

고신뢰도 시대를 위한 인적오류 3.0 개념과 적용

A Concept and Application of 'Human Error 3.0' for High-Reliability Era

이용희 Yong-Hee Lee¹⁾

계측제어인간공학연구부 I&C and Human Factors Div. 한국원자력연구원 KAERI
대전광역시 유성구 대덕대로 989-11, 34057

초록

최근 대형사고의 원인으로 인적오류가 지목되어 인재(人災)에 대한 우려가 증가하고 있다. 특히 에너지, 교통(철도, 항공, 도로, 해운 등), 해양, 통신, 공공 등 사회의 기반 산업 및 시설에서의 사고는 손실의 규모는 물론 사회적 파급이 막대하여, 관련 인적오류의 대처가 인간공학의 새로운 과제로 부각되고 있다. 본 논문에서는 인적오류에 대한 그동안의 인간공학적 접근방법들을 검토하여, 최근 부각된 인재의 인적오류에 보다 효과적으로 대처하기 위한 새로운 인적오류 개념(가칭 '인적오류 3.0')을 제안하였다. 제안된 인적오류 개념을 적용하는 방안을 원자력 분야를 중심으로 제안하였다. 제안된 새로운 인적오류 개념 및 적용방안은 고신뢰도 시대를 달성하기 위해 인적오류를 보다 효과적으로 분석하고 대처하는데 기여할 수 있을 것이다.

* 주제어 : 인적오류 3.0(human error 3.0), 희귀성 오류(rare error), 대책(countermeasure), 원자력 안전(nuclear safety), 조직요소(organizational factor), 안전문화(safety culture)

1. 인적오류 개념의 배경과 필요성

인적오류는 전통적으로 의도된 인적행위의 실패로 정의되어 다양한 인간공학적 대처기술이 개발되었다. 인간이 사고를 일으키지 않도록 책임을 다하려는 것은 인간공학의 출발로부터 현재까지 중요한 기술적 흐름이다. 그런데 산업기술의 발전으로 기계 측의 발전이 급격하여 인간이 수작업에서 벗어났을 뿐만 아니라, 단순히 직무행위상 문제가 없다는 것만으로 안전을 달성할 수 없게 되었다. 인간의 의도와 무관하게 세계에 심각한 손실을 주는 인적오류를 단순히 인적행위의 개선만으로는 대처할 수 없게 되었으므로 인적오류 개념의 확대가 불가피했다. 인간-기계 체계 개념하에서의 인적오류는 전통적인 접근과는 차별화된 이해가 필요하다.

특히 최근 고신뢰도 산업에서는 인적오류에 새로운 상황이 추가되었다. 인적오류의 빈도가 낮고 개별적으로 고유한 특성을 보이는 동시에 과급범위나 손실의 크기는 과거에 비하여 오히려 현저하게 증가하여 종사자는 물론 사

회적으로도 위협적인 특징을 보이고 있다.

본 논문에서는 최근 부각된 인재(人災)의 인적오류에 보다 효과적으로 대처하기 위한 새로운 인적오류 개념(가칭 '인적오류 3.0')을 제안하였다. 또한 원자력 분야를 중심으로 그동안 인적오류에 대한 인간공학의 접근방법들을 검토하여, 제안된 인적오류 3.0 개념을 적용하는 방안을 제시하였다.

인적오류 3.0에서는 인적오류에 대해 원인(cause)이 아닌 대책(countermeasure) 중심의 관점을 적용하며, 특정한 위험요소의 결함으로 설명하기 보다는 전체 발생구조로 보는 관점이다. 이는 위험요소의 포착 및 선행적 대처에 실용적인 관점이며 효과적임을 주장한다. 인적오류를 인적행위가 아닌 영향요소를 대상으로 포착하며, 손실을 실현시키는 전체적인 위험요소의 관점구조로 인적오류를 설명하는 새로운 인적오류 3.0관점의 접근방법 및 효과를 제기하고자 한다.

2. 인적오류 접근 방법의 변화

인적오류는 원래 인간이 의도와 다른 행위를 통해 실패하는 경우를 의미한다. 따라서 인적오류는 인간 행위의 특징으로 판단되었으며,

1) 연락처 : 한국원자력연구원 계측제어-인간공학연구부, 042-888-2941 yhlee@kaeri.re.kr

인간이 주어진 작업에서 신체적 피해를 입지 않도록 주의하는 것은 산업사회에 접어들면서 시작된 인간공학의 출발점으로부터 현재까지 면면히 이어오는 중요한 기술적 흐름을 형성하고 있다. 따라서 전통적으로 인적오류는 행위 또는 직무의 유형에 따라 구분하였다. (Meister 1967, McCormick 1972). 하지만 산업기술의 발전으로 기계 측의 기능이 급격하게 변화하여 단순히 직무행위상 문제가 없다는 것만으로 만족할 수 없으므로 인적오류 개념의 확대가 불가피했다. 따라서 이 두가지를 편의상 인적오류 1.0 및 인적오류 2.0으로 구분할 수 있다.

인적오류 1.0 개념에서의 인적오류는 인간의 상태 등 신체적 손실과 관련이 깊으며, 인적오류의 발생도 인간의 행위에 대한 변경을 통해 모색되었다. 또한 인적오류의 핵심을 인간 자신으로 보았으며, 인간의 근원적인 가변성 및 불확실성이 무작위적으로 드러난다는 것이 기본적인 관점이다. 인적오류의 방지는 인간의 직무 관련 행위를 반복훈련 등의 방법으로 강화함으로써, 기능적으로 가변성이 나타나지 않도록 하는 것이 보통이다.

