

경보처리 기반 진단 시스템 개발

정학영*·박현신**

Development of Diagnosis System Based on Alarm Processing

Hak-Yeong Chung*·Hyun-Shin Park**

요 약

본 논문은 화력발전소 적용을 위한 경보처리 기반 고장진단 전문가 시스템(APDX(Alarm Processing and Diagnosis Expert System)) 개발에 관하여 논의한다. 본 연구에서 제시된 경보처리 알고리즘은 근본적으로는 경보 인과관계 트리를 사용하고 있으나 최종 원인 경보선택에 있어서는 경보 발생시간과 경보 우선순위 Meta-Rule를 활용한다. 경보처리 모듈에서 처리된 원인경보를 근거로 하여 본 원인경보와 관련된 고장부위를 진단하게 된다. 진단모듈에서는 경보에 관련된 센서들과 고장들 사이의 관계를 정성적으로 모델링하고 센서들의 트렌드를 정성적 해석기로 분석하여 증가, 정상, 감소의 세가지 상태에 대한 신뢰도를 출력한다. 또한 각 경보로부터 고장이 예상되는 고장타입을 센서 친이도로 모델링하여 진단에 활용된다. 최종적으로 추론모듈에서 퍼지(Fuzzy) 추론 알고리즘을 이용하여 모델된 고장 타입과 계산된 고장과의 매칭과정을 통하여 진단을 수행하게 되며, 계산 창(Window)를 변경하면서 고장을 재 확인하게 된다.

주제어 : 경보처리, 진단, 정성적 모델

*전력연구원 시스템통신연구소 책임연구원(공학박사)

**전력연구원 시스템통신연구소 선임 연구원(석사)

1. 서론

계기 및 시스템의 고장, 운전원의 실수등으로 나타나는 발전소의 이상상태(Abnormal State)를 운전원에게 알려주는 경보(Alarm)는 발전소 운전 상태 파악에 있어서 매우 중요한 신호이다. 경보는 발전소의 이상상태를 나타내어 운전에도움을 주고자 하는데 목적이 있으나 여러개가 동시에 발생할 경우에는 오히려 운전원들이 발전소의 상태를 파악하는데 인지부담(Cognitive Load)을 주게 된다. 이러한 경보들은 대부분 하나의 고장으로 인해 그 원인이 파악되어 거의 동시에 발생하므로 다중경보(Multiple Alarms)의 발생시 원인경보(Causal Alarm)를 찾아주고 이들 각 경보들에 대한 고장 원인을 진단하여 그 결과와 제어사항 및 순서를 운전원에게 알려주어 신속한 조치가 이루어 질 수 있도록 도와주는 경보처리 및 고장진단 시스템의 개발이 요구된다[1][2].

이러한 경보처리 및 고장진단 시스템은 1979년 TMI원전 사고이후에 전 세계적으로 여러가지 경보처리와 고장진단에 관한 방법들이 개발되었고 현재에도 계속 개발되고 있다[1-13].

경보처리 방법에 있어서는 예를 들면, 경보들 사이의 관계를 트리 형태로 구성하여 발생한 경보들에 대해 원인 경보를 탐색하는 방법[3], 고장원인과 경보와의 인과관계트리(Cause-consequence Tree)를 구성하여 추론하는 방법[4], 경보들이 발생하는 패턴을 신경회로망으로 학습시켜 새로운 경보의 패턴에 대해서도 적절한 원인 경보를 추론할 수 있게 하는 추론 방법[5], 발전소의 상태를 분류하여 발생한 경보들이 현재의 상태에 해당하는 경보이면 우선 순위를 높여주고 그렇지 않으면 낮추어 줘서 운전원의 판단을 도와

주는 방법[6], 발전소의 각 부분에 대한 모델을 만들어 발전소의 상태값으로부터 고장원인을 찾아내는 방법[7]등의 방법들이 연구되어 오고 있다. 고장진단에 있어서도 정성적인 모델과 정성적 시뮬레이션을 이용한 방법[8], 정성적인 모델과 정량적인 모델을 동시에 이용한 방법[9], 발전소와 같은 복잡한 시스템을 기능적 구조적으로 구분하여 이들을 계층적으로 나타내어 추론시간을 단축하고자 한 방법[10], 이산사건 모델링을 통한 고장진단 방법[11]등의 여러가지 방법들이 발표되고 있으나 이들의 적용에 있어서는 발전소와 같은 복잡한 시스템에서는 한계를 보이고 있다.

