

원자력발전소에서의 인간공학적 실험평가를 위한 종합 실험설비 개발

Development of Integrated Test Facility for Human Factors Experiments in Nuclear Power Plant

오인석 · 이현철 · 천세우 · 박근욱 · 심봉식

ABSTRACT

It is necessary to evaluate HMI in aspects of human factors in the design stage of MMIS(man machine interface system) and feedback the result of evaluation because operators performance is mainly influenced by the HMI. Therefore, the MMIS design should be reflected the operators psychological, behavioral and physiological characteristics in the interaction with human machine interface(HMI) in order to improve the safety and availability of the MMIS of a nuclear power plant(NPP) by reduction of human error.

The development of human factors experimental evaluation techniques and integrated test facility(ITF) for the human factors evaluation become an important research field to resolve human factors issues on the design of an advanced control room(ACR). We developed an ITF, which is aimed to experiment with the design of the ACR and the human machine interaction as it relates to the control of NPP.

This paper presents the development of an ITF that consists of three rooms such as main test room(MTR), supporting test room(STR) and experiment control room(ECR). And, the ITF has a various facilities such as a human machine simulator(HMS), experimental measurement systems and data analysis and experiment evaluation supporting system(DAEXESS). The HMS consists of full-scope simulation model of Korean standard NPP and advanced HMI based on visual display units(VDU) such as touch color CRT, large scale display panel(LSDP), flat panel display unit(FPDU) and so on.

1. 서 론

원자력발전은 지난 40년동안 전 세계적으로 지금까지 발전방식의 주종을 이루어온 화석연료 및 수력과 같은 재래식 발전에 버금갈 정도로 성장해 왔다. 우리나라도 1978년 4월 29일 처음으로 고리 원자력발전소 1호기가 상업운전을 시작하며 걸음마를 시작한 이후 현재는 11기의 원자력발전소가 가동 중에 있으며 우리나라 발전량의 36%를 담당하고 있다. 그리고 2002년까지 7기가 추가적으로 가동되도록 계획되어 있어 21세기초에는 명실 상부한 원자력 선진국이 된다.

그 동안 원자력발전소의 신뢰성 및 안전성을 향상시키기 위한 연구개발은 발전설비의 자동화, 주요 안전계통의 안전여유도 확보 및 발전소 주공정 기계계통의 개선 등의 분야에서 주로 이루어져 왔고, 발전소 운영의 주체가 되는 운전원 즉 인간에 관련된 연구는 상대적으로 등한시 되어왔다. 1975년에 “원전의 안전성을 위협하는 최대요인은 인적요인”이라는 경고가 원전 안전성 평가보고서인 WASH-1400에 발표되었으나 발표 당시에는 원자력계의 관심을 끌지 못하였다. 그러나 1979년에 미국의 TMI 원전사고의 주요 원인중 하나가 운전원의 실수였음이 밝혀지고부터 원자력발전소의 인적요인에 대해 높은 관심을 보이게 되었다. 미국의 TMI 사고에 이어 1986년 구소련의 체르노빌 원전사고의 주요 원인중 하나도 인적요인이 개입되었음이 밝혀짐에 따라 인적요인에 대한 관심이 더욱 고조되어 인간공학에 대한 연구가 매우 활발해졌다.

최근의 원자력발전소는 단위용량의 증대, 계측제어 시스템의 기능추가 및 자동화의 증가 및 안전성 강화를 위한 안전설비의 보강 등으

로 더욱 복잡해지는 추세에 있다. 그리고 인간기계 연계체계(MMIS: man-machine interface system)설계도 디지털 기술의 도입과 컴퓨터를 기반으로 하는 VDU(visual display unit) 중심의 첨단 HMI(human machine interface) 기기 설계 중심으로 양상이 변화하고 있다. 국내에서도 현재 추진중인 차세대원자로, 액체금속로의 MMIS 설계에서는 컴퓨터 중심의 제어 및 정보처리, 그리고 제어실 설계에 VDU 중심의 첨단 HMI 기기의 채택 등이 고려되고 있으며, 아울러 지금까지 적용되지 않았던 기술들이 새롭게 적용될 전망이다. 이러한 MMIS의 설계변화에 따라 운전원의 작업공간도 질적, 양적으로 변화할 것이며, 운전원의 역할에도 큰 변화가 초래될 것으로 예상됨에 따라 원자력발전소 운전원의 작업성능에 대한 인간공학적 재평가의 필요성이 대두되고 있다. 그리고 인간공학 관련 규제요건에서도 인간공학적 원리에 토대를 둔 시스템 설계를 요구하고 있으며, 설계결과에 대한 인간공학적 확인 및 검증, 평가결과를 제시하라고 요구하고 있다.