하지만 인적오류 2.0의 개념에서는 인적오류를 단순히 인적행위만으로 분석할 수 없다. 인간의 의도와 무관하게 세계에 심각한 손실을 주는 인적오류를 단순히 인적행위의 개선만으로는 대처할 수 없게 되었다. 이를 해결하기 위해 보다 확대된 개념과 다양한 접근방법이 다양한 분야에서 논의되었다(Rasmussen 1992, Hollnagel 1996, Reason 1997, Lee 2006). 다음 그림은 심리학적 관점에서 인적오류의 유형을 의도 및 인지적 수준에 따라 분류한 것이다.

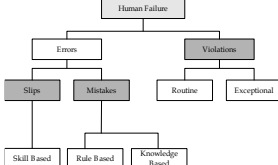


그림 1. 인적오류의 심리학적 유형 분류(Reason)

인적오류 사례의 상당수는 Reason의 분류에 따르면 실수(slip) 유형의 단순한 유형이 여전한 것으로 보인다. 드라이버를 빼뜨리거나, 의도하지 않은 문제를 야기할 경우가 이에 속한다. 다음 표는 인적오류를 유발하는 공통적 성향 및 심리적 결함을 요약한 것이다.

표 1 인적오류 유발 성향 및 심리적 결함

분류	인적오류 유발 세부 현상의 예시
능력 한계	능력 한계에 육박하는 것은 회피한다 너무 쉬운 것은 동기부여가 안된다
공통	복잡한 것은 생각하려 한다 적, 추가적인 일에 대해 알아서 수행하지 않는다.
오류	원인에 미처는 영향에 대해 통감한다
성향	인간 경험, 시정 절차/규정/방법을 고려하지 않는다 인간 경험을 적극적으로 활용하지 않는다 훈련 및 규정에 의해 주의력이 유지되지 않는다 원인 및 개인 심리 현상에 취약하다
심리적 결함	자기위만 : 부조곤 내 양으로 돌리기 자수(양만) 문제 : 우리 오류(다수)가 틀릴 리는 없다 책임분산 : 여럿이면 결과의 심각성도 줄어든다 자기강제화 : -만 아니라면 하고 자기 핑계를 찾는다 완벽론 : 이 정도의 오류는 어쩔 수 없다 인위적화 : 원 대신 원 - 스프레드를 잘못 된 행동으로 본다.

또한 주어진 기능을 적절히 달성하지 못하거나 스위치 같은 대상을 잘못 선택하는 것은 전형적인 착오(lapse) 유형의 오류인데, 표 2.3-2와 같이 능력이나 능력 등에서 추정할 수 있는 종사자 관련 불확실성에서 비롯된 것이므로, 상황 및 조건에 대한 전통적인 인간공학 적 보완조치가 꾸준히 계속되어야 함을 의미한다.

표 2 능력 및 능력에 따른 인적오류 결함

심인 작업자
-계획대로 수행하지 못한다 -정보과잉으로 혼란에 빠진다 -정보의 통합 및 분리 처리가 어렵다 -기억량이 적고 재래 기억하지 않는다 -과사행동이 저연되고 어떻게 수행한다 -선택 가능한 대안도 너무 적거나 없다 -늦고 때로 잘못 못하므로 분주하다 -순서가 혼란된다 -정신적 신체적 시간적 여유가 없다 -회피가 어렵다
숙련 작업자
-수행과정에서 즉흥적으로 적당히 수행한다 -습관적인 방식을 따른다 -개인적 판단으로 복잡한 정보나 약속을 활용한다 -모험을 감지하거나 회피하지 못한다 -예외적인 요소에 대한 인식을 하도 않는다 -여유시간이 과도하게 많다 -각성수준이 높다 -계획대로 수행하려는 의지가 없다 -과사행동이나 과사수준이 없다 -자기확신으로 인한 심리적 위험에 취약하다

인적오류 2.0에서는 사고의 원인(cause)이 아니라 시스템에서 나타나는 하나의 증상(symptom) 또는 새로운 독립적 사건(event)으로 보는 관점이 특징이다. 인적오류를 정의하거나 적절한 대책을 마련하기 위해서는 인적오류가 나타나는 전체 시스템(즉 인간-기계 체계)에 대한 포괄적인 정의가 전제되어야 한다.

인적으로 2.0 개념에서는 인적오류에 대한 전통적인 생각이 유효하지 않을 수 있음을 지적하기도 했다. (이용희 2003, 2007, 2014) 예를 들면 인적으로 2.0에서는 인적오류는 인간 자신의 문제가 아니라라는 것이다. 인적오류가 인간의 내적 불확실성과 가변성에서 나타나는 것이 아니라로 무작위적으로 정의하는 것을 충분하지 않다. 또한 주어진 조건과의 결합에 의해 발생하므로 인적행위 자체만으로는 정의할 수 없다고 볼 수 있다. (이를 상황 종속성이라고 한다) 다음은 인적으로 2.0과 관련하여 기존의 전통적 인적오류 개념 및 접근방법의 시행착오 경험을 요약한 것이다. (이용희 2014)

- ✓ Human Error accident does NOT happen Accidentally
- ✓ Human Error is NOT an Error of Human alone
- ✓ Human Error is NOT a problem of Performance in average
- ✓ Human Error is NOT a primary concern of Human-in-the-Loop
- ✓ Human Error is NOT captured by Statistics itself
- ✓ Human Error is NOT limited by a limited system/system limitations
- ✓ Human Error is NOT totally suppressed by Enforcements/Training/Cautions--
- ✓ Human Error is NOT prevented by Himself to conduct it (Lee et al. 1989)
- ✓ Human Error is NOT explained in ONE way (Rasmussen 1990)
- ✓ Human Error is NOT repeated by the same cause
- ✓ Human Error is NOT identified by the same consequence
- ✓ Human Error is NOT effectively prevented by Eliminating the Cause

고신뢰도 산업에서는 종사자의 인적오류 가능성에 영향을 줄 수 있는 모든 위험요소들에 대해 공학적 책임을 완수하기 위한 설계 및 운영에서 철저한 기술기초 및 체계적 접근방법론을 적용하여 관리하고 있다. 다음 표는 고신뢰도를 달성하기 위해 인적오류에 영향을 주는 요소로 평가 및 관리되는 원자력 분야의 인적오류 관련 요소의 범위를 예시한 것이다.

