Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 18, No. 3 1999. 12

원자력발전소 비상운전 직무의 오류 예측을 위한 정보적 분석*

Informational Analysis for Error Prediction of Emergency Tasks in Nuclear Power Plants

정원대**, 김재환**, 윤완철***

Abstract

More than twenty HRA (Human Reliability Analysis) methodologies have been developed and used for the safety analysis in nuclear field during the past two decades. However, no methodology appears to have universally been accepted, as various limitations have been raised for more widely used ones. One of the most important limitations of conventional HRA is insufficient analysis of the task structure and problem space. To resolve this problem, we suggest a framework of informational analysis for HRA. The proposed informational analysis consists of three parts. The first part is the scenario analysis that investigates the contextual information related to the given task on the basis of selected scenarios. The second is the goals-means analysis to define the relations between the cognitive goal and task steps. The third is the cognitive function analysis that identifies the cognitive patterns and information flows involved in the task. Through the three-part analysis, systematic investigation is made possible from the macroscopic information on the tasks to the microscopic information on the specific cognitive processes. It is expected that analysts can attain a structured set of information that helps to predict the types and possibility of human error in the given task.

Keyword : Human Error Prediction, Human Reliability Analysis, Task Analysis

* 본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.
** 대전시 유성구 덕진동 150, 한국원자력연구소 종합안전평가팀
*** 대전시 유성구 구성동 373-1, 한국과학기술원 산업공학과

1. 서 론

시스템 안전성을 확보하기 위해 인적오류의 가능성을 예견적으로 평가하는 방법으로서 HRA (Human Reliability Analysis)가 있다. 이제까지 HRA는 주로 원자력발전소(원전)에 대한 확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment : PSA)(Yoo, 1987)의 일부로 수행되어 왔으며, 주어진 직무를 수행하지 못하는 인적오류의 확률을 정량적으로 분석하는데 초점이 맞추어졌다. HRA를 위해 세계적으로 지난 20여년 동안 수 많은 방법들이 제안되었으며, 원전 PSA에 실제 적용된 것만도 십여 가지가 넘는다 (Hishiberg, 1996). 그러나 아직까지 어떤 방법도 HRA 분야의 통일된 지지를 받는 방법은 없으며 가장 널리 사용되는 방법에 대해서도 여러 가지 제한점들이 제기되어 왔다 (Dougherty, 1992; Swain, 1992; Parry, 1995). 대표적인 제한점은 이들 방법이 오류 발생의 근본 원인이나 구조를 분석하기 보다는 공학적 관점에서 정량적 분석에 치중한다는 점이다. 또한 HRA 분석 과정과 입력정보의 생성 단계에서 개입되는 분석자의 주관성으로 인해 분석 결과의 불확실성이 높다는 것도 큰 문제로 지적되어 왔다. 이와 같은 한계로 인하여, 기존 HRA 방법이 오류분석의 궁극적인 목적인 인적오류 감소와 시스템 안전성 향상을 위한 구체적인 해결 방안의 도출에 취약하였다.

이러한 기존 HRA의 부족한 점을 해결하고자 새로운 HRA 방법들이 제안되었거나 연구중에 있다(Kirwan, 1994; Hollnagel, 1997; USNRC, 1998). 이들 방법에서는 오류유형과 수행영향인자를 가능한 상세히 분류하였으며, 이로 인해 분석자가 예측하는 다양한 오류유형이나 관련 원인을 이전 방법에 비해 보다 자유롭게 표현할 수 있게 되었다. 또 새로운 방법들은 이제까지 미흡했던 인지오류와 수행오류에 초점을 맞추고 있다. 다만 아직은 이들 방법이 개념적 시도나 개발 단계로서 기존 HRA를 대체할 수준에 도달하고 있지는 않다.

국내에서도 원전 오류분석 및 평가를 위해 HRA의 새로운 방법 및 체계를 개발 중에 있다. 개발 중인 HRA 체계 역시 기존 HRA의 문제점을 해결하는 방향으로 개발하고 있는데, 이를 위해 국내 원전 HRA 수행 결과를 근거로 분석자 관점에서 기존 HRA의 제한점을 평가하고 새로운 방법 개발을 위한 요건을 제시한 바 있다(정원대, 1999). 특히 가장 중요한 개선 요건은 '체계적인 직무구조 분석 방법의 제시'인 것으로 나타났다. 새롭게 제안된 방법을 포함하여 기존의 HRA 방법은 대체로 모형 지향적이다. 즉 모형을 사용하고 관련 모수를 결정해 나가면 발생 가능한 인적오류의 유형과 그 오류확률을 평가할 수 있다. 이런 HRA 수행 과정에서 사용되는 가장 중요한 수단은 분석자의 대상 직무에 대한 지식과 HRA 경험이다. 이것은 데이터 부족이라는 근원적인 문제를 안고 있는 HRA에서 입력자료 생산이나 모수 결정이 전적으로 분석자의 대상 직무에 대한 지식과 경험에 의존하기 때문이다. 상세한 분류체계를 갖춘 새로운 HRA 방법의 등장으로 분석자의 지식을

이전 방법에 비해 보다 자유롭게 표현할 수 있으나 중요한 것은 표현 방법이 아니라 분석자의 지식이며 그 지식을 획득하는 방법이다. 이제까지 HRA 분야에서 오류모형과 정량평가 방법 개발에는 많은 노력이 있어 왔으나 분석자의 정보 수집 과정은 소홀히 취급된 경향이 있으며, 이는 최근 제안된 HRA방법에서도 동일한 문제로 남아있다.

