

화력발전소 터빈의 운전에 관한 전문가시스템 적용연구

이민우* · 조근식**

Expert System for Supporting Operations of the Turbine of Thermal Power Plant

Min-Woo Lee*, Geun-Sik Jo**

요 약

본 논문에서는 화력 발전소 터빈의 안정적 운전을 지원하고 발전소의 불시정지를 예방하기 위하여 필요한 전문가시스템의 지식베이스 구축과 그래픽 인터페이스에 대한 proto-type을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 전문가시스템은 화력 발전소 터빈 계통의 현재 상태로부터 대상 운전조작에 대한 운전방법을 지원하는 기능, 고장을 진단하는 기능 등을 제공한다.

지식베이스는 객체와 규칙의 혼성형태로 구성하였으며, 추론방법으로는 후향 추론을 기본적으로 사용하고 현재 운전상황에 따른 고장진단을 위하여 전향 추론을 혼용함으로써 필요에 따라 최적추론을 유도하였다. 또한 지식베이스의 효율적 활용과 사용자의 손쉬운 접근을 위하여 그래픽 사용자 인터페이스를 구현하였다.

주제어 : 발전소, 고장진단, 지식베이스

I. 서 론

사회구조가 고도의 정보화 사회로 빠르게 변화되고, 문화수준이 향상됨에 따라 전력수요는 급증하고

있으며, 이에 대응하는 전력계통의 설비는 대용량화, 다양화, 복잡화 되어 가는 양상을 띠고 있다. 이에 따라 설비의 최적 운전과 값싼 고급 전력 즉, 신뢰성이 높은전압, 주파수의 안정 공급 등의 수요에 부응하기 위하여 컴퓨터의 지원을 받는 운전체계(CAOSS, Co-

* 한전정보네트웍(주) 기술연구소

** 인하대학교 전자계산공학과

mputer Aided Operation Supporting System)이용 등의 두뇌 집약적인 첨단 기술이 점차로 실제 전력 산업에 적용되기에 이르렀다.

발전소는 전기, 기계 및 각종 전자 설비와 부속 설비들로 매우 복잡하게 상호 연관되어 운전되기 때문에 계통운용방법이 전력의 질적 향상과 사고예방 또는 과급사고 방지에 미치는 영향은 매우 크다[2]. 그러나 전력 계통운용에 종사하는 운전원에게 주어진 환경은 1) 시스템의 대규모화, 고도화에 수반해서 운용기술자가 필요로 하는 양적·질적 지식량이 증대해가고 있으며 2) 발전소의 노후화 현상(특히 수력, 화력발전소)이 두드러져 발전소 이용률 향상을 위해 발전소의 잦은 상태 및 고장진단이 필요하게 되었고 3) 계통운영 전문기술자들의 정년퇴임, 이동으로 인하여 짧은 시간 내에 전문업무의 계승이 힘들고 운전원들의 복잡한 시스템에 대한 문제 기피의식의 심화 등으로 이전에 발생한 유사사고 재발의 가능성이 높고 사고 발생의 원인규명 및 대책마련이 곤란하다. 4) 운전업무의 집중화로 운용자 한 사람에게 요구되는 업무량은 급격히 증가해가고 있으나, 운용자의 처리능력에는 한계가 있는 실정이다[4].

최근 들어 Data-Logging System이 몇몇 화력발전소에 적용되어 발전운전 자동화의 토대가 되었으나 시험적용 단계이며, 전문가의 판단기능이나 상황 추론의 기능은 가지고 있지 못한 상태이다[7][8]. 따라서 숙련된 운전원의 경험적 지식을 바탕으로 판단 메카니즘을 시스템화하고 지식을 공유할 수 있도록 전문가시스템을 개발함으로써 운전원의 실수, 계통의 이해부족 및 경험부족에서 비롯되는 오조작을 막고, 고장진단, 사고복구 및 대책 마련에 소요되는 비용을 최대한 줄일 수 있어야 한다.

화력발전소의 운전계통은 크게 나누어 보일러, 터빈, 발전기 및 보조기기 등으로 나뉘어지며, 터빈계통은 보일러로부터 공급된 증기의 열에너지를 운동

에너지로 변환하여 터빈을 회전시켜 발전기로 동력을 전달하는 계통이다[10]. 본 논문에서 제시한 전문가 시스템은 발전소의 운전계통 중 터빈계통만을 다루었으며, 배전반의 Data-Logger 및 각종 Recorder의 동작 정보를 바탕으로 현재 운전되고 있는 터빈 및 부속설비 각 부분에 대한 운전 상태를 설명하도록 하였고, 특정 기기의 이상 상태를 검출하여 이어질 수 있는 가능한 사고 발생을 예측하여 각 경우에 대한 적절한 조치를 실시간으로 처리하는 방법을 강구하였다. 지식베이스는 객체와 규칙의 혼성형태로 구성하였다. 즉, 터빈을 구성하는 유사한 부재들을 그룹핑(Grouping)하여 이를 클래스(Class)로 정의하고 터빈의 각 부재들을 객체로 정의하였으며 이들 객체들은 상위 클래스로부터 속성을 상속받는다. 터빈의 운전 및 진단에 필요한 판단 규칙들은 객체들을 이용하여 구성하였다.

