

전자식 절차서 시스템의 개념 및 개발방향의 설정

허태영 · 정경훈

전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

현재 운영중인 문서식 절차서 시스템과 개발이 완료된 전자식 절차서 시스템인 Halden Reactor Project의 COPMA를 분석하여 COPMA가 가지고 있는 기능들에 대한 장, 단점을 파악, 평가하였으며, 그 평가를 이용하여 KNGR 전자식 절차서 시스템의 상위개념을 설정하고, 전자식 절차서 시스템이 필수적으로 가져야 하는 기능들을 도출하였다.

1. 문서식 절차서 시스템 개요 및 운영현황

운전중인 원전에서의 문서식 절차서 시스템은 제작사, 노형별로 조금씩의 차이는 있으나 일반적으로 기술행정 절차서, 계통 운전절차서, 비정상 운전절차서, 비상 운전절차서, 경보 절차서, 기타 절차서(시험 및 임시절차서 등) 등으로 구성되어 있으며, 절차서 작성지침서를 바탕으로 운전원들이 운전절차서를 작성하고 필요시 개정 등의 변경작업을 수행하고 있다.

현재 운영중인 대부분의 절차서, 특히 비정상 및 비상 운전절차서는 발전소 안전성 확보 및 전기생산 관련된 기능(Critical Function)의 유지를 위한 방향을 제시하고, 세부단계 수행은 주로 운전원의 모의훈련 경험, 실제 운전경험, 계통 지식 등에 의한 경험(Knowledge-base)에 의해 운전되고 있다. 즉, 수행절차와 관련된 운전정보의 수집, 수집된 정보에 대한 처리(Processing), 이에 따른 판단 및 조치 등으로 이어지는 일련의 행위에서 운전원의 Knowledge-based 운전이 많은 비중을 차지하고 있어 운전원의 정신적 부담이 커지게 되고 특히, 비정상 및 비상 운전시에는 정상운전시보다 많은 스트레스를 받게 된다. 따라서 인적실수의 가능성도 증가하게 된다.

2. 전자식 절차서 시스템 개발동향

해외에서의 전자식 절차서 시스템 개발현황을 살펴보면 CRT상에 절차서를 구현하여, 절차서 수행시 운전원에게 필요한 각종 계통정보들을 절차서 시스템에서 제공해주며, 운전원은 고도의인지적인 행위 즉, 발전소 운전상태에 따라 판단하고 조치하는 행위를 담당하게 하여 인적실수의 가능성을 최대한 배제할 수 있도록 전자식 절차서 시스템을 구성, 개발하고 있다. 그중 대표적인 것이 Halden Reactor Project의 Computerised Operation Manual, Westinghouse의 CRT-based Computerized Procedure, EdF의 Operating Procedure 등을 들 수 있으며, 여기서는 Halden Reactor Project의 COPMA를 주로 하여 시스템을 분석, 평가하였다.

COPMA(Computerised Operation Manual)

HRP에서 개발한 COPMA는 특정 원전의 적용을 위해 개발한 시스템이 아니라 범용성을 가지고 있다. NORS Simulator에서 실험 평가한 시스템으로(HWR-277 참조) 실제 원전 적용을 위해서는 적용할 원전의 특성에 맞도록 일부 변경해야 하며 COPMA의 일반적인 기능들은 다음과 같다.

