

## 경보시스템 설계에서의 동적 우선 순위화에 대한 연구 Study on Dynamic Priority in The Alarm System Design

허태영, 강성곤, 김동욱

전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

### 요 약

디지털 기술을 기반으로 하는 첨단 제어실의 구성요소인 경보시스템의 설계에서는 정상 운전시 뿐 아니라 과도상태 또는 비상 운전상태에서도 그 운전 상황에 필요한 경보 정보만을 운전원에게 제공하여 경보의 과다 발생으로 인해 운전상황을 제대로 인식하지 못하여 결국은 적절하게 대응하지 못하게 되고, 이로 인한 운전원 실수가 유발되지 않도록 해야한다. 본 논문에서는 이러한 원칙을 만족시키는 경보 처리 방법들중 경보시스템 설계기술에서도 상당히 진보적인 개념으로 받아들여지는 방법인 “동적 우선 순위화”에 대한 알고리즘 설계를 수행하고, 그 가능성을 평가하였다.

### Abstract

Advanced Alarm System which is a component of digital-based advanced control room shall supply operators with alarm information which are properly processed, needed in plant operation. and this system should have capability that can not cause the alarms overwhelmingly during both normal and abnormal operation. If there are so many alarms, operators can't recognize alarms effectively, they can't response appropriately, and human errors can be caused through these process. In this paper, we developed the concept and algorithms of Dynamic Alarm Priority to avoid that situation as was stated, and implemented partially and evaluated.

### I. 서 론

일반적인 원자력발전소에서의 경보 계통의 기능은 시스템의 정상운전 또는 비정상 운전시 기기, 계통의 고장 또는 이에 상응하는 이상 상태를 운전원에게 알리기 위함이다. 그러나 기

존의 경보시스템에서는 비정상 상태에서 수많은 경보를 발생시켜 오히려 운전원에게 혼란을 야기시키는 역효과가 나타나기도 하였다. 기존의 경보시스템에서 표시하고 있는 경보들은 아날로그 기반의 경보시스템인 까닭으로 제어실에 모든 경보를 효과적으로 보여 준다는 것이 불가능하였다. 그러나, 디지털 기반의 예측제어 시스템을 적용할 경우 모든 계통 및 기기에 대한 운전 정보를 쉽게 얻을 수 있고, 이들 정보를 이용한 경보의 처리가 소프트웨어적으로 가능하게 되어 기존의 경보시스템에서는 적용하지 못했던 많은 처리 방법들을 적용할 수 있게 되었고 발생한 경보의 표시에도 운전원의 인지를 고려한 소프트웨어적 설계가 가능하게 되었다.

첨단 제어실에 적용될 경보시스템의 설계에서는 과도상태 또는 비상 운전상태에서도 그 운전 상황에 필요한 경보 정보만을 운전원에게 제공하여 경보의 과다 발생으로 인해 운전상황을 제대로 인식하지 못하여 적절하게 대응하지 못한다든지, 또는 이로 인한 운전원 실수가 유발되지 않도록 설계해야 할 것이며, 이를 위해서는 경보에 대한 처리 기법들중 어떤 방법을 어느 수준까지 적용하는가가 어떤 형태의 제어실인가를 고려하여 결정되어야 하고 특히, 모든 경보처리 기술의 집약이라고 할 수 있는 동적 우선 순위화의 적용에 대한 기준 및 적용범위의 결정이 적절해야 할 것이다.

대부분의 발전정지 사례에서는 짧은 경우 5초에서 60초 정도, 일부 진행시간이 긴 경우 약 20분 정도 진행후 원자로정지 및 터빈정지가 발생한다. 그러나 과도상태가 24시간 이상 진행되는 경우도 있다. 이것은 경보계통의 설계시 정상운전시의 경보처리, 원자로 및 터빈 정지후의 경보의 처리도 중요하지만, 최고의 우선 순위를 가지는 경보 발생후 과도상태가 진행되는 동안의 경보의 처리가 상당한 비중을 가지고 검토되고 설계되어야 한다는 것을 의미하는 것으로 해석될 수 있을 것이다.