본 논문에서는 HRA분석에 필요한 예견력은 분석 방법이 제공하는 것이 아니라 분석자의 직무에 대한 체계적인 지식과 경험에 근거한 통찰력에서 나온다는 전제하에 관련 정보에 대한 체계적인 분석 방법을 제안하고자 한다. HRA를 위한 정보분석은 단순히 직무절차나 수행영향인자를 개별적으로 평가하는 차원이 아닌 직무를 보는 체계적인 관점을 의미한다. 직무의 거시적 상황 정보로부터 미시적인 인지과정의 관련 정보까지 오류를 유발할 수 있는 문제의 구조를 입체적으로 관찰하는 것이 가능하며, 이를 통해 직무의 구조적 취약점을 파악하고 이를 해결할 수 있는 방법과 함께 오류확률의 정량적 평가에 필요한 객관적인 요인 평가의 근거를 제시할 수 있다.

2. 오류발생 구조 및 수행영향인자

2.1 오류발생구조

오류란 작업자인 인간이 시스템을 대상으로 정의된 직무를 수행하는 과정에서 여러 상황인자의 영향을 받아 발생하는 기대되는 수행결과로부터의 이탈이라 정의할 수 있다. 오류발생에는 여러 영향요소가 연관되어 있으며, 인간의 인지적 한계와 특성이 오류발생구조로서 작용한다. 오류 관련 요인은 크게 시스템, 직무, 인간, 그리고 상황 요인으로 구분할 수 있다.

오류를 분석하기 위해서는 오류가 발생되는 과정 및 관련 인자를 표현하는 오류발생구조나 오류모형이 필요하다. 오류발생구조에 대해서는 많은 의견이 있을 수 있으나 현재까지는 그림 1에 정리된 Rasmussen(1982)의 오류발생구조가 가장 기본적인 것으로 널리 받아들여지고 있다. 이 구조에 따르면 수행영향인자(performance influencing factors), 상황인자(situation factors)가 오류 발생의 잠재적인 여건을 제공하며, 이런 상황에서 직무 수행 시 오류 유발자가 직접적인 원인으로 작용하여 정상적인 인지과정이나 행위에서의 이탈이 발생한다. 이런 이탈은 인지단계의 정보처리과정 중에서 시작되며 여기에는 인간의 인지심리학적 특성과 한계가 함께 작용한다. 인지과정 중에 발생한 이탈은 결국 필요한 직무 절차의 누락 혹은 지연, 순서의 뒤바뀜, 또는 의사결정의 착오로 인한 잘못된 조치 수행 등의 외적으로 나타나는 오류를 초래한다.

2.2 수행영향인자 및 HRA 입력 정보

오류분석, 특히 오류의 정량적 평가가 필요한 HRA에서 수행영향인자의 선정 및 평가는 매우 중요하면서도 어려운 작업이다. 오류분석이나 HRA는 결국 이들 수행영향인자나 상황인자의 평가를 기반으로 수행되기 때문에, 이들의 평가는 분석 결과에 직접적인 영향을

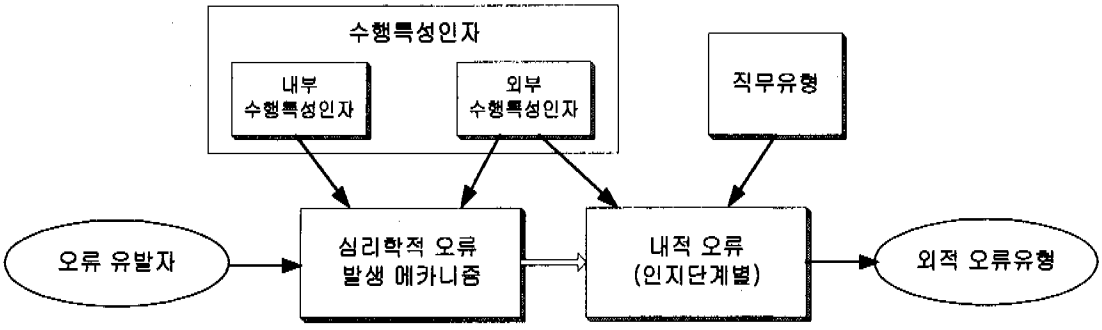


그림 1. Rasmussen의 오류발생구조

미친다. 그러나 오류발생 구조에 대한 다양한 견해로 인해 수행영향인자에 대한 정의는 오류분석이나 HRA 방법마다 차이가 있다. 일반적으로 정성적 오류분석 관점에서는 가능한 많은 인자를 정리하는 반면, HRA 관점에서는 이들이 오류확률의 정량 평가의 입력으로 사용되기 때문에 중복된 요소들을 제거하게 되어 상대적으로 제한된 인자들을 사용하고 있다.

