

지식기반 경보처리 기술 개발

나난주, 김인석¹, 황인구, 김정택, 이동영, 함창식
한국원자력연구소

요 약

컴퓨터로 처리되는 경보계통에서 전반적인 경보처리 알고리즘을 세우고, 운전원에게 효율적인 경보정보체계와 운전원이 필요한 경보정보를 쉽게 접근할 수 있는 표시방법을 제공하는데 중점을 두고 전문가시스템을 이용한 경보계통이 구현되었다. 각 경보는 발생시 발전소모드 및 기기상태 종속관계, 또는 선행경보관계 등을 이용하여 우선순위가 주어지도록 처리되며, 발생한 경보는 억제되기 보다는 모든 경보를 운전원에게 제공한다라는 개념으로 종합적인 경보현황과 함께 상세 경보를 다양한 방법으로 구성하였다. 개발된 알고리즘을 시험하기 위해 TMI-2 사고가 모의되었다.

1. 서론

원자력발전소에서의 경보처리 및 표시방법 개선은 안전운전의 측면에서 수년간 큰 관심의 대상이 되어왔다. 경보정보는 운전원이 원자력발전소의 이상상태를 감지하는데 일차적으로 사용되는 정보원으로서의 기능을 가지고 있다. 발전소의 각 센서마다 한 개의 표시창에 대응되어 나타나도록 하는 기존의 경보시스템은, 더 효율적인 정보제공이 요구되는 발전소 과도상태시 폭주하는 경보량으로 인해 오히려 운전원으로부터 외면당하고 있는 형편에 있다.

이에 개량된 방법으로 경보를 처리하고자 하는 연구가 세계적으로 수행되어 왔으며 그 결과 새로운 경보처리개념들이 다양하게 표출되고 이제는 처리방법론 자체로는 어느정도 공통된 인식의 범주를 형성한 것 같다.[1-3] 대표적으로 기기상태 종속(status dependency), 운전모드 종속(mode dependency), 다중설정치 및 원인경보 관계에 의한 선행경보 등을 바탕으로 한 경보처리 방법들이 이에 속한다. 이들 방법들은 대개는 다소 복잡한 처리기술이 요구되며 고도로 발전된 소프트웨어 및 하드웨어 기술위에 구현이 가능하다. 컴퓨터로 처리되는 여러 가지 접근방법중에서도 전문가시스템을 이용한 경보시스템개발은 개발단계에서의 경보처리논리의 개념구현 및 시스템구축을 매우 용이하게 한다는 잇점 때문에 많이 선호되고 있다.

이 논문은 상용 소프트웨어인 G2 실시간 전문가 시스템을 이용한 경보처리시스템을 구현하고, 위에 언급된 발전된 경보처리기술위에 경보표시측면에서의 독자적인 경보처리개념의 도입 및 기

¹ Brain Pool Program에 의한 초빙연구원

술개발에 관해 논의한다.

2. ADIOS prototype 개발

지능형 공정감시와 경보 및 진단을 목적으로 한 통합형 운전지원시스템(Alarm and Diagnosis - Integrated Operator Support System: ADIOS) 개발계획의 일환으로, G2 전문가 시스템환경에서 경보처리기술 및 표시방법에 대한 일반적인 구성형태를 도출하기 위한 경보계통 prototype 개발이 진행되고 있다.[4] 이 prototype에서의 경보처리개념 및 시스템 구성은 다음에서 기술되는 바와 같다.

