

원자력발전소 HSI 개선 위한 인간공학 설계지침 개발계획

Development Plan of Human Factors Design Guides for HSI Refurbishment in a Nuclear Power Plant

이현철*, 이동영*, 박재창*, 이정운*

Hyun-Chul Lee, Dong-Young Lee, Jae-Chang Park, and Jung-Woon Lee

Abstract - 국내 원자력발전소는 현재 19호기가 가동중이나 1978년에 상업운전을 시작한 고리 1호기와 1983년에 상업운전을 시작한 월성 1호기는 설비가 노후화된 상태이다. 월성 1호기의 경우 향후 20년 정도 상업운전을 계속하기 위한 목적으로 다양한 분야에서 설비개선계획(refurbishment programme)을 수립하고 진행중에 있다. 본 논문에서는 월성 1호기의 Human System Interfaces (HSI) 설비개선을 위한 인간공학 설계지침을 개발하려는 계획을 설명한다. 설계지침은 VDU기반 정보표시장치, 전통적인 정보표시창 및 CRT기반 경보표시계통, 유지보수 및 시험, 그리고 제어실 및 현장 패널 등을 대상으로 개발하는데, 설계지침의 개발을 위해 인허가 관련자료의 조사, 월성 1호기 건설에 사용되었던 설계지침의 검토, 월성 1호기 HSI 현장실사, 주제어실 및 현장 운전원과의 면담, 기존 인간공학 표준 및 지침의 검토, 주기적안정성검토 후속조치 검토 등을 수행하고, 주기적인 HSI 사용자들과의 토의를 통하여 활용도가 높은 설계지침을 개발할 계획이다.

Key Words : Design Guide, Human Factors, Human System Interface, Nuclear Power Plant

1. 개요

국내에서 가동중인 19기의 원자로중에서 4기의 원자로가 중수로형으로 모두 월성원자력본부에서 운용중이며, 1호기, 2호기, 3호기, 그리고 4호기는 각각 1983년, 1997년, 1998년, 그리고 1999년에 상업운전을 시작하였다. 1983년에 상업운전을 시작한 월성원자력발전소 1호기는 노령화에 따른 대비를 필요로 하고 있어서 운영주체인 한국수력원자력주식회사는 1호기의 설비개선을 계획하고 있다.

월성 1호기는 국내에서 최초로 건설되고 운영된 중수로(heavy water reactor)로서 경수로(light water reactor)와는 다른 설비와 운전전략을 사용하고 있다. 경수로와 달리 수평으로 설치된 원자로를 통해 계속해서 핵연료를 장전하면서 전기를 생산하는 중수로는 원자로제어 나 핵연료 장전 등의 주요기능을 컴퓨터에 의해 제어하므로 경수로보다 운전자동화의 수준이 높다. 상업운전 초기부터 발전소 상태감시나 제어를 위해 컴퓨터를 사용해왔으며, 이러한 전산화된 제어개념은 캐나다형 중수로(CANDU)의 큰 특징으로 계속 유지되고 있다.

2. 월성 1호기 설비개선 프로그램

월성 1호기 설비개선은 2005년에 설비개선과 관련된 안전성 예비평가를 수행하고 이를 토대로 설비개선의 범위 및 추진계획을 구체적으로 결정하고 추진하는 방식으로 진행될 예정이다. 이러한 설비개선 프로그램의 접근방식은 우선적으로 설비개선관련 안전성 예비평가의 시행을 근간으로

한다.

총 15개의 예비평가의 수행항목중의 하나인 "인간공학 프로그램계획(HFEPP, Human Factors Engineering Program Plan) 수립" 항목은 월성 1호기의 설비개선과 관련된 인간공학 활동을 포함하고 있는데, 다음과 같은 세부 항목으로 이루어져 있다.