위의 실제 발전정지시의 진행순서에서와 같이 각 해당 운전상황에서의 최고의 우선 순위를 가지는 경보는 모두 틀리게 된다. 증기발생기 수위 저-저와 같은 일부 주요 변수에 대한 경보의 우선 순위는 정적인 순위나 동적인 순위가 모두 최고의 순위를 가지게 되겠지만, 이런 경보들을 제외하면 모두 정적인 순위와 동적인 순위가 모두 틀리게 될 것이라는 것이다. 또, 증기발생기 수위 저-저와 같은 일부 주요 변수에 대한 경보의 우선 순위를 모두 최고의 우선순위로 할 때 표시 용량의 문제가 새로 발생할 가능성을 배제할 수 없다. 그러나 설계자들이 모든 운전상황을 예측하고 이를 설계에 반영한다는 것은 불가능하며, 절차서를 구현 범위의 기준으로 생각할 때, 비상 운전절차서(EOP)를 제외한 경보 대응절차서(Alarm Response Procedure), 비정상 운전절차서(Abnormal Operating Procedure)의 범위 내에서 설계하고 구현한다고 해도 그 일의 양은 상상할 수 없을 정도로 막대할 것으로 예측된다. 여기서는 완벽한 Dynamic Priority의 구현보다는 Prototype 개발시 일부 주요 계통에만 국한하여 이를 설계, 구현, 평가하여 전체 계통의 적용 가능성을 확인하는 것이 우선되어야 할 것이다.

## II. 우선 순위화의 요건

우선 순위화 관련한 주요 요건을 다음과 같이 선정하였다.

- A. 최고의 우선 순위를 가지는 경보는 쉽게 인식할 수 있도록 그 수를 엄격히 제한해야 한다.
- B. 동적인 우선 순위는 운전상황에 따른 각 경보들의 상대적 중요성 및 긴급성을 고려하여야 한다.
  - 중요성이란 발전소의 어떤 계통도 운전 상황에 따라 발전소 안전 또는 중요 기능에 직접적인 영향을 미칠 수도 있고 아닐 수도 있다는 것으로 운전 상황에 따라 미치는 영향이 틀리는 것임. 따라서, 해당 운전상황을 정확하게 파악하고 정의하는 것이 중요하다.
  - 긴급성이란 해당 운전상황에서 운전원에게 어떤 계통의 비정상 상태를 알리는 것이 가장 중요한가 하는 것이다. 이 역시 해당 운전상황을 정확하게 파악하고 정의하는 것이 중요하다.
- C. 동적인 우선 순위화의 처리 결과가 정적인 우선 순위보다 낮아지도록 설계되지 않아야 한다.
- D. 정적인 우선 순위는 다음의 기준에 의해 결정되어야 한다.
  - SP 1 : 원자로정지에 직접적인 영향을 미치는 변수
  - SP 2 : 원자로정지에 간접적으로 영향을 미치는 변수 (터빈/발전기 정지에 직접적인 영향을 미치는 변수)
  - SP 3 : 터빈/발전기 정지에 간접적인 영향을 미치는 변수
  - SP 4 : 원자로, 터빈/발전기 정지에 영향을 미치지 않는 변수
- E. CRT와 같은 표시장치에 목록의 형태로 표시되는 경보에 있어 예상되는 사고에서 최고의 순위를 가지는 경보의 수가 표시용량을 넘어서지 않아야 한다.

### III. 우선 순위 알고리즘

#### 알고리즘 개발

경보에 적용 가능한 우선 순위는 운전상태에 영향을 받지 않고 초기에 설정된 우선 순위에 따라 처리하는 정적인 우선 순위에 의한 처리와 정적인 우선 순위를 가지면서 운전상태에 따라 우선 순위가 가변되는 동적인 우선 순위를 고려할 수 있다. 현재까지의 검토 결과 정적인 우선 순위만을 적용할 경우 동적인 우선 순위화와 비교하여 발생경보의 적정성에 있어 상대적으로 효과가 덜한 것으로 판단되며 부가적으로 최고의 우선 순위를 가지는 경보의 수가 많아지므로 CRT와 같은 표시장치를 사용할 경우 화면 설계에 제한이 있다.

위와 같은 정적인 우선 순위의 문제를 해결하기 위해 원전의 안전성 또는 전기 생산에 관련된 주요 계통에 대해서는 해당 경보의 우선 순위가 운전상태를 적절히 반영할 수 있도록

동적인 우선 순위를 부여한다. 즉, 정적(Static)인 우선 순위와 상대적 중요성, 긴급성을 고려한 동적 우선 순위화의 요소(Factor)를 고려하여 완전한 동적 우선 순위화를 구성하는 것이다.

이들 요소들을 고려한 알고리즘의 구성에는 여러 가지 방법이 가능하겠지만 여기서는 다음과 같은 두 가지를 고려하였다.