2.1 경보객체의 정의

경보계통을 개발하는데 언급할 또 하나의 유용한 기술은 G2시스템이 지원하는 객체지향 프로그래밍 기법이다. 경보를 객체로 정의하면 정의된 객체의 상속특성을 이용함으로써 개별적인 경보객체가 경보처리 및 표시를 위한 일반적인 추론규칙의 지배를 받도록 지식기반을 세울 수 있는 것이다. ADIOS에서 각 경보는 경보메시지, 공정치, 설정치, 우선순위, 발효 상태, 운전원인지 상태, 다중설정치에 의한 선행경보(level precursor), 직접원인에 의한 선행경보(direct precursor)등을 속성으로 포함하는 객체로 정의된다. 또한 ADIOS에서의 경보처리개념에 따라 달리 사용할 목적으로 프로세스 경보와 기기경보의 2가지 하위클래스를 정의하여 사용한다. 프로세스경보는 주요공정흐름도에서의 압력, 온도, 또는 유량 등의 공정변수와 관련하여 발생하는 경보의 처리 및 표시를 위한 것이고, 기기경보는 주요공정의 흐름과 직접 관계되지 않고 기기자체의 정상구동에 필요한 기능과 관계된 경보를 처리하기 위한 경보클래스로서 예를 들면 펌프진동 고 경보 등이 이에 속한다. 이와 같이 정의된 각 경보는 경보발생 및 처리, 또는 표시과정에서 필요한 모든 정보를 속성에 포함하고 있다. 공정치는 발전소 또는 simulator로부터 해당 공정변수의 값을 일정주기로 받아들이고, 운전원인지 상태에 대한 속성값은 운전원의 인지입력에 따라 경보의 점멸표시상태를 결정하는데 사용된다. 한편 경보의 속성중 원인 및 다중설정치에 의한 선행경보들은 경보간의 관계를 바탕으로 발생경보의 우선순위를 결정하는데 사용된다.

2.2 경보처리 및 우선순위 알고리즘

그림 1 은 ADIOS에서 경보를 처리하고 표시하는 과정을 개략적으로 보인 것이다. 기존 경보계통에서와 같이 경보는 설정치검사를 통해 발효된다. 즉 관련 발전소 공정변수 값이 설정치를 벗어날 때 발효되고 정상범위로 돌아오면 경보가 소멸되는 것이다. 일단 발효된 경보는 발전소모드 종속, 관련기기의 상태종속, 다중설정치 또는 인과관계에 따른 선행경보 등의 관계에 따라 처리알고리즘에서 우선순위가 결정된다. 경보의 우선순위를 몇 개의 등급으로 분류하는 것이 좋은지는 아직 논란의 여지가 있으나 ADIOS에서는 현재 모든 경보의 우선순위를 초기에 상위등급인 1로

두고, 경보처리과정에서 현재 처리중인 경보와 관련하여 기 설정된 경보관계와 처리조건이 부합되면 하위등급인 2로 낮추도록 하고 있다.

