

# 원자력발전소의 인간공학적 설계 및 검토를 위한 설계현안관리체계 구축

Design Issue Management System for Human Factors Engineering Design and  
Review of Nuclear Power Plant

정 광 태\*, 이 용 희\*\*

\*한국기술교육대학교, \*\*한국원자력연구소

## Abstract

원자력발전소의 인간공학적 설계 및 검토를 효과적으로 수행하기 위한 설계 현안관리체계 (Design Issue Management System; DIMS)를 구축하였다. DIMS는 세가지 기능을 갖도록 구성되었는데, 규제문건들로 부터 추출된 설계상의 인간공학적 요건들을 분석하고 관리하는 요건 분석 기능, 규제기관, 운전원 및 설계자로 부터 제기된 설계 현안의 추적 기능, 설계상의 의사결정을 지원하기 위한 현안들의 중요도 평가 기능의 세부분으로 구성되었다.

DIMS의 활용사례로 원자력발전소 감시계통의 일부인, 울진 3,4호기 CFMS(Critical Function Monitoring System) 화면설계 검토에 적용하였다. 주요 검토 업무로 CFMS 화면설계에 대한 가용성 검토, 적합성 검토, 유효성 검증을 수행하였고, 이 과정을 통하여 울진 3,4호기 CFMS 화면 설계의 인간공학적 문제점(Human Engineering Discrepancy; HED)들을 찾아내었다. HED들은 문제의 심각성에 따라 조기 해결 요망, 가능한 한 조기 해결 요망, 장기적 해결요망의 세 그룹으로 분류되었다. HED의 심각성 평가는 인간공학 전문가, 설계자, 운전원의 세 그룹에 의하여 평가되었다. 검토 결과는 최종적으로 CFMS 화면에 대한 인간공학적 설계 개선의 근거로 사용되었다.

## 1. 서론

원자력발전소의 인간-기계 연계 체계(man-machine interface system)의 설계에 있어 강제적인 규제요건은 물론 다양한 경로를 통하여 제기된 설계요건 및 고려사항들을 설계에 반영하는 것은 매우 어려운 작업이다. 이러한 작업을 효과적으로 수행하기 위하여 설계와 관련된 문건들로 부터

추출된 문제점, 설계자 및 운전원 등을 포함한 사람들로 부터 제기된 문제점들을 제기, 추적, 관리, 평가하는 인간공학 현안 업무의 종합 관리가 필요하다.

이러한 필요성에 의하여, 본 연구에서는 원자력발전소의 인간공학적 설계 검토 및 개선을 효과적으로 수행하기 위한 설계현안관리체계(Design Issue Management System; 이하 DIMS)를 구축하였다. 다시 말해, DIMS는 여러 경로를 통하여 제기된 현안들을 인간공학적 설계 및 검토 업무에 효과적으로 반영하기 위한 인간공학적 관리체계이다.

본 연구에서는 DIMS의 구성 및 활용방법을 설명하기 위하여 원자력발전소 감시계통(monitoring system)의 일부분인 CFMS(Critical Function Monitoring System) 화면 설계에 대한 인간공학적 검토 업무에 적용하였다. 검토 업무로 가용성 검토(availability verification), 적합성 검토(suitability verification), 유효성 검증(efficiency validation)을 수행하였고, 그 결과로 제기되는 인간공학적 문제점(Human Engineering Discrepancy)들을 평가하는 방법과 이들 문제점들이 DIMS에서 어떻게 유지 관리되는지 설명하였다.

## 2. DIMS의 구성 및 구현

DIMS는 설계과정에서 설계 착수 이전에 이미 인간공학적 현안으로 제기된 항목들을 효과적으로 설계에 반영하고, 확인 및 검증 업무에서 이들 현안들이 올바르게 해결되었는지를 평가하기 위하여 유지 관리된다.

DIMS는 외부로 부터 문제 제기시 이를 설계에 반영하는 경로 또는 근거 자료가 되므로 인간공학적 현안이 나타날 때마다 기록되고 현안의 해소 또는 문제점이 변화되는 각 설계 활동마다 전 과정을 철저히 문서화하여 인간공학적 설계 검토에 이용한다.