MMIS 설계시 새로운 기기 및 기술의 도입은 원자력분야에서 요구하는 안전성 및 신뢰성의 보증이 확인되지 않는 한 수용되기 곤란한 현실적 제약이 존재한다. 물론 원자력발전소의 안전성과 신뢰성 확보측면에서 내진 및 EMI 요건등 기기 자체의 품질특성이 규제나 인허가 요건이 만족되는 것도 중요하겠지만, 운전원과 상호작용이 가장 많이 발생하는 중앙제어실 HMI 설계시에 인간공학적 관점에서 각 설계요소 뿐만 아니라, 시스템의 운영주체인 운전원의 작업부하 및 수행도를 사전에 평가하여 인적오류를 유발할 수 있는 잠재요인을 사전에 제거하고 운전원의 작업성능을 향

상시켜 발전소의 운전효율성 및 안전성을 향상시킬 수 있도록 설계되어야 한다.

한국원자력연구소 MMIS Lab 인간공학 연구팀에서 개발한 원전관련 인간공학적 실험평가를 위한 설비(ITF)는 국내 원자력산업에서도 이러한 인간공학 연구의 필요성에 따라 정부주도 중장기 과제의 하나로 도출되어 개발되었다. ITF는 원자력발전소에서 인적요인과 가장 밀접한 관련이 있는 HMI 설계에서 운전원의 수행도 및 운전 효율성을 검증하고, 개별적인 설계요소에 대해 인간공학적 기준이 올바르게 적용되었는지를 평가하기 위해 개발된 인간공학적 통합 실험설비로 한국형 표준원전을 모의하는 VDU 기반의 HMS, 인간공학 실험측정장비 및 실험자료 분석평가 지원시스템(DAEXESS)으로 구성되어 있다.[7]

2. ITF 요건개발

우선 ITF 개발 초기 단계에는 원자력분야에서 인간공학적으로 주요 현안이 되고 인간공학적으로 평가가 되어야 하는 범위를 파악하기 위하여 규제측면에서 요구하는 인간공학 적 평가항목 분석, 사업자 요건서(EPRI-URD) 검토를 통한 MMIS 설계시의 신기술 반영요건 분석, 그리고 인간공학적 평가 사례 분석을 통해 VDU 중심의 원전제어실 설계시 인간공학적 관점에서 중요하게 고려되어야 하는 설계변수를 중심으로 10개의 평가항목을 도출하였다.[8] 그리고 현재 선진국에서 개발 중인 차세대원자로의 첨단제어실(NUPLEX 80+, AP-600, CANDU-3, N4, APWR, ISACS)이 갖는 특징을 분석하고 공통 특징을 규명하였다.[1] 그리고 이러한 평가항목이 주로 관련된 대상을 선정하고, 기능분석과 실험평가 항목과의 연관성 분석을 통해 실험변수를 도출하였다.[1-3]

표 1은 각국에서 개발하고 있는 차세대원자로의 제어실을 비교한 것이다. 표 1에서 알 수

표 1. 각국의 차세대원자로 주제어실의 비교

차세대원자로	AP-600	NUPLEX 80+	N4	ISACS	APWR	CANDU
특 징	W/H	CE	EdF	HRP	Japan	AECL
컴팩트한 운전원 작업반	VDU 기반중심	혼합형	VDU 기반중심	VDU 기반중심	VDU 기반중심	VDU 기반중심
대형 운전정보 표시화면 사용	3개의 화면	IPSO	2개의 화면	-	4개의 화면	4개의 화면
전산화된 경보 시스템	사용함	사용함	사용함	사용함	사용함	사용함
정보의 순항방식	직무기반	기능기반	기능기반	기능기반	기능기반	직무기반
운전원 구성	2	2	2	-	1	1
지능형 운전지원 시스템 사용	사용함	사용함	사용함	사용함	사용함	사용함
정보의 중복사용 여부	중복사용	중복사용	중복사용	-	중복사용	-

있듯이 차세대 제어실은 1인 내지 2인이 운전 가능하도록 VDU 기반의 간결한 제어반으로 구성되어 있어 운전원의 신체적 부담을 줄이는 효과를 기대할 수 있다. 또한 인공지능 또는 전문가 시스템을 이용한 운전원 지원시스템 및 전산화된 경보시스템의 개발 그리고 발전소의 전반적인 운전 상황을 보여주는 대형 정보 표시화면의 채택 등으로 운전원의 정신 작업 부하를 감소시키고 운전원의 운전 편의성을 제고시키려 하고 있다. 그러나 VDU 중심의 간결한 제어반은 CRT 화면상에 정보를 순차적으로 표시하는 표현방법(serial representation)을 사용하게 되므로 정보구조, 정보순항(information navigation) 및 정보의 표현방법 등과 같은 새로운 인간공학적 현안(issue)이 대두되었다.