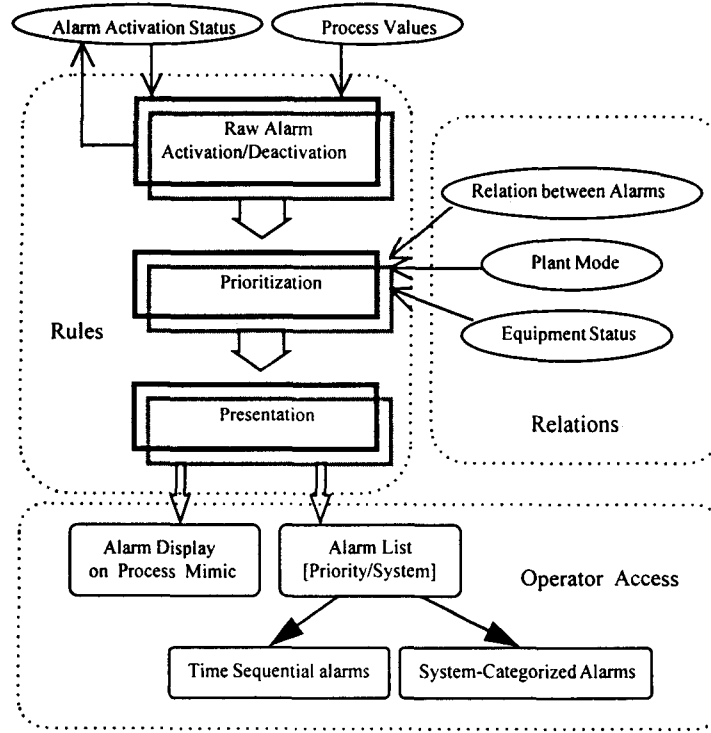


그림 1 ADIOS의 경보처리 흐름도

발전소모드 종속관계는 발전소모드변경의 결과로 발생하는 경보의 중요도를 낮추고자 할 때 사용되고 기기상태 종속관계는 관련기기의 운전상태 변동에 따라 발생하는 경보의 우선순위를 낮추는 알고리즘에서 사용된다. 예를 들면 방출압력 저(discharge pressure low) 경보가 펌프가 정지한 후 발생한다면 처리과정에서 이 경보의 우선순위는 낮아진다. 다중설정치관계는 동일한 공정변수에 여러 설정치가 존재하여 그 관계에 있는 경보가 발생할 때 설정치에 있어서 선행하는 경보에 대해 우선순위를 낮추는 것으로서, 예를 들어 증기발생기 수위 저-저 경보발생시 수위 저 경보의 우선순위를 낮춘다. 또한 인과관계에 있는 경보가 발생시 원인경보가 이미 발효된 상태이면 현재 발생하는 경보의 우선순위를 낮춘다.

2.3 경보표시 알고리즘

ADIOS 에서의 경보표시 목적은 발전소의 전반적인 경보상황에 대해 운전원이 신속히 파악하

고 어떤 상세 정보정보에도 신속하고 친숙한 방법으로 접근할 수 있도록 하자는데 있다. 이런 목적으로 그림 2와 같이 종합적인 정보현황을 나타내는 공정도(process overview mimic) 상에 우선 순위처리된 형태로 경보를 표시하고 발생시간순서로 된 정보목록과 발전소 계통별로 구분된 CRT 기반의 정보창을 각각 별도의 전용 CRT를 통해 나타내도록 한다. 그림 2의 정보현황공정도에서 프로세스 정보는 밀집한 공정 또는 기기근처에 지정된 아이콘형태로 위치하여 우선순위 1로 발효될 경우 적색으로, 우선순위 2로 발효될 경우에는 황색으로 점멸표시되기 시작하며 운전원의 인지 동작(해당정보위에서의 mouse click)이 입력되면 적색 또는 황색으로 고정표시되도록 한다. 공정도에서 표시되는 많은 정보가 그룹정보의 형태로 표시된다. 예를 들어 'Tavg', ' ΔT ', 'Flux' 및 'SGL'등은 관계되는 여러정보를 대표하여 표시되는데 'SGL'의 경우 증기발생기 수위 고-고, 저-저-저 경보들을 포함하고 있다. 그룹정보에 대한 개별적인 정보내용은 그룹정보의 아이콘을 선택할 때 임시로 나타나는 하위 표시창을 통해 표시되며 그룹정보의 배색은 하위표시창에 위치하는 정보로서 발효된 정보들 중 가장 높은 우선순위를 갖는 정보의 배색을 따른다.

기기정보는 앞에서 정의된 바와 같이 주요공정 흐름이나 운전이 직접 영향을 주기보다는 기기 자체의 동작기능에 영향을 미치므로 공정도에 나타내기 보다는 기기의 하위표시창에 위치시키고, 이 정보가 발생하면 해당기기의 아이콘 경계부분의 색을 변경시키며 그룹정보와 같이 공정도에서의 기기아이콘 선택에 의해 상세정보정보를 참조할 수 있도록 한다. 기존 정보창에 표시되던 주요 기기의 운전상태, 즉 펌프의 구동/정지 또는 밸브의 열림/닫힘 등의 표시는 공정도상의 기기 아이