- a. 시스템은 절차서 작성기의 기능을 하는 Procedure Editor(PED), 작성된 절차서를 저장, 관리하는 Database, 절차서의 수행을 위한 Procedure On-line(MMI and Kernel) System으로 구성되어 있다.(그림 1 참조)
- b. 절차서는 Procedure, Step, Instruction의 단계로 이루어지며, 각 Instruction은 다음과 같이 12개로 이루어져 있다.
Action, Autocheck, Finish, Gosub, Goto, Initiate, Mancheck, Manual-action, Wait, Message, Monitor, Return
- c. 절차서의 작성은 PROLA(PROcedure LAnguage)라는 특정 언어를 사용한다.
- d. 절차서 화면은 Main Menu, Desk, Bookshelf, Process Variables, External Links, Procedure Overview Pane, Current Instruction Pane, Monitor Pane으로 구성된다.
 - Main Menu : Open, Values, Links, Monitor, History, Info, Exit로 구성되며, 이들 기능중 Monitor 기능은 절차 수행전 운전원의 필요에 의해 해당 변수 및 조건을 입력하면 절차서 시스템은 절차서 수행중에도 해당 변수를 계속 감시하게 된다.
 - Desk : 현재 On-line System에 Loading된 모든 절차서를 표시한다.
 - Bookshelf : Database에서 절차서를 선택하기 위해 모든 절차서를 운전원이 원하는 형태(절차서명 또는 Alias)로 표시해 준다.
 - Process Variables : 절차서 수행에 필요한 각종 계통정보들을 버튼 형태로 표시.
 - External Links : 절차서시스템에서 제공하지 않는 기타의 운전정보들을 버튼 형태로 표시.

- Procedure Overview Pane : 해당 절차서의 Overview를 Flowchart 형태로 표시하며 실행된 단계, 실행되지 않은 단계는 색으로 구분하여 표시한다.
- Current Instruction Pane : Previous, Current, Next로 구분되며, Previous와 Next는 운전원이 원하는 경우 표시한다.

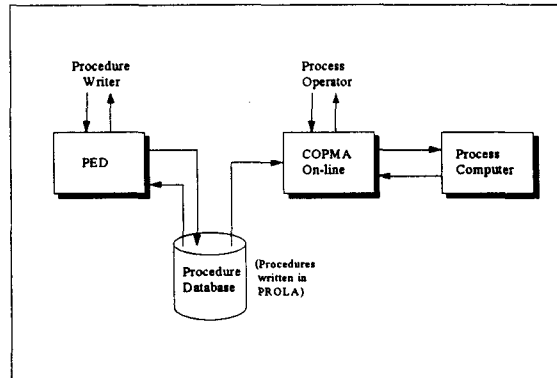


그림 1. COPMA Overview

COMPRO(CRT-based COMputerized PROcedure)

Westinghouse에서 개발하였으며, On-line Computerized Procedure System과 Procedure Builder (Relational Database)로 구성된다. 2개의 CRT를 사용하는 시스템으로 주요 기능은 다음과 같다.

- 기본화면은 Pull Down Menu(Displays, Access Procedures, Print Log, Restart COMPRO), Parallel Information, Current Procedure Information 및 User Prompts로 구성되어 있다.
- 실행중인 절차서는 Current Procedure Information에 표시되며, Text 형태로 제공된다.
- 절차서 수행에 필요한 계통정보들은 Parallel Information에서 제공된다.

Operating Procedure

프랑스 Chooze B 원전에 적용되어 실제 운전되고 있는 전자식 절차서 시스템으로 제어와 감시를 한 화면에서 수행하는 운전특성에 따라, 절차서는 제어화면에 표시되고 제어를 위한 선택까지 절차서 시스템에서 수행하며, 운전원의 확인에 의해 제어가 수행된다. 또, COPMA와 같이 절차서를 Flowchart 형태로 표시하며, 절차서의 각 단계를 구성하는 지시어의 기능은 COPMA의 Instruction과 유사한 형태를 가진다.

3. 평 가

표 1은 COPMA, COMPRO, Operating Procedure의 주요 특성을 비교한 것으로 비교항목은 Man-Machine Interface 측면에 중점을 두고 선택하였다.

