

직무 네트워크 모형을 이용한 원자력발전소 제어실 운전원들의 수행도분석 (Performance Analysis of Operators in a Nuclear Power Plant Control Room Using a Task Network Model)

서상문, 천세우, 이용희*

ABSTRACT

This paper describes the development of a simulation model of nuclear power plant operators including cognitive aspects by using a network modeling software, Micro-SAINT (System Analysis of Integrated Networks of Tasks) for the analysis of operator performance. Network model description based on Micro-SAINT includes tasks, resources, precedence relations among tasks, flow of information and PSFs (Performance Shaping Factors) on task performance. We have tried to evaluate the performance with several performance measures such as the number of tasks allocated, relative time pressure among operators within a shift, for the selected test accident scenario: small-break LOCA (Loss of Coolant Accident) in a PWR (Pressurized Water Reactor) type nuclear power plant.

Keywords: operator model, performance analysis, SAINT, task analysis, performance shaping factors

1. 서론

체계의 발전과 더불어 인적요소(human factors)에 대한 중요성이 크게 인식되어, 고급의 첨단 시스템은 대부분 그 개발과정에서 인간공학적 평가분석을 필수적인 과정의 하나로 포함하고 있다. 인간-기계체계(man-machine system)의 평가분석을 위하여 인간공학분야에서 여러 가지 방법론을 제시하고 있음에도 불구하고, 실제 산업분야에서 응용되고 있는 평가분석의 도구들은 상당히 제한적이다. 이는 평가분석의 기술개발 결과가 성숙되는 시간에 비하여 새로운 체계의 개발이 매우 빠른 속도로 이루어고 있을 뿐만 아니라, 인간공학분야에서 도구화에 대한 노력에 치중하고 있지 않아서 정형화된 상업적인 도구로 발전되는 기회가 상실되는 경우가 많기 때문이다.

원자력분야에서는 안전성의 확보와 효율성의 입장에서 설계의 인적요소에 대한 면밀한 검토와 분석을 수행하고 있으며, 특히 원자력발전소의 설계 및 운영에서는 반드시 인간공학적인 평가분석을 수행하도록 법제화되어 있다. 그러나, 원자력발전소의 인간공학적인 평가분석을 위하여 활용되는 것은 매우 단순한 수준에 머물고 있어서, 운전절차서나 작업공간 MMI(man-machine interface)의 개선에 대한 타당성을 검토하는 방법론으로는 부족한 실정이다[2].

원자력발전소에 대한 인간공학적인 평가분석의 수단으로는 주로 다음 두가지가 활용되고 있다. 첫째, 개별적인 인적요소에 대한 평가기준(criteria)과 지침(guidelines)을 들 수 있다. 이는 점검표(checklist)의 형태로 활용되는데, 작업공간의 설계에서 구체적인 항목별로 적용된다. 둘째, 작업자에 대한 모형(crew model)을 기준으로 하는 직무분석(task analysis)을 들 수 있다. 직무분석에서는 인식-판단-반응등 매우 개괄적인 구조에 의한 개념적인 모형(conceptual model)을 활용하고 있다. 개념모형은 이론적인 일반성에 치중하거나 대부분 정적인 형태를 가지고 있으므로, 특정한 인적요소문제의 심도있는 해석에서는 충분히 활용되고 있으나, 실용적인 측면에서 응용분야에서 요구하는 작업전반을 설명하는데는 모형의 상세성이 부족하다. 평가기준과 지침은 설계요소 각각에 대하여는 명확하나, 주어진 체계의 특성에 따른 상관관계를 고려할 경우 주관적인 판단의 개입이 과다하거나 공학적인 최적값 하나를 얻는데 체계 전체를

*한국원자력연구소 인간공학기술개발 과제팀

재해석해야 하는 부담이 발생한다[1]. 이러한 문제점은 인간신뢰도분석과 같은 정량적인 평가 분석에서도 가장 중요한 문제의 하나로 대두되고 있다.

최근 원자력발전소의 인간공학적 평가분석을 위한 수단으로써 시뮬레이션 방식의 운전원 모형을 개발하려는 노력이 활발하다[2]. 시뮬레이션 방식으로 운전원 모형을 활용할 경우 여러 가지 상황의 조합에 대하여 명시적으로 분석할 수 있으므로, 평가기준 및 지침이나 개념적 모형을 적용한 인간공학적 평가분석이 가지는 정적인 해석의 한계점을 해결할 수 있다. 또한, 원자력발전소의 설계나 개선과정에서 계통의 하드웨어적인 거동에 대한 시뮬레이터와 연결하여 운전원의 반응을 예측하고 분석할 수 있다.

