

원자력발전소 설계 지원을 위한 인간공학 현안관리 체계 개발 (Development of a Design Issue Management System for Human Factors Engineering in Nuclear Power Plants)

이용희, 정광태¹
한국원자력연구소,
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

본 논문에서는 원자력발전소의 설계에 필요한 인간공학 업무를 원활하게 지원하기 위하여 설계 현안 관리체계(DIMS)를 제안하였다. 설계현안 관리체계에는 설계요건 DB 시스템, 현안추적 시스템, 현안의 중요도 평가 시스템 등이 포함되어 있어서 설계과정을 지원할 수 있다. 또한, CFMS 검토에 응용한 사례를 약술하여 실무적인 활용과정을 설명하였다.

1. 개요

원자력발전소의 인간-기계 연계 체계(Man-Machine Interface System)의 설계에서 규제 요건은 물론 다양한 경로를 통하여 제기된 설계요건 및 고려사항들을 제대로 설계에 반영하는 것은 매우 어려운 작업이다. 따라서, 설계와 관련된 문건들로부터 추출된 문제점, 설계자는 물론 운전원 등을 포함하여 관련된 사람들로부터 제기된 문제점들을 제기, 추적, 관리, 평가하는 인간공학 현안의 종합 관리가 필요하다. 설계에 있어 추가로 고려되어야 할 항목들을 설계현안(Issue)이라 하는데, 설계과정에서 이런 현안들을 효과적으로 설계에 반영하기 위하여 설계를 지원하기 위한 인간공학적 관리체계로 인간공학 설계현안 관리체계(Design Issue Management System; 이하 DIMS)를 개발하였다. DIMS는 세가지 기능으로 구성되어 있는데, 규제 문건으로 부터 추출된 요건 분석 기능, 규제기관, 운전원 및 설계자로 부터 제기된 설계 현안의 추적 기능, 설계 의사결정을 위한 현안들의 중요도 평가 기능 등의 세 부분으로 구성되어 있다.

2. 목적 및 기능

DIMS에서는 설계 과정에서 이미 설계 착수 이전에 인간공학 현안으로 제기된 항목들을 효과적으로 설계에 반영하고, 확인 및 검증 업무에서 이들 현안들이 올바르게 해결되었는지를 평가하기 위하여 초기로부터 유지된다. DIMS는 외부로부터 문제 제기시 이를 설계에 반영하는 통로 또는 근거자료가 되므로 인간공학적 현안이 나타날 때마다 기록하고, 현안의 해소 또는 변화되는 각 설계 활동마다 그 과정을 철저히 문서화하여 인간공학적 설계업무를 지원한다.

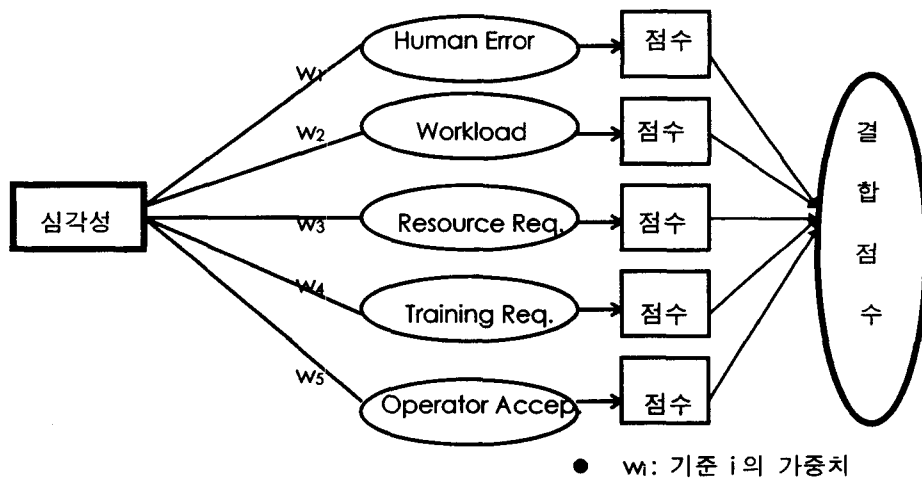
2.1 요건 DB : 인간공학 평가의 진행을 위해서는 인허가의 문헌은 물론 산업체의 기준들을 파악

