

# 專門家시스템을 適用한 火力發電設備 制御에 관한 研究現況

俞 賢 在

(韓國電力公社 電子計算所)

## 1. 序 論

규모가 크고 복잡한 發電設備를 각종 상황변화에 적절히 대처하여 안전하고 發電設備의 성능을 최대로 이용할 수 있도록 운전하기 위해서는 고도의 운전기술이 필요하다. 현재 電力需要의 격차가 심화되고 原子力 발전비율이 증대되어 감에 따라 화력발전소는 設備의 노후화가 계속되고 연일 起動 및 停止등 가혹한 운용이 일어나고 있다. 이런 상황하에서 원활한 電力供給 責務를 이룩하고 안전한 운전과 출력조정능력, 연소관리의 經濟的 운용등에 관해서는 기술혁신이 필요하다.<sup>1), 2)</sup> 이를위해 運轉, 補修 관리, 設備업무에 專門家시스템 적용은 상당한 효과를 얻을 수 있다고 본다. 즉, 플랜트 정상시 운전은 起動時부터 停止時까지 광범위하게 추진중이므로 異常발생 방지, 異常時 대응, 더욱이 플랜트성능을 충분히 발휘할 수 있도록 운전기술 향상이 필요하다.

따라서 發電업무에 운전기능을 고속화 시켜 줄 수 있는 專門家시스템을 적용하여 異常時나 起動時등에 활용할 수 있으며 發電設備 異常진단 및 장애방지 분야 등도 꼭 적용해야할 분야 중 하나이다.

그래서 최근 현저히 발전되어 가는 知識工學은 인간의 고도의 지능적 판단을 支援하는 역

할을 하는 專門家시스템의 구성을 가능케 하였으며 기능적 유연성과 사용자 편의성이 풍부한 지능적 운전支援시스템을 개발함으로써, 정상시의 正常 운전및 起動운전 뿐만 아니라 異常時的 운전을 支援하는 일이 필요하면서도 가능하게 되었다.<sup>3), 10)</sup>

## 2. 發電設備 고장예방 및 診斷

### 2.1 概 要

發電設備가 대응량화, 복잡화되어 設備의 유지, 보수를 위한 설비진단 및 장애예방분야는 반드시 필요한 適用分野이며 이외에도 適用가능한 分野들을 표 1에서 볼 수 있다.

設備를 양호한 상태로 유지하기 위해서는 많은 知識과 기술이 필요하다. 특히 設備의 고도화에 대응키 위한 設備의 유지, 보수요원 양성과 경험이 풍부한 기술자 확보가 곤란해서 신기술에 대응하는 경험적 기술의 전승이 힘든 실정이다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해 專門家の 專門知識을 바탕으로 복잡한 문제라도 해결할 수 있는 專門家시스템 도입 適用은 장차 필요 불가결한 分野라 생각된다.

고도의 學識과 경험을 필요로하는 플랜트의 設備진단 業務에도 專門家の Know-How를 바탕으로 회전기계 등에서 발생하는 振動波를

표 1. 發電分野 適用可能 業務

分類	適用可能 業務	概要	事例	
			시스템 名	備考
診 斷 型	發電設備 豫防診斷	설비의 예방보존 위한 障礙豫防 및 원인 診斷 -보일러 -터빈 -水門 수명예측, 교체時期 판정	·ADPMS (Boiler 진단) ·설비진단 및 운전 ·PICON	主友電氣 東京電力
制 御 型	最適運轉	리얼타임으로 데이터를 整理하여 운전중에 機器狀態 및 運轉狀態 등을 把握, 신속 조치토록 함	-	美 國
設 計 型	機器配置 設計	Engineering CAD 利用, 냉각수펌프, 배관장치류 配置等 設計 支援	-	
設 計 型	設備 運轉計劃	設備의 기동, 정지계획 支援	Unit Commitment Advisor	

해석, 유추하여 故障 原因을 간단히 진단할 수 있다.<sup>11)</sup>

2.2 事例 1

日本の 旭化屋 Engineering에서 開發한 “회전기계 設備진단 專門家 시스템”은 H/W는 FM-R60, MD210, MD150SX를 S/W는 MS-

