

훈련용 시뮬레이터를 이용한 원전 비상운전작업의 작업특성에 대한 검토

(A Preliminary Survey on Operators' Task Characteristics in Simulated Emergency Operation)

이용희, 천세우, 서상문
한국원자력연구소

요약

원자력발전소의 비상운전시에 작업자의 특성을 파악하기 위하여 훈련용 시뮬레이터를 이용한 작업특성의 실사검토를 수행하였다. 실사는 두개의 비상운전 시나리오에 대하여 2회에 걸쳐 현직 운전원등을 대상으로 수행되었으며, 비디오 촬영 및 재검토(debriefing)와 함께, 운전원 당사자에 대한 면담 및 운전 경험자들의 검토의견을 수집하여 운전작업의 특성을 파악하고자 하였다. 본 논문은 연구방법, 주요 과제, 예비분석 결과 등 실사작업에 대한 중간보고를 담고 있다.

1. 서론

원자력발전소의 안전성과 경제성은 현대기술문명의 총아로서의 원자력발전기술을 지탱하는 양대 기둥이라고 할 수 있다. 그중에서도 안전성의 문제는 그냥 주어지는 것이 아니라, 기술적으로 지탱되어야 할 과제라고 할 수 있다. 원전의 안전성을 위협하는 요인에는 여러가지 과제가 있으나, 대부분의 과제들은 공학적으로는 충분한 수준으로 해결되었다. 남은 과제중에서는 운전원 등 원전을 운영하는 사람과 관련하여 제기되는 인적요인의 문제가 대표적인 미해결 과제의 하나이다.

설계단계로부터 원전에서 인간의 개입에 대한 고려가 충분하게 이루어진 것이 아니라, 값비싼 대가를 치르고난 후에 인적요인에 대하여 대표적인 보완적인 과제로 인간공학이 각광을 받고 있다.

원전은 원자물리화학적 체계, 열수력화학적 체계 및 전기공학체계가 결합되어 이루어진 혼성 시스템의 하나이다. 가장 많은 수의 부품으로 구성된 시스템(large scale system)의 하나이면서, 시스템의 상태가 시간적으로 급격하게 변화할 수 있는 동적인 시스템(dynamic system)의 특성을 가지고 있다. 또한, 이러한 특성의 결과로 상당히 자동화가 진전되고(automatic system), 이러한 기능들을 한곳에 모아 집중관리하는 운영관리 기능을 가지고 있는 중앙 집중형 시스템(centralized system)의 성격을 가지고 있다.

원전의 이러한 특징은 원전의 운전 직무의 성격을 매우 독특한 성격으로 만들고 있으며, 운전원이 담당하는 직무의 표면적인 내용과 실제로 수행하는 작업내용에는 상당히 다른 성격을 내포하고 있음을 암시하고 있다.

원전 운전직무는 다음과 같은 측면에서 다른 일반 직무와 구별된다.

- 안전성과 효율성이라는 목표를 동시추구하는 과정에서 직무의 목적이 상반되는 경우가 많다.
- 많은 수의 작업대상을 동시적 또는 순차적으로 다루어야 하는 측면에서 작업의 부담이 크다.
- 자동기능에 대하여 운전원이 감시 및 보완(backup) 등 최소한의 개입을 담당한다.
- 정상과 비상, 비정상 등 운전 상태에 따라 작업의 성격과 내용이 상당히 급격하게 변화한다.
- 비상운전 등 어려운 작업일수록 경험의 가능성이 낮은 반면, 작업내용의 불확실성이 크다.
- 규제요건, 기술사양, 타기능의 영향등 작업수행시에 고려해야 할 제약과 상관관계가 많다.
- 절차서등 작업의 수행을 위한 기본적인 지식과 기술의 수준이 높다.

본 연구는 한국 원자력연구소에 개발중인 운전작업 시뮬레이션 분석기(SACOM : Simulation Analyser with a Cognitive Operator Model)의 개발을 위해 수행된 운전작업특성의 조사분석연구이다. 운전작업에 대한 작업특성규정의 입력자료를 확보하기 위하여 주어진 작업절차를 실제로 수행하는 방식을 파악하려는 목적을 가지고 훈련용 시뮬레이터를 이용하여 작업 내용과 특성을 조사하였다.