실험측정방법을 설정하기 위해 원자력분야 및 HMI 관련인 인간공학적 실험평가 사례에서 일반적으로 사용되고 있는 데이터 측정방

법을 검토하여 수집데이터의 유형을 크게 시스템 데이터, 성능출력 데이터, 생리적 측정데이터 및 주관적 데이터의 4가지로 분류하였다.[1] 그리고 수집데이터의 유형에 따라 설계 변수별 측정방법을 분석하고 시스템데이터, 성능출력 데이터의 요건 그리고 측정장비의 요건을 도출하였다. 또한 ITF의 효율적인 사용을 위해 원자력분야에서 사용된 인간공학 실험 패러다임을 검토하여 확장된 실험 패러다임을 개발하였다.

이상과 같은 일련의 분석에 근거하여 ITF의 기본 구성요소 및 요건을 정의하였다. ITF는 1995년부터 상세설계가 수행되어 1997년 3월에 개발이 완료되었다.

3. ITF 특징

ITF의 특징은 차세대 원전제어반 설계시

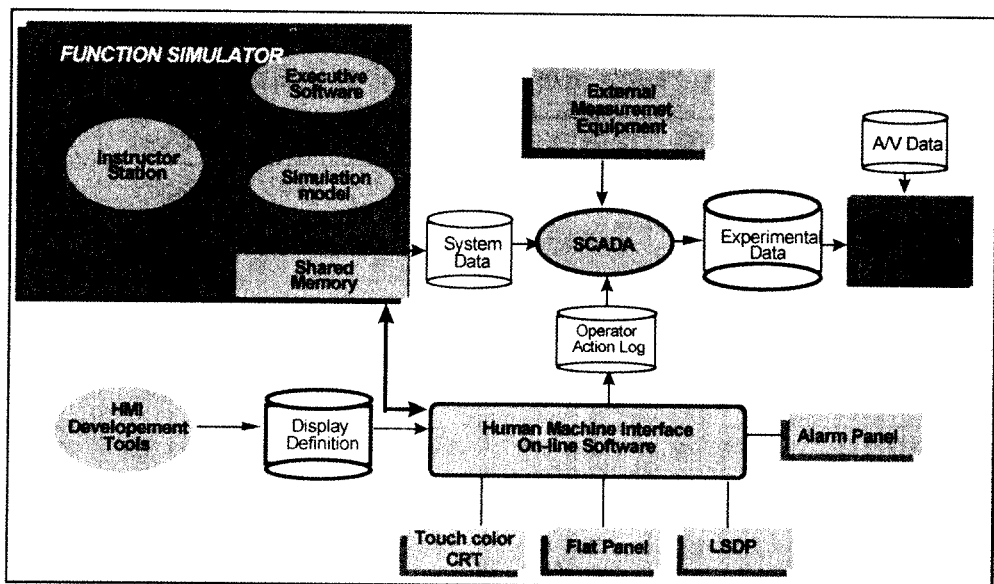


그림 1. ITF의 소프트웨어 구성도(Software Architecture)

인간공학적 실험평가를 통해 보다 향상된 제어반 설계를 할 수 있다는데 있다. 인간공학 실험평가는 다음과 같은 5단계의 확장 실험 패러다임으로 구성된다

- 단계 1: 요건분석(Analysis of requirements)
- 단계 2: 예비실험(Pilot experiment (prototyping))
- 단계 3: 피실험자 훈련 및 준비(Training and Preparation)
- 단계 4: 실험수행(Actual Experiment)
- 단계 5: 실험결과 분석 (Analysis of results)