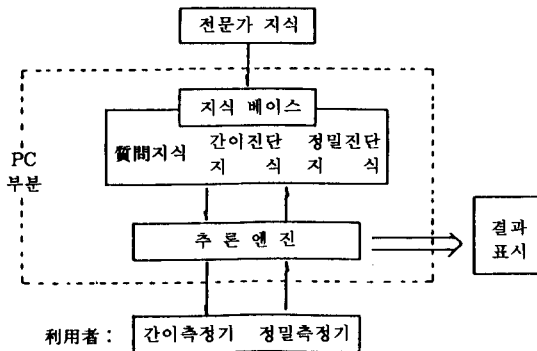


그림 1. 시스템 구성도

DOS, ESHELL, GCLISP286, DEVELOPER, F BASIC을 이용한 실험용 시스템으로 회전기계로 부터 발생하는 진동을 解析하여 플랜트의 設備故障를 진단하는 기능을 제공한다.

故障부위 및 原因을 진단하는 순서는 設備로부터 振動데이터를 계측한 뒤 이 데이터로부터 異常부위를 판별하여 故障원인 예상부분을 찾고 設備의 데이터 (주파수, 파형, 位相) 解析 결과를 기초로 故障원인을 확정한다.(그림 1)

2.3 事例 2

中國電力의 계산기를 이용한 火力發展 자동화시스템은 20여년의 역사를 가지고 있으며 현재는 起動 停止등의 통상운전이 극히 적은 수의 운전요원으로 가능하게 되었다. 그렇지만 플랜트 異常고장의 조기발견과 회복처치 판단 및 운전의 최적화는 운전원의 고도한 판단에 의존하고 있다.

1) AI 導入의 필요성

근년에 들어 設備가 고도화되고 실지 경험이 체득되어진 반면 업무정보는 量, 質면 모두 높게 요구된다. 물론 기술원의 확보가 곤란하게 된 현상에 기인된다. 무거운 供給責任을 부과하고 보다 나은 서비스향상을 도모하기위해 이러한 운전보수원의 支援이 필요하게 되었다.

이러한 요구에 따르기 위해 火力發電에 人工 智能 專門家시스템의 導入은 유효하고 장래를 개척할 고도한 기술로서 기대되고 있다.<sup>5), 8), 12)</sup>

2) 研究目的

AI는 데이터베이스, 멀티미디어通信, 그래픽 화면표시, 로봇과 함께 火力부분 고도情報化의 5대구축목표의 하나이며 특히 계산기과학, 소프트웨어 공학을 정점으로 존재하는 고도의 기술이다.

火力기술부분에 이러한 컴퓨터이용 기술도입은 그렇게 쉬운 일은 아니다. 發電機와 같이 메이커 표준품을 선정하는 것만으로는 도저히 구축할 수 없다. 따라서 장래에 어떠한 도입수법, 기기시스템구성 개발유지체제를 취하면 좋은가를 실제로 조사하기 위해 시험적으로 두세 업무를 선정하여 專門家시스템 개발연구를 하

고있다.

3) 研究스케줄

1989년도에는 이론학습과 事例조사 개발용S/W의 선정도입과 AI 言語를 습득 했으며 이에 並行하여 대상업무 3개를 개발테마로 선정했다.

- 가) 보일러 터빈 정기검사시기 延長診斷
  - 나) 全 火力유니트 정기검사 일정배분計劃
  - 다) 플랜트 異常감시 診斷조작 지시
- 4) 정기검사시기 延長診斷시스템

정기점검 간격은 보일러가 1년이하, 증기터빈은 2년이하로 정해져 있지만 1987년 電氣事業法の 개정으로 유니트 운전보수경력에 의해 보일러는 1년, 터빈은 2년까지 검사시기가 延長되었다.

이 룰을 기억시켜 관내 20여 유니트에 대하여 각각의 조건을 윈도우 畫面으로 부터 질문에 대한 메뉴선택 회답식으로 入力하면 다음 정기검사의 延長허용월과 점검등급(세밀, 표준, 간이)등을 보일러, 터빈별로 회답하도록 된다.

