

## HRA 경험 분석에 근거한 ASEP/THERP 방법 한계점 평가

### Comprehensive Analysis to Identify the Limitations of ASEP/THERP Methods Based on HRA Experiences

정원대, 김재환, 장승철, 하재주

한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

#### 요 약

최근 기존 인간신뢰도분석(Human Reliability Analysis : HRA) 방법의 한계를 해결하고자 새로운 방법의 개발 노력이 활발하다. 그러나 원전에 적용할 새로운 방법 개발을 위해서는 우선 실제 HRA를 수행하는 입장에서 기존 방법의 한계점을 보다 구체적으로 평가할 필요가 있다. 본 논문에서는 실제 HRA 수행 결과를 분석하여 기존 HRA 방법의 한계점을 평가하고 이를 근거로 향후 방법론 개발의 요건을 제시하였다. 한국 표준 원전 HRA 결과를 분석하여 ASEP/THERP HRA 방법의 세부적인 한계점 16개를 도출하고 이를 상호 연관성을 근거로 일곱 개의 한계 유형으로 정리하였다. 또한 한계점의 빈도 분석 및 오류사건의 중요도를 고려한 상대적 분석을 통하여 한계점의 중요도를 평가하였으며, 이를 해결하는 관점에서 차세대 HRA방법 개발의 요건을 제시하였다.

#### Abstract

A large amount of research and development is currently going on in filed of HRA to solve the limitations of conventional method. For the new method of nuclear power plant, however, more comprehensive study should be needed in advance to realize the vulnerable points of conventional HRA from a practical point of view. This paper presents a study that was a new attempt to find the limitations of the ASEP/THERP HRA by analyzing the results of 89 HRA experiences. Total 16 specific limitations were identified, and categorized into seven groups based on the relation among them. We assessed the relative importance of each limitation through the frequency and weighing analysis and also suggested a requirement for the next generation HRA.

#### 1. 서 론

시스템 안전성 평가 관점에서 인간오류를 예견적으로 평가하는 방법으로서 HRA가 있다. 주로 원전에 대한 확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment : PSA)의 일부로 수행되어 왔는데, 주어진 직무를 수행하지 못하는 인간오류 확률을 정량적으로 분석 하는데 초점이 맞추어져 있다. HRA를 위해 THERP[1]를 비롯하여 많은 HRA 방법들이 개발되어 사용되어 왔다. 그러나 대부분 PSA를

위한 오류확률의 정량적 분석에 치중한 방법들로서, 오류 발생의 근본 원인이나 구조를 분석하는 데는 많은 한계가 있다. 특히 인간이 시스템을 감시하고 조정하며 종합적으로 관리하는 인지적 직무를 주로 수행하는 원자력발전소의 특성을 고려할 때, 인간 직무의 외면적 행위부분에 초점을 맞추고 있는 기존의 HRA 방법은 HRA의 궁극적인 목적인 시스템 안전성의 향상이나 오류 감소를 위한 구체적인 해결 방법의 도출에는 많은 한계를 갖고 있다.

원자력 분야 안전성 평가의 일부로 주로 수행되던 HRA에 대한 인간공학, 인지 공학자들의 관심이 증가하면서 기존 HRA 방법에 대한 문제 제기와 함께 새로운 방법 개발에 대한 움직임이 활발해졌으며, 이런 노력의 결과로 이미 몇몇 새로운 오류분석 기법이 차세대 HRA 방법으로서 제안되었다. 그러나 직무분석이 그렇듯이 인적오류분석은 목적과 적용 분야에 따라 접근 방법이 달라지는 것으로서, 원전 HRA 관점에서의 각 방법의 적용성과 장/단점이 다르다. 본 논문에서는 원전에 적합한 새로운 HRA 방법을 개발하기에 앞서서 기존 HRA의 한계점을 체계적으로 분석하고 이를 근거로 향후 새로운 방법 개발의 요건을 제안하고자 한다. 국내 원전 PSA의 일부로 수행되었던 HRA 수행 결과를 분석하여 ASEP HRA[2]나 THERP기법을 이용한 HRA의 한계점을 포괄적으로 정의, 분류하고 각 한계점의 발생 빈도 및 중요도를 평가하였다. 또한 이를 근거로 향후 차세대 HRA 방법 개발의 요건을 우선 순위를 고려하여 제시하였다.