A. 우선 순위를 결정하기 위한 다음과 같은 운전정보의 입력을 받아 미리 정의된 기준에 따라 우선 순위를 결정하게 되는 독립적인 처리방법이다.

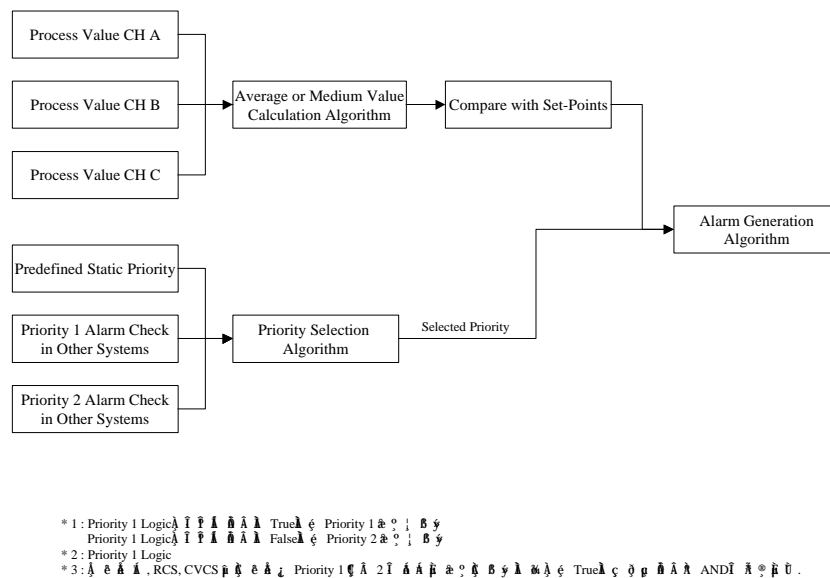


그림 1 동적 우선순위 구현 개념 A

B. 경보처리 기법들인 운전모드를 고려한 경보처리 결과, 다중 설정치 기법을 적용한 결과, 원인-결과 기법을 적용한 결과들을 입력받아 해당 경보의 우선 순위를 결정한다. 이 방법은 다른 경보처리 방법들과의 연계를 통해 우선 순위가 결정되는 것으로 우선 순위만의 독립적인 처리 방법이라기 보다는 다른 처리 방법의 결과에 의존하는 처리 방식이다. 다음 그림 2는 위의 구성을 개념적으로 설명하고 있다.

경보시스템의 구현범위

부분 범위의 경보시스템을 구성하였으며, Reactor Coolant System, Safety Injection System, Main Steam System, Feedwater System, Aux. Feedwater System을 대상으로 하였다.

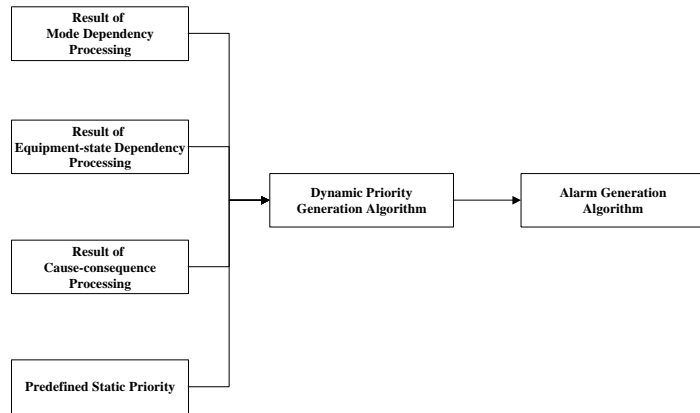


그림 2 동적 우선순위 구현 개념 B

경보 Database

Reactor Coolant System, Safety Injection System, Main Steam System, Feedwater System, Aux. Feedwater System에 대한 경보 Database를 기존 경보 Database 중 계측 제어 계통이 아날로그에서 디지털 계측제어로 바뀌면서 새로이 추가되는 부분, 디지털 계측제어로 바뀌면서 제공 가능한 경보를 고려하여 개발하였다. 그림 3은 개발된 Database의 일부를 보여주고 있다.

