

실시간 경보처리 및 진단 병합 알고리즘 개발

The Combined Algorithm on the Time-Based Alarm Processing and Diagnosis for Power Plants

°정학영*, 박현신*

*전력연구원 시스템통신연구소 (Tel:+82-42-865-5731;Fax:+82-42-869-3210;E-Mail:hyjung@kepri.re.kr)

Abstracts A Combined Algorithm called APEXS(Alarm Processing and Diagnosis Expert System) for power plants has been developed on the time-based alarm processing with a proper alarm prioritization and a diagnosis with a qualitative model (QM), qualitative interpreter(QI), and a state-transition trees (STT).

Keywords Alarm processing, Diagnosis, Plant qualitative modeling, Inference

1. 서론

경보처리 및 고장진단 시스템은 1979년 TMI원전 사고이후에 전세계적으로 여러가지 경보처리와 고장진단에 관한 방법들이 개발되었고 현재에도 계속 개발되고 있다[1-13]. 이러한 방법들은 실제적용에 있어서는 발전소와 같은 복잡한 플랜트에 대해서는 한계를 보이고 있다.

본 논문에서는 APDXS란 경보처리 및 진단용 병합 시스템이 개발되었다. 경보처리 방식은 표면적으로는 인과관계(Cause-consequence)수목을 그 근간으로 하지만 Caused Alarm 결정시에 경보 발생시간 정보와 alarm prioritization 기법을 채택한다. 실제 발전소의 적용을 위하여 본 연구에서는 각 운전 모드에 따른 경보 인과관계 수목과 경보 privatization에 의한 경보진단과 모델을 활용한 전처리 Meta-rule을 도입하였다. 또한 고장진단을 위하여 경보처리 과정에서 추론된 causal alarm을 활용하는데, causal alarm과 관련이 깊은 센서들의 정성적 모델과 고장에 따라 특징적으로 변하는 상태들을 모델링하여 정성적 해석기를 통하여 진단을 수행하게 된다. 정성적 해석기 고장과 관련이 깊은 것으로 간주되는 센서들의 동향상태의 3가지 정성적량인 '증가', '정상', 및 '감소'의 Fuzzy 변수에 대한 confidence factor를 출력한다. 그리하여 추론 기관을 활용하여 가능한 고장을 진단하는데 이 추론 기관을 'min-max' operation을 이용하여 과거 센서 data의 window size내의 센서동향의 상태와 match 시키는 역할을 한다. 또한 고장들에 대한 가능성의 정도를 동적으로 변화시켜서 운전원이 상황에 따라 조치 순서를 다르게 할 수 있도록 하였다. 이러한 방법으로 대상 발전소인 서울화력 4호기에 발생하는 경보들의 대해 적용한다.

1장의 서론에서 경보처리 및 고장진단에 관한 일반적인 상황을

기술하였으며, 2장에서는 경보처리 알고리즘과 고장진단 알고리즘에 관하여 설명한다. 끝으로 3.4장에서는 모의실험 환경과 실험 결과를 보인다.

2. 이상예측 및 진단시스템의 설계

2.1 이상예측(경보처리)시스템

이상진단 시스템 설계를 위하여 전체적인 구조를 보면 그림1과 같이 제안을 할 수 있다. 현장 계기에서 신호를 입력받아 시스템에서 사용될 수치(Engineering Unit)로 변환하게 된다. 그다음 단계로 신호 검증 단계를 거치게 되는데 여기에서는 불필요한 신호(Spurious Signals)제거와 신호검증이 있게 되는데 이 과정에서 센서 고장 유무도 확인하게 된다. 신호 검증방법에는 주로 Hardware Redundancy Voting (HRV) 방법과 Analytic Redundancy Voting(ARV)이 사용된다.