Operational Phase	Task and operation description	Human Error	Human Error
Startup	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Start-up	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
Normal Operation	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Normal Operation	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
Shutdown	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence
	Shutdown	Incorrect start-up sequence	Incorrect start-up sequence

그림 3 인적오류 영향요소(A. Swain 1983)

그런데 고신뢰도 대형체계에서는 새로운 양상이 나타났다. 체계의 다양성 및 복잡성이 급격하게 증가하고 인간의 역할이 변화하여, 인적으로 별도 자체는 줄어들었으나 신기술에 의해 개별적으로 고유하고 새로운 유형을 드러내고 있다. 특히 ICT 기술이 도입이 활발한 시스템에서는 인적오류의 메커니즘은 비가시적인 형태로 극도로 내재화되었다. 따라서 전통적인 분석 및 평가 방법으로는 효과적인 대책을 내지 못하는 실정이다. 또한 최근에는 인적오류의 새로운 원인으로 조직요인(organizational factor)이 추가로 제기되는 한편, 안전문화(safety culture)가 새로운 포괄적인 과제로 부각되기도 했다. 인적오류의 영향요소가 전통적인 공학적 요인의 범위를 벗어나 조직, 경영, 정책의 영역에 있는 요인들을 포함하게 된 것이다. 즉 체계의 안전에 대한 종사자 책임을 체계의 내부에 국한하지 않고 외부까지 확장하여 무한대의 책임을 요구하게 된 것이다.

한편 개별적인 인적오류는 발생빈도가 낮은 희귀성(rare) 특성을 보이면서도, 사고의 규모 및 파급범위는 물론 민감도는 오히려 급격하게 증가하였으므로, 보다 강화된 분석 및 대처방안이 요구되고 있다. 이러한 새로운 인적오류 경향에 공학적으로 대처하려면 새로운 개념 및 접근 방법이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 인적오류 개념과 구분하기 위해 편의상 인적으로 3.0으로 구분하기로 한다.

3. 기존 인적오류 연구의 재검토

최근 사회적 요구에 따라 새로운 차원에서 인적오류에 대처하기 위해 새로운 요인이 필요하다. 본 절에서는 인적오류를 효과적으로 대처하기 위하여, 기존의 인적오류 개념과 접근방법을 디지털 기술의 발전 및 종사자 반응 특성의 변화 등을 고려한 선행연구 검토를 통하여 추가적인 인적오류 특성을 포착하였다. 다음은 인적오류의 특성에 대한 선행연구의 검토 결과를 몇가지 주제별로 나누어 정리한 것이다. (2015 이용희 외)

(1) 인적오류의 우연성 검토

인적오류가 우연히(accidentally) 발생한다는 생각은 안전이 심각하지 않게 간주되었던 과거의 관념이다. 안전공학이 태동하는 초기로부터 모든 사고(incident)는 일정한 원인에 의하여 발생한다는 기본 개념(원인계기의 법칙)이 강조되었으므로, 인적오류의 발생을 우연으로

보지 않는 것은 인적오류 대처를 위한 중요한 출발점이다. 산업 시스템에서 작업자가 많은 역할을 수행하는 과정(즉 직무)에서 불확실성이 적절히 제어되지 않을 경우, 허용범위를 넘은 불확실성은 인적오류로 귀결될 수 있다. 인적오류 중에는 그러한 근원적인 불확실성에서 비롯되는 유형이 존재하는데 이를 실수(slip) 또는 착오(lapse)의 유형으로 표현한다.

실수 또는 착오는 작업자에게 주어진 가변성의 범위 안에서 확률적(stochastic)으로 발생하는데, 이를 우연성으로 보는 것은 부적절하므로 확률적 가능성으로 포착하는 것이 중요하다. 이러한 확률적 영역에서 발생하는 작업의 불확실성은 HRA에서 대부분 포착하여 정량적 판단을 통해 대처하고 있는 것으로 보인다. 모든 인적오류가 정량적 포착이 가능한 것은 아니지만, 반드시 일정한 범위 및 구조를 가진 원인이 존재하며, 그 원인들의 인과관계에 의하여 설명 및 대처할 수 있다는 것은 시스템 안전의 개념에서 출발한 중요한 인적오류의 기본 특성이라고 할 수 있다. 인적오류에 대한 원인계기의 법칙을 적용하면, 모든 인적오류를 일정한 인과성을 가진 요소들의 단계 또는 연쇄 구조로 포착하는 것이 필수적이다.

(2) 인적오류 유형별 접근방법의 다양성

인적오류는 접근방법이 다양한데, 각 유형에 따라 상반된 특성을 보일 수도 있기 때문이다. Reason의 인적오류 유형분류에서 의도에 따른 위반과 철해까지 광의의 인적오류에 포함될 수 있는데, 인적오류 행위나 외형만으로는 다른 유형과 구분하기 어렵다. 이러한 유형의 오류는 인적오류의 원인분석은 물론 대처 과정에서 견해차이가 극명하게 드러날 수 있다. 특히 효과적인 대응관리 방안을 도출하거나 문제 해결에 이를 수 있을 때까지 정확하고 일관된 관점을 지속하지 못할 수 있다.(이용희, 2012, 2014)

최근 국내외에서 일어난 사건들로 인적오류의 제방방지에 근원적 우려가 제기되고 있다. 원인과 같은 고신뢰도 체계에서는 기능적 실패에 대한 인적오류 측면에서 하드웨어 등 기술적 대비책은 어느 정도 확보되고 있으나, 종사자 및 조직과 관련된 새로운 유형의 희귀성(rare) 오류에 대해서는 대책이 확실하지 않은 것으로 분석된다. 따라서 개별 대책은 물론 기존의 전통적인 인적오류 연구와는 다른 접근방법이 다시 모색되고 있다.(이용희 외 2011, 이용희 2014)

