



KR0100962

최종보고서

KAERI/RR-2106/2000

첨단제어실의 인간공학 검토를 위한 공동연구
Cooperative Research for Human Factors Review of
Advanced Control Rooms

연구기관
한국원자력연구소

과 학 기 술 부

**PLEASE BE AWARE THAT
ALL OF THE MISSING PAGES IN THIS DOCUMENT
WERE ORIGINALLY BLANK**

제 출 문

과 학 기 술 부 장 관 귀하

본 보고서를 “첨단제어실의 인간공학 검토를 위한 공동연구” 과제의
최종보고서로 제출합니다.

2000. 12. .

연 구 기 관 명 : 한국원자력연구소

연 구 책 임 자 : 이 정 운

연 구 원 : 박 재 창

연 구 원 : 이 용 희

연 구 원 : 오 인 석

연 구 원 : 이 현 철

요 약 문

I. 제목

첨단 제어실의 인간공학 검토를 위한 공동연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

원자력발전소의 계측제어계통은 그 동안 적용되어 왔던 Analog 기술 및 기기의 낙후화로 유지보수와 관련한 여러 가지 문제점을 안게 되어 그 동안 발전된 통신, 컴퓨터 및 디지털 기술을 적용하여 개선하려는 노력이 전세계적으로 추진되어 왔다. 이러한 디지털 계측제어 기술을 적용한 원자력발전소 설계는 인간-기계 연계(HSI: Human-System Interface)에도 많은 변화를 주게 되어 운전정보 획득, 운전상황에 대한 진단, 제어조작 행위와 같은 인간-기계 상호작용(Human Machine Interaction)은 재래식 제어실에서와는 많은 차이가 발생하며 새로운 유형의 인적오류가 예상되고 있다.

현재, 우리나라에서는 계측제어 계통의 디지털화 및 첨단 인간-기계 연계 기술을 적용한 차세대원자로 개발이 진행 중에 있으며, 신형 인간-기계 연계 설계에 대한 인간공학적 적합성을 검토하여 설계의 안전성을 확인할 수 있는 방법론의 개발이 필요하다. 이를 위해 공통적인 관심을 가진 한국원자력연구소와 미국 NRC와의 공동연구가 필요하다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

신형 인간-기계 연계의 주요 설계특성중 하나인 Soft Control에 대한 인간공학 현안을 정리하고 이 현안들에 대해 실험적 또는 분석적인 연구로 평가가 가능한 지를 구분하였다.

그리고, 2000년에 발표된 NUREG/CR 보고서들을 이용하여 Soft Control을 포함한 신형 인간-기계 연계의 검토를 위해 추가 연구가 필요한 것으로 기술된 현안을 정리하고, 국내 현실을 감안한 시급성을 분석하였으며, 또한 이들 현안 가운데 실험평가 연구 대상인 항목을 구분하였다.

그리고, 재래식 제어실과 신형 제어실에서, 운전원 자신의 오류, 주제어실내 다른 운전원, 현장 기기 운전원 및 계측제어 시험원의 오류를 포함하는 인적오류의 운전원 감지에 대한 비교실험을 수행하였다.

IV. 연구개발 결과

본 연구의 결과로 Soft Control의 감시 기능, 접근 및 선택, 제어 입력, 반응 확인, 복수 제어, 가변적 요소, 다른 인간-기계 연계와의 연관 등의 특성에 대해 검토현안이 총 30건 도출되었으며 이들에 대한 실험적 및 분석적 연구에 의한 평가 여부를 판정하였다. 그리고, CRT 기반 신형 인간-기계 연계의 인간공학적 검토를 위해 추가연구가 필요한 현안들이 Advanced Information Systems Design, Computer-Based Procedure Systems, Soft Controls, Human Systems Interface and Plant Modernization Process, Maintainability of Digital Systems, Advanced Alarm System 분야에 대해 총 74건 도출되었다. 이들 현안에 대해 국내 차세대원자로 개발 방향을 감안한 연구의 시급성을 상, 중, 하로 나누어 구분하였으며, 또한 ITF와 같은 실험시설을 활용한 실험평가로 추가연구가 가능한 것들을 도출하였다.

그리고, 운전원의 오류감지 특성에 대한 재래식 제어실과 신형 제어실에서 비교실험 결과, 신형 제어실에서 오류감지 성공률이 재래식 제어실에서보다 낮았으며, 신형 제어실 설계에서 운전원의 오류감지를 위해 주의 기울여야 할 사항들이 조사되었다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

Soft Control 현안과 오류감지 실험결과는 현재 우리나라에서 진행되고 있는 차세대원자로의 설계뿐 아니라 신형 제어실 설계를 추구하는 기타의 원자로 개발 과제에서 인간-기계 연계의 설계와 설계 평가에 직접적으로 활용될 수 있으며, 또한 신형 인간-기계 연계에 대한 규제기관의 인간공학 안전성 검토에도 활용될 수 있다.

그리고, CRT 기반 신형 인간-기계 연계의 검토지침 개발을 위해 추가연구가 필요한 현안들과 이들의 시급성 및 실험평가 연구 가능성을 분석한 결과는, 국내에서 추진되고 있는 신형 제어실의 궁극적인 인간공학설계 및 평가를 위해 가까운 시일 내에 연구가 수행되어 해결되어야 하는 항목을 제기한 것으로 국내에서 수행되어야 할 추가연구 항목으로 활용될 수 있다.

S U M M A R Y

I. Title

Cooperative research for human factors review of advanced control rooms

II. Objectives and Necessities of Project

Due to the aging and obsolescence problems in the maintenance of instrumentation and control(I&C) systems in existing nuclear power plants to which analog technology has been applied, worldwide efforts has been performed to upgrade the I&C systems by adopting advanced digital technologies. I&C system designs based on digital technologies also result in the abrupt changes to human-system interface(HSI). This makes human-machine interaction, including operators' collection of plant information, diagnosis of plant status, planning and implementation of control actions, significantly different from that in conventional control rooms, and may introduce new types of human errors.

At present, Korean Next Generation Reactor(KNGR), to which digital I&C technologies and advanced HSI technologies are applied, is being developed. It is necessary to develop methodologies with which human factors of advance HSI designs can be evaluated to ensure the safety. For the development of human factors evaluation methodologies, the cooperation between KAERI and US NRC, which have common interests to it, should be valuable.

III. Scope of Project

Human factors issues related to soft controls, which is one of key features of advanced HSI, are identified in this project. The issues are

analyzed for the evaluation approaches in either experimental or analytical ways.

Reviewing five US NRC reports(NUREG/CR-6633~6637, 6684) published in 2000, issues requiring additional researches for the evaluation of advanced HSI are identified. Urgency of the issue researches is analyzed in consideration of the development status of advanced HSI in Korea. In addition, the issues for which experimental approach can be used are identified.

An experimental study is performed to compare operator's performance on the detection of human errors, including errors of his own, by other control room operators, by local equipment operators, and by test and maintenance personnel, in an advanced control room vs. in a conventional control room.

IV. Results

A total of 30 issues were identified in the features of soft controls, including monitoring the system and process status, selecting and retrieving a control, providing control input, monitoring system and process response, performing multiple control actions, using modifiable characteristics, and coping with consistency across the HSI. Then, the issues were analyzed if it could be evaluated in either experimental or analytical ways.

A total of 74 issues requiring additional research for the evaluation of advanced HSI were identified in the areas of advanced information systems design, computer-based procedure systems, soft controls, human systems interface and plant modernization process, maintainability of digital systems, and advanced alarm system. The issues were analyzed to discriminate the urgency of researches on it to high, medium, and low levels in consideration of advanced HSI development status in Korea, and some of the issues that can be handled by experimental researches were identified.

As results from the error detection experiment, it was found that

advanced control rooms have several design characteristics hindering operator's error detection performance compared to conventional control rooms.

V. Proposal for Application

The results from the study on soft control issues and the error detection experiment are useful for the design and regulatory review of advanced HSI in Korea, like KNGR. Also, the issues requiring additional researches suggest future researches in relation to advanced HSI.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Necessity of Project	1
Section 2. Scope of Project	8
Chapter 2. Research and Development Status in Korea and Foreign Countries	11
Section 1. Research and Development Status in Korea	11
Section 2. Research and Development Status in Foreign Countries	13
Chapter 3. Researches and Results of Project	17
Section 1. KAERI-USNRC HFE Collaboration Agreement	17
Section 2. Analysis of Soft Control and Advanced HSI Issues ...	23
Section 3. Error Detection Experiment	68
Chapter 4. Accomplishment of Project Objectives and Contribution to Technology Development	93
Section 1. Accomplishment of Project Objectives	93
Section 2. Contribution to Technology Development	94
Chapter 5. Proposal of Application	97
Section 1. Proposal of Application	97
Section 2. Further Research Needs	98
Chapter 6. References	101
Appendix 1: Letter of Agreement	
Appendix 2: Test Sheets for the Use of CRT of ITF	

부록 1 : US NRC와의 인간공학 연구협력 약정 체결

부록 2 : ITF의 CRT 사용 수련도 시험 문제지 및 정답

제 1 장 서론 1

제 1 장 연구개발의 필요성 1

제 2 장 연구개발 내용 및 범위 8

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 11

제 1 장 국내 기술개발 현황 11

제 2 장 국외 기술개발 현황 13

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 17

제 1 장 KAERI-US NRC간 인간공학 연구협력 약정 체결 17

제 2 장 Soft Control 현안 및 선형 제어선 추가연구 현안 분석 23

제 3 장 오블간지 실험 68

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도 93

제 1 장 연구개발 목표 달성도 93

제 2 장 대외 기여도 94

제 5 장 연구개발결과에의 활용계획 97

제 1 장 연구결과에의 활용 97

제 2 장 추가연구의 필요성 98

제 6 장 참고문헌 101

부
록

그림 목 차

그림 1-1 신형 제어실의 예	2
그림 1-2 재래식 제어실의 예	2
그림 1-3 신형 인간-기계 연계의 CRT 화면 예	3
그림 1-4 신형 제어실에서 운전 작업	4
그림 1-5 신형 제어실의 Soft Control 기기 예	4
그림 1-6 신형 제어실에서 사용되는 다양한 경보표시의 예	5
그림 1-7 한국원자력연구소 ITF의 주실험실	6
그림 2-1 차세대원자로 인간-기계 연계 전경	12
그림 3-1 고리 시뮬레이터에서의 실험 장면	85
그림 3-2 ITF에서의 실험 장면	86

표 목 차

표 3-1 Soft Control의 인간공학적 현안목록	33
표 3-2 Soft Control의 인간공학적 현안의 대응 연구 방식 구분	34
표 3-3 추가연구 현안의 시급성 및 실험연구 필요성 분석결과	65
표 3-4 RO용 test에 반영된 ITF Process mimic diagram	88
표 3-5 TO용 test에 반영된 Process mimic diagram	89
표 3-6 오류감지 실험결과	90

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

원자력발전소의 계측제어계통은 그 동안 적용되어 왔던 Analog 기술 및 기기의 낙후화로 유지보수와 관련한 여러 가지 문제점을 안게 되어 그 동안 발전된 통신, 컴퓨터 및 디지털 기술을 적용하여 개선하려는 노력이 전세계적으로 추진되어 왔다. 1980년대 초반부터 개발이 착수된 프랑스의 N4를 필두로 일본의 Toshiba, Hitachi, Mitsubishi 등, 여러 설계회사에서 추진한 ABWR 및 APWR, 그리고 미국의 AP-600, Nuplex 80+ 등의 개발이 1990년대 중반까지 활발히 전개되었다.

이러한 디지털 계측제어 기술을 적용한 원자력발전소 설계는, 발전소 정보, 계측제어 기기의 상태 정보, 제어조작을 위해 사용되는 기기, 제어조작 결과의 Feedback 정보 등을 발전소 작업자(주제어실 운전원, 현장운전원, 시험원, 보수원 등 제반 작업자를 포함)에 제공하는 인간-기계 연계(MMI: Man-Machine Interface, HMI: Human-Machine Interface, 또는 HSI: Human-System Interface) 또한 많은 변화를 주게 되었다. 수많은 계기, 지시기, 제어기 등이 나열된 재래식 제어반과는 달리 디지털 기술을 적용한 인간-기계 연계는 1인 내지 2인이 운전 가능하도록 CRT를 주로 사용한 compact workstation으로 구성되어 있으며 발전소의 전반적인 운전 상황을 보여주는 대형정보 표시화면, 전산화된 제어기 (Soft Control) 등을 사용하는 공통적인 특징을 가지고 있다. 아래의 그림 1-1은 이러한 신형 제어실의 예를 보여주고 있으며 신형 제어실의 특징을 재래식 제어실과의 비교할 수 있도록 재래식 제어실의 예를 그림 1-2로 나타내었다.

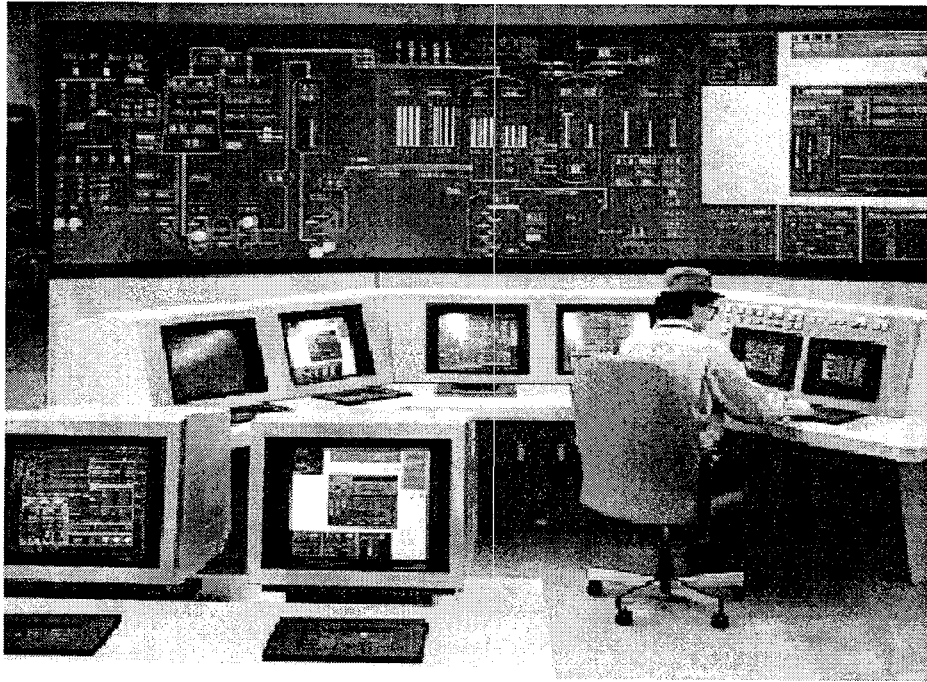


그림 1-1 신형제어실의 예

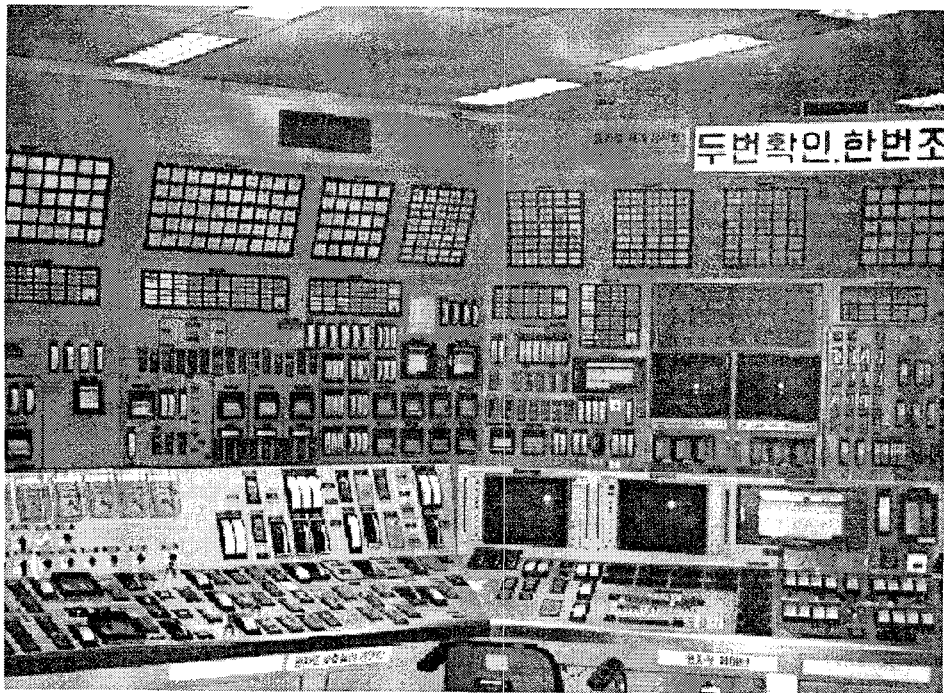


그림 1-2 재래식 제어실의 예

신형 제어실의 인간-기계 연계는 정보의 구성 및 제공 방식, 제어조작 방식 등이 재래식 제어반과 많은 차이가 있으며, 디지털 기술의 적용으로 자동화의 증가 및 운전지원시스템의 부가로 운전원의 역할 또한 변화를 맞게 되었다. 따라서, 신형 제어실에서의 운전정보 획득, 운전상황에 대한 진단, 제어조작 행위와 같은 인간-기계 상호작용(Human Machine Interaction)은 재래식 제어실에서의 작업양상과는 많은 차이가 나며 새로운 유형의 인적오류가 예상되고 있다. 아래의 그림 1-3은 신형 제어실에서의 CRT 화면을 보여주고 있으며, 그림 1-4는 신형 제어실에서의 운전작업을 보여주고 있다. 그림 1-5는 신형 제어실의 Soft Control로 사용되는 Flat Panel Display 기기를 보여주고 있으며, 그림 1-6은 신형 제어실에서 사용되는 다양한 정보표시의 예로써 Tile형 정보창과 CRT 상의 정보를 보여준다.

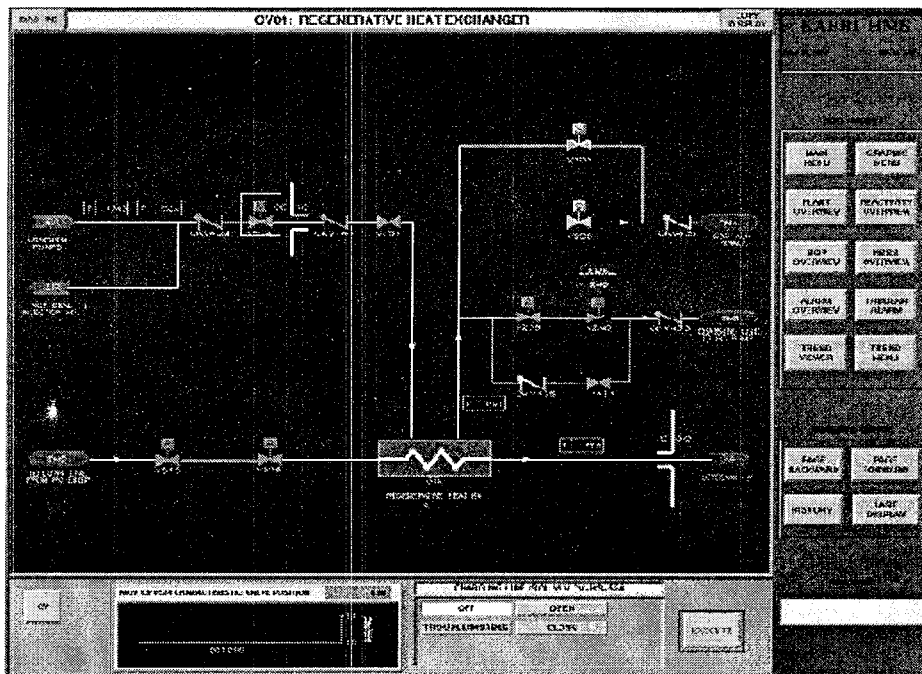


그림 1-3 신형 인간-기계 연계의 CRT 화면 예

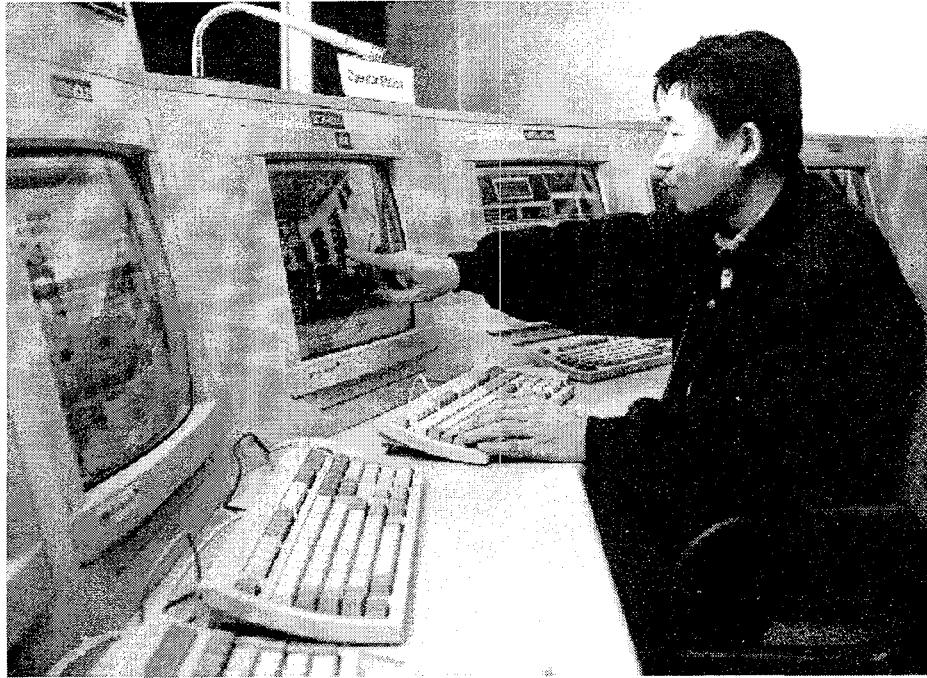


그림 1-4 신형 제어실에서 운전 작업

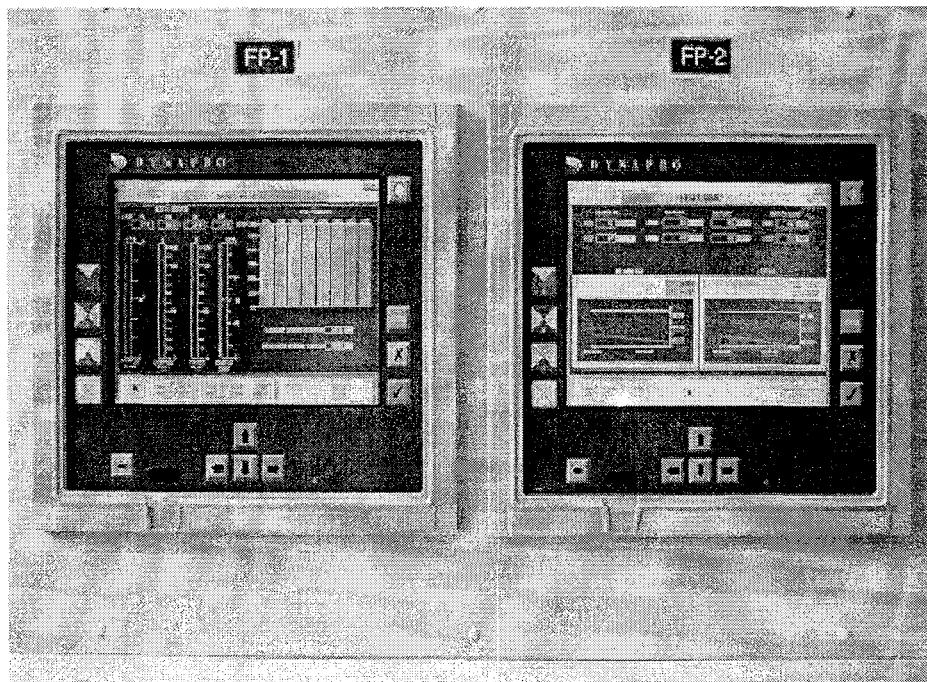


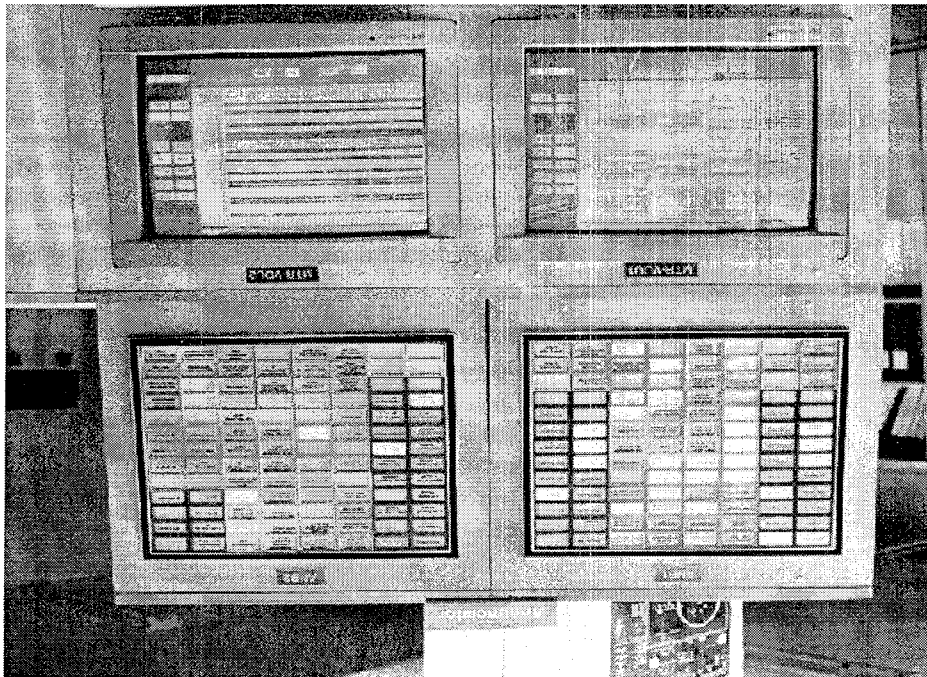
그림 1-5 신형 제어실의 Soft Control 기기 예

한국원자력연구소는 이와 같은 실험 제어실 설계의 인간공학적 문제

필요성이 높다 하겠다.

연구를 통해 실험 인간-기계 연계에 따른 문제점을 미리 조사하고 대처할
 의존할 수 없게 된 상황이므로, 우리나라 자제적인 유사환경에서의 실험
 전 경험이 전세계적으로 적은 현실이며 관련 연구 또한 선진국에 더 이상
 연계의 적용이 추진되고 있다. 실험 인간-기계 연계에 대한 설계적인 공
 원자로, 실험원자로 등의 설계에 디지털 계측제어 계통과 실험 인간-기계
 설계와 더불어 연구개발 노력이 미미해졌다. 이에 반해 우리나라는 차세대
 계와 관련한 연구개발에 많은 관심을 가졌다. 그러나, 이후 원자력 산업의
 되기 이전인 1990년대 중반까지는 원자력 선진국에서 실험 인간-기계 연
 성의 유지 측면에서 매우 중요한 의미를 가진다. 원자력 산업이 아직 설계
 원자력에서는 작업자의 인적요소가 수력 및 화력 발전소와는 달리 안전

그림 1-6 실험 제어실에서 사용되는 다양한 경보표시의 예



에 대한 연구의 필요성을 미리 인식하여 원자력연구개발 중장기 사업 제 1단계 기간(1992년도~1997년도)에 인간공학 종합실험설비 (ITF: Integrated Test Facility)를 구축한 바 있다[1]. 한국 표준형 원전의 full-scope simulation이 가능하며 20 inch CRT 8대, FPD(Flat Panel Display) 2대, 100 inch 대형정보화면 1대 등으로 구성된 원자로 및 터빈 운전원 작업반과 20 inch CRT 2대, FDP 2대로 구성된 발전감독자 작업반을 주제어실의 구성요소로 갖추고 있다. 그리고, 인간공학 실험에 필요한 생체신호 측정시스템, 시선추적장비, 음성 및 영상 기록 장비 등, 실험 장비를 구비하였다. 발전소 거동, 경보, 운전원들의 작업 기록, 여러 인간공학 실험 장비로부터의 기록자료 등, 각종 실험자료를 시간동기화하여 분석할 수 있는 DAEXESS(Data Analysis and Experimental Evaluation Support System)를 개발하여 일반적으로 수개월이 걸리는 인간공학 실험 자료 분석 시간을 수주동안에 가능하게 하였다. 아래의 그림은 이러한 ITF의 주실험실을 보여주고 있다.