실험수행시 실제실험 수행기간은 실험준비 및 환경을 설치하는 2, 3단계와 실험데이터의 분석 단계인 5단계에서 실험기간 전체의 85%가 소요된다. 따라서 인간공학적 평가실험을 위해 무엇보다도 중요한 것은 평가하고자 하는 실험변수(VDU 기반의 중요 실험변수는 정보구조, 정보소항 및 정보의 표현방법 등과 같은 새로운 인간공학적 현안)의 설계변경 및 설정된 가설에 의해 요구되는 모든 실험 데이터의 수집과 효율적인 분석이 용이하도록 하여 실험평가 기간을 단축하는 것이다. 또한 그리고 가능한 실제환경과 같은 작업조건을 운전원에게 제시하여 실험결과와 유효성을 확보할 수 있도록 해야 한다. 이러한 요건이 반영된 ITF의 소프트웨어 구성은 그림 1과 같으며 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 한국표준 가압 경수로형 원자력발전소 전 규모 모의
- 펌프, 밸브 및 제어기와 같은 각종 기기의 오동작 및 고장(component malfunction)을 포함한 500여개의 시스템 malfunction 모의가능

- VDU 기반의 HMI 기기를 사용한 사용자 인터페이스 구성
- 객체지향(object-oriented)그래픽 데이터를 사용한 화면설계의 유연성 확보
- 외부 하드웨어 판넬 및 기 개발된 운전원 지원시스템과 같은 다른 소프트웨어와 쉽게 연결하여 시스템을 확장할 수 있는 시스템 설계의 확장성(expandibility) 확보
- 각종 인간공학 측정장비인 생체신호 측정 장비, 시선추적 장비 및 영상/음성 기록 장비로 부터 수집되는 개별 데이터의 통합수집 및 수집데이터와 시뮬레이션 시간과의 동기화 기능(SCADA 기능)
- 동시에 두개의 다른 시뮬레이션 모델 구동 가능(실험수행의 효율성을 높이기 위해 각각 다른 초기조건의 원전모델 모의 가능)
- 운전원의 운전행위 기록
- 실험데이터 분석 및 평가지원 시스템(DAEXESS: data analysis and experiment evaluation supporting system)에 의한 실험자료의 종합분석 및 평가기능

4. ITF의 하드웨어 구성

ITF의 전체 구성은 그림 2와 같이 주실험실(Main Test Room), 보조실험실(Supporting Test Room) 실험제어실(Experiment/Control Room)으로 구성되어 있다. 주 실험실은 운전원 제어반과 감독자제어반 그리고 각종 실험장비로 구성된다. 운전원 제어반은 8대의 Touch Screen 21" Color CRT, 8개의 3-버튼 마우스/트랙볼/키보드, 주요 안전 변수를 집약적으로 표시하는 2대의 평판판넬

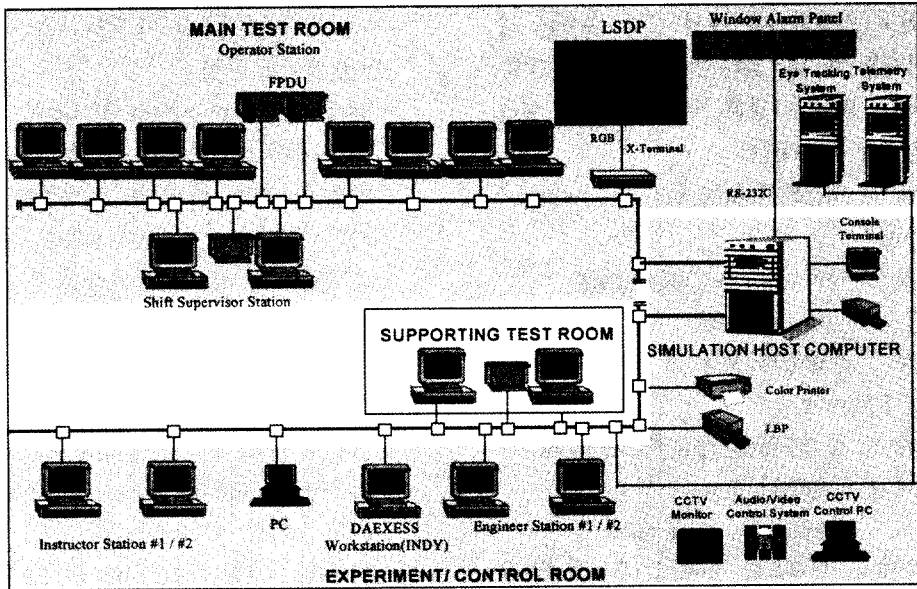


그림 2. ITF의 전체구성(Overall Configuration of ITF)