① MCR Upgrade HFEPP 작성

② VDU display, Annunciator, Maintenance, Test & Surveillance, Control Room & FieldPanel 관련 인간공학 지침 (DG)작성

③ Annunciator Upgrade 절차 작성

④ HFE 설계변경 의사결정절차 작성

첫번째 항목인 HFEPP작성은 NUREG-0711 Rev.2에서 제시하고 있는 사항을 기반으로 제어실을 Upgrade하는 경우에 수행하여야 하는 인간공학 활동들을 정의하는 것으로, 월성 1호기는 건설당시에 인간공학 프로그램에 대한 체계적인 절차수립 및 수행이 부족했던 이유로 설비개선과 관련하여 강조되고 있는 인허가 관련항목이다. 인간공학 프로그램계획은 원자력발전소 설계, 운영, 개선 등과 관련된 모든 인간공학 활동을 다루고 있으며 다른 인간공학 활동을 포괄적으로 포함하고 있는 기반이 된다. 세번째 항목과 네번째 항목은 경보 및 HSI 개선 및 변경에 관한 의사결정 절차를 확고히 하여 월성 1호기 설비개선시 일관되고 체계적인 설계변경 및 개선이 이루어질 수 있도록 하기 위한 목적으로 개발하는 절차서이다.

두번째 항목은 인간공학 설계지침의 개발이다. 설계지침 작성의 범위는 VDU Display, Annunciator, Maintenance/Test&Surveillance, Control Room and Field Panel 등의 4가지 영역을 포함하고 있다.

(1) VDU Display Design Guide

월성 1호기는 주제어실에서 전산화된 감시 및 제어시스템을 기반으로 운용하고 있으므로 경수로 제어실보다 많은

저자 소개

* 准 會 員 : 한국원자력연구소

VDU 디스플레이(CRT)를 사용하고 있다. 그러나 월성 1호기의 VDU 디스플레이 설계에는 경수로 주제어실에서 사용하고 있는 VDU 디스플레이보다 인간공학이 덜 적용된 상황이다. 이번 월성 1호기 설비개선을 통해 VDU 디스플레이 설계에 인간공학 질적 그리고 양적으로 확대 적용하고자 한다. 이를 위해서는 기존에 사용했던 설계지침을 향상시킬 필요가 있다.

(2) Annunciation Design Guide

완전히 전산화된 경보시스템을 가지고 있지 않은 월성 1호기 경보시스템은 전통적인 경보타일(alarm tile)과 감시 디스플레이에 표시되는 경보 리스트(alarm list)의 두 종류를 운전원에게 제공하고 있다. 이 설계지침에서는 경보타일과 경보 리스트에 대한 최신의 인간공학 지침을 제공할 예정이다. 이 설계지침은 현장판넬에서 사용하고 있는 경보타일에도 적용할 수 있다.

(3) Maintenance, Inspection and Testing Design Guide

유지보수작업은 운전원에 의한 발전소 프로세스 운전작업보다 그 중요도가 낮게 평가되어 왔으나, 유지보수 작업 역시 안전성 및 가동율에 미치는 영향은 적지 않다. 이 설계지침은 유지보수 작업을 위한 작업공간의 확보, 설비의 배치 및 설계시 인간공학적 고려사항 등을 반영하여 유지보수 요원의 직무 수행도를 제고할 수 있도록 작성할 예정이다.

(4) Control Room and Field Panels Design Guide

월성 1호기 제어반은 전통적이 제어반의 형태이어서 수직판넬에 각종 계기 및 제어가 부착되어 있으며 최상단에는 경보(annunciator)가 위치하고 있다. 이러한 형태에 대한 전면적인 변화(예를 들면 VDT based Workstation의 도입)는 어려울 것으로 예상된다. 또한 현장판넬의 경우에도 유사한 형태의 제어판넬을 사용하고 있는 상황이며 큰 변화는 예상하기 어렵다. 본 항목에서는 주제어실 제어반과 현장 제어판넬에서 활용할 수 있는 판넬의 배치/설치, 레이아웃, 색상, 미믹, 하드와이어드 계기 및 제어기 등에 대한 설계지침을 제공하고자 한다.

3. 설계지침의 작성 접근방법

설계지침은 기반자료수집, 항목정의 및 작성, 그리고 검토의 및 검토 등의 순차적인 진행을 통해 작성할 예정이다. 기반자료수집 단계에서는 기존의 설계지침에 대한 검토, PSR/DCRDR등에서 지적되었거나 반영된 개선사항의 파악, 제어실 및 현장판넬 실사, CANDU 6형 원자로 주제어실의 개선현황 파악 등이 포함되는데, 이를 통하여 설계지침에서 다루어야 할 설비 및 설계지침항목 그리고 상세성의 수준이 정의되고, 기술자문 및 설비사용자와의 면담을 통해 설계지침의 초안을 완성한 다음, 최종적으로 설계지침의 활용자인 구내부서 및 설비설계관련 부서와의 토의 및 검토를 통해 설계지침을 완성할 예정이다. 각 활동에 대한 설명은 다음과 같다.