이제까지 원전 운전의 특수성에 대한 연구가 다양하게 수행되어 왔으나, 대부분의 경우 계측제어계통의 기능에 대한 검토나 사고분석이 주류를 이루어 왔다. 또한, 일부수행된 운전원의 작업에 대한 연구는 실제 발생된 사고사례를 기반으로 인적요인과 오류개입 여부를 파악하는 retrospective analysis가 주종을 이루고 있다. 특수한 상황적인 조건하에서 종합적으로 나타나는 운전원의 작업특성이 주된 연구결과이므로 이를 일반화하거나 세부 특수한 측면에 집중하여 운전작업의 시뮬레이션에 적용하기에는 상당한 어려움이 있다.

2. 연구내용

2.1 연구방법

원전의 운전작업에서 작업의 특성과 운전원의 부담이 들어날 수 있는 것은 일반적인 정상운전보다는 비상운전에서 보다 특징적인 면이 드러날 것으로 보았다. 비상운전의 실제상황은 관측가능성이 없으므로, 훈련용 시뮬레이터를 이용하여 사전에 계획된 내용을 다룰 수 있는 가상적인 비상운전 상황을 제시하고 운전원의 작업 방식과 특성을 관측 및 면담을 중심으로 분석하였다. 연구방법의 개요는 다음 그림1과 같다.

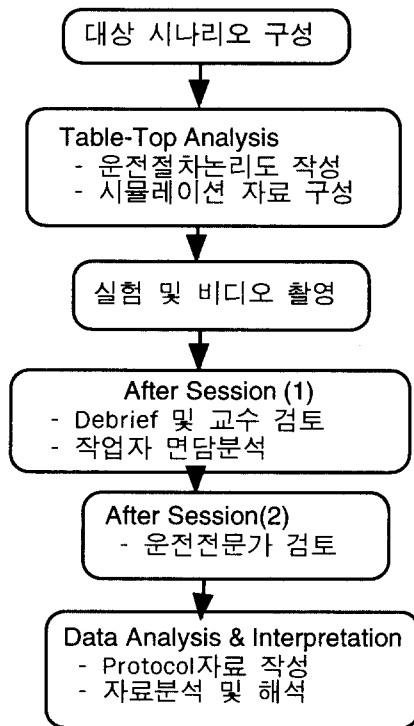


그림 1. 연구방법 및 진행 흐름도

우선, 연구의 목적에 부합될 수 있는 운전작업의 대상시나리오를 구성하였으며, Table-Top Analysis를 통하여 각 시나리오에 대하여 사전분석을 수행하였다. 실사에는 4대의 비디오 촬영기를 동원하여 현직 운전원들의 모든 조치와 의사소통내용을 수집하였다. 촬영직후에는 촬영내용에 대한 검토 및 미리 준비된 질의성에 의한 면담, 운전전문가의 독립 검토 등 두번에 걸친 Afet session이 수행되어 촬영상으로 쉽게 나타나지 않는 많은 내용을 보완하였다. 수집된 촬영내용에서 상세한 protocol 자료를 도출하여 작업 특성을 검토하는 근거자료로 활용하였다.

2.1.1 시나리오의 구성 : 조사분석의 기준 원전은 국내 원전의 대부분을 차지하고 있는 가압경수로 (PWR : Pressurized Water Reactor)형이다. 원자력발전소의 운전상황중에서 정상적인 운전을 벗어나는 사례로써 Small Break LOCA (Loss of Coolant Accident), SGTR (Steam Generator Tube Rupture) 등 2가지 대표적인 비상 운전상황의 시나리오를 구성하였다. 가압경수형 원전은 원자로 (reactor)라는 열생성원으로부터 고압의 물에 의하여 증기발생기(S/G:Steam Generator)로 열을 전달하고 증기발생기로부터 생성된 증기의 힘으로 전력을 생산하는 기능구성을 가지고 있다. Small Break LOCA는 원자로로부터 증기발생기에 이르는 과정에서의 사고 상황을 대표하는 것이며, SGTR은 증기발생기에서의 문제점으로 인하여 이차측으로 파급되는 문제점을 대표하는 시나리오라고 할 수 있다. 각 시나리오에서 원전은 정상적인 열전달체계가 구성되지 않으므로, 운전원은 원자로의 열생성과 증기생성 및 전력생산을 즉각 중단하고, 원자로등 제반 계통의 안전성을 유지하기 위하여 안전계통을 작동하고 방사능상의 건전성을 확인하는 등 안전성 위주의 조치를 수행한다. 각 시나리오의 개요는 다음과 같다.

