

## 차세대 원전 경보처리 설계 방안

강성근, 성찬호, 오응세, 신영철

전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

본 논문에서는 차세대 원전 주제어실의 경보계통 설계를 위하여 적용하고자 하는 경보처리 기법들을 소개하고자 한다. 하나의 경보가 오직 한가지의 정보만을 나타내는 기존 경보 시스템과는 달리 적절한 경보처리 기법을 적용하며 다양한 형태로 운전원에게 경보를 제공하여 발생 경보들에 대한 운전원의 인지도를 높여 발전소 과도상태시 발전소의 중요한 기능이나 계통 및 기기의 이상 상태를 빠르고 정확하게 진단하는 것을 목표로 하고 있다.

### 1. 서론

기존 주제어실의 경보시스템은 운전원에게 필요한 모든 경보들이 지정된 공간에 경보창 형태로 배치되어 있기 때문에, 운전원의 별도 조작 없이 발생한 모든 경보를 인지할 수 있다는 장점이 있는 반면에, TMI 사고에서처럼 안전 주입과 같은 상황이 발생할 경우에는 운전원의 인지적 한계를 넘는 과도한 경보가 발생되어 운전원은 오히려 발전소 상황을 올바르게 판단하는데 어려움을 겪게 되었다[6]. 이러한 단점을 해결하기 위하여 많은 원자력 발전소의 경보 시스템에서 필터링, 억제, 그룹핑, 우선순위 등의 경보처리 기법을 적용하여 운전원에게 각각의 운전 상황에 필요한 경보 정보만을 제공하고자 노력하였다. 차세대 원전에서는 경보 전용 CRT를 이용하여 운전 상황에 적합한 경보 정보를 제공하고, 기존 경보창의 장점으로 인정되는 공간적으로 할당된 정보 제공(parallel Information) 수단을 병행해 사용하고자 한다. 이러한 경보창은 그룹핑과 우선순위를 이용하여 경보창의 수를 줄여 운전원의 인지도를 높일 수 있게 설계하며, 경보 전용 CRT와는 별도로 구성된 FPD(Flat Panel Display)상에서도 시간 흐름에 따른 발생된 경보들을 감시할 수 있게 하였으며, 이는 경보 CRT의 Back up개념을 적용하여 설계 하고자 한다.

### 2. 경보처리기법 적용 방안

차세대 원전 주제어실 경보 시스템은 운전원에게 운전 상황에 필요한 경보를 제공하여야하며 이를 효율적으로 표시하기 위한 수단이 고려되어야 한다. 따라서 발생한 경보들을 운전원에게 직접적으로 표시하기 전에 현재의 발전소 상황에서 각 경보들이 운전원에게 제공되어야 할 필요성이 있는가를 먼저 판단하여야 한다. 이러한 기본 개념을 바탕으로 다음과 같은 경보처리 기법들을 고려하여야 할 것이다.