DIMS는 세가지 부분으로 구성되었는데, 규제문건으로 부터 추출된 요건들을 관리하고 분석하는 요건 분석 기능, 규제기관, 운전원 및 설계자로 부터 제기된 설계 현안의 추적 기능, 설계상의 의사결정을 지원하기 위한 현안들의 중요도 평가 기능의 세부분으로 구성되었다.

### 1) 요건 분석 기능

인간공학적 평가 업무의 진행과 유지 관리를 위해서는 규제문건은 물론 산업체 기준들을 파악하여 원자력발전소 설계 상의 요건들을 정의하고 설계 검토의 기준으로 활용해야 한다. 이들 요건들을 종합적으로 관리하고 분석하는 요건 분석 기능을 DIMS에 부여하기 위하여 요건 DB(Database)를 구축하여야 한다.

요건 DB 시스템에서는 원자력발전소 설계 관련 요건들의 DB 구조, 구성 요소, 응용 방안들에 기술하였고, 또한 검토 수행에서 요구되는 평가질의서 및 양식 작성, 결과의 저장, 결과 분석 등의 과정에서 항목, 관련 문헌, 대상, 방법, 주체 등을 체계적으로 분류한 DB 시스템을 구축하였다.

■ 요건 DB 시스템의 구현

요건 DB 시스템은 MicroSoft Access 7.0 을 이용하여 구축하였다. DB 시스템의 기본 입력자료인 평가질의서 및 평가양식의 개발절차는 다음과 같다.

가) 평가질의서 개발 절차

- 관련 규제 문건의 문장 선별
- 관련 세부 사항 및 평가 기준의 선택
- 평가 문항간의 연관 관계 파악
- 평가 문항을 재구성한 평가 질의서 작성
- 전문가 협의를 통한 평가 질의서 확정

나) 평가 양식 작성 절차

- 평가 질의서의 평가 문항 평가시 제공되어야 하는 필요 정보 추출
- 필요 정보의 우선순위에 따라 평가 양식의 초안 작성
- 필요 정보를 수집하여 입력, 기재
- 전문가 협의를 통하여 수정 및 보완

그리고 이러한 과정을 통하여 구현된 요건 DB 시스템의 주요 활용 기능은 다음 표 1 과 같다.

표 1. 요건 DB 활용 기능 및 장점

활용 기능	DB 시스템의 장점
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 질의 문항, 평가 결과 등 평가 업무에서 발생한 정보 Tablize</li> <li>● Query 를 이용하여 연구 필요에 따라 자료 조회에 사용</li> <li>● Report(평가 양식,평가 결과 보고서 등) 디자인에 사용</li> <li>● 입력 내용 변경시 Table 내용 수정하여 보존</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 새로운 질의 문항 추가시 DB Table 만 수정하면 자동 추가 가능</li> <li>● 본 연구 범위 이외의 새로운 규제 문건 추가 용이</li> <li>● 설계 내용을 지면 평가 대신 컴퓨터로 직접 관찰 평가 가능</li> </ul>

2) 현안 추적 기능

DIMS에서 현안 추적(Issue Tracking) 기능을 구현한 것은 인간-기계 연계 계통의 설계에 있어 중요시되는 현안들을 효과적으로 반영하고, 또한 설계 검토 업무에서 이들 현안들이 적합하게 해결되었는지 확인하기 위하여 이들 현안들을 효과적으로 추적할 수 있도록 하기 위한 것이다.

DIMS에서 유지되는 현안들을 효과적으로 관리하기 위하여 각 현안들에 대한 일련번호, Keyword, Description, 날짜, 제기자 및 처리자, 근거, 내용, 결과, Comment들이 기록된다. 각 항목의 세부 내용은 다음 표 2와 같다.

