적오류의 사례나 가능성에 대한 충분한 해석이 어렵다. 고신뢰도 체계는 대부분 대형(large)이고 복합적인(complex) 기술이 개입되므로, 체계의 실패에 기여한 인적오류의 영향구조에 대한 파악에는 매우 방대한 정보와 이를 체계적으로 연계할 수 있는 포괄적 전문성이 필요하다. 인적오류 사례나 가능성의 해석 과정에서 대부분 특정한 전문분야에 편중된 해석이 빈번하고, 최적의 대처방안 도출에 실패하기 쉽다.

넷째, 사소한 인적오류라도 복잡한 과정과 결합되어 드러난다. 고신뢰도 체계는 대부분 공학적으로 고정된 인과관계로 구성되어 밀착체계(tightly-coupled system)의 특성을 갖고 있어서, 종사자의 행위 자체는 사소할 수 있지만 그 영향은 예상과 다르거나 확산될 수 있다. 특히 일단 인적오류가 발생하면 그 영향이 사라지지 않음에도 불구하고 다중의 방어벽(multiple barrier) 및 안전기능(safety feature)이 개입되므로 쉽게 드러나지 않고 기능이나 시간 면에서 극도로 억제된다. 그러므로 인적오류는 단순한 원인-결과(cause-consequence)의 조합이 아니라, 중간에 개입된 복잡한 연결고리를 검토하여 잠재된 유사한 다른 인적오류 가능성을 포착해야 한다.

인적오류의 이러한 특성은 원전에서 여전히 지속적인 것으로 보인다.

2.2 Considerations to the Basic Attributes of Human Errors in High-Reliability System

고신뢰도 체계에서 고려해야할 인적오류의 기본속성(basic attribute)을 상황 종속성(dependancy on situation), 연쇄 구조성(chained structured-ness), 잠재 대표성(representative-ness of latency) 등 세 가지로 요약한 바 있다(Lee, 2003; Lee, 2006; Lee, 2011). 이를 기반으로 고신뢰도 체계에서 인적오류를 보다 효과적으로 분석하는데 필요한 기본적 고려사항을 다음과 같이 제안하였다.

첫째, 고신뢰도 체계의 인적오류는 종사자 또는 관련자의 행위나 그 내부 메커니즘이 아니라 그 행위에 영향을 주는 체계 요인과 외부 상황에 의하여 정의되고 서술해야 한다.

둘째, 고신뢰도 체계의 인적오류는 복잡한 메커니즘에 의해 발생하므로 특정한 단일 요소가 독립적인 원인이 될 수 없으며 대처방안에서도 배타적인 결론이 존재하지 않는다.

셋째, 인적오류는 시스템의 내부에 잠재된 많은 문제점의 영향 결과이지만, 어떤 사건을 통해 드러난 손실은 우연성이 개입되므로, 손실의 크기와 내용을 기준으로 내부 문제점을 규명하는 것은 비효율적이다.

3. Common Characteristics of Human Errors in Recent Events

최근 원자력 분야의 인적오류 특성을 파악하기 위하여, 지난 10년간 국내 원전에서 발생한 인적오류 관련 불시정지 사례 37건을 재검토하였다.(Kim et al, 2014) 재검토는 2절에서 도출된 원칙과 고려사항을 반영하여 개별사례의 특정 원인을 규명하기 보다는 대처가 필요한 위험요소(hazards)를 포착하는데 중점을 두었다. 이는 원전 인적오류 사례에 대한 선행연구(Lee et al, 2008)에서와 같이 인적오류의 기본 속성을 반영하여 사례에서 원인보다는 교훈을 중심으로 도출하여 값비싼 경험의 공학적 실효성을 제고하려는 목적으로 수행하였다. 최근 일어난 원전 고장정지 사례에서 도출된 인적오류의 특성은 다음과 같이 요약할 수 있다.

사소한 문제가 더욱 중요하게 부각되게 되었다. 예를 들면 Y원전의 고장정지는 현장 실무자가 공구를 빠뜨리는 간단한 실수였음에도 불구하고 사회적으로 심각한 비판에 직면했다. 공구에 의해 문제가 발생한 기기가 고가이지만 점진적으로 문제가 드러나면서 안전성에 간접적으로 영향을 주는 기기였기 때문에, 전력대란이 우려되는 상황이었음에도 불구하고 강제정지 및 철저한 원인규명의 현안으로 부각되었다. 이는 과거 다른 원전에서 발생한 다수의 단순실수(slip)와 유사한 수준이었음에도 불구하고 최근에는 방대한 후속조치로 귀결되었다.