일단 검증된 여러 목적에 맞게 처리하여 발전소 운용에 활용된다. 발전소 상황은 정상운전, 비정상운전, 비상운전등으로 나눌수가 있는데 비정상(이상)운전시나 비상운전시에는 가능한한 그 원인 규명이 신속·정확해야 한다. 이를 위하여 발전소 상황을 분석하고 정상운전 조건이 항상 점검돼야 하는데 발전소 이상 조직을 식별하는 Module이 따로 있어야 한다. 이를 Plant Status Identification Module (PSIM)이라 하며 여기에는 발전소 계통별 실시간 효율 및 성능 계산시, 부하별 정상운전치 비교기 등의 기능이 있다. 만약 PSIM에서 계산결과 이상의 징후가 나타나거나 어느 사건에 의해 경보가 발생되면 Plant Abnormal Symptom Module(PASM)에서 정확한 증상을 구분하게 된다. 여기에는 미리 계산된 Transients별 Plant Behavior의 Data Base와 경보별

정보 Sheet 우선순위 결정 규칙, 운전 모드별 경보 Tree 및 경보처리 지식 베이스등을 이용한 경보처리기능을 갖고 있다.

Fault Identification/Isolation Module(FIIM)에서는 예측 Simulator로부터의 Plant 예측치와 PASM의 징후를 가지고 실제로 그 발전소 이상의 원인을 찾고 조치 사항을 신속하게 Treatment and Action Module(TAM)을 통하여 운전원에게 제시하게 된다.

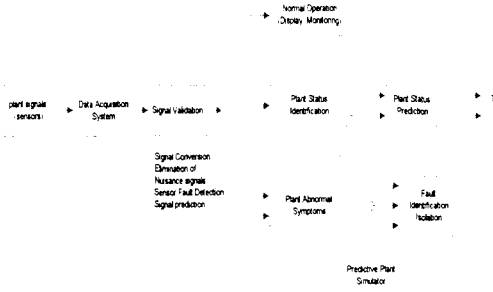


그림 1 이상예측 및 진단시스템 계통 개략도

Fig. 1 Schematic diagram for Predictive abnormal diagnostic system

이러한 개념으로 개발한 경보처리 및 고장진단 시스템의 구조는 (그림2)과 같다. 계층적 분산 구조와 모듈화 개념에 의거한 확장성(Extendability), 유연성(Flexibility)이 용이하도록 시스템을 구성하였으며, 전체 시스템은 몇 개의 부시스템으로 구성된다.

Interface)로 프로그램하였다. 또한 각 모듈 사이에 통신서버를 두어 원활한 통신이 이루어 지도록 하였다. 경보처리 및 고장진단 모듈에 대한 자세한 설명을 다음 장에서 한다.

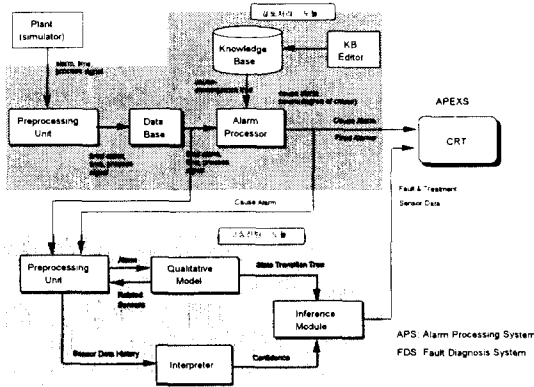


그림 2 APEXS 구성도

Fig. 2 Architecture of APEXS

PSAM에 해당하는 경보처리 시스템은 고장진단 시스템이나 발전소 감시 시스템 등을 포함하는 운전자 지원시스템의 일부로서 다중경보의 발생시 원인을 찾아내고 이에 대한 적절한 조치사항을 운전자에게 알려주는 시스템이다. 본연구에서 수행되는 경보

처리 및 고장진단의 전체과정을 (그림 3)에서 보인다. 추론규칙등을 설명한다.

