

## 사고관리를 위한 증상 및 위험도가 합성된 비상운전 절차서 개발에 관한 연구

### The Study on Development of Emergency Operating Procedures Based on Symptom and Risk for Accident Management

강기식, 정희종

한국전력기술(주)  
대전광역시 유성우체국사서함 148호

#### 요약

원전의 안전성 확보는 안전한 발전소 설계뿐만 아니라 체계화된 운전절차서에 따른 발전소의 안전운전에 의해서 가능하다. 원전의 안전성은 정상운전시 보다도 비상상태 발생시 더욱 엄격하게 요구되는바 원전의 비상시 안전운전이라 함은 비상운전절차서에 의해서 발전소를 안전하게 정지시키고 사고결과를 완화시키는 제반조치를 말한다. 이와 같은 비상운전절차서는 발전소의 운영허가 신청시 안전성분석보고서와 함께 비상운전절차서를 제출하도록 요구되고 있다. 본 논문에서는 비상시 원전의 사고관리에 가장 중요한 문서인 비상운전절차서에 대하여 가동중인 원전을 중심으로 Westinghouse형의 영광1, 2호기, ABB-CE형의 영광3,4호기 및 Framatome형의 울진 1,2호기 비상운전절차서를 분석하여 각각의 장단점을 비교하고, 이를 토대로 확률론적안전성평가(Probabilistic Safety Assessment : PSA)의 결과를 이용하여 위험도 개념을 포함하는 비상운전절차서의 개발방향을 제시하고자 한다.

#### Abstract

The Advanced EOP(AEOP) has been developed by focusing on the importance of the operators role in emergency conditions. In the AEOP, to overcome the complexity of current EOPs and maintain the consistency of operators action according to plant emergency conditions, operator's task were allocated according to their duties. As an alternative, the Computerized Operator Aid System (COAS) has been developed to reduce operator's burden and provide detailed instructions of procedure. Probabilistic Safety Assessment (PSA) results were synthesized in the AEOP using the event tree to give the awareness and the prediction of accident progression in advance. In conclusion, the existing EOP with its inherent complexity should be simplified and consolidated using computerized operator support system and task allocation to prevent more severe accidents and to reduce operator cognitive overload in emergency conditions.

## 1. 비상운전절차서 개발배경

원전의 안전성 확보는 안전한 발전소 설계뿐만 아니라 체계화된 운전절차서에 따른 발전소의 안전운전에 의해서 가능하다. 원전의 안전성은 정상운전시 보다 비상상태 발생시 더욱 엄격하게 요구되는바 원전의 비상시 안전운전이라 함은 비상운전절차서에 의해서 발전소를 안전하게 정지시키고 사고결과를 완화시키는 제반조치를 말한다. 이와 같은 비상운전절차서는 원자력법 시행규칙 제17조에 의하면 발전소의 운영허가 신청시 안전성분석보고서와 함께 비상운전절차서를 제출하도록 요구하고 있어 원전의 인 허가에 있어 중요한 문서로 인정되고 있다.

원전에서 운전원의 임무는 정상운전, 비정상 운전 및 비상 운전시 발전소 각 기기들의 기능 즉 제어, 보호계통 및 안전계통의 기능이 원만하게 이루어지면서 발전소가 안전하고 신뢰성 있게 운전되도록 하는 것이다. 정상운전에서 운전원의 역할은 가장 효율적으로 운전하여 운전제한 범위내에서 발전소가 운전되도록 하는 것이다. 비정상운전 즉 발전소의 운전변수들이 운전제한 범위를 초과하여 경보가 발생하는 전력생산계통에서 비정상임을 알려주는 경보가 발생하면 경보의 원인에 따라 운전허용 한계치내에서 원활하게 동작되도록 조치를 취한다. 운전변수가 원자로보호 제한치를 초과하여 발전소가 비상상태에 진입하면 단순한 원자로정지 발생 조건이 되거나 공학적 안전 설비 작동조건이 발생되었다면 안전계통의 동작상태를 유지함과 동시에 사고를 진단하여 회복조치를 취하면서 발전소의 상태를 안전치 이내로 유지하는 것이다.