표 2. 현안 추적 기능의 항목 구성

항목	표현 방법
일련번호	제기된 Issue의 번호로써 세자리수로 표시한다. 001부터 XXX까지 표현한다.
Keyword	Issue들의 핵심 단어로써 한 단어 또는 두 단어로 표현하는 것을 원칙으로 하며 최대한 단순화하여 표현한다.
Description	Keyword의 부연 설명부분으로 길이에 상관없이 자세히 표현한다.
날짜	Issue가 제기되거나 처리된 날짜를 나타내는 것으로 절대 시간으로 입력한다. 표현은 해당 연도 - 달 - 일 순으로 한다.
제기자 및 처리자	제기자와 처리자는 성명을 그대로 기입하되 외부 전문가는 O, 설계자는 W, KINS는 K, 사업자는 H를 이름 앞에 각각 붙여줌으로써 자료 분류를 용이하게 해준다.
내용	문건 MEMO로 표현한다.
근거	NUREG-0700 ← A    NUREG-0800 ← B NUREG-0737 ← C    NUREG-0696 ← D NUREG-0835 ← E    IAEA 권고사항 ← I 기            타 ← F (확장가능)
결과	제기된 Issue의 처리결과를 기입한다.
Comment	그 밖에 제공받은 정보나 상세한 내용을 기입한다.
Status	Issue의 진행 상황을 나타내주는 것으로 raised는 RA, accepted는 AC, under consideration는 UC, resolved는 RE로 기입한다.

### 3) 중요도 평가 기능

DIMS의 중요도 평가기능에서는 각 현안들의 중요도를 구하고, 이들 중요도에 의하여 각 현안들의 인간공학적 심각성을 판정한다. 심각성 판정 절차에서 중요도 점수를 구하기 위해서는 먼저 현안들의 인간공학적 심각성을 결정하는 중요도 판정기준들의 가중치를 결정하여야 한다. 판정기준들의 가중치를 효과적으로 구하기 위하여 DIMS에서는 분석계층과정(Analytic Hierarchy Process; AHP)을 이용하였다. AHP를 이용하여 판정기준들의 가중치를 구하는 전 과정은 Visual Basic 3.0을 사용하여 구현하였다.

그리고, 각 현안들에 대하여 판정기준들에 대한 점수를 부여하고 판정기준들의 중요도 가중치를 이용하여 가중평균함으로써 각 현안 항목들의 중요도 점수를 구한다. 전체적 과정은 그림 1과 같다.

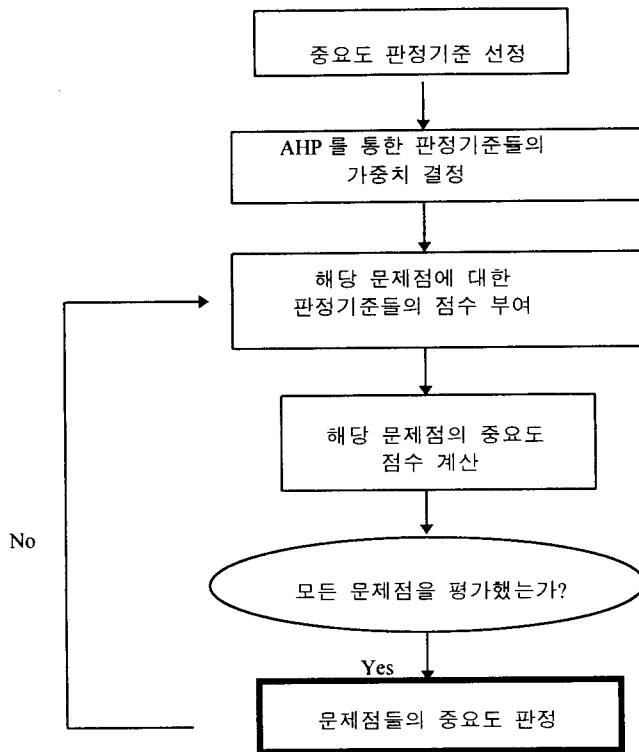


그림 1. 현안의 심각성 판정 절차

### 3. CFMS 설계의 인간공학적 검토

CFMS 설계에 대한 인간공학적 검토를 위하여 DIMS 에서 기술된 방법론을 적용하였다. 검토의 목적은 CFMS 설계에 대한 인간공학적 문제점들을 규명하고 그들의 심각성을 평가하여 심각한 문제점들을 CFMS 설계 개선에 반영하고자 하는 것이다. 검토를 위한 전체적인 절차는 CFMS 설계에 대한 인간공학적 확인 및 검증 계획 (Human Factors Engineering Verification and Validation Plan)에 근거하였다.

