

# 원자력발전소 운전원 모형의 개발방향 설정

이 현 철, 이 용 희\*

## 요약

원자력분야에서 인적요인의 검토, 평가, 개선의 필요성이 강조되고 있으나 인간공학 응용을 위한 기반기술의 미비로 인해 명시적 수단을 제공하지 못하고 있다. 본 연구는 인간공학적 응용수단의 하나인 운전원 모형을 개발하기 위하여, 그 첫 단계로 모형개발의 방향을 모색하였다.

원자력분야의 응용에 적합한 개발방향을 설정하기 위하여, 첫째 모형화되어야 할 주요 운전원의 특성을 파악하였으며, 둘째 다른 응용분야와 원자력분야에서의 주요 모형개발사례를 조사분석하고, 셋째 모형화 방법론과 구현기법을 검토하였다. 그 결과, 중앙제어실 운전원을 대상으로 진단(diagnosis)등 주요 직무수행에 나타나는 의사결정의 전략과 특성을 체계화하여 인지심리학적 기반이 확고한 개념모형(conceptual model)을 개발하고, 이를 전문가 시스템 개발도구(tool)에 의해 구체적인 소프트웨어로 구현함으로써, 인적요인의 검토, 평가, 개선 등에 직접 활용가능한 시뮬레이션 수단(simulation tool)을 확보한다는 추진전략을 수립하였다.

## I. 서론

시스템의 관점으로 보면 운전원은 원전의 인간-기계체계(man-machine system)를 구성하는 하부시스템(sub-system)의 하나로 정의할 수 있다. 하부시스템으로서 운전원은 주어진 환경조건을 인식하고 기억, 진단, 의사결정, 반사반응 등 내부적인 처리과정을 통하여 요구되는 기능을 수행하게 된다. 기능적인 측면에서 운전원은 주어진 감시제어체계의 내부에서 많은 자극을 받고 인지심리 및 생리적인 과정을 통하여 다양한 반응을 취한다. 원전에서 인간과 기계의 연계를 인간-기계체계의 관점으로 보면, 체계요소의 외형과 구조 등 물리적인 요인을 중심으로 직접 연결되는 물리적 상관관계가 아니라 감시제어체계를 통한 간접적으로 연결되는 정보적 상관관계를 중심으로 재편되고 있다. 정보적 상관관계는 인간에게 임무수행과 관련된 정보를 활용하고 반응을 선택하는 등 끊임없는 의사결정을 요구하게 되므로, 전체적인 작업수행도는 의사결정(decision making)이라는 핵심기능의 특성에 의하여 결정된다(Edward, 1987).

원전에서 운전원의 직무는 행동중심의 신체적 성격에서 의사결정을 중심으로 하는 인지적 성격으로 변화하고 있다. 진단, 상황파악, 계획 등의 직무는 의사결정기능과 관련이 많으므로 의사결정의 인지적 부담이 운전원의 수행도를 결정한다. 제어실 운전원은 발전소 전체의 가동상황의 종합적인 파악에 대하여 최종적인 기능을 담당하고 있다. 원전과 같은 대규모 시스템에서는 상황파악이 단순한 경계작업(vigilance)의 수준이 아니라, 결함감지와 진단 및 문제해결 등 다양한 인지과정을 포함한다. 따라서, 제어실 운전원의 수행도 분석은 다양한 의사결정에 대한 인지특성에 대한 분석을 필요로 한다.(Woods, 1987)

---

\* 한국원자력연구소 인간공학연구실

## II. 본론

### 1. 의사결정의 일반특성

외부조건 의 지각과 수행행동의 사이에는 일정한 수준으로 넓은 의미의 인지적 의사결정과정 이 개입된다. 인지적 의사결정과정에는 수행되는 행위의 본질을 결정하는 요인들이 존재하는데, 공통적으로 다음과 같은 일반특성을 갖는 인지적 직무로 정의한다.

- 자극정보가 주어질 때, 반드시 복수의 대안 중 하나를 선택하여야 한다.
- 소요시간이 상대적으로 긴(약 1초 이상) 경우로 구분한다.
- 바른 인지적 정보처리의 확률은 자극정보의 확률적 특성과 운전자 자신의 인지적 능력한계에 의 하여 궁극적으로 1.0 보다 작다.

