

SMART 감시 및 제어를 위한 정보체계 연구

A Study on the Information Architecture for Monitoring and Control of SMART

이종복, 서상문, 장귀숙
한국원자력연구소

Abstract

기존의 제어실 정보표시는 계통 및 기기 정보를 바탕으로 하는 사건중심의 나열식 정보 표시체계를 가지므로써 운전원이 표시되는 정보를 검색하고 판단하기까지는 많은 정신적 부담이 있었으며 이로 인한 운전오류가 많이 발생하였다. 이에 따라 본 논문은 일체형원자로(SMART: System-integrated Modular Advanced Reactor) 제어실에서 운전원이 감독자 기능을 지원할 수 있도록 운전원이 쉽고 빠르게 필요한 운전정보를 검색하여 필요한 조치를 취할 수 있는 정보체계를 제안한다.

1. 서론

기존의 제어실 정보표시는 계통 및 기기 정보를 바탕으로 하는 사건중심의 나열식 정보 표시 구조를 가지므로써 운전원이 표시되는 정보를 검색하고 판단하기까지는 많은 정신적 부담이 있었으며 이로 인한 운전오류가 많이 발생하였다. 따라서 제어실의 운전원이 쉽고 빠르게 필요한 운전정보를 검색하여 필요한 조치를 취할 수 있는 정보체계를 제공하여야 한다. 이에 따라 본 논문에서는 운전원에게 기능중심의 정보표시체계를 제공하고, 또한 기능별로 운전정보의 수준을 계층화하여 표시 하므로써 운전의 안전성을 개선하고 운전효율을 높이고 정보표시체계와 운전원 제어기기를 연계시켜 제어기능을 강화한 인간기계 연계를 설계하기 위한 SMART 정보체계의 설계개념을 제시한다.

2. 정보체계

SMART 정보표시를 위한 기본 설계개념은 운전원에게 기능중심의 정보표시체계를 제공하고 기능별로 운전정보의 수준을 계층화하여 표시하므로써 운전의 안전성을 개선하고 운전효율을 높이는 것이다. 뿐만 아니라 정보표시 체계와 운전원 제어기기를 연계시켜 제어기능을 강화한 인간기계 연계를 설계하는 것이다.

2.1 최적정보표시 및 운전지원

기존 제어실의 대형 벤치형 (Bench Type) 제어반은 고정된 단순 나열식의 정보표시로 구성되었으나, SMART 제어실은 컴퓨터를 사용한 VDU (Video Display Unit) 중심의 정보 표시기로 구성된다. 그러나 컴퓨터를 사용한 정보표시 개념은 대량의 정보를 함축적이며 융통성있게 표시할 수 있는 반면 다량의 운전 정보가 요구되는 상황에서 정보의 압축화 현상이나 상황에 따른 최적정보 제공기능 상실 등의 제한적인 요소가 발생할 수 있다. 이러한 단점을 최신 정보순항기법으로 극복하여 플랜트에서 발생하는 방대한 운전정보로부터 운전상태를 고려한 최적의 운전정보를 제공하고, 운전원이 의사결정 하는데 필요한 정보수집, 비교 및 분석업무를 위한 운전지원 기능을 강화하므로써 운전원으로 하여금 판단을 위한 업무량을 최소화한다. 또한 운전절차서 전산화 및 기기상태로부터 플랜트 수준에 이르기까지 진단체계를 구축하여 운전원의 운전효율을 극대화하는 운전지원 기능을 강화한다. 기존의 책자형태로 제공되던 운전절차서는 컴퓨터기반의 제어반에서 운전원 요구시 정보처리체계의 감시화면으로부터 운전정보 화면과 통합된 형태로 제공되며 책자형태는 백업으로 사용한다. SMART 정보 체계는 각종 기기, 공정 및 계통의 운전상태로부터 체계적인 진단체계를 구축하여 운전원의 요구시 조연을 할 수 있도록 한다. 비록 전문가시스템 등 첨단기술을 사용하는 현재의 운전지원은 기술적용에 따른 검증기술의 미비로 부분적으로 구현되고 있으나 SMART 운전지원은 감시정보와 통합된 구조를 갖도록 개발한다.