- ① 운전모드에 따른 경보처리 : 가장 기본적으로 적용하는 방법으로서 특정한 발전소 운전모드나 운전 단계에 따라 각 경보가 발생하여야 하는지를 면밀하게 분석하여 특정 운전모드에서는 관계없고 중요하지 않은 경보를 줄이는 방법이다.
- ② 동적 우선순위화 : 발전소 운전 모드나 중요도, 원인-결과 규칙에 따라 우선순위를 동적으로 변화시키는 방법이다. 먼저 운전모드에 따라 우선순위를 적용할 경우, 가동 상태에 있지 않은 기기나 시스템에 대한 모든 경보들은 우선순위를 낮추는 방법이다. 예를 들어 Safety Injection이 동작되고 난 후, 충전 펌프와 관련된 경보들은 우선순위를 낮추게 된다. 중요도에 따른 경보 우선순위 적용은 증기발생기 수위에서 Hi-Hi Alarm은 높은 우선순위가 될 것이고, Hi Alarm은 상대적으로 낮은 우선순위가 적용된다. 원인-결과 규칙에 따른 우선순위 적용은 하나의 경보가 다른 경보의 원인이 되어 연속적으로 다음 경보를 발생시킨다면, 처음 발생한 경보 외에 연속해서 발생하는 결과 경보는 낮은 우선순위를 적용 받게 된다.
- ③ 발전소 상태에 따른 경보처리 : 특정한 발전소 상태에서 중요하다고 판단된 발전소 조건들을 내부 경보라고 하는데, 이러한 조건들은 발전소 변수의 미리 설정된 값으로 정해질 수 있다. 특정한 발전소 상태일 때만 그 상태와 관련되는 내부 경보의 조건들이 감시되어 운전원에게 경보를 제공한다. [4]
- ④ 계층적 구조에 의한 경보처리 : 계층적인 구조는 발전소의 고유한 특성이며, 특히 계층적인 구조(Component-Train-System-Function-Plant level)는 원자력 발전소에서 쉽게 볼 수가 있다. 경보 구조를 계층적으로 만들어 발생한 경보가 속한 시스템이나 계통이 어떤 부분인지를 인지할 수 있게 한다. 일반적으로 Plant Level 경보, System Level 경보, Equipment Level 경보로 분류한다.[4]
- ⑤ 사고 유형별 경보처리 : 경보의 발생 패턴이 사고(즉 냉각재 상실, 주증기관 파단 등) 발생에 따라서 정해진다는 점을 근간으로 하고 있다. 사고가 발생하면 그 사고로 인해 발생하는 경보만을 나타내어 사고의 원인을 규명하는데 이용하며, 이 경보를 원인으로 하여 연속해서 발생하는 결과경보는 억제시키거나 시간지연을 두고서 사고에 따른 원인경보와 차별성을 두게 한다.
- ⑥ 경보 생성 : 발생하지 않을 것으로 예상한 상태나 사건을 경보화하거나, 혹은 각각의 낮은 수준의 경보를 좀더 높은 수준의 경보로 처리하기 위한 방법으로 사용될 수가 있다. 예를 들어 원자로의 긴급 정지 후에 모든 제어봉이 주어진 시간 내에 삽입되어야 하는 설정위치까지 도달하지 않을 경우 경보를 발생시키는 방법이나, 각각의 주급수펌프로부터 낮은 discharge 압력을 보이는 펌프를 찾아서 관련되는 train이나 모든 train에서 급수 상실 사고가 발생한 상태를 경보로서 처리하는 방법이다.[4]

- ⑦ 시간 지연 : 발전소에 어떤 과도 현상이 발생했을 때, 어떤 경보는 순간적인 계측기의 불안정이나 기기 간의 불일치로 인해 일시적으로 발생했다 바로 사라지는 경우가 있다. 예를 들어 펌프가 기동할 때, 순간적으로 펌프가 기동했음에도 불구하고 후단에는 아직 유량이 형성되지 않은 상태가 있다. 이때 펌프의 작동과 유량 사이의 불일치로 인해 순간적으로 이상을 지시하는 경보가 발생하는데, 이러한 경보를 제거하기 위해 시간 지연 기법을 사용한다.

위에서 기술된 각 기법들에 의해 처리된 경보는 경보 전용 CRT, FPD(Flat Panel Display)와 경보창에 나타내게 된다. 그림1에서 보는 바와 같이 경보 CRT에서는 우선순위별로 경보들을 나타낼 수 있으며, 우선순위는 이미 필터링과 억제 처리가 된 경보에 대해서만 적용을 시킨다. 경보창에 그룹핑 기법을 적용하여 경보창의 수를 줄였으며, 하나의 경보창에는 우선순위가 다른 경보 입력 값들을 포함하고, 각각의 입력 값에 따라 다른 색상을 표시하는 등의 수단으로 우선순위를 달리하는 경보창을 나타낼 수가 있다. 경보창은 주로 시스템 수준의 경보들로 구성되어 있고, 기능 경보에 해당하는 필수 기능(Critical Function) 경보와 성공 경로(Success Path) 경보는 따로 위치를 선정하여 배치하여, 발전소 필수 기능의 상태를 빨리 파악할 수 있도록 한다. FPD는 발생 경보들을 시간에 따른 경보 목록으로 나타나게 한다. FPD상에 나타나는 경보는 CRT 경보의 Back-up으로 CRT경보를 볼 수가 없을 경우에도 경보를 볼 수 있게 한다. FPD에서 발생된 경보들은 필터링과 억제 처리 과정을 거쳐 우선 순위 처리된 경보들로서 시간 순서대로 메시지형태의 경보를 발생시킨다.