의사결정은 이러한 인지특성으로 인해 단순반응(simple reaction) 등 다른 인지적 과정과 구별되며, 의 사결정연구에 있어서 이러한 인지적 특성이 분석의 핵심이 된다. 인지적 정보처리의 실행결과는 추적이 곤란할 정도로 다양한 양상을 띠지만, 내부과정과 처리방식에는 어떤 공통적인 요소가 있다. 즉, 모든 의사결정이 이론적으로 달성가능한 정확한 결과에 도달하지 못하는데는 인간의 인지적 능력에 체계적 인 특성과 일정한 구조적인 한계가 주어져 있기 때문이라는 것이다.

의사결정에서 인간의 추정을 통계적 추론 절차에 비유하면, 이것은 확률적 자료를 정확히 인식하고 기억하는 능력과 이 자료를 바탕으로 추론하는 능력이다. 이 절차는 2단계의 과정으로 이해된다. 즉, 가 지고 있는 자료에 의하여 묘사적 값을 계산하고 이렇게 추정된 값이 대상에 대한 추론을 하는데 사용된 다. 작업자가 당면하는 가장 직접적인 부담은 자료자체에 대한 추정(estimation)이 아니라, 수많은 자료 를 처리하고 그 자료를 바탕으로 설정된 가설의 추론(inference)을 해야하는 문제에 있다. 또, 추정에 있 어서의 최적성이 추론에 있어서의 최적성을 보장하지는 않는다. 작업자가 진단 혹은 예측해야 하는 시 스템의 상태에 대해 주어진 자료나 정보는 확률적 단서로 취급되며, 이러한 단서가 인식될 때 일정한 주 의력(attention)의 한계에 의존한다 (Anderson, 1985). 진단과정에서 관측된 단서에 의해 제공되는 정보는 작업기억장소(working memory)에 있는 다른 경쟁적 가설에 대항해서 평가를 받는다(Card, 1983). 그러므 로, 의사결정과정은 궁극적으로 하나의 가설이 선택되고, 선택된 가설이 보다 많은 단서를 통하여 검증 되는 궤환과정이 이루어진다. 내부의 진단결과는 추가적인 행동을 야기하며, 여기서 비용과 가치 판단 과정이 개입된다. 또, 의사결정과정은 대개 연속적이고 반복적이다. 일단 초기가설이 형성되면 이를 확 인하거나 기각하기 위해서 추가증거를 찾게 된다. 전형적인 예로 고장진단과정을 살펴보면, 특정한 증 상만으로 즉각적으로 최종적인 진단이 내려지지 않으며, 추가정보를 얻기 위한 탐색과정의 반복과 탐색 과정에서 여러가지 편향의 영향을 살펴볼 수 있다 (Rasmussen, 1986).

의사결정이 개입되는 직무는 매우 다양하나, 의사결정의 인지구조는 유사하다. 의사결정에는 공통 적으로 선택/진단/예측 등 세가지 인지적 기본유형이 있다(Wickens, 1984). 이 세가지 유형의 인지적 직 무가 결합함으로써 의사결정에 필요한 정보처리가 이루어진다. 이 3가지 의사결정 유형에 대한 상대적인 난이도를 가시적으로 주어지는 관측치와 기억상에 필요한 값의 비율 및 내부적인 처리 횟수에 의하여 판단하면 예측<선택<진단의 순서로 인지적 난이도가 큰 것으로 분석된다.

의사결정문제를 중심으로 모든 인지적 정보처리의 배경에 내재되어 있는 기본특성을 규명하는 인 지심리학적 차원은 자극의 수와 결과의 문제, 정보처리과정의 시간 개념, 인지적 요인 구조, 인지적 요소 간의 상관관계, 준최적화 개념 등이며, 의사결정의 모형화 구조를 설정하는데 출발점이 된다 (Wickens, 1987).