검토를 위하여 수행된 업무는 가용성 검토(availability verification), 적합성 검토(suitability verification), 통합적 검증(integrated validation)이고, 이들 업무의 수행을 통하여 CFMS 설계에 대한 인간공학적 문제점들을 규명하였다.

CFMS 설계에 대한 인간공학적 문제점들은 인간공학 전문가, 운전원, CFMS 설계 전문가의 평가를 통하여 ‘조기 해결’, ‘가능한 한 조기 해결’, ‘장기적 해결’의 세 그룹으로 분류되었다.

#### 1) CFMS 설계에 대한 검토 결과

(1) 가용성 검토

CFMS의 가용성 검토는 기기, 기능, 정보 가용성의 세가지 측면에서 검토를 수행하였는데, 대체로 인간공학적 설계 요건에 만족스러운 설계이지만, 표 3과 같은 몇개의 누락 정보가 발견되었다.

표 3. 정보 가용성 검토 결과

화면	누락 정보	누락 TAG
335	HPSI Cold Leg Inj. Flow	ALL
	HPSI Hot Leg Inj. Flow	ALL
210	Refueling Water Tank Level	CV-LT-201
240	Steam Generator Level	FW-LT-1123A, -1123B
250	Containment Upper Operating Area Radiation*	PR-RT-234
	Containment Hydrogen Conc.*	CM-AE-006
260	Main Steam Safety Valve Discharge Radiation	PR-RT-219,-220
	Liquid Radwaste System Effluent Rad.*	PR-RT-184
	Steam Gen. Blowdown Rad.*	PR-RT-152
341	Steam Generator Level	FW-LT-1123A, -1123B
	Aux. Feedwater Flowrate*	AF-FT-049,-050
342	Steam Generator Level	FW-LT-1113B
343	Steam Generator Level	FW-LT-1123A, -1123B
	Aux. Feedwater Flowrate*	AF-FT-049,-050
	Pressurizer Pressure	RC-PT-100Y
351	Containment Upper Operating Area Radiation*	PR-RT-234

(2) 적합성 검토

적합성 검토에서는 화면 요소의 적합성과, 화면 상호작용 적합성 검토를 수행하였다. 화면 적합성 검토에는 인간공학 전문가, 운전 경험자, CFMS 설계자들이 참여하였고, 총 29개 항목의 인간공학적 문제점이 발견되었다. 그 결과는 표 4와 같다. 그리고 원하는 정보를 찾기 위한 상호작용 방식의 검토 결과는 표 5와 같다.

표 4. 29개의 화면 설계상의 문제점 그룹

문제점 그룹 대분류	문제점 그룹 상세 분류
Display Format (6 그룹)	Data Format (Inadequate accuracy)
	Data Format Inconsistency
	Data Format Understandability
	Graphic Representation Inconsistency
	Enhanced Coding (Readability)
	Information Coding Complexity (Shape & Color)
Layout/Grouping (4 그룹)	Layout (관련정보)
	Layout (Valve & Flow Line)
	관련정보의 Grouping
	Navigation 정보의 Grouping
Record 구성 (2 그룹)	Record 구성 (Semantic Format)
	Record 구성 (Syntactic Format, Spacing)
Symbology (2 그룹)	Symbology (정의되지 않은 Symbol 사용)
	Symbology (Symbol 사용의 적합성)
Identifier/Label (7 그룹)	약어 사용의 Inconsistency
	Label 사용의 Inconsistency
	Identifier/Label 위치의 Inconsistency
	Missing Identifier
	Incomplete Identifier
	Incomplete Information
	Sector Number의 가독성