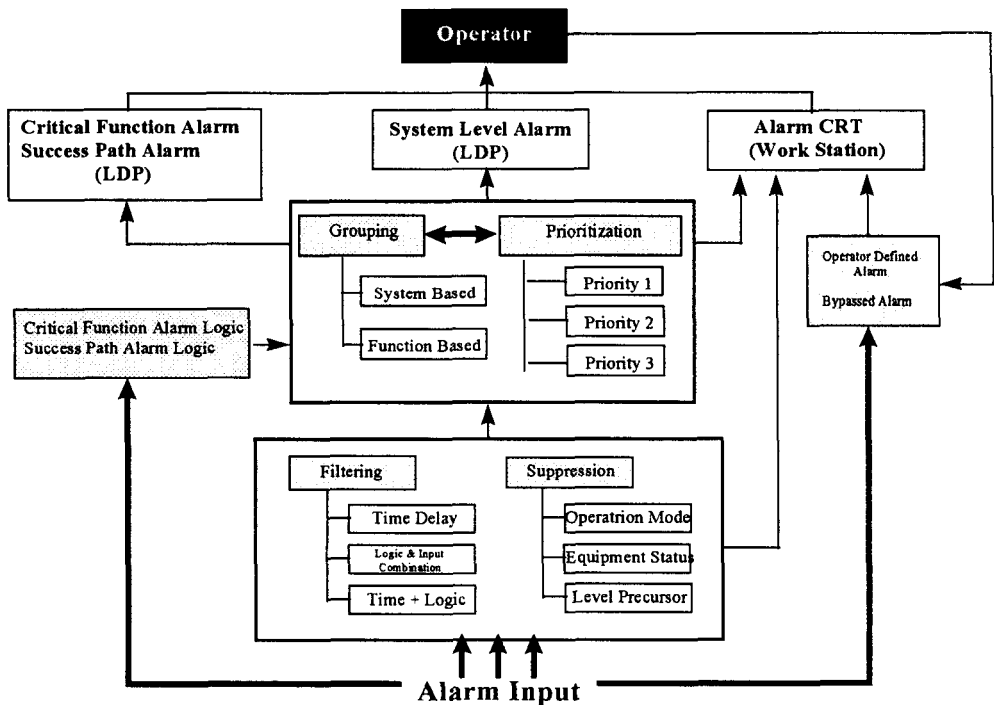


그림 1. 차세대 원전 주제어실 경보처리 개념도

### 3. CRT 화면과 경보창을 위한 경보처리

차세대 주제어실의 경보 시스템은 컴퓨터 및 디지털 표시 기술을 도입하여 다양한 경보 알고리즘 적용이 가능해 질뿐만 아니라 앞에서 언급한 경보처리기법을 적용하여 유연하고 동적인 경보 시스템을 구현할 수가 있다. 차세대원전 경보시스템에서는 Critical Function 경보, Success Path 경보와 그룹화된 System Level 경보 표시는 경보창으로 처리하고, CRT에서는 경보원인을 표시하는 경보메세지가 기본적으로 제공되며, 또한 운전원 임의설정경보와 Bypass 경보를 설정 할 수 있다. 경보음 소거, 경보인지, 경보제거, 경보복귀에 대한 경보제어는 CRT상에서 직접 처리할 수 있도록 하며, 전체적인 경보인지(Global Acknowledge)는 금지하여 운전원이 중요한 경보를 놓치지 않도록 한다. CRT의 화면 구조는 세 개의 우선순위 영역과 운전지원 영역으로 나누어서 우선순위 1영역에서는 우선순위1의 경보들에 대해 Scroll bar 없이 볼 수 있게 하여 운전원이 가장 빨리 조치해야 될 사항이 무엇인지를 한눈에 볼 수 있게 한다. 이를 위해서는 동적 우선순위기법, 발전소 상태에 따른 경보처리기법, 사고유형별 경보처리, 계층적 경보처리 등 각 경보처리의 조합을 통해 구현될 수가 있다. 표1은 CRT내의 각 영역별로 나타낼 수 있는 경보 조건들을 기술하였다.

표1. 경보 영역별 표시 경보

CRT 화면내 영역	각 영역별로 나타나는 경보
우선순위 1	1. 중요한 기기에 손상을 일으킬 수 있는 조건 2. Personnel/Radiation Hazard 3. 필수 안전 기능(Critical Safety Function) 손실 4. 가장 시급히 조치해야할 기술 지침서 관련 변수 및 경보 5. First-Out Reactor/Turbine Trip
우선순위 2	1. 우선순위 1이외의 기술 지침서 관련 변수 및 경보 2. 주요 기기의 고장 및 관련 변수
우선순위 3	1. 센서와 기기 상태 편차에 의한 경보 2. 운전중 중요하지 않은 기기나 공정의 편차에 의한 경보
운전 지원 영역	1. 자동 동작 관련 사항 2. 운전원에게 도움을 줄 수 있는 발전소 상태 정보 3. 억제 처리된 경보들 4. 시간별로 정렬된 모든 경보들