구현도구로는 전문가시스템 개발 도구인 "Nexpert Object"를 사용하였고, 지식베이스의 효율적 활용과 보다 친근한 사용자 환경을 구축하기 위하여 MS-Windows하에서 Visual C++를 이용하여 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)를 구현하였다.

본 연구에서 전문가시스템의 지식베이스 구현도구로 사용한 Nexpert Object의 지식베이스는 규칙(Rule)과 객체(Object)의 두가지 요소로 구성된 혼성(Hybrid) 형식으로 이루어져 있다. 규칙은 지식을 단순하게 표현하기 쉽기 때문에 대부분의 전문가시스템 구축 도구들에서 널리 이용되는 지식 표현 기법이며, 전문가의 지식을 표현하기에 용이하다. 객체는 실제계 구성원들의 관계를 표현하는 구조를 나타내고 상속성을 대표적인 특징으로 갖고 있으며, 대부분의 전문가시스템에서 특정 상황을 표현하기 위하여 사용되는 기호 요소가 갖는 많은 제약들을 극복하여 좁과 동시에 효율적인 관리가 가능하도록 하여준다.

2절에서는 전문가시스템을 구현하기 위한 문제의 영역을 설정하고 수집된 지식을 바탕으로 지식베이스를 구성하며, 판단 규칙과 추론 방법에 대하여 소개한다. 3절에서는 전문가시스템과 운전원 사이의 원활한 입출력 인터페이스의 수행을 위한 그래픽 사용자 인터페이스의 구현 방법을 소개한다. 4절에서는 실제로 발전소에서 자주 발생하는 Data들을 추출하여 구현된 시스템에 적용해 봄으로써 추론 효율 및 신뢰도를 평가하고 실시간 추론 가능성을 검토하며, 5절을 통해 결론을 맺는다.

II. 지식베이스의 설계

2.1 문제영역

일반적으로 발전시스템의 구성은 화학적 에너지를 열 에너지로 변환하는 보일러 계통과 열 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 터빈계통, 그리고 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 발전기 계통으로 크게 나누어지며 각 계통간의 인터페이스를 위한 부속설비들로 구성된다. [그림 2-1]은 발전소 사이클을 나타낸다.

터빈 계통은 보일러에서 흡수한 열 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 장치로써 효과적인 에너지 변환을 위해 터빈 본체 제어장치와 부속기구로 구성된다. 주 제어장치에는 터빈에 공급되는 증기량을 조절하는 장치가 있으며 여기에는 유압 계통과 보조증기 제어장치들로 구성된다. 부속설비로써 에너지 변환을 완료한 증기를 회수하기 위한 진공 계통과 해수 계통, 복수기 계통이 있다. 그리고 회전체에서 발생하는 열을 흡수하기 위한 냉각기 계통이 있으며 재생 사이클에서 사용되는 저압, 고압 열교환기들로 구성된다. 제어 요소로는 증기량 제어, 터빈 속도 제어,

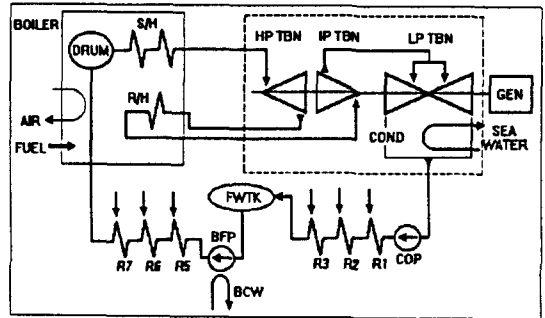


그림 2-1 발전소 사이클

오일 압력 제어, 냉각수량 제어, 급수량 제어 등이 있다.

2.2 지식베이스의 구성

지식베이스는 특정영역에서 전문가의 경험적 지식을 저장하는 곳이며, 규칙을 저장하는 규칙베이스와 사실을 저장하는 데이터베이스로 구성되어 있고, 지식베이스에 저장된 사실과 규칙은 문제해결을 위한 추론과정에서 이용된다.

발전소에서 운전되는 기기의 상태를 판단하는 방법은 기기의 운전 상태가 변할 때 그 요소들을 찾아내어 판단하는 방법이 일반적인 방법이다. 기기의 운전 상태에 따라 변화하는 요소들은 발전소 운전 상태를 판단하는데 필요한 지식들로써 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 계통의 구성요소에 관한 지식
- 2) 계통의 구성(topology)에 관한 지식
- 3) 수신된 기기의 동작정보에 관한 지식
- 4) 해의 설명을 위한 탐색과정의 정보에 관한 지식
- 5) 동작기기 판별을 위한 정보에 관한 지식

2.2.1 지식베이스 모듈

본 논문에서는 운전지원의 적용분야를 터빈의 기동 및 정지 절차, 터빈시스템의 고장 메시지 및 터빈에 공급되는 증기의 온도와 터빈 케이싱(Casing)의 온도 불평형에 따라 변화되는 운전 방법을 중심으로 지식베이스를 구축하였다.