Color (4 그룹)	사용된 Color 의 종류와 수
	Color Coding 의 의미
	Color Coding Conflict
	Color Change 사용의 Inconsistency
Variable/Function/Navigation (4 그룹)	Level 1 & 2 화면들간의 Mapping
	관련 기능 및 정보의 인접성
	분산 정보 간의 Navigation 용이성
	Indication of Operating Status

표 5. 상호작용의 검토 결과

상호작용 방식의 문제점	예
Navigation 자체가 불편	상하위 화면의 제약
정보 구성 불균형	9 개의 Nav. 종류마다 하위 그룹의 종류가 다르기 때문에 불균형 발생
주어진 상황에 따라 이동방식 상이	LEVEL 2에서 210번과 220-270번 화면의 이동방식이 다르다.
조작에 대한 인식 불가능	정보 입력에 대한 Feedback이 없어 작동한 것을 확인할 수 없다.
ESC KEY의 예외	이전화면 CAL 번호가 2-22번일 때, ESC는 언제나 CURRENT ALARMS 1로 이동된다.
CURRENT ALARMS의 중간 PAGE를 찾는 방법 곤란	CURRENT ALARMS 17을 찾아가려면 CURRENT ALARMS 1번에서 NEXT를 계속해서 찾아가야만 한다.
이동방식에 동원되는 키 조작 복잡	ENTER KEY를 꼭 쳐야지 만 반응이 일어난다.
111번 화면은 MAIN MENU와 성격 다름 -> MAIN MENU에서 111번으로 이동되는 것은 올바르지 않음	
사용 가능한 KEY 조작 또는 이동 가능한 화면과 그렇지 않은 것에 대한 정보 없음	210 번 화면에서 다른 화면으로 이동이 가능한 것과 그렇지 않은 화면에 대한 정보가 없다.
100, 111화면에서 300번 대의 화면 정보 없음	100, 111 화면에서 300 번대로 이동하려면 반드시 200 번 대의 화면을 거쳐야 한다.
경보가 2-3 개가 났을 경우 중요도 차에 따라 하나를 선택	선택된 것 이외의 나머지는 기억에 의존하는 수밖에 없어 부담이 된다.
키보드 구성 불편	- 배치가 안 좋다. - Naming 이 잘못되어있다.
SELECT KEY는 POINT-ID를 얻는데 사용된다. 이동하는 것은 ARROWKEY를 이용한다. 이때 ARROWKEY를 사용하는 것보다 트랙볼을 이용하는 것이 낫다.	TREND 에 대한 POINT-ID 의 변수의 상세정보를 얻으려면 MAIN MENU 를 거쳐야만 되므로 복잡하다.
Trend Graph의 시간변경 입력시 이미 표시된 추세 Graph가 없어지고 새로운 Graph가 새로이 시작된다.	

(3) 유효성 검증

CFMS 의 최종적인 타당성은 실제 사용자인 운전원이 얼마나 효과적으로 CFMS 를 활용하여 궁극적인 지원 효과를 얻는가 하는 것으로, 이러한 측면에서 유효성 검증을 수행하였다. 그 결과로서 발견된 문제점은 표 6 과 같다.