## 2. 문헌에 근거한 기존 HRA 한계점

기존 HRA 방법의 한계와 문제점은 오래 전부터 제기되어 왔다. 그러나 이러한 문제점들이 본격적으로 논의되고 이를 해결하기 위한 노력이 시작된 것은 1990년대 이 후이다. Dougherty[3], Swain[4], Hollnagel[5], Parry[6] 등은 HRA 전문가에서부터 인적오류 전문가에 이르기까지 다양한 관점에서의 기존 HRA 방법의 한계를 언급하였다.

Dougherty는 다양한 인간오류를 고려하지 못하며, 실제 오류 발생에 영향을 미치는 다양한 오류요인을 고려하지 못하는 점, 수행오류를 반영하지 못하는 문제, 분석 결과의 검증 문제 등을 기존 HRA 방법의 한계점으로 파악하였다. Swain은 주로 인간오류의 정량적 분석 관점에서의 한계를 언급하였다. 데이터의 부족과 부적절, 전문가 판단 기법 적용의 문제, 분석결과의 정확성과 검증 문제, 인간행위의 이론적 근거 미흡 등을 주된 한계로 정리하였다. Hollnagel은 기존 HRA는 인간오류를 기계적 신뢰도분석 방법인 분해적 기법으로 분석하려는 시도가 잘못된 것이며, 실제 작업 상황의 동적특성을 반영하지 못하고, 오류분석 자료가 부족하다는 점을 기존 HRA의 한계로 지적하였다. Parry는 수행오류를 다루지 못하고, 정량화 과정 및 방법이 타당한 과학적 근거를 갖지 못하는 점을 기본 HRA의 한계로 적시하였다. 또한 최근에 부각되는 조직요인 및 안전문화의 영향을 고려하지 못하는 점도 한계점으로 지적되었다.

이와 같이 여러 전문가에 의해 제기된 기존 HRA 방법의 한계점은 크게 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 인적오류분석에 기계적 신뢰도분석 방법을 적용하여 관찰 가능한 행위의 외부적 특성만 고려
- 수행오류를 포함한 다양한 오류유형과 영향 인자를 반영하지 못 함
- 정량화 과정 및 방법의 이론적 근거 미흡

- 데이터 부족과 분석 결과의 검증 어려움

### 3. PSA 수행 결과 분석을 통한 ASEP/THERP HRA 한계점 분석

앞에서 살펴본 문헌에 언급된 한계점들은 여러 전문가들이 보는 관점에 따라 정리한 것으로서, 한계점들의 정의 수준이 다르며 선후 관계가 불분명하여 이를 해결하는 방향 설정에 결정적인 도움이 되지 못한다. 본 논문에서는 보다 체계적으로 한계점을 파악하고자 HRA 수행 결과 및 경험 분석을 통하여 기존 방법의 한계점을 조사하였다. 이를 통하여 문헌상으로 조사된 HRA 문제점들이 실제 HRA 수행 경험과 부합되는지를 확인하였고, 보다 구체적이고 실제적인 한계점들을 도출하였다.