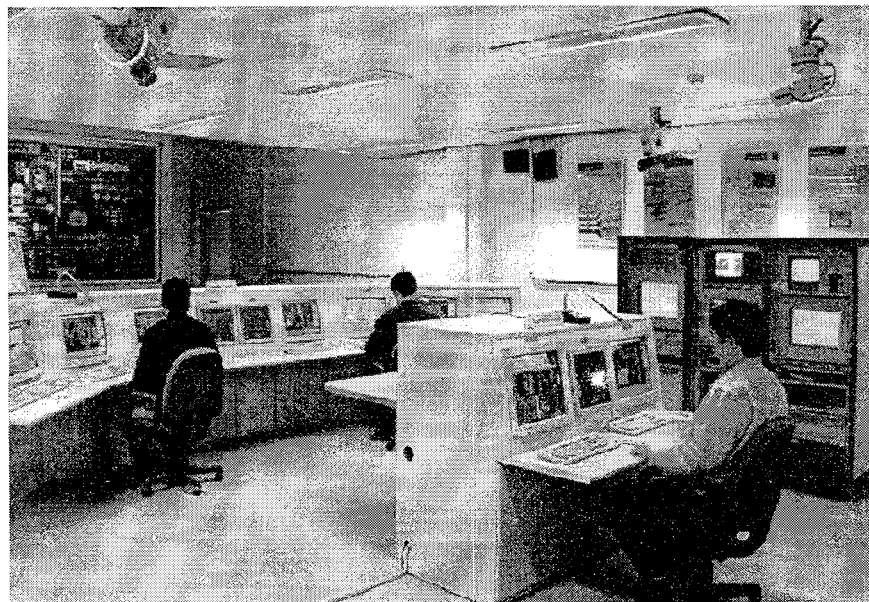


그림 1-7 한국원자력연구소 ITF의 주실험실

한편, 미국의 경우, AP-600, NUPLEX 80+ 등, 디지털 계측제어계통 및 신형 제어실을 적용하는 설계가 1990년대 중반까지 추진된 바 있다. 기존 규제요건만으로는 이러한 신형 제어실 설계의 검토에 부족함을 인식하고 미국의 NRC는 1990년대에 들어서 NUREG-0711 [2], NUREG-0700 Rev. 1 [3], Standard Review Plan 18.0 개정판[4]을 잇달아 발표하였다. 이후, 신형원전의 개발이 중단된 반면, 기존 발전소 계측제어계통의 디지털 upgrade를 앞두고 있으며, 이 upgrade는 수년동안 원자력발전소의 핵연료 재장전 기간을 활용하여 부분적 단계적으로 이루어 질 예정이다. 따라서, upgrade가 수행되는 원자력발전소의 인간-기계 연계는 Hybrid (재래식 + 신형) 형태를 띠게 될 것이며, 위에 언급한 규제문건들이 여기에 공통적으로 적용될 것이다. 미국 NRC는 위 규제문건들의 발표 이후에도 신형 인간-기계 연계에 대한 인간공학 연구의 필요성을 인정하여 지속적인 추가 연구를 수행하고 있다. 그러나, 이와 같은 미국의 연구는 신형 인간-기계 연계에 대한 자체적인 실험설비가 없는 관계로 Halden Reactor Project의 Man-Machine System 연구와 관련 연구가 활발한 항공 산업, 군수 산업 등의 연구에 의존하고 있는 실정이다. 본 과제의 상대국 책임자인 미국 NRC의 Mr. Jerry Wachtel은 1998년 1월 한국원자력연구소의 인간공학 종합실험설비(ITF)를 방문한 자리에서 ITF가 세계적 수준의 연구시설임을 확인하고 이를 활용한 공동연구 의사를 밝힌 바 있다.

현재, 우리나라에서는 계측제어 계통의 디지털화 및 첨단 인간-기계 연계 기술을 적용한 차세대원자로 개발이 진행 중에 있으며, 한국원자력안전기술원에서는 차세대원자로의 안전규제에 적용할 수 있는 차세대원자로 안전규제요건을 개발하고 있다 [5]. 따라서, 신형 인간-기계 연계 설계에 대한 인간공학적 적합성을 검토하여 설계의 안전성을 확인할 수 있는 방법론의 개발은 우리나라와 미국 공히 필요한 상황이며, 이를 위해 공통적인 관심을 가진 한국원자력연구소와 미국 NRC와의 공동연구가 지속될 필요가 있다.

제 2 절 연구개발 내용 및 범위

과제계획서상의 연구개발 목표는 “첨단제어실 설계특성 중 Soft Control에 관한 실험평가항목 도출”이며 연구개발 내용은 다음과 같다.

- Soft Control 관련 인간공학 현안 조사 및 자료 수집
- 재래식 제어반과 첨단제어실에서 운전원 제어오류에 대한 자기 감지 및 회복 특성 비교를 위한 실험수행
- Soft Control 관련 실험평가항목 도출

이중, “Soft Control 관련 인간공학 현안 조사 및 자료 수집”과 “Soft Control 관련 실험평가항목 도출”과 관련 미 NRC의 NUREG/CR-6635, Soft Controls: Technical Basis and Human Factors Review Guidance [8]이 발표되었으며, 본 과제에서는 이를 이용하여 Soft Control 현안을 정리하고 실험평가 또는 분석적인 대응 연구가 가능한 현안을 구분하였다. 그리고, 2000년에 발표된 NUREG/CR 보고서들을 이용하여 Soft Control을 포함한 신형 인간-기계 연계의 검토를 위해 추가 연구가 필요한 것으로 기술된 현안을 정리하고, 국내 현실을 감안한 시급성을 분석하였으며, 또한 이들 현안 가운데 실험평가 연구 대상인 항목을 구분하였다. 여기에 사용된 NUREG/CR 보고서들은 다음과 같다.

- NUREG/CR-6633, Advanced Information Systems Design: Technical Basis and Human Factors Review Guidance [6]
- NUREG/CR-6634, Computer-Based Procedure Systems: Technical Basis and Human Factors Review Guidance [7]
- NUREG/CR-6635, Soft Controls: Technical Basis and Human Factors Review Guidance [8]
- NUREG/CR-6636, Human Systems Interface and Plant

Modernization Process: Technical Basis and Human Factors Review Guidance [9]

- NUREG/CR-6637, Maintainability of Digital Systems: Technical Basis and Human Factors Review Guidance [10]
- NUREG/CR-6684, Advanced Alarm System: Revision of Guidance and Its Technical Basis [11]

그리고, “재래식 제어반과 첨단제어실에서의 운전원 제어오류에 대한 자기 감지 및 회복 특성 비교를 위한 실험수행”은 운전원 제어오류에 대한 자기 감지만을 대상으로 하지 않고 범위를 넓혀 운전원 자신의 오류뿐 아니라, 주제어실내 다른 운전원, 현장기기 운전원 및 계측제어 시험원의 오류를 포함하는 오류감지에 대한 실험을 수행하였다. 결론적으로, 과제계획서상의 연구내용보다 확대된 범위에 대해 연구가 수행되었다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

한국원자력연구소는 원자력기술개발 중장기 사업의 일환으로 “인간공학 기술개발” 과제를 1992년부터 1997년까지 수행하였다. 신형 제어실 설계의 인간공학적 문제에 대한 연구의 필요성을 미리 인식하여 1997년 3월 인간공학 종합실험설비(ITF: Integrated Test Facility)를 구축한 바 있다[1]. 이 인간공학 종합실험설비(ITF)는 한국 표준형 원전의 full-scope simulation이 가능하며 신형 제어실에 특징적인 CRT 기반의 운전원 작업반, 대형정보화면 등을 갖추고 있다. 그리고, 인간공학 실험에 필요한 생체신호 측정시스템, 시선추적장비, 음성 및 영상 기록 장비 등, 실험장비를 구비하였다. 시뮬레이터가 기록하는 발전소 거동, 경보, 운전원들의 작업 기록 등과 여러 인간공학 실험 장비로부터의 기록자료를 시간동기화하여 분석할 수 있는 실험자료분석지원시스템 DAEXESS(Data Analysis and Experimental Evaluation Support System)를 개발하였다. ITF의 개발 후 다른 중장기 과제인 “첨단 계측제어 기술개발“(1993년도~1997년도)에서 개발된 첨단 경보시스템인 ADIOS(Alarm and Diagnosis-Integrated Operator Support System) [12]에 대한 운전원 수행도 평가 실험을 ITF에 ADIOS를 연결하여 1997년도에 수행하였으며, 한국원자력연구소의 기반연구로 1998년도 수행된 “첨단제어실의 인간공학적 검토를 위한 실험평가 방안 확립“ 과제에서 ITF에서의 운전원 작업 특성을 조사하는 실험을 수행한 바 있다[13].

현재 국내에서는 한국전력연구원의 주도로 신형 제어실 형태를 가진 차세대원자로 인간-기계 연계(MMI) 설계가 진행되고 있다. 아래의 그림

2-1은 차세대원자로 MMI 전경을 보여준다.

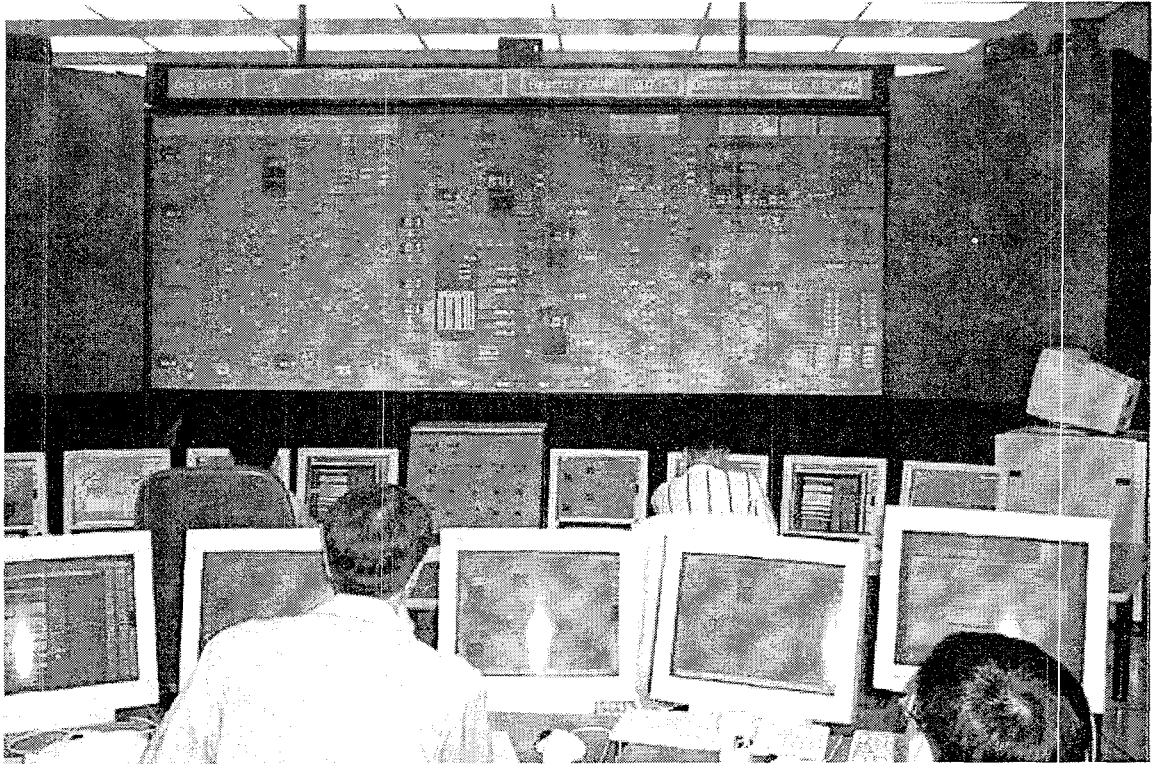


그림 2-1 차세대원자로 인간-기계 연계 전경

차세대원자로 설계개발과 관련하여 한국원자력안전기술원에서는 차세대 원자로를 위한 안전규제 기술개발 과제의 일환으로 인간공학적 규제요건을 개발하고 있으며, 이를 위해 한국원자력연구소에서는 인간공학 설계검토지침 초안[14]과 차세대원자로 인간공학 안전심사지침 초안[15]을 개발하였다. 그리고, 원자력연구개발 중장기 과제로 현재 진행중인 “차세대원자로 설계관련 요소기술 개발”에서는 한국전력연구원의 주도로 설계되는 차세대원자로 MMI에 대한 실험평가와 HRA를 위한 입력자료 생산을 수행하고 있다.

제 2 절 국외 기술개발 현황

신형 제어실 설계에 대한 규제 측면에서의 문제점 및 현안에 대한 파악은 미국의 NRC에서 많이 이루어졌다. 계측제어계통 디지털화에 따른 신형 또는 Hybrid (재래식 + 신형) 인간-기계 연계와 관련한 규제요건 및 지침의 개발은 미국 NRC가 주도하고 있다. 이러한 예로서, 1990년대 후반에 발표된 규제문건인 NUREG-0711: Human Factors Engineering Program Review Model [2], NUREG-0700 Rev.1: Human-System Interface Design Review Guideline [3], NUREG-0800 Standard Review Plan 18.0 (개정판) Human Factors Engineering (Draft) [4] 등을 들 수 있다. 그 이후에도 신형 또는 Hybrid 제어실에 관한 인간공학적 규제 입장을 정립하기에는 많은 추가적 연구를 필요로 함을 인식하여, 첨단 경보계통 특성과 인적수행도 영향 연구 및 검토지침 개발, Hybrid 인간-기계 연계 관련 인간공학 현안연구 (정보 구성 및 표시, Soft Control, 전산화된 절차서, 대형정보표시화면, 디지털 시스템의 유지보수 및 관리, 운전조 구성 및 훈련, 등)와 NUREG-0711 및 NUREG-0700, Rev. 1의 개정 등을 수행해 오고 있다.

이와 같은 미국 NRC의 연구는 주로 미 국립연구소인 BNL과 수행되고 있으며 자체적인 신형 인간-기계 연계의 실험설비가 없는 관계로 Halden Reactor Project의 Man-Machine System 연구 또는 관련 연구가 활발한 항공 산업, 군수 산업 등의 연구에 의존하고 있는 실정이다. 그리고, 신규 원전의 건설이 전혀 없는 현재 연구활동이 미약해지고 있다.

기타 다른 국가의 제어실 설계관련 인간공학 연구현황은 다음과 같으나, Halden Reactor Project를 제외한 다른 국가의 연구는 원자력 산업의 침체로 그다지 활발하지 못한 상태이다.

(Halden Reactor Project)

- 첨단 제어실 평가를 위한 HAMMLAB 2000 개발
 - PWR 및 BWR 시뮬레이터 공용
 - Unified Control Room MMI 개발
 - 대형정보화면 개발
- 제어실 현대화를 위한 지침 개발
- 운전지원시스템 개발
- Human Error Analysis Project(HEAP)
- Human centered Automation
- Computerized Alarm Systems Test and Evaluation
- Studies of operator performance at nights
- Training

(프랑스]

- 인간과 자동계통과의 상호작용 문제점 연구
- 절차서 전산화 연구

(독일]

- 첨단 제어실 평가를 위한 방법 및 도구 개발
- 재래식, Hybrid, 컴퓨터 기반 제어실의 비교 및 최적화 연구
- 제어실 설계의 인간공학 역할 조사
- 자동 계통과 인간의 균형 연구
- 인간과 자동계통의 상호작용 문제점 연구
- computer based system의 신뢰도 향상 및 인허가를 위한 첨단 분석 도구 개발
- 정보획득, 진단, 사건분석, 사건경위 판단, 훈련, 등을 위한 computer

based 운전지원 시스템 개발

(캐나다)

- 전세계의 경보계통 검토
- 첨단 제어실 설계

(일본)

- 첨단 MMI 연구
- APWR용 신형 제어실 설계 평가
- 예기치 못한 상황에서의 운전원 지원을 위한 방법론 조사

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 KAERI-US NRC간 인간공학 연구협력 약정 체결

1. 추진경위

본 과제와 관련하여 한국원자력연구소와 미 NRC는 2000년 10월 인간공학 연구협력 약정을 체결하였다. 그 동안의 약정 체결 추진 경위는 다음과 같다.

1997. 6 : IEEE Human Factors in Nuclear Power Plant Conference에 참가하여 한국원자력연구소의 인간공학 연구 현황을 소개하고 동학회에 참석한 미 NRC 인사를 접촉하여 한국원자력연구소의 ITF를 소개하였음.

1998. 1 : 미 NRC의 Jerry Wachtel과 BNL의 Dr. O'Hara가 한국원자력연구소를 방문하여 ITF를 시찰하고 ITF를 활용한 공동연구에 관해 협의함. 이때, Jerry Wachtel은 그 당시 미 NRC와 공동연구 중인 Halden Reactor Projector(HRP)와 비교하여 다음과 같은 KAERI ITF의 장점을 확인하고 공동활용 의사를 적극 표명함.

- 발전소 시뮬레이션 모델 - HRP는 미국에는 존재하지 않는 VVER type PWR이나 ITF는 미국 원자로형인 CE type PWR이므로 미국에 적용성이 높음
- 절차서의 사용 양태 및 제어반 용어 - 한국의 경우 절차서의 사용 양태가 미국과 유사하고 제어반 용어가 영어이나 HRP는 핀란드식이어서 절차서의 사용이 임의적이고 제어반 용어 또한 핀란드어를 사용하여 미국에 부적합함.

- 기타, ITF는 HRP에는 없는 인간공학 실험장비와 실험자료분석지원시스템 DAEXESS(Data Analysis and Experimental Evaluation Support System)을 갖추고 있어 실험수행 효율성이 높음.

1998. 3 : 미 NRC의 Jerry Wachtel은 귀국 후, 미 NRC의 주간 활동상황 보고문인 “Weekly Highlight”에 다음과 같은 내용으로 한국원자력연구소의 ITF 방문 소감과 함께 ITF가 공동연구에 적합한 시설임을 밝혔다.

“Weekly highlight:

At the invitation of the Korean Atomic Energy Research Institute (KAERI), Jerry Wachtel of CIHFB/DST and John O'Hara of Brookhaven National Laboratory, met with staff of its Integrated Test Facility (ITF) on January 22, 1998. The visit was suggested by Dr. Jung-Woon Lee during an IEEE Meeting on Human Factors held in Orlando, Florida in June 1997. Dr. Lee's purpose, and the NRC's interest, was to determine the potential for future collaborative research between KAERI and NRC on human factors issues, particularly with advanced nuclear power plants.

The ITF, perhaps the most sophisticated facility of its kind in the world, supports research for the improvement of nuclear power plant safety through human error reduction. It was designed in-house, and is supported by a staff of 23. The lab contains a full-scope simulator which models an actual Korean plant (essentially ABB-CE System 80). The control room contains advanced controls and displays of direct relevance to current and future NRC programs, including a large screen overview display, color CRTs with soft controls, reconfigurable flat panel displays, and programmable alarm tiles. The lab is supported by a highly sophisticated Data Analysis Experiment Evaluation Supporting System (DAEXESS). This system can record, in real time, control inputs, video and audio of crew actions, eye movement behavior and physiological performance. Data is automatically encoded and time-synchronized to permit analysis of crew workload, errors, response time, etc. Of significance to NRC, the ITF has access to licensed operators who can serve as test subjects, and the language used is English.

The ITF staff expressed a strong interest in cooperative work with NRC. KAERI is a signatory to a cooperative laboratory relationship with DOE; and participates in an international collaborative program on severe accident research organized by NRC. ITF personnel will explore these agreements to determine if they might facilitate cooperation in the human factors arena. Collaboration between NRC and KAERI in this field could enhance NRCs access to timely, sophisticated research into advanced human systems interfaces (HSI), and could add the capability to undertake relevant studies not previously possible. A current NRC research effort, The Effects of Interface Management Tasks on Crew Workload and Performance, might be an excellent candidate for such collaboration.

1998. 6 : 제 19차 한미 원자력상설공동위원회에 신규의제로 “Cooperative Research on Human Factors Using KAERI’s Integrated Tested Facility”를 상정하여 다음과 같은 합의문 도출

C-2-1. Cooperative Research on Human Factors Using KAERI’s Integrated Tested Facility (KAERI/NRC)

The ROK side opened discussion of this item, which was added to the agenda of KAERI’s request.

The ROK side noted that, in addition to the benefits of any specific collaboration, KAERI would also benefit from exploring the use of the ITF and participating in world-leading research.

The Korean side had hoped that the the U.S. side would be prepared to enter into a collaborative project at the ITF, possibly related to advanced control room design issues such as

- information design and organization
- display management and navigation
- computer-based controls, or
- computer-based procedures.

The U.S. side could make no commitments, exploring that a major review of all NRC activities, including research, was underway. The U.S. side did not know whether - and if so, how much - money might be available, either now or in the future, to support a cooperative project on human factors engineering with KAERI at the ITF, although the U.S.

side reported that Messrs. Jerry Wachtel of NRC/RES and John O'Hara of Brookhaven had been impressed by their January 1998 visit to the ITF, which they subsequently characterized to NRC management as highly sophisticated and technically excellent. They further reported that collaboration between NRC and KAERI could enhance NRC's access to timely, sophisticated research into advanced human-system interface and could add to NRC's capabilities to undertake studies not previously possible.

The U.S. side indicated that if details can be worked out, RES is considering proposing a small collaborative project with the ITF, possibly helping to develop human factors review guidance in the area of computer interface management/navigation. Jerry Wachtel of RES/CIHFB (telephone: 301/415-6498; fax: 301-415-5160 would most likely be the NRC lead on this.

The Korean side noted that it is interested in even a small-scale proposal, which it would like the U.S. side to submit, if possible. The U.S. side agreed that it would submit the results of this discussion for RES Office consideration.

1999. 6 : 제 20차 한미 원자력공동위원회 합의록 작성

C-1-13. Cooperative Research on Human Factors Using KAERI's Integrated Test Facility

Both sides acknowledged a common interest in the human factors research area related to advanced control room designs such as information design and organization, display management and navigation, computer-based controls, and computer-based procedures.

The staff and contractors (Messrs. Jerry Wachtel of NRC/RES and John O'Hara of Brookhaven) of the US side who have visited the ITF (January 1998) have characterized it to the NRC management as highly sophisticated and technically excellent. They have reported that collaboration between both sides could enhance the US sides access to timely, sophisticated research into advanced human-system interface and could add to its capabilities to undertake studies not previously possible.

The US side reported that it continue work on several projects to develop criteria and review guidance to assure that advanced control rooms do not, because of human factors, compromise safety. The results of

its studies should lead to new guidance and results which could be mutually beneficial.

The US side could make no commitments on the ITF during these discussions. The US side reported that it continues to be very interested in undertaking a collaborative effort with the Korean side and is working to secure the funding to support it. The US side is hopeful this will happen this year. Funding for the US sides safety research program is never-ending problem. The US side fights a constantly shrinking budget and competing demands.

If details can be worked out, the US side (RES) indicated that it is still considering a small scale collaborative project at the ITF, possibly helping to develop human factors review guidance in the area of computer interface management/ navigation. Jerry Wachtel of RES/CIHFB (telephone: 301/415-6498; FAX 301/415-5160) remains the US lead on this.

With a project of real mutual interest and value, the Korean side advised that contribution-in-kind might also be acceptable.

1999.12 : 본 과제 착수

2000. 6 : 본 과제책임자의 US NRC 방문 시 협력약정 초안 (Draft Letter of Agreement) 작성

2000.10 : US NRC의 Ashok C. Thadani (Director of RES)의 한국원자력 연구소 방문 시 KAERI-US NRC간 인간공학 연구협력 약정 체결 (협력 약정 전문은 부록 1 참조)

2. 협력 약정 요약

본 협력 약정에 특별히 기술되지 않은 사항은 과학기술부와 NRC사이에 2000년 9월 19일 맺은 규제 및 안전 연구에 관한 정보교환 및 협력 협정을 따름.

KAERI와 US NRC는 다음과 같은 내용으로 협력함.

- US NRC는 첨단 제어실 관련 규제입장 및 지침의 기술적 근거를 확보할 수 있도록 KAERI의 연구에 전문가 자문을 제공하며, US NRC가 수행했거나 지원한 관련 연구로부터의 결과도 제공함.
- KAERI는 인간공학 종합실험시설 (ITF)를 활용한 연구를 수행하며 연구결과를 NRC에 제공함.

제 2 절 Soft Control 현안 및 신형 제어실 추가연구 현안 분석

1. Soft Control의 인간공학 현안 및 실험적 접근 가능성 검토

가. Soft Control의 인간공학적 현안

전산화된 작업 공간을 구성하는 장점은 물리적인 공간의 축약과 컴퓨터에 의한 다양한 기능을 보장할 수 있다는 점이다. 물리적 공간의 축약은 표시장치 및 제어장치로 공통 기기를 사용함으로써 가능해진 것이며, 재래식 제어실과는 확실하게 구별되는 특성이다. 재래식 제어실의 제어기들은 개별적인 공간을 차지하고 제어가 필요한 기기와 변수 등에 대하여 각각 제어조작을 가능하도록 제공하는 수단이다. 따라서, 변수와 기기의 개수가 증가하는 경향과 비례하여 급격하게 제어기의 수가 증가하고 운전원의 신체적 혹은 감각적 한계를 초과하는 상황에 다다른 것으로 판단된다. 이는 TMI 사고로부터 그 중요성이 인식된 이래로 수많은 사고 고장 사례에서 명백하게 드러난 것이지만 오류의 대응을 위한 노력이 충분하지는 않았다. 게다가, 전산화된 새로운 MMI 기기의 도입은 그 효과에 비하여 수용도는 아직 만족스런 수준이 아니다.

CRT와 같은 다중의 복합적인 정보표시 장치와 Soft Control에는 재래식 MMI 기기에서 우려된 점을 해결하는 한편, 재래식 기기와 달리 새로운 우려점을 내포하고 있다. 본 절에서는 제어실에서 전산화된 Soft Control의 도입에 따라 우려되는 인간공학적 문제점을 설계현안으로서 요약하고자 한다. 우선 Soft Control의 도입에 따른 기기의 특성상 파악되는 기본적인 오류 가능성의 범위는 다음과 같다.

- 비의도적 작동
- 표현 오류(description error)

- 모드 오류
- 순서 착오
- 포획 오류(capture error)
- 제어 의도 망각 오류(loss of activation error)
- 진단 오류

Soft Control은 대부분 제어기능이 할당된 기기를 말하지만, 재래식 제어기에서 볼 수 있듯이 간단한 표시기능을 포함한다. 근본적으로 CRT와 같은 정보표시 기능이 가능하므로, 제어기의 본래 기능인 제어와 관련된 수많은 정보를 함께 표시해 줄 수 있다. 이점은 명백한 장점이지만, CRT에 대한 우려가 존재하듯이 유사한 인간공학적 우려 사항에 대하여 점검해야 할 것이다.

또한, Soft Control의 경우에는 재래식 제어기와 달리 제어기의 조작이 물리적인 힘에 의하여 이루어지는 경우가 드물고 재래식 제어기에 비하여 훨씬 다양한 방식이 가능하기 때문에, 조작 행위 자체에 대하여 새로운 고려가 필요하다.

마지막으로, Soft Control의 다중 복합적 특성은 장점이기도 하지만 단점으로 생각되는 새로운 주의점도 상당히 존재한다. 공간적으로 제어기능의 중복 또는 혼동 등이 우려되는 현상이다. 재래식 제어기의 공간적인 분리독립성은 여러 가지 감각적 효과를 발휘하는 반면, Soft Control의 특성은 그러한 장점과 효과를 완전히 제거하여 전혀 다른 제어작업을 수행하도록 하기 쉽다.

(1) 감시(monitoring) 기능

Soft Control도 계통의 상태와 변화를 파악하는 도구로서 중요한 역할을 한다. 특히, 기기의 가용성(availability), 운전 모드, 제어와 현재 값의

편차 등에 대해서는 매우 중요한 정보를 제공한다. 따라서, 기존 재래식 제어실에서 공간적으로 분할된 기기에 대한 시각적인 장점은 상실된다. 예를 들면, 교대나 인수인계시 이러한 차이가 분명해 질 것으로 보인다. 또한, 기존의 재래식 제어실에서 보완된 기능적인 grouping이나 구획선 (demarcation line), 기호 등, 다양한 제어기 구분 표시방식의 활용 등에 의하여 얻어진 운전 경험이 Soft Control의 정보구조 설계에 적절하게 반영될 필요가 있다.

Soft Control에 의한 감시기능의 우려 사항은 부분적인 상태 파악 (fragmented awareness) 문제이다. 운전원들이 주어진 정보를 이해하는 방식이 병행적인 방식에서 순차적인 방식으로 전환되므로 다음 몇 가지 전형적인 전산화의 우려 사항을 검토할 필요가 있다.

- 키홀(key-hole) 효과
- description error 등

이러한 우려 사항을 방지하기 위해서는 기기의 선택과 화면구성에 대하여 다음 현안을 점검할 필요가 있다.

- 특정한 대상에 접근하는 과정의 최소화, 명확화, 보수적 확인
- 정보순항 과정에서 정보의 망실 혹은 왜곡 가능성의 확인
- 복합적인 작업부하의 과다 여부 검토

이러한 현안에 대하여 일반적으로 알려진 완전한 해결방안은 없을 것이지만, 설계의 특성에 대하여 다음 사항들을 고려하는 것이 타당하다.

- 해당 제어정보 접근 방식의 축약 단순화 개선
- 하나의 소프트 제어에 대한 복수의 화면 및 접근 방식 제공
- 화면 정보들간의 의존성과 복수 기기에 대한 배치(alignment) 정보 제공 등
- 단기용 화면과 장기용 화면의 설계구분 -> 특정 제어기의 공간

적 할당 필요.

(2) 제어기의 접근 및 선택

Soft Control은 재래식 제어기에 비하여 제어기를 선택하는 과정이 추가된다. 재래식 제어기에서는 물리적인 공간으로 이동하는 것이므로 매우 명확하고 여러 가지 활용 가능한 cue들이 존재한다. 그러나, Soft Control은 보통 공통 기기를 사용하기 때문에 공간적인 이동 및 cue의 존재가 불가능하게 된다. 또한, 해당 기기를 선택하고 화면을 선택하며 세부 대상을 포함하는 화면에 접근하는데, 그 과정에서 제어 방식과 수단에 대한 선택도 이루어지는 것이 보통이다.

그러므로, 해당 기기나 변수에 접근하기 위해서 별도의 인터페이스 관리 조작(interface management task)이 추가 발생하며, 이점이 대표적인 Soft Control의 인간공학적 현안이다. EPRI [16] 또는 IEC [17] 등에서 지적한 이 문제에 대하여 복수의 제어화면과 방식 및 경로를 제공하여 접근의 실패가능성을 줄이도록 하는 일반적인 권고가 있지만, 구체적인 설계에서 의사결정을 위해서는 다음과 같은 현안들을 고려해야할 것이다. 이는 NUREG/ CR-6635 [8]에서 제어기 선택 및 접근에 대하여 4가지 단계로 구분하여 정리한 것을 보완한 것이다.