(FPDU: flat panel display unit), 208개의 Annunciator 창 및 운전원 제어반 앞 중앙 상단에 발전소의 주요 개관정보를 보여주는 대형정보 표시화면(LSDP: large scale display panel)으로 구성되어 있다. 감독자 제어반에는 2대의 Touch Screen 21" Color CRT와 1대의 평판 패널로 구성되어 있다. 그리고 아울러 운전원의 행동특성을 관찰할 수 있는 폐쇄회로 텔레비전 카메라와 마이크, 운전원의 생체신호를 수집하여 정신작업 부하를 분석할 수 있는 생체신호 측정장치 및 운전원 시선추적 장치 등의 실험장비가 있다.

보조실험실에는 주실험의 감독자 제어반과 같은 제어반이 있다. 이 제어반은 실험제어실의 Engineer Station과 연계되어 주실험실에서의 운전조작 및 실험과는 별도로 소규모 인간공학 실험을 수행할 수 있으며, 새로운 화면설계와 발전소 모델을 개발하고 시험하는 것이 가능하여 실험실 활용의 극대화를 이룰

수 있도록 하였다.

실험계획 및 준비, 실험진행, 실험데이터분석 그리고 시뮬레이터를 운영하는 실험 제어실(Experiment Control Room)에는 실험목적에 맞는 malfunction의 주입, 발전소 현장제어반의 기능을 대신하는 원격제어 기능(remote function) 및 시뮬레이터의 효율적인 운영을 위해 필요한 여러 가지 감독자기능을 수행할 수 있도록 21" Color CRT 2대로 구성된 Instructor Station, 발전소의 모델 개발 및 화면설계 작업을 수행할 수 있는 Engineer Station, 실험자료 종합분석 시스템이 설치된 INDY 워크스테이션, 원전 시뮬레이션 코드와 관련한 소프트웨어 및 주변기기를 포함하는 주전산기 시스템 그리고 주 실험실의 CCTV 카메라 및 마이크를 관장하는 영상/음성 제어 시스템이 있다. 주전산기는 주실험실에서 한국 표준형 발전소 모델을 실시간으로 모의할 뿐 아니라 동시에 보조실험실에서도 주 실험실의



그림 3. ITF의 주 실험실



그림 4. 실험제어실

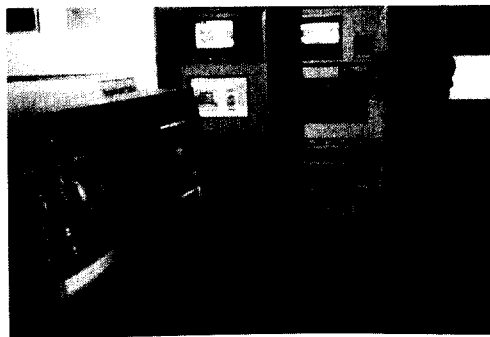


그림 5. 시선추적장치를 장착하고 운전하고 있는 모습

발전소 상황과 다른 초기조건의 상황을 재현할 수 있는 능력을 가진다.

그림 3은 주실험실의 배치, 그림 4는 실험 제어실의 배치를 보여주고 있으며, 그림 5는

운전원이 시선추적 장비를 장착하고 운전을 하고 있는 모습이다.

5. HMS 화면설계

VDU 기반의 제어반에서 무엇보다 중요한 것은 운전원이 필요한 정보에 쉽게 접근할 수 있도록 하기 위한 화면정보의 구성과 화면순항(navigation)방법이다. 정보를 구성하기 위한 디스플레이 화면 윈도우의 구성(framework)은 사용자의 선택에 의해 다음과 같이 두 가지로 구성할 수 있도록 하였다.

- 제어모드(control mode) : 화면의 크기를 조정할 수 없는 단일화면(single window)으로 구성되며 운전원이 화면 다이아그램을 통하여 운전제어를 수행할 수 있다. 주 화면은 그림 6에서 보는 바와 같이 현재 화면의 이름을 표시하고, 그리고 현재 화면을 다른 CRT에 복사하거나 이동할 수 있도록 하는 버튼이 있는 Title Area, 주요 화면 순항을 위한 버튼이 있는 Navigation Panel, 현재 선택된 객체를 제어할 수 있도록 필요 제어 기능 버튼이 표시되는 Control Panel 및 주 정보가 표시되는 Viewing Area의 4개 영역으로 구분되어 있다.