적용된 전문가시스템은 기억장치 사용을 최소화하고 추론속도를 빠르게 하며, 효율적인 지식관리를 위하여 단위 기능별로 지식베이스를 분류하여 독립적으로 구축하였다. 즉, 터빈의 운전지원 및 고장진단에 관련된 지식베이스(TBN.KB)와 증기와 터빈 메탈(Metal)의 온도 불평형에 관련된 지식베이스(TBNMISS.KB)를 독립적으로 구축하여, 추론시 관련지식만을 적재할 수 있도록 하였다.

2.2.2 클래스와 객체의 구성

수집된 영역 지식을 바탕으로 지식베이스를 구현한 예로서, 터빈과 관련요소들간의 관계를 객체로 모델링한 경우는 다음과 같다.

공통된 속성을 갖는 추상적인 객체인 TBN을 클래스로 구성하고 공급되는 주증기 압력에 따라 다른 역할을 수행하지만 공통 특성을 지닌 3개의 실제(HP_TBN, IP_TBN, LP_TBN)를 객체로 구성하였으며, 터빈을 구성하는 공통된 요소들로서 12개의 속성(Eccentricity, Exhaust Temperature, LO Temperature, Metal Temperature, Oil Temperature, RPM, Spray Water Pressure, Start Up Memory Set, Steam Temperature, TG Status, Trip, Vibration)을 분류하였다. 이를 이용하여 구축된 지식베이스의 클래스, 객체 및 속성과 그들 사이의 관계는 그림2-2와 같다.

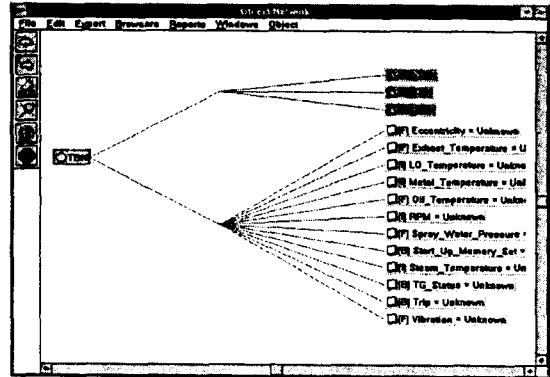


그림 2-2 터빈에서의 객체와 상속성의 표현

2.2.3 메타슬롯(Meta-Slot)

메타슬롯은 객체 구조하의 특정 슬롯에 대하여 추가적인 정보를 갖는 슬롯에 대한 슬롯으로써 정의되며, 특정 슬롯에 대하여 우선순위를 지정하고, 지역적인 상속성과 상속 전략을 제어하기 위하여 사용된다. 메타슬롯 정보는 특정 슬롯에 대하여 유일한 값을 갖는다.

그림 2-3은 메타슬롯 편집 화면으로써, 터빈 온도 불평형 추론을 위하여 사용된 슬롯(Const.BaseTemp)이 초기값으로 300.0을 갖고 클래스 우선/넓이 우선

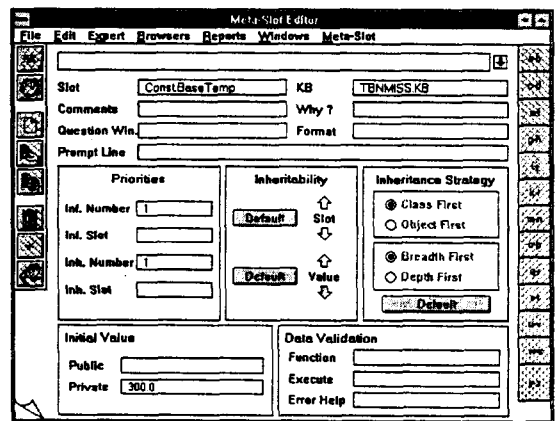


그림 2-3 메타슬롯 편집 화면

추론 전략을 가지며 추론 우선순위(Inf.Number)와 상속 우선순위(Inh.Number)가 1로 지정되어 있음을 보여주고 있다.

2.3 규칙

2.3.1 규칙의 분류

규칙의 구성은 크게 두가지로 분류하였다. 즉, 운전을 지원하기 위하여 기기의 현재 상태에 따라 다음 단계로 진행되어야 할 기기의 동작 정보를 알려주는 운전지원 규칙과 현재 기기의 고장진단 기능을 제공하는 진단 규칙으로써 세부항목은 다음과 같다.