- 제어용 기기의 선택 : 공간적 근접성(proximity) 및 양립성(compatibility)에 의한 설계 의사결정
- 변수의 선택 : 메뉴 등에 대한 별도의 지침 필요
 - . 명령어보다는 직접 조작 방식이 효과적임.
 - . 순서오류 - 조작 순서 이동 방식에 대한 고려필요, 단계 및 제약 최소화
 - . 표현오류 - 심볼, 문자, 제어루프 등 화면 요소의 유사성에 대한 고려

- 입력창의 접근 : 표시 방식에 따른 일반 지침 적용 및 모드오류에 대한 주의
- 입력과 기기 화면의 협력성 : 고정 Soft Control과 중복(overlay)에 대한 주의

(3) 제어 입력

제어 입력시의 우려점은 앞에서 언급된 우려점들에 대한 중복된 사항이 많으며, 선행되는 세부조작 단계들과의 의존성에 따라 새로운 형태의 오류 가능성이 발생할 수 있다. 우선 입력을 위한 기본적인 인터페이스 관리 조작(interface management task)에 대한 고려사항이 있으며, 기기의 작동 정지 등 이산형 변수의 제어 입력과 설정치(set-point) 조작과 같은 연속형 변수의 제어 입력에서 인간공학적 고려사항이 약간 다르다.

(4) 제어 반응의 감시 확인

제어기에서 제어 입력과 함께 중요한 제어 기능은 제어 조작에 대한 궤환(feedback)이다. 제어 조작에 대한 궤환은 재래식 제어반에서는 제어기 자체의 물리적인 특성에 의하여 결정되어 자연스러운 신체 감각을 형성했었다. 그러나, Soft Control의 경우에는 궤환의 방법이 매우 다르며 궤환을 위한 수단이 제한적이다.

우선 Soft Control의 경우 제어 조작에 대한 반응의 확인, 감시를 위한 설계는 매우 중요하고 기본적인 인간공학적 요건이다. 제어 반응의 확인을 위해서 Soft Control에 빈번하게 사용되는 터치 스크린의 경우에는 제어 조작에 대한 터치에 따른 궤환을 시각적 혹은 청각적으로 제공하거나 동시에 제공하기도 한다. 그런데 시각적 방법의 대부분은 선택된 것에 대한 역상을 사용하거나 깜빡임(flashing)을 사용하는 경우가 많은데, 인간공학

적으로 매우 많은 주의점이 있다. 청각적인 cue의 경우에는 시각적인 cue의 보조적인 기능으로서 유효하다. 일반적으로 터치 스크린에 적용되는 청각적 cue는 화면 또는 특정한 화면 요소의 선택에 국한되지만 Soft Control를 위한 보다 구별된 청각적 cue가 설계되어야 한다. 특히, 제어 상태와 결과에 대한 표시에서는 일반적인 경보의 기능과 비교하여 효과적이고 명확한 설계가 제공되어야 할 것이다.

- 선택 표시 방식에 대한 인간공학적 일반 기준 만족 여부
- 제어 진행 상태에 대한 표시 여부
- 반응의 시간적인 지연의 타당성
- 제어 결과에 대한 정보 결합성

(5) 복수 제어

주어진 제어기기에서 수행되는 제어 기능이 복수의 제어일 경우에는 제어기능과 조작 행위들간의 상관관계에 의하여 다양한 우려점이 존재한다. 이러한 문제는 설계의 구체적인 부분에서 드러나는 것이지만, 복수제어에 따른 일반적인 우려점을 열거하면 다음과 같다.

운전원은 제어 조작 과정에서 여러 개의 기기와 변수에 대하여 신속한 연속 조작이 필요한 경우가 많다. 대부분의 경우 같은 기능을 가진 복수의 기기나 변수를 다루는 조작이다. 만일 신속한 반응이 필요할 경우에는 Soft Control이 가지는 접근 및 선택의 과정에 따른 부담은 결정적인 요소로 작용할 수 있다. 일반적으로 필요한 절대 시간과 노력은 그리 크지 않지만, 동일 또는 유사한 인터페이스 관리 직무의 반복은 매우 성가시거나 오류가 개입될 가능성이 크다. 예를 들면, 과도현상시(transient) 명백한 제어 의사결정에도 불구하고 신속한 반응의 실행 지연은 운전원에게 매우 불리한 조건이다. EPRI[18]가 지적한 바와 같이 동시에 복수 제어조작 할 수 없다는 점은 기존의 재래식 제어실에 비하여 Soft Control의 도입이 효

과적이지 못한 부분이다. 이 문제는 단순히 시간적인 지연과 부담의 문제가 아니라 운전원의 제어 조작을 방해할 수 있다는 점에서 신중하게 확인되어야 할 것이다. 따라서, 직무분석 또는 기능분석에서 신속한 연속 조작이 필요한 제어 기능이 필요한 경우를 검토하여 HSI에서 최소한 제공되어야 할 Soft Control의 개수를 요건으로 제공하고 확인하는 것이 타당하다. NUREG/CR-6635[8]에서는 이러한 경우를 대처하기 위한 설계 고려사항을 다음과 같이 요약하였다.

- 병행해야 할 제어 화면의 수를 줄인다.
- 제어 조작을 위해 접근해야 할 단계의 수를 줄인다.
- 지연을 줄인다.
- 제어기 수를 늘린다.
- 제어가 필요한 경우를 줄인다.

제어 조작의 유보 혹은 취소를 위한 방법도 매우 중요한 고려사항들이 있다. Soft Control에서 복수의 제어를 실행할 경우에는 그 중에서 일부를 취소하거나 유보시키는 방법에 대해서는 주의해야 한다. 우선 그러한 기능의 제공이 긍정적인 효과와 함께 부정적인 점을 같이 수반함을 인식해야 한다. 예를 들면, 운전원의 단기기억능력이 충분히 신뢰할 만한 것이 아니기 때문에 유보된 제어 기능에 대한 정보의 표시 및 접근 방식의 제공은 매우 중요하다. 운전원이 복수의 제어 조작에서 일부분의 유보 또는 취소를 기억해낸다는 것은 거의 기대하지 않는 것이 좋다. 또한, 취소 방식에 대해서도 동일한 개념이 적용되어야 할 것이다.

다수의 운전원 혹은 기기를 활용하는 제어실의 경우에는 Soft Control에 대한 접근을 동시에 여러 사람이 수행하고자 할 가능성이 있다. 또한, 조작 후에 다시 조작하거나 서로 상태파악에 대한 시차로 인하여 오해될 경우가 있다. 따라서, 복수의 제어기능을 복수의 운전원에 의하여 수행하는 경우에는 특정한 운전원에 제공된 작업공간에서 수행할 수 있는 제어

조작에 제약을 두는 것이 보통이다. 그러나, 완전히 분할된 권한을 제공하는 것이 타당할 지에 대해서는 이론의 여지가 있으며, 감독자의 경우에 Soft Control의 접근에 어느 정도의 권한을 제공할 것인지는 설계에 따른 효과와 상태의 검토가 필요하다. 전체적인 제어 조작에 대한 상태를 보이는 화면을 공유하는 방식도 보완 방식으로 유익할 것이다.

(6) 가변적 요소

재래식 제어실 설계에 비하여 Soft Control과 같은 컴퓨터 기반의 HSI 기기를 사용하는 근본적인 장점은 필요한 기능에 대한 유연성에 있다. 다른 산업분야에서는 운전원이 원하는 방식으로 다양한 조합과 방식의 화면 및 정보를 구성할 수 있다. 눈금이나 단위, 표시 범위와 변수들간의 상대적인 표시, 조합 등과 같은 Soft Control의 가변성의 장점을 최대한으로 활용함은 당연한 경향이다. 설계과정에서 사용자인 운전원의 선호에 대한 고려가 반영되는 것은 물론 운전하면서 운전원이 때에 따라 다양한 방식을 선택할 수 있을 것이다. 그러나, 원자력 분야에서는 이러한 가변적 요소의 활용을 위해서는 인간공학적인 고려사항에 대하여 조금은 신중해야 한다.

가변적인 요소와 관련하여 최우선적으로 고려되어야 할 점으로 자극-반응 조합의 스테레오 타일 고려에 대한 다음 두가지 일반 지침을 적용할 수 있다.

- 스테레오 타일에 벗어날 경우에 대한 대비 - 명확한 반응 제공
- 스테레오 타일에 잘 맞도록 구성의 자동 조정

그밖에도 심볼 등과 같은 코딩 방식에서도 유사한 주의점이 존재할 것이다. 실제로 검토되어야 할 내용은 설계의 구체적인 내용에 따라 상당히 다를 것이지만, 일반 원칙으로는 가능한 한 운전원에게 가변성을 활용할

수 있는 여지를 제공하되, 스테레오 타옉과 같은 원칙을 벗어날 수 있는 가능성에 대해서는 기기가 스스로 조절하거나 제한을 두는 것이 타당하다.

(7) 타 HSI 연관 및 기타

Soft Control이 다른 HSI 기기에 대하여 통합된 설계로 이루어질 경우에는 다른 HSI 기기에서 사용되는 상호작용 방식과 일관성을 유지하거나 오히려 구별되는 수단도 많이 사용된다.

- 현저하게 다른 것에 비해 약간 다른 방식들과의 구별성 문제
- Soft Control을 포함하여 상당한 수준으로 표준화된 운전조작 제공 여부
- 동적인 시뮬레이션에 의한 오류 및 수행도 확인
- 다른 HSI 기기와의 상호작용 등에서의 일관성 유지
- 타 HSI 기기와의 결합성 : 특히 표시 장치
- 제어기 활용에 필요한 스키마의 획득과정(훈련 요건 등)에 대한 확인

나. 현안의 확인 및 검증을 위한 인간공학적 접근방법에 대한 판단

(1) Soft Control에 대한 인간공학적 현안의 요약

Soft Control의 인간공학적 현안들이 가지는 다양한 특성으로 보아 이러한 현안을 해결하기 위해서는 다양한 확인 및 검증 방법이 필요하다. 간단한 점검표(checklist)로부터 실제 상황을 모사하는 시뮬레이터 운전 실험에 이르기까지 다양한 방법 중 특정한 방법이 현안을 해결하는 우월한 방법은 없으므로, 현안의 내용과 성격에 따라 확인 및 검증의 방법을 판단해야 할 것이다. 그러나, 특정한 설계의 고유한 특성과 실제 엔지니어링의 제

약에 따라 각 현안의 내용도 상당히 변화될 수 있으며, 일반적으로 적합한 확인 및 검증의 방법론을 판단하는 것은 쉽지 않을 것이다.

여기서는 실험적인 확인 및 검증 방법이 효과적일 것으로 추정되는 현안에 대하여 논의한다. 선정의 기준은 한국원자력연구소 인간공학 실험실인 ITF를 활용할 수 있는 상황을 가정하며, 재래식 제어실 설계에 대한 검토 경험을 가진 것으로 가정한다. Soft Control의 종류는 특정한 기기 유형을 가정하지 않았으며, 다양한 종류의 기기에 대하여 확인 및 검증이 필요한 현안을 열거하고자 하였다. 표 3-1은 앞에서 언급한 Soft Control의 우려점을 요약한 것이다.

(2) 실험적 연구가 필요한 현안

Soft Control에 대한 인간공학적 현안들의 대부분은, 가능하다면 실험적 확인 및 검증을 통하여 실증적으로 확인하는 것이 바람직할 것이다. 그러나, 일부 현안의 경우에는 기능분석 및 직무분석 등과 같은 설계를 위한 인간공학적 분석과정에서 상당부분 해소될 수 있는 여지가 있는 것도 있다. 또한, 실험적인 방식을 택하는 경우에도 인간공학적 분석 과정에서 도출되는 구체적인 요건에 따라 실험계획이 성립되는 것이 바람직하다. 다음의 표 3-2는 표 3-1의 현안 목록에 대해 분석적인 연구와 실험적인 연구로 대응이 가능한 지를 구분한 것이다.

표 3-1 Soft Control의 인간공학적 현안목록

현안의 구분	현안의 내용 및 주요 기술적 검토요소
감시 기능	- 기존 제어반의 시각적 공간적 구분 효과 유지
	- 기존 설계의 인간공학적 보완 내용 유지 여부
	- 특정한 대상에 접근하는 과정의 최소화/명확화 보수적 확인
	- 제어기의 정보순환 과정에서 정보의 망실 혹은 감시 내용 왜곡 가능성의 확인
	- 복합적인 작업부하의 과다 여부 검토
접근 및 선택	- 고정된 제어기 설치 요건의 만족 확인
	- 제어기기의 공간적 근접성(proximity) 및 부담
	- 제어기의 양립성(compatibility) 및 부담
	- 제어기의 순서 오류 가능성 및 과급 확인
	- 유사성에 의한 표현 오류 가능성 및 과급 확인
	- 입력창의 접근시 제어 선택 의사 망실 대비 확인
	- 입력창의 접근 : 표시 방식에 따른 일반 지침 적용 및 모드 오류에 대한 대비 확인
- 입력과 기기 화면의 협력성 : 고정된 Soft Control와 중복(overlay)에 의한 오류 대비 확인	
제어 입력	- 제어 입력창 설계의 일반 기준 만족 여부
반응 확인	- 선택의 표시 방식의 인간공학적 기준 만족 여부
	- 제어 진행 상태에 대한 표시 여부
	- 반응의 시간적인 지연의 타당성
	- 제어 결과에 대한 정보 결합성
복수 제어	- 병행 제어의 필요성에 대한 요건 분석 및 확인
	- 제어 조작의 유보 혹은 취소에 대한 오류 가능성 확인
	- 동시 혹은 오류 접근에 대한 대비 확인
가변적 요소	- 가변 요소의 일반 원칙
	- 스테레오 타일에 대한 고려
	- 가변 요소에 대한 자동 조정 기능의 여부 및 타당성
타 HSI 연관	- 현저하게 다른 것과 약간 다른 방식들과의 구별성 효과
	- Soft Control를 포함하여 상당한 수준의 표준화된 운전조작 제공 여부
	- 동적인 시뮬레이션에 의한 오류 및 수행도 확인
	- 다른 HSI 기기와의 상호작용 등에서의 일관성 유지
	- 타 HSI 기기와의 결합성
- 제어기 활용 스키마 획득과정(훈련요건 등)에 대한 확인	

표 3-2 Soft Control의 인간공학적 현안의 대응 연구 방식 구분

현안의 구분	현안의 내용 및 주요 기술적 검토요소	분석	실험
감시 기능	- 기존 제어반의 시각적 공간적 구분 효과 유지	0	
	- 기존 설계의 인간공학적 보완 내용 유지 여부	0	
	- 특정한 대상에 접근하는 과정의 최소화/명확화 보수적 확인	0	0
	- 제어기의 정보순행 과정에서 정보의 망실 혹은 감시 내용 왜곡 가능성의 확인	0	0
	- 복합적인 작업부하의 과다 여부 검토		0
	- 고정된 제어기 설치 요건의 만족 확인	0	0
접근 및 선택	- 제어기기의 공간적 근접성(proximity) 및 부담		0
	- 제어기의 양립성(compatibility) 및 부담		0
	- 제어기의 순서 오류 가능성 및 과급 확인	0	0
	- 유사성에 의한 표현 오류 가능성 및 과급 확인	0	0
	- 입력창의 접근시 제어 선택 의사 망실 대비 확인	0	0
	- 입력창의 접근 : 표시 방식에 따른 일반 지침 적용 및 모드 오류에 대한 대비 확인	0	0
	- 입력과 기기 화면의 협력성 : 고정된 Soft Control와 중복(overlay)에 의한 오류 대비 확인	0	
제어 입력	- 제어 입력창 설계의 일반 기준 만족 여부	0	0
반응 확인	- 선택의 표시 방식의 인간공학적 기준 만족 여부	0	
	- 제어 진행 상태에 대한 표시 여부	0	
	- 반응의 시간적인 지연의 타당성	0	0
	- 제어 결과에 대한 정보 결합성	0	
복수 제어	- 병행 제어의 필요성에 대한 요건 분석 및 확인	0	0
	- 제어 조작의 유보 혹은 취소에 대한 오류 가능성 확인	0	0
	- 동시 혹은 오류 접근에 대한 대비 확인	0	
가변적 요소	- 가변 요소의 일반 원칙 만족 여부	0	
	- 스테레오 타일에 대한 고려	0	
	- 가변 요소에 대한 자동 조정 기능의 여부 및 타당성		0
타 HSI 연관	- 현저하게 다른 것과 약간 다른 방식들과의 구별성 효과		0
	- Soft Control를 포함하여 상당한 수준의 표준화된 운전조작 제공 여부	0	
	- 동적인 시뮬레이션에 의한 오류 및 수행도 확인		0
	- 다른 HSI 기기와의 상호작용 등에서의 일관성 유지	0	
	- 타 HSI 기기와의 결합성	0	0
	- 제어기 활용 스키마 획득과정(훈련요건 등)에 대한 확인	0	0

2. 신형 제어실 추가연구 현안 분석

미 NRC는 1990년대 중반 발표된 신형 및 Hybrid형 제어실에 대한 인간공학 규제문건으로 NUREG-0711과 NUREG-0700 Rev.1을 발표한 바 있다. 그러나, 추가 연구의 필요성을 인식하고 지속적인 연구를 수행하여 2000년 3월 NUREG/CR-6633, 6634, 6635, 6636, 6637[6, 7, 8, 9, 10]과 2000년 8월 NUREG/CR-6684[11]을 발표하였다. 이 보고서들은 NUREG-0711 및 NUREG-0700 Rev. 1에 보완적으로 고려될 신형 또는 Hybrid형 제어실에 대한 인간공학적 검토 지침을 기술하였다. 그리고, 이러한 보완적인 검토 지침 외에 Advanced Information Systems Design, Computer-Based Procedure Systems, Soft Controls, Human Systems Interface and Plant Modernization Process, Maintainability of Digital Systems, Advanced Alarm System 분야에 대해 추가 연구가 필요한 현안들을 기술하였다.

본 과제에서는 이 추가연구가 필요한 현안들을 정리하고, 차세대원자로 개발 등, 국내 실정을 고려한 추가연구 현안의 시급성을 분석하였으며, 또한 ITF를 이용한 실험평가로 지침개발 연구가 가능한 현안들을 구분하였다.

가. 추가연구가 필요한 현안

(1) Advanced Information Systems Design

여기서는 그 동안 신형 인간-기계 연계에 시도되었던 표준적인 CRT 기반 정보표시를 대상으로 삼은 것이 아니라 주로 EID(Ecological Interface Design)와 같은 비교적 최근에 연구가 수행된 진보된 인지공학적 정보표시 기법들에 대한 현안들을 다루었다. 그러나, 일부 현안들

은 표준적인 CRT 기반 정보표시에도 적용이 가능한 것이다. 이 분야의 현안들은 Technical Basis Issues, Design Review Issues, Operator-Related Issues의 세 그룹으로 구분되어 기술하였다.

(Technical Basis Issues)

Lack of a Well-Defined EID Process

EID(Ecological Interface Design) 접근방법이 시스템 공학 공정의 진보를 가져올 것으로 생각되지만, 추상 계층(abstraction hierarchy)을 사용한 분석을 수행하기 위한 잘 정의된 공정을 개발하는 것이 EID의 설계 공정에 대한 폭 넓은 적용에 중요하다.

Lack of Specific Representation Guidance

진보된 graphic form에 관한 연구는 아직 초기단계이다. 몇 가지 일반적 지침은 작성할 수 있지만, 정보표시에 관한 완전한 집합의 지침을 개발하기 위한 견고한 기술적 근거를 제공하는 실질적이고 결정적인 연구는 부족하다.

Evaluation of Operating Experience

운영중인 시설에 설치된 EID 화면에 대해서 운용 경험 및 이의 EID에 적용 사례가 심도 깊게 평가되어야 한다. 이러한 경험은 HSI의 EID 측면을 다루는 설계검토의 기준을 형성하는데 중요한 것이다.

Critical Testing and Evaluation of EID Concepts

EID의 여러 가지 측면, 즉, 정보 요건, 기능적 정보 구성 효과, 정보표시 방식, analytical redundancy의 사용을 주의 깊게 평가한 심도 깊은 연구가 많지 않다. 관련 연구들은 이러한 특성을 혼동시키거나 EID 개념의 여러 측면이 가져다주는 기여에 대해 미약한 평가만을 제공한다.

복잡한 시스템의 실제 운전조건하에서 EID가 계획되지 않고 예상치 못한 사건에 성공적으로 사용됐는지는 아직 증명되지 않았다.

A-A(Abstraction-Aggregation) matrix의 어느 cell이 중요한지를 분명하게 결정하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

Evaluation of Displays

화면표시 평가를 위한 좀더 포괄적인 방법론이 필요하다. 예를 들면, 결정적 검토 지침의 부재는 동적 평가로 보완되어야 할 것이다. 평가 기준이 다루어져야 할 것이다.

(Design Review Issues)

Task and Temporal Considerations

A-A matrix와 EID 접근방안은 발전소를 직무 또는 시간적(temporal) 기반에서보다는 기능수준에서 다루고 있다. 하지만, 직무요건과 부합하는 정보 제시의 중요성은 시스템적 접근방안(systems approach)의 기본적인 근거가 되어 왔다. 정보가 운전원 직무보다 발전소 계통으로 구성된 많은 새로운 발전소 정보체계에서는 이에서 벗어나 있어 문제가 된다.

EID 방식은 목적-수단(goal-means) 관계의 기능적 분할에 근거를 두고 개발된 것으로 보인다. EOP와 같이 고도로 절차화된 일반 직무와 이상 상태에 EID 방식이 어떻게 잘 관계를 맺을 것인가? 예기치 못하고 계획되지 않은 사건을 다룰 수 있다는 것은 중요한 반면, 대부분의 운전원 활동이 계획된 것이어서 이러한 활동 또한 지원할 필요성이 있다.

정보표시 설계에서 직무기반 정보의 적절한 역할과 어떻게 EID 방식과 통합되어야 하는가를 연구할 필요가 있다.

Volume of Information

EID에 사용되는 과도한 분석과정 때문에 A-A matrix를 포함하여 EID

공정은 실제적으로 표시 가능한 정보보다 많은 정보를 도출하게 될 수 있다. 또한, 너무 많은 정보표시 화면수가 EID의 정보요건을 만족시키기 위해 필요할 수도 있다.

Density of Display Information

정보의 증가는 개별 정보표시 장치의 정보 밀도를 증가시킨다. 증가된 정보 밀도는 interface 조작 작업을 최소화할 수 있는 반면 중요한 정보의 두드러짐을 떨어뜨린다. 밀도가 높은 정보표시의 다른 현안은, 어떤 운전원 직무에 대해서는 관련 없는 정보량이 증가하고, 인간 수행도 측면에서 볼 때, 관련 없는 정보가 증가함에 따라 수행도가 감소한다는 점이다.

Operator Use of a Large Span and Variety of Displays

원자력발전소 운전원에게 선택 가능한 아주 다양한 다른 수준의 정보화면이 제공된다면, 설계자는 얼마나 많은 수의 정보화면이 충분한지를 어떻게 결정할 것인가? 단일 정보화면 내에서 혹은 가용한 전체 정보표시에서 너무 많은 정보가 운전원에게 제공된다면 운전원이 직무 수행에 적절한 정보표시를 선택할 수 있을까? 또는 운전원이 직무 수행에 가장 적합하지는 않더라도 소수의 선호하는 정보표시만을 선택하는 경향이 있을까? 운전원이 변화된 직무에 따른 정보화면 전환을 할 때 적절한 것을 선택할 수 있을까? 이러한 우려 사항을 다루기 위해 어떤 종류의 훈련이 개발되어야 할까?

이 모든 질문에 대한 추가적 연구가 필요하다.

System Complexity and Emergent Features

종합적 및 형상적(integral and configural) 정보표시가 나타내는 배경영역(underlying domain)의 복잡성 증가와 관련한 현안이 있다. 원자력

발전소와 같은 복잡하고 동적인 시스템에 대해서는, 즉시적 특성(emergent features: 운전원에게 한눈에 정상, 비정상을 구분할 수 있도록 하는 정보표현 특성)의 동적 측면은 잘 알려져 있지 않다. Graphic 표현에서 복잡도가 증가함에 따라 정보표시 방법 또한 복잡해진다. 발전소의 복잡성을 다룰 수 있는 종합적 및 형상적 표현과 즉시적 특성에 관한 연구가 필요하다.

Perceptual Resolution

종합적 및 형상적(integral and configural) 정보표시는 즉시적 특성(emergent features)의 변화를 이식함과 같은 인식 과정을 필요로 한다. 그러나, 변형되었음을 인식하도록 하기에는 기하학적 형태가 어느 정도 변화해야 하는가에 대한 연구가 필요하다.

Elements of Configural Display

형상적 정보표시(Configural Display)는, 특히 집중된 직무를 지원함에 있어서 디지털 정보를 포함시킴으로써(예를 들어), 보강될 수 있음이 연구에 의해 알려져 있다. 정보표시 요소의 인간 수행도에 미치는 효과와 다른 유형의 정보표시와의 관계에 의한 효과에 대해 좀더 잘 알기 위한 연구가 필요하다.

Effects of Instrumentation Failures

EID 정보표시에 미치는 계측기 고장(Instrumentation Failures)의 영향은 다룰 필요가 있는 중요한 문제이다. 이 문제와 관련된 다음과 같은 현안이 존재한다.

- 운전원이 계측기 고장을 감지할 수 있는가?
- 계측기 고장이 실제 플랜트 고장으로 운전원이 해석하도록 표시할 가능성이 있는가? 그리고, 더욱 중요하게는, 실제 플랜트 고장이 계측기

고장으로 잘못 해석될 가능성이 있는가?

- 운전원이 고장을 감지하면 정보표시 사용을 중지해야 하는가?
- 많은 변수들이 한 정보표시에 통합되어 있기 때문에, 그 작동 상실의 결과는 어떤 것이며 운전원이 backup display로 잘 전환할 수 있을까?

Organization of Information

정보표시 화면 및 정보표시 구조(display pages and networks)의 구성은 중요한 연구 현안으로 남아 있다. 대규모의 복잡한 정보체계에 대한 자료가 거의 없다. 정보의 구성과 다른 설계 고려 사항, 즉 가용한 정보표시 면적, interface 조작 기능 등과의 상호작용이 있기 때문에 이 현안에 대한 연구는 수행하기가 힘들다.

어떤 연구는 현재의 인간공학 지침과 원전 실무에 반하는 결과를 나타낸다. 즉, 매우 밀도가 높은 정보표시가 더 나은 수행도를 유도하고 운전원들도 선호하고 있는 것으로 밝히고 있다. 더욱이, 어떤 연구에서는 기능 및 계통에 의한 일반적인 정보 구성 사례가 운전원에게 어렵다고 밝힌 바 있다. 이러한 연구결과는 interface 조작 관련 작업부하의 영향, 즉 운전원이 interface 조작에 최소의 노력을 들이려 한다는 점을 보여주는 것이다. 밀도가 높지 않은 정보표시는 정보 화면의 수를 증가시키고 정보를 찾아 내기 위한 interface 조작의 량을 증가시킨다. 유사하게, 발전소 계통에 따른 정보화면 구성은 직무 수행 시의 interface 조작 작업부하를 증가시킨다. 좀더 복잡하게 만드는 인자는 인간-기계 연계(HSI: Human-System Interface)의 유연성이다. 인간-기계 연계의 유연성은 정보표시 구조의 정확한 모형의 개발을 저해할 수 있다.

운전원이 정보표시 구조를 여러 가지 다른 방법으로 볼 수 있다면 정보 구성을 이해하기가 더욱 힘들어지고, 결과적으로 정보화면이동(navigation)이 더욱 예측하기 힘들게 될 수 있다.

따라서, 정보표시 화면 및 정보표시 구조(display pages and networks)의 구성은 중요한 인간 수행도 현안이며 추가 연구가 필요한 것이다.

Integration of EID Displays into Remainder of HSI

새롭고 상당히 다른 EID 정보화면을 나머지 제어실의 표준 인간-기계 연계와 종합하는 것은 다루어야 할 중요한 고려 사항이다.

(Operator-Related Issues)

Implication for Training and Qualification

Christoffersen 등[19]은 다음과 같이 결론을 내리고 있다. “EID의 이점을 체험하기 위해서는, 운전원이 절차적이기보다 기능적으로 사고하도록 훈련될 필요가 있으며, 이는 원자력발전소 운전 철학의 근본적인 전환을 요할 것이다. 원자력 산업의 전통적인 운전원 선발 과정에서 고려되지 않은 특정 유형의 인지적 특성을 가져야만 될 수 있다.”

EID interface가 장기간의 학습(long-term learning)과 기억력(retention)을 저해할 수 있다는 우려점이 표명된 바 있다. 또한, 정보가 복잡하고 많은 양이 하나 혹은 소수 그림에 축약된 정보표시 화면에 대한 훈련 요건은 매우 중요해진다. 운전원은 그 정보표시의 모든 측면을 이해하고, 다양한 운전 과도상태, 사고 상황, 계기 고장 등에 어떻게 반응하는지를 잘 알아야 할 필요가 있다. EID 방식의 정보표시가 운전원의 수행도 및 운전전략에 미치는 장기적 영향에 대해서는 알려진 바가 거의 없다.

Acceptance by Operators

새롭고 다른 유형의 정보표시에 대한 운전원 수용도 관련 현안 역시 중요하다. EID 정보화면을 초기에는 훈련 시에 도입하고 점차적으로 실제 발전소에 투입하는 것을 Rankine cycle 실험 예에서 제기된 바 있다.