5) 定期點檢 일정계획시스템 (그림 2, 3 참조)

화력유니트 40~50일간의 전정치를 늘 수반한 定期檢査는 중복을 피하고 需給밸런스를 고려하여 4~5년간에 걸쳐 일정배분을 조정해야

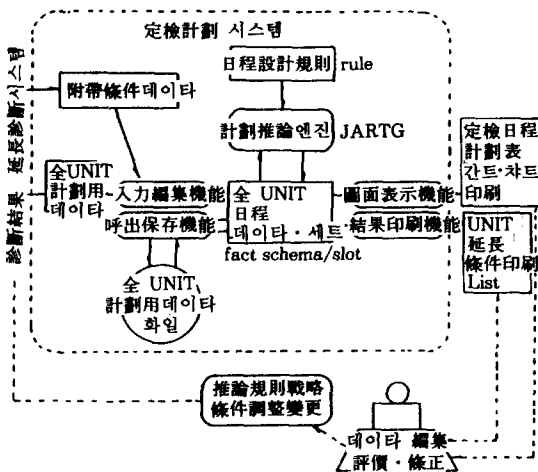


그림 2. 中國電力의 定檢計劃 業務支援시스템 構成 基本設計·定檢計劃시스템

한다.

原子力과 타전력의 點檢예정과 조화도 필요하다. 이 스케줄링 업무는 설계에 짜맞출 요소가 많고, 정책대상기간이 몇 년 간에 걸쳐 있는 특징이 있고, 이른바 나쁜 構造問題라고 해도 가능토록 해야될 어려운 업무이다.

이 일정배분율을 고심하고 해결하기 위해 이 시스템을 개발하게 되었다. 이 시스템결과의 평가는 火力만으로는 안되고 가정조건도 복잡하고 다수이다. 이러한 시스템을 표준적인 룰로 스케줄을 짜고 그것을 火力, 企劃, 系統용의 각각의 입장에서 평가하고 가정조건을 조정하여 재시도하며 계산기로 일정배분을 하는 실행 형태를 가지고 있다.

이 시스템은 전 유니트의 關係 데이터베이스 (연장조건을 포함)를 일괄 읽어들이 단숨에 4

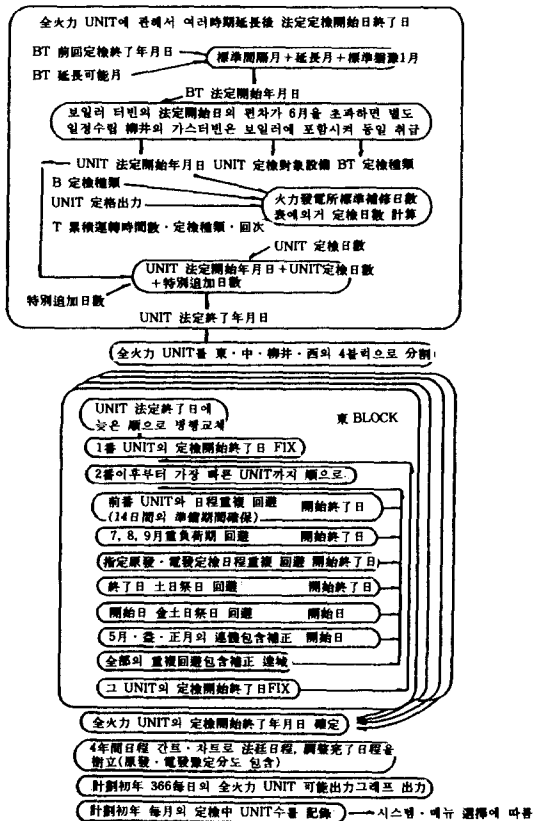


그림 3. 國國電力의 火力發電Unit 定期檢査日定計劃 데이터 處理體系시스템

년간 일정의 차트를 구성하여 표시하고 인쇄한다.

#### 6) 開發用 계산기시스템

미국 INTERFACE社의 ART라는 言語시스템을 채용하고 있다.