1) 운전지원 규칙

- (1) 터빈 기동조건 검사 및 기동
- (2) 터빈 Reset
- (3) 터빈 Speed-Up
- (4) 계통 병입
- (5) 부하 증, 감발

```

(@RULE=R_AccelerationHigh
  (@LHS=
    (<= ('Unit_'\N\.TurbineMismatch)
      (300))
    (> ('Unit_'\N\.TurbineMismatch)
      (85))
  )
  (@HYPO= Acceleration_Rate)
  (@RHS=
    (Assign (110)
      (Acceleration_Rate.RPM))
  )
)
    
```

그림 2-4 터빈의 가속비 추정 규칙

- (6) 터빈 정지
- 2) 진단 규칙
 - (1) 터빈 온도 불평형
 - (2) Jacking System Fault
 - (3) Vacuum Up Fault
 - (4) 터빈 Trip

2.3.2 규칙의 표현

그림 2-4는 규칙이 지식베이스에 저장된 형태로써, 규칙 R_AccelerationHigh는 위에서 열거한 진단 규칙 중 터빈 온도 불평형 규칙의 추론 결과에 따른 터빈의 가속비율을 운전원에게 알려주기 위하여 작성된 규칙이다. 이 규칙은 N호기의 터빈 불평형 정도가 85°C 보다 크고 300°C 보다 작거나 같으면 가설Acceleration_Rate는 참이 되고 슬롯 Acceleration_Rate.RPM에는 110을 지정한다.

Nexpert Object에서는 “OR” 조건을 사용하기 위한 방법으로 하나의 가설명에 대하여 여러 개의 규칙을 등록한다. 이러한 경우 그 가설을 추론하면 규칙의 우선순위(따로 정하지 않으면 규칙의 생성시기에 따라 결정됨)에 따라 부합되는 규칙을 찾아 하나라도 참이 되는 규칙이 있으면 그 가설은 참이 된다.

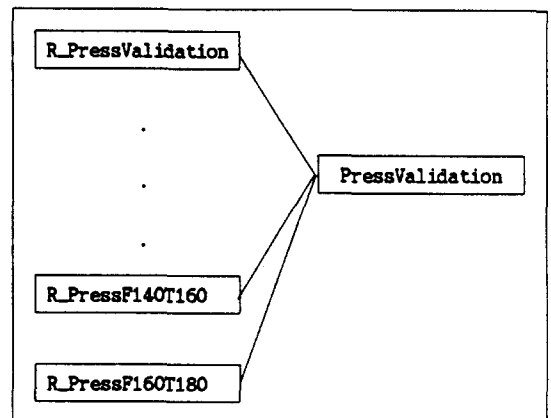


그림 2-5 규칙들 간의 “OR” 조건을 위한 형태

그림 2-5는 터빈 온도 불평형을 추론하기 위하여 사용자로부터 터빈에 유입되는 주증기 압력을 입력 받을 때, 주증기 압력의 계산 범위의 정당성을 평가하기 위한 가설 PressValidation에 연결된 규칙들을 네트워크 형태로 표현한 것이다.

2.3.3 객체지향 규칙 설계

객체지향 기법은 지식공학자로 하여금 객체망에 포함된 정보에 대한 유연한 조작과 시험을 정교하게 수행할 수 있도록 하여준다. 본 논문에서 제시한 시스템에서는 동일한 판단에 소요되는 규칙의 수를 줄이기 위하여 다음과 같은 객체지향 프로그래밍 기법을 사용하였다.

1) 인터프리테이션(Interpretations)

객체에 대한 이름이 명시적으로 주어지지 않고도 규칙이나 메소드에서 객체의 참조를 허용한다. 객체의 이름은 규칙이나 메소드가 실제 동작(trigger)될 때 동적으로 주어진다.

2) 패턴 매칭(Pattern Matching)

클래스에서 상속된 모든 객체의 공통된 슬롯에 대하여 일일이 객체의 이름을 지정할 필요없이 클래스 이름만으로 하나의 규칙을 통하여 동일한 연산이 수행될 수 있다.

3) 메소드(Methods)

프로그램 논리가 슬롯에 대하여 적용되는 경우로써 규칙에서 특정 슬롯의 값을 알기 위하여 복잡한 계산이 필요한 경우, 이를 규칙에 포함시키면 규칙이 지나치게 복잡해지는 단점을 보완하기 위하여 메소드라는 별도의 공간에 정의하여 처리한다.

그림 2-6 (b)는 메소드 에디터를 이용하여 작성한 메소드로써 규칙에 어떻게 객체지향 기법이 적용되는가를 나타내고 있다. 메소드 이름에 OrderOfSources는 메소드의 종류를 나타내며 슬롯에 대한 값이 요구될 때, 자동적으로 트리거되는 메소드 형태임을

```

(@RULE= R_DataProcess
  (@LHS=
    (Yes (InputValueCheck))
    (@HYPO= DataProcess)
    (@RHS=
      (Assign ('Unit_'\N\'.Mismatch-'Unit_'\N\'.FirstStageTemp)
              ('Unit_'\N\'.TurbineMismatch))
    )
  )
  )
  (a) 규칙에서의 메소드 자동 호출

(@METHOD= OrderOfSources
  (@ATOMID=Unit.Mismatch ; @TYPE=SLOT ; )
  (@FLAGS=PUBLIC ; )
  (@LHS=
    (Assign
      (FLOAT2INT((SELF.MainSteamTemp-Const.BaseTemp)
                /Const.TempInterval))
      (Compute.TI))
    (Assign ((Compute.E
              (SELF.MainSteamPress-Const.PressRange.'Range_'-Compute.PI-)
              /Const.PressInterval+Compute.E 12) ('Unit_'\N\'.Mismatch))
    )
  )
  )
  (b) 메소드의 표현
  
```

그림 2-6 규칙에 대한 객체지향 기법의 적용 사례

나타내는 것으로써, 그림 2-6 (a)의 규칙에서 슬롯 'Unit_'\N\'.Mismatch의 값을 요구할 때 이 메소드가 실행됨을 의미한다.

