

COAST를 이용한 차세대원전 경보처리 구현 방안

강성곤 신영철

전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

차세대 원전 경보시스템에서의 경보처리는 발전소의 과도상태 및 비정상운전시 경보필터링, 경보억제, 발전소 상태에 근거한 우선순위처리 등을 적용하여 운전원에게 경보정보를 효율적으로 처리하고자 한다. 경보표시 측면에서는 인간공학 및 인지공학적 요소를 적용하여 운전원의 인적오류를 최소화하여 기존 경보계통의 단점을 개선하고자 하였다. 본 논문에서는 차세대 경보계통설계의 구현을 위해서 COAST(Computerized Alarm System Toolbox)를 사용하여 경보처리방법 중 그룹핑기법을 구현하였다.

1. 서론

기존의 원자력발전소에 적용되어 운전되고 있는 경보계통은 각 계측기(스위치, 센서 등)와 주제어실 경보표시장치가 주로 일대일 대응(Hardwired)으로 구성되어 있었다. 기존 주제어실에는 운전에 필요한 모든 경보들이 지정된 공간에 배치되어 있어, 정상운전일 경우 발생하는 모든 경보를 인지할 수 있었다. 그러나, 원자로정지 또는 터빈정지시에는 모든 경보가 우선순위에 관계없이 동시다발적으로 발생하는 단점으로 인해 비상운전시 짧은 시간에 운전원의 인지 한계를 넘어 많은 양의 경보가 한꺼번에 발생하여 운전원이 발전소 각 계통의 운전상태를 효과적으로 파악하는데 어려움이 있었다. 이에 대한 해결책으로 차세대 주제어실 경보시스템은 경보처리기법인 경보필터링, 경보억제(Mode Suppression, Event Suppression) 경보 Signal Validation, 경보 그룹핑, 경보 우선순위 방법을 적용하여 각각의 운전 상황에 적합한 경보정보만을 제공하도록 하여 기존의 경보시스템이 안고 있는 단점을 개선/보완하고자 하였다.

2. 기존 경보계통 문제점 인식

기존 주제어실의 경보계통은 운전원의 직무분석 등을 통한 인지공학 측면에서의 적용이 미흡한 설계로, 비교적 중요도가 덜한 과도상태(예: Start Up, Shut Down 등)에서는 효과적일 수 있으나 원자로 정지, 터빈/발전기 정지등과 같은 다수의 경보가 발생하는 (Alarm Avalanche) 상황에서는 아래와 같은 문제점들이 발생한다.

- ① 중요 경보정보와 일반 경보정보의 구분 곤란
- ② 다수의 경보 발생시 중요 경보정보의 인지적 유실 가능성 존재
- ③ 불필요한 경보 발생

3. 차세대 원전 경보계통 설계 적용방안

차세대 주제어실 경보계통에서 구현하고자 하는 경보처리에 관한 일반요건을 몇가지 기술하였고, 경보처리기법으로는 일반설계요건을 만족시킬 수 있는 방법을 제시하였다.

3.1 경보처리 일반설계요건

- 가. 경보계통은 Nuisance 경보가 최소화 되도록 설계해야한다. 그러나 각 경보에 대해 선택된 특정한 방법이 실제로 경보가 필요한 상황에서도 그 경보를 억제해서는 안된다.
- 나. 경보계통은 비정상 또는 비상운전시 운전원이 빠르게 대응할 수 있도록 경보정보를 제공하면서도 발생하는 경보의 수가 최소화되도록 설계되어야 한다.
- 다. 각 경보의 설정치는 운전원의 적절한 대응을 위해 조기에 발생될 수 있도록 설정되어야 한다. 그러나 정상운전범위에 너무근접하여 불필요한 경보가 발생되지 않도록 해야 한다.
- 라. 경보발생에 따른 운전원 조치의 필요성, 상대적 긴급성, 대응조치 시간 등에 따라 경보정보는 2개 이상의 우선순위화에 의해 표시, 제공되어야 한다.
- 마. 경보정보는 기능, 계통 또는 논리구조에 따라 Grouping되어야 한다.
- 바. 경보억제에 있어서 전체억제 및 개별억제의 방법에 대한 검토가 이루어져야 하고, 이를 적절히 적용해야 한다. 발전소 전체나 계통전체에 적용하는 전체억제에는 Mode Suppression과 Event Suppression이 있다.