국내에서 수행했던 HRA 결과를 근거로 각 오류사건 분석에서 나타난 구체적 한계점을 파악하고 이를 분류하였다. 사용된 HRA 경험은 한국 표준 원전 PSA[7]의 HRA를 대상으로 하였으며, 총 89개 인간오류사건의 HRA 결과를 분석하였다. 이 중 25개는 사고 전에 발생한 인간오류로서 HRA 분석 방법은 THERP를 사용하였으며, 나머지 64개는 원자로 정지 후 개입되는 인간오류로서 THERP의 간략화 된 방법인 ASEP HRA 기법을 사용하여 분석한 결과이다. 89개 인간오류에 대한 HRA 과정 및 결과 분석에 의하면, 총 17개의 구체적인 문제점이 파악되었다. 한계점 파악은 발생 가능한 오류유형을 예견하고 그 원인 및 영향인자를 밝혀 내며 오류 발생 가능성을 평가하는, 즉 HRA 수행 목적의 달성 관점에서 도출하였다. 총 17개 문제점 중 가장 기본적이고 모든 오류사건에 공통적으로 적용되는 한계점인 ‘오류사건 데이터 부족 및 HRA 결과 검증 어려움’을 제외한 16개 한계점을 상호 연관성과 유사성을 감안하여 다음과 같이 일곱 그룹으로 한계점의 유형을 정의하였다. 표 1은 이들 16개의 한계점과 일곱 오류 유형을 보여준다.

첫째, 오류유형 정의가 예견적 오류분석에 사용하기에는 너무 포괄적이다. 직무를 수행하는 과정에서 발생할 수 있는 오류유형은 매우 다양하다. 그러나 기존 HRA에서는 인간오류를 주어진 직무를 허용시간 내에 성공하지 못하는, 즉 주어진 시간 내에 필요한 조치를 취하지 못하는 하나의 누락사건으로 정의하고 있다. 따라서 가능한 수행오류, 즉 여러 종류의 필요치 않은 운전원 조치로 인한 효과나 결과는 고려하지 못하고 있다. 둘째, 기존 HRA 방법은 인지과정을 너무 단순하거나 부적절하게 처리하여 직무의 인지적 어려움을 적절히 반영할 수 없다. 원전 비상운전 중의 운전원 직무는 상태를 파악하고, 고장을 진단하며 대응 조치를 계획하는 것과 같은 인지적 직무가 주된 직무이다. 그러나 현 HRA에서는 인지과정을 단순히 처리함으로써 앞에서 언급한 것처럼 진단/의사결정 과정에서 발생할 수 있는 다양한 오류유형을 고려하지 못하며, 결과적으로 인간오류 감소를 위한 구체적인 방안 제시에 한계가 있다. 셋째, 직무구조에 대한 분석이 미흡하다. 사고 상황에서의 오류의 원인과 전과 과정을 분석하기 위해서는 운전원의 인지적 관점에서 직무 구조와 구체적인 상황 정보를 살펴볼 필요가 있다. 오류발생 가능성은 인지적 부하와 병렬적으로 수행되는 직무 사이의 시간 배분의 필요성 등에 크게 영향을 받는다. 특히 사고초기 단계에서, 동시 혹은 연속적으로 수행되는 직무사이의 시간 분할, 직무사이의 상호 종속성으로 인한 인지적 간섭, 의사소통과 긴장의 증가 등으로 인해 오류발생 가능성이 증가한다. 넷째, 하나의 오류사건으로 정의되는 직무의 수준이 임의적이다. 즉 하나의 절차서가 다섯 개 혹은 열 개의 직무로 분석자에 따라서 다르게 정의될 수 있다. PSA에서 모델링 된 하나의 오류사건은