인적오류의 효과적인 포착이 더욱 어려워졌다. 최근 디지털 기술의 급격한 발전으로 원전의 재래식 아날로그 기기가 디지털로 개선 또는

교체되는 상황이다. 특히 단위기기에서 전산기술을 적용한 기기는 여러 가지 장점을 발휘하지만, 인적오류 측면에서는 오히려 사전 포착이나 예방은 물론 사후에 원인을 규명하는 것이 곤란해졌다. 예를 들면 전산화된 기기로 그동안 분산되었던 다양한 기능을 모두 포괄하도록 개선하였으나, 사용자 인터페이스와 통신 자료 인터페이스에서 새로운 문제를 드러내고 있다. 사용자 인터페이스의 문제는 인적오류의 원인이 아니라 단위 사건으로 간주하여 새로운 차원에서 그 내부 메커니즘을 검토해야 대처할 수 있다.

또한 디지털 기기의 경우 결함의 조합이 무한대로 발산될 수 있는데도 시각적으로 변화가 드러나지 않아서 실무상에서 쉽게 추적할 수 없다. 디지털 기술이 적용된 기기의 원전에서의 거동과 문제점에 대해 대부분의 종사자들이 충분한 경험이 없기 때문에 어떻게 반응해야할지 불확실한 상황이다. 따라서 최근에는 종사자의 개인적 성향에 의존하거나 조직의 관행과 분위기에 따라 잠재적으로 인적오류를 일으킬 수 있는 특성이 드러나고 있다.

인적오류의 발생구조가 더 복합적으로 심화되었다. 국내에서 자립된 최신 개발기술이 적용된 S원전에서 발생한 불시정지 사례의 경우, 최신 기술의 적용에 따른 후속조치 및 형상관리가 미진하여, 표면적으로 드러난 운전원 오류의 이면에는 수많은 결함이 내포된 사례가 발생하였다. 설계변경, 신입사원 채용 및 배치, 교육훈련, 자격, 시운전 관리 등 다양한 분야의 미진한 요인과 그에 대한 오랜 선택 과정이 배경을 이루고, 현장에서 교대근무, 조직내부 및 외부와의 협력, 의사소통, 안전 의사결정 등에서의 결함이 직접적인 원인으로 작용한 종합적인 인적오류의 예로 볼 수 있다. 그러나 특정한 요소를 원인으로 부각함에 따라, 다양한 원인에 대한 신중한 판단이 필요함에 비해 오히려 상대적으로 단순하게 대처되었을 가능성이 높다.

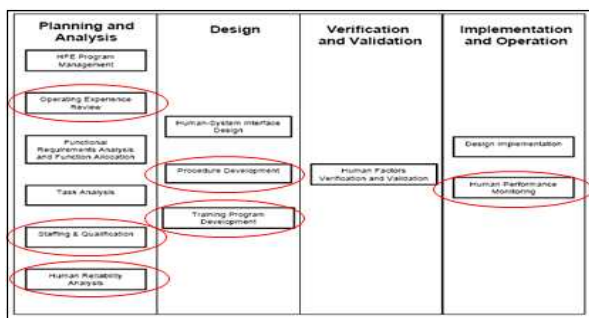
최근 인적오류 사례에서 가장 부각되는 영역은 안전문화(safety culture)라고 할 수 있다. 안전문화는 원전 및 원전을 운영하는 사업자의 조직적 측면에서 포괄적인 요소라고 할 수 있다. 안전문화 문제는 원전 사업자만의 문제가 아니라

그에 영향을 주는 사회전체의 문화를 전제로 판단되어야 하므로, 매우 광범위한 정립과정을 거쳐 판단되고 대처되어야 한다. 최근에 발생한 인적오류의 원인 및 대처 방향을 안전문화 관련으로 볼 경우, 구체적이고 실질적인 대응을 적시하기 어렵다. 안전문화의 경우 현재 IAEA, NRC, NEI 등에서 개념적으로 제시한 몇가지 척도에 의해 포괄적인 평가만 가능하며, 평가결과에 따른 조치방안이 모호한 상황이다. 따라서 종사자 및 조직의 분위기를 쇄신하거나 책임을 강조하는 수준에서 목표와 대상이 모호한 인적오류 대처방안이 실행되는 것이 안전문화 중심의 인적오류 대처는 약점이 불가피해 보인다.