인지심리학에서 제시하는 인간의 정보처리 이론에 근거하면, 종사자의 행위는 인지적 수준에 따라 기술기반(skill-based), 규칙기반(rule-based), 지식기반(knowledge-based) 행위로 구분할 수 있다. 고신뢰도 체계에서도 대부분의 인적오류는 기술 및 규칙기반 오류로 발생하나 이러한 오류들은 사정에 고려된 유형이기 때문에 상대적으로 결과적 손실이 경미할 수 있다. 그러나 지식기반 오류는 발생빈도는 낮지만 형태가 다양하고 메커니즘이 복잡하여, 사고로 확대될 경우 그 피해나 부정적 영향이 심각할 수 있다. 고신뢰도 체계일수록 지식기반의 인적오류에 대한 선제적 대처가 필요하다.

또한 드물지만 동일한 위험요소라고 하더라도 조직적 요소(organizational factor)가 결합되는 방식에 따라 다양한 사건으로 전개될 수 있다. 일반적으로 시스템의 기술적 요소들은 밀착되어(tightly-coupled) 설계되어 있으나, 조직적 요소들은 상대적으로 느슨함(loosely-coupled) 상태이므로, 고신뢰도 시스템이라고 해도 사고로 확산될 수 있는 인적오류 위험요소에 대한 대비가 완결할 수는 없다. 따라서 예외적인 사건을 일으키는 희귀성(rare) 오류가 불가피한데, 이러한 인적오류에 대처하는 선제적(proactive) 대책 확보가 시급하다.

최근 부각된 후쿠시마 원전 사고는 대표적인 예외적인 사건(통상적 규모를 넘는 자연재해)으로, 지식기반 행위 수준의 오류가 조직적 요소와 복합적으로 개입되어 발생한 희귀성 유형의 전형으로 볼 수 있다. 그러나 절대적인 안전성 확보에 대한 사회적 요구가 분명한 원자력의 경우 고신뢰도 목표의 범위 안에 이를 포함하여 대처해야 한다. 이러한 '근원적 놀람(funadamental surprise)의 상황에서는 인적오류가 인간공학적으로 차별화된 원인이므로, 발생 확률과 무관하게 가능한 인적오류 위험에 대처할 수 있는 기술개발이 요구되고 있다.

(3) 인적오류의 책임성 극복

인적오류는 사람의 문제이므로 당연히 사람의 책임이라고 보는 것이 전통적 관념이었다. 그러나 안전공학을 통해서 원인과 결과는 상당한 거리와 복잡한 경로를 통해 연결되기 때문에, 특정한 원인이 그대로 결과에 대한 책임으로 직결되지 않는다는 것이 인적오류 2.0으로 전환하게 된 중요한 계기로 할 수 있다. 특히 인적오류를 책임 관점에서 포착할 경우에 실무상에서 몇가지 심각한 문제점이 파생될 수 있다. 책임의 부담으로 인해 인적오류의

설계 내용에 대한 은폐 또는 해곡의 가능성을 야기하기 때문이며, 이는 손실의 크기가 막대한 대형시스템일수록 더욱 심각한 수발에 없다. 또한 '사고의 책임성'을 근거로 후견지명(hindsight effect) 식으로 문제를 제기하기 쉬운 작업과 관련 문제를 '원인'으로 부각하는 인적 오류 발생주의가 적용되면, 진정한 원인에 대한 철저한 조사와 효과적인 대책에 대한 노력을 차단되기 때문이다.

시스템에서 모든 요소는 미리 허용된 범위의 불확실성을 가지고 목적에 충실한 것으로 가정하는 것이 타당하며, 이는 종사자에 대해서도 동일하게 적용해야 할 것이다. 원자력 시설의 모든 종사자는 (사보타지 등 예외적인 인적오류 유형을 제외하고는) 최소한 시스템의 목적과 목표 달성에 충실하려고 한다는 신의성을 인적오류 연구의 전제로 두는 것이 타당하다. 그러므로 인적오류를 사할인 종사자의 책임으로 보는 관점은 시스템 안전에서 별도로 혹은 최후의 단계에 제한적으로 적용해야 한다. 인적오류를 책임 관점에서 다루면 은폐 또는 해곡된 인적오류 정보만을 제공하므로, 고신뢰도 체계에서 매우 낮은 빈도로 경험되는 귀중한 교훈의 기회를 상실할 수 있다.

(4) 인적오류 대응을 위한 체계의 효과

종사자에 대한 강제조치(enforcement)로 인적오류를 상당 부분 방지할 수 있다는 관점은 산업 현장에서 매우 뿌리 깊게 지속되고 있는 현상이다. 일반 산업 현장에서 종사자의 행동에 대한 제한주의/경보 및 그에 따른 관리감독, 경고 및 처벌 등 인적오류에 대한 가시적인 조치로 빈번하게 목격되며, 이러한 통제 만능주의적 관점은 즉각적인 효과를 얻는 것으로 인식되고 있다. 그러나 이는 인적오류의 방지를 위한 성급한 태도에서 나온 것이며, 특히 인적오류를 단순히 관련된 사람의 문제로 보는 책임성 관점과도 밀접한 연관관계를 가지고 있다.

