

## 인적오류분석방법론

인적오류는 인간에게 요구되는 정확도, 순서, 시간한계 내에서 적절한 행위를 하지 못하거나 목적인 행위를 수행하는데 실패하는 것이라 정의할 수 있다. 인간에게는 인적 오류의 주요 원인이 되는 여러 주위 환경변화와 인간의 고유한 습성인 변화성(variability)에 따라 항상 요구된 행위를 기대할 수 없다. 특히 인간 습성에 의한 매우 사소한 인적 오류 발생이라도 심각한 사고를 초래할 수 있다. 최근 국내에서는 원자력발전소의 인간공학 분야에서 원인적 오류를 감소시키거나 방지하기 위한 다양한 분석방법이 연구되고 있다. 인적오류 분석에 대한 연구는 그 접근방식에 따라 관리적 접근방식, 정량적 접근방식, 정성적 접근방식의 세가지 유형으로 분류할 수 있다.

### □ 관리적 접근방식

관리적 접근방식이란 일정한 일정한 보고양식을 가지고 분석한 결과를 활용할 수 있도록 한 보고체계들을 통하여 인적 오류를 분석하는 것을 말한다. 이 접근 방식에 대표적인 예로는 미국 INPO에서 개발한 HPES(Human Performance Enhancement System)이 있으며, 이와 유사하게 일본의 J-HPES, 우리나라의 K-HPES 등이 인적오류 사례를 수집 관리하는 인적오류 관리체계이다. 이외 IAEA 또는 OECD/NEA와 같은 국제기관의 IRS(Incidents Reporting System) 등과 같이 인적오류 사례에 국한하는 것이 아니지만 이와 관련된 내용을 일부 포함하고 있는 방식이 있다.

관리적 접근방식에 의한 인적오류분석 결과는 추후 원전의 제도, 설계, 작업절차 등의 개선을 통해 인적오류의 감소를 지향하는 업무에 활용 가능하도록 추구하고 있다. 그러나 관리적 접근방식에 있어서의 보고체계가 사실적인 보고가 힘들고, 대부분 보고체계의 인적 오류에 관한 항목이 오류분석을 통한 응용에 충분할 만큼 상세하지 않을 수도 있다. 또한 원전 종사자가 인적 오류분석을 수행하여 그 결과를 보고할 경우 분석결과가 분석자의 지식과 자질에 따라 크게 좌우되어 주관적 판단이 높아지고 정확도 또한 많은 편차를 가지게 된다. 특히 원전의 종사자는 일반적으로 인적 오류분석에 필요한 인간공학적 기초지식을 갖고 있지 못하기 때문에 인적오류의 규명과 관련된 해석이 사실과 다르게 분석될 수도 있다.

□ 정량적 접근방식

정량적 접근방식이란 인적행위에 관한 오류확률의 계산 및 확률론적 인간신뢰도 분석(HRA; human reliability analysis)을 위한 방법론 연구, 확률산정 활용을 목적으로 하는 인적오류 자료의 자료관리 체계에 관한 연구 등과 같은 방법론을 의미한다. 이 중 확률적 인간-신뢰도분석에 의한 접근방식은 가장 널리 적용되는 것으로 이와 관련되어 개발된 기법은 표1과 같이 제1세대 및 제2세대로 유형을 분류할 수 있다.

표1. 인적오류의 정량적 분석 방법론

제 1 세대 분석방법론	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accident Investigation and Progression Analysis</li> <li>- Confusion Matrix</li> <li>- Operator Action Tree</li> <li>- Secio-Technical Assessment of Human Reliability</li> <li>- Expert Estimation</li> <li>- Success Likelihood Index Method/Multi-Attribute Utility Decomposition</li> <li>- Human Cognitive Reliability</li> <li>- Maintenance Personnel Performance Simulation</li> </ul>
제 2 세대 분석방법론	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cognitive Reliability and Error Analysis Method</li> <li>- A Technique for Human Error Analysis</li> <li>- Generic Error Modeling System</li> <li>- Rasmussen`s Model</li> <li>- Cognitive Event Tree System</li> <li>- Cognitive Environment Simulator</li> <li>- Human Interaction Timeline</li> </ul>