4. Proactive Countermeasures for the Prevention of Human Errors in NPPs

4.1 Identification of Major Human Error Hazards in NPPs

3절에서 재분석 사례의 교훈을 기준으로 대처가 필요한 인적오류 위험요소(hazards)를 도출하고, 그중에서 아직 대처가 불확실한 위험요소를 선정하여 기술기준 등 보완방안을 제시하였다. 사례에서 보듯이 원전은 인적오류를 예방하기 위하여 이미 3E를 총동원하여 안전성을 확보할 것을 요건화하고 있다. 다음 그림은 원전에서 인적오류에 대비하기 위하여 인허가 요건상 만족해야 하는 기본항목을 요약한 것이다.



원전의 인간공학 요건 항목 (NUREG-0711 기준)

먼저 인간공학적으로 철저하게 안전성이 검증된 작업환경을 운전원에게 제공하도록 요구하고 있다. 직무의 안전성을 담보하기 위하여 다양한 기술기준을 실행조치 및 주의사항 등으로 담은

문서로 명시하고 있으며, 공인된 유자격자들을 배치하여 반복적으로 교육훈련하고 있다.

그러나 현재의 요건은 주제어실 설비와 기기와 같은 하드웨어 중심으로 구체화되어 있는 반면 종사자의 역량 등 개인적인 요소와 근무 등 조직 요소에 대한 기술기준은 미흡한 실정이다. 종사자들은 자신의 직무를 실행하는 과정에서 약 15가지의 다양한 인적오류 예방기법을 적용할 것을 요구하고 있으며, 종사자들의 행위를 관리 점검하는 인적 중복성(human redundancy)도 추가로 부과되어 있다. 대비되지 않은 위험요소는 종사자들에게 막연히 의존하는 것이다.

사례의 위험요소는 예외적으로 나타난 것으로 보이지만, 종사자 및 조직 관련 요소는 기술기준이 불확실하여 여전히 안전성을 확신할 수 없고 보완방안도 막연한 것으로 분석된다. 따라서 종사자 관점에서 개인, 조직, 근무환경 분야별로 약 34종의 추가관리 위험요소를 도출하였다.

개인 분야	인적성, 안전의식, 각성도, 피로/스트레스 등 종사자 건전성(FFD) 항목
조직 분야	선발, 배치, 훈련, 근무관리, 협업 등
환경 분야	조명상실, 지진 등 예외적 상황 관련

4.2 Countermeasures to the Human Error Hazards

도출된 위험요소의 보완을 위해 가동원전을 대상으로 개발이 시급한 항목을 분야별로 전문가 검토 방식으로 도출하였다.

1) 개인 관련 보완 기술정보 항목(안)

순	주제	보완을 위한 기술정보 (안) - 원전용
종사자 적합성 (FFD) 관리 개인 요소	종사자 관리	원전 종사자 직무적합성(FFD) 기준 및 지침
		원전 종사자 부서배치 적합성 관리 지침
		원전 종사자 인체적합도 평가관리 지침: 주제어실용
		종사자 전문성 및 경력 적합도 점검 지침
		원전 전 각성수준 점검 및 평가 기법
		절차서 작성 인적오류 대비 방안
		원전 종사자 인적오류 대비 적극성 강화 지침
		원전 종사자 (안전의식) 행동기반안전 가이드
		원전 종사자 성향별 인적오류 예방기법 적용 지침
		MBTI 성격유형별 인적오류 대처 및 배치 관리
피로 관리 스트레 스관리 기타	종사자 관리	종사자 피로 측정 및 평가 기법
		피로로 인한 인적오류 위험 대비 점검표
		종사자 스트레스 측정 및 평가 기법
		인적오류 대처를 위한 스트레스 반응관리 지침
기타		(종합: 원전 종사자 역량 관리 지침)

2) 조직 관리 관련 보완 기술정보 항목(안)

순	주제	보완을 위한 기술정보 (안) - 원전용
조직 요소	조직 관리	이적지원관리 인적오류 위험요소 관리기준
		제도 및 문화적 인적오류 위험요소 관리기준
		구성원 상호작용 인적오류 위험요소 관리기준
		직무특성 및 절차 인적오류 위험요소 관리기준
		회귀성 인적오류 Case Report(UCR) 작성지침
기타		(원전 종사자 인적자원관리 지침) 교대근무 관리 프로그램 : 주제어실 및 기타