본 연구에서는 국내 원자력발전소에 대한 인간공학적인 평가도구으로써 작업 시뮬레이션 소프트웨어인 Micro-SAINT를 활용하여 주 제어실의 운전원에게 부여된 직무의 범위를 기준으로 여러 가지 상황의 변화에 대하여 운전원의 가능한 반응의 범위와 특성을 분석함으로써, 운전 절차나 MMI설계의 평가분석을 가능하게 하는 도구를 제시하고자 한다.

Micro-SAINT에서는 직무할당, 직무수행시간, 수행도 형성인자 (PSFs: Performance Shaping Factors)의 영향 등을 분석할 수 있으므로, 개인이나 교대 운전조(shift operating crews) 단위로 직무의 부담이나 발전소 절차서에 따른 작업수행도를 평가할 수 있다.

2. 본론

가. 방법론

(1) 직무모형과 시뮬레이션

체계의 성능을 평가하는데 있어서 모형과 시뮬레이션은 상호 보완적으로 작용하여 매우 유용한 방법론으로 활용되고 있다. 이는 하드웨어의 거동 뿐만 아니라 작업자의 작업수행에 대해서도 동일한 접근방식의 가능성을 제공해 준다. 작업자의 행동을 평가하는 방법으로, 직무의 절차를 기준으로 작업자의 수행과정을 모형화하고 이를 소프트웨어 도구와 결합하여 시뮬레이션하는 방법은 작업자의 수행도 평가에 가장 실용적인 대안으로 볼 수 있다. 이러한 방식은 지난 수 십년간 복잡한 시스템내에서 인간 작업자의 직무수행 행동을 연구하는데 유용한 방법으로 활용되어 왔다. HOS, SAINT 등과 같은 모형이 과거 항공우주나 군사분야에서 인간공학적인 평가분석의 수단으로써 활발하게 개발된 바 있었다. 그러나, 과거의 방식은 작업자 수행도분석의 개선을 위하여 보완되어야 할 점이 많다. 특히, 외부적으로 관측 가능한 작업의 절차적 모형을 주된 대상으로 하였으므로, 컴퓨터를 중심으로하는 체계에서 중요시되어야 하는 측면을 포함하여 운전원의 반응을 해석하기 위해서는 기술적으로 새로운 모색이 필요하다.

원자력발전소에서는 제어실을 중심으로 복수의 인원이 매우 시스템 중심적인(system-paced) 감시제어(monitoring & control) 작업을 수행하도록 되어 있다. 대부분의 가능한 작업은 훈련된 반응을 통하여 규정된 절차를 기준으로 수행하는데, 특정 시점에서 수많은 가능한 반응중에서 어떤 작업을 선택하고 어느 방향으로 작업을 진행하는가에 대하여는 대부분 운전 교대조의 의사결정에 맡겨진다. 이런 작업은 네트워크에 의하여 쉽게 표현할 수 있다. 네트워크 모형은 체계가 폐회로(closed-loop)의 특성을 가질 때 유용하므로, 복잡한 체계의 내부에서 인간 작업자에게 할당된 기능(즉, 직무)을 기준으로 작업자의 수행도를 분석하는데 적합하다. 따라서, 원자력발전소 제어실에서 운전원의 거동을 묘사하는 운전원 모형에 적합한 방법으로 판단된다.

직무 네트워크 모델은 전반적인 시스템 수행을 일련의 하부 활동들(subactivities) 또

는 직무들로 분해(예를 들면 운전원들에 대한 직무분석)한다. 직무의 순서는 직무 네트워크를 구축함으로써 정의된다. 직무 네트워크 모델링은 원래 고유한 적응성 (flexibility)이 있고 수행도에 어떤 영향을 미치는 가에 대해 많은 형태의 가설들 (hypotheses)에 대한 구축 및 시험을 가능케 해준다. 예를 들면, 하나의 직무 네트워크 모델은 다음과 같이 수정될 수 있다.

- 표시장치 (display)에 접근하기 위해 요구되는 시간 변화에 기반을 둔 직무시간의 수정,
- 표시장치들의 내용과 형식의 변화에 기반을 둔 직무시간과 정확도의 수정,
- 발전소 절차서들에 기반을 둔 직무순서의 수정, 직무들의 누락, 그리고/또는 직무들의 첨가,
- 운전원들 사이에 직무들의 재할당에 기반을 둔 직무할당과 뒤따른 직무순서들의 수정,
- 스트레스 요인들 (stressors)에 기반을 둔 직무시간과 정확도의 수정.