그림 2의 경보 기능도에서 보는바와 같이 발전소 정보 계통에서 처리된 경보들은 메세지 형태로 경보 CRT에 우선순위별로 표시해 주며, 경보창을 통해서 Critical Function 경보와 Success Path의 상태를 나타내는 신호를 발생시킨다. 한편, 안전 관련 지시 및 경보 계통에서 처리된 경보는 경보창을 통해서 우선순위 1, 2에 해당하는 시스템 수준의 경보를 그룹핑된 형태로 나타내며, 그 경보창과 관련되는 경보 source를 FPD에 경보메세지 형태로 나타낸다. 경보 CRT가 이용 불가능할 때도 우선순위 1, 2의 경보는 운전원이 알 수 있다.

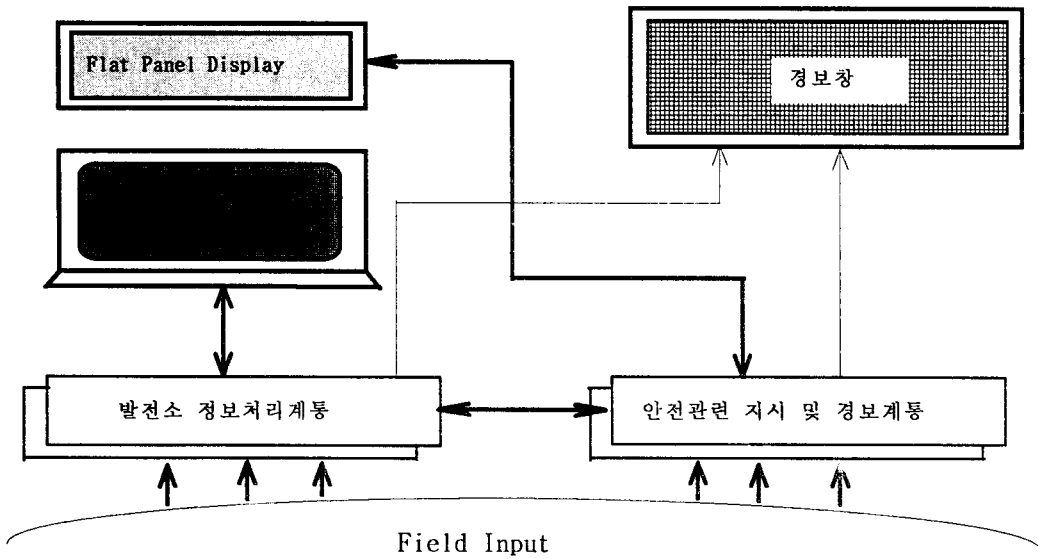


그림 2. 경보 계통 기능도

#### 4. 결 론

본 논문에서는 차세대 원전에서 적용하고자 하는 경보처리 기법인 운전 모드에 따른 경보처리, 동적 우선순위화, 발전소 상태에 따른 경보처리, 다중 설정치, 계층적 구조에 의한 경보처리, 사고 유형별 경보처리, 경보 생성, 시간 지연, 기능 경보, 상태/경보 분리 등의 경보처리를 통해 운전원에게 경보 CRT와 FPD, 경보창으로 경보 정보를 전달해 주기 위한 방안을 제시하였다. 이러한 기본 개념을 바탕으로 하여 차세대 원전 경보 계통을 설계하고 적용될 경보처리 기법들을 실제로 Dynamic Mockup에서 구현하여 인간공학적인 적합성 검토를 거칠 예정이다.

#### 참고문헌

1. 강성근 외, "COAST를 이용한 차세대원전 경보처리 구현방안," 한국원자력학회 '97 춘계학술 발표회 논문집, Vol. 1, pp. 178 ~ 183, 1997.
2. D.L. Harmon, T.M. Starr, "Alarm and Status Processing and Display in the Nuplex 80+ Advanced Control Complex," 1992 IEEE 5th Conference.
3. L.R. Lupton, P.A. Lapointe and K.Q. Guo, "Survey of International Development in Alarm Processing and Presentation Techniques," AECL Research.
4. John M.O'Hara, William S. Brown, and Inn S. Kim, "Advanced Alarm Systems in Nuclear Power Plants : Background Review," Brookhaven National Laboratory, 1991.
5. 차세대 개발 1단계 보고서(KNGR MMIS Target Design) 전력연구원 신형로 개발팀.
6. NUREG/CR-6105, "Human Factors Engineering Guidance for the Review of Advanced Alarm Systems," 1994.
7. NUREG-0700, "Human-System Interface Design Review Guideline," 1996.