2.2 정보의 계층화

플랜트 상태를 표시하는 각종 정보는 운전원이 플랜트 감시, 제어 및 상세진단을 위하여 요구되는 정보와 밀접한 연관성을 가지도

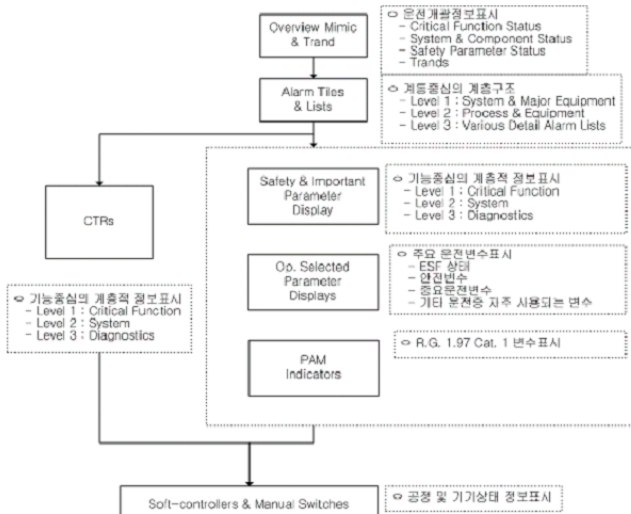


그림 1 주 제어실 정보표시구조

특 하여 데이터 형태의 정보가 아닌 운전상태에 따라 가공된 운전정보 형태로 제어실에 표시되도록 한다. 이를 위하여 운전업무를 수행하기 위하여 요구되는 정보는 원자로의 운전모드에 따라 다양한 형태로 구성한다. 그러나 제어실에 표시되는 대규모의 플랜트 정보를 제한된 수의 VDU 기기로 동시에 표현하기는 불가능하다. 따라서 SMART 정보체계는 현재까지 많은 연구를 거쳐 사용되고 있는 그림 1과 같은 계층적 구조를 이용하여 구성한다. 즉, 운전원이 SMART 상태감시 및 운전을 위하여 검색하는 정보를 다음과 같이 계층화한다.

- 1) 정보표시 계층의 최상단에 개괄적인 정보 표시를 위한 대형화면을 설치하여 플랜트의 전체 운전상태를 감시한다. 대형화면은 모든 운전은 지원할 수 있도록 주요 운전변수 및 정보, 안전관련 변수를 표시한다.
- 2) 대형화면으로부터 플랜트의 전체 운전상황을 파악한 후 운전을 위한 상세 정보를 상세 정보표시나 안전변수 표시기 및 경보표시로부터 취득한다.
- 3) 플랜트나 프로세스 및 기기의 운전상태에 이상이 있는 경우 운전원은 수집된 정보로부터 상태를 분석하여 제어실에 제공되는 각종 제어기기를 통하여 필요한 조치를 취한다. 이때 운전원은 제어를 위하여 필요한 정보를 제어기 상에서도 취득 가능하다.

2.3 정보취득

SMART의 기능 및 원자로 수준의 계통정보로부터 센서정보까지 방대한 정보가 컴퓨터에 의해 처리될 수 있다 하여도 이들을 모두 물리적으로 한정된 정보표시기에 표현하므로 운전원은 자신이 필요한 정보를 찾아야 하는 노력이 요구된다. 그러므로 감독자 역할을 하는 운전원으로 하여금 최적의 정보를 최단시간 내에 취득할 수 있는 체계적인 정보순항방

법이 사용되어야 하며 정보표시의 의미 및 안내가 정보표시에 명확히 나타나야 한다. 또한 제어실내에 표시되는 운전정보는 운전원의 정보취득방법에서 일관성이 유지되어야 하므로 인간공학적 측면을 고려한 표준화된 정보취득 방법을 사용한다.