본 논문에서는 선행 연구 결과(Kim, 1999)를 바탕으로 원전 HRA를 위한 구조적 정보분석의 입력 정보를 선정하였다. 선행 연구에서는 정성적, 정량적 오류분석을 목표로 오류에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 문헌조사를 통해 오류영향인자 데이터베이스를 만든 후, 원전의 비상 운전직무의 상황적 특징을 고려하여 관련 인자들을 일차 선별하였으며, 오류확률의 정량적 평가에 사용하기 위해 정의한 다섯 가지 기준을 반영하여 최종적으로 오류영향인자를 결정하였다. 11개의 수행영향인자가 최종적으로 결정되었으며, 30개의 세부 평가 항목이 선정되었다. 수행영향인자 외에 HRA를 위한 구조적 정보분석 단계에서 관찰해야 하는 정보가 추가로 몇 가지 있다. 직무 수행 절차나 절차별 인지단계 등은 인적 수행도에 직접 영향을 주는 요인은 아니지만 오류분석을 위해 분석자가 관찰하고 분석해야 할 직무관련 정보들이다. 수행영향인자를 포함하여 HRA를 위한 정보분석에서 분석할 정보항목들을 크게 세 부분으로 구분하여 표 1에 정리하였다. 관련 정보를 시나리오분석, 목표-수단분석 및 인지기능분석, 세 부분으로 구분한 것은 직무를 관찰하는 방법을 체계화한 것으로 다음 장에서 상세한 내용은 기술하고 있다.

3. HRA를 위한 정보적 분석

직무구조와 상황요인에 관련된 정보는 수준이 다양하다. 초기사건, 안전계통의 상태 등과 같이 사고 시나리오와 관련된 직무의 거시적인 상황정보로부터 작업자의 세부 수행절차, 이에 관련된 인지단계 및 입출력 정보와 같은 미시적 인지정보에 이르기까지 정보의 수준에 차이가 있다. 이런 다양한 수준의 정

표 1. HRA를 위한 정보 분석 항목

분석모듈	정보 항목
시나리오 분석모듈	사고 경위(초기사건, 전후직무)
	주요 운전 변수 상태 및 추이
	주요 계통/기기 상태
	직무 허용시간
	작업 환경 및 조건
	안전문화 및 조직/관리 수준
	팀 의사소통 및 협조 수준
목표-수단 분석 모듈	직무 수행 절차
	직무 수행 시간
	직무 친숙도
	직무 특성 (조절직무, 단일직무)
	정보 가용성 및 사용성
	절차서 유무 및 기술 수준
	관련 운전원 (단독직무, 팀직무)
	운전원 경력
	인지적 직무목표 및 논리
인지기능 분석 모듈	관련 인지단계
	인지단계별 입/출력 정보
	인지기능의 패턴

보를 체계적으로 분석하기 위해서 본 논문에서는 이들 정보 요소를 정보의 수준, 의미상 연관성, 지식의 추상화 수준 등을 고려하여 세 가지 모듈로 구분하고 각 모듈에 대한 통합적이고 도식적 정보분석 체계를 개발하였다. 그림 2에서 보여주는 바와 같이 HRA를 위한 정보적 분석은 다음과 같은 세 모듈로 구성되어 있다. 첫째 시나리오 전개상황과 관련된 공통 시나리오 정보분석 모듈, 둘째 해당 직무를 수행할 때 갖게 되는 인지적 목표와 수행절차의 관계를 분석하는 목표-수단 분석 모듈, 셋째 세부적 절차 수행 단계에서의 작업의 인지적 패턴과 정보 입출력을 파악하는 인지정보 분석 모듈이다. 세 모듈의 정보 분석을 통해 대상 직무의 구조와 내용을 체계적이며 입체적으로 관찰하게 되며, 분석자는 이 과정을 통해서 대상 직무에 대한 구조화된 정보 집합을 얻게 된다. 이런 구조화된 정보 집합을 통해 분석자는 오류를 유발할 가능성이 높은 구조적 문제를 파악할 수 있게 된다.

시나리오 분석 모듈은 직무의 거시적인 상황 정보를 수집, 통합하는 과정으로서 PSA의 사건수목 개념을 적용한 것이다. 원전의 사고 전개 상황은 원자로 정지 후 관련 계통의 대응 및 운전원 조치의 성패에 따라 매우 다양하며, 동일한 직무라도 시나리오에 따라 전후 직무, 시스템 및 기기의 상태가 다를 수 있다. 또한 하나의 사고 시나리오 내에는 몇 개의 오류사건이 동시에 나타나 오류사건 간에 상호 연관성을 갖는 경우도 있다. 이와 같이 직무가 요구되는 상황에 대한 거시적 정보가 이 모듈에서 분석된다. 이를 통해 최초 상황이 발생한 초기사건, 이 후 필요한 대응 안전계통의 작동 상태와 운전원 대응 조치 등이 파악된다. 또한 직무의 필요성이 운전원에게 감지된 시점과 직무 수행에 가용한 여유시간에 대한 정보가 분석된다. 이 외에 직무 수행 장소, 보호장비나 공구의 필요 유무, 물리적 환경 조건 등과 함께 조직 및 관리 요인이 시나리오 정보 분석 모듈에서 평가된다.