- 감시모드(monitor mode) : CRT내에서 화면의 크기 조정이나 화면 이동이 가능한 여러 개의 화면(multi window)을 나타낼 수 있다. 이 모드의 윈도우 화면은 Viewing Area와 Title Area 2개의 영역으로 구분되며 이 모드에서는 운전원이 제어기능을 수행할 수 없다.

Viewing Area에 표시되는 정보는 원자력

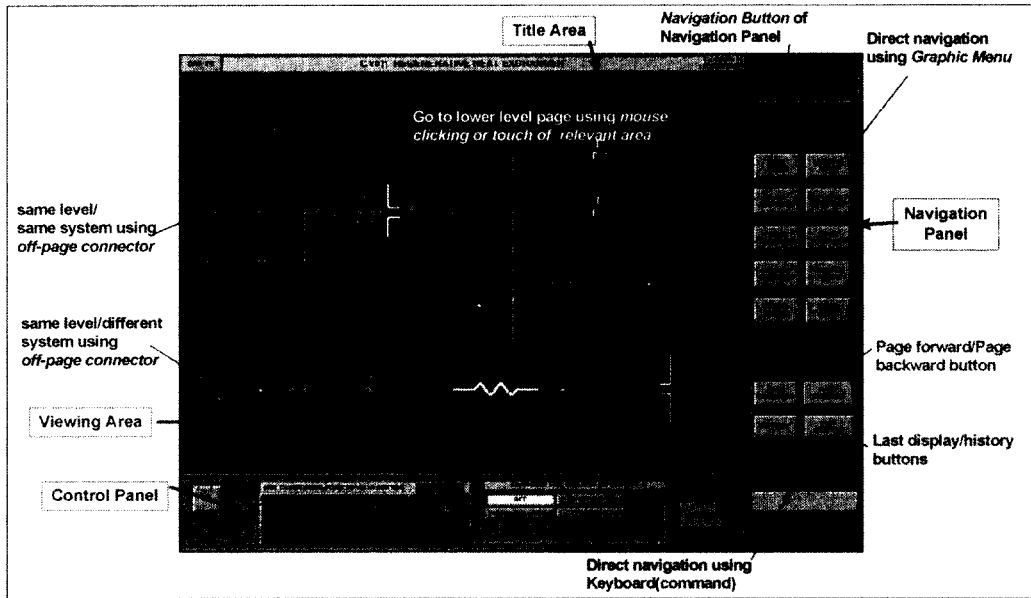


그림 6. HMI 화면설계의 예

+발전소 계통도(P&ID)를 기반으로 하여 표시할 수 있는 것과 계통도를 기반으로 표시할 수 없는 화면 즉, 원자로 보호계통의 정보표시 화면이나 터빈/발전기 제어 등을 위한 특수화면 2가지로 분류된다. 원자력 발전소 계통도(P&ID)를 기반으로 하여 표시되는 정보는 다음과 같이 4개의 계층으로 구성하여 최하위 계층의 상세화면에서만 밸브나 펌프와 같은 기기의 제어가 수행될 수 있도록 하였다.

- 계층 0 : 발전소 개관정보
- 계층 1 : 1차계통, 2차계통, 반응도 제어 화면, Alarm Overview
- 계층 2 : 24페이지의 부계통
- 계층 3 : 약 150페이지의 상세화면

그리고 주요변수의 추이를 표시하는 추이정보 표시화면, Alarm Overview 화면의 하위 상세경보 및 경보의 이력을 보여주는 경보이력상태 표시화면(Tabular Alarm) 화면이 있

다. 추이정보 표시화면은 규제요건이 요구하는 추이정보의 변수명이 표시되어 있는 영역으로, 사용자가 임의로 변수명을 변경할 수 없는 변경 보호영역과 운전원이 발전소의 상태에 따라 필요한 변수들을 미리 설정하여 선택할 수 있는 사용자 사용영역으로 구분하여 운전원의 운전효율성 및 정보감시 편의성을 향상시킬 수 있도록 하였다.

여기서 운전원이 정보를 찾기 위한 화면순항은 마우스, 키보드 및 손가락의 터치를 사용할 수 있으며 다음과 같은 여러가지의 순항방법을 사용하여 원하는 정보에 쉽게 접근할 수 있도록 하였다. 정보순항을 위한 여러가지 수단 및 방법이 제공된 것을 이용해 추후 실제 제어반 설계시 정보순항 방법 선정을 위한 인간공학적인 실험평가에 효율적으로 사용될 수 있다.