Internal vs. External Mental Model

어떤 모형(EID 등의 기본이 되는)이 발전소 공정과 보조계통을 정확히 특성화하여도 운전원의 훈련, 경험, 인지적 능력을 반영해야 함은 중요한 사항이다. 발전소 운전원의 상황 평가(situation assessment), 감시 및 감지(monitoring and detection), 반응 계획 수립 및 이행(response planning and implementation)에 대한 인지적 요건을 반영하지 않고 발전소 계통을 특성화하는 정보표시 설계는 부정적 수행도를 초래할 수 있다. 발전소 계통의 특성화와 인지적 요건간의 균형을 달성하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

(2) Computer-Based Procedure Systems

Methodolgical and Criterion Requirements for Evaluating CBP Effects

CBP의 가치에 대한 명확한 결론은 실제로 운용한 실적의 부족과 질적으로 우수한 실험을 통한 평가가 부족하기 때문에 속단하기 어렵다. 사실상 CBP에 관한 평가는 평가기준(criteria)를 설정하기 어렵다는 사실로 인해 기본적인 문제점을 가지고 있는 현실이다. 일반적으로 생각할 수 있는 해결방안은 PBP와 비교하는 것이다. 설계된 CBP가 PBP보다 나은 수행도를 보여주어야 한다거나 혹은 PBP보다 나쁘지는 않아야 한다는 등의 판단기준을 제시하기도 한다. 그러나 궁극적으로 필요한 판단기준은 CBP를 개선하는 경우 이로 인한 수행도 증감을 대상으로 활용할 수 있는 판단기준이다. 설계과정 중 혹은 운용 후 설계개선을 수행하거나 설계개선이 제안된 경우는 빈번할 것으로 예상되며 이때 활용할 수 있는 적절한 판단기준을 마련한다면 CBP의 성능향상은 가속화되고 발생할 수 있는 많은 운용상의 문제점이 해결될 것이다. CBP의 수행도를 평가하는데 적용할 수 있는 판단기준은 일반화되지 않을 수도 있다.

특정 CBP를 위해 고안된 판단기준은 반드시 다른 개념으로 설계된 혹은 다른 운전환경을 대상으로 고려된 CBP에 적용하는 것은 부적절할 것이다. 그러므로 한가지 더 지적하고 싶은 점은 판단기준을 설정 혹은 개발하는 경우 평가방법에 관한 사항을 제한해 두어야 한다는 점이다. 제한된 평가방법내에서는 설정 혹은 개발된 평가기준이 반드시 의미가 있도록 하여야 한다. CBP의 가치는 이러한 판단기준과 평가방법으로 명확히 판단될 수 있을 것으로 예상된다.

Role of Plant Personnel in Managing Procedures

절차서는 운전원이 운전목표를 달성하도록 이끌어주는 역할을 한다. 절차서는 이미 분석된 상황에 대해서 대개는 올바른 즉 안전하고 신속한 운전경로를 제시해 줄 것이고 운전원은 따라서 적절한 절차서를 선정하고 적용해야 하는 감독자와 같은 역할을 한다. 운전원은 적절한 절차서를 선택했는지 또한 주어진 운전상황을 계속적으로 감시하면서 절차서를 참조해야 한다. 따라서 운전원은 절차서와는 독립성을 유지해야 할 필요가 있다. CBP를 활용하는 경우 우려되는 점 중의 하나는 이 독립성이 유지되지 않을 가능성이 높다는 점이다. 운전원은 절차서를 마냥 따르는 경향이 있으며 상당히 많은 신뢰성을 절차서에 부여하고 의존하는 행태를 보일 수 있다. 이를 방지하기 위한 방안은 CBP의 설계와 운전원 훈련이다.

운전원의 작업부하 및 오류를 경감시키면서 또한 운전조(다른 운전원)의 직무를 감시하면서도 운전원과 절차서간의 독립성을 유지할 수 있도록 CBP를 설계하고 운전원을 훈련시키는 일은 중요한 일이다.

Team Performance

CBP는 운전원의 역할 및 팀워크, 그리고 운전원간의 의사소통에 영향을 준다고 알려져 있다. CBP는 운전원별로 할당된 워크스테이션으로 구성

된 신형 주제어실에 일반적으로 적용되는데, 기존의 주제어실이 가지는 운전조건의 의사소통 및 팀워크 관점에서의 장점인 수평관측(Horizon of Observation : 병렬형 정보배치), 작업 개방성(Openness of Tools : 다른 운전원의 작업을 알고 있음), 그리고 상호작용 개방성(Openness of Interaction : 운전원간의 의사교환 및 정보교환) 등을 이어받지 못할 가능성이 있다.

고립된 운전원의 작업반(workstation)상에 RO와 TO는 서로의 작업내용에 관한 정보를 기존의 주어실에서보다는 알기 어려울 것이며 또한 SRO는 CBP를 통해 EOP의 상황을 잘 알고 있을 지라도 RO와 TO는 그렇지 못할 가능성이 있으며 또한 기존의 주제어실보다 SRO와 RO 혹은 TO간의 의사소통 횟수가 줄어들 수 있다. 이러한 상황은 운전원 개인의 상황인식도에 많은 차이를 줄 수 있다.

Situation Assessment, Response Planning, and Operator Error

운전원의 상황인식도에 대한 CBP의 영향은 그리 자세히 평가되지 않고 있다. CBP와 관련하여 운전원이 판단하고 있어야 할 주요사항은 절차서 스텝(procedure steps), 절차서 구성, 절차서 내에서의 현재위치, 운전목적에 비추어 선택된 절차서의 적절성 그리고 전반적인 발전소 상황 등이다. CBP의 사용으로 인한 상황인식도의 저하가 언급되어 왔다. 운전원의 CBP에 표시되지 않는 정보를 탐색하지 않는 경향이 있으며 SRO는 전반적인 운전상황을 파악하는 경우에 다른 운전원으로부터 제시된 정보보다는 CBP를 활용하는 경향이 있다고 보고되고 있다. 현재 CBP와 운전원 오류 유형 및 빈도와의 관련성이나 오류탐지 능력, CBP의 사용이 불가능한 경우 운전원의 조치 능력 등에 관한 지식은 부족한 상태이고 이는 연구를 요구하고 있는 실정이다. 상황인식도와 관련된 또 다른 문제는 복잡성과 함축도(Level of Abstaraction)이다.

일반적으로 CBP와 같은 전산지원시스템의 경우 운전원은 이에 관한 매

우 훌륭한 정신모델(mental model)을 가지고 있어야 한다. 그렇지 못한 경우에는 열등한 상황인식도를 야기할 가능성이 높다.

함축도는 운전원에게 제시되어야 하는 정보의 양과 질로 간주할 수 있는데 이는 운전원의 상황인식도에 영향을 미칠 것이다.

Level of Automation of Procedure Functions

CBP에 적용할 수 있는 자동화의 수준은 다양할 것이다. 이러한 자동화 수준은 운전원의 수행도, 상황인식도, 작업부하, 그리고 오류에 영향을 줄 것이다. 따라서 자동화된 절차서 기능과 운전원의 개입, 독립성, 그리고 감독관리 간의 절충관계(trade-off)는 조사되어야 한다. 또한 운전원의 개입이 자동화보다 우수한 경우에도 무리한 자동화가 이루어지지 않았는지를 확인하는 것도 중요하다.

Keyhole Effects and Use of Multiple CBPs

병렬형 정보배치가 아닌 CBP는 근본적으로 운전원에게 한순간에 제시해 줄 수 있는 정보의 양에 한계를 가지는데 이는 운전원의 작업부하를 증가시키기도 한다. 다수의 절차서를 운전원이 적용하여야 하는 경우 정보접근이 제한되므로 이른바 keyhole effect 상황에 운전원이 빠질 수 있다. 이로 인해 운전원은 다수의 절차서 전체 중에서 현재의 위치를 잃게 될 가능성이 있다.

CBP Failure in Complex Situation

만일 CBP로 부터 PBP로 전환해야 하는 경우가 운전중에 발생한다면, 운전상황이 단순한 경우 이는 쉽게 이루어 질 수 있을 것이다. 그러나 다수의 절차서를 활용하고 있었거나, 절차서의 많은 스텝이 수행되었으나 아직도 많은 수의 스텝이 남아있거나, 시간적으로 여유가 없는 스텝이 많이 있거나, 혹은 CBP에 의해 감시되고 있는 스텝이 있는 경우에는

전환(transition)이 매우 복잡할 것이다. 사실 이와 같은 복잡한 상황에서 운전원은 사고를 어떻게 완화할 수 있을지는 알려져 있지 않다.

Hybrid Procedure System

때로는 CBP가 모든 절차서가 아니라 EOP만을 대상으로 구현될 수 있다. 이런 경우 문제가 되는 것은 EOP는 발전소 운전중에 자주 사용하는 절차서가 아니라는 점이다. 전산운전지원시스템에 관해 가치있는 제안중의 하나는 전산운전지원시스템을 운전원의 일상적인 운전작업에 포함되도록 운용하라는 것이다.

대부분의 전산운전지원시스템이 특정의 상황에서 활용되도록 개발되는데 이보다는 운전원이 평소에 익히 사용하고 그 시스템에 친숙해져서 특정한 상황이 발생한 경우에도 당황하거나 어려움 없이 시스템을 사용하게 하려는 의도이다. 이는 CBP에도 동일하게 적용되어야 한다고 판단된다.

Specific CBP Design Features

CBP의 설계특성(예를들면 text와 flowchart, outline view, navigation aids, highlighting 등)에 관한 더 많은 지침이 필요하다.

(3) Soft Controls

Time Delays and Control Stability

디지털 시스템에서의 시간지연(time delay) 가능성 및 Soft Control 조작의 연속적 특성 때문에, 특히 비상시에 대해, 시간지연과 수행도의 안전성간의 관계를 좀더 잘 이해하기 위한 연구가 필요하다

Input and Feedback Methods for Continuous-Variable Inputs

입력한 값의 크기에 대한 feedback은 입력오류의 감지 및 교정에 도움을 줄 수 있다. 보통 사용하는 두 가지 방법으로 디지털 지시계 또는 bargraph를 들 수 있다. 입력과 feedback을 조합하는 방법들의 상대적 장점에 대한 정보가 더 필요하다. 다음과 같은 의문사항이 존재한다.

- keyboard, arrow key, slide가 디지털 지시계 및 bargraph로부터 feedback을 받는 경우의 입력에 대한 상대적 오류율
- 이들 방법간의 속도와 정확도 측면에서의 절충(tradeoffs)
- 이들 특성을 조합한 interface(예를 들면, arrow key를 포함시킨 slider)의 작업 수행 지원 또는 저해 여부
- Arrow button에 대해서, 입력 값을 크게 혹은 작게 변화하기 위한 분리된 arrow button을 쓰는 경우와 button을 누르면 다른 변수의 함수로 변화의 크기를 정하는 adaptive gain 특성을 쓰는 경우의 운전원 수행도에 대한 영향

Confirmation and Warning Messages

확정 및 오류 메시지 모두 운전원 조치의 구체화 수준(level of specification)에 따른 문제점이 많다. 예를 들면, 운전원은 목표(goal)가 틀렸음을 알지 못하고 요구된 조치가 옳다고 확정을 취할 수 있다. 유사하게, 오류와 경고 메시지를 받았을 때, 사용자는 그 문제의 정확한 원인을 해석하지 못하는 경우가 종종 있다.

Sequential Plant Control and Interface Management Tasks

많은 발전소 제어조작은 연속적이고, 서로 다른 제어 직무가 유사하지만 상이한 연속적 조작일 수 있다. 예를 들면, 어떤 펌프는 기동하기 전 출구밸브를 닫아야 하나 다른 펌프는 열어야 하는 경우가 있다. 더욱이, Soft Control을 사용하기 위해 사전 연속 조작이 필요하다 (예를 들면, 운전원은 제어기를 선택하기 위한 화면을 찾고, 제어할 기기를 선택하고

나서 입력값을 넣어야 한다). Soft Control 접근방식의 연속적 특성과 제어작업 자체의 연속성이 공존하면 운전원의 포획오류(capture error) (즉, 한 연속적 직무를 시작해서는 다른 직무로 마치는) 및 순서가 잘못된 조작을 일으킬 가능성을 높게 하는 것으로 타 산업 사용 경험상에 나타나 있다.

Access to One Versus Multiple Input Fields at One time

한번에 하나의 입력창(input field) 또는 복수의 입력창을 제공함에 따른 장점 및 단점에 대해 더 많은 연구가 있어야 한다.

Intelligent Agent

지능적 Agent란 운전원을 대신해서 어떤 정보 처리 작업을 자동적으로 수행해 주는 컴퓨터 프로그램이다. 화학 플랜트에서 사용자 지시 방식(user-initiated notification concept)으로 화면 조작 직무를 수행하도록 개발되었다. 지능적 Agent는 운전원이 일시 정지된 직무를 처리하는데 도움을 줄 수 있다. 하지만, 지능적 Agent를 사용하는데 따른 장점은, 운전원이 이들 Agent를 감독해야 하는 부담과 Agent들의 부적절한 적용에 따른 문제 등과 저울질 해봐야 한다.

Interaction of Soft Controls with Automation

컴퓨터 기반 시스템에서의 자동화 증가는 운전원에게 증가된 인지적 요구(cognitive demands)를 부과하게 된다. 특히, 이러한 시스템의 상태와 거동을 이해하고 인식을 유지하기 위한 인지적 요구를 주게 된다. Soft Control은 상태정보를 운전원에게 전달하고 시스템을 운전하도록 하는데 중요한 역할을 담당한다. 하지만, 자동화는 제어기 및 화면표시의 외양과 동작에도 영향을 미칠 수 있다. Soft Control과 자동화와의 상호관계를 다루기 위한 인간공학적 검토 지침이 필요하다.

Soft Controls and Display Space

인간-기계 연계를 통해 제공되는 화면표시 공간의 크기와 형태는 제어 및 감시 직무를 지원하는데 중요하다. 예를 들면, 제어기를 지정 표시 장치에 할당함은 화면간의 이동을 감소시켜 접근에 걸리는 시간을 향상시킬 수 있다. 표시장치 수의 증가는 단기간의 제어조치에 대한 요구사항과 장기간의 감시행위에 대한 요구사항간의 상충을 줄일 수 있다. 또한, 추가적인 표시장치를 제공함은 운전원이 일시적으로 정지된 직무를 더욱 쉽게 추적하여 수행할 수 있도록 해준다. Soft control 사용을 지원하기 위한 최소의 표시 공간과, 지정 표시장치와 다용도 표시장치와의 절충에 대한 인간공학 검토 지침이 필요하다.

Keyboards Versus Incremental Input Devices

공정 제어에 적용된 많은 Soft Control은 제어 값을 변화시키는 수단으로 arrow button이나 keyboard를 사용하고 있다. Keyboard 입력은 수행도 측면에서 이점을 가져다 줄 수 있지만, 산업체 적용 경험으로부터 keyboard를 통한 입력은 오류 유발성이 높음을 알 수 있다. 많은 오류가 타이핑 실수에 기인한다. keyboard와 증진성 입력 장치 (incremental input devices)에 의한, 특히 오류 방지, 감지, 교정 및 회복 특성 측면에서, 데이터 입력 오류율을 조사하는 추가 연구가 필요하다.

Consistency of Soft Controls in Hybrid HSIs

Hybrid형(재래식+신형) 인간-기계 연계(HSI)는, 특히 종합적이 아닌 독립적인 일련의 제어실 개선 시에, 다양한 soft control이 적용될 수 있다. 이러한 hybrid형 HSI에서는 다른 interface를 다루어야 하는 다른 직무로의 잦은 전환이 예측된다. 컴퓨터 기반 시스템에 대한 연구로부터 일관성(consistency)의 효과에 대해 상충되는 결과를 볼 수 있다. 만일

잘못된 유형의 일관성이 적용된다면 사용자 interface간의 일관성을 극대화하는 노력은 잘못된 결과를 초래할 수 있다. hybrid형 HSI에서 다양한 soft control을 사용하는 운전원의 오류를 줄이고 작업효율을 높이는 일관성의 규모를 이해하기 위한 연구가 필요하다.

(4) Human Systems Interface and Plant Modernization Process

The Effects of HSI Inconsistency Upon Alternating Use of HSI Components

HSI내에서 다른 기기를 사용할 때, 작동 방식이 중첩되고 유사한 경우가 많이 다른 경우보다 수행도가 더욱 떨어지는 것으로 실험연구 결과(Tanaka 등 [20])로 밝혀져 있다. 대부분의 기존 HFE 지침은 interface의 외관 관련 일관성(consistency)을 다루었으며, 컴퓨터 기반 사용자 interface 관련 일관성의 차원에 대한 보다 깊은 이해가 필요하다. 다른 종류의 컴퓨터 display와 interaction-consistent mapping의 컴퓨터 기반 직무 수행도에 대한 영향을 예측하기 위해, Text-editing method (TEM) (Tanaka 등 [20])와 같은 새로운 일관성 평가 기법이 개발되고 있다. 이러한 분석적인 방법 및 이를 뒷받침하는 실험적 연구는 (1) 원전 운전원 및 유지보수원이 수행하는 직무와 관련한 일관성 차원의 규명, (2) 원전 HSI 검토에 적합한 기법의 개발을 위해 추가연구를 필요로 한다.

The Effects of HSI Design on Crew Coordination and Cooperation

컴퓨터 기반 인간-기계 연계 기술은 운전조 협업에 복잡한 방법으로 영향을 미칠 수 있다. 예를 들면, 컴퓨터 기반 정보표시 체계와 의사결정 지원시스템이 운전조의 모든 운전원에게 정보를 동일하게 접근할 수 있도록 하지 않는다면 의사소통 및 협업에 대한 요건이 증가할 것이다. 컴

퓨터 기반 인간-기계 연계 기술은 운전원이 다른 운전원의 행위를 감시하여 상황인식을 유지하고 오류를 감시할 수 있는 능력을 저하시킬 수 있다. 인간-기계 연계 설계는 운전조의 조직 구성에 적합해야 하고 안전을 확보하기에 감당할 만한 작업부하를 유지할 수 있어야 한다. 운전원간의 협업과 유연성 있는 직무할당을 지원하도록 인간-기계 연계가 설계되어야 한다. 이점은 원자력발전소의 운전원 자원시스템, 대형정보화면, 전자식 절차서 등과 같은 다양한 항목들에 대한 현안으로 지적된 바 있다. 하지만, 이 분야에 대한 지침은 개발속도가 늦으며, 어떤 특정 차원의 인간-기계 연계가 운전조의 수행도에 영향을 미치며 발전소 성능 및 안전에 어느 정도 영향을 미칠 수 있는지를 규명하기 위한 좀더 많은 연구가 필요하다.

The Role of Training in HSI Skills

여러 산업 분야에서, 컴퓨터 기반 인간-기계 연계 기술은 정보를 처리하고 표현하는데 발전된 성능을 제공한다. 그러나, 운전원의 정보처리 기능을 지원하는 반면, 운전원 수행도를 저하시킬 수도 있다. 발전소 운전과 직접적인 관련이 없는 직무를 만들어냄으로써 운전원의 작업부하를 증가시킬 수 있다. 또한, 오류 유발성을 증가시킬 수 있는 제어 및 정보표시 구성을 초래할 수도 있다.

산업체 경험 및 실례를 검토해 보면 컴퓨터 기반 인간-기계 연계의 능력을 효과적으로 사용하는 전략에 대해서는 전혀 또는 거의 훈련받지 않는 것으로 나타난다. 인간-기계 연계로부터 정보를 접근하기 위한 인지적 전략에 대한 훈련은 높은 수준의 운전원 수행도를 위한 효과적인 방안이 될 수 있다. 그러나, 이러한 전략은 일반적으로 가르쳐지고 있지 않다. 인간-기계 연계의 사용과, 인간의 정보처리 능력을 최대한 활용하는 기술 및 전략을 공히 다루는 조합된 훈련으로 수행도의 향상을 꾀할 수 있다. 이 분야는 연구가 활성화되고 있는 분야이며, 훈련 방안의 평

가와 어느 정도까지 수행도가 향상될 수 있는가를 평가하기 위한 추가적인 연구가 필요하다. Mumaw 등[21]에 의한 훈련 제안은 초기 방향을 제시한 것이다.

The Effects of the Installation Process for HSI Upgrades upon Personnel Performance

기존 HSI의 upgrade에 의한 인적수행도 영향에 특별히 초점을 맞춘 실험적 연구는 거의 없다. Upgrade는 여러 가지 방법으로 이루어질 수 있다. 가장 단순한 경우로, 교체될 기존 장비를 제거하고 동시에 새 장비로 교환하는 방법이 있다. 그러나, 산업체 경험에 따르면, 기존 HSI 기기를 즉시 제거하지 못하고, 점차적으로 기존 기기를 작동 정지시키고 제거할 때까지 새 것과 같이 사용하게 하는 경우가 종종 있다. 또 다른 경우로, 기존 및 새 HSI 기기가 공존하여 운전원이 선택할 수 있도록 하는 경우가 있다. 그리고, 발전소가 upgrade되는 동안, 일시적으로 특수한 제어나 표시 기능을 제공하도록 부가적인 기기가 더해질 수도 있다.

작동하지 않는 기존 기기가 존재하면, 운전원의 감시 및 정보획득에 주의를 산만하게 하고 혼란을 야기할 수 있다. 특히, 기존 및 새 기기가 모두 작동하는 경우에는, 동일한 정보나 제어기능이 다른 방식의 기기에서 제공되므로 인적오류를 유발할 수 있다. 이와 같은 경우에 대한 설계지침이 없으며, 보다 직접적으로 이 현안을 연구할 필요가 있다.

Personnel Acceptance of Upgrades

기존 재래식 제어반에서 컴퓨터 기반 작업반으로의 변화, 혹은 컴퓨터 기반 작업반에서의 계속되는 설계개선 시에 운전원의 부정적인 수용도의 원인과 이에 따른 발전소 운전 및 안전에 대한 영향, 이를 제거할 수 있는 방안 등에 대한 연구가 필요하다.

(5) Maintainability of Digital Systems

(Process-oriented guidance)

the development of guidance for reviewing practices, policies, and procedures related to maintaining digital systems:

HFE program development

설계공정의 뒷부분에서 유지보수성을 반영하기가 힘들다. 따라서, 디지털 계통의 개발 시에 설계공정에 체계적으로 유지보수를 고려할 수 있도록 하는 지침이 필요하다.

HSI design

디지털 계통의 유지보수 특성 및 시험 장비에 관한 설계 요건이 유지보수원이 참여한 체계적인 분석을 통해 개발되어야 하며, 이를 위한 인간 공학적 지침이 필요하다.

Training maintenance personnel

디지털 계통의 유지보수에는 고장 대처가 다르고 기존 훈련방법이 부적합할 수 있다. 디지털 계통의 유지보수 훈련 프로그램 개발 시, 훈련 방법, 시뮬레이터의 충실도, 훈련 프로그램의 효율성 등을 포함하는 검토 지침이 필요하다.

Design of maintenance procedures and technical information for digital systems

안전계통의 작동과 같은 발전소 사건이 유지보수 오류에 기인한다. 유지보수 절차서는 유지보수 작업 유형, 필요한 정보 유형, 도구 등을 적

절히 기술하여 오류 가능성을 줄여야 한다. 유지보수 시의 오류를 줄이기 위해, 기술적 정보의 관리를 포함하는 유지보수 절차서의 개발에 관한 지침이 필요하다.

Automated test equipment and maintenance aids

디지털 시스템이 채택될 경우, 자동시험장비가 활성화될 전망이다. 컴퓨터 기반 유지보수 도구는 기술사양(Technical Specification)의 추적, 규제요건 추적, 성능 및 유지보수 데이터의 저장 및 분석, 유지보수 일정 수립, 교체부품 관리 등에 활용될 것이다. 따라서, 원자력발전소에 자동화된 시험장비 및 유지보수 도구를 적용함에 따른 검토지침이 필요하다.

Verification and validation of maintenance

유지보수 작업의 발전소 안전에 미치는 영향은 확인 및 검증으로 평가되어야 한다. 언제 이러한 유지보수 작업의 확인 및 검증이 필요하며 어떤 기준으로 적합성을 평가할 지에 관한 지침이 필요하다.

(Supplemental guidance)

디지털 시스템은 유지보수 작업에 독특한 영향을 미칠 수 있다. 기존 인간공학 지침은 이에 관해 명시적으로 기술되어 있지 않다. 다음과 같은 사항에 대한 지침이 필요하다.

On-line maintenance features

장비 상태의 인식에 영향을 주거나 입력오류의 가능성을 줄이는 HSI 설계를 고려해야 한다.

Advanced features of test and diagnosis equipment

길고 읽기 힘든 고장 설명이나 대비 표(look-up table)와 같이 고장의

감지 및 해석오류를 유발할 가능성을 줄이는 설계특성을 고려해야 한다.

Circuit cards

산업체 경험으로 비추어, 디지털 시스템이 모양이 흡사한 인쇄 회로 기판을 사용함에 따라 유지보수 오류가 발생하게 된다. 모양이 유사한 다른 부품에 대한 유지보수 수행 가능성이 높고 디지털 시스템의 복잡성 때문에 저지른 오류를 감지하는 것이 더욱 힘들게 된다. 이러한 디지털 시스템의 유지보수 오류에 대한 많은 연구가 필요하다.

Data-bus technologies

디지털 시스템은 정보의 전달이 통신 버스를 통해 이루어진다. 이는 새로운 인적오류를 유발할 가능성이 있다. 디지털 시스템은 유지보수원이 무슨 신호가 전달되고 있음을 이해하고 부적절한 연결에 의한 고장을 밝혀내는데 보다 많은 인지적 부담을 초래한다. 이러한 오류를 줄일 수 있는 설계특성에 대한 지침이 필요하다.

(6) Advanced Alarm System

(General Issues)

Operator-Centered Alarm System Design

원자력발전소 과도상태 시 발생하는 많은 수의 경보는 운전원의 정보처리 능력에 과부하를 초래한다. 인지적 작업부하가 증가함에 따라 고장 감지 수행도는 떨어지므로, 공정 이상상태에 따른 경보 다발 현상을 다루기에 큰 어려움을 겪을 것이다. 운전원은 경보 정보를 전부 검색하기 보다는 일부분을 선택하여 보게 된다. 운전원의 정보처리시스템은 heuristics를 적용하여 높은 작업부하 상황을 대처하려 할 것이다.

Heuristics는 정보처리 시스템의 전반적 작업부하를 감소시킬 수 있지만 인적오류를 유발할 수도 있다. 이러한 인간의 정보처리 측면과 원자력발전소에서 일어나는 많은 수의 경보를 고려해 볼 때, 경보 계통의 운전원 중심 목적(Operator-centered objectives)은 다음과 같은 항목을 포함하여야 한다.

- 정확한 상황인식(situation awareness)의 지원
- 상황에 적절한 운전원 정신 모형을 동작시키는데 필요한 cue를 제공함으로써 적절한 조치를 취하는데 걸리는 시간을 최소화함(이와 같이 하여 higher-level processing 및 information processing 부담을 최소화함).
- 인지적 작업부하의 최소화
- 운전원 오류의 최소화
- 작업부하가 증가함에 따라 변화할 수 있는 운전원 검색 패턴의 지원

경보계통이 이러한 목적을 달성하는지를 검토하기 위한 지침(Guidance)이 필요하다.

Role and Definition of Alarm System

기존 원자력발전소의 경보계통은 특정 비정상상태의 감지를 위한 정보의 제공뿐 아니라, 계통/기능 상태 지시와 이와 관련한 운전원 조치의 성공 여부에 대한 feedback 기능을 가지고 있다. 경보계통의 상태지시 기능은 운전원에게 중요한 것으로 관찰되고 있다. 그러나, 상태지시와 경보기능을 하나의 계통으로 조합하면 운전원이 높은 경보 밀도 상태에서 겪는 어려움을 초래하게 된다. 이들 기능을 분리하면 운전원이 다루어야 할 경우의 수는 상당히 줄어들 것이며, 첨단 제어실에서는 이러한 분리가 쉽게 적용될 수 있을 것이다. 초기 첨단 경보계통에서의 일부 문제점은 상태지시기능을 없앴으로써 발생한 것이다. 경보기능과 상태

지시기능 사이의 관계는 추가적인 연구가 필요하다.

AWS Lessons Learned and Advanced Alarm System

경보계통 기능요건을 만족하는데 필요한 경보 특성에 대한 분석적인 평가 연구 결과, 일반적으로 중요한 것으로 고려되고 설계에 적용되었을 경우 발전소 안전과 관련된 운전원 오류를 줄일 수 있는 몇몇 특성이 밝혀져 있다. 예를 들면, 우선순위화(prioritization), 경보억제기능(alarm inhibit features), first-out alarms(원자로 및 터빈 트립에 대한), reflash, message legibility/intelligibility, 경보절차서로의 연계(keying alarms to alarm procedures) 등이다. 이러한 연구가 재래식 경보계통의 특성에 대한 것이지만, 그 특성들은 일반적 경보계통 특성을 대표한다. 그럼에도 불구하고, 특정 경보계통 설계 특성을 권장할 만한 실험적 근거는 제한적이다. 따라서, 재래식 경보계통 연구결과를 주의 깊게 조사하여 첨단 경보계통 설계에 대한 적용성을 따져야 한다.

Context-Specific Alarm Response Characteristics

운전원을 돕기 위해 경보계통을 context 특정적으로 만드는 것이 가능하다. 예를 들면, 심각한 발전소 이상상태에서 낮은 우선 순위의 경보에 대한 음향 경고를 없애는 것과 같은 운전원 직무는 자동화 할 수 있다. 그러나, 이러한 경보계통 운전모드의 변화는 운전원 인식 하에 이루어져야 하며, 그렇지 않을 경우 모드 오류(mode error)가 야기될 것이다. 이를 위한 한 방법으로 운전원의 요청이나 acknowledge 없이는 변화하지 않도록 할 수 있다. Context 특정적인 경보기능의 설정과 구현은 추가적인 연구가 필요하다.

Hybrid Systems

혼합형 제어실(기존 재래식 제어실에 첨단 경보의 설치와 같은)에서의

경보계통 역할은 첨단 제어실과는 다를 수 있다. 기존 발전소에서는 경보계통이 SPDS 및 타 발전소 정보 표시와 분리되어 설치되어 있다. 첨단 제어실은 월등한 정보표시, 정보종합, 운전원 지원기능 등이 반영될 수 있다. 이러한 차이로부터, 혼합형 제어실에서의 첨단 경보계통은 첨단 제어실에서의 경보계통보다 더 많은 기대사항이 요구될 수 있다.