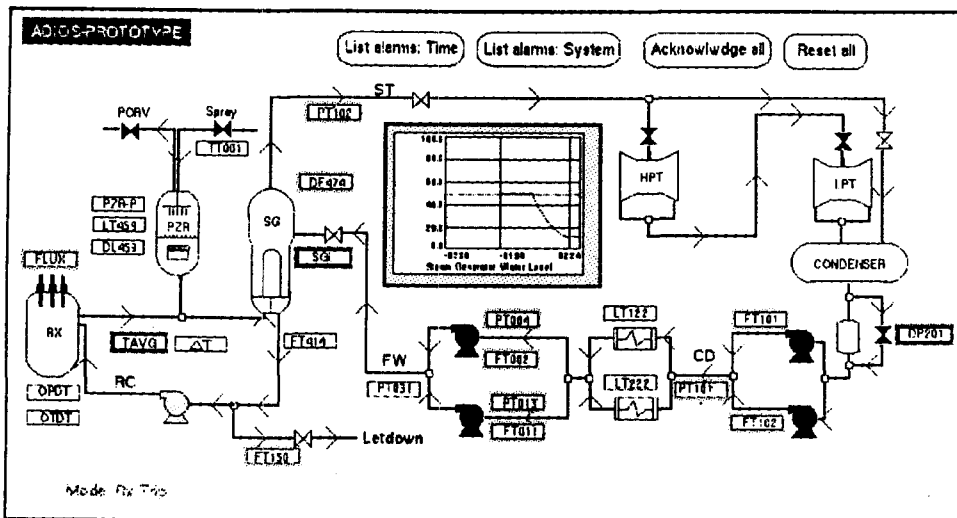


그림 2 ADIOS의 정보현황 Overview

콘의 내부배색 조정에 의하여 그 상태를 인식할 수 있도록 하되 적색의 사용은 경보표시를 위해 피한다. 한편 어떤 기기가 요구되는 동작상태에 있지 않은 상황에서는 경보상황임을 알리기 위해 기기 아이콘의 내부를 적색으로 점멸시킨 후 해당 아이콘에서의 운전원인지 동작에 의해 적색으로 고정표시되도록 한다.

앞에서 언급된 시간순차적 경보목록을 제공하는 CRT에서는 주어진 상황에서 운전원의 선택에 따라 우선순위 1인 경보만을, 또는 우선순위 1과 2의 경보 모두를 볼 수 있도록 표시방법을 구성한다. CRT기반의 경보창(soft alarm panel)은 계통별로 재구성한 경보창을 통해 기존의 경보시스템과 유사한 방식으로 경보를 지정된 위치에서 볼 수 있도록 한 것으로서 이것은 경보정보의 참조방식에 몇가지 잇점을 제공한다. 기존 경보계통에 익숙한 운전원에게 새로운시스템과의 완충역할을 기대할 수 있을 뿐만 아니라 각 경보에 직접적이고 자세한 운전지원정보를 운전원이 쉽게 접근하여 볼 수 있도록 인터페이스를 구성할 수 있다.

2.4 시스템 구성

그림 3은 ADIOS prototype의 구성을 나타낸다. Workstation 1(WS1)의 FTF(functional test facility)는 고리 3,4호기를 모의하여 경보처리 호스트인 WS2가 요구하는 발전소 공정변수의 값을 실시간으로 제공한다. WS2는 WS1으로부터 값을 받아들여 탑재된 G2 전문가 시스템환경에서 경보처리알고리즘을 수행하고 경보표시정보를 3 개의 CRT에 보낸다. 앞에서 설명된 바와 같이 경보현황공정도, 발생시간순 경보목록, 계통별 경보창이 별도의 전용 CRT에 표시된다.

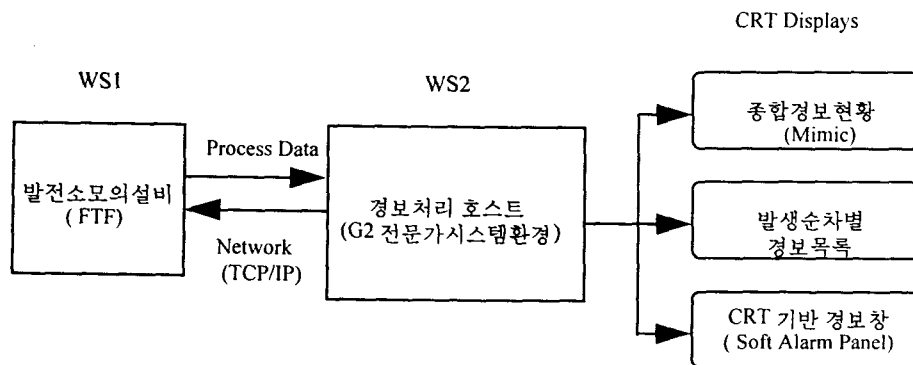


그림 3 ADIOS prototype의 시스템 구성

3. TMI-2 사고 모의

개발된 경보처리 및 표시알고리즘을 시험하기 위하여 1979년에 발생한 TMI-2 사건 시나리오를 사용하였다. 시나리오의 시작은 급수및 복수계통의 복수정화계통의 막힘으로 인한 복수펌프의 정