원자력발전소는 다중의 폐회로를 가지고 있는 동적인 체계이므로 모든 운전상황에서의 운전원의 행동을 실험적으로 분석하기 어려울 뿐만 아니라, 안전성 측면에서 상당히 보수적인 평가가 요구되므로 경험적으로 수행도를 예측하는 것도 매우 힘들다. 따라서, 모형에 의한 분석적인 평가가 상당한 수준으로 이루어져야 한다.

감시제어 작업을 수행하기 위하여 제어실 운전원들은 정보교환 등과 같은 상호작용을 하여야 한다 [7]. 이러한 상호작용을 평가하는 방법은 감시제어 작업에서 운전원들이 수행해야 하는 것으로 규정된 행동의 내용과 순서를 네트워크로 구축하고, 구축된 작업의 네트워크 구조를 기준으로 시뮬레이션을 통하여 운전상황의 진행에 따라 동적으로 반응을 분석하는 것이다. 규정된 행동의 내용과 순서는 책자로 명문화되고 훈련된 절차서의 상세 직무분석을 통하여 확보하였다.

운전원 직무의 평가방식으로 네트워크 모형에 의한 시뮬레이션 방식을 선택하는 세가지 주안점은 다음과 같다 [2].

- 현존하는 시스템들에 대한 네트워크 모형은 기존의 직무분석 데이터베이스로부터 많은 직무 관련 정보를 쉽게 추출하여 활용할 수 있다.
- 네트워크 모형은 한번 구축되면 운전상황의 변화에 대한 동적인 시뮬레이션이 가능하고 제어실 설계변경이나 절차서 변경에 따른 수정이 쉽다.
- 네트워크 모형은 수정시에도 운전원의 수행시간 및 직무부담 등 직무의 수행도에 대한 분석의 기초자료를 쉽게 도출할 수 있다.

이러한 네트워크 모형에 의한 시뮬레이션 방식은 운전 절차서나 제어실의 MMI 설계 변경에 대하여 운전원들의 수행시간과 직무부담을 예측하여 수행도를 평가할 수 있는 유용한 방법으로 사용될 수 있다.

(2) 모형의 구축

운전원의 직무를 네트워크로 표현하기 위해서는 개별적인 단위 직무와 그 상관구조에 대한 자료를 파악해야 한다. 모형에 대한 이러한 데이터들을 획득하기 위하여 EOP(emergency operating procedure)에 대한 직무분석을 수행하였다. EOP는 원자로 보호계통들의 올바른 응답 여부를 확인하고, 사고를 규명, 운영 및 완화시키기 위한 최적의 안내 절차서로 필요한 정보와 기능이 상세히 기록되어 있다. EOP는 계층적인 구조로 기능이 상위레벨에서 하부레벨로

연결되어 있으므로 요구되는 기능을 작업자의 직무수행 내용으로 해석하여 모형의 기본단위인 직무요소(task elements)를 도출하였다. 또한, EOP를 기준으로 직무의 순서적 상관관계 뿐만 아니라 직무수행과 관련된 조건, 계기, 요구되는 숙련기술(skills) 및 지식 등을 파악하였다.

절차서에서 요구된 기능으로부터 운전원의 직무들을 인간공학적으로 해석하기 위해, Berliner 직무분류체계(task taxonomy)의 동사분류를 기준으로 가능한 운전원 동사(verbs)를 추출하고, 원자력발전소의 변수 및 기기명을 기준으로 직무수행의 목적어(objectives)를 추출하였다.

운전원의 직무수행 과정에서 직무 수행도를 변화시키는 영향요소를 PSF라고 한다. PSF는 인간이 주어진 환경에서 체계의 거동에 대한 반응 내용을 설명하기 위하여 기술숙련도, 동기 등 인간 수행도에 영향을 미치는 것으로 파악된 요소(factors)들을 나타낸다[8]. 다른 표현으로는, 이들 인자들은 발전소 운전, 보수 및 시험과 같은 상황하에서 인간의 작업 수행에 대한 신뢰도에 영향을 미치므로 어떤 특정한 직무의 신뢰도 정도를 나타내는 인간 수행도의 변화량을 결정한다.

본 연구에서는 모형에서 고려되는 PSF를 크게 다음과 같은 네가지 범주로 나누었다. 온도, 습도, 잡음 레벨, 작업시간 등과 같은 몇가지 PSF는 정량적으로 표현될 수 있지만, 대부분의 PSF들은 정성적으로 표현되며 그 영향의 관계도 정성적으로 분석된다.