이러한 비상상태시 원전의 안전성 확보는 설계뿐만 아니라 체계화된 운전절차서에 따른 발전소의 안전 운전에 의해서 가능하다. 따라서 미국 원자력 규제위원회(US NRC)의 규제지침 1.33에서 원전 운전에는 필요한 각종 절차서를 구비토록 요구하고 있으며, 이들 운전절차서 중 비상운전절차서(EOP : Emergency Operating Procedures)는 공공대중에 직접적인 위험을 미칠 수 있는 사고 및 사건들에 대한 운전원의 완화 대책을 제공하는 중요한 절차서이다.

본 논문에서는 비상시 원전의 사고관리에 가장 중요한 문서인 비상운전절차서에 대하여 현재 가동중인 원전을 중심으로 Westinghouse형의 영광 1,2호기, ABB-CE형의 영광3,4호기 및 Framatome형의 울진 1,2호기 비상운전절차서를 분석하여 각각의 장단점을 비교하고, 이를 토대로 확률론적안전성평가(Probabilistic Safety Assessment : PSA)의 결과를 이용하여 위험도 개념을 포함하는 비상운전절차서의 개발방향을 제시하고자 한다.

## 2. 비상운전절차서 특성 비교

### 가. Westinghouse형 원전 비상운전절차서

Westinghouse형 원전의 비상운전절차서는 표 1에 나타난 바와 같이 단순 원전정지, 보조 및 부수절차서등으로 분류하게 되는데, 첫째가 비사고범주(Non-Accident Category)이다. 이것은 원자로의 보호 설정치는 초과했지만 공학적 안전설비의 설정치는 초과하지 않은 경우이다. 다음은 가압경수로의 과도현상에 관해서 안전설비의 설정치를 초과한 경우로 분류된다.

### 나. ABB-CE형 원전 비상운전절차서

ABB-CE형의 비상운전절차서는 발전소가 비상정지 되면 비상정지를 확인하는 절차(Standard Post Trip Action)를 취하고 난후 발전소의 증상에 따라 사고진단의 단계와 관련된 절차서가 결정이 되면, 결정된 ORP에 따라서 지속적으로 수행함으로 상온정지 상태로 유지하도록 되어 있다. 웨스팅하우스의 EOP와 다른 점은 ORP가 다단계로 분리되어 있지 않고 ORP나 FRP에서 EOP를 종결할 수 있는 기능회복절차서를 수행함에 있어 필수안전기능수목도(Critical Safety Function Tree)를 사용하지 않고 성공경로도(Success Path Tree)를 이용하는 것이다. 표 2는 ABB-CE형 원전 비상운전절차서의 특징을

서술하고 있다.

표 1 Westinghouse형 원전 비상운전절차서 분류

최적운전절차서 (ORP)	기능회복절차서 (FRP)
<p style="text-align: center;"><b>단일 사고</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o E-0 series : 원자로정지 또는 안전주입 발생</li> <li>o E-1 series : 1차측 또는 2차 냉각재상실 사고</li> <li>o E-2 series : 고장 증기발생기 격리사고</li> <li>o E-3 series : 증기발생기 사고</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>복합 사고</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o ECA-0.0 : 모든 교류전원의 상실</li> <li>o ECA-1.1 : 냉각재 재순환 능력상실</li> <li>o ECA-1.2 : 격납용기 외부원자로 냉각재상실사고</li> <li>o ECA-2.1 : 모든 증기발생기의 제어불능 감압사고</li> <li>o ECA-3.1/2 : 관파열 및 원자로냉각재 상실 중복사고</li> <li>o ECA-3.3 : 관파열 및 가압기압력 제어상실 중복사고</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>필수안전기능</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o S : 미임계</li> <li>o C : 노심냉각</li> <li>o H : 열제거원</li> <li>o P : 냉각재건전성</li> <li>o Z : 격납용기 건전성</li> <li>o I : 냉각재 재고량</li> </ul>
<p><b>NOTE</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. FRP가 ORP에 우선하여 실행 ATWS 및 ICC인 경우는 제외 &lt;예외 경우&gt;</li> <li style="padding-left: 20px;">Ⓣ ECA-0.0 : 모든 교류전원의 상실</li> <li style="padding-left: 20px;">Ⓣ ES-1.3/1.4 : 저온관 및 고온관의 재순환</li> <li style="padding-left: 20px;">Ⓣ E-2 : 고장 증기발생기의 격리</li> <li>2. E series는 E, Es를 포함</li> <li>3. 다중사고는 ORP에서 수용</li> <li>4. 모든 사고는 최종적으로 ORP에서 종료</li> </ol>	