프레임 슬롯구성을 사용하여 效率的인 知識의 표현이 가능하고 데이터 구동에 의한 외부 신호 동기 리얼타임 推論도 가능하다.<sup>4), 5)</sup>

#### 7) 프린트 異常 감시 診斷操作 指示 시스템

예상되는 기기의 異常 상태를 기억하여, 異常 발생시에 초고속으로 패턴을 조회하고 애니메이션 화면으로 상태 추이와 操作指示를 부여하는 계산기가 있다면 기존의 '플레이백'형 자동화 시스템을 보완하여 운전을 확실히 하는것을 기대할 수 있다.

이것은 기기系統 단위에 상태관정을 하는 캡슐 프로그램이 메소드 프로토콜로 결합되어 動的 진단 시스템과 그래픽 표시 시스템으로 구성될 예정이다.

이러한 화면은 운전원이 보면서 추가 편집등이 가능하도록 계획되어 있다. AI는 난해하고 과잉기대가 있는 반면 종래의 S/W기술과 비교하여 미지의 부분이 많고 확립된 수법은 없으나 AI가 대단히 넓은 적용성을 보여줄 수 있는 증거도 될 수 있다.

### 3. 最適運轉支援

#### 1) 背景

運轉支援 시스템은 대략 다음과 같은 目的을 두고 개발되고 있다.

- 知識의 質的, 量的인 면에서의 확충
- 신속하고도 신뢰성있는 判斷力 提高
- 運轉技術의 進歩

發電所의 컴퓨터는 시스템간의 互換性보다 能率的인 發展業務의 처리를 위하여 設置되므로 비지니스용 컴퓨터보다는 發電所의 제작회사, 容量, 發電 방식 등에 따라 모습이 다양하다.

運轉支援을 위해서는 現場에서 직접 데이터를 받아와 Real-Time으로 처리해야 하므로 가능한 한 發電所의 프로세스 컴퓨터를 중심으

로 개발하게 된다.<sup>9)</sup>

따라서 運轉支援用 專門家 시스템의 개발에 사용되고 있는 컴퓨터 設備 및 S/W Tool도 무척 다양하게 나타나고 있다. 그들중 몇가지를 보면 다음과 같다. 컴퓨터로는 SYMBOLICS 3640, MELCOM PSI, XEROX 1121, HITAC M-280H/D 등이 있고, 사용 言語로는 LISP를 비롯, PROLOG를 개조한 ESP, INTERLISP-D, FORTRAN UTILISP등이 있고 보다 빠른 開發을 위해 KEE등이 이용된다. 그외 推論 방법, 知識의 표현 및 정리 방법에 있어서도 아주 多樣的인 모습을 보이고 있다.

發電所 전체 시스템은 보통 다음의 4가지 서브 시스템으로 分類하고 있다.

- 보일러
- 터빈 제너레이터
- 물처리 設備
- 전기적 부대 設備

따라서 화력發電所를 대상으로 開發되는 모든 專門家 시스템은 개별 서브 시스템을 대상으로 하거나, 또는 이들을 통합한 전체 시스템을 對象으로 모델링하여 개발하고 있다.

모델링에 있어서는 대개 3종(설계치, 성능시험치, 최적운전치)의 데이터가 이용된다.

그중에서 최적운전치가 가장 중요시되는 것은 發電所의 실제 운전치일 뿐 아니라 專門家만이 그 수치의 중요도와 安全運轉이 가능한 변화범위를 알 수 있기 때문이다.

專門家 시스템이 호환성과 상업성을 갖게 되고 維持補修도 용이하게 되기 위해서는

• Inference Engine은 개별 發電所나 發電所의 서브 시스템의 특성으로부터 독립되어 있어야 한다.

• Knowledge Base는 추후 데이터의 插入, 變更이 있을것 인가, 아난가에 따라 構造가 달라져야 한다.

#### 2) 運轉支援 시스템의 概觀

실제 開發되고 있는것 등은 각 서브 시스템(특히 보일러와 터빈 제너레이터) 또는 發電所 전체를 對象으로한 異常時支援 시스템 이거나 起動 시스템이다.