- 상황 특성들 (situational characteristics),
- 일 및 직무 지시사항들 (job and task instructions),
- 직무 및 기기 특성들 (task and equipment characteristics),
- 스트레스 요인들 (stressors).

(3) 운전원 직무부담(Workload)

운전원의 직무(macro task)는 그 작업을 수행하기 위하여 필요한 운전변수를 감지 (monitoring)하고 처리(process)한 후 반응(response)하는 하위직무(subtask)로 구성되어 있다. 이러한 요소(factors)는 Macro 직무수행의 작업부담에 영향을 미치는 주요 인자이고 어떤 가중치를 가지고 독립적으로 운전원의 작업부담에 영향을 미친다. 이러한 관계를 함수로 표현하면 다음과 같다.

$$WL = F(PSF, T: w_c WC + w_p WP + w_r WR) \quad (1)$$

WL:작업부담, WC:변수인식 factor, WP:변수처리 factor, WR:반응 factor,
 $w_{i=c,p,r}$: 각 인자의 가중치, T: 각 인자에 영향을 미치는 시간제약, PSF: 직무수행형성 인자

각 하위직무 수행에 영향을 미치는 인자들은 다음과 같다.

- 인식직무의 작업부담(WC) - 운전변수의 갯수, 운전변수의 특성

$$WC = g(PSF, T: \sum w_{i=d,a,b} D_i) \quad (2)$$

- 처리직무의 작업부담(WP)
 -Feedback 여부/특성

- 상태친속도(당면한 발전소 상태의 과거경험 및 교육을 통한 친속도)
- 절차의 중요도 < 인지적의사결정 개입여부

$$WP = h(PSF, T: Fb + Fm + Dc) \quad (3)$$

○ 반응직무의 작업부담(WR)

- 이동거리
- 소요근력
- 운전원 간의 의사소통(확인) 관계
- 반복정도/빈도
- 조작에 관련된 MMI 특성

$$WR = k(PSF, T: Dm + Em + Cm + Fq + MMI) \quad (4)$$

WC:인지직무와 관련된 작업부담, P_i :변수, $w_i=d,a,b$:변수의 특성에 따른 난이도 가중치
 WP:처리직무와 관련된 작업부담, Fb:feedback 여부/특성, Fm:상태친속도, Dc:인지적 의사결정 개입 여부
 WR:반응직무와 관련된 작업부담, Dm:이동거리, Em:소요근력, Cm:의사소통(확인), Fq:반복/빈도

원자력 발전소 비상운전절차서의 각 단계는 앞에서 언급한 바와 같이 인식직무, 처리 직무와 반응직무의 조합(combination)으로 이루어져 있다. 본 논문에서는 운전원 직무부담의 정성적인 평가를 위하여 중요하다고 생각되는 영향인자를 선정하고 등급화 하였다.

나. 개발도구와 환경

본 연구에서는 원자력발전소의 운전에 대한 운전원의 개인적 또는 상호작용을 가진 운전조 전체의 행동을 모의하기 위해 Micro-SAINT를 활용하였다. SAINT는 1970년대 초에 인간-기계 체계의 복잡한 상관관계를 분석하는데 있어 시스템 설계자를 돕기 위해 만들어진 네트워크 모델 및 모의 도구(tool)이다. Micro-SAINT는 SAINT를 최근에 개량한 것으로 연속 또는 불연속적인 사건을 대부분 표현할 수 있으나, 일반 생산공정보다는 주로 인간-기계 체계의 인간측면을 분석하기 위하여 특별하게 개발된 대표적인 모의도구이다. Micro-SAINT는 순서적으로 열거되는 직무 구조를 나타내는데 매우 적절하여 절차적인 직무의 표현에 주로 사용되어 왔지만, 인공지능의 방법론에 의하여 인지적 기능의 적절한 시뮬레이션이 결합되면, 네트워크 구조의 일반적인 시뮬레이션에 하부 네트워크로써 인지적인 직무특성을 함께 표현할 수 있다.

운전원 모형을 위한 Micro-SAINT의 특성은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 직무 네트워크 사건구동(event-driven)의 모의 접근방식,
- 기본적인 직무구조(즉, 평균시간, 표준편차 등) 표현 가능,
- 기본적인 기능적 특성(즉, 구축, 실행, 분석, 직무, 변수, 기능 등),
- 기본적인 데이터 분석(즉, 그래픽, 통계 등) 기능
- 직무실행에 따른 애니메이션(animation)

Micro-SAINT를 이용한 시스템 기술사항들은 직무, 가용자원(resources), 직무들 사이의 우선 순위 (precedence) 관계, 시스템을 통한 정보흐름, 직무수행에 대한 주변 스트레스 요인들과 PSF들의 작용 등이다.