표 6. 유효성 관련 문제점

주제	유효성 위협 문제점	세부 내용 및 예
운전원 지원 기능의 부족	세부적인 경보의 진행이나 각 논리가 표시되지 않아 감지 지원 기능이 부족하다	안전기능별 경보 논리도와 같은 상황 파악의 세부 내용 지원 정보가 필요
	안전기능의 위협에 대한 상황인식 후에 필요한 절차서 선택 및 대응 조치에 대한 지원이 없다.	자원 수목도나 사고의 진단 및 회복에 효과적인 진단기능 또는 전산화된 절차서 지원 필요 최소한 비상운전 절차서와 정보 사용 일관성 유지 필요
운전 절차서와의 연계성 부족	CFMS 와 EOP 간에 필수 안전 기능의 판정 기준이 상이	기준의 적용 개념 차이
	EOP 와 CFMS 필수 안전기능 관련 항목 불일치	
주제어실 설계와의 일관성 문제	제어실 표시 장치와의 일관성	제어실 설계 기준과 일관성 필요
	경보 기능과의 연계성	경보창 및 경보 CRT 와 일관성 필요
관리적 작업환경과의 연계성 문제	기준 절차서 훈련 관리운영체계	인간공학적 의사결정 기준의 부재 : 기호 및 약어 등 포함 훈련, 사용절차서, 사용자 할당, 기타 연관 문서 일관성 부족
CFMS 제체의 결합성 문제	기본 요소 설계의 결합 문제	관련 기술 현황 반영 부족
	상호작용 방식의 설계 불량 문제	상호작용 고려 부족 기기 선택 낙후성 및 결합
설계 업무상의 결합 문제	설계 요건에 인간공학 요인의 반영 결여	설계 요건 정의 결합, 운전 경험 반영 부족, 요건 분석 결과 초기 반영 누락 등
	설계 업무상의 인간공학 누락 : 업무체계, 인원, 절차, 기준, 현안 관리체계 등 부재	인간공학 프로그램 계획 누락 지속적인 확인 및 검증 미 실시 전체 제어실 검증 업무 누락

## 2) 문제점의 인간공학적 심각성 판정

인간공학적 심각성 여부를 판정하기 위한 기준으로 Human Error, Workload, resource requirement, Training Requirement, Operator Acceptability 를 선정하였다.

Human Error 는 화면 설계가 인간공학적으로 적절하지 않을 경우, 사용자가 작업 수행 과정에서 혼동(Confusion)을 일으키거나 양립성(Compatibility)의 측면에서 부적절하여 많은 인적 오류(Human Error)를 발생시킬 것이다.

Workload 는 CFMS 를 이용하여 운전원이 작업을 수행할 때에 요구되는 정신적인 부하량의 정도를 나타내는 것으로 CFMS 설계가 인간공학적으로 부적합하다면 많은 workload 를 받게 될 것이다.

Resource requirement 는 CFMS 에 나타난 정보를 입수, 탐색, 처리하는 작업에 소요되는 정신적 자원의 소요정도를 의미하며 CFMS 가 인간공학적으로 부적합하게 설계되면 많은 Resource requirement 를 요할 것이다.

Training Requirement 는 CFMS 의 내용을 학습하는데 많은 시간이 소요되는가의 정도를 의미하며, Operator Acceptance 는 운전원이 주관적으로 느끼는 선호도와 수용성 정도를 의미한다. 이들 5 가지 기준을 이용하여 인간공학적 문제점들의 심각성을 정량적으로 판단하기 위해서는 우선, 각 판정 기준이 심각성 판정 여부에 기여하는 정도를 정량적으로 평가해야 할 필요가 있다.



(1) 판정 기준들의 가중치

판정기준들의 가중치를 결정하기 위하여 DIMS의 평가기능에서 제공하고 있는 AHP 기법이 적용되었으며, 그 결과는 표 7과 같다.

표 7. 판정 기준의 가중치

CRITERIA	Human Error	Workload	Resource Requirement	Training Requirement	Operator Acceptability
가중치	0.45	0.20	0.10	0.10	0.15

(2) 문제점들의 중요도 점수

문제점들의 중요도 점수는 판정기준들의 가중치를 이용하여 각 현안들의 판정기준들에 대한 점수를 가중평균함으로써 구한다. 절차는 다음과 같다.

가) 문제점들의 각 판정 기준에 대한 점수를 부여한다.

나) 판정기준들의 점수에 가중치를 곱하여 다음과 같이 가중평균한다.

$$\begin{aligned} \text{점수} &= 0.45 \times (\text{Human error score}) \\ &+ 0.20 \times (\text{Work load score}) \\ &+ 0.10 \times (\text{Resource Requirement score}) \\ &+ 0.10 \times (\text{Training Requirement score}) \\ &+ 0.15 \times (\text{Operation Acceptability score}) \end{aligned}$$

다) 계산된 점수를 이용하여 현안들의 인간공학적 심각성을 판정한다.