표 2 ABB-CE형 원전 비상운전절차서 분류

최적운전절차서(ORP)	기능회복절차서(FRP)
<p style="text-align: center;"><b>단일사고</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 원자로트립후 우선조치</li> <li>o 사고진단(DA)</li> <li>o 원자로정지(RT)</li> <li>o 원자로냉각재 상실사고(LOCA)</li> <li>o 증기발생기 관파열(SGTR)</li> <li>o 과잉 증기요구(ESDE)</li> <li>o 급수 완전상실사고(LOAF)</li> <li>o 소외전원상실(LOOP)</li> <li>o 교류 전원완전상실(SBO)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>안전기능</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o 반응도제어</li> <li>o Vital Power 유지</li> <li>o 냉각재재고량 제어</li> <li>o 냉각재 압력제어</li> <li>o 노심 열제거</li> <li>o 냉각재 열제거</li> <li>o 격납건물 격리</li> <li>o 격납건물 온도 및 압력제어</li> <li>o 격납건물 가연성 개스 제어</li> <li>o 장기적 조치</li> </ul>
<p><b>NOTE</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ORP는 Single Event 처리</li> <li>2. FRP는 다중사고를 수용             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 회복조치는 Safety Function Status Check (SFSC)의 순서내용에 따라 조치</li> </ul> </li> <li>3. FRP는 DA 단계에서 안전기능을 확인함에 의하여 FRP로 전환             <ul style="list-style-type: none"> <li>- FRP 자체내에서 사건을 종료</li> <li>- 장기조치중 사건 발생시 ORP로 전환</li> </ul> </li> </ol>	

다. Framatome 형 원전 비상운전절차서

프랑스의 EDF는 증상위주의 절차서에서 상태위주의 절차서로 한 단계 진보된 상태로 사용하고 있다. 현재 기존의 증상위주의 절차서를 개발하여 1300MWe의 발전소에 1992년부터 점차적으로 적용하고 있다. 상태위주의 절차서의 특성은 아래에 기술한 바와 같이 일차계통과 이차계통의 주요인자로 발전소의 상태를 판단하고 진단하여 적절한 절차서를 선택하도록 되어있다. 표 3은 Framatome형 원전의 비상운전절차서 특징을 서술하고 있다.

표 3 Framatome형 원전 비상운전절차서 분류

최적운전절차서(ORP)	기능회복절차서(FRP)
정지(I)/비상(A)/초과(H)/ 중대사고(U) 구분 <b>설계기준사고 이내</b> 정지 : 계통의 비정상 및 1차, 2차계통의 누설 비상 : 냉각재상실사고, 급수계통파손, 증기발생기관 파열 <b>설계기준사고 초과 영역</b> 초과 : 열제거원 완전상실, 2차측 완전급수상실, 전체 교류전원 완전상실 <b>부적절한 노심냉각</b> 중대 : 노심손상완화	<b>필수안전기능</b> o 미임계 o 증기발생기 열제거원 o 노심냉각 o 격납용기 온도, 압력, 방사선 o 격납용기 외부의 방사선량
<b>NOTE</b> I/A/H 절차서 : 사건위주 절차서 U 절차서 : 증상위주 절차서	

라. 각 노형에 따른 특성비교

지금까지 웨스팅하우스, ABB-CE, Framatome형 원전의 비상운전절차서를 살펴보았다. 각각의 절차서의 특징은 아래의 표 4에서 보여주는 바와 같이 요약 할 수 있다.