본 논문에서는 APDX(Alarm Processing and Diagnosis Expert System)이란 경보처리 및 진단용 병합알고리즘이 개발되었다. 경보처리 방식은 표면적으로는 인과관계트리(Cause-consequence Tree)을 그 근간으로 하지만 원인경보결정시에 경보 발생시간 정보와 경보우선순위화 기법을 채택한다. 실제 발전소의 적용을 위하여 본 연구에서는 각 운전 모드에 따른 경보 인과관계트리와 경보우선순위화에 의한 경보전파 모델을 활용한 전처리 Meta-Rule을 도입하였다. 또한 고장진단을 위하여 경보처리 과정에서 추론된 원인경보를 활용하는데, 이 원인경보와 관련이 깊은 센서들의 정성적 모델과 고장에 따라 특징적으로 변하는 상태들을 모델링하여 정성적 해석기를 통하여 진단을 수행하게 된다. 정성적 해석기는 고장과 관련이 깊은 것으로 간주되는 센서들의 동향상태를 3가지 정성적 량인 '증가', '정상', 및 '감소'의 퍼지(Fuzzy)변수에 대한 신뢰계수(Confidence Factor)를 출력한다. 이어서 추론 기관을 활용하여 가능한 고장을 진단하는데 이 추론 기관을 최대최소연산(Max-Min Operation)를 이용하여 과거 센서 데이터의 계

산창 크기(Window Size)내의 센서동향의 상태와 매칭시키는 역할을 한다. 또한 고장들에 대한 가능성의 정도를 동적으로 변화시켜서 운전원이 상황에 따라 조치 순서를 다르게 할 수 있도록 하였다. 경보처리 및 고장진단된 결과는 통신서버(Communication Server)에 의해서 사용자 접속 화면에 보내지며 그래픽 사용자 인터페이스에서는 이들의 출력과 조치순서등의 자료를 나타내어 준다. 이러한 방법으로 대상 발전소인 서울화력 4호기에 발생하는 경보들에 대해 적용한다.

1장의 서론에서 경보처리 및 고장진단에 관한 일반적인 상황을 기술하였으며, 2장에서는 개발한 경보처리 및 고장진단 알고리즘을 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 대략 [그림 1]과 같다. 현장 계기에서 신호를 입력받아 시스템에서 사용될 수치(Engineering Unit)로 변환하게 된다. 그 다음 단계로 신호 검증 단계를 거치게 된다. 그리고 2단계에서는 불필요한 신호(Spurious Signals)제거와 신호검증이 있게 되는데 이 과정에서 센서 고장 유무도 확인하게 된다. 신호 검증방법에는 주로 Hardware Redundancy Voting(HRV) 방법, Analytic Redundancy Voting(ARV)방법, 및 HRV와 ARV을 혼합하여 사용하고 있다. HRV 방법은 동질의 신호가 2개 이상의 채널을 통해 공급될 때

- 하나의 동질신호에 대해 3개 내지 4개의 채널로 공급되며

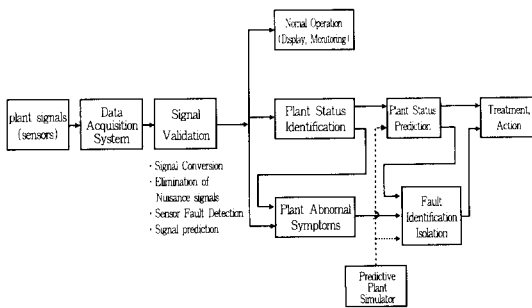
- 2/4, 3/4의 조건에 의해 건전한 신호를 결정하게 된다. 그리고 환경적인 요인과 경제적(고가의 센서)요인 및 보다 신뢰성이 높은 Voting 논리를 구현하기 위하여 신호예측 기법을 통한 ARV을 이용하기로 한다. ARV 논리에 사용되는 신호예측기법에는 Model-Based Prediction Filter(MBPF)가 대표적인 방법이다.

여기서 MBPF라함은 해당 계통의 열수력학적 모델을 통하여 신호를 예측하는 기법으로 Levinson 알고리즘, 공분산(Covariance)방법의 EFR(Exponential Forgetting and Resetting)알고리즘등이 있다.