시스템 비교항목	COPMA	COMPRO	Operating Procedure	문서식
시스템 구성	독립 시스템	독립 시스템	통합 시스템	-
정보의 표시	2 이상의 분리된 CRT를 이용, 표시하며 Graphic 제공 + Values + Links	동일한 화면에서 Text 로 제공하나, 필요시 Graphic 제공	COPMA와 유사	불가능 (MCB의 지시계 등을 이용)
절차서표시형태	Flowchart 형식 + Instruction 12개 + 단계별 도형표시 유형 이 2 가지 + Multiple Display는 구현하지 않음	Text 형식	Flowchart 형식 + 단계유형이 12개 + 단계별 도형표시 유형이 다양함 + Multiple Display 구현 함	Text 형식 Symptom-based 절차서는 Flow- chart로 표시가능
직무별 절차서 체계	동일 절차서 사용	동일 절차서 사용	직무별 분리 사용	동일 절차서를 사용 * 올진 원전의 경우 분리된 절차서 사용
Comment기능	+ 절차서 작성자 + 운전원	+ 절차서 작성자	+ 절차서 작성자	+ 절차서 작성자
Color Coding	적용	적용	적용	일부 적용
기 타	+ 1인이 복수의 절차서 또는 Activity 수행가능 + 화면에 표시되는 Window의 크기변경 가능 + Backup으로 문서식 절차서 사용 + PED(절차서 작성기)	+ History 기능	+ Window 크기변경 불가능 + Backup으로 문서식 절차서 사용 + Coding Sheet사용	

표 1. 전자식 절차서 시스템의 비교

표 1에서 나타나는 바와 같이 대부분의 시스템이 공통적으로 가지는 기능이면서, 전자식 절차서 시스템만이 구현 가능한 것으로 평가되는 기능들은 다음과 같다.

- a. 절차서 수행에 필요한 계통정보를 운전원이 손쉽게 접근 가능하도록 동일한 CRT 또는 옆 CRT에서 변수값의 표시뿐 아니라 Graphic(Trend, Bar Graph 등) 형태로도 제공한다.
또, 표시되는 계통정보의 값들이 현재의 상태를 나타내도록 주기적으로 갱신한다.
- b. Flowchart 형태의 절차서를 제공한다.
- c. 수행된 단계, 수행중인 단계, 수행할 단계 등의 구분에 적절한 Color Coding을 사용하였으며, Operating Procedure의 경우 진행가능 여부까지도 표시가 된다.
- d. 절차서 수행과 관련된 모든 기록이 자동으로 관리된다.

4. 전자식 절차서 시스템의 개발 방향

차세대원전에 적용되는 전자식 절차서 시스템은 운전원의 절차서 수행시, 운전상황에 적절한 대응 방안을 제시하는 절차서 시스템이 가지는 본래의 기능을 충실히 수행해야 할 뿐아니라, 필요한 계통정보는 운전원이 쉽게 접근이 가능하도록 하여 정상운전뿐 아니라 비정상 및 비상 운전시의 운전원의 정신적, 육체적 부담(Workload)이 최소화 되도록 개발되어야 한다. 또, Knowledge-based 운전과 Rule-based 운전이 조화를 이룰 수 있도록 해야 한다. 이를 위해서 분석 및 평가 과정에서 도출된 전자식 절차서 시스템의 주요 요건들은 다음과 같다.

- a. 전자식 절차서 시스템은 전체 시스템에 통합되어야 한다.
- b. 절차서는 한글로 작성되어야 한다.
- c. 인간공학의 원리를 적용하여야 한다.
- d. 절차서로의 접근이 쉬워야 한다.
- e. 절차서의 표현매체로 Visual Display Unit(CRT)을 사용하여야 한다.
- f. 전자식 절차서의 제어는 운전원에게 제공되는 일반적인 제어방식과 동일해야 한다.
- g. 절차서 수행의 최종 결정권은 운전원에게 있어야 한다.
- h. 절차서 수행관련 모든 기록의 관리가 자동으로 이루어져야 한다.
- i. 절차서 수행중 절차서 시스템이 관련 변수를 계속 감시하는 기능을 가지고 있어야 하며, 만약, 조건을 만족하는 경우 운전원에게 이를 알려줄 수 있어야 한다.
- j. 절차서 수행과 관련되어 운전원에게 제공되는 계통정보는 주기적으로 갱신되어야 하고, 운전원이 원하는 형태로 절차서가 표시되는 CRT와 동일한 CRT 또는 가까운 CRT에 제공가능 해야 한다.
- k. 절차서는 Flowchart 형태로 표시해야 하며, Flowchart의 각 단계는 적절한 Color Coding에 의해 수행 여부, 진행 가능여부 등이 확실히 구분되어야 한다.
- l. 절차서 각 단계의 내용은 정확하고 명백하여야 한다.
- m. 모든 절차서는 운전원의 직무에 따라 분리 작성, 사용하도록 한다. 그러나, 필요시 상대영역을 볼수 있도록 해야 한다.
- n. 주요사항, 주의사항, 계속점검 사항 등 특기내용은 항상 감시 및 인식이 가능하여야 한다.
- o. 복수의 절차서 수행이 가능 하여야 하며, 한 절차서가 동시에 여러 곳에서 표시 가능하여야 한다.
- p. 전자식 절차서 작성지침을 마련하여 모든 절차서의 작성에 적용하여야 한다.

