

원자력 발전소 주제어실내 Critical Function Monitoring System 의 인간공학적 평가를 위한 체계적 Checklist 의 개발

Development of a Systematic Checklist for the Ergonomic Evaluation of the Critical Function Monitoring System in the Main Control Room of a Nuclear Power Plant

홍상우*, 한성호*, 윤명환*,곽지영*, 이용희**

* 포항공과 대학교 산업공학과
** 한국 원자력 연구소 인간공학실

Abstract

Integration and standardization of the related regulations and guidelines are necessary to evaluate a CFMS in a systematic manner. In this study, a hierarchically categorized evaluation checklist was developed by collecting and structuring human factors issues listed in the various regulations, design requirements, and technical report. A PC-based database management system was developed to update and review the evaluation results. Standard interpretation examples, evaluation guidelines, and sample evaluation formats were also designed and integrated into the database system to reduce discrepancy in evaluation.

1. 서론

원자력 발전소 MCR(Main Control Room)은 발전소의 안전에 있어서 매우 중요한 역할을 수행한다. 특히, 컴퓨터를 이용하는 시스템의 경우, 신뢰도와 안전성에 대한 엄격한 검토를 거쳐야 한다. CFMS (Critical Function Monitoring System)는 새로 건설되는 원자력 발전소 MCR 에 추가될 예정인 운전 지원 기능의 하나로써, 현재 본격적인 인간공학적 평가 및 설계 검증이 요구되는 단계에 있다. CFMS 와 같이 컴퓨터를 기반으로 하는 시스템은 하드웨어(Hardware)적 측면 뿐 아니라, 인터페이스의 설계가 안전성에 미치는 영향이 매우 크다. 따라서, 화면 설계의 적합성에 대하여 규정된 인허가 기관의 평가 및 인증 절차 (Validation and validation process)를 반드시 거쳐야 한다 [5]. 그러나, 인허가 기관의 인증절차는 복잡하며,

인증에 적용되는 수십여종의 인간공학적 규제 문헌들은 내용이 중복적이고 포괄적이다. 따라서, 일정한 평가 체계에 의한 평가보다는 인증에 참여하는 평가자들의 인간공학적 전문 지식에 의존하여 왔다.

이와 같이, 복잡하고 체계적이지 못한 평가방법으로 인해 중요한 인간공학적 문제점이나 평가 대상이 누락될 수 있다. 또한, 평가자의 주관적 판단에 근거한 규제 문건의 자의적 해석과 적용 기준이 모호한 점은 일관성이 결여된 평가 결과를 얻게 되는 주원인이 되어 왔다. 따라서, 보다 체계적이고 종합적인 평가 및 인증 절차의 정립에 대한 필요성이 인식되었다.

본 연구에서는 이를 위해, 여러 규제 문헌들이 흩어져 있는 관련 규정들의 통합 및 체계화를 통해 인간공학적 평가 Checklist 를 개발하였고, 표준화된 평가 도구를 제시하였다.

2. 연구 수행 방법

본 연구의 연구 수행 과정은 크게 통합화와 표준화의 두가지로 구분된다 (그림 1 참조).

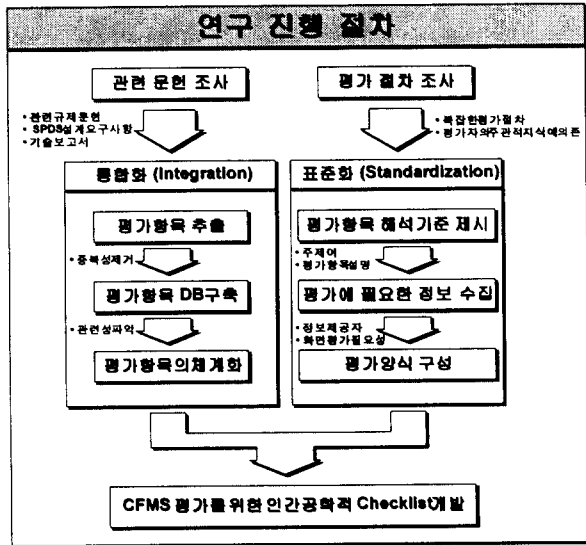


그림 1 연구 진행 절차

2.1. 통합화(Integration)

CFMS 평가와 관련된 많은 인간공학적 고려사항들은 다양한 규제문헌([3], [4], [5]), 설계 요구사항([2]), 기술 보고서([1]) 등에 산재해 있다. 이로 인해, 인간공학적 검증 과정에서 요구되는 인간공학적 설계 원칙을 모두 고려하지는 못하고, 상세한 내용은 평가자의 지식이나 전문성에 의존하고 있는 실정이다. 따라서, 평가 대상인 CFMS 에 관한 모든 인간공학적 고려사항들이 통합되어야 한다.