표 4. 각 노형에 따른 비상운전절차서 특성 비교

항 목	WOG	CEOG	FROG		
형식	서술식 - CSF Color order	서술식 : Flow Chart 참고	Flow Chart식 : Color Chart		
EOP 수행	SRO 주도 : - Operator 조작, 확인 보고	SRO 주도 : - Operator 조작, 확인 보고	SRO 주도 - 운전원의 임무에 따라 절차서 진행		
안전인자 감시	CSF 6 Factors - 계층순서에 의해 감시	SFSC 9 Factors - 계층순서에 의해 감시	CSF 6 Factors		
비상계획과 연계성	취약	취약	취약		
2차측과 연계성	취약	취약	보완		
진입모드	원자로 비상정지 이상	원자로 비상정지 이상	RHR 운전점 이하 확대		
수행	Specific Multiple Failure-ORP 수용	FRP에서 부분적 ORP 수용 (지연 고려)	경보 추가 발생시 진단 재수행 반복		
EOP절차서 목표/종료	목표 : 첫쪽에 명시 종료 : Step에 명시	목표 & 종료 : 첫쪽에 명시 (Memory 부담)	Flow Chart로 전체 내용		
ORP 수용	Multiple Event 수용	Single Event	Single Event		
사고 재진단	운전원 판단에 따라 사고재진단	각 ORP 진입후 사고 재확인, 진단			
절차서수	ORP:24	ORP:9 FRP:10	19	정지(I)	26
	FRP:18			43	비상(A)
		CSF:1	FRP 적용 및 장기조치 포함.		초과(H)
				SPI/SPU	1
				중대(U)	1

4. 위험도 개념을 통합한 비상운전절차서

앞 절에서 비상운전절차서가 사건 및 증상위주로 개발되었고 원자로형에 따른 각각의 특성에 대하여 알아보았다. 증상위주의 비상운전절차서는 사건위주 절차서의 문제점을 해결하였지만 운전원, 특히 SRO가 사고발생 즉시 사고의 종류, 사고의 원인 및 현재의 발전소의 상태등에 대하여 판단하

고, 검토하는 여러 가지 업무를 수행하도록 EOP에서 요구하고 있다. 따라서 서술식 각종 조치사항에 각 절차가 가지고 있는 중요성 및 위험도가 반영되어 있지 않아 운전원의 개인적이고 인지적인 능력과 경험에 의존하여 각 조치의 중요성을 인식하고 있다.

NRC에서 기술사양 (Technical Specification)을 정할 때 결정론적인 방법을 사용하였으나 1993년 7월에 발표된 최종정책성명(58 FR 39132)에서는 결정론적인 방법과 함께 확률론적인 방법을 이용하여 기술사양을 정하도록 하였다. 즉 NRC는

운전경험 및 PSA 결과를 이용하여 운전사양을 결정하여 보다 합리적이고 현실적인 방안을 채택하였다. 이러한 NRC의 결정을 토대로 현재의 비상운전절차서에서 도입되지 않은 운전경험 및 위험도를 개선된 비상운전절차서에 도입함으로써 각 절차서의 단계에 중요성의 개념을 합성하고 또한 이러한 접근방안은 운전원의 심리적인 부담을 줄일 수 있을 것이다.

가동원전은 개별원전검사(IPE: Individual Plant Examination)를 실시한 결과를 이용하고 각 절차의 중요성과 위험도를 운전원에게 알려 줌으로서 보다 신뢰성이 있는 사고관리가 가능할 것이다. 본 논문에서는 영광 1, 2호기의 IPE결과를 이용하여 위험도가 합성된 비상운전절차서를 개발하여 이를 모든 교류전원 상실 (Station Black Out :SBO) 경우를 예를 들어 전산화된 시스템으로 구현하였다.

대규모 계통설비는 대부분 컴퓨터에 의하여 제어되는 자동화 설비를 이용하고 있다. 이러한 환경의 변화에 따라서 운전원은 종래에는 배전반에 설치된 기기 및 경보를 보고 운전원이 적당한 조치를 하였지만 현재는 계통 및 계측기기에 이상이 없는 경우에는 대부분의 안전조치가 자동적으로 취하여짐에 따라 운전원은 기계의 자동 작동상태를 감시하는 역할이 더욱 중요해진다. 이와 같이 운전원의 역할이 수동적인 행위자에서 능동적인 감시자로 변함에 따라 비상운전절차서도 이에 따라 변하여야 할 것이다.

먼저 인간의 인식단계를 분석하여 봄으로써 인간과 시스템의 연계를 더욱 활성화시키고 보다 많은 업무를 시스템이 수행할 수 있을 것이다. 인간의 인지적인 단계를 분류한 MIT의 라스뮤센 교수의 인지적 특성을 이용하면 아래와 같이 운전원의 의사결정은 8단계로 분류 할 수 있을 것이다.