5. 결 론

일반적으로 복잡한 운전상황에서 운전원의 반응은 경험과 절차가 혼합되어 나타나게 되고, 서론에서 밝힌 바와 같이 계통정보의 수집 및 간단한 계산 등과 같은 정신적 작업부하의 증가는 정상 운전 상태에서 뿐만 아니라 비상 운전상태에서 인적오류의 원인이 될 수 있기 때문에 운전원보다 컴퓨터가 잘 수행할 수 있는 단기기억(Short-term Memory), 장기기억(Long-term Memory)의 부담이나 계통정보 수집 등의 일은 컴퓨터에 할당하는 것이 효과적이다. 또, 절차서 수행시 운전원의 요구에 의해 제공하거나 또는, 필수적인 계통정보로 분류되는 경우 자동으로 VDU 상에 제공되는 것이 효과적인 것으로 판단된다. 운전원은 컴퓨터가 제공하는 계통정보를 확인한 후, 자신의 경험, 계통지식과 절차서에 근거한 판단을 하게 되고, 그 결과는 조치 수행시 절차서 시스템에 표시되는 컴퓨터의 판단과 최종적으로 비교하게 된다. 따라서, 운전원과 컴퓨터는 독립적인 의사 결정 과정을 거치게 되지만 최종 결정은 운전원이 하게 된다. 개발이 진행중이거나, 완료되어 운영 중인 전자식 절차서 시스템은 기존의 문서식 절차서가 가지는 문제점들을 보완, 운전원에 대한 직무지원기능을 대폭 강화하는 방향으로 진행되고 있으며, KNGR에 적용할 전자식 절차서 시스템 역시 운전원에 대한 직무지원 기능을 대폭 강화해야 할 것으로 판단된다. 이들이 가지는 기능들중, 필수적인 기능들은 비교, 평가에 의해 일부 도출이 가능하였으나, 실제 KNGR에 적용될 전자식 절차서 시스템의 기능 설정 및 구현을 위해서는 지속적인 노력이 필요할 것이다.

참고문헌

1. EPRI-URD VOLUME 2 CH 10 Man-Machine Interface System
2. NUREG 0711 HFE Program Review Model 9 Element 8 - Procedure Development
3. NUREG 0700 (Rev1, Draft) Human-System Interface Design Review Guideline
4. NUREG/CR-5228 Techniques for Preparing Flowchart Format EOP Vol 1 & 2
5. NUREG/CR-5908 Advanced Human-System Interface Design Review Guideline Vol 2
6. NPX80-IC-DR-791-02 HFE SG&B for Nuplex80+
7. AP600 SSAR CH 18 Human Factors Engineering
8. ABWR SSAR CH 18 Human Factors Engineering
9. HRP HWR-277, Experimental Evaluation of the Computerized Procedure COPMA
10. HRP HWR-337, COPMA : System Description and User Interface
11. N4 The 1,500MWe PWR NuclearIsland Technical Description Vol 2. 30. General, of MMI Systems
12. Operational Benefits of an Advanced Computerized Procedures System, M.H.Lipner and S.P.Kerch
13. 울진 1, 2호기 비상운전 절차서 작성 지침서