Alarm Setpoints and the Alerted Monitor

공정제어 운전원은 신호감지이론(signal detection theory)의 용어로 “alerted-monitor system”으로 묘사되어 왔다. 이는 자동감시(automated monitor)와 인간감시(human monitor)로 구성된 두 단계 감시시스템이다. 원자력발전소에서의 자동감시는 계통을 감시하여 비정상상태를 감지하는 경보계통이다. 자동감시의 기준을 초과하는 상태가 발생하면 인간감시가 경계상태가 되어 신호를 감지하고 분석하여 거짓 경보인지 발전소 이상상태인지를 해석하게 된다. 인간감시의 민감도는 설정치, nuisance/false alarm의 존재, 경보밀도 등과 같은 경보계통의 특성에 따라 영향을 받게된다.

경보 설정치 기준은 이상상태의 감지를 최대화하도록 결정되지만, 이는 거짓 경보를 증가시켜 운전원의 계통에 대한 신뢰를 잃게 하고 운전원이 좀더 보수적인 기준을 적용하도록 하여 결과적으로 낮은 수행도를 초래한다. 전반적 경보계통의 자동 및 인간 감시 기능의 최적 통합을 위한 추가적인 연구가 필요하다.

Second Event Detection

이차적 고장에 대한 운전원 감지는 특히 문제가 있으며 경보 처리 기법들은 이를 개선하는데 만족스럽게 성공적(mixed success)이지 못했다. 운전원의 이차적 고장의 인식은 정보처리 자원의 제약에 영향을 받는다. 경보계통의 첫째 목적이 고장상태의 운전원에 대한 경고이기 때문

에 이 문제는 추가적인 연구를 필요로 한다.

(Processing Methods and Related Issues)

Effects of Processing Methods

수많은 정보처리 방법들(mode dependency, state dependency 등)이 다루어졌으나 개별 방법의 상대적인 장점은 운전원 수행도에 미치는 영향 측면에서 평가되지 않았다. 조합된 정보처리 방법에 대해서는 정보처리가 운전원 수행도에 미치는 영향이 확실치 않고 분명한 결론이 나오지 않고 있다. 연구결과로 관찰된 차이는 처리방법 유형, filtering 정도, 데이터 표시 방법, 운전원의 익숙도 등과 같은 많은 요인에 의한 것일 수 있다. 혹은, 과도상태에 종속적일 수 있다. 즉, 특정 시나리오 또는 익숙한 패턴을 인식하는 운전원 능력에 종속적일 수 있다. 정보처리 방법 및 이 방법들의 구현에 대한 운전원의 감독(operator control over the implementation of these methods)에 관하여 지침이 필요하다.

Design Goals of Alarm Processing Systems

많은 첨단 정보계통 설계자들은 정보 filtering percentage(예를 들면, 과도상태에서 경보의 수를 반으로 줄이는)로 설계목표를 설정한다. 특정 정보처리 방법의 적용에는 이것이 의미가 있을지 몰라도 결과적인 정보계통은 운전원 수행도를 눈에 띄게 향상시키지 못할 수 있다. 정보 filtering에 대한 설계목표는 운전원 수행도 향상에 필요한 정보 filtering 정도를 언급하여야 한다. 하지만, 이에 대한 검토 지침을 개발하기 위한 연구가 부족하다.

Alarm Information Availability

세 가지 alarm availability technique(filtering, suppression, priority coding)이 사용되고 있다. 이들 방식간에는 장단점이 있다.

Filtering은 운전원의 주의를 산란하게 하는 덜 중요한 경보를 완전히 제거하는 것이다. 하지만, 설계자가 운전원에게 다른 목적으로 유용한 정보를 제거할 수도 있다. 그리고, 설계자는 경보처리 방법이 적절히 검증되었으며 모든 발전소 조건하에서 적절히 작동함을 확인해야 한다.

Suppression은 주의를 산란시키는 경보를 제거하여 filtering의 효과를 얻을 수 있다. 그러나, 제거된 경보가 보조 display 상에서 아직 접근 가능하기 때문에 이들을 검색하기 위해서는 부가적인 이차 직무에 의한 작업부하(secondary task workload)를 부과할 수 있다.

Alarm priority coding은 아무 경보도 제거하지는 않는다. 예를 들면, Mitsubishi의 DPAS(Dynamic Priorities Alarm System)에서와 같이 경보의 중요도에 따라 빨강, 노랑, 녹색, 세 가지 색으로 코딩하는 경우가 있다. 하지만, 이 방법은 운전원이 priority code를 사용하여 시각적으로 filtering하여 high priority 경보 message를 구분하도록 요구한다.

따라서, 어떤 방법을 사용하여야 하는가, 혹은 어떤 context에서 그 다양한 방법들이 사용되어야 하는가에 대한 연구가 필요하다.

Criteria for Prioritization

Alarm prioritization scheme은 발전소 안전에의 전반적인 중요성, 운전원 조치의 긴급성 등과 같은 여러 차원에 근거를 둘 수 있다. 하나 혹은 그 이상의 이러한 차원의 선택은 경보계통 특성 및 운전원 수행도에 영향을 미칠 것이다. 이 현안은 경고 및 상태지시에 대한 경보계통의 기능적 근거(functional basis)와도 관련된다.

Alarm Generation

Alarm generation technique은 새로운 경보를 생성한다. 경보계통은 과부하 상태에서 운전원의 불완전한 정보처리에 따른 오류를 줄일 수 있

다. 경보 생성은 놓치기 쉬운 발전소 상태에 운전원의 주의를 불러 일으켜 운전원의 불완전한 정보처리에 따른 문제를 완화할 수 있다. 그러나, 문헌에서 언급된 바와 같이, 경보계통의 유일한 가장 큰 문제는 경보의 동시 다발이다. 경보 생성은 추가적인 경보를 만들고 이는 이 문제를 악화시킬 수 있다.

Processing Complexity

많은 경우의 원자력발전소 사건(TMI 사고와 같은)은 문제가 복잡하게 얽혀 발생한다. 이러한 복잡한 상황에서 경보 filtering 시스템의 거동은 어느 시점에 어떤 정교한 동적 처리 시스템이 사용되는가를 나타낼 필요가 있다. 경보계통은 발전소 공정 장애를 운전원에게 처음 알려주고, 운전원은 조치를 취하기 앞서 경보 신호의 건전성을 확인하게 되므로, 경보 정보가 무엇을 의미하고 어떻게 처리된 것인지를 운전원이 이해하는 것이 중요하다. 더욱이, 경보계통의 경계와 한계를 이해해야 한다.

(Display of Alarm Data)

Alarm Allocation to Display Type

재래식 경보 창과 같은 SDCV(Spatially Dedicated Continuously Visible) 경보표시는, 컴퓨터 기반 text message 표시와 같은 가변 message 표시보다 우월한 것으로 알려져 있다. SDCV 표시는 빠른 인식 및 패턴 인식을 제공하는 것으로 알려져 있다. 경보 정보의 발전소 공정 display와 다른 graphic display로의 통합에 대한 연구는 많지 않으며 결론을 내릴 만한 운전경험이 거의 없다. 운전원은 경보의 발전소 공정 정보와의 통합을 선호하지만, message list보다 주목할 만큼 개선된 수행도를 보여주지 못하고 있다. 첨단 제어실에서의 다른 고려사항으로, 경보 데이터는 일차적으로 운전원 작업반의 VDU를 통해 제시되어 경보 정보가 전체 운전조에 쉽게 가용하지 않을 수 있다. 경보 기능

의 표시기에 대한 적절한 할당이 연구되어야 한다.

Design of VDU Alarm Displays

컴퓨터 기반 정보표시의 매력은 정보 정보를 다양한 방법으로 표현할 수 있는 유연성에 있다. VDU 정보 표시 연구는 주로 정보 message에 대해 수행되어져 왔다. 그러나, 높은 정보밀도 상태에서 message list가 가지는 문제점과 운전원이 공간적으로 지정된 표시 방식을 선호하는 것을 고려한다면, 정보 정보를 graphic 표시에 적절히 반영하기 위한 (가능하면 message list와 함께) 연구가 필요하다. 정보의 계통 및 기능에 따른 구성을 운전원이 선호하며 수행도를 향상시키는 것으로 나타나 있다. VDU 정보 표시에서 이 표시 방안을 유지하기 위한 방법이 고려되어야 한다. 일반적으로, 정보 표시를 위한 VDU display 설계는 추가적인 연구가 필요하다.

Information Content of Alarm Displays

발생 확률이 낮은 심각한 발전소 비정상 사건의 경우, 낮은 발생 예상치 때문에 운전원이 특정 경보를 받아들이기가 어렵거나 늦을 가능성이 있다. 몇 개의 일관성 있는 지시를 확인하고 나서 운전원이 적절한 조치를 취할 것이다. 넓게 말하면, 고장을 진단할 때 때로는 경보가 그룹으로 사용된다. 경보 기능을 발휘하기에 필요한 특정 정보는 무엇이며 어떻게 표시되어야 하는가는 추가적인 연구가 필요한 항목이다. 너무 적은 량의 정보는 유용하지 못하게 되고, 너무 많은 량의 정보는 사용에 혼란스럽게 된다.

Hierachical Displays, Alarm Integration, and Data Layers

위 현안과 관련하여, 어떻게 경보를 표시할 것인가, 예를 들면, 단일 message, data layers, 타 표시기와의 결합 등이 문제이다. 고 순위 경

보와 저 순위 경보를 통합한 계층적 표시방법(hierarchical display), 상세 경보정보를 보조적 표시기에 할당하는 data layer 사용 표시방법은 각기 장단점을 가지고 있다. 따라서, 좀더 진보된 경보표시방법에 관해 추가적인 연구가 필요하다.

Use of Auditory Cues

운전원이 청각 신호로부터 획득할 수 있는 정보에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 신형 경보계통에서는 청각 신호가 경보 우선 순위, 경보계통/기능의 구별을 위해 사용될 수 있다.

Speech Displays

음향이 밀집된 원전 주제어실에서 음성이 효과적으로 사용될 수 있는지에 대한 연구가 필요하다. 음성 기반 경보의 장점으로는, 시각 정보처리가 필요 없이 message의 중요성 및 의미를 쉽게 이해할 수 있도록 하며, 훈련이 필요 없다는 점을 들 수 있다. 음성 사용 효과에 대해 결론을 내릴 수 있을 만한 연구가 아직은 부족하다.

(Alarm System Controls)

Increased Complexity with Advanced Alarm Systems

기존 경보계통에 적용되는 SART(silence, acknowledge, reset, test) 개념이 신형 경보계통에도 적용 가능하지만, 이외에도 운전원 정의 경보, 경보 경계 값의 조정, filtering 등과 같은 부가적 경보제어기능이 필요할 수 있다. 이런 부가적 제어기능이 규명될 필요가 있으며, 부가적 제어기능의 사용 및 안전성 확보에 대한 지침이 필요하다.

Role of Automation

사고상황과 같은 특정 상황에서는 운전원 제어조치를 자동화할 수 있다

(예를 들면, 낮은 순위의 경보에 대한 silencing과 같이). 하지만, 이러한 경보계통 운전 모드의 변경은 운전원 인식 하에 이루어져야 하며, 그렇지 못할 경우, 모드 오류(mode error)가 발생할 수 있다. 한 방법으로 운전원의 요청이나 인정(acknowledge) 없이는 이러한 변경이 일어나지 않도록 하는 것이다. 일반적으로, 가장 적합한 경보제어 자동화가 그 구현 방법과 함께 연구되어야 한다. (이 현안은 앞에서의 Context Specific Alarm Response Characteristics 현안과 관련이 있다.)

Implementation of Controls in Advanced Alarm Systems

첨단 제어실에서는 경보계통이 다른 Interface와 통합되고 control interface와 기능을 공유할 수 있다(예를 들면, 일시적 설정치의 keyboard 사용 입력). SART control과 같은 어떤 제어기능은 지정된 제어기기를 사용할 수 있다. Soft Control과 Hard Control의 혼합, 지정 제어기 및 공유 제어기의 혼합에 관한 추가연구가 필요하다.

나. 실험연구가 필요한 현안

위에서 도출된 현안들에 대해 차세대원자로 개발 등, 국내 실정을 고려한 현안 해결의 시급성을 분석하였으며, 또한 ITF를 이용한 실험평가로 지침개발 연구가 가능한 현안들을 다음 표 3-3과 같이 도출하였다.

표 3-3 추가연구 현안의 시급성 및 실험연구 필요성 분석결과

현안	시급성			실험연구
	상	중	하	
(1) Advanced Information Systems Design		●		
<i>(Technical Basis Issues)</i>		●		
Lack of a Well-Defined EID Process		○		
Lack of Specific Representation Guidance		○		✓
Evaluation of Operating Experience		○		
Critical Testing and Evaluation of EID Concepts		○		✓
Evaluation of Displays	○			✓
<i>(Design Review Issues)</i>		●		
Task and Temporal Considerations		○		✓
Volume of Information		○		✓
Density of Display Information	○			✓
Operator Use of a Large Span and Variety of Displays	○			✓
System Complexity and Emergent Features		○		✓
Perceptual Resolution		○		✓
Elements of Configural Display		○		✓
Effects of Instrumentation Failures	○			✓
Organization of Information	○			✓
Integration of EID Displays into Remainder of HSI		○		✓
<i>(Operator-Related Issues)</i>		●		
Implication for Training and Qualification		○		✓
Acceptance by Operators		○		
Internal vs. External Mental Model		○		
(2) Computer-Based Procedure Systems	●			
Methodological and Criterion Requirements for Evaluating CBP Effects	○			✓
Role of Plant Personnel in Managing Procedures	○			
Team Performance	○			✓
Situation Assessment, Response Planning, and Operator Error	○			✓
Level of Automation of Procedure Functions	○			✓
Keyhole Effects and Use of Multiple CBPs	○			✓
CBP Failure in Complex Situation	○			✓
Hybrid Procedure System		○		✓
Specific CBP Design Features		○		✓

표 3-3 추가연구 현안의 시급성 및 실험연구 필요성 분석결과(계속)

현안	시급성			실험연구
	상	중	하	
(3) Soft Controls	●			
Time Delays and Control Stability	○			✓
Input and Feedback Methods for Continuous-Variable Inputs	○			✓
Confirmation and Warning Messages	○			✓
Sequential Plant Control and Interface Management Tasks	○			✓
Access to One Versus Multiple Input Fields at One time	○			✓
Intelligent Agent		○		✓
Interaction of Soft Controls with Automation		○		✓
Soft Controls and Display Space	○			✓
Keyboards Versus Incremental Input Devices		○		✓
Consistency of Soft Controls in Hybrid HSIs			○	
(4) Human Systems Interface and Plant Modernization Process			●	
The Effects of HSI Inconsistency Upon Alternating Use of HSI Components			○	✓
The Effects of HSI Design on Crew Coordination and Cooperation	○			✓
The Role of Training in HSI Skills	○			✓
The Effects of the Installation Process for HSI Upgrades upon Personnel Performance			○	
Personnel Acceptance of Upgrades			○	
(5) Maintainability of Digital Systems				
<i>(Process-oriented guidance)</i>			●	
HFE program development			○	
HSI design		○		
Training maintenance personnel			○	
Design of maintenance procedures and technical information for digital systems			○	
Automated test equipment and maintenance aids			○	
Verification and validation of maintenance			○	
<i>(Supplemental guidance)</i>			●	
On-line maintenance features			○	
Advanced features of test and diagnosis equipment		○		
Circuit cards			○	
Data-bus technologies			○	

표 3-3 추가연구 현안의 시급성 및 실험연구 필요성 분석결과(계속)

현안	시급성			실험연구
	상	중	하	
(5) Advanced Alarm System	●			
<i>(General Issues)</i>		●		
Operator-Centered Alarm System Design		○		
Role and Definition of Alarm Systems	○			✓
AWS Lessons Learned and Advanced Alarm System		○		
Context-Specific Alarm Response Characteristics	○			✓
Hybrid System			○	✓
Alarm Setpoints and the Alerted Monitor			○	✓
Second Event Detection		○		✓
<i>(Processing Methods and Related Issues)</i>	●			
Effects of Processing Methods	○			✓
Design Goals of Alarm Processing Systems		○		✓
Alarm Information Availability	○			✓
Criteria for Prioritization	○			✓
Alarm Generation			○	✓
Processing Complexity		○		✓
<i>(Display of Alarm Data)</i>	●			
Alarm Allocation to Display Type	○			✓
Design of VDU Alarm Displays	○			✓
Information Content of Alarm Displays	○			✓
Hierarchical Displays, Alarm Integration, and Data Layers		○		✓
Use of Auditory Cues			○	✓
Speech Displays			○	✓
<i>(Alarm System Controls)</i>		●		
Increased Complexity with Advanced Alarm Systems		○		✓
Role of Automation			○	✓
Implementation of Controls in Advanced Alarm Systems		○		✓

(선행 검토)

서 다른 6인의 피선행자를 참여시킨다.
동원한 시나리오를 사용하며 재래식 제어실에서 6인의 피선행자와 ITF에

(선행 방법)

보통은 물력 증/감반 및 Heat-up이 있다.
많은 적응에 따른 영향을 조사할 수 있도록 개발한다. 가응한 시나리오 후
공전조(RO+TO)의 혈연 상황이며 경보, 대행정보화면, CRT 등의 변화가

(선행 시나리오)

감지하는지를 조사한다.
공전조 혈연 시 다른 공전원(TO)에 의한 오류를 피선행자(RO)가 어떻게

(선행정근방안)

있다
재래식 제어실과 신형 제어실에서의 공전원의 오류 감지 특성은 차이가

(선행가정)

협의를 하였다.
다음과 같은 선행계획 조안에 대해 미 NRC의 인간공학 담당자들과

가. 선행계획 조안

1. US NRC와의 선행계획 협의

제 3 권 오류감지 선행

- 오류 감지 성공 여부
- 오류 감지에 걸린 시간
- 오류 감지를 지원하거나 저해한 인간-기계 연계의 설계 특성

(수집 가능 실험자료)

- System/alarm log
- Operator action log
- Debriefing and Video recording
- NASA TLX(Task Load Index)에 의한 Workload 자료

나. 협의 내용

- 오류감지에 관한 실험은 사례가 극히 드문 실험이며 필요성이 높은 실험임에 KAERI 및 US NRC측 모두 동의함.
- 여러 시나리오를 수행할 때 문제점으로 실험자가 오류를 일으킬 것을 피실험자가 미리 알게 될 우려가 있음을 US NRC측이 제기함.
- US NRC측은 가능한 시나리오 요건으로 1) reasonable, realistic, 2) mixture of normal and abnormal (diagnostic 측면 포함)을 제시하고, 인지적으로 난이도가 높고 안전 현안인 사고상황(예, SGTR (multiple tube) + safety v/v failed, 또는 ISLOCA와 같은)을 포함할 것을 제안하였음.
- 위 사항에 대한 KAERI의 답변으로 사고상황에는 SRO, RO, TO의 최저 운전조가 있어야 하며 이때, SRO, RO 등 2인 이상을 피실험자로 할 경우 experiment control이 곤란할 것이라는 의견을 제시하였음. 그리고, 본 과제에서의 실험은 오류특성과는 무관하게 운전원의 오류감지 능력을 조사하는 것이므로 발생한 오류가 slip, lapse, 또는 rule-based mistakes, knowledge-based mistakes 여부와는 무관한 것임을 피력하

였으며 이에 대한 미국측의 동의를 얻었음.

- KAERI의 계획대로 피실험자 수를 제어반 유형별로 6인을 참여시킴은 바람직하며 이에 대한 걱정 시나리오 수는 6가지에 정보변화량의 다소에 따른 가변을 포함하여 총 12가지가 걱정 시나리오 갯수임.

2. 실험계획 보완

앞에서의 실험계획 초안에 대한 US NRC와의 협의 후, 구체적인 실험 시나리오를 개발하기 위해 참여연구원들간의 토의하고 영광 원자력 훈련 센터 교수, 고리 원자력교육원 교수 등, 운전전문가와 토의하였다.

- 정보의 변화량을 실험변수로 할 경우, 정보의 동적인 특성으로 변화량에 대한 기준을 설정하는 것이 힘들며 실험제어 또한 곤란할 것임. 대상 시나리오의 개발에 제한을 부가하게 되어 시나리오 개발이 더욱 힘들어질 것임.
- 운전전문가의 경험으로는 자신의 제어조작 오류를 운전원이 감지하는 경우나 타인의 오류를 감지하는 경우 모두 대부분의 오류감지는 경보를 통해 이루어지며 변수의 trend를 보고 이상상태를 확인한다. 즉, 자신의 오류이건 타인의 오류이건 오류의 감지를 위한 인간-기계 연계의 특성은 동일하다고 할 수 있다. 그리고, 운전원 자신의 오류 감지를 조사하기 위한 실험 시나리오의 유형이 제한적이다. 따라서, 오류감지 실험 대상으로 운전원 자신의 오류뿐 아니라 타인의 오류를 감지하는 경우도 고려함이 바람직하다.
- 오류감지의 범위를 확대하면 다음과 같은 경우를 상정할 수 있다.

Case 1: RO (피실험자), TO(실험자)로 운전조 구성하여 TO(실험자)의 오류에 대한 RO의 감지를 실험조사 대상으로 함.

(RO와 TO가 같이 작업하는 경우이며, 출력 증발 또는 감발과 같은 제한적인 시나리오만이 가능함.)

Case 2: 운전조 교대 시를 고려함. 이전 운전조 작업 시 발생한 오류 (또는 이상현상)가 조치되지 않았을 뿐 아니라 현 운전조에게 전달되지도 않았을 경우. 현 운전조의 감지를 실험조사 대상으로 함.

(여러가지의 malfunction을 줄 수 있어 다양한 시나리오의 적용이 가능하나 실제적인 상황의 연출이 힘들며 운전조 모두를 피실험자로 해야 하므로 실험제어가 힘들다.)

Case 3: 희귀한 경우이나, RO 또는 TO가 상대방의 업무를 일부 수행해주는 중 오류를 저질렀을 경우

(상황 연출이 힘들며, 한 시나리오 이후는 실험의도를 피실험자가 알아채게 될 것임)

Case 4: 현장 운전원과의 협업 중 현장 운전원이 오류를 저지르는 경우 (1인의 피실험자로 실험수행이 가능하여 실험제어가 용이하며 다양한 시나리오 작성이 가능함. 한 시나리오 이후는 피실험자가 실험의도를 알게 되는 단점이 있음)

Case 5: 일련 (5가지 이상)의 제어조작(밸브 등)을 하는 작업에서 하나의 제어조작이 처음에는 옳게 작동되는 feedback을 운전원에게 주어 다음 제어조작으로 넘어갔으나 이후 그 제어조작이 보수 잘못 등의 문제로 인해 결국에는 fail하여 원하는 상태에 이르지 못하는 경우

(일련의 제어조작을 필요로 하므로 시나리오가 제한적임. 그러나 본 과

제 원래의 목적에 가장 잘 부합하는 경우임. 피실험자가 한 시나리오 수행후 실험의도를 알아채게 될 것임)

- 기타. 피실험자를 SRO로 하여 RO 또는 TO의 잘못을 감지하도록 하는 경우와 비상운전 시 올바른 진단에 따른 적절한 절차서 전이 (난이도가 상대적으로 높은) 등, 여러 경우가 고려되었음. 피실험자를 SRO로 하는 경우, RO 및 TO를 실험 진행자(재래식 제어실에 대한 실험은 연수원 교수)로 해야하며 발전소 운전 가능한 실험진행자가 2인 이상 필요하게 되고 ITF에서의 실험에서 인력 확보가 힘들 것으로 예상됨. 마찬가지로 비상운전에 대해서는 최소 SRO, RO, TO의 운전조로 구성된 피실험자 그룹이 필요하여 6조의 운전조를 각각 영광 시뮬레이터 및 ITF 실험에 투입해야 하므로 피실험자 확보에 문제가 있음.
- 위와 같은 토의 결과, 실험제어가 용이하도록 피실험자를 RO 또는 TO 1인으로 하고. 실제적인 실험상황의 연출이 비교적 용이한 Case 1, 4, 5에 대해 시나리오를 개발하여 실험을 수행하기로 하였다.
- 한국원자력연구소의 ITF는 신형 제어실에서 오류감지 실험 장소로 적합하고, 재래식 제어반에 대한 실험 장소로는 영광 3, 4호기의 시뮬레이터를 갖춘 영광 원자력발전소 훈련센터가 적합하나, 운전원들의 실습과는 별도로 실험이 수행되어야 하는 문제점이 있고 실험 일정 또한 과제 기간 내에 정하는 것이 여의치 않아 고리의 한전 원자력교육원의 시뮬레이터 1호기를 사용할 수밖에 없게 되었다. 이 경우 발전소 모델이 다른 관계로 정확하게 동일한 시나리오를 적용하기 곤란하고 오류감지에 걸린 시간을 실험척도로 활용하는데 문제가 있었다. 따라서, 오류의 특성이 유사한 시나리오를 고리 원자력교육원의 시뮬레이터 1호기와 ITF에 대해 개발하고 오류감지 성공 여부를 주 실험척도로 정하였다.

3. 실험 시나리오

시나리오 개발 시 주 피실험자를 RO로 하고 RO 자신의 오류와 타인의 오류로 분류하였다. 타인의 오류로는 현장운전원, 주제어실과 밀접한 관계가 있는 계측제어 시험원의 오류와 RO와 같이 작업하는 TO의 오류를 시나리오에 반영하여 다음과 같은 유형의 시나리오를 개발하였다.

(RO용)

- 1) 전 출력 운전 중, 가압기 수위 또는 압력 제어채널 시험 시 틀린 채널에 대한 시험을 수행함 (계측제어 시험원의 오류)
- 2) 출력 75%에서 50%로 감발 시 RO는 감발에 적합한 Boration을 수행하지만 TO(실험진행자)는 반대로 출력을 증발함 (TO 오류)
- 3) 전 출력 운전 중, RCP Seal Injection Filter 교체 시 현장운전원의 in-service Filter 차단 (현장운전원 오류)
- 4) 상온 정지 상태에서부터 고온 대기 상태 운전을 위해 Line-up 작업을 수행한 RHR 또는 SDC계통의 흡입측 격리밸브를 누설시킴 (RO 자신의 오류)

(TO용)

- 5) 전 출력 운전 중, 주급수 펌프 보수 작업 시 밸브 배열 오류 (현장운전원 오류)

이에 따른 상세한 실험 시나리오는 다음과 같다.

(고리 시뮬레이터용)

시나리오 1 (RO, 고리 시뮬레이터)

1. 적용운전 Mode

- 전 출력 운전

2. 적용계통 초기운전 조건

- 전 출력 운전에서 안전된 상태로 운전 중
- RO가 가압기 수위제어채널을 L-467로 선택하여 운전하도록 함

3. 실험상황 전개

- 가압기 수위제어 채널 L-467이 주기시험하게 되어 있어 수위제어 채널을 L-467에서 L-465로 변경하도록 RO에 지시함.
- RO의 시험개시 확인 통보 후, 계측제어 시험원은 착각하여 L-465에 시험을 하게 됨 (Instructor가 L-465를 Fail-Lo되게 함).

4. 증상

- L-465 Fail-Lo로 인해 Letdown Isolation Valve가 닫히고, Back-Up Heater 차단 충전유량이 증가됨.
- 다음과 같은 경보 발생
 - 1) PRZR Lo Level Train A (ALB08),
 - 2) PRZR Lo Level Heater Off and Letdown Secured (ALB08),
 - 3) PZR Lo Level Deviation (ALB08),
 - 4) Letdown Hx Out Hi/Lo Flow (ALB13)

5. 운전원 조치

- 위 경보를 보고 틀린 가압기 수위채널에 대한 시험이 수행되었음을 파악함.

6. 상황종료

- RO가 주기시험요원에게 잘못된 시험과 L-467이 건전한 수위채널임을 확인하고 가압기 수위 채널을 L-467로 전환 선택하면 종료함.

시나리오 2 (RO, 고리 시뮬레이터)

1. 적용운전 Mode

- 발전소 출력 75% (470MW)

2. 적용계통 초기운전 조건

- 발전소 출력 75% 운전 중
- 제어봉 제어를 AUTO Defeat 상태로 조치

3. 실험상황 전개

- 발전소 출력을 75%에서 50%로 감발하도록 RO에 지시함.
- RO에게 Boration(100 Liter)을 하도록 지시함.
- TO(Instructor가 대신)는 발전기 출력을 75% (470MW)에서 100% (650MW)로 Target Load Setting을 하고 Rate를 50MW/Hr x 2로 자동증발토록 조치함 (이때, 증발률은 발전기 출력 지시계의 변화가 발전기 출력이 증발되고 있음을 RO가 곧 바로 눈치채지 못할 만큼 충분히 느리게 증발되도록 설정되었음).
- Instructor는 RO가 Boration을 마치자마자 RO에게 CCW Pump 교체운전(Pump A를 Pump B로)을 지시 (경보 발생 전까지 RO에게 임의의 조작을 하게 할 목적으로)

4. 증상

- 원자로 출력은 계획대로 감발하였으나 발전기 출력은 오히려 증발되어 1차 평균 온도 및 압력이 감소함.
- 다음과 같은 경보 발생
 - 1) Tref/AUCT Tavg Deviation Alert
 - 2) Rod Bank Lo Limit (위 경보의 한참 뒤에)
 - 3) Rod Bank Lo-Lo Limit (위 경보의 한참 뒤에)

5. 운전원 조치

- 위 증상 및 경보 1)을 보고 “1차 평균 온도 및 압력 감소” 원인을 찾아 TO의 오류를 지적한다.

6. 상황종료

- RO가 TO의 잘못을 지적하면 종료함.

시나리오 3 (RO, 고리 시뮬레이터)

1. 적용운전 Mode

- 전 출력 상태에서 안정운전 중

2. 적용계통 초기운전 조건

- RCP Seal Water Injection Filter를 50% 닫는 Malfunction을 주입하여 RCP Seal Water Injection Filter Hi Δ P 경보가 발생토록 함

3. 실험상황 전개

- RO는 현장 운전원에게 Filter "B"로 교체 운전하도록 지시함.
- 현장 운전원(Instructor)은 Filter 교체 절차서 상의 절차를 무시하고 운전중인 Filter "A"를 차단하여 RCP Seal Water가 차단되는 상황을 일으킴.