Micro-SAINT의 기본 요소는 직무(task)이며 한개의 노드(node)로 표시한다. 직무들은 분기점 (branches)으로 표현된 우선순위 관계들에 의해 다른 것들과 관련되어 있다. 직무(노드)와 우선순위 관계 (분기점)와의 조합으로 전체 운전원의 반응과정을 포괄적으로 표현한다. 그런데, 직무의 세부과정이 필요한 경우에는 해당 직무의 노드에 대하여 세부적인 하부네트워킹을 구성하여 보다 상세하게 시뮬레이션할 수 있다. 이러한 기능은 직무의 계층적인 구조와 인지적인 제어수준에 따른 다양한 반응과정을 포괄적으로 표현할 수 있도록 하는 중요한 기능이다.

Micro-SAINT에 요구되는 입력 데이터들은 다음과 같다.

- 단위 직무를 수행하는데 소요되는 시간 및 분포,
- 해당 작업의 수행조건 및 수행내용에 대한 관계식
- 운전원들 사이의 의사소통 및 작업상관관계,
- 판넬 위치 및 운전원의 이동거리,
- 기기들의 운전형태 (수동, 자동),
- PSF 데이터.

본 연구에서 활용된 하드웨어 환경은 20인치 고해상도 칼라 모니터를 갖춘 Macintosh II 컴퓨터로, 변수감시나 애니메이션 등 수행도 평가를 위한 시뮬레이션에서 필요한 대부분의 지원기능을 동시에 활용할 수 있다.

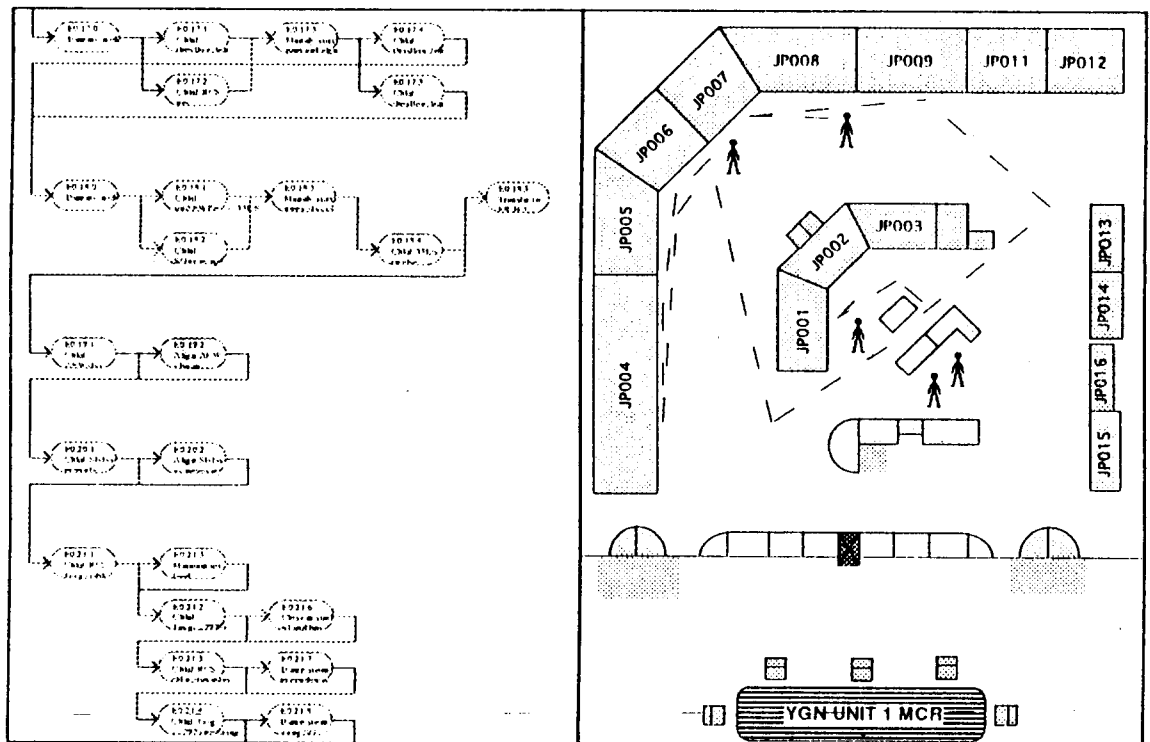


그림 1. Micro-SAINT를 활용한 직무네트워크 및 동적화면(animation) 예제

그림 1은 직무 네트워크의 시뮬레이션 예제화면을 보인 것이다. 사건의 진행에 따른 운전원의 반응 절차를 보여주는 직무 네트워크가 화면의 좌측에 나타나 있으며, 주제어실(MCR: Main Control Room)내에서 운전원들의 동작에 대한 애니메이션을 보여주는 화면이 우측에 제시되고 있다. 애니메이션 화면에서는 작업자의 이동 동선과 작업의 수행과정이 기록되며, 보조적인 화면을 선택하여 운전원의 작업수행에 대한 변수를 관측할 수 있도록 하였다.