가) 異常支援시스템

본 시스템은 安定하게 運轉되고 있던 發電所에 異常이 發生할 경우 이를 早期에 감지하여 運轉員에게 알리고 異常의 原因을 규명하여 적절한 措置방법을 제시하는 시스템이다.

이 시스템이 갖는 機能은 다음과 같다.

- 컴퓨터는 發電所의 프로세스컴퓨터에 連結되어 있거나 각종 發電機器에 직접연결되어 現場의 데이터를 받아들일 수 있어야 한다.
- 각 서브시스템의 性能은 연속적으로 체크되고 있어야 한다.
- 서브시스템에서 入力된 값이 정상運轉値에서 벗어날 경우 專門家시스템의 異常검증이 이루어져야 한다.
- 異常으로 판명될경우 이 사실을 運轉員에게 알리고 推論기구가 동작하여 異常 발생의 原因을 규명하고 적절한 措置方法을 제시하게

나 직접 措置한다.

나) 起動支援 시스템

發展플랜트의 起動 停止는 發電所 運轉에 있어서 가장 중요한 비중을 차지한다. 起動 停止시 각 시스템이 갖는 서로 다른 특성들을 조화 있게 변화시켜 이미 운영되고 있는 系統의 특성에 일치시켜 병입 또는 병해를 해야하기 때문이다. 起動 停止가 잘못 이루어질 경우 發電機器 자체의 壽命단축은 물론 電力系統에 동요를 일으켜 安定된 전력공급에 커다란 지장을 초래하게 된다. 大容量 발전소의 경우 기존의 컴퓨터 技術을 이용한 起動 停止 시스템이 이미 設置되어 있다. 이 시스템이 갖는 機能은 다음과 같다.

- 플랜트 동특성 Module과 推論기구로 구성되어 있다.
- 동특성 Module은 基本的 기동계획에 플랜트 특성과 運轉經驗值等を 참조하여 열응력등을 계산한다.
- 推論기구에서는 계산된 열응력등의 데이터가 시스템의 運轉에 미치는 영향들을 計算推論하여 부적절 할 경우 修正한다.
- 修正된 計劃을 동특성 Module에 Feed-Back하여 열응력등을 다시 計算한다.
- 推論기구에 의해 起動계획의 適正性 與否를 다시 검토한다.
- 적절한 起動계획이 樹立될 때까지 위의 과정을 반복한다.
- 樹立된 起動계획에 의거 기동한다.