표 1 경험 분석을 통한 기존 HRA 한계점

한계유형	번호	세부 한계점	설 명
1. 오류유형 포괄적이고 단순	1	오류유형 단순	직무 수행 중 나타날 수 있는 오류 유형은 다양. 그러나 현 HRA에서는 'fail to perform task A'라는 식으로 포괄적인 누락 오류로 정의.
	2	진단/의사결정 착오로 인한 결과 (수행오류) 고려 못 함	기존 HRA에서 다루지 못하는 대표적 오류유형 중의 하나가 진단이나 의사결정과정에서의 착오로 인한 수행오류(EOC)임.
2. 인지모델 너무 단순하거나 부적절	3	진단/의사결정 부분을 너무 단순히 처리	원전의 많은 작업은 감시, 운전, 복구조치 등 인지직무 중심. 그러나 기존 HRA는 인지과정을 black box 처리.
	4	복구 조치의 부적절한 고려	현 HRA에서는 정량화 시 타 운전원에 의한 복구 가능성을 기계적으로 고려. 오류회복은 상황판단의 복구로서 상급자 확인 여부만이 아닌 attention flow, expectation 등 인지과정 고려 필요
3. 직무구조 분석 미흡	5	직무의 병렬구조 고려 미흡	오류는 독립적 사건이 아닌 사고 전개과정 다른 직무와 상호 연관되어 있음. Time sharing, attention flow, 직무간 상호 작용 등 동적 상황 변화를 반영할 수 있는 문제 구조 분석필요.
	6	진단 여유시간 불확실(너무 보수적 혹은 낙관적)하게 평가	문제구조 분석의 미흡으로 진단오류 분석 시 여유시간의 평가가 너무 보수적이거나 낙관적일 경우 있음
	7	실제 운전조건을 반영하지 못하고 보수적 또는 단순화된 모델링	동적인 상황변화를 정확히 반영하지 못하고 대표적인 오류를 유사한 여러 상황에 단순화하여 모델링
	8	오류사건 간 종속성 부적절하게 처리	문제구조 분석의 미흡은 다른 직무(오류)와의 종속성을 평가하지 않거나 부적절하게 처리 할 수 있음
4. 직무 정의 수준의 일관성 결여	9	오류사건 (직무) 정의 수준 차이 남	기존 HRA에서는 오류사건의 정의 수준이 상당히 차이가 날 수 있으며, 이로 인해 분석 결과에 상당한 차이가 있을 수 있음.
5. 조직 요인의 고려 미흡	10	개인/팀 수행 직무의 구분 문제	직무가 개인작업인지 팀 작업인지 구분하지 못 함. 따라서 조직내의 역할분담 및 상호간 의사소통 방식 및 수준의 영향을 고려치 못 함.
	11	조직, plant goal, 안전문화 영향 고려 미흡	조직관리의 수준, plant goal(policy), 안전문화 등의 영향을 고려하지 못 함.
	12	기술지원센터(TSC) 지원 후의 의사결정 구조의 변화 고려 못 함	일부 오류 사건은 사고 후 일정시간이 경과하면 기술지원 센터가 구성되고 이곳의 지시를 따라야 되는 경우가 있다. 이 경우 의사결정 구조의 변화가 있으나 현재는 이를 고려치 못 함.
6. 오류요인, 상황인자에 대한 획일적 고려	13	불충분하고 이론적 근거가 부족한 수행영향인자 고려	현 HRA에서 제공하는 오류요인, 즉 수행특성인자의 선정이 불충분하고 또한 이론적 근거가 미흡함.
	14	수행영향인자의 획일적 고려	상황에 따라서 수행영향인자의 중요도가 달라지고, 수행영향인자 간의 상호 연관성이 있는데 이를 반영치 못 함.
7. 정량화 과정과 기준의 모호함 또는 부적절	15	수행영향인자를 포함한 관련 입력 정보 결정 어려움	정량화 시 수행영향인자를 포함한 입력 정보의 결정이 어려움. 이는 직무분석이 미흡하거나 또는 인간오류 관련 정보 자체의 불확실성이 높기 때문임.
	16	수행영향인자의 평가 기준 너무 단순	현 HRA에서 제공하는 수행영향인자 값(attribute)들이 너무 단순하여 오류분석의 변별력이 떨어짐.