- Navigation panel 상의 계층 1의 메뉴

- 버튼
- Navigation panel 상의 그래픽 메뉴를 통한 직접 순항
- Viewing Area의 그래픽 화면상에서 마우스 클릭을 사용한 직접 순항
 - 동일 계층/동일 시스템으로 이동할 수 있는 off-page connector
 - 동일 계층/다른 시스템으로 이동할 수 있는 off-page connector
 - 화면클릭을 통한 관련 계층의 하부 상세화면으로 이동
 - 계층 2, 3 화면의 Control Area에 관련 상위계층에 이동할 수 있는 버튼을 사용한 관련 시스템 상위 계층으로의 이동
- 키보드 명령어를 사용한 직접 순항 (command)
- Navigation panel 상의 Page Forward, Page Backward 버튼

- Navigation panel 상의 Last Display/History 버튼

그리고 화면설계에 사용된 각 기기 및 정보 순항용 버튼은 3차원 아이콘으로 설계되었다. 동적 색상 정보를 이용하여 기기의 운전상태를 구분하였다.

6. 인간공학 실험분석 시스템 (DAEXESS)

인간공학 실험 측정데이터를 통합적으로 분석하고 평가하기 위한 DAEXESS는 인간공학 실험측정 데이터를 그 동안 수작업 처리 및 개별적으로 처리되는 모든 과정을 통합하여 데이터를 수집하여 각종 데이터 분석 그래프 처리, 데이터 조회뿐만 아니라 동영상 및 음성 데이터까지 모든 데이터의 처리 및 분석을 한 시스템에서 통합 처리하도록 SAS 통계 소프트웨어

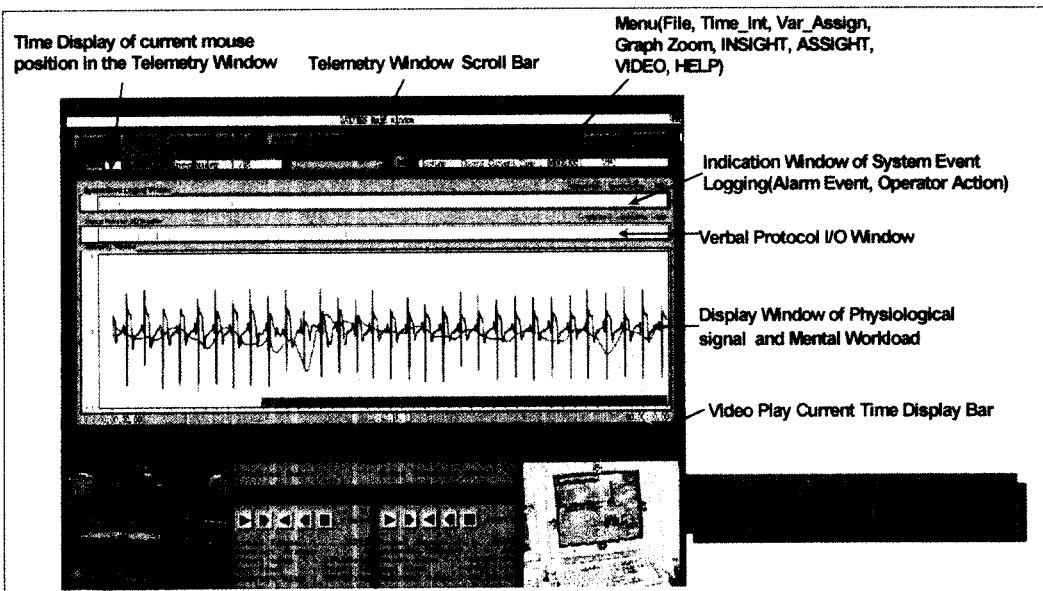


그림 7. DAEXESS 주화면

트웨어를 이용하여 구축하였으며 또한 사용자를 고려하여 GUI 환경을 기본으로 채택하여 쉽게 화면에 친숙하도록 시스템을 설계구축하였다.