## 2. 모형개발사례의 비교

인간-기계체계에서 인간모형에 대한 시도는 이미 약 30여년전 부터 시작되었다. 따라서 많은 분야에서 모형을 개발한 사례가 있었으나, 그중 본 연구에서 의도하는 작업자의 인지특성을 포함하고 있는 사례를 중심으로 다음과 같은 모형들을 검토하였다(Sheridan, 1976; Rouse, 1981; Abbott, 1982; Apostolakis, 1988; Knee, 1991).

- Rasmussen의 사다리모형(Rasmussen, 1986)
- PROCRU모형 (Baron, 1986; Abbott, 1982)
- HOS( Human Operator Simulator ) (Sheridan, 1976)
- Siegel-Wolf모형 (Sheridan, 1976; Knee, 1991)
- MAPPS 모형 (Abbott, 1982; Knee, 1991)
- INTEROPS(Integrated Reactor/Operator System) (Schryber, 1988)
- CES(Cognitive Environment Simulation)(Woods,1986a,1986b,1987, 1988, 1992)
- COSIMO(cognitive simulation model)(Cacciabue,1990,1992;Bersini, 1988, 1990; Decortis, 1990)
- UKAEA모형 (Kan, 1989)

모형사례검토의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 모형의 사례에서 두가지 뚜렷한 경향이 나타났는데, 모형의 범위에서 인지적 요인의 중요성이 부각되고 있다는 것과, 기술적인 측면에서 인공지능 등 인지모형에서 표현되어야 할 지식처리기능을 모사할 수 있는 수단이 많이 활용되고 있다는 점이다(Woods, 1986). 둘째, 인지모형이 독립적인 단위모형으로서 개발되기 보다는 전체 작업자 수행도 모형의 일부분으로 개발되며, 이를 위하여 다양한 모형화의 방법론들이 복합적으로 활용되는 방식으로 모색되고 있다는 것이다(Abbott, 1982; Knee, 1991). 셋째, 개념적인 모형에 그치기보다는 전산기법을 활용한 보다 구체적인 시뮬레이션 모형의 개발이 활발하게 시도되고 있으며, 최근에는 대부분 원자력분야를 중심으로 추진되고 있다(Cacciabue, 1992; Knee, 1991).

인지모형의 개발사례를 보면, 여러 분야에서 다양한 방식의 모형이 시도되고 있으며, 모형화 방법의 유사성 측면에서 원전 운전원 인지모형의 개발 가능성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그러나, 원전에 대하여 직접 적용되고 있는 사례는 적으며, 이론적으로는 개념모형이 오히려 확고한 적용방식을 설명하고 있다. 본격적인 응용이 가능한 시뮬레이션 모형이 몇개 있으나 개발중에 있거나 검토중에 있는 상태이며, 실제적인 적용사례를 보인 것은 아직 없었다. 시뮬레이션 모형은 응용분야의 목적에 따라 매우 상이한 개발방식을 보이고 있는데, 중심되는 개념설정에 인지심리학의 체계를 도입한 경우가 많았다. 시뮬레이션 모형의 응용가능성에 대하여는 부가적인 상세검토가 필요하다.

## 3. 모형화 방법론의 비교분석

### (1) 모형화 방법론 비교

기존의 모형에서 활용하고 있는 모형화 방법론은 지능적 기능(intelligent functions)의 단일한 측면을 중심으로 집중되어 있다. 모형화 방법론의 유형을 다음과 같이 지능적 기능의 여러가지 단면을 기준으로 구분할 수 있다(Sheridan, 1987; Chubb, 1987; Woods, 1986).

- 제어이론(control theory)방식
- 의사소통이론(communication theory)방식

- 통계적 의사결정(statistical decision making)방식
- 정보처리자(information processor)방식
- 심볼처리자(symbolic processor)방식

인간의 지능적 기능을 중심으로하는 경우, 이제까지의 모형화 방법론을 검토한 결과 다음 네가지 측면으로 살펴볼 수 있다. 첫째, 인간의 지능적 기능중 인지작용의 표현을 중점적으로 특정한 이해부위만을 대상으로하는 모형화를 추구하고 있다. 둘째, 주로 기계적인 모형을 구성하고 인공지능(AI)기법을 중심으로 작업자의 부분기능을 표현하는 경향이 있다. 셋째, 인간의 정보처리측면을 강조하고 인지작용에 대한 이론배경으로 인지심리학의 연구결과를 비교적 직접적으로 묘사하려는 시도가 많다. 넷째, 모형화 방법론간의 주된 차이점은 주로 정보의 획득과 표현에 대한 개념의 차이에서 비롯된다.