2.4 추론

터빈의 운전지원 및 진단을 정확하고 신속하게 수행하기 위해서는 가설에 대한 추론이 정확하고 융통성이 제공되도록 설계되어야 한다. 본 논문에서는 운전 지원 부문에 대해서는 후향 추론(backward reasoning) 방식을 주로 사용하였으며, 진단 부문에 대해서는 현재 운전상황에 따라 고장 개소를 찾을 수 있도록 전향 추론(forward reasoning) 방식을 사용함으로써 전체적인 전문가시스템의 효율 향상을 모색하였다. 운전지원 부문의 경우 그림 2-7에서처럼 지원 받고자 하는 목표가 정해져 있고, 그 목표를 증명하기 위하여 지지하는 증거를 찾아내고 다시 이 증거를 뒷받침해 주는 또 다른 증거를 찾아가는 식으로 규칙이 진행되므로 후향추론 방식이 유용하다고 판단되었고, 진단 부문의 경우 현재 운전 상황을 나타내는 사실들로부터 적절한 결론(고장 또는 실패)을

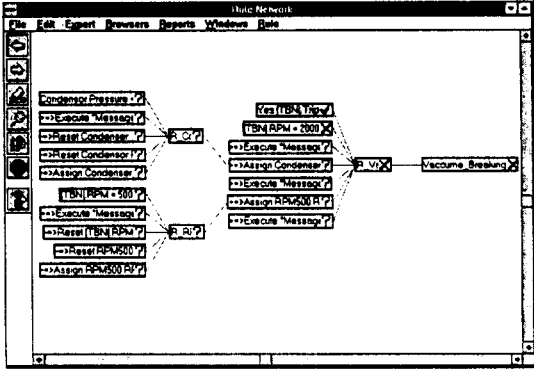


그림 2-7 가설 Vacuum Breaking에 대한 후향 추론

는데 반하여 추론과정을 단축시킬 수 있고, 가설을 입증하는데 필요하지 않은 나머지 사실들에 대한 정보를 메모리에 저장할 필요가 없으므로 기억장치 사용을 최소화할 수 있는 장점이 있다.

터빈 운전지원 전문가시스템의 추론기관에서 수행되는 추론과정은 그림 2-8과 같다.

III. 그래픽 인터페이스의 설계

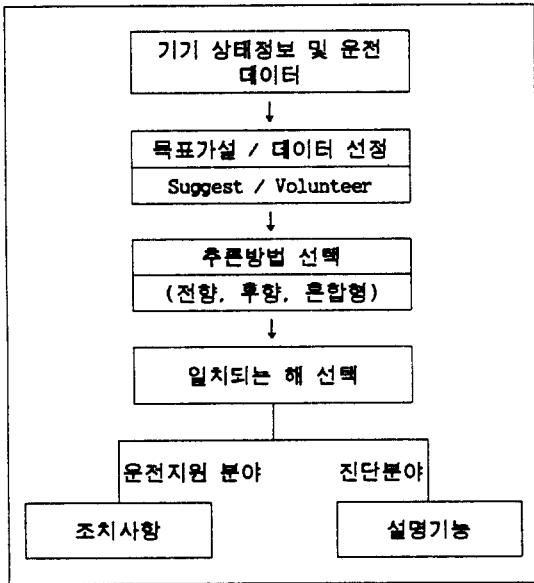


그림 2-8 추론 과정

그래픽 인터페이스는 전문가시스템의 각종 기능 함수들을 셀 구조로 통합함으로써 사용자와의 인터페이스를 수행하고 전체 전문가시스템에 대한 입출력을 관리하는 기능을 한다.

본 연구에서는 적용된 전문가시스템이 미숙련 운전원에게 터빈의 기동, 정지시 현재 기기 동작 상태에 따른 다음 단계의 조치사항과 터빈 온도 불평형에 따른 운전 조건의 변화를 신속하고 효율적으로 처리할 수 있도록 MMI(Man Machine Interface) 수단으로서 편리하고 다양한 그래픽 처리 기능을 제공한다. 여기에는 사용자가 전문가시스템을 용이하게 사용할 수 있는 풀-다운 방식의 메뉴 선택 기능과 필요한 정보의 입출력을 자유롭게 나타낼 수 있는 팝업(pop-up) 및 오버랩(overlap)된 다중 윈도우 처리 기능, 그리고 편리한 작업 수행을 위한 마우스 중심의 사용자 인터페이스 기능이 포함된다.