- |                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| 1) 탐지 (Detection)            | 2) 관찰 (Observe)        |
| 3) 분류 (Identify)             | 4) 해석 (Interpret)      |
| 5) 평가 (Evaluate)             | 6) 임무 정의 (Define task) |
| 7) 행위의 선택 (Selection action) | 8) 수행 (Execute)        |

이러한 8가지 의사결정 중에선 시스템이 일부를 수행하면 운전원의 역무는 줄어들 것이다. 그림 1은 인간과 시스템의 연계를 위해 컴퓨터 즉 Computerized Operator Aided System (COAS)이 인간의 업무를 대신하여 수행하는 과정을 보여준다. 그림 1의 8단계의 의사결정이 단계에서 관찰(2)하고 분류(3)하며 임무를 정의(6)하는 임무를 종래에는 운전원이 수행하였지만 COAS가 수행함으로써 운전원의 심리적인 부담이 줄어들 수가 있다.

그림 2는 모든 교류전원 상실인 경우 COAS의 기본화면을 보여준다. 기본화면은 PSA의 결과와 SBO의 사상수목을 이용하여 운전원에게 과거에 수행한 업무와 향후 수행할 업무를 보여준다. 각 단계별 조치의 만족 및 불만족에 따라 이상 없음(OK), TR(transient), CM(Core Melting) 및 기타의 사

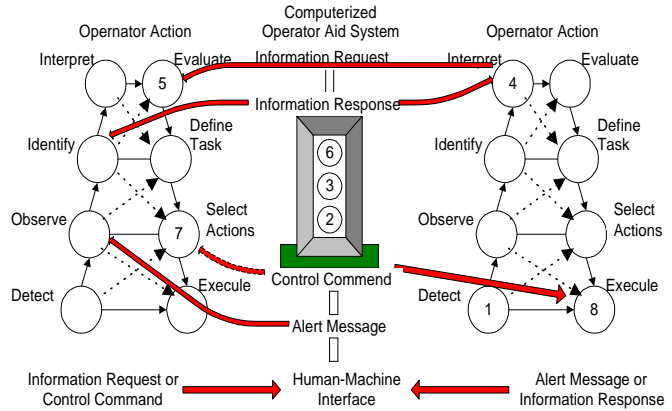


그림 1 인지모델에 따른 운전원과 시스템과의 업무의 분배

고로 분류된다. 또한 위험도를 계산하여 기기가 이용불능일 경우 약 몇 시간 후에 노심의 용융 (Core Damage Frequency : CDF)이 일어날 것인지를 보여줌으로써 운전원이 시각적인 여유를 가지고 발전소를 안전하게 정지시킬 수 있을 것이다. 여기서 굵은 선은 현재 발전소의 진행 상태를 보여준다.