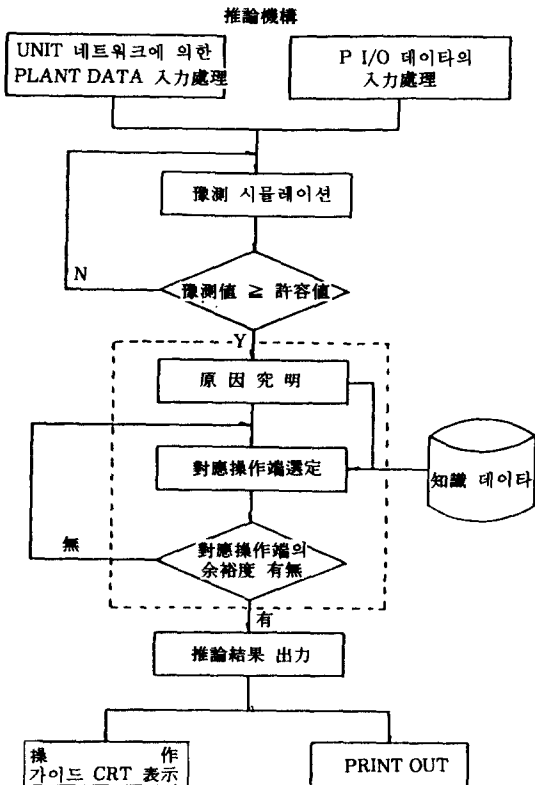


그림 4. 처리 흐름도

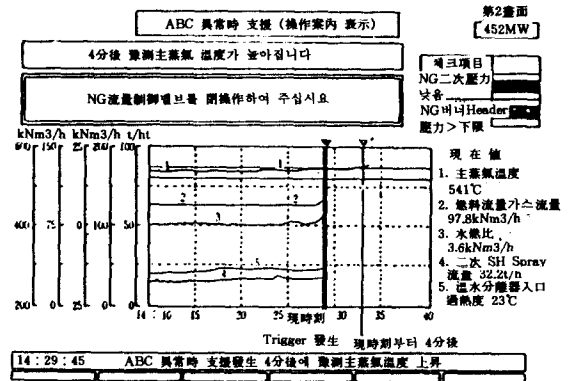


그림 5. 操作內容의 表示例

### 3. 1. 事例 1 : 火力플랜트運電支援 시스템(관서전력)

관서전력은 근래 화력발전소에 요구되는 고빈도 起動 停止 및 고부하 변화운용 등에 대응하는 플랜트제어기술의 향상에 의한 자동화범위의 확대, 制御裝置의 고기능화 고신뢰화등을 예의 추진하여 고도의 플랜트 운전制御 기술을 확립 해왔다.

이에 따라 運轉員의 업무는 '조작주체'에서 '관리주체'로 바뀌고 소수인원으로 운전이 가능하게 되었으나, 한편으로 시스템의 大規模化, 複雜化에 따라 운전원의 수동조작의 기회가 거의 없어짐으로 인해 만일의 사고발생시 대응조작으로 支援하는 기능이 필요하게 되었다.

이에 대해 급변의 최신에 화력인 南港발전소의 경우 知識工學을 응용하여 플랜트 異常時의 대응조작을 대상으로한 운전지원 시스템의 실용화에 성공하였는 바 그 개요에 관해서 소개하기로 한다.(그림 4, 그림 5 참조)

#### 1) 運轉支援 시스템의 機能

과거의 Human-Error와 관련된 사고 事例의 분석과 운전원의 앙케이트 조사에서 支援를 필요로하는 항목을 추출하여

- 보일러 자동制御장치 (ABC) 異常時 대응 조작支援

- 플랜트 起動時의 대응조작支援
- 보일러 최적연소 대응조작支援

의 3항목을 연구개발 대상으로 하였다.

#### 가) ABC 異常時의 대응조작支援

火力플랜트는 연료, 공기, 급수, 증기등의 많은 요인을 조화시켜 운전할 필요가 있고 각 요소가 균형을 잃으면 복구 시키기가 쉽지 않다. 특히 ABC장치 異常時는 직전까지 자동운전하고 있던 조작단이 수동으로 되기 때문에 고도의 운전지식에 기반을 둔 플랜트의 균형을 고려해서 수동조작을 해야한다.

ABC 異常時支援은 이와같은 사태로 된 경우에 신속하고 정확한 대응조작을 표시하고 支援하는 것이다. 플랜트 異常상태를 판정하는 온도, 압력등의 상태량은 여러종류가 있지만, 그중에서 특히 중요한 상태량인 주증기온도,

재열증기온도, 주증기압력을 선정하였다.

이들 상태량은 시뮬레이션 기능에 의해 상시 數分前까지를 예측하고 있어, ABC 異常으로 조작단이 수동으로 된 경우에는 수시로 CRT에 표시할 뿐만 아니라 예측상태량이 규정치를 이탈한 때에는 推論기능에 의해 推論하고 필요한 조작내용을 CRT에 자동 표시한다.

#### 나) 플랜트 起動時의 대응조작支援

이 기능은 플랜트 기동시 상태량 異常時의 대응조작支援 및 기동시의 과대한 기기수명 소비방지를 目的으로 하고 있다.

기동시(보일러점화-목표부하 도달)에 있어 각 부분의 온도, 압력, 온도차, 열응력 등이 正常 상태치에서 이탈할것 같은 징후가 예견되는 경우에는 警報 발신전에 異常이라고 판단하여 異常原因을 推論함과 아울러 그 원인에 대응하는 최적의 조작내용을 자동으로 CRT에 표시한다.<sup>6)</sup>

#### 다) 보일러 最適燃燒 대응 조작支援

이 기능은 연료를 안정되게 연소시켜 Nox 배출량을 규정치 이하로 억제하면서 플랜트 종합효율이 최대로 되도록 조작支援를 행함을 目的으로 하고 있다. 구체적으로 다음과 같은 支援항목이 있다.

