

연구용 원자로의 안전관리를 위한 인적요소 관리체제(안) 개발 및 화면설계 검토

구진영 · 오인석 · 이용희
한국원자력연구소

1. 인적요소 관리 필요성 및 연구 개요

연구용 원자로는 발전로와 함께 원자력관련 법규에 의하여 철저한 안전성 중심 설계 및 관리가 이루어지고 있다. 그러나, 다양한 연구 활동과 연계하여 운전하게 되므로, 운영상으로는 발전용 원자로 보다 더 안전관리에 대한 부담이 크다. 특히, 인적요소의 경우에는 사소한 문제가 오래 누적 고착되거나 다른 요소들과 결합하여 치명적인 결과를 야기할 수 있기 때문에 운영상 안전관리의 부담이 된다. 체르노빌 원전 사고에서 보듯이 일상적이지 않은 활동에서의 안전성 확보나, 일본 JCO임계사고에서 보듯이 소규모 단위 활동에 대한 안전관리가 용이하지 않기 때문이다. 본 논문은 연구용 원자로의 안전관리를 위하여 인적요소 관리체제(HFMP: Human Factors Management Program) (안) 개발 및 전산제어설비의 인터페이스 설계 안전성 검토 사례를 제시하였다. 원자로 운영을 위한 인적요소 관리 업무에 포함되어야 할 다양한 활동들을 연계하여 업무 절차 및 책임 할당을 규정하는 기본 체제를 제시하였으며, 기기 및 HMI(Human-Machine Interface) 설계 혹은 설계변경에서 인적요소 관리 절차의 사례로 BCS(Basic CRT Station) 화면의 상세 검토 내용 및 결과를 제시하였다.

2. 인적요소 관리의 구성

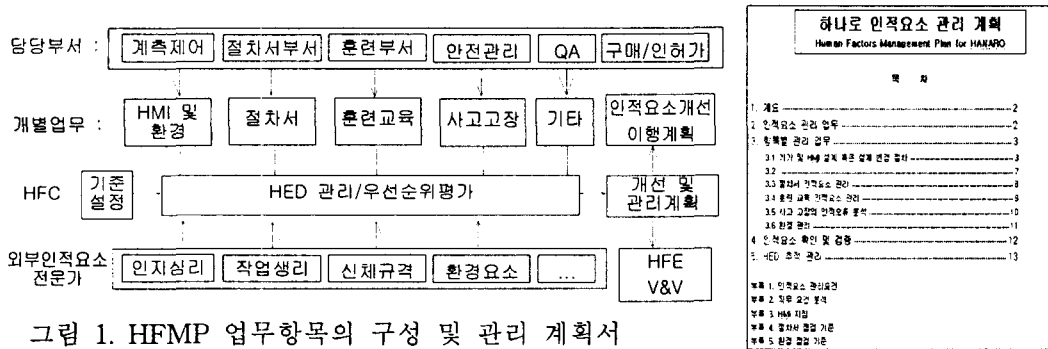
연구로의 운영에서 인터페이스, 절차서, 훈련, 운전 조직, 작업 환경 등 모든 인적요소가 안전성에 미치는 영향이 크기 때문에 설계단계로부터 관계 법규에 의하여 체계적으로 고려하였다. 운영과정에서도 이러한 요소들의 체계적인 관리를 위해서는 세부적인 관리 업무 절차와 이를 책임감 있게 수행할 수 있는 조직이 필요하다. 따라서, 제안된 HFMP에서는 인적요소 관리를 위한 기본적인 권한 및 책임에 대한 할당을 포함한 가칭 '인적요소 관리 위원회(HFC: Human Factors Committee)' 구성(안)을 제시하였다. 이는 원자로 설계과정에서 요구되는 학제적 전문가 그룹을 기반으로 일반적인 연구로의 운영상황에 맞도록 일부 조정된 것이다.

또한, 인적요소 관리가 필요한 하드웨어, 절차서, 훈련 및 조직, 관리 등을 대상으로 업무절차(안)을 도출하였다. 세부 업무 항목으로는 (1) 기기 및 HMI(Human-Machine Interface) 설계 혹은 설계 변경, (2) 직무 요건 분석, (3) 절차서 인적요소 관리, (4) 훈련 교육 인적요소 관리, (5) 사고 고장의 인적오류 분석, (6) 환경 관리, (7) 인적요소

확인 및 검증 절차, (8) HED(Human Engineering Discrepancy) 관리 등을 포함하였다. 다음 표 1은 연구로 인적요소 관리 위원회의에 필요한 전문가 분야 및 책임 할당(안)이며, 그림 1은 HFMP의 업무항목들 간의 관련자 및 연계성을 간략히 나타낸 것이다.