Levinson 알고리즘은 과거의 데이터를 이용하여 미래의 값을 예측하는 것으로 예측오차 제곱의 평균값이 최소화되도록 계수들을 정해준다.

일단 검증된 신호는 여러 목적에 맞게 처리되어 발전소 운용에 활용된다. 발전소 상황은 정상운전, 비정상운전, 비상운전등으로 나눌수 있는데 비정상(이상)운전이나 비상운전시에는 가능한한 그 원인 규명이 신속·정확해야 한다. 이를 위하여 발전소 상황을 분석하고 정상운전 조건이 항상 점검돼야 하는데 발전소 이상을 조기에 식별하는 모듈이 따로 있어야 한다. 이를 발전소 상태 식별모듈(Plant Status Identification Module(PSIM))이라 하며 여기에는 발전소 계통별로 실시간적으로 효율 및 성능 계산, 부하별 정상운전치를 비교하는 기능이 있다. 만약 PSIM에서 계산결과로 이상징후가 나타나거나 어느 사건에 의해 경보가 발생되면 발전소 비정상증후 식별모듈(Plant Abnormal Symptom Identification Module(PASIM))에서 정확한 증상을 구분하게 된다. 여기에는 미리 계산된 천이상

태(Transients)별 발전소 거동(Plant Behavior)의 데이터베이스와 경보별 정보철(Information Sheet), 우선순위 결정 규칙, 운전 모드별 경보 트리 및 경보처리 지식 베이스를 이용하여 경보 처리를 하게 된다. 고장식별/분리 모듈(Fault Identification/Isolation Module(FIIM))에서는 시뮬레이터로부터의 발전소 예측치와 PASIM의 징후를 가지고 실제로 그 발전소 이상의 원인을 찾고, 그 조치 사항을 신속하게 대응조치 모듈(Treatment and Action Module(TAM))을 통하여 운전원에게 제시하게 된다.



[그림 1] 이상예측 및 진단시스템 개략도

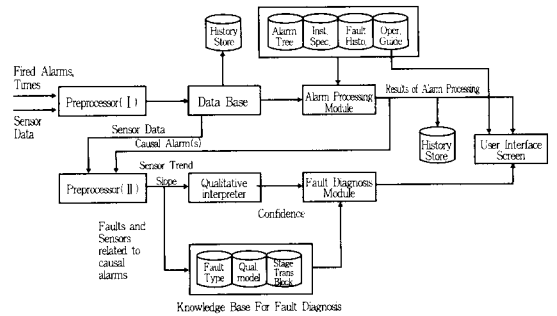
이러한 개념으로 본 연구를 통하여 개발된 경보처리 및 고장진단 시스템의 구조는 [그림 2]와 같다. 계층적 분산 구조와 모듈화 개념에 의거한 확장성(Extendability), 유연성(Flexibility)이 용이하도록 시스템을 구성하였으며, 전체 시스템은 몇 개의 부시스템으로 구성된다.

또한 각 모듈 사이에 통신서버를 두어 원활한 통신이 이루어 지도록 하였다. 경보처리 및 고장진단 모듈에 대한 자세한 설명을 다음 장에서 논의된다.

PASIM에 해당하는 경보처리 시스템은 고장진단 시스템이나 발전소 감시 시스템 등을 포함하는 운전자 지원시스템의 일부로서 다중경보의 발생시 원인을 찾아내고 이에 대한 적절한 조치

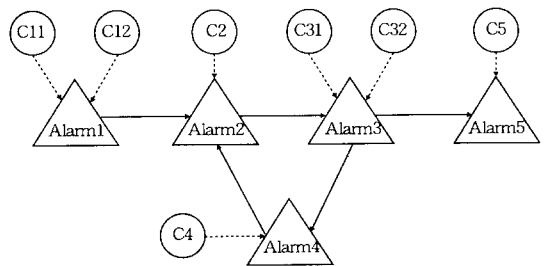
사항을 운전자에게 알려주는 시스템이다.

경보들사이의 우선순위는 유체흐름방향, 물리변수의 상호관계,배관연결성 및 전과시간 지연 등을 고려한 물리흐름 메카니즘(Physical Flow Mechanism), 운전원의 경험적 지식, 계통분석, 배전반에 설치되어 있는 경보 패널에서의 색깔등으로 구분되어 있는 경보의 중요도 및 기타 관련자료의 분석으로 결정하며 우선순위가 높은경보일수록 발전소의 안전과 발전소의 트립과 깊이 관련된 경보이다. 실제 운전원들도 다중경보의 발생시 경보의 우선순위가 높은 경보들부터 처리하고 있다.



