'97 추계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

원전 주제어실 운전원의 절차서 수행 모델 연구

박종범,허태영,강성곤
한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

원전 운전에는 그 수행에 필요한 많은 직무가 있고, 직무가 어떤 것인가에 의해 운전원에게 할당되는 직무와 기계 즉, 자동화된 설비에 할당되는 직무로 분류된다. 차세대 원전에 적용할 전자식 절차서에서는 단순, 반복적인 직무는 자동화 설비에, 인간의 판단과 같은 고도의 사고를 요구하는 직무는 운전원에게 할당하여, 인지해야 하는 정보의 수가 많고, 해당 운전상황을 정확하게 판단해야 하는 비정상 및 비상 운전시 운전원의 작업부담 (Work-load) 를 줄이고자 하는 방향으로 개발이 진행되고 있다. 본 논문에서는 기존 원전에서 적용하고 있는 절차서의 수행과정을 절차서 수행에 필요한 직무가 어떤 것들이며, 운전원의 어떤 행위에 의해 수행되는지의 관점에서 이들을 정성적으로 분석, 전자식 절차서 시스템에 적용할 절차서 수행 모델을 개발하고, 아울러 전자식 절차서 인간-기계 연계 화면에서 제공하고자 하는 주요 운전변수들의 표시형태를 확인, 구현해 보았다.

1.0 수행직무의 분류 및 분석

원전에서의 절차서 수행과정은 상당히 복잡하게 이루어진다. 즉, 절차서(종이), 운전원들, 주제어반의 각종 기기 (기록계, 지시계, 제어기 등) 가 같이 모여서 절차서 수행이라는 하나의 큰 기능을 구성하고 해당 운전상황에 알맞는 절차서를 선택, 수행하게 되며, 각 구성요소의 기능은 다음과 같다. .

+ 절차서 : 운전원들에게 절차서 수행에 대한 방향을 제공한다.

+ 운전원 : 발전소 상태의 확인, 절차서의 적용 판단 등의 인지적인 행위 및 기기제어 행위를 수행한다.

+ 기기 : 운전원에게 발전소 운전정보를 제공한다.

1.1 수행절차의 분류 및 분석

대상 절차서를 선정, 운전원과의 인터뷰, 또는 자문을 얻어 표1 및 표2를 완성하였다.

Operating Objectives & Rule	Detailed Action	Essential Information	Add. Info	Communication
Verify Rx S/D				
1.1 VERIFY Rx S/D				
[ ] Ensure Setback				
1) INITIATE Manual Setback	•RO Setback이 진행중임을 확인한다			• RO 운전상황을 S/S에게 보고
	1. Setback Initiate window 경보를 확인한다	•window 경보		
	2. Liquid Zone Level이 상승함을 확인한다	•Level Indicator		
	•RO 만약 Setback이 진행중이 아닐 경우, Manual Setback을 수행한다			• S/S Setback이 진행중이 아님이 판명되면 RO에게 Manual Setback을 지시
2) CHECK Rx Power goes down toward 2%	•RO Setback이 진행되어 Rx Power가 2%까지 감발됨을 확인한다.	•출력지시계(Ana/Dig)	CRT Trend	• RO Rx Power가 2%까지 감발됨을 확인후 S/S에게 보고
[ ] Ensure SDS#1 TRIP				
1) TRIP SDS#1 manually	•RO SDS#1 (SOR) 동작확인			
	1 CH D, E, F window 경보를 확인한다	•CH D, E, F window 경보		• S/S RO에게 SDS#1 TRIP 확인을 지시
	2 EMI(28개)를 확인한다.	•EMI (28개)		• RO 수행후 S/S에게 보고
	•RO Fully 삽입된 SOR의 수가 26개 이상임을 확인한다	•EMI (28개)		• RO 26개 미만임을 S/S에게 보고
				• S/S RO에게 SDS#2 Manual TRIP 수행을
2) CHECK >26 EMIs are vertical	•RO 26개 미만일 경우 다음의 조치를 수행한다			
	1. SDS#2 Manual TRIP button이 있는 곳으로 이동			
	2. 기기 확인	•MCB Name Tag		• RO S/S에게 TRIP button 누름을 보고
	3. SDS#2 Manual TRIP button 누름			• S/S RO에게 TRIP button 누름을 지시
	4. SDS#2 동작을 확인			
	4.1 CH G, H, J window 경보를 확인한다	•CH G, H, J window 경보		
	4.2 Gd TK Level (6개)을 확인한다	•Level Indicator		
	4.3 Vent Valve Close를 확인한다	•HS		
	4.4 Quick Opening Valve Open을 확인한다	•HS		
	4.5 Hb Storage TK Pr가 떨어짐을 확인한다	•Pr Indicator		• RO SDS#2 정상동작을 확인후 S/S에게 이를 보고