¹ 현 한국 기술교육 대학교 산업디자인 공학과

하여 설계 검토의 기준으로 활용해야 한다. 이를 위하여 요건의 데이터베이스를 구축하였다. 그러나, 단순히 요건들을 수집하여 데이터 베이스화하는 것은 방대한 자료만을 확보할 뿐 실제 검토 실무에 적용하거나 설계를 지원하는데는 부적절하다. 따라서, 두가지 추가 작업을 수행하였다. 우선, 요건의 중복성과 연관성을 파악하여 필요한 최소한의 검토항목을 추출하는 작업이다. 두번째로는, 요건으로부터 다양한 실무양식을 개발하여 검토실무를 지원하도록 하는 것이다. 요건 DB 시스템에서는 SPDS관련 요건 DB의 구조, 구성요소, 응용 방안에 대하여 기술하였다. 또한, 검토수행에서 요구되는 평가 질의서 및 양식 작성, 결과의 저장, 결과 분석 등의 과정에서 항목, 관련 문헌, 대상, 방법, 주체 등을 체계적으로 분류한 데이터베이스 시스템을 구축하였다. 요건 DB 시스템은 MicroSoft Access로 구축하였다. MicroSoft Access는 기본적인 데이터베이스 기능 이외에 매우 간단하게 사용자의 목적에 부응하는 평가 질의서나 평가 양식 등을 얻을 수 있다.

2.2 현안 추적 기능 : DIMS에서 현안 추적(Issue Tracking) 기능은 MMIS의 설계에 있어 중요시되는 현안들을 효과적으로 반영하고, 또한 설계 검토 업무에서 이들 현안들이 적합하게 해결되었는지 확인하기 위하여 이들 현안을 효과적으로 추적하기 위한 것이다. 현안 추적 기능을 갖기 위하여 각 항목의 관리를 위한 Coding 체계를 사용하였고, 또한 시스템의 항목구성을 일련번호, Keyword, Description, 날짜, 제기자 및 처리자, 근거, 내용, 결과, Comment으로 구성하였다.

2.3 중요도 평가 : AHP는 의사결정 지원 수단 중의 하나로, 구조적으로 명확히 정의하기 어려운 문제를 해결하는데 도움을 주는 분석기법이다. AHP기법은 평가하고자 하는 대상을 각각 행과 열의 제목으로 하는 표를 작성하여 서로 다른 두 항목이 만나는 칸에 상대적인 중요도를 나타내는 값을 지정한다. 즉, 열의 내용과 비교하여 행의 내용이 어느 만큼의 비율로 중요한지를 평가하여 해당하는 값을 입력하는 방법이다. 이때 중요도차에 따라 1부터 9까지의 정수 또는 1/3, 1/5, 1/7, 1/9 등 역수를 사용하여 Rating값을 부여한다. 이러한 과정으로 판정기준의 가중치를 결정한다. 기준의 가중치는 각 현안의 중요도에 대한 판정은 중요도 점수와 함께 현안들의 중요도 점수를 계산하는데 사용한다. 이 점수에 의하여 각 현안들의 인간공학적 결함 여부를 평가한다.

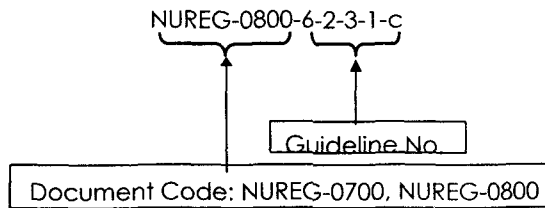


3. 구현

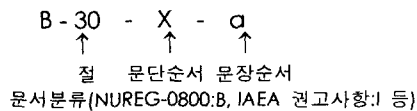
3.1 자료 체계

DIMS는 MS-ACCESS와 Visual Basic을 이용하여 구현되었다. 설계에 고려되어야 할 문제점 항목을 기준으로 DB 형태로 유지 관리된다. 문제점 항목 등을 DB에 구축하기 위해 먼저 Coding 체계를 작성하였다. Coding 체계에 맞추어 DB로 저장한 뒤, 인간공학적 현안이 변화할 때마다 응용 프로그램에 의하여 추가로 문제 항목을 기록하거나 기록 내용을 첨삭한다.

(1) 요건 및 기준 DB의 항목구성 및 색인 부호 체계 : 요건 DB 시스템의 구성 요소는 크게 Table과 Query, Report의 세가지 유형으로 분류할 수 있으며 각 구성항목을 정의하였다. 요건 DB 시스템에서 그림과 같은 coding체계를 정의하였다. coding 체계는 요건의 정리와 함께 실무 작업에서 활용되기 위한 자료구조의 근간이다. 또한, 질의문항의 참조문헌을 직접 사용하여 필요 시 세부 내용이나 근거를 추적할 수도 있다.