[그림 2] APDX 구성도

다중으로 발생한 경보들은 경보 우선순위 정보와 더불어 경보발생시간을 경보처리시에 활용한다. 예를 들어 [그림 3]과 같은 원인-결과 트리를 생각해 보면, Alarm1부터 Alarm5까지의 모든 경보가 발생하였다고 가정하면 그 발생순서에 따른 원인 경보는 <표 1>과 같이 매우 다양하다.



[그림 3] 간단한 인과관계 트리의 예

〈표 1〉 경보 발생 순서에 따른 원인 경보

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

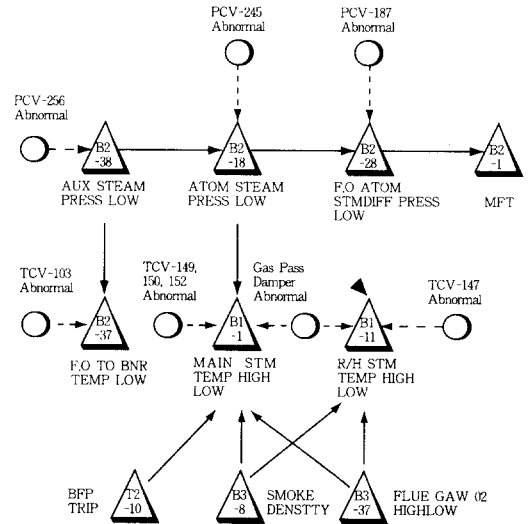
발생 순서를 전혀 고려하지 않은 경우(사례1)는 경보가 트리의 인과관계의 순서대로 발생한 경우(사례2)와는 일치하지만, 실제로 경보가 이와 같은 순서로 발생하지 않았다면(사례3, 4, 5) 원인이 되는 경보를 누락하게 될 우려가 있다는 것을 알 수 있다.

경보추론과정을 살펴보면 다음과 같다. 즉 경보들은 발생시간 꼬리표를 가지고 있다. A0의 경보는 t0시간에 발생하였고, An 경보가 tn 시간에 발생하였음을 나타내며, 경보처리 기준시각은 t0 와 tn 시간사이의 ts에서 수행한다. 그리고 경보의 발생시간을 이용한 추론 규칙은 아래의 〈표 2〉와 같으며 경보처리 지식베이스프레임은 [그림 4]에 그 한 예를 보여 준다.

〈표 2〉 추론 규칙(meta-rule)

규칙번호	규칙 내용
규칙 1	[IF] 선택경보(ts시간에 발생)에 대해 다중경보중 $t_0 < t < t_s$ 내에 선행경보가 존재하면 [THEN] 선택경보 제거
규칙 2	[IF] 선택경보(ts시간에 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

규칙번호	규칙 내용
규칙 4	[IF] 선택경보가 기기의 트립에 관계된 경보이면 [THEN] 선택경보 선택
규칙 5	[IF] 선택경보가 다중경보중에서 발전소의 연동에 관련된 경보이면 [THEN] 선택경보 제거



alarm : ATOM_STM_PR_LOW

priority : 50

선행경보 : AUX_STM_PR_LOW

후행경보 : FO_ATOM_DIFF_SOW
MAIN_STM_TEMP_H/L
RH_STM_TEMP_H/L

고장원인 : Strainer 막힘

순환제어 밸브 비정상

발생가능성 정도 : 0.5, 0.7, 0.3

발생기간 : 125.25(sec)

경보종류 : plant_state_alarm

[그림 4] 인과관계 트리와 지식베이스 예

규칙1과2는 다중경보의 발생시를, 규칙3은 동 시간대에 다중경보가 발생했을 때에 경보의 우선순위 규칙에 의하여 원인경보를 추론한다. 만약 규칙 1, 2 와 규칙 3과의 추론 결과가 서로 상이 할 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 구성한 정성적 모델(Qualitative Model)과 발전소 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 발전소로부터의 센서 데이터들을 이용하여 오프라인(Off-Line)으로 구성된 정성적인 모델과 정성적 해석기를 이용하여 고장 부위를 진단한다.