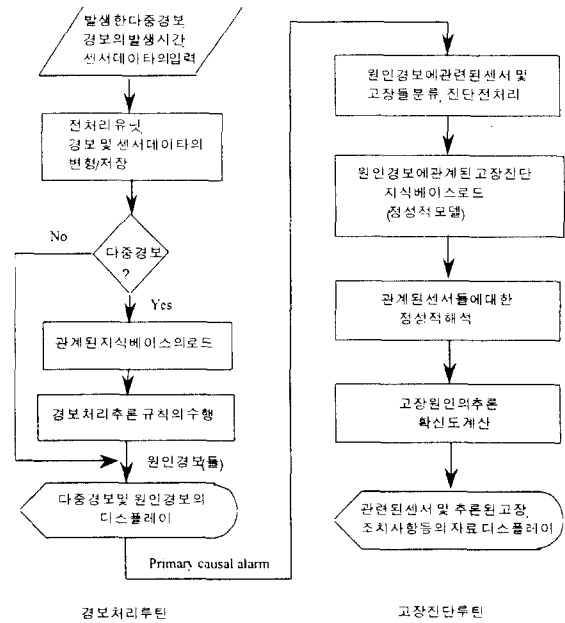


그림 3 경보처리 및 고장진단 흐름도

Fig. 3 Flowchart of Alarm Processing and Fault Diagnosis

이들경보들은 현재 발전소의 어떤 상태를 나타내느냐에 따라 3가지로 분류를 한다. 즉 발전소의 상태를 나타내는 경보(Plant State Alarm)와 기기의 고장, 부품의 고장을 나타내는 트립경보(Trip alarm)와 발전소의 트립시 발전소의 안전을 위하여 자동적으로 일어나는 연동에 의한 경보(interlock alarm)의 세가지로 구분한다. 연동동작에 의한 경보들은 발전소의 일시 정지시 발생하는 경보들로서 발전소의 일시 정지시 운전원들에게 혼란을 가중시킬 우려가 있으므로 경보의 처리에서는 이들을 제거하게 된다. 그리고 이들보들사이의 우선순위는 유체흐름방향, 물리변수의 상호관계, 배관연결성 및 전파시간 지연 등을 고려한 Physical Flow Mechanism, 운전원의 경험적 지식, 계통분석, 배전반에 설치되어 있는 경보 패널에서의 색깔등으로 구분되어 있는 경보의 중요도 및 기타 관련자료의 분석으로 결정하며 발전소의 트립에 관계된 경보일수록 트립에 이르는 시간이 짧은 경보일수록 높은 순위를 갖는다. 우선순위가 높은 경보일수록 발전소의 안전과 발전소의 트립과 깊이 관련된 경보이다. 실제 운전원들도 다중경보의 발생시 경보의 우선순위가 높은 경보로부터 처리를 하고 있다. 경보의 우선순위는 0과 100사이의 값으로 한다.

다중으로 발생한 경보들은 경보발생시간을 경보처리에 이용한다. (그림 4)과 같은 원인-결과 트리를 생각해 보면

Alarm1부터 Alarm5까지의 모든 경보가 발생하였다고 가정하면 그 발생순서에 따른 원인 경보는 표1과같이 매우 다양하다. 발생 순서를 전혀 고려하지 않은 경우(사례1)는 경보가 트리의 인과관계의 순서대로 발생한 경우(사례2)와는 일치하지만, 실제로 경보가 이와 같은 순서로 발생하지 않았다면(사례3, 4, 5) 원인이 되는 경보를 누락하게 될 우려가 있다는 것을 알 수 있다.

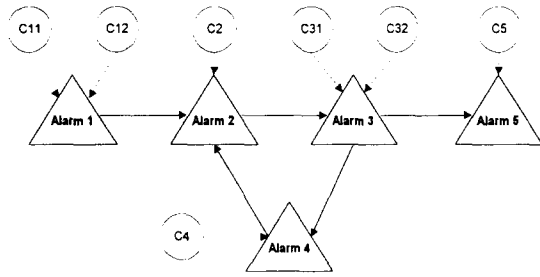


그림 4 간단한 원인-결과 트리의 예
Fig. 4 Example of simple cause-consequence tree

표 1 경보 발생 순서에 따른 원인 경보의 변화
Table 1 Alarm Sequences according to their occurred times