4. 증상

- 다음과 같은 경보 동시 발생
 - 1) RCP 1 Seal Injection Flow Lo
 - 2) RCP 2 Seal Injection Flow Lo
 - 3) RCP 1 Vibration Alert/Danger

5. 운전원 조치

- 위 경보를 보고 현장 운전원의 오류를 감지

6. 상황종료

- RO가 FR-156으로 RCP Seal Injection이 되지 않음을 확인하고, 현장 운전원에게 재확인하도록 요구하면 상황은 종료됨.
- 운전원 실습 목적을 위해 현장 운전원의 올바른 조치 후에 운전을 계속함.

시나리오 4 (RO, 고리 시뮬레이터)

1. 적용운전 Mode

- 상온 정지 상태에서부터 고온 대기 상태 운전

2. 적용계통 초기운전 조건

- "Bypass/Inoperability Display A" 경보를 Defeat 시킴 (운전원이 너무 쉽게 이상상태를 알지 못하도록)

3. 실험상황 전개

- RO에게 가압기 Heater 켜있나 확인 후 RHR 격리하도록 지시
- RO가 RHR 격리하고 SI Line-up을 마치면 Instructor는 Heat-up rate를 3배로 설정함.
- RO에게 아래의 경보가 뜨기 전까지의 부가적인 업무로 RCS쪽 계기 이상유무를 확인하도록 지시함.
- RCS 압력이 37kg에 도달하면 RHR 흡입 측 압력방출밸브 둘을 20%정도 Open한다.

4. 증상

- 압력방출밸브를 Open함과 동시에 double indication 발생
- RCS 압력이 39.5kg에 도달하면 다음과 같은 경보 발생
1) RHR PMP 1 Discharge Hi Press

5. 운전원 조치

- 위 double indication, 경보, RHR discharge 및 suction 압력을 보고 RHR 차단 밸브가 열린 것을 감지함.

6. 상황종료

- RO가 RHR 차단 밸브가 열린 것을 확인하고 닫으려는 노력을 하면 상황은 종료됨.

시나리오 5 (TO, 고리 시뮬레이터))

1. 적용운전 Mode

- 전 출력 운전

2. 적용계통 초기운전 조건

- 주급수 펌프 보수작업지시서 발행되어 있음.

3. 실험상황 전개

- TO는 주급수 펌프 “B” 보수를 위해 현장 운전원에게 작업상황을 알리고 펌프 정지를 위한 밸브 배열을 지시한다.
- 현장 운전원은 펌프 출구 밸브를 닫아야 하나, 실수로 펌프 입구 밸브를 닫음.
- 이에 따라 주급수 펌프가 갑자기 정지하게 됨.

4. 증상

- 밸브 Status Lights에서 펌프의 입구가 닫힌 것으로 표시됨.
- 다음과 같은 경보 동시 발생
 - 1) Main Feed Pump B Plant Problem (ALB 07)
 - 2) Main Feed Pump C Plant Problem
 - 3) Main Feed Pump B Auto-Trip/Breaker Out of Service
 - 4) STM GEN 1 Level Deviation
 - 5) STM GEN 2 Level Deviation

5. 운전원 조치

- 위 증상을 보고 펌프의 입구밸브가 닫힌 것을 감지함.

6. 상황종료

- 현장 운전원에게 펌프 입구밸브가 닫힌 것을 확인하도록 하면 상황은 종료됨.

(한국원자력연구소 ITF용)

시나리오 1 (RO, 한국원자력연구소 ITF)

1. 적용운전 Mode

- 전 출력 운전 (IC20)

2. 적용계통 초기운전 조건

- 전 출력에서 안정된 상태로 운전 중
- RO가 가압기 압력제어채널을 P-100X로 선택하여 운전하도록 함.

3. 실험상황 전개

- 가압기 압력제어 채널 P-100X가 주기시험할 예정이어서 압력제어 채널을 P-100X에서 P-100Y로 변경하도록 현장운전원 (Instructor)이 RO에 지시함.
- RO는 P-100Y로 변경하고 현장운전원(Instructor)에게 시험을 개시하도록 통보함.
- 계측제어시험원은 착각하여 P-100Y에 시험을 하게 됨 (Instructor가 P-100Y를 Fail 시킴) (Generic Component Index / RCL - TRRCPT100Y)

4. 증상

- P-100Y Fail로 인해
- 다음과 같은 경보 발생
 - 1) RCS PZR PRESS LO
 - 2) RCS PZR R Ress Error HI/LO

5. 운전원 조치

- 위 경보를 보고 틀린 가압기 압력채널에 대한 시험수행을 파악해냄.

6. 상황종료

- RO가 주기시험원에게 시험이 잘못되었다는 것과 P-100X가 건

전하다는 것을 확인하고 가압기 압력채널을 P-100X로 다시 전환 선택하면 종료함.

시나리오 2 (RO, 한국원자력연구소 ITF)

1. 적용운전 mode

- 발전소 출력 75% (IC17)

2. 적용계통 초기 운전 조건

- 발전소 출력 75% 운전 중
- 제어봉 제어를 AUTO DEFEAT 상태로 조치

(Instructor가 Manual Seq.로 선택하고 RO에게는 제어봉 구동에 문제가 있으니 수동조작하지 말도록 지시)

3. 실험상황 전개

- Instructor가 RO에게 출력을 75%에서 59%로 감발하도록 지시함.
- RO에게 Boration(100 Liter 자동)을 하도록 지시함.
- TO (Instructor)는 발전기 출력을 75%에서 100%로 Target Load Setting을 하고 rate를 3 MW/Min로 자동증발되도록 조치함 (이후 5분 간격으로 10 MW/Min, 20 MW/Min으로 증가시킨다.).
- Instructor는 RO가 Boration을 마치자마자 RO에게 CCW Pump 교체운전 (Pump A를 Pump B로)을 지시함 (경보 발생 전까지 RO에게 임의의 조작을 시킬 목적으로)

4. 증상

- 원자로 출력은 계획대로 감발하였으나 발전기 출력은 오히려 증발되어 1차 평균 온도 및 압력이 감소함.
- 다음과 같은 경보 발생

1) RRS Tavg/Tref LO

5. 운전원 조치

- 위 증상 및 경보 1)을 보고 “1차 평균 온조 및 압력 감소” 원인

을 찾아 TO의 오류를 지적한다.

6. 상황종료

- RO가 TO의 잘못을 지적하면 종료함.

시나리오 3 (RO, 한국원자력연구소 ITF)

1. 적용운전 mode (IC18)

- 전 출력 상태에서 안정운전 중

2. 적용 계통 초기운전 조건

- RCP Seal Water Injection Filter "A"에 문제가 있어 교체 운전토
록 함

3. 실험상황 전개

- RO는 현장운전원(Instructor)에게 Filter "B"로 교체 운전하도록 지
시함.
- 현장운전원 (Instructor)은 원래는 Filter "B"를 In-service 한 후
"A"를 차단하여야 하나 착각하여 바로 Filter "A"를 차단하여
RCP Seal Water가 차단되는 상황을 일으킴

(Remote Function Index / CV - CV21) Diagram CV04

4. 증상

- 다음과 같은 경보 동시 발생
 - 1) RCP 1A/B SEAL INJECTION FLOW HI/LO
 - 2) RCP 2A/B SEAL INJECTION FLOW HI/LO

5. 운전원 조치

- 위 경보를 보고 현장 운전원의 오류를 감지

6. 상황종료

- RO가 계기를 통해 RCP Seal Water Injection이 되지 않음을 확
인하고 현장 운전원에게 작업을 재확인하도록 요구하면 상황은
종료됨.

시나리오 4 (RO, 한국원자력연구소 ITF)

1. 적용운전 mode (IC85)

- 상온 정지 상태에서부터 고온 대기 상태 운전

2. 적용계통 초기운전조건

- (고리의 경우 “BYPASS/INOPERABILITY DISPLAY A” 경보를 Defeat 시켰으나 ITF는 유사한 기능이 없어 Double Indication에 관한 경보가 발생함)

3. 실험상황 전개

- Instructor는 RO에게 가압기 Heater가 켜있나 확인한 후 고온대기까지 운전하도록 지시함. Instructor는 RO에게 SI Line-up을 마치면 보고하도록 지시함.
- RO가 SI Line-up을 마치면 Instructor는 SDC계통 Train B의 Valve 652, 654를 20% (10% 이상이어야 display상에 double indication 됨) Open함.
(Generic Component Index: RHR/ MVSIS652 & MVSIV654, severity 20)

4. 증상

- Valve 652, 654를 open함과 동시에 double indication 표시되고 다음 경보 발생
1) SI SCS SUCT LINE ISOL VLV NOT FULLY CLOS (시작후 2:35경)
- RCS Pressure가 올라가고 Level이 증가하나 Relief Valve(SI-189)가 수차례 열렸다 닫힘을 반복하면서 Level이 떨어져 25이하로 되면 다음 경보 발생하고 PZR HTR 모두 꺼짐
2) RCS PZR LEVEL LO-LO (시작후 5:18경)
- 2분 정도 후에는 다시 Level이 안정되고 Pressure 안정됨.

5. 운전원 조치

- 상기 증상을 보고 Valve 652, 654가 열려 있음을 감지
(PZR HTR를 킬 수도 있으나 이는 궁극적인 조치가 아니며 압력이 상승하면 다시 Relief Valve가 열려 같은 현상을 반복하게 됨)

6. 상황종료

- RO가 두 Valve가 열린 것을 확인하고 닫으려는 노력을 하면 상황은 종료됨

시나리오 5 (TO, 한국원자력연구소 ITF)

1. 적용운전 Mode

- 전 출력 운전

2. 적용계통 초기운전 조건

- 주급수 펌프 보수작업지시서 발행되어 있음.

3. 실험상황 전개

- TO는 주급수 펌프 "B" 보수를 위해 현장 운전원에게 작업상황을 알리고 펌프 정지를 위한 밸브 배열을 지시한다.
- 현장 운전원(실험진행자)은 펌프 출구 밸브를 닫아야 하나, 실수로 펌프 입구 밸브를 닫음.

(Remote Function Index / FW - FW34)

- 이에 따라 주급수 펌프가 갑자기 정지하게 됨.

4. 증상

- 밸브 Status Lights에서 펌프의 입구가 닫힌 것으로 표시됨.
- 다음과 같은 경보 동시 발생
 - 1) MAIN FW PMP 05P NPSH PRESS LO
 - 2) MAIN FW PMP 02P SUCTION PRESS LO
 - 3) COND DEAERATOR INLT FLOW HI/LO

5. 운전원 조치

- 위 증상을 보고 펌프의 입구밸브가 닫힌 것을 감지함.

6. 상황종료

- 현장 운전원에게 펌프 입구밸브가 닫힌 것을 확인하도록 하면 상황은 종료됨.

4. 실험수행

고리의 한전 원자력교육원의 시뮬레이터 1호기와 한국원자력연구소의 ITF에서 실험을 수행하였다. 고리 시뮬레이터 1호기는 고리 원전 2호기의 시뮬레이터로 650MW 출력이며, 한국원자력연구소의 ITF는 영광 3&4호기와 동급으로 계통의 거동에는 차이가 있으나, 고리 시뮬레이터 1호기는 재래식 제어반의 전형적인 예이며 반대로 ITF는 신형 제어실의 전형이라 할 수 있다. 따라서, 운전 작업 특성이 유사한 시나리오를 적용한다면 재래식 제어반에서의 오류감지 특성과 신형 제어실에서의 오류감지 특성의 비교가 가능하다.

고리 시뮬레이터에서의 실험에는 4인의 현직 원자로운전원과 4인의 터빈 운전원이 참여하였으며, ITF에서의 실험에는 6인의 RO 면허 소지자가 참여하였고 이중 2인은 현재 터빈운전원이다.

고리 시뮬레이터 실험에서는 원자력교육원 교수가 실험진행자를 맡아 시나리오에 따른 현장 운전원, 시험원, TO 역할을 하였으며, ITF에서는 본 과제 참여원이 그 역할을 수행하였다.

실험자료 수집은 고리 시뮬레이터의 경우 Camcorder 촬영만이 가능하며 Digital Camcorder로 피실험자의 운전작업 영상과 Instructor와의 대화

를 기록하였다. 반면, ITF의 경우, Digital Camcorder에 의한 영상 및 음성 기록외에 System Log, Alarm Log, Operator Action Log (CRT 화면 조작 포함)를 아울러 수집하였다.

시나리오 5개를 수행하는데 걸린 시간은 고리 시뮬레이터와 ITF가 유사하게 2시간 정도이었다. 실험은 총 4차례에 걸쳐 수행되어 먼저 고리 시뮬레이터에서 2인의 RO, 2인의 TO에 대한 실험을 수행하고 그 다음 ITF에서 2인의 RO, 1인의 TO에 대한 실험을 수행하였으며, 다시 고리 시뮬레이터에서 RO 2인, TO 1인, ITF에서 RO 2인, TO 1인의 순서로 진행하였다.

고리 시뮬레이터의 경우, 피실험자가 고리 원전 1호기 또는 2호기 운전원들로 시뮬레이터의 사용에 관해 별도의 교육이 시행되지 않았으나, ITF의 경우에는 영광 3&4호기의 운전원들이라 하더라도 ITF의 인간-기계 연계에 익숙지 않으므로 하루 정도의 별도 교육과 CRT 사용 숙련도 시험을 시행하였다. 다음 그림은 고리 시뮬레이터 및 ITF에서의 실험상황을 보여주고 있다.



그림 3-1 고리 시뮬레이터에서의 실험 장면

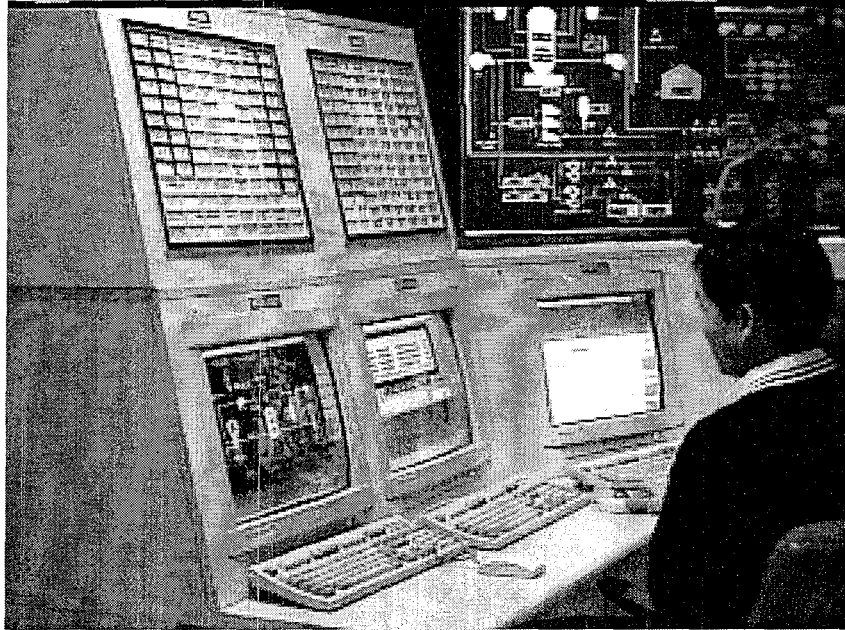


그림 3-2 ITF에서의 실험 장면

5. ITF의 CRT 사용 숙련도 시험 문제 개발

ITF의 CRT 사용 숙련도 시험 문제는 ITF에서의 인간공학 실험을 위한 사전준비로 피실험자의 ITF의 CRT 사용 능력을 평가하여 일정 수준에 도달한 후 실험에 참여시킬 목적으로 개발되었다.

피실험자인 영광 3&4호기 운전원들은 발전소에 대한 계통지식을 충분히 가지고 있으므로 ITF의 인간-기계 연계의 구성과 사용법에 관한 기본적인 교육을 받은 실시한 후 시험이 시행된다.

ITF의 인간-기계 연계는 LDP와 CRT (Alarm, Process mimic, Functional display, Component Controls을 포함), 그리고 FPD에 표시되는 SPDS, Tile형 정보창 등으로 구성되어 있다. 여러 가지 구성 요소 중 가장 화면 page 수가 많아 CRT의 Process mimic의 화면 navigation을 주

시험 대상으로 정하였다.

RO와 TO용을 구분하여 작성하며 RO용은 NSSS계통, TO용은 BOP계통을 다루도록 하였다. 매 Test당 RO와 TO용 각각 25문항의 문제를 작성하였으며 SRO용은 RO와 TO용 문제에서 교호 순차적으로 발췌하여 25문항을 작성하기로 하였다. 시험에 소요된 시간과 오답 수를 기록하여 숙련도를 확인하도록 하였다.

개발된 총 문제지 수는 RO, TO용 각 8 set이며 문항 작성 시 고려된 Process mimic diagram은 다음의 표 3-4, 3-5와 같다. 문항 출제 순서는 아래와 같이 문제지 마다 달리하여 시험의 반복에 따른 계통도 순서의 기억을 방지하였다.

문제지 1: 계통도 1, 3, ..., 23, 25, 24, 22, ..., 4, 2

문제지 2: 계통도 24, 22, ..., 4, 2, 1, 3, ..., 23, 25

문제지 3: 계통도 2, 4, ..., 22, 24, 25, 23, ..., 3, 1

문제지 4: 계통도 25, 23, ..., 3, 1, 2, 4, ..., 22, 24

(이후 반복)

이와 같이하여 출제된 8 set의 RO용 TO용 문제지는 부록 2에 수록하였으며, 정답은 문제지 set 마다 ITF의 적용 Initial Condition 12, 14, 16 18의 네 가지를 순차적으로 적용하여 작성하였다.

현재 시험에서는 RO를 주 피실험자로 선택하여 RO용 시험만을 수행하였다.

표 3-4 RO용 test에 반영된 ITF Process mimic diagram

DWG 번호	Mimic ID	Mimic Description
	<i>CC</i>	<i>COMPONENT COOLING SYSTEM</i>
1	CC01	PUMPS AND HEAT EXCHANGERS TRAIN A
1	CC02	PUMPS AND HEAT EXCHANGERS TRAIN B
2	CC03	MISC. HEAT EXCHANGERS TRAIN A
2	CC05	MISC. HEAT EXCHANGERS TRAIN B
3	CC04	MISC. HEAT EXCHANGERS TRAIN A
3	CC06	MISC. HEAT EXCHANGERS TRAIN B
4	CC08	RCP COOLERS TRAIN A
5	CC10	ESW PUMPS AND HEAT EXCHANGERS TRAIN A
5	CC11	ESW PUMPS AND HEAT EXCHANGERS TRAIN B
	<i>CH</i>	<i>CONTAINMENT SYSTEM</i>
6	CH01	CONTAINMENT PURGE SYSTEM
7	CH02	CONTAINMENT AVAC RCFC
8	CH04	CONTAINMENT MONITORING SYSTEM
9	CH07	CONTAINMENT HYDROGEN SYSTEM
	<i>CV</i>	<i>CHEMICAL & VOLUME SYSTEM</i>
10	CV01	REGENERATIVE HEAT EXCHANGER
11	CV02	LETDOWN HEAT EXCHANGER
12	CV03	BORONOMETER PROCESS RADIATING MONITOR & ION EXCHANGER
13	CV04	SEAL INJECTION HEAT EXCHANGER & SEAL FLOW TO RCPS
14	CV05	VOLUME CONTROL TANK
15	CV06	CHARGING PUMPS
16	CV07	REFUELING PUMPS
17	CV08	BORIC ACID MAKEUP PUMPS
18	CV10	REACTOR DRAIN TANK
19	CV14	REACTOR COOLANT PUMP 1A SEALS
19	CV15	REACTOR COOLANT PUMP 1B SEALS
19	CV16	REACTOR COOLANT PUMP 2A SEALS
19	CV17	REACTOR COOLANT PUMP 2B SEALS
	<i>RH_S/</i>	<i>RESIDUAL HEAT REMOVAL & SAFETY INJECTION SYSTEM</i>
20	RH01	SUCTION SOURCE FOR LPSI TRAIN A
20	RH02	SUCTION SOURCE FOR LPSI TRAIN B
21	RH05	SUCTION SOURCES FOR CS PUMP TRAIN A
21	RH07	SUCTION SOURCES FOR CS PUMP TRAIN B
22	RH06	CHEMICAL ADDITION SYSTEM
23	SI03	PASSIVE SI SYSTEM & HPSI LINES TO COLD LEG, TRAIN 2A
23	SI04	PASSIVE SI SYSTEM & HPSI LINES TO COLD LEG, TRAIN 2B
23	SI05	PASSIVE SI SYSTEM & HPSI LINES TO COLD LEG, TRAIN 1A
23	SI06	PASSIVE SI SYSTEM & HPSI LINES TO COLD LEG, TRAIN 1B
	<i>RCS</i>	<i>REACTOR COOLANT SYSTEM</i>
24	RC01	REACTOR VESSEL DRAIN & VENT VALVES
25	RC02	PRESSURIZER PRESSURE CONTROL SYSTEM

표 3-5 TO용 test에 반영된 Process mimic diagram

DWG 번호	Mimic ID	Mimic Description
	<i>FW</i>	<i>FEEDWATER & CONDENSATE SYSTEM</i>
1	CW01	CW PUMPS
2	CW02	CW FLOW TO/FROM CONDENSERS
3	FW01	CONDENSATE SYSTEM
4	FW02	CP SYSTEM CD
5	FW03	LP FW HEATERS (TUBE SIDE)
5	FW06	HP FW HEATERS
6	FW04	DEAERATOR
7	FW05	FW PUMPS
8	FW07	FW LINES
9	FW08	FW PUMP TURBINES
10	FW10	AF SYSTEM (1)
11	FW12	LP HEATER DRAINS
12	FW13	HP HEATER DRAINS
13	MC01	MAIN CONDENSERS
	<i>IA</i>	<i>INSTRUMENT AIR SYSTEM</i>
14	IA01	INSTRUMENT AIR COMPRESSORS
15	IA04	HY, NI SYSTEMS
	<i>MS</i>	<i>MAINSTEAM SYSTEM</i>
16	MS01	MAIN STEAM HEADER (1)
16	MS02	MAIN STEAM HEADER (2)
17	MS07	LP TURBINE INLET/OUTLET FLOWS
18	MS08	FROM HP TURBINE TO FEEDWATER HEATERS
19	MS09	FROM LP TURBINE TO FEEDWATER HEATERS
20	MS10	MSR DRAIN TANK A
20	MS11	MSR DRAIN TANK B
21	MS12	AUXILLIARY SYSTEM
21	MS13	GLAND SYSTEM
22	MS14	MAIN STEAM BYPASS FLOWS
23	SW09	TURBINE BUILDING OPEN COOLING WATER SYSTEM
	<i>TP</i>	<i>TURBINE PLANT COOLING SYSTEM</i>
24	TP04	TURBINE BUILDING CLOSED COOLING WATER SYSTEM (1)
	<i>SPCTRL</i>	<i>SPECIAL CONTROL</i>
25	GC	GENERATOR CONTROL

6. 실험결과 및 결론

고리 원자력교육원 시뮬레이터와 한국원자력연구소 ITF에서 실험수행 시에 오류감지 성공 및 실패의 구분이 일차적으로 가능하였으며 실패한 경우 운전원과 인터뷰를 시행하여 실패한 이유를 확인하였다. 그리고, 실험 수행 시 기록된 영상/음성 기록을 분석하여 오류감지 성공 및 실패를 재확인하였다. 다음의 표 3-6는 실험결과로 밝혀진 오류감지 성공 및 실패 여부를 정리한 것이다.

표 3-6 오류감지 실험결과

장소	시나리오 번호	1	2	3	4	5	Remark
고리	RO 1	○	○	○	○		
	TO 1					○	
	RO 2	○	○	○	○		
	TO 2					○	
	RO 3	○	○	○	○		
	TO 3					○	
	RO 4	○	○	○	○		
	TO 4					×	(시나리오 5) 시뮬레이터와 운전원의 발전소 호기가 달라 지시등을 확인하지 못했음.
ITF	RO 5	○	○	○	×		
	RO 6	×	×	○	×		
	TO 5	×	×	○	×	△	(시나리오 5) 주급수 펌프 suction쪽 valve가 닫힌 것은 알았으나 오류에 의한 것으로 생각치 않고 회복조치를 취하려 했음.
	RO 7	○	△	○	×		(시나리오 2) TO의 출력 감발 작업을 의심하여 한차례 구두로 확인하였으나 실험종료시까지 다른 원인으로 생각하여 궁극적으로 TO의 오류를 지적하지는 못하였음.
	RO 8	○	△	○	○		(시나리오 2) TO의 출력 감발 작업을 의심하여 한차례 구두로 확인하였으나 실험종료시까지 다른 원인으로 생각하여 궁극적으로 TO의 오류를 지적하지는 못하였음.
	TO 6	○	×	○	○	○	

주) “○”: 오류감지 성공, “×”: 실패, “△”: 성공 또는 실패 판정 곤란

그리고, 운전원들의 운전 작업을 관측한 결과 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

- ITF의 Tabular Alarm은 시나리오 4번의 경우와 같이 경보가 많이 발생해 있을 때 새로운 경보가 발생하면 운전원이 놓치는 경우가 있다. 재래식 경보창보다 인식도가 떨어진다.
- ITF의 경우, CRT 화면에 밸브의 상태가 graphic으로 표시되어 있어 시나리오 3번, 5번과 같은 경우 재래식 제어반에서보다 수월한 오류 감지가 가능하였다.
- ITF의 경우, 문제가 생겼을 때, 해당 기기 화면이 표시되어 운전원이 보게 되지 않은 경우는 대부분 trend graph 화면으로 진단을 착수하고 가정된 원인을 CRT 화면으로 추적하는 경향을 보였다. 그리고, 문제에 대한 진단이 시작되면 운전원들은 거의 대형화면을 사용하지 않았으며 CRT 만을 사용하였다. 만일 운전원이 문제상황의 원인을 다른 것으로 인식하면 해당 기기의 고장이 표시된 CRT 화면을 거의 보게 되지 않게 되고 따라서 원인 규명을 실패하게 되었다. 시나리오 2번과 4번의 경우 이러한 현상이 두드러졌다.
- 시나리오 4번에서는 고리 시뮬레이터에서는 double indication을 표현하는 경보창을 disable시키고 실험을 진행하여 제어반상의 표시등 2개가 들어오는 double indication 현상만 있었으나, ITF에서는 double indication에 해당하는 경보 제거가 불가능하여 경보가 원래대로 발생하였으며 CRT 화면에는 밸브의 개도가 중간 열림으로 표시된다. 재래식 제어반에서의 Double Indication은 CRT 화면상의 밸브 개도 표시보다 운전원의 주의를 끌기 쉬웠으며, 굳이 double indication에

주의를 기울이지 않고도 지나가면서 발견한 경우도 있었으나, ITF의 경우에는 double indication 정보에도 불구하고 열린 밸브를 CRT 화면에서 찾지 못한 경우가 많았다.

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

제 1 절 연구개발 목표 달성도

과제계획서상의 연구개발 목표는 “Soft Control 관련 실험평가항목 도출”이며 연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

- 1) Soft Control 관련 인간공학 현안 조사 및 자료 수집
- 2) 재래식 제어반과 첨단 제어실에서의 운전원 제어오류에 대한 자기 감지 및 회복 특성 비교를 위한 실험수행
- 3) Soft Control 관련 실험평가항목 도출

그리고, 과제계획서상의 과제평가지 평가기준은 “Soft Control 관련 주요 실험평가 현안 파악 여부“로 기술되어 있다.

연구내용 및 범위의 1) Soft Control 관련 인간공학 현안 조사 및 자료 수집과 3) Soft Control 관련 실험평가항목 도출에 대해서는 미 NRC가 2000년 3월 발표한 NUREG/CR-6635, Soft Controls: Technical Basis and Human Factors Review Guidance [8] 보고서를 이용하여 Soft Control 현안을 정리하고 실험평가가 필요한 현안을 도출하였다. 그리고, Soft Control을 포함하여 신형 인간-기계 연계의 검토를 위해 추가 연구가 필요한 현안을 Soft Control 뿐 아니라 Advanced Information Systems Design, Computer-Based Procedure Systems, Human Systems Interface and Plant Modernization Process, Maintainability of Digital Systems, Advanced Alarm System 분야에 대해 NUREG/CR-6633, 6634, 6635, 6636, 6637, 6684 [6, 7, 8, 9, 10, 11]에서 발췌하여 정리하고, 이 현안들에 대해 차세대원자로 개발 등, 국내 현실을 감안한 연구의 시급성을 분석하

였으며, 또한 현안들 가운데 실험평가 연구로 지침의 개발이 가능한 현안을 도출하였다.

그리고, 과제계획서상의 연구내용 및 범위 중 2) 재래식 제어반과 첨단 제어실에서 운전원 제어오류에 대한 자기 감지 및 회복 특성 비교를 위한 실험수행은 운전원 제어오류에 대한 자기 감지만을 대상으로 하지 않고 범위를 넓혀 운전원 자신의 오류뿐 아니라, 주제어실내 다른 운전원, 현장 기기 운전원 및 계측제어 시험원의 오류를 포함하는 일반적으로 주 제어실에서 감지할 수 있는 대표적인 오류의 감지에 대한 실험을 수행하였다. 따라서, 과제계획서상의 목표를 초과 달성하였다고 할 수 있다.

제 2 절 대외 기여도

우선, 원자력 안전규제 관련 인간공학 기술을 선도하고 있는 미국의 NRC와 연구협력 약정을 체결함으로써 국내 원자력 분야의 인간공학 기술 수준을 국제적으로 인정받는 계기가 되었다. 따라서, 국내 원자력 기술의 위상을 제고하는데 일익을 담당하였으며, 국내 원자력 기술의 세계 진출에 긍정적인 홍보 효과를 가져올 것으로 예상된다.