미리 정의된 한 직무를 성공적으로 수행하지 못하는 사건으로 정의된다. 그러나 기존 HRA 방법을 사용할 때 직무 정의에 대한 명확한 지침이 없는 관계로 하나의 직무가 두 개나 그 이상의 오류사건으로 분리 모델링 될 수 있으며, 이로 인해 동일 직무에 대한 오류 확률이 달라질 수 있다. 다섯째, 조직 요인에 대한 고려가 부족하다. 운전원 간의 의사전달, 작업자에 대한 직무 할당, 지원인력의 참여, 관리의 수준, 발전소 전략 우선 순위, 안전문화 등의 조직요인은 오류의 근본 원인으로, 또한 오류 발생 및 전파에 영향인자로서 중요한 역할을 하는 것으로 밝혀져 이 부분에 대한 체계적 평가가 필요하다. 여섯째, 상황인자(context factors)에 대한 고려가 제한적이고 보수적이다. 오류 가능성에 영향을 미치는 요소로는 경험 수준, 교육과 훈련 정도, 주제어실 설계의 적절성, 절차서 유무 및 적절성,

작업의 성격, 작업 장소, 여유시간 등 많은 상황인자가 있다. 이런 상황인자는 사고가 진행됨에 따라, 또는 관련 계통의 상태에 따라 연속적으로 변한다. 오류분석 경험에 의하면 이런 상황인자가 단지 오류의 발생 가능성을 조정하는 것이기 보다는 오류 발생에 결정적인 역할을 한다. 그러나 현 HRA에서는 제한된 상황인자와 평가 값으로 인하여 이런 동적 상황을 사실적으로 반영하지 못하며, 이런 변별력의 한계로 인하여 실제적인 오류 발생 상황을 정확히 평가하지 못한다. 마지막 일곱번째로 정량화 과정과 기준이 임의적이고 변별력이 부족하다. 기존 HRA 방법의 정량화 과정과 분석 규칙에 불확실한 부분이 있기 때문에, 구체적인 분석 단계에서는 분석자마다 적용하는 기준이 다를 수 있다. 이로 인해 여러 차례의 방법 보완에도 불구하고 정량적 분석 결과는 분석자간에 상당한 차이를 보이는 경우가 많다.

#### 4. 한계점의 상대적 중요도 평가

앞에서 기존 HRA의 한계점을 파악하고 이를 유사한 성격과 의미를 갖는 일곱 가지 유형으로 분류하였다. 그러나 일곱 가지 한계 유형이라 하더라도 각 유형의 상대적인 영향력이나 중요도는 다를 수 있다. 예를 들어 어떤 한계유형이 일부 오류 사건에서만 관찰되는 반면 다른 한계유형은 거의 대부분의 오류 사건에서 나타나는 문제점이라면 두 오류유형의 상대적 중요도는 다르게 평가될 수 있다. 한계점 해결의 우선 순위를 결정하기 위해서도 한계 유형의 중요도 평가는 의미가 있다.

한계점의 상대적 중요도는 여러 척도로 평가할 수 있다. 가장 손쉬운 방법으로는 한계점의 빈도가 있다. 본 논문에서는 89개 오류사건 각각에 대해 관련된 한계점을 체크하고 이렇게 파악된 한계점의 빈도를 평가하였다. 빈도를 통한 평가는 각 한계점의 일반성 또는 문제의 광범위한 정도를 표현하는 것으로서 가장 기본적인 척도가 된다. 또 다른 척도로는 오류사건의 중요도를 고려한 한계점 평가가 있다. PSA모델에서 각 오류사건의 상대적 중요도는 다르다. 어떤 오류사건은 전체 결과, 즉 노심손상빈도에 큰 영향을 미치는데 반하여 어떤 오류사건은 전체 결과에 거의 영향을 주지 못한다. 따라서 각 오류사건의 중요도를 고려하여 한계점을 평가하면 원전 안전성 평가 관점에서의 HRA 한계점의 상대적 영향력을 평가할 수 있다. 각 오류사건의 중요도는 F-V (Fussell-Vesely) 중요도 값을 사용하였다.

