

지식기반 경보처리기술 개발을 위한 예비 prototype 구현

김정택, 이동영, 나난주, 송순자, 황인구,
박재창, 권기춘, 함창식, 김인석*
한국원자력연구소

요 약

본 연구에서는 경보에 관한 지식을 획득하는 방법으로 경보간의 논리적 물리적 상관관계를 평가하여 지식구조를 설정하는 방법을 사용하고 있다. 이 지식구조를 지식기반으로 추론하여 주어진 상황에서 필요 없는 경보를 제거하거나 억제하며, 표시된 경보에 대해서도 운전원 조치의 긴급성을 운전상황에 따라 평가하여 우선순위를 동적으로 표시하는 지식기반 다이내믹 경보처리기술을 개발한다. 이를 위해 경보 운전절차서에 나타난 개별 경보들 중에서 주요계통 경보들을 운전모드별로 분류하고, 연동신호에 의한 경보와 물리적인 원인-결과의 연동관계의 경보로 평가, 분석하여, 설정된 경보처리기술의 적용가능성을 평가하기 위해 가상 시나리오를 개발하고, 예비 prototype을 구현하였다.

1. 서 론

원자력발전소의 경보폭주현상을 개선하기 위하여 경보의 상호관계, 운전상태와의 연관성 등의 발전소 운전 및 거동에 관한 지식과 기타 경보 관련정보들을 이용하는 지식기반 경보처리 계통은 운전정보 및 경보의 데이터를 수집하여 발전소 상황을 추론하여 주어진 상황에서 어떤 경보를 어떻게 처리하여 표시할 지를 결정하기 때문에 경보에 대한 운전원의 인지부담을 덜어 준다[1-3]. 발전소의 거동에 대한 추론은 운전원의 운전경험, 발전소의 구조 및 거동에 관한 지식을 지식구조로 형상화한다. 경보처리를 위한 지식구조를 설정하는 방법은 경보상관관계 분석, 발전소의 이상상태, 사고, 고장 등의 진행상황에 대한 원인-결과 상관관계 분석 및 발전소의 기능적 관계를 계층적으로 형상화하는 방법 등이 있다[4,5].

현재까지 많은 원자력 국가에서 여러 가지 경보처리논리를 사용하여 경보의 수를 줄이는 시도를 하고 있다[6-9]. 표1은 국내외의 경보계통들을 조사하여 그 처리기술 및 특성들을 평가한 것이다[6]. 표에서 알 수 있는 바와 같이 운전모드별, 우선순위별 경보처리 등은 대부분의 개량형 시스템에서 공통적으로 채택하고 있고, 경보표시기기, 진단기능의 유무 및 유형, function 경보 등에 있어서는 다소의 차이가 있다. . 기술개발현황 분석에 의하면 경보처리를 위해 적용된 기술은 거의 비슷하다. 그러나 경보를 해석하는 방법 즉 지식(knowledge)구조를 설정하는 방법에서 차이가 있으며, 지식구조를 표현하는 방법에서 차이가 난다[4].

2. 경보절차서 분석

경보에 관한 지식을 획득하는 방법으로 경보간의 논리적 물리적 상관관계를 평가하여 지식구조를 설정하는 방법을 사용하였다. 이를 위해 경보 운전절차서[10]에 나타난 1000여 개의 개별 경보들 중 주요계통 경보들을 운전모드별로 분류하고, 연동신호에 의한 경보와 물리적인 원인-결과의 연동관계의 경보로 평가, 분석하였다.

* Brain Pool 프로그램에 의한 초빙연구원

3. 경보처리 계통 구조

3.1. 계통의 구성

prototype으로 구성한 다이나믹 경보처리계통은 그림 1에 보는 바와 같다. 플랜트의 process parameter 및 원시경보(raw alarm)들은 원전의 상태를 컴퓨터모의화한 Test Facility로부터 실시간으로 받는다. 경보처리모듈(APU)은 입력된 원시정보(raw data)를 경보처리모듈 내의 지식베이스 및 처리규칙에 의하여 처리하여 경보를 억제, 합성, 여과 및 생산하여 입출력 프로세서를 통해 운전원표시장치로 보낸다. 경보는 경보창(annunciator window tiles), Overview Display Projector, 그리고 CRT display 등을 통해 표시된다.

CRT display는 경보상태정보를 보여주는 다양한 표시화면으로 구성되며 이들은 Overview Display Projector에 보여지는 overview화면 및 경보목록, 기타 상세 공정화면 등이 포함된다.