표1에 나타난 제1세대 방법론 중 가장 광범위하게 사용되고 널리 알려진 기법은 Technique for Human Error Rate Prediction(THERP)이다. THERP는 Swain(1989)에 의해 개발된 것으로 작업수행을 위해 필요한 행위들의 성공확률을 계산하는 방식이다. 확률의 계산은 미리 정의된 인적 오류확률에 근거하며, 분석되어야 할 대상작업의 수행특성에 대한 설명을 제공하기 위하여 직무분석과정이 포함된다. 직무분석의 결과는 요구된 순서의 행위에 대한 HRA 사상수(event)로 표시된다. 즉, THERP는 분석대상 작업을 기본적 행

위로 분할하여 각 행위의 성공 또는 실패확률을 결합함으로써 작업의 성공 확률을 정량적으로 산출하는 방식이다. 이러한 THERP는 사건들이 어떻게 모형화 되어야 하고 어떻게 정량화되어야 하는가를 표현한다는 점에서 의미가 있다. 그러나 THERP는 분류체계와 모델이 제한되어 있다는 점에서 복잡한 인적오류 유형으로 분류하는데 충분하지 않은 것으로 평가받고 있다.

제2세대 방법론 중 현재 가장 널리 알려진 기법은 Cognitive Reliability and Error Analysis Method(CREAM, 1998)이다. 이 방법론은 Hollnagel이 하나의 모델로 회고적 오류분석과 예견적 오류분석에 모두 적용 가능한 오류분석 방법으로서 제안하였다. CREAM에서는 인지과정을 사다리꼴 의사결정모형을 기반으로 하되 네 단계로 단순화하여 정의하였다. 또한 인지과정은 순차적인 것이 아니라 순환적(recursive)이며, 인지적 제어는 직무수행 당시의 상황요인(context factors)에 의해 결정된다고 보았다. CREAM은 관찰(observation), 해석(interpretation), 계획(planning), 수행(execution), 네 단계를 직무수행의 기본적인 인지단계로 간주하고, 직무특성에 따라 우선적으로 중요한 인지단계가 있다고 보았다. 정성적 분석절차는 우선 직무분석을 통하여 직무수행 절차를 파악하고 직무가 수행되는 상황 정보인 공통수행조건(Common Performance Conditions : CPCs), 즉 다른 방법에서의 수행영향인자(Performance Shaping Factors : PSFs) 정보를 평가한다. 다음 각 직무수행 절차에 적합한 인지직무 유형을 선택함으로써 해당 직무수행 절차에 직접적으로 관련된 인지과정을 정의한다. 이를 위해 대표적 인지직무 유형을 15개 동사로 분류하고, 각 직무유형에 우선적으로 개입되는 인지단계를 제시하였다. 최종적으로는 각 인지단계별로 주어진 오류유형 후보 중에서 공통수행조건을 고려하여 가장 가능성 높은 오류유형을 결정한다. CREAM의 정량적 평가는 오류유형별로 주어진 기본 오류 확률값에 공통수행조건을 고려한 가중치를 곱하여 결정한다. 가중치는 공통수행조건과 인지단계별 연관성을 함께 고려하여 얻으며, 주어진 직무에 대한 최종 오류 확률값은 수행절차와 직무 달성의 논리 구조에 따라 직무수행 절차별로 구한 오류 확률치 중 최대치 또는 곱으로 얻어진다. CREAM은 인지공학적 관점에서 오류의 결과로서의 성격과 원인으로의 성격을 구분한 분류체계를 제공하고, 오류발생과정을 원인의 전파(propagation) 관계를 통해 체계적으로 분석할 수 있는 방법을 제안하였다. 그러나 정량적 분석이 포함된 HRA 적용에 있어서는 실용적 관점에서 이런 오류발생구조는 제한적으로만 적용하여 단순화되고 정형화된 규칙과 절차를 제안하였다. 따라서 현재 단계에서는 적용분야에 특별한 분석 방법이라기 보다는 일반적 분석방법에 가까운 방법으로 볼 수 있어, 실제 원

전분야의 안전성 분석에 활용하기 위해서는 개선이 필요하다고 본다. 또한, 상황정보의 평가와 오류유형 예측 과정에서 많은 부분을 분석자의 판단에 일임하고 있으나, 일관성 있는 분석을 위하여 적절한 분석지침 등이 제시될 필요가 있다.