운전원 인지모형개발을 위하여 모형화 방법론에 대한 검토결과로 방법론의 설정에 필요한 다음과 같은 고려사항과 결론을 도출하였다.

첫째, 기존의 모형에서 특정한 모형화의 방법론을 선택한 것은 제한적인 각각의 목적에 의한 수단 선택일 뿐, 실제로는 각 방법론이 밀접한 상관관계를 가지고 있다. 따라서, 가장 표현의 폭이 넓고 다양한 인지특성을 묘사할 수 있는 모형화의 방식으로 심볼처리방식의 모형화 방법론이 중점적으로 활용되는 것이 타당하다.

둘째, 운전원의 인지작용을 모형화하기 위하여 완전한 표현방식을 찾으려는 노력은 무의미하며, 일반성 있는 모형이나 인지기능 전체에 대한 구조를 설정하려는 것도 무리한 목표이다. 각각의 방법론은 나름대로의 장점과 한계를 가지고 있으므로, 모형화 방법론의 설정은 일반적인 인지작용 묘사를 목적으로한 특정한 기법의 선택이라기 보다는 모형화의 목적달성에 필요한 충분한 범위와 수준을 갖는 공학적 의사결정과정의 포함된다.

셋째, 모형화 방법론의 선택이 각각의 한계를 내포하므로 단수모형으로서는 묘사의 사실성에 접근하기 어렵다. 모형이 제한된 목적을 가지더라도 특정 모형화 방법론에 치중하는 것은 이미 그자체로 응용력과 적용범위에 있어서 한계를 갖게 되므로, 운전원의 수행도를 묘사하기 위한 인지모형에서는 단일한 기법에 치중하지 않아야 할 필요성이 있다. 인지작용의 다중성 뿐만 아니라, 응용의 사실성을 고려할 때, 다양한 모형화 기법에 의한 복합모형(hybrid model)으로 개발해야 할 가능성이 높다. 따라서, 기존의 모형화 방법론중에서 가장 유연성이 있는 방식을 골격으로 다른 방식을 연계하고 각각 상황에 따라 가변적으로 적용할 수 있는 방향으로 방법론을 설정하는 것이 타당하다.

## (2) 모형구현기법의 비교

운전원 인지작용에 대한 개념모형을 개발하는 과정에서 이론적 타당성과 모형구조간의 일관성 검토 등을 위하여 부분적인 구현과 실험을 통한 검토가 필요하며, 최종적으로도 소프트웨어 형태가 응용 측면에서 유리하다.

모형의 구현을 위해 시급히 검토해야 하는 문제는 인공지능기법에서 필요한 수단과 언어의 선택이다. 일반 프로그래밍 언어와 근래에 폭넓게 사용되고 있는 전문가시스템 개발도구간의 선택은 개발하고자하는 인지모형의 응용 목적과 사용되는 기법에 의해 결정된다. 일반적으로 개발 목적이 타분야에의 응용을 전제로 하고, 사용하는 지식표현기법이 규칙중심이라면 전문가시스템 개발도구를 사용하며, 반면에 아주 독특한 인지과정이나 전문가시스템 개발도구가 지원하지 않거나 구현하기에 어려움이 있는 부분에 대해서는 LISP, PROLOG, SmallTalk, C++ 등 인공지능언어가 사용된다.