현재 우리 나라는 차세대원자로, 신형원자로 등, 신형 제어실의 설계가 진행되고 있다. 따라서, 설계 기술뿐 아니라 설계의 인간공학적 적합성 평가, 인허가를 위한 검토 등, 여러 방면에 걸친 인간공학 기술의 확보가 요구되는 시점이다. 본 과제에서 신형 제어실 관련 주요 인간공학적 현안을 도출하고, 이 현안들 중 실험평가로 검토 지침의 개발이 가능한 항목을 도출하였다. 그리고, 운전원의 오류 감지 특성을 재래식 제어

반과 신행 제어실에서 실험을 통해 비교하였다. 본 과제의 연구결과는 국내 신행 제어실에 관한 규제기관의 규제 입장의 정리, 설계기관의 설계 방향 정립 등에 기여할 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구결과의 활용

본 연구의 결과로 Soft Control의 감시 기능, 접근 및 선택, 제어 입력, 반응 확인, 복수 제어, 가변적 요소, 다른 인간-기계 연계와의 연관 등의 특성에 대해 검토현안이 총 30건 도출되었으며 이들에 대한 실험적 및 분석적 연구에 의한 평가 여부를 판정하였다. 그리고, CRT 기반 신형 인간-기계 연계의 인간공학적 검토를 위해 추가연구가 필요한 현안들이 Advanced Information Systems Design, Computer-Based Procedure Systems, Soft Controls, Human Systems Interface and Plant Modernization Process, Maintainability of Digital Systems, Advanced Alarm System 분야에 대해 총 74건 도출되었다. 이들 현안에 대해 국내 차세대원자로 개발 방향을 감안한 연구의 시급성을 상, 중, 하로 나누어 구분하였으며, 또한 ITF와 같은 실험시설을 활용한 실험평가로 추가연구가 가능한 것들을 도출하였다.

그리고, 운전원의 오류감지 특성에 대한 재래식 제어실과 신형 제어실에서 비교실험 결과, 신형 제어실에서 오류감지 성공률이 재래식 제어실에서보다 낮았으며, 신형 제어실 설계에서 운전원의 오류감지를 위해 주의를 기울여야 할 사항들이 조사되었다.

Soft Control 현안과 오류감지 실험결과는 현재 한국전력연구원 주도로 진행되고 있는 차세대원자로의 설계뿐 아니라, 원자력 중장기 사업으로 수행되고 있는 차세대원자로 설계관련 요소기술 개발의 차세대원자로 MMI 설계 평가에 직접적으로 고려되어야 할 사항들이며, 또한 한국원자력안전기술원의 차세대원자로 인간공학 분야의 안전성 규제 검토에도 고려되어

야 할 사항들이다. 그리고, 차세대원자로뿐 아니라 국내에서 신형 제어실 설계를 추구하는 기타의 원자로 개발 과제에도 유사하게 반영되어 활용될 수 있다.

그리고, CRT 기반 신형 인간-기계 연계의 검토지침 개발을 위해 추가 연구가 필요한 현안들과 이들의 시급성 및 실험평가 연구 가능성을 분석한 결과는, 국내에서 추진되고 있는 신형 제어실의 궁극적인 인간공학설계 및 평가를 위해 가까운 시일 내에 연구가 수행되어 해결되어야 하는 항목을 제기한 것으로, 이들 추가연구가 필요한 현안들을 현재의 설계 및 설계평가에서 다룰 때에 세심한 주의가 필요하다 하겠다.

제 2 절 추가연구의 필요성

사례는 적으나 신규 원전 건설과 기존 제어실 및 계측제어 계통의 디지털 upgrade가 일부 원자력 국가에서 추진되고 있다. 미국에서는 계측제어 계통 디지털 upgrade에 따른 안전성 확보에 많은 관심을 기울여 연구개발이 진행되어 왔으며, 디지털 계측제어계통의 안전성과 더불어 인간-기계 연계에 대한 문제점 또한 제기하였다[22].

본 보고서 제 3 장 제 2절에 기술된 추가연구가 필요한 수많은 현안들은 원자력발전소에 신형 제어실을 적용한 운영경험이 전세계적으로 미진하며, 계측제어의 디지털화에 맞추어 설계에 반영될 신형 제어실에 대한 인간공학적인 심도 있는 고찰이 필요함을 증명하는 것이다.

다른 나라와는 달리 원자력 산업이 지속되어야 하며 신형 제어실을 추구하는 차세대원자로를 비롯한 원자로 개발이 진행되고 있는 우리 나라는

그 동안 선진국 특히 미국의 인간공학 분야 연구결과에 상당히 의존해오고 있었으나, 선진국의 원자력 침체에 따른 인간공학 연구의 감소로 앞으로는 자체 연구개발이 필요하다. 현재의 차세대원자로 관련 연구는 설계자에 의해 선택된 설계대안에 대한 적합성 평가만 수행되는 상황이다. 그러나, 특정 설계평가 시 누락되는 평가항목의 방지, 회피해야 할 설계 선택, 바람직한 설계대안 제시, 규제검토의 기반 확보 등의 측면에서 고려해 보면 다양한 설계환경에서의 실험평가가 필요하다. 본 보고서의 추가연구가 필요한 현안들은 이러한 연구항목을 제시한 것이며, 아울러 이들 현안의 해결은 세계적인 선도기술의 확보를 의미하는 것이다. 이들 현안을 연구함에 있어서, 선진국에서 디지털 계측제어와 인간공학 분야를 연계하여 다루는 바와 같이 국내에서도 디지털 계측제어와 함께 고려되는 것이 바람직하다. 한국원자력연구소는 이미 신형 제어실의 실험평가 연구에 필수적인 실험 시설인 ITF를 확보하고 있으므로 ITF를 활용한 실험연구가 중장기적으로 보다 활발히 지속될 필요가 있다.

제 6 장 참고문헌

- [1] 심봉식 등, 인간공학 기술개발 - 인간공학 실험평가 기술개발(최종보고서), KAERI/RR-1693/96, 한국원자력연구소, 1997. 7.
- [2] NUREG-0711, Human Factors Engineering Program Review Model, US NRC, Washington, DC, 1994.
- [3] NUREG-0700 Rev. 1, Human-System Interface Design Review Guideline, US NRC, Washington, DC, 1996.
- [4] NUREG-0800 Draft Rev. 0, Standard Review Plan Chap. 18, US NRC, Washington, DC, 1996.
- [5] 이재훈 등, “차세대원자로 안전규제 기술개발“, KINS/GR-172, 한국원자력안전기술원, 1999. 2. 28.
- [6] NUREG/CR-6633, Advanced Information Systems Design: Technical Basis and Human Factors Review Guidance, US NRC, Washington, DC, March, 2000.
- [7] NUREG/CR-6634, Computer-Based Procedure Systems: Technical Basis and Human Factors Review Guidance, US NRC, Washington, DC, March, 2000.
- [8] NUREG/CR-6635, Soft Controls: Technical Basis and Human Factors Review Guidance, US NRC, Washington, DC, March, 2000.
- [9] NUREG/CR-6636, Human Systems Interface and Plant Modernization Process: Technical Basis and Human Factors Review Guidance, US NRC, Washington, DC, March, 2000.
- [10] NUREG/CR-6637, Maintainability of Digital Systems: Technical Basis and Human Factors Review Guidance, US NRC, Washington, DC, March, 2000.
- [11] NUREG/CR-6684, Advanced Alarm System: Revision of Guidance

- and Its Technical Basis, US NRC, Washington, DC, August, 2000
- [12] 함창식 등, 첨단계측제어기술개발 - 계측제어 기반기술 개발 (최종보고서), KAERI/RR-1754/96, 한국원자력연구소, 1997. 7.
- [13] 이정운 등, 첨단제어반의 인적요소 문제 해결을 위한 인간공학 실험 방안 확립, KAERI/RR-1849/98, 한국원자력연구소, 1999. 1.
- [14] 이정운 등, “차세대원자로 안전규제요건 개발 - 인간공학 설계검토지침의 초안개발(III)”, KAERI/CR-66/99, 한국원자력연구소, KINS/HR-242, 한국원자력안전기술원, 1999. 2.
- [15] 이정운 등, “차세대원자로 안전규제요건 개발 - 차세대원자로 인간공학 안전심사지침 초안개발”, KAERI/CR-88/2000, 한국원자력연구소, KINS/HR-296, 한국원자력안전기술원, 2000. 2.
- [16] EPRI, Advanced light water reactor utility requirements document, Volume II, ALWR evolutionary plant, Chapter 10, Man-machine Interface Systems (revisions 5&6), Palo Alto, CA, 1993
- [17] International Electrotechnical Commission (IEC), Nuclear power plants - control rooms - operator controls (IEC 1227), Geneva, Switzerland, 1993.
- [18] EPRI, Guideline on licensing digital upgrades (EPRI TR-102348), Palo Alto, CA, 1993.
- [19] Christoffersen, K., Hunter, C., and Vicente, K., Ecological interface design and fault management performance: Long-term effects. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39th Annual Meeting*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society, 1995.
- [20] Tanaka, T., Eberts, R., and Salvendy, G., Consistency of human-computer interface design: Quantification and validation. *Human Factors*, 33, 654-676, 1991.

- [21] Mumaw, R., Swatzler, D., Roth, E., and Thomas, W., Cognitive skill training for nuclear power plant operational decision making (NUREG/CR-6126), Washington, DC: US Nuclear Regulatory Commission, 1994.
- [22] National Research Council, Digital Instrumentation and Control Systems in Nuclear Power Plants: Safety and Reliability Issues, Washington, D. C.: National Academy Press, 1997.

부록 1. US NRC와의 인간공학 연구협력 약정 전문

LETTER OF AGREEMENT
FOR
COLLABORATION IN THE AREAS OF HUMAN FACTORS AND
HUMAN PERFORMANCE RESEARCH
BETWEEN
THE UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION
(USNRC) AND THE KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH
INSTITUTE (KAERI)

I. BACKGROUND

The United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC) and the Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) have had several successful collaborations in the area of nuclear safety research and are currently collaborating in the cooperative severe accident research program (CSARP) and in the steam generator tube integrity research program. These cooperative research programs have provided and continue to provide very useful information to both the USNRC and KAERI and enhance our understanding of important technical and safety issues.

In order to continue the collaboration between USNRC and KAERI in the field of nuclear safety research, USNRC and KAERI would like to implement an additional cooperative activity of information exchange in the areas of human factors and human performance research with advanced human-system interfaces.

II. PROVISIONS

Except as noted below, this activity will be governed by the terms and conditions of the Arrangement between the United States Nuclear Regulatory Commission and the Ministry of Science and Technology (M.O.S.T) for the Exchange of Technical Information and Cooperation in Regulatory and Safety Research Matters, signed on September 19, 2000.

III. OBJECTIVES

This collaboration will be conducted to establish a technical basis for human factors review of advanced human-system interfaces.

IV. COLLABORATION PROTOCOLS

Both the USNRC and KAERI will make technical in-kind contributions to each other's research programs as described below.

The USNRC will provide KAERI with expert advice regarding the performance of human factors research studies being undertaken in the area of advanced human-system interfaces sufficient to establish a technical basis for USNRC's regulatory positions and guidance to be developed in this field. In addition, USNRC will provide KAERI with the insights gained from related research conducted or sponsored by USNRC.

KAERI will provide to the USNRC the expertise of their research staff in conducting such research, make available their Integrated Test Facility (ITF) and related facilities needed to undertake this work, and the results of their studies in this area.

V. OTHER

The implementation of this collaboration will not involve the exchange of cash, but may involve technical exchange visits by key personnel. USNRC or KAERI analytical computer codes will not be exchanged under this collaboration.

DONE at Taejon, Republic of Korea, on this 9th day of October 2000.

FOR THE UNITED STATES
NUCLEAR REGULATORY
COMMISSION:

FOR THE KOREA ATOMIC
ENERGY RESEARCH
INSTITUTE:

Ashok C. Thadani, Director
Office of Nuclear Regulatory Research

Jongmin Lee, Vice President
Advanced Nuclear Technology
Development

부록 2. ITF CRT 사용 숙련도 시험 문제지 및 정답

RO용 문제지 set 1

문제	Description	Part No.	Value	Unit
1.1	Surge Tank 01TA Drain VLV	V2061		Norm
1.2	RCFC 1SA Outlet Temp	CC-TI-121		deg C
1.3	CCW HX 01AA Tube Side Inlet Valve	V1005		Norm
1.4	RCFC 01SA Inlet Moisture	VP-MI-013A		percent
1.5	H2 Recombiner A Outlet Valve	HGV1001		Norm
1.6	Letdown HX Outlet Pressure			Kg/cm2
1.7	RCP Seal Injection Isolation Valve CV-HS-231P	CVV231P		Norm
1.8	A" Charging Pump Suction Valve	V316		Norm
1.9	Boric Acid Makeup Pump 1 Discharge Pressure			cmH2O
1.10	RCP 1A Controlled Bleed Off Temp	RC-TI-118		deg C
1.11	SIS Minimum Flow Valve CS-HS-025	MOV CSV0025		Norm
1.12	SIT 2A Header Pressure			Kg/cm2
1.13	PZR Head Vent Valve RG-HS-103	RGV0103		Norm
1.14	RCP 1A Upper Thrust Bearing Temp	RC-TI-156		deg C
1.15	Spray Additive Isolation Valve CS-HS-013	CSV0013		Norm
1.16	Shutdown Cooling HX Outlet Temp	SI-TI-303X		deg C
1.17	RDT Seal Leak Isolation Valve	V2043		Norm
1.18	Refueling Water Tank Temp	CV-TI-200		deg C
1.19	VCT Hydrogen Isolation Valve	V108		Norm
1.20	Letdown Boronometer	CV-AI-203		ppm
1.21	Charging Line Isolation Valve CV-HS-524	MOV CVV524		Norm
1.22	Channel A CNMT Pressure (WR)	CM-PI-352A		cmH2O
1.23	ACU 03S Deluge Valve VQ-HS-061	VQV061		Norm
1.24	RCP 1A MTR Air CLR Outlet Temp	CC-TI-167		deg C
1.25	Essential Chiller Condenser 1A Outlet Bypass Valve	V1175		Norm

RO용 문제지 set 2

문제	Description	Part No.	Unit
2.1	Reactor head Vent Valve RG-HS-101	RGV0101	Norm
2.2	Spray Additive Tank 01TA Pressure	CS-PI-005	mmHgA
2.3	Shutdown Cooling HX Discharge Valve SI-HS-657A (Train A)	MOV SIV657	Norm
2.4	Reactor Drain Tank Temp	CV-TI-268	deg C
2.5	Refueling Water Tank Discharge Valve CV-HS-532	CVV532	Norm
2.6	Rx Makeup Water Flow CV-FIK-210X (set point)		L/min
2.7	A" Purification Ion Exchanger (01D) Inlet Valve	V369	Norm
2.8	Regenerative HX Charging Line Outlet Temp	CV-TI-229	deg C
2.9	CNMT Temp	CM-TI-031	deg C
2.10	Low Volume Purge ACU Inlet Valve VQ-HS-035	VQY0035	Norm
2.11	RCP 2A Inlet Valve	V1078	Norm
2.12	ESSEN CHILLER CNDSR 1A Temp	CC-TI-089	deg C
2.13	CCW PMP Discharge HDR Pressure Train B		Kg/cm2
2.14	SFP Cooling HX B Outlet Temp	CC-TI-138	deg C
2.15	ESW Pump 01PB Discharge Flow Check Valve	V1002	Norm
2.16	RCFC 02SB Inlet Moisture	VP-MI-016A	percent
2.17	H2 Recombiner B Outlet Valve	HGV1004	Norm
2.18	Letdown Flow Bypass Valve CV-HS-526	MOV CVV526	Norm
2.19	RCP Seal Injection Temp CV-TIK-231 (Output)		deg C
2.20	C" Charging Pump ALT Discharge Valve	V798	Norm
2.21	Refueling Water Recirculation Valve CV-HS-510	CVV510	Norm
2.22	RCP 2A Controlled Bleed Off Valve RC-HS-432	MOV RCV432	Norm
2.23	Containment Spray Pump 01PA Flow	CS-FI-338	L/min
2.24	SIT 1B N2 Supply Valve SI-HS-642	SIV642	Norm
2.25	SDS Line Pressure	RC-PI-131	Kg/cm2

RO용 문제지 set 3

문제	Description	Part No.	Unit
3.1	ESSEN CHILLER CNDSR 1B Flow	CC-FI-094	L/s
3.2	RCP 2A Cooling Flow	CC-FI-191	L/s
3.3	Post LOCA Purge ACU Outlet Damper VQ-HS-059B	VQY0059	Norm
3.4	CNMT RECIRC Sump A Water Temp	CM-TI-041	deg C
3.5	Charging Line Back Pressure Valve CV-HS-239A	CVV239	Norm
3.6	Letdown Rad Mon outlet Flow (process value)	CV-FIK-204	L/min
3.7	Rx Makeup Water Flow Control Valve CV-HS-210X	CVV210X	Norm
3.8	Refueling Water Tank Level	CV-LI-200A	percent
3.9	Recycle Drain Header EDT Isolation Valve CV-HS-562	CVV562	Norm
3.10	LPSI Pump Discharge Pressure Train B	SI-P1-307	Kg/cm2
3.11	Spray Additive Tank Train A Recirculation Valve	V1021	Norm
3.12	RCP 2B Upper Thrust Bearing Temp	RC-TI-186	deg C
3.13	PZR Spray Control Valve RC-HS-1001	RCV100E	Norm
3.14	SIT 2B Vent Valve SI-HS-605A	SIV606	Norm
3.15	Shutdown Cooling HX Outlet Valve CS-HS-033	MOV CSV0033	Norm
3.16	RCP 1B Seal Cooler #2 Inlet Pressure		Kg/cm2
3.17	Boric Acid Makeup Flow Control Valve CV-HS-210Y	CVV210Y	Norm
3.18	B" Charging Pump ALT Suction Valve	V756	Norm
3.19	RCP 2B Seal Injection Flow Valve CV-FIK-244 (set point)		L/min
3.20	Letdown Flow Isolation Valve	V343	Norm
3.21	Hydrogen Monitor UU-006	CM-AI-006	percent
3.22	RCFC 02SA Outlet Temp	VP-TI-011A	deg C
3.23	ESW Pump 01PA Discharge Flow Check Valve	V1001	Norm
3.24	SFP Cooling HX A Outlet Flow	CC-FI-139	L/s
3.25	CCW Pump Discharge Common Header Return Flow Valve	V1169	Norm

RO용 문제지 set 4

문제	Description	Part No.	Unit
4.1	SDS Line Temp	RC-TI-132	deg C
4.2	SIT 1A Fill Drain Valve SI-HS-631	SIV631	Norm
4.3	Shutdown Cooling HX Inlet Valve CS-HS-028	MOV CSV0028	Norm
4.4	RCP 2A HP Cooler Inlet Temp	RC-TI-180	deg C
4.5	Emergency Boration Valve	V753	Norm
4.6	A" Charging Pump Suction Valve	V317	Norm
4.7	RCP 2A Seal Injection Flow Valve CV-HS-243	CVV243	Norm
4.8	Letdown HX Outlet Flow	CV-FI-202A	L/min
4.9	H2 Recombiner A Outlet Valve	HGV0029	Norm
4.10	RCFC 01SB Outlet Moisture	VP-MI-018A	percent
4.11	ESW Pump Discharge Flow (Train B)	SX-FI-050	L/s
4.12	AFP ENG CLR B Outlet Temp	CC-TI-146	deg C
4.13	CCW HX 03AB Inlet Valve	V1146	Norm
4.14	Essential Chiller Condenser 2B Outlet Bypass Valve	V1178	Norm
4.15	RCP 1B Seal CLR Outlet Temp	CC-TI-174	deg C
4.16	Post LOCA Purge ADAR 10F Temp	VQ-TI-056A	deg C
4.17	Channel D CNMT Pressure (NR)	CM-PI-351D	cmH2O
4.18	Charging Line Flow	CV-FI-212A	L/min
4.19	Purification Ion Exchanger Bypass Valve CV-HS-520	CVV520	Norm
4.20	VCT Discharge Valve CV-HS-501	MOV CVV501	Norm
4.21	RWT Discharge Isolation Valve CV-HS-531	MOV CVV531	Norm
4.22	RDT Discharge Isolation Valve CV-HS-560	CVV560	Norm
4.23	Shutdown Cooling HX Outlet Isolation Valve SI-HS-696A (Train B)	MOV SIV696	Norm
4.24	Spray Additive Pump 02PA Discharge Flow	CS-FI-011	L/h
4.25	RCP 2A Upper Thrust Bearing Temp	RC-TI-176	deg C

RO용 문제지 set 5

문제	Description	Part No.	Unit
5.1	CCW HX Outlet Flow	CC-FI-071	L/s
5.2	CCW BP A Discharge Valve	V1201	Norm
5.3	ESW Pump Discharge Flow (Train A)	SX-FI-049	L/s
5.4	RCFC 01SA Outlet Moisture	VP-MI-017A	percent
5.5	(H2 Monitor UU-006 Outlet Valve)	MOV CMV1004	Norm
5.6	Letdown Flow Control Isolation Valve	V358	Norm
5.7	RCP 1B Seal Injection Flow Valve CV-FIK-242 (Output)		L/min
5.8	B" Charging Pump Suction Valve	V319	Norm
5.9	Boric Acid Makeup Flow CV-FIK-210Y (Output)		L/min
5.10	RCP 1A HP Cooler Inlet Valve RC-HS-446	MOV RCV446	Norm
5.11	Containment Spray Isolation Valve CS-HS-035	MOV CSV0035	Norm
5.12	Cold Leg 2A Injection Flow		L/min
5.13	PZR Surge Line CIV PX-HS-004	PXV004	Norm
5.14	Hot Leg Loop1 CIV PX-HS-001	PXV001	Norm
5.15	Spray Additive Tank 01TB Level	CS-LI-002	percent
5.16	LPSI Pump Discharge Flow	SI-FI-306A	L/min
5.17	Equipment Drain Tank Temp	CV-TI-269	deg C
5.18	Charging Pump GRAV Feed Isolation Valve CV-HS-534	CVV534	Norm
5.19	Load Follow Supply Valve CV-HS-527	CVV527	Norm
5.20	Letdown Radiation Activity		CPM
5.21	PZR Aux Spray Control Valve CV-HS-203A	CVV203	Norm
5.22	CNMT Temp (TE-037)	CM-TI-037	deg C
5.23	Low Volume Purge ACU Deluge Valve VQ-HS-047	VQV047	Norm
5.24	RCP 1A Cooling Flow	CC-FI-177	L/s
5.25	DG A HX Outlet Temp	CC-TI-109	deg C

RO용 문제지 set 6

문제	Description	Part No.	Unit
6.1	Reactor head Vent Valve RG-HS-102	RGV0102	Norm
6.2	Spray Additive Tank 01TB Pressure	CS-PI-006	mmHgA
6.3	Shutdown Cooling HX Bypass Valve SI-HS-306A	MOV SIV306	Norm
6.4	Reactor Drain Tank Level	CV-LI-268	percent
6.5	Boric Acid Batching Tank Outlet Valve	V122	Norm
6.6	VCT Nitrogen Isolation Valve	V644	Norm
6.7	B" Purification Ion Exchanger (02D) Inlet Valve	V383	Norm
6.8	Regenerative HX Outlet Temp	CV-TI-221A	deg C
6.9	Channel B CNMT Pressure (WR)	CM-PI-353B	cmH2O
6.10	Post LOCA Purge ACU Inlet Valve VQ-HS-050	VQY0050	Norm
6.11	RCP 1B Inlet Valve	V1075	Norm
6.12	SDC HX B Outlet Temp	CC-TI-078	deg C
6.13	CCW Pump 01PB Inlet VLV	V1122	Norm
6.14	RCFC 1SB Outlet Flow	CC-FI-124	L/s
6.15	CCW HX 03AB Tube Side Inlet Valve	V1010	Norm
6.16	RCFC 02SB Inlet Temp	VP-TI-008A	deg C
6.17	H2 Recombiner B Outlet Valve	HGV1003	Norm
6.18	IX, PRM, Boronometer Inlet Temp		deg C
6.19	RCP 1A Seal Injection Flow Valve CV-HS-241	CVV241	Norm
6.20	C" Charging Pump ALT Suction Valve	V757	Norm
6.21	Charging Pump Grav Feed Isolation Valve CV-HS-536	MOV CVV536	Norm
6.22	RCP 2A Seal #3 Pressure		Kg/cm2
6.23	Containment Spray Pump 01PB Flow	CS-FI-348	L/min
6.24	HPSI Header Isolation Valve SI-HS-646 (Train 1B)	MOV SIV646	Norm
6.25	PZR Pressure Controller Manual Set Point (Output)	PIK100	Kg/cm2

RO용 문제지 set 7

문제	Description	Part No.	Unit
7.1	ESSEN CHILLER CNDSR 1A Flow	CC-FI-093	L/s
7.2	RCP 2B MTR Air CLR Outlet Temp	CC-TI-182	deg C
7.3	Low Volume Purge ADSR 05F Temp	VQ-TI-041A	deg C
7.4	CNMT RECIRC Sump B Water Temp	CM-TI-042	deg C
7.5	Charging Line Back Pressure Valve CV-HS-240A	CVV240	Norm
7.6	Letdown Boron Low/High Range	CV-AR-203	ppm
7.7	VCT Makeup Stop Valve CV-HS-512	CVV512	Norm
7.8	Pre-Holdup Ion Exchanger to RWT Isolation Valve	V124	Norm
7.9	Equipment Drain Tank Level	CV-LI-251	percent
7.10	Shutdown Cooling HX Outlet Temp (Train B)	SI-TI-303Y	deg C
7.11	Spray Additive Isolation Valve CS-HS-014	CSV0014	Norm
7.12	RCP 1B Upper Thrust Bearing Temp	RC-TI-166	deg C
7.13	PZR Head Vent Valve RG-HS-105	RGV0105	Norm
7.14	SIT 1A Vent Valve SI-HS-607A	SIV607	Norm
7.15	SIS Minimum Flow Valve CS-HS-026	MOV CSV0026	Norm
7.16	RCP 2B Seal Cooler #2 Inlet Temp	RC-TI-193	deg C
7.17	Boric Acid Makeup Bypass Valve CV-HS-514	MOV CVV514	Norm
7.18	A" Charging Pump ALT Discharge Valve	V796	Norm
7.19	RCP 2B Seal Injection Flow Valve CV-HS-244	CVV244	Norm
7.2	Charging Pump 1 Dischrge Relief Valve	PSV345	Norm
7.21	Hydrogen Monitor UU-005	CM-AI-005	percent
7.22	RCFC 02SA Inlet Moisture	VP-MI-015A	percent
7.23	CCW HX Outlet Temp (Train A)	SX-TR-065	deg C
7.24	SFP Cooling HX A Outlet Temp	CC-TI-137	deg C
7.25	CCW HX 01AA Inlet Valve	V1141	Norm

RO용 문제지 set 8

문제	Description	Part No.	Unit
8.1	SDS Line Pressure	RC-PI-132	Kg/cm2
8.2	SIT 2B N2 Supply Valve SI-HS-629	SIV629	Norm
8.3	Shutdown Cooling HX Outlet Valve CS-HS-034	MOV CSV0034	Norm
8.4	RCP 1B HP Cooler Inlet Temp	RC-TI-160	deg C
8.5	VCT Hydrogen Isolation Valve	V143	Norm
8.6	C" Charging Pump Suction Valve	V322	Norm
8.7	RCP 1A Seal Injection Flow Valve CV-FIK-241 (set point)		L/min
8.8	Letdown Flow Control Isolation Valve	V348	Norm
8.9	(H2 Monitor UU-006 Inlet Valve)	MOV CMV1002	Norm
8.10	RCFC 01SB Inlet Temp	VP-TI-006A	deg C
8.11	CCW HX 02AB Tube Side Inlet Valve	V1008	Norm
8.12	RCFC 2SB Outlet Temp	CC-TI-126	deg C
8.13	CCW HX Outlet Temp (Train B)	CC-TI-070	deg C
8.14	DG A HX Outlet Flow (Train B)	CC-FI-112	L/s
8.15	RCP 1A Inlet Valve	V1072	Norm
8.16	Low Volume Purge ACU Outlet Damper VQ-HS-044B	VQY0044	Norm
8.17	CNMT Temp	CM-TI-047	deg C
8.18	Charging Line Pressure		Kg/cm2
8.19	Boronometer & PRM Bypass Valve	CVV521	Norm
8.20	VCT Discharge Valve CV-HS-504	MOV CVV504	Norm
8.21	Boric Acid Batching Eductor Inlet Valve	V649	Norm
8.22	Reactor Drain Tank Pressure		cmH2O
8.23	Shutdown Cooling HX Inlet Pressure (Train B)	SI-PI-303Y	Kg/cm2
8.24	Spray Additive Pump 02PB Discharge Flow	CS-FI-012	L/h
8.25	Hot Leg Loop 1 CIV PX-HS-002	PXV002	Norm

RO용 문제지 set 1 정답

(Initial Condition: IC12)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
1	CC01	0.000
3	CC04	21.272
5	CC10	1.000
7	CH02	4.050
9	CH07	0.000
11	CV02	26.009
13	CV04	1.000
15	CV06	1.000
17	CV08	52.807
19	CV14	0.135
21	RH05	1.000
23	SI03	43.697
25	RC02	0.000
24	RC01	59.980
22	RH06	0.000
20	RH01	21.923
18	CV10	1.000
16	CV07	21.388
14	CV05	1.000
12	CV03	980.297
10	CV01	1.000
8	CH04	1.091
6	CH01	0.000
4	CC08	21.890
2	CC03	0.000

RO용 문제지 set 2 정답

(Initial Condition: IC14)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
24	RC01	0.000
22	RH06	936.361
20	RH01	0.000
18	CV10	26.667
16	CV07	0.000
14	CV05	398.51
12	CV03	1.000
10	CV01	219.868
8	CH04	23.555
6	CH01	0.000
4	CC08	1.000
2	CC03	23.357
1	CC02	8.156
3	CC06	21.267
5	CC11	1.000
7	CH02	4.377
9	CH07	0.000
11	CV02	0.000
13	CV04	63.74
15	CV06	0.000
17	CV08	0.000
19	CV16	1.000
21	RH05	0.000
23	SI06	0.000
25	RC02	0.000