사례	경보발생순서	원인 경보
1	발생순서를 고려하지 않음	1
2	1-2-3-4-5	1
3	2-3-4-1-5	1, 2
4	1-4-3-2-5	1, 3, 4
5	5-4-3-2-1	1, 2, 3, 4, 5

경보추론과정을 살펴보면 다음과 같다. 경보들은 발생시간과 꼬리표를 가지고 있다. 즉 A_0 의 경보가 t_0 시간에 발생하였고, A_n 경보가 t_n 시간에 발생하였다. 경보처리의 시간은 t_0 와 t_n 시간사이의 t_s 에서 수행한다

경보의 발생시간을 이용한 추론 규칙은 아래의 (표2)와 같다
규칙1과2는 다중경보의 발생시를, 규칙3은 동시간대에 다중경보가 발생했을때에 경보의 우선순위 규칙에 의하여 원인경보를 추론한다. 만약 규칙 1,2 와 규칙 3과의 추론 결과가 서로 상이할 시에는 규칙3의 결론에 더 우선순위를 둔다.

2.2 고장진단 시스템

본 연구에서는 발전소의 상태를 가장 잘 알고 있는 운전원들의 전문적인 지식과 발전소의 구조별 및 기능별 분석을 통하여 구성된 정성적 모델(Qualitative Model)과 플랜트 각부분의 고장(Fault) 발생시의 고장에 관련된 센서(Sensor)들의 변화 추이를 정성적으로 판단하는 정성적 해석기(Qualitative Interpreter), 그리고 이것들로부터 현재 어떤 고장이 발생했는지를 판단하는 추론모듈(Inference Module)로 구성되어 있다.

고장진단 루틴은 (그림 2)에서처럼 경보처리 루틴에서 처리되어 출력된 (원인)경보들과 플랜트로부터의 센서 데이터들을 이용하여 오프라인(Off-Line)으로 구성된 정성적인 모델과 정성적 해석기를 이용하여 고장 부위를 진단한다.

정성적 해석기(QI)에서는 (그림 2)에서 처럼 전처리 유니트로부터 입력된 현재 진단할 경보에 대한 센서값들과 이들의 기울기를 이용하여 경보를 유발하는 고장들의 정성적인 상태에 대한 확신도(Confidence)를 계산한다. 여기에서는 센서값들의 변화형

표 2 추론 규칙
Table 2 Inference rules

규칙번호	규칙내용
규칙 1	[IF] 선택경보 (t_s 시간에 발생)에 대해 다중경보중 $t_0 < t < t_s$ 내에 선행경보가 존재하면 [THEN] 선택경보 제거
규칙 2	[IF] 선택경보 (t_s 시간에 발생)에 대해 다중경보중 $t_0 < t < t_s$ 내에 선행경보가 존재하지 않으면 [THEN] 선택경보 선택
규칙 3	[IF] 선택경보 발생시간 $t=t_s$ 에 동시 다중경보가 존재하면 [THEN] 경보우선 순위에 따라 원인경보 선택
규칙 4	[IF] 선택경보가 기기의 트립에 관계된 경보이면 [THEN] 선택경보 선택
규칙 5	[IF] 선택경보가 다중경보중에서 발전소의 연동에 관련된 경보이면 [THEN] 선택경보 제거

태를증가(Increase), 정상(Steady), 감소(Decrease)의 세가지 상태로 모델링하였으며, 증가, 정상, 감소 상태의 각각에 대한 확신도는 아래의 식에서와 같이 계산된다.

단, 여기서 C 는 CF_{inc} 또는 CF_{dec} 가 0.5가 되는 차단 기울기(Cut-off Slope)이며 a 는 확신도 함수의 민감도(Sensitivity)를 변화시키는 파라미터이다. a 값이 매우 크면 CF 는 계단 함수가 되며 $a=0$ 면 $CF_{inc} = CF_{dec} = 0.5$, $CF_{std} = 0$ 가 된다.