표 1. HFC 위원회의 구성(안)

관련 전문가	전문성 요건	내부/외부	주요 관련 업무항목 및 임무
인적요소 관리자	인간공학 관련 경력	내부	계획수립 및 HED 정보관리
운전원	운전 및 운영 경력	내부	운전성 검토 및 수행도 평가 참여
교육훈련 담당자	교육훈련 담당자	내부	훈련/교육 프로그램 평가 개선
절차서 작성자	절차서 담당자	내부	절차서 평가 및 개선
계측제어 전문가	HMI 담당자	내부/외부	HMI 평가 및 개선
안전분석 전문가	사고고장 담당자	내부/외부	사고고장 사례 분석, V&V
품질보증	QA 담당자 자격	내부	관련 품질보증 관리 및 V&V
구매 관리자	기기관리 관련 경력	내부	기기변경 등 개선 조치 결정 등
운영관리 책임자	운영관리 담당자	내부	개선계획 등 종합 운영, 일정관리
외부인적요소 전문가		외부	V&V (필요시 전문 분야별)
기타 (필요시)		외부	



각각의 HFMP 업무 절차에서 HFC 위원회 및 위원들의 책임 및 권한을 정의하였다. HFC 위원은 인적요소 관리 담당자(Human Factors Specialist)를 제외하고는 세부 업무절차 항목에 따라 각각 내부 관련자 및 필요시 외부 전문가로 구성하였다. HFC 위원들은 인적요소 검토 계획의 수립 및 확정, 세부 평가 기준 설정, 실사 등 상세 검토 수행, 검토의견 및 현안 도출, 권고사항 및 개선 혹은 해결방안 도출, 현안의 중요도 평가 등의 임무를 수행한다. 이러한 과정에서 인적요소 관리 담당자는 검토 계획서, 대장 작성 등 대부분의 현안관련 정보를 생산하고 관리하는 등 모든 인적요소 관리 업무를 총괄하도록 하였다.

3. 인적요소 관리 업무절차의 내용(예) : 기기 및 HMI 설계 혹은 설계 변경 절차

HFMP의 업무를 대표하는 기기 및 HMI 설계 혹은 설계 변경 절차를 다음과 같이

구성하였다. 각 업무는 관리 대상에 따라서 세부 절차 단계가 결정되지만, 대체로 유사하다. 우선, HMI가 포함된 설비의 신설 또는 변경의 경우에는 자체 인적요소 검토 실무기준에 의해 평가하며, 평가된 결과는 인간공학적 개선 혹은 결함의 가능성을 가진 HED 형태의 현안으로 도출하고 HFC에 의해 관리하도록 한다. 또한, 현안의 종류에 따라 즉시 수정 보완하거나 현장의 상황에 따라 변경 조치하는 과정을 거친다. 현장 보완 후에도 남은 현안들을 일관된 문서로 유지하여 의사결정을 거쳐 장기적인 이행방안을 수립한다. 각 현안들에 대한 중요도 및 우선순위 평가와 의사결정 과정을 통하여 개선사항을 작성한다. 그림 2는 평가 업무의 전반을 흐름도로 나타낸 것이다.