3.2 경보처리(Alarm Processing)

차세대 경보계통에서는 불필요한 경보발생이 가능한 최소화되도록 설계하고, 그룹핑을 통해서 경보수를 줄이며, 운전원의 인지도를 높이기 위하여 우선순위로 구성된 전용 Alarm CRT Display를 구성시키도록 한다. 경보처리기법으로 다음과 같은 항목을 고려해서 설계를 해야 한다.

- Alarm suppression
- Alarm filtering
- Alarm signal validation
- Processing of nuisance alarms
- Processing of alarm redundancy
- Processing to determine relative alarm importance
- Processing to identify patterns/events/states
- Processing to generate alarms

4. 차세대 주제어실 경보시스템 개념

차세대 주제어실의 경보시스템은 기존의 경보시스템과는 달리 컴퓨터 및 디지털 표시기술을 도입하여 다양한 경보 알고리즘적용이 가능해 질 뿐만 아니라 앞에서 언급한 경보처리기법을 적용하여 유연하고(Flexible) 동적인(Dynamic) 경보시스템을 구현할 수가 있게된다. 그림1에서는 차세대 경보시스템의 구조를 나타내고 있는데 Critical Function Alarm, Success Path Alarm과 그룹화된 System Level Alarm 표시는 경보창(Alarm Tile)로 처리하

고, CRT에서는 Alarm Source를 기본적으로 제공하며, 또한 운전원 임의설정경보와 Bypassed Alarm에 대한 정보를 CRT에 나타내도록 하였다.

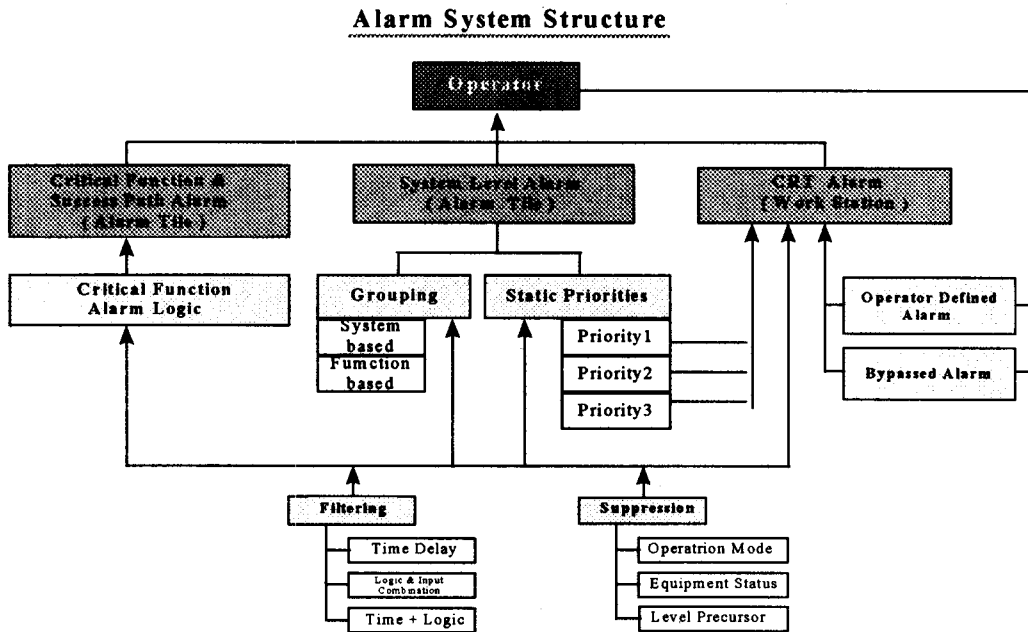


그림 1. 차세대 주제어실의 경보시스템 개념도

5. COAST를 이용한 경보 Grouping 구현

COAST(Computerized Alarm System Toolbox)는 Halden Reactor Project에서 개발한 경보 전용 소프트웨어로서 기존의 경보, Function-Oriented Alarm, Model-Based Alarm 등 다양한 종류의 경보를 만들기 쉬운 장점이 있다. 이러한 소프트웨어는 Coastkernel, COAST API(Application Programmer's Interface), Cola file, Cola Light file로 구성되어 있다. Coastkernel은 경보정보 Structure를 구성한 Cola file을 읽고, 그 실행방법은 Event-Driven으로 하게 되어 있다. Cola Light file은 Kernel로부터 alarm list를 읽어내는데 필요한 파일이다. API는 COAST로부터 데이터를 얻어서 외부로 전달하는 기능을 맡는다. 여기서는 경보처리 중 하나인 경보 Grouping을 실현할 수 있는 Cola file 만드는 방법 및 structure에 대해 기술하고자 한다.