$$CF_{inc} = \frac{1}{1 + \exp a (1 - slope/C)}$$

$$CF_{dec} = \frac{1}{1 + \exp a (1 + slope/C)}$$

$$CF_{std} = 1 - CF_{inc} - CF_{dec}$$

정성적 해석기에서는 이상에서 구한 센서값의 현재 상태에서의 증가, 정상, 감소상태에 대한 확신도 값들에 퍼지(Fuzzy) 이론에서의 Min-Max 알고리즘을 적용하여 최종적으로 각 센서값들에 대하여 하나의 정성적인 상태값과 그에 대한 확신도를 출력한다. 정성적인 모델(Qualitative Model)은 발전소의 운전 전문가들의 지식을 바탕으로 하여 각 고장들에 대한 센서 값들의 변화 형태를 정성적으로 구성한 지식베이스로서 오프라인(Off-Line)으로 구성되어 진다. 정성적 모델에서는 먼저 각 경보들에 관련된 고장들과 센서들을 분류하고, 각 고장이 일어났을 때의 센서들의 변화 추이를 정성적인 상태값으로 모델링한다. 플랜트의 고장 유형에 따라 센서값의 트렌드 변화가 다르게 나타나므로, 본 논문에서는 이와 같은 각 고장에 따른 센서들의 트렌드 변화를 운전원들의 전문 지식과 발전소의 기능별, 구조별 분석된 자료를 이용하여 정성적인 모델을 구성하였다. 정성적 모델에서는 센서값(Value)과 센서값의 변화(Slope)를 이용하여 구성하며, 센서에 있

어서는 경보 발생의 설정치가 되는 주센서(Dominant Sensor)와 그외의 센서들로 구성된 부센서(Sub-dominant Sensor)로 구분하였다.

(그림 5)에서는 하나의 주센서와 부센서로 이루어진 두 개의 센서에 있어서 일어날 수 있는 트렌드의 변화를 보인다. 이때 가능한 트렌드의 변화는 (그림 5)에서처럼 6가지가 있을 수 있다. 그리고 정성적 해석기를 통하여 구한 각 상태에서의 기울기의 정성적 상태를 이용하여 6가지 경우에 대하여 타입(Type)을 표기하고 이를 코딩하였으며, 각 고장에 대하여 타입을 결정하여 지식화하였다. 타입 1에서는 부센서의 트렌드는 변화가 없고 주센서의 값이 증가하는 경우를 나타내었다. 타입 2에서는 두 센서의 값이 모두 증가하는 경우이고, 타입 3에서는 주센서는 증가하지만 부센서는 반대로 감소하는 현상을 나타내고 있다. 타입 4에서는 주센서의 값은 감소하고 부센서는 일정한 값을 유지하고 있다. 타입 5에서는 두센서 모두 감소하며, 타입 6에서는 주센서는 감소하나 부센서의 값이 증가하고 있음을 볼 수 있다

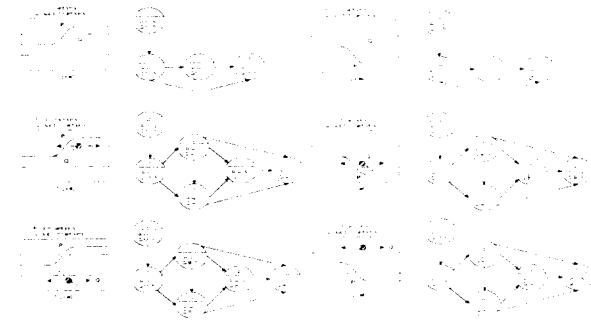


그림 5 두 센서(주센서 1, 부센서 1)에서 가능한 트렌드의 변화
Fig. 5 Possible trend variation for two type sensors

고장 추론과정에서는 경보처리 과정에서 처리된 원인정보와 정성적 모델에 저장되어 있는 정보들에 대한 자료(관련된 고장들, 센서들, 고장의 타입 등) 및 정성적 해석기의 출력인 고장에 관련된 각 센서들의 상태의 확신도를 바탕으로 현재의 센서의 상태값 및 상태의 변화(기울기)가 구성해 둔 정성적 모델과 매칭이 되는 것을 점검한다. 정성적 해석기의 출력이 (표 3)에서와 같고 (표 4)에서와 같이 정상상태와 고장 1, 고장 2에 대한 정성적 모델을 구성하였다면 정상상태에 대한 최종 확신도는 $\text{Min}(0.3, 0.2, 0.5)$ 에서 0.2이고, 고장 1에 대한 확신도는 0.5, 고장 2에 대한 확신도는 0.1과 같이 되고, $\text{Max}(0.2, 0.5, 0.1)$