3.2 경보표시화면

대형정보표시(Overview Display Projector)는 발전소의 전체계통 현황정보 및 경보상태를 종합적으로 표시하여 운전원이 쉽게 원전 전체의 안전 및 운전상태를 파악할 수 있도록 주요 계통에 대한 공정화면을 보여준다. 이 표시화면에는 경보들을 주요 계통별로 그룹화 하거나 주요 플랜트 기능별 경보를 발생하게 하여 플랜트의 전 계통의 동작상태와 연관지어서 경보를 인식할 수 있도록 한다.

위의 overview display는 CRT에도 표시되며, CRT에는 이외에도 여러 그래픽 process diagram들의 페이지들이 공정변수값, 경보상태 등을 나타낸다. 이들 페이지에는 화면의 상세한 정도에 따라 축약된 경보 혹은 원시 상세경보를 표시하며, 긴급성 정도에 따라 우선순위를 함께 표시한다. 그림 2는 경보상태를 나타내는 이차계통화면의 한 예로써 증기발생기 및 급수공급계통의 주급수펌프가 비정상상태임을 표시하고 있다.

다이나믹 경보처리계통은 기존 발전소에서 이상상태를 알려주는 원시변수값 및 경보들을 받아들이며 발전소의 운전상태, 기기상태, 조치의 긴급성 정도 등에 따른 처리논리들을 이용, 적절히 여과, 그룹화, 합성 등을 하여 필요한 경보들만을 모은 축약된 경보목록을 우선적으로 상위 경보메시지로서 출력한다. 또한 운전원의 요구 시에는 발생한 모든 원시경보의 목록을 볼 수 있도록 한다. 이와 함께 운전원의 플랜트 진단에 도움을 주기 위하여 발생한 경보들의 발생순서와 발생시간, 해제시간 등을 보존하고 요구 시에 경보 history로서 나타내어 준다.

또한, 기존의 경보창에서 경보가 아닌, 단순한 기기 운전상태를 경보상태와 함께 나타냄으로써 빚어지는 불필요한 경보상황에 대한 판단부담을 줄이기 위해서 기기 운전상태경보(status alarm)는 분리하여 다른 형태로 표현한다.

4. 경보처리 논리 개발 및 실험

일차적인 경보처리 논리를 개발, 시험하기 위하여 가상시나리오를 설정하여 동적경보계통의 prototype을 구현하였다. 시나리오는 100%출력에서 운전하던 중, 주급수계통에서 한가지 고장이 발생하는 것을 모델로 하였다. 주급수계통은 이차계통이지만 일차계통에 열제거원(Heat Sink)을 제공하는 주요계통으로써 일차의 냉각제계통에 상당한 영향을 미치고 이때 발생하는 경보들은 서로 많은 연관관계를 가진다.

시나리오의 시작은 주급수펌프의 흡입압력을 높여 주는 한대의 급수승압펌프의 윤활유계통에 오일이 누출되어 경보 "Booster Pump Lube Oil Press Low"가 발생되고 연속하여 주급수펌프가 정지하며, 원자로 출력 급감발계통이 작동하고 증기우회계통이 작동하는 등의 결과가 발생하는 것으로 설정하였다. 그림 3은 이때 발생하는 모든 원시경보들을 나타낸다.

4.1 경보억제 및 처리조건 설정

발생한 각각의 경보들은 중요도, 긴급성, 운전원에게 필요한 정도, 중복성, 및 원인-결과 경보의 연관관계 등에 따라 예비적 분석을 수행하여 설정된 경보억제논리를 구성하였다. 다음은 억제논리를 설계한 예로써 “승압펌프의 윤활유 저압력”과 “증기발생기 고압력” 경보에 대한 축약논리를 나타낸 것이다. 또한 그림 4와 그림 5는 이 논리들을 logic diagram으로 그린 것이다.

처리논리는 각 경보에 국한되어 적용되는 개별규칙(local rule)과 경보처리계통 전체 또는 일부 물리적 계통에 적용되는 일반규칙(general rule)이 있다. level precursor, direct precursor 등에 의한 억제논리는 local rule이 되고 “first out alarm은 억제하지 않는다” 등은 경보전체에 대하여 다같이 적용되는 general rule 이다.

<local rules>

(1) “Booster Pump 04P Lube Oil Press Lo(15psig)” 의 억제논리

- If the operating mode is neither Rx trip nor Normal, then the above alarm is suppressed.
- If “Booster Pump 04P Oil Press Lo-Lo” is activated, then the above alarm is suppressed.
- If “Booster Pump 04P Stop/Trip” is activated, then the above alarm is suppressed.
- If “Feedwater Pump 01P Stop/Trip” is activated, then the above alarm is suppressed.