정성적 해석기에서는 [그림 2]에서 처럼 전처리 유니트로부터 입력된 현재 진단할 경보에 대한 센서값들과 이들의 기울기를 이용하여 경보를 유발하는 고장들의 정성적인 상태에 대한 신뢰도(C Confidence)를 계산한다. 여기에서는 센서값들의 변화형태를 최소자승(Least-Square) 알고리즘을 사용하여 트렌드의 기울기를 증가(Increase), 정상(Steady), 감소(Decrease)의 세가지 상태로 모델링하였으며, 증가, 정상, 감소 상태의 각각에 대한 신뢰도는 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 신뢰도함

수(CF)의 민감도(Sensitivity)를 변화시키는 파라미터이다. a 값이 매우 크면 는 계단 함수가 되며, $a=0$ 면, $CF_{std}=0$, $CF_{inc} = CF_{dec}=0.5$ 가 된다. 여기서, CF_{inc} 및 CF_{dec} 및 CF_{std} 는 각각 증가, 감소 및 정상 신뢰도 함수들을 나타낸다.

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

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

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

정성적 해석기에서는 이상에서 구한 센서값의 현재 상태에서의 증가, 정상, 감소상태에 대한 신뢰도 값들에 퍼지(Fuzzy) 이론에서의 최대최소연산을 적용하여 최종적으로 각 센서값들에 대하여 하나의 정성적인 상태값과 그에 대한 신뢰도를 출력한다.

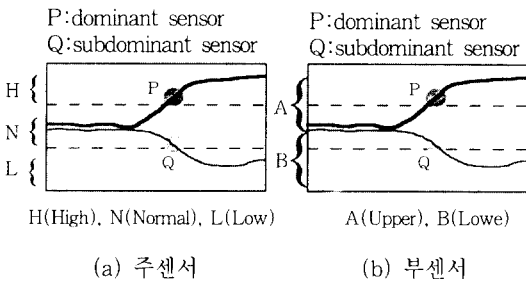
$$\text{즉, } \max (\min (CS_i^1, \dots, CS_i^n)) \quad (1)$$

$$i \in m$$

여기서 i 는 고장타입을 나타내며, 정수 n 및 m 은 각각 고장타입 i 과 관련한 센서수와 고장타입의 수를 나타낸다. 또한 CS_i^j 는 고장타입 i 센서 S_j 의 트렌드 신뢰도를 나타낸다.

정성적인 모델(Qualitative Model)은 운전자료와 발전소의 운전 전문가들의 지식을 바탕으로 하여 각 고장들에 대한 관련 센서 값들의 변화형태를 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. 발전소의 고장 유형에 따라 센서값의 트렌드 변화가 다르게 나타나므로, 본 논문에서는

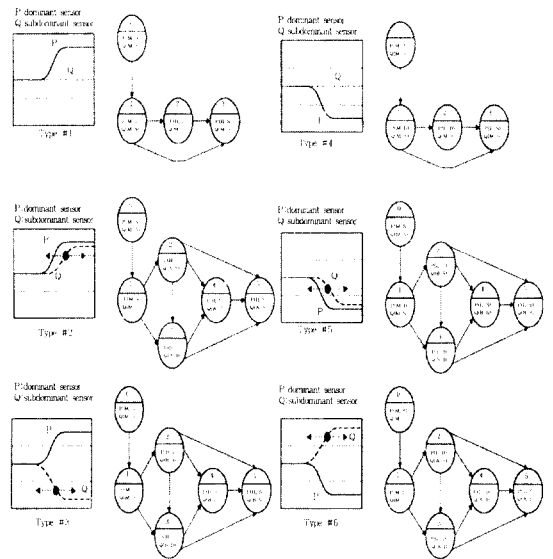
이와 같은 각 고장에 따른 센서들의 트렌드 변화를 운전원들의 전문 지식과 발전소의 기능별, 구조별 분석된 자료를 이용하여 정성적인 모델을 구성하였다. 정성적 모델에서는 센서값과 센서값의 변화(Slope)를 이용하여 구성하며, 센서에 있어서는 경보 발생의 설정치가 되는 주센서(Dominant Sensor)와 그외의 센서들로 구성된 부센서(Sub-dominant Sensor)로 구분하였다. 주센서의 값은 [그림 5]에서 처럼 3개의 정성적인 구간으로 나뉘어진다. 고(High) 경보의 발생 설정치와 저(Low) 경보의 발생 설정치가 되는 구간사이를 정상(N, Normal)상태, 그리고 High 경보의 설정치 이상의 구간에 해당하는 고(H, High)상태 및 Low 경보의 발생 설정치 이하의 구간에 해당하는 저(L, Low)상태의 3상태이다.