표 3 센서 트렌드의 정성적인 해석 결과 예

Table 3 Result of qualitative analysis for the sensor trend

상태 \ 센서	증가	정상	감소
센서 1	0.5	0.3	0.2
센서 2	0.1	0.2	0.7
센서 3	0.2	0.5	0.3

표 4 고장에 대한 정성적 모델 예

Table 4 Example of qualitative model for a fault

상태 \ 센서	정상	고장 1	고장 2
센서 1	정상	증가	증가
센서 2	정상	감소	증가
센서 3	정상	정상	감소

에서 0.5가되어 고장1이 발생했을 가능성이 가장 크게 나타나므로 진단 결과는 고장1이 매칭된다. 매칭이 되었을 경우 기울기를 구하는 윈도우를 이전 시간으로 이동하여 다시 점검을 하고 확신도를 높여 준다.

3. 모의실험

3.1 모의실험 환경 및 고장발생기

모의실험을 위한 환경은 (그림6) 과 같이APEXS 개발 호스트인 APS로서 워크스테이션을 이용하였고 공정제어를 위해 핵심이 되는 프로세서 모듈로는 모듈 자체에 네트워크를 위한 이더넷(Ethernet) 포트를 내장하고 있으며 CPU30 보드를 사용하였다. 대상 플랜트인 서울화력 4호기 발전소의 시스템을 디지털로 구현한 시뮬레이터는 CPU33에서 수행한다. CPU30과 CPU33은 VME BUS에 접속되어서 전체적으로 SUN 시스템이 네트워크를 통해 정보를 주고 받게 된다. 실시간 운영체제인 VxWorks를 구축하여 CPU30과 CPU33이 부팅시에 VxWorks 관련 화일을 LAN(Local Area Network)을 통해 RAM에 상주시켜서 프로세서 모듈에서 실시간 목적을 위해 이용한다. 아래에서 각부분에 대한 자세한 설명을 한다.

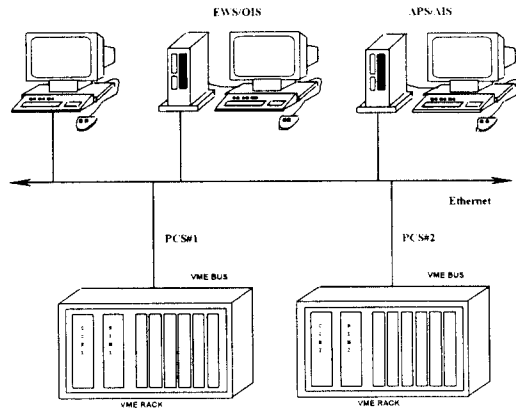


그림 6 모의실험 환경

Fig. 6 Configuration of experiment system

본 논문에서는 개발한 APEXS의 성능을 검토하기 위하여 임의로 플랜트의 고장을 모의 할 수 있는 고장발생 모의 시스템을 구축하였다. ASM(Auto Manual System)에서 수동으로 플랜트의 밸브나 계기 등을 임의로 조작을 하여 시뮬레이터의 상태값을 변화시켜 고장을 발생하도록 하였다. 고장의 형태를 보면, 제어

입력을 주었을 때 원하는 출력이 나오지 않거나, 출력이 입력에 관계없이 변하거나 일정하게 유지되는 경우 등의 입력과 출력과의 관계가 비정상적으로 동작하도록 하였으며, 이들의 고장에 대하여 관련된 경보들이 발생하게 된다.

3.2 모의실험 결과

경보처리 및 고장진단 전문가 시스템의 성능을 확인하기 위하여 우선 시뮬레이터에 임의로 원하는 고장을 일으킬 필요가 있다. 고장발생기를 통하여 고장이 발생했을 경우, (그림7)에서와 같이 발생한 경보들을 화면에 보여주고 경보처리된 결과를 보여주게 된다.