위의 경보는 정상운전, 원자로 불시정지 등의 모드 외에서는 불필요하고 “Oil Press Lo-Lo”의 level-precursor이며 “Booster Pump Stop/Trip” 등의 하위경보로 볼 수 있으므로 다중설정치, 인과관계 등의 상관관계가 있으므로 이들이 작동되었을 때는 “Booster Pump 04P Oil Press Lo” 경보는 생략한다. 또한 주급수 펌프가 돌지 않으면 위의 경보는 의미가 없으므로 억제되도록 논리를 구성한다.

(2) “S/G 1 Press Hi” 의 억제논리

- If the operating mode is neither Normal, Start-up, nor Rx Trip, then the above alarm is suppressed.
- If “S/G 2 Press Hi” is activated, then the above alarm is suppressed and generate a new message “ S/G1,2 Press Hi ”
- If “Reactor Power Cutback System Actuation” is activated, the above alarm is prioritized to P3 from P2.

원인 및 결과의 관계가 여러 가지로 연결될 수 있으나 운전원의 상시관찰이 요구되는 경보이므로 억제하지 않는다. 다만, 원자로 출력 급감발계통이 작동되어 있으면 위의 경보는 결과경보가 되므로 우선순위를 2순위(P2)에서 3순위(P3)로 낮춘다.

<general rules>

(1) 정지 최초경보(first-out alarm)의 처리

- If an alarm is the first-out alarm, it is not suppressed.
- If the first-out alarm has any level post-cursor which is activated, then the post-cursor is set to the first-out alarm.

이 논리는 앞에서 구축된, 각 경보에 적용되는 억제논리에도 불구하고 사건의 시작이 된 경보는 억제하지 않고 운전원의 상황파악에 도움을 주기 위함이다. 다만, 첫 번째 경보가 다중설치의 하위경보인 경우는 상위경보가 발생하면 상위경보를 first-out alarm으로 지정한다.

5. 결론

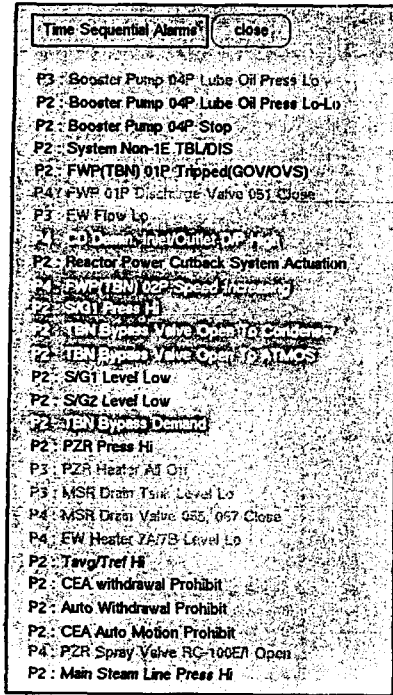
본 연구에서는 경보에 관한 지식을 획득하는 방법으로 경보간의 논리적 물리적 상관관계를 평가하여 지식구조를 설정하는 방법을 사용하고 있다. 이들 경보상호관계들은 한 원인경보에 의하여 당연히 발생하는 결과경보의 관계인 직접 선행자(direct precursor), 한 변수에 여러 경보설정치가 있는 설정치 선행자(level precursor)관계, 그리고 같은 의미를 갖는 여러 경보를 하나의 경보로 통합하여 처리하는 중복경보처리 등을 이용하여 표시되는 경보의 수를 줄이게 된다. 이와 같은 경보상호관계이외에 운전모드별 처리, 상대경보의 분리, 동적인 우선순위 부여 등을 통하여 효과적으로 경보상태를 운전원에게 알려 준다.

분석 결과의 타당성을 확인하기 위해 일부 분석결과를 이용하여 급수펌프의 정지에 따른 과도현상에서의 경보처리논리를 구현하였다. 그림 6은 위와 같은 분석을 통하여 설정된 논리로써 원시경보를 처리한 결과 축약된 경보메시지목록을 표시한 것으로써 많은 수의 경보들이 억제 되었음을 알 수 있다. 급수펌프의 정지에 따라 생성되는 기존의 경보는 약 30 여 개 였으나, 설정된 원인-결과 상관관계에 의한 경보논리에 의해 13 개로 줄어들음을 알 수 있다.

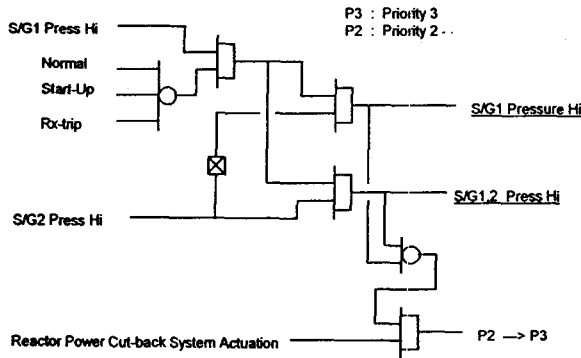
예비 prototype설계를 통하여 얻어진 급수및 복수시스템의 개별경보들에 대한 분석정보를 1)원인-결과 관계, 2)운전모드및 기기상태 관련성, 3) 기능및 시스템별 그룹화 등의 기술항목으로 체계화하여 기설정된 경보논리를 보완하고 새로운 알고리즘의 추가 등에 대한 검토와 작업이 계속 수행되고 있다[11].