3) 작업/근무환경 관련 보완 기술정보 항목(안)

순	주제	보완을 위한 기술정보 (안) - 원전용
환경요소	인적오류 대비 환경관리	원전 종사자 시간 건강관리 지침
		주제어실 주야간 조도관리 지침
		조도 완전상시실 암조음 대처 지침
		중력소음으로 인한 인적오류 대처 지침
		원전 종사자 청각 건강관리 지침
		원전 배경소음 관리 지침
		지동환경 관리 지침
기타	작업 전후 정리정돈 지침	
	종사자 지원(EAP) 및 건강관리 프로그램	
	비상시 직무능력 상실에 따른 행동요령	

4) 인적오류 대처 역량 개발을 위한 추가 항목

순	주제	보완을 위한 기술정보 (안) - 원전용
기타보완	인적오류 대비 역량개발	기술자 윤리
		관행적 편법의 대처/극복 요령
		의사결정 특성과 한계: 어림짐작 휴리스틱 위험성
		인적오류의 대표적인 사전조짐(교육자료)
		원전 종사자 팀워크 및 리더십 향상 방안

4.3 Evaluation of Proposed Countermeasures

도출된 보완 기술정보는 총 34건인데, 이를 가동 원전의 종사자들을 대상으로 인적오류에 대처하기 위해 보완이 시급한 정도를 중요도와 유효성 측면으로 구분하여 상대 평가하였다.

순서	보완 주제	보완을 위한 원전용 기술정보 (안)	중요도	유효성	중요도 (분산)	유효성 (분산)	
종사자 개인요소	종사자 작업성(FFD) 관리	원전 종사자 직무적합성(FFD) 기준 및 지침	4.08	3.96	0.91	1.02	
		원전 종사자 배치별 위험성 관리 지침	4.04	3.92	0.79	1.04	
		원전 종사자 신체적합도 평가관리 지침(MCR종사자)	3.60	3.20	1.26	0.96	
		종사자 전문성 및 경력 적합도 평가 지침	4.36	4.16	0.70	0.69	
		작업 전 건강수준 점검 및 평가 기법	3.64	3.40	0.99	1.04	
		종사자 작업성 인적오류 대비 방안	4.24	4.12	0.88	0.83	
		원전 종사자 인적오류 대비 적극성 강화 지침	4.00	3.80	0.96	1.08	
		원전 종사자 활동기반 안전기반 전문 가이드: 주제어실용	3.68	3.48	0.75	0.92	
		원전 종사자 선진/상황별 인적오류 예방기법 적용 지침	3.68	3.48	0.75	1.00	
		MERTI 선진유형에 따른 종사자 배치 및 인적오류 대처관리	3.24	3.36	0.83	0.91	
		종사자 피로 관리	종사자 피로 측정 및 평가 기법	3.84	3.96	1.03	0.93
		종사자 스트레스 관리	종사자 스트레스 측정 및 평가 기법	3.92	3.80	0.86	0.87
조직요소	인적오류 대비 전사적 팀단위 인적오류 예방	인적자원관리 인적오류 위험요소 관리 기준	3.64	3.64	0.76	0.81	
		제도 및 문화적 인적오류 위험요소 관리 기준	3.56	3.20	0.82	0.96	
		구성원 상호작용 인적오류 위험요소 관리 기준	3.68	3.44	1.07	1.04	
		직무특성 및 평가 인적오류 위험요소 관리 기준	3.68	3.44	0.75	0.83	
		관리성 인적오류 대비 Unsafety Case Report 작성 지침 (중형 - 원전 종사자 인적자원관리 지침)	2.96	2.84	0.98	0.99	
		교대근무 관리 프로토콜, 휴게어실 및 기타	3.42	3.29	0.88	0.91	
		원전 종사자 시간 건강관리 지침	3.76	3.52	1.13	1.12	
		주제어실 주야간 조도관리 지침	3.36	3.36	1.04	1.08	
		조도 완전상시실 암조음 대처 지침	3.36	3.16	1.15	0.99	
		중력소음으로 인한 인적오류 대처 지침	3.08	2.96	1.00	0.93	
		원전 종사자 청각 건강관리 지침	3.46	3.32	0.93	1.03	
		원전 배경소음 관리 지침	3.40	3.32	1.12	1.11	
보완	종사자 지원 및 인적오류 대비 역량개발	진동환경 관리 지침	3.40	3.16	1.15	1.07	
		지동환경 관리 지침	3.60	3.64	1.12	1.11	
		작업 전후 정리정돈 지침	4.17	4.16	0.96	1.03	
		종사자 지원(EAP) 및 건강관리 프로그램	3.88	3.92	0.73	0.86	
		비상시 직무능력 상실에 따른 행동요령	3.80	3.56	0.91	0.87	
		기술자 윤리(교재)	3.80	3.56	1.04	1.04	
		관행적 편법의 대처/극복 요령	3.72	3.68	0.98	0.90	
		의사결정의 특성과 한계: 어림짐작 휴리스틱 위험성	3.88	3.88	0.88	0.83	
		인적오류의 대표적인 사전조짐(교육자료)	4.04	3.88	1.02	1.01	
		원전 종사자 팀워크 및 리더십 향상 방안	3.73	3.59	0.94	0.95	
		분산(노환세: 의견차 분산이 큰 항목)	0.32	0.34	0.14	0.11	
		상한(부은세: 상위평가항목)	4.04	3.92	1.08	1.06	
하한(부은세: 하위평가항목)	3.41	3.25	0.80	0.84			