(1) 월성발전소 설계지침 및 설계매뉴얼 검토
현재 월성 1호기의 주제어실과 현장제어반은 건설 당시에 캐나다의 AECL(Atomic Energy of Canada Limited)에서 작성한 설계지침(Design Guide)과 설계매뉴얼(Design Manual)을 사용하여 설계되었다. 설계지침은 발전소의 기능측면에서 주요한 계통을 대상으로 상위수준의 설계개념을 제시하고 설계매뉴얼은 보다 세부적인 계통에 대한 실제적인 설계요구사항을 명시하는 것이 상례이다. 월성 1호기 설계시 사용한 설계지침 및 설계매뉴얼과 2,3,4호기 설계시 사용한 설계지침 및 설계매뉴얼에 대한 검토를 수행함으로써 설계지침의 항목구성 및 항목의 상세성 정도를 파악하여 사용자의 요구수준에 맞는 설계지침의 상세성 정도를 구체화하고 지침의 작성방안에 대한 큰 틀을 확정하고자 한다. 월성 1호기 및 2,3,4호기 설계시 활용되었던 인간공학 관련 설계지침 및 설계매뉴얼에 대한 수집 및 분석 검토가 이루어 지는데, 월성 1호기와 2,3,4호기에서 사용되었던 설계지침과 설계매뉴얼간의 비교검토도 포함된다.

(2) 제어실 및 현장제어반 실사
제어반과 현장제어반 실사는 월성 1호기의 설비현황을 파악하는 데 그 목적이 있다. 운전측면에서 개선이 필요한 설비, 교체되어야 할 기기, 배치를 변경하여야 하는 기기, 인간공학 요건을 불만족하고 있어서 교체하여야 하는 기기 등을 파악하기 위한 기본 자료로 활용하기 위해서 실사중 사진촬영이 포함된다. 월성 1호기의 설비현황의 파악과 더불어 월성 2,3,4호기의 설비현황과의 비교 또한 이루어 진다.

(3) 주기적안전성검토(Periodic Safety Review) 결과 및 사후조치 검토

규제기관은 가동중 원전의 안전성을 평가하고 지속적인 가동을 허가하기 위해서 원전 수명이 20년이 되는 시점에서 주기적안전성검토를 수행하도록 하고 있다. 월성 1호기는 2002년에 주기적안전성검토를 수행하였는데, HSI와 절차서에 대한 개선점이 도출되었으며 이에 대한 조치를 취하였거나 추진중에 있다. 이러한 주기적안전성검토의 결과 및 반영사항에 대한 검토를 수행하여 설계지침에 반영할 사항을 결정하고자 한다. 이 결과로 주기적안전성검토의 결과가 개량되는 제어실 및 설비의 설계에 반영되어 지속적으로 만족되도록 하는 효과를 얻을 수 있다.

(4) CANDU 6 신모넬 구성현황 파악

캐나다의 AECL은 월성 1호기의 건설이후에도 지속적으로 중수로의 개량에 힘써왔으며 이 결과로 계속해서 개선된 노형을 제공하고 있다. 경제적인 측면에서의 설계개선 뿐만 아니라 인간공학 측면에서의 개선 또한 이루어져 왔는데, 대표적인 개선설비로는 경보시스템과 감시 디스플레이이다. 개선된 CANDU 6의 제어실 구성으로부터 향후 월성 1호기에 적용가능한 계통이나 설비를 파악하고 이를 작성될 설계지침에 반영되어 설비개선시 활용될 수 있도록 할 계획이다.