그동안 감독(관리) 철저 및 철저사 변경(보완)을 대표적인 대응조치로 삼는 인적오류에 대한 통제 만능주의의 경향이 발견되는데 다음과 같은 문제점이 제기된다. 고신뢰도 체계에서는 종사자 역할에 대한 명시적 설계를 결자서 및 그에 대한 자격과 훈련을 통해 철저하게 관리하고 있으므로, 시스템의 운영에서 필요한 강제조치는 이미 충분히 적용되고 있다고 할 수 있다. 시스템에서 인적오류에 따른 추가적인 강제조치는 종사자의 역할을 제한하거나 고착시켜, 비정상적인 상황에서 종사자가

말아야 하는 대처 능력을 저하시키는 부정적인 영향을 줄 수 있다. 또한 발생되는 결합의 다양성에 대처하는 강제조치는 그 자체가 다양하므로 무한대로 반복될 수 있으며, 그때그때 일어나는 사례별로 사후적으로 이루어질 수밖에 없다는 한계도 명확하다. 따라서 원자력 시스템의 인적오류에 대한 통제 만능적 관점은 고신뢰도 체계를 유지하는데 충분히 효과적이지 않다.



그림 2 인적오류와 통제

인적오류를 자발적 노력으로 방지할 수 있다는 관점은 산업공학의 발전과정에서 X이론에 대응하여 나타난 Y이론의 산물이다. 인적오류는 그 자체로 종사자의 내적 경험이며, 종사자의 자발적 노력에 의해서 효과적으로 방지할 수 있다는 것은 매우 설득력 있게 들린다. 인적오류에 대한 자발적인 보고 및 분석은 물론 인센티브를 통해 긍정적으로 관리하려는 경향은 매우 선진적인 관점으로 인식되기도 한다. 그러나 인적오류에 대한 자발적 노력의 근본적인 한계를 검토할 때, 시스템에서는 자칫 인적오류와 관련된 불확실성을 방지하거나 유발하는 잘못된 관점이 될 수도 있다. 인간공학의 기본 관점에서 인간은 고유한 특성과 그에 따른 근본적인 한계를 가진 존재이므로 자신의 문제를 제대로 인식하기 어렵다. 또한 특정한 시스템 조건에서 인간의 근원적 한계와 불확실성으로 인하여 발생하는 인적오류는 당사자 자신의 의도와 노력만으로 방지할 수 없다. 이는 시스템에서 발생한 오류가 특정한 개인의 문제가 아니라 시스템의 상황 에 의해서 정의될 수 있다는 인적오류의 중층성 개념과 밀접한 관계가 있다. 종사자의 신의 및 성실성에도 불구하고 발생하는 고신뢰도 시스템에서의 인적오류는 자발적인 노력만으로는 더 이상 대처할 수 없는 영역인 것이다.

인적오류에 대한 경험은 당사자에게 주의를 촉발하므로 제발을 방지할 수 있다. 산업안전에서는 이러한 효과를 활용하여 종사자들에게 인적오류 경험을 널리 과감하는 것을 인적오류에 대한 중요한 예방적 대응조치로 활용하

고 있다. 같은 사람은 같은 오류를 반복하지 않을 것이라는 관점은 인적오류에 대한 경험적 학습의 가능성에 근거한 관점이다. 그러나 산업 시스템에서 작업자가 아니라 작업자에게 주어진 상황이 인적오류를 유발한다는 중층성의 관점에서 보면, 동일한 종사자의 경험에 의한 예방 효과는 기대하기 어렵다. 앞에서 인적오류의 중층성 개념과의 관계에서 강조했듯이, 원자력 분야에서 개인의 신의성을 전제한다면 일단 발생한 종사자의 인적오류는 개인의 문제에서 비롯된 것이 아니라 시스템의 상황에 의해서 복합적으로 유도된 것(system-induced error)으로 보아야 할 것이다. 동일한 사람이라고 하더라도 동일한 상황에서는 동일한 오류를 반복할 수밖에 없다고 보아야 한다.

(5) 인적오류 대응책은 '원인의 제거'인가?

시스템의 안전을 위한 현장의 활동은 대부분 사고의 원인(cause)에 집중되어 있다. 특히 인적오류의 경우 원인을 정확하게 분석하기 위한 이론적 및 실무적 노력은 방대한 시행착오의 역사를 보여주고 있다. 모든 사고가 필요에 따라 다양한 관점에서 각각 포착될 수 있듯이, 인적오류도 다양한 관점에서 분석될 수 있다. 그러므로 인적오류의 원인을 특정하는 것은 매우 어려운 일이며, 특정한 원인을 포착하기 위한 노력은 막대한 수준인 경우가 많다. 그리고 대부분의 경우 사고의 제발을 방지하는 대책은 그 원인을 제거하는 것으로 결론짓는 경우가 많다. 그러나 원인제거를 그대로 최선의 대책으로 보는 것은 불충분하다. 최선의 대책이 원인의 제거인가를 판단하기 위해서는 다양한 다른 대책의 가능성에 대한 확인 및 각 대책들의 비용/효과를 비교하는 공학적 분석 과정이 추가되어야 한다. 원자력 분야에서 인적오류는 다양한 공학적 전문성이 포함된 복합적 체계의 문제점으로 표현되기 때문에 그 원인을 제대로 분석하기 더욱 어렵다. 예가 없도록 엄밀한 공학적 인과관계로 구축된 밀착(tightly-coupled)시스템일수록 단일한 요소의 불확실성은 쉽게 사라지지 않고 전체 시스템의 거동에 영향을 미치기 때문에, 근원적인 불확실성을 내포하고 있는 종사자의 기능에서 인적오류의 위험성이 드러나는 일이 빈번하다. 그러나 그렇다고 종사자의 불확실성과 관련된 원인을 제거하는 것이 공학적으로 최선의 대책이라고 귀결할 수는 없다. 대부분의 경우 인적오류와 관련된 종사자의 문제는 불가피하거나 쉽게 변경하기 어려운 근원적인 특성 또는 한계인 경우가 많기 때문이다. 예를 들면

인적오류의 반복을 방지하는 조치의 일환으로 종사자에게 주의하도록 하는 경우가 빈번한데, 현실적으로 주의할 수 있는 범위를 초과하여 인적오류가 발생하기 때문에 원인이 제거 불가능한 경우가 많다.