참 고 문 헌

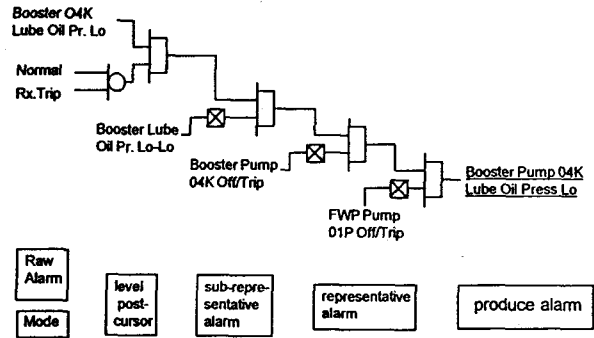
1. U.S.NRC, Guidelines for Detailed Control Room Design Review, *NUREG-0700*, Dec.1991..
2. U.S.NRC, Human Factors Engineering Guidelines for the Review of Advanced Alarm System, *NUREG-6105*, June, 1994.
3. EPRI, Advanced Light-Water Reactor Utility Requirement Documents, Chapter 10, MMIS, 1992.
4. L.R. Lupton, P.A. Lapointe and K.Q.Guo, "Survey of International Development in Alarm Processing and Presentation Techniques", *IAEA Int. Symp. NPP I&C*, Tokyo, Japan, May18, 1993.
5. Inn Seock Kim, "Computerized systems for on-line management of failures: a state-of-the-art discussion of alarm systems and diagnostic systems applied in the nuclear industry", *Reliability Engineering and System Safety*, 279-295, Vol.44 1994.
6. 과학기술처 한국원자력연구소, 원자력연구개발사업 보고서-계측제어기반기술개발, No. KAERI/RR-1503/94, 1995.7
7. Daryl L. Harmon, Thomas M. Starr, "Alarm and Processing and Display in the Nuplex 80+ Advanced Control Complex", *IEEE Proceedings*, 1993
8. J.R. Easter and L. Lot, "Back-fitting A Fully Computerized Alarm System into An Operating Westinghouse PWR: A Progress Report", *IEEE Proceedings*, 1993.
9. Alarm system CASH: Main Design Characteristics, OECD Halden Reactor Project Report, *HWR-398*, Oct. 1994.
10. 한국전력공사 영광원자력본부, 영광 제2발전소 운영절차서 - 경보운전절차서, 1994. 6.
11. I.K.Hwang, J.T.Kim, D.Y.Lee, et. al, "Processing Alarms in DYNAS: Basic Strategy", *Proceedings of the Korea Nuclear Society Autumn Meeting*, Seoul, Korea, Oct. 1995



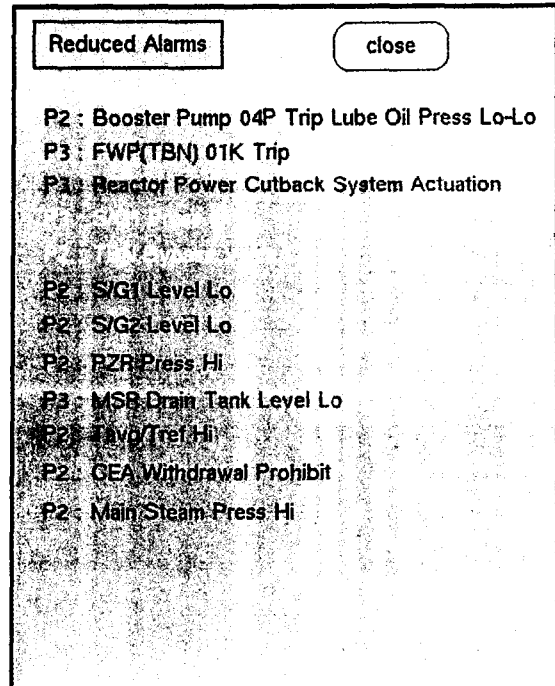
<그림 3> 발생된 원시경보 목록



<그림 5> "S/G 1 Press Hi"에 대한 경보억제 논리도



<그림 4> "Booster Pump Lube Oil Pr. Lo"에 대한 경보 억제 논리도



<그림 6> 경보논리에 의하여 처리된 감축경보 목록