Micro-SAINT를 기반으로, 운전원 한사람 또는 그 이상의 인원에 대해 개념적인 그래픽 심볼 (symbols)들을 이용하여 사건의 진행순서에 따른 작업의 내용을 네트워크 모형과 가시적인 애니메이션 환경을 통하여 시뮬레이션할 수 있다. 프로그램에 대한 입력자료는 직무 분석의 결과로 얻은 직무에 관한 기본자료를 사용한다. 운전절차의 구성이나 PSF등 요구되는 직무의 수행결과에 영향을 미칠 수 있는 인간공학적인 요인들을 조사하기 위해, 몇가지의 입력변수들을 변화시키면서 애니메이션과 흐름도 및 변수감시 기능등을 이용하여 단계별로 또는 전체적으로 수행내용 및 시간 등에 대한 민감도 분석 (sensitivity analysis)을 수행할 수 있다.

다. 예제평가

본 논문에서는 모형의 실효성에 대한 검토를 위하여 사고 시나리오를 선정하고 예제 평가에 활용하였다. 시나리오의 기준 원자력발전소는 영광 1호기로 하였는데, 영광 1호기는 운전실적이 많고 고리 원자력연수원에 동일한 기능을 가진 시뮬레이터가 설치되어 있기 때문에, 직무 네트워크 모델에 대한 데이터 수집과 추후 모형의 확장 및 실효성에 대한 평가가 용이하다.

(1) 시나리오 개요

예제평가에 선정된 사고시나리오는 소형 냉각재 상실사고 (Small-break LOCA)로 전 출력 운전중 원자로 정지가 요구되는 상황을 가정하고 있으므로, 비상운전 수행시의 부담과 수행가능성에 대한 관심도가 가장 높은 사례에 해당한다.

소형 냉각재 상실사고에서는 격납용기의 내부에 소규모의 냉각재 누출이 발생하여 이를 즉시 차단할 수 없는 경우를 가정한다. 이러한 사건은 경보에 의하여 운전원에게 알려지는데, 그대로 두면 최종적으로는 냉각재가 상실되는 위협에 처한다. 따라서, 운전원은 냉각재의 충전수단을 동원하여 계통의 압력과 수위를 유지한 다음, 해당 누출부위를 파악하여 차단을 시도한다. 그러나 누출의 차단이 쉽게 이루어지지 않으면, 안전성 유지를 위하여 설계된 안전 기능을 차례로 작동시켜 원자로를 안전하게 냉각감압시킨다.

(2) 예제평가 입력자료

수행시간(task completion time) 및 직무할당(task allocation)

선정된 시나리오에 대한 밸브들을 열고 닫는 등 대부분의 사건 진행절차에 공통이 되는 여러가지 조치사항들에 대한 운전원 응답시간에 대한 입력 데이터는 시뮬레이터 (Simulator)에서의 운전원의 반응에 대한 분석자료와 운전 경험자 및 고리 연수원의 원전교육 교수에 대한 면담분석자료로 부터 얻었다. 이러한 데이터의 수집은 경보 상태들, 밸브 위치들 및 시뮬레이터의 반응에 대한 전산 기록과 시간이 기록된 운전 작업의 비디오 촬영자료를 통하여 보완 가능하다. 기록은 불연속적인 제어직무에 대한 수행내용을 확인하는데 사용되고, 비디오 촬영자료는 통신과 감시같은 연속적인 직무에 대한 수행내용을 확인하거나 소요시간 자

료를 얻는데 유용하다.

직무부담(workload)

원자력 발전소 비상운전절차서의 각 단계는 앞에서 언급한 바와 같이 인식직무, 처리 직무와 반응직무의 조합(combination)으로 이루어져 있다. 본 논문에서는 운전원 직무부담의 정성적인 평가를 위하여 표 1과 같이 중요하다고 생각되는 영향인자를 선정하고 등급화 하였다. 본 논문의 목적을 달성하기 위하여 등급화를 단순히 하고 모의(simulation)하였다.