대부분의 인지모형은 응용중심이고 외부 simulator와 연계하여 사용해야하기 때문에 전문가시스템 개발도구의 사용이 적절하다. 본 연구에서도 전문가시스템 개발도구의 활용을 전략적으로 선택하였다. 그러나, 선택가능한 전문가시스템 개발도구가 매우 다양하므로 대상으로 하는 원전 운전원의 인지작용 및 그 특성에 적합하게 선정해야 한다. 또한 운전원 인지모형은 인공지능언어만으로는 달성하기 힘든 등적이고 상당히 많은 상호작용이 얽혀 있으므로, 모형구현에 소요되는 시간과 노력의 절감을 위해서도 전문가시스템 개발도구의 활용이 요구된다. 인공지능 언어도 비용이 적게 들고, 특히 새로운 구현기법의 시도 혹은 다양한 소형 모듈(module)의 구현에 적합하고, 개발도구와의 연계가 용이한 경우가 많으므로 유용성은 무시할 수 없다. 따라서 인공지능 언어와 개발도구를 상호보완적으로 사용하여 인지모형의 구축을 시도하는 것이 바람직한 것으로 분석된다. 본 연구에서는 모형의 기본구조설정이라는 초기 목적을 위하여 인지작용의 묘사에 가장 적합한 KEE와 LISP을 주된 구현수단으로 선정하였다. 그러나, 개발경험상 부분적인 구현에 유리하다고 제안된 SmallTalk과 모형의 확장성 측면에서 유리한 C++를 병행하여 활용해야할 필요성이 있다고 판단하였다.

### III. 결론

#### 1. 모형 개발방향 설정

##### (1) 개발목표의 설정

운전원의 인지모형개발은 원전 안전성에 미치는 인적요인의 영향에 대한 분석 및 평가를 위하여 수행되는 운전요원의 작업수행도 분석과제의 일부로 수행된다. 작업수행도 분석의 연구방식은 경험적 분석, 실험적 분석, 이론적 분석 등 크게 3 가지로 구분될 수 있는데, 인지모형은 이론적 분석의 대표적인 수단이다. 작업수행도 분석을 위한 이론적 연구의 방법론으로 가장 우선적인 것은 원자력발전소 안전에 지대한 영향을 미치는 운전원의 이론적 모형이다. 여기에서 운전원의 이론적 모형이라는 말의 의미는 물리적인 체계에 대한 모형과 유사한 개념이다. 즉, 물리적 체계에 대한 모형화에서와 같이 운전원을 하나의 체계로 정의하고, 체계의 요소(즉, 인간의 신체적, 생리적, 인지심리적 특성 등 개별적인 인간 공학적 요인)를 분석하며, 각 요소의 특성에 대한 이론적인 연구결과를 하나의 체계로 종합하는 과정을 말한다. 인지모형이 필요한 이유는 이러한 모형이 원자력 분야의 인적요인의 검토에서 특히 중요시되는 인지적 요인의 영향과 상관관계를 체계적으로 고려할 수 있는 가장 강력한 수단이라는데 있다. 그러므로, 인지모형의 개발목표는 원자력 분야의 운전요원이 가지는 인지적 특성에 대한 체계화를 통하여 그 영향을 작업수행도의 관점에서 정량적 또는 정성적으로 분석할 수 있는 분석수단의 확보로 정의한다.

##### (2) 모형화의 요건

운전원 인지모형은 운전원의 인지작용과 특성에 대한 체계화를 위한 인지작용의 명시적인 표현을 전제로 한다. 인지작용의 지식처리중심의 특성을 표현할 수 있는 수단은 기존의 재래식 모형화 방법론으로는 한계가 있으므로, 전체 작업수행도에 대한 기존의 모형화 방식의 골격위에 인지적 요인의 묘사를 가능하게하는 인공지능의 모형화 방식과 기법을 활용하는 것이 타당하다. 그러나, 방법적인 면에서, 전체적인 수행도 분석에 적합한 기존의 모형 방식과의 결합성이 고려되어 개발되어야 한다.

운전원 인지모형은 이제까지 대부분의 인간공학모형에서 개념적 구조와 이론적 모형이 가지는 추상적인 한계를 해결해야하는 문제가 있다. 따라서, 이론적인 특성을 표현하는 개념적인 모형(conceptual

model)으로부터, 구체적으로 운전원의 특성을 모사할 수 있는 가동가능 모형(runnable model)으로 구체화하는 과정(즉, 소프트웨어적인 구현)을 포함해야 한다. 모형의 구현방식으로는 기존의 전문가시스템 개발도구와 인공지능 언어를 활용하여 부분적으로 구현하고 검토한다. 부분모듈에서는 PC환경에서 개별적으로 개발하고 전체구조는 Workstation상에서 Prototyping기법을 활용하도록 한다.