목표-수단 분석 모듈에서는 직무 자체에 관련된 정보를 분석한다. 인간은 목표 지향적(goal oriented) 특성을 가지고 있어, 절차화 된 직무를 수행할 지라도 이를 바탕으로 직무의 목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 세부 절차로 구조화해서 인식한다. 목표-수단 분석 모듈에서는 기본적으로 직무수행에 필요

한 절차, 관련 작업자 및 시간 정보가 분석되며, 운전원이 인지적 과정을 통해 설정하는 직무 목표, 이를 달성하기 위해 수행하는 세부 절차 및 절차간의 논리, 그리고 관련 직무 전후의 운전원의 주의 흐름 등 인지적 관점에서 직무구조도 함께 분석된다. 직무의 구조적 패턴 외에 직무의 친숙도, 직무성격, 절차서 유무 및 수준, MMI 수준 등 기존 HRA에서 고려하는 수행특성인자 정보도 이 단계에서 평가된다.

마지막으로 인지기능 분석모듈은 가장 미세한 인지적 부분의 정보를 수집하는 단계이다. 목표-수단 분석 모듈에서 파악된 구체적 직무 절차 각각에 대하여 필요 시 인지기능 분석이 수행된다. 이 단계에서 이용되는 인지모형은 Rasmussen의 사다리꼴 의사결정모형을 단순화한 인지모형(Yoon W.C., 1995)을 기반으로 하고 있다. 이 인지모형은 인간의 의사결정 과정을 감지(detection; D), 관찰(observation;O), 상태파악(state identification ; I), 계획(planning; P) 그리고 수행(execution; E) 단계로 표현하였다. 세부 직무의 유형에 따라 이들 인지기능의 패턴은 달라지며, 주요 관련 인지단계도 차이가 있다. 이 분석 모듈에서는 목표-수단 분석 모듈에서 파악한 세부 절차가 인간의 내적 정보처리 측면에서 어떤 특성을 갖고 있는지 파악하게 된다. 또한 직무 수행과정에서 시스템으로부터 감지되고 확인되는 입력 정보와 반대로 의사결정을 거쳐 출력되는 결과, 그리고 인지기능 패턴이 분석된다.

그림 2는 HRA를 위한 세 가지 정보분석 모듈과 상호 관계를 보여주고 있다. 직무가 요구되는 상황적 여건을 시나리오분석을 통해 파악하고, HRA 분석 대상이 되는 해당 직무의 세부 절차와 목표, 그리고 오류에 영향을 주는 시간 정보 등 상세한 관련 정보가 목표-수단 분석 단계에서 이루어진다. 필요에 따라서는 구체적인 수행 절차단계에 대한 인지기능분석이 수행되어, 해당 세부 절차에 관련된 인지단계 및 입출력 정보에 대한 분석이 이루어진다. 전체적으로 거시적 정보로부터 시작해서 상세 절차에 대한 작업자의 미지석인 인지과정과 정보까지를 관찰함으로써 해당 직무 수행 중에 발생할 수 있는 오류유형과 가능성에 대한 예견력을 갖게 된다.

4. HRA를 위한 정보적 분석 사례

원전 비상운전 직무 중 하나인 "방출 및 주입 운전(bleed and feed operation)"을 대상으로, 본 논문에서 제안한 정보적 분석을 통해 HRA에 필요한 직무분석을 수행하였다. "방출 및 주입 운전"은 이차측을 통한 RCS (Reactor Coolant System) 열제거 상실 사고 시, 안전감압계통을 통해 RCS압력을 인위적으로 낮추고 고압안전주입 계통을 통해 냉각수를 주입함으로써 노심 잔열을 제거하는 운전이다. 가압 경수로형 원전의 PSA 결과에 의하면 "방출 및 주입 운전"은 노심손상빈도에 가장 큰 영향을 미치는 운전원 직무 중 하나이다.