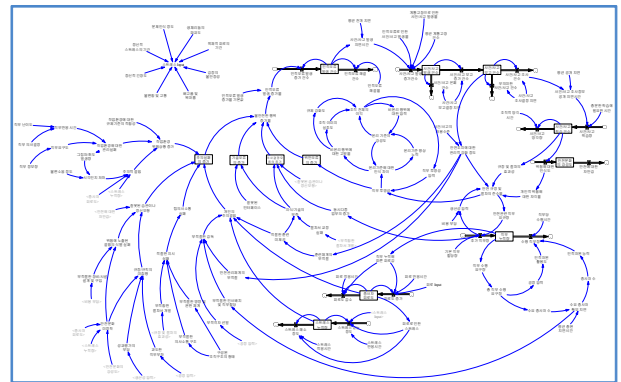
중요도와 유효성 평가 결과에서 보는 바와 같이 절차서, 교대근무, 팀워크 및 리더십 등에 대한 추가 관리의 필요성은 널리 인식되어 있다. 그러나 적극성, 안전의식, 인체적합성 등 잘 알려지지 않은 항목이나 경험되지 않은 예외적인 상황에 대한 대처 기술정보에 대해서는 의견이

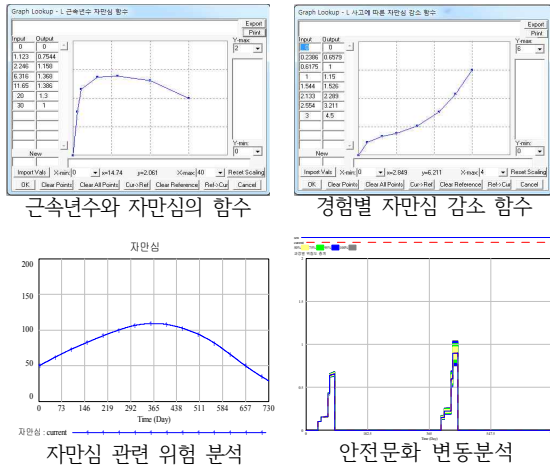
갈라졌다. 한편 피로, 스트레스 등을 포함하여 종사자 지원 프로그램(EAP: Employee Assistance Program)과 직무적합성(FFD: Fitness-For-Duty) 확보의 필요성은 대체로 공감하나, 구체적으로 종사자 성격/성향, 각성수준 등 새로운 관리 필요성에 대해서는 공감도가 낮았다.

4.4 Case-based System Dynamics Simulation Analysis of the Countermeasures to Human Errors in NPPs

인적오류에 영향을 주는 위험요소들은 독립적이지 않고 절충관계에 있는 등 밀접한 상관관계가 있다. 또한 관점에 따라 대처의 필요성과 대처 유효성에 대한 이해가 다를 수 있다. 앞에서 분석된 인적오류 사례에서 공식적으로 대책으로 제안된 것은 절차서 개정 및 교육훈련/감독관리 철저 등 매우 보편적이고 막연한 항목에 국한된 것을 알 수 있었는데, 새로 도출된 대책 항목에 대한 평가결과로 보아 구체적인 대책의 선호에 대해 개인 및 상황에 따라 현격한 의견 차이가 발생할 수 있음을 예상할 수 있다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 각 위험요소들 간의 상관관계를 고려하고 대처효과를 전체적으로 검토할 수 있는 수단이 필요하다.