작업수행도 분석을 위한 모형화의 범위에 대하여는 제어실 운전원, 감독자, 현장운전자, 보수검사자 등 여러분야의 운전요원에 대한 가능한 다양한 모형이 필요하다. 그러나, 인적요인의 중요성과 그 영향 범위를 기준으로 살펴볼 때, 그중 중앙제어실(MCR) 운전원의 작업수행도 분석이 우선적이며 그에 대한 모형이 시급하다. 중앙제어실 운전원의 수행도는 계통의 운전 신뢰도와 원전 가동율에 직접적인 영향을 미칠 뿐 아니라, 제어실 설계, 운전지원기능 개발 및 운전절차 개선 등에 있어서 주요한 기준으로 작용하므로, 이를 분석할 수 있는 방법론을 먼저 확보해야 한다.

모형에서 포함해야 할 운전원의 특성은 신체적, 생리적, 행동적, 심리적 특성 등 다양한 범위를 가지고 있으나 인지적 요인의 범위를 기준으로 연관되는 기타요인을 포함하도록 한다. 그러나, 운전원의 모든 인지요인을 설명할 수 있는 일반모형을 개발할 필요는 없으며 주요 기능에 대하여 선택적으로 개발하도록 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 원전에서 운전작업의 특성과 그 변화의 추세로 볼때, 운전원 모형의 개발범위는 일차적으로 운전원의 감시감독 및 진단작업에서의 인지특성 및 인지작용의 구조에 초점을 맞추도록 한다. 인지공학의 방법에 이론적인 의사결정의 기본구조를 기준으로 앞에서 요약된 체계적 편향과 휴리스틱 및 오류현상의 구조를 모사할 필요가 있다.

따라서, 운전원 인지모형개발은 1)제어실 운전원의 감시, 감독 및 진단 등에 대한 인지작용의 일반적인 구조와 특성을 분석하고, 2)주요한 운전작업의 의사결정과정을 설명할 수 있는 인지작용의 개념모형을 개발하며, 3)인공지능기법 등 기존의 소프트웨어적인 구현방식을 동원하여 시뮬레이션 가능한 전산모형으로 구체화할 수 있도록 한다.

운전원 인지작용의 전산모형은 개발과정에서는 모형구조의 이론적 타당성과 일관성을 검토하는 수단이 되며, 최종 개발완료후에는 결과적으로 원전계통의 하드웨어적 거동을 모사하는 기존의 계통시뮬레이션 모형에 대응할 수 있는 운전작업의 시뮬레이션모형으로 활용된다. 인지모형은 운전원으로 대표되는 인간과 계통이라는 기계로 구성되는 인간-기계체계(man-machine system)에서 인간과 기계 양자간의 상호작용(interaction)을 시뮬레이션하여 작업수행도분석의 실용적 수단으로써 활용할 수 있는 기본체계를 확보하도록 한다.

## 2. 개발방향과 전략

검토결과가 시사하듯이, 운전원의 인지과정에서 다양한 인지적 특성, 공학적 지식, 실용적 규칙 등을 통합하게 되므로 일반성있는 구조가 필요하며, 모형의 접근방법이 응용분야에 따라 개별적으로 특성화되어야함을 알 수 있다. 또, 응용의 측면에서 볼 때, 원전에서는 운전원의 인지적 결함에 대한 고려의 중요성이 정상적인 수행도 및 기능변화내용에 비하여 상대적으로 중요시되고 있으므로, 이러한 특성을 반영할 수 있는 시뮬레이션 모형이 필요하다. 운전원 직무의 인지적인 특성으로 볼 때, 모사할 수 있는 직무의 폭이 매우 넓으면서 외부조건에 따른 인지능력의 범위와 특성이 변화되는 기능도 포함하여야 한다. 기존의 모형에서 이러한 특성을 반영하고 있는 사례나 안정된 기법을 찾는다는 것은 매우 어려운 상태이므로 독자 개발이 필요하다.