본 연구를 통해 개발된 전문가시스템은 그림 3-1과 같다. Nexpert Object와 사용자 사이에 그래픽 사용자 인터페이스(GUI : Graphical User Interface)라는 부분이 추가되었으며, 이러한 방식을 통해 사용자는 좀더 실무에 가까운 사용자 인터페이스를 이용할 수 있다.

그림 3-1에 보인 것과 같이 그래픽 사용자 인터

찾아가는 식으로 규칙이 전개되므로 전향추론 방식이 적합하다고 판단되었다.

그림 2-7에서는 가설 Vacuum_Breaking을 증명하기 위하여 후향 추론 기법을 사용하였으며, 가설의 두번째 사실(Fact)인 터빈 회전수 조건이 거짓이므로 나머지 사실들에 대한 검증을 할 필요없이 가설 Vacuum_Breaking이 거짓임을 증명할 수 있다. 이것은 전향 추론의 경우 필요한 모든 사실이 요구되어지

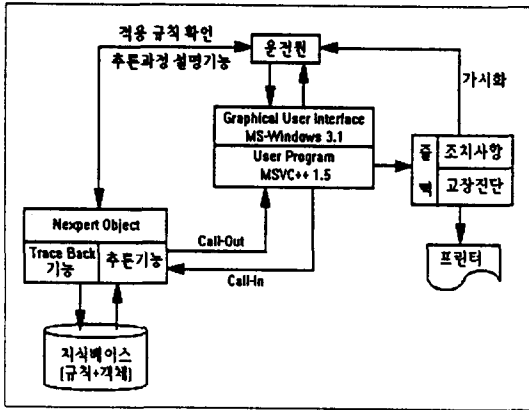


그림 3-1 시스템 구성도

페이스 등의 외부기능을 추가할 수 있는 것은, Nexpert Object가 제공하는 Callable Interface를 이용해 외부의 프로그램과의 접속 또는 통합이 가능하기 때문이다[15]. 이 기능을 이용하여 기존의 절차적 언어로 개발된 외부 프로그램에서 Nexpert Object를 제어할 수 있으며, 반대로 Nexpert Object에서 외부의 모듈들을 실행시킬 수 있다. 개발된 시스템에서는 그래픽 사용자 인터페이스 모듈에서 Nexpert Object를 제어하고 있다.

지식베이스와 그래픽 인터페이스의 결합은 윈도우즈 프로그래밍이 가능한 Visual C++ 환경하에서 Nexpert Object에서 제공되는 API(Application Programming Interface) 명령어들을 이용하여 하나의 실행 모듈로써 생성된다.

IV. 시스템의 구현결과 및 분석

발전소의 기동시 터빈 및 부속설비들의 운전 및 동작상태에 대하여 실제로 인천화력발전소 1, 2호기에 설치 운용되고 있는 “이벤트-기록기”로부터 Lo-

gging된 Data들을 사용하여 본 논문에서 개발한 전문가시스템의 입력 데이터로써 활용하였으며, 전문가시스템으로부터 추론된 결과에 대하여 배전반 운전원의 도움을 받아 입력 데이터로써 사용된 운전 상황에서 추론 결과가 옳은가를 검증하였다.

4.1 터빈 기동조건 추론

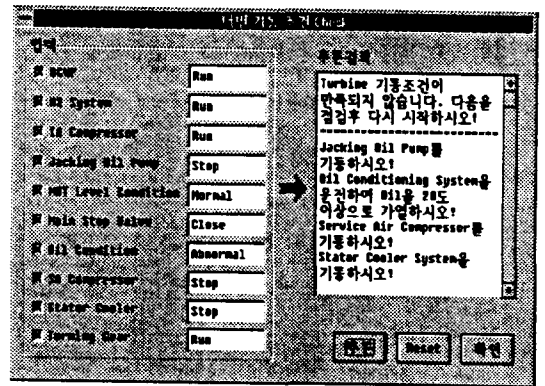


그림 4-1 터빈 기동조건 추론 결과

그림 4-1은 1996년 3월 27일 인천화력발전소 2호기의 기동전에 기록된 “이벤트-기록기”의 기기상태정보를 본 전문가시스템의 입력으로 받아들여 터빈의 기동조건을 추론한 결과 화면이다. 화면 왼쪽에 터빈 기동 조건 추론을 위하여 입력한 각 기기의 상태가 나타나 있으며, 추론 결과 4가지 조건이 터빈 기동 조건을 만족하지 않아 운전원이 적절한 조치를 취할 수 있도록 조치 사항을 화면 오른쪽에 출력하였다.

4.2 터빈 온도 불평형 추론

그림 4-2는 터빈 온도 불평형을 추론하는 과정에 대한 도식적인 표현이다. 전문가시스템은 이에 따라 추론을 실시하고 계산된 터빈 온도 불평형 정도에

따라 터빈의 운전 조건을 사용자에게 알려주게 된다.