(5) 제어실설계검토(DCRDR)결과 및 후속조치 파악

TMI사고이후 대표적인 후속조치로 모든 가동중인 원자력발전소 제어실에 대한 설계검토가 이루어 진 바 있다. 월성 1호기는 TMI사고이후에 상업운전을 시작하였지만 DCRDR은 가동된 후에 수행되었다. DCRDR은 필수적인 안전성 관련 정보표시 및 제어기기에 대한 인간공학적 평가가 포함되어 있으므로 이에 대한 검토결과 및 반영사항에 대해 숙지할 필요가 있다.

(6) 운전전문가의 기술지원

월성발전소 훈련센터에는 운전경험이 풍부한 교수들이 이루어진 강사진이 있는데, 이들을 활용하여 중수로의 특성, 운전전략, 교육훈련중 발생한 인간공학적 고려사항의 수집 등을 수행하여 중수로에 대한 이해를 확보하는 한편, 현장에서부터의 개선요구사항을 확보하고자 한다. 또한 설계지침 작성 발생할 수 있는 기술적인 현안에 대한 자문역할을 담당하게 할 것이다.

(7) 월성 1호기 대비 월성 2,3,4호기 설계개선 사항

월성 1호기 설비개선관련 안전성 예비평가의 한 항목으로서 월성 2,3,4호기 설계개선 사항에 대한 검토가 수행될 예정인데, 본 설계지침 작성에서는 그 결과를 받아 HSI와 관련된 설계개선 사항과 월성 1호기 설비설계현황과의 비교검토를 수행할 예정이다. 이 검토는 설계지침에서 다루어야 할 설비들의 범위를 한정시켜줄 수 있을 것으로 기대하고 있다.

(8) 운전원 및 유지보수요원과의 면담

주제어실의 운전원은 주제어실에서 사용하고 있는 전산기 및 제어판넬에 부착된 계기 및 제어기, 그리고 경보타일 등에 대한 운전경험 및 개선사항에 대한 의견을 제시해 줄 수 있을 것으로 예상하고, 유지보수요원은 주제어실 설비 및 현장판넬에 대한 인간공학적 설계요구사항을 지적해 줄 수 있을 것으로 예상된다. 이들의 의견은 면담을 통해 수집할 계획이다.

(9) 설계지침항목 정의

원자력발전소 HSI설계와 관련된 인간공학 지침은 NUREG-0700 Rev2가 대표적이다. NUREG-0700 Rev2는 다양한 HSI영역에 대한 설계지침을 제시하고 있기 때문에 그 양이 상당하다. 월성 1호기를 위한 특화된 설계지침을 작성하기 위해서는 적용가능한 항목을 선정할 필요

가 있다. 수집된 기본자료들은 NUREG-0700 Rev.2의 지침항목으로부터 월성 1호기 설계지침을 추출하데 활용할 예정이다. 또한 HSI사용자의 의견 및 PSR/DCRDR의 반영사항에는 설계지침으로 명시할 필요가 있는 사항들이 나타날 것으로 예상되는데, 이들은 설계지침 작성시 고려할 것이다.

(10) 설계지침 작성

설계지침은 상세기능별로 작성하고 또한 수준을 구분하여 작성할 예정이다. 설계지침이 모든 설계사항을 다룰수는 없으므로 상위수준의 설계지침은 반드시 필요한 항목이다. 개별적인 기능에 대한 인간공학 설계지침은 가능한한 기존의 문서와 상세성의 수준이 일치하도록 작성하여 설계지침을 직접 사용하는 구매 혹은 설계관련 부서를 만족시킬 수 있도록 작성할 예정이다.

(11) 사용자와의 토의 및 검토

설계지침의 실제 사용자는 설계관련 부서 및 구매담당자들이다. 설계지침이 지속적으로 유효한 문서로 활용되기 위해서는 이들의 요구사항을 만족시켜 주어야 한다. 사용자가 가장 심각하게 지적하는 사항은 인간공학 설계지침을 만족시키는 설비의 구매 가능성이다. 이 단계에서는 설계지침 작성자, 운전원, 그리고 설계지침 사용자 등이 모여, 설계지침 항목에 대한 토의 및 검토를 통해 설계지침의 사용자와 HSI사용자 모두를 만족시키는 설계지침을 완성하는데 그 목적이 있다.

참 고 문 헌

[1] USNRC, "Human-System Interface Design Review Guideline", NUREG-0700 Rev.2, 2002