상기 두 척도를 사용한 한계 유형의 상대적 평가 결과를 표 2에 정리하였다. 한계점 빈도를 이용한 평가 결과는 두 가지로 구분하였다. 분석 대상 89개 전부를 대상으로 한 한계점 빈도 분석과 F-V 중요도가 0.0001 이상인 48개만을 대상으로 한 빈도 분석을 하였다. 표 2에서 보듯이 한계점 빈도 평가 결과는 89개를 대상으로 하였든 중요한 48개만 대상으로 하였든 순위면에서 보면 거의 동일한 분석 결과가 나타났다. ‘직무구조분석 미흡’이 가장 많이 나타나는 한계점으로 분석되었으며, ‘정량화 과정과 기준의 부적절’, ‘인지모델 단순/부적절’ 등이 뒤를 이어서 빈도가 높은 한계 유형으로 평가되었다.

오류사건의 중요도를 고려한 한계점 평가는 F-V 중요도가 0.0001 이상인 48개만을 대상으로 하였다. 나머지 오류사건은 전체 안전성 관점에서나 한계 유형 평가에 영향이 거의 없는 것들이다. 중요도를 고려한 한계점 평가 결과는 빈도를 이용한 결과와는 순위에 있어서 약간의 차이가 나타났다. ‘직무구조분석 미흡’은 중요도를 고려한 평가에서도 가장 우선적인 문제 유형으로 밝혀졌으나, 빈도 평가 시 두 번째로 나타났던 ‘정량적 과정과 기준의 부적절’은 여섯번째로 순서가 바뀌었다. 반면 빈도

평가 시 여섯번째였던 ‘오류유형 정의 포괄적’은 중요도 고려 시 두 번째로 평가되었다. 또한 ‘조직요인 고려 미흡’과 ‘인지모델 단순/부적절’ 역시 중요도 순위에 변화가 있었다. ‘오류유형 정의 포괄적’의 경우, 대부분 시간이 촉박한 상황에서 진단/의사결정이 중요한 오류사건으로서 F-V 중요도가 큰 사건들이 많이 포함되었기 때문에 중요도 고려 시 우선 순위가 높아지는 것으로 나타났다. 반면 ‘정량적 과정과 기준의 부적절’은 광범위하게 나타나지만 F-V 중요도가 높은 중요한 사건들에서는 상대적으로 적게 포함되기 때문에 중요도 고려 시 순위가 낮아졌다.

한계 유형의 상대적 중요도는 보는 관점에 따라 달라질 수 있으며, 앞에서 살펴본 두 척도 역시 각각의 의미가 있다. 본 논문에서는 원전 안전성 평가에 적용을 목적으로 HRA 방법을 비교하였기 때문에 오류사건의 중요도를 고려한 한계 유형의 평가를 기본적인 척도로 선택하였다. 따라서 표 2의 마지막 행의 순위를 한계점의 상대적 중요도로 평가하였다.