- 최적연소支援
- 환경支援
- 효율향상支援

이들의 지표가 規定値에서 이탈한 때에는 필요한 조작내용을 자동으로 CRT에 표시한다.

#### 2) 構成 및 Man-Machine Interface

시스템 본체는 장래에 있을 知識 데이터베이스의 보수성을 고려하여 독립된 장치로 되어 있다.

운전원과 인간-기계 접속기능으로서의 중앙制御실에 운전支援시스템 전용의 CRT, 조작판넬, 프린터등을 설치하고 있다.

표시화면은 상태량표시, 조작내용표시, 推論 과정표시등으로 구성되어 있다. 또한 推論과정 표시는 異常時에 표시하는 외에, 임의의 내부 知識을 표시할 수 있기 때문에 운전원의 교육에도 이용 가능하다.

3) 소프트웨어의 概要

推論기구는 다음의 각부분으로 구성되어 있다.

가) 각종 상태량을 감시하고 異常을 감지하는 Trigger 條件監視部

나) 원인推論에 있어서 각 事象의 평가치와 원인확신도를 연산해서 추정원인을 구하는 Fault-Tree의 推論部

다) 추정원인에 대응해서 필요한 조작부를 결정하는 대응조작단 選定部

4) 向後計劃

南港발전소에서 실증시험을 실시한 결과, 모두 베테랑 운전원들의 판단과 거의 일치한 결과를 얻고있어 이 시스템의 有效性이 확인되었으며 금후 다른 플랜트에의 적요에 관해서 검토해갈 예정이다.

4. 結 論

앞에서 살펴본 바와같이 몇몇 研究所에서 발표한 論文이나 보고서를 조사함으로써 發電所의 여러가지 업무에 대해 적용할수 있는 專門家시스템의 국제적인 개발동향과 그 기술수준을 알아보았지만 아직 專門家시스템의 자기학습 구현은 초보적 研究에 머물고 있으며, 그들의 학습 능력조차 낮은 수준에 불과하다.<sup>7)</sup> 그러나 專門家 시스템 연구자들은 기존 專門家시스템의 문제점과 그 적응능력의 중요성을 인식하고 있기 때문에 이를 근거로하여 知識베이스의 확충, 간단하고 정확한 플랜트동작 예측모델의 구성, 좀 더 유연한 推論방식의 개발, 관

련시스템과의 연계, 프로토타입시스템의 개발, 자연스러운 대화방식을 개발할 필요가 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) 小池睦統, “전력분야에서의 Expert System”, 電學論 107권2호, p. 121, 1987.
- 2) 守口正司, 火力발전 Plant에 있어서 Expert System 개발동향, OHM, pp. 22, 29~36, 1986.12.
- 4) H. Prade, “A Synthetic View of Approximate Reasoning Techniques” Proc. IJCAL, pp. 130~136, 1983.
- 5) Luc Steels, “Second Generation Expert System”, Future Generation Computer System, Vol. 1, No.4, pp. 213~221, June, 1985.
- 6) G. Kozlick, Review of Fossil Plant AI Applications, Northern Indiana Public Service Co., Indiana.
- 7) S.A.FARGHAL의, “Generation Expansion Planning: An Expert System Approach”, IEEE PROCEEDINGS, VOL. 135 NO. 4, pp. 261~267, 1988. 7.
- 8) A.D.Ambrosio의, “AI in the Power Plants: PERF-EXS”, IEEE pp. 11~17, 1987.
- 9) CHEN-CHING LIV의, “An Expert System Assisting Decision-Making of Reactive Power/Voltage Control”, IEEE Transaction on Power System pp. 195~201, 1986. 8.
- 10) 한국전력공사, 전력사업과 전문가 시스템, pp. 99~120, 1991.
- 11) 대한전기학회, 전력계통의 전문가 시스템응용, 1990. 8.
- 12) 인공지능 학회지(日), 1987. 6.