[그림 5] 주센서와 부센서의 정성적 구간

[그림 6]에서는 하나의 주센서와 부센서로 이루어진 두 개의 센서에 있어서 일어날 수 있는 트렌드의 변화를 보인다. 이때 가능한 트렌드의 변화는 [그림 6]에서 처럼 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 경우

를 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 6] 두 센서(주센서 1, 부센서 1)에서 가능한 트렌드의 변화

관련된 각 센서들의 상태의 신뢰도, 현재 센서의 상태값 및 상태의 변화(기울기)를 바탕으로, 고장 추론과정에서는 경보처리 과정에서 처리된 원인경보와 정성적 모델에 저장되어 있는 경보들에 대한 자료(관련된 고장들, 센서들, 고장의 타입 등) 및 정성적 해석기의 출력인 고장에 관델과 매칭이 되는 가를 점검한다. 정성적 해석기의 출력이 <표 3>에서와 같고 <표 4>에서와 같이 정상상태와 고장 1, 고장 2에 대한 정성적 모델을 구성하였다면

〈표 3〉 센서 트렌드의 정성적 해석결과 예

센서 \ 상태	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

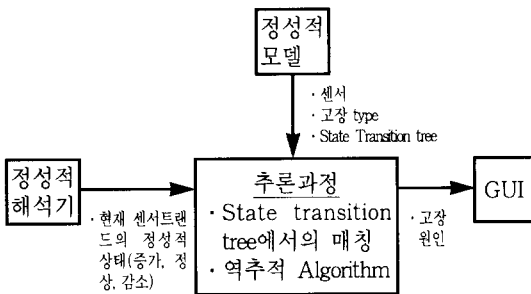
〈표 4〉 고장에 대한 정성적 모델 예

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

정상상태에 대한 최종 신뢰도는 (1)식에 의하여 $\text{Min}(0.3, 0.2, 0.5)$ 에서 0.2이고, 고장 1에 대한 신뢰도는 0.5, 고장 2에 대한 신뢰도는 0.1과 같이되어 그 계산결과는, $\text{Max}(0.2, 0.5, 0.1)$ 에서 0.5가 되어 고장1이 발생했을 가능성이 가장 크게 나타나므로 진단 결과는 고장1이 매칭된다. 매칭이 되었을 경우 기율기를 구하는 윈도우를 이전 시간으로 이동하여 다시 점검을 하고 확신도를 높여 준다.

2.3 예측진단

진단모델에서 수행되는 진단의 추론과정을 요약하면 [그림 7]와 같다. 즉,



[그림 7] 고장진단 추론 과정

① 각 원인경보에 관련된 고장원인 및 각 고장에 관련된 센서, 고장타입, 상태천이 트리를 입력한다.

② 관련 센서들의 현재 트렌드의 정성적 상태를 분석(트렌드 기울기 및 신뢰도(Confidence) 계산)한다.

③ ①항에서 계산된 상태천이 트리와 ②항과의 매칭을 수행한다.

④ (1)(식)에 의거 각 고장의 신뢰도를 구하고 상태 천이 트리상에서 역 추적하므로써 과거의 데이터와 트렌드의 분석을 통해 고장원인을 탐지한다.

이상과 같은 진단 추론과정은 실시간적으로 수행된다.

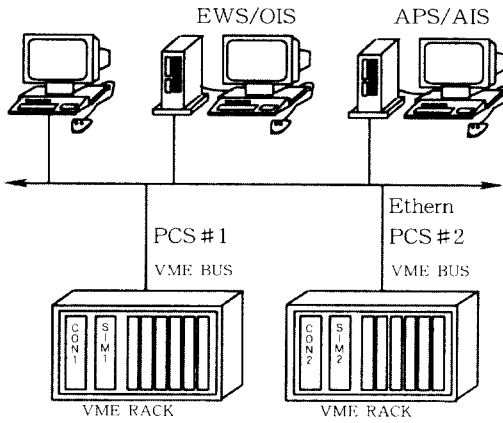
실제 진단 대상 계통의 이상은 경보가 울리기 전부터 나타나기 때문에 오프라인으로 계산된 각 고장타입에 대한 센서상태천이 트리상의 천이상태를 미리 다음 상태를 예견할 수 있으며 이에 관련한 고장 가능성을 예측할 수가 있다.