따라서 시스템 다이내믹스(system dynamics) 기법을 활용하여 원전의 다양한 위험요소의 상호작용을 시뮬레이션함으로써, 인적오류 대책의 중요도와 유효성을 상세히 비교 검토할 수 있다. 다음 그림은 최근 발생한 복합적인 인적오류 사례의 재분석을 위한 시스템 다이내믹스 모형과 종사자의 자만심 변동에 따른 안전문화 수준을 민감도 분석한 결과를 예시한 것이다.





5. Conclusions

본 논문에서는 고신뢰도 체계의 안전성을 확보하기 위하여 그동안 원전에서 경험한 인적오류 사례를 검토하여 인적오류의 기본특성과 최근 동향을 요약하였다. 인적오류의 경향에 따른 효과적인 분석원칙 및 대처방안을 제안하여 최근 10년간의 사례를 재검토하여 원자력 종사자의 인적오류 반응특성을 검토하였으며, 이를 기반으로 인적오류 대책의 효율성을 증진할 수 있는 보완적 대처 항목 및 기술정보 주제를 제안하였다. 또한 인적오류 사례의 시뮬레이션 분석을 활용하여 대책의 최적화를 모색하는 선제적인 대처 방안을 제시하였다.

제안된 대처방안을 통해 인적오류를 종사자의 윤리적 요구나 조직의 안전문화와 같이 상대적으로 막연한 현안으로 제기되는 현재 상황을 극복하고, 선제적인 인적오류 대처방안을 도출하는데 기여할 수 있을 것이다.

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(MEST).

References

- Jang, T.I. et al., *State-of-the-Art Report for the Development of Countermeasures against Human Errors Caused by Individual Factors in NPPs*, KAERI/AR-959, 2012.
- Kim, D.H. et al., An Assessment of Job-related Stress Factors in NPPs, *Pro. ESK-2006Spring*, 2006.
- Kim, D. H. et al., Assessment of Job Stress Factors and Organizational Personality Types for Procedure-based Jobs in NPPs, *J. Nucl. Science & Tech.*, 45(8), 2008.
- Kim, S.K. et al, An Investigation on Unintended Reactor Trip Events in terms of Human Error Hazards of Korean NPPs, *Annals of Nuclear Energy*, UK, 2014.
- Kim, S.S, et al., A Review on the Job Stress Measurements in NPP Workers for Human Error Prevention, *J. ESK*, 32(1), pp47~58, 2013.
- Lee, Y.H., 중대산업사고 예방활동 촉진을 위한 효과적인 인적오류 대응방안, *산업안전보건*, 제15권 10호, 2003.
- Lee, Y.H., A More Effective Approach to the Analysis and the Prevention of the Human Errors, *Proc. ESK-2006 Spring*, 2006.
- Lee, Y.H., *Human Error Event Cases in NPPs: 2002~2007*, KAERI, 2008 (in Korean)
- Lee, Y.H., A Systematic Approach to the Countermeasures for Human Errors in NPPs, *Pro. KNS 2009 Spring.*, 2009.
- Lee, Y.H., A Revisit to the Human Errors in the Industrial Accidents : Is it a Cause or a Consequence?, *Proc. ESK-2010 Spring*, 2010.
- Lee, Y.H., A Preliminary Study on the Organizational Characteristics and Safety Culture against to Human Errors, *Proc. ESK-2011Fall*, 2010.
- Lee, Y.H., A State-of-the-Art Report on the Current Human Error Studies: What and How to Cope with, *J. ESK*, 30(1), pp1~8, 2011
- Lee, Y.H., Research Activities and Techniques for the Prevention of Human Errors during the Operation of NPPs, *J. ESK*, 30(1), pp75~86, 2011
- Lee, Y.H. and Yoon, J.H., A study on the effect of the coincidences between group traits and personal traits upon the job stress, *J. KISE*, 35(2), pp19~27, 2012
- Lee, Y.H. A Strategic Enhancement of the Personnel Competences for the Safety Culture of NPPs, *Proc. ESK-2013 Spring*, 2013
- Lee, Y.H., Countermeasures Against Human Errors for Nuclear Safety, *Proc. Nuclear Safety Research Symposium 2014*, KAERI, 2014