2.3.1 정보순항

제어실에 표시되는 운전정보는 상위의 플랜트 수준의 제어로부터 최하위의 기기 상태 및 진단결과 정보에 이르기까지 다양하다. SMART 제어실에서는 최적의 정보순항을 위하여 정보표시기기 및 표시기기별 표시정보를 정보수준 별로 계층화하므로써 운전원이 필요한 정보로 쉽게 접근할 수 있게 한다. 제어실의 표시정보는 기능에 따라 SMART를 경제적이고 안전하게 운전하기 위한 3가지 목적을 (안전성확보, 전기생산, 보조기능) 달성하도록 지원하는 필수기능 수준의 정보로부터 이들의 기능을 수행하도록 구성되는 계통수준의 정보와 기기 및 공정변수 수준의 정보에 이르기까지 정보수준별로 계층화한다. 따라서 운전원은 운전에 필요한 정보를 요구되는 정보수준에 따라 직접 또는 계층순서에 따라 취득할 수 있다.

2.3.2 운전원 연계방법

정보표시기기는 효과적인 운전원 연계를 위하여 다양한 메뉴를 제공한다. 운전원 안내를 위하여 제공되는 메뉴는 기능중심으로 정보수준별로 계층화시켜 구성한다. SMART 제어실에서 사용되는 운전원 연계기기는 설계의 단순화를 위하여 마우스 또는 트랙볼과 접촉식 터치 스크린을 사용한다.

2.4 정보표시방법

운전원이 원자로 운전정보를 신속하고 효과적으로 취득할 수 있는 표시방법을 사용하며, 이는 특히 비정상상태에서 운전원 작업부하가 높아질 때 중요성이 더해진다. 뿐만 아니라 안전 및 운전중 중요한 변수나 운전중 사용빈도가 높은 운전변수에 대한 표시기법의 다양성을 고려한다. 그러나 다양성으로 인해 혼돈을 유발하지 말아야 하며, 제어실 내에 표시되는 운전정보는 표시방법에서 일관성을 유지한다.

2.4.1 화면설계

가능한 명확한 화면을 설계하여 운전원의 정보검색 및 취득을 용이하게 함으로써 상황 판단 시간과 업무부담을 줄인다. 또한 제어실 내에서 표시되는 정보는 운전원의 혼란을 초

래하지 않도록 일관성을 유지하여야 하며, 필요한 정보로의 접근이 용이하도록 최적의 정보순환이 이루어져야 한다. SMART 제어실의 화면설계 지침은 다음과 같다.

1) 표시정보 내용

필수기능, 계통기능, 기기기능으로 계층화되어 표시되는 각 화면에서 제공하는 운전정보는 기능 및 직무분석 결과에서 도출된 정보를 바탕으로 구성된다.

2) 화면정보 밀도

각 화면에 표현되는 정보의 밀도는 운전원의 기능수행을 저하하지 않는 수준이어야 한다.

3) 문자

제어실 내에서 표준화된 Tytle, 약어 (Acronym, Abbreviation), Label, 단 위 등의 문자표현에 대한 표준화된 규칙을 따른다.

4) 공정표현

공정도의 표현과 입출력 관계 등의 표현을 표준화시키고, 이들이 포함하고 있는 표시정보는 제공 기능으로부터 도출한다.

5) 기기심벌

운전원의 공정에 이해도를 높일 수 있는 유용한 심벌을 사용한다.

6) 그래픽 정보 및 추이정보

운전원의 운전상황에 대한 판단력을 증대하기 위하여 사용된다.