실험 중에 시선추적 장비, 생체신호 측정시스템을 운전원에게 착용시켜 시선추적 장비로부터는 운전원의 정보주시시간, 정보탐색 경로 및 정보 주시빈도 등의 데이터와 생체신호 측정시스템으로부터는 운전원의 심리적 및 생리적 반응에 따라 변화하는 생체신호를 수집한다. 또한 주 전산기 시스템내의 HMI 및 Instructor Station의 소프트웨어는 운전원의 운전행위, Alarm Event 및 주요발전소 변수 등과 같은 시스템데이터를 기록한다. 여기서 시스템 데이터는 시뮬레이션 클락을 기반으로 저장되지만 각 실험장비의 데이터는 자체의 시스템 클락으로 저장된다. 실험분석의 효율성을 높이기 위해 이들 데이터는 시뮬레이션 클락으로 변환되고 모든 시간이 동기화 된다. 시간 동기화가 완료된 각 데이터는 DAEXESS 컴퓨터로 네트워크를 통하여 통합 수집되고 DAEXESS를 통해 분석한다. 종합적으로 분석된 자료로부터 운전원의 작업양태, 반응시간, 오류행위 및 작업부하등이 평가될 수 있다.

7. 활용방안

VDU 기반의 시뮬레이터는 선진각국에서 현재 개발중인 첨단제어실의 특징을 반영하여 개발되었으며, 사람을 대상으로 시스템을 평가하는 인간공학 실험특성을 고려하여 실험변수 설계나 실험데이터의 효율적인 분석을 수행할 수 있도록 개발되었다.

이러한 시뮬레이터를 이용하여, 운전에 필요한 정보의 구성과 표현에 관한 연구 및 정보 표현과 연계된 제어방식과 같은 설계요소별 연구뿐만 아니라, 무엇보다도 이러한 통합 설비는 현재 추진되고 있는 액체금속로 및 차세대 원자로 같은 신형 원전의 운전제어반 HMI 설계의 설계도구(Rapid Prototyping)로 바로 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

또한 원자력 규제기관에서 첨단 제어실 설계시 새로운 규제요건으로 요구하고 있는 인간공학적 설계, 인간공학적 확인 및 검증을 수행하는 Test Bed로 활용할 수 있다. 그리고 운전원의 인지적 작업부하를 줄이기 위해 계속 개발되고 있는 운전원 운전지원시스템의 설계 및 평가, VDU 기반의 HMI 설계기준 및 지침 개발 및 평가, 그리고 인적오류 원인을 규명하기 위한 오류검증 시험, 운전절차서의 개발 등에 활용될 수 있다. 아울러 한국표준형의 원전의 전 계통에 대한 모의가 가능하므로 원전안전성 관련 각종 소프트웨어 연구 및 운전원의 계통교육에도 활용될 수 있을 것으로 전망하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] B. S. Sim et al., "The Development of Human Factors Technologies : The Development of Human Factors Experimental Evaluation Techniques", The Second Annual Report KAERI/RR-1338/93, Korea Atomic Energy Research Institute, July 1994.
- [2] B. S. Sim et. al., "The Development of Human Factors Technologies : The

- Development of Human Factors Experimental Evaluation Techniques", The Third Annual Report KAERI/RR-1489/94, Korea Atomic Energy Research Institute, July 1995.
- [3] B. S. Sim et al., "The Development of Functional Requirement For Integrated Test Facility," Proc. of the IAEA Specialists Meeting on Advanced Information Methods and Artificial Intelligence in Nuclear Power Plant Control Rooms, IAEA-12-SP-384.37, Halden, Norway, Sept. 13, 1994.
- [4] H. C. Lee et al., "Human Factors Experiment Design In Using the Integrated Test Facility," Proceedings of the Third Pan-Pacific Conference on Occupational Ergonomics, Seoul, Korea, Nov. 13-17, 1994.
- [5] K. H. Cha, B. S. Sim, I. S. Oh and H. C. Lee, "Software Functionality of an Integrated Human Factors Test Facility Based-on a Generic Advanced Control Room Concept," International Conference on Probabilistic Safety Assessment Methodology and Applications, Seoul, Korea, Nov. 26-30, 1995.
- [6] I.S. Oh, B.S. Sim, H.C. Lee, and D. H. Lee, "Measurement of inconvenience, human errors and mental workload of simulated nuclear power plant control operations", Proceedings of the Ergonomics Society of Korea Fall Meeting, Suwon, Oct. 18-19, 1996.
- [7] SEC. Co. and S3 Technologies, "Human Machine Simulator Proposal", Vol. I. and II, Technical Proposal Rev. 1.0, March 1995.
- [8] B.S. Sim et al., "The Development of Human Factors Technologies: The Development of Human Factors Experimental Evaluation Techniques", The Second Annual Report KAERI/RR-1230/92, Korea Atomic Energy Research Institute, July 1993