경보의 Grouping을 위한 방법으로는 제공되는 정보의 성격에 따라 경보준위에 의한 방법, 경보의 우선순위에 의한 방법, 발전소 안전성 및 운전성에 의한 방법, 발전소 계통분류에 의한 방법으로 나누어 볼 수가 있다. 발전소 성능 및 안전성 증대라는 운전목표에 접근하면서 각 방법마다 상호중복되는 부분도 있기 때문에 서로 적절히 조합하여야 하지만, 근본적으로 경보의 그룹화는 발전소 기능 및 직무분석을 바탕으로 해서 제어실 기기배치, 정보 및 경보개발 요건에 의존할 수 밖에 없다. 그러므로 System이나 Function에 의해서 서로 관련되는 기기를 그룹화하는 것은 운전원의 인지도를 높이는 과정에 있어서 필수적이라 하겠다. 이러한 방법은

COAST(COMputerized Alarm System ToolBox) Application.을 이용하여 다음과 같이 구현해 볼 수가 있었다.

5.1 모의경보 발생방법

경보 그룹핑을 구현해 보기 위해서 주급수 계통의 가열기(Heater) 탱크의 수위 조절을 위한 simulation 프로그램을 돌려서 경보를 발생시켰다. 이때 2개의 valve를 사용하여 증기의 양을 조절하는 탱크 입력단 밸브와 탱크내의 튜브 파열로 인해 수위가 올라가는 경우, Drain valve를 설치하여 탱크내의 수위조절을 가능하게 하도록 하였다. 이 때 valve의 동작은 On - Off 기능만 가능하도록 하였다. 또한 수위를 조절할 목적으로 Drain valve를 설치하여 탱크의 수위가 HiHi level까지 차 있으면 Drain valve를 Open 시켜서 탱크내부의 유량을 설정값까지 배수 되도록 한다.(평소에는 Drain valve는 항상 Close 되어 있음) 이러한 동작을 하면서 경보가 발생할 수 있는 경우는 2가지로 나눌 수가 있다.

=>탱크의 수위 - HiHi, Hi, Lo, LoLo의 4가지 level에서 경보발생.(Analog Input)

=>Drain valve state - Close 에서 Open으로 상태가 바뀔 때 경보발생.(Digital Input)

5.2 Alarm Grouping 방법 적용 및 구현

위에서 열거한 두가지 경우는 결국 탱크 한 시스템에 대한 상태를 나타내는 경우이므로 두가지 경우 중 적어도 하나 이상의 경보가 발생할 경우 전체 탱크 시스템에 대한 경보로 결정 지어서 운전원으로 하여금 시스템에 대한 인식의 접근이 쉽도록 한다.

이러한 구조를 바탕으로 해서 COAST의 Cola file에서 alarm logic을 구성하여 보았다. 이러한 LOGIC을 구현하고자 할 때, COAST 명령인 GROUP ALARM의 CLASS를 먼저DEFINE 하고, 이러한 Class에 대한 GROUP ALARM의 OBJECT를 DEFINE하게 된다. OBJECT를 DEFINE 할때 analog value(탱크의 수위)와 digital value(Drain valve state)의 각각에 대해서 탱크전체의 시스템과 연결시킬 수 있는 RELATION 명령을 사용하는데, 이런 명령은 analog value에 의한 경보가 발생했다면 이값이 속해있는 전체시스템의 경보와 연결이 되는지에 대한 판단을 내린다. Cola file에서 coding하기 위한 algorithm은 그림2에 나타있고, algorithm을 간단히 설명하면, 먼저 그룹경보에 대한 Class를 define해야 한다. 이러한 class는 2가지의 속성을 가져야 하는데 첫번째는 그룹경보의 상태를 나타내는 GroupAlarmStatus를 정의하고, 두번째는 Group Id 즉 어떤 그룹이 그룹경보를 나타낼 것인지를 정의한다. Class를 정의하고 난 다음에는 Object를 정의하는데 먼저 Group Id를 "Heater Tank"라고 정하고, Heater Tank의 Status는 relation명령으로 구성되어 있는 If문을 이용하여 그룹경보에 대한 상태를 판단 할 수 있게 하였다. 결국 COAST에 의해 처리된 경보데이터는 다른 그래픽 system에 제공하게 되어 그림 3에 보인 것과 같은 화면에서 경보list로 출력될 뿐만 아니라, 경보창으로도 표시가 되어 운전원의 인지도를 높일 수 있다.