2.4.2 색상 및 형상

색상은 정보표현에서 정보의 식별을 용이하게 하는데 효과적이다. 따라서 이들은 식별이 용이하도록 구별되는 것으로 사용되어야 하며, 너무 많은 수의 것을 사용하면 오히려 역효과를 가져올 수 있다. SMART 제어실에서 사용하는 색상은 7-8 개로, 각각은 특성을 가진다. 형상(shape)은 기기종류, 기기의 운전상태 및 경보상태 등을 식별하는데 효과적으로, SMART 제어실에서 사용하는 형상은 표준화된다.

2.5 정보표시기기

원자로 사고시 운전원은 동시 다발적으로 발생하는 다량의 정보로 인해 정신적 부담이 가중되어 예상치 못한 운전원 실수가 유발될 수 있다. 이를 방지하기 위해 운전원은 모든 운전모드에서 표시되는 정보의 형태에 친숙하도록 한다. 따라서 사고상황에서만 사용되는 예비용 정보표시기의 사용은 운전원에게 갑작스런 혼란을 유발할 수 있으므로 이를 배제한

다. 또한 정보표시기기의 고장으로 인한 운전원의 플랜트 공정감시 능력이 저하되지 않도록 하며 동시에 플랜트 가동율이나 안전에 영향을 받지 않도록 한다. 이는 제어실의 정보처리 및 표시기가 공통원인고장으로부터 보호도리 수 있도록 방지책이 있어야 함을 포함한다. 따라서 정보표시 기기는 충분한 중복성과 다양성을 가져야 한다. 그러나 이들 간의 표시방법에는 일관성이 유지되어야 한다.

2.5.1 기기종류 및 기능

SMART 주제어실에서 사용되는 정보표시기기는 대형화면, 경보표시기, 상세정보화면, 안전변수표시기가 있으며, 이들의 기능은 다음과 같다.

1)대형화면

SMART의 계통, 주요기능 및 주요 기기에 대한 운전상태정보와 플랜트 및 계통 수준의 진단결과를 나타내는 정보를 제공하는 기능을 수행한다.

2) 경보표시기

단일 기기나 변수단위의 경보가 아닌 계통, 기능 및 집단화된 주요 기기단위의 경보를 발생하므로써 운전원이 비정상상태에 관한 최상위 정보의 취득을 용이하게 하고, 상세정보화면에서 구체적인 정보로의 접근을 쉽게 할 수 있도록 안내기능을 수행한다.

3)상세정보표시기

SMART 운전과 관련한 모든 정보를 제공하는 기능을 수행한다.

4) 안전변수표시기

사고후감시, 비정상운전, 비상시 원자로정지 및 기동운전에 필요한 안전관련정보 및 주요 운전변수를 제공한다.

1) 안전관련 정보 및 사고후 감시

기존의 제어실에서 전용의 안전관련 정보표시기를 설치한 것과는 달리, SMART 제어실에서의 안전관련 정보는 정상운전시 사용하는 정보와 함께 신호검증 과정을 거친 후 통합된 형태로 대형화면, CRT의 상위계층 화면 및 안전변수표시기를 통하여 운전원에게 표시된다. 뿐만아니라 비상 및 CRT 표시기를 제공한다. 사고후 감시변수는 인허가요건을 만족하도록 전용의 표시기를 사용하며 ESF 상태 감시 등의 특정변수 감시를 위한 표시기를 설치한다.

2) 필수기능 감시

SMART의 필수기능 수행에서 편차가 발생하면 각 필수기능을 구성하는 로직을 거쳐 기

능수행에 이상이 있으면 대형화면과 CRT의 최상위 화면에 경보를 발생한다. 발생된 RD로부터 운전원이 원인을 파악할 수 있도록 이에 관한 상세정보를 CRT에서 제공한다. 또한 운전원이 필수기능수행에 이상을 발생시킨 기기나 계통을 제외한 해당 필수기능 수행이 가능한 다른 공정상의 경로를 찾을 수 있도록 도와준다.