(2) 현안 추적 기능의 항목 구성 : DIMS 의 항목은 일련번호, Keyword, Description, 날짜, 제기자 및 처리자, 근거, 내용, 결과, Comment 로 구성되어 있다. Coding 체계는 다음과 같다.



(3) 중요도 평가 기능의 항목 구성 : 중요도 평가의 DB 항목은 평가기준 선정에 따라 유연하게 변화한다. 즉, 중요도 평가에서 어떤 평가 기준을 사용하느냐에 따라 평가의 DB 항목이 변화할 수 있다. 평가시 해당 현안들의 각 기준에 대한 평점이 DB에 추가된다. 특히 최종 평가결과의 기록이 중요하다. 중요도 평가 기능의 구조는 중요도 평가기준들의 가중치를 결정하는 부분과 이를 이용하여 각 현안들의 중요도 점수를 계산하는 부분으로 구성된다. 평가기준들의 가중치를 결정하는 과정은 AHP 프로그램을 통하여 수행되고, 각 현안들의 평점은 평가기준들의 가중치를 이용하여 간단하게 계산된다. 최종적으로 각 현안들의 중요도 점수로부터 현안들에 대한 분석을 수행하는데, 분석하는 상황이라든지, 분석자들에 의하여 현안들의 판정기준이 변화할 수 있기 때문에 판정 기준은 획일적으로 결정할 수 없다.

3.2 사용자 화면

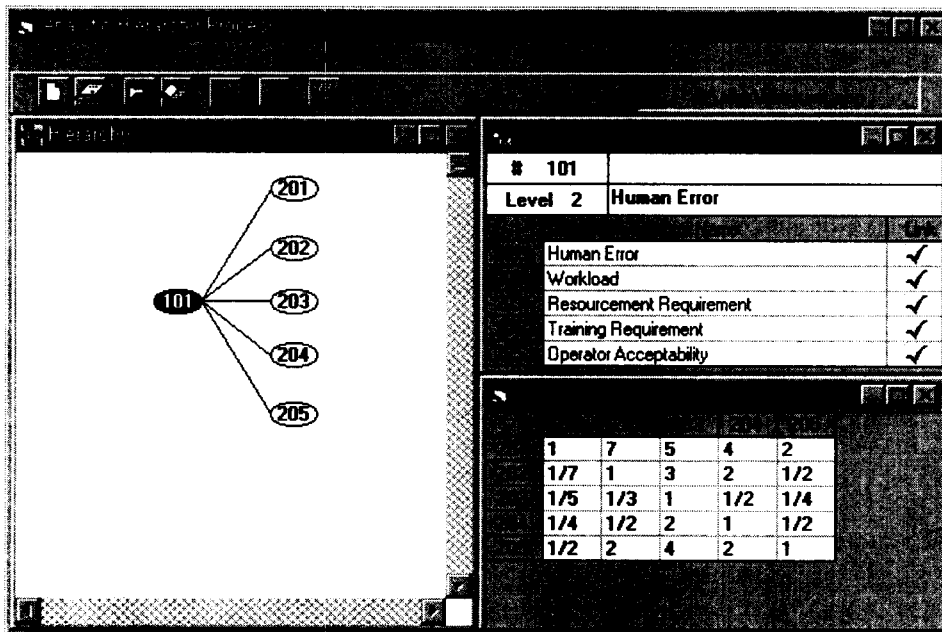
(1) 요건 DB 시스템의 UI : 인간공학적 확인 및 검증에서는 소수의 인터페이스 전문가가 일정한 평가 체계에 따라 평가를 실시하는 Usability Inspection 기법들을 이용한다. 이러한 전문가 검토

로, 평가 질의서와 평가 양식을 개발하여 이를 활용하였다.

(2) 현안 추적 기능 UI : User Interface의 상부에는 일련번호, Issue의 Keyword와 Issue의 자세한 내용을 적은 Description이 있으며, 처리된 날짜, Issue의 상태를 나타내는 Status가 있다. 즉 상부항목은 Issue의 전체적인 상황을 파악할 수 있도록 표현하였다. 또 하단에는 크게 Raised/Resolved로 분리하였다. 누가 어떤 내용과 근거로 제기/처리 하였는지 나타내주는 단으로 제기자, 처리자, 제기내용, 처리내용, 제기근거, 처리근거, 각각의 comment가 있다.