(6) '수행도' 개선과 인적오류 개선

일반적으로 인적오류는 종사자 및 시스템의 성능(performance), 즉 수행도를 개선함으로써 효과적으로 대처할 수 있는 것으로 생각되고 있다. 시스템 안전에서는 안전을 수행도의 일부로 본다. 그러나 거꾸로 시스템의 수행도는 안전과 동일하지 않으므로, 인적오류를 다루는 과정에서 부적절한 과정 및 결과를 만들어내기도 한다. 안전은 일반적인 성능과 별개로 추가적으로 다루어야 하는 영역이다. 일반적으로 성능은 평균적인 경향으로 판단되지만, 안전은 한계적 요건을 만족하는가 여부로 판단된다. 따라서 인적오류는 종사자의 일반적인 수행능력 또는 수행도만으로는 충분히 판단할 수 없다. 인적오류의 대책이 종사자의 일반적인 수행도를 높이거나 이를 위한 작업 능력을 개선하는 것으로 귀결되는 것은 불충분하다.

고신뢰도 산업에서도 이러한 모호한 분석 및 대처의 경향은 유사하다. 최근에 발생한 사건들을 통해 가동률 또는 이용률 등 성능 관련 척도 및 그 연장선에서 인적오류 위험을 추정하던 상식적 접근이 근본적으로 달라져야 한다는 인식이 급격히 부각되었다. 특히 낮은 빈도를 보이는 경우에는 발생 횟수의 상대적 비교는 통계적 유의성이 없을 뿐 아니라, 종사자의 능력이나 교육훈련 등의 비교만으로는 인적오류 대처의 적절성을 판단할 수 없다.

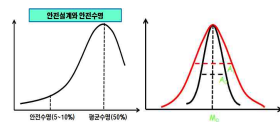


그림 3 안전수명과 인적오류

4. 인적오류 3.0의 접근방법 모색

인적오류 3.0에서는 기존의 개념에 비해 다음과 같은 상대적 특징이 고려된다. 인적오류 3.0의 특징은 본 연구에서 인적오류 사례의 재검토를 통한 효과적인 대처방안 모색의 기반으로 활용하였다.

- 인적오류의 발생 빈도가 매우 낮다. - 인적 오류 자체에 대한 경험과 정보가 드물어서 유의성 있는 통계적 접근이 불가능하다.
- 인적오류의 형태가 연속하지 않다. - 이전의 경험적 해석은 물론 이미 개발된 대처 방안이 타당하지 않을 수 있다.
- 인적오류의 메커니즘이 잘 드러나지 않는다. - 인적오류의 결정적인 내용이 비가시적인 영역으로 내재화되어 객관적인 증거를 획득하기 어렵다.
- 인적오류의 영향 및 과실이 막대하다. - 제대 및 인적오류로 인한 손실의 규모가 막대할 뿐만 아니라, 체계의 문제의 영향 범위나 판단기준을 특정할 수 없다.
- 무결함으로도 발생할 수 있다. - 명백한 인적오류임에도 불구하고 특정한 원인요소의 결합이 규명되지 않을 수 있다.

(1) 접근방법의 전환 방향

산업안전에서는 사고의 기본구조를 원인-결과-조합으로 파악하며, 인적오류도 동일한 방식을 적용한다. 따라서 인적오류도 특정한 원인과 결과의 조합으로 분석되며, 특정한 인적오류는 특정한 원인에 의하여 발생한다고 본다. 그러나 도미노 이론 등으로 보면 특정 사고는 중간에 다양한 요소들이 개입되어 구조적으로 발생하므로, 같은 사고라고 하더라도 같은 원인으로 연결할 수 없다. 특히 인적오류는 메커니즘이 다양하여, 가능한 발생경로가 거의 무한대로 파악된다. 그러므로 인적오류의 결말이 동일하다고 같은 원인을 추정할 수 없으며, 동일한 요소에 결합이 발생하여 인적오류를 유발하게 되더라도 같은 결과를 만들어내지 않는다는 점은 인적오류 관련 연구개발에서 결과의 실효성을 확보하기 위한 중요한 시행착오 경험이다.

인적오류를 종사자의 실수(slip 또는 lapse)와 동일한 것으로 보는 경우에는, 종사자의 실수가 반복되지 않도록 하는 가장 직접적인 방법으로 종사자에게 특정한 원칙(criteria 또는 principle)을 부여하고 이를 지키도록 제어(control)하는 강제방식(enforcement)을 우선하는 경우가 많다. 원전의 경우에도 직무의 절차화가 상대적으로 어려운 보수 및 시험 영역에서 새로운 절차로 직무의 원칙과 기준을 보장하는 대응조치를 취하는 경우가 많았다. 또한 인적오류는 그러한 원칙이나 기준을 벗어나는 문제와 동일하게 간주하므로, 종사자가 책임져야 하는 문제로 분석하는 것도 자연스러운 맥

락이라고 할 수 있다. 그러나 시스템 내에서 종사자가 지켜야 하는 원칙이나 기준은 최소한의 것에 불과하다. 시스템에서 종사자의 역할은 하드웨어를 중심으로 시스템의 거동에 발생시킬 수 있는 예외적인 면에 미리 정의되지 않은 상황에 대처하도록 설정된 경우가 많은데, 이는 원인과 같이 최대한 자동화된 시스템 일수록 더욱 뚜렷한 부분이다. 따라서 산업 현장에서 원칙을 강조하거나 강화하는 것은 인적오류를 방지하는데 효과적이지 못하다는 것이 공통적인 시행착오 경험이다.