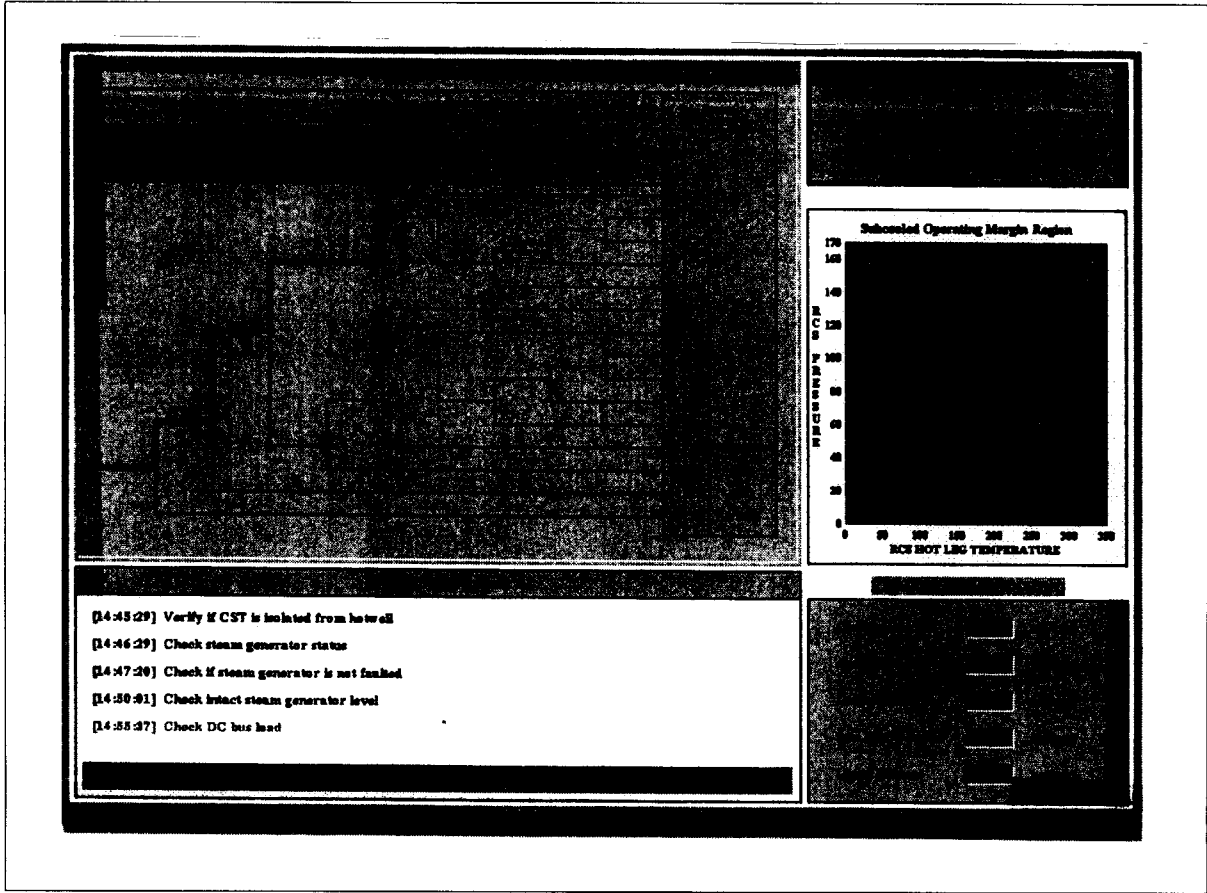


그림 2. COAS 기본 화면 구성도

고장수목 밑의 화면에는 서술식으로 각 단계별 절차를 원자로운전원, 터빈운전원 등이 수행할 단계별 절차를 도시함으로 SRO는 각각의 절차보다는 발전소의 전체 거동을 이해하여 발전소를 안전하게 정지시키도록 함으로서 SRO의 인지적 부담을 경감시키도록 하였다. 또한 사상수목 왼쪽에는 RCS 온도-압력 그래프를 도시하였다. 운전원은 RCS 온도-압력의 곡선을 이용하여 가압열충격을 방지하기 위하여 냉각수가 항상 Subcooling Margin을 가지고 운전되는지 감시할 수 있을 것이다. 또한 상단과 하단에는 필수안전인자 및 격납용기의 상태를 온라인으로 감시하도록 화면을 설계하였다.

COAS를 이용하고 SRO 및 운전원의 부담을 줄이기 위해 개선된 EOP를 표 5에 나타냈다. 운전원별 업무는 각각 세분되어 담당업무가 지정되어 있으며 SRO는 기존의 절차서와는 다르게 각 단계에 대한 업무를 수행치 아니하고 발전소 전체 거동을 감시하고 조절하도록 절차서를 개선하였다. 또한 현재의 자동설비가 작동치 아니하여 불만족한 상황이 발생할시 SRO가 직접 수행하도록 하였다. SRO는 COAS를 통하여 각 운전원이 수행한 조치를 감시할 것이며 특별히 위험도가 크고 중요도가 큰 행위에 대하여는 직접 수행함으로써 사고관리의 신뢰도를 증진시킬 수 있을 것이다.

표 5 개선된 비상운전절차서

Step	S R O	R O	T O	Action/ Expected Response	Instrument /Components	Remark
<b>Perform Immediate Action</b>						
1. Reactor Trip	● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ●		- Rod bottom light-lit - Reactor Trip - By-pass breaker open - Rod position indicators-Zero - Neutron flux- decreasing - If not tripped manual trip - COAS monitoring	SF-ZI-001 SB-BS-001 SE-NM-035 SE-NM-031	If reactor power is below 10% automatic trip action is not implemented
2. Turbine Trip	● ●		● ● ● ●	- Confirm turbine trip alarm - All turbine stop valves closed - COAS monitoring	AC-FV-55 AC-FV-56	