지로부터 진행된다. 복수펌프의 정지는 주급수펌프흡입압력의 저하로 인한 주급수펌프정지를 일으키고, 이로 인한 주급수상실은 증기발생기의 수위를 감소시킨다. 터빈이 정지되고 이차측의 열제거원 부족으로 일차계통의 온도및 압력이 상승하여 가압기 압력방출밸브(PORV)가 열리게 된다. 그림 2는 원자로정지후 한 시점의 발전소 경보현황을 보여주고 있다. FLUX, FT101, PT101등, 1차 및 2차계통의 많은 경보가 처리 알고리즘에 의거하여 낮아진 우선순위를 갖고 황색으로 점멸하고 있음을 보여준다. 또한 그림 2에서 PORV가 적색으로 점멸표시되는 것은 냉각재계통압력이 밸브열림 설정치 아래에 있는데도 밸브가 계속 열려 있음을 알리는 경보상황임을 나타내는 것이다. 냉각재 평균온도 또는 증기발생기 수위와 같은 주요운전변수에 관련된 경보에는 그 중요성에 비추어 고정된 높은 우선순위가 부여되고 적색으로 표시되고 있음을 볼 수 있다.

4. 결론

이 연구는 컴퓨터로 처리되는 경보계통에서 전반적인 경보처리 알고리즘을 세우고 운전원에게 효율적인 경보정보체계와 운전원이 필요한 경보정보를 쉽게 접근할 수 있는 표시방법을 제공하는데 중점을 두었다. 대개 경보처리와 경보표시측면이 별도로 다루어지던 시각을 고려해 볼 때 이 2가지 측면은 통합된 방식으로 다루어져야 한다는 것이 우리의 의견이다. 전문가시스템을 이용한 지식기반 경보처리계통을 개발하는데 있어서 주시할 3가지 관점이 제시되었다. 첫째로 신뢰성 있는 지식기반의 구축이다. 이를 위해서는 광범위하고 지속적인 경보의 특성분석 및 충분한 기능 시험이 필요하다. 둘째로 경보의 표시방법에 있어서는 단순히 표시경보의 수적 감소측면보다는, 운전원의 인지모델에 바탕을 둔 친숙하고 쉽게 접근할 수 있는 형태로 표시방법의 체계를 제공해야 한다는 것이다. 마지막으로, 경보계통개발에 사용되는 전문가 시스템 소프트웨어의 확인및 검증문제가 있다. 이것은 발전소 실제설치시의 장애가 될 수 있다. ADIOS prototype은 아직 개발중에 있으며 또한 실제발전소로의 적용을 위해 확장작업중에 있다.

참 고 문 헌

1. L.R.Lupton, P.A.Lapointe and K.Q.Guo, "Survey of International Developments in Alarm Processing and Presentation Techniques", NEA/IAEA International Symposium on Nuclear Power Plant Instrumentation and Control, Tokyo, Japan, May 18-22, 1992.
2. I.S.Kim, " Computerized Systems for On-line Management of Failures: A State-of-Art Discussion of Alarm Systems and Diagnostic Systems Applied in Nuclear Industry", Reliability Engineering and System Safety 44(1994) 279-295.
3. J.M. O'hara, W.S.Brown, J.C.Higgins, and W.F.Stubler, "Human Factors Engineering Guidance for the Review of Advanced Alarm Systems", NUREG/CR-6105, U.S. Nuclear Regulatory Commission, August 1994.
4. Gensym Corporation, G2 Reference Manual, version 4.0, Sep. 1995.