표1에 나타난 정략적 접근방법은 사전에 제시된 인적 오류행위 확률을 근간으로 분석한다. 이 값은 주로 원전 운영경험과 기타 다른 산업계에서 사용하는 유사한 인적행위에 대한 오류확률, 전문가 판단 등으로부터 산정된다. 여기에서 원자력발전소 운영경험에서 산출된 자료라 함은 대부분 관리적 접근방식에 의한 인적 보고체계를 통해 수집된 자료를 이용한다. 따라서 관리적 접근방식이 지니고 있는 자료의 객관성 및 신뢰성에 관한 미흡한 내용이 그대로 반영된다면 오류확률 산정값의 정확성에 영향을 준다. 다른 산업계에서 유사한 인적행위에 대한 오류 확률을 이용할 경우에도 이를 원전에서 인적행위에 관한 오류확률로 환산하기 위해 많은 조건과 가정이 따르므로 활용하는데 근본적인 어려움이 따른다. 또한 전문가의 판단에 의존하는 경우에도 객관적인 기준이 없다면 전문가의 주관성 배제가 불가능하다는 점에서도 실제 응용에 장애요소가 된다.

#### □ 정성적 접근방식

관리적 접근방식, 정량적 접근방식과는 달리, 정성적인 인적오류 연구에서 주로 다루어지는 것은 인간의 심리학적 측면에서 인적오류의 정의, 인적오류 유형판별 및 원인연계에 의한 발생구조 해석 등, 이론적 실험적 인적오류 연구를 통하여 인간의 인지적 행동특성을 파악하는 것이다. 최근들어 개인적인 작업에 국한되는 인적오류에서 나아가, 조직이 수행하는 작업오류에 관한 연구 및 오류 대응 설계 개념 개발 등으로 그 연구 영역을 확산하고 있는 현실이다. 정성적 인적오류연구의 대부분이 인지심리학자들에 의해 연구되고 있는 경향 때문에 연구의 초점이 인지적 행위의 이론적인 오류특성에 국한되고 있다. 따라서, 정성적 인적오류 연구의 결과는, 원자력발전소 관련 인적오류 연구의 활용측면에서 언급되고 있는 제어실 개선, 작업절차 개선, 유사 인적오류사례의 재발방지 등에 실질적으로 직접 적용하기에는 부족하며 오류대응설계개념 등과 같이 상위수준에서의 응용 대안만을 제시하고 있다.

#### □ 맺음말

시스템 안전성 평가 관점에서 인적오류를 평가하는 방법으로서 인간신뢰도 분석(Human Reliability Analysis)이 있다. HRA를 위해 지난 20여년 동안 수많은 방법들이 제안되었다. 그러나 아직까지 HRA분야의 통일된 지지를 받는 방법은 없었으며 가장 널리 사용되는 방법들도 여러 가지 한계점이 제기되어 왔다. 데이터 부족이라는 근원적인 문제를 안고 있는 HRA에서 분석자의 경험과 상황분석에 근거한 주관적 판단을 피할 수는 없으며, 결과적으로 분석자가 필요한 상황 분석을 얼마나 충분히 하였는지가 분석 결과의 질을 결정하는 중요한 기준이 되고 있다. 특히 인간직무를 외부적으로 관찰 가능한 부분을 위주로 평가함으로써, 인간이 문제를 인식하고 상황을 판단한 후 대응조치를 결정하는 일련의 의사결정 과정에서 발생하는 오류를 제대로 다루지 못하였다. 그러나 현대화된 산업시스템으로서 인간은 시스템의 감시와 종합적 관리를 중점적으로 수행한다. 따라서 직무변화를 반영하고 의사결정 과정에서의 오류를 제대로 파악하고 분석하기 위해서는 새로운 HRA 방법 개발이 시급한 실정이다.