(1) Small Break LOCA (Loss of Coolant Accident) : 원자로의 열생성을 증기발생기로 전달하는 파이프라인의 일부에 시스템이 감당할 수 있는 일정한 크기 이상의 파단 또는 누출이 발생하는 사고. 원자로의 열생성을 중단하고 안전상태로 유지하기 위하여 열제거기능을 투입하며, 원자로등 제반 계통의 안전성과 건전성을 유지하기 위한 안전계통의 작동 및 확인 또는 보완조치를 수행한다.

(2) SGTR (Steam Generator Tube Rupture) : 증기발생기의 열전달용 튜브중 일부에 일정한 크기의 파단부위 발생하여 일차측의 고압이 걸린 물이 2차측으로 누설되는 사고. 일차측의 물이 2차측으로 누설되면서 방사능이 누출될 위험이 있으므로 해당 증기발생기를 격리하고 이미 발생된 열을 적절하게 처분하는 한편, 방사능상의 건전성을 확인하는 등 안전성 위주의 조치를 수행하면서 발전소를 안정된 상태로 놓는다.

(3) IS-LOCA (Interfacing-System Loss of Coolant Accident) : LOCA 시나리오 중에서 일차계통과 연결되어 있는 계통에서의 간접적인 냉각수의 누설로 인한 사고를 대표한다. 본 연구에서는 잔열제거계통(RHRS)과 기기 냉각수계통(CCWS)의 문제를 활용하여 두가지 변형된 시나리오 (IS-

LOCA 1, IS-LOCA2)를 구성하였다.

(4) Loss of Heat Sink (LHS) : 이차측 열 제거를 위한 급수공급기능이 상실되는 상황을 가정하여 운전원이 가능한 조치를 구성해 나가는 두가지 시나리오(LHS 1, LHS 2)를 구성하였다.

2.1.2 조사분석의 방법 : 대상 시나리오에 대한 Table-Top Analysis를 통하여, 사전에 각 시나리오에서 예상되는 작업의 진행과정을 운전절차서를 기준으로 논리도의 형태로 작성하였다. 또한, 제어실의 배치 및 기기배열을 파악하고 시뮬레이터를 운용하기 위한 운전 변수값을 담당교수와 함께 설정하였다.

실험의 실행당일에는 3대의 비디오 촬영기를 발전과장을 중심으로 제어실의 각 위치에 설치하였으며, 별도로 교수 조작실에서 시나리오의 조작 상황을 동시에 촬영하였다.

실험에 참여한 운전원은 운전경력 평균 5년 이상의 현직 운전원들로서, 현재 운전조의 역할과 구성을 그대로 유지하여 실험에 임하였다.

실험의 과정에서 운전원의 모든 조치는 가능한 언어적으로 표현하도록 하는 Think-aloud 를 요구하여 protocol 자료의 내용을 가능한 풍부하게 수집할 수 있도록 하였다.

2.2 가정 및 분석방법

시뮬레이터를 이용하여 실험적으로 운전원의 특성을 조사하는데는 몇가지 전제사항이 있다.

- 우선, 운전원은 가능한 실제상황에 준하여 모든 조치를 수행하며, 주어진 모든 조건을 수용하는 것으로 보았다.
- 실험에 참여한 운전원은 현직 운전원이므로 운전작업의 실제 상황을 가장 유사하게 대변할 수 있다고 보았다.
- 실험에 참여한 운전원은 운전경력 평균 5년 이상의 운전원이므로 전문가적인 안정된 수준의 수행도를 보일 것으로 보았다.
- 현재 운전조의 구성을 그대로 유지하여 미리 설정된 역할 분담의 구조를 그대로 반영할 것으로 보았다.
- 실험의 과정에서 운전원의 모든 조치는 언어적으로 표현하여 protocol 자료의 내용으로 운전원의 조치내용을 파악할 수 있는 것으로 보았다(Think-aloud).
- Think-aloud를 요구하여 실제 운전작업내용을 가능한 풍부하게 수집할 수 있도록 하였다.