RO용 문제지 set 3 정답

(Initial Condition: IC16)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
2	CC05	124.021
4	CC08	28.895
6	CH01	0.000
8	CH04	19.547
10	CV01	1.000
12	CV03	10.52
14	CV05	0.000
16	CV07	93.260
18	CV13	1.000
20	RH02	2.877
22	RH06	0.000
24	RC01	60.064
25	RC02	0.000
23	SI04	0.000
21	RH07	1.000
19	CV15	100.422
17	CV08	0.000
15	CV06	1.000
13	CV04	25.78
11	CV02	0.000
9	CH07	0.000
7	CH02	19.546
5	CC10	1.000
3	CC04	218.148
1	CC01	0.000

RO용 문제지 set 4 정답

(Initial Condition: IC18)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
25	RC02	25.500
23	SI05	0.000
21	RH05	1.000
19	CV17	25.292
17	CV08	0.000
15	CV06	0.000
13	CV04	0.458
11	CV02	267.336
9	CH07	0.000
7	CH02	6.445
5	CC11	1723.102
3	CC06	21.362
1	CC02	0.000
2	CC05	0.000
4	CC08	21.446
6	CH01	21.562
8	CH04	35.641
10	CV01	332.905
12	CV03	1.000
14	CV05	1.000
16	CV07	1.000
18	CV10	0.000
20	RH02	0.000
22	RH06	0.000
24	RC01	60.121

RO용 문제지 set 5 정답

(Initial Condition: IC12)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
1	CC01	990.430
3	CC04	0.325
5	CC10	1712.042
7	CH02	4.050
9	CH07	0.000
11	CV02	1.000
13	CV04	33.78
15	CV06	1.000
17	CV08	750.00
19	CV14	1.000
21	RH07	0.000
23	SI03	0.000
25	RC02	0.000
24	RC01	0.000
22	RH06	83.342
20	RH01	0.000
18	CV13	22.040
16	CV07	0.000
14	CV05	0.000
12	CV03	10.000
10	CV01	0.000
8	CH04	23.335
6	CH01	0.000
4	CC08	28.895
2	CC03	21.272

RO용 문제지 set 6 정답

(Initial Condition: IC14)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
24	RC01	0.000
22	RH06	936.361
20	RH01	0.208
18	CV10	69.997
16	CV07	0.000
14	CV05	0.000
12	CV03	0.000
10	CV01	127.091
8	CH04	1.003
6	CH01	0.000
4	CC08	1.000
2	CC05	21.267
1	CC02	1.000
3	CC06	76.416
5	CC11	0.000
7	CH02	20.549
9	CH07	0.000
11	CV02	25.488
13	CV04	0.438
15	CV06	1.000
17	CV08	0.000
19	CV16	53.502
21	RH05	0.000
23	SI06	0.000
25	RC02	124.77

RO용 문제지 set 7 정답

(Initial Condition: IC16)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
2	CC03	123.190
4	CC08	21.697
6	CH01	21.686
8	CH04	20.681
10	CV01	0.424
12	CV03	3283.242
14	CV05	0.000
16	CV07	0.000
18	CV13	39.772
20	RH02	21.933
22	RH06	0.000
24	RC01	60.064
25	RC02	0.000
23	SI05	0.000
21	RH05	1.000
19	CV17	25.948
17	CV08	0.000
15	CV06	0.000
13	CV04	0.447
11	CV02	0.000
9	CH07	0.000
7	CH02	4.894
5	CC10	21.307
3	CC04	23.191
1	CC01	1.000

RO용 문제지 set 8 정답

(Initial Condition: IC18)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
25	RC02	0.000
23	SI04	0.000
21	RH07	1.000
19	CV15	25.294
17	CV08	1.000
15	CV06	1.000
13	CV04	25.40
11	CV02	0.000
9	CH07	1.000
7	CH02	20.126
5	CC11	1.000
3	CC06	21.440
1	CC02	21.362
2	CC05	0.000
4	CC08	1.000
6	CH01	0.000
8	CH04	20.229
10	CV01	173.294
12	CV03	1.000
14	CV05	1.000
16	CV07	0.000
18	CV10	7.025
20	RH02	2.830
22	RH06	0.000
24	RC01	0.000

TO용 문제지 set 1

문제	Description	Part No.	Value	Unit
1.1	CW Pump 05P Discharge Pressure			Kg/cm2
1.2	Condenser Pump 01P Suction Pressure			Kg/cm2
1.3	LP FW Heater Bypass Valve	V276		Norm
1.4	FW Pump 01P Recirc Valve FW-FIK-023 (Output)			DMLSS
1.5	FW Pump Turbine A Steam Exhaust Valve MS-HS-061	MSV061		Norm
1.6	LP Heater 3A Control Valve	HDV137		Norm
1.7	Condenser A Temp	CD-TI-037		deg C
1.8	NT System Self-regulating Valve	NTV1014		Norm
1.9	LP Turbine A Steam Drain Valve ES-HS-055	ESV055		Norm
1.10	LP Turbine A Steam Drain Valve ES-HS-075	MOV ESV075		Norm
1.11	Main Steam Inlet to Aux Steam Header Pressure	AS-PI-002A		Kg/cm2
1.12	TBOCW Pump 01P Discharge Valve WH-HS-025	MOV WHV025		Norm
1.13	Generator Field DC Volt	MP-EI-114		VDC
1.14	WT Discharge Header Pressure	WT-PI-026		Kg/cm2
1.15	Steam Bypass to Condenser A Valve (Output)	MS-HIK-1001		-
1.16	MSR A SCAV STM Valve HD-HS-003A	MSV HDV003A		Norm
1.17	EXT STM Shutoff Valve ES-HS-005	MOV ESV005		Norm
1.18	Steam Atmosphere Dump Valve MS-HS-178BB	MSV178		Norm
1.19	Air Supply Header Pressure			Kg/cm2
1.20	HP Heater 6A Control Valve	HDV099		Norm
1.21	Aux FW Pump 1PA Suction Pressure	AF-PI-005A		Kg/cm2
1.22	SG1 Downcommer Isolation Valve	V101		Norm
1.23	Deaerator Inlet Flow	CD-FI-300		L/s
1.24	Condenser Recirculation Isolation Valve	CDV1086		Norm
1.25	Condenser Shell A Inlet Valve CW-HS-091	MOV CWV091		Norm

TO용 문제지 set 2

문제	Description	Part No.	Value	Unit
2.1	TBCCW HX Outlet Temp	WT-TI-046		deg C
2.2	SBCS Master (set point)	MS-PIK-1010		-
2.3	MSR B SCAV STM Valve to CNDSR B HD-HS-003B	MSV HDV003B		Norm
2.4	HP Turbine Steam Drain Valve ES-HS-003	MOV ESV003		Norm
2.5	MSIV Bypass Valve MS-HS-183B	MSV183		Norm
2.6	Air Dryer Package Isolation valve	V1014		Norm
2.7	HP Heater 5A Normal Drain Valve	HDV117A		Norm
2.8	Aux FW Pump Discharge Header Train A Temp	AF-TI-033		deg C
2.9	SG1 Economizer Flow Control Valve FW-FIK-1112 (Process Value)			-
2.10	Steam Generator Blow Down Regeneration HX A to Deaerator Valve	CDV901		Norm
2.11	Steam Packing Exhauster Discharge Pressure			Kg/cm2
2.12	Condenser Shell C Outlet Valve CW-HS-150	MOV CWV150		Norm
2.13	CW Pump 01P Discharge Valve CW-HS-073	MOV CWV073		Norm
2.14	Condenser A Left Outlet Valve	V049		Norm
2.15	LP FW HTR Train A Inlet Valve	V217		Norm
2.16	FW 01P REC. Flow Valve	V023		Norm
2.17	FW Pump Turbine A Speed			rpm
2.18	LP Heater 1C Drain Valve	HDV211		Norm
2.19	Condenser A Left Hotwell Level			percent
2.20	HY System Self-regulating Valve	HYV001		Norm
2.21	EXT STM Shutoff Valve ES-HS-047	MOV ESV047		Norm
2.22	EXT STM Shutoff Valve ES-HS-081	MOV ESV081		Norm
2.23	STM Seal Feed Valve TA-HS-051	MOV TAV051		Norm
2.24	TBOCW Pump Discharge Header Pressure	WH-PI-020		Kg/cm2
2.25	Generator Neg. Seq. Amp	MP-11-102		-

TO용 문제지 set 3

문제	Description	Part No.	Value	Unit
3.1	Condenser Shell B Inlet Valve CW-HS-093	MOV CWV093		Norm
3.2	DST Level Control Valve	CDV214		Norm
3.3	Deaerator Pressure	CD-PI-303		Kg/cm2
3.4	SG2 Downcomer Isolation Valve FW-HS-175A	V175		Norm
3.5	Aux FW Pump 2PA Discharge Pressure			Kg/cm2
3.6	HP Heater 7A Drain Valve	HDV093		Norm
3.7	After Filter Discharge Pressure (Instr. Air Sys.)			Kg/cm2
3.8	SG1 Main Steam Line Pressure			Kg/cm2
3.9	HP Turbine Steam Drain Valve ES-HS-016	MOV ESV016		Norm
3.10	MSR A SCAV STM Valve HD-HS-029A	MSV HDV029A		Norm
3.11	Steam Bypass to ATMOS Valve (Process Value)	MS-HIK-1007		-
3.12	TBCCW HX A Outlet Valve WT-HS-043	MOV WTV043		Norm
3.13	Generator Field DC Amp	MP-II-114		ADC
3.14	TBCCW HX A Inlet Valve WH-HS-033	MOV WHV033		Norm
3.15	Main Steam Inlet to Aux Steam Header Flow	AS-PI-003		?
3.16	LP Turbine B Steam Drain Valve ES-HS-141	MOV ESV141		Norm
3.17	Deaerator Inlet HDR Drain Valve ES-HS-066	ESV066		Norm
3.18	HY System Self-Regulating Valve	HYV007		Norm
3.19	Condenser Shell C Pressure (narrow)	CD-PI-357		mmHgA
3.20	LP Heater 2B Control Valve	HDV174		Norm
3.21	Hot Reheat Steam to Main Feedwater Pump Turbine A Supply Valve	MSV1181		Norm
3.22	FW Main FW Pump 03P Speed			rpm
3.23	LP FW HTR Train C Outlet Valve	V275		Norm
3.24	Condenser Pump 04P Discharge Pressure			Kg/cm2
3.25	Intake Structure Level	CW-LI-079		percent

TO용 문제지 set 4

문제	Description	Part No.	Value	Unit
4.1	Generator Power Factor x.xxx	MP-JI-102		-
4.2	TBOCW Pump 03P Discharge Valve WH-HS-027	MOV WHV027		Norm
4.3	Aux STM Feed Shutoff Valve TA-HS-052	MOV TAV052		Norm
4.4	EXT STM Shutoff Valve ES-HS-079	MOV ESV079		Norm
4.5	LP Turbine B Steam Drain Valve ES-HS-056	ESV056		Norm
4.6	NT System Self-regulating Valve	NTV1029		Norm
4.7	Condenser B Right Hotwell Level			percent
4.8	LP Heater 1A Drain Valve	HDV209		Norm
4.9	FW Pump Turbine B Speed			rpm
4.10	Startup FW Pump 07P Recirc Valve FW-FIK-057 (Set Point)			DMLSS
4.11	HP FW HTR TRN A Inlet Valve	V059A		Norm
4.12	Condenser Pump 04P Suction Pressure			Kg/cm2
4.13	CW Pump 02P Discharge Pressure			Kg/cm2
4.14	Condenser Shell A Outlet Valve CW-HS-146	MOV CWV146		Norm
4.15	Condenser Recirculation Valve CD-LIK-210 (Output)			-
4.16	SGBD REGN HX A to CNDSR Valve	CDV306		Norm
4.17	SG2 Downcomer Flow Control Valve FW-FIK-1123 (Process Value)			-
4.18	Aux FW Pump 2PB Suction Pressure	AF-PI-008A		Kg/cm2
4.19	HP Heater 5B Emergency Drain Valve	HDV120A		Norm
4.20	Air Pressure Regulating (95PSING) Valve	V1027		Norm
4.21	Main Steam Drain Valve MS-HS-074	MSV074		Norm
4.22	MSR STM Shutoff Valve ES-HS-036	ESV036		Norm
4.23	MSR B SCAV STM Valve to CNDSR A HD-HS-030B	MSV HDV030B		Norm
4.24	SBCS AMI Setpoint (pv, out)	MS-HIK-1010		-
4.25	TBCCW HX C Inlet Valve WT-HS-033	MOV WTV033		Norm

TO용 문제지 set 5

문제	Description	Part No.	Value	Unit
5.1	CW Pump 06P Discharge Pressure			Kg/cm2
5.2	Condenser Pump 02P Discharge Pressure			Kg/cm2
5.3	LP FW HTR Train A Outlet Valve	V273		Norm
5.4	FW Pump 01P Recirc Valve FW-FIK-024 (Set Point)			DMLSS
5.5	FW Pump Turbine B Steam Exhaust Valve MS-HS-062	MSV062		Norm
5.6	LP Heater 3C Control Valve	HDV139		Norm
5.7	Condenser Shell A Pressure (wide)			mmHgA
5.8	NT System Self-regulating Valve	NTV1019		Norm
5.9	EXT STM Shutoff Valve ES-HS-048	MOV ESV048		Norm
5.10	LP Turbine A Steam Drain Valve ES-HS-139	MOV ESV139		Norm
5.11	Main Steam Inlet to Aux Steam Header Valve As-Hs-001	MOV ASV001		Norm
5.12	TBCCW HX B Outlet Valve WH-HS-050	MOV WHV050		Norm
5.13	Main XFMR 345kV Side Amp	MP-II-104		AMPS
5.14	TBCCW HX C Outlet Valve WT-HS-045	MOV WTV045		Norm
5.15	Steam Bypass to Condenser B Valve (Output)	MS-HIK-1003		-
5.16	MSR A SCAV STM Valve to CNDSR B HD-HS-003B	MSV HDV003B		Norm
5.17	MSR STM Drain Valve ES-HS-029	ESV029		Norm
5.18	MSIV	V150		Norm
5.19	Service Air Supply Valve IA-HS-014	V014		Norm
5.20	HP Heater 6B Control Valve	HDV100		Norm
5.21	Aux FW Pump Discharge Header Train B Temp	AF-TI-034		deg C
5.22	SG2 Economizer Flow Control Valve FW-FIK-1122 (Process Value)			-
5.23	Deaerator Temp	CD-TI-315		deg C
5.24	Condenser Overflow Valve to Condensate Storage Tank CD-LIK-212 (Set Point)			-
5.25	Condenser Shell C Inlet Valve CW-HS-095	MOV CWV095		Norm

TO용 문제지 set 6

문제	Description	Part No.	Value	Unit
6.1	Surge Tank Demi Water Valve	WTV003		Norm
6.2	Steam Bypass to Condenser C Valve (Output)	MS-HIK-1005		-
6.3	MSR B SCAV STM Valve HD-HS-004A	MSV HDV004A		Norm
6.4	EXT STM Shutoff Valve ES-HS-004	MOV ESV004		Norm
6.5	SG2 Main Steam Line Pressure			Kg/cm2
6.6	Air Dryer Package Isolation valve	V1015		Norm
6.7	HP Heater 5B Normal Drain Valve	HDV118A		Norm
6.8	Aux FW Pump 1PA Discharge Pressure			Kg/cm2
6.9	SG1 Downcommer Flow Control Valve FW-FIK-1113 (Process Value)			-
6.10	Deaerator Inlet Flow XXXX.XXX	CD-FR-300		L/s
6.11	Condenser Overflow Valve to Condensate Storage Tank	CDV1076		Norm
6.12	Condenser Shell B Outlet Valve CW-HS-148	MOV CWV148		Norm
6.13	CW Pump 04P Discharge Pressure			Kg/cm2
6.14	Condenser Pump 02P Suction Pressure			Kg/cm2
6.15	HP FW HTR TRN B Outlet Valve	V060B		Norm
6.16	FW Pump 01P Recirc Valve FW-FIK-025 (Set Point)			-
6.17	FW Pump Turbine A Steam Drain Valve MS-HS-063	MSV063		Norm
6.18	LP Heater 2C Drain Valve	HDV179		Norm
6.19	Condenser Shell C Temp	CD-TI-039		deg C
6.20	HY System Self-regulating Valve	HYV005		Norm
6.21	LP Turbine C Steam Drain Valve ES-HS-057	ESV057		Norm
6.22	LP Turbine C Steam Drain Valve ES-HS-077	MOV ESV077		Norm
6.23	STM Seal Feed Bypass UNLD Valve TA-HS-050	MOV TAV050		Norm
6.24	TBOCW Pump 02P Discharge Valve WH-HS-026	MOV WHV026		Norm
6.25	Generator Volt	MP-EI-101		kV

TO용 문제지 set 7

문제	Description	Part No.	Value	Unit
7.1	Condenser Shell A Inlet Valve CW-HS-092	MOV CWV092		Norm
7.2	Demineralizer Outlet Valve (CCP outlet Valve)	CDV202		Norm
7.3	Steam Generator Blow Down Flow to Deaerator Check Valve	CDV1254		Norm
7.4	SG1 Economizer Isolation Valve FW-HS-174A	V174		Norm
7.5	Aux FW Pump 1PB Suction Pressure	AF-PI-006A		Kg/cm2
7.6	HP Heater 5A Emergency Drain Valve	HDV119A		Norm
7.7	Air Dryer Package Isolation valve	V1016		Norm
7.8	Steam Atmosphere Dump Valve MS-HS-107AA	MOV MSV107		Norm
7.9	EXT STM Shutoff Valve ES-HS-017	MOV ESV017		Norm
7.10	MSR A SCAV STM Valve to CNDSR A HD-HS-029B	MSV HDV029B		Norm
7.11	Steam Bypass to Condenser A Valve (Output)	MS-HIK-100 2		-
7.12	TBCCW HX B Inlet Valve WT-HS-032	MOV WTV032		Norm
7.13	Generator Megavar	MP-JI-104		MVAR
7.14	TBCCW HX C Inlet Valve WH-HS-035	MOV WHV035		Norm
7.15	STM Seal Feed Bypass Valve TA-HS-049	MOV TAV049		Norm
7.16	LP Turbine B Steam Drain Valve ES-HS-079	MOV ESV076		Norm
7.17	EXT STM Shutoff Valve ES-HS-049	MOV ESV049		Norm
7.18	NT System Self-regulating Valve	NTV1076		Norm
7.19	Condenser C Left Hotwell Level			percent
7.20	LP Heater 3B Control Valve	HDV138		Norm
7.21	Hot Reheat Steam to Main Feedwater Pump Turbine B Supply Valve	MSV1180		Norm
7.22	FW Booster Pump 06P Suction Valve	V1017		Norm
7.23	LP FW HTR Train B Inlet Valve	V218		Norm
7.24	Condenser Pump 03P Discharge Pressure			Kg/cm2
7.25	CW Pump 01P Discharge Pressure			Kg/cm2

TO용 문제지 set 8

문제	Description	Part No.	Value	Unit
8.1	Generator Amp	MP-II-101		amps
8.2	TBCCW HX A Outlet Valve WH-HS-049	MOV WHV049		Norm
8.3	STM Seal Feed Bypass UNLD Valve TA-HS-074	MOV TAV074		Norm
8.4	EXT STM Shutoff Valve ES-HS-080	MOV ESV080		Norm
8.5		ESV059A		Norm
8.6	HY System Self-regulating Valve	HYV002		Norm
8.7	Condenser Shell B Pressure (narrow)	CD-PI-356		mmHgA
8.8	LP Heater 1B Emergency Drain Valve	HDV214		Norm
8.9	FW Pump Turbine B Steam Drain Valve MS-HS-066	MSV066		Norm
8.10	Startup FW Pump 07P Discharge Valve	V058		Norm
8.11	HP FW HTR TRN B Inlet Valve	V060A		Norm
8.12	Condenser Pump 03P Suction Pressure			Kg/cm2
8.13	CW Pump 03P Discharge Pressure			Kg/cm2
8.14	Condenser Shell B Outlet Valve CW-HS-147	MOV CWV147		Norm
8.15	DST Level Control Bypass Valve	CDV1088		Norm
8.16	Steam Generator Blow Down Regeneration HX B to Deaerator Valve	CDV902		Norm
8.17	SG2 Economizer Isolation Valve FW-HS-177A	V177		Norm
8.18	Aux FW Pump 2PB Discharge Pressure			Kg/cm2
8.19	HP Heater 7B Drain Valve	HDV094		Norm
8.20	Air Dryer Package Isolation valve	V1017		Norm
8.21	Main Steam Drain Valve MS-HS-073	MSV073		Norm
8.22	MSR STM Drain Valve ES-HS-033	ESV033		Norm
8.23	MSR B SCAV STM Valve HD-HS-030A	MSV HDV030A		Norm
8.24	Steam Bypass to ATMOS Valve (Output)	MS-HIK-1008		-
8.25	TBCCW HX B Outlet Valve WT-HS-044	MOV WTV044		Norm

TO용 문제지 set 1 정답

(Initial Condition: IC12)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
1	CW01	1.232
3	FW01	0.698
5	FW03	0.000
7	FW05	2.44
9	FW08	1.000
11	FW12	0.045
13	MC01	24.534
15	IA04	0.700
17	MS07	1.000
19	MS09	0.000
21	MS12	2.619
23	SW09	0.212
25	GC	296.215
24	TP04	9.247
22	MS14	-2.00
20	MS10	1.000
18	MS08	1.000
16	MS01	0.000
14	IA01	8.773
12	FW13	0.283
10	FW10	2.434
8	FW07	1.000
6	FW04	324.028
4	FW02	1.000
2	CW02	1.000

TO용 문제지 set 2 정답

(Initial Condition: IC14)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
24	TP04	20.612
22	MS14	67.52
20	MS11	0.000
18	MS08	0.000
16	MS02	0.000
14	IA01	1.000
12	FW13	0.332
10	FW10	22.010
8	FW07	69.77
6	FW04	1.000
4	FW02	36.758
2	CW02	1.000
1	CW01	0.000
3	FW01	1.000
5	FW03	1.000
7	FW05	0.000
9	FW08	3994.000
11	FW12	0.357
13	MC01	35.804
15	IA04	0.700
17	MS07	1.000
19	MS09	1.000
21	MS13	1.000
23	SW09	2.511
25	GC	1.000

TO용 문제지 set 3 정답

(Initial Condition: IC16)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
2	CW02	1.000
4	FW02	0.139
6	FW04	1.979
8	FW07	1.000
10	FW10	2.394
12	FW13	0.000
14	IA01	8.648
16	MS01	74.039
18	MS08	0.000
20	MS10	1.000
22	MS14	-2.00
24	TP04	1.000
25	GC	4385.396
23	SW09	1.000
21	MS12	0.000
19	MS09	0.000
17	MS07	0.000
15	IA04	0.700
13	MC01	32.211
11	FW12	0.325
9	FW08	1.000
7	FW05	0.000
5	FW03	1.000
3	FW01	0.632
1	CW01	30.858

TO용 문제지 set 4 정답

(Initial Condition: IC18)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
25	GC	0.003
23	SW09	1.000
21	MS13	0.000
19	MS09	1.000
17	MS07	0.000
15	IA04	0.700
13	MC01	35.669
11	FW12	0.765
9	FW08	4321.000
7	FW05	28.57
5	FW06	1.000
3	FW01	0.540
1	CW01	1.232
2	CW02	1.000
4	FW02	67.79
6	FW04	0.000
8	FW07	50.00
10	FW10	2.395
12	FW13	0.000
14	IA01	0.583
16	MS02	0.000
18	MS08	1.000
20	MS11	0.000
22	MS14	55.59
24	TP04	0.000

TO용 문제지 set 5 정답

(Initial Condition: IC12)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
1	CW01	1.232
3	FW01	42.111
5	FW03	1.000
7	FW05	28.42
9	FW08	1.000
11	FW12	0.045
13	MC01	31.338
15	IA04	0.700
17	MS07	1.000
19	MS09	0.000
21	MS12	0.000
23	SW09	1.000
25	GC	34.297
24	TP04	0.000
22	MS14	-2.00
20	MS10	0.000
18	MS08	0.000
16	MS01	1.000
14	IA01	1.000
12	FW13	0.282
10	FW10	22.010
8	FW07	4.40
6	FW04	89.471
4	FW02	45.00
2	CW02	1.000

TO용 문제지 set 6 정답

(Initial Condition: IC14)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
24	TP04	0.000
22	MS14	-2.00
20	MS11	1.000
18	MS08	1.000
16	MS02	77.495
14	IA01	0.000
12	FW13	0.329
10	FW10	2.415
8	FW07	50.00
6	FW04	572.457
4	FW02	1.000
2	CW02	1.000
1	CW01	1.232
3	FW01	0.554
5	FW06	1.000
7	FW05	28.37
9	FW08	0.000
11	FW12	0.000
13	MC01	27.719
15	IA04	0.700
17	MS07	0.000
19	MS09	0.000
21	MS13	0.000
23	SW09	1.000
25	GC	21.653

TO용 문제지 set 7 정답

(Initial Condition: IC16)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
2	CW02	1.000
4	FW02	1.000
6	FW04	1.000
8	FW07	1.000
10	FW10	2.401
12	FW13	0.000
14	IA01	1.000
16	MS02	1.000
18	MS08	1.000
20	MS10	0.000
22	MS14	-2.00
24	TP04	1.000
25	GC	87.377
23	SW09	0.000
21	MS13	0.000
19	MS09	0.000
17	MS07	1.000
15	IA04	0.700
13	MC01	35.602
11	FW12	0.131
9	FW08	1.000
7	FW05	1.000
5	FW03	1.000
3	FW01	38.878
1	CW01	0.450

TO용 문제지 set 8 정답

(Initial Condition: IC18)

DWG 번호	ITF Mimic 번호	답
25	GC	27983.369
23	SW09	1.000
21	MS13	0.000
19	MS09	1.000
17	MS07	1.000
15	IA04	0.700
13	MC01	37.839
11	FW12	0.000
9	FW08	0.000
7	FW05	0.000
5	FW06	1.000
3	FW01	0.314
1	CW01	1.232
2	CW02	1.000
4	FW02	0.000
6	FW04	1.000
8	FW07	1.000
10	FW10	2.395
12	FW13	0.000
14	IA01	0.000
16	MS01	0.000
18	MS08	0.000
20	MS11	1.000
22	MS14	-2.00
24	TP04	1.000

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/RR-2106/2000					
제 목 / 부 제	첨단제어실의 인간공학 검토를 위한 공동연구				
연구책임자 및 부서명 (AR,TR등의 경우 주저자)	이정운 (MMIS팀)				
연구자 및 부서명	박재창, 이용희, 오인석, 이현철 (MMIS팀)				
출 판 지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2000. 12
페 이 지	140 p.	도 표	있음(O), 없음()	크 기	30 Cm.
참고사항					
비밀여부	공개(O), _ 급비밀	대외비(),	보고서종류	연구보고서	
연구위탁기관			계약 번호		
초록 (15-20줄내외)	<p>본 연구는 미국 NRC와의 공동연구로 수행되었다.</p> <p>신형 인간-기계 연계의 주요 설계특성중 하나인 Soft Control에 대한 인간공학 현안을 정리하고 이 현안들에 대해 실험적 또는 분석적인 연구로 평가가 가능한 지를 구분하였다. 그리고, 신형 인간-기계 연계의 검토를 위해 첨단 정보체계 설계, 전산화 절차서, Soft Control, 인간-기계 연계 및 발전소 개량 공정, 디지털계통의 유지보수 분야에 대해 추가 연구가 필요한 것으로 기술된 현안을 정리하고, 국내 현실을 감안한 시급성을 분석하였으며, 또한 이들 현안 가운데 실험평가 연구 대상인 항목을 구분하였다.</p> <p>또한, 운전원의 오류감지 특성에 대한 재래식 제어실과 신형 제어실에서의 비교실험을 수행하여 신형 제어실에서의 오류감지 성공률이 재래식 제어실보다 낮았으며, 신형 제어실 설계에서 운전원의 오류감지를 위해 주의를 기울여야 할 사항들을 조사하였다.</p>				
주제명키워드 (10단어내외)					
신형 제어실, Soft Control 현안, 인간공학 추가연구 현안, 실험평가, 운전원 오류감지					

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No. INIS Subject Code	
KAERI/RR-2106/2000					
Title / Subtitle		Cooperative research for human factors review of advanced control rooms			
Project Manager and Department (or Main Author)		Jung Woon Lee (MMIS Team)			
Researcher and Department		Jae Chang Park, Yong Hee Lee, In Seok Oh, Hyun Chul Lee (MMIS Team)			
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI	Publication Date	2000. 12
Page	140 p.	Ill. & Tab.	Yes(O), No ()	Size	30 Cm.
Note					
Classified	Open(O), Restricted(), ____ Class Document		Report Type	General Publication	
Sponsoring Org.				Contract No.	
Abstract (15-20 Lines)					
<p>This project has been performed as cooperative research between KAERI and USNRC. Human factors issues related to soft controls, which is one of key features of advanced HSI, are identified in this project. The issues are analyzed for the evaluation approaches in either experimental or analytical ways. Also, issues requiring additional researches for the evaluation of advanced HSI are identified in the areas of advanced information systems design, computer-based procedure systems, soft controls, human systems interface and plant modernization process, and maintainability of digital systems. The issues are analyzed to discriminate the urgency of researches on it to high, medium, and low levels in consideration of advanced HSI development status in Korea, and some of the issues that can be handled by experimental researches are identified.</p> <p>Additionally, an experimental study is performed to compare operator's performance on human error detection in advanced control rooms vs. in conventional control rooms. It is found that advanced control rooms have several design characteristics hindering operator's error detection performance compared to conventional control rooms.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)					
Advanced Control Room, Soft Control Issues, Human Factors Research Issues, Experimental Evaluation, Human Error Detection					

주 의

1. 이 보고서는 과학기술부에서 시행한 원자력연구개발사업의 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 과학기술부에서 시행한 원자력연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가 과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개 하여서는 아니됩니다.