4.1 시나리오 분석

시나리오 분석 모듈에서는 PSA 사건수목

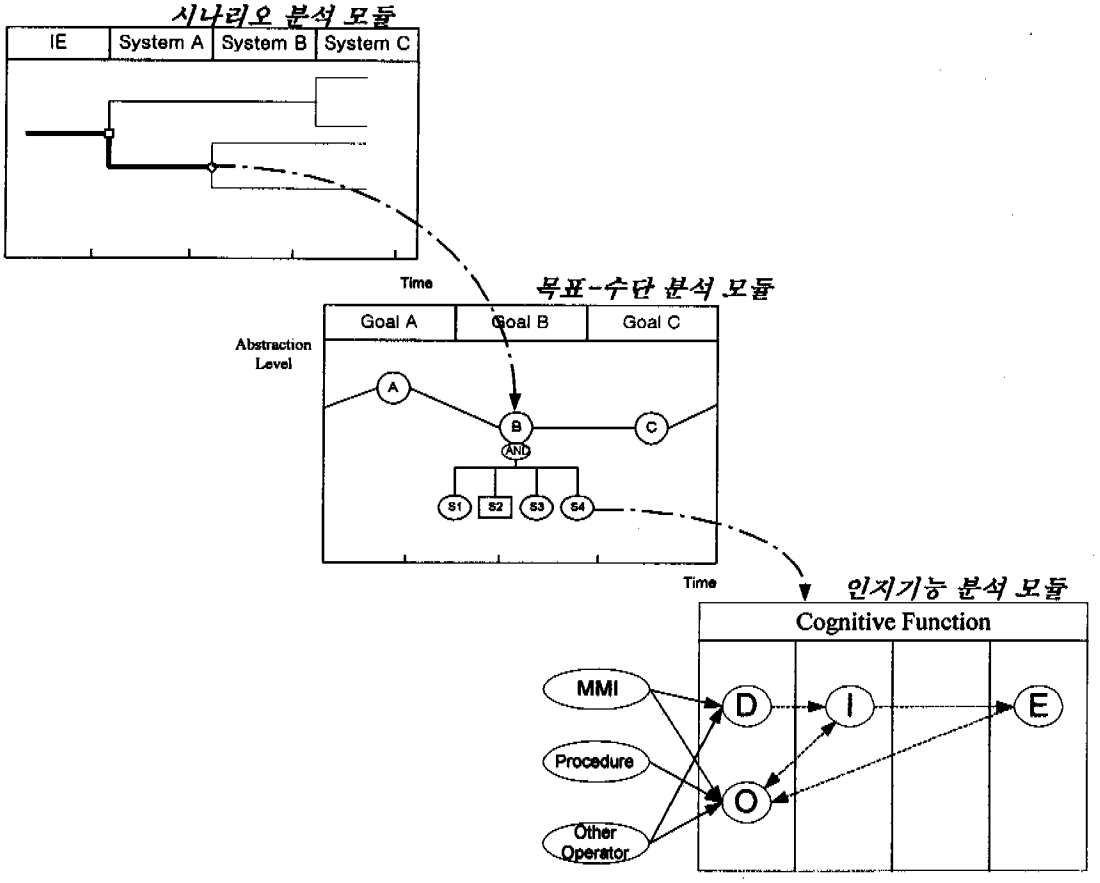


그림 2. HRA를 위한 정보적 분석 체계

정보를 바탕으로 "방출 및 주입 운전" 직무가 요구되는 운전 상황에 대한 거시적 정보를 분석한다. 사고 시나리오, 발전소 계통 상태 및 주요 운전변수의 거동, 이전 직무 및 동시 직무 유무, 시간 등의 정보를 수집한다. 그림 3에 정리된 것처럼 이 직무가 요구되는 시점은 주 급수상실로 인해 과도상태 발생 시, 원자로는 성공적으로 정지했으나 보조급수 공급이 실패한 상황이다. 이런 사고 시나리오에서 운전원은 우선-01 및 우선-02 절차서를 수행하면서 주급수상실 사건을 진단하게 되고 이에 따라 비상-05 완전급수상실 절차서를 수행하게 된다. 이 직무에 대하여 시나리오분석 모듈에서 수집된 정보는 다음과 같다.

-초기사건 및 시나리오 : 주급수상실 * 원자로 정지 * 보조급수상실

-시나리오 해당 절차서 : 우선-01, 우선-02, 비상-05, 회복-06

-이전/동시 직무 : 보조급수 수동기동 및 복구

-주요 운전 모수 상태 : 급격한 과도상태

•가압기 : 압력(↑↑), 수위(-)

•증기발생기 : 압력(-), 수위(↑↑↑)
•RCS온도(-)
-안전계통 상태 : 보조급수계통 이용불능
-직무 시점/여유시간 : 원자로 정지 후 10~15분 시점. 여유시간 약 8~13분
-직무수행 장소 및 환경 : 주 제어실. 양호
-안전문화/관리 수준 : 정기적 교육과 2년에 한 번 시뮬레이터 훈련

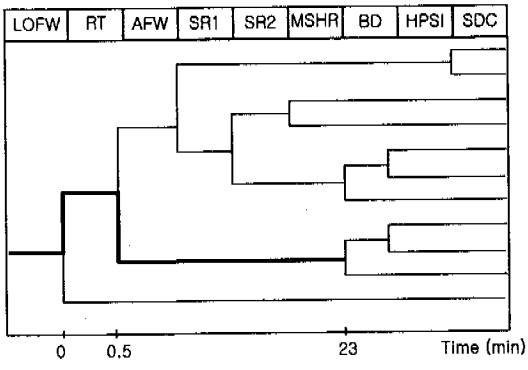


그림 3. "방출 및 주입 운전"의 시나리오 분석

4.2. 목표-수단 분석

목표-수단 분석 모듈에서는 직무 자체에 대한 상세한 분석이 수행된다. "방출 및 주입 운전" 직무는 급수상실 초기사건에 대한 진단이 완료되어 비상-05(급수상실) 절차서를 수행하는 중에 요구되는 직무로서 비상-05 절차서에 필요한 수행 절차가 기술되어 있다(표 2). 이 절차서에 의하면 "방출 및 주입 운전" 직무는 비상-05 절차 6, 7과 회복-06, HR-04 절차를 포함한다. 이 절차에는 회복 절차서로의 전이를 결정하는 의사결정이 매우 중요하고 부담되는 직무가 포함되어 있어서, 본 예제에서는 상황 판단과 의사결정에 대한 목표-수단 분석을 수행하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 "방출 및 주입 운전"을 결정하는 상황 판단과 의사결정 단계는 절차 6 및 7과 연관되어 있다. 직무의 세부 절차가 파악되면, 이를 통해 인지되는 직무 목표를 분석하고 이 목표와 세부 절차간의 논리관계를 표현한다(그림 4). 또한 각 절차에 대한 추상화계층 분석에 따라 각 절차의 추상화 수준을 분석한다(Rasmussen, 1994).