표 1. 절차서 세부 수행단계의 분석을 위한 분류표

표 1. 은 Operating Objectives & Rules, Detailed Action, Essential Information, Additional Information, Communication 으로 구성되어 있으며, CRT가 주요한 정보표시원으로 사용되는 발전소를 대상으로 하였으며, 분석 결과는 1.3 과 같다.

1.2 운전원 할당 직무

절차서 수행과 관련 없는 직무와 절차서 수행 관련한 직무, 두가지로 대분되며, 이중 절차서 수행과 관련한 직무중 운전원에게 할당된 직무는 실제 적용중인 절차서를 분석한 결과 다음과 같았다.

- 수행 전 확인 (절차서에 기술된 절차서의 목적, 적용시점, 종료시점, 주의사항 등)
- 절차서 각 단계의 수행
- 계통정보의 확인 (관련 변수들의 현재값 등)
- 판단 (적용 절차서의 판단, 발전소 상태에 따른 각 단계 수행 여부의 결정 등)
- 기기제어 관련 제어 대상기기의 이름 및 번호 확인, 제어, 제어 결과의 확인
- 수행결과의 확인 (절차 수행 여부에 따른 각 절차의 상태 확인, Feedback)

2.0 절차서 분석 결과

표 2. 는 운전원간 대화, 필수정보의 종류 및 형태 등, 운전원의 절차서 수행 모델의 기반이 될 수 있는 데이터인 각 영역별 종류를 모두 종합한 데이터를 원하는 형태의 데이터만 표시하도록 Filtering 한 것중 일부를 나타낸 것이다. 표 2. 에서는 운전원의 절차수행중 원자로 운전원이 발전과장에게 보고해야 하는 횟수, 내용 등이 일목요연하게 나타나 있으며, 이들 결과를 정리하여 다음과 결론을 얻을수 있었다.

- 절차수행 모델의 요소

  본 절차서의 분석에 의한 절차수행 모델의 구성요소는 확인(주제어실, 현장), 조작 (주제어실, 현장), 감시, Communication (의뢰 또는 요청, 지시, 보고, 협의) 으로 이루어 진다.

3.0 운전정보의 표시형태

절차의 수행중 운전원이 감시, 확인해야 하는 운전정보의 표시형태에는 단순하게 현재값을 수치로만 표시하는 형태, 일정시점부터의 변화상태를 표시하는 추이곡선 (Trend Graph) 의 형태, 관련되는 다수의 운전변수들을 함께 표시하여 동시에 비교, 감시가 가능하도록 하는 형태, 테이블 형태의 종합정보로 RCP, FW Control Valve 등과 같은 주요 기기들에 대해 관련되는 운전 변수들을 한 곳에 모아서 표시하는 형태, 발전소 주요 운전변수들의 순시값을 Mimic과 함께 한 화면에 모두 표시하여 운전원이 한 번에 발전소 상태를 파악할 수 있도록 표시하는 Plant Overview