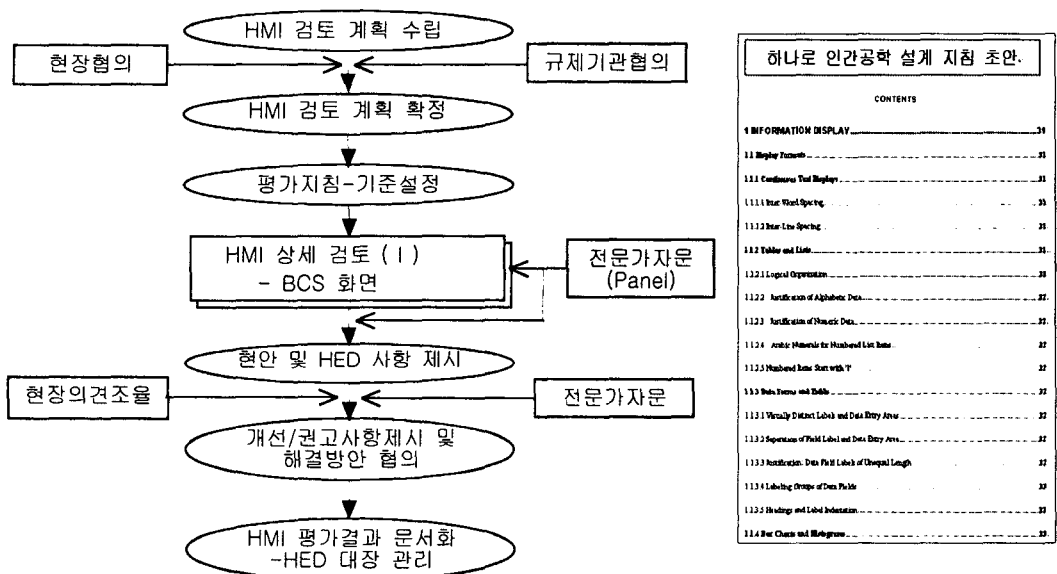


그림 2. 기기 및 HMI 설계 혹은 설계 변경 절차 및 설계 지침

- 검토계획 수립 : 인적요소 관리 위원 및 해당 기기 담당 부서에서의 요청 및 필요성에 의하여 검토 대상을 제기한다. 검토 대상 여부를 판단한 후, 일정 수립, 팀 구성 등 상세 계획을 수립한다. 필요시 규제기관협의 및 현장협의를 통하여 최종적으로 인적요소 관리 위원회의 승인으로 검토 계획을 확정한다. 확정된 계획에 의거하여 검토 대상을 상세 분석하고, 해당 검토 항목 도출 및 세부 만족 기준을 설정한다.
- 검토 기준 설정 : 인적요소 관리 위원은 요건 및 가용한 지침을 선별하여 해당 지침으로 결정한다. 법적 요건 및 기타 요건을 반영한다. 기타 요건은 최신 기술기준을 참조하고 운전경험을 반영한다. 필요시 외부 전문가 자문을 구할 수 있다.
- 상세 검토 : 현장 실사를 통하여 자체적인 점검표 검토를 실시한다. 필요시 외부 전문가를 포함한 검토자들은 제시된 점검표에 검토의견(HED) 및 현안을 각각 독립적인 의견으로 상세히 기술한다.
- 검토의견(HED) 도출 : 참여한 전문가들 간의 협의를 통하여 검토항목별로 HED를

작성한다. 이때 각 항목에 대한 주검토자를 결정한다.

- 현장협의 및 중요도 평가 : HED 항목별로 현장 해당 부서 및 전문가들 간의 의견 조율 과정을 거친다. 협의된 HED에 대하여 안전성 관련 세부 기준에 따라 중요도를 평가한다. 중요도에 따라 개선방안 도출 처리를 위한 우선순위를 선별한다.
- 개선사항 도출 및 개선 : 선별된 HED에 대한 각각의 권고사항을 제시하고 현장과의 협의를 통하여 개선사항 및 해결방안을 결정한다. 협의 결과의 내용은 자체적인 Checklist에 상세히 기술한다. 필요시 외부 전문가의 자문을 구하여 여러 차례 의견 조율을 위한 현장 실사 평가를 통하여 개선이 필요한 HED의 문제점을 해결한다.
- HED 대장 관리 : 이상과 같이 검토의견을 도출한 후 문제점의 개선사항과 그에 대한 현장과의 협의 내용 및 개선 상황까지를 기술하여 문서화한 검토 양식은 인적요소 관리 위원회의 책임 하에 체계적으로 관리되어야 한다.

4. 하나로 BCS 화면의 인적요소 개선 사례

4.1 하나로 BCS 화면의 인적요소 개선 업무

인적요소 관리 체제(안)의 세부 내용을 하나로 BCS 화면설계 검토 사례를 토대로 하여 상세 설명을 하고자 한다. 평가 대상인 BCS는 연구용 원자로 하나로의 제어를 총괄하는 주제어실의 전산시스템으로, 운영의 인적요소 측면에 대한 보강 필요성을 확인하고자 선정된 것이다. 우선, 현재 BCS의 화면 구성을 검토하였고, 평가 척도로는 정보 가용성(availability), 화면 구성의 인간공학적 적합성(Suitability)을 평가할 계획을 수립하였다. 평가 방법은 NUREG-0700 (Rev.2) 을 기준으로 BCS의 특성에 맞게 선정된 인간공학 기준에 따라 점검표(Checklist)를 활용하였다. 우선, 설계 및 운영 관련 문서기반 평가로부터, 현장 실사평가 및 전문가 평가를 통해 평가의견을 도출하였다. 평가 결과는 모두 인적요소 검토 양식에 정리하였다. 검토 대상인 BCS 화면은 총 98개의 화면으로 구성되어 있는데, 화면의 세부 검토 요소들은 그림 3과 같다.