## 5. 결론

원자력발전소의 비상시에 사용되는 웨스팅하우스형 원전 EOP와 ABB-CE형 원전의 EOP 및 Framatome형 원전의 EOP의 특성 및 장단점을 살펴보았다. 이들 EOP는 증상기반의 운전절차서로 작성되어 있다. 그러나 증상 기반의 절차서는 사건기반의 절차서에 비하여 운전원에게 인지적인 부담은 적으나 너무 복잡하고 비상시에 운전원이 현재 발전소의 전체 상황이 어떻게 변화하고 있다는 사실을 감지하지 못함으로 인하여 더욱더 큰 사고를 유발할 수 있을 것이며 이는 최근 팔로버디 발전소의 SGTR 사고에서도 잘 보여주고 있다. 또한 발전소 운전원의 불만족한 사항의 67%가 비상운전절차서의 복잡성에 기인하고 있다고 Licensing Event Report에 보고되었다. 증상위주의 비상운전절차서는 사건 위주 절차서의 문제점은 해결되었지만 운전원, 특히 SRO는 사고의 종류 및 원인 판단, 발전소의 전체적인 현황 파악 등 여러 가지 업무로 인하여 심각한 심리적인 부담을 받는다. 또한 현재의 EOP는 서술식의 각종 조치사항만을 주고 있음으로 인하여 각 절차가 주는 중요성 및 위험도가 현재의 EOP에서는 반영되고 있지 않아 현재의 조치에 대한 중요성을 인식하는 것은 운전원의 인지적인 경험에 의존하므로 운전원이 비상시에 발전소를 안전하게 정지하는데 어려움을 느끼고 있다.

이러한 문제점을 본 논문에서는 운전원의 업무에 따른 비상운전절차서의 분류 및 PSA의 결과와 운전원의 임무 분석을 통하여 이를 적절하게 증상위주의 절차서에 위험도가 합성된 개선된 비상운전지침서의 개발방안을 제시하였다. 제시된 개선된 비상운전절차서를 이용하여 모든 교류전원상실(SBO)의 조건에서 COAS의 기본화면 및 개선된 EOP를 예제로 도시하였다. 이에 따라 SRO는 기존의 증상기반의 절차서와는 달리 COAS와 개선된 EOP를 이용함으로 인지적인 부담을 줄일 수 있을 것이며 운전원은 각 조치에 대한 위험도를 사전에 인식함으로써 보다 비상시 사고관리를 효율적으로 수행할 수 있을 것이다. 또한 발전소 전체 거동을 감시하고 조절함으로써 각 행위에 대한 신뢰도를 증진시킬 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. K. S. Kang, H. S. Chang, and S. H. Chang, "Development of the Advanced Procedure for Emergency Operation using Task Allocation and Synthesis of PRA results," Reliability Eng. Sys. Safety, Vol 45, p.249, Nov. 1994.
2. H. S. Chang, K. S. Kang, and S. H. Change, "Development of Severe Accident Management Supporting System using Quantified Containment Event Trees," Reliability Eng. Sys. Safety, Vol 48, p.205, Mar. 1995.

3. TMI-2 Lessons Learned Task Force Final Report. Technical Report, NUREG-0585, U.S. NRC., Oct. 1979.
4. John A. Bernard, "Issues Regarding the Design and Acceptance of Intelligent Support Systems for Reactor Operators," Proc. ICHMT 2nd International Forum on Expert Systems and Computer Simulation in Energy Engineering, Erlangen, Mar.17-20, p.15-L-3, 1992
5. Westinghouse Owner's Group, Emergency Response Guidances. HP-Rev. 1A, Jul. 1987.
6. C-E Owner's Group, Combustion Engineering Emergency Response Guidances. CEN-152. Rev.03, May 1987
7. Rasmussen, Information Processing and Human-Machine Interaction-An Approach to Cognitive Engineering. NY, North-Holland, 1986.
8. Carrera, et al, Providing Decision Support in Westinghouse Nuclear Power Plant Man-Machine Interface Systems, Proc. of the Human Factors Society 35th Annual Meeting-1991, p.629, Oct.1991.
9. Converse, Computerized Procedures for Nuclear Power Plants : Evaluation of the Computerized Procedures Manual. Proc. 1992 IEEE Fifth Conference on Human Factors and Power Plants, Monterey, CA., p.167, Jun.1992.
10. Hillairet, J., Emergency Operating Procedures French Procedure Evaluation, I.A.E.A. Accident Management Training Course in NPPs, Section 3-8, Taejon Dec. 1991.
11. Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Kori Units 3&4, Final Report KRC-89N-T03, KEPCO Research Center, Aug. 1992.
12. 이택현, "제작사별 EOP에 대한 기준차이 및 현황," 원자력안전기술 정보회의, 비상운전절차서 특별기술토론회, 4.12~13. 1995