여러 문헌에 산재해 있는 인간공학적 고려사항들을 통합하기 위해서는 중복성을 제거하고, 서로 상반되는 내용에 대해서는 인간공학적 타당성 여부를 확인해야 한다. 뿐만 아니라, 고려사항들 상호간의 관련성을 규명하고, 이에 대한 정보를 반영하여야 한다.

본 연구에서는 원자력발전소의 인간공학적 검증에서 요구되는 많은 규제문헌들을 검토한 결과, NUREG-0700, NUREG-0800, Supplement 1 to NUREG-0737 ([3], [4], [5]) 등 3종의 문헌이 핵심적인 것으로 파악되었다. 이들 3종의 규제문헌들을 분석하여, CFMS 평가를 위한 평가항목들을 추출하였다. 전술한 바와 같이, 추출된 평가항목들 중 내용이 중복적이거나 상호 모순적인 항목들은 제거되었다. 최종적으로 선택된 평가항목들은 평가내용의 상세도와 모호성(Abstractness)에 따라 3단계로 구분되었다. 즉, 평가항목들 중 일반적인 설계

원칙에 해당하는 항목들은 상위 수준, 보다 상세한 내용의 Guideline 들은 중간 수준, 평가에 직접 적용되는 구체적인 사항들은 하위 수준으로 각각 분류되었다. 또한, 평가 항목의 체계화를 위해 평가항목들 상호간의 관련성 및 참조 관계 등을 규명하였다.

결과적으로, 3종의 규제문헌들로 부터 모두 132개의 항목이 추출되었으며, 이들은 대분류 문항 16개, 중분류 문항 66개, 그리고 소분류 문항 50개로 각각 분류되었다. 분류된 항목들 간의 연관관계를 표현하기 위해, 계층적 구조의 분류체계를 구성하였다

2.2. 표준화(Standardization)

CFMS 평가를 위한 인간공학 관련규정과 Guideline 들은 여러 규제문헌에 걸쳐 명시되어 있다. 그러나, 이들을 실제 평가에 적용할 때 참조할 수 있는 구체적이고 명확한 평가 기준은 매우 미비하다. 예를 들어, 본 연구에서 참조한 3종의 규제문헌 중 NUREG-0800으로 부터 추출된 한 평가항목은 다음과 같다. "It should be easy to compare data from related plant functions." 이 평가항목에는 평가 대상에 대한 구체적인 설명이 포함되어 있지 않으며, 평가에 적용될 경우 평가결과를 판정할 수 있는 평가기준이 매우 모호하다. 이로 인해 평가항목이 내포하고 있는 평가대상에 대한 해석이 평가자의 주관적인 판단에 따라 달라질 수 있으며, 서로 상반되는 평가결과를 얻게 된다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 평가결과 의 분산을 최소화하기 위해 체계적 구조를 이용하여 구체적이고 상세한 평가기준을 제시하였다. 또한, 실제 평가에 사용될 수 있도록 평가항목과 해당하는 평가기준 등을 포함하는 표준화된 평가양식을 개발하였다.

그림 2는 본 연구에서 개발한 표준화된 평가양식의 예이다. 평가양식의 상단에는 해당 평가항목의 출처를 확인할 수 있도록 원본 문헌의 해당 정보를 표시하였다. 또한, 평가항목의 해석의 일관성을 유지할 수 있도록 각 평가항목에 대해 주제어와 평가기준 설명을 평가양식의 중앙에 추가하였다. 평가 항목 별로 시스템내의 평가대상을 구체적으로 명시하여 불필요하게 시간과 인력을 낭비하지 않도록 하였으며, 평가 부서와 개발 부서, 책임 부서 등의 역할을 명시함으로써 평가의 원활한 진행을 돕도록 하였다. 평가항목을 평가하는 도중에 평가 내용에 대한 Context 의 이해를 돕기 위해 선택된 평가항목의 상하위 수준에 해당하는 관련 평가항목도 평가양식의 하단에 명시하였다.