그림 4-3은 그림 4-2의 추론 흐름에 의해 얻어진

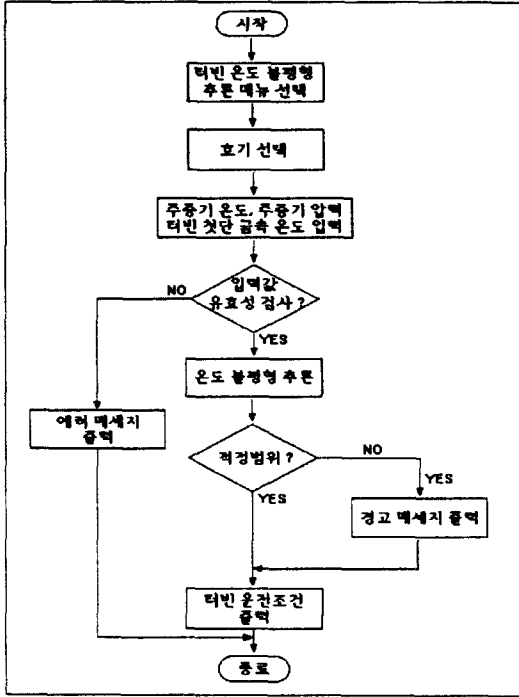


그림 4-2 터빈 온도 불평형 추론 과정

추론 결과 이며, 표 4-1은 3월 27일 인천화력발전소 1호기의 기동시 기록된 데이터를 본 전문가시스템에 반복 적용함에 의하여 산출된 터빈의 온도 불평형 정도 및 그에 따른 터빈의 운전조건을 정리한 것이다.

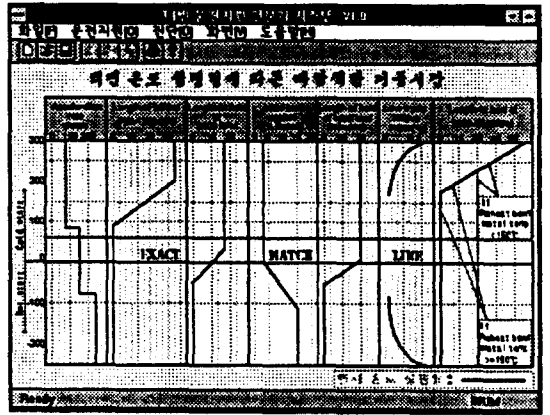


그림 4-3 터빈 온도 불평형 추론 결과

4.3 실시간 데이터 수집

본 전문가시스템이 발전소 현장에 적용되어 효과를

표 4-1 기동시 터빈 온도 불평형 변화(96/03/27)

항 목	점 화	진공형성	터빈기동	HOLDING	승 속	병 입	
시 각	03/26 20:00	02:20	03:50	04:00	04:25	05:10	
MAIN STM PR (Kg/Cm ²)	0	65	85	87	89	92	
MAIN STM TEMP (°C)	0	344	410	420	421	440	
1st STAGE METAL TEMP (°C)	390	374	368	350	344	356	
TBN MISMATCH (°C)	Range Over	-133	-57	-27.6	-22.2	-10.2	
추 론 결 과	가속비 (RPM)	-	355	175	175	175	
	700-1200 RPM에서 Holding 시간 (분)	-	0	0	0	0	
	3000 RPM에서 Holding 시간 (분)	-	0	0	6.98	8.68	12.4
	Initial Load applied 비율 (%)	-	15	9.45	6.39	5.82	4.56
	Initial Load에서 Holding 시간 (분)	-	0	0	13.6	16.3	22.4

얻기 위해서는 터빈의 운전상황에 대한 실시간 진단기능(Temporal Reasoning)이 필수적이다. 이를 위해서는 터빈의 상태정보 및 운전 데이터를 실시간으로 수집(Real-Time Data Acquisition)하여야 한다.

본 전문가시스템의 실행 환경인 Windows는 실시간 운영체제가 아니기 때문에, 실시간 데이터 수집을 위해서는 실시간 운영체제를 사용하여야 하며, 수집된 정보를 추론 엔진으로 전달하는 이원적인 구조로 시스템을 구성하여야 한다.

그림 4-4는 추론에 필요한 데이터를 실시간으로 수집하기 위한 방법을 도식화한 것이다. 현장의 센서로부터 들어온 아날로그 데이터(온도, 압력, 유량 등)와 디지털 데이터(기기 동작 여부)는 실시간 운영체제하에서 실행되는 데이터 수집 타스크들에 의해 수집되어서 우선순위에 따라 VME-BUS(IEEE1014 표준)상의 공유 영역에 저장된다. 전문가시스템의 추론기관은 추론을 위하여 필요한 정보를 BUS상의 공유 영역으로부터 취득하여 실시간 추론을 실시한다.