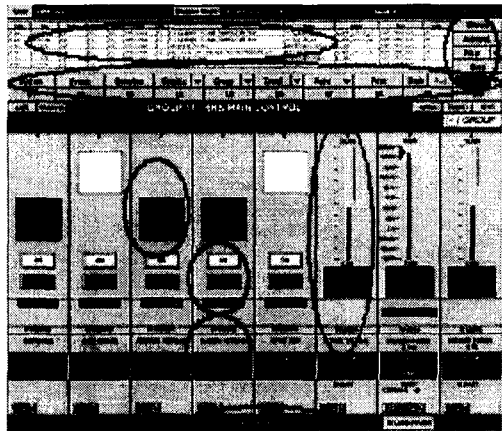


그림 3. 하나로 BCS 화면

인적요소 관리 업무 절차에 따라 BCS 화면 설계 검토에서 수행된 세부 업무는 다음과 같다. 우선, 하나로 측의 요청에 의하여 BCS 인적요소 검토 계획을 수립하였다. 인적요소 담당자는 BCS 현재 상황에 대하여 분석한 후, 세부적인 일정 수립과 인적요소 관리 위원회(HF Committee) 구성 등 상세 계획서를 작성하였다. 하나로 담당 부서원들과 협의하여 검토 승인한 후 위원회의 구성 및 세부 계획을 확정하였다. 또한, 위원

어 문제(예, CHGR : CHARGER 등), 일관성 문제(레이블 표기법, 지시상태, color coding, 눈금 값 표시 등), 라벨의 부적절한 위치, 숫자 표기방식 불일치, 텍스트 정렬 방식 부적합(왼쪽 정렬), Grouping(계기의 명확한 영역 구분 : 표시기, 제어기, 네비게이션 영역 구분, 유사기능 버튼 등), 일반적 display와 control 구분(name과 button 등), bar graph의 눈금표시 문제, 경보창의 경보리스트의 font size 문제 등이다.

HF 위원회 및 하나로 담당 부서원들의 협의로 안전성 관련 중요도를 기준으로 각 HED의 우선순위를 선별하고, 각각의 개선사항 및 권고사항을 제시하고 해결방안을 모색하였다. 항목에 따라 외부 전문가의 자문 및 현장 실사를 통하여 구현 가능한 개선방안을 도출하기 위하여 여러 차례의 의견조율이 필요했다. 또한, 개선이 필요한 HED의 문제점을 단기 및 장기적으로 해결할 수 있는 모든 방안을 고려하였다. 협의 결과 및 세부 내용은 인적요소 검토양식에 상세히 기술하였다. 검토의견을 도출한 후 문제점의 개선사항과 그에 대한 현장과의 협의 내용 및 개선 상황을 문서화한 검토 양식은 인적요소 관리 위원회 또는 하나로 담당 부서에서 별도로 관리하도록 하였다.

5. 결론 및 토의

본 논문에서는 엄밀한 안전성 확보가 필요한 연구로의 인적요소 관리를 위하여 제시된 종합관리 체제(안)를 제시하였다. 인적요소의 문제는 개별적으로는 단순한 설계의 변경이나 개선이지만, 설비의 고신뢰도를 유지해야하는 경우 관련된 많은 고려사항을 종합적으로 관리하지 않으면 안되므로 관리체제가 필요하다. 이는 원자력 분야의 안전 관리 체제 개발 사례이지만, 안전 문제의 파급이 심각한 시설에 적용 가능한 인적요소의 안전 관리 체제의 기본 틀과 적용 실무 사례로서 참고할 수 있을 것이다. 화학공장 등 공정제어 산업이나 기타 최고 수준의 안전성이 요구되는 타 분야에도 인적요소의 관리 방안으로 파급될 수 있다. 하지만, 각 분야의 특성에 대한 고려를 위해서는 실무적용을 통하여 보다 구체적인 절차 내용의 보충 및 관리 항목들에 대한 변경이 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] 오인석 외, 하나로 인간공학체제 개발 및 BCS 화면설계 검토 보고서, KAERI/TR-000/2003(발간 예정), 한국원자력연구소, 2003.
- [2] 이용희 외, 하나로 인적요소 관리 계획(안), KAERI/TR-000/2003(발간 예정), 한국원자력연구소, 2003.
- [3] USNRC, Human System Interface Design Review Guidelines, NUREG-0700, Rev.2, 2002.
- [4] USNRC, Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, Rev.1, 2002.