보고	FO > SS	수행후 S/S에게 보고
보고	FO > SS	*FO 26개 미만임을 S/S에게 보고
보고	FO > SS	*FO S/S에게 TRIP button 누름을 보고
보고	FO > SS	*FO SDS#2 정상동작을 확인후 S/S에게 이를 보고
보고	FO > SS	*FO 1개 이상의 GI TMS가 주입되지 않은 경우 이를 S/S에게 보고한다
보고	FO > SS	*FO S/S에게 TRIP button 누름을 보고
보고	FO > SS	*FO SDS#1 정상동작을 확인후 S/S에게 이를 보고
보고	FO > SS	*FO S/S에게 MOA 갯수를 보고한다
보고	FO > SS	*FO S/S에게 TRIP button 누름을 보고
보고	FO > SS	*FO SDS#1 정상동작을 확인후 S/S에게 이를 보고
보고	FO > SS	*FO Setback 변수조건 확인 결과를 S/S 에게 보고
보고	FO > SS	*FO S/S에게 TRIP button 누름을 보고
보고	FO > SS	*FO SDS#1 정상동작을 확인후 S/S에게 이를 보고
보고	FO > SS	* FO OSP 확인시 이상이 있으면 S/S에게 보고
보고	FO > SS	*FO 각 변수를 확인하고 이상시 S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO 운전상황을 S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO Rx Power가 2%까지 감발됨을 확인후 S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO 수행후 S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO 26개 미만임을 S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO S/S에게 TRIP button 누름을 보고
보고	FO > SS	* FO SDS#2 정상동작을 확인후 S/S에게 이를 보고
보고	FO > SS	*FO 1개 이상의 GI TMS가 주입되지 않은 경우 이를 S/S에게 보고한다
보고	FO > SS	* FO S/S에게 수위를 보고
보고	FO > SS	* FO S/S에게 완료를 보고
보고	FO > SS	* FO S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO S/S에게 운전상황을 보고
보고	FO > SS	* FO 상태확인후 S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO 완료를 S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO 완료후 S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO 완료후 S/S에게 보고
보고	FO > SS	* FO S/S에게 운전상황을 보고
보고	FO > SS	FO는 각 변수를 확인하고 이상시 보고
보고	FO > SS	* FO S/S에게 운전상황 보고

표 2. Filtering 예

Schematic Display 등 많은 방법이 사용되고 있다. 여기서는 앞에서 분석된 결과중 운전정보의 표시형태와 관련하여 어떤 형태로 제공해야 가장 효과적인지를 판단하고자 한다.

3.1 운전원 인터뷰 결과

이들 형태들중 운전원들이 가장 익숙해져 있는 것은 운전변수의 값으로 표시되는 표시형태이나, 단순하게 해당 운전변수의 순시값 만으로는 현재 이전의 정확한 변화를 알수 없을뿐 아니라, 향후 변화 방향을 예측할 수 없게 된다. 따라서, 전자식 절차서에서 제공하는 운전변수의 표시형태는 각 운전상황에 적절하도록 표시형태가 선정되어야 하며, 필요한 경우 여러 운전변수의 현재값, 또는 과거값을 합성하여 운전원에게 제공하여야 한다.

4.0 결 론

실험적이기는 하나, 전자식 절차서 MMI 설계에 직접 적용이 가능하다고 판단되는 운전원 절차 수행 모델을 개발해 보았다. 물론, 검증 및 평가를 거쳐 최종적으로 확정되어야 하나, 전자식 절차서 MMI 설계자에게는 유효한 입력자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 또, 전자식 절차서에서 제공하는 운전정보의 표시형태, 본 논문에서는 언급되지 않았으나, 운전원간 대화 기능, 역시 1차적으로 결정할 수 있었다. 특히 CRT를 기반으로 하는 첨단제어실에서는 추이곡선, 테이블, Plant Overview Schematic Display 가 상당히 효과적일 것으로 판단되며, 발전소 정보처리계통과의 직접 연결로 운전원이 원하는 모든 형태의 표시방법이 고려될수 있게 되어 이들 표시방법들을 적절히 제공할 경우 기존 주제어실에서의 큰 장점인 pattern recognition의 기능도 전자식 절차서 MMI에 구현이 가능할 것으로 판단된다..

참고문헌

1. 영광 제 2 발전소 운영절차서 (우선-01, 우선-02, 비상-01)
2. 울진 제 1 발전소 운영절차서 (비상운전 절차서)
3. 월성 2 호기 Abnormal Operating Manual
4. Design Bases of KNGR Computerized Procedure System
5. NUREG 0700 Rev. 1
6. EPRI URD CH10 Man-Machine Interface System
7. HPR-280 "Potentials of Computer-assisted Operation Manuals"
8. HWR-277 "Experimental Evaluation of the Computerized Procedure System COPMA"