HF Evaluation of CFMS UI

Code: N-0600-E-5-1-3-1-b	Document: NUREG-0800	Section: E.13.1
Keyword: Data Accuracy		
Description Each critical plant variable is displayed with an accuracy sufficient for the control room operator to discriminate between conditions that impact the plant's safety status and normal operating conditions.		
Explanation 필수적인 Operator가 Plant Safety Status를 판단하기위해 충분한 정확도를 가지고 표시되어야 한다. 즉 Data 표현 방식을 위주로 평가. 필수불요구되는 정확도를 알아볼 것.		
Information Provider: C		
Screen Evaluation: <input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/> Yes		
Comment 		
Upper Level		
Code: N-0600-E-1-2-1	Document: NUREG-0800	Section: E.13.1
Keyword: Current and Correct Status		
Statement: In order for the control room operator to rapidly and reliably determine the safety status of the plant, the displayed data should represent the current and correct status of critical plant variables.		
Revised Questions:		

그림 2 표준화된 평가양식

3. 활용 (Application)

본 연구에서 개발된 평가 양식을 이용하여, 현재 건설중인 원자력 발전소에 설치 예정인 실제 CFMS에 대한 평가를 수행하였다. 평가에는 시스템 개발자, 주제어실 운전원, 인간공학 전문가 등 세부류의 전문가가 참여하였다. 시스템 개발자는 CFMS의 개발 배경 및 설계 근거 자료 등에 관한 전문 지식과 정보를 제공하였다. 주제어실의 운전원은 운전원 작업과 오류 복구 과정과 같은 주제어실에서의 실제 작업에 관한 정보를 제공하였다. 인간공학 평가자는 시스템 개발자와 주제어실 운전원으로 부터 얻은 정보를 기반으로 개발된 평가양식을 이용하여 CFMS에 대한 평가를 수행하였다.

4. 결론 및 추후 연구

본 Checklist와 평가 양식을 활용함으로써, 평가의 수행 과정이 효율적으로 개선되었다. 또한, 설계 결함을 파악하기 위한 과정이 체계적으로 구성되어 있으므로, 인증기관에서 요구하는 주요 Issue가 누락될 가능성을 최소화할 수 있다. 이외에도 다수의 장점이 있으며, 요약하면 다음과 같다.

- 인증을 위한 각종 규정에서 요구하는 사항을 중복없이 모두 평가할 수 있다.
- 평가 수행시 관련 규정의 참조가 용이하다.
- 향후에 개발될 다른 CFMS들에 대해서도 일관성있는 평가가 가능하며, 평가 결과의 비교 및 이전에 발견된 문제점의 개선 여부에 대한 확인이 가능하다.
- 평가 과정에서 인간공학 전문가와 관련 부서의 역할을 미리 정해 놓음으로써 유기적인 흐름의 평가가 가능하다.
- 평가 결과를 어느때나 갱신 및 조회할 수 있다.
- 평가 결과는 개선의 우선 순위에 따라 조회가 가능하므로, 시간과 비용의 제한 요소가 있을 경우, 디자인 팀은 우선 순위가 높은 항목을 우선적으로 처리할 수 있다.
- 개선된 평가항목과 개선되지 않은 평가항목, 개선중인 항목을 계속 파악할 수 있다. 점진적으로 모든 개선 사항을 반영할 수 있다.

반면, 실제 평가에 적용함에 있어서는 평가 항목의 수가 많은 점이 문제시 될 수 있다. 그러나, 원자력 발전소의 경우 안전성이 최우선시 되어야 하는 특수한 상황이므로 이는 불가피한 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 반영하지 못한 새로운 방식의 인터페이스가 CFMS에 도입될 경우에는 적절한 평가항목을 추가하여야 한다.

5. 참고 문헌

- [1] Human Factors Society, 1988, American National Standard for Human Factors Engineering of Visual Display Terminal Workstations. ANSI/HFS 100-1988. (Human Factors Society, Santa Monica)
- [2] Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), 1995, N0291-FS-DR210-X, Design Requirements for the Critical Functions Monitoring System for UCN 3 & 4. (Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon, Korea).
- [3] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), 1981, NUREG-0700, Guidelines for Control Room Design Reviews. (U.S. NRC, Washington D.C.).
- [4] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), 1982, Supplement 1 to NUREG-0737, Requirements for Emergency Response Capability. (U.S. NRC, Washington D.C.).
- [5] U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), 1984, NUREG-0800, Standard Review Plan. (U.S. NRC, Washington D.C.).