3) Bypass and Inoperable Status Indication

계통수준의 ESF 기능에 대한 상세 기기상태는 CRT나 안전변수 표시기에 나타낸다.

2.5.2 표시기기의 중복성 및 다양성

정보표시의 기능상실에 따른 SMART의 운전기능 상실의 발생하지 않도록 한다. 따라서 제어실의 정보표시계통들은 표시기기를 제외한 모든 부분을 이중화시킨 중복설계 개념을 적용함으로써 신뢰성 및 가동율을 높인다. 또한 공통모드 고장을 포함하는 어떠한 형태의 고장원인으로 인하여 하나의 정보표시계통 기능상실로 인한 전체 플랜트 제어기능 상실에 대비하여 제어실의 대형정보화면, 경보표시기, CRT 상세정보표시기 및 안전변수표시기는 다음과 같이 정보표시의 다양성을 유지한다.

- 1) 대형화면은 정보처리 부분의 다양성을 유지하여 기능상실에 대비한다.
- 2) 정상상태에서 플랜트 운영을 위한 운전원의 정보취득은 대형화면, CRT 표시기, 경보표시기 및 사고후 감시변수 표시기를 사용한다.
- 3) 설계기준사고를 포함한 사고시 운영을 위한 운전원의 정보취득은 대형화면, 경보표시기, 안전변수 표시기 및 사고 후 감시 변수 표시기를 사용한다.
- 4) CRT 표시기의 기능상실에 대비한 플랜트 감시기능 수행, 비정상 및 비상운전은 대형화면, 경보표시기 및 사고후 감시기를 포함하는 안전변수표시기를 통하여 기능을 유지한다.
- 5) 경보정보는 경보표시기와 CRT 정보표시기에서 동시에 제공한다.

2.6 제어기

SMART를 안전하게 유지하고 각종 기기나 공정을 정상상태로 운전할 수 있도록 운전원 제어수단을 제공하는 기능을 수행한다. 소프트웨어는 기능분석결과를 이용하여 기능중심의 운전정보 및 제어화면을 제공하며 수동 스위치는 Backlit으로 기기의 운전상태를 표시한다.

3.0 결론

본 논문에서는 현재 설계중인 SMART를 운전하기 위하여 운전원에게 제공되는 운전정보의 구성 및 배치와 정표표시기의 체계적이고 일관된 설계를 위한 제어실에서의 감시 및 제어를 위한 정보체계를 제시하였다.

본 정보체계는 운전원에게 기능중심의 정보 표시체계를 제공하고, 또한 기능별로 운전정보의 수준을 계층화하여 표시 하므로써 운전의 안전성을 개선되고, 방대한 운전정보로부터 운전상태를 고려한 최적의 운전정보를 제공하기 위해 운전원이 의사결정 하는데 필요한 정보 수집, 비교 및 분석업무를 위한 운전지원 기능을 강화하므로써 운전 효율을 높이게 될 것이다.

참고문헌

- [1] Reg. Guide 1.47, "Bypassed and Inoperable Status Indication for Nuclear Power Plant Safety Systems." Directorate of Regulatory Standards, U.S. NRC, May, 1973
- [2] Reg. Guide 1.97, "Instrumentation for Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants to Assess Plant and Environs Conditions During and Following an Accident." Revision 3, Office of Nuclear Regulatory Research, U.S. NRC, December 1983
- [3] IEEE Std. 603-1991, "IEEE Standard Criteria for Safety Systems for Nuclear Power Generating Stations."
- [4] 한국원자력연구소, 인간기계연계체계개발 (KAERI/RR-1706), 과학기술처, 1997
- [5] NUREG-0800, Standard Review Plan, Chapter 7, Revision 4, 1997
- [6] NUREG-0737, Supplement 1, Clarification of TMI Action Plan Requirements : Requirements for Emergency Response Capability, 1983