고로 분류된다. 또한 위험도를 계산하여 기기가 이용불능일 경우 약 몇 시간 후에 노심의 용융 (Core Damage Frequency : CDF)이 일어날 것인지를 보여줌으로써 운전원이 시각적인 여유를 가지고 발전소를 안전하게 정지시킬 수 있을 것이다. 여기서 붉은 선은 현재 발전소의 진행 상태를 보여준다.

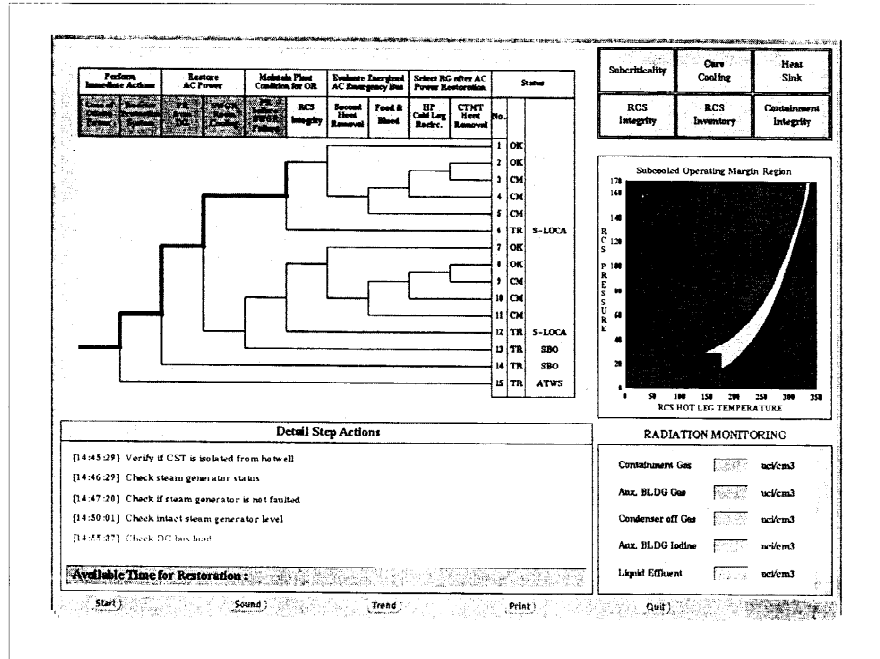


그림 2. COAS 기본 화면 구성도

고정수목 밑의 화면에는 시술식으로 각 단계별 절차를 원자보운전원, 터빈운전원 등이 수행할 각 단계별 절차를 도시함으로 SRO는 각각의 절차보다는 발전소의 전체 거동을 이해하여 발전소를 안전하게 정지시키도록 함으로서 SRO의 인지적 부담을 경감시키도록 하였다. 또한 사상수목 왼쪽에는 RCS 온도-압력 그래프를 도시하였다. 운전원은 RCS 온도-압력의 곡선을 이용하여 가압열충격을 방지하기 위하여 냉각수가 항상 Subcooling Margin을 가지고 운전되는지 감시할 수 있을 것이다. 또한 상단과 하단에는 필수안전인자 및 격납용기의 상태를 온라인으로 감시하도록 화면을 설계하였다.

COAS를 이용하고 SRO 및 운전원의 부담을 줄이기 위해 개선된 EOP를 표 5에 나타냈다. 운전원별 임무는 각각 세분되어 담당임무가 지정되어 있으며 SRO는 기존의 절차서와는 다르게 각 단계에 대한 업무를 수행치 아니하고 발전소 전체 거동을 감시하고 조절하도록 절차서를 개선하였다. 또한 현재의 자동설비가 작동치 아니하여 불만족한 상황이 발생할시 SRO가 직접 수행하도록 하였다. SRO는 COAS를 통하여 각 운전원이 수행한 조치를 감시할 것이며 특별히 위험도가 크고 중요도가 큰 행위에 대하여는 직접 수행함으로써 사고관리의 신뢰도를 증진시킬 수 있을 것이다.