절차 1, 2 및 $\bar{6}$(6의 불만족 시 조치사항)은 추상화 수준이 높은 시스템의 기능적 상태 확인이나 운전을 언급하고 있다. 반면 절차 7은 주급수나 보조급수의 복구 조치로서 계통 수준의 운전을 지시하고 있다. 직무 절차 사이에 의미 혹은 직무 목표의 연관성 여부에 따라 절차 사이를 실선(연관성이 있는 경우) 또는 점선(연관성이 없은 경우)으로 연결하고, 절차와 하부 절차 사이의 논리 관계는 AND/OR로 연결한다. 직무 목표간의 연관성을 통해 발전과장의 인지적 흐름과 예상을 분석할 수 있다. 또한 세부 절차별로 네모 혹은 세모 등으로 담당 운전원을 표시하며, 절차별 수행 예상 시간을 가로축에 정리할 수 있다. "방출 및 주입 운전" 직무에 대한 목표-수단 분석을 통해 수집된 정보는 다음과 같다

-직무 목표 : 완전급수상실 판단, "방출 및 주입 운전" 결정
-직무 절차 및 담당 운전원 : 비상-05, 절차 6~7. 발전과장/원자로운전원/터빈운전원
-절차서 유무 및 수준 : 증상기반 및 사건기반 절차서. 양호
-MMI 수준 : 양호

-직무 성격 : 팀 직무, 규칙기반 직무 중 상위수준 (우선 순위 문제)
-직무 친숙도 : 교육 및 훈련을 통해 알고 있음
-예상 : 사고 초기 이상신호에 대한 의심

표 2. "방출 및 주입 운전"의 수행 절차

- 비상운전절차서 05 (급수상실 사건)

절차	예상 반응 및 조치	불만족 시 조치
1	우선조치 수행 확인	
2	안전기능 상태점검 만족 및 급수완전상실 확인	사고 재 진단 혹은 회복절차서 01 수행
3	모든 RCP 정지	
4	급수관 파열 확인 및 필요시 격리	
5	격납건물 내 작업자 대피	
6 6.1 6.2	증기발생기를 통한 RCS 열제거가 충분한지 확인한다. 최소한 1대 증기발생기 수위가 2%(WR) 이상이거나 총급수유량이 35 L/sec 이상이고 수위가 복구 중 AND RCS Tc 증가량 〈= 5.6 C	 만일 2대 증기발생기 수위가 2% 미만이고 급수유량이 35L/sec이하이면 회복절차서06, HR-04를 수행 만일 RCS Tc 증가량 5.6 C이상이고 비정상적으로 증가하면 회복절차서06, HR-04를 수행
7 7.1 7.2 7.3 7.4 7.5	다음을 확인하여 주급수 또는 보조급수 복구를 시도 보조급수 신호 발생 증기발생기로의 급수 유로 배열 적절한 급수 펌프의 운전 충분한 급수원(복수저장탱크, 순수저장탱크, 원수저장탱크) 확보 전원, 계기용 공기, 계측기 등 필요한 보조기기 확보	

- 회복운전절차서 06, HR-04 (일방관류냉각운전)

절차	예상 반응 및 조치	불만족 시 조치
1 1.1	다음 사항에 의해 일방관류냉각이 필요한지 확인한다. ...	