3. 모의실험

3.1 모의실험 환경 및 고장발생기

모의실험을 위한 환경은[그림 8]과 같이 APDX 개발호스트인 SUN 워크스테이션을 이용하였고 공정제어를 위해 핵심이 되는 프로세서 모듈로는 모듈 자체에 네트워크를 위한 이더넷(Ethernet) 포트를 내장하고 있으며 CPU30 보드를 사용하였다. 대상 발전소인 서울화력4호기 계통을 디지털로 구현한 시뮬레이터는 CPU33에서 수행된다. CPU30과 CPU33은 VME BUS에 접속되어서 전체적으로 SUN 시스템이 네트워크를 통해 정보를 주고 받게 된다. 실시간 운영

체제인 VxWorks를 이용하여 CPU30과 CPU33이 부팅시에 VxWorks 관련 화일을 LAN(Local Area Network)을 통해 RAM에 상주시켜서 프로세서 모듈에서 실시간 목적을 위해 이용한다.



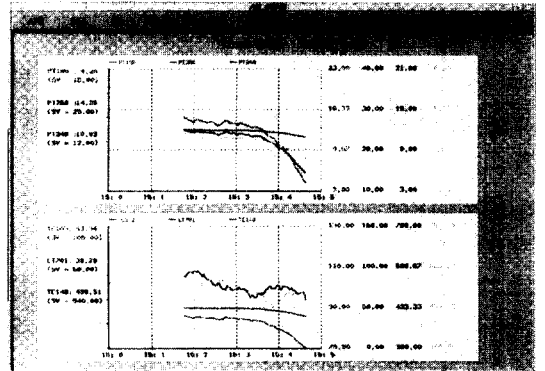
[그림 8] 모의실험 환경

본 논문에서는 개발한 APDX의 성능을 검토하기 위하여 모의 입력시스템을 구축하였다. AMS(Auto - Manual System)에서 수동으로 발전소의 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 입력 출력과의 관계가 비정상적으로 동작하도록 하였으며, 이들의 고장에 대하여 관련된 경고들이 발생하게 된다.

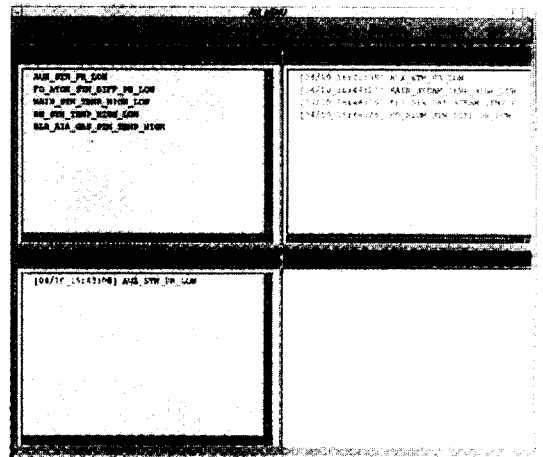
3.2 모의실험 결과

경보처리 및 고장진단 전문가 시스템의 성능을 확인하기 위하여 우선 시뮬레이터에 임의로 원하는 고장을 일으킬 필요가 있다. 고장발생기

를 통하여 고장이 발생했을 경우, 관련 센서데이터들의 트렌드[그림 9]와 발생한 경고들을 화면에 보여주고 경보처리된 결과를 보여주게 된다 [그림 10].