표 1. 직무부담의 정성적평가 산정 기준

분류 직무종류	영향인자	등급	가중치
인식 (monitoring)	운전변수의 특성	-이진(경보/ 표시등) -디지털 -아날로그	0.3
처리 (process)	인지적의사결정개입 여부	-있음 -없음	0.5
반응 (response)	이동거리/소요근력/ 의사소통관계/동작 의 빈도/MMI 특성	-유,무 -푸쉬버튼형, 회전형	0.2

(3) 평가 결과

각 운전원의 개인별 직무부담, 직무할당, 직무수행시간에 대한 시뮬레이션 결과가 그림 2, 3, 4에 나타나 있다. 운전원 직무부담이 높은 직무가 연속적일 경우 운전원 오류를 야기 할 확률도 상대적으로 높아진다. 따라서 직무부담이 연속적으로 이어지는 단계(21,22,23 직무/ 34,35,36 직무/ 50,51,52 직무/ 56,57,58 직무)를 개선함으로써 운전원 오류를 줄이고 나아가 발전소의 가용도(availability)를 높일수 있을 것으로 판단된다. 또한 그림 3에서 보는 바와 같이 상당부분의 직무가 원자로 운전원에게 할당됨으로써 상대적으로 많은 직무부담을 받고 있다.

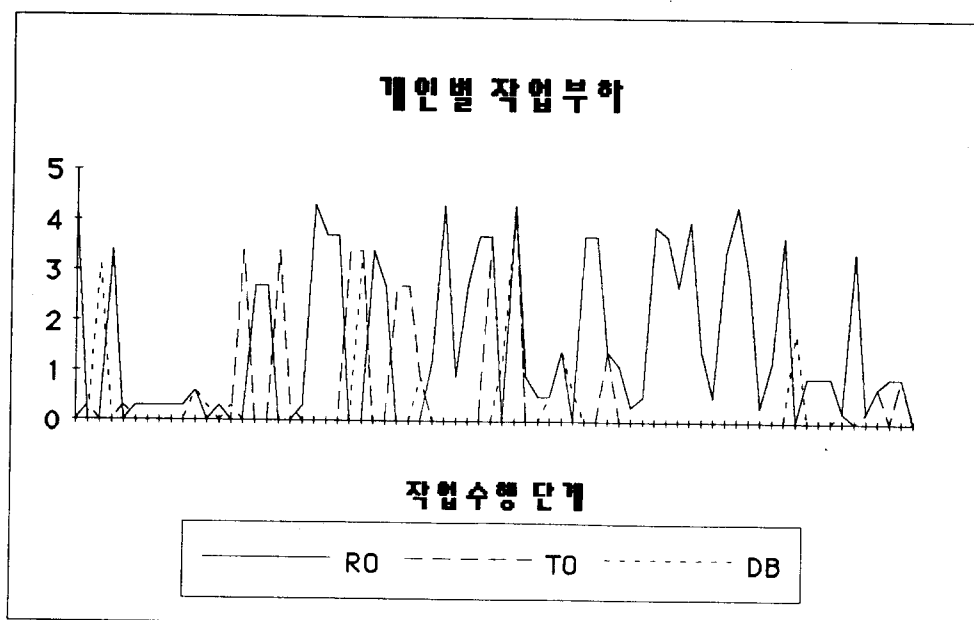


그림 2. 각 운전원의 개인별 작업부하

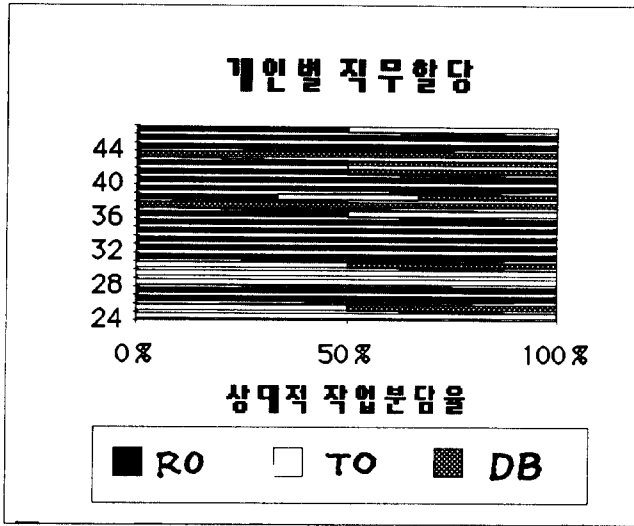


그림 3. 각 운전원의 개인별 직무할당

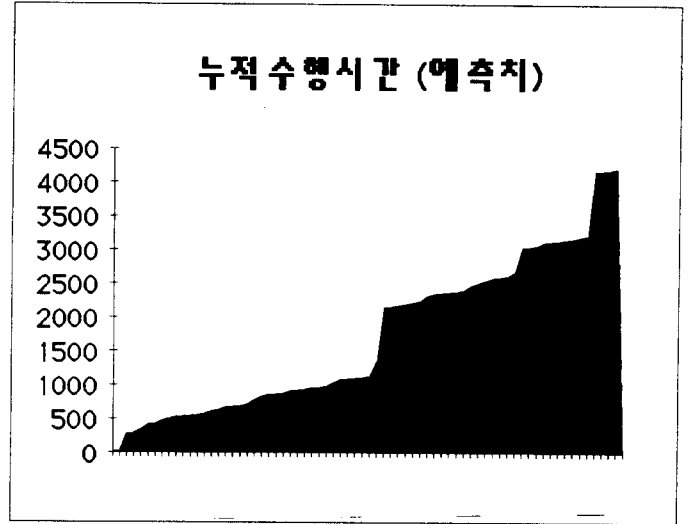


그림 4. 누적 수행시간(sec)

3. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서 제시된 직무 네트워크 시뮬레이션 모형은 운전원 수행에 대한 분석자료로 응답시간, 직무의 완수시간, 분기점에서의 의사결정, 안전한 상태로의 회복시간, 심각한 사고를 피하기 위한 확률 등을 분석할 수 있다. 원자력발전소의 비정상적인 운전상황에 대처할 때, 다양한 세부 상황요소의 변화에 대하여 일어날 수 있는 각 운전원의 반응과 운전조의 구성원 상호간의 직무할당의 변화와 직무부담의 내용을 분석하여 수행도를 예측할 수 있는 유용한 도구이다.

그러므로, 전반적인 운전절차에 대한 운전원의 수행도 분석자료가 입력될 경우, 운전절차서의 설계, 제어실의 정보구성이나 MMI 설계, 운전 지원시스템의 개발 및 운전조내에서의 기능할당 등을 평가함에 있어서 운전원 작업수행도를 명시적으로 예측 평가하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

또한, 현재 개발된 네트워크 모형의 거시적(macroscopic)인 직무구조에 운전원의 내부적인 의사결정 과정등 미시적(microscopic)인 인지 행동에 대한 연구결과를 결합할 경우, 인지적 과정의 시뮬레이션을 포함하여 분석가능할 것이다.

참고 문헌

1. 이용희 외, 원자력발전소 운전원 인지모형 개발을 위한 관력기술 및 사례 조사분석, KAERI/AR-362/93, 대전, 한국원자력연구소, 1993.