여기에서 예를보면 현재 발생한 경보들은 "AUX_STM_PR_LOW", "FO_ATOM_STM_DIFF_PR_LOW", "MAIN_STM_TEMP_HIGH_LOW", "RH_STM_TEMP_HIGH_LOW", 및 "BLR_AIR_GAS_STM_TEMP_HIGH" 이었고 경보처리 시스템으로부터 필터링된 원인정보는 "AUX_STM_PR_LOW"와 "FO_ATOM_STM_DIFF_PR_LOW"이다. 이 원인경보들은 고장진단 시스템의 입력으로 사용되어지며 그 결과가 우측하단 화면에 표시된다. "보조증기 압력 저(AUX_STM_PR_LOW)" 경보에 대한 발생할 수 있는 고장들을 나타내고, 이들에 대한 가능성의 정도를 %로 나타낸다. (그림 8)는 고장진단 화면으로 진단에 사용되어진 센서 데이터들에 대한 Trend를 표시하고 각 고장들에 대해 조치사항을 안내해주어 운전원이 즉시 조치를 할 수 있도록 도와준다. 여기에서 보면 압력 제어 밸브 256번을 먼저 점검하고, 보조증기 계통에 관계된 밸브들을 점검하라는 메시지를 준다.

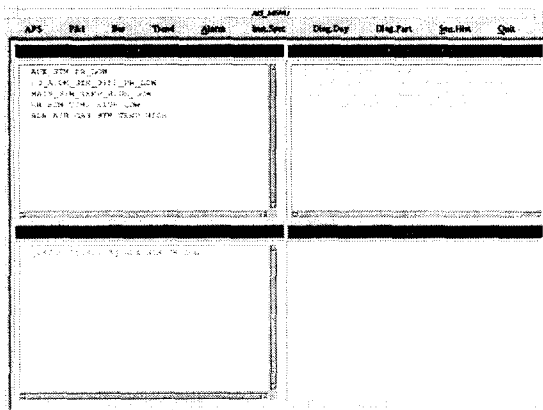


그림 7 경보처리 화면
Fig. 7 Display of alarm processing

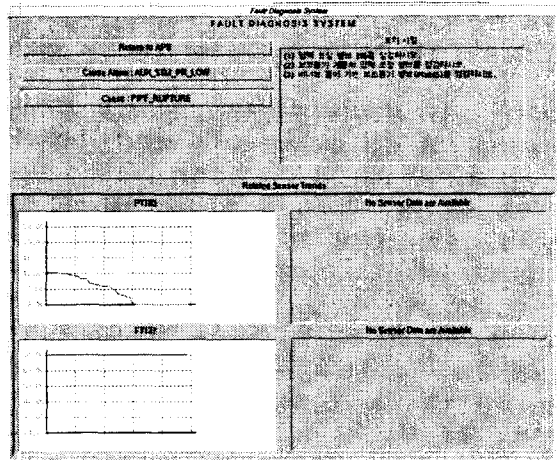


그림 8 Trend 화면
Fig. 8 Display of fault diagnosis

4. 결론 및 추후 연구 과제

본 논문에서는 개발한 발전소용 경보처리 및 고장진단 시스템인 APEXS에 관하여 설명하였다. APEXS에서는 발전소의 이상으로 인한 경보의 발생시 이들 경보들 중에서 원인이 된 경보를 찾아내고, 이 원인경보에 대해 실제 일어난 고장을 진단하여 운전원에게 보여주고 기타 운전원 지원을 위한 사용자 인터페이스 화면을 구성되어 있다. 경보처리 알고리즘에서는 발생한 다중경보들에 대하여, 오프라인으로 구성한 원인-결과 트리의 지식베이스와 경보의 발생순서를 고려한 추론 방법으로 원인경보를 추론한다. 고장진단 모듈에서는 추론된 원인경보들에 대해서 고장들과 관련된 센서들의 트렌드를 분석하여 정상적인 모델과의 매칭을 통하여 고장을 진단한다. 여기서는 정상적인 모델링을 통하여 발전소와 같은 복잡한 시스템의 모델링을 쉽게하고자 하였으며, 운전원들의 전문적인 지식을 이용하여 상태-천이 트리를 구성하여 고장의 진단에 있어 신뢰성을 더하고자 하였다. 본 논문에서는 고장을 구분하기 위해 필요한 두 개의 센서(주센서, 부센서)에 관해서만 상태-천이 트리를 구성하였으나, 두 개의 센서 트렌드만으로는 고장의 구분을 하기 힘든 경우에는 3개 이상의 센서들에 대한 상태-천이 트리를 구성하여 진단을 할 수 있다. 또한 고장진단뿐만아니라, 상태-천이 트리 위에서의 트렌드의 예측도 가능하다. APEXS에서의 경보처리 모듈에서는 센서의 고장을 다루고 있지 않으며, 고장진단 모듈에 있어서도 센서 트렌드의 방향성을 구할 때에 센서값들의 크기에 따라서 파라메타를 튜닝해야 하는 단점이 있다.

APEXS는 비교적 개방적인 구조로 설계되었으므로, 여타 발전소에 활용이 가능하고, 나아가 일반적인 산업 공정의 고장진단 시스템으로의 활용 기술 개발이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] S.W. Cheon, S.H. Chang and H.Y. Chung, "Development Strategies of Expert System for Multiple Alarm Processing and Diagnosis in Nuclear Power Plants", IEEE Trans. on Nuclear Science vol.40, no.1, pp.21-30, 1993
- [2] J.O. Yang and S.H. Chang, "An Alarm Processing System for a Nuclear Power Plants Using Artificial Intelligent Techniques", Nuclear Technology vol.95, pp.266-270, 1991