- A. 평균값  $\geq 7$             조기 해결
- B.  $3 \leq$  평균값  $< 7$     가능한 한 조기해결
- C. 평균값  $< 3$             장기적 해결

(3) 평가 결과

CFMS 화면 설계의 인간공학적 검토를 통하여 제기된 문제점들에 대한 인간공학 전문가, 운전원, 설계자들에 의하여 평가된 문제점들의 심각성의 정도는 다음 표 8과 같다. 표 8에 명시된 중요도는 각 평가 집단 구성원들의 결과를 평균한 값이고, 각 평가자의 중요도 점수는 문제점들의 심각성을 5개의 평가기준에 근거하여 평가한 후 평가기준들의 가중치에 의하여 가중 평균한 값이다.

표에 나타난 결과를 보면 세 평가집단 사이에 상당한 차이가 존재하고 있음을 알 수 있는데, 그것은 화면 검토를 통하여 문제점으로 지적된 항목들에 대한 인식이 세 집단 사이에 상당한 차이가 있음을 의미하는 것이다. 즉, 인간공학 전문가에 의한 결과는 인간공학적 이론이나 지침에

근거하였을 것이고, 운전 경험자들의 결과는 오랫동안의 운전 경험에 의하여 인간공학적 문제점들에 대한 심각성을 과소평가했을 수도 있을 것이며 심각하다고 생각하는 요인들이 경험에 의하여 바뀌었을 가능성도 있다. 또한 설계자의 입장에서는 문제 자체의 심각성보다 설계상의 난점들이 반영되었을 가능성도 있다. 일반적으로 운전 경험자나 설계자는 문제에 대한 심각성을 인간공학 전문가 보다 적게 느끼고 있음을 알 수 있다.

표 8. 인간공학적 문제점에 대한 전문가 평가의 종합 결과

문제점 List	인간공학전문가		운전경험자		설계경험자	
	순위	중요도	순위	중요도	순위	중요도
Information Coding Complicity	1	8.56	15	3.892	17	3.335
Color Coding Conflict	2	8.05	11	3.990	12	3.806
Color Coding 의 의미	3	7.75	9	4.194	2	4.470
Level 1 & 2 화면간의 Mapping	4	7.20	21	3.532	1	4.553
관련 정보의 인접성	5	7.10	29	2.695	4	4.36
Layout(Valve & Flow Line)	6	6.30	24	3.252	29	2.174
Enhanced Coding(Readability)	7	6.25	18	3.785	3	4.409
Missing Identifier	8	6.20	3	4.603	9	3.963
관련정보의 Grouping	9	5.75	27	2.974	5	4.358
Indication of Operating Status	10	5.60	6	4.414	14	3.570
Layout(관련정보)	11	5.50	12	3.972	21	3.070
Record 구성 (Syntactic Format, Spacing)	12	5.35	26	3.030	25	2.618
분산정보간의 Navigation 용이성	13	5.35	22	3.479	6	4.347
Data format Understandability	14	4.75	7	4.359	15	3.353
약어 사용의 Inconsistency	15	4.70	16	3.835	7	4.212
Identifier/Label 위치의 Inconsistency	16	4.55	17	3.806	26	2.520
Sector Number 의 가독성	17	4.45	28	2.893	16	3.353
Data Format (Inadequate Accuracy)	18	4.40	4	4.457	19	3.203
사용 Color 의 종류와 수	19	4.10	23	3.342	11	3.864
Data Format Inconsistency	20	4.00	8	4.251	27	2.414
Symbology (Symbol 사용의 적합성)	21	4.00	20	3.581	18	3.229
Label 사용의 Inconsistency	22	3.95	19	3.661	23	2.704
Incomplete Information	23	3.20	1	5.324	8	4.211
Symbology (정의되지 않은 Symbol 사용)	24	3.10	2	5.014	13	3.785
Incomplete Identifier	25	2.90	5	4.430	20	3.171
Graphic Representation Inconsistency	26	2.80	10	4.010	28	2.381
Navigation 정보의 Grouping	27	2.75	14	3.913	22	2.865
Record 구성 (Semantic Format)	28	2.75	25	3.118	24	2.657
Color 변화 사용 Inconsistency	29	1.95	13	3.972	10	3.932