(3) 평가 기능 UI

DIMS에서는 제기된 현안들의 중요도를 평가하기 위하여 AHP 기법을 사용하였는데, 평가부분은 Visual Basic으로 구현되었다. 다음 그림은 DIMS에서 AHP를 이용한 평가 화면이다.



4. DIMS의 활용 : CFMS 화면설계 검토에의 응용

CFMS의 설계에 대한 인간공학적 평가를 위해서는 화면 표시 정보의 적합성을 검토하는 작업 지원성 검토 (Task Supportness Verification), 실제 시스템 또는 Simulator를 이용한 통합적 시스템으로서의 수행도 검토(Integrated System Validation) 등이 필요하나 설계요소의 적합성 검토가 우선된다. DIMS를 CFMS의 검토에 활용하여 화면 설계의 적합성을 검토하였다. CFMS와 관련된 규제 문건에 언급된 요건을 수집하고, 현재 화면 설계가 규제 요건을 만족하는지를 검토하여 문제점을 분석하는 과정에 활용하였다. 요건의 수집에서는 NUREG-0737 Supplement 1의 6가지의 기본원칙을 근간으로, NUREG-0800, 즉, SRP 18.2과 부록을 검토의 기본요건으로, NUREG-0700 6절의 관련사항을 선택적으로 DIMS에 입력하여 검토기준으로 활용하였다.

1) 평가 질의서 및 평가 양식 개발 : DIMS에는 CFMS 평가에 사용될 질의서에는 총 107개의 질의사항이 정리되었다. CFMS 평가에서는 상위수준에 16 항목, 인간공학적 해석을 위주로 한 중

간수준에 66 항목, 구체적인 상세 설계사항을 다룬 하위수준에 50 항목의 질의항목으로 질의서를 구성하였다. 평가양식은 평가 질의서의 항목들 중 최하위 수준의 평가문항에 대하여 제공된다. 최하위 수준의 평가문항은 반드시 하위수준의 질의사항을 의미하지는 않는다. 문항에 따라, 하위수준의 질의 사항이 없는 경우, 하위수준의 질의사항이 지나치게 상세한 내용을 언급하고 있을 경우에는 중간수준의 질의사항이 평가문항이 되었다. 질의문항의 특성에 따라 세가지 평가양식이 작성되어 선택적으로 사용하였다. 평가양식에는 평가항목 정보를 담은 Screen Evaluation Field, 평가수행중에 제공받은 정보와 문제점등 상세 평가내용을 기입하는 Comment Field, 해당 평가 문항에 관한 이해를 돕기 위하여 상위 수준 또는 하위 수준으로 정의된 내용이 참조 형식으로 함께 제시되는 Related Question Field 등이 있다.

2) 주요 평가어 구조 : CFMS의 평가 진행상의 필요에 따라 DIMS를 이용하여 주요 평가어 (Keyword)를 질의 문항별로 추출해 놓았다. 주요 평가어란 평가 항목의 특성을 대표하는 단어로써, 항목의 분류 및 확인을 용이하게 한다. 주요 평가어 구조는 본 평가 질의서의 각 평가 문항의 내용을 설명할 수 있는 주요 평가어만을 추출하여 연관 관계에 따라 체계적으로 표시한 것으로, 평가해야 할 내용과 범위를 개괄적으로 파악하는 데 효과적이다.

3) HED 도출 : DIMS를 활용하여 CFMS 화면 설계에 대한 HED를 도출하였다. CFMS에 대한 평가를 통해 파악된 화면 설계의 문제점 각각을 (1) 자체 Brainstorming, (2) 연구원 협의, (3) 운전 경험자 및 (4) 설계자 의견 수렴 등 여러 단계의 과정을 통해 재검토하여, HED로 판단될 소지가 있는 항목(Potential HED)을 도출하였다. 즉, 먼저, 자체 Brainstorming을 통해 지적된 문제점들이 운전원 수행도의 저해요인이 될 가능성을 전문가의 입장에서 판단하여, 사소한 것으로 판정되거나 심각하지 않은 경우의 문제점은 HED 대상에서 제외하였다. 이 결과는 인간공학 전문가들의 협의를 통하여 재검토되어, 1차적인 Potential HED를 추출하였다. 이후 수 차례의 협의에 운전 경험자와 설계자를 참여시킴으로써, 지적된 문제점의 심각성을 파악하였으며, 그 결과 HED 대상이 되는 문제점들을 도출하였다. 도출된 문제점은 총 29개의 항목이 HED의 가능성이 있는 것으로 판정되었으며, 이는 다시 7개의 부문으로 분류되었다. Display Format 및 Identifier/Label의 부문이 문제점으로 지적되었다.