모형의 사례중 CES, INTEROPS, COSIMO 등 본 연구의 목적과 유사한 사례가 있으나, 아직 개발 후

은 확대과정에 있고 응용방향이 동일하지 않으므로, 결과물의 도입보다는 구현방법이나 기본이론을 참조하는 것이 타당하다. 특히, COSIMO는 모형화방법론이 가장 일반성있으며, 구현도 상당히 완료되어 응용단계에 있으므로 기술도입 등으로 개발경험을 흡수하는 전략이 필요하다.

운전원 인지모형에 대한 개발 필요성의 인식이 비교적 최근일이며 응용방식도 아직 많은 확장여지가 있으므로, 독자개발을 통하여 직무수행도 분석에 상당한 기술을 확보할 수 있다. 기존의 개발사례에서 나타나는 경험을 기술도입등의 형태로 최대한 흡수하되, 중심이 되는 개념모형개발단계에서는 비교적 독자적인 구조와 특성을 갖도록하여 응용범위를 극대화할 수 있도록 한다. 또, 구현측면을 강조하여 평가수단으로서의 실용성을 확보하되, 기존의 전문가 시스템 개발 도구를 최대한으로 활용함으로써, 소요 노력의 부담을 줄이는 방식이 타당하다.

#### 참고 문헌

- Abbott, L.S., (ed.), Proceedings of workshop on cognitive modeling of nuclear plant control room operators, NUREG/CR-3114, USNRC, Washington, DC, 1982.
- Anderson, J.R., Cognitive Psychology and Its Implication, MIT Press, 1985.
- Apostolakis, G.E., Kafka, P., Mancini, G.(eds.), Accident sequence modeling : Human actions, system response, intelligent decision support. : Special volumn of Reliability Engineering & System Safety , 1988.
- Baron, S., Application of a Procedure-oriented Crew Model to Modeling Nuclear Power Operation, Proceedings of ANS/ENS international conference on Advances in Human Factors in Nuclear Power System, pp. 21-33, 1986.
- Bersini, U., Cacciabue, P.C., Mancini, G., Cognitive modeling : A basic complement of human reliability analysis, Reliability Engineering & System Safety, Vol.22 No.1-4., 1988.
- Bersini, U., Cacciabue, P.C., Mancini, G., A Model of Operator Behavior for Man-Machine System Simulation, Automatica, Vol.26(6), pp. 1025-1034, 1990.
- Cacciabue, P.C., The Simulation of Man-Machine Interaction in NPPs : the System Response Analyser Project, in W.Krischer (ed.) Reactor Safety Research, Elsevier Pub.Co., NY, 1990.
- Cacciabue, P.C., Decortis, F., A Cognitive Model in a Blackboard Architecture : Synergism of Artificial Intelligent and Psychology, Reliability Engineering & System Safety, Vol.36, pp. 187-197, 1992.
- Chubb, G.P., Daughery, K.R., Pritsker, A.B., Simulating manned systems, in G. Salvendy (ed.) Handbook of human factors, John-Wiley & Sons Inc., NY, pp. 1298-1327, 1987.
- Decortis, F., The Operator Model as a Framework of Research on Errors and Temporal, Qualitative and Analogical Reasoning, in W.Krischer (ed.) Reactor Safety Research, Elsevier Pub.Co., NY, 1990.
- Edward, E., Decision making, in G. Salvendy (ed.) Handbook of human factors, John-Wiley & Sons Inc., NY, pp. 1061-1104, 1987.
- Kan, C.F., Robert, P.D., Smith, I.C., A framework for modeling the behaviour of a process control plant operator under stress, UKAEA., UK, 1989.
- Knee, H.E., Schryber, J.C., Model of Human Operation: Their need and usefulness for Improvement of Advanced Control System and Control Rooms, Proceedings of International Conference on Fast Reactor and Related Fuel Cycles, Kyoto, 1991.