표 2 기존 HRA 한계점 중요도 분석

		한계점	한계점 빈도 (89개 오류 대상)			한계점 빈도 (중요한 48개 대상)			중요도 고려한 한계점 평가 (중요한 48개 대상)		
			한계점 빈도	유형별 빈도	순위	한계점 빈도	유형별 빈도	순위	한계점 평가 값	유형별 평가 값	순위
오류유형 포괄적이고 단순	1	오류유형 단순	19	32	6	16	28	6	0.5783	1.1329	2
	2	진단/의사결정 착오로 인한 결과 (수행오류) 고려 못 함	13			12			0.5546		
인지모델 너무 단순/ 부적절	3	진단/의사결정 부분을 너무 단순히 처리	46	107	3	23	51	3	0.5298	0.7032	4
	4	복구 조치의 부적절한 고려	61			28			0.1734		
직무구조 분석 미흡	5	직무의 병렬구조 고려 미흡	49	156	1	25	90	1	0.6512	1.8855	1
	6	진단 여유시간 불확실(너무 보수적 혹은 낙관적)하게 평가	48			26			0.5496		
	7	실제 운전조건을 반영하지 못하고 보수적 또는 단순화	47			27			0.4079		
	8	오류사건 간 종속성 부적절하게 처리	12			12			0.2768		
직무정의 수준 부적절	9	오류사건 (직무) 정의 수준 차이	7	7	7	7	7	7	0.2653	0.2653	7
조직 요인의 고려 미흡	10	개인/팀 수행 직무의 구분 문제	41	86	5	22	49	4	0.352	0.8955	3
	11	조직, plant goal, 안전문화 영향 고려 미흡	42			25			0.5426		
	12	기술지원센터 지원 후의 의사결정 구조의 변화 고려 못 함	3			2			0.0009		
오류요인, 상황인자에 대한 확실적 고려	13	불충분하고 이론적 근거가 부족한 수행영향인자 고려	30	87	4	17	46	5	0.2219	0.6499	5
	14	수행영향인자의 확실적 고려	57			29			0.4280		
정량화 과정/ 기준 모호함 또는 부적절	15	수행영향인자를 포함한 관련 입력 정보 결정 어려움	37	109	2	16	54	2	0.0445	0.3972	6
	16	수행영향인자의 평가 기준 너무 단순	72			38			0.3527		

## 5. 차세대 HRA 방법 개발 요건

향후 차세대 HRA 방법 개발의 방향은 앞에서 살펴본 기존 HRA의 한계점을 해결하는 관점에서 이루어져야 할 것이다. 한계점 분석에서 밝혀진 데로 오류를 유발하는 문제 구조에 대한 체계적 분석 미흡, 인지 과정 및 오류의 단순 처리, 오류 유형 및 수행특성인자의 불완전 등이 주된 문제점으로 밝혀졌으므로 차세대 HRA에서는 이들 한계점을 우선적으로 해결하도록 노력해야 할 것이다.

본 논문에서는 앞에서 살펴본 한계점의 상대적 중요도를 고려하여 다음과 같은 차세대 HRA 개발 요건을 정리하였다. 첫째, 적절하고 체계적인 직무구조 분석 방법을 제시해야 한다. 오류는 동적인 사고 전개 과정 속에서 발생하는 것으로서, 오류를 유발하는 문제 구조의 동적 특성을 분석하지 않고는 오류 발생의 원인과 해결 방안을 찾기 어렵다. 따라서 직무 상황과 문제 구조를 파악할 수 있도록 적절하고도 체계적인 방법이 제시되어야 한다. 둘째, 다양한 오류 유형의 파악 및 모델링이 가능해야 한다. 기존의 방법처럼 누락오류만을 모델하는 것이 아니라 모든 잘못된 운전원 반응의 현상을 파악할 수 있어야 한다. 특히 사고 초기 잘못된 진단이나 의사결정으로 인한 수행(commision) 오류, 지연(delayed) 오류 등을 고려할 수 있어야 한다. 셋째, 조직 및 관리 체계의 영향을 고려할 수 있어야 한다. 조직, 관리 요인이 다루기 어렵지만 오류에 미치는 영향을 고려할 때 차세대 HRA에서 이를 더 이상 무시할 수 없다. 오류 분석 시 관리 체계 및 책임 소재, 운전원 간의 의사전달, 발전소 전략 우선 순위, 기술지원센터(TSC) 지원 후의 의사결정 구조의 변화 등을 고려할 수 있는 방법이 제공되어야 한다. 넷째, 진단 및 의사결정 과정에서의 인지오류 분석 방법을 제시해야 한다. 차세대 HRA 방법은 이론적 근거에 기반한 인지모델을 바탕으로 의사결정 과정에 발생할 수 있는 인지오류를 파악하고 평가할 수 있는 체계를 제공해야 한다. 다섯째, 인간행위의 이론적 근거에 기반한 수행특성인자의 정의와 이에 대한 개별적 혹은 통합적 평가 방법을 제시해야 한다. 여섯째, 정량화 절차 및 기준의 모호함이나 부적절함을 줄일 수 있는 체계적 방법이 제공되어야 한다. 차세대 HRA 방법은 분석 전문가의 경험과 직관을 최대한 반영할 수 있는 체계를 제공하되, 분석자의 최종 선택을 위한 후보 군을 체계적이고 적절하게 줄이는 지침을 제공해야 한다. 마지막으로 일곱째, 실제 자료의 수집 및 분석, 시뮬레이터 사용 등 다양한 방법을 사용한 오류 자료의 수집 및 분석과 이를 통한 HRA 방법과 분석 결과의 검증 노력이 계속되어야 한다.