- [3] S.W. Cheon and S.H. Chang, "Application of Neural Networks to Multiple Alarm Processing and Diagnosis in Nuclear Power Plants", IEEE Trans. on Nuclear Science vol.40, no.1, pp.31- , 1993
- [4] B. Frogner and C.H. Meijer, "On-line Power Plant Alarm and Disturbance Analysis System", Electric Power Research Institute(EPRI) Project Report-1397, 1980
- [5] H.E. Dijk and N.V. Kema, "AI-Based Techniques for Alarm Handling", Third Sympo. on Expert Systems Application to Power Systems, Tokyo, April, 1991
- [6] P.D. Domenico, E. Mah, D. Corsberg, J.Somsel, J.K. Channant and J. Naser, "Alarm Processing System", Conference on Experts Applications for the Electric Power Industry, Orlando, Florida, June 1989
- [7] P.A. Sachs, A.M. Paterson, and M.H.M. Turner, "Escort : an Expert System for Complex Operations in Real Time", Expert Systems, vol.3, no.1, Jan. 1986
- [8] N. Naito and S. Ohtsuka, "Intelligent Alarm Processing System for Nuclear Power Plants", Nuclear Technology vol.109, pp.255-264, 1995
- [9] S. Padalkar, G. Karsai, C. Biegl, and J. Sztipanouts, "Real-Time Fault Diagnostics", IEEE Expert, vol.6, no.3, pp.75-85, 1991
- [10] K.S. Kang, "A Study on the Development of the on-Line Operator Aid System using Rule Based Expert System and Fuzzy Logic for Nuclear Power Plants", Ph.D Dissertation, KAIST Dept. of Nuclear Eng., 1995
- [11] J.M. Vinson and L.H. Ungar, "Dynamic Process Monitoring and Fault Diagnosis with Qualitative Models", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol.25, no.1, Jan. 1995
- [12] J. Zhang and A.J. Morris, "Process Fault Diagnosis Using Fuzzy Neural Networks", Proceeding of the American Control Conference, Boltmore, Mayland, June 1994
- [13] A. Waters, and J.W. Ponton, "Qualitative Simulation and Fault Propagation in Process Plants", Chem.. Eng.. Res.. Des., vol.67, July 1989