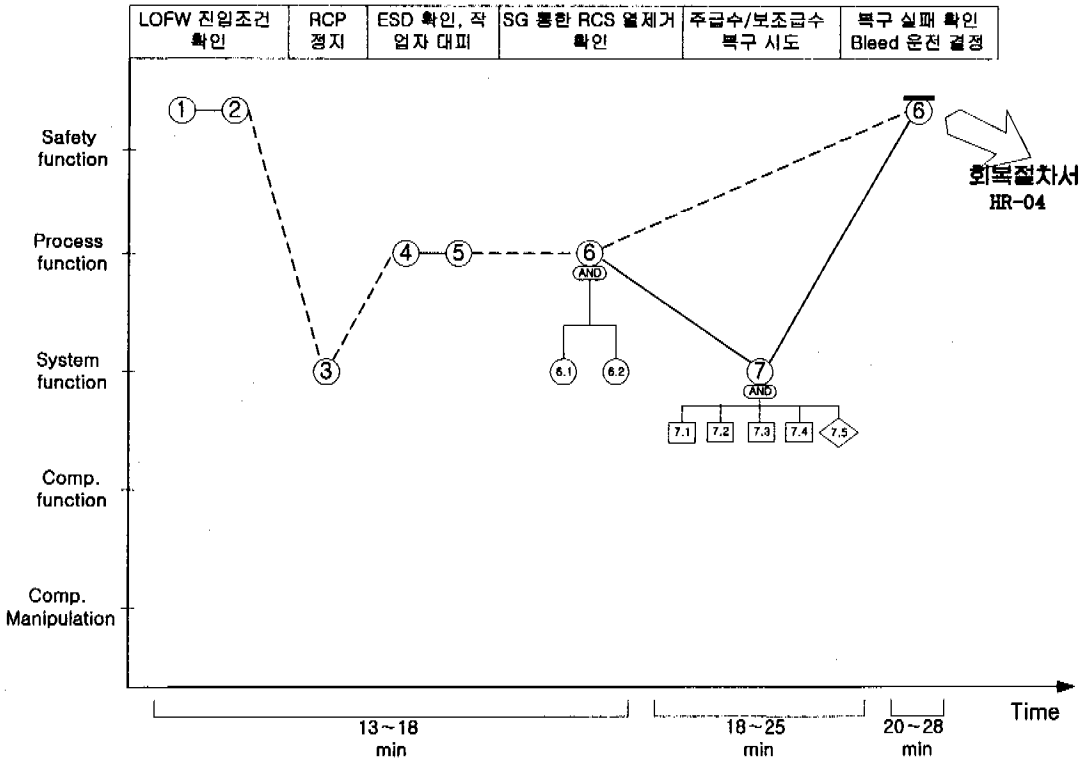


그림 4. "방출 및 주입 운전"의 목표-수단 분석

4.3 인지기능 분석

인지기능 분석 모듈은 미시적 정보분석 단계로서, 직무에 포함된 모든 세부 절차에 대하여 이 모듈을 적용할 필요는 없으며 세부 수행 절차 중 진단이나 의사결정 등 인지적 기능이 상대적으로 중요한 경우에 한하여 인지기능 분석을 수행한다. "방출 및 주입 운전" 직무에서는 비상-05 절차 6이 회복절차서로의 전이를 결정하는 단계로서 의사결정의 중요성이 높다. 절차 6은 증기발생기를 통한 RCS 열제거 가능성을 점검하고 이것이 안 된다고 판단될 때 회복절차서로의 전이를 최종 결정하는 단계로서, 앞에서 설명한 단순화된 인지모형을 적용할 때 관찰(O), 상태파악(I), 계획(P) 등의 인지과정이 주로 개입된다 (그림 5).

절차 6 인지과정의 특징은 상태파악(I) 단계가 숙련된 운전원에게는 관찰(O)과 동시에 이루어지는 인지단계로서 부하가 상대적으로 적으나, 회복절차서로의 전이를 최종 결정하는 계획(P) 단계가 상대적으로 부하가 큰 절차이다. 인지기능 분석에서는 해당 절차 수행 시 운전원이 감지하거나 관찰하는 입력 정보와 외부로 지시하거나 반응하는 출력 정보에 대한 분석도 함께 수행된다. 절차 6에서 운전원이 관찰하는 정보로는 증기발생기 수위, 보조급수 유량, 주급수 및 보조급수 펌프 상태

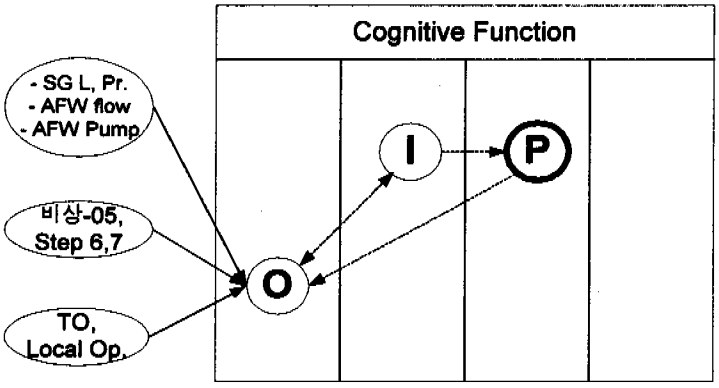


그림 5. "비상운전절차서 05, step 6"의 인지기능 분석

등 주 제어실 계기를 통해 얻는 정보와, 관련 직무를 기술한 비상운전 및 회복운전 절차서, 터빈운전원이나 현장 운전원들의 보고 등이 있으며, 출력 정보로는 타 운전원에게 지시하는 회복절차서로의 전이 명령이 있을 수 있다. 회복절차서로의 전이 결정 과정은 발전과장이 가지고 있는 경제성과 안전성간의 판정 기준에 따라 단 번에 끝날 수도 있고 반복적으로 수행될 수도 있다. 만일 즉각적인 "방출 및 주입 운전" 결정이 나지 않고 급수계통의 복구 시도 등으로 의사결정이 지연되면, 상기 시나리오의 경우 허용시간 내 적절한 조치를 수행하지 못할 가능성이 높다. 인지기능분석을 통해 관련 인지단계와 인지패턴이 파악되면, 발생 가능한 오류의 유형은 보다 구체적으로 예견될 수 있다.