또한 종사자에게 원칙을 과도하게 요구하는 것은 부수적으로 새로운 부정적인 영향을 주거나 새로운 유형의 인적오류를 유도하는 경우가 있다. 종사자에게 주어질 원칙에 충실하도록 강화할 경우에는 예외적인 상황에 대해서는 오히려 적합하지 않은 방식을 고수하거나, 문자적으로 원칙을 고수하여 정작 필요한 조치를 회피(avoidance)하는 새로운 유형의 오류로 전이될 수 있기 때문이다.

고신뢰도 체계는 시스템 안전측면에서 몇가지 고유한 특성을 보이고 있다. 인적오류에 대한 효과적인 모색을 위하여 고신뢰도 시스템의 특성을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 대형 체계(large system)
- ② 복잡 체계(complex system)
- ③ 고신뢰도체계(high-reliability system)
- ④ 밀착(tightly-coupled)기술체계(technical system)
- ⑤ 비가역적(irreversible) 체계
- ⑥ 비상해 안전(non-injury safety) 체계
- ⑦ 잠복성 위험(latent hazard) 체계
- ⑧ 단련적(out-of-the-loop) 작업 체계

(2) 인적오류 접근방법의 주안점

본 절에서는 고신뢰도 체계의 안전성을 확보하기 위하여 그동안 제시된 인적오류 선행연구 사례를 검토하여 인적오류3.0의 주안점을 요약하였다.

우선 인적오류의 특성에 대한 기본이론 및 선행연구를 기반으로 고신뢰도 체계에서 인적오류의 분석 및 대처를 위해 고려해야 할 기본적인 속성(basic attribute)을 다음과 같이 요약하였다(이용희 2003, 2006, 2011).

- 상황 종속성(dependency on situation),
- 연쇄 구조성(chained structured-ness)
- 잠재 대표성(representativeness of latency)

제시된 기본속성을 기반으로 인적오류 3.0에서 인적오류의 분석 및 대처방안을 보다 효과적으로 도출하기 위해 필요한 기본적 방향을 다음과 같이 요약하였다.

- 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 문제결의 영향 결과이지만, 어떤 사건을 통해 드러난 손실은 우연성이 개입되므로, 손실의 크기와 내용을 기준으로 내부 문제점을 규명하는 것은 비효율적이다.

(3) 원자력 인적오류의 효과적 접근방법 모색

원자력 시설은 전형적인 고신뢰도 체계로서 시스템 안전(system safety) 측면에서 몇가지 고유한 기본특성을 드러내고 있다(Lee, 2006). 최근 원자력 분야의 인적오류 특성을 파악하기 위하여, 지난 10년간 국내 원전에서 발생한 인적오류 관련 불시정지 사례 42건을 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 기본속성을 반영하여 사례에서 원인보다는 교훈을 중심으로 도출하여 값비싼 경험의 공학적 실용성을 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 실수임에도 불구하고 사회적으로 심각한 비판에 직면했다. 공구에 의해 문제가 발생한 기기가 고가이지만 결정적으로 문제가 드러나면서 안전성에 간접적으로 영향을 주는 기기였기 때문에, 전례판이 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 단위기에서 전산기술을 적용한 기기는 여러 가지 장점을 발휘하지만, 인적오류 측면에서는 오히려 사건 포착이나 예방은 물론 사후에 원인을 규명하는 것이 곤란해졌다. 예를 들면 전산화된 기기 그 동안 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 결합의 조합이 무한대로 발생할 수 있는 데도 시각적으로 변화가 드러나지 않아서 실무상에서 쉽게 추적할 수 없다. 디지털 기술이 적용된 기기의 원전에서의 거동과 문제점에 대해 대부분의 종사자들이 충분한 경험이 없기 때문에 어떻게 반응해야 할지 불확실한 상황이다. 따라서 최근에는 종사자의 개인적 상황에 의존하거나 조직의 관행과 분위기에 따라 잠재적으로 인적오류를 일으킬 수 있는 특성이 드러나고 있다.

인적오류의 발생구조가 더 복잡적으로 심화되었다. 국내에서 자립된 최신 개발기술이 적용된 S원전에서 발생한 불시정지 사례의 경우, 최신기술의 적용에 따른 후속조치 및 현상 관리가 미진하여, 표면적으로 드러난 운전원 오류의 이면에는 수많은 결합이 내포된 사례가 발생하였다. 설계변경, 신입사원 채용 및 배치, 교육훈련, 자격, 시운전 관리 등 다양한 분야의 미진한 요인과 그에 대한 오랜 선택과정이 배경을 이루고, 현장에서 교대근무, 조직내부 및 외부와의 협력, 의사소통, 안전의사결정 등에서의 결함이 직접적인 원인으로 작용한 종합적인 인적오류의 예도 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 사업장의 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 개선하거나 책임을 강조하는 수준에서 목표와 대상이 모호한 인적오류 대처방안이 실행되는 것이 안전문화 중심의 인적오류 대처는 약점이 불가피해 보인다.

따라서 고신뢰도 체계의 특성에 입각하여 보다 포괄적인 인적오류 유형에 대한 선행적 연구가 시급하다. 특히 일상적 관행적 위반(violation), 회피(avoidance), 철해공격(sabotage) 등과 같은 새로운 유형의 인적오류에 대한 대처방안은 매우 미흡한 실정이다. 또한 의사결정 오류와 같이 개인을 넘어선 조직단위의 활동에서 드러난 오류에 대한 연구개발 방안이 시급하다. 마지막으로 인적오류에 대한 대처기술의 핵심영역으로서 종사자의 관련 인적오류 대처 역량(competence)을 증진하는 기술과 특화된 대처관리체계의 확보가 시급하다.

첫째, 인적오류에 대한 통계적 접근(statistical approach)이 효과적이지 못하다. 고신뢰도 체계는 수많은 변수에 비하여 결함 발생의 절대횟수가 적고 통계적 자료 빈도가 매우 낮은 희귀사건(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 접근하는 데 한계가 있다.