#### 4. 결론

원자력발전소의 전체적 설계과정 및 검토과정에서 지적되었던 현안들을 효과적으로 해결하고 평가하기 위한 도구로 본 연구에서는 설계 현안 관리 체계(Design Issue Management System; DIMS)를 개발하였다. DIMS 는 요건 분석 기능, 현안 추적 기능, 현안들의 중요도 평가기능을 세 부분으로 구성되어 있고, 전체적 시스템은 MS-ACCESS 7.0 과 Visual Basic 3.0 을 이용하여 구현되었다.

요건 분석 기능에서는 원자력발전소의 인간-기계 연계 계통 설계에서 고려되어야 하는 인간

공학적 요건들을 체계적으로 관리 분석할 수 있도록 요건들에 대한 DB 시스템을 구현하였다. 요건 DB 시스템에서는 평가질의서와 평가양식을 개발하여 요건들을 효과적으로 분석하고 기록할 수 있도록 하였다.

현안 추적 기능은 설계 및 검토 업무에서 현안들이 올바르게 반영되었는지 확인하기 위하여 요구되는 현안들을 빠르게 추적하기 위한 것으로, DIMS에서는 현안추적기능을 부여하기 위하여 항목 관리를 위한 Coding 체계를 사용하였다.

중요도 평가 기능은 제기된 현안들이 인간공학적으로 얼마나 심각한 문제를 야기할 것인지를 결정하기 위한 것으로, 본 연구에서는 중요도 평가를 효과적으로 수행하기 위하여 의사결정 기법인 AHP를 사용하였고 전체적 과정을 Visual Basic 3.0으로 구현하였다. 현안들의 중요도 평가 결과는 설계 및 검토에 있어서의 우선순위를 결정하는데 적용될 수 있다.

DIMS에서 구현된 모든 방법론은 CFMS 설계의 인간공학적 검토에 적용되었다. 검토 업무로 가용성 검토, 적합성 검토, 유효성 검증을 수행하였고, 그 결과 CFMS 설계상의 인간공학적 문제점들을 규명하였다. 규명된 문제점들을 인간공학 전문가, 운전원, 설계자 집단에 의하여 인간공학적 심각성이 평가되었고, 심각성의 정도에 따라 ‘조기 해결’, ‘가능한 한 조기 해결’, ‘장기적 해결’의 세 그룹으로 분류되었다. 조기 해결을 요하는 문제점들은 CFMS 설계자에 전달되어 설계 개선에 반영되었다.

결론적으로 DIMS는 CFMS와 같은 원자력발전소 인간-기계 연계 계통 설계에서 효과적으로 활용될 수 있지만, 그 외에도 장비 설계 및 제품 설계 등에서 설계 문건, 사용자(또는 작업자), 기능 및 직무 분석 등을 통하여 제기되는 현안들을 효과적으로 관리하고 설계에 반영하기 위한 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

## 5. 참고문헌

- [1] Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, US NRC, 1994.
- [2] Guidelines for Control Room Design Reviews, NUREG-0700, US NRC, 1981.
- [3] Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants, NUREG-0800, US NRC, 1984.
- [4] A Status Report Regarding Industry Implementation of Safety Parameter Display Systems, NUREG-1342, US NRC, 1989.
- [5] Saaty, T.L., Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.
- [6] Human Factors Acceptance Criteria for Safety Parameter Display System, US NRC, NUREG-0835, 1981.
- [7] Verification and Validation Report for the Critical Function Monitoring System for the Ulchin Nuclear Power Plant Units 3&4, 91791-IC-VR750-00, REV. 00, DDS-1, 1996.
- [8] 정광태, 이용희, 울진 3,4호기 CFMS 화면설계의 인간공학적 검토, 대한인간공학회 '96 추계학술발표회 논문집, 1996.
- [9] 울진 3,4 호기 CFMS 화면설계의 인간공학적 검토, KAERI/CR-047, 한국원자력연구소, 1996.