- 운전원의 부담을 측정하기 위한 관측의 보조수단으로 심박모니터를 발전과장에게 장착하여 참고자료로 활용하였다.

개별적인 작업수행 내용은 비디오로 촬영되어 After Session에서 이를 debriefing하면서 수행작업 당사자와 인터뷰를 통하여 실제 경험한 작업상태를 확인하였다. 또한, 그 결과는 시뮬레이터 훈련 교수 및 운전전문가에 의하여 재검토하였다. 각 운전작업의 특성을 정의하기 위하여 다음과 같이 상대적인 성격을 분석하였다. 분석의 기준은 다음과 같다.

- 단위 Action의 정의 : 운전원들이 수행하는 단위 Action은 한명의 운전원에 의해 수행되는 작업행위를 의미하는 것이 아니라 다수의 협력관계로 구성된다. 현재의 운전조직상으로 모든 조치는 다수의 협력관계로 수행되므로 protocol 자료상으로 출발점과 끝이 시차를 두고 존재한다. 하나의 단위 Action을 정의하는데는 직접 수행하는 작업조치의 수행자와 의사결정자의 행위가 하나 이상씩 포함된다.
- Active와 Passive : Active작업행위는 시스템이나 다른사람의 요구와 무관하게 운전조작 작업 수행자가 자발적으로 특정한 조치를 수행하는 경우를 의미하며, Passive는 반대로 요구가 발생에 따라 취해지는 조치를 의미한다. 절차서에 의하여 요구되는 Task에 대하여 운전원은 Active와 Passive 조치를 보일 수 있다. 발전과장이 요구로 시작되는 경우에는 Passive Action이며, 운전원이 자발적으로 다음에 필요한 작업을 선택하고 수행하는 경우에는 Active Action이라고 할 수 있다.
- Decisive와 Confirmative : 의사결정행위중에서 수집된 정보에 의한 귀납적인 의사결정을 Decisive, 반대로 미리 예상되는 내용에 대하여 외부 수집정보를 기준으로 확인하는 방식을 Confirmative라고 상대적으로 정의한다.
- Responsive와 Directive : 다른 운전원의 요청에 의하여 이루어지는 조치를 Responsive라고 정의하며, 주어진 상황에서 공정과 계통의 구성에 변화를 가하기 위하여 의도적으로 설정되는 목표와 그 목표에 따라 수행되는 조치를 Directive라고 정의한다. Directive에는 수행조치에 대한 인지적인 계획(planning)이 수반된다.

각 수행된 단위 Action의 시작과 끝은 수행자 자신의 의견과 절차서를 기준으로 사전에 정의된

기준을 활용하여 정의하였다. 단위 Action의 유형은 상대적인 정의를 이용하였으며, 수행자의 의견뿐만 아니라 After Session의 debriefing에서 제시된 훈련 담당 교수와 운전전문가 등의 사후 검토의견을 반영하여 정의하였다.

3. 조사결과 및 분석

3.1 조사결과

비상운전의 작업형태는 매우 단순한 4가지 유형의 작업으로 구성된다. 이러한 특징적인 면은 비상 운전절차의 개발개념에서 비롯되며, 높은 수준의 운전원 숙련도가 요구됨을 의미한다.