그림3은 차세대 경보설계에서 적용하고자 하는 전용 alarm CRT 화면을 나타내고 있으며, 한 화면에 우선순위별로 화면을 4등분(Priority1,2,3, operator aids) 하여, 각 window에서는 우선순위별로 나뉜 경보 list들을 보여주게 된다. 경보창에서는 그룹핑된 형태로만 나타나서 경보의 수를 줄일 수 있고, 경보 CRT에서는 각각의 그룹핑에 대한 경보 source를 보여주므로써 운전원의 정확한 원인파악에 도움을 줄 수가 있다.

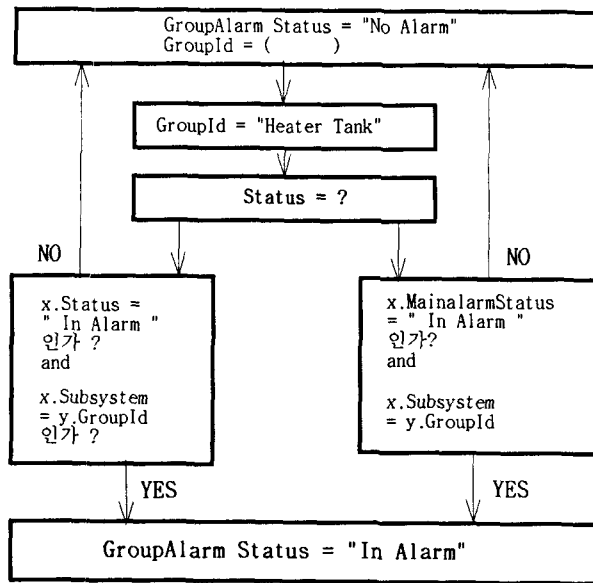


그림 2. COAST 적용을 위한 경보그룹핑 Algorithm

Alarm Window											
Silence	ACK	Reset	Test	Alarm List	ARP	Unack Alarm	Stop flash	Resume	Op Estb alarm		
Priority 1 Alarm					Priority 2 Alarm						
100155	A	Main F.W	F.W HDR Pr La	10bar / 68bar	ARP 0357	140930	A	4.16KV	SWGR SH6 Open	On	ARP 0289
121531	A	#/G	80#01 Level Le	1.58M / 1.57M	ARP 9023						
Priority 3 Alarm					Priority 4 Alarm						
110528	A	T/B HVAC	Loop Fan#16 Fail	Off	ARP 2334	121601		STRY Main F.W Pp 103 Auto Start			
						121830		80#1 Level Control Valve LCV 1#1 Fall Open			

그림 3. 전용 Alarm CRT 화면 구성

6. 결 론

차세대 원전 경보계통에서는 각각의 운전상황에 따라 운전원이 필요로 하는 경보정보만을 효율적으로 제공하기 위해 경보처리설계를 함에 있어서 진보된 컴퓨터 기술을 집합시켜 경보의 그룹화 및 우선순위화, 경보의 여과, 우회 및 억제등을 적용하여 설계하고자 하였다.

본 논문에서는 COAST를 이용하여 경보처리기법 중 하나인 그룹핑 기법을 구현하여 보았다. 이 프로그램은 alarm filtering과 suppression 및 structuring을 구현하는데 있어서 뛰어난 특징을 가지고 있으며, 차세대 경보설계에서 적용하고자 하는 각종 다양한 경보처리기법 구현이 편리하다는 이점도 지니고 있다. 향후에는 발전소의 중요 계통에 대해 차세대에서 적용하고자 하는 다양한 경보처리기법을 적용해 보고자 한다.

< 참고 자료 >

1. 차세대 개발 1단계 보고서(KNGR MMIS Target Design) 전력연구원 신형로개발팀.
2. Alarm and Status Processing and Display in the Nuplex 80+ Advanced Control Complex. (Technical Paper TIS 93-102) D. L. Harmon, T. H. Starr ABB-CE
3. EPRI URD VOLUME II, Chapter 10 : MAN - MACHINE INTERFACE SYSTEM
4. Draft NUREG-0700 Human-System interface Design Review Guideline Rev. 1.(1995. 2)
5. OECD Halden Reactor Project, COAST Alarm System Toolbox Version 1.0, Reference Manual 1995
6. OECD Halden Reactor Project, COAST Alarm System Toolbox Version 1.0, Users guide 1995