## 6. 결 론

예견적 오류분석의 한 부분으로 시스템 안전성평가 분야에서 HRA가 수행되어 왔다. 그러나 많은 방법이 개발되었음에도 불구하고 기존 방법들은 공통적으로 오류 유형이나 원인, 오류발생구조에 대한 이론적 근거가 취약하며 너무 정량적 오류확률 평가에 초점을 맞추고 있다는 비판을 받아 왔다. 최근 이런 기존 HRA 방법의 한계를 해결하고자 새로운 방법의 개발 노력이 활발해졌다. 그러나 이런 노력들은 아직은 학계를 중심으로 진행되고 있으며 기본적인 모델 개발에 치중하고 있는 실정이다. 원전에 적용하기 위한 새로운 방법 개발을 위해서는 실제 HRA를 수행하는 입장에서 기존 방법의 한계점을 보다 구체적으로 평가할 필요가 있다.

본 논문에서는 실제 HRA 수행 결과를 분석하여 기존 HRA 방법의 한계점을 평가하고 이를 근거로 향후 방법론 개발의 요건을 제시하였다. 문헌 조사를 통하여 이제까지 제기된 기존 HRA 한계점을

정리하였으며, 한국 표준 원전 PSA의 일부로 수행된 HRA 결과를 분석하여 ASEP/THERP HRA 방법의 세부적인 한계점 16개를 도출하고 이를 상호 연관성을 근거로 7개의 한계 유형으로 정리하였다. 또한 한계점의 빈도 분석 및 오류사건의 중요도를 고려한 상대적 분석을 통하여 한계점의 중요도를 평가하였다. 가장 해결이 시급한 한계점으로는 ‘직무구조의 체계적 분석 미흡’, ‘오류유형의 단순 정의’, ‘조직요인 고려 미흡’, ‘인지모델의 단순 또는 부적절’ 등으로 밝혀졌다. 최종적으로 밝혀진 기존 HRA 한계를 해결하는 관점에서 차세대 HRA방법 개발의 요건을 제시하였다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행 되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Swain, A.D. and Guttman H.E., “Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR-1278, US NRC, 1983.
- [2] Swain, A.D. “Accident Sequence Evaluation Program Human Reliability Analysis Procedure”, NUREG/CR-4772, US NRC, 1987.
- [3] Dougherty, E.M., “Human Reliability Analysis – Where Shouldst Thou Turn?” Reliability Engineering and System Safety Vol. 29, p283-299, 1990.
- [4] Swain, A.D., “Human Reliability Analysis ; Need Status, Trends and Limitations”, Reliability Engineering and System Safety Vol. 29, p230-242, 1990.
- [5] Hollnagel, E., "Human Reliability Analysis : Context and Control", Academic Press, 1993.
- [6] Parry, G., “Suggestion for an improved HRA method for use in PSA”, Reliability Engineering and System Safety Vol. 49, p1-12, 1995.
- [7] KEPCO, “Ulchin unit 3&4 Final Probabilistic Safety Assessment Report”, 1997.