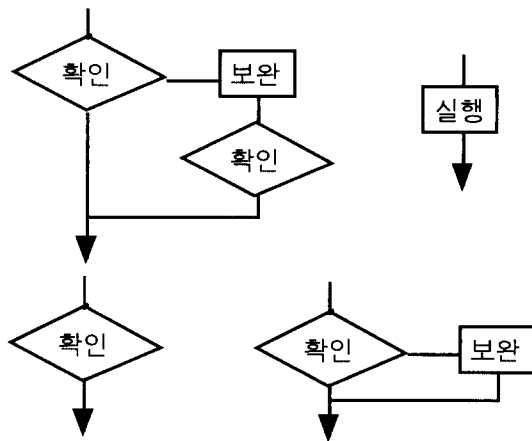


그림 2. 비상운전의 4가지 작업유형

작업유형의 외면상의 특징은 위 그림 2와 같이 매우 단순하지만, debriefing에서 수행자들과의 인터뷰를 통해 확인한 바에 따르면 시나리오와 상황에 따라 상당히 성격이 다른 작업이 수행되고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 동일한 확인, 실행 또는 보완 조치에 대해서도 성격이 판이하여 인지적으로는 상당히 다른 부담을 느끼고 있음을 알 수 있다.

이러한 특성은 앞에서 설정한 분석의 기준을 적용할 때 정확하게 파악 가능하다. Active와 Passive의 상대적인 작업 성격분류는 외면상으로 동일한 작업을 구분한다. 확인이라는 의사결정의 작업도 Decisive와 Confirmative로 구분하며, 중요한 조치실행은 Responsive와 Directive로 구분할 수 있다.

(1) SB-LOCA

발전과장은 초기 시점이후에는 상황의 확신을 확보하여 인지적인 부담의 수준이 매우 낮은 상태로 유지되었다. 그 원인은 워자로정지 전후에 수집된 증거만으로도 초기에 충분한 확신도를 갖는 명확한 상황대응의 map을 형성하였기 때문이다. 또

한, 형성된 map에 대한 친숙도가 충분할 뿐만 아니라, 선택된 상황대응 조치의 규칙기반 행위가 운전조에 의해서 수행될 수 있을 만큼 충분히 숙련된 내용으로 구성되었기 때문이다.

반면에, RO, TO, DB등 실제로 작업조치 수행하는 운전원들은 처음부터 상황파악에 대한 부분적인 역할을 담당하고 있을 뿐만아니라, 의사결정이 내려진 이후에는 단순히 규칙기반의 대응조치만을 수행하게 되어 있으므로 처음부터 인지적인 부담의 상한선이 지정되어 있음을 알 수 있다.

(2) SGTR

이 시나리오는 운전원들이 비상운전에서 가장 중요시하는 시나리오의 일종으로, 운전조 대부분이 매우 우수한 수행도를 보였다. 발전과장의 심리적인 안정도는 매우 높은 수준으로 유지되었으며, 여러가지 부수적인 비정상기기에 대한 보완조치를 수행하는데도 무리한 점이 없었다. 운전원의 철저적인 직무수행에 일정한 전략과 대응전략에 대한 상당한 수준의 숙련도를 보였다. 다만, 운전조의 구성에 따라 발전과장에 비하여 RO의 경력과 경험이 우월한 경우에는 2차측의 공정상태에 불리한 요인이 약간 더 높은 수준으로 육박하였다.

(3) IS-LOCA

IS-LOCA에서 발전과장은 손쉽게 경험된 상황파악의범위를 따라 대응 조치를 수행하던중, 몇분에 걸쳐 자신의 map과 판단에 대한 타당성에 위협을 주는 몇가지 정보를 수집하였다. 이에 대하여 발전과장이 보인 반응의 방향은 다음과 같다.

- 자신의 map을 유지/수정보완하면서, 현재 운전절차에서 가능한 조치를 취한다. 이 경우, 관측된 내용만으로 대응조치를 구성하면 절차서의 범위를 넘어간다.
- 자신의 map을 전환하여 새로운 상황의 발생은 수용할 수 있는 절차단계로 되돌아 간다. 즉, 상황파악을 위해 재진단의 과정을 거친다.
- 최적대응을 위한 자신의 map을 포기하고 최소한의 안전성을 유지할 수 있는 방법으로 전략자체를 전환하며, 원인의 규명은 미루어진다.

(4) LHS

발전과장과 RO는 판단의 차이를 보이도록 유도하였다. 그결과, 대응조치에서 다음과 같은 수행방식을 보였다.

- 발전과장의 판단에 따른 대응조치를 선택하고 RO는 피동적인 반응으로 전환하였다. 이 경우,

정상 조치에 한하여 작업이 수행되며, 수행도의 긍정적인 면이 배제되어 전체적인 수행도가 저하되었다.

- RO는 발전과장과의 판단차이를 해소하기 위하여 별도로 계속적인 증거 수집에 착수하였다. 그 결과, 발전과장의 기능조정이 최적화되지 않아 그렇지않은 경우보다 시스템의 변수에 위협요인이 상대적으로 크게 나타났다.
- 발전과장과 RO는 간단히 명시적인 확인절차를 수행하고 여유시간에 이를 재검토하여 다른 조치와 병행적으로 판단의 차이를 해소하였다.

3.2 분석

(1) 조사결과의 특성화 기준

A. Task/Action비율 : 절차서에 의하여 주어진 작업의 크기는 공정과 작업자체의 부담을 동일하게 표현하고 있으나, 실제 수행된 작업은 인터페이스의 특성을 반영하고 운전원의 신체적 인지적 활동으로 해석된 작업분량을 의미한다.

B. Active/Passive비율 : 동일한 작업에 대한 수행자의 친숙도와 적극성을 반영하는 지표이다. 즉, 작업에 대하여 운전원이 가지고 있는 사전지식과 경험의 수준을 대변하는 것으로

C. Decisive/Confirmative 비율 : 발전과장의 의사결정행위에서 수집된 정보에 의한 귀납적인 의사결정(Decisive)보다는 확인방식(Confirmative)이 수행시간 면에서 수행도가 높다. 그러나, confirmation bias등 오류의 가능성은 반대로 나타난다.

D. Responsive의 횡수 : 시스템의 거동에 대한 운전원의 passive와 달리 발전과장의 요청에 대한 수행자들의 Responsive는 시간적인 지연을 야기한다.

E. Directive의 횡수 : 주어진 상황에서 수행해야 할 조치의 횡수를 의미한다. 동일한 시나리오에서는 동일한 횡수의 Directive가 존재한다. 그러나, 결정적인 오류가 발생할 경우에는 이 값이 달라진다.

(2) 작업특성 조사내용

A. Task/Action비율 : 절차서의 단위절차에 대하여 약 3 배수의 작업조치를 수행하는 것으로 보인다. 이 비율이 높을 수록 작업의 시행착오적인 성격이 드러나며, 숙련도가 높을수록 비율이 점근적으로 안정화된다.

B. Active/Passive비율 : Passive의 비율은 절대적으로 낮았다. 작업에 대한 수행자의 친숙도와 적극성이 매우 높으며, 사전지식과 경험수준이 충분한

것으로 나타났다. 비상운전의 초기에는 Active의 비율이 매우 높아, 발전과장이 요구하지 않아도 다음 필요한 조치를 예상하며 예상된 범위의 조치를 수행하는 것이 일반적이다. 예를들면, 발전정지후 신속초지사항에 대해서는 시스템의 경보에 따라 필요한 조치와 관련정보를 발전과장에게 통보하는 데 발전과장의 인지를 확인하는 동시에 다음 자신이 담당하는 확인 보완조치를 순서에 무관하게 자발적으로 수행한다. 그러나, 후반부에는 Passive비율이 증가하여 운전원의 수행도가 발전과장의 조치상향을 조정하는 능력에 의존하는 특성을 보였다.

C. Decisive/Confirmative 비율 : 상대적으로 사전지식을 가지고 있지 않은 시나리오에 비하여 사전지식을 가지고 있는 시나리오에 대해서는 발전과장의 상황파악 결과에 따른 예측과 확인방식(Confirmative)이 두드러진다. 운전원의 경험수준이 전혀 없는 시나리오에서는 원인규명에 상당히 신뢰성있는 정보가 주어짐에도 불구하고 Decisive를 선택하지 않는 보수성을 보였다.

D. Responsive의 횡수 : 발전과장의 요청에 대한 수행자들의 Responsive는 매우 드물었다. 대부분 사건의 진행에 따른 자신의 담당 영역에 대한 예측및 사전 대비작업을 적극적으로 수행하고 있음을 의미한다.

E. Directive의 횡수 : 동일한 시나리오에서는 동일한 횡수의 Directive가 존재하나 시나리오에 따라 차이가 있다.

3.3 검토

(1) 운전작업의 형태

비상운전의 작업은 확인 및 보완조치, 계속감시 조치, 시스템에 대한 대응조치, 공정에 대한 변경조치 등 크게 4가지로 구분할 수 있다.

비상운전의 전반은 대부분 확인 및 보완조치이며, 이 과정을 통하여 운전원은 상황의 특성과 문맥을 파악하고 대응조치의 작업군을 선택한다. 확인 및 보완조치의 수행방식은 Active가 두드러진다.

비상운전의 후반은 공정에 대한 변경조치가 주도하며, 전반에서 미리 기억된 작업군을 선택하고 선택된 작업군의 논리적인 맥락을 따라 상당히 직선적으로 이루어진다. 수행방식은 Confirmative가 두드러지며, Directive의 횡수가 동일하게 나타나는 안정된 수행도를 보였다.

공정에 대한 변경조치는 다양한 휴리스틱이 존재하지 않고, 매우 정제된 필수조치만으로 변경조치의 의도를 만족하는 높은 수준의 숙련도를 보였다.

시스템에 대한 대응조치의 수행방식은 신속히 지속적인 감시조작을 수행하고 있다가 발전과장의 통보와 동시에 수행가능한 상태를 유지하고 있었다. 수많은 계기중에서 대표적인 소수의 변수 및 지시기를 활용하여 작업의 논리적인 연결관계를 확인하고 있다.예상과 달리 비상운전에서는 개별 경보에 대응하는 적응적인 조치(Alarm Responsive)는 거의 무시되었다.

작업의 순차적인 진행에서 병행적으로 진행되는 계속 감시조치에는 필수안전기능(CSF : critical safety function)에 대한 감시가 대표적이며 거의 독립적으로 수행되었다.

(2) 작업부담의 요인과 운전조의 대응전략

절차적인 직무에 대한 운전원의 작업부담은 예상밖으로 적은 수준이었다. 수많은 계기 특히 동시에 발생하는 경보는 작업부담의 요인으로 작용하지 않았다. 또한, 제어실에서 제공되는 계측제어기기의 품질은 수행도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 시스템의 동적인 특성도 숙련도의 수준이 충분한 경우에는 작업부담의 요인으로 작용하지 않았다. 그러나, 공정상으로 결정되는 진단자체의 복잡도는 매우 결정적인 요인이다. 작업방식이 원인규명의 맥락을 유지하는 경우에는 Active와 Confirmative 등의 특징적인 조치유형이 지속되는 반면, 진단의 크기가 능력을 벗어나 상황대응적인 보완조치를 수행하는 경우에는 passive와 decisive의 특성이 나타나기 시작하였다.

안전기능에 대한 개별 보완조치를 통해 안전성을 확보하기 보다는 사건의 원인을 규명하고 이를 기준으로 적극적인 회복조치를 수행하려는데서 작업의 불확실성보다는 작업의 부담을 선호함을 알 수 있다.

운전조간의 작업할당관계는 매우 수직계층적이며, 수평적인 협력관계는 때로 위험요인을 나타내었다. 운전조간의 경력차가 수직 계층적인 관계설정의 근거가 되며, 발전과장의 장악능력에 영향을 미친다. 발전과장의 장악능력이 확보될 경우 사건의 진행에 따른 판단의 부담은 충분히 감내될 수 있는 수준이며, 절차서 이상의 새로운 대안을 구성하는 응용력을 보일 수 있다.

(3) 연구방법론에 대한 검토

연구방법론에서 시뮬레이터를 이용한 실험적인 접근을 위주로 하였으나, 인터뷰와 심박모니터를 이용한 생리적인 계측도 병행하였다. 그러나, 작업의 내용이나 특성에 대하여 심박모니터를 이용한 생리

적인 계측값은 충분한 유의차를 보이는 자료를 제공하지 못하였다. 반면에, 시뮬레이터를 이용한 시간순의 protocol 자료에서는 작업 수행자들의 수행방식과 특성을 파악할 수 있는 좋은 근거를 제공하였다. 따라서, 작업특성연구에 실험적인 접근을 위주한 인터뷰 및 전문가 검토등의 종합적인 방법은 적합하였다.

운전원의 특성을 조사하는 방법론으로서 실제 작업에 대한 관측대신 시뮬레이터를 이용한 실험적인 접근방법을 위해서는 몇가지 검토해야할 점이 있다.

첫째, 본 조사연구에서 파악된 운전원의 작업특성이 반영하는 작업부담의 차원에 대한 문제이다. 운전원이 비상운전에서 경험하는 부담에는 여러가지 차원이 있다. 공정의 부담(burdon from the process), 작업의 부담(burdon from the task), 인터페이스의 부담(burdon from the interface)과 같이 운전원과 무관하게 객관적으로 정의되는 객관적인 부담이 있다. 이러한 부담의 문제는 운전원의 작업 자체에 우선적으로 드러난다. 이러한 점은 조사분석 이전에 수행되는 Table-Top Analysis 결과를 통하여 어느 정도 파악되었다고 볼 수 있다. 그러나, 본 연구에서 파악하고자하는 요점은 운전원의 작업에서 나타나는 작업자가 경험하는 부담(즉, 객관적인 부담에 대하여 운전원의 주관적인 부담)이다. 작업자가 경험하는 주관적인 부담(subjective burdon)이 본 연구의 조사분석결과에 반영되어 있으나, 객관적인 부담과 작업자의 특성이 결합된 형태로 나타나는 것으로 보인다. 따라서, 이러한 부담의 차원은 분리하는 작업이 연구결과의 적절한 활용을 위해서 중요한 과제가 된다.

둘째, 본 연구에서 파악하고자 하는 작업특성의 대표성(representativeness)에 대한 문제이다. 본 연구에서는 일반적인 정상운전보다는 비상운전에서 운전원의 운전작업에서 작업의 특성과 운전원의 부담 등 보다 특징적인 면이 드러날 것으로 보았다. 비상운전의 실제상황은 관측가능성은 물론 발생가능성도 매우 낮으므로, 훈련용 시뮬레이터를 이용하여 가상적인 비상운전 상황을 제시하고 운전원의 작업방식과 특성을 관측 및 면담을 중심으로 사후 분석하였다. 이러한 연구의 방법론으로는 작업자의 심리적인 배경이나 정서 감정적인 문제는 상당히 다른 조건이라고 할 수 있다. 그러므로, 비상운전의 심리적인 압박과 같은 심리적인 주제에 대해서는 본 연구의 결과를 활용할 가능성은 배제된다.

4. 결론

예비분석의 결과로 도출된 작업특성의 예상항목은 앞에서 언급한 바와 같이 전형적인 특성을 나타내지만, 상식적인 예상을 벗어나는 경우도 있다. 운전작업에 대한 예비분석만으로는 아직 분석이나 실험자료의 양도 충분하지 않아 유의할 만한 결론을 제공하지 못하고 있다. 앞으로 활용성을 높이기 위하여 계속되어야 할 과제는 다음과 같이 요약된다.

- 작업유형에 대한 분류기준과 평가척도의 개발
- 작업단계와 유형별 오류가능성에 대한 전면적인 의견조사 수집
- 작업수행도 영향요인에 대한 조사
- 정상운전등 다른 운전모드에서의 특성과 비교
- 작업특성의 시뮬레이션 반영을 위한 표현방식 개발

참고문헌

1. 고리원자력연수원, 비상운전, 제 1 권, 제 2 권, 한국전력공사, 1987
2. 이정운 외, 인적행위분석기법 개발, KAERI/RR/94-1023, 한국원자력연구소, 1994.
3. 이용희 외, 원자력발전소 운전원 직무분석기법 기술현황분석보고서, KAERI/AR/94-406, 한국원자력연구소, 1994.
4. Westinghouse Owner's Group, Emergency Response Guidelines, HP-Rev.1A, Jul. 1987.
5. Y.H. Lee et al., "Development of an Operator's Cognitive Model Using Blackboard Techniques in NPPs," Proc. of the 2nd Workshop on Super Simulator for NPPs, Tokyo, 1994, pp. 123-127.