- Rasmussen, J., Skills, Rules, and Knowledge :Signals, sign and symbols,and other distinctions in human performance models, IEEE-SMC-13(3), pp. 257-266, 1983.
- Rasmussen, J., Development and Testing of a Model for Simulation of Process Operation Response During Emergencies in NPPs, Proceedings of ANS/ENS international meeting on Advances in Human Factors in N-PPs,pp. 443-451,1986a.
- Rasmussen, J., Information Processing and Human Machine Interaction : An Approach to Cognitive Engineering, North-Holland, NY.,1986b.
- Rasmussen, J., A Cognitive Engineering Approach to the Modeling of Decision Making and its Organization, RISO-M-2589 , RISO, Denmark,1986c.
- Rouse, W.B., Systems Engineering Models of Human-Machine Interaction, Vol.6, 1986.
- Rouse, W.B., Boff, K.R.,(eds), System design behavioral perspectives on designers, Tools, Organizations , North-Holland, NY, 1987.
- Schryber, J.C., Operator Model-Based Design and Evaluation of Advanced Systems : Conceptual Models, Proceedings of IEEE 4th Conference on Human Factors and Power Plants, pp. 115-120, Monterey, CA, 1988a.
- Schryber, J.C., Operator Model-Based Design and Evaluation of Advanced Systems : Computational Models, Proceedings of IEEE 4th Conference on Human Factors and Power Plants, pp. 121-127, Monterey, CA, 1988b.
- Schryver, J.C., Palko, L.E., Knowledge-enhanced network simulation modeling of the nuclear power plant operator, conf-880218-2, 1988c.
- Sheridan, T.B., Johannsen, G., Monitoring Behavior and Supervisory Control, Plenum Press, NY,1976.
- Sheridan, T.B., Supervisory control, in G. Salvendy (ed.) Handbook of human factors, John-Wiley & Sons Inc., NY, pp. 1243-1268,1987.
- Wickens, C.D., Engineering Psychology and Human Performance, Scott, Foresman and Co., NY,1984.
- Wickens, C.D., Information processing, decision making and cognition, in G. Salvendy (ed.) Handbook of human factors, John-Wiley & Sons Inc.,NY, pp. 72-107, 1987.
- Woods, D.D., Roth,E.M., Modeling Cognitive Behavior in NPPs : An Overview of Contributing Theoretical Traditions, Proceedings of ANS/ENS international conference on Advances in Human Factors in Nuclear Power System, 1986a.
- Woods, D.D., Models of Cognitive Behavior in NPP Personnel, NUREG/CR-4532, USNRC, Washington, DC, 1986b.
- Woods, D.D., O'Brien, J.F., Hanes, L.F., Human factors challenges in process control the case of nuclear power plants, in G. Salvendy (ed.) Handbook of human factors, John-Wiley & Sons Inc., NY, pp. 1724-1770, 1987a.
- Woods, D.D., Roth, E., Pople, H.,Jr., Cognitive Environment Simulation : System for Human Performance Assessment, NUREG/CR-4862, USNRC, 1987b.
- Woods, D.D., Roth, E.M., Pople, H.Jr., Modeling human intention formation of human reliability assessment, Reliability Engineering & System Safety, Vol.22 No.1-4, 1988a.



- Woods, D.D., Roth, E.M., Pople, H.Jr., Cognitive engineering : Human problem solving with tools. , Human Factors, Vol.30, No.4, pp. 415-430, 1988b.
- Woods, D.D., Roth, E.M., Pople, H.Jr., Cognitive Simulation as a Tool for Cognitive Task Analysis, Ergonomics, Vol.35(10), pp. 1163-11948, 1992.
- Worldedge, D.H., Hannaman G.W., Spurng, A.T., Modeling Framework for Crew Decision During Accident Sequences, Proceedings of ANS/ENS international conference on Advances in Human Factors in Nuclear Power System, pp. 43-52, 1986.
- KAERI/AR-325/91, 인간공학적 실험평가 기술의 원자력 응용, 한국원자력연구소.
- KAERI/AR-347/92, 원자력연구소의 운전원 인지모형 개발 현황, 한국원자력연구소.
- KAERI/RR-817/88, 원자력발전소의 인간-기계 Interface 설계방안 연구, 한국원자력연구소.
- KAERI/RR-1109/91, 신형안전로 개발, 과학기술처.