[그림 9] 관련센서 트렌드 화면

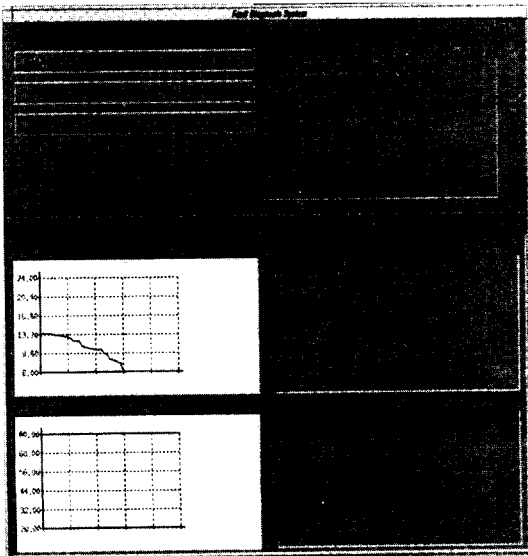


[그림 10] 경보처리 화면

여기에서 예를보면 현재 발생한 경고들은 "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 원인정보들은 고장진단 시스템의 입력으로 사용되어지며 그 결과가 우측 하단 화면에 표시된다. “보조증기 압력 저(AUX_STM_PR_LOW)” 경보에 대한 발생할 수 있는 고장들을 나타내고, 이들에 대한 가능성정도를 %로 나타낸다.

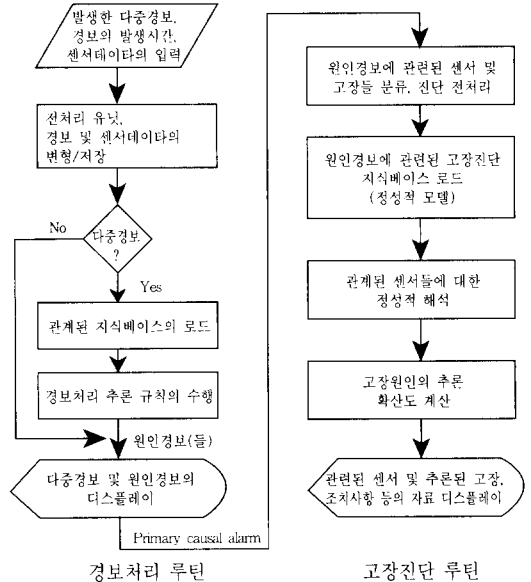
[그림 11]는 고장진단 화면으로 진단에 사용되어진 센서 데이터들에 대한 트렌드를 표시하고 각 고장들에 대해 조치사항을 안내해주어 운전원이 즉시 조치를 취할 수 있도록 도와준다. 여기에서 보면 압력 제어 밸브 256번을 먼저 점검하고, 보조증기 계통에 관계된 밸브들을 점검하라는 메시지를 준다.



[그림 11] 고장진단 화면

이상과 같이 경보처리를 베이스로 하는 고장진단 알고리즘을 전체의 한 흐름도로 나타내면

[그림 12]과 같다.



[그림 12] 경보처리 및 고장진단 흐름도

4. 결론 및 추후 연구 과제

본 논문에서는 개발한 발전소용 경보처리 및 고장진단 시스템인 APDX에 관하여 설명하였다. APDX에서는 발전소의 이상으로 인한 경보의 발생시 이들 경보들 중에서 원인이 된 경보를 찾아내고, 이 원인정보에 대해 실제 일어난 고장을 진단하여 운전원에게 보여주고 기타 운전원 지원을 위한 사용자 인터페이스 화면으로 구성되어 있다. 경보처리 알고리즘에서는 발생한 다중경보들에 대하여, 오프라인으로 구성된 원인-결과 트리의 지식베이스 및 경보우선순위 지식베이스와 경보의 발생순서를 고려한 추론

방법으로 원인경보를 추론한다. 고장진단 모듈에서는 추론된 원인경보들에 대해서 고장들과 관련된 센서들의 트렌드를 분석하여 정성적인 모델과의 매칭을 통하여 고장을 진단한다. 여기서는 정성적인 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 고장진단 뿐만 아니라, 상태-천이 트리 상에서의 트렌드의 예측도 가능하다. APDX에서의 경보처리 모듈에서는 센서의 고장을 다루고 있지 않으며, 고장진단 모듈에 있어서도 센서 트렌드의 방향성을 구할 때에 센서값들의 크기에 따라서 파라메타를 튜닝해야 하는 단점이 있다.

APDX는 비교적 개방적인 구조로 설계되었으며 현재 응용 발전소로서 서울화력 4호기를 모델로 하여 설계되었다. 그리고 본 연구 본문에서는 언급하지 않았지만 서울화력 4호기의 발전소 시뮬레이터를 신호흐름도를 사용하여 개발되었으며 고장모의 시뮬레이터도 함께 개발되었다. 향후 본 개발 시스템을 활용하여 타 발전소에 활용이 가능하고, 나아가 일반적인 산업 공정의 고장진단 시스템으로의 활용이 기대된다.

참고문헌

- [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