5. 결 론

HRA분석에 필요한 예견력은 분석자의 직무에 대한 체계적인 지식과 경험에 근거한 통찰력에서 나온다. 그러나 이제까지 HRA 방법에 대한 수많은 연구가 진행되었으나 대부분 분류체계나 분석 방법에 초점을 맞추고 있을 뿐, HRA 분석자의 체계적인 지식 획득을 위한 구체적인 방향이나 방법 제시는 미흡했다. 본 논문에서는 이런 기존 HRA의 문제점을 해결하는 방안의 하나로서 분석자가 HRA 수행에 필요한 정보를 체계적으로 수집할 수 있도록 구조적인 정보분석 방법을 제안하였다. 이제까지 HRA에서 수행되었던 수행영향인자의 평가가 평면적이고 나열적인 요인 분석이라면, 제시하는 정보적 직무분석은 직무의 거시적 상황 정보로부터 미시적인 인지과정의 관련 정보까지 오류가 발생 가능한 문제의 구조를 입체적으로 관찰할 수 있도록 지원하는 것이다. 이를 통해 직무의 구조적 취약점을 파악하고 이를 해결할 수 있는 방법과 함께 오류확률 계산에 필요한 객관적 요인 평가의 근거를 제시할 수 있다.

정보적 분석은 크게 세 부분으로 구성되어

있다. 첫째 시나리오 전개상황과 관련된 공통 시나리오 정보분석, 둘째 해당 직무를 수행할 때 갖게 되는 인지적 목표와 수행절차의 관계를 나타내는 목표-수단 분석, 셋째 세부적 절차 수행 단계에서의 작업의 인지적 패턴과 정보 입출력을 표현하는 인지정보 분석이다. 오류영향인자와 HRA에 필요한 정보 분석을 통해 얻어진 총 19개의 정보 항목을 세 모듈과의 관련성에 따라 분류하여 각 모듈에서 분석하는 정보 항목을 결정하였다. 또한 세 모듈의 정보를 도식적 방법으로 표현함으로써 직무의 구조적 관계를 가능한 시각적으로 표현하였으며, 이를 통해 분석자는 직무분석 결과를 직관적으로 해석할 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 원전 비상운전 직무에 대한 사례 적용을 통하여 HRA를 위한 정보적 분석의 적용성과 사용성을 확인하였다.

향후 연구로서 정보적 직무분석을 지원하는 전산시스템을 개발하고 한국 표준원전의 비상운전 직무에 대한 분석을 수행하여 결과를 데이터베이스화하는 작업이 진행 중이다. 또한 축적된 자료를 분석하여 직무의 유형과 관련 정보인자의 연관성을 분석할 계획이다. 이와 함께 정보적 직무분석을 기반으로 인지오류분석을 포함하는 차세대 HRA 방법에 대한 연구가 진행 중에 있다.

참 고 문 헌

[1] 정원대, 김재환, 장승철, 하재주, "원자력발전소 인간신뢰도분석의 한계점 분석과 차세대 방법을 위한 요건 개발", 산업안전학회지, 14(2), 1999.

[2] Dougherty, E., "Human Reliability Analysis Where shouldst thou turn?", Journal of Reliability Engineering and System Safety, 29 (3), 283-299, 1992.

[3] Hirschberg, H., Dang, V.N., Critical Operator Actions and Data Issues, Task Report by Principal Working Group 5, OECD/NEA, 1996

[4] Hollnagel, E., Cognitive Reliability Assessment Methodology, Academic Press, London. 1997.

[5] Kim, J.H. and Jung, W.D., "Proposal of Performance Influencing Factors for the Assessment of Human Error under Accident Management Situations", Proceedings of International Conference of PSA, 1999.

[6] Kirwan, B., A Guide to Practical Human Reliability Assessment, Taylor&Francis, 1994.

[7] Kirwan, B., "The Development of A Nuclear Chemical Plant Human Reliability Management Approach: HRMS and JHEDI", Journal of Reliability Engineering and System Safety, 56, 107-133, 1997.

[8] Parry G.W., "Suggestions for an Improved HRA Method for Use in PSA", Journal of Reliability Engineering and System Safety, 49,

1-12, 1995.

[9] Rasmussen, J., "Human Errors: A Taxonomy for Describing Human Malfunction in Industrial Installation", Journal of Occupational Accidents, 4, 311-335, 1982.

[10] Swain, A.D., Guttmann H.E., Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, USNRC, NUREG/CR-1278, 1983.

[11] Swain, A.D., "Human Reliability Analysis : Need, status, trends and limitations", Journal of Reliability Engineering and System Safety, 29(3), 301-313, 1992.

[12] USNRC, Technical Basis and Implementation Guidelines for A Technique for Human Event Analysis (ATHEANA), Draft Report for Comment, USNRC, 1998.

[13] Yoo, K.J., Chae, S.K., "Probabilistic Safety Assessment in Nuclear Power Plants", Journal of Korean Nuclear Safety, 19(2), 137-148, 1987.

[14] Yoon, W.C., Lee, Y.H., Kim, Y.S., "A Model-based and Computer-aided Approach to Analysis of Human Errors in Nuclear Po- wer Plants", Journal of Reliability Engineering and System Safety, 51, 43-52, 1996.