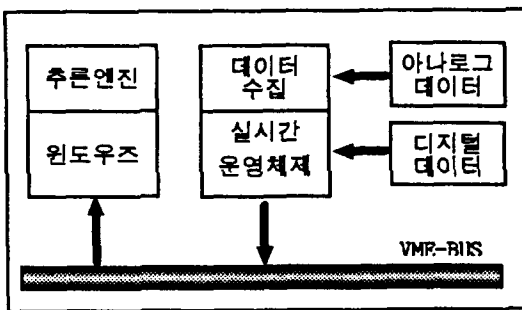


그림 4-4 실시간 데이터 수집 과정

V. 결 론

본 연구에서는 발전소의 안정운전 및 고효율 운전을 도모하기 위하여 현재의 운전상태를 바탕으로

속련되지 않은 운전원에게 최적운전 조건을 알려주기 위한 지식베이스의 구축과 이런 지식베이스의 효율적인 접근을 위하여 사용자 인터페이스의 설계 및 구현에 대해 연구하였다.

터빈 운전지원 전문가시스템은 범용의 전문가시스템 개발 셸인 Nexpert Object를 이용하여 추론 기능과 독립적인 지식베이스를 구축하였고, 윈도우즈 환경 하에서 객체지향 언어인 Visual C++를 사용하여 사용자 인터페이스를 설계 및 구현함으로써 객체지향 기법을 사용한 지식베이스와의 연계에 일관성을 유지하였다.

본 연구에서는 기력 발전소 터빈계통을 운전하는데 있어서 계통의 현재상태로부터 대상 운전조작에 대한 운전 방법을 지원하고, 고장을 진단하는 방법을 제시하고 있다. 추론방법으로는 전향과 후향 추론을 혼용하여 기능별 특성에 따라 최적의 추론 방법을 적용하므로써 전체적인 시스템의 효율 향상을 모색하였다.

본 전문가시스템을 실제 운전상황에 적용해 본 결과, 다양한 판단규칙과 사실로 이루어진 지식베이스의 확보가 보장된다면, 수작업에 의존하는 현재의 운전방법에 상당한 도움이 될 것이라는 현장 전문가의 의견을 얻어낼 수 있었다. 그러나 발전소 운전상태 판단을 위한 요소들은 수 ms의 짧은 시간에도 수시로 변화하기 때문에 본 논문에서 제시한 prototype 전문가시스템이 실제로 현장에 적용되기 위해서는 데이터의 취득이 실시간으로 이루어져야 한다는 지적도 함께 제시되었다. 또한 본 전문가시스템이 발전소 전체를 포함하는 대규모 시스템이 되기 위해서는 단위 부속 설비별로 독자적인 전문가시스템을 구축하고 서로를 네트워크로 연결하여 분산처리하는 방법이 필요할 것이다.

앞으로의 연구 과제는 실시간 데이터 수집시 긴급 데이터와 일반 데이터를 처리하는 방법, 실시간 추

론에서 추론 속도 지연에 따른 문제점등에 대한 연구가 진행되어야 하며, 대규모 시스템 구축시 분산 처리에 따른 네트워크상의 처리 지연, 설비 이중화등도 함께 다루어져야 할 것이다. 또한 운전지원 및 고장 진단의 추론 결과가 제어 시스템과 연계되어 운전 자동화와 고장 복구 자동화가 이루어져 궁극적으로 설비 무인화 운전을 위한 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 김호열, 화력발전에서의 디지털 제어에 관한 연구, 인하대 석사논문, 1990.
2. 박상길, 대용량 발전소 운전용 전문가시스템의 지식 베이스 구성방안, 연세대 석사 논문, 1994.
3. 임찬호, 전력계통의 사고모의 및 고장진단 전문가 시스템의 연구, 광운대 석사논문, 1993.
4. 정학영, "발전제어 전문가시스템", 정보과학회지, 6권, 2호, (1988), 28-33.
5. 조충호, 이광형, "발전의 전기배전반의 유지보수 전문가시스템", 한국경영과학회 전문가시스템연구회 추계학술대회 논문집, (1991), 61-73.
6. 최병윤, 배전계통의 안전도 제어를 위한 전문가시스템, 연세대 박사논문, 1991
7. 한전 기술연구원, 인천화력발전소(#3, 4) Data Logging System의 개발 및 적용, 최종보고서, 1991.
8. 한전 기술연구원, 발전설비(보일러) 정비지원전문가 시스템 개발, 중간보고서, 1995.
9. 한전 삼천포연수원, 설비운전, 1988.
10. 한전 삼천포연수원, 화력발전 I, 1988.
11. 한전 삼천포연수원, 화력발전 III, 1988.
12. 한전 인천화력발전소, 기본운전지침서, 1988.
13. Donald A, Waterman, A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley Pub. Co., 1985.
14. Joseph L. Hellerstein, David A. Klein, Keith R. Millilen, Expert Systems in Data Processing, Addison-Wesley Pub. Co., 1990.
15. Neuron Data, SMART ELEMENTS Version 2.0 - Introduction Manual, Neuron Data Inc., 1994.
16. Rich, E., ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 2nd, McGraw-Hill Book Co. 1991.