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

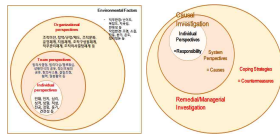
셋째, 인적오류의 사례나 가능성에 대한 충분한 해석이 어렵다. 고신뢰도 체계는 대부분 대형(large)이고 복합적인(complex) 기술이 개발되므로, 체계의 실패에 기여한 인적오류의 영

향구조에 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 않을 수도 불구하고 다중의 방어벽(multiple barriers) 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 감제된 유사한 다른 인적오류 가능성을 포괄해야 한다. 선행연구를 통해서 도출된 이러한 고신뢰도 체계 인적오류의 특성은 원천으로 대표되는 원자력 분야에서 여전히 지속되거나 오히려 더 강화되고 있는 것으로 보인다.

5. 결론 및 토의

ICT 기술의 발전으로 산업 시스템이 고신뢰도 및 대형화되는 추세에 있다. 고신뢰도 체계는 인적오류의 빈도가 낮은 희귀성(rare) 특성을 보이지만 사고의 규모, 파급범위, 민감도가 급격하게 증가하고 조직요인(organizational factor)이나 안전문화(safety culture)를 인적오류의 포괄적 원인으로 제기하여 인적오류의 구체적인 대처가 어려워졌다. 본 논문에서는 최근 부각된 인적오류 과제에 보다 공학적으로 효과적으로 대처하기 위한 새로운 인적오류 개념(가칭 '인적오류 3.0')을 제안하고, 제안된 개념을 적용하는 방안을 제시하였다.



원자력 분야를 중심으로 그동안 인적오류에

대한 인간공학적 접근방법들을 보완하여, 인적오류 3.0 관점의 적용방안을 제안하였다. 인적오류를 원인이 아닌 단위사건으로 보는 개념(인적오류 2.0)을 추가로 보완하여 인적오류를 인적행위나 아닌 영향요소들의 조합으로 포괄하며, 선행적 대처에 효과적인 위험요소를 포착하기 위해 원인(cause) 보다 대책(countermeasure) 관점의 분석방법을 제안하였다. 또한 인적오류를 특정한 위험요소의 인과적 조합(Cause-and-Consequence) 보다는 손실을 실현시키는 전체적인 위험요소의 관계구조로 포괄하여 안전문화와 같은 포괄적인 과정을 공학적으로 다루는 출발점을 제시하였다.

인적오류	주요점	관련 개념
1.0	직업자의 행위 (실수) Failures in Human Behav.	전통적 산업안전 기술적 원소: 직무설계, 절차서, 훈련
2.0	체계의 인적요소 위험성 관리- Human (Cause) Induced System Failure	TMI 사고 이후 수행도 형성요인(PSFs) > 인적오류 유발 요인 위험대처: 인터페이스 개선 등
3.0	선행적 대처 System Fail including Human Factors	체르노빌/후쿠시마 사건에서 인적요소 대처 사고/고장에 대한 선행적 대처 능력 Resilience Engineering

인적오류 3.0은 후쿠시마와 같은 사고로 인해 대형시스템의 안전성 확보에 보다 강화된 요건을 만족한다. 또한 작업환경, 종사자 개인적 특성과 관련된 사소한 위험요소라도 다른 요소와 구조적으로 결합된 경우 궁극적으로 심각한 결과를 초래할 수 있다는 인식을 반영한 것이다. 인적오류 위험요소에 대해 개별적으로 강화된 기준 적용 및 관리만으로는 대처하기 어려운 구조적 오류의 가능성에 대처하기 위한 접근방안을 제시하였다. 고신뢰도 시스템의 특성 상서 발생 가능한 모든 인적오류의 경로를 도출하고 인과관계를 입증하는 상황적 조건을 망라하는다는 제약점이 있으나, 기존의 소수사례로부터 인적오류 위험요소에 대한 선행적 항목을 도출하여 시나리오 기반으로 대처하는 방안을 제시하였다. 본 논문에서는 고신뢰도 체계에서 발생 가능한 매우 낮은 빈도의 인적오류에 선행적으로 대처할 수 있도록 새로운 인적오류 대처방안을 개발하는 근거로 인적오류 3.0 개념을 제안하였다.

제안된 새로운 인적오류3.0 개념 및 접근방안을 통해 인적오류의 대처를 종사자에게 전적으로 부과하는 문제는 물론 포괄적인 윤리적 요구나 안전문화와 같이 막연한 조치로 대처하는 기존의 인적오류 접근방법의 한계를 극복할 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.

6. 참고문헌

- 이용희 외, 원자력 인적오류 대처기술 개발: 1 단계보고서, 한국원자력연구원, 2015.
- 이용희, 중대 산업사고 예방활동 촉진을 위한 효과적인 인적오류 대응방안, 산업안전보건 제 15권 10호, 15(10), 2003.
- 이용희, 인적오류 연구 기술현황 : 무엇이며 어떻게 대응할 것인가? 대한인간공학회지 인적오류 특집호 30(1), pp.1-8, 2011.
- 이용희, 오연우, 신광현, 장동일, 이정훈, 윤종훈, 박계창, KAERI/TR-4575/2012, 디지털 기기의 인적오류 평가 기법 개발 및 활용, 한국원자력연구원, 2012.
- 이용희 외, 가동 원전의 인적오류 예방 활동 지침, 대한인간공학회지 30(1), pp.75-86, 2011.
- 이용희, 원자력 인적오류 대처기술 개발-동향과 방향, 원자력 인적요인 워크샵 - 원전 인적행위 조사분석 활성화, 한국원자력연구원, 2015.
- 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., A Review on the Effective Countermeasures to the Recent Human Errors in High-Reliability Industrial Systems, Proc. ESK-2014 Fall, 2014.
- IAEA, The Fukushima Daiichi Accident: Technical Volume 2/5 Safety Assessment, 2015.