- HED 판정 기준 : HED로 판정할 때 기준으로 기술적(Technical), 공학적(Engineering), 관리적(Managerial) 부문의 3가지 부류로 구분하고 다음과 같이 세부 기준을 선정하였다.

| 기술적 부문 (Technical Issues) | 공학적 부문 (Engineering Issues) | 관리적 부문 (Managerial Issues) |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Human Error • Workload • Resource Requirement • Training Requirement • Operator Acceptability | <ul style="list-style-type: none"> • Development Phase • Required Effort • Scope of Related Engineering Field | <ul style="list-style-type: none"> • Utility Plan • Feasibility(Cost,Time, Technical Difficulty) • Corporate Image |

- HED 여부를 판정의 기술적 근거로 선정된 Human Error, Workload, Resource Requirement, Training Requirement, Operator Acceptability 등 기준의 세부내용은 다음과 같다.

| 기술적 부문 | 설명 |
|------------------------|---|
| Human Error | - Confusion - Incompatibility |
| Workload | - STM Requirement - Fatigue - Time Load - Integration Requirement |
| Resource Requirement | - Identification Requirement - Attention - Perception - Memory Requirement |
| Training Requirement | - LTM - Incompatibility |
| Operator Acceptability | - Subjective Preference - Operator Acceptance |

- 판정 기준간의 가중치 : 기술적 HED 기준의 5 가지 세부 기준들에 대한 Rating 을 실시하여 이들을 종합한 대표치를 산출함으로써 중요도를 고려한 가중치의 개념을 도입하였다. AHP 기법을 제공하고 있는 DIMS 의 평가기능을 적용하였다. 각각 0.45, 0.20, 0.10, 0.10, 0.15 의 가중치로, Human Error 가 약 45% Operator Acceptability 는 15%의 중요성으로 평가되었다.
- 판정 기준을 이용한 HED 선정 : 총 29 개의 Potential HED 중에서 HED 로 지적할 만큼의 심각도가 없는 항목을 삭제하기 위하여 5 가지 세부 판정 기준에 대한 Rating 을 실시하였다. 각 HED 판정 기준별 Rating 기준은 1 부터 9 사이 값을 참조표로 제공하여 사용하였다. Rating 결과 분석 : 가중치를 이용한 HED 결정을 위해 계산된 값을 높은 값에서 낮은 값의 순으로 정렬된 그래프를 그려서 분포를 비교하고, Rating 기준(예를들면, 평균값 ≥ 7 : Absolute HED, $3 \leq$ 평균값 < 7 : HED, 평균값 < 3 : 권고사항 등) 에 따라 HED 를 판정하였다.

DIMS 에서 제공하는 가중치 분포를 통해 살펴보면, CFMS 설계는 Color Coding 에 관련된 Potential HED 항목이 중요 HED 로 상위 Ranking 을 차지하고 있었다. Human Error 와 Workload 에 의한 Criteria 별 Rating 분포를 살펴보면, Color Coding 과 화면배치가 중요 HED 로 판정될 가능성이 있다. 또한, Resource Requirement 에서는 Coding 체계와 Layout 에 관련된 Potential HED, Training Requirement 에서는 Color Coding, 화면배치, 용어에 관련된 내용, Operator Acceptability 에서는 Color Coding 과 용어 Coding 이 주요 HED 로 판정되었다.

5. 결론

본 논문에서는 설계현안 관리체계(DIMS)의 개발내용을 제시하고 CFMS 에 대하여 적용한 사례를 간략하게 제시하였다. DIMS 는 원자력발전소의 설계에서 인간공학 설계업무를 지원하기 위하여 제공되는 지원도구의 일종이다. 이러한 지원도구를 통하여 구체적으로 설계현안들을 유지 관리하며 설계 의사결정을 지원하면, 인간공학 업무가 설계과정과 밀접하게 연계된다. DIMS 의 기능은 체계적 설계관리가 필요한 타분야에도 적용가능할 것이다.

참고문헌

1. NUREG-0711, Human Factors Engineering Program Review Model, USNRC, 1995.
2. 울진 3,4호기 CFMS의 인간공학적 설계 검토 경험, 한국원자력학회 7 춘계 학술발표회, 1997.
3. 울진 3,4호기 CFMS 화면 설계의 인간공학적 검토, KAERI/CR-027/96, 한국원자력연구소, 1996.