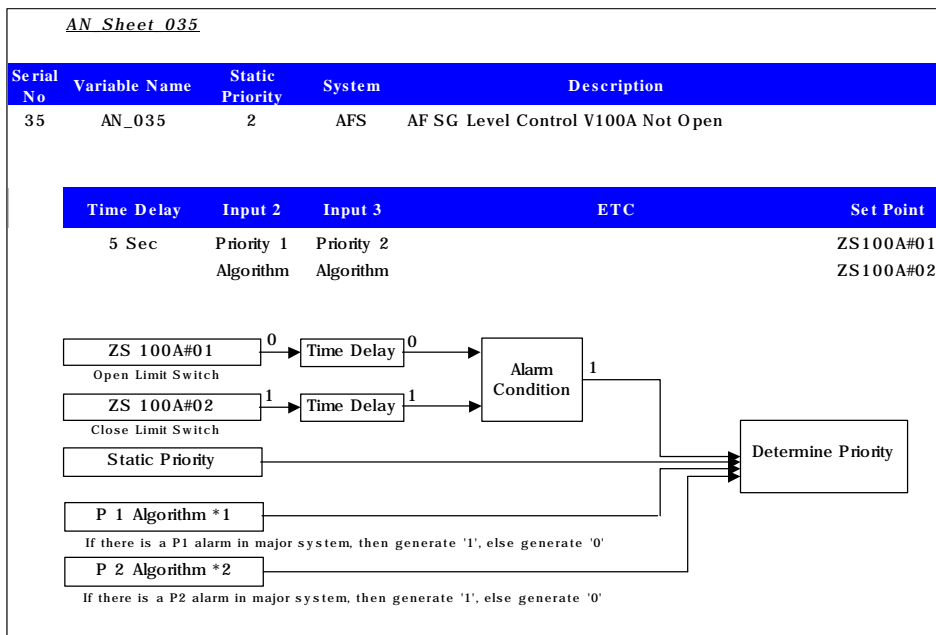


그림 3 Example of Alarm Database for Dynamic Priority

## VI. 평가 및 분석

평가 시나리오는 단순 원자로정지, 증기발생기 튜브파열 사고를 선정하였고 평가 항목은 다음과 같이 선정하였다.

### Dynamic Priority

실제 구현된 시스템에서 정적인 순위와 동적인 순위가 얼마나 잘 조화되어 동작하는가를 평가해야 한다. 즉, 평가 시나리오에 따라 개별 경보에 대한 정적인 우선 순위와 운전상황에 따른 동적인 우선 순위를 주는 논리가 정상적으로 동작하는가를 확인하는 것이다. (그림 4. 참조)

<u>Check Sheet 01</u>				
Serial No	Check Item	Check Result	Static Priority	Dynamic Priority
1	Normal Operation (Rx PWR: 100%)			
1.1	Check the following Alarms in AFS			
	AF Pump 01A Disch Pr Lo	Exist <input type="checkbox"/>	2	
		Not Exist <input type="checkbox"/>		
	AF Pump 01B Disch Pr Lo	Exist <input type="checkbox"/>	2	
		Not Exist <input type="checkbox"/>		
	AF Pump 02A Disch Pr Lo	Exist <input type="checkbox"/>	2	
		Not Exist <input type="checkbox"/>		
	AF Pump 02B Disch Pr Lo	Exist <input type="checkbox"/>	2	
		Not Exist <input type="checkbox"/>		
	AF SG Level Control V100A Not Open	Exist <input type="checkbox"/>	2	
		Not Exist <input type="checkbox"/>		
	AF SG Level Control V100A Not Close	Exist <input type="checkbox"/>	2	
		Not Exist <input type="checkbox"/>		

그림 4 Example of Check Sheet

### 평가 결과

평가/분석 후 다음과 같은 동적 우선 순위화 경보처리에 대한 분석 결과가 도출되었다.

- A. 정상 운전중 동적 우선 순위가 해당 운전상황에서 적절하게 결정된 것의 비율은 전체를 1로 했을 때 약 0.9, 그렇지 않은 것의 비율은 약 0.1 정도로 부분 범위의 Prototype에서는 운전 상황의 판단을 위한 입력들이 일부를 제외하고는 정확하게 선정되었다는 것을 보여준다.

B. 동적 우선 순위화의 요건으로 선정한 “동적인 우선 순위화의 처리 결과가 정적인 우선 순위보다 낮아지도록 설계되지 않아야 한다.”와 정적인 우선순위에 대한 선정 기준과 해당 요건의 재검토가 필요한 것으로 판단된다.

즉, 발전소 계통들에 과도 상태가 있는 경우 정적인 우선 순위가 정확하게 선정되지 않을 경우에는 상대적으로 높은 순위의 경보가 많아지게 되는 경향이 발견되었기 때문이다.

## VII. 결론

개발한 동적 우선 순위에 대한 처리 알고리즘이 얼마나 유효한가 보다는 경보의 동적인 처리가 가능한지여부에 초점을 맞추어 개발하고 평가하였으며, 비록 부분 범위의 Prototype을 개발하여 평가하였지만 평가를 위한 운전 시나리오에 따른 분석 결과에서 나타난 바와 같이 현재 단계에서는 발전소에 바로 적용하기는 어렵겠지만 문제점을 보완한 후에는 전체 계통 또는 주요 계통에 적용 가능함을 알 수 있다. 따라서 동적 우선 순위화에 대한 현재의 개념을 좀 더 보완 개발하여 기기의 상태에 따른 경보의 처리 방법, 운전모드에 따른 경보의 처리 방법, 원인-결과를 적용한 경보의 처리 방법 등과 어떻게 잘 조화시키는 가에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.