2. 신현국 외, 원자력발전소 인간-기계 인터페이스 설계 방안 연구, KAERI/RR-948/90, 대전, 한국원자력연구소, 1990.
3. J. C. Schryver and L. E. Palko, "Knowledge-Enhanced Network Simulation Modeling of the Nuclear Power Plant Operator," Proc. of Society for Computer Simulation 1988 Multiconference, San Diego, CA, Feb. 3-5, 1988.
4. K. R. Laughery, "Task Network Modeling of Human Operators in Nuclear Power Plant Control Rooms," Proc. of the Topical Meeting on Advances in Human Factors Research on Man/Computer Interactions: Nuclear and Beyond, Nashville, TN, June 10-14, 1990.
5. Micro-SAINT User's Guide, Micro Analysis & Design, Boulder, Colorado, 1990.
6. A. D. Swain and H. E. Guttman, Handbook on Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Application, NUREG/CR-1278, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 1980.
7. Westinghouse Owner's Group, Emergency Response Guidelines, HP-Rev.1A, Jul. 1987.
8. G. R. McMillan et al., "Applications of Human Performance Modeling to System Design," Plenum Press, New York, 1989.
9. Y. Huang, V. N. Dang and N. Siu, "Modeling Control Room Crews for Accident Sequence Analysis," Proc. of the Probabilistic Safety Assessment Int'l. Topical Meeting, Clearwater Beach, FL, Jan. 26-29, 1993.
10. NUREG/CR-3371 Vol. 1, Task Analysis of Nuclear Power Plant Control Room Crews, Sept. 1983.
11. E. Hollnagel, Requirements for Dynamic Modelling of Man-Machine Interaction